

폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축(IX)

(최종 보고서)

2012. 12

주관연구기관
한국해양과학기술원

협동연구기관
광주대학교, 국립수산과학원, 남·서해수산연구소
(주)해양생태기술연구소



국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

본 보고서를“폐기물 해양배출 종합관리시스템 구축 (IX)”
용역의 최종 보고서(요약본)로 제출합니다.

2012. 12. 31.

총괄연구책임자	: 정	창	수 (한국 해양 과학 기술 원)
공동연구책임자	: 양	성	렬 (광 주 대 학 교)
	손	민	호 (해양 생 태 기 술 연 구 소)
	김	평	중 (국 립 수 산 과 학 원)
세부연구책임자	: 홍	기	훈 (한국 해양 과학 기술 원)
	김	석	현 (한국 해양 과학 기술 원)
	김	영	일 (한국 해양 과학 기술 원)
	최	진	우 (한국 해양 과학 기술 원)

참 여 연 구 원 :

(한국해양과학기술원) 양동범, 염승식, 김경련, 김창준, 최기영, 김정은, 문병호, 이현미, 최진영, 하규영, 김동화, 최동규, 박미연, 전지연, 김혜은, 박희영, 최정훈, 강미란, 최아라, 임혜선, 장요순, 박은주, 박서윤, 신은수, 박현수, 김아름, 김혜연, 최지영, 김봉주, 서진영, 박소현, 전해영, 원효경, 황철희, 안유환, 민홍식, 이하웅, 장영석, 박상훈, 라슬기, 전종철, 서성봉, 박미연, 고영신, 김의열, 우한준, 이희준, 광경용, 최수아, 조경덕, 조기철, 이미르, 성승규, 권지선, 심광보, 김남주, 김진경, 이영주, 장철원, 홍경미, 심영섭, 구분화

(광주대학교)

이인태, 정희원, 이광희, 김주희, 조 퇴, 맹위광, 서영달, 여엽빈

(해양생태기술연구소)

곽석남, 서인수, 김미향, 박정임, 손명백, 황철희, 김대익, 윤재성, 박재영

(국립수산과학원 남서해수산연구소)

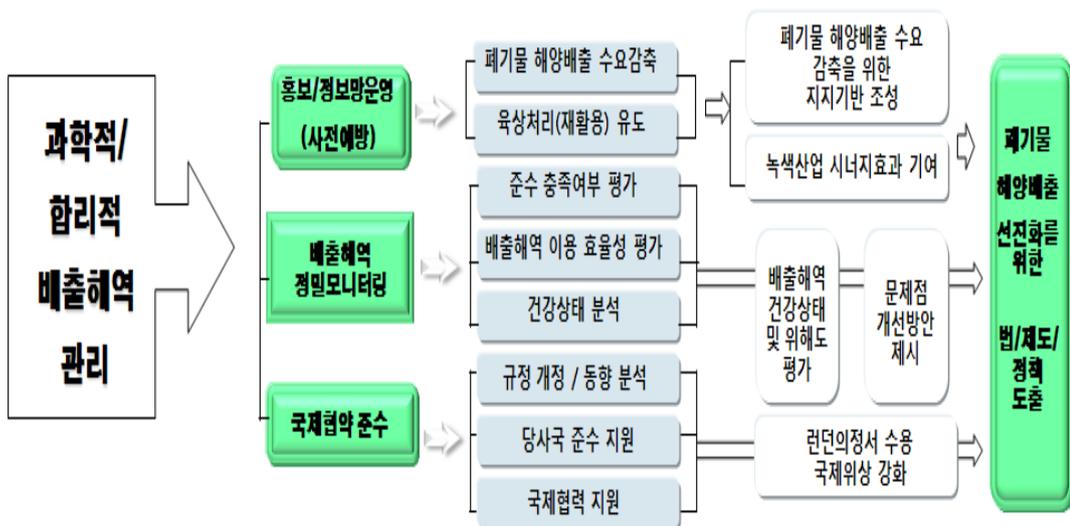
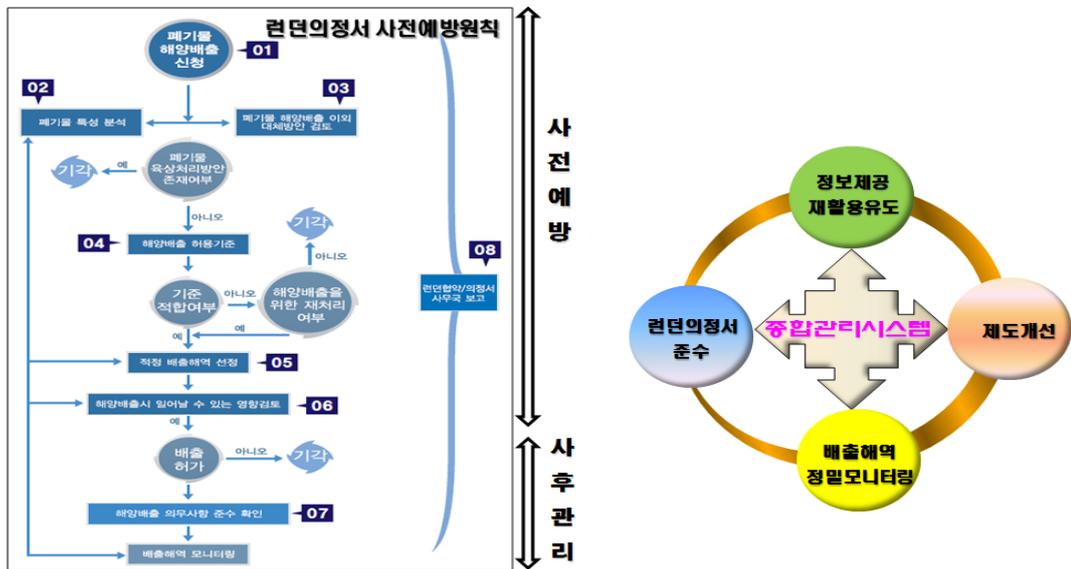
장대수, 이용화, 김상수, 구준호, 고미영, 전상백, 주재식, 권수정, 남혜리

요 약 문

□ 과제명 : 폐기물 해양배출 종합관리시스템 구축 (IX)

폐기물 해양배출 종합관리시스템 :

런던의정서의 사전예방원칙 의거, 투기신청부터 배출해역 모니터링을 망라한 모든 단계를 평가하는 시스템으로서 산출된 결과는 국내제도와 정책에 반영하고 런던의정서에 보고



1 부 과업의 목적 및 필요성

1 장 목 적

- 배출해역 최적관리를 통한 **환경손실 최소화 및 효과 극대화**
- 폐기물 해양배출 저감을 통한 **해양 부가가치 증대 및 녹색산업 시너지 효과 창출**
- 급변하는 국제적(런던의정서) 상황에 대한 **능동적 대처 및 런던의정서 당사국으로서의 준수 의무 이행 지원**
- 폐기물 해양배출 **관리제도 선진화**
- 육상폐기물 해양배출 **제로화를 위한 대국민 홍보 및 공감대 조성**

2 장 과업의 배경 및 목적

1. 환경적 측면

- **오염심화된 폐기물 배출해역 환경 개선**
 - 폐기물 해양배출 저감정책으로 배출량이 감소하고 있지만, 중금속 등의 위해성 물질이 상당량 포함된 폐기물이 해저에 축적됨으로서 배출해역 환경에 악영향 초래
 - 수산물 안전성에 대한 불확실성으로 어업인 등 타 합법적 해양 이용권자와의 마찰 증대
 - 배출해역 오염에 대한 언론보도 지속과 국정감사(농림해양수산위, 환경노동위 등)에서도 대책 마련 촉구 지속
 - 가축분뇨와 하수오니는 2012년, 음폐수는 2013년부터 해양배출 금지가 확정되었으나, 이외의 육상폐기물의 해양배출 단계별 제로화도 추진 필요
 - 특히 폐기물 해양배출 종료 이전의 배출해역의 환경보호와 이후의 오염된 배출해역을 회복시킬 수 있는 과학적 자료에 근거한 기술개발 및 관리방안이 필요

○ 국제적 상황변화 및 당사국 책임 강화

- 우리나라 배출해역은 인접국과의 해상경계선(한중잠정조치수역, 한일 공동수역)까지 연장되어 있어서 인접국의 우려가 상존
- 런던의정서는 2006년 3월 24일 발효되어 폐기물 해양배출 규제가 한층 강화(우리나라는 2009년 2월 가입)
- 우리나라는 런던협약/런던의정서 당사국과 OECD 국가 중 유일한 하수 오니 해양배출 국가로 이목이 집중
- 런던의정서 당사국으로서의 준수이행 의무
- 특히 런던의정서상 당사국의 준수 여부를 평가하는 준수그룹이 설립('08.10)되어 본격적인 활동을 개시함에 따라 폐기물 해양배출에 대한 국제적 감시가 한층 강화
- 급변하는 국제 동향을 국내 제도에 반영할 수 있는 국가 전략 마련 필요

○ 폐기물 해양배출 관리정책의 선진화

- 런던의정서상 오염자부담원칙, 사전예방원칙에 따른 평가(육상처리 우선원칙)와 사후관리(배출해역 정밀모니터링)를 포함하는 과학적이고 합리적인 배출해역 종합관리체제를 수립함으로써
- 배출해역 환경보호 및 국제적 수준의 폐기물 해양배출 정책 결정을 위한 최선의 자료를 제공
- 배출해역 환경보호 및 국제적 수준의 폐기물 해양배출 정책 결정을 위한 최선의 자료를 제공

2. 경제·산업적 측면

○ 해양의 부가가치 향상

- 해양배출 폐기물에 대한 평가체제의 개발·이용을 통해 배출해역을 과학적으로 관리함으로써 건강하고 안전한 수산자원 공급원으로서 해양의 부가가치 증대와 생산성 확보를 지원

○ 폐기물 재활용 산업 육성

- 해양배출 폐기물의 육상처리를 통해 재활용 시장의 활성화와 국내 폐기물 재활용 기술 개발 촉진에 대한 시너지 효과를 증대

○ 사업집행 효율성

- 오염된 해양환경을 복원하는 데는 국가적으로 많은 노력과 예산 소요
- 따라서 사전예방의 차원에서 폐기물 해양배출 신청시 폐기물 특성, 해양배출 이외의 대체 처리방안과 관리방안 검토, 처리기준, 해양영향평가 등 각 단계별로 과학적으로 개발된 평가체제는 해양오염을 최소화함으로써 환경오염 복원시 소요되는 시간과 예산을 절감

3. 사회·문화적 측면

○ 국민건강 및 수산업 보호

- 해양배출 폐기물에 함유된 유해물질은 해양생물이 직접 섭취하고 이는 먹이사슬에 따라 점차 농축됨으로써 최종 소비자인 국민의 건강을 위협
- 따라서 해양배출 폐기물의 감축 및 배출해역의 환경개선을 통해 국민 건강을 보호하고 사회 불안요소를 저감시킬 필요가 있음

○ 해양환경 보전을 위한 공감대 형성

- 폐기물 발생원 및 처분 현황, 폐기물 배출이 해양환경에 미치는 영향과 국제동향 등 폐기물 해양배출과 관련한 모든 정보를 제공할 수 있는 시스템을 구축해 누구나 이용가능하게 하고
- 강연회, 워크숍 등을 통해 폐기물 관련 정책담당자, 민간사업자 및 일반국민에게 해양환경보호의 중요성에 대한 홍보와 교육을 실시함으로써
- 폐기물 해양배출 저감 및 육상처리 원칙에 대한 대중 공감대 조성을 통해 해양환경 보전을 위한 체계를 마련

3 장 연구개발 내용 및 범위

1. 폐기물 배출해역 건강상태 진단을 위한 정밀 조사

가. 목 적

폐기물 배출해역에 대한 정밀 모니터링을 통해 배출해역 환경 악화 방지, 회복 방안 제공 및 수산자원 안전성 확보

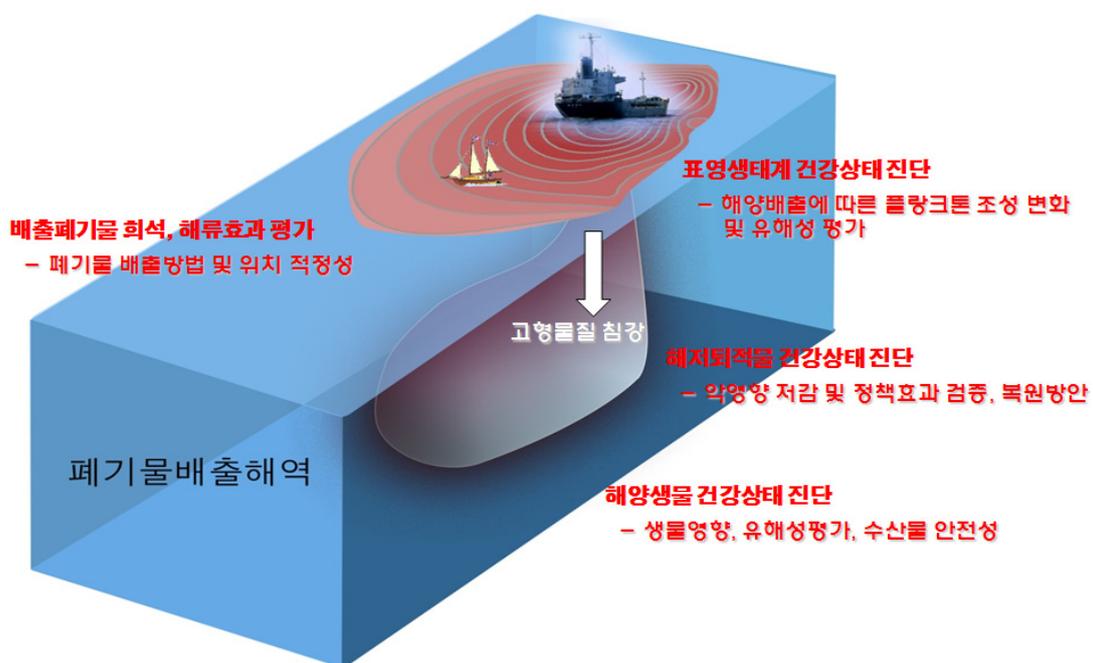
나. 과업내용

1) 배출해역의 건강상태 진단을 위한 정밀조사

○ 조사해역(3개 폐기물 배출해역; 동해정·병해역, 서해 병해역)

: 지금까지의 배출해역 평가 결과를 토대로 오염심화 또는 세심관리가 요구된 구획을 중점으로 정밀 모니터링 시행

- 조사구획 수 : 총 36개



○ 폐기물 해양배출 및 배출해역 현황 분석(한국해양과학기술원)

• 목적

폐기물 해양배출 및 배출해역 현황 분석을 통해 과학적이고 합리적인 배출해역 최적관리를 위한 기초자료 제공

• 내용

- 해양배출 폐기물 현황 및 실태 분석
 - 해양배출 통계 및 허가(위탁신고, 배출해역지정) 현황
 - 폐기물 종류별 이화학적 특성 정보
- 배출해역 오염 압력요인 분석
 - 자연현황 자료 분석(해황, 해저면 특성 등)

- 폐기물 배출선박 현황, 해양배출 위치 및 구획별 빈도수
- 기존 퇴적물 오염현황 자료 분석 및 비교
- 해양배출 폐기물의 물리·화학적 특성(비중, 함수율, 해양환경관리법 시행규칙 별표 8의 유해물질 항목)

- **활용**

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공

- **폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태 진단(광주대)**

- **목적**

폐기물 배출 이후 시간별 희석 및 침강에 따른 표영생태계 건강상태 파악 및 영향 분석

- **내용**

- 배출해역 표영생태계 일차생산자 서식환경 분석
 - 물리특성 및 인공위성자료 분석
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생산성 조절요인
 - 친생물인자 성분 조사(영양염류, DO, POC, PON, pH)
 - 광조절요인 성분 조사(입자성부유물질)
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생리 건강상태 조사평가
 - 클로로필-a, 일차생산력, 생체형광, 생체형광지수(FRI)
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생물 종조성
 - 식물플랑크톤 종조성
- 배출해역 표영생태계 유해물질 위해성 평가용 현장자료 획득
 - 유해물질 농도 조사(COD, 총질소, 총인, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, PCB, PAH, 유분, 시안, 페놀)

- **활용**

- 과학적인 배출해역 관리를 위한 제도 및 정책 제언
- 런던의정서 준수보고서 기반 자료

- **해저퇴적물 건강상태 진단(한국해양과학기술원)**

- **목적**

해저퇴적물 정밀 모니터링을 통한 과학적인 해역관리방안 모색

- **내용**

- 배출해역 퇴적물 건강상태 진단
 - 배출해역 퇴적물 오염물질 시공간적 분포 특성[COD, 유기탄소/질소, 중금속(구리, 카드뮴, 망간, 비소, 아연, 납, 수은, PCBs, PAHs)]
 - 배출해역 폐기물 투기로 인한 중금속 흡착(Scavenging)교란 분석 : 해수중 ^{234}Th - ^{238}U 비평형 조사
- 배출해역 환경상태 변동 평가
 - 배출금지구역(휴식년구역)에 대한 유해물질 농도 변동
 - 배출량 감소에 따른 배출해역의 유해물질 변동
- 폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사(동해병해역)
 - 침강입자 포집기 계류
 - 배출해역 경계 외측으로의 폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사

- **활용**

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공
- 런던의정서 준수보고서 작성을 위한 기초자료 제공
- 폐기물 해양배출 감축정책 추진을 위한 근거자료 제공

- **해양생물 건강상태 진단**

- **목적**

배출해역 생태계에 악영향을 방지하고 생태환경을 개선하여 안전한 수산물을 공급함으로써 국민건강 보호에 기여

- **내용**

- 배출해역 저서생물 건강상태 진단(해양생태기술연구소)
 - 저서생물 현황조사 : 군집구성 분포, 우점종 분포, 서식밀도 및 군집구조, 유사도 분석, 저서생물 군집구조 및 특성변화경향 분석
- 저서생물 오염지수 산출(한국해양과학기술원)
 - 오염지시 생물 및 오염민감 생물 현존량 분석
 - 저서오염지수 산출
- 저서생물 유해성 평가(한국해양과학기술원)
 - 생물농축 계수 산출 및 독성 평가 : 성계 수정률 및 배아 발생률 분석, 환경스트레스 특이 유전자 치등발현

이용 노출 평가

- 저서생물 교란 정도 및 영향 평가
 - 저서생물 건강상태 변동 평가(한국해양과학기술원)
 - 배출금지구역(휴식년구역)에 대한 저서생물 변동
 - 배출량 감소에 따른 배출해역의 저서생물 변동
 - 현재의 배출구획에 대한 적정성 평가
 - 주요 수산생물 건강상태 조사(국립수산과학원 남서해수산연구소)
 - 동해 병해역 수산자원 변동 조사
 - 동해 병해역 주요 수산생물 안전성 평가
- : 중금속 생체내 축적 및 국민건강 안전성 평가

• 활용

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공
- 폐기물 해양배출 감축정책 추진을 위한 근거자료 제공
- 배출해역 생태계 복원을 위한 기초자료 제공

2. 런던의정서 준수 지원(한국해양과학기술원)

• 목적

- 아국 투기해역 환경 개선 및 국제조약 준수에 따른 국제 압력 완화
- 런던의정서 회의 지원 및 당사국 동향 분석
- 런던의정서 준수를 위한 기술 지원
- 런던의정서 당사국간 공동협력 모색

• 과업내용

- 런던의정서/협약 합동회의에서 아국에 대한 외교적 압력 완화
 - 과학그룹회의에 의장국으로 당사국회의에 부의장국으로 동 조약 회의 진행에 기여
 - 회원국 공통의 글로벌 이슈 해결에 서신 및 작업반장역할 및 회의 문서 제출을 통해 아국 우호국 확보
 - 아국 폐기물 해양 투기 종료 계획의 홍보, 주요 의견선도 그룹과의 실무회의 개최 등으로 전회원국의 신뢰 확보를 통한 국내 이행 기간 확보
- 제주 아시아·태평양지역 워크숍 및 런던협약/의정서 합동과학

그룹회의 개최 관련 종합계획 수립 및 실무 준비

- 개최 일시 및 장소 : 5.14 ~ 25, 제주 KAL호텔
- 회의 개최 및 운영을 위한 분야별 실무조직 구성
- 분야별 실무 조직 구성 및 역할 정리
- 준수그룹 위원국으로서의 활동 지원
 - 준수그룹 위원국으로서 회의 참석(영국 런던 국제해사기구본부 /10월)
 - 아·태지역 준수그룹 위원 역할 수행
- 당사국 준수 지원
 - 투기허가발행 보고서 작성을 위한 지원('10, '11년 허가발행)
 - 폐기물 배출해역 환경상태 보고서(안) 작성(IMO 제출 대비)
 - 런던의정서 준수를 위해 취해진 국내 행정·법적조치 보고서 제출
 - 기타 런던의정서 사무국 요청사항 지원
- 기술 협력 및 지원
 - 아태지역 국가들의 런던협약/의정서 가입 유도 및 해양환경 보호를 위한 기술지원(런던의정서 제13조 의거)
- 폐기물 해양배출 국외 동향 분석
 - 당사국들에 대한 폐기물 해양배출 동향 분석
 - 당사국들에 대한 준수 이행상황 분석
- **활용**
 - 런던의정서/협약 합동회의에서 아국에 대한 외교적 압력 완화
 - 폐기물 해양배출 관련 국제동향 분석을 통한 국가전략 수립
 - 런던의정서 의무사항 준수 및 국제협력 강화
 - 제주 아태지역워크숍 성공적 개최를 통한 우리나라 환경외교 위상 제고

3. 폐기물 해양배출제도 선진화 및 저감정책 홍보(한국해양과학기술원)

- **목적**
 - 폐기물 해양배출 수요 감축을 위한 법률적 기반 확보
 - 폐기물 배출해역 관리정책 결정을 위한 최선의 자료를 제공
 - 해양배출 관련 국내외 정보 제공을 통해 폐기물 최적관리 및 해양배출 감축정책 지지기반 조성

● **과업내용**

- 배출해역 최적관리 방안 제시
 - 오염지수 및 환경평가 기준을 조합한 배출구획별 적정성 평가
 - 배출해역 예방적 관리를 위한 중점관리 구획 지정
 - 폐기물 해양배출 저감정책 효과 분석
 - 누년자료의 분석을 통한 배출금지구역(휴식년구역) 개선 효과
 - 배출량 감소에 따른 배출해역 오염물질의 장기적 변동
 - 배출해역 최적관리를 위한 제도 개선 방안 제공
- 해양배출 저감정책 정착화를 위한 정보 및 제도 개선 제공
 - 폐기물 해양배출 제도 및 개정 연혁
 - 연도별, 폐기물 종류별 해양배출 현황
 - 지방자치단체별 폐기물 처리·처분현황 분석자료
 - 국내외 폐기물 처리 및 재활용기술 자료수집 및 정보
 - 런던의정서상 의결사항의 국내 수용방안 제시
 - 폐기물 해양배출 저감 및 제로화 정착을 위한 개선 방안 제공
- 해양배출 저감정책 홍보 및 이해당사자 주도적 참여 유도
 - 해양배출 폐기물 최적관리를 위한 정보 제공(홈페이지 활용)
 - 폐기물 육상처리 전환에 따른 국가경제 시너지 효과 홍보
 - 해양배출 폐기물 처리·처분현황 및 소요비용 정보
 - 지방자치단체 우수 사례 소개
 - 워크숍 개최, 관련 공무원 교육 및 대중 강연 실시
 - 해양배출관련 담당 공무원 교육훈련 프로그램 개발
 - 교재, 홍보물, 발간물 출간 및 배포
 - 폐기물 해양배출관련 발표자료집, '12년 런던의정서 과학그룹회의/
당사국회의 결과보고서 번역본, '12년 폐기물 해양배출관련 언론
보도 모음집 등

● **활용**

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료
- 폐기물 해양배출 감축정책 추진을 위한 근거자료
- 배출해역 생태계 복원을 위한 기초자료

4 장 당해연도 과제별 중점 추진 전략 및 과업 공정

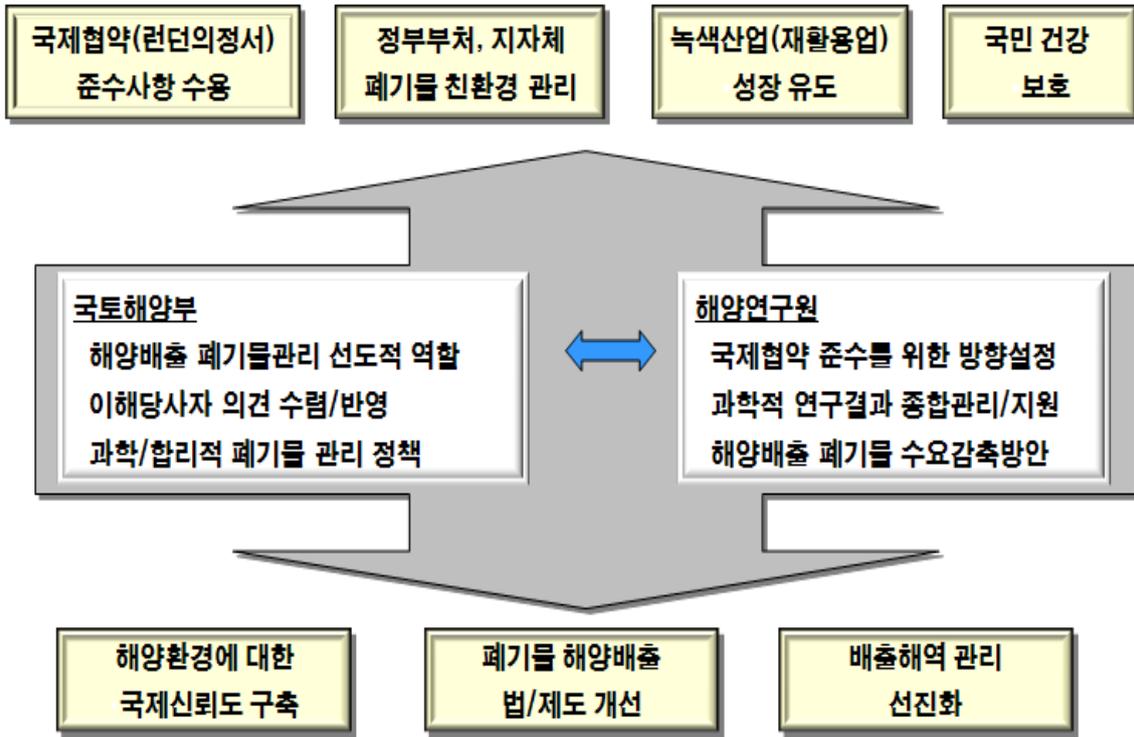
1. 과업 중점 추진 전략

중과제별 목표	중점 추진 전략
<p>배출해역 정밀모니터링 및 과학적 관리기반 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 폐기물 해양배출 및 배출해역 현황 분석 ● 배출해역 오염 압력요인 파악(오염물질 유입·이동·축적 특성) ● 표영생태계 건강상태 진단(동해정·병, 서해병) ● 해저퇴적물 건강상태 진단(동해정·병, 서해병) ● 저서생물 건강상태 진단(동해정·병, 서해병) ● 주요 수산물 안전성 평가(동해병)
<p>런던의정서 준수 지원 및 기술협력</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 제주 아태지역워크숍 및 런던협약/의정서 합동 과학 그룹회의 개최관련 종합계획 수립 및 실무준비 ● 런던의정서 정규회의 활동 및 당사국 준수지원 ● 합동과학그룹 의장국 및 준수그룹 위원국 역할 수행 ● 런던협약/의정서 당사국의 폐기물 해양배출 동향 분석 ● 국제협력 증진
<p>폐기물 배출제도 선진화 및 해양배출 저감정책 홍보</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 배출해역 최적관리 방안 제시 ● 폐기물 해양배출 저감정책 효과 분석 ● 런던의정서 수용과 해양배출 제로화 완착을 위한 제도 개선방안 제공 ● 해양배출 저감 우수사례 발굴 및 저감정책 목표 달성을 위한 홍보 및 사전예방 평가를 위한 전문 교육 시행 ● 지역별, 폐기물 품목별 해양배출 및 육상처리 동향 등 통합정보를 제공하는 시스템 운영

2. 당해연도 과업 공정

과업내용	2012년			
	1분기	2분기	3분기	4분기
착수보고회	■			
중간보고회			■	
최종보고회 및 보고서 제출				■
배출해역 정밀모니터링 계획 수립	■			
배출해역 정밀모니터링 실시		■		
배출해역 정밀모니터링 시료분석		■	■	
배출해역 정밀모니터링 완료				■
배출희석효과 및 표영생태계 건강상태 평가		■	■	■
해저퇴적물 건강상태 평가		■	■	■
해양생물 건강상태 평가		■	■	■
해양생물 유해성 평가		■	■	■
배출물 희석효과 평가용 해류 해황 조사		■	■	■
배출해역 최적관리를 위한 분석				■
런던의정서 정부 회의 지원	■	■	■	■
런던의정서 준수 지원	■	■	■	■
당사국 폐기물 해양배출 동향 분석	■	■	■	■
해양배출 폐기물 특성 및 배출해역 환경상태 보고서	■	■	■	■
해양배출 저감을 위한 홍보	■	■	■	■
배출해역 관리를 위한 제도 개선	■	■	■	■
런던의정서 수용을 위한 제도 개선	■	■	■	■
관계법령 개정	■	■	■	■

5 장 과업성과 활용



2부 주요 연구결과

1장 폐기물 배출해역 저감정책 정착화를 위한 정보 제공 및 홍보

1. 폐기물 배출해역 현황

○ 폐기물 배출해역 현황

- '93년 현재의 3개 배출해역(서해병, 동해병, 동해정)이 지정(그림 1)



그림 1. 폐기물 배출해역 현황

○ 배출해역별 해양배출 폐기물 종류

구분	거리	면적	수심	배출가능 폐기물
동해병	포항 동방 125km	3,583km ²	200~ 2,000m	<ul style="list-style-type: none"> • 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수, 음식물 폐수 • 수산가공잔재물, 하·폐수처리오니, 적토 • 동식물잔재물, 수산가공잔재물, 수저준설토사
동해정	울산 남동방 63km	1,189km ²	150m	<ul style="list-style-type: none"> • 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수 • 수산가공잔재물, 수저준설토사 • 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수
서해병	군산 서방 200km	3,165km ²	80m	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수·하·폐수처리오니, 동식물잔재물, 수저준설토사 • 음식물류폐수, 수산가공잔재물
무해역	영해의 범위안의 해역			<ul style="list-style-type: none"> • 수저준설토사

○ 폐기물 해양배출 방법

방법	특징	해당폐기물
확산식	<ul style="list-style-type: none"> 배출된 폐기물을 확산시켜 정화기능 높임 (분해되는 유기물) 선박이 운행(4노트 이상)중 해양배출 	오니, 폐수, 분뇨 등
집중식	<ul style="list-style-type: none"> 한 곳에 집중 배출하여 해수 혼탁 최소화 (분해 안되는 무기물) 선박이 정지된 상태에서 해양배출 	수저준설토 적토 등

○ 배출해역 현행 운용 방법

- 폐기물 해양배출이 특정 해역에 집중해 오염이 심화되는 것을 방지하기 위해 '02년부터 배출해역별로 배출 구심점을 지정하고 배출선박은 구심점을 거쳐 폐기물 해양배출하는 구심점 제도를 시행함(그림 2)
- 그러나 구심점 시행에도 불구하고, 육상에서 가까운 구심점들의 오염이 가중됨에 따라 '06년 6월부터 책임구역제로 전환하고, 오염 심화지역은 해양배출을 금지하는 휴식년 구역을 설정하여 해양배출을 금지함
- 책임구역제는 배출업체별로 대각선으로 일정주기로 교대하면서 이용하는 제도로서 배출업체에게 배출해역의 관리에 대한 책임의식을 분담하여 지우고 배출해역의 오염을 저감시키려는 취지임

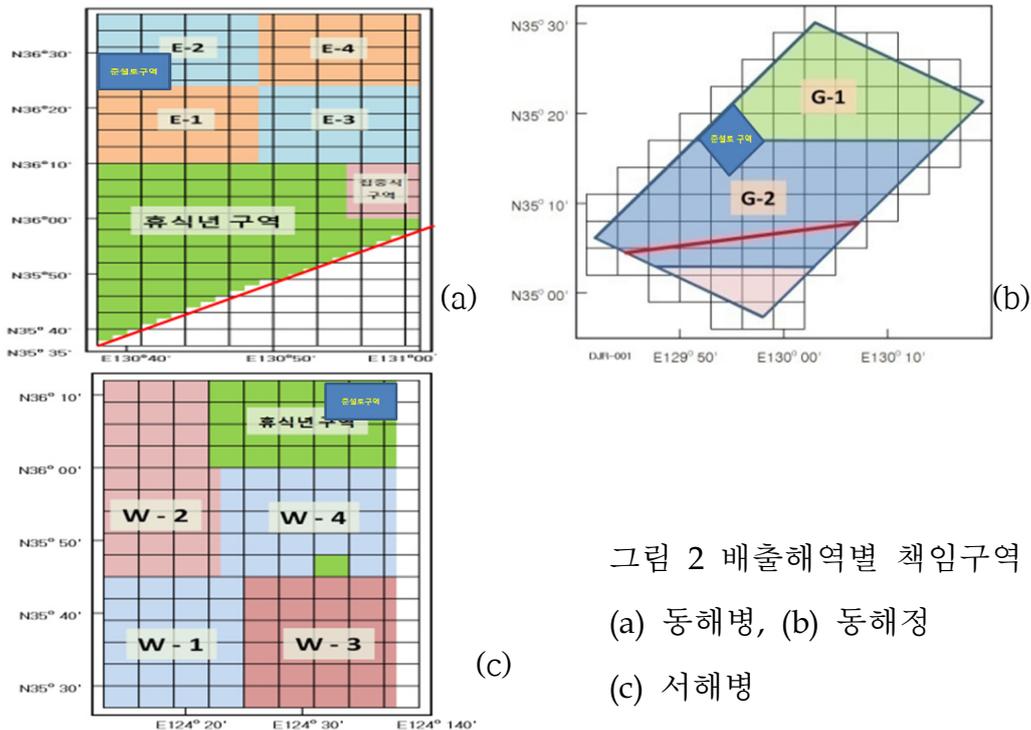


그림 2 배출해역별 책임구역
 (a) 동해병, (b) 동해정
 (c) 서해병

2. 폐기물 해양배출 현황

○ 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 현황

- 폐기물 해양배출은 '88년 서해병해역에 547천^m의 폐수 해양배출을 시발점으로 매년 급격히 증가하여 유기성폐기물의 육상직매립 금지가 시행된 '05년에 9,929천^m으로 최대를 보였음
- 「해양배출폐기물 종합관리시스템구축」 연구용역 결과를 토대로 '06년 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」이 수립·시행되면서 '06년에 8,811천^m, '07년에 7,498천^m 등 폐기물 해양배출은 매년 10% 이상 지속적으로 감소하면서 '12년 육상폐기물의 해양배출량은 2,288천^m ('12년 목표 배출량: 2,500천^m)으로 '05년 대비 1/4 수준으로 감소함 (그림 3)

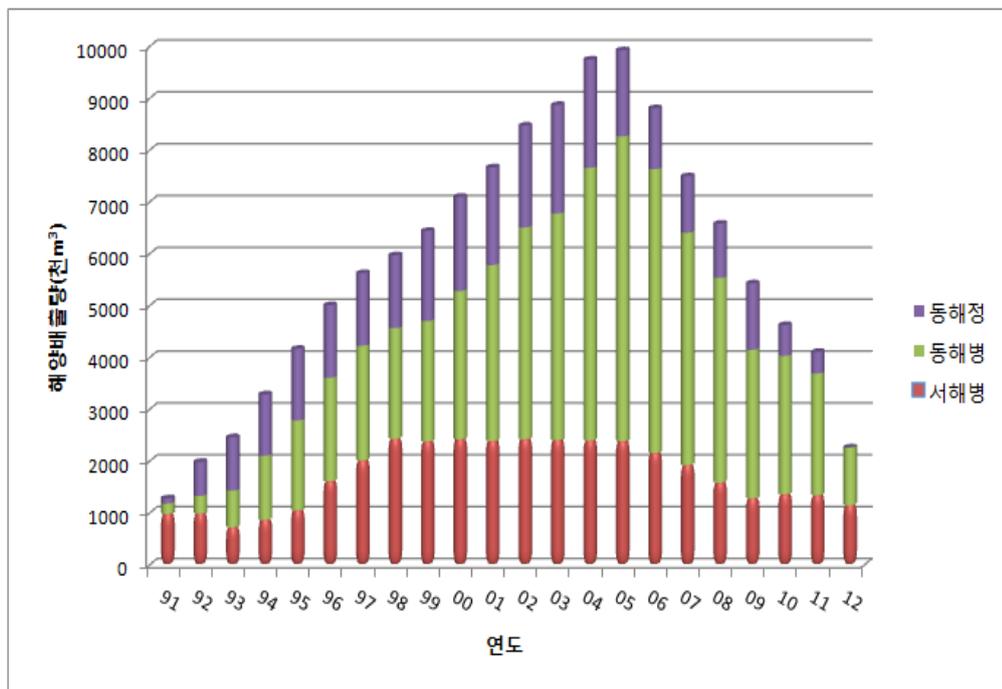


그림 3. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 현황

○ 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 비중

- 해양배출 초기인 '91년에 배출해역별 해양배출 비중은 서해병해역이 76%, 동해병해역 16%, 동해정해역 8%로 서해병해역의 해양배출 비중이 상당 부분을 차지함.
- '98년부터 서해병해역 해양배출 허가량을 2,400천^m 이하로 제한하

면서 상대적으로 동해병해역의 해양배출 비중은 점차 증가하여 '04년부터 동해병해역 해양배출 비중이 절반 이상을 차지함.

- '12년부터 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출 금지에 따라 서해병과 동해병해역 비중이 유사하고, 동해정해역 비중은 0로 전환됨(그림 4)

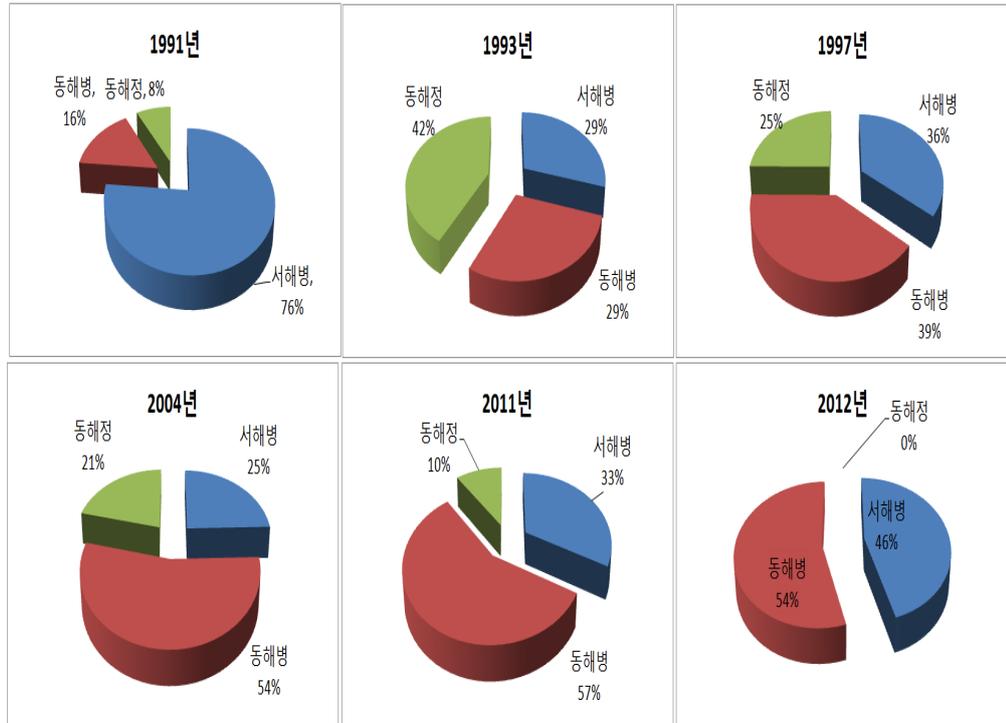


그림 4. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 비중

○ 폐기물 종류별 해양배출 현황

- '91년까지 주요 해양배출 폐기물은 폐수, 폐수처리오니와 수산가공잔재물임
- '93년에는 하수처리오니의 해양배출이 시작되면서 급격히 증가하여 유기성오니류의 직매립금지 시행('03년) 직후인 '04년도에 하·폐수처리오니가 해양배출 폐기물 총량 중 33%를 차지함
- '04년부터 음식물폐기물류폐수(이하 음폐수)의 해양배출이 시작되면서 급격히 증가하여 '11년도에 음폐수 해양배출 비중은 해양배출 총량 중 26%로 전체 폐기물 종류 중 최고를 기록함(그림 5)
- 그러나 '06년 수립시행된 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」에서 정하고 있는 오염물질별 해양배출 금지 계획을 확행하기 위해 '11년 12월 29일 공포된 해양환경관리법 시행규칙 개정에 따라 '12년 1월부터 하수처리오니와 가축분뇨의 해양배출이 금지되었고, '13년 1월부터는 음폐수 해양배출이 금지될 예정임

- 특히 「육상폐기물 해양투기 제로화 추진계획」이 '12년 12월 21일 해양환경관리법 시행규칙에 입법화됨에 따라 '13년부터 분뇨 및 분뇨처리오니, '14년부터는 폐수와 폐수처리오니의 해양배출이 금지될 예정임

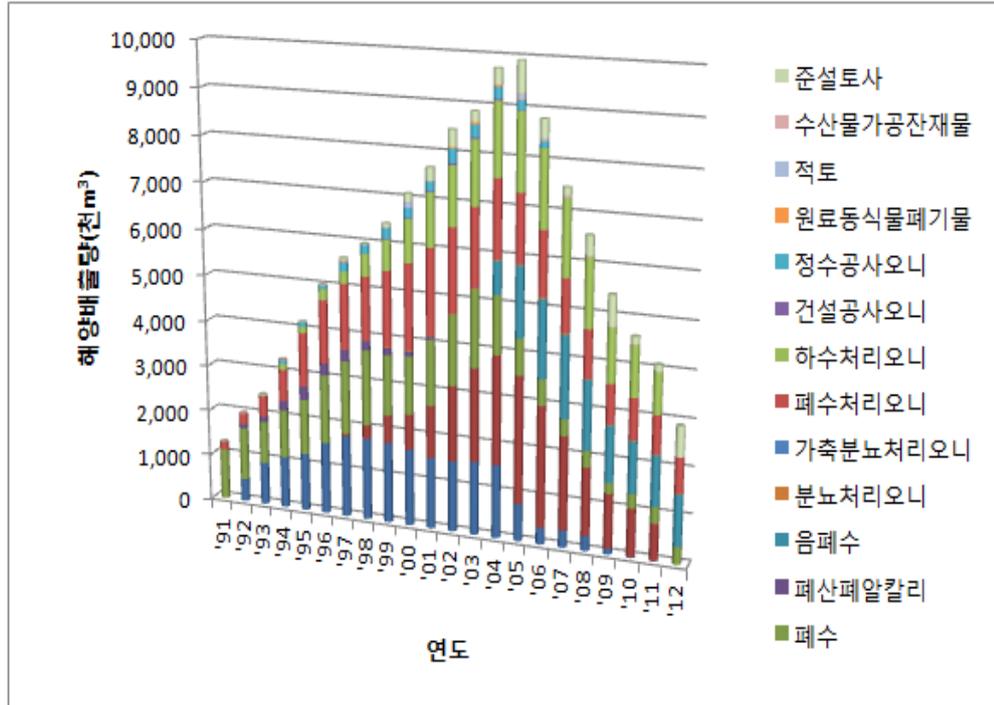


그림 5. 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황

○ 폐기물 종류별 해양배출 시행 및 금지 이력

폐기물 명	신규	금지	배출방법
폐산/폐알칼리	1999. 1	2006. 2	확산식
하수도준설물	1997. 11	2006. 2	집중식
정수공사오니	1993. 1	2006. 2	집중식
건설공사오니	1996. 7	2006. 2	집중식
가축분뇨	1987. 8	2012. 1	확산식
하수처리오니	1993. 1	2012. 1	확산식
음폐수	2004. 3	2013. 1	확산식
분뇨	1991. 9	2013. 1	확산식
분뇨오니	1991. 9	2013. 1	확산식
폐수	1991. 9	2014. 1	확산식
폐수처리오니	1991. 9	2014. 1	확산식
수산화알루미늄잔재물	1996. 7	2016. 1	집중식

○ 배출해역 및 폐기물 종류별 해양배출 변혁

● 서해 병해역

'88년 폐수 해양배출 시작 ⇒ '92년부터 폐수처리오니 해양배출 ⇒ '95년부터 하수처리오니와 '98년 가축분뇨 해양배출 ⇒ '04년부터 음폐수 해양배출 ⇒ '12년부터 하수처리오니, 가축분뇨 해양배출 종료(그림 6)

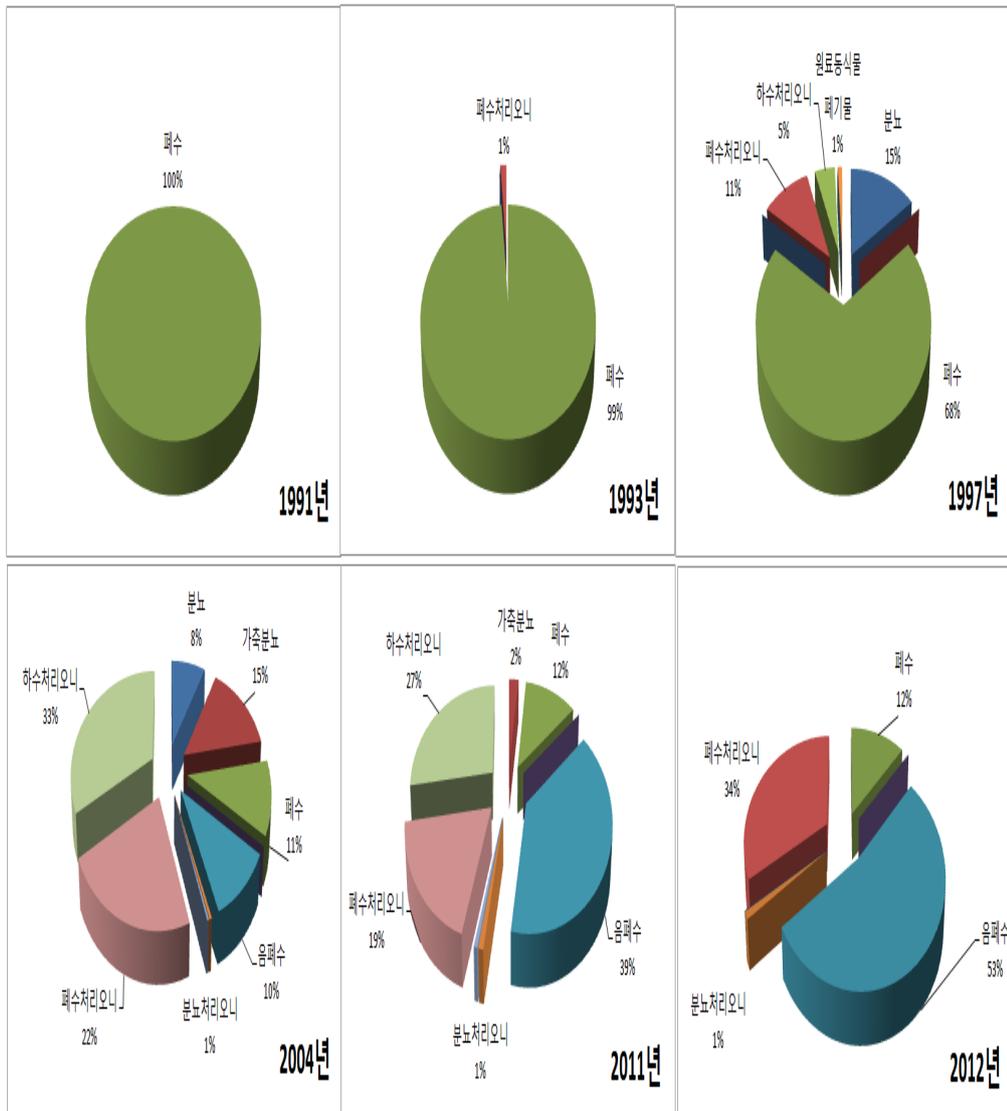


그림 6. 서해병해역의 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황

• 동해 병해역

'91년 폐수, 폐수처리오니, 수산가공잔재물 해양배출 시작 ⇒ '92년부터 폐산·폐알칼리 해양배출 ⇒ '93년부터 하수처리오니, 분뇨, 정수공사오니 해양배출 ⇒ '97년부터 가축분뇨 해양배출 ⇒ '98년부터 건설공사오니 해양배출 ⇒ '99년부터 원료동식물폐기물, 적토(수산화알루미늄공정발생 잔재물) ⇒ '02년 폐산·폐알칼리 해양배출 종료 ⇒ '04년부터 음폐수 해양배출 ⇒ '06년 건설공사오니, 정수공사오니 해양배출 종료 ⇒ '12년부터 하수처리오니, 가축분뇨 해양배출 종료(그림 7)

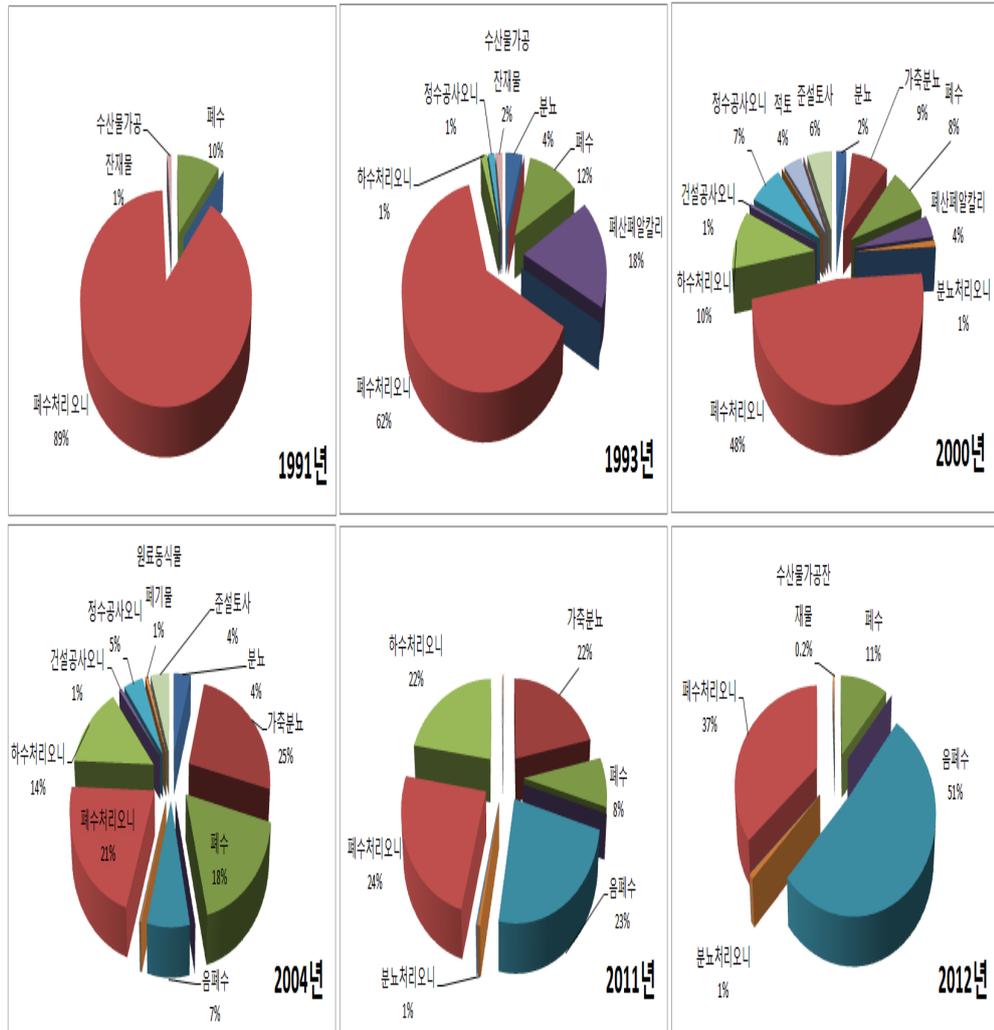


그림 7. 동해병해역의 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황

• 동해 정해역

'91년 폐수 해양배출 시작 ⇒ '92년부터 분뇨, 수산물가공잔재물 해양배출 ⇒ '02년부터 수저준설토사 해양배출 ⇒ '04년부터 음폐수 해양배출 ⇒ '07년부터 음폐수 해양배출 종료(해양환경관리법 개정) ⇒ '12년부터 분뇨, 가축분뇨, 원료동식물폐기물, 폐수 해양배출 종료(수저준설토사만 해양배출) (그림 8)

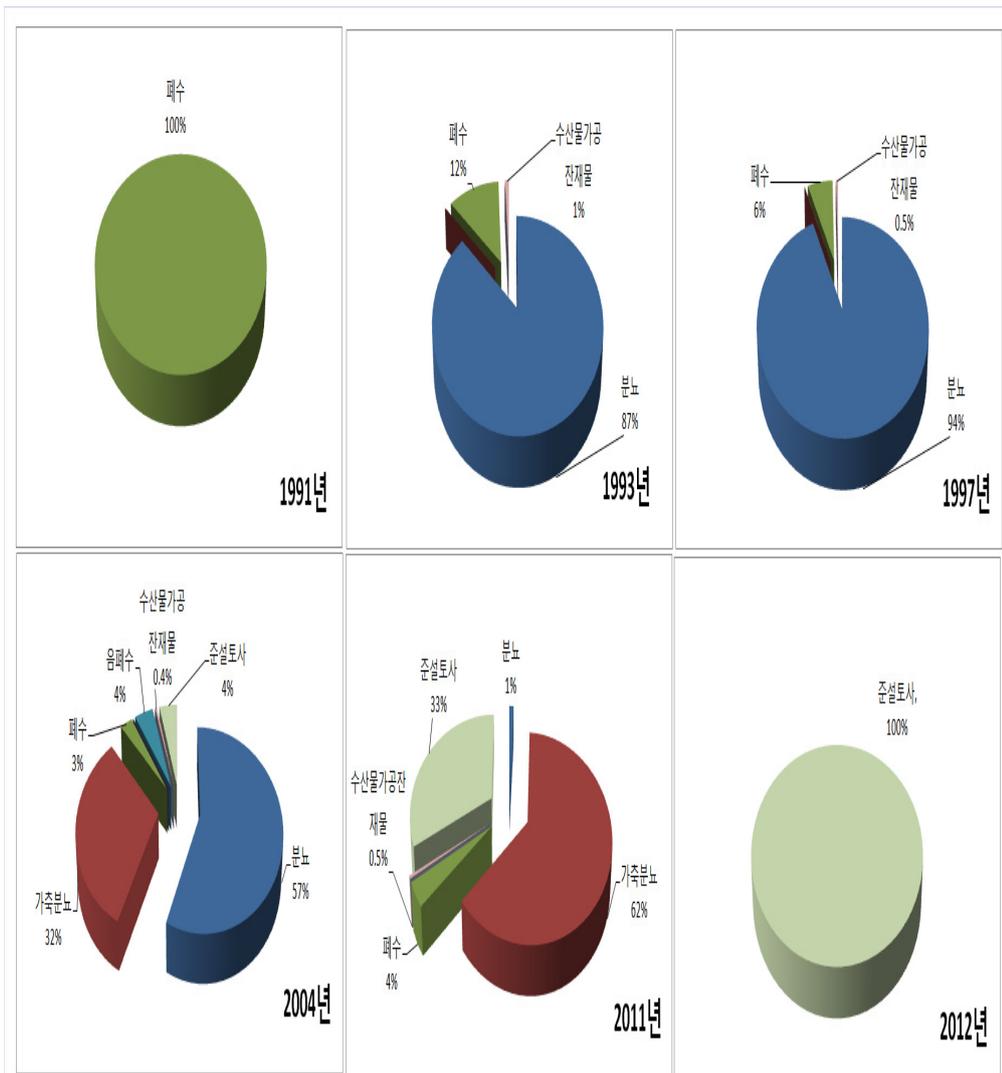


그림 8. 동해정해역의 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황

3. 폐기물 해양배출 저감정책 정착을 위한 홍보

- '12년에도 대중매체(TV·신문 인터뷰 등), 홈페이지, 홍보물 발간 및 세미나 개최등을 통해 정부의 해양배출 저감정책과 해양배출 금지에 대한 공감대 조성을 위해 지방자치단체 우수사례 및 재활용업체 우수 기술 등을 적극 홍보함.



2 장 폐기물 배출해역 건강상태 정밀조사

1. 배출해역 정밀모니터링 조사

○ 현장 조사 일시 및 정점 수

- 한국해양과학기술원 전문 해양조사 연구선인 이어도호(357톤) 및 해경훈련함틀 이용하여 해수, 퇴적물, 표영생태계 및 저서생물 등에 대한 건강상태 평가를 위한 정밀조사를 실시함(표 1).

표 1. '12년 배출해역 정밀모니터링 조사 일정 및 내용

조사 시기	사용 선박	조사 해역	조사 내용
5월 9 ~ 14일	이어도호	서해병해역	해수, 퇴적물, 생물
6월 5 ~ 12일	이어도호	동해병해역	퇴적물, 생물
7월 25 ~ 30일	해경훈련함	동해정해역	해수, 퇴적물, 생물

* 3월 시도된 동해병해역 조사는 악천후로 인해 수행하지 못함

- 폐기물 배출해역에서의 조사 정점 수는 총36개 구획임(그림 9).

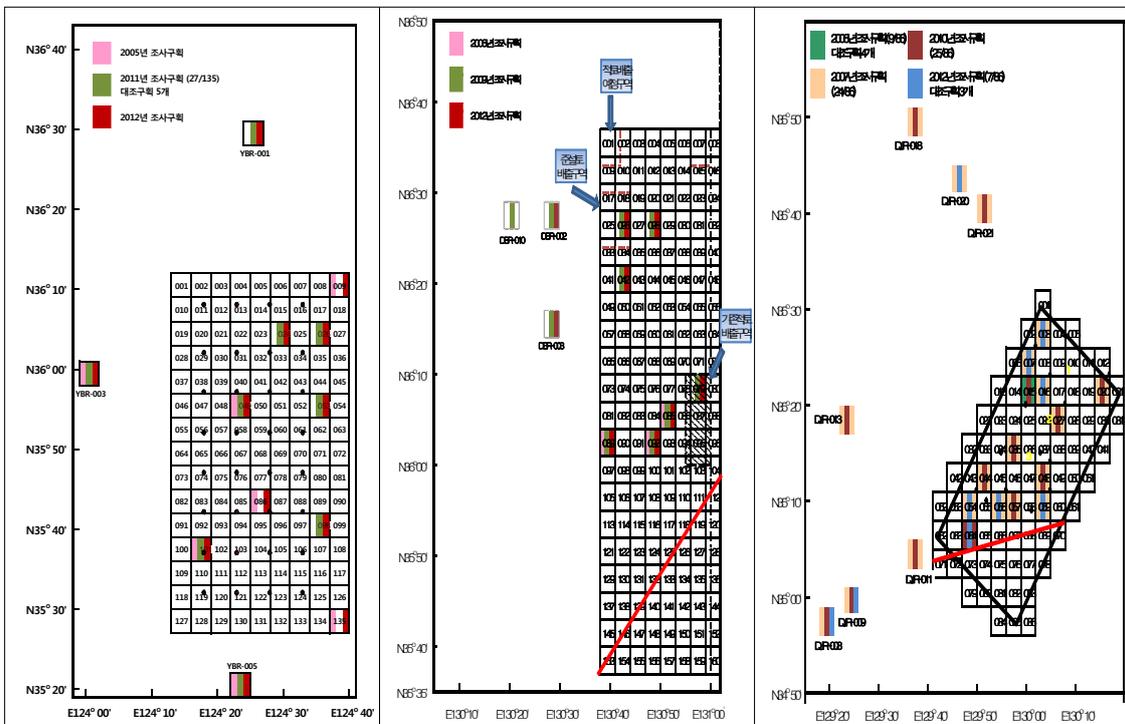


그림 9. 서해병(좌), 동해병(중), 동해정(우)해역 정밀모니터링 구획

2. 배출해역 정밀모니터링 주요 결과 요약

가. 표영생태계 건강상태 진단

○ 해수 건강상태

- 현장 조사 : '12년 5월 서해병해역과 7월 동해정해역 조사에서는 용존 산소, 입자성부유물질, 영양염류, 클로로필 및 식물플랑크톤의 생체형광 등 표영생태계 일차생산자의 생리 건강상태 평가를 위한 기본적인 항목들을 분석함.
- 배출해역별 형광반응지수: 식물플랑크톤의 생리적인 스트레스를 보여주는 형광반응지수(FRI; Fluorescence Response Index)는 서해병해역의 경우 0.43~0.69(평균 0.58)의 범위를 나타냈고 동해정해역의 경우 0.00~0.69(평균 0.39)의 범위로서, 심한 스트레스를 받는 지수 (<0.25)와 매우 양호한 광합성 활성도를 나타내는 지수(>0.6) 사이에 있음.
- 해역 수질 평가 :
 - 생활환경기준 및 사람의 건강보호기준(환경정책기본법 시행령 별표 1)
: 생활환경기준인 pH와 유분, 그리고 사람의 건강보호기준에 속한 시안과 페놀은 서해병 및 동해정해역 모두 해역 기준을 충족함
 - 수질평가지수(국토해양부고시 제2011-344호)
: 생태기반 해수수질 기준을 나타내는 수질평가지수(QWI)는 서해병해역의 경우 QWI 20~42로서, I(매우 좋음)~III(보통)등급이었고, 봄철 식물플랑크톤의 bloom으로 30m 수심에서만 보통으로 나타났고 전반적으로 II등급 중음을 나타냄. 동해병해역은 QWI 20~32로 I(매우 좋음)~II(좋음)등급을 나타냈고 50m 이상의 수심에서 영양염이 높게 나타나 II(중음)등급을 보였고 대부분 I 등급으로 매우 좋음 상태임.

○ 표영생태계 건강상태

- 부유생물 군집조사(식물플랑크톤의 종조성, 현존량)
 - '12년 5월 서해병해역 조사에서 식물플랑크톤 출현종은 총 24종이었음
 - 수심별로는 0m 수심에서는 규조류인 *Navicula sp. (small)*이 가장 우점하였으나, 50m 수심에서는 와편모조류인 *Gymnodinium sp. (small)*가 우점하여 각 수심별로 우점종이 상이하게 나타남(그림 10).

Species(Total- 37종)

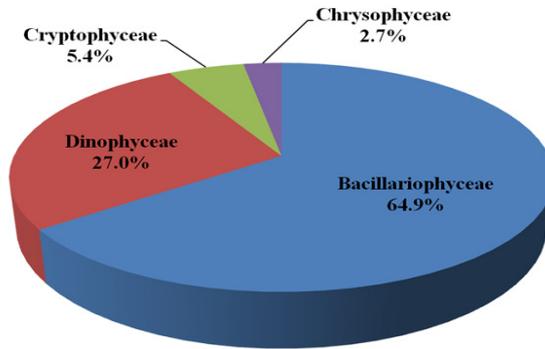


그림 10. 2012년 5월 서해병해역 식물플랑크톤 군집 종조성

- '12년 7월 동해정해역 조사에서 식물플랑크톤 출현종은 총 75종이었음
- 제1 우점종은 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*로 전체수심에서 18.4%로서 0m, 20m, 30m 수심에서 최우점종으로 나타났고 제 2 우점종도 *Chaetoceros costatum*으로 50m를 제외하고 모든 수심에서 차우점종을 차지함. 50m 수심에서는 *Navicula sp.(small)*로 33.5%로 최우점하였고 제 2우점종은 *Nitzschia seriata*로 50m 수심을 제외하고 유사한 종분포를 보였음(그림 11).

Species(Total- 75종)

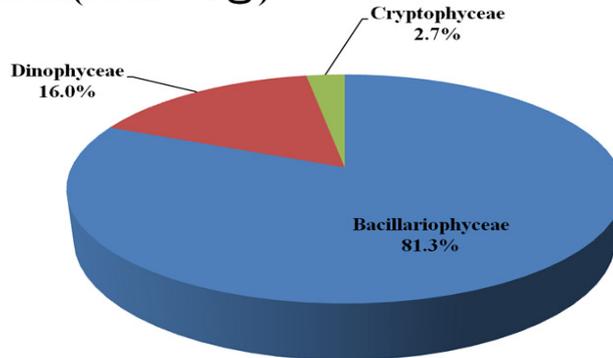


그림 11. 2012년 7월 동해정해역 식물플랑크톤 군집 종조성

- 부유생물 군집 다양성 지수(H), 종 균등도 지수
- 군집 다양성 지수 : 2012년 5월 서해병해역의 식물플랑크톤의 안정성을 평가하는 수단인 군집 다양성 지수의 범위는 0.27 (YB009, 0m)~ 2.42(YBR007, 50m), 평균 1.61로서 30m 수심을 제외하고 수심이 깊어 질수록 높은 종 다양성 지수를 나타내어 안정된 군집구조를 보였음.

- 군집 유사도 집괴 분석 : 서해병해역의 식물플랑크톤 군집 유사도 집괴 분석 결과, 크게 40% 이상의 유사도를 나타냈고 배출해역 중앙의 정점과 남부해역 정점의 유사도가 75%로 높게 나타났음.
- 2012년 7월조사시 동해정해역의 식물플랑크톤의 안정성을 평가하는 수단인 군집 다양성 지수의 범위는 1.30(DJ 003, 0m)~3.15 (DJR017, 50m), 평균 2.20으로서 20m 수심에서 높은 종 다양성 지수를 나타내어 안정된 군집구조를 보였음.
- 동해정해역의 식물플랑크톤 군집 유사도 집괴 분석 결과, 크게 배출해역의 북부와 남부 해역으로 구분됨

나. 해저퇴적물 건강상태 진단

○ 배출해역 정밀모니터링 수행

- 2012년 5월~7월에 걸쳐 3개 배출 해역에서 해저퇴적물을 채취하여 유기물, 중금속 및 유기독성물질 등을 분석함

○ 서해병해역 퇴적물 건강상태

- 휴식년 구역 퇴적물의 오염물질 농도 연간 변화
- 서해병해역 휴식년 구획의 유기물 농도 변화로서, 총유기탄소(TOC)는 과거에 비해 점차 감소하는 경향이지만, 총유기질소(TON)은 약간 증가하는 경향을 보임 (그림 12).

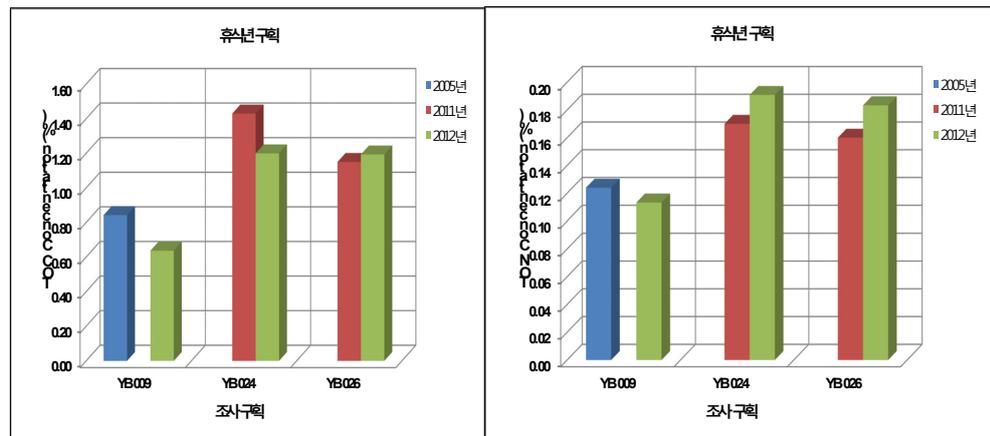


그림 12. 서해병해역 휴식년 구획의 퇴적물 중 TOC(좌)과 TON(우) 농도의 시계열 변화

- 퇴적물 중 중금속의 농도는 가장 오염이 심화된 YB-009 구획은 지속적으로 감소하고 있지만, 그 외의 구획은 중금속의 종류에 따라 감소 또는 유의한 변화가 나타나지 않았음(그림 13)

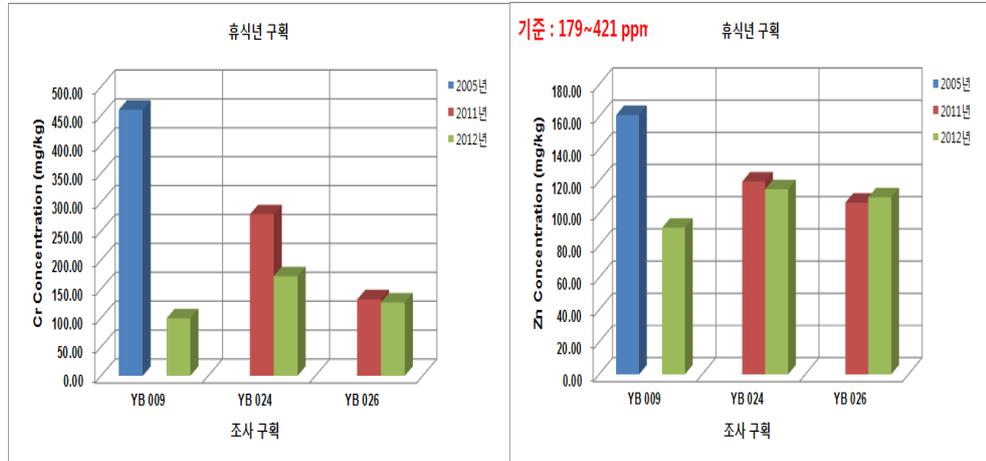


그림 13. 서해병해역 휴식년 구역의 퇴적물 중 크롬(좌)과 아연(우) 농도의 시계열 변화

- 책임구역 퇴적물의 오염물질 농도 연간 변화
 - 서해병해역 책임구역 퇴적물의 TOC 및 TON 농도 모두 과거에 비해 유의한 변화는 나타나지 않았음(그림 14).

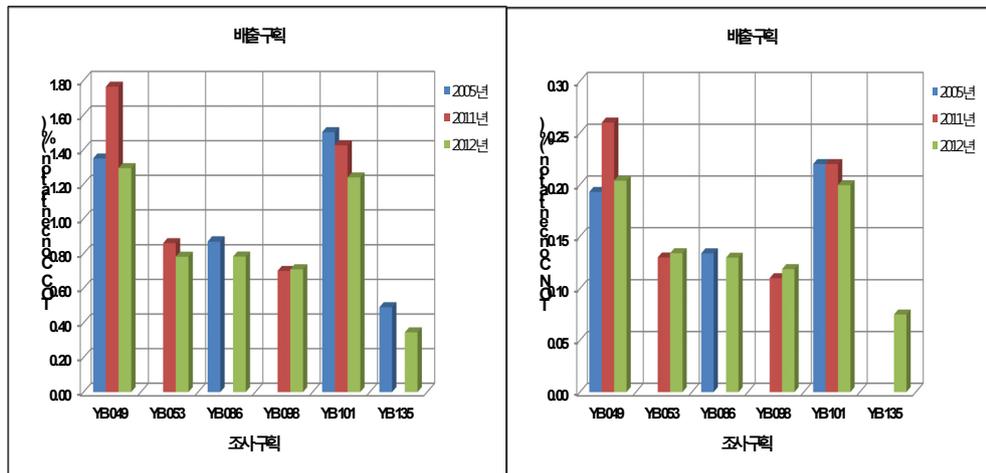


그림 14. 서해병해역 책임구역의 퇴적물 중 TOC(좌), TON(우) 농도의 시계열 변화

- 퇴적물 중 중금속의 농도는 일부 구획에서 약간 증가 또는 변화가 나타나지 않았지만, 책임구역의 폐기물 배출 시작으로 인하여 일부

구획의 표층 퇴적물에 중금속 오염이 시작되는 것으로 사료됨(그림 15)

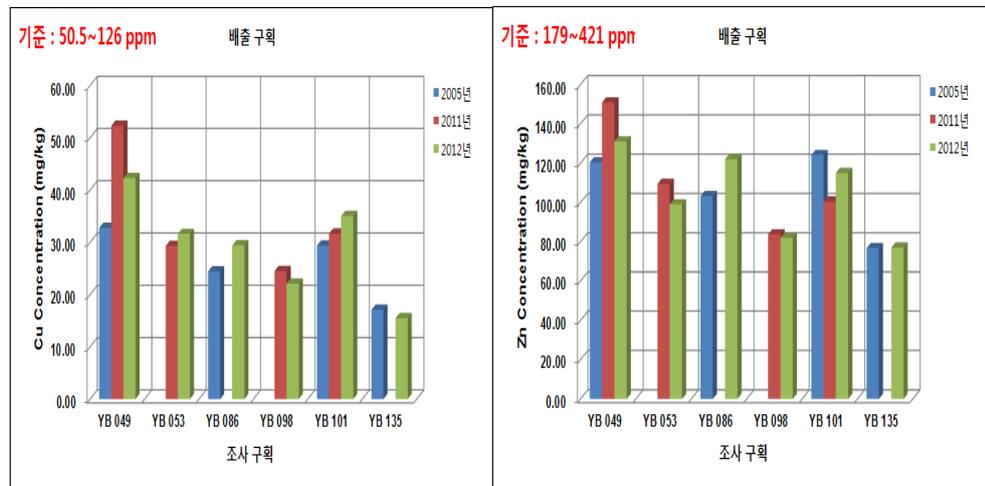


그림 15. 서해병해역 책임구획의 퇴적물 중 구리(좌), 아연(우) 농도의 시계열 변화

○ 동해병해역 퇴적물 건강상태

- 휴식년구역 퇴적물의 오염물질 농도 연간 변화
- 동해병해역 휴식년 구획의 유기물 농도의 변화 양상은 대부분 과거에 비해 지속적으로 감소하는 경향으로 나타남 (그림 16).

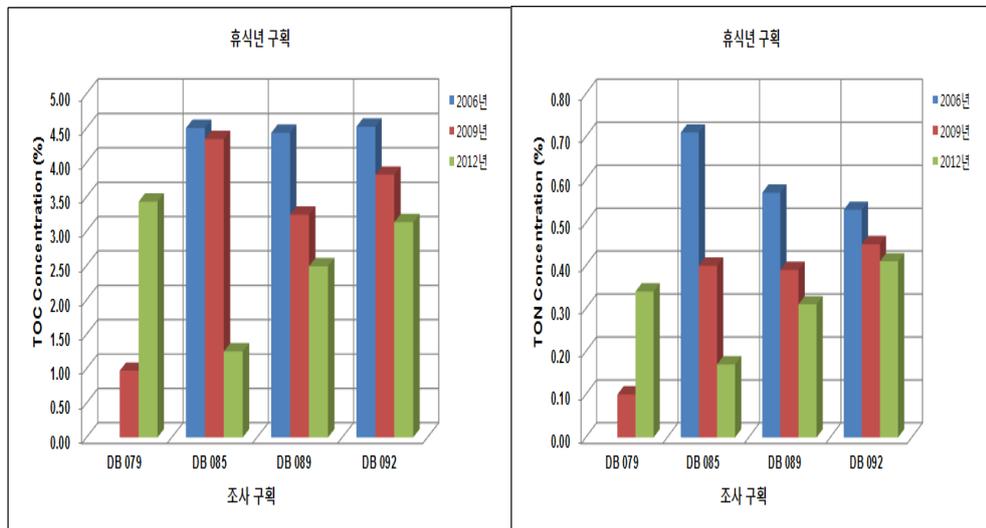


그림 16. 동해병해역 휴식년구획의 퇴적물 중 TOC(좌), TON(우) 농도의 시계열 변화

- 퇴적물 중 중금속의 농도는 역시 지속적으로 감소하고 있지만 일부 중금속은 해양환경관리법에서 규정하는 해양퇴적물의 주의기준을

여전히 초과하고 있어 지속적인 감시가 필요함(그림 17).

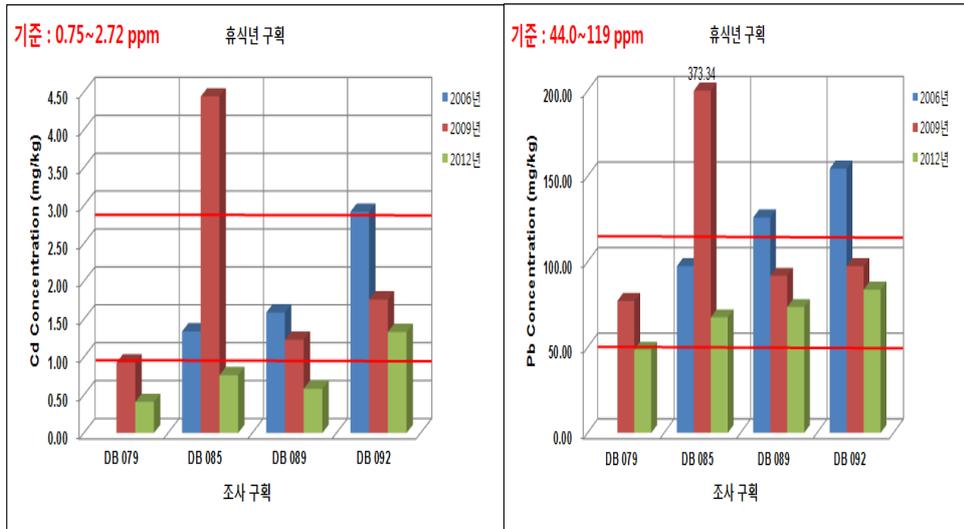


그림 17. 동해병해역 휴식년구역의 퇴적물 중 카드뮴(좌), 납(우) 농도의 시계열 변화

- 책임구역 퇴적물의 오염물질 농도 연간 변화
 - 동해병해역 책임구역의 유기물 농도의 변화 양상은 TOC 및 TON 모두 증가하는 양상이 나타남(그림 18).

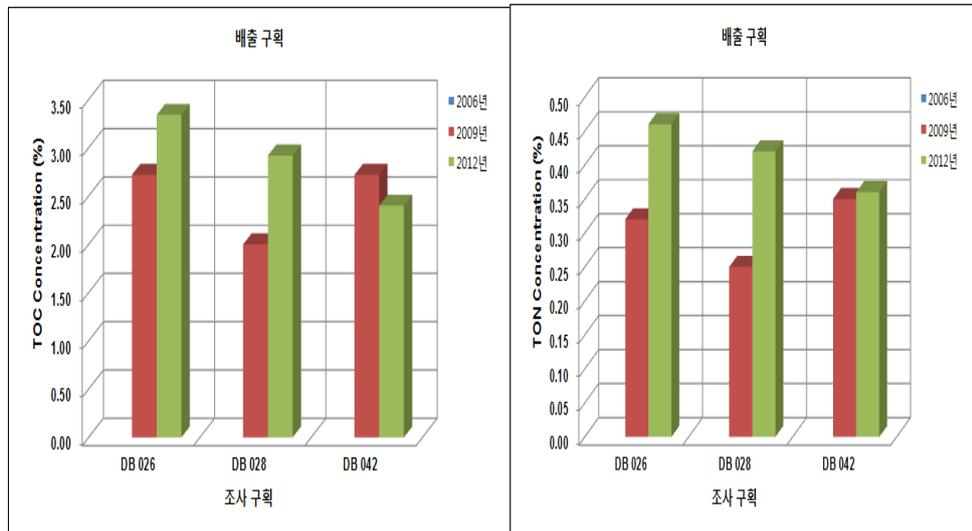


그림 18. 동해병해역 책임구역의 퇴적물 중 TOC(좌), TON(우) 농도의 시계열 변화

- 퇴적물 중 중금속의 농도 역시 전반적으로 약간 증가하고 있어, 책임구역의 폐기물 배출 시작으로 인하여 표층 퇴적물에 중금속

오염이 시작되는 것으로 사료됨(그림 19)

- 일부 구획에서는 해양퇴적물의 중금속 주의기준을 초과하고 있어 지속적인 감시가 필요함

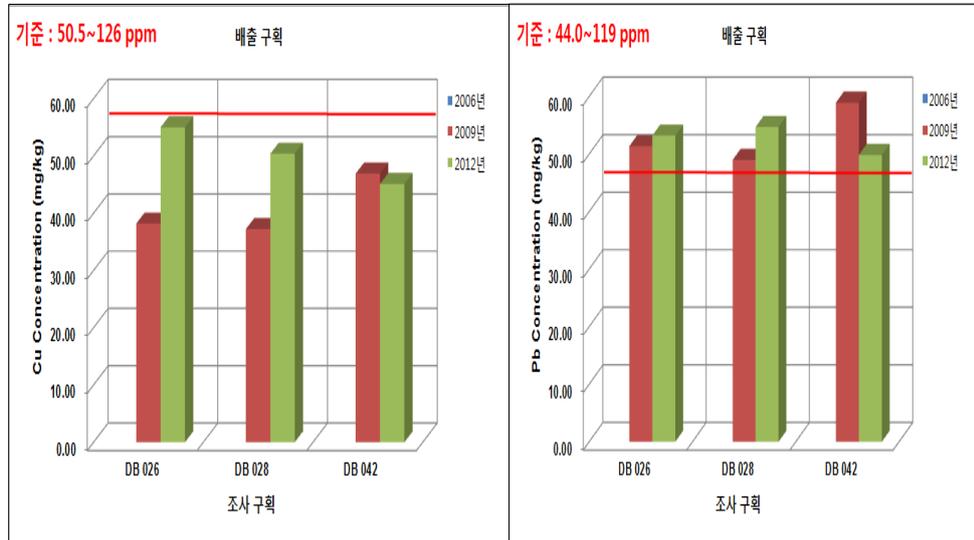


그림 19. 동해병해역 책임구역의 퇴적물 중 구리(좌)와 납(우) 농도의 시계열 변화

○ 동해정해역 퇴적물 건강상태

- 책임구역 퇴적물의 오염물질 농도 연간 변화
- 동해정해역 책임구역 퇴적물의 TOC 및 TON 모두 감소하는 양상을 보임(그림 20).

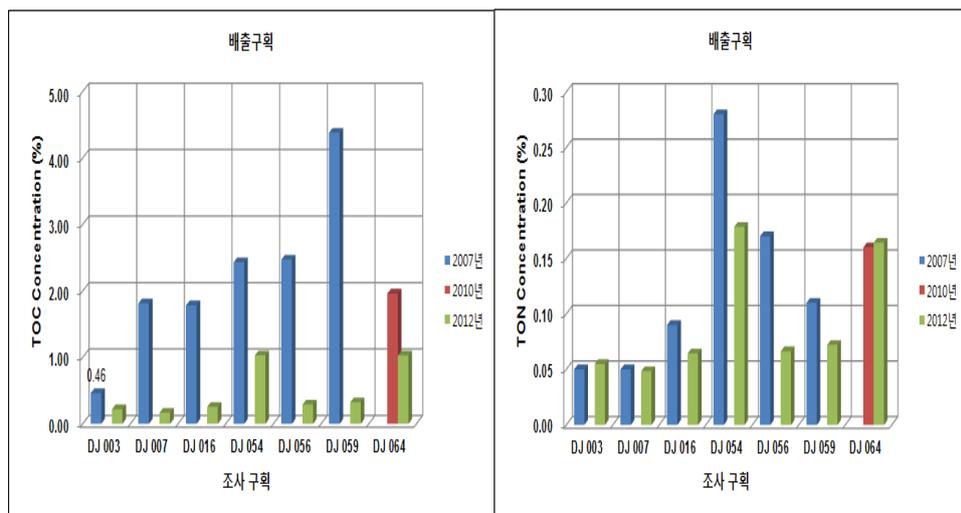


그림 20. 동해병해역 책임구역의 퇴적물 중 TOC(좌), TON(우) 농도의 시계열 변화

- 퇴적물 중 중금속의 농도 동해정해역 중앙부에서 전반적으로 약간 증가함(그림 11).
- 2012년도에 동해정해역에 폐기물 배출은 없었지만 과거 배출되었던 폐기물 기원의 유기물이 분해되어 유기물양이 감소함에 따라 중금속 농도가 상대적으로 높아지는 농축효과가 나타나고 있는 것으로 사료됨

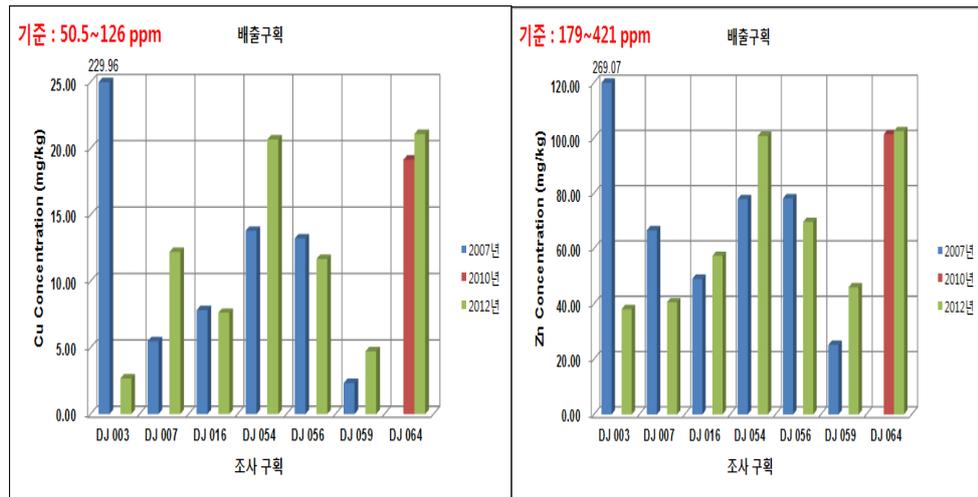


그림 21. 동해병해역 책임구역의 퇴적물 중 구리(좌)와 아연(우) 농도의 시계열 변화

다. 저서생물 건강상태 진단

○ 배출해역 정밀모니터링 수행

- 2012년 5월에 서해병, 6월 동해병, 7월 동해정해역에서 정밀모니터링을 실시하여 대형 저서동물 표본을 확보하였음

○ 대형 저서동물 군집구성 주요 결과(표 2)

- 서해병해역
 - 출현 종수: 배출해역(37)>휴식년해역(31)>대조해역(27)
 - 평균 서식밀도(개체/m²): 배출해역(453)>휴식년해역(370)>대조해역(228)
 - 평균 생체량(gWWt/m²): 배출해역(144.51)>대조해역(51.81)>휴식년해역(38.82)
- 동해병해역
 - 출현 종수: 대조해역(12)>휴식년해역(11)>배출해역(7)

- 평균 서식 밀도(개체/m²): 휴식년해역(771)>배출해역(493)>대조해역(308)
- 평균 생체량(gWWt/m²): 휴식년해역(28.67)>배출해역(2.55)>대조해역(1.72)
- 동해정해역
 - 출현 종수: 배출해역(87)>대조해역(51)
 - 평균 서식밀도(개체/m²): 배출해역(513)>대조해역(446)
 - 평균 생체량(gWWt/m²): 배출해역(112.56)>대조해역(87.93)

표 2. 배출해역별 출현 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수,(종수/m²), 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Number of species			Density			Biomass		
	서해병	동해병	동해정	서해병	동해병	동해정	서해병	동해병	동해정
Annelida	18	8	40	273	135	250	37.02	0.96	15.40
Mollusca	6	9	25	53	385	82	26.56	11.68	21.96
Arthropoda	6	-	25	65		67	0.11	-	0.93
Echinodermata	2	-	9	22		83	2.64	-	62.30
others	5	1	4	40	>1	12	42.05	0.12	4.57
total	37	18	103	453	520	493	108.38	10.54	105.17

○ 대형저서동물 우점종 결과(개체수 기준)

- 서해병
 - 배출해역: 환형동물 다모류인 *Melinna elisabethae*(23.0%), *Nothria otsuchiensis*(22.4%) 및 절지동물 갑각류인 *Eudorella pacifica*(11.6%) 등 우점
 - 대조해역: 연체동물 조개류인 *Thyasira tokunagai*(23.4%), 강장동물인 *Harenactis attenuata*(15.1%) 및 다모류인 *Nothria otsuchiensis*(11.2%) 등 우점
 - 휴식년해역: 환형동물 다모류인 *Melinna elisabetha* (40.2%), *Nothria otsuchiensis*(14.1%) 및 연체동물 다모류인 *Thyasira tokunagai*(11.1%) 등 우점
- 동해병
 - 배출해역: 환형동물 다모류인 *Capitella capitata*(64.5%), 연체동물 조개류인 *Axinopsida subquadrata*(21.1%) 등 우점
 - 대조해역: 연체동물 조개류인 *Yoldiella phillippiana*(74.3%), A.

subquadrata(8.1%) 등 우점

- 휴식년해역: 연체동물 조개류인 *A. subquadrata*(89.0%), 환형동물 다모류인 *Armandia lanceolata*(3.3%) 등 우점
- 동해정
 - 배출해역: 환형동물 다모류인 *Asychis pigmentata*(30.7%), *Chaetozone setosa*(8.2%) 및 극피동물인 *Ophiura sarisi*(7.0%) 등이 우점
 - 대조해역: 극피동물인 *O. sarisi*(36.6%), 연체동물 조개류인 *Nuculana yokoyamal yokoyamal*(12.0%) 등 우점

○ 대형 저서동물 군집지수 평가

- 서해병
 - 평균 종 다양성 지수: 배출해역(2.18)>대조해역(2.15)>휴식년해역(1.91)
 - 평균 종 균등도 지수: 대조해역(0.85)>배출해역(0.77)>휴식년해역(0.69)
 - 평균 종 풍부도 지수: 배출해역(2.72)>휴식년해역(2.53)>대조해역(2.28)
- 동해병
 - 평균 종 다양성 지수: 배출해역(1.04)>대조해역(0.77)>휴식년해역(0.28)
 - 평균 종 균등도 지수: 배출해역(0.67)>대조해역(0.55)>휴식년해역(0.21)
 - 평균 종 풍부도 지수: 배출해역(0.64)>대조해역(0.53)>휴식년해역(0.43)
- 동해정
 - 평균 종 다양성 지수: 배출해역(2.12)>대조해역(2.09)
 - 평균 종 균등도 지수: 대조해역(0.76)>배출해역(0.73)
 - 평균 종 풍부도 지수: 배출해역(2.93)>대조해역(2.60)

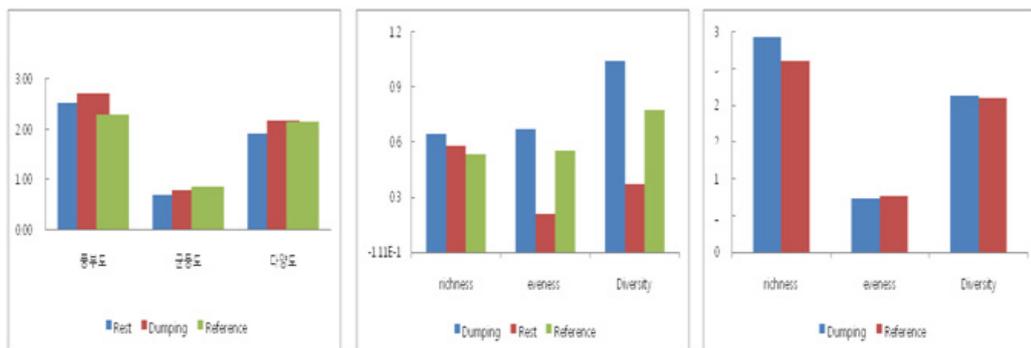


그림 22. 배출해역별 생태학적 제지수(左: 서해병, 中: 동해병, 右: 동해정)

○ 배출해역별 저서생물군집 건강도 평가

- 서해병 : 저서건강도는 약간 오염된 상태에서 건강한 상태를 나타냈음
 - 해역별 건강도는 현 배출해역>휴식해역>비 배출해역의 순으로 나타났으나 모두 평균 60이상으로 건강한 상태를 보였음.
 - 서해병 해역에서는 총 4종의 기회종이 출현하였으나, 서식밀도는 20 개체/m² 미만으로 적었음
- 동해병 : 저서 건강도는 매우 심하게 오염된 상태에서 건강한 상태 까지 편차가 크게 나타났음
 - 해역별 건강도 : 비 배출해역>휴식해역>현 배출해역의 순으로 나타났음
 - 기회종은 총 4종이 출현하였고, 현 배출해역에서 높은 서식밀도를 보였음
- 동해정 : 저서건강도는 약간 오염된 상태에서 건강한 상태로 나타났음
 - 해역별 건강도는 비 배출해역>현 배출해역의 순으로 나타났음
 - 기회종은 총 5종이 출현하였고, 현 배출해역에서 서식밀도가 높게 나타났음
- 동해병과 서해병 해역에서는 휴식년제 시행으로 인해 기회종의 현 존량 감소가 나타났음

라. 저서생물 유해성 평가

○ 배출해역 정밀모니터링 수행

- 폐기물 해양배출로 인한 퇴적물 공극수의 독성을 알아보기 위해 성게 배아를 이용한 수정 및 발생률 실험과 눈썹참갯지렁이 유전자 지표를 이용한 환경스트레스 실험을 실시함

○ 배출해역별 평균 수정율

- 서해병해역
 - 해역별 평균 수정률은 비 배출해역>현 배출해역> 휴식해역의 순으로 나타났음
 - 휴식년해역의 YB 024에서의 수정률이 가장 낮았고, 배출해역의 YB 098, 비배출해역의 YBR 003에서 80%이하의 수정률을 보였음

- 동해병해역
 - 해역별 평균 수정률은 휴식해역> 현 배출해역> 비배출해역의 순으로 나타났음
 - 비배출해역의 DBR 003에서 수정률 49.4%로 가장 낮았고, 나머지 정점들에서는 모두 80% 이상의 수정률을 보였음
- 동해정해역
 - 해역별 평균 수정률은 현 배출해역> 비배출해역의 순으로 나타났음
- 배출해역별 평균 발생률
 - 서해병해역
 - 해역별 평균 발생률은 휴식해역> 현 배출해역> 비 배출해역의 순으로 나타났으나, 모두 10%미만으로 낮은 값을 보였음
 - 비배출해역의 YBR 003, 휴식해역의 YB 024, 현 배출해역의 YB 053, 098, 101에서는 모두 'dead' 상태를 보였고, YBR 001, 005, YB 009, YB 049에서는 기형상태인 'malform'의 비율이 40%이상 나타났음
 - 동해병해역
 - 해역별 평균 발생률은 휴식해역> 비 배출해역> 현 배출해역의 순으로 나타났음
 - 비배출해역의 DBR 003에서는 모두 'dead' 상태를 보였고, DBR 002, 010, DB 026, 042, 079, 085, 089에서는 기형상태인 'malform'의 비율이 가장 높았음
 - 동해정해역
 - 해역별 평균 발생률은 현 배출해역> 비 배출해역의 순으로 나타났음
 - 비 배출해역의 DJ 020, 현 배출해역의 DJ 003, 007에서는 모두 'dead' 상태를 보였고, DJR 008, 009, DJ 054, 059에서는 기형상태인 'malform'의 비중이 가장 높았고, DJ 016에서는 발생 지연 상태인 'retard'와 'malform'의 비중이 유사하였음

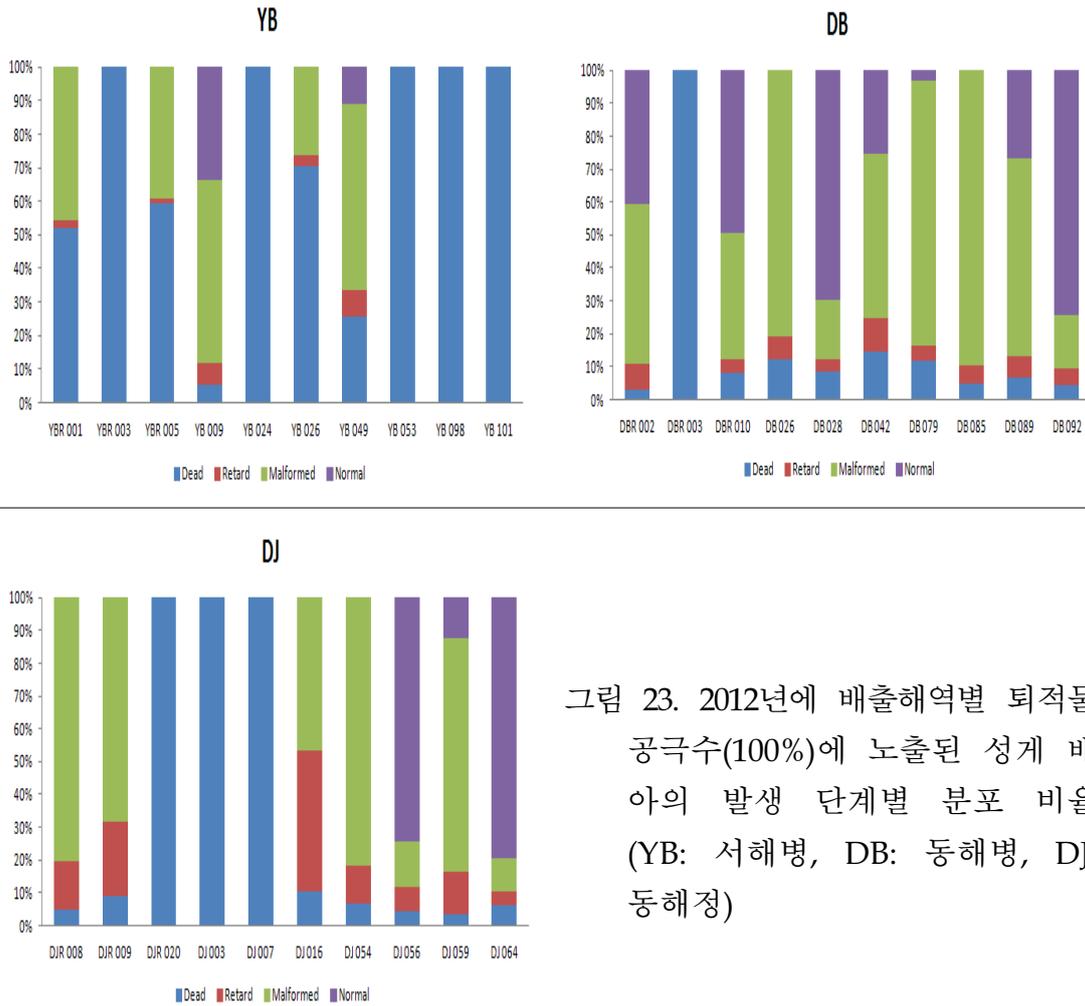


그림 23. 2012년에 배출해역별 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 발생 단계별 분포 비율 (YB: 서해병, DB: 동해병, DJ: 동해정)

○ 환경 스트레스 유전자지표를 적용한 퇴적물의 생물독성 평가

- 서해병해역
 - YB-009 정점에서 추출한 공극수에 노출한 개체에서 적용한 목적 유전자의 발현양이 현격하게 증가 또는 감소되는 것을 확인함
 - 목적 유전자의 발현양 변화를 기초로 각 정점들의 오염도를 유추해보면, YB-009가 가장 심하며, YB-053, YB-101, YB-049, YB-098 및 YBR-001의 순으로 예상됨
- 동해병해역
 - DB-026 정점에서 추출한 공극수에 노출한 개체에서 적용한 목적 유전자의 발현양이 현격하게 증가 또는 감소되는 것을 확인함
 - 목적 유전자의 발현량 변화를 기초로 각 정점들의 오염도를 유추해

보면, DB-026 정점의 오염이 가장 심하며, DBR-010, DB-092, DB-079, DB-089의 순으로 추측됨. 대조해역으로 선정한 투기지역 외부의 DBR-010은 대조 정점으로서의 역할을 하지 못할 정도로 생물 스트레스 요인을 내포하고 있는 것으로 추정됨

- 동해정해역
 - DJ-056 정점에서 추출한 공극수에 노출한 개체에서 적용한 목적 유전자의 발현양이 현격하게 증가 또는 감소되는 것을 확인함
 - 목적 유전자의 발현양 변화를 기초로 각 정점들의 오염도를 유추해 보면, DJ-056, DJ-059, DJR-009, DJ-016, DJ-064의 순으로 예측됨

마. 동해 병해역 수산생물 안전성 진단

○ 시료 채집

- 동해병해역은 수심이 깊고 정착성 부착 생물인 홍합이 조사해역에 생존하고 있지 않기 때문에, 근육 내 생물농축을 평가하고자 배출 및 비배출해역에서 비교적 이동성이 적은 대게(*Chionoecetes Opilio*) 및 붉은대게(*Chionoecetes Japonicus*)를 어획하여 생체 내의 중금속을 분석함

○ 해양배출 저감정책 효과 검증

- 어획된 대게(*Chionoecetes Opilio*) 및 붉은 대게(*Chionoecetes Japonicus*)의 경우 비배출해역에 비해 배출해역에서 농도가 높았으나, 우리나라 수산물 안전기준이내의 농도를 보였음(그림 24).
- 배출해역에서 어획된 붉은 대게(*Chionoecetes Japonicus*)의 근육 내에서 오폐수의 생물축적 지시성분인 은 (Ag)이 미량 검출되었으나 비배출 해역에서 어획된 대게 근육 내에서는 검출한계 이하였다.
- 동해 병해역에서 2006년부터 2012년까지 붉은 대게의 근육내 중금속 농도의 연간 변동은 비소(As), 크롬(Cr) 및 수은(Hg)의 경우 증가하는 경향을 보이며, 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb) 및 아연(Zn)등의 농도는 감소하는 경향을 보였다.

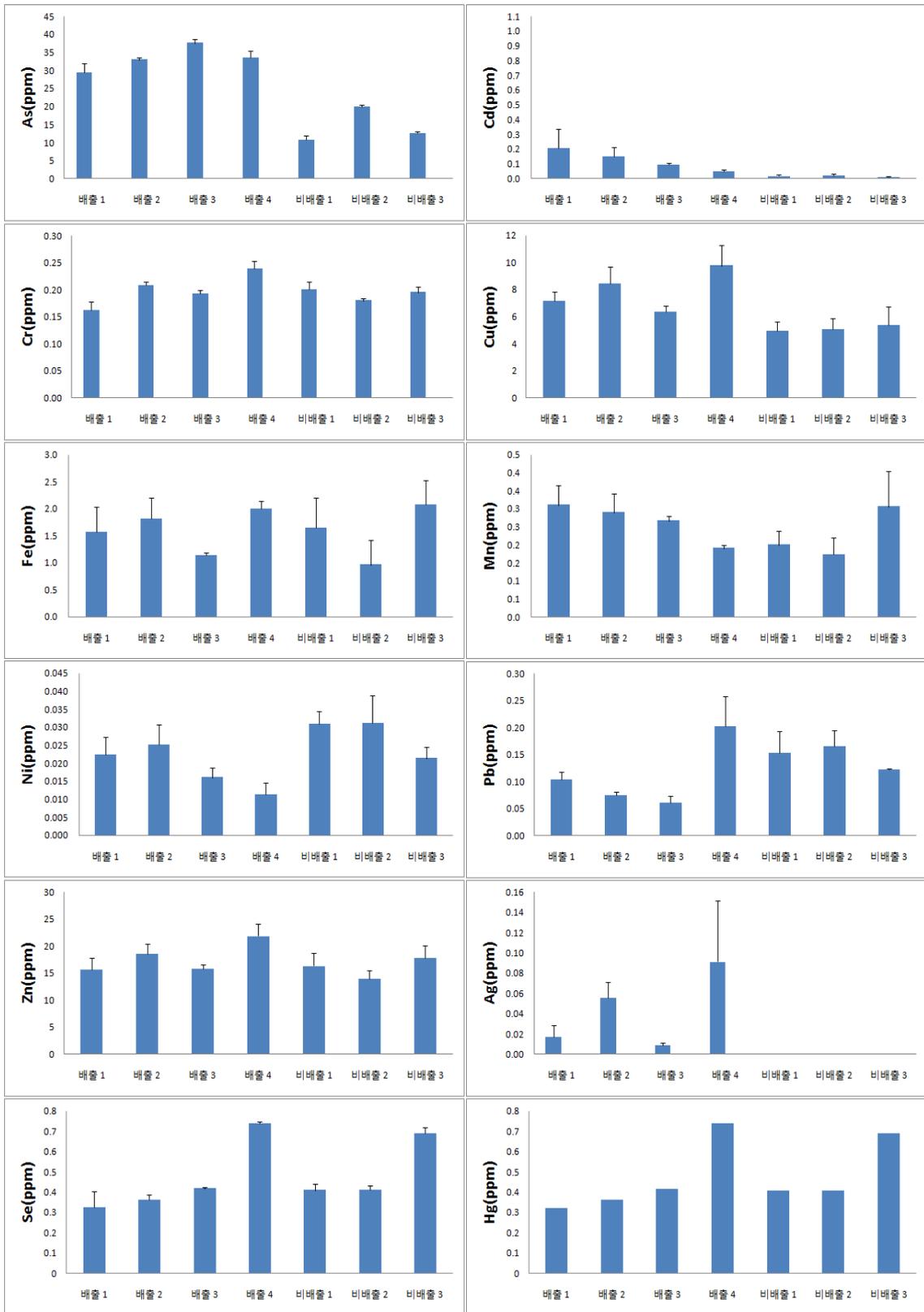


그림 24. 폐기물 배출해역에서 어획된 붉은 대게 및 대게 근육 내 중금속의 평균농도 및 편차

○ 수산자원 조사

- 동해병해역 수산자원의 변동을 파악하기 위해 '03~'12년간('12년은 1월에서 10월 자료) 어업별 조업실태 및 어획 동향을 분석함.
- 어획량 : 9년 10개월간 907척이 11,010일 조업을 하여 7,593톤을 어획한 것으로 나타남. 연도별로 살펴보면 2003년에 392톤에서 2004년 534톤, 2005년 400톤이었으며, 2006년 1,136톤을 가장 높은 값을 보였음. 2007년에 728톤, 2008년 865톤, 2009년에 677톤이었으며 이후 어획량이 증가하여 2012년에 10개월동안 1,051톤이 어획되었음.
- 월별 조업실태 : 1월에 2,118톤으로 가장 높았고, 12월에 1,426톤, 10월에 843톤, 11월에 770톤, 9월에 580톤의 순이었음. 7월과 8월에는 각각 55톤, 30톤으로 가장 낮은 값을 보였음(그림 25).

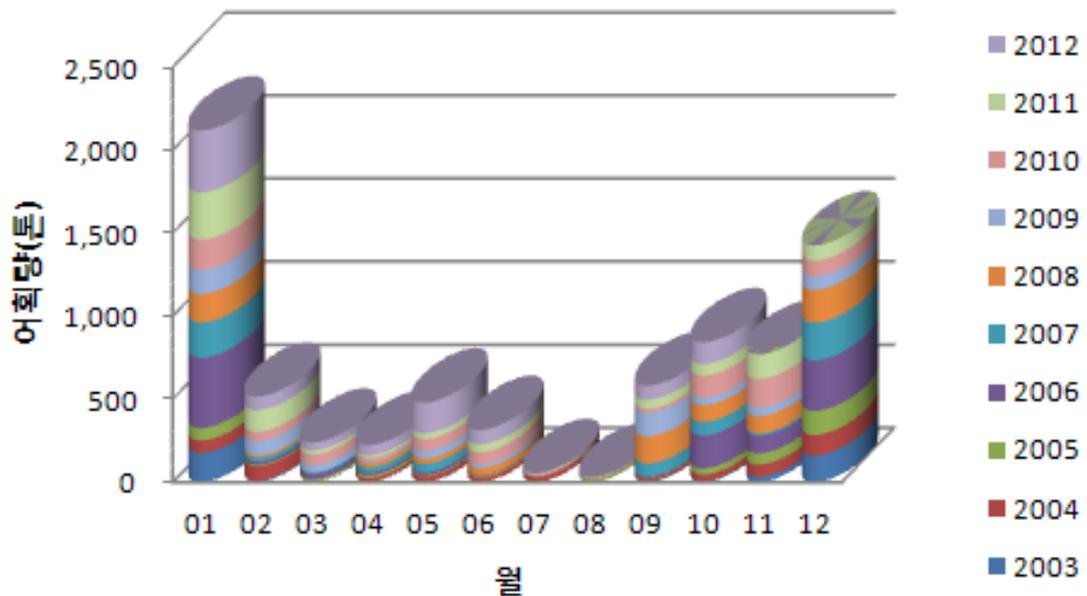


그림 25. 동해병해역에서의 년/월별 어획량

- 어업별 : 근해채낚기어업이 436척으로 전체 어업척수의 48.1%로 가장 많았고, 근해유자망어업이 104척(11.5%), 기타통발어업이 70척(7.7%), 근해외출 낚시어업 65척(7.5%) 순이었음, 다음으로 근해연승어업, 연안자망어업, 연안 복합어업, 동해구트롤어업, 동해구기선저인망어업, 외끌이서남해구기선저인망 어업 순이었으며, 그 외 조업어선은 미미함.

3장 런던의정서 준수 지원

1. 런던협약 및 런던의정서 동향 분석

○ 런던협약 및 런던의정서 당사국 현황 정리

- '12년까지 런던협약 당사국 수는 총 87개국이고, 런던의정서 당사국 수는 필리핀이 '12년 6월에 가입하여 총 42개국임.

* 우리나라는 런던협약에 '93년 12월 21일 가입서를 기탁하고 '94년 1월 20일에 당사국 지위를 확보했으며 런던의정서는 '09년 1월 22일 가입서를 기탁하여 동 년 2월 21일에 당사국 지위를 확보함

○ 2012년 런던협약 및 런던의정서 관련 정기회의 지원

- '12년 개최된 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의와 당사국회의를 지원하고, 동 회의들에서 논의된 상세 결과를 정리하여 본문에 제공
- 런던협약 및 런던의정서 합동 정기회의(표 3).

표 3. 2012년에 개최된 런던협약 및 런던의정서 합동 정기회의

35	6	5	21 ~ 25
5	가	10	27 ~ 28
34	7	10	29 ~ 11 2

○ 런던협약 및 런던의정서 회의에서의 논의 동향 정리

- 최근 5년간 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의와 당사국회의에서 논의된 결과를 주요 의제별로 본문에 요약 정리하여 본문에 제공

* 당해 연도에는 해양시비 관리방안, 당사국 준수사항과 런던의정서 가입유도를 위한 기술협력 등이 중점적으로 논의됨

2. 런던협약 및 런던의정서 회의 지원 및 기술협력

○ '12년 런던협약/의정서 정규회의에서의 아국관련 주요 성과

가	<ul style="list-style-type: none"> '12 5 (3) () ()
	<ul style="list-style-type: none"> 가 ('10~'11)
	<ul style="list-style-type: none"> : (Ms. Sue Milburn-Hopwood,), 1 (Mr. Ibraheem Olugbada,), 2 (Mr. ,) : (,), 1 (Ms. Linda Porebsk,), 2 (Mr. Darall Brown,)

○ '12년 런던협약/의정서 기술공동협력에서의 아국 기여

- 아시아태평양지역 워크숍 및 합동과학그룹회의 성공적 개최
 - 개최 일시 및 장소 : '12년 5월 14~18일, 제주 KAL호텔
 - 참가국 현황 : 대한민국, 보르네오, 캄보디아, 칠레, 차이나, 코스타리카, 엘살바도르, 과테말라, 온두라스, 인도네시아, 일본, 멕시코, 미얀마, 니카라과, 파나마, 필리핀, 싱가포르, 스리랑카, 태국, 베트남, 키리바시, 마셜군도, 파푸아뉴기니, 솔로몬군도, 통가, 마나투, COCATRM, 캐나다, 독일, 네덜란드, 영국, 미국, 국제해사기구, 국제항만협회, 세계준설협회
 - 참가자 : 총 88명
 - 분야별 강연 및 발표
 - : 런던의정서 규정 및 각 참가국들의 폐기물 해양투기로부터 해양환경보호를 위한 현황 등
 - 워크숍 강연집 IMO 제출



○ 런던의정서 관련 정보 제공 및 홍보

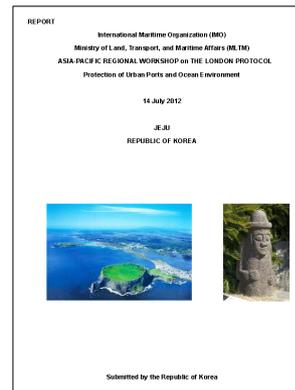
- 런던협약/의정서 정규회의 결과 번역본 발간 및 배포

: ‘12년 런던의정서 정기회의(당사국회의, 과학그룹회의, 준수그룹회의)에서 채택된 사안에 대한 정책 반영을 위해 회의결과 보고서 한글 번역본을 발간·배포함



- 아시아·태평양지역 워크숍 강연집 발간 및 배포

: ‘12년 5월 14 ~ 18일, 제주 KAL호텔에서 개최된 아시아태평양지역 워크숍에서 강연된 모든 자료를 정리·발간하여 배포함



- 런던협약/의정서 당사국 폐기물 해양투기 동향 분석 및 자료 제공

: 런던협약 및 의정서 사무국에 제출된 보고서를 토대로 당사국들의 2001~2010년까지의 주요 당사국의 해양배출 폐기물 품목 및 해양배출량을 요약·정리하여 본문에 제공함

○ 런던의정서 당사국 준수평가그룹 활동 분석

- 준수그룹 위원 아국 재선출
 - 김영석교수(이화여대)가 아태지역을 대표하는 3년 임기 신규위원으로 선출되었고, 동 그룹에서 선도적 역할을 수행
- 준수그룹 활동 분석
- ‘12년 런던의정서 준수그룹 회의 결과 정리와 이를 토대로 아국이 준수 평가를 위해 준비하여야 할 사안들을 정리하여 본문에 제공

4장 폐기물 해양배출제도 선진화 지원

1. 해양배출 저감정책 완착을 위한 제도 개선 지원

○ 육상폐기물 해양배출 제로화 지원

- 육상폐기물 해양배출 제로화를 위한 법령 개정(안) 지원
 - 해양환경관리법 시행규칙 개정안 제시(국토해양부령 제555호로 ‘12월 21일 공포)

- 개정 이유

: 해양환경 보호를 위하여 분뇨 및 분뇨오니의 해양배출을 금지하고, 산업폐수 및 폐수오니의 해양배출은 2013년 12월 31일까지만 허용하되, 해양배출이 불가피한 경우에는 2015년 12월 31일까지 해양배출을 허용할 수 있도록 하여 육상폐기물의 해양배출 감축을 단계적으로 달성하려는 것임

- 주요 내용

- ① 산업폐수 등 육상폐기물의 해양배출 금지 (안 별표 6 제1호, 별표 6 비고4 신설, 부칙 제1조)

분뇨와 분뇨오니는 2013년 1월 1일부터, 산업폐수와 폐수처리오니는 2014년 1월 1일부터 해양배출을 각각 금지함

음식물류 폐기물 폐수를 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리 시설에서 처리한 경우라도 액상이나 오니는 해양에 배출할 수 없도록 명문화함

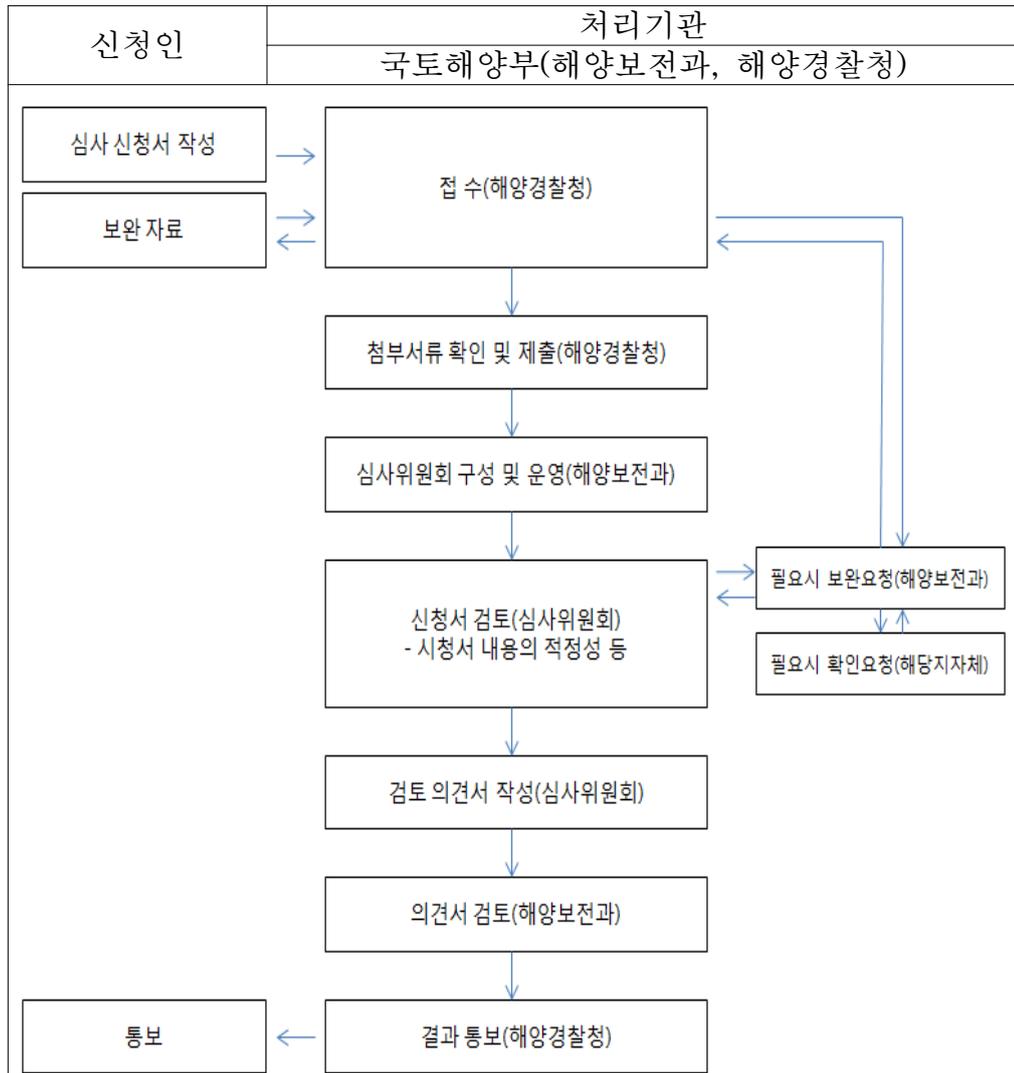
- ② 예외적 해양배출 한시 허용 (안 부칙 제2조)

산업폐수 또는 폐수처리오니 해양배출 위탁업소가 해양배출이 외의 방법으로는 폐기물처리가 현저히 곤란하여 해양배출이 불가피하다고 국토해양부장관이 인정하는 경우에 한해 2015년 12월 31일까지 해양배출을 한시 허용할 수 있는 근거를 마련함

예외적 해양배출 한시 허용을 위한 신청서(안) 및
심사위원 구성운영 규정(안) 제시

예외적 해양배출 한시 허용을 위한 심사 신청서(안)		
1. 신청자	상호명 / 대표자 성명	/
	주소	
	연락담당자 성명/ 전화번호/이메일	/ /
2. 한시 허용 신청 폐기물에 대한 기술		
가. 폐기물 종류 (해당부분에 √)	폐수	폐수처리오니
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
나. 해양배출 신청량	_____ m ³	
다. 업종별 폐기물 종류 (수질및수생태계보전에 관한법률 시행규칙 별표 4)	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수배출시설 명 : _____ • 한국표준산업분류 번호 : _____ 	
4. 신청 폐기물 발생 경로	(처리공정도 첨부)	
5. 신청 폐기물 특성	(검사성적서 첨부)	
6. 해양배출 불가피 사유	('12, '13년 모두 해양배출 위탁한 업소만 해당)	
7. 유예 신청 기간 및 이에 대한 사유	<ul style="list-style-type: none"> • 유예신청기간 : <u> </u>년 <u> </u>월 <u> </u>일 ~ <u> </u>년 <u> </u>월 <u> </u>일 • 사유 : _____ 	
8. 향후 처리 계획 (유예기간 이후 대안)		

이 신청서는 아래와 같이 처리된다(신청서 뒷면)



폐기물 위탁자 특례에 관한 심사위원회 구성 및 운영 규정(안)

제 1 조 (심사위원회 구성)

- ① 국토해양부장관은 해양환경관리법 제 XX호의 X에 따라 폐기물 위탁자에 관한 특례 심사를 요청받는 경우, 이에 관한 전문적이고 효율적인 검토·심의를 위하여 위원장 1인을 포함한 6인 이내의 위원으로 구성된 심사위원회를 구성한다.
- ② 심사위원회는 폐기물 위탁자의 특례신청을 심의함에 있어서 폐기물 위탁자가 제출한 “해양배출 한시 허용 신청서”의 서류 심사로 해양배출이 불가피한지 여부(단 단순비용 상승 사유는 제외)를 심사한다.

제 2 조 (심사위원 선정)

- ① 위원장은 국토해양부의 폐기물 해양배출 업무를 담당하는 소속 공무원 중에서 지정한다.
- ② 간사는 해양환경 보전·관리·평가, 폐기물 처리처분 등에 관련된 학식과 경험이 풍부한 자로 선정한다.
- ③ 위원은 해양경찰청, 한국해양과학기술원, 국립환경과학원, 폐기물 재활용협회에서 5인 이내로 선정한다.

제 3 조 (심사위원회 운영 등)

- ① 위원장은 회의를 소집하고, 그 의장이 된다.
- ② 심사위원 회의는 구성위원 과반수의 출석으로 개의하고, 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.
- ③ 위원장은 심사위원회 심의사항과 관련하여 서류심사만으로 판정 곤란한 경우는 관계인의 의견을 들을 수 있고, 또한 현장방문 조사를 실시하여 그 결과에 따라 보완 요구, 재서류 심사를 실시할 수 있다.
- ④ 심사위원 회의의 모든 결정은 원칙적으로 충분한 토론을 거치고, 실명제로 운영하여, 소수 의견도 기재한다.

제 4 조 (회의록 제출)

- ① 위원회 간사는 회의록을 작성하여 국토해양부 장관에게 제출한다.

2. 런던의정서 의결사안의 국내 수용방안

- '13년 런던의정서에서 채택이 예상되는 이산화탄소 해저지중저장 및 해양시비 지침에 대비하여 국내법 수용 방안을 본 보고서 본문에 정리함.

3 부 종합평가 및 제언

1장 배출해역 건강상태 평가 및 해양배출 저감정책 효과 검증

1. 배출해역 및 폐기물 종류별 해양배출 누적량

○ 배출해역별 해양배출량 비교 및 폐기물 종류

- 해양배출 누적량 : '91년 이후부터 '12년까지 해양배출된 총 누적량은 128,071천m³이었음. 배출해역 및 폐기물 종류별로 누적된 해양배출량은 폐수처리오니가 전체 중 20%로 가장 많고, 누적된 총 폐기물량 중 동해병해역에 48%, 서해병해역 30%, 동해정해역 22%가 해양배출됨(그림 25).

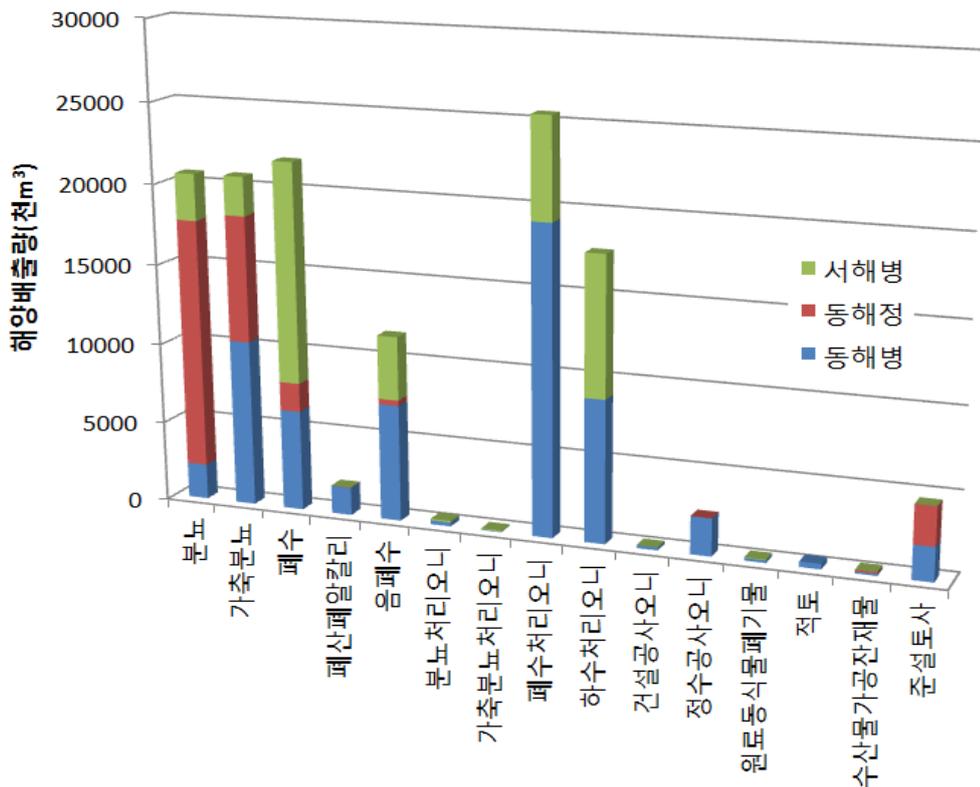


그림 26. 배출해역별 폐기물 해양배출 누적량과 종류

- 육상폐기물 종류별 해양배출 누적량 : 폐수처리오니가 21%로 가장 많았고, 폐수(18%), 가축분뇨 및 분뇨 (각 17%), 하수처리오니(15%), 음폐수(10%) 순이었고, 나머지 폐기물은 <1% 이하이었음.

2. 오염도 기준을 통한 건강상태 평가

○ 배출해역 해수 건강상태

- 폐기물 해양배출 저감에 따라 과거에 비해 문제점은 발견되지 않았음
- 생태기반 해수수질 기준에 의거한 수질평가 지수(국토해양부고시 제2011-344호)에 의거한 평가
 - 서해병 : 수질평가 지수는 20 ~ 42로서 II(좋음) ~ III(보통)
 - 동해정 : 20 ~ 32로서 I(매우 좋음) ~ II(좋음)

등급	수질평가 지수값 (Water Quality Index)	배출해역 평가	
I (매우 좋음)	23 이하	서해병	동해정
II(좋음)	24 ~ 33		
III(보통)	34 ~ 46		
IV(나쁨)	47 ~ 59		
V(아주 나쁨)	60 이상		

○ 배출해역 퇴적물의 건강상태

- '12년 조사된 배출해역별 표층퇴적물 중금속 농도 범위는 폐기물 해양배출량과 동일한 동해병 > 서해병 > 동해정해역 순임
- 유해물질이 해양환경에 미치는 영향을 평가하는 NOAA(미국 해양대기청) 생물영향기준, 그리고 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(국토해양부고시 제2011-972호)과 배출해역 퇴적물 중금속농도를 비교하면, 현 배출해역은 행정조치가 필요한 기준에 해당하는 관리기준(국토해양부)과 ERM(NOAA)을 초과하지는 않았지만, 일부 구획에서는 주의 기준(국토해양부)과 ERL(NOAA)을 초과하고 있어 세심한 관리가 필요함
- 과거 오염 심화로 해양배출이 금지된 동해병해역 휴식년 구획 중 1개 구획 퇴적물에서의 크롬 농도는 지속적으로 감소하고 있지만 아직도 ERM을 초과하고 있어 회복 과정에 대한 지속적인 모니터링이 필요함

표 4. 2012년 조사된 현 배출해역 퇴적물의 중금속 농도 및 국내·외 기준과의 비교(괄호는 휴식년구역)

항목	NOAA기준		해양환경기준		서해병	동해병	동해정
	ERL ¹	ERM ²	주의 ³	관리 ⁴			
구리	34	270	50.5	126	16 ~ 42 (28~38)	45 ~ 55 (45~71)	3 ~ 21
납	46.7	218	44.0	119	28 ~ 38 (32~36)	50 ~ 55 (49~84)	13 ~ 22
카드뮴	1.2	9.6	0.75	2.72	0.1 ~ 0.2 (0.1~0.2)	0.4 ~ 0.5 (0.4~1.3)	0.1 ~ 0.2
크롬	81	370	-	-	45 ~ 101 (100~172)	64 ~ 78 (110~390)	30 ~ 103
비소	8.2	70	14.5	75.5	5 ~ 8 (9~11)	14 ~ 20 (14~19)	3 ~ 7
아연	150	410	179	421	77 ~ 122 (91~115)	144 ~ 195 (140~227)	38 ~ 102
니켈	20.9	51.6	-	-	18 ~ 38 (28~36)	38 ~ 42 (31~39)	9 ~ 42

¹ ERL(Effect Range Low) : 서식생물 중 10%가 영향을 받는 기준

² ERM(Effect Range Medium) : 서식생물 중 50%가 영향을 받는 기준

³ 주의기준(Threshold Effects Level, TEL) 이하 : 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위(국토해양부고시 제2011-972호)

⁴ 관리기준(Probable Effects Level, PEL) 이상 : 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 범위(국토해양부고시 제2011-972호)

○ 배출해역 저서생물군집의 건강상태

- 대형저서생물 군집의 건강성을 평가하는 지수를 이용한 배출해역별 건강상태는 동해정 및 서해병해역은 정상~약간 오염상태, 동해병해역은 정상~중간 오염상태이었음(표 5)

표 5. '12년 조사된 배출해역별 저서생물군집의 건강성 평가 결과

건강상태 등급	AMBI	서해병 AMBI	동해병 AMBI	동해정 AMBI
정상	0~1.2	0.7~2.4	2.8~5.2	0.8~2.6
약간오염	1.2~3.2			
중간오염	3.2~5.0			
심한 오염	5.0~6.0			
매우 심한 오염	6.0~7.0			

○ 동해병해역 수산물 안전성 평가

- '12년 동해병해역에서 어획된 붉은대게의 근육 내 카드뮴(Cd), 납(Pb)과 수은(Hg) 농도는 모두 식약청 수산물 잔류허용기준을 충족함

표 6. 배출해역별 서식 수산물 체내 중금속 평균 농도

해역별	조사 시기	어종		중금속(mg/kg 습중량)		
				카드뮴	납	총수은
서해병	2005	아귀	어류	0.002	0.021	0.047
		가자미		0.007	0.002	0.035
		멸치		0.012	0.091	0.026
		곰치		0.006	0.001	0.018
		조피볼락		0.037	0.002	0.029
		게	갑각류	1.024	0.634	0.055
		새우	갑각류	0.223	0.248	0.036
	2008	황아귀	어류	0.0060	0.014	0.056
		넙치		0.0016	0.009	0.026
		양태		0.0020	0.015	0.047
		돌가자미		0.0023	0.014	0.030
		농어		0.0018	0.007	0.053
	2011	아귀	어류	0.002	0.008	0.031
		곰치		0.008	0.014	0.017
		대구		0.005	0.075	0.043
		새우		갑각류	0.181	0.049	0.032
동해병	2006	붉은대게	갑각류	0.112	0.016	0.647
	2009	붉은대게	갑각류	1.391	0.018	0.127
		물레고둥	연체류	0.277	0.081	0.306
2012	붉은대게	갑각류	0.127	0.111	0.171	
동해정	2007	붕장어	어류	0.008	0.006	0.054
		참가자미		0.005	0.007	0.054
		황아귀		0.008	0.010	0.032
	2010	붕장어	어류	0.008	0.012	0.047
		참가자미		0.012	0.023	0.096
		황아귀		0.008	0.011	0.047
식약청잔류허용기준 (고시제2010-58호)		패류/연체류	2.0	2.0	0.5	
		어류	-	5.0	0.5	
식약청잔류허용기준 (행정예고 '12.6.21)		갑각류	1.0 (내장포함 5.0)	1.0 (내장포함 2.0)	-	

3. 정부의 육상폐기물 해양배출 저감정책 효과 검증

○ 폐기물 해양배출량 지속 감소

- 폐기물 해양배출 저감정책의 일환으로 '06년 3월 「육상폐기물 해양 투기관리 종합대책」이 수립·시행된 이후 육상폐기물 해양배출량은 최대치인 '05년 2,383천m³에서 매년 10% 이상씩 감소하여 '12년에 2,288천m³로 약 3/4이 감소함.

표 7. 연도별 육상폐기물 실제 해양배출량 및 목표량(단위 천m³)

연도별	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
배출량	9,929	8,812	7,451	6,173	4,785	4,478	3,972	2,288
목표량	-	9,000	8,000	6,000	5,000	4,500	4,000	2,500

○ 해양배출 저감정책에 따른 배출해역 건강상태 효과 검증

- 휴식년 시행(서해병 및 동해병)에 대한 효과 검증
 - 서해병 및 동해병해역 휴식년구역의 표층 퇴적물의 중금속 농도는 해양배출이 금지되면서 미국 NOAA의 행정조치가 필요한 기준인 ERM(서식생물 중 50% 이상이 영향을 받는 기준)이내로 감소함



그림 27. 동해병(좌) 및 서해병(우) 휴식년 구역 퇴적물의 시계열 구리 농도(mg/kg 건중량) 변화

- 동해병해역과 서해병해역 휴식년구역의 저서생물 건강도는 대부분 정상적인 상태로서, '08년 이전에 비해 크게 상승함

2장 배출해역 최적관리를 위한 종합제언

- 유해물질 농도분석과 저서생물군집구조변화 및 생물독성 시험 등 삼중요소(Triad components)에 의한 오염진단은 다음과 같다.

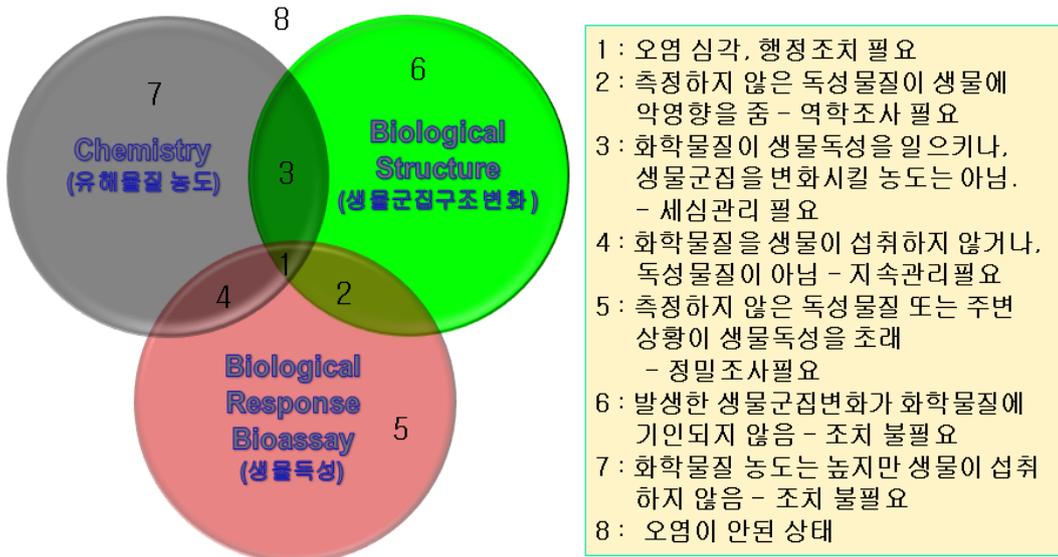


그림 28. 삼중요소에 의한 오염진단(Chapman 등, 1996)

- 상기 삼중요소 평가에 의한 오염진단 결과, 2012년 배출해역별 정밀 모니터링에서 산출된 퇴적물의 유해물질 농도와 저서생물 군집구조 결과는 휴식년구역 지정, 지속적인 해양배출량 감축과 해양배출 처리 기준 강화('08.8.22부터 제1기준 적용)로 효과를 보이고 있지만,
- '12년 조사결과, 현 배출해역의 유해물질 농도가 약간씩 증가하는 추세를 보임으로서 정부의 폐기물 해양배출 제로화 실현 및 배출해역 최적관리를 위한 지속적인 정밀모니터링이 필요함
 - 휴식년해역 및 현재 배출해역 책임구역의 일부에서 퇴적물 기준의 TEL(주의 기준, Threshold Effects Levels) 초과와 생물독성(성계배아의 수정 및 발생률) 결과 지속적인 주의 관찰이 필요함
 - 특히 동해병해역의 책임구역(현 배출해역)은 오염지시종인 *Capitella capitata*의 출현으로 건강도가 중간('09년) ⇒ 매우 심함으로 나타남.
 - 휴식년시행 및 배출량 저감으로 인해 상기 삼중요소 모두 해당되는 구획은 없었지만, 2개에 해당하는 배출해역별 주의 관찰 필요 구획은 다음과 같음
 - 서해 병해역 (9, 24, 49), 동해 병해역 (26, 42, 79, 85, 89), 동해 정(3, 7, 54, 56)

목 차

제 출 문

요 약 문	i
목 차	lii
표 목 차	lvii
그림 목차	lxiv
제 1 장 서 론	1
제 1 절 서 론	3
제 2 절 폐기물 해양배출의 문제점	6
제 2 장 폐기물 배출해역 건강상태 정밀조사	9
제 1 절 연구목적 및 내용	11
1. 연구목적	11
2. 연구수행기관	11
3. 주요 과업내용	11
4. 달성된 주요성과	15
제 2 절 배출해역의 자연환경	17
1. 서해병해역	17
2. 동해병해역 및 정해역	34
제 3 절 배출해역 폐기물 배출현황	48
1. 폐기물 배출해역 및 해양배출 폐기물 종류	48
2. 폐기물 해양배출 현황	49
제 4 절 폐기물 배출해역 건강상태 정밀조사	55
1. 해양환경조사	55

제 5 절	인공위성을 통한 배출해역의 부영양화 관측	65
1.	서론	65
2.	배출해역에 대한 인공위성 관측 결과	66
제 6 절	배출해역 폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태 조사	74
1.	시료채집 및 분석방법	74
2.	2005년, 2008년과 2011년 서해병해역 표영생태계 건강상태 조사결과	83
3.	2007년, 2010년 동해정해역 표영생태계 건강상태 조사결과	87
4.	2012년 서해병해역 표영생태계 건강상태 조사결과	92
5.	2012년 동해정해역 표영생태계 건강상태 조사결과	144
제 7 절	배출해역 식물플랑크톤 군집구조 평가	198
1.	서론	198
2.	시료 채집 및 분석방법	198
3.	2005년, 2008년과 2011년 서해병해역 식물플랑크톤 조사 결과	199
4.	2007년 4월, 6월, 2010년 5월 동해정해역의 식물플랑크톤 조사 결과	201
5.	2012년 서해병해역 현장조사 결과	202
6.	2012년 동해정해역 현장조사 결과	220
제 8 절	폐기물 배출해역 해저 퇴적물건강상태	238
1.	시료 채집 및 분석방법	238
2.	2005년~2011년 폐기물 배출해역 퇴적물 건강상태 조사결과 요약 ..	249
3.	2012년 폐기물 배역 퇴적물 건강상태 조사결과	278
4.	배출해역 폐기물 투기로 인한 중금속 흡착(Scavenging) 교란 분석	367
5.	폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사(동해병해역)	379
제 9 절	저서생태계 건강상태 조사	385
1.	서론	385
2.	시료채집 및 분석방법	386
3.	조사결과	390
4.	결론	437
제 10 절	해양생물 및 인간 유해성 평가	441
1.	서론	441
2.	시료채집 및 분석방법	445

3. 결 과	451
제 11 절 배출해역 수산자원 조사	471
1. 서 론	471
2. 재료 및 방법	472
3. 결과 및 고찰	472
제 12 절 동해병해역 수산생물 안전성	491
1. 서 론	491
2. 재료 및 방법	491
3. 결과 및 고찰	495
4. 결론 및 요약	513
제 3 장 런던의정서 준수지원	515
제 1 절 연구목적 및 내용	517
1. 연구목적	517
2. 연구수행기관	517
3. 주요 과업내용	517
4. 달성된 주요성과	518
제 2 절 서 론	519
제 3 절 런던협약과 런던의정서 동향 분석 및 회의 지원	521
1. 런던협약 및 런던의정서 당사국 현황	521
2. 런던협약 및 런던의정서 회의의 논의 동향	525
3. 2012년 런던협약 /의정서 합동당사국회의 의결 사안	559
제 4 절 런던협약 및 런던의정서 준수 지원	560
1. 투기허가 발행 보고	560
2. 폐기물 해양투기장 환경상태 보고	570
3. 행정 및 입법적 조치 보고	588
제 5 절 런던협약 및 런던의정서 당사국 폐기물 해양배출 동향 ..	594
1. 당사국들의 폐기물 해양배출 동향	594
2. 당사국들의 폐기물 해양배출관련 제도	602
제 6 절 런던의정서 준수그룹 활동 분석	611

1. 런던의정서 준수그룹 위원 현황	611
2. 당사국의 보고의무와 관련한 준수그룹의 임무	612
3. 보고의무과 관련한 제4차 준수그룹 회의 동향	614
제 7 절 2012년 5월 제주에서 개최된 런던협약/의정서 아시아·태평양 지역 워크숍	617
제 4 장 폐기물 해양배출제도 선진화 및 저감정책 홍보	623
제 1 절 연구목적 및 내용	625
1. 연구목적	625
2. 연구수행 기관	625
3. 주요 과업내용	625
4. 달성된 주요성과	626
제 2 절 서 론	627
제 3 절 배출해역 최적관리 방안	628
1. 배출해역 건강상태 평가 및 해양배출 저감정책 효과 검증 ...	628
2. 폐기물 배출해역 최적관리를 위한 종합제언	634
제 4 절 해양배출 저감정책 정착화를 위한 정보 제공	635
1. 폐기물 해양배출 제도	635
2. 폐기물 해양배출 현황	719
제 5 절 폐기물 해양배출 제도 선진화를 위한 제도 개선	736
1. 육상폐기물 해양배출 제로화	736
2. 런던의정서 의결사항의 국내 수용방안 검토	740
제 6 절 해양배출 저감정책 홍보 및 이해당사자 주도적 참여 유도	766
1. 폐기물 해양배출 종합관리정보망 운영	766
2. 폐기물 해양배출 저감정책 홍보	770
참고문헌	775
부록 1. 제주 아시아·태평양지역 워크숍 발표자료	809

표 목 차

표 2-3-1. 폐기물 종류별 해양배출 시작 및 금지 이력	51
표 2-4-1. 해양환경조사 일정	55
표 2-4-2. 폐기물 배출해역 해양조사 정점별 위치정보 및 조사내용	60
표 2-6-1. 수질평가 지수값(WQI)	80
표 2-6-2. 수질평가 항목별 점수	80
표 2-6-3. 수질평가 항목의 해역별 기준값	81
표 2-6-4. 생태구역구분	81
표 2-6-5. 2005년 2008년의 서해병해역 해역수질 등급 총괄표	85
표 2-6-6. 2011년의 서해병해역 해역수질 등급 총괄표	86
표 2-6-7. 2012년 5월의 서해병해역 물리화학적 특성 결과	93
표 2-6-8. 2005년부터 2012년까지의 서해병해역의 수온, 염분, 수소이온, 용존산소, 용존무기성영양염류와 부유물질의 표·저층 평균농도	113
표 2-6-9. 2010년 5월조사시 동해정해역의 수층별 일차생산량.	120
표 2-6-10. 2005년부터 현재까지의 서해병해역의 엽록소 a , 생체형광지수의 표층과 저층의 평균농도 비교	129
표 2-6-11. 서해중부 생태구를 적용한 항목별 점수표	130
표 2-6-12. 해역 환경기준(환경정책기본법시행령별표)	131
표 2-6-13. 개정전 해역환경기준 (환경부, 2009)	139
표 2-6-14. 2005년부터 현재까지의 서해정배출해역의 화학적 산소요구량, 총질소, 총인, 중금속, 유분, 시안, 페놀의 평균농도 비교	140
표 2-6-15. 2012년 7월 동해정해역의 물리·화학적 특성	145
표 2-6-16. 2006년부터 2012년까지의 동해정해역의 수온, 염분, 수소이온, 용존산소, 용존무기성영양염류와 부유물질의 표·저층 평균농도	166
표 2-6-17. 2006년부터 현재까지의 동해정해역의 엽록소 a , 일차생산, 생체형광지수의 표층과 저층의 평균농도 비교	181
표 2-6-18. 대한해협 생태구를 적용한 항목별 점수표	182
표 2-6-19. 2006년부터 현재까지의 동해정배출해역의 화학적 산소요구량, 총질소, 총인, 중금속, 유분, 시안, 페놀의 평균농도 비교	195

표 2-7-1. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 분류군별 종조성	203
표 2-7-2. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 현존량 (cells/mL)	210
표 2-7-3. 2011년 6월조사시 서해병해역의 식물플랑크톤 우점종 변화	213
표 2-7-4. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 생태지수 ..	215
표 2-7-5. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 분류군별 종조성	221
표 2-7-6. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 현존량 (cells/mL)	228
표 2-7-7. 2012년 7월조사시 동해정해역의 식물플랑크톤 우점종 변화	231
표 2-7-8. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 생태지수 ..	233
표 2-8-1. 캐나다 국립연구소 및 미국 국립지질조사소의 해양퇴적물 표준시료 분석결과 비교	240
표 2-8-2. 퇴적물, 해수 시료에 대한 PAHs 방법검출한계	243
표 2-8-3. 표준퇴적물시료 1941b 분석 결과	244
표 2-8-4. 퇴적물, 해수 시료에 대한 PCBs 방법검출한계	246
표 2-8-5. 표준퇴적물시료 1941b 분석 결과	247
표 2-8-6. 서해병해역의 표층퇴적물 유기물 농도(단위 : %)	278
표 2-8-7. 서해병해역의 퇴적물 TOC 농도(단위 : %)	283
표 2-8-8. 서해병해역의 퇴적물 TON 농도(단위 : %)	285
표 2-8-9. 서해병해역 표층퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화	287
표 2-8-10. 서해병해역 퇴적물 중 Al 농도 (mg/kg)	300
표 2-8-11. 서해병해역 퇴적물 중 As 농도 (mg/kg)	302
표 2-8-12. 서해병해역 퇴적물 중 Cd 농도 (mg/kg)	304
표 2-8-13. 서해병해역 퇴적물 중 Cr 농도 (mg/kg)	306
표 2-8-14. 서해병해역 퇴적물 중 Cu 농도 (mg/kg)	308
표 2-8-15. 서해병해역 퇴적물 중 Hg 농도 (mg/kg)	310
표 2-8-16. 서해병해역 퇴적물 중 Ni 농도 (mg/kg)	311
표 2-8-17. 서해병해역 퇴적물 중 Pb 농도 (mg/kg)	314
표 2-8-18. 서해병해역 퇴적물 중 Zn 농도 (mg/kg)	316
표 2-8-19. 동해병해역 휴식년 구획 표층퇴적물의 유기물 농도	320
표 2-8-20. 동해병해역 퇴적물 중 TOC 농도 (%)	324

표 2-8-21. 동해병해역 퇴적물 중 TON 농도 (%)	326
표 2-8-22. 동해병해역 휴식년 구획 표층퇴적물의 중금속 농도	328
표 2-8-23. 동해병해역 퇴적물 중 Al 농도 (mg/kg)	341
표 2-8-24. 동해병해역 퇴적물 중 As 농도 (mg/kg)	343
표 2-8-25. 동해병해역 퇴적물 중 Cd 농도 (mg/kg)	345
표 2-8-26. 동해병해역 퇴적물 중 Cr 농도 (mg/kg)	347
표 2-8-27. 동해병해역 퇴적물 중 Cu 농도 (mg/kg)	349
표 2-8-28. 동해병해역 퇴적물 중 Hg 농도 (mg/kg)	351
표 2-8-29. 동해병해역 퇴적물 중 Ni 농도 (mg/kg)	353
표 2-8-30. 동해병해역 퇴적물 중 Pb 농도 (mg/kg)	355
표 2-8-31. 동해병해역 퇴적물 중 Zn 농도 (mg/kg)	357
표 2-8-32. 동해정해역 표층퇴적물의 유기물 농도	362
표 2-8-33. 동해정해역 표층퇴적물의 중금속 농도	363
표 2-8-34. 조사해역의 정점별 수심별 입자태 및 용존태 ²³⁴ Th 농도	371
표 2-8-35. 정점 M, DK-12 의 ²³⁴ Th 체류시간	372
표 2-8-36. 정점 M과 DW-12에서의 유기물에 대한 ²³⁴ Th비율, 유출플럭스 및 생산량의 수심별 분포	374
표 2-8-37. Sediment Trap 시료채취 시간 설정 및 총 입자 플럭스	381
표 2-9-1. 대형저서동물 군집의 건강성 평가기준	389
표 2-9-2. 서해병 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현종수 (종수/3m ²), 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²)	392
표 2-9-3. 서해병의 배출해역, 대조해역 및 휴식년 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²)	393
표 2-9-4. 동해병 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현종수 (종수/m ²), 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²)	397
표 2-9-5. 동해병의 배출해역, 대조해역 및 휴식년 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²)	397
표 2-9-6. 동해정 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현종수 (종수/m ²), 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²)	401
표 2-9-7. 동해정의 배출해역, 대조해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m ²) 및 평균생체량(gWWt/m ²) ..	402

표 2-9-8. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황	404
표 2-9-9. 서해병해역의 휴식년해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	405
표 2-9-10. 서해병해역의 배출해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	406
표 2-9-11. 서해병해역의 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	406
표 2-9-12. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황	407
표 2-9-13. 동해병해역의 휴식년해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	408
표 2-9-14. 동해병해역의 배출해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	408
표 2-9-15. 동해병해역의 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황 ..	409
표 2-9-16. 동해정 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황	410
표 2-9-17. 동해정해역 배출해역에서 출현한 개체수 기준 우점종 현황	411
표 2-9-18. 동해정해역 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황	411
표 2-9-19. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종	416
표 2-9-20. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종	418
표 2-9-21. 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종	420
표 2-9-22. 서해병 해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상	421
표 2-9-23. 동해병 해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상	422
표 2-9-24. 동해병해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상	423
표 2-9-25. 2011년과 2012년에 서해병 배출해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종 비교	426
표 2-9-26. 2012년 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m ²)	427
표 2-9-27. 2009년과 2012년에 동해병 배출해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종	430
표 2-9-28. 2012년 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m ²)	431
표 2-9-29. 2010년과 2012년에 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종	434
표 2-9-30. 2012년 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m ²)	435
표 2-10-1. 서해병 배출해역 5개 정점 및 배출해역 외부의 대조 정점에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 11종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함	462

표 2-10-2. 동해병 배출해역 4개 정점 및 비 배출해역에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 11종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함 ...	465
표 2-10-3. 동해정 배출해역 4개 정점 및 비배출해역에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 10종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함 ...	467
표 2-10-4. 서해병 해역 조사 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과	468
표 2-10-5. 동해병 해역 각 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과	469
표 2-10-6. 동해정 해역 각 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과	470
표 2-11-1. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어업별 조업척수, 2003년~2012년 ..	473
표 2-11-2. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어업별 조업일수, 2003년~2012년 ..	475
표 2-11-3. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어업별 어획량, 2003년~2012년	477
표 2-11-4. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 조업척수, 2003년~2012년	478
표 2-11-5. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 조업일수, 2003년~2012년	479
표 2-11-6. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 어획량, 2003년~2012년 ..	480
표 2-11-7. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 조업척수, 2003년~2012년 ..	482
표 2-11-8. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 조업일수, 2003년~2012년 ..	483
표 2-11-9. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 어획량, 2003년~2012년 ..	485
표 2-12-1. 붉은 대게 및 대게의 조사 위경도	492
표 2-12-2. Dogfish 근육(muscle)과 간(liver)의 표준물질인 DORM-2를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과.	495
표 2-12-3. 폐기물 배출 및 비배출해역에서 어획된 붉은대게 및 대게 근육 내 중금속 조사결과(단위: ppm wet weight)	507
표 2-12-4. 세계 해양에서 주요 생물의 중금속 축적 농도 (ppm dry weight) ·	509
표 2-12-5. 주요 국가별 수산물 미량금속 잔류허용기준	510
표 2-12-6. 폐기물 배출 해역에서 어획된 붉은 대게 근육 내 중금속의 범위 (평균±편차)	511
표 3-3-1. 런던협약 당사국 가입 현황(LC 34/2, 2012)	521
표 3-3-2. 런던의정서 당사국 가입 현황(LC 34/2/1, 2012)	524

표 3-3-3. 2012년 개최된 런던협약 및 런던의정서 회의 현황	525
표 3-5-1. 2008년과 2009년 당사국들의 준설품질 해양배출 현황	595
표 3-5-2. 런던협약 및 의정서 주요 당사국들의 준설품질 해양배출 현황 (문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.4)	596
표 3-5-3. 세계 각국의 하수오니 발생량 대비 처리/처분방안 비율	597
표 3-5-4. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 천연기원유기물 해양배출 현황 (문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.4)	598
표 3-5-5. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 생선폐기물 해양배출 현황 (문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3)	598
표 3-5-6. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 불활성무기지질물질 해양배출 현황(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3)	599
표 3-5-7. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 선박/플랫폼 해양배출 현황 (문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3)	599
표 3-5-8. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 고립도서 발생 대형물체 해양배출 현황(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3~4)	600
표 3-5-9. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 기타물질 해양배출 현황 (문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3)	601
표 3-5-10. 일본의 폐기물 해양배출 실시 계획서 기재사항	604
표 3-5-11. 일본의 폐기물 배출해역 오염현황 감시 계획	604
표 3-5-12. 1985년~1989년 영국의 하수오니 해양배출 현황	609
표 3-6-1. 2012년 11월 현재 런던의정서 준수그룹 위원 현황	611
표 4-3-1. 2012년 조사된 현 배출해역 퇴적물의 중금속 농도 및 국외 기준과의 비교(괄호는 휴식년구역)	631
표 4-3-2. '12년 조사된 배출해역별 저서생물군집의 건강성 평가 결과	631

표 4-3-3. 배출해역별 서식 수산물 체내 중금속 평균 농도	632
표 4-3-4. 연도별 육상폐기물 실제 해양배출량 및 목표량(단위 천m ³)	633
표 4-4-1. 배출해역별 해양배출 폐기물 종류 (해양환경관리법 시행규칙 별표 6, 7)	636
표 4-4-2. 폐기물 종류별 해양배출 방법(해양환경관리법 시행규칙 별표 7) ..	637
표 4-4-3. 2005년 1월 이후 서해병해역의 구심점 위치	640
표 4-4-4. 배출업체별 분산배출 책임구역 지정 현황	644
표 4-4-5. 우리나라 폐기물 해양배출 제도관련 연혁	646
표 4-4-6. 우리나라 배출해역에서 폐기물별 해양배출 추이(단위 : 천m ³)	720
표 4-4-7. 서해병해역에서 폐기물별 해양배출 추이(단위 : 천m ³)	721
표 4-4-8. 동해병해역에서 폐기물별 해양배출 추이(단위 : 천m ³)	722
표 4-4-9. 동해정해역에서 폐기물별 해양배출 추이(단위 : 천m ³)	723
표 4-4-10. 2012년 각 배출해역에 배출된 폐기물별 누적량(단위 : 천m ³)	727

그림 목차

그림 1-1-1. 런던의정서 해양배출 폐기물 평가체계도	4
그림 1-2-1. 해양으로 배출된 폐기물의 거동 모식도	6
그림 1-2-2. 폐기물 배출이 해양에 미치는 영향	7
그림 1-2-3. 배출해역에서 선박으로부터 배출되는 폐기물 사진(확산식)	8
그림 1-2-4. 우리나라 폐기물 배출해역과 공동어업수역	8
그림 2-2-1. 서해의 폐기물 배출해역 위치	17
그림 2-2-2. 서해의 수심도(Choi, 1999)	18
그림 2-2-3. 서해(수심 50m)에서 동계와 하계의 수평 해수 유동형태 (Ichikawa, 2002)	20
그림 2-2-4. 서해의 표면수온 관측을 통한 수온전선 계절 분포 (Hickox et al, 2000)	21
그림 2-2-5. 표층(수심 2m)의 연평균 해류와 수온	22
그림 2-2-6. 수심 30m의 연평균 해류와 수온	22
그림 2-2-7. 수심 50m의 연평균 해류와 수온	23
그림 2-2-8. 2월 평균 표층 해류와 표층 수온	24
그림 2-2-9. 5월 평균 표층 해류와 표층 수온	24
그림 2-2-10. 8월 평균 표층 해류와 표층 수온	25
그림 2-2-11. 11월 평균 표층 해류와 표층 수온	25
그림 2-2-12. 서해의 표층퇴적물 입도 분포(Chough, 1983)	28
그림 2-2-13. 서해 표층퇴적물의 점토광물 분포(문 등, 2008)	29
그림 2-2-14. 우리나라 서해안에 서식하는 황아귀	30
그림 2-2-15. 우리나라 서해에 서식하는 넙치	31
그림 2-2-16. 우리나라 서해에 서식하는 양태	31
그림 2-2-17. 우리나라 서해에 서식하는 돌가자미	32
그림 2-2-18. 우리나라 서해에 서식하는 농어	33
그림 2-2-19. 동해의 배출해역	34
그림 2-2-20. 동해의 지형(Choi, 1999)	35
그림 2-2-21. Ferry에 장착된 ADCP로 관측된 대한해협 수송량의 5년간 변화 양상(Takikawa et al., 2005)	37
그림 2-2-22. RIAMOM을 이용한 동해 연평균 표층 수온 및 해류 모사 결과 ..	38
그림 2-2-23. 동해 심층 수온의 증가 및 용존 산소의 감소(Kim et al., 2001) ..	40

그림 2-2-24. 동해 심층 대류의 변화로 인한 저층수 생성 중단 모식도 (Gamo et al, 2001)	40
그림 2-2-25. 2040년경 동해 저층수가 중층수로 대치되는 변화를 보여주는 실험 결과(Kang et al, 2003)	41
그림 2-2-26. 인공위성 추적 중층 부표(ARGO)로 계산된 동해 중층 순환 모식도 (Park et al., 2004)	41
그림 2-2-27. 대한해협 해류계의 모식도(이석우, 2004)	42
그림 2-2-28. 동해 표층퇴적물 입도 분포(Chough, 1983)	44
그림 2-2-29. 동해정해역에서 어획된 붕장어 사진	45
그림 2-2-30. 동해정해역에서 어획된 참가자미 사진	46
그림 2-2-31. 한국 연안에 서식하는 황아귀	46
그림 2-2-32. 동해병해역에 서식하는 붉은 대게	47
그림 2-2-33. 동해병해역에 서식하는 물레고둥	47
그림 2-3-1. 우리나라의 폐기물 배출해역(해양환경관리법 시행규칙 별표 7) ..	48
그림 2-3-2. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 현황	49
그림 2-3-3. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 비중	50
그림 2-3-4. 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황	51
그림 2-3-5. 서해병해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중	52
그림 2-3-6. 동해병해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중	53
그림 2-3-7. 동해정해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중	54
그림 2-4-1. 해양조사에 이용된 이어도호	56
그림 2-4-2. 폐기물 배출해역별 조사 정점	57
그림 2-4-3. 로젯샘플러(Rosette sampler)를 이용한 채수 및 CTD 측정	63
그림 2-4-4. 박스코어러를 이용한 해저퇴적물 채취	64
그림 2-5-1. 한국해양과학기술원 해양위성센터	65
그림 2-6-1. 서해 병해역 해양조사 정점	74
그림 2-6-2. 동해 정해역 해양조사 정점	75
그림 2-6-3. 서해병해역을 조사한 한국해양과학기술원(KIOST) 조사선 이어도호의 CTD가 장착된 Rosette sampler.	76
그림 2-6-4. 동해정해역을 조사한 해양경찰교육함의 CTD가 장착된 Rosette sampler.	76
그림 2-6-5. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수직분포	96
그림 2-6-6. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수직단면도	96
그림 2-6-7. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수평분포도	97

그림 2-6-8. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수직분포	97
그림 2-6-9. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수직단면도	98
그림 2-6-10. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수평분포도	98
그림 2-6-11. 서해병해역 표면수온 인공위성영상(2012년 5월 11일~12일)	99
그림 2-6-12. 2012년 5월조사시 서해병해역 DO(용존산소)의 수직분포	100
그림 2-6-13. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존산소의 수평분포	101
그림 2-6-14. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온·염분·용존산소의 연직분포 ..	101
그림 2-6-15. 2012년 5월조사시 서해병해역 아질산염의 정점별 수직분포 ..	102
그림 2-6-16. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 아질산염의 수평분포	103
그림 2-6-17. 2012년 5월조사시 서해병해역 질산염의 정점별 수직분포	104
그림 2-6-18. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 질산염의 수평분포	104
그림 2-6-19. 2012년 5월조사시 서해병해역 암모니아의 정점별 수직분포 ..	105
그림 2-6-20. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 암모니아의 수평분포	106
그림 2-6-21. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존성 총질소의 정점별 수직분포	106
그림 2-6-22. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존성 총질소의 수평분포 ..	107
그림 2-6-23. 2012년 5월조사시 서해병해역 인산염의 정점별 수직분포	108
그림 2-6-24. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 인산염의 수평분포	108
그림 2-6-25. 2012년 5월조사시 서해병해역 규산염의 정점별 수직분포	109
그림 2-6-26. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 규산염의 수평분포	110
그림 2-6-27. 2012년 5월조사시 서해병해역 용존무기영양염류의 상관관계 ..	110
그림 2-6-28. 2012년 5월조사시 서해병해역의 N/P ratio와 용존성 총질소와 인산염의 상관관계	111
그림 2-6-29. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 N/P ratio의 정점별 수직분포	111
그림 2-6-30. 2003~2012년의 서해병해역 조사시 배출해역내의 영양염을 수직적분하여 시계열화한 그래프	112
그림 2-6-31. 2012년 5월조사시 서해병해역 입자성유기탄소의 정점별 수직분포	114
그림 2-6-32. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 입자성유기탄소의 수평분포	115
그림 2-6-33. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 입자성유기질소의 정점별 수직분포	115
그림 2-6-34. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 입자성유기질소의 수평분포	116

그림 2-6-35.	2012년 5월조사시 서해병해역 부유물질의 정점별 수직분포	· 117
그림 2-6-36.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 부유물질의 수평분포	· 118
그림 2-6-37.	2012년 5월조사시 서해병해역 클로로필 a의 정점별 수직분포	· 119
그림 2-6-38.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 클로로필 a의 수평분포	· 119
그림 2-6-39.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 일차생산력의 연직분포	· 122
그림 2-6-40.	2012년 5월조사시 서해병해역의 일차생산력을 수층적분한 단위시간당 생산성 분포	· 123
그림 2-6-41.	2012년 5월조사시 서해병해역의 일차생산력을 수층적분한 일일 일차생산성 분포	· 124
그림 2-6-42.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 F의 정점별 수직분포	· 125
그림 2-6-43.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 F의 수평분포	· 125
그림 2-6-44.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 Fd-F의 수평분포	· 126
그림 2-6-45.	서해병해역의 엽록소 a와 생체형광(in vivo fluorescence; F), DCMU 첨가 후 생체형광 (DCMU fluorescence; FDCMU), DCMU 사용전과 후의 차 Fd-F, FRI 사이의 상관관계	· 126
그림 2-6-46.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 FRI의 정점별 수직분포	· 127
그림 2-6-47.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 FRI의 수층별 수평분포	· 128
그림 2-6-48.	2012년 5월조사시 서해병해역 총유기탄소의 정점별 수직분포	· 133
그림 2-6-49.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 총유기탄소의 수평분포	· 133
그림 2-6-50.	2012년 5월조사시 서해병해역 용존성유기탄소의 정점별 수직분포	· 134
그림 2-6-51.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 용존성유기탄소의 수평분포	· 134
그림 2-6-52.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 화학적산소요구량의 정점별 수직분포	· 135
그림 2-6-53.	2010년 5월조사시 서해병해역에서 화학적산소요구량의 수층별 수평분포	· 136
그림 2-6-54.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 총질소의 정점별 수직분포	· 137
그림 2-6-55.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 총질소의 수층별 수평분포	· 137
그림 2-6-56.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 총인의 정점별 수직분포	· 138
그림 2-6-57.	2012년 5월조사시 서해병해역에서 총인의 수층별 수평분포	· 139
그림 2-6-58.	2012년 5월조사시 서해병해역 표층에서 용매추출유분, 시안화물의 수평분포	· 141

그림 2-6-59. 2012년 7월조사시 동해정해역 수온의 수직분포	148
그림 2-6-60. 2012년 7월조사시 동해정해역 염분의 수직분포 및 수직단면도 ·	148
그림 2-6-61. 2012년 7월조사시 동해정해역 수온의 수층별 수평분포도	149
그림 2-6-62. 2012년 7월조사시 동해정해역 염분의 수층별 수평분포도	150
그림 2-6-63. 동해정해역 표면수온 인공위성영상(2012년 7월 27일~28일) ·	151
그림 2-6-64. 2012년 7월조사시 동해정해역 pH(수소이온농도)의 수직 단면도 및 수직분포	152
그림 2-6-65. 2012년 7월조사시 동해정해역 pH(수소이온농도)의 수층별 수평분포도	153
그림 2-6-66. 2012년 7월조사시 동해정해역 DO(용존산소)의 수직분포 및 정점별 수직분포	154
그림 2-6-67. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 용존산소의 수평분포 ·	155
그림 2-6-68. 2012년 7월조사시 동해정해역의 정점별 수온 · 염분 · 온도의 연직분포	156
그림 2-6-69. 2012년 7월조사시 동해정해역 아질산염의 정점별 수직분포 ·	157
그림 2-6-70. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 아질산염의 수평분포 ·	158
그림 2-6-71. 2012년 7월조사시 동해정해역 질산염의 정점별 수직분포	159
그림 2-6-72. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 질산염의 수평분포 ·	160
그림 2-6-73. 2012년 7월조사시 동해정해역 암모니아의 정점별 수직분포	161
그림 2-6-74. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 암모니아의 수평분포 ·	162
그림 2-6-75. 2012년 7월조사시 동해정해역 인산염의 정점별 수직분포	163
그림 2-6-76. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 인산염의 수평분포 ·	164
그림 2-6-77. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 입자성유기탄소의 정점별 수직분포	167
그림 2-6-78. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 입자성유기탄소의 수평분포	168
그림 2-6-79. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 입자성유기질소의 정점별 수직분포	169
그림 2-6-80. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 입자성유기질소의 수평분포	170
그림 2-6-81. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 부유물질의 정점별 수직분포 ·	171
그림 2-6-82. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 부유물질의 수평분포 ·	172
그림 2-6-83. 2012년 7월조사시 동해정해역 클로로필 a 의 정점별 수직분포 ·	173
그림 2-6-84. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 클로로필 a 의 수평분포 ·	174

그림 2-6-85. 2009년 4월조사시 동해병해역에서 F, Fd-F의 정점별 수직분포	175
그림 2-6-86. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 F의 수평분포	176
그림 2-6-87. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 Fd-F의 수평분포	177
그림 2-6-88. 동해정해역의 엽록소 <i>a</i> 와 생체형광(in vivo fluorescence; F), DCMU 첨가 후 생체형광 (DCMU fluorescence; FDCMU), DCMU 사용전과 후의 차 Fd-F, FRI 사이의 상관관계.	178
그림 2-6-89. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 FRI의 정점별 수직분포	179
그림 2-6-90. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 FRI의 수층별 수평분포	180
그림 2-6-91. 2012년 7월조사시 동해정해역 총유기탄소의 정점별 수직분포	183
그림 2-6-92. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 총유기탄소의 수평분포	184
그림 2-6-93. 2012년 7월조사시 동해정해역 용존성유기탄소의 정점별 수직분포	185
그림 2-6-94. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 용존성유기탄소의 수평분포	186
그림 2-6-95. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 화학적산소요구량의 정점별 수직분포	187
그림 2-6-96. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 화학적산소요구량의 수층별 수평분포	188
그림 2-6-97. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총질소의 정점별 수직분포	189
그림 2-6-98. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총질소의 수층별 수평분포	190
그림 2-6-99. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총인의 정점별 수직분포	191
그림 2-6-100. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총인의 수층별 수평분포	192
그림 2-6-101. 2012년 7월조사시 동해정해역 표층에서 용매추출유분, 시안, 페놀의 수평분포	194
그림 2-7-1. 2011년 6월조사시 서해병해역의 식물플랑크톤 분류군별 종조성 그래프	204
그림 2-7-2. 2011년 6월조사시 서해병해역의 정점별 식물플랑크톤 분류군별 종조성률	206
그림 2-7-3. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수심별 각 정점에서의 식물플랑크톤 출현종수와 현존량(Cell/ml)	208
그림 2-7-4. 2011년 6월 서해병해역에서의 우점종(5% 이상)	211
그림 2-7-5. 2011년 6월 서해병해역 식물플랑크톤의 조사정점별 생태지수 그래프	216

그림 2-7-6. 2011년 6월 서해병해역 식물플랑크톤의 조사정점별 유사도분석 그래프	218
그림 2-7-7. 2012년 7월조사시 동해정해역의 식물플랑크톤 분류군별 종조성 그래프	222
그림 2-7-8. 2012년 7월조사시 동해정해역의 정점별 식물플랑크톤 분류군별 종조성률	223
그림 2-7-9. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수심별 각 정점에서의 식물플랑크톤 출현종수와 현존량(Cell/ml)	226
그림 2-7-10. 2012년 7월 동해정해역에서의 우점종(5% 이상)	229
그림 2-7-11. 2012년 7월 동해정해역 식물플랑크톤의 조사정점별 생태지수 그래프	234
그림 2-7-12. 2012년 7월 동해정해역 식물플랑크톤의 조사정점별 유사도분석 그래프	236
그림 2-8-1. 표층퇴적물 중 유기물(TOC, TN) 및 중금속(Cr, Cu) 농도분포 ..	250
그림 2-8-2. 서해병해역 주상퇴적물의 유기탄소 및 유기질소 수직분포	252
그림 2-8-3. 서해병해역 주상퇴적물의 중금속 수직분포	252
그림 2-8-4. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총유기탄소 함량 변화	253
그림 2-8-5. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총질소 함량 변화	254
그림 2-8-6. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 알루미늄 농도 변화	255
그림 2-8-7. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 비소 농도 변화	256
그림 2-8-8. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 카드뮴 농도 변화	256
그림 2-8-9. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 크롬 농도 변화	257
그림 2-8-10. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 구리 농도 변화	258
그림 2-8-11. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 수은 농도 변화	258
그림 2-8-12. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 니켈 농도 변화	259
그림 2-8-13. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 납 농도 변화	260
그림 2-8-14. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 아연 농도 변화	260
그림 2-8-15. 표층퇴적물 중 총유기탄소와 카드뮴 농도분포	262
그림 2-8-16. 동해병해역 주상퇴적물의 유기탄소 및 유기질소 수직분포	264
그림 2-8-17. 동해병해역 주상퇴적물의 중금속 농도수직분포	265
그림 2-8-18. DB-085 구획의 퇴적물 사진	266
그림 2-8-19. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총유기탄소 및 총질소 함량 변화 ..	267
그림 2-8-20. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 중금속 농도 변화	267
그림 2-8-21. DB-079 구획 표층퇴적물 사진(보크사이트 잔재물로 덮혀있음) ..	270

그림 2-8-22. 표층퇴적물 중 총유기탄소와 수은 농도분포	270
그림 2-8-23. 동해정해역 펄질 모래 구획의 유기탄소 및 유기질소 수직분포 ·	273
그림 2-8-24. 동해정해역 주상퇴적물의 중금속 수직분포	274
그림 2-8-25. 표층 퇴적물 유기물 함량의 연간 변화	275
그림 2-8-26. 표층 퇴적물 중금속 함량의 연간 변화	276
그림 2-8-27. 서해병해역 휴식년구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화 ·	279
그림 2-8-28. 서해병해역 배출구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화	280
그림 2-8-29. 서해병해역 대조구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화	281
그림 2-8-30. 서해병해역 퇴적물 중 AI 농도의 수직 분포	288
그림 2-8-31. 서해병해역 휴식년 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화 ·	288
그림 2-8-32. 서해병해역 배출 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화 ·	293
그림 2-8-33. 서해병해역 배출 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화 ·	296
그림 2-8-34. 동해병해역 휴식년 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화 ·	321
그림 2-8-35. 동해병해역 배출 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화 ·	322
그림 2-8-36. 동해병해역 대조 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화 ·	323
그림 2-8-37. 동해병해역 퇴적물 중 AI 농도의 연간변화	329
그림 2-8-38. 동해병해역 휴식년 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화 ·	330
그림 2-8-39. 동해병해역 배출 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화 ·	334
그림 2-8-40. 동해병해역 대조 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화 ·	338
그림 2-8-41. 동해정해역 배출 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화 ·	361
그림 2-8-42. 동해정해역 대조 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화 ·	362
그림 2-8-43. 동해정해역 배출 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화 ·	363
그림 2-8-44. 동해정해역 대조 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화 ·	365
그림 2-8-45. 정점 M의 ²³⁴ Th, 비율 및 SPM, POC, PN 수직분포	375
그림 2-8-46. 정점 DK-12의 ²³⁴ Th, 비율 및 SPM, POC, PN, 수은 염분 수직분포	376
그림 2-8-47. 정점 M, DK-12 의 수은 염분 수직분포	378
그림 2-8-48. 정점 G-9의 ²³⁴ Th 및 ²³⁸ U의 수직분포	378
그림 2-8-49. 일본 Nichiyu사의 Sediment Trap 및 Mark-7 Type Sediment Trap ·	380
그림 2-8-50. Sediment Trap 계류 모식도	381
그림 2-8-50. Sediment Trap 계류도	383
그림 2-8-51. 2011년 7월~2012년 1월 동해 울릉분지의 깊이별 입자플럭스 변화 ·	384
그림 2-9-1. 폐기물 배출해역 및 인근해역 대형저서동물 조사정점	386
그림 2-9-2. 서해병 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현현황 ·	391

그림 2-9-3. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역별 분류군 조성률	393
그림 2-9-4. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별 (대조해역, 배출해역 및 휴식년해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량	394
그림 2-9-5. 동해병 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현현황 ·	396
그림 2-9-6. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별 (대조해역, 배출해역 및 휴식년해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량	398
그림 2-9-7. 동해정 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현현황 ·	400
그림 2-9-8. 동해정 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별 (대조해역, 배출해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량	403
그림 2-9-9. 서해병해역의 조사해역별 생태학적 제지수	412
그림 2-9-10. 동해병해역의 조사해역별 생태학적 제지수	413
그림 2-9-11. 동해정해역의 조사해역별 생태학적 제지수	414
그림 2-9-12. 서해병해역의 수지도 다차원	415
그림 2-9-13. 동해병해역의 수지도 다차원	417
그림 2-9-14. 동해 정해역의 수지도 다차원	419
그림 2-9-15. 2008년, 2011년과 2012년 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI)	424
그림 2-9-16. 2011년과 2012년 서해병 해역의 해역별 저서 건강도 지수 ···	425
그림 2-9-17. 2009년과 2012년 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI)	429
그림 2-9-18. 2009년과 2012년 동해병해역의 해역별 저서 건강도 지수 ····	430
그림 2-9-19. 2007년, 2009년과 2012년 동해병해역에서 출현한 대형저서동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI)	433
그림 2-9-20. 2007년, 2010년과 2012년 동해정 해역의 해역별 저서 건강도 지수 비교 (BPI, AMBI)	434
그림 2-9-21. 동해병(좌)과 서해병(우)의 휴식년해역의 저서오염지수	437
그림 2-10-1. 2012년 서해병, 동해병, 동해정 해역의 퇴적물 공극수를 이용한 생물검정 실험 정점	446
그림 2-10-2. 2011년과 2012년 서해병배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성게 배아의 수정률	452

그림 2-10-3. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률	· 452
그림 2-10-4. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 해역별 정상 발생률	..... 453
그림 2-10-5. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공극수에 노출된 성계 배아의 정점별 정상 발생률 (*: $p < 0.05$)	..... 454
그림 2-10-6. 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 발생 단계별 분포 비율	..... 454
그림 2-10-7. 2009년과 2012년 동해병배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성계 배아의 수정률	..... 455
그림 2-10-8. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률	· 455
그림 2-10-9. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 해역별 정상 발생률	..... 456
그림 2-10-10. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공극수에 노출된 성계 배아의 정점별 정상 발생률 (*: $p < 0.05$)	..... 456
그림 2-10-11. 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 발생 단계별 분포 비율	..... 457
그림 2-10-12. 2010년과 2012년 동해정배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성계 배아의 수정률	..... 458
그림 2-10-13. 2010년과 2012년에 동해정배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률	· 458
그림 2-10-14. 2010년과 2012년에 동해정배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 해역별 정상 발생률	..... 459
그림 2-10-15. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공극수에 노출된 성계 배아의 정점별 정상 발생률 (*: $p < 0.05$)	..... 459
그림 2-10-16. 2012년에 동해정배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성계 배아의 발생 단계별 분포 비율	..... 460
그림 2-10-17. 다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표 11종의 발현량 변화. 서해병 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한 눈썹참갯지렁이에서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함	..... 463
그림 2-10-18. 다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표의 11종의 발현량 변화. 동해병 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한	

	눈썹참갯지렁이에서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함	465
그림 2-10-19.	다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표의 10종의 발현량 변화. 동해정 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한 눈썹참갯지렁이에서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함	468
그림 2-11-1.	동해병 폐기물 배출해역에서의 월별 어업별 전체 조업일수 ..	484
그림 2-11-2.	동해병 폐기물 배출해역에서의 월별 어업별 전체 어획량(톤) ..	486
그림 2-11-3.	동해병 폐기물 배출해역에서의 어종별 전체 어획량	487
그림 2-11-4.	동해병 폐기물 배출해역에서의 근해채낚기어업의 어종별 어획량 ..	488
그림 2-11-5.	동해병 폐기물 배출해역에서의 기타통발어업의 어종별 어획량 ..	489
그림 2-11-6.	동해병 폐기물 배출해역에서의 외끌이서남해구기선저인망어업의 어종별 어획량	490
그림 2-11-7.	동해병 폐기물 배출해역에서의 근해외줄낚시어업의 어종별 어획량	490
그림 2-12-1.	붉은 대게 및 대게 어획 조사도	493
그림 2-12-2.	홍게 측정부위. CW(Carapace width), 갑폭; CL(Carapace length), 갑장.	494
그림 2-12-3.	시험에 사용된 붉은 대게	496
그림 2-12-4.	시험에 사용된 대게	496
그림 2-12-5.	시험에 사용된 대게 배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	498
그림 2-12-6.	시험에 사용된 대게배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	498
그림 2-12-7.	배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	499
그림 2-12-8.	배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	499
그림 2-12-9.	배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	500
그림 2-12-10.	배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	500
그림 2-12-11.	배출해역 조사정점 4에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	501

그림 2-12-12. 배출해역 조사정점 4에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	501
그림 2-12-13. 비배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	502
그림 2-12-14. 비배출해역 조사정점 1에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	502
그림 2-12-15. 비배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	503
그림 2-12-16. 비배출해역 조사정점 2에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	503
그림 2-12-17. 비배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계	504
그림 2-12-18. 비배출해역 조사정점 3에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계	504
그림 2-12-19. 폐기물 배출해역에서 어획된 붉은 대게 및 대게 근육 내 중금속 의 평균농도 및 편차	508
그림 2-12-20. 동해병 해역에서 어획된 붉은 대게 근육 내 중금속의 년도 별 평균 농도 및 편차	512
그림 3-4-1. 국제해사기구에 발송된 아국의 해양투기허가발행 보고관련 전문(2012년 7월 4일 발송)	568
그림 3-4-2. 우리나라가 제출한 해양투기 현황이 기재되어 런던협약/의정서 합동당사국회의에 배포된 문서(LC34/INF 3)	569
그림 3-4-3. 런던의정서 당사국 준수 일환으로 우리나라가 국제해사기구에 제출한 런던의정서 규정 이행을 위해 취한 행정 및 제도적 조치 보고(2012년 4월 19일 발송)	589
그림 3-5-1. 일본의 폐기물 처리·처분 담당 행정청(Ito, 2008)	602
그림 3-5-2. 일본의 폐기물 해양배출 허가 신청 및 심사 절차	602
그림 3-5-3. 일본의 폐기물 배출해역 지도(LC33/INF.3)	603
그림 3-5-4. 중국의 폐기물 배출해역 지도	605
그림 3-7-1. 2012년 제주 아시아·태평양지역워크숍	617
그림 4-3-1. 배출해역별 폐기물 해양배출 누적량과 종류	628
그림 4-3-2. '12년 폐기물 배출해역별(a) 및 폐기물 종류별(b) 해양배출 비율 ..	629

그림 4-3-3. 동해병(좌) 및 서해병(우) 휴식년 구역 퇴적물의 시계열 구리농도(mg/kg 건중량) 변화	633
그림 4-3-4. 삼중요소에 의한 오염진단(Chapman 등, 1996)	634
그림 4-4-1. 우리나라 폐기물 배출해역 지도	635
그림 4-4-2. 폐기물 해양배출 방법(해양환경관리법 시행규칙 별표 7)	637
그림 4-4-3. 서해병해역 구심점제도 변혁	638
그림 4-4-4. 배출해역별 책임구역	638
그림 4-4-5. 2002년~2004년 서해병해역의 구심점	639
그림 4-4-6. 2005년 1월 이후 서해병해역의 구심점	639
그림 4-4-7. 동해병해역의 구심점	641
그림 4-4-8. 동해정해역의 구심점	641
그림 4-4-9. 동해병해역(좌)과 서해병해역(우)의 휴식년 구역	642
그림 4-4-10. 동해병해역의 책임구역	643
그림 4-4-11. 동해정해역의 책임구역	643
그림 4-4-12. 서해병해역 책임구역	644
그림 4-4-13. 우리나라 폐기물 해양배출 관련 주요 제도 연혁	645
그림 4-4-14. 연도별 폐기물 해양배출량 추이	719
그림 4-4-15. 2012년까지 폐기물 해양배출량의 해역별 의존도	724
그림 4-4-16. 연도 및 폐기물 종류별 해양배출 변혁	725
그림 4-4-17. 각 배출해역에 배출된 폐기물 총량 누적 비율	726
그림 4-4-18. 각 배출해역에 배출된 폐기물별 누적량	726
그림 4-4-19. 지방자치단체별 폐기물 해양배출 의존도 변화	728
그림 4-4-20. 지방자치단체별 음폐수의 연도별 해양배출 의존도 변화	729
그림 4-4-21. 지방자치단체별 폐수처리오니의 연도별 해양배출 의존도 변화 ·	730
그림 4-4-22. 지방자치단체별 폐수의 연도별 해양배출 의존도 변화	731
그림 4-4-23. 지방자치단체별 분뇨처리오니의 연도별 해양배출 의존도 변화 ·	732
그림 4-4-24. 폐수의 해양배출 업종별 비율('12년 기준)	733
그림 4-4-25. 폐수의 해양배출 업종별 비율('12년 기준)	734
그림 4-4-26. 폐수처리오니의 해양배출 업종별 비율('12년 기준)	734
그림 4-4-27. 폐수처리오니의 해양배출 업종별 비율('12년 기준)	735
그림 4-6-1. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 메인화면	766
그림 4-6-2. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 회원 구성	768
그림 4-6-3. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 월별 접속자 통계	769
그림 4-6-4. 폐기물 해양배출 저감정책 홍보활동 현황	770

제 1 장

서 론

1

해양은 다양하고 풍부한 생물자원을 가지고 있기 때문에 인간에게 식량 자원으로서 중요한 역할을 담당하고 있음에도 불구하고, 우리는 아직까지 해양이 인간의 주생활 근거지로부터 멀리 떨어져 있고 또한 폐기물을 무한대로 희석시킬 수 있는 거대한 수용체라고 인식하여 폐기물을 해양에 배출하기를 선호해 왔다.

그러나 인구의 급격한 증가로 폐기물 발생량이 급격히 증가하고 있고 산업 발달에 따라 발생하는 폐기물의 종류와 이에 함유된 유해물질이 다양화되면서 해양으로 처분된 폐기물들은 해양환경에 심각한 문제를 일으키고 있다.

특히 해양은 닫힌 공간이 아닌 열린 공간으로서 세계적으로 해안에 접한 모든 국가들이 공유하고 있기 때문에 한 국가에서 발생된 폐기물 해양배출로 인한 해양오염은 인접한 타 국가에게도 심각한 영향을 미치게 된다.

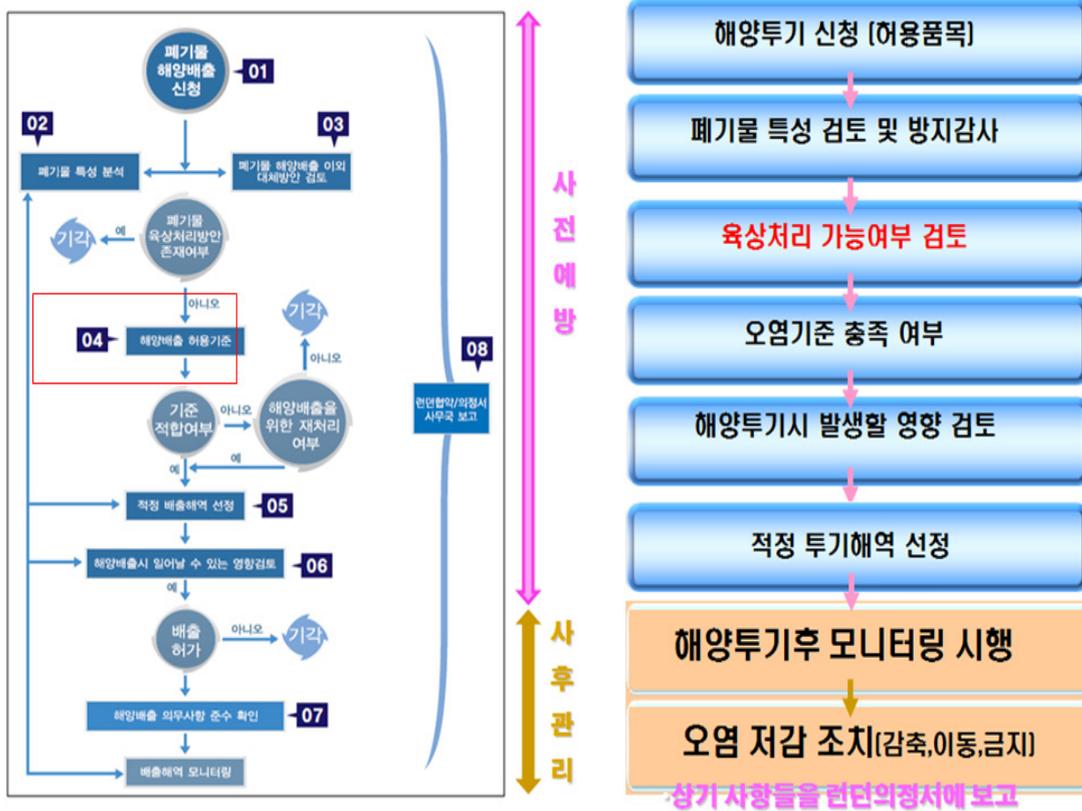
이에 따라 한 국가에 의한 해양오염의 영향이 다른 국가의 해양환경에 피해가 발생하지 않도록 하는 국제적인 요구가 증대됨에 따라 사전예방원칙을 강조하는 “폐기물 및 기타물질의 투기에 의한 해양오염 방지에 관한 협약”인 1972년 런던협약이 탄생되었고 동 협약은 여러 차례의 개정을 거쳐 1996년에 런던의정서로 강화되었고 동 의정서는 2006년 3월 24일 발효하였다.

우리나라는 1993년 12월 동해에서 러시아의 핵폐기물 해양배출과 황해에서의 중국의 산업폐기물 해양배출에 따른 해양환경 악화를 방지하고, 국제적인 해양환경 보전 노력에 동참하기 위하여 1993년 12월 21일에 런던협약에 기탁서를 제출하고 1994년 1월 20일자로 당사국 지위를 확보하였다. 한편, 우리나라는 런던의정서에 대하여 2009년 1월 22일에 기탁서를 제출하고 동년 2월 21일에 당사국 지위를 확보하였다. 2012년 12월 현재 런던협약과 런던의정서 당사국 수는 각각 87개국과 42개국이며 우리나라의 주변국가인 일본과 중국 또한 런던협약과 런던의정서 모두의 당사국이다.

런던협약 및 런던의정서는 해양배출 폐기물에 대한 종합적인 관리시스템을 요구하고 있다. 즉 폐기물의 해양배출 이전에 폐기물 발생 특성을 고려하여 사전처리, 재활용, 소각, 매립 등 육상 처리 원칙의 대체 방안을 강구하고, 불가피한 경우에 각각의 폐기물 특성에 적합한 배출장소를 선정하며, 해양배출 이후에도 그에 대한 정밀 모니터링을 실시하여 허가 조건이 충족되었는지, 허가 검토와 배출해역 선정 시에 행해졌던 가설이 환경보호를 위해 제대로 이루어졌는지를 검토하도록 하고 있다. 런던협약과 런던의정서는 또한

이를 통해 도출된 문제점을 보완하도록 함으로써 폐기물의 발생부터 해양배출 이후까지의 종합적인 관리가 필요하다(그림 1-1-1).

해양투기 신청시 단계별 심사 요구(런던의정서 부속서 2)



런던의정서 부속서 2의 5-6조: **해양환경에 악영향을 주거나, 부적절한 비용 부담없이 육상처리/처분 가능성이 있을 경우 해양투기 기각** (우선순위: 감축 ⇒ 재활용 ⇒ 육지처분(매립, 소각) ⇒ 해양투기)

그림 1-1-1. 런던의정서 해양배출 폐기물 평가체계도

현재 미국, 유럽 등 선진국들은 폐기물 관리정책을 원천차단 → 감량화 → 재활용 → 소각 → 매립 → 해양배출 순으로 검토하고 있다.

폐기물 감량화는 폐기물의 발생을 원천적으로 차단시키고 그의 처리비용을 저감시킬 수 있어 가장 우선적으로 검토된다. 재활용 또한 소각, 매립 및 해양 배출량을 근본적으로 감축시킴으로써 대기 오염 감소와 매립장 및 배출해역의 수명을 연장시키고 또한 재활용 산업을 육성함으로써 고용 창출 등 경제적으로도 큰 이익이 될 수 있다. 소각은 배출가스에 의한 대기오염이 문제가 될 수 있지만 열에너지 회수에 따른 에너지 재활용의 이점도 있다.

매립은 침출수에 따른 지하수 오염 촉발 등 문제점이 있으나 분해 산물로 발생되는 메탄가스 등을 이용하여 소각과 같이 열에너지를 회수할 수 있다.

그러나 해양배출의 경우에는 일단 폐기물이 배출되어 문제가 발생하여도 그의 회수가 불가능하고 또한 유기물 분해에 따른 산소 고갈, 유해물질의 해양생물 체내 축적과 이에 따른 인간 건강 위협, 그리고 주변 국가들과의 환경 분쟁의 초래 등 상당한 문제를 초래할 수 있다.

이러한 문제 해결을 위해 정부는 '06년 「육상폐기물 해양투기관리 종합 대책」을 수립·시행하고, 매년 해양배출량을 단계적으로 감축해 왔다.

이후 해양환경관리법 시행규칙이 '11년 12월 29일자로 개정·시행됨에 따라 '12년부터 하수처리오니와 가축분뇨, 그리고 '13년부터는 음식물류폐기물 폐수(일명 음폐수) 해양배출도 전면 금지되었다. 특히 '12년에는 나머지 폐수와 폐수처리오니도 '14년부터 전면 금지시키는 육상폐기물 해양배출 제로화가 달성됨으로서 유기성폐기물의 해양배출이 이제는 과거 역사로 전환하는 획기적인 한해가 되었다.

그러나 '14년까지는 폐수와 폐수처리오니의 해양배출이 지속되고, 그동안 해양배출된 폐기물 상당량이 해저에 축적됨으로서 국민 건강 위협 뿐만 아니라 주변국가들과의 환경분쟁 가능성은 여전히 존재한다.

이에 따라 본 과제는 ① 과학적이고 합리적인 폐기물 배출해역의 관리, ② 런던의정서 준수 지원, ③ 폐기물 해양배출 감축 정책 지지기반 조성을 위한 홍보, ④ 제도 개선 등을 포함한 폐기물 해양배출 종합시스템 구축을 통해 육상폐기물 해양배출 제로화 실현과 런던의정서 당사국으로서 해양환경을 보호하려는 국제적인 노력에 적극 동참하고 국민 건강에 이바지하고자 하였다.

2

해양으로 배출된 폐기물은 해수에 희석되어 이동·확산되고 일부는 해저로 가라앉게 된다. 이렇게 확산된 폐기물을 해양생물이 섭취하며 폐기물에 포함된 중금속 등 오염물질은 생태계 내에서 고등생물로 올라갈 수록 축적되게 된다. 그리고 해저로 가라앉은 퇴적물의 일부는 해저에 서식하는 저서생물이 섭취하고 다른 일부는 재부유한 후 다시 가라앉기를 반복하면서 최종적으로 해저 퇴적물 속으로 매몰된다(그림 1-2-1).



그림 1-2-1. 해양으로 배출된 폐기물의 거동 모식도

특히 폐기물은 그 자체가 고농도의 유기물을 함유하고 있고 또한 중금속이나 유기오염물질 등과 같은 오염물질도 포함하고 있다.

따라서 유기물이 풍부한 폐기물이 해양에 유입되면 유기물 분해로 인해 부영양화를 일으켜 해수 중에 용존 산소를 감소시키고, 해저 퇴적물에 축적된 유기물이 분해하면서 산소를 소비하여 해저퇴적물 중의 산소 역시 부족하게

된다. 그 결과 해양에 서식하는 생물의 종 다양성, 생물의 수 등에 변화를 일으켜 생물자원 감소를 야기한다. 또한 폐기물에 함유되어 있는 중금속과 유해독성 물질과 같은 오염물질은 해수 중에서 생물이 섭취하여 먹이사슬을 통해 수산자원에 농축되거나 혹은 해저퇴적물에 농축되어 퇴적물에 서식하는 생물체 내에 농축되어 결국 수산자원의 안정성에 영향을 미치고 생물자원 감소와 국민 건강을 위협하게 될 것이다(그림 1-2-2 ~ 3).

폐기물 해양배출에 따른 잠재영향

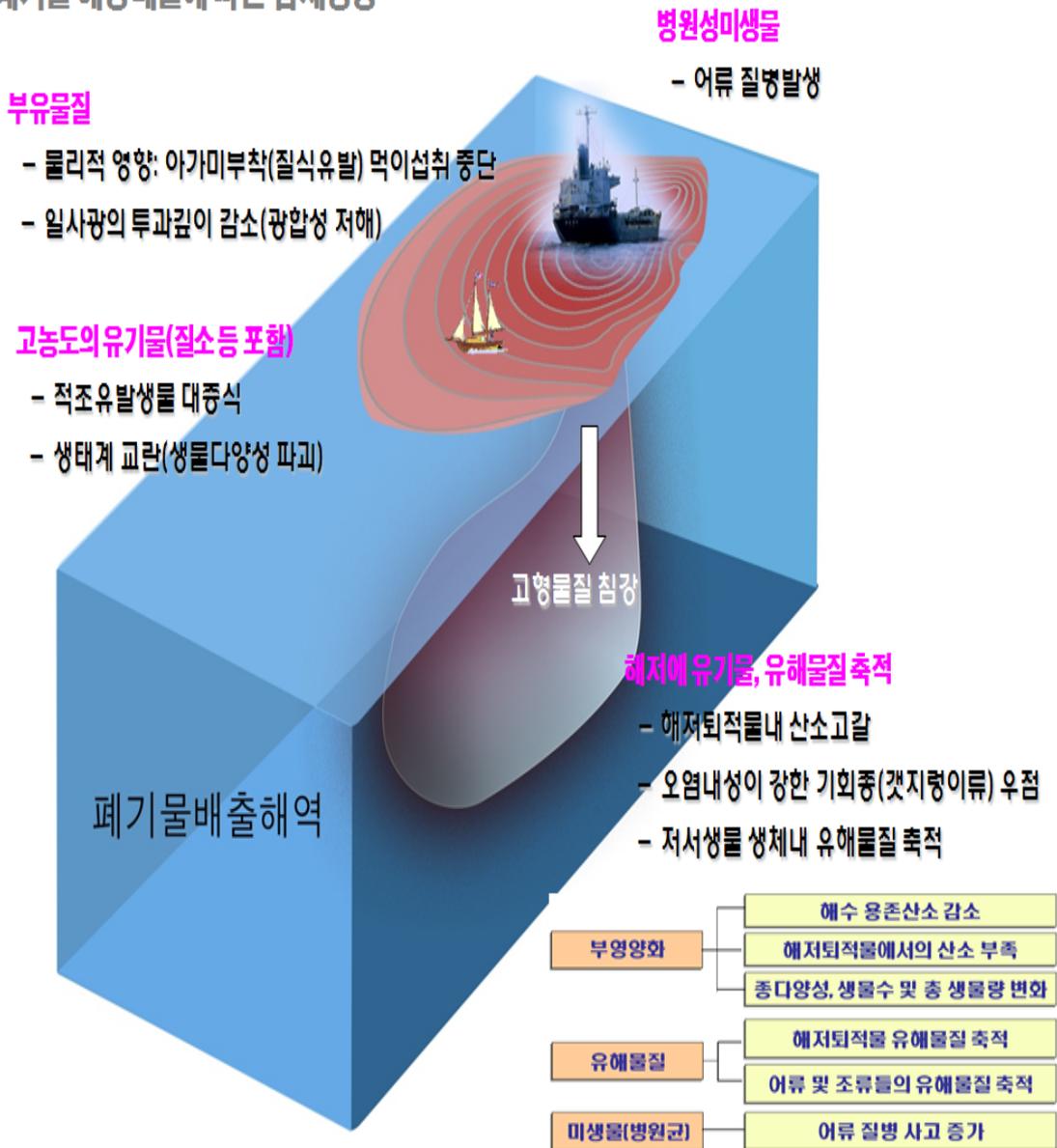


그림 1-2-2. 폐기물 배출이 해양에 미치는 영향

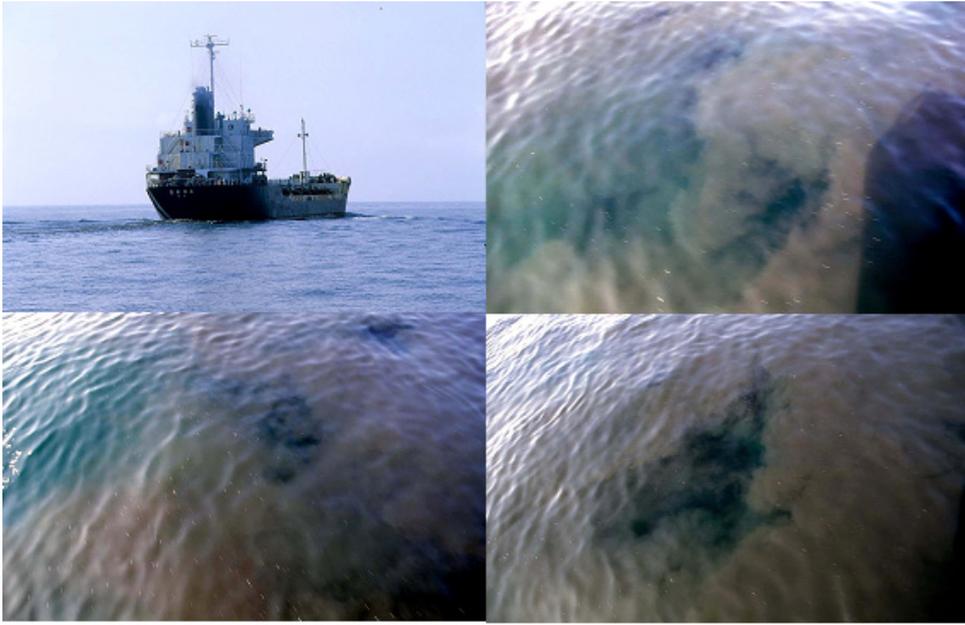


그림 1-2-3. 배출해역에서 선박으로부터 배출되는 폐기물 사진(확산식)

또한 해류에 의해 이동된 폐기물은 인접 국가의 바다로 유입되기도 하기 때문에 주변국가와의 국제 분쟁의 소지도 내포하고 있다. 특히 우리나라의 폐기물 배출해역인 서해병해역과 동해병해역은 중국, 일본이 함께 어획하는 공동어업수역에 포함되어 있어 외교 분쟁의 가능성이 있다(그림 1-2-4).



그림 1-2-4. 우리나라 폐기물 배출해역과 공동어업수역

제 2 장

폐기물 배출해역 건강상태 정밀조사

제 1 절 연구목적 및 내용

1. 연구목적

- 배출해역의 정밀 모니터링을 통한 과학적이고 합리적인 해양배출 관리시스템을 구축
- 런던의정서 당사국 의무사항 이행(배출해역 환경상태 보고)을 위한 기반 자료 확보

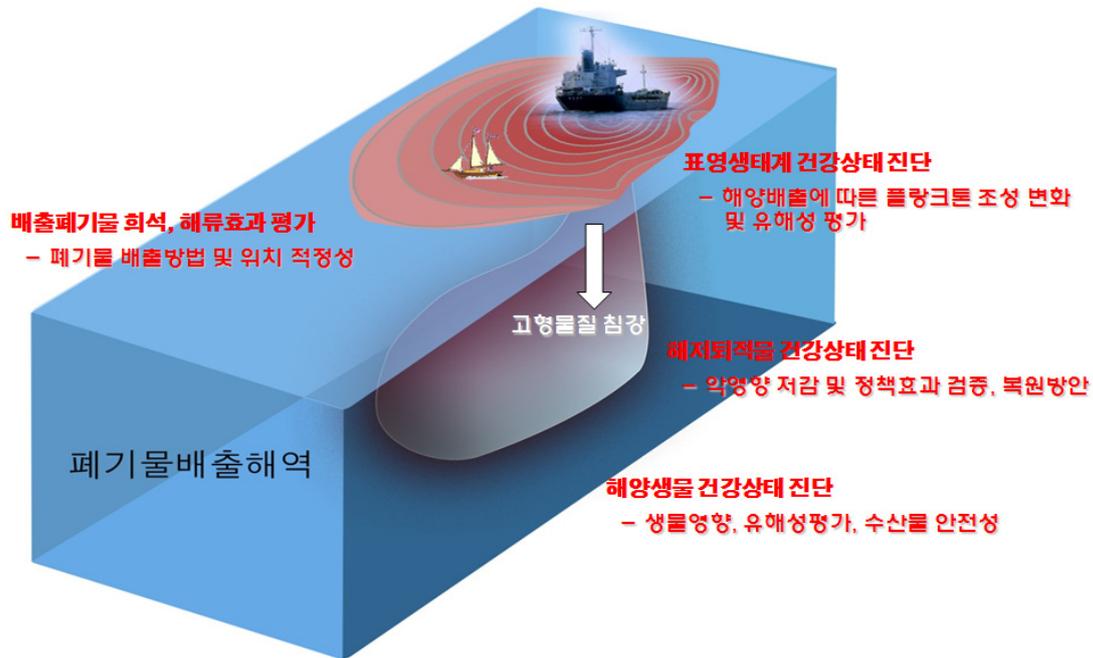
2. 연구수행기관

- 한국해양과학기술원 해양기반연구본부
- 한국해양과학기술원 동해분원
- 한국해양과학기술원 남해분원
- 국립수산과학원 남·서해수산연구소
- 광주대학교
- (주)해양생태기술연구소

3. 주요 과업내용

1) 배출해역의 건강상태 진단을 위한 정밀조사

- 조사해역(3개 폐기물 배출해역; 동해정·병해역, 서해 병해역)
: 지금까지의 배출해역 평가 결과를 토대로 오염심화 또는 세심관리가 요구된 구획을 중점으로 정밀 모니터링 시행
 - 조사구획 수 : 총 36개 (대조구획 포함, 해역별 12개 구획)



○ 폐기물 해양배출 및 배출해역 현황 분석(한국해양과학기술원)

● 목적

폐기물 해양배출 및 배출해역 현황 분석을 통해 과학적이고 합리적인 배출해역 최적관리를 위한 기초자료 제공

● 내용

○ 해양배출 폐기물 현황 및 실태 분석

- 해양배출 통계 및 허가(위탁신고, 배출해역지정) 현황
- 폐기물 종류별 이화학적 특성 정보

○ 배출해역 오염 압력요인 분석

- 자연현황 자료 분석(해황, 해저면 특성 등)
- 폐기물 배출선박 현황, 해양배출 위치 및 구획별 빈도수
- 기존 퇴적물 오염현황 자료 분석 및 비교
- 해양배출 폐기물의 물리·화학적 특성(비중, 함수율, 해양환경관리법 시행규칙 별표 8의 유해물질 항목)

● 활용

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공

○ 폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태 진단(광주대)

● 목적

- 폐기물 배출 이후 시간별 희석 및 침강에 따른 표영생태계 건강상태 파악 및 영향 분석

● 내용

- 배출해역 표영생태계 일차생산자 서식환경 분석
 - 물리특성 및 인공위성자료 분석
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생산성 조절요인
 - 친생물인자 성분 조사(영양염류, DO, POC, PON, pH)
 - 광조절요인 성분 조사(입자성부유물질)
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생리 건강상태 조사평가
 - 클로로필-a, 일차생산력, 생체형광, 생체형광지수(FRI)
- 배출해역 표영생태계 일차생산자 생물 종조성
 - 식물플랑크톤 종조성
- 배출해역 표영생태계 유해물질 위해성 평가용 현장자료 획득
 - 유해물질 농도 조사(COD, 총질소, 총인, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, PCB, PAH, 유분, 시안, 페놀)

● 활용

- 과학적인 배출해역 관리를 위한 제도 및 정책 제언
- 런던의정서 준수보고서 기반 자료

○ 해저퇴적물 건강상태 진단(한국해양과학기술원)

● 목적

- 해저퇴적물 정밀 모니터링을 통한 과학적인 해역관리방안 모색

● 내용

- 배출해역 퇴적물 건강상태 진단
 - 배출해역 퇴적물 오염물질 시공간적 분포 특성[COD, 유기탄소/질소, 중금속(구리, 카드뮴, 망간, 비소, 아연, 납, 수은, PCBs,

PAHs]

- 배출해역 퇴적물축적률 추정 [^{210}Pb , ^{137}Cs (감마선 계수)]
- 배출해역 폐기물 투기로 인한 중금속 흡착(Scavenging)교란 분석 : 해수중 $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$, ^{234}Th - ^{238}U 비평형 조사
- 배출해역 환경상태 변동 평가
 - 배출금지구역(휴식년구역)에 대한 유해물질 농도 변동
 - 배출량 감소에 따른 배출해역의 유해물질 변동
- 폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사(동해병해역)
 - 침강입자 포집기 계류
 - 배출해역 경계 외측으로의 폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사

● 활용

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공
- 런던의정서 준수보고서 작성을 위한 기초자료 제공
- 폐기물 해양배출 감축정책 추진을 위한 근거자료 제공

○ 해양생물 건강상태 진단

● 목적

- 배출해역 생태계에 악영향을 방지하고 생태환경을 개선하여 안전한 수산물을 공급함으로써 국민건강 보호에 기여

● 내용

- 배출해역 저서생물 건강상태 진단(해양생태기술연구소)
 - 저서생물 현황조사
 - : 군집구성 분포, 우점종 분포, 서식밀도 및 군집구조, 유사도 분석, 저서생물 군집구조 및 특성변화경향 분석
- 저서생물 오염지수 산출(한국해양과학기술원)
 - 오염지시 생물 및 오염민감 생물 현존량 분석
 - 저서오염지수 산출
- 저서생물 유해성 평가(한국해양과학기술원)
 - 생물농축 계수 산출 및 독성 평가
 - : 성계 수정률 및 배아 발생률 분석, 환경스트레스 특이 유전자 치등발현 이용 노출 평가

- 저서생물 교란 정도 및 영향 평가
- 저서생물 건강상태 변동 평가(한국해양과학기술원)
 - 배출금지구역(휴식년구역)에 대한 저서생물 변동
 - 배출량 감소에 따른 배출해역의 저서생물 변동
 - 현재의 배출구획에 대한 적정성 평가
- 주요 수산생물 건강상태 조사(국립수산과학원 남서해수산연구소)
 - 동해 병해역 수산자원 변동 조사
 - 동해 병해역 주요 수산생물 안전성 평가
- : 중금속 생체내 축적 및 국민건강 안전성 평가

● 활용

- 과학적인 배출해역 관리방안 마련을 위한 기초자료 제공
- 폐기물 해양배출 감축정책 추진을 위한 근거자료 제공
- 배출해역 생태계 복원을 위한 기초자료 제공

4. 달성된 주요성과

- 폐기물 배출로 인한 주요 표영생물 영향 규명
- 조사항목별 오염현황
- 수괴별 오염현황
- 해역기준 초과여부
- 구획별 오염지도
- 배출해역 퇴적물내 유해물질 축적 거동 추적용 환경자료
- 퇴적물 오염현황 파악
- 구획별 조사성분별 오염도 지도
- 배출 오염물질의 퇴적물 잔존량(율) 계산
- 배출해역과 비배출해역과의 생태환경 분석
- 배출해역내의 구획별 생태환경 차이 분석
- 구획별 생태환경지도
- 연도별 수산자원 변동현황

- 폐기물 배출로 인한 수산자원 변화여부
- 폐기물 배출로 인한 수산생물 중금속 축적 여부
- 폐기물 배출로 인한 해양환경 및 인간건강 위해성 평가
- 배출해역 해류 및 수괴 특성 파악

제 2 절 배출해역의 자연환경

1. 서해병해역

가. 서해병해역 위치

「해양환경관리법시행규칙」 별표 7에 규정된 서해병해역의 위치는 북위 35°27' 과 36°12', 동경 124°13' 과 124°38' 의 점을 연결한 선으로 둘러싸인 해역으로써 가로 38km, 세로 83.3km이며 총면적은 3,165km²이다. 군산에서 서쪽으로 약 290km 떨어진 동 해역의 평균 수심은 약 80m이다(그림 2-2-1).



그림 2-2-1. 서해의 폐기물 배출해역 위치

나. 서해의 자연환경

1). 서해의 지리적 특성

서해는 제주도와 양자강을 잇는 선에 의해 동중국해와 경계를 이루며, 발해를 포함한 서해의 총면적은 약 460,000km²이고 총 용량은 18,000km³, 최대 수심 105m, 평균수심 44m로 수심이 얇은 반폐쇄성의 대륙붕 천해이다.

등심선은 대체로 해안선에 평행인 남북방향이고 수심 80m 이상의 최고 수심지역은 중국 대륙보다는 한반도에 치우쳐 있다. 일반적으로 수심은 북쪽보다는 남쪽에서 깊어 서해 입구인 제주도 근방에서는 수심이 110m에 이른다 (그림 2-2-2).

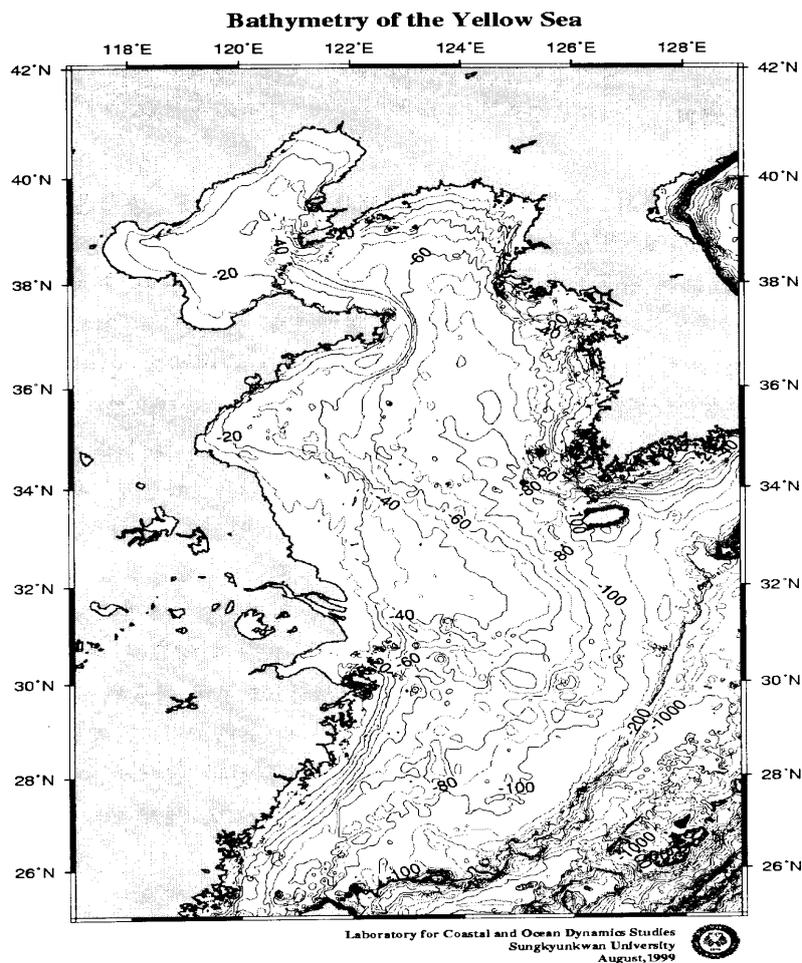


그림 2-2-2. 서해의 수심도(Choi, 1999)

서해의 서쪽은 산동반도의 기반암 노출지역과 북부 장수평야의 니질과 사질의 해안으로 둘러 싸여 있고 황하와 양자강의 고삼각주로서 수심이 40m 이하로 얕다. 반면 오른쪽 해역은 북위 36°에서 압록강까지 2-3Φ의 사질 퇴적물이 분포하고 있으며, 제주도 북쪽해역까지의 한반도 남서 연안지역(수심 20-70 m)에는 한국 강 기원의 니질 퇴적물이 유입하고 있다(Chough et al., 2000).

서해에는 양자강, 한강, 압록강 등 크고 작은 하천들로부터 연간 약 1.2×10^{11} m³의 강물이 유입되어 염하구의 성격을 띤다. 특히 육상의 풍화산물, 인간 활동에 의한 각종 오염물질들의 유입에 있어서 하천이 차지하는 비중이 크다. 이들 중 양자강은 세계에서 유량이 다섯 번째로 큰 강으로 연간 921×10^9 m³/yr의 담수를 해양으로 유출시키며 유역면적은 1.81×10^6 km²에 달한다. 여름철 양자강으로부터 유출된 담수에 의해 희석된 해수는 서해 남부뿐만 아니라 한국 남해안 및 동해까지 그 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 발해만으로 유입되는 황하는 유량에 있어서는 작은 편이나 부유물질의 방출량에 있어서는 $1,080 \times 10^6$ ton/yr로 세계에서 두 번째로 크다.

서해 연안은 최근 수십 년간 급속한 산업화와 도시화의 진행으로 인하여 많은 인구가 밀집하여 있으며 또한 이들 활동의 부산물로 연안역의 오염은 가속화되고 있는 실정이다. 서해본역으로의 오염물 이동은 하천과 연안을 통한 방출의 이동·확산과 대기를 통한 경로를 들 수 있다. 최근의 연구에 의하면(한국해양연구소, 1995), 하천 유입으로부터의 영향이 적은 서해중앙부와 같은 지역에서는 대기로부터의 일부 금속원소의 기여가 상대적으로 더 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

2). 서해의 해수 유동 특성

서해는 수심이 평균 44m로 얕고 몬순의 영향을 받는 지역이라서 해수 물성의 계절변화가 뚜렷하다. 그러나 서해의 중앙골에 있는 해수는 계절변화가 매우 약하고 태양복사가 증가하는 춘계에도 여전히 낮은 수온을 유지한다. 이 해수는 황해저층냉수라 명명되고 그 수온은 그 이전 겨울철의 조건에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다.

서해 해류는 크게 중앙부의 북향류와 주변부의 남향류로 대표된다. 제주도 서쪽에서 서해의 중앙골로 흐르는 해류인 황해난류는 서해로 고온 고염의

해수를 공급한다(그림 2-2-3). 황해난류의 존재에 대해서는 상반된 주장이 있다. 즉, 황해난류가 일 년 내내 유지된다는 주장이 있는 반면 황해난류가 존재하는 시기가 있기도 하고 존재하지 않는 시기도 있다는 주장이 있는데 여름에는 존재하지 않고 겨울철에 북풍이 강할 때 간헐적으로 생성된다는 주장도 있다.

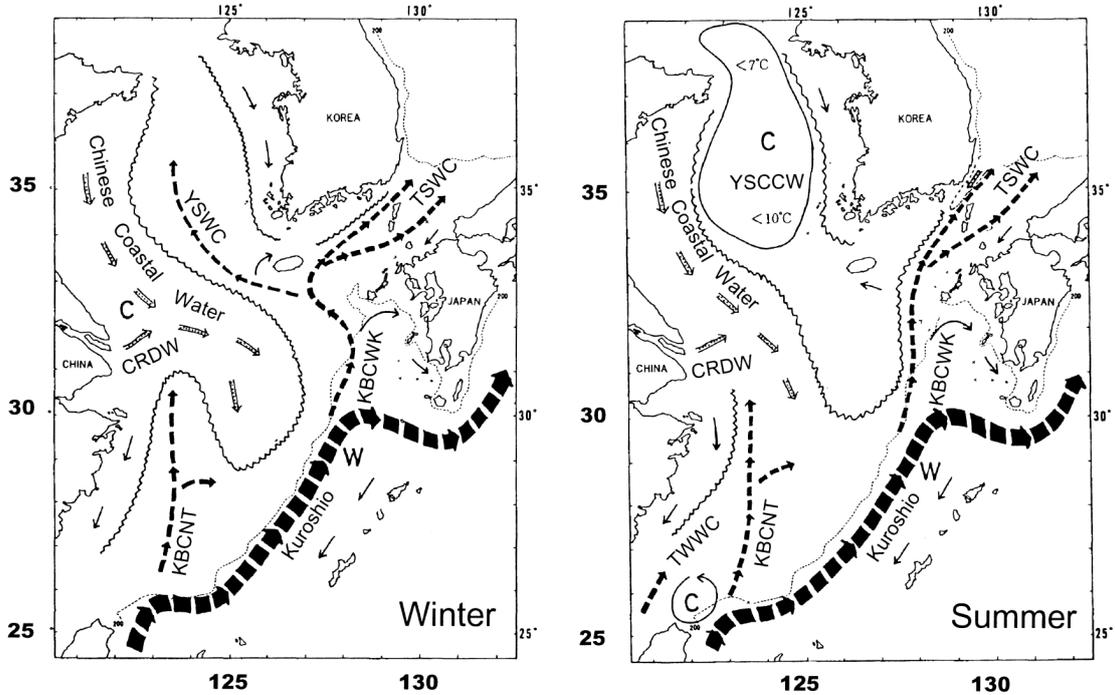


그림 2-2-3. 서해(수심 50m)에서 동계와 하계의 수평 해수 유동형태(Ichikawa, 2002)
(YSWC : 황해난류, CRDW : 양자강희석수, YSCCW : 황해중앙냉수)

서해 전체를 계절별로 현장 관측하기는 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 서해의 전체적인 해수 유동의 특성이나 물성의 분포는 인공위성으로 관측한 자료를 이용하거나 수치모형을 이용하여 파악해야 한다.

Hickox et al.(2000)은 인공위성으로 관측한 11년간의 표면수온의 분포를 분석해 수온의 수평구배가 큰 전선의 분포와 그 변화를 기술하였다. 이 연구에 의하면 서해의 중앙과 주변부 사이에는 경기만전선, 산동반도전선 등 뚜렷한 수온전선이 존재하며 계절에 따라 약간의 차이는 있지만 모든 계절에 전선이 존재하는 것으로 나타났다(그림 2-2-4). 한편 전선의 연안쪽, 즉 서해의 동서 주변부인 우리나라 연안과 중국 연안에서는 남쪽으로 흐르는 해류가 존재한다.

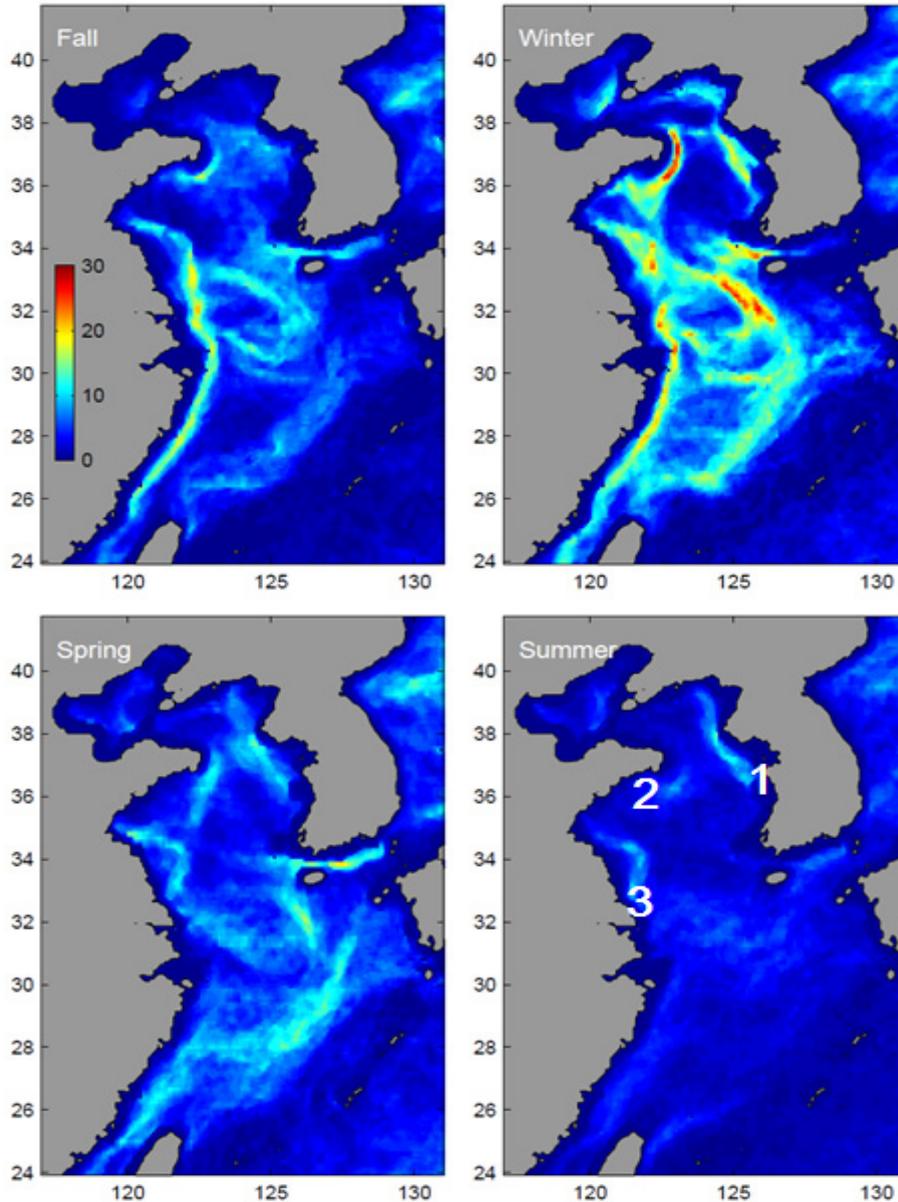


그림 2-2-4. 서해의 표면수온 관측을 통한 수온전선 계절 분포(Hickox et al, 2000)
 (1. 경기만 전선(Kyunggi Bay Front), 2. 산둥반도 전선(Shandong Peninsula Front), 3. 지양수 전선(Jiangsu Front))

수치모형(Regional Ocean Modeling System, ROMS)을 이용하여 구한 서해의 3차원 해수 유동 특성은 기존 연구 결과와 부분적으로 상이한 결과를 보인다. 서해의 연평균 표층 해류는 전체적으로 남향이며 황해 중앙부에서 크기가 상대적으로 크다. 연평균 표층 수온은 중앙부가 따뜻하고 수심이 얇은 중국 연안과 한국 연안에서 상대적으로 낮다(그림 2-2-5).

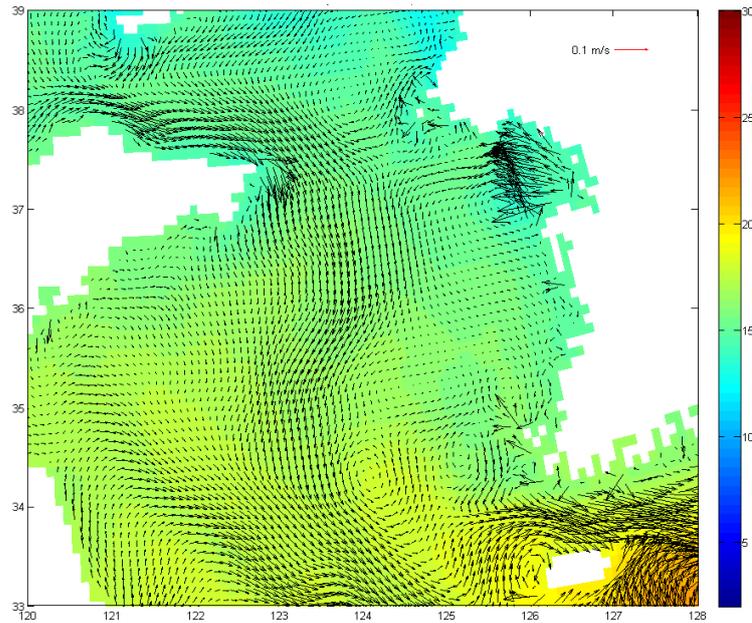


그림 2-2-5. 표층(수심 2m)의 연평균 해류와 수온

표층과 달리 30m 수심에서 연평균 해류는 서해 서쪽에서 남쪽으로 향하는 반면 동쪽에서는 북쪽으로 향하고(그림 2-2-6), 50m 수심에서는 전체적으로 북향이다(그림 2-2-7). 그러나 50m 수심의 해류는 계절마다 그 방향과 크기가 다르며 특별히 짧은 시간 동안은 조류에 의해 해수 유동 방향이 정해진다.

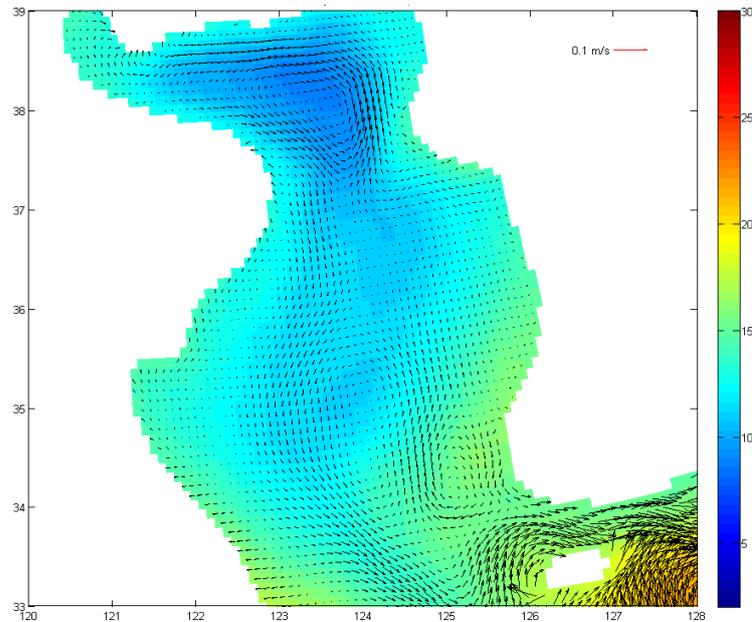


그림 2-2-6. 수심 30m의 연평균 해류와 수온

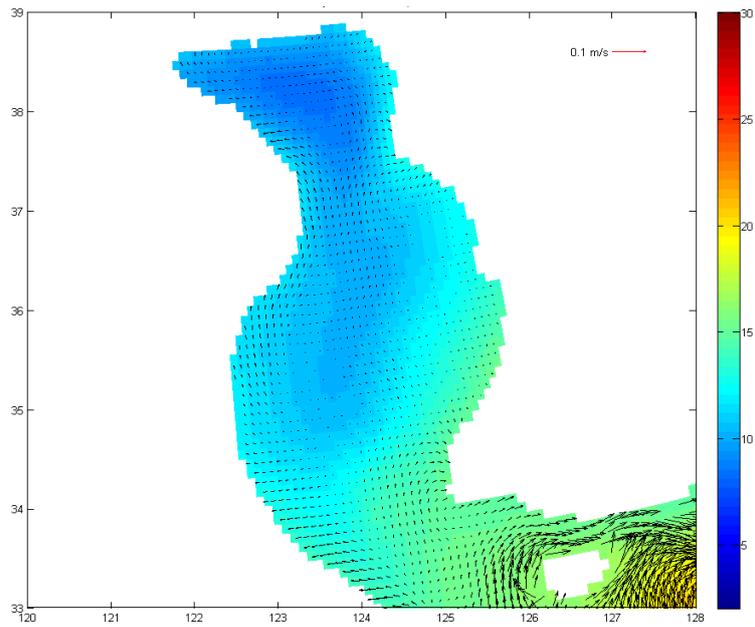


그림 2-2-7. 수심 50m의 연평균 해류와 수온

수치모형에서 나타난 계절에 따른 표층 수온과 해류의 변화는 그림 2-2-8 내지 그림 2-2-11에서 도시된 바와 같다. 2월의 표층 수온은 수심이 얇은 중국 연안과 한국 연안에서 5°C 이하로 낮지만 5월에는 중국 연안과 한국 연안에서 20°C 정도로 높아진다. 8월에는 조석 혼합이 활발한 한국 남서 연안에서만 표층 수온이 18~20°C로 낮은 점을 제외하면 전체적으로 20°C 이상이고, 11월에는 표층 수온이 낮아져 약 13~20°C를 나타내며 경기만과 중국 연안, 한국 연안의 수온이 가장 낮다.

표층 해류는 2월에 서해 중앙과 동쪽에서 남향인 반면, 5월에는 서해 중앙에서는 2월과 유사하게 전체적으로 남향이지만 한국 연안 근처에서는 북쪽을 향해 흐르기 시작한다. 8월 표층 해류는 서해 서쪽해역과 중앙부에서 남향이고 동쪽해역과 한국 연안에서는 북향이며 11월 표층 해류는 전체적으로 남향이다.

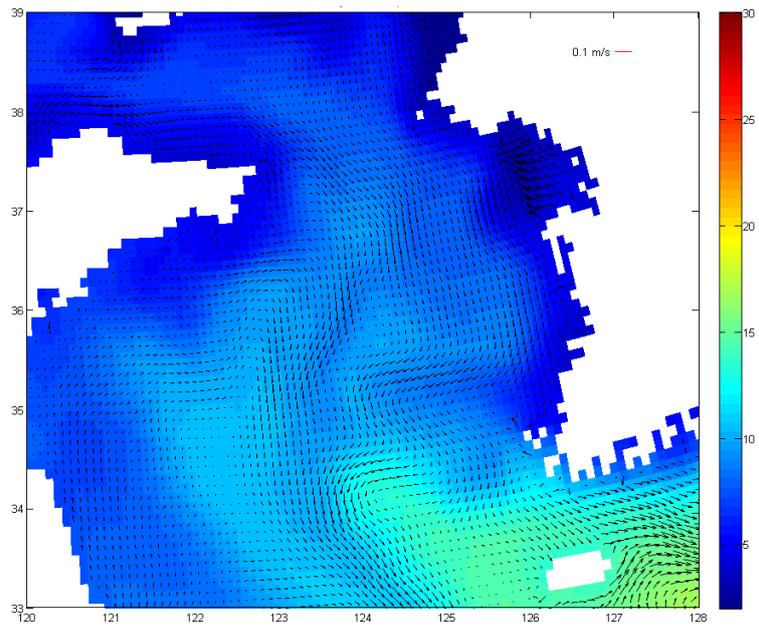


그림 2-2-8. 2월 평균 표층 해류와 표층 수온

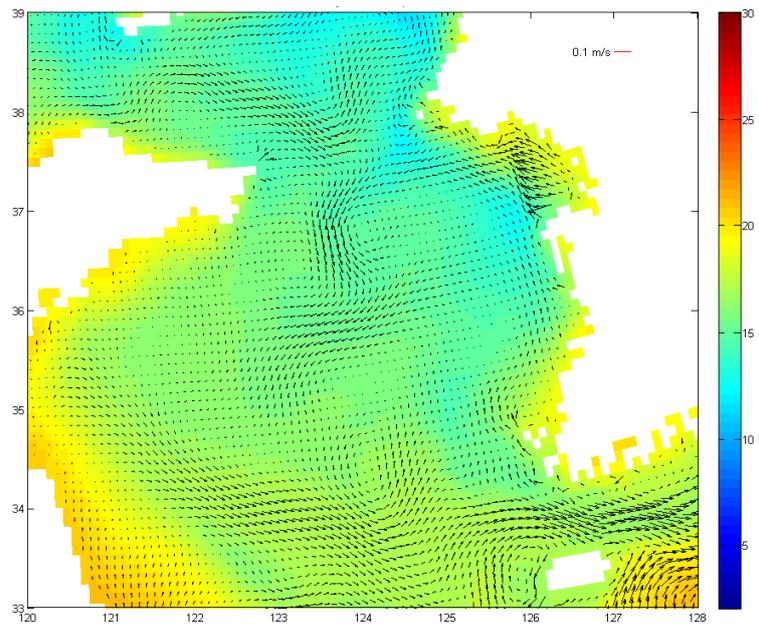


그림 2-2-9. 5월 평균 표층 해류와 표층 수온

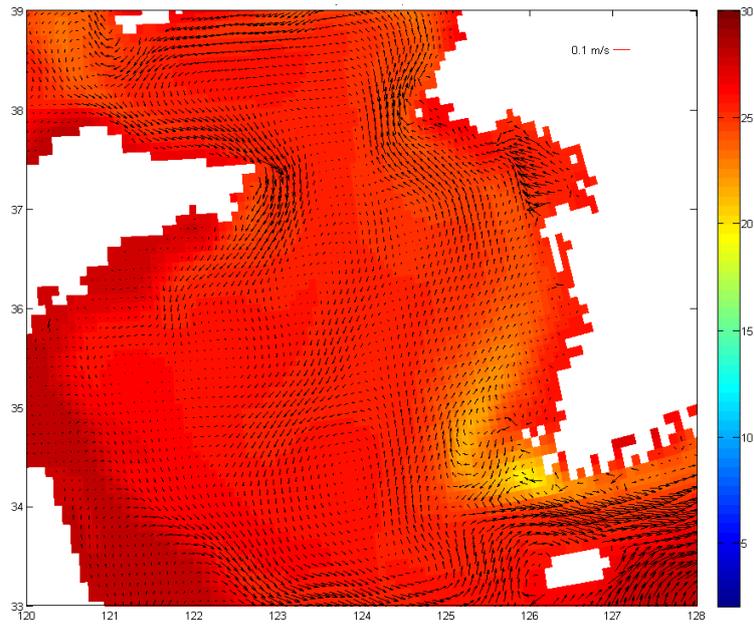


그림 2-2-10. 8월 평균 표층 해류와 표층 수온

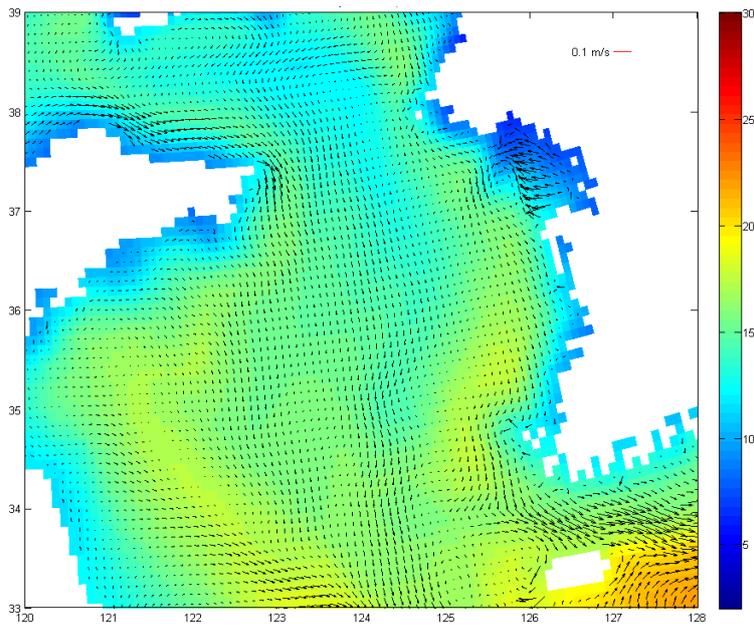


그림 2-2-11. 11월 평균 표층 해류와 표층 수온

3). 서해의 해수특성

계절변동이 큰 온대 몬순기후에 속하는 서해는 수층의 계절적인 특성이 뚜렷하게 나타난다(과학기술처, 1992). 하계에는 밀도 성층이 발달해 표층수에서 유입되는 유기물의 재광물화 작용으로 영양염의 축적이 일어나 저층수에서는 영양염의 농도가 증가한다.

추계에는 상대적으로 성층이 약해지지만, 표층수에는 여전히 영양염이 고갈되어 있으며 저층수에는 지속적으로 영양염의 축적이 일어나 높은 농도를 나타내게 된다. 동계에는 강한 북서풍에 의한 냉각 효과로 저층수와 표층수 간의 혼합이 일어나 수직적으로 균일한 수괴특성을 나타낸다(과학기술부, 1998). 한편, 춘계에는 일반적으로 서해 난류수의 유입으로 서해 내 여러 화학인자들이 공간적으로 재분포되며, 수직적인 수괴의 혼합이 용이하여 저층수에서 표층으로 영양염의 공급이 원활히 일어난다. 이러한 결과, 표층수에는 풍부한 영양염과 일사량의 증가로 인한 식물플랑크톤이 대증식되어(과학기술처, 1992; 화학기술부, 1998) 무기영양염의 고갈이 야기된다(Harris, 1986; Millero and Sohn, 1992). 김(2000)에 따르면, 4월의 서해수괴 특성은 광역적으로는 양자강 희석수가 세력이 약화되고, 서해난류수가 상대적으로 세력이 강화된다.

그 결과 서해난류수는 서해 중앙해역까지 진입되어 서해끝에 위치한 정점에서 영양염 농도가 낮게 된다고 한다. 중국 및 한국 연안에서 높은 영양염 분포를 나타내는 것은 하천수의 유입과 조석에 의한 수괴의 혼합의 결과라고 해석된다. 또 지역적으로 형성된 조석전선은 영양염의 이동을 제한하여 영양염의 수평적인 분포에 영향을 주기도 한다. 그리고 전선역의 높은 식물플랑크톤 생체량은 표층수의 영양염을 고갈시켜 수직적인 영양염 분포에 영향을 미치기도 한다고 하였다.

서해 일부 해역의 제한된 자료를 기반으로 하여 아래와 같은 서해 생태환경 특성을 규명하였다(Hong et al., 1994). 서해의 식물 플랑크톤 대번식은 동계 영양염류 저장(winter reserve)을 이용해 4월에 일어나며, 서해의 연평균 기초생산력은 $165 \text{ gC/m}^2/\text{yr}$ 이다(Hong et al., 1994). 연안 천해 조석기인 혼탁해역에서는 기초생산력은 동계를 제외하고는 광의 가용여부에 의하여 결정되나 서해 본역에서는 영양염류의 가용여부에 의하여 결정된다. 식물플랑크톤 성장에 대한 영양염류와 광의 가용성에 따른 서해 생태환경을 구분하면 3구역으로 나누어지는데 저생물량의 청정(저입자 농도)본역으로 성층이 발달하는 해역, 저생물량의 매우 혼탁하고 수직적으로 잘 혼합된 연안 해역, 그리고

고생물량의 전선역으로 구분된다. 영양염류는 일반적으로 유광대(0~30m 수심)에서는 고갈되고 유광대 아래에 농축되어 있다(Chung et al., 1991). 유광대 아래의 영양염과 용존산소 그리고 총 현존량의 시계열 변이에 의하여 식물플랑크톤 생산량은 약 12%가 상부층으로 영양염류 확산에 의하여 지지된다(Hong et al., 1993; Hong et al., 1994).

4). 서해의 해저 퇴적물 개관

서해는 황하, 양자강 및 한강 등 여러 하천으로부터 많은 쇄설성 퇴적물이 유입되어 퇴적된다. 서해로 많은 퇴적물을 내보내며 하구가 수시로 바뀐 황하는 연간 평균 10×10^8 톤의 쇄설성 퇴적물을 유출하며 이 중 약 9~15%가 발해 연안류에 의해 산둥반도 동쪽을 경유하여 서해로 유입된다(Alexander et al., 1991). 양자강의 경우는 연간 $4.7-5 \times 10^8$ 톤의 퇴적물을 배출하며(Yang et al., 2003), 양자강 하구의 토사 퇴적율은 매년 0.5m 정도이고, 이는 다시 연안류에 의하여 남쪽으로 이동한다(DeMaster et al., 1985). 반면 한국 강에 의한 퇴적물 배출량은 연간 1×10^7 톤 미만이다(Yang et al., 2003).

한국측 해안은 대규모 조석환경으로 사질, 혼합, 니질 조건대로 형성되어 있다(그림 2-2-12). 일반적으로 경기도는 니질, 충남은 사질, 전남북은 혼합 또는 니질 조건대가 우세하다.

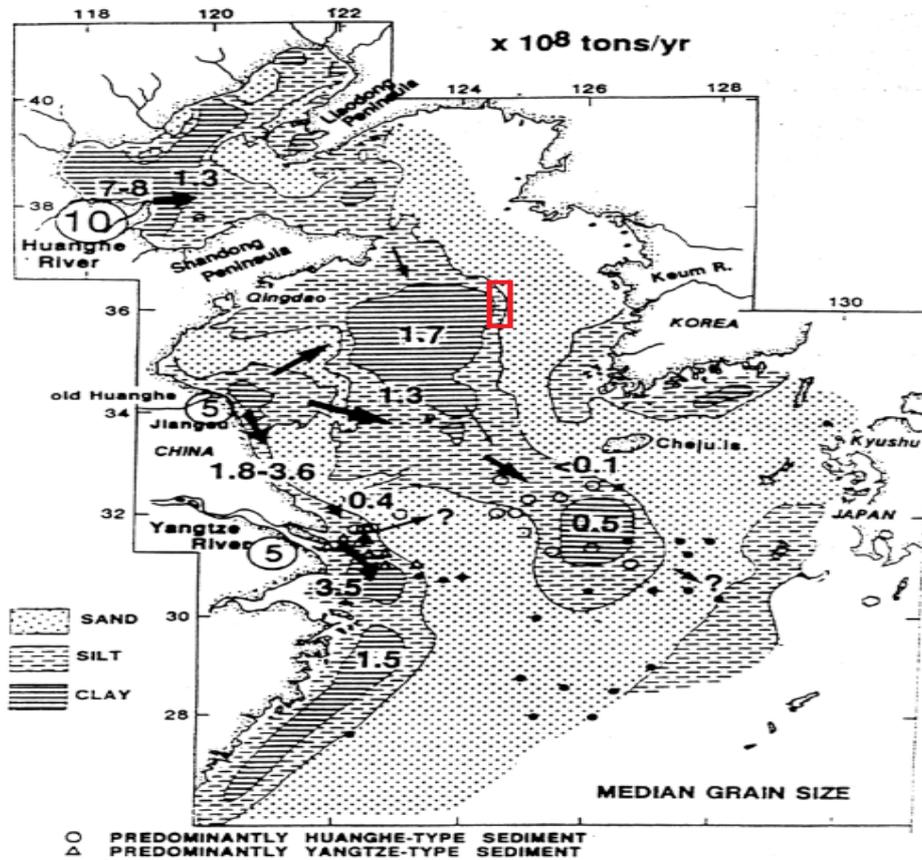


그림 2-2-12. 서해의 표층퇴적물 입도 분포(Chough, 1983)

퇴적물은 계절풍에 의하여 재분배되는데, 여름철에는 반시계방향의 연안류에 의해 금강 기원의 세립질 퇴적물들이 북서방향으로 퍼져 나가며, 겨울철에는 반대로 시계방향의 순환에 의해 남쪽으로 이동한다(Park et al., 1995; Chough et al., 2000). 현재 서해 본역의 퇴적물 축적율은 산둥반도 수하삼각주의 정적층에서 연간 1~2mm, 전치층에서 연간 4~9mm, 기저층 기부에서 연간 2~4mm이고, 기저층의 말단에 해당하는 서해 중앙부에서는 연간 0.3~0.9mm로서 가장 낮다. 이는 퇴적물 무게로는 서해중앙부에서는 연간 280~600g/m²이고 장수연안에서는 약 3kg/m²이다(Hong et al., 1999a). 서해안 연안 해역은 비교적 강한 조류의 영향으로 소규모의 해저골과 사퇴가 곳곳에 분포되어 있다. 사퇴의 주방향은 북동-남서가 우세하며, 전연안에 걸쳐 광범위하게 분포되어 있다.

사질은 주로 석영, 사장석, 알카리장석, 각섬석(hornblende) 등과 같은 주

구성광물(primary rock forming minerals)로 구성되어 있으며, 각섬석은 63-250 μm 크기로 퇴적물내 중광물의 80%를 차지한다(Chough et al., 2000). 니질은 주로 운모군광물(Illite), 녹니석(Chlorite), 고령토(Kaolinite)와 같은 점토광물(clay minerals)로 구성된다. 운모군 광물은 서해 표층퇴적물에서 가장 많은 니질로서 평균 15.3%를 차지하며, 산동반도 남동쪽 해역 퇴적물에서는 40% 이상 차지한다(그림 2-2-13; 문 등, 2008). 특히 스멕타이트(Smectite)의 경우 한국 강 퇴적물에서는 5% 미만으로 낮은 반면, 황하/양자강의 중국 강 퇴적물에서는 상대적으로 높다(Yang et al., 2003).

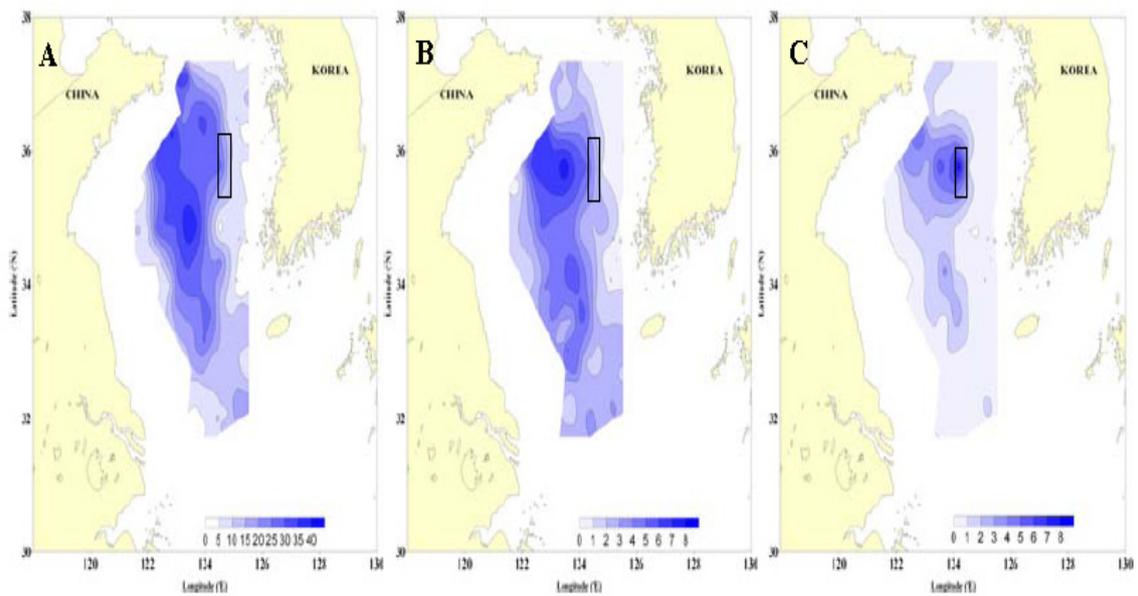


그림 2-2-13. 서해 표층퇴적물의 점토광물 분포(문 등, 2008)
(A : 운모군광물(Illite), B : 녹니석(Chlorite), C : 고령토(Kaolinite))

5). 서해의 수산자원

(1) 주요 서식 어종

(가) 황아귀(*Lophiomus litulon*)

황아귀(*Lophiomus litulon*, 그림 2-2-14)는 아귀목(Order Lophiiformes) 아귀과(Family Lophiidae)에 속하며 우리나라 서해 남부 해역, 남해, 동해 남부, 일본 홋카이도 이남해역, 동중국해, 서태평양 등에서 분포하며, 우리나라 연안에서는 가을철 동중국해에서 수온 17~20℃, 수심 55~150m에서 주로 서식한다.

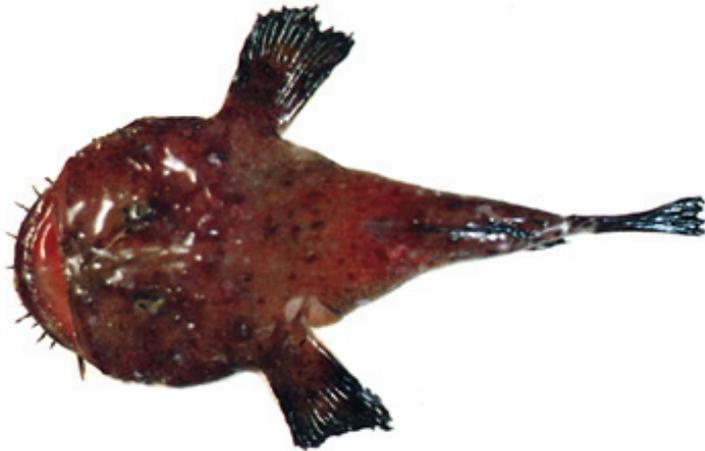


그림 2-2-14. 우리나라 서해안에 서식하는 황아귀

회유 경로는 동중국해에서 분포하는 어군의 경우 4~5월경 산란차 중국연안으로 이동하는 것으로 추정된다. 산란 시기는 4~8월로 이 시기가 되면 중국연안의 산란장에서는 수많은 알들이 한천질에 싸여 띠 모양으로 되어 떠다니는 것을 볼 수 있다.

크기는 보통 25cm 크기가 많이 어획되며, 식성은 제 1등지느러미의 첫 번째 가시가 변형된 유인 장치를 이용하여 주로 어류를 잡아먹는다(명 등, 2002).

(나) 넙치(*Paralichthys olivaceus*)

넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 일명 우리나라 방언으로 광어라 불리우며 눈이 왼쪽으로 몰려있고 입이 큰 것이 가자미류와의 차이점이다(그림 2-2-15). 눈이 있는 쪽은 흑갈색, 황갈색, 녹갈색 바탕에 흰색반점이 있으며 눈이 없는 쪽은 흰색이다.

우리나라 전 연안, 일본, 동중국해에 서식하며 봄철에 얕은 곳으로 나와 산란한다. 육식성으로 어류를 주로 먹으며 1.5cm 전후에 눈이 한쪽으로 몰려 저서생활을 하며 80~90cm까지 성장한다.



그림 2-2-15. 우리나라 서해에 서식하는 넙치

(다) 양태(*Platycephalus indicus*)

양태과(Platycephalidae)에 속하는 양태(*Platycephalus indicus*)의 생태 및 형태적 특징은 부레가 없고 머리가 납작하며 몸통이 가늘고 긴 형이다(그림 2-2-16).

양태는 바닥 생활을 하는 어종으로서 서식 수심은 2~60m이고 겨울철이 되면 월동을 하는 생활사를 갖는다. 산란기는 5~7월경이며 자웅동체이다. 성장 및 식성은 새우, 게류, 오징어, 문어류, 환충류, 성게류 외에 쌍둥가리 등 바닥에서 서식하는 작은 동물이나 어류를 먹고 사는 육식성으로 밝혀졌다. 물론 바닥 생활을 시작하기 전인 자·치어기에는 자기 입 크기에 맞는 소형 플랑크톤을 잡아먹는다.

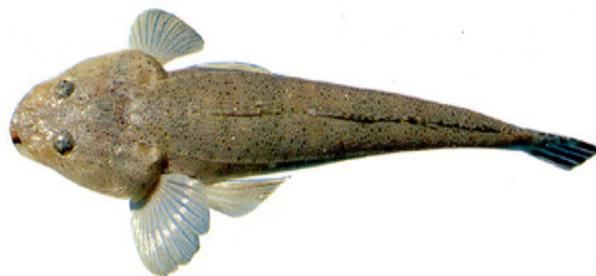


그림 2-2-16. 우리나라 서해에 서식하는 양태

(라) 돌가자미(*Kareius bicoloratus*)

돌가자미(*Kareius bicoloratus*)는 가자미과(Pleuronectidae)로서 분포 특성은 우리나라, 일본, 황해, 대만 및 동중국해에 분포하며, 회유의 경우 우리나라 서해안에서 여름철에 백령도와 압록강 사이에 분포하고 있던 어군이 수온이 내려가기 시작하는 가을부터 남쪽으로 이동하기 시작하여 백령도 이남 해역에서 월동하고 다시 봄이 되면 북으로 이동한다(그림 2-2-17).

산란 시기는 12~3월로서 연안의 얕은 바다에서 산란하며, 암·수 모두 만 2년생이 되어야 성숙하고, 포란 수는 체장 20cm이면 20만, 30cm이면 80만, 35cm이면 150만개 이다.

성장은 수컷의 경우 만 2년이면 체장 28cm, 3년이면 30~32cm, 4년이면 32~34cm, 5년이면 35cm로 자라지만, 암컷은 만 2년이면 32~34cm, 3년이면 37~40cm, 4년이면 37~46cm, 5년이면 39~50cm로 암컷이 수컷보다 성장이 좋다.

식성은 체장 5~13cm 범위에서는 갯지렁이류, 젓새우류, 소형 갑각류를 주로 먹고, 14cm 이상이 되면 새우류와 망둑어류 등 저서동물을 먹기도 한다.



그림 2-2-17. 우리나라 서해에 서식하는 돌가자미

(마) 농어(*Lateolabrax japonicus*)

농어과(Moronidae)에 속하는 농어(*Lateolabrax japonicus*)의 형태적 특징은 비교적 둥글고 긴 몸통을 가져 날씬한 모습을 하고 있으며 등지느러미와 뒷지느러미의 가시가 강하여 짜임새 있는 몸매를 유지한다(그림 2-2-18). 채색은 등쪽이 푸른빛을 조금 띤 회색이며 배쪽은 희고, 체측은 등쪽에 치우쳐 작은 흑점이 산재하고 있는데 일반적으로 이 흑점은 어릴 때에는 뚜렷하다가 대형급으로 성장하면서 차츰 소실된다.

식성은 한마디로 육식성이라 할 수 있지만, 먹이 종류는 서식 장소의 생물 조성 특성에 따라 다양하다. 또 성장 단계에 따라 서식 장소가 바뀌므로 먹이 생물의 구성은 더욱 다양해진다. 대체로 체장이 2~3cm의 소형이면 곤쟁이류, 단각류, 새우류 등을 포식하고, 체장이 14~20cm로 자라면 새우류를 중심으로 작은 어류와 곤쟁이 등을 섞어 포식하게 된다. 그리고 체장이 20cm 이상으로 성어가 되면 물고기(특히 멸치)를 잘 먹는데 멸치가 연안으로 몰려오는 봄, 여름이면 멸치 때를 쫓아 연안을 회유한다.



그림 2-2-18. 우리나라 서해에 서식하는 농어

2. 동해병해역 및 정해역

가. 동해병해역 및 정해역 위치

동해에는 동해병과 동해정 2개의 배출해역이 있다(그림 2-2-19). 배출해역의 위치는 「해양환경관리법시행규칙」 별표 7에서 규정하고 있다.

동해병해역의 위치는 포항으로부터 동쪽으로 약 125 km 떨어진 북위 36°38' 과 동경 130°38' 의 점, 북위 36°38' 과 동경 131°의 점, 북위 36°04' 과 동경 131°의 점, 북위 35°46' 과 동경 130°38' 의 점을 연결한 선으로 둘러싸인 해역으로 가로 38 km, 세로 83.3 km이며 총면적은 3,583 km²이다. 평균 수심은 약 1,500~2,000 m 범위에 있다.

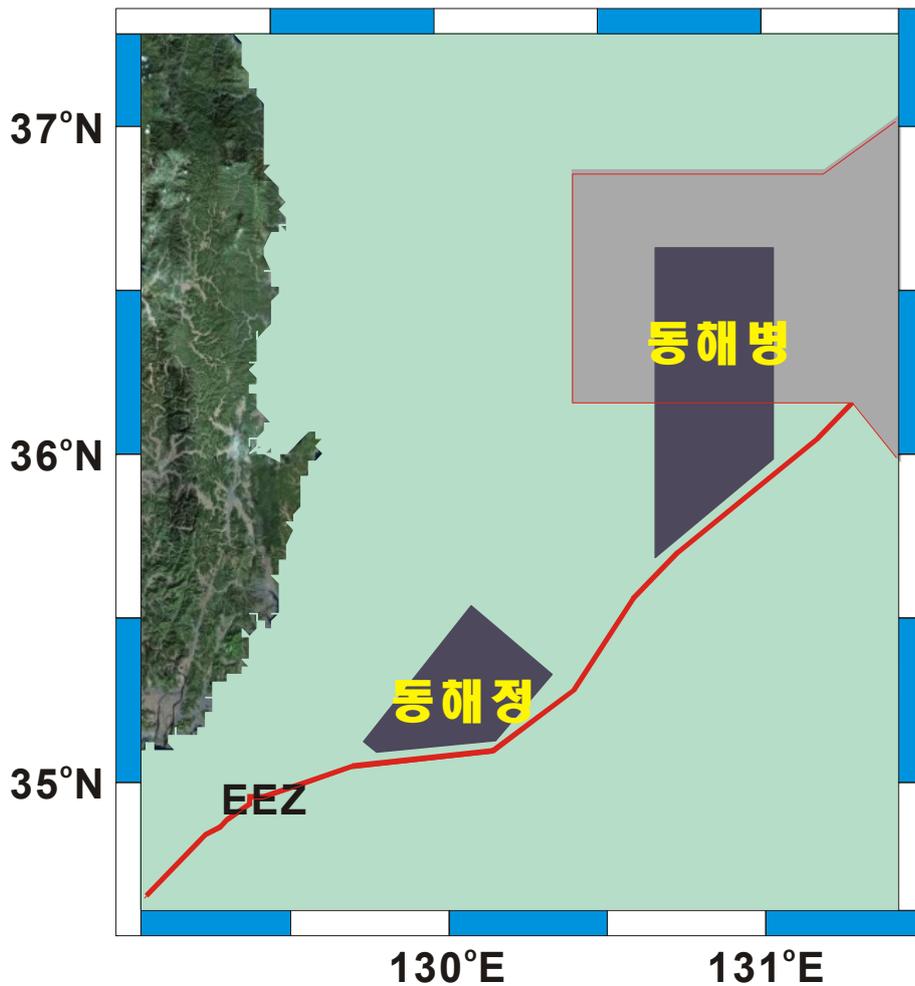


그림 2-2-19. 동해의 배출해역

동해정해역은 울산으로부터 남동쪽으로 약 63 km 떨어진 북위 35°30' 과 동경 130°03' 의 점, 북위 35°21' 과 동경 130°19' 의 점, 북위 35°10' 과 동경 130°09' 의 점 및 북위 35°08' 과 동경 129°43' 의 점을 연결한 선으로 둘러싸인 해역으로 총면적은 1,189 km² 이다. 평균 수심은 약 150 m이다.

나. 동해의 자연환경

1). 동해의 지리적 특성

동해는 한국, 북한, 일본, 러시아에 의하여 둘러싸인 북서태평양의 연해로서 면적 약 1,007,600 km², 평균수심 1,684 m, 최대수심 4,049 m, 총 용적 1,693,800 km³인 반폐쇄성 대륙주변해이다(김 등, 1991). 황해와 비교하면, 면적은 2배보다 약간 크지만 용적은 약 100배 크다.

동해는 타타르해협, 쏘야해협, 쓰가루해협 및 대한해협의 4개 해협을 통하여 외부와 연결되고 모두 수심이 140 m 이내로 비교적 얕으며 이들 해협을 통해 오호츠크해, 북태평양 및 동중국해로 연결된다(그림 2-2-20).

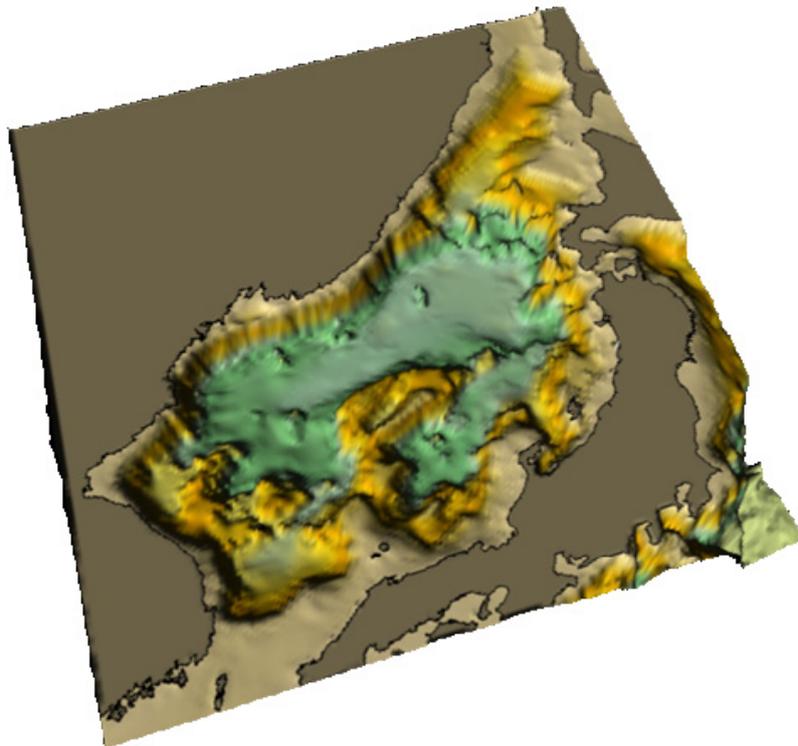


그림 2-2-20. 동해의 지형(Choi, 1999)

따라서 이러한 얇은 수심으로 인하여 동해 전체 해수의 약 10% 정도인 표층수만이 인접 해역과 교환되고 대부분의 중·저층수는 동해 내에서 형성, 순환, 변형되는 과정을 거친다. 동해의 해저지형을 살펴보면, 중앙의 야마토 해저마루(Yamato Ridge)를 중심으로 북쪽에 수심 3,500 m가 넘는 일본분지(Japan Basin)가 넓게 형성되어 있으며 남쪽으로는 야마토 해저마루의 동서로 수심 2,000 m가 넘는 울릉분지(Ulleung Basin)와 야마토분지(Yamato Basin)들이 형성되어 있다. 울릉분지는 동해의 남서쪽에 위치하며 최대수심이 2,200 m이고 서쪽과 남쪽에는 대륙사면이 발달되어 있으며 북쪽으로는 한국 대지 그리고 동쪽으로는 오키뱅크로 둘러싸인 해저분지이다. 울릉분지 주변은 남쪽에서 유입되는 대마난류와 한반도 연안을 따라 북쪽에서 유입되는 북한 난류에 의해 극전선이 생성되며 대마난류의 세기에 따라 극전선의 위치가 변동한다(승, 1992; 이 등, 2003). 울릉분지의 퇴적물 공급은 이들 해류의 순환에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 대기를 통한 유입이나 자생물질 그리고 해류를 통한 부유물질이 울릉분지 퇴적물의 주유입원이다(Hong et al., 1997; Choi et al., 2006; Irino and Tada, 2002). 또한 울릉분지는 과거 간헐적으로 주변에서 발생한 화산활동의 영향을 받았을 것으로 추정된다(박 등, 2002; 박 등, 2003; Machida, 1999; Park et al., 2007).

동해는 그 크기는 작지만 대양과 유사한 특징들을 가지고 있어서 흔히 축소판 해양(miniature ocean)으로 불린다. 이런 특징으로는 이중 자이로(double gyre) 형태의 상층 순환의 존재와 동해 내에서의 심층수 형성과 순환 등을 들 수 있다.

2). 동해의 해수 유동 특성

동해는 평균 수심이 약 1,700 m이고 최대 수심이 4,049 m이지만, 남해 및 오호츠크해, 태평양 등과 같은 주변해와는 수심 200 m 이하의 얇은 해협(대한해협, 쓰가루해협, 쓰야해협 및 타타르해협)들로 연결되어 있다(그림 2-2-20).

따라서 이들 해협을 통해서 주로 물질 교환이 일어나게 되며, 기본적으로 대한해협을 통해 동해로 유입된 물이 나머지 3개 해협을 통해서 유출되는 양상을 보이거나, 주요 유출 통로는 쓰가루해협과 쓰야해협으로 알려져 있다. 이렇게 해협을 통해서 유입·유출되는 해류는 유입·유출구가 천해인 까닭에 주로 표층에 국한되어 있으며, 유입되는 대마도의 명칭을 따라 대마난류로 명명되어 왔다.

동해로 유입된 대마난류는 동해의 상층부 순환에 큰 영향을 미친다. 동해로 유입된 대마난류는 동해 극전선 남쪽에서 북동쪽으로 흐른 후, 전체 수송량의 약 70%는 쓰가루해협을 통해 북태평양으로 유출되고(Moriyasu, 1972), 나머지는 쓰야해협을 통해 오호츠크해로 유출되며 일부는 동해 내에서 재순환한다. 대마난류는 동해로 유입된 후 동해안을 따라 북상하는 동한난류와 일본 연안을 따라 동해의 출구인 쓰가루해협 방향으로 흐르는 일본 연안류로 크게 나뉜다(Uda, 1934). 동한난류는 동해안을 따라 연안 가까이에서 북상하다가 36~38°N 부근에서 그 방향을 동쪽으로 바꿔 해안으로부터 떨어져 간다.

대한해협을 통해 동해로 유입되는 동해 통과류 수송량의 시계열 변화는 동해의 상층 순환을 결정하는 중요한 요인이다. 1997년부터 2002년까지 약 5년간 Ferry를 이용한 ADCP 조사에 따르면, 대한해협의 평균 수송량은 약 2.64 Sv 정도이며 1월에 최소값을 나타내고 4월 및 10월에 최고값을 보였다. 그리고 최고값의 경우, 일반적으로 4월보다 10월의 평균 수송량이 더 큰 것으로 나타났다(Takikawa et al., 2005, 그림 2-2-21). 동수도와 서수도의 유입량은 각각 1.10 Sv과 1.54 Sv 정도였으며, 계절 변동성 외에도 연차별 변동성도 매우 크게 나타나는 것으로 보고되었다. 해수 수송량의 계절 변동은 대마난류 주축과 수직한 방향의 해수면 차이의 계절변동과 유사한 경향을 보이고 있어(Yi, 1966; Toba et al., 1982; Mizuno et al., 1989) 해협내 해류가 지형류 균형을 이룸을 시사한다.

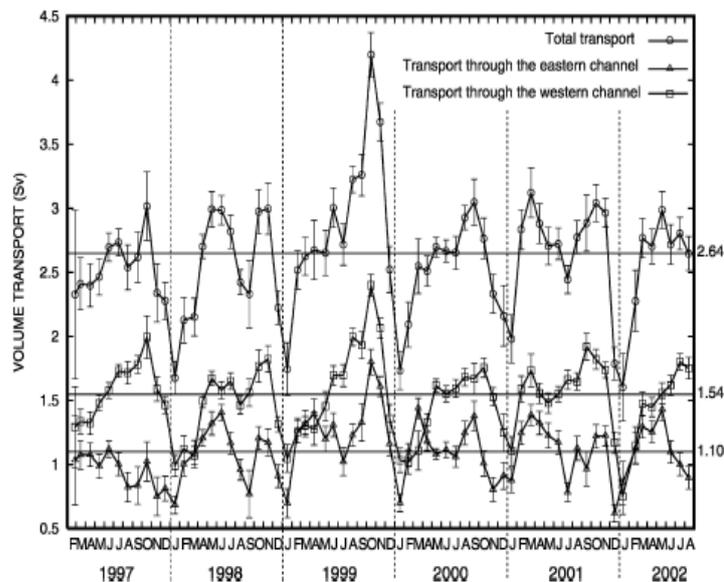


그림 2-2-21. Ferry에 장착된 ADCP로 관측된 대한해협 수송량의 5년간 변화 양상(Takikawa et al., 2005)

동해는 아시아 대륙의 동쪽 끝의 북태평양 연해로 중위도에 위치하고 있어 강한 대륙성 기후와 계절풍의 영향을 받는다. 이러한 지리적인 특성으로 인해 해황은 수평·수직적으로 변화가 매우 크다. 동해의 수괴(water mass)는 북위 40°근처에 나타나는 수온이 남북방향으로 급격히 변하는 극전선을 중심으로 북쪽의 냉수역과 남쪽의 난수역으로 나눌 수 있다(그림 2-2-22).

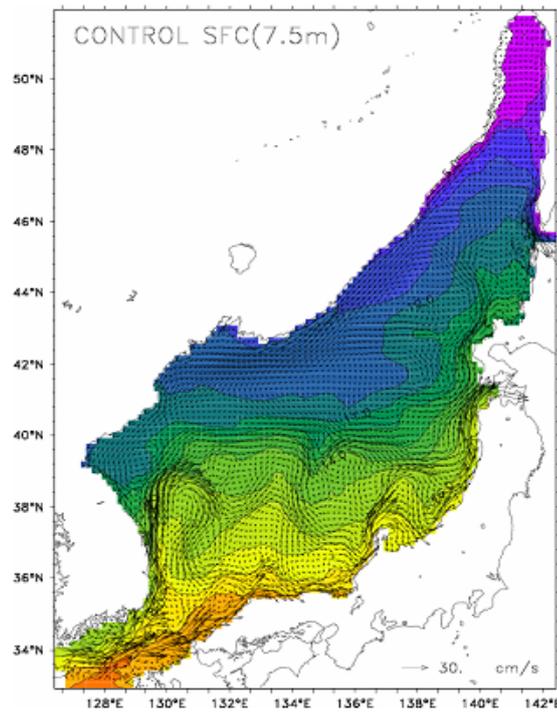


그림 2-2-22. RIAMOM을 이용한 동해 연평균 표층 수온 및 해류 모사 결과

동해에 분포하는 해수는 수심에 따라 표층수, 중층수 및 심층수로 구분되며, 독도 주변을 포함한 극전선 남쪽의 경우 200 m 보다 얇은 수심에 분포하는 표층수는 대한해협을 통해 동중국해로부터 유입되는 해수인 반면, 동해를 구분하는 해협 수심보다 깊은 수심에 분포하는 중층수와 심층수는 동해 내에서 형성되어 순환하는 해수이다. 특히 동한난류에 의해 유입되는 대마난류수와 북쪽에서 남하하는 북한한류수는 계절적으로 공간적 분포변이를 하며 (Lim and Chang, 1969; An, 1974), 그 변화 양상에 따라 동해의 해황과 특성이 결정된다. 동한난류는 봄에서 여름사이에 북으로 발달하여 가을과 겨울사이에 세력이 감소한다(Ohwada and Ogawa, 1966; Hong and Cho, 1983). 이에 따라 여름철 표층 수온은, 대마난류의 확장파와 육지로부터 유입되는 육

수의 영향 및 태양 복사열의 증가로 인해, 남부해역은 최고 26~27°C, 북한 근해에서는 18~20°C의 범위를 갖는다. 반면 겨울철에는 대마난류의 영향을 받는 남부해역에서는 13~14°C 범위를 갖지만 북한 연해의 대부분은 4°C 이하이다(이, 1992).

동한난류는 주변의 다양한 해양현상과 상호 밀접한 관계를 맺고 있다. 동한난류와 주변의 냉수 사이에 형성되는 전선은 그 자체의 불안정성으로 인해 주위의 해양환경에 영향을 미치게 된다. 동한난류의 북상과 북한한류계수의 남하한계와 밀접한 관계가 있으리라 추측되며(김과 김, 1983), 울릉도 부근에 나타나는 난수성 와류는 동한난류로부터 분지되는 것으로 알려져 있고(Kim, 1991; 한국해양연구소, 1993; Isoda and Saitoh, 1993; Kim 1995), 이러한 와류에는 오염물질이 집적될 수 있다. 울릉도 부근에는 난수성 와류가 종종 관측되어 거의 매년 1~2개의 난수성 와류가 존재하며, 이러한 난수성 와류는 이동을 하거나 한 장소에서 수개월 동안 정체하기도 한다(An 등, 1994; 한국해양연구소, 1993, 1994). 난수성 와류의 형성기작은 동한난류의 이안(Moriyasu, 1972), 해저지형(Kim, 1991), 바람과 대마난류 유입의 시간에 따른 변동 그리고 극전선의 불안정성(Kim, 1995), 경계면 마찰과 해저지형(Lim and Kim, 1995) 등의 영향으로 형성될 수 있는 가능성이 제시되어 왔다.

동해 북쪽의 반시계방향 순환은 러시아와 북한연안을 따라 남하하는 리만해류와 북한한류가 주 해류이며, 북한한류계수는 주문진 이북해역에서는 표층부터 중층까지 연중 지속적으로 존재하며 묵호 이남 해역에서는 동해난류계수와 접하여 전선을 이루고 난류계수의 밑으로 침강하여 동해고유수의 상부에 위치한다(김과 김, 1983). 침강한 북한한류계수는 염분이 낮고 용존산소량은 매우 높아 동해고유수와 구별되며 북한한류계수는 동계보다 하계에 우세하고 남하한계는 축산-장기갑 해역정도로 추정하였다.

최근 동해는 심각한 지구 온난화의 영향을 받고 있는 것으로 보고되고 있으며, 대표적인 변화는 심층 수온의 증가 및 용존산소의 고갈로 나타나고 있다(Kim et al., 2001, 그림 2-2-23).

이와 같은 변화는 동해 북부해역에서의 심층수의 형성과 연계되어 있는 것으로 밝혀지고 있으며, Gamo et al.(2001)가 제시한 바에 따르면 그림 2-2-24에 나타난 바와 같이 저층수의 형성 모드가 바뀌었기 때문인 것으로 이해되고 있다.

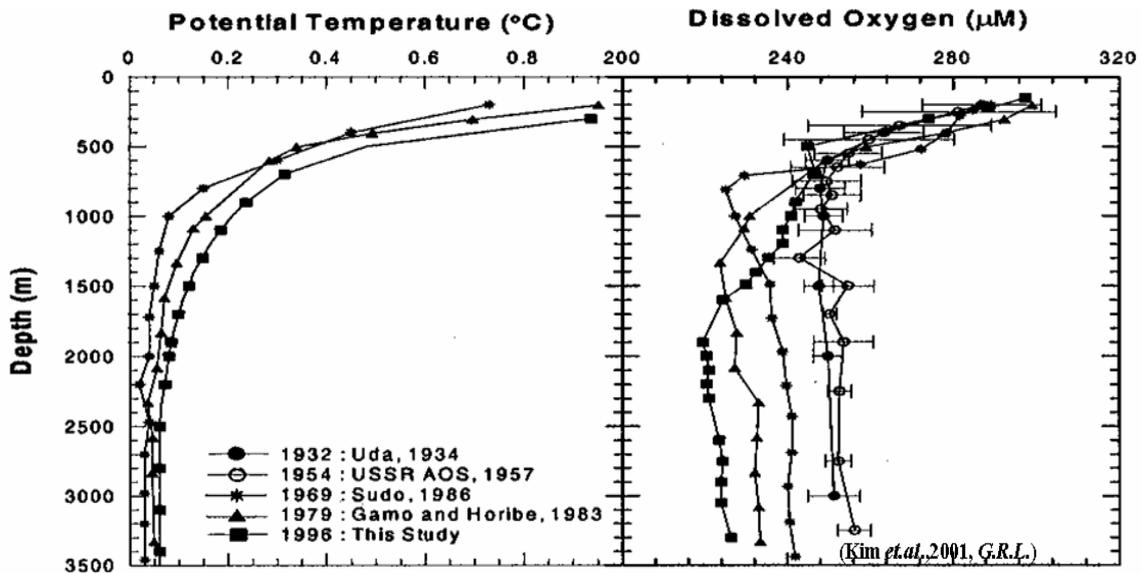


그림 2-2-23. 동해 심층 수온의 증가 및 용존 산소의 감소(Kim et al., 2001)

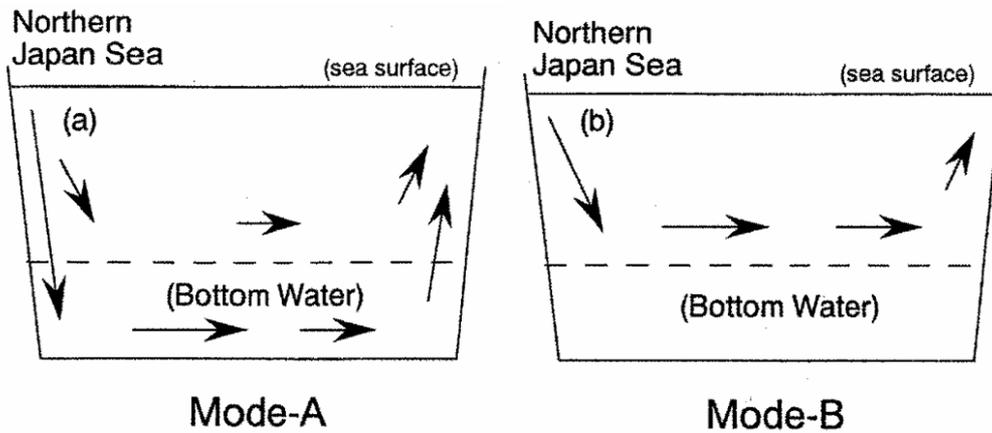


그림 2-2-24. 동해 심층 대류의 변화로 인한 저층수 생성 중단 모식도 (Gamo et al, 2001)

Kang et al.(2003)은 단순한 이동식 박스 모델을 이용하여 지금까지의 변화가 계속되면 2040년경에는 동해 중층수(Central Water)가 저층수(bottom water)를 대신하게 될 것이라고 예측한 바 있다(그림 2-2-25).

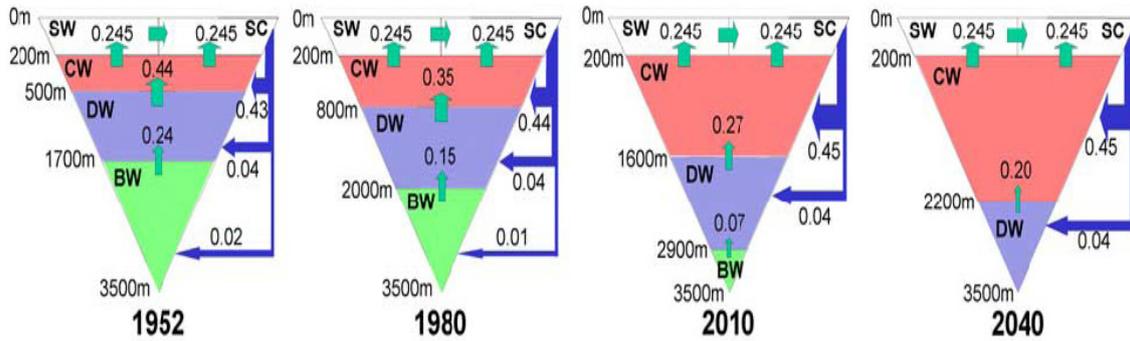


그림 2-2-25. 2040년경 동해 저층수가 중층수로 대체되는 변화를 보여주는 실험 결과(Kang et al, 2003)

한편 Park et al.(2004) 등은 그림 2-2-26에서 보는 바와 같이 인공위성으로 추적되는 중층 순환 부표(ARGO) 자료를 이용하여 울릉분지를 중심으로 하는 동해 중층(약 7~800 m)의 순환 모식도를 제시한 바 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 대륙사면에 나란한 방향으로 반시계 방향의 순환을 하는 양상이 나타난다.

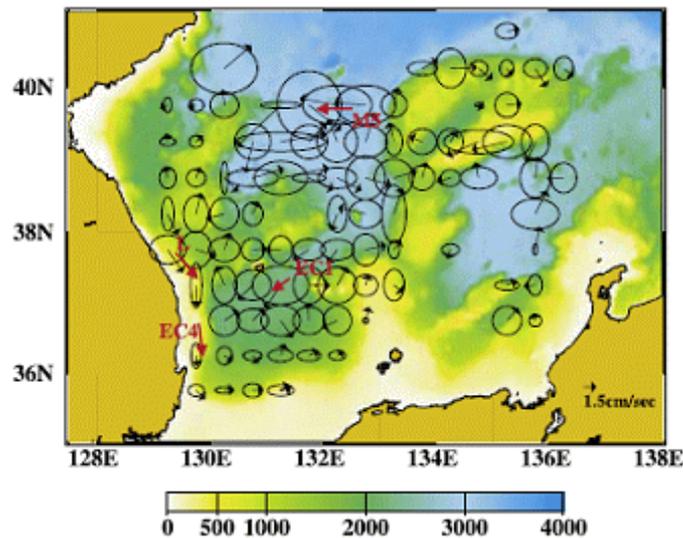


그림 2-2-26. 인공위성 추적 중층 부표(ARGO)로 계산된 동해 중층 순환 모식도 (Park et al., 2004)

3). 동해의 해수특성

우리나라의 동쪽은 동해로, 남쪽과 서쪽은 각각 대한해협과 황해로 둘러싸여 있고, 동해의 수괴는 크게 3가지로 나눌 수 있다(그림 2-2-27),

대한해협을 통해 유입되는 대마난류의 분류인 동한난류(East Korea Warm Current)와 북쪽에서 겨울철 냉각에 의해 형성되어 유입되는 북한난류(North Korea Cold Current)와 저온고염고영양염의 동해고유수로 구분할 수 있다(Seung and Yoon, 1995). 또한 일부 연구에서는 저염분 중층수를 추가적으로 보고하기도 하였다(김과 김, 1983). 동해 고유수는 동해 냉수의 대부분을 차지하는 1°C 이하의 해수를 말하는 것으로 Uda(1934)가 명명하였다. Sudo(1987)에 의하면 주 수온약층(main thermocline) 아래의 단일수괴를 동해고유수라고 하고, 그 특성을 수온 2°C 이하, 염분도 34.00 psu 이상, 용존산소 7.0 ml/l 이하라고 규정하였다.

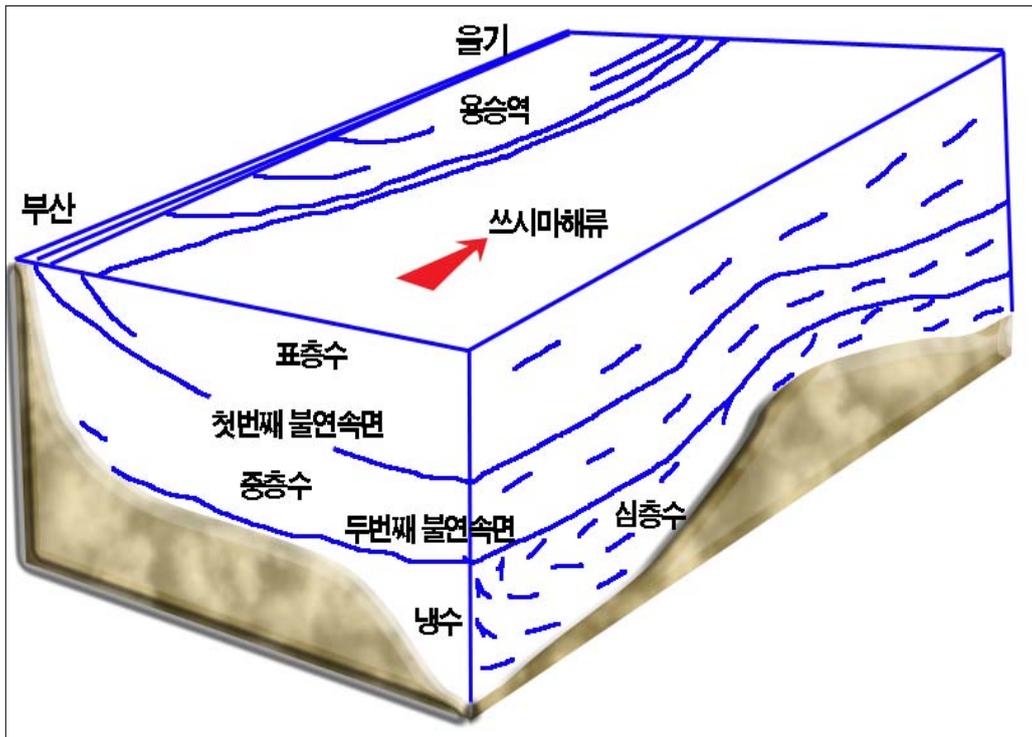


그림 2-2-27. 대한해협 해류계의 모식도(이석우, 2004)

최근의 정밀한 관측기기에 의하여 약 1,500 m 수심의 심해 염분최소층이 존재하는 수괴를 East Sea Deep Intermediate Water로, 심해염분 최소층 위의 상대적으로 용존산소가 높고 염분이 34.067 psu 이상인 해수와 심해 염분 최

소층 아래의 용존산소 최소를 가지는 해수를 각각 East Sea Central Water와 East Sea Deep Water로 명명한 적이 있다(Kim, 1996; Kim et al., 1996). 동해 고유수의 형성은 동해북부의 일본분지로 추정되고 있다. 동해고유수의 영양염은 최근 동해의 남서부인 북위 36°~38°에서 조사된 바에 의하면, 질산염(nitrate)의 경우 150 m 이하의 수심에서 대략 20 μ M 이상의 농도를 보이며, 인산염(phosphate)은 1~2.3 μ M 정도의 농도를, 그리고, 규산염(silicate)은 10 μ M 이상의 농도를 보인다(한국해양연구소, 1997). 동해 고유수의 화학적 특징 중의 하나로 생각되는 높은 용존산소는 최근 수십년 간의 관측에 의하면 저층수에서 점차 그 농도가 감소하는 경향을 보여 이를 지구기후변화의 한 요인에 의한 것으로 보기도 한다(Chen et al., 1999). 동해 심층수의 연령은 탄소동위원소(¹⁴C)로 측정된 자료에 의하면, 300년 정도로 추정되나, 삼중수소와 ²²⁶Ra으로 계산된 동해심층수의 수직혼합에 소요되는 시간은 100년, 대마난류수를 제외한 동해 전체해수의 평균잔류시간은 1,000년으로 계산되었다(Tsunogai et al., 1993).

4). 동해의 해저 퇴적물 개관

동해 대륙사면은 세립질 퇴적물이 우세한 비해저협곡-선상지의 대륙사면으로 분류될 수 있으며, 선형 퇴적물 공급이 우세하게 일어났을 것으로 보인다. 울릉분지 중앙 분지평원은 특별한 지형적 변화가 없으며, 대륙사면에서 재동된 퇴적물들이 저탁류로 전이되어 퇴적하거나 원양성 퇴적물이 퇴적되는 곳으로 여겨진다.

울릉도와 독도 사이는 울릉분지와 일본분지를 연결하는 통로를 이루며, 강한 저층해류의 작용을 지시하는 침식기원의 해저수로가 저탁류 퇴적층 내에 발달해 있다(한, 1996). 동해의 퇴적물 성분은 수심에 따라 셋으로 구분된다. 대략 수심 300 m까지는 육성사질이며 곳에 따라서는 암반, 모래 및 자갈 등이 분포한다. 야마토 해저마루에 분포하는 사질성 자갈은 화산기원의 암석파편들로 구성되어 있다. 사질퇴적물은 대한해협을 포함하여 대륙붕에 주로 분포하고 있다. 수심 300~800 m에는 유기물의 침전이 많다. 수심 800~3,000 m에서는 상부는 산화철 또는 해록석으로 인하여 적니(red clay), 하부는 청니(blue mud)로 구성되어 있다. 3,000 m 이심은 적점토로 구성되어 있다(그림 2-2-28).

황해와 달리 동해 표층퇴적물에서는 몬모릴로나이트(Montmorillonite)성

분이 최대 25% 많다. 고령토 함량(최대 15%)은 운모군광물(최대 50%)보다 적으며, 녹니석은 대략 30% 정도 차지하고 있다(Chough et al., 2000).

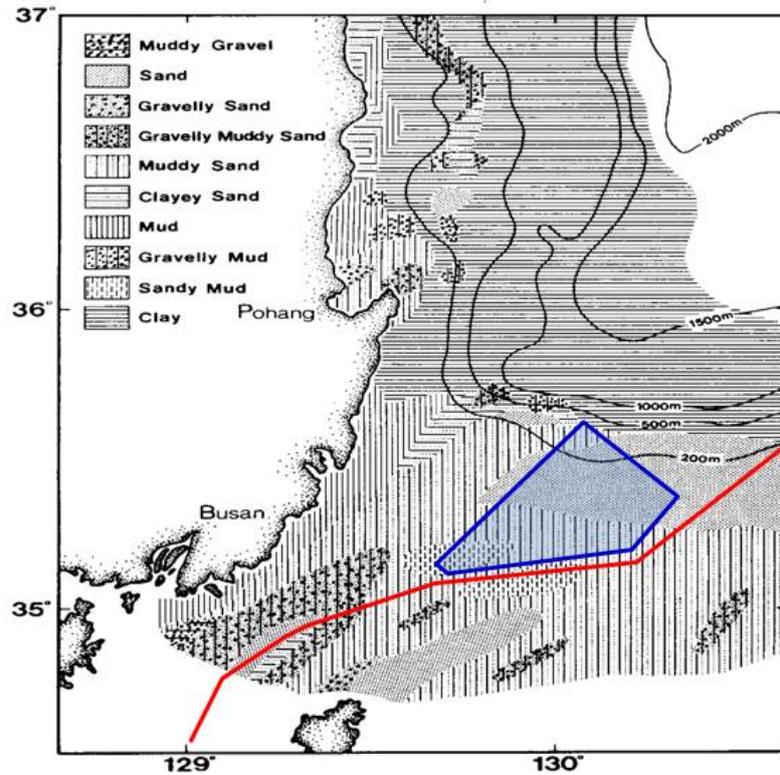


그림 2-2-28. 동해 표층퇴적물 입도 분포(Chough, 1983)

퇴적물 축적률은 남쪽의 대륙붕과 대륙사면 상단부에서 약 $200 \text{ mg/cm}^2/\text{yr}$ 이고, 대륙사면 하단과 분지에서는 $20 \sim 30 \text{ mg/cm}^2/\text{yr}$ 로 매우 낮다(Hong et al, 1997). 또한 일본분지의 퇴적율은 $2 \sim 11 \text{ mg/cm}^2/\text{yr}$ 로서 이보다 더 낮고 서쪽이 동쪽보다 높다(Hong et al., 1999b).

퇴적물의 표면층은 생물교란된 니질로 구성되어 있으나 분지에서는 혼합률이 매우 낮다. 퇴적물 중의 유기탄소 함량은 퇴적물이 사질로 구성된 대륙붕해역에서는 1% 정도로 낮고 수심이 2,000 m 이상인 울릉분지에서는 1.9~3.1% 정도의 함량을 보이는데, 대륙붕해역을 제외하고는 유기탄소함량은 대략적으로 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 가진다.

5). 동해의 수산자원

(1) 주요 서식 어종

(가) 붕장어(*Conger myriaster*)

붕장어(*Conger myriaster*)는 분류학적으로 뱀장어목 붕장어과에 속하며, 분포는 우리나라 전 연근해, 일본, 북해도이남 해역, 동중국해, 발해만 등에서 분포한다(그림. 2-2-29). 산란기는 4~5월이며, 산란장은 일본 남부해의 대륙붕 가장자리, 암수 모두 만 4년이면 성숙하고, 몸길이 56~95 cm면 430만 개의 알을 가지며, 이것을 1회에 전부 방출하고 죽는 것으로 추정된다. 몸은 원통형으로 가늘고 길며, 꼬리부분은 약간 측편한다. 등지느러미는 가슴지느러미의 중앙부분 보다도 더 뒤쪽에서 시작된다. 등지느러미와 뒷지느러미는 꼬리지느러미와 연결되어 있고 그 가장자리는 검은 색이다. 각 지느러미에는 가시가 없고, 배지느러미가 없다. 옆줄구멍은 항문보다 앞쪽에 38~43개가 있다.



그림 2-2-29. 동해정해역에서 어획된 붕장어 사진

(나) 참가자미(*Limanda herzensteini*)

참가자미(*Limanda herzensteini*)는 분류학적으로 가자미목 가지미과에 속하며, 몸이 타원형이고 옆으로 매우 납작하다. 우리나라의 동해, 서해, 남해와 일본, 동중국해 등의 연근해에 분포하며, 연안의 바닥에 서식하는 어류이다. 바닥이 펄이나 모래질로 이루어진 수심 150 m 이내의 대륙붕 주변에 주로 서식한다. 봄에 연안 가까이 이동하여, 6월경 최대로 얕은 곳까지 이동하였다가, 9월 이후에는 다시 깊은 곳으로 돌아간다. 산란기는 4~6월이며, 산란기 동안에 두 번 산란한다. 먹이는 갯지렁이류, 새우류, 게류, 어류, 해조류 등이다. 어획은 산란기인 4~6월이 제철이며 양식은 되지 않는다(그림. 2-2-30).



그림 2-2-30. 동해정해역에서 어획된 참가자미 사진

(다) 황아귀(*Lophiomus litulon*)

황아귀(*Lophiomus litulon*)는 아귀목(Order Lophiiformes) 아귀과(Family Lophiidae)에 속하며 우리나라 서해 남부해역, 남해, 동해남부, 일본 홋카이도 이남해역, 동중국해, 서태평양 등에서 분포하며, 우리나라 연안에서는 가을철 동중국해에서 수온 17~20℃, 수심 55~150 m에서 주로 서식한다(그림 2-2-31). 회유 경로는 동중국해에서 분포하는 어군의 경우 4~5월경 산란차 중국연안으로 이동하는 것으로 추정된다. 산란 시기는 4~8월로 이 시기가 되면 중국 연안의 산란장에서는 수많은 알들이 한천질에 싸여 떠 모양으로 되어 떠다니는 것을 볼 수 있다. 크기는 보통 25 cm 크기가 많이 어획되며, 식성은 제 1 등지느러미의 첫 번째 가시가 변형된 유인 장치를 이용하여 주로 어류를 잡아먹는다(명 등, 2002).

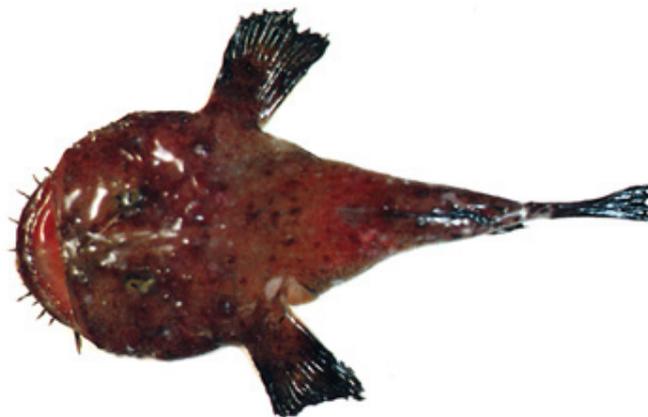


그림 2-2-31. 한국 연안에 서식하는 황아귀

(라) 붉은대게(*Chionoecetes Japonicus*)

붉은 대게(*Chionoecetes Japonicus*)는 동해의 800m 이심에서 서식·어획되며 먹이습성은 잡식성으로서 동식물 사체 및 유기쇄설물(detritus)을 주로 섭이한다(그림 2-2-32).



그림 2-2-32. 동해병해역에 서식하는 붉은 대게

(마) 물레고둥(*Buccinum striatissimum*(Swerby))

물레고둥(*Buccinum striatissimum*(Swerby))의 특징에 대해 살펴보면, 외형은 각고 120mm, 각경 70mm, 나탑은 높고 8층이다. 봉합부는 대단히 깊고 견사 같은 고운 나뭇을 볼 수 있으며, 회백색의 얇은 각피에 덮여 있다. 각구는 크며 내면은 백색, 외순연은 두껍고 반곡한다. 그리고 전구는 짧고 넓으며 내순은 백색의 활층으로 광택이 있다. 또한 제공은 없으며, 뚜껑은 난형으로 각질이고 공심원륜맥이 있다. 섭이 습성은 육식성이기 때문에 생선 등을 먹이로 넣은 골뱅이 통발을 이용하여 채취하고 있으나 대게 혹은 붉은 대게의 그물에 같이 혼획되기도 한다(그림 2-10-5).



그림 2-2-33. 동해병해역에 서식하는 물레고둥

제 3 절 배출해역 폐기물 배출현황

1. 폐기물 배출해역 및 해양배출 폐기물 종류

가. 폐기물 배출해역

폐기물 해양배출제도는 육상처리 부담을 경감하고 하천 및 연안을 보호하기 위해 '77년 구 해양오염방지법(현 해양환경관리법)이 제정되면서 도입되었고, '93년에 현재의 3개 폐기물 배출해역(서해병, 동해병, 동해정)이 지정되었다(그림 2-3-1).



그림 2-3-1. 우리나라의 폐기물 배출해역(해양환경관리법 시행규칙 별표 7)

나. 배출해역별 해양배출 폐기물 종류

2. 폐기물 해양배출 현황

가. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 현황

우리나라의 폐기물 해양배출은 '88년 서해병해역에 547천m³의 폐수 해양배출을 시발점으로 매년 급격히 증가하여 유기성폐기물의 육상직매립이 시행된 '05년에 9,929천m³으로 최대를 보였다.

그러나 “해양배출폐기물 종합관리대책” 연구용역 결과를 토대로 '06년 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」이 수립·시행되면서 '06년에 8,811천m³, '07년에 7,498천m³ 등 폐기물 해양배출은 매년 10% 이상 지속적으로 감소하면서 '12년 육상폐기물의 해양배출량은 2,288천m³으로 '05년 대비 1/4 수준, 그리고 '92년 해양배출량 수준으로 감소하였다(그림 2-3-2).

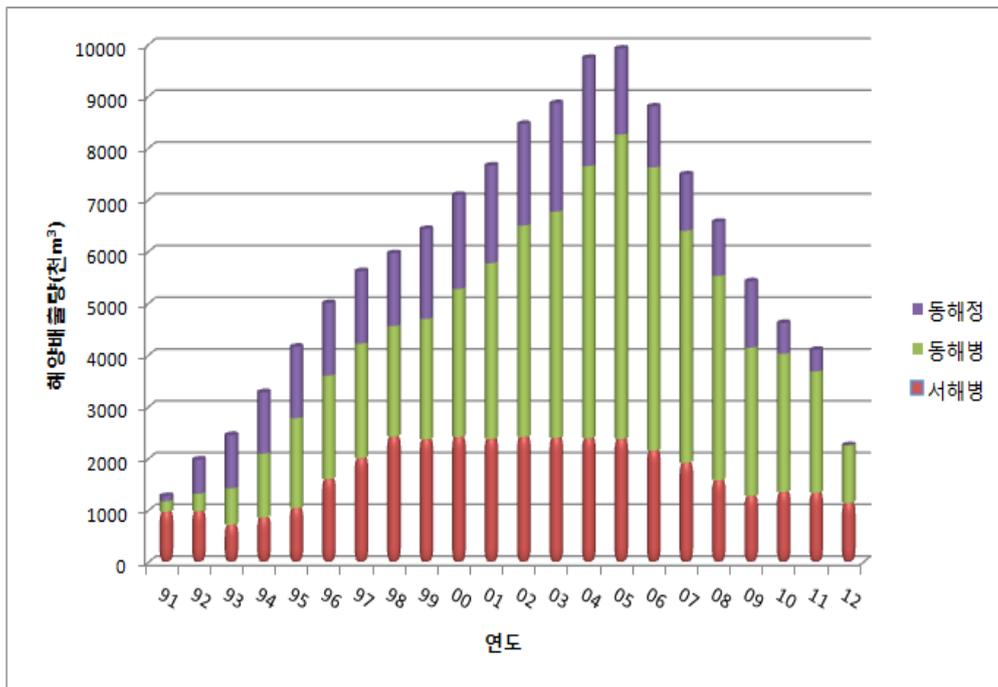


그림 2-3-2. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 현황

해양배출 초기인 '91년에 배출해역별 해양배출 비중은 서해병해역이 76%, 동해병해역 16%, 동해정해역 8%로 서해병해역의 해양배출 비중이 상당 부분을

차지했다. 그러나 '98년부터 서해병해역 해양배출 허가량을 2,400천m³ 이하로 제한하면서 상대적으로 동해병해역의 해양배출 비중은 점차 증가하여 '04년부터 동해병해역 해양배출 비중이 절반 이상을 차지했다. 그러나 '12년부터 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출이 금지되면서 서해병과 동해병해역 해양배출 비중이 유사해지고, 동해정해역의 비중은 0로 전환되었다(그림 2-3-3).

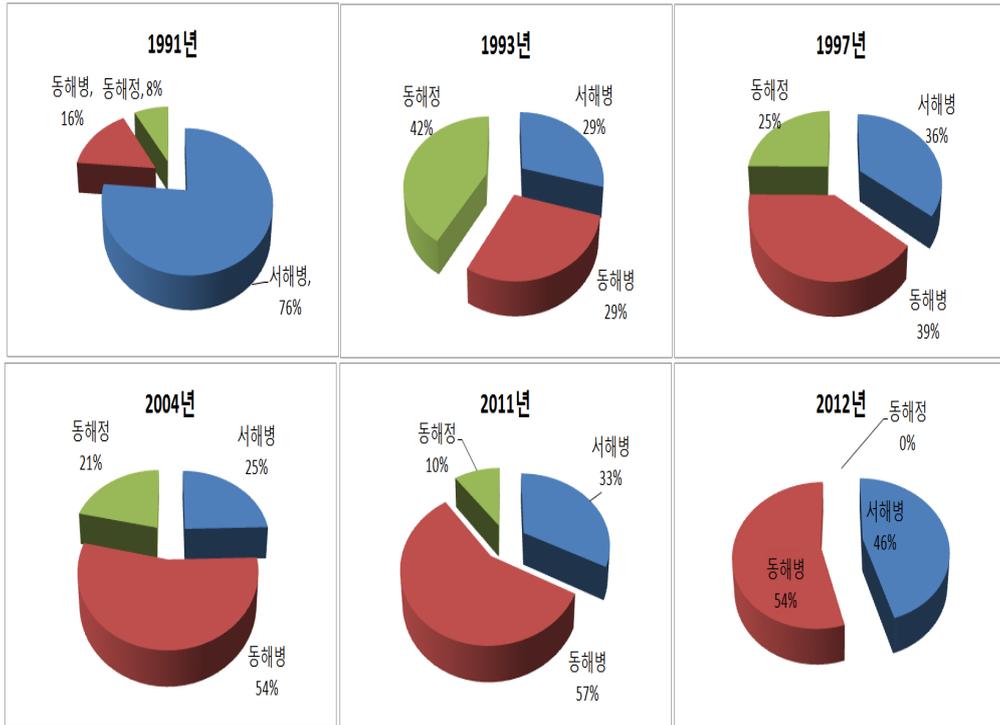


그림 2-3-3. 배출해역 및 연도별 폐기물 해양배출 비중

나. 폐기물 종류별 해양배출 현황

'91년까지 해양배출 폐기물 종류로는 폐수, 폐수처리오니와 수산가공잔재물이었지만, '92년에 분뇨, 폐산폐알칼리가 추가되었다. '93년에는 하수처리오니 10천m³가 해양배출되면서 급격히 증가하여 유기성오니류의 직매립금지 시행 직후인 '04년도에 하·폐수처리오니가 해양배출 폐기물 총량 중 33%를 차지했다. '04년부터 음식물폐기물류폐수(이하 음폐수)의 해양배출이 시작되면서 급격히 증가하여 '11년도에 음폐수 해양배출 비중은 해양배출 총량 중 26%로 전체 폐기물 종류 중 최고를 기록했다(그림 2-3-4).

그러나 '06년 수립시행된 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」에서 정하고 있는 오염물질별 해양배출 금지 계획을 확행하기 위해 '11년 12월 29일 공포된

해양환경관리법 시행규칙 개정에 따라 '12년 1월부터 하수처리오니와 가축분뇨의 해양배출이 금지되었고, '13년 1월부터는 음폐수 해양배출이 금지될 예정이다(표 2-3-1).

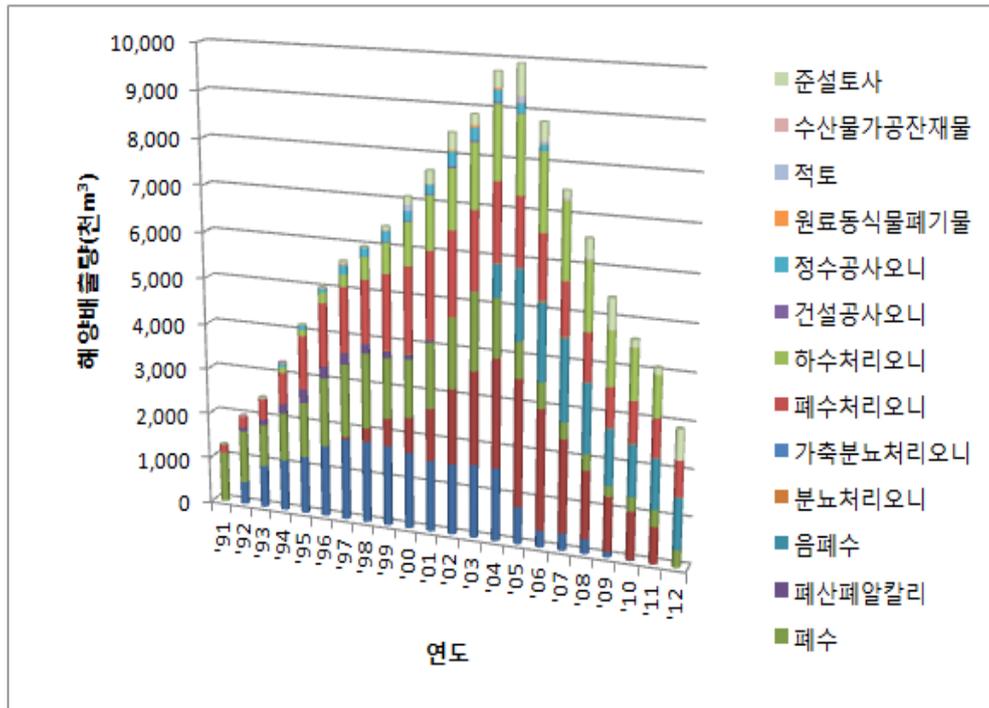


그림 2-3-4. 폐기물 종류 및 연도별 해양배출 현황

표 2-3-1. 폐기물 종류별 해양배출 시작 및 금지 이력

폐기물 명	신규	금지	배출방법
폐산/폐알칼리	1999. 1	2006. 2	확산식
하수도준설물	1997. 11	2006. 2	집중식
정수공사오니	1993. 1	2006. 2	집중식
건설공사오니	1996. 7	2006. 2	집중식
가축분뇨	1987. 8	2012. 1	확산식
하수처리오니	1993. 1	2012. 1	확산식
음폐수	2004. 3	2013. 1	확산식
분뇨	1991. 9	2013. 1	확산식
분뇨오니	1991. 9	2013. 1	확산식
폐수	1991. 9	2014. 1	확산식
폐수처리오니	1991. 9	2014. 1	확산식
수산화알루미늄잔재물	1996. 7	2016. 1	집중식

1) 서해병해역

서해병해역은 '88년 547천m³의 폐수 해양배출을 시작으로 '91년까지 폐수가 100%를 차지했으나, '92년부터 폐수처리오니, 그리고 '95년부터는 하수처리오니의 해양배출이 시작되면서 오니류가 차지하는 비중이 급격히 증가했다. '97년에 유기성오니류 육상직매립 금지가 예고되면서 이들 오니류의 해양배출 비중은 급격히 증가하여 하·폐수처리오니 직매립금지('03년 시행)가 시행 직전인 '02년에 이들 오니류가 서해병해역 총 해양배출량 중 55%를 차지했고, 이후에도 40% 이상을 유지하다가, '12년부터 하수처리오니의 해양배출이 금지되면서 40% 이하로 감소했다(그림 2-3-5, 표 2-3-2).

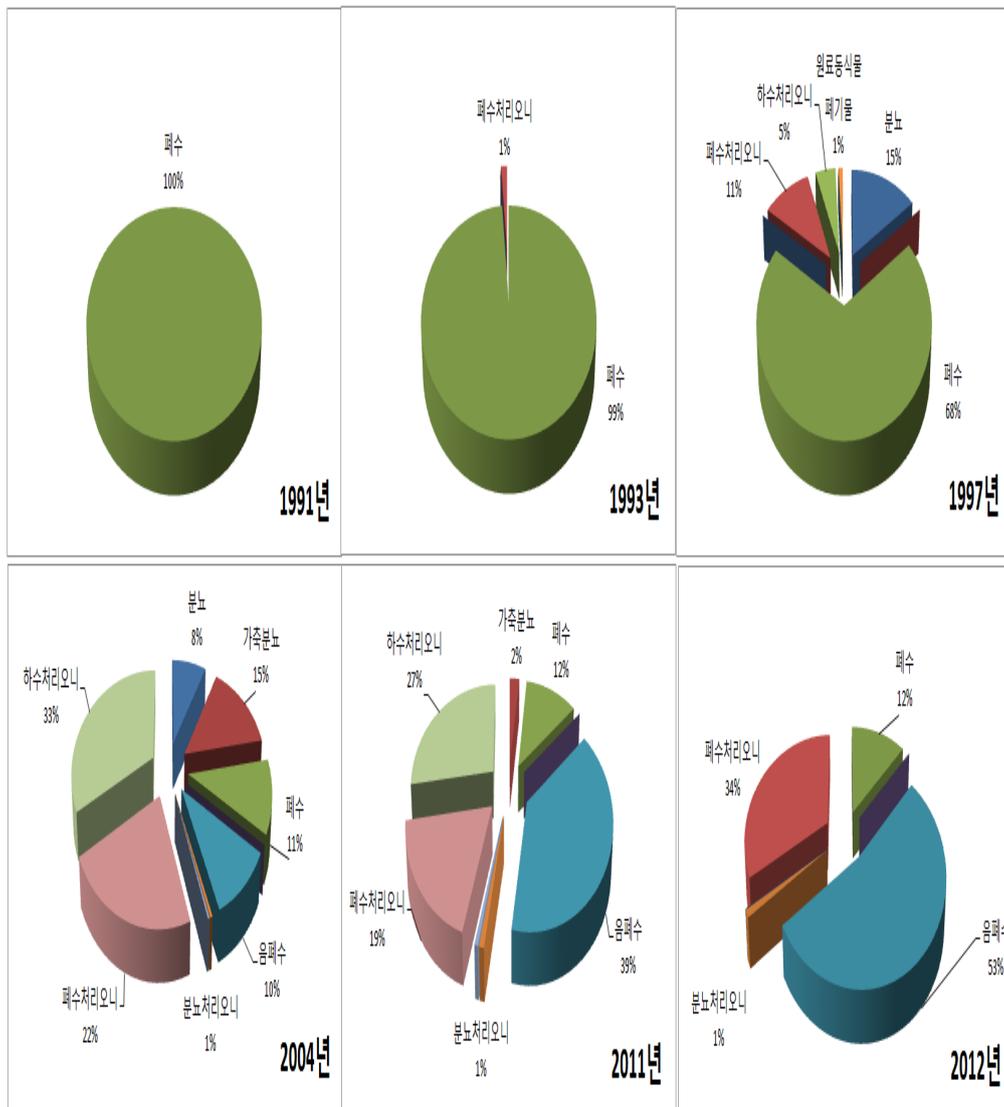


그림 2-3-5. 서해병해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중

2) 동해병해역

동해병해역은 해양배출 초기인 '93년 이전까지 주요 해양배출 폐기물은 폐수처리오니, 폐수와 폐산폐알칼리가 전체 폐기물 중 거의 대부분을 차지했다. '02년에 폐산폐알칼리 해양배출이 금지되고, '97년과 '04년에 가축분뇨와 음폐수 해양배출이 허용되면서 하폐수처리오니, 음폐수와 가축분뇨가 동해병해역 해양배출 폐기물 중 60% 이상을 차지했다. '12년부터는 하수처리오니와 가축분뇨의 해양배출이 금지되면서 음폐수가 해양배출 폐기물 중 절반을 차지했다(그림 2-3-6, 표 2-3-3).

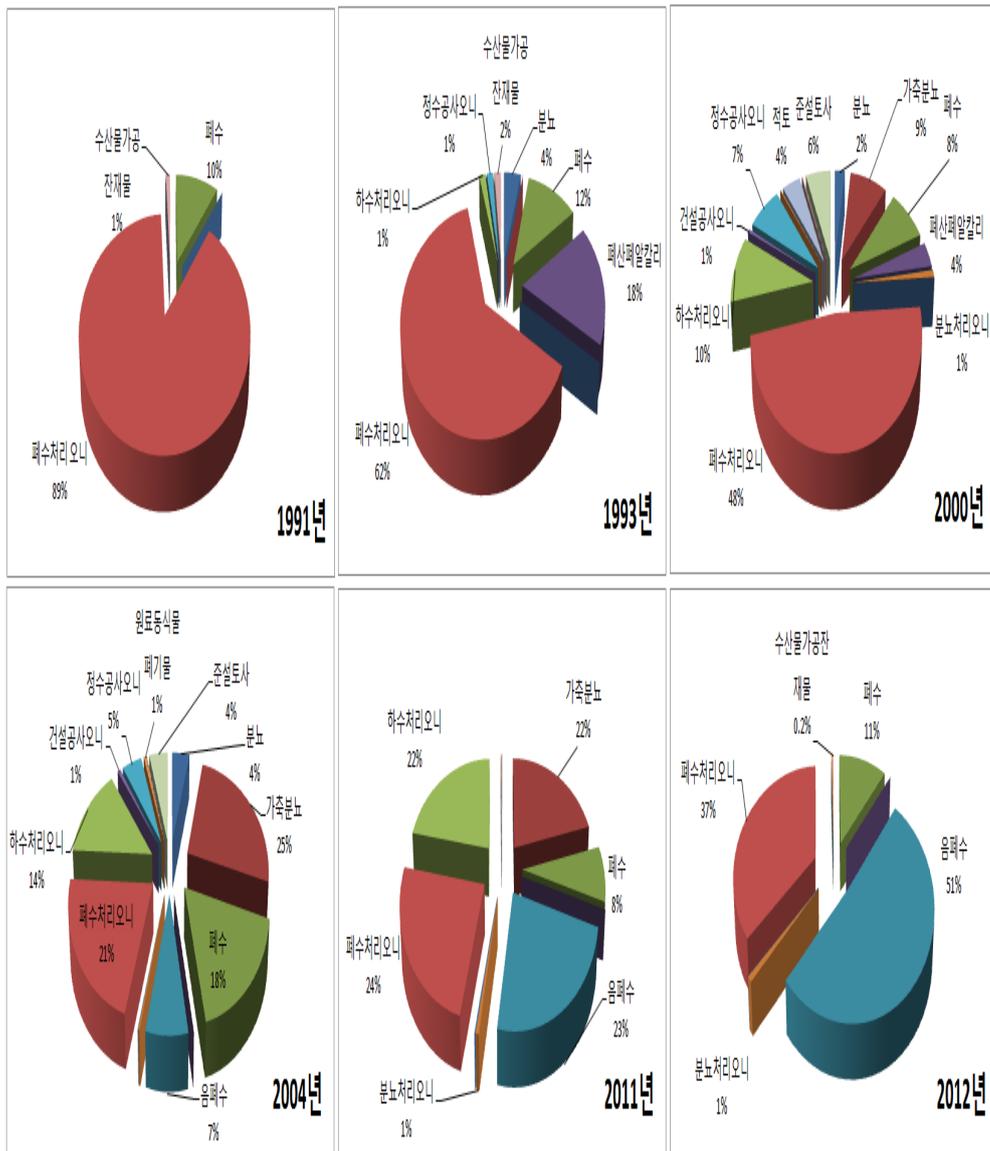


그림 2-3-6. 동해병해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중

3) 동해정해역

타 배출해역과 달리 동해정해역은 폐수와 분뇨 등 액상류에 한정하여 해양배출을 허용하고 있다. 해양배출 초기인 '91년에는 폐수가 100%를 차지했으나, '92년 이후부터 분뇨의 해양배출이 급속히 증가하면서 '97년에 94%를 차지했다. 점차 해양배출 폐기물 중 절반 이상을 차지했다.

'97년부터 동해정해역에 배출된 폐기물 중 0.1%(1,000m³)의 해양배출로 시작된 가축분뇨는 '04년에 전체 폐기물 중 32%, 그리고 '11년에는 62%로 급속히 증가했으나, '12년부터는 해양배출이 금지되어, '12년에 동해정해역에는 준설토사만 해양배출되었다(그림 2-3-7, 표 2-3-4).

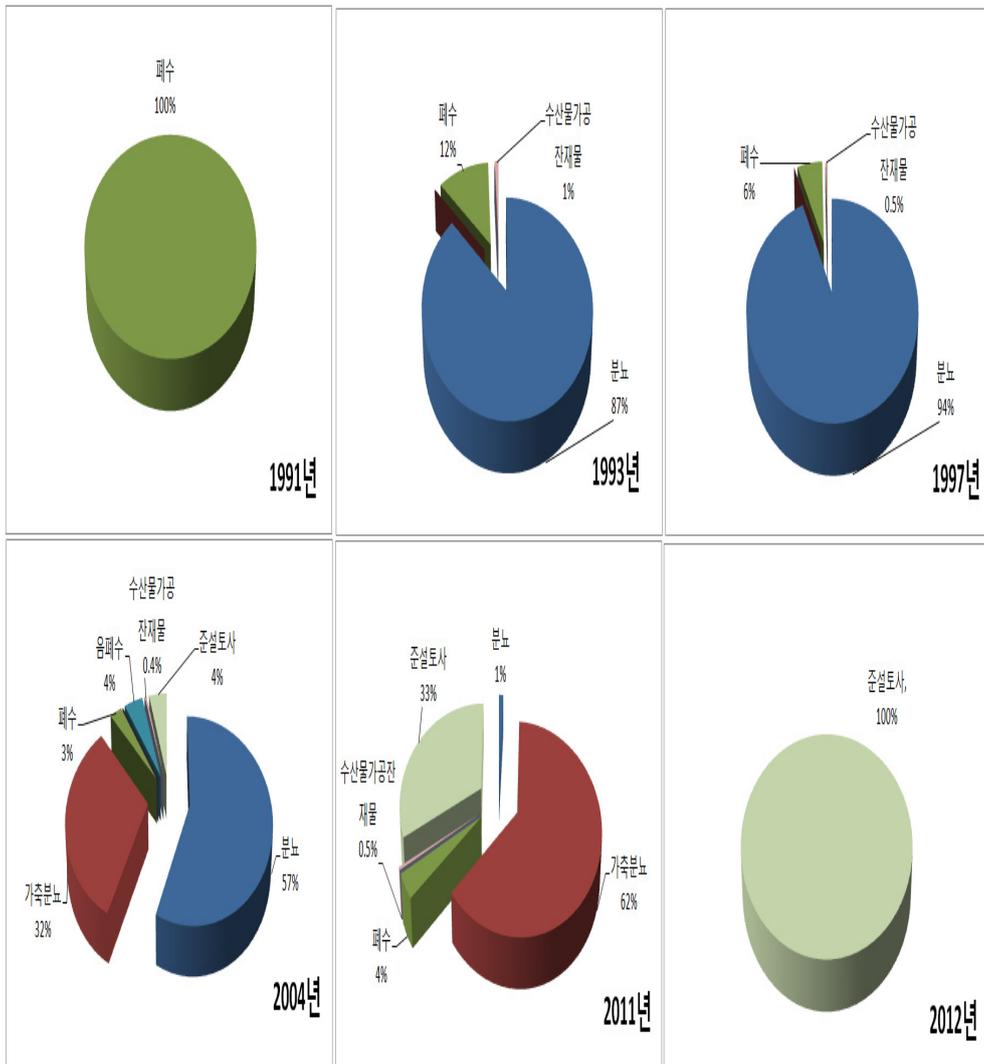


그림 2-3-7. 동해정해역의 연도 및 폐기물 종류별 비중

제 4 절 폐기물 배출해역 건강상태 정밀조사

1. 해양환경조사

가. 조사 시기 및 조사 선박

2012년부터 그동안 매년 3개의 배출해역 중 1개 해역만을 순차적으로 집중 조사하던 것을 변경하여 중장기 모니터링용 고정 구획을 각 배출해역별로 10 개씩 지정하고, 매년 3개의 배출해역 모두를 모니터링 하였다. 폐기물 배출해역에 대한 해양조사는 한국해양연구원의 전문 해양조사 연구선인 이어도호를 이용하여 2012년 5월 9일부터 14일까지 서해병해역, 6월 5일부터 12일까지 동해병해역 및 해양경찰청 훈련함을 이용하여 7월 25일부터 30일까지 동해정해역에서 해수 및 퇴적물 시료 채취를 하였다.

표 2-4-1. 해양환경조사 일정

조 사 년 도	조 사 시 기	사 용 선 박	조 사 해 역	조 사 내 용
2012년	5월 9일~5월 14일	이어도호	서해병해역	해수, 퇴적물, 생물
	6월 5일~6월 12일	이어도호	동해병해역	퇴적물, 생물
	7월 25일~7월 30일	해경훈련함	동해정해역	해수, 퇴적물, 생물

* 3월에 시도된 동해병해역 조사는 악천우로 인해 철회됨



그림 2-4-1. 해양조사에 이용된 이어도호

나. 조사정점

그림 2-4-2에 나타난 것과 같이 동해병, 동해정, 서해병해역 총 36개 구획에서 수질, 해저퇴적물, 부유생물, 저서생물, 물리환경에 대하여 조사를 실시하였다.

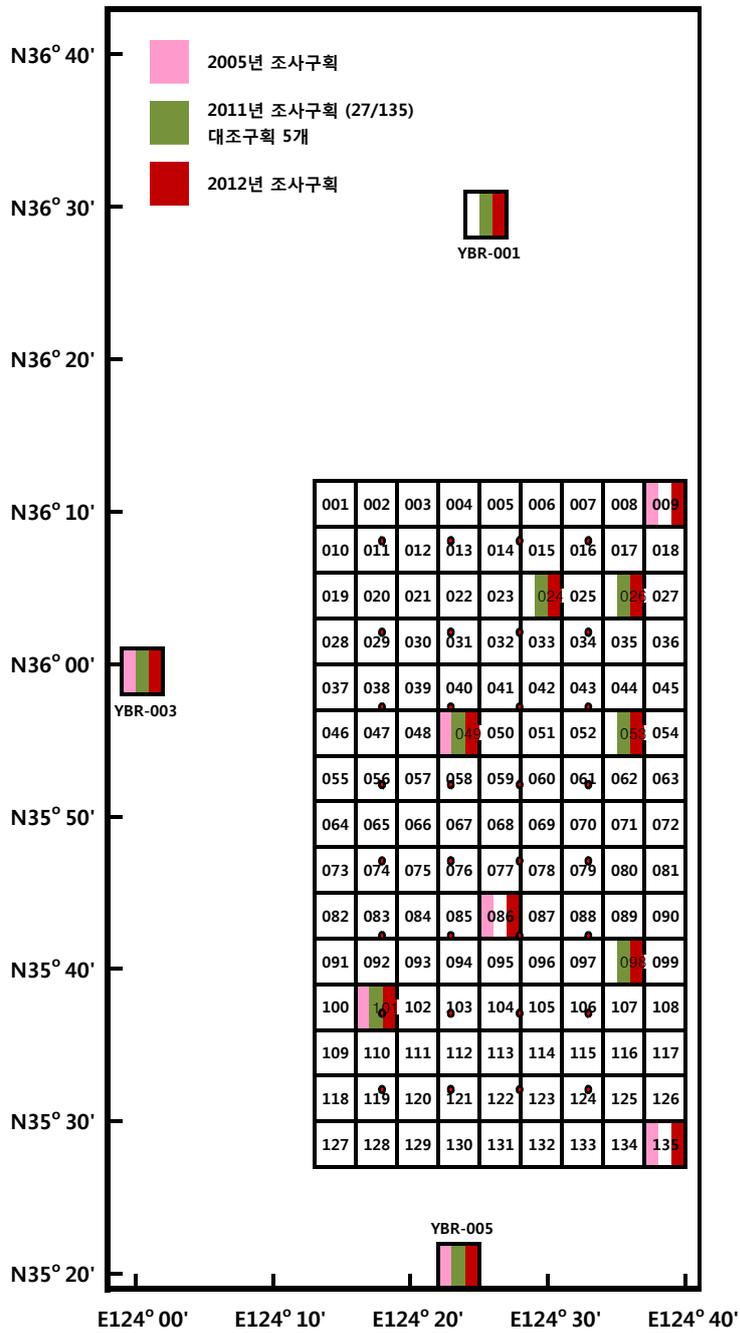


그림 2-4-2. 폐기물 배출해역별 조사 정점(a: 서해병, b: 동해병, c: 동해정)

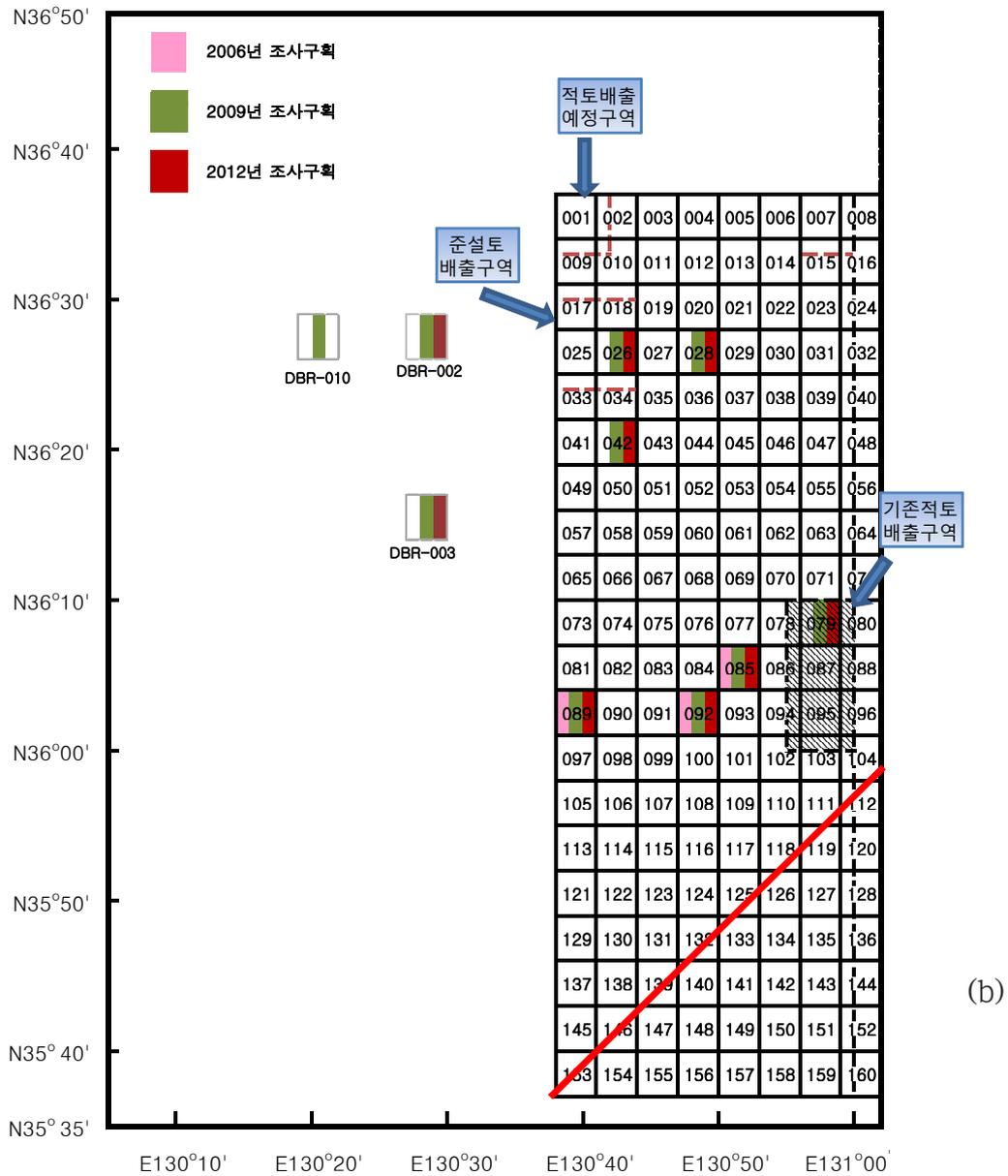


그림 2-4-2. (계속)

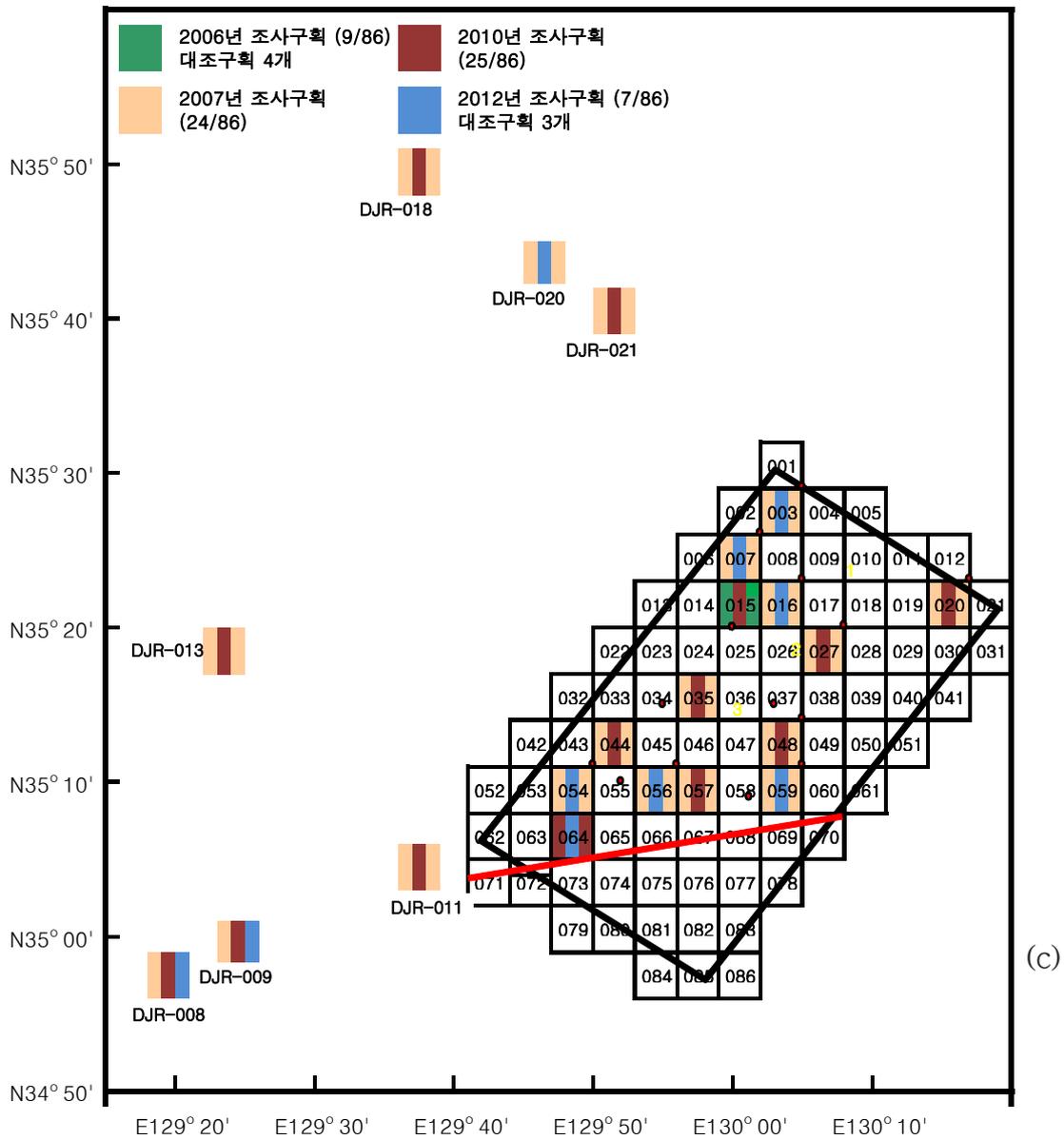


그림 2-4-2. (계속)

표 2-4-2. 폐기물 배출해역 해양조사 정점별 위치정보 및 조사내용
- 서해병해역

Station No.	Location								이동 거리	수심 (m)	소요시간 (분)			도착시간	출발 시간	비고
	60분율				100분율						이동	CTD 채수 표층수	퇴적물 및 저서생물			
	위도	경도	위도	경도												
장목					34	59.580	128	40.590							2012/05/09 13:00	
YS-1	34	31.7	128	20.0	34	52.858	128	33.288	6	60	308	39		2012/05/09 18:08	2012/05/09 18:47	
YS-9	34	29.2	125	40.0	34	48.693	125	66.668	81	45	928	95		2012/05/10 10:15	2012/05/10 11:50	
YS-12	35	0.8	124	40.1	35	1.278	124	66.782	34	98	366	19		2012/05/10 17:56	2012/05/10 18:15	
YBR-003	35	59.5	124	0.5	35	99.167	124	0.833	66	76	420	35	40	2012/05/11 01:15	2012/05/11 02:30	
YBR-001	36	29.5	124	25.5	36	49.167	124	42.500	24	80	217	30	47	2012/05/11 06:07	2012/05/11 07:24	
YB-009	36	10.5	124	38.5	36	17.500	124	64.167	21	88	166	20	32	2012/05/11 10:10	2012/05/11 11:02	
YB-026	36	4.5	124	35.5	36	7.500	124	59.167	6	84	57		31	2012/05/11 11:59	2012/05/11 12:30	
YB-024	36	4.5	124	29.5	36	7.500	124	49.167	6	83	60	20	40	2012/05/11 13:30	2012/05/11 14:30	
YB-043	36	58.5	124	32.5	36	97.500	124	54.167	50	84	48	6		2012/05/11 15:18	2012/05/11 15:24	
YB-053	35	55.5	124	35.5	35	92.500	124	59.167	36	80	36	20	60	2012/05/11 16:00	2012/05/11 17:20	
YB-098	35	40.5	124	35.5	35	67.500	124	59.167	14	80	100		41	2012/05/11 19:00	2012/05/11 19:41	
YBR-007	35	59.5	125	9.5	35	99.167	125	15.833	20	80	219	37		2012/05/11 23:20	2012/05/11 23:57	
YB-049	35	55.5	124	23.5	35	92.500	124	39.167	21	80	489	20	39	2012/05/12 08:06	2012/05/12 09:05	
YB-086	35	43.5	124	26.5	35	72.500	124	44.167	11	80	88	20	17	2012/05/12 10:33	2012/05/12 11:10	
YB-101	35	37.5	124	17.5	35	62.500	124	29.167	10	80	60	35	40	2012/05/12 12:10	2012/05/12 13:25	
YBR-005	35	20.5	124	23.5	35	34.167	124	39.167	17	80	112	30	44	2012/05/12 15:17	2012/05/12 16:31	
YB-135	35	28.5	124	38.5	35	47.500	124	64.167	16	80	91	144		2012/05/12 18:02	2012/05/12 20:26	
장목					34	59.580	128	40.590		0	0	0				

Station No.	작업내용																	
	수질 (수평, 수직분포)									수질 (표층분포)				퇴적물		생물		천연 및 인공 방사능
	CTD 수온 염분 DO 탁도	DO	pH	TOC DOC TN, TP	영양염류	Chl-a 일차 생산	POC PON SS	COD (표, 중, 저)	식물 플랑크톤	PCB PAH	시안 페놀 유분	중금속 (용존, 입자)	표층	주상	저서 생물	생물 독성		
장목																		
YS-1	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆								◆	
YS-9	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆								◆	
YS-12	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆								◆	
YBR-003	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆			◆	
YBR-001	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆				
YB-009	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆									
YB-026	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆				
YB-024												◆	◆	◆				
YB-043	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆				
YB-053	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆								◆	
YB-098												◆	◆	◆				
YBR-007	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆								◆	
YB-049	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆				
YB-086	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆									
YB-101												◆	◆	◆				
YBR-005	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆				
YB-135	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆									
장목																		

- 동해병해역

Station No.	Location				Distance (mile)	Depth (m)	Necessary time (min.)			Arrive	Departure	Remark			
	60 Degree		100 Degree				Move	CTD Sea water	Mooring, Radio., Sediment						
	Latitude	Longitude	위도	경도											
포항											2012/06/05 00:00				
DBR-010	36	27.500	130	21.500	36	45.833	130	35.833	6	1,999	31	225	2012/06/05 06:50	2012/06/05 10:35	Box core
DBR-002	36	27.500	130	28.500	36	45.833	130	47.500	6	1,962	31	194	2012/06/05 11:06	2012/06/05 14:20	Box core
DBR-003	36	14.500	130	28.500	36	24.167	130	47.500	12	1,740	104	206	2012/06/05 16:04	2012/06/05 19:30	Box core
DB-089	36	02.500	130	39.500	36	04.167	130	65.833	15	1,590	85	173	2012/06/05 20:55	2012/06/05 23:48	Box core
DB-092	36	02.500	130	48.500	36	04.167	130	80.833	8	1,593	32	157	2012/06/06 00:20	2012/06/06 02:57	Box core
DB-085	36	05.500	130	51.500	36	09.167	130	85.833	4	1,650	66	178	2012/06/06 04:03	2012/06/06 07:01	Box core
DB-079	36	08.500	130	57.500	36	14.167	130	95.833	6	1,730	49	182	2012/06/06 07:50	2012/06/06 10:52	Box core
DB-042	36	20.500	130	42.500	36	34.167	130	70.833	18	1,700	108	148	2012/06/06 12:40	2012/06/06 15:08	Box core
DB-026	36	26.500	130	42.500	36	44.167	130	70.833	6	1,908	43	169	2012/06/06 15:51	2012/06/06 18:40	Box core
DB-028	36	26.500	130	48.500	36	44.167	130	80.833	8	1,985	37	228	2012/06/06 19:17	2012/06/06 23:05	Box core
장목					34	59.580	128	40.590			0	92			

Station No.	Sampling													
	Seawater (Surface & Vertical Casting)										Sediment		Sampling Depth (m)	
	CTD pCO ₂	DO pH SS	Nut. POC PON Chl-a	Bi-SiO ₂	CFCs SF ₆	¹⁴ C Oxygen	²³⁴ Th	Phyto Plankton	Artificial Radio Nuclides			Surface	Core	※ CTD, DO, Nut. Bi-Si, ¹⁴ C, Oxygen, CFCs, SF ₆ : Standard Depth Phyto Plankton : Surface ²³⁴ Th : 0, 20, 50, 75, 100, 200m
								Cartridge	Surface water	Vertical Casting				
포항														
DBR-010							◆						◆	
DBR-002							◆						◆	
DBR-003							◆						◆	
DB-089							◆						◆	
DB-092							◆						◆	
DB-085							◆						◆	
DB-079							◆						◆	
DB-042							◆						◆	
DB-026							◆						◆	
DB-028							◆						◆	
장목														

- 동해정해역

Station No.	Location							Distance (mile)	Depth (m)	Necessary time (min.)			Arrive	Departure	Remark	
	60 Degree			100 Degree						Move	CTD Sea water	Sediment				
	Latitude	Longitude	위도	경도	위도	경도										
여수	34	44.000	127	44.000	34	73.333	127	73.333						2012/07/25 09:00		
DJR-008	34	57.500	129	19.500	34	95.833	129	32.500	46	150	274	120	120	2012/07/25 13:34	2012/07/25 17:34	퇴적물, 수질
DJR-009	34	59.500	129	24.500	34	99.167	129	40.833	5	150	30		120	2012/07/25 18:04	2012/07/25 20:04	퇴적물
A	35	10.000	129	32.000	35	16.667	129	53.333	14	150	86	60	60	2012/07/25 21:30	2012/07/25 23:30	해경
DJR-017	35	10.000	129	37.000	35	16.667	129	61.667	5	150	28	120		2012/07/25 23:57	2012/07/26 01:57	수질
DJR-013	35	18.500	129	23.500	35	30.833	129	39.167	15	150	89	120		2012/07/26 03:26	2012/07/26 05:26	수질
DJ-064	35	06.500	129	48.500	35	10.833	129	80.833	26	150	154		120	2012/07/26 08:00	2012/07/26 10:00	퇴적물
DJ-054	35	09.500	129	48.500	35	15.833	129	80.833	3	150	17	120	120	2012/07/26 10:17	2012/07/26 14:17	퇴적물, 수질
6	35	11.000	129	50.000	35	18.333	129	83.333	2	150	12	60	60	2012/07/26 14:28	2012/07/26 16:28	해경
DJ-056	35	09.500	129	54.500	35	15.833	129	90.833	4	150	26	120	120	2012/07/26 16:55	2012/07/26 20:55	퇴적물, 수질
4	35	10.000	129	57.000	35	16.667	129	95.000	2	150	14	60	60	2012/07/26 21:09	2012/07/26 23:09	해경
DJ-059	35	09.500	130	03.500	35	15.833	130	05.833	16	150	97	120	120	2012/07/27 00:46	2012/07/27 04:46	퇴적물, 수질
DJ-048	35	12.500	130	03.500	35	20.833	130	05.833	3	150	17	120		2012/07/27 05:03	2012/07/27 07:03	수질
3	35	15.000	130	01.000	35	25.000	130	01.667	3	150	20	60	60	2012/07/27 07:23	2012/07/27 09:23	해경
2	35	19.000	130	05.000	35	31.667	130	08.333	5	150	31	60	60	2012/07/27 09:54	2012/07/27 11:54	해경
DJ-020	35	21.500	130	15.500	35	35.833	130	25.833	10	150	60	120		2012/07/27 12:54	2012/07/27 14:54	수질
DJ-018	35	21.500	130	09.500	35	35.833	130	15.833	6	150	33	120		2012/07/27 15:27	2012/07/27 17:27	수질
DJ-016	35	21.500	130	03.500	35	35.833	130	05.833	6	150	33	120	120	2012/07/27 18:01	2012/07/27 22:01	퇴적물, 수질
DJ-015	35	21.500	130	00.500	35	35.833	130	00.833	3	150	17	120		2012/07/27 22:17	2012/07/28 00:17	수질
5	35	24.000	130	00.000	35	40.000	130	00.000	2	150	14	60	60	2012/07/28 00:31	2012/07/28 02:31	해경(정점확인필요)
DJ-007	35	24.500	130	00.500	35	40.833	130	00.833	1	150	4	120	120	2012/07/28 02:35	2012/07/28 06:35	퇴적물, 수질
1	35	24.000	130	09.000	35	40.000	130	15.000	8	150	47	60	60	2012/07/28 07:23	2012/07/28 09:23	해경
DJ-003	35	27.500	130	03.500	35	45.833	130	05.833	6	150	36	120	120	2012/07/28 09:59	2012/07/28 13:59	퇴적물, 수질
B	35	30.480	130	16.540	35	50.800	130	27.567	12	150	74	60	60	2012/07/28 15:13	2012/07/28 17:13	해경
DJR-021	35	40.500	129	51.500	35	67.500	129	85.833	9	150	56	120		2012/07/28 18:09	2012/07/28 20:09	수질
DJR-020	35	43.500	129	46.500	35	72.500	129	77.500	5	150	32		120	2012/07/28 20:42	2012/07/28 22:42	퇴적물
여수	34	44.000	127	44.000	34	73.333	127	73.333	76		458	92		2012/07/29 06:20	2012/07/29 07:52	

Station No.	Sampling															
	Seawater (Surface & Vertical Casting)											Sediment		Sampling Depth (m)		
	CTD pCO ₂	DO pH SS	Nut. PON Chl-a	Bi-SiO ₂	CFCs SF ₆	¹⁴ C Oxygen	²³⁴ Th	Phyto Plankton	Artificial Radio Nuclides			Surface	Core	※ CTD, DO, Nut. : 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150m, Bottom		
여수																
DJR-008	◆	◆	◆				◆					◆				
DJR-009												◆				
A	◆	◆	◆				◆					◆				
DJR-017	◆	◆	◆				◆									
DJR-013																
DJ-064												◆				
DJ-054	◆	◆	◆				◆					◆				
6	◆	◆	◆									◆				
DJ-056	◆	◆	◆				◆					◆				
4	◆	◆	◆									◆				
DJ-059	◆	◆	◆				◆					◆				
DJ-048	◆	◆	◆				◆									
3	◆	◆	◆									◆				
2	◆	◆	◆									◆				
DJ-020	◆	◆	◆				◆									
DJ-018	◆	◆	◆				◆									
DJ-016	◆	◆	◆				◆					◆				
DJ-015	◆	◆	◆				◆									
5	◆	◆	◆									◆				
DJ-007	◆	◆	◆				◆					◆				
1	◆	◆	◆									◆				
DJ-003	◆	◆	◆				◆					◆				
B	◆	◆	◆									◆				
DJR-021	◆	◆	◆				◆									
DJR-020												◆				
여수																

※ Standard Depth : 0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m, 200m, 500m, 750m, 1000m, 1500m, 2000m, 2500m, 3000m, Bottom-50m

조사정점은 배출해역을 위·경도 3분씩으로 나누어서 3분×3분 크기의 해역을 1개의 구획으로 정하고, 그 구획 내에서 채취된 시료는 그 구획을 대표하는 자료로 정하였다. 당해연도는 3개의 배출해역에서 기존 조사 구획의 자료를 바탕으로 장기적 모니터링이 필요한 구획을 각 배출해역별로 10개 구획을 정하여 기존 조사 자료와 비교하여 연간 변화를 살펴보는 것에 주된 목적을 두었다. 표2-4-2에 각 정점별 위치를 나타내었다.

다. 조사항목

조사항목은 배출해역의 물리 및 수질 환경을 평가하기 위하여 수온, 염분, 용존산소, pH, 영양염류(인산염, 규산염, 질산염, 아질산염, 암모니아), 엽록소-a, 일차생산력, 유기질소, 유기탄소, 부유물질, 화학적산소요구량, PCBs, PAHs, 유기인, 시안, 페놀, 유분, 중금속류(용존태, 입자태)를 측정하였다.

그리고 퇴적물 환경을 평가하기 위하여 입도, 함수율, 유기질소, 유기탄소, PCBs, PAHs, 유기인화합물, 공극수 중 영양염류, 중금속 (카드뮴, 니켈, 크롬, 납, 구리, 아연, 비소, 수은, 알루미늄)을 측정하였다. 또한 생물환경을 평가하기 위하여 생체형광지수(Fluorescence Response Index; FRI)와 ¹⁴C 배양방법에 의한 일차생산력, 해수중 동·식물 플랑크톤, 퇴적물중의 저서생물, 그리고 저서생물 군집조사 및 생물 독성 평가를 하였다. 각 정점별 조사항목에 대해서는 표 2-4-2에 상세하게 나타내었다.

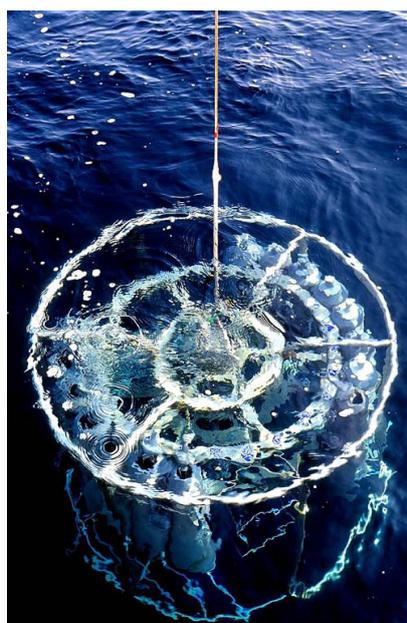


그림 2-4-3. 로젯샘플러(Rosette sampler)를 이용한 채수 및 CTD 측정



그림 2-4-4. 박스코어를 이용한 해저퇴적물 채취

제 5 절 인공위성을 통한 배출해역의 부영양화 관측

1. 서론

천리안해양관측위성(GOCI: Geostationary Ocean Color Imager)은 정지궤도에서 해양을 관측하는 위성으로서, 한반도를 중심으로 2,500km 영역의 해양환경을 오전 9시부터 오후 4시까지, 하루 8번, 매시간 관측한다. 이 해양관측위성의 주관 운영은 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 담당하고 있다(그림 2-5-1).

이 위성은 정지궤도 위성으로서 지구 자전속도와 같기 때문에 동일 지역, 특히 해양환경을 지속적으로 감시할 수 있는 장점을 갖고 있다.

이에 따라 본 절에서는 '00년부터 '12년까지 한국해양과학기술원 천리안해양관측위성(GOCI; Korean Geostationary Ocean Color Imager)이 폐기물 해양배출도 실시간으로 감시할 수 있는 유용한 수단으로 사용될 수 있다는 것을 제시한 본 연구팀의 논문을 첨부했다.

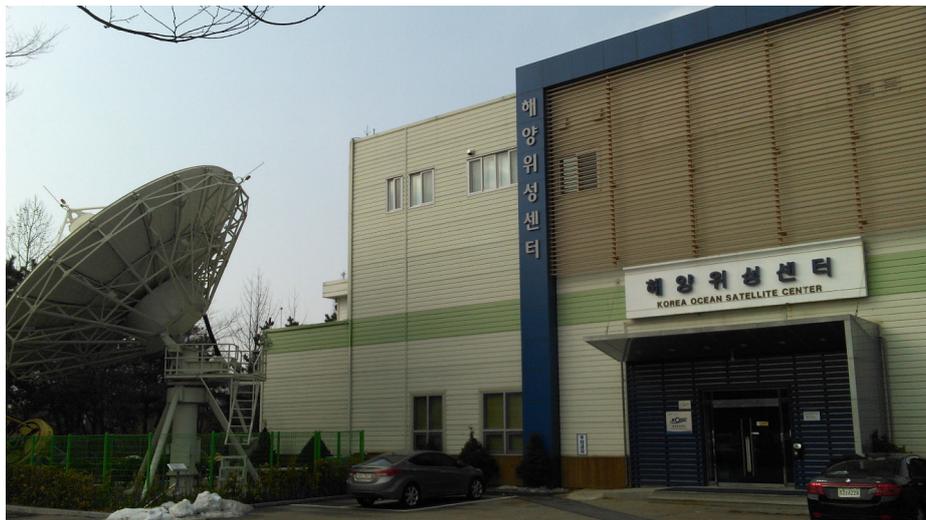


그림 2-5-1. 한국해양과학기술원 해양위성센터

2. 배출해역에 대한 인공위성 관측 결과

Ocean Sci. J. (2012) 47(3):387-394
http://dx.doi.org/10.1007/s12601-012-0036-0

Available online at www.springerlink.com

 SpringerLink



Note

Surveillance of Waste Disposal Activity at Sea using Satellite Ocean Color Imagers: GOCI and MODIS

Gi Hoon Hong^{1*}, Dong Beom Yang², Hyun-Mi Lee², Sung Ryull Yang³, Hee Woon Chung³, Chang Joon Kim², Young-II Kim⁴, Chang Soo Chung², Yu-Hwan Ahn⁵, Young-Je Park⁵, and Jeong-Eon Moon⁵

¹Ocean Circulation and Climate Research Division, KIOST, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

²Special Marine Areas Management Center, KIOST, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

³Environment Research Center, Kwangju University, Gwangju 503-703, Korea

⁴East Sea Research Institute, KIOST, Ulsan 767-813, Korea

⁵Korea Ocean Satellite Center, KIOST, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

Received 7 April 2012; Revised 13 July 2012; Accepted 4 September 2012

© KSO, KIOST and Springer 2012

Abstract – Korean Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua observations of the variation in ocean color at the sea surface were utilized to monitor the impact of nutrient-rich sewage sludge disposal in the oligotrophic area of the Yellow Sea. MODIS revealed that algal blooms persisted in the spring annually at the dump site in the Yellow Sea since year 2000 to the present. A number of implications of using products of the satellite ocean color imagers were exploited here based on the measurements in the Yellow Sea. GOCI observes almost every hour during the daylight period, every day since June 2011. Therefore, GOCI provides a powerful tool to monitor waste disposal at sea in real time. Tracking of disposal activity from a large tanker was possible hour by hour from the GOCI time-series images compared to MODIS. Smaller changes in the color of the ocean surface can be easily observed, as GOCI resolves images at smaller scales in space and time in comparison to polar orbiting satellites, e.g., MODIS. GOCI may be widely used to monitor various marine activities in the sea, including waste disposal activity from ships.

Key words – surveillance, waste disposal, GOCI, MODIS

1. Introduction

In the last 40 years since the United Nations Conference on the Human Environment in 1972, the rapid growth in the number of environmental agreements has been an encouraging sign of international commitment to protecting the land,

oceans, and the atmosphere. Notably, the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 (which was later updated as the 1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972) and the United Nations Framework Convention on Climate Change in 1992 aimed to eliminate pollution caused by the disposal of wastes or other matter at sea and emission of greenhouse gases to the atmosphere, in order to protect the global commons of the sea and the atmosphere. These multilateral environmental agreements (MEAs) are for nation states to accomplish policy objectives commonly held among the Contracting Parties. Accomplishing policy goals is usually sought by imposing compliance duties among themselves. Usual forms of compliance to the MEAs include reporting on the *in-situ* status of environments of concern, as Article 9 of the London Protocol stipulates.

Earth observation using space-borne objects has become increasingly important for environmental applications; satellites have been used extensively and on a regular basis to observe certain parts of the surface of the globe, beginning when Landsat was launched by the US in 1972, owing to their greater temporal, spatial, and spectral resolution at global, regional, and local scales than very limited traditional site visits in terms of time and space (Peter, 2004). Human activities are considerably affect the Earth's environment, and the human population is becoming increasingly vulnerable to natural hazards owing to increased

* Corresponding author. E-mail: ghhong@kiost.ac

reliance on sophisticated technologies and costly infrastructures, together with the tendency of populations to concentrate themselves in urban centers often located along rivers, faults, and coastal areas. Therefore, large amounts of effort have been expended to employ remote sensing capabilities of satellites, by organizations such as Global Monitoring for Environment and Security (GMES) in Europe (Harris and Browning 2003).

As the Yellow Sea is surrounded by the contiguous China-Korea land mass, it has been influenced greatly by various natural and anthropogenic activities occurring along its coast, such as lumps of green algae from China (Liu et al. 2010), oil spills (Lee et al. 2009), sewage sludge dumping (Son et al. 2011) affecting the color of the sea surface, and nuisance algal blooms (Shanmugam et al. 2008). In this paper, we report changes in ocean color at the sewage sludge disposal site in the Yellow Sea using color imagers. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) was used to retrieve ocean color from 2000 to 2011, and Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) was used to retrieve ocean color since June 2011, after GOCI became operational upon its launch in June 2010 (Ryu et al. this volume).

2. Materials and Methods

Satellite RGB images from GOCI (500-m level 1B) were obtained from the Korea Ocean Satellite Center (KOSC), Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST). GOCI images are normally obtained 8 times a day during daylight hours with 500 m \times 500 m resolution (Ryu et al. this volume). Satellite images from MODIS Aqua (1-km Level 1A) were obtained from NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). SeaDAS MSL12 processing code mounted on Seadas (SeaWiFS Data Analysis System) 6.1 software (NASA) was used for the calculation of Remote Sensing Reflectance (R_{rs}) and chlorophyll a concentration (McClain et al. 2004). MODIS generally produces images in the morning (MODIS Terra) and the afternoon (Aqua) daily with an averaged 1 km \times 1 km spatial resolution, if clouds do not block the region of interest.

3. Results

An enhanced chlorophyll a (chl a) patch about 3-fold greater than the surrounding waters was observed every spring and autumn (with much reduced concentration in

autumn) at the sewage sludge disposal site in the Yellow Sea from 2000 to 2011, but was not observed in summer and winter. For example, based on the clear day satellite images available from the year 2001, the enhanced chl a patch was first witnessed in early spring and sustained until the end of May (March 23–May 31, 2001). The patch was not present throughout the summer (June 02–September 03). A patch then reappeared in the autumn (September 19–September 25) with a substantially reduced amount of chl a (Fig. 1). This phenomenon indicated that phytoplankton growth was greatly stimulated, sufficiently enough that it was visible to the satellite ocean color sensors, as observed in other eutrophic oceanic waters. As the central part of the Yellow Sea is usually a nutrient deficient region (Hong et al. 1994), this enhanced patch was not observed until the late 1980s, and became visible in the 1990s (Son et al. 2011, Ahn et al. 2006). Although the exact timing of the appearance of the enhanced chlorophyll a patch is difficult to determine from the satellite images owing to the extensive cloud days over the Yellow Sea, preliminary dates of the first appearance of the enhanced chlorophyll a patch could be obtained from the MODIS images during the period of 2000 to 2011. It appears that the first occurrence was centered on the late days of March or early part of April and during that period the first appearance of the chl a patch appeared to occur progressively earlier. The spring patch appeared to be terminated in May–June (Fig. 2) as the surface waters warmed up, as observed by Shanmugam et al. (2008), although occasionally smaller and less-enhanced chlorophyll a patches in the disposal site were observed in 2002, 2003, 2005, and 2008. A much reduced but nonetheless significantly enhanced chlorophyll a patch was also observed in late August through middle October and the occurrence of the autumn chl a patch appears to be increasingly delayed with time (Fig. 3). The enhanced chl a patch was sustained for about 20–70 days and 8–50 days in the spring and autumn, respectively (Table 1).

GOCI images were clearer than MODIS ones owing to its higher spatial resolution and temporal resolution, which enhances the prospect of cloud free observation. For example, on July 19, 2011, the disposal activity of a sewage sludge disposal ship (4,000-ton class tanker) was clearly traceable for several hours, and the ship's cruising speed could be estimated to be about 8–9 knots, which was later confirmed by the ship's black box reported to the Maritime Police Agency (Figs. 4 and 5).

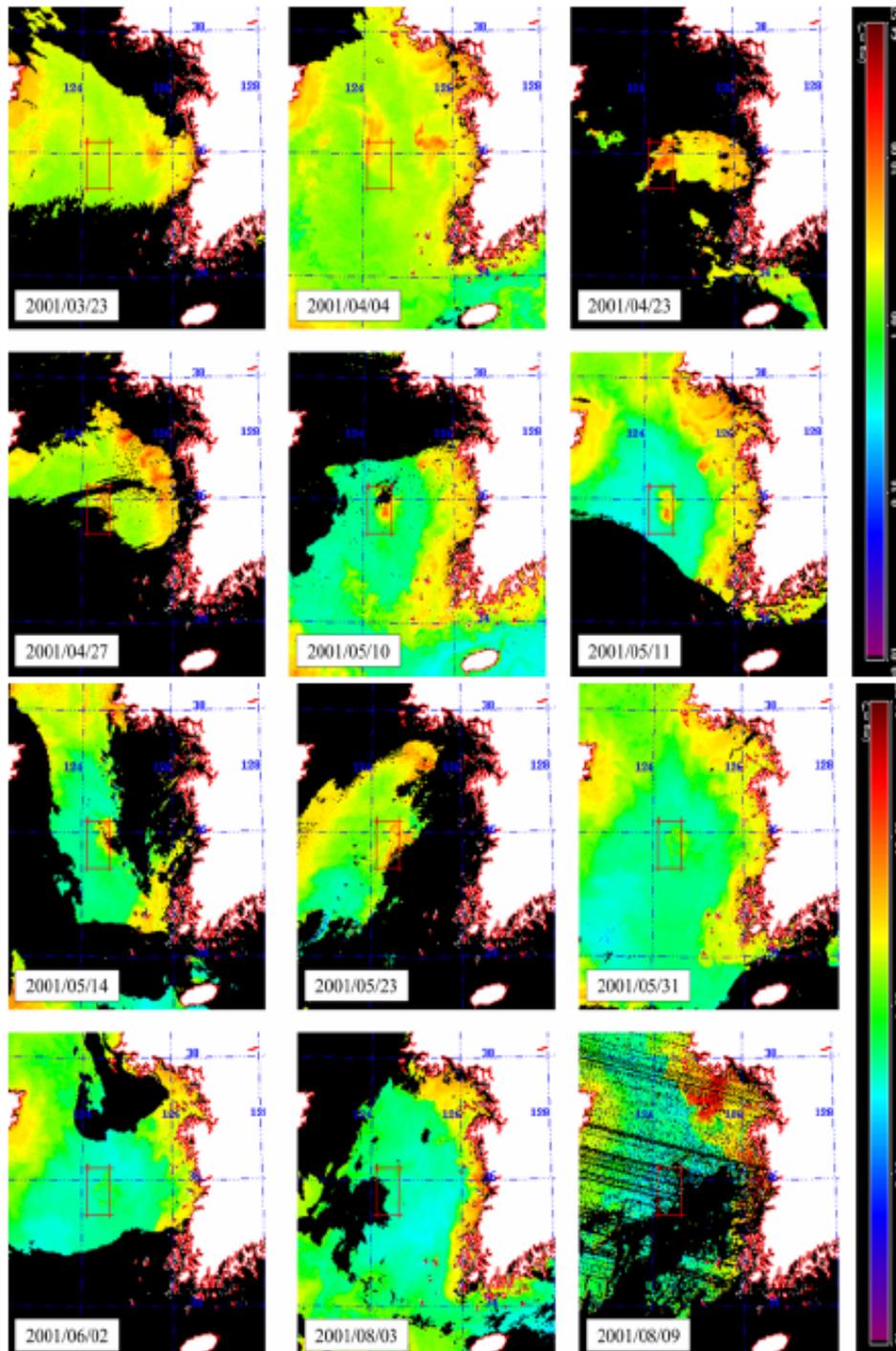


Fig. 1. An exemplary series of images of the elevated chlorophyll a concentration in a sewage sludge disposal site in the central part of the Yellow Sea in 2001 obtained from MODIS. The box in the central part of the Yellow Sea is the designated disposal site. The daily amount of sewage disposed of was relatively uniform throughout the year

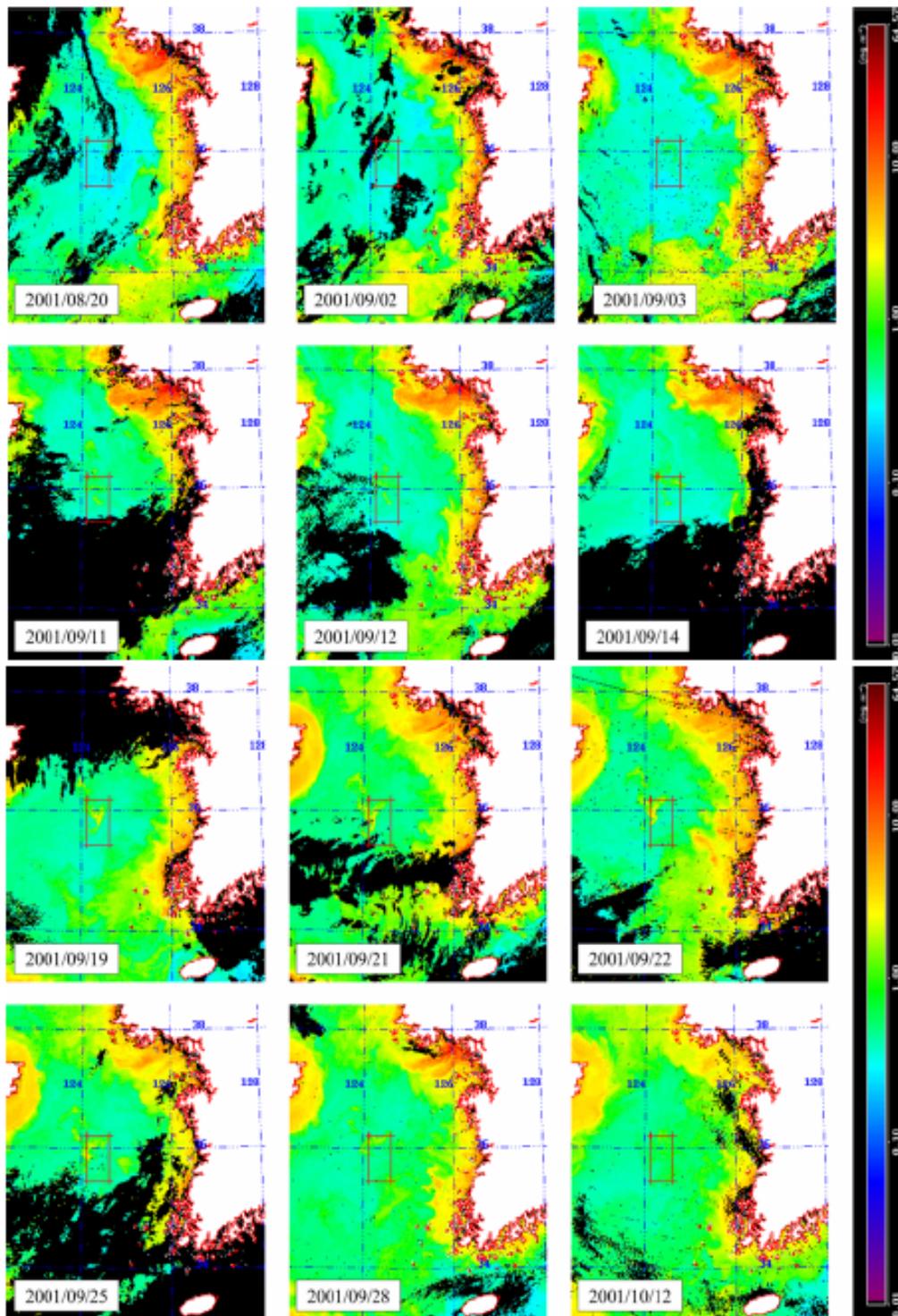


Fig. 1. (Continued)

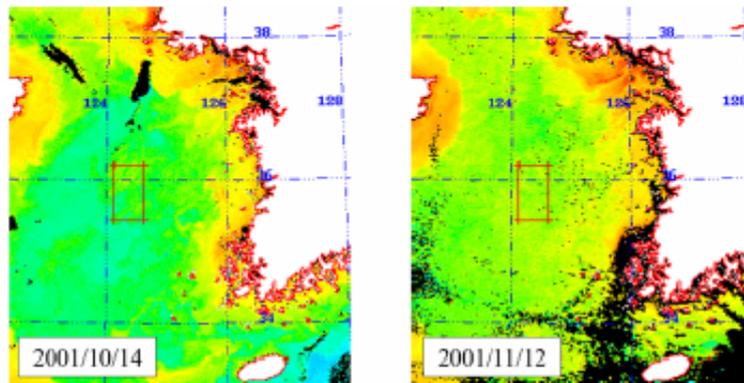


Fig. 1. (Continued)

Table 1. MODIS Aqua observed spring and autumn enhancement of chlorophyll *a* patches at the sewage sludge dump site in the central part of the Yellow Sea

Year	Spring enhancement		Autumn enhancement	
	start	end	start	end
2000	Apr-6	Jun-14	Aug-31	Oct-19
2001	Apr-4	Jun-2	Sep-11	Sep-28
2002	Mar-18	May-23	Sep-7	Sep-23
2003	Apr-16	May-31	Sep-29	Oct-29
2004	Mar-26	Jun-14	Sep-10	Oct-16
2005	Apr-2	Apr-25	Sep-5	Oct-11
2006	Mar-30	Jun-12	Sep-13	Sep-21
2007	Feb-23	May-2	Sep-27	
2008	Mar-17	Apr-18	Sep-18	Sep-29
2009	Mar-25	Jun-15	Sep-23	Oct-3
2010	Apr-3	May-16	Oct-15	
2011	Mar-31	May-28	Sep-2	Oct-11

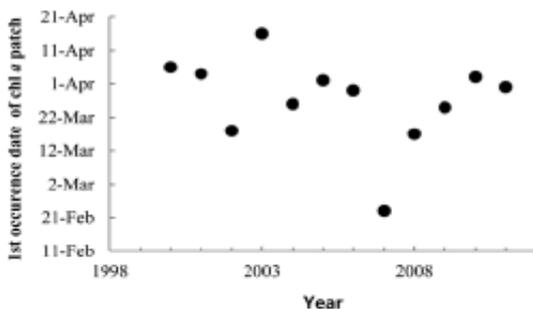


Fig. 2. First date of occurrence of the chlorophyll *a* patch in the central part of the Yellow Sea

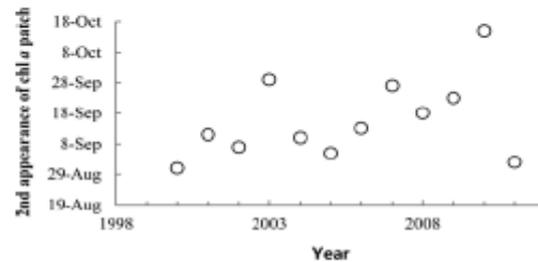


Fig. 3. Second date of occurrence of the chlorophyll *a* patch in the central part of the Yellow Sea

4. Discussion

Spring and autumn enhancement of chlorophyll *a* in the sewage sludge disposal site

In the Yellow Sea, the high primary productivity region is situated on the seaward side of the thermal front produced by the large magnitude tides along the coast, while the central part of the Yellow Sea exhibits relatively low primary productivity, similarly to other temperate continental shelf seas (Cho et al. 1994; Choi et al. 1995). Compared to the Bohai Sea in the north and the East China Sea in the south, the Yellow Sea is relatively depleted with respect to nitrogen (Liu et al. 2003). The central part of the Yellow Sea undergoes an annual cycle of vertical mixing of the whole water column in winter, and gradual stratification in spring. The surface mixed layer becomes a few meters thick in summer, gradually deepening owing to cooling in the autumn (Hong et al. 1999). Although there are large variations in

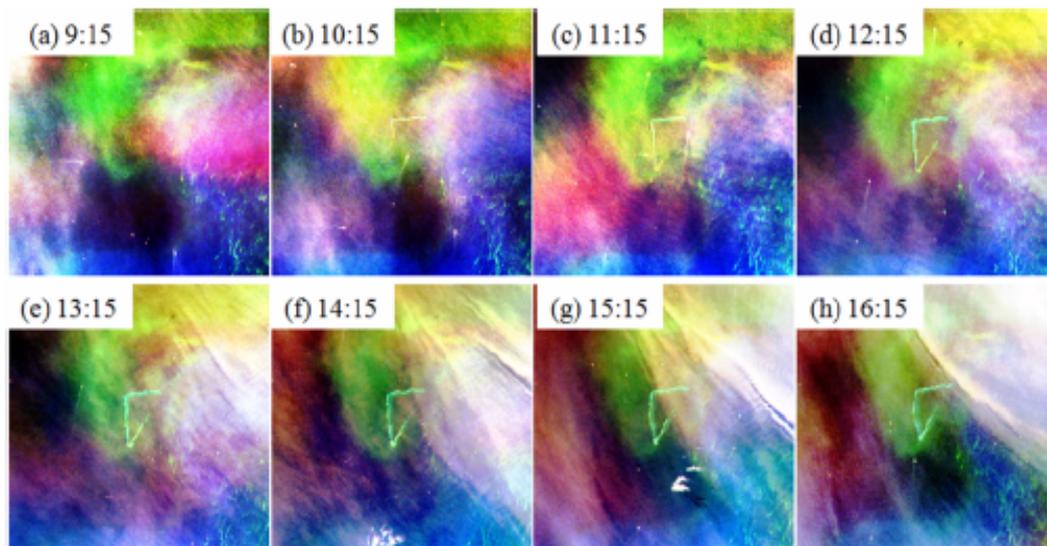


Fig. 4. Pseudo-RGB images for disposal ship's track seen in GOCI on 19 July 2011 (KST) in the Yellow Sea

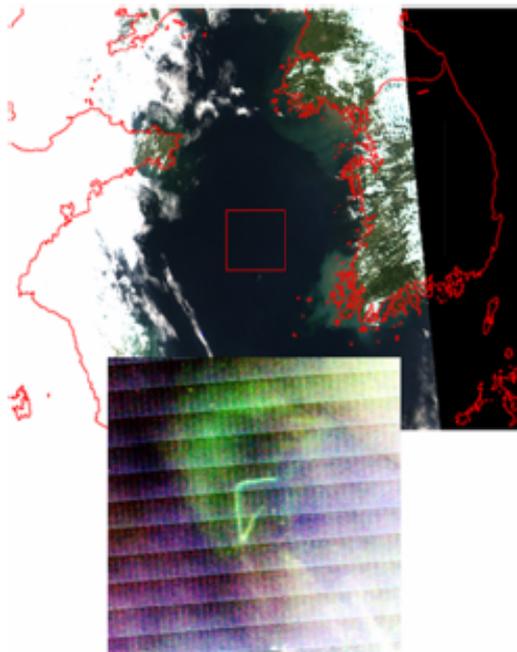


Fig. 5. RGB images for disposal ship's track seen in MODIS Aqua in the Yellow Sea on 07/19/2011 at 14:30 KST

salinity and temperature, the oxygen isotopic composition of seawater in summer and winter does not indicate any

significant seasonal difference, showing a simple mixing of saline water from the Kuroshio Current Water with river and meteoric water. Cold water presence below the thermocline during summer reflects the non-conservative nature of temperature in the area, resulting from solar heating at the sea-air interface (Kang et al. 1994). The atmospheric heat drives mixing and stratification of the water column in addition to the summer river discharge of freshwater. The water column stability and nutrient input from rivers and the atmosphere dictates phytoplankton blooms and their termination in the central part of the Yellow Sea as in other temperate continental shelf waters (Hong et al. 1994). The mixing of nutrient-rich deep water to the sunlit surface gives rise to the enhanced chlorophyll *a* concentration in the surface water, that is, the spring and autumn phytoplankton blooms. However, the chlorophyll *a* concentration was less than 1 mg m^{-3} in spring and about 0.2 mg m^{-3} for the rest of the year (Zhang et al. 2007), therefore, it was not particularly noticeable in the satellite images from CZCS and SeaWiFS before 1992 (Son et al. 2005), although scattered occurrences of phytoplankton or zooplankton (*Noctiluca scintillans*) blooms were observed and attributed to atmospheric deposition of nutrients (Zhang et al. 1994; Zou et al. 2000).

A part of the Yellow Sea was designated as a sewage sludge disposal site in 1993, and will be closed by the end of 2012. Some $8,714,000 \text{ m}^3$ of sewage sludge has been

disposed of over the last 20 years, and some 362,000 m³ was disposed of in 2011 in the Yellow Sea. More than one tanker dispose of waste in the area every day. The continuous introduction of the sewage sludge containing organic carbon (29.2%), nitrogen (5.5%), and phosphorus (ca. 1.7%) into the central Yellow Sea has disturbed the natural marine ecosystem significantly. The perturbation of the natural ecosystem due to the introduction of organic matter, nitrogen, and phosphorus has manifested itself in a number of ecosystem variables and parameters, notably changes in ocean color caused by enhanced primary production, and phytoplankton species composition. The phytoplankton taxonomic group was found to be dominated by dinophyceae at the dump site in June 2011 rather than bacillariophyceae that usually dominate continental shelf waters free from waste dumping. Centric diatoms (*Ditylum brightwellii*), usually found in the coastal waters adjacent to the land, were also found at the dump site (Chung et al. in preparation). However, it is interesting to note that despite the continuation of disposal of sewage sludge at the sea surface year round, there was no enhancement in chlorophyll *a* concentration in summer. The amount of nutrient addition from the sewage sludge disposal may not be sufficient to cause phytoplankton blooms, or toxic material contained in the sewage sludge may inhibit the phytoplankton growth. The enhanced signal of the satellite-observed chlorophyll *a* concentration in spring may not be detected after 2012, when sewage sludge disposal is ceased. Chlorophyll *a*, one of the components of plant pigment, is an optical variable easily detected via satellite remote sensing (Fig. 1). Ocean color imagers are very useful for the monitoring of nutrient-laden waste disposal or discharge into the sea.

High temporal and spatial resolution of GOCI

As evidenced by our observations from 17 July 2011, sewage sludge or other dark colored material discharged from a ship whose breadth is 20 m or wider could be detected from GOCI, and the ship track could be traceable almost in real time at each hour (Fig. 4) while a composite ship track was only available from MODIS (Fig. 5). Since GOCI has a number of advantages, it is expected to be utilized extensively to monitor seaborne human activities in quasi real time.

Satellite ocean color images as proxies for climate change

The Yellow Sea has undergone many changes during the

last few decades in terms of water characteristics and abundance of major biological organisms. According to the periodic oceanographic observation in the eastern part of the Yellow Sea adjacent to the Korean Peninsula conducted by the National Fisheries Research and Development Institute, surface water temperature increased from <15 °C to 16 °C, seawater salinity has decreased from >32.5 to <32.0, zooplankton biomass increased from <100 to 300 mg·m⁻³, and Secchi disc depth decreased from 10 m to <8 m from 1979 to 2002 (Son et al. 2005). Abundance of a species of zooplankton, *Calanus sinicus*, was reported to increase during the 1990s in the Yellow Sea (Kang et al. 2007). Dissolved nutrients, particularly nitrogen compound concentrations, have increased from 1991 to 2011 (Park et al. 1998; Chung et al. in preparation) in the eastern Yellow Sea, and similar increases were also observed in the western part of the Yellow Sea, along with a concurrent decrease in dissolved phosphate and silicate in the period of 1976–2000 (Lin et al. 2005). Although our satellite observation of the ocean color is frequently limited by cloud cover throughout the year, the date of the first appearance of enhanced chlorophyll *a* concentration in spring and autumn would be useful to monitor the changes occurring at sea. Sea surface temperature may be also used as a proxy for the thickness of the surface mixed layer, and hence, nutrient concentration, since deep water is relatively cold and enriched with nutrients and surface water is relatively warm and nutrient depleted. The satellite-observed enhanced chlorophyll *a* patch appeared progressively earlier in spring and progressively later in autumn (Figs. 2 and 3), possibly reflecting an increase in sea surface temperature over a recent few decades.

5. Conclusions

Satellite ocean color imagers were successfully utilized to monitor the impact of sewage sludge disposal in the central Yellow Sea for 2000–2011 using MODIS Aqua and GOCI since June 2011. GOCI offers distinct advantages in terms of temporal and spatial resolution. GOCI could also trace the disposal activity of sewage sludge from a 4,000-ton class vessel in real time. GOCI will be very useful for environmental surveillance purposes in the East Asian seas surrounded by the contiguous land mass inhabited by a vast number of people.

Acknowledgements

We thank two anonymous reviewers for their valuable comments to improve our initial manuscript. This work was supported in part by the Korea Institute of Ocean Science and Technology (PE98781).

References

- Ahn YH, Shanmugam P (2006) Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia coastal waters. *Remote Sens Environ* **103**:419-437
- Cho BC, Choi JK, Chung CS, Hong GH (1994) Uncoupling of bacteria and phytoplankton during a spring diatom bloom in the mouth of the Yellow Sea. *Mar Ecol Prog Ser* **115**:181-190
- Choi JK, Noh JH, Shin KS, Hong GH (1995) The early autumn distribution of chlorophyll-a and primary productivity in the Yellow Sea, 1992. *Yellow Sea* **1**:68-80
- Harris R, Browning R (2003) Global monitoring for environment and security: Data policy considerations. *Space Policy* **19**: 265-276
- Hong GH, Kim SH, Chung CS, Choi JK, Lee TS, Chung JY (1994) Nutrients and biogeochemical provinces in the Yellow Sea. In: Tamogai S (ed) *Global fluxes of carbon and its related substances in the coastal sea-ocean-atmosphere system. Proceedings of the 1994 Sapporo IGBP Symposium, Hokkaido University, Sapporo, Japan, 14-17 November 1994*, pp 114-128
- Hong GH, Zhang J, Chung CS (1999) Biogeochemical processes in the Bohai and Yellow Sea. *Dongjin Publ, Seoul*, 274 p
- Kang DJ, Chung CS, Kim SH, Hong GH, Kim KR (1994) Oxygen isotope characteristics of seawaters in the Yellow Sea. *La Mer* **32**:279-284
- Kang JH, Kim ES, Jeong HJ, Shin K, Chang M (2007) Why did the copepod *Calanus sinicus* increase during the 1990s in the Yellow Sea? *Mar Environ Res* **63**:82-90
- Lee CL, Kim MC, Kim HC (2009) Temporal variation of chlorophyll *a* concentration in the coastal waters affected by the Hebei Spirit oil spill in the West Sea of Korea. *Mar Pollut Bull* **58**:496-502
- Lin C, Ning X, Su J, Lin B, Xu B (2005) Environmental changes and the responses of the ecosystems of the Yellow Sea during 1976-2000. *J Mar Syst* **55**:223-234
- Liu D, Keesing JK, Dong Z, Zhen Y, Di B, Shi Y, Fearn P, Shi P (2010) Recurrence of the world's largest green-tide in 2009 in Yellow Sea, China: *Porphyra yezoensis* aquaculture rafts confirmed as nursery for macroalgal blooms. *Mar Pollut Bull* **60**:1423-1432
- Liu SM, Zhang J, Chen SZ, Chen HT, Hong GH, Wei H, Wu QM (2003) Inventory of nutrient compounds in the Yellow Sea. *Cont Shelf Res* **23**:1161-1174
- McClain CR, Feldman GC, Hooker SB (2004) An overview of the SeaWiFS project and strategies for producing a climate research quality global ocean bio-optical time series. *Deep-Sea Res II* **51**:5-42
- Park YC, Lee HJ, Son JW, Son SK (1998) Chemical environment of ocean dumping site in the Yellow Sea. *J Korean Soc Oceanogr* **3**:203-213
- Peter N (2004) The use of remote sensing to support the application of multilateral environmental agreements. *Space Policy* **20**:189-195
- Ryu J-H, Han H-J, Cho S, Park Y-J, Ahn Y-H (2012) Overview of Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) and GOCI Data Processing System (GDPS). *Ocean Sci J* (in this issue)
- Shanmugam P, Ahn YH, Ram PS (2008) SeaWiFS sensing of hazardous algal blooms and their underlying mechanisms in shelf-slope waters of the Northwest Pacific during summer. *Remote Sens Environ* **112**:3248-3270
- Son S, Campbell J, Dowel M, Yoo S (2005) Decadal variability in the Yellow and East China Seas as revealed by satellite ocean color data (1979-2003). *Indian J Mar Sci* **34**:418-429
- Son S, Wang M, Shon J-K (2011) Satellite observations of optical and biological properties in the Korean dump site of the Yellow Sea. *Remote Sens Environ* **115**:562-572
- Zhang J, Liu MG (1994) Observations on nutrient elements and sulphate in atmospheric wet depositions over the northwest Pacific coastal oceans—Yellow Sea. *Mar Chem* **47**:173-189
- Zhang J, Liu SM, Ren JL, Wu Y, Zhang GL (2007) Nutrient gradients from the eutrophic Changjiang (Yangtze River) Estuary to the oligotrophic Kuroshio waters and re-evaluation of budgets for the East China Sea Shelf. *Prog Oceanogr* **74**:449-478
- Zou L, Chen HT, Zhang J (2000) Experimental examination of the effects of atmospheric wet deposition on primary production in the Yellow Sea. *J Exp Mar Biol Ecol* **249**:111-121

제 6 절 배출해역 폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태 조사

1. 시료채집 및 분석방법

가. 시료채집

2012년 배출해역의 표영생태계 건강상태 조사는 5월 9일부터 14일 사이에 해양연구원의 이어도선박을 이용하여 서해병해역과 2012년 7월 24일부터 31일 사이에 해양경찰소속의 교육함을 이용하여 동해정해역에서 조사를 하였다 (그림 2-6-1~2). 서해병해역 해수 시료는 Rosette sampler에 장착된 10ℓ Niskin 채수기를 이용하여 채수하였고, 표영생태계 건강상태 조사를 위한 채수 수심은 0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 저층에서 채수하였다.

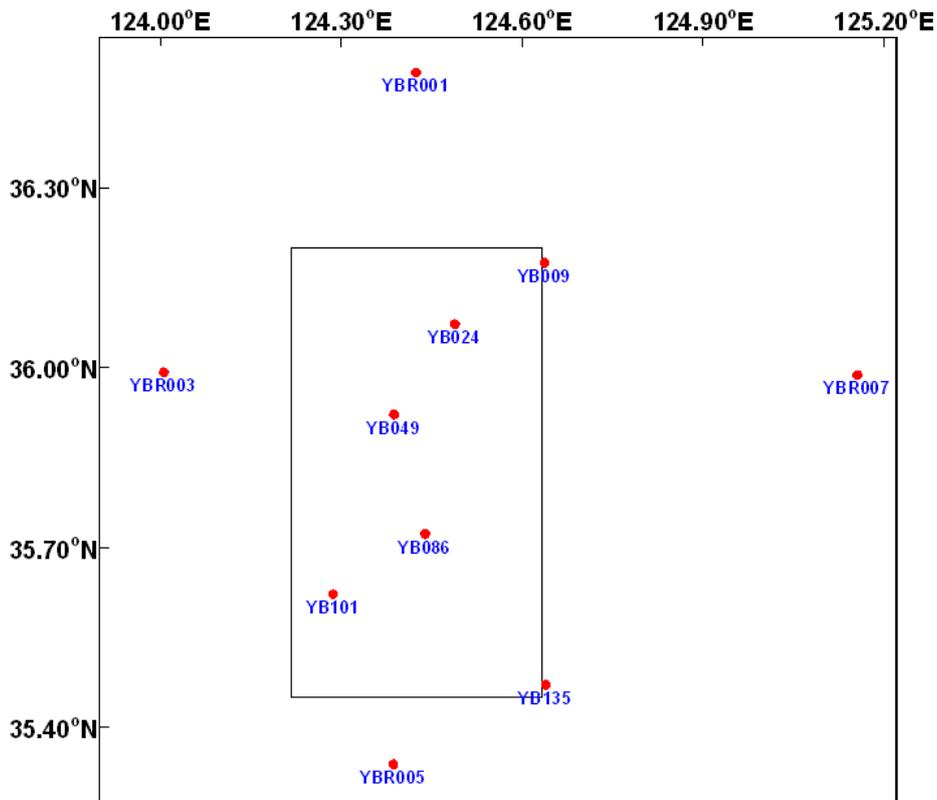


그림 2-6-1. 서해 병해역 해양조사 정점

동해정해역 채수는 Rosette sampler에 장착된 3ℓ Niskin 채수기를 이용하였고, 표영생태계 건강상태 조사를 위한 채수 수심은 0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m, 저층으로 하였다.

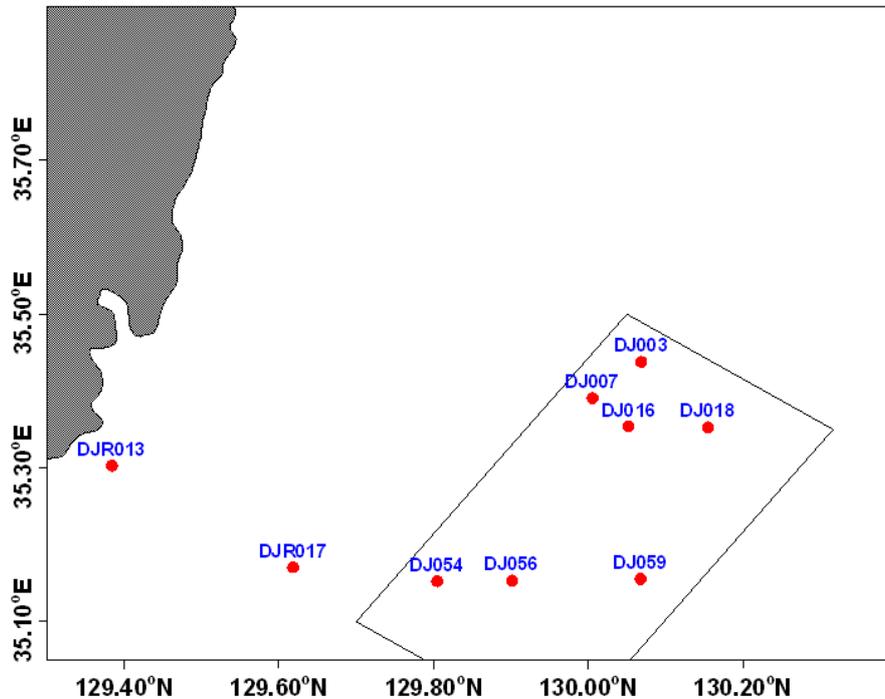


그림 2-6-2. 동해 정해역 해양조사 정점

조사항목은 표영생태계 일차생산자 서식환경을 조사하기 위하여 물리특성조사와 수괴분포 조사(수온, 염분)를 수행하였다.

표영생태계 일차생산자 생산성 조절요인을 파악하기 위하여 친생물인자 성분조사(영양염류, 용존산소, 입자태유기탄소, 입자태유기질소, pH), 광조절요인 성분조사(부유물질)를 수행하였다.

그리고 일차생산자 생리건강상태 조사평가(클로로필-*a*, 생체형광, 생체형광지수(FRI; Fluorescence Response Index) 및 표영생태계 일차생산자 생물종조성(식물플랑크톤 종조성)을 수행하였고, 표영생태계 유해물질 위해성 평가용 현장자료획득을 위하여 유해물질 농도조사(화학적 산소요구량, 총질소, 총인, 유분, 시안, 페놀)을 조사하였다.

나. 분석방법

1) 표영생태계 건강상태조사

가) 수온과 염분관측

본 조사에서는 SBE-911+ CTD를 사용하여 수온과 염분 등의 해수물성자료를 획득하였으며, 관측은 표층에서 저층 부근까지 실시하였으며, 획득된 자료는 수심 1m 간격으로 평균하여 분석하였다(그림2-6-2~5).



그림 2-6-3. 서해병해역을 조사한 한국해양과학기술원(KIOST) 조사선 이어도호의 CTD가 장착된 Rosette sampler.



그림 2-6-4. 동해정해역을 조사한 해양경찰교육함의 CTD가 장착된 Rosette sampler.

2) 일차생산자 생산성 조절요인

가) 수소이온 농도(pH)

측정용 시료는 기체의 출입에 따른 변화를 방지하기 위하여 채수 후 잘 밀봉하였으며, Orion 920 pH meter를 사용하여 현장에서 측정하였다.

나) 용존산소(Dissolved Oxygen)

용존산소 함량을 구하기 위해 기존의 Winkler 방법이 갖는 실험상의 오차를 줄이기 위해 현장에서 spectrophotometer를 이용한 비색측정법(Pai et al., 1993)을 사용하였다. 표준시료는 일련의 해수시료(주로 표층해수)에 potassium iodate standard solution (5mM KIO₃)을 각각 0, 1, 2, 3ml 넣고 각각의 흡광도를 측정하여 용존산소 함량을 측정하였다.

다) 용존무기영양염류(Dissolved inorganic nutrients)

영양염(아질산염, 질산염, 암모니아, 규산염, 인산염)은 채수 된 해수시료를 25mm GF/F filter로 여과한 후 그 여액을 20ml LDPE(Low Density Poly Ethylene) 바이알에 담아 분석 시 까지 냉동보관하고 Parsons et al.(1984) 방법에 준하여 Autoanalyzer (TRAACS 2000, Bran-Luebbe)를 이용하여 측정하였다.

질산염 (NO₃): 시료를 Cu-Cd 컬럼에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨 후 550nm 파장에서 측정하였다.

암모니움(NH₄⁺): 시료에 phenol과 sodium nitroprusside 혼합용액 및 sodium citrate와 sodium dichlorophenol indophenol 혼합용액을 가한 후 660nm 파장에서 측정하였다.

인산염(PO₄³⁻): 시료에 ammonium molybdate, potassium antimonyl tartrate와 황산의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid로 환원시킨 후 880nm 파장에서 측정하였다.

규산염(Si(OH)₄): 시료에 ammonium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 다음, oxalic acid와 ascorbic acid를 가한 후 810nm 파장에서 측정하였다.

라) 입자성 유기탄소 및 유기질소 (POC, PON)

회화로를 이용하여 550°C에서 4시간 이상 태운 GF/F(glass fiber, 0.7μm) 여과지를 이용하여 해수시료 4L를 여과한 후, 증류수로 5~6회 세척하여 염분을 완전히 제거하였다. 여과지는 냉동보관하여 실험실로 옮겨 건조용 오븐

에서 105°C, 12시간 건조시키고 진한 염산(12N HCl)으로 acid fuming하여 무기탄소산염의 탄소를 제거한 후 원소분석기(FlashEA, 1112 series, Thermo)로 분석하였다.

마) 부유물질(SPM)

Nucleopore(PC membrane, 0.4 μ m)를 건조용 오븐을 이용하여 70°C에서 24~48시간 동안 건조시키고 데시케이터에서 충분히 방냉 시킨 후 측정된 무게를 항량으로 하였다. 현장에서 해수 시료를 2ℓ 여과한 후, 증류수로 5~6회 세척하여 염분을 완전히 제거한 다음, 냉동 보관하여 실험실로 옮겨 60°C에서 24시간 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 여과하기 전의 여과지 무게를 감하여, 입자성 부유물질의 무게를 계산하였다.

3) 일차생산자 생리 건강상태 조사

가) 엽록소 a(Chlorophyll a)

엽록소 a 농도측정은 해수 2ℓ를 25mm GF/F filter로 여과하여 90% acetone 용액에 -20°C의 냉암소에서 24시간 동안 추출한 후에 UV-Vis spectrophotometer(Unicam 4-100)를 이용하여 750, 663, 645, 630nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다(Parsons et al., 1984).

나) 광량 및 유광층수심

광량은 하루의 광량(PAR)을 5분 단위로 측정하였다. 진광대란 표층광도의 1%에 해당되는 빛이 도달하는 깊이로서 보통, 폭넓은 의미에서 1차생산자에 의한 광합성 등 생물활동이 집중적으로 이루어지는 범위를 말하는데, Secchi disk를 이용하여 그 깊이를 추정할 수 있다. 보통, 깊이에 따른 빛의 감소는 지수적 감소를 보이는데, 그 식은 아래와 같다.

$$I_0 = I_z \times e^{-kz}$$

여기서 I_0 는 표층에서의 광도, I_z 는 깊이 z 에서의 광도, k 는 소광계수(extinction coefficient), z 는 깊이를 말한다. 여기서, 진광대의 깊이는 z 깊이에서의 광도가 표층광도의 1%되는 깊이이므로 $I_z/I_0=0.01$ 이라 할 수 있다.

양변을 조작하면 다음과 같다.

$$\frac{I_z}{I_0} = 0.001 = e^{-kz}$$

따라서 깊이 z 는 양변에 대수조작을 하여 풀어 쓰면, 아래와 같다.

$$z = (\ln 0.01) \div k$$

k는 소광계수이며 Poole and Atkins(1929)에 의해 제시된 $k \times D_s$ (Secchi depth)=1.7을 사용하였다.

다) 기초생산

일차생산성(primary productivity)은 유광층내(표층광의 1%까지) 6개 수심에서 시료 1ℓ를 취하여 4μCi 14C-NaHCO₃를 주입하여 3~6시간 동안 배양하였다. 배양을 위한 해수시료는 Rosette 채수기에 부착된 10ℓ Niskin 채수병을 이용하여 100, 49, 30, 15, 3.5, 1% 광투과 수심(LPD: Light penetration depth)에서 채수하였다. 광도는 채수수심의 광도로 조절하기 위하여 250ml polycarbonate bottle을 천공된 nickel screen으로 포장하였다(Stork Veco, Bedford, MA, U.S.A.). 배양은 표층해수로 냉각한 on-deck incubator 에서 행하였다. 배양 후 시료를 여과한 후 여과지를 산훈증 후 섬광계수기(scintillation counter)를 이용하여 dpm을 측정, Steeman-Nielsen(1952) 방법에 기초한 Parsons et al. (1984)에 따라 ¹⁴C의 흡수율을 구하였다.

라) 생체형광 및 형광반응지수

생체 형광의 측정은 fluorometer(Turner Designs Inc., Sunnyvale, CA)를 이용하는 방법으로 해수를 채수하여 식물플랑크톤의 생체형광(in vivo fluorescence; F)을 측정하였으며, Photosystem II에서 Photosystem I으로 전달되는 전자를 차단하는 전자전달계의 저해제인 DCMU [3-(3,4-dichlorophenyl)-1, 1-dimethylurea]를 가하여 증가된 형광(Fd)을 측정하여 두 형광차이를 비교함으로써 식물플랑크톤의 광합성능력을 평가하고(Samuelsson and Öquist 1976), 이로부터 형광 증가비율(fluorescence enhancement ratio)인 형광반응지수(fluorescence response index, FRI)를 측정하여 광합성계의 활성도를 추정하였다(Cullen and Renger 1979).

$$FRI = \frac{(Fd - F)}{Fd}$$

4) 유해물질 위해성 평가 자료

가) 수질평가 지수(Water Quality Index)

수질평가 지수는 해역별 오염특성에 대한 종합적 판단을 위해 우리나라 해역을 동해, 대한 해협, 서남해역, 서해중부, 제주해역으로 5개로 구분하여 해역별 특성을 고려한 기준을 제시할 수 있도록 한 기준이다. 2012년 7월 22일 시행된 환경정책 기본법시행령의 별표 1의 해역기준 중 생태기반 해수 수질 기준 적용을 위한 수질평가지수를 나타냈다.

수질 평가 지수는 저층산소포화도(%), 식물플랑크톤 농도($\mu\text{g/L}$), 투명도(m), 용존무기질소($\mu\text{g/L}$), 용존무기인($\mu\text{g/L}$) 조사가 선행되어야하며 이 농도를 이용하여 항목별 점수를 구하고 수질평가 지수값을 구한다(표 2-6-1).

수질평가를 위한 항목별 점수는 우선 생태구역을 구분하여 기준값을 결정한다(2-6-2~4).

표 2-6-1. 수질평가 지수값(WQI)

가 (Water Quality Index)	
=	$10 \times [\text{DO}] + 6 \times [(\text{Chl-a} + \text{SD}) / 2] + 4 \times [(\text{DIN} + \text{DIP}) / 2]$

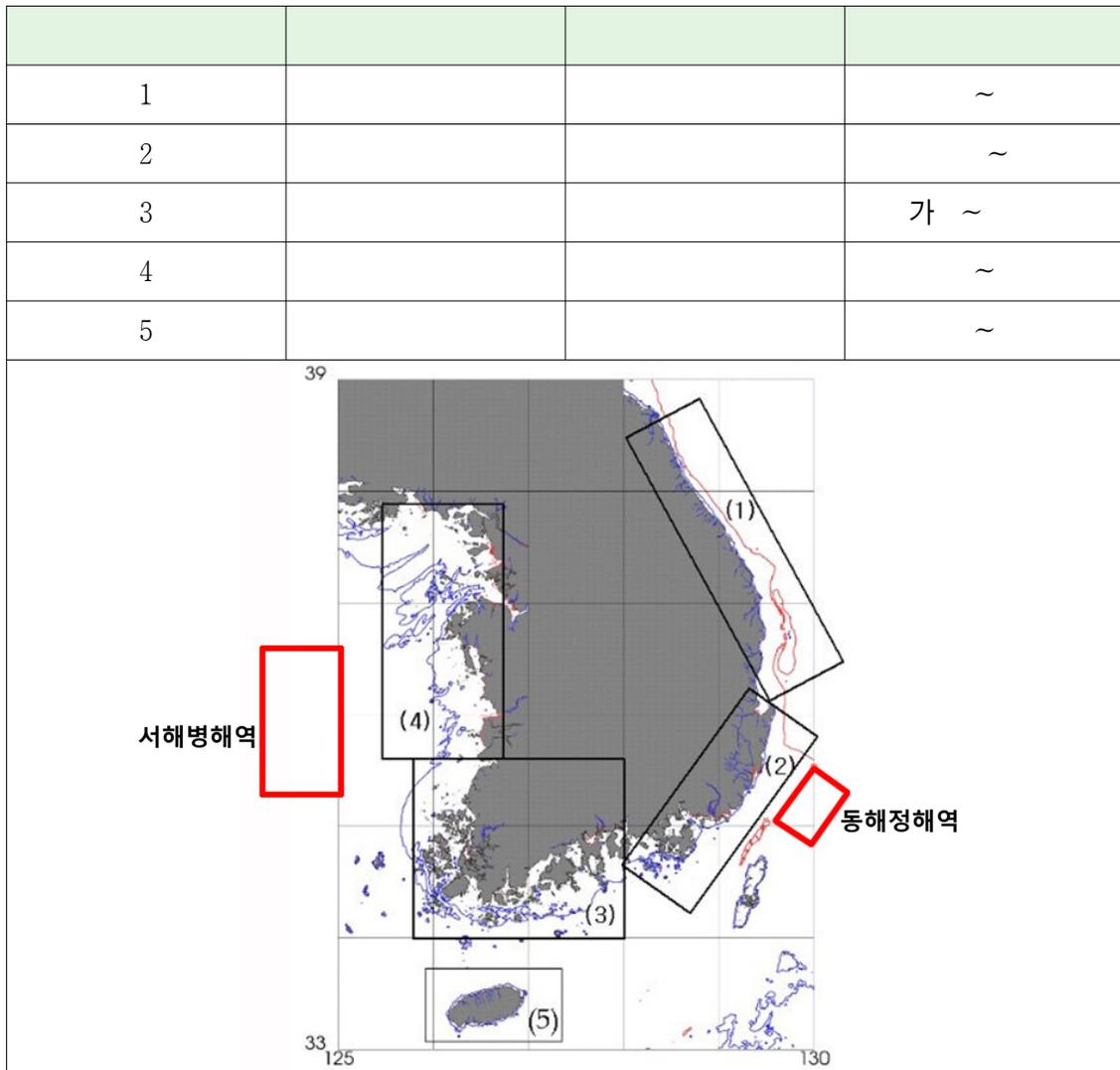
표 2-6-2. 수질평가 항목별 점수

	Chl-a($\mu\text{g/L}$), DIN($\mu\text{g/L}$), DIP($\mu\text{g/L}$)		DO(%), SD(m)	
	1			
2	<	+0.10*	>	-0.10*
3	<	+0.25	>	-0.25
4	<	+0.50*	>	-0.50*
5	>	+0.50*	<	-0.50*

표 2-6-3. 수질평가 항목의 해역별 기준값

	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	DO (%)	DIN ($\mu\text{g/L}$)	DIP ($\mu\text{g/L}$)	(m)
	2.1	90	139	19	8.6
	6.3		221	34	2.6
	3.7		231	25	0.6
	2.2		427	31	0.9
	1.6		164	15	8.0

표 2-6-4. 생태구역구분



나) 화학적 산소요구량(COD)

분석용 현장에서 채취한 해수시료를 운반·보관 중 미생물의 활동을 저지하기 위해 1% CuSO_4 용액을 $1\text{ml}/\ell$ 단위로 첨가하여 냉동 보관하였다. 실험실로 옮긴 후 해수시료 중 피산화성 물질(주로 유기물)을 알칼리성하에서 강산화제인 KMnO_4 로 가열, 산화시킨 후, 남은 KMnO_4 량을 적정하는 100°C 알칼리성 과망간산칼륨법으로 정량하였다(해양공정시험법 2006).

다) 총유기탄소(TOC), 용존 유기탄소(DOC)

총유기탄소 분석용 해수시료 50ml를 Teflon 병에 담아 4°C 이하로 운반하여 실험실에서 TOC 분석기(Shimadzu TOC 5000A)를 이용하여 측정하였다.

용존 유기탄소(Dissolved Organic Carbon) 분석용 해수시료는 채취된 각각 표층, 중층, 저층으로 나누어 채취하였다. 이들을 GF/F 여과지로 여과한 후 2N HCl을 이용하여 무기탄소를 제거하였고, 4°C 이하로 운반하여 실험실에서 TOC 분석기(Shimadzu TOC 5000A)를 이용하여 측정하였다.

라) 총 질소(T-N), 총 인(T-P)

총 질소는 시료 중의 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 유기성질소, 입자성질소등을 알칼리성 과황산칼륨으로 분해하여 질산질소로 산화시킨 후 카드뮴-구리 환원칼럼을 통과시켜 질산이온을 아질산 이온으로 환원하여 비색 정량하였다.

총인은 시료 중의 유기물을 과황산칼륨으로 산화분해 하여 용존 인화합물을 인산염(PO_4^{3-})형태로 변환시킨 다음 인산염을 아스코르빈산환원 흡광광도법으로 정량하여 총인의 농도를 구하였다.

마) 유기독성화합물

(1) 광유류

광유류는 표층해수 시료를 pH 4 이하의 산성으로 처리한 후, 유기 물질을 노말 헥산으로 추출하여 활성규산마그네슘 (또는 실리카겔이나 플로리실) 칼럼을 이용하여 동식물유지류를 흡착·제거하고 광유류 만을 분리해낸 후 정제된 광유류의 질량을 측정하였다(환경공정시험법, 2006).

(2) 시안화합물(CN)

시안화합물은 해수시료 표층수 시료를 pH 2이하의 산성에서 에틸렌디아민테트라초산나트륨을 넣고 가열 증류하여 시안화물 및 시안착화합물의 대

부분을 시안화수소로 유출시키고 수산화나트륨용액에 포집하였다. 포집된 시안이온을 중화하고 클로라민 T를 넣어 염화시안으로 만든 후 피리딘-피라졸론 혼합용액을 넣어 나타나는 청색을 UV-Vis spectrophotometer(Unicam 4-100)를 이용하여 620nm에서 측정하였다(해양 공정시험법, 2006).

(3) 페놀류

페놀류는 표층해수 시료를 증류한 시료에 염화암모늄-암모니아 완충액을 첨가하고 pH 10으로 조절한 음 4-아미노안티피린과 페리시안화칼륨을 넣어 생성된 적색의 안티피린계색소를 UV-Vis spectrophotometer (Unicam 4-100)의 460nm에서 측정하였다(해양공정시험법, 2006).

2. 2005년, 2008년과 2011년 서해병해역 표영생태계 건강상태 조사결과

○ 2005년 서해병해역

- 수온 및 염분

- 2005년 5월 서해병해역의 수온은 표층에서 11.36~13.27℃(평균 12.52℃), 저층에서 6.51~8.47℃(평균 7.22℃) 범위를 보여, 표층과 저층의 온도 차이는 4~5℃로 나타났음.
- 염분은 32.07~33.21psu(평균 32.75psu)를 나타냈는데, 남서부에서 북부해역으로 갈수록 염분이 감소하는 양상을 보임(그림 3).

- 해수 건강상태

- pH는 7.9~8.4 범위를 나타냈으며, 전반적으로 표층에서 높고 남부해역의 저층에서는 감소경향을 보였는데 이는 유기물 산화에 따른 CO₂의 증가에 의한 것으로 해석됨.
- 용존산소의 농도는 6.67~9.69(평균 7.71)mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 수온약층인 13~36m에서 최대값을 나타냈음.
- 화학적 산소요구량은 표층에서 0.40~3.21(평균 1.73)mg/ℓ, 중층에서 0.17~0.49(평균 2.02)mg/ℓ, 저층에서 0.03~2.15(평균 1.07)mg/ℓ 범위를 보여 중층에서 가장 높았고, 저층에서 가장 낮았음.
- 입자성 부유물질은 0.07~8.57(평균 0.94)mg/ℓ 범위를 보였고, 특히 50m 보다 깊은 수심에서는 농도가 크게 증가하였음.

- 용존 무기영양염류 중, 아질산염은 0.003~0.448 (평균 0.075) μM , 질산염은 0.012~4.737(평균 1.25) μM , 암모니아는 0.030~3.718(평균 0.631) μM , 인산염은 0.008~0.993 μM (평균 0.346) μM , 규산염은 0.291~18.718(평균 5.397) μM 로 나타났음.
- 용존 무기영양염류의 수직분포를 보면, 수온약층에서 가장 낮은 농도를 보였으며 저층으로 갈수록 높은 농도로 증가하였음.
- 질산염의 농도는 수온약층을 경계로 4배 이상 급격히 증가하였고, 인산염도 약 3배 증가하였는데, 이는 저층으로 침강, 유입된 유기물의 일부가 분해과정에 의해 재생산된 것으로 해석됨.
- 용존 무기영양염류의 수평분포는 전반적으로 배출해역 남부해역에서 높게 나타났음.
- 용존성 중금속의 농도범위는 Co의 경우 0.006~0.024(평균 0.011) $\mu\text{g}/\ell$, Ni은 0.273~0.468(평균 0.365) $\mu\text{g}/\ell$, Cu는 0.222~0.720(평균 0.446) $\mu\text{g}/\ell$, Zn은 0.194~1.971(평균 0.692) $\mu\text{g}/\ell$, Cd은 0.037~0.056 (평균 0.045) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 나타냈으며, 2005년 5월 집중적으로 투기가 이루어진 북동부와 북서부해역에서 중금속 농도가 높았음.
- 페놀, 시안화합물, PCBs, PAHs 의 농도는 전 정점에서 해역환경 기준치에 미치지 못하는 낮은 값을 나타냈음.
- 엽록소-a 농도는 0.05~3.61(평균 0.68) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보여주었고 수온약층 부근 수심에서 높은 생물량을 나타냈는데, 이것은 수온약층 아래에서 영양염이 공급되어 광조건과 함께 식물플랑크톤이 성장하기 좋은 것으로 해석됨.
- 단위 시간당 엽록소량의 생산성은 0.075~12.941mgC/mgChl-a/h의 범위로 나타났으며, 수직 적분한 일일 생산력은 252.65~1979.22mg C/m²/day의 범위를 보였으며,
- 대체적으로 서남부 해역에 위치한 정점에서 높게 측정되었음.
- 생체형광지수는 0.022~0.725(평균 0.411) 범위를 보였으며, 서남부 해역의 일부 10m 이하 수심에서도 0.25 이하를 나타내 식물플랑크톤이 생리적으로 심한 스트레스를 받기도 하였으나, 전반적으로 표층부터 30m까지는 높은 광합성도를 보여주었음.

○ 2008년 서해병해역

- 수온 및 염분

- 2008년 7월 서해병해역 수온은 표층에서 20.98~23.56 $^{\circ}\text{C}$ (평균 22.0

2°C), 저층에서는 6.80~8.71°C(평균 7.26°C) 범위이고, 표층과 저층의 온도 차이는 12~17°C로 나타났음. 북동부해역에 비해 남서부 해역에서 수온약층 범위가 깊게 나타남.

- 염분은 31.45~33.11psu(평균 32.51)psu로서 북부해역에 위치한 정점에서만 수심별로 큰 차이를 보임.

- 해수 건강상태

- 폐기물 해양배출로 인한 영향을 파악하기 위해 2008년 7월 서해병해역 현장조사를 실시하였고, 2005년 5월 조사한 자료를 함께 해역수질기준(환경정책기본법)과 비교한 결과를 정리하면 표 1과 같음.
- pH와 용존산소는 2005년 조사에 비해 높은 농도를 보여 pH는 전체적으로 I등급을 나타냈고, 용존산소는 2005년에는 저층에서만 II등급을 보이고 전반적으로 I등급을 나타내 저층을 제외하고 2008년 조사보다 양호한 환경을 나타냄.

표 2-6-5. 2005년 2008년의 서해병해역 해역수질 등급 총괄표

	2005 5 (34)		2008 7 (31)	
pH	7.91~8.38	I ~ II	8.29~8.32	I
(mg/L)	6.67~9.69	I ~ II	7.13~9.22	I ~ II
(mg/L)	0.03~3.49	I ~ III	0.40~3.20	I ~ III
(mg/L)	-	-	0.08~2.24	I~
(mg/L)	-	-	0.008~0.084	I ~ III

- 입자성 부유물질은 0.16~5.16(평균 1.11) mg/ℓ 범위를 보였고, 표층에서 50m까지 감소하다 그보다 깊은 수심에서는 농도가 크게 증가하였음.
- 용존 무기영양염류 중 아질산염은 0.057~0.554(평균 0.162)μM, 질산염은 0.326~30.422(평균 4.900)μM, 인산염은 0.017~1.706μM(평균 0.550), 규산염은 0.047~13.035(평균 4.554)μM 범위로 나타났고 전반적으로 표층에서 20~30m 전 후로 감소하다 50m 수심까지 급격히 증가하다 저층으로 갈수록 소폭 증가함.
- 2008년 7월 서해병해역 표층수의 용존성 Co 함량은 0.000~0.072μg/ℓ, Ni은 0.009~0.392μg/ℓ, Cu는 0.196~0.530μg/ℓ, Zn이 0.103~4.745μg/ℓ, Cd은 0.000~0.064μg/ℓ 범위를 보였고,

- 2005년 조사와 비교한 결과 Co, Ni, Cu는 2008년에 감소하였으나 최대값은 본 조사시 나타났고, Zn, Cd, Pb은 2008년에 높은 평균을 나타내 용존성 중금속은 다소 증가추세를 보인 것으로 나타남.
- 엽록소-a 농도는 0.019~2.278(평균 0.565) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보여주었고 수온약층에서 높은 생물량을 나타냄.
- 생체형광지수는 0.030~0.631(평균 0.449) 범위를 보였으며 0~20m층에서는 양호한 환경을 보였고 30m보다 깊은 수심에서 크게 감소함.

○ 2011년 서해병해역

- 수온 및 염분

- 2011년 6월 서해병해역 수온은 표층에서 16.04~19.20 $^{\circ}\text{C}$ (평균 16.8 $^{\circ}\text{C}$), 저층에서는 5.90~9.07 $^{\circ}\text{C}$ (평균 6.72 $^{\circ}\text{C}$) 범위이고, 표층과 저층의 온도차이는 약 10 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났음. 표층은 북부해역에서 수온이 높고 저층으로 갈수록 남부해역에서 높은 수온을 보임. 수온약층은 15~35m 부근에서 나타남.
- 염분은 32.20~33.54psu(평균 32.47)psu로서 북부해역의 표·저층간 농도차가 0.2psu인 반면 남부해역은 0.5~1.1psu로 크게 나타남. - 해수 건강상태
- pH와 용존산소는 3조사 시기모두와 유사한 농도를 보여 pH는 전체적으로 I등급을 나타냈고, 용존산소는 남부해역에 위치한 전정만 II등급을 보이고 전반적으로 I등급을 나타냈으며 총질소는 2008년보다 다소 증가한 반면 총인은 전해역에서 I등급으로 나타남.

표 2-6-6. 2011년의 서해병해역 해역수질 등급 총괄표

	2011 6 (31)	
pH	7.90~8.33	I
(mg/L)	6.98~10.54	I ~ II
(mg/L)	0.40~2.00	I ~ II
(mg/L)	0.05~3.835	I~
(mg/L)	0.000~0.015	I

- 입자성 부유물질은 0.11~8.25(평균 1.60) mg/ℓ 범위를 보였고, 표층에서 30m까지 유사한 농도를 보이고 그보다 깊은 수심에서는 농

도가 크게 증가하였음.

- 용존 무기영양염류 중 아질산염은 0.069~0.563(평균 0.239) μM , 질산염은 0.157~18.468(평균 5.867) μM , 암모니아염은 0.169~3.880(평균 1.111) μM , 인산염은 0.018~5.845 μM (평균 0.421), 규산염은 0.173~20.376(평균 5.773) μM 범위로 나타났고 암모니아염을 제외하고 표층에서 저층으로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보이고, 암모니아염은 북부해역을 제외하고 전반적으로 유사한 농도를 보임.
- 2011년 6월 서해병해역 표층수의 용존성 Co 함량은 0.002~0.049 $\mu\text{g}/\ell$, Ni는 0.086~0.415 $\mu\text{g}/\ell$, Cu는 0.057~0.565 $\mu\text{g}/\ell$, Zn이 0.074~2.147 $\mu\text{g}/\ell$, Cd은 0.009~0.041 $\mu\text{g}/\ell$ 범위를 보였고, 과거자료와 비교한 결과 Co를 제외하고 전반적으로 감소함.
- 엽록소-a 농도는 0.032~3.188(평균 0.895) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보여주었고 수온약층이 위치한 30m에서 높은 생물량을 나타냄.
- 생체형광지수는 0.27~0.66(평균 0.52) 범위를 보였으며 0~30m층에서는 0.6 이상의 양호한 환경을 보임.

3. 2007년, 2010년 동해정해역 표영생태계 건강상태 조사결과

○ 2007년 동해정해역

- 수온 및 염분

- 2007년 4월 동해병해역의 수온은 3.71~16.11(평균 13.85) $^{\circ}\text{C}$ 범위를 보였으며, 표·저층간 수온차가 5.5 $^{\circ}\text{C}$ 로 수직혼합이 잘 나타나고 있었으며, 6월에는 0.18~21.56(평균 11.16) $^{\circ}\text{C}$ 를 보였으며 표저층간 수온차가 18 $^{\circ}\text{C}$ 가량 나타나 수온약층(20~100m)이 형성됨.
- 염분은 4월조사시 34.06~34.60(평균 34.44)psu 범위를 보였고 6월 조사시에는 33.48~34.83(평균 34.07)psu 범위로 염분차는 1.35psu, 염분약층은 대략 20~75 m 부근에서 형성되었음.

- 해수 건강상태

- pH는 4월조사시 7.8~8.3(평균 8.17), 6월조사시 7.66~8.30(평균 8.00) 범위를 보였으며 수심이 깊어질수록 pH는 낮아졌고 6월조사시 농도가 감소함.
- 용존산소의 농도는 4월에는 5.35~7.03(평균 6.07) mg/ℓ 범위를 나타냄.

- 입자성 부유물질은 4월조사시 0.180~7.175(평균 0.912)mg/ℓ, 6월조사시 0.125~4.820(평균 0.774)mg/ℓ 범위를 보였고, 전체적으로 50m 이상의 수심에서 농도가 증가하고 봄철에 높은 농도를 보임.
- 화학적 산소요구량은 4월조사시 표층에서 0.40~10.0(평균 2.5)mg/ℓ, 중층에서 0.40~10.8(평균 2.8)mg/ℓ, 저층에서 0.4~14.8(평균 2.8)mg/ℓ 범위를 보여 표층에서 낮고 중·저층은 유사하게 나타남. 6월조사시에는 0.4~4.0(평균 1.6)mg/ℓ로 4월조사시 보다 2.5배가량 낮은 농도를 보이고 저층보다 표층에서 높은 농도를 보임.
- 총유기탄소와 용존 유기탄소는 4월조사시 1.72~6.60(평균 2.99) mg/ℓ, 6월조사시 1.90~4.45(평균 2.81)범위를 보였으며 간헐적으로 높은 농도를 제외하면 수심에 따른 농도변화가 크지 않음.
- 용존유기탄소는 4월조사시 1.02~6.11(평균 2.42)mg/ℓ, 6월조사시 1.11~26.31(평균 2.72)mg/ℓ 범위를 보였으며 총 유기탄소와 0.7의 상관성을 보여 유사한 분포를 보임.
- 입자성 유기탄소는 4월조사시 각각 0.019~0.350(평균 0.115)mg/ℓ, 6월조사시 0.009~0.684(평균 0.068)mg/ℓ를 나타냈고, 입자성 유기질소는 4월조사시 0.003~0.055(평균 0.021)mg/ℓ, 6월조사시 0.001~0.062(평균 0.009)mg/ℓ 범위를 보임.
- 입자성 유기탄소와 유기질소는 4월보다 6월조사시 농도가 낮게 나타났고 얇은 수심에서 높은 농도를 보였음.
- 용존 무기영양염류는 4월조사시, 아질산염은 0.069~1.038 (평균 0.423)μM, 질산염은 0.024~15.858(평균 4.591)μM, 암모니아는 0.956~10.321(평균 3.870)μM, 인산염은 0.047~0.949μM(평균 0.280)μM, 규산염은 0.626~16.421(평균 4.787)μM로 나타났음.
- 6월조사시 용존 무기영양염류는, 아질산염은 0.009~0.433 (평균 0.109)μM, 질산염은 0.036~31.600(평균 10.112)μM, 암모니아는 0.593~3.188(평균 1.172)μM, 인산염은 0.023~2.148(평균 0.745)μM, 규산염은 1.222~91.350(평균 19.446)μM로 나타났음.
- 용존 무기영양염류의 수직분포를 보면, 아질산염은 4월조사시 4배가량 높은 농도를 나타내고 수심이 깊어질수록 농도가 증가함, 질산염은 30m이하 수심에서 낮고 하부층으로 갈수록 증가, 암모니아는 4월에 높은 농도를 보이고 배출해역의 남부에서 높게 나타남.
- 인산염은 수심 증가에 따라 점진적 증가 양상을 보이고 배출해역 중앙의 북부에서 높고 저층으로 갈수록 연안에 가까운 해역에서 높게

나타났고, N/P 비율은 4월에 평균 39.18, 6월에 19.12로 일반적인 해수의 Redfield ratio인 16보다 높게 나타남.

- 용존성 중금속의 농도범위는 4월조사시 Co의 경우 0.003~0.275(평균 0.019) $\mu\text{g}/\ell$, Ni은 0.122~0.267(평균 0.181) $\mu\text{g}/\ell$, Cu는 N.D~0.150(평균 0.118) $\mu\text{g}/\ell$, Zn은 0.051~0.606(평균 0.231) $\mu\text{g}/\ell$, Cd은 0.018~0.028(평균 0.024) $\mu\text{g}/\ell$, Pb은 0.020~0.053(평균 0.033) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 나타냈으며, 6월조사시 Co의 경우 0.003~0.011(평균 0.006) $\mu\text{g}/\ell$, Ni은 0.166~0.260(평균 0.217) $\mu\text{g}/\ell$, Cu는 0.073~0.276(평균 0.169) $\mu\text{g}/\ell$, Zn은 0.141~0.642(평균 0.357) $\mu\text{g}/\ell$, Cd은 0.018~0.043(평균 0.024) $\mu\text{g}/\ell$, Pb은 0.037~0.303(평균 0.087) $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보임, Co는 연안에 인접한 대조구에서 3~25배가량 높은 농도를 보였고 Ni, Cd은 배출해역 내에서 높고, Cu, Zn, Pb는 연안에 인접한 정점과 배출해역에서 높게 나타남.
- 페놀, 시안화합물, 유분, PCBs, PAHs 의 농도는 전 정점에서 해역 환경 기준치에 미치지 못하는 낮은 값을 나타냈음.
- 엽록소-a 농도는 4월조사시 0.000~7.687(평균 2.217) $\mu\text{g}/\ell$, 6월조사시 0.000~2.645(평균 0.255) $\mu\text{g}/\ell$ 범위를 보여 4월에 평균 10배 가량 높은 농도를 보여 봄철 대증식이 진행된 것으로 보여짐.
- 단위 시간당 엽록소량의 생산성은 4월조사시 0.001~12.233 mgC/mg Chl-a/h 범위로 나타났으며, 수직 적분한 일일 생산력은 705.754~2,493.389 mgC/m²/day의 범위를 보였으며, 대체로 배출해역 중앙에서 높게 측정되었음. 6월조사시에는 0.000~36.180 mgC/mgChl-a/h 범위로 나타났으며, 수직 적분한 일일 생산력은 366.500~ 2,440.356 mg C/m²/day의 범위를 보였고 배출해역에 인접한 해역에서 높은 생산성을 보임.
- 생체형광지수는 0.228~0.701(평균 0.547), 6월조사시 0.000~1.000(평균 0.456) 범위를 보임.

○ 2010년 동해정해역

- 수온 및 염분

- 2010년 5월 동해정해역의 배출해역내 수온은 4.30~17.74(평균15.16) $^{\circ}\text{C}$ 범위를 보였으며, 표·저층간 평균수온차가 약 10 $^{\circ}\text{C}$ 가량 나타나나 수온약층(100~150m)이 형성됨.
- 배출해역내 염분은 34.16~34.53(평균 34.42)psu 범위로 염분차는

0.15psu, 염분약층은 대략 100~150 m 부근에서 형성되었음.

- 해수 건강상태

- pH는 배출해역내에서 8.00~8.41(평균 8.32) 범위를 보였으며 수심이 깊어질수록 pH는 낮아져 표층은 평균 8.39, 저층은 평균 8.10으로 감소함.
- 용존산소의 농도는 7.73~10.36(평균 8.16)mg/ℓ 범위를 보였고 100m 이상의 수심에서 용존산소의 농도가 급격히 증가함.
- 입자성 부유물질은 0.23~3.11(평균 0.91)mg/ℓ 범위를 보였고, 전체적으로 표층에서 50m까지는 점진적으로 감소하다 75~100m에서 증가하는 경향을 보임.
- 화학적 산소요구량은 0.00~2.40(평균 0.62)mg/ℓ 로 50m 수층에서 높은 농도를 보이고 전반적으로 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 보임.
- 입자성 유기탄소는 0.023~0.219(평균 0.079)mg/ℓ 를 나타냈고, 입자성 유기질소는 0.003~0.022(평균 0.011)mg/ℓ 범위를 보임.
- 입자성 유기탄소와 유기질소는 30m까지 얕은 수심에서 높은 농도를 보였고 감소하는 경향을 보이다 배출해역내 일부 정점은 100m에서 증가하는 경향을 보임.
- 용존 무기영양염류는 아질산염은 0.041~3.627 (평균 0.835)μM, 질산염은 0.014~14.613(평균 3.269)μM, 암모니아는 0.112~3.746(평균 1.582)μM, 인산염은 0.104~1.064μM(평균 0.372)μM, 규산염은 0.823~22.510(평균 6.066)μM로 나타났음.
- 용존 무기영양염류의 수직분포를 보면, 아질산염은 수온약층에서 높은 농도를 나타냈고 수심이 깊어질수록 농도가 감소함, 질산염은 저층으로 갈수록 증가, 암모니아는 간헐적으로 높은 농도를 보이고 대조구보다 낮은 농도를 보임.
- 인산염은 질산염 마찬가지로 수심 증가에 따라 증가하는 양상을 보이고 규산염과 유사하게 나타났음. N/P 비율은 평균 19.44로 일반적인 해수의 Redfield ratio인 16보다 높게 나타남.
- 용존성 중금속의 농도범위는 4월조사시 Co의 경우 0.005~0.056(평균 0.018)μg/ℓ, Ni은 0.167~1.343(평균 0.436)μg/ℓ, Cu는 0.092~1.033(평균 0.303)μg/ℓ, Zn은 0.275~3.199(평균 1.128)μg/ℓ, Cd은 0.016~0.036(평균 0.021)μg/ℓ, Pb은 0.009~0.101(평균 0.042)μg/ℓ 의 범위를 나타냈음. Co, Ni, Cu, Zn은 배출해역내에서 높은 농도를 보였고 Cd, Pb은 연안에 인접한 대조해역과 유사하게 나타남.

- 페놀, 시안화합물, 유분의 농도는 전 정점에서 해역환경 기준치에 미치지 못하는 낮은 값을 나타냈음.
- 엽록소-a 농도는 배출해역내에서 0.119~2.628(평균 0.690) $\mu\text{g}/\ell$ 범위를 보였으며 수심 30~75m까지 농도가 증가하여 나타남.
- 단위 시간당 엽록소량의 생산성은 전체적으로 0.125~59.784 $\text{mgC}/\text{mgChl-a}/\text{h}$ 범위로 나타났으며, 수직 적분한 일일 생산력은 405.479~3,256.172 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 의 범위를 보였으며 대조구보다 배출해역 내에서 높게 측정되었음.
- 생체형광지수는 0.07~0.62(평균 0.36)범위를 보임.

4. 2012년 서해병해역 표영생태계 건강상태 조사결과

가. 표영생태계 일차생산자 서식환경 조사

2012년 서해병해역에서 조사된 물리화학적 특성 결과는 표 2-6-7에 있다.

1) 물리특성 조사

가) 수온과 염분

2012년 5월조사시 서해병해역의 수온은 6.48~14.70(평균 10.09)℃ 범위를 보였고 배출해역은 YB009~YB135로 6.48~14.49(평균 10.12)℃, 대조해역은 YBR001~YBR007로 6.66~14.70(평균 10.03)℃ 범위를 보였다.

전반적으로 남서부해역에서 높은 수온을 나타냈고 북동부해역에서 수온이 낮아졌다. 수온 약층은 10~50m 부근에서 형성되었다(그림 2-6-5~6).

수층별 수평분포는 0~10m 수층은 정점별 수온이 유사하게 나타났으며 20~30m 수심과 저층으로 갈수록 정점별 수온차가 크게 나타났다(그림 2-6-7).

서해병해역의 염분 분포는 32.51~33.22(평균 32.75)psu 범위를 보였으며, 표층에서는 32.51~32.87(평균 32.69)psu, 저층에서는 32.63~33.22(평균 32.92)psu로 나타났다.

수온과 마찬가지로 전반적으로 남서부해역에서 염분이 높게 나타나고 북동부해역에서 낮게 나타나 남서부는 고온고염을 보였고 북동부해역은 저온저염으로 나타났다.

각 정점별 표층과 저층의 염분차이는 0.11~0.46psu로 크게 나타나지 않았으며 남서부해역의 YB101에서 염분이 가장 크게 증가하였다(그림 2-6-8~9).

최저염분은 배출해역내 YB009의 표층에서 나타났고 가장 높은 염분은 남부해역의 대조구 YBR003에서 나타났다(그림 2-6-10).

표 2-6-7. 2012년 5월의 서해병해역 물리화학적 특성 결과

Station No.	도착 시간	수심 (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)						TP (mg/l)	TN (mg/l)	N/P	Chl-a (µg/l)	WQI
													NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	Si(OH) ₄ (mg/l)						
YB009	2012/05/11	0	10.5	13.84	32.51	9.57	0.8	0.779	0.208	0.028	6.84	8.26	0.037	0.595	1.168	0.013	4.405	138.5	0.78	0.007	0.007	1.414	30
		10	10:28	12.49	32.51	9.83	1.2	0.478	0.175	0.026	3.78	6.22	0.040	0.135	0.762	0.014	4.472	66.9	0.81	0.009	0.009	1.953	30
		20	9.04	32.52	10.90	0.4	0.456	0.188	0.029	6.14	8.15	0.089	0.164	0.681	0.002	4.475	467.1	0.75	0.011	0.011	1.576	30	
		30	8.46	32.51	10.22	0.8	0.808	0.297	0.053	3.65	5.61	0.106	0.496	1.352	-	5.535	-	0.91	0.011	0.011	3.675	42	
		50	6.49	32.63	8.89	0.8	1.756	0.197	0.031	3.60	5.01	0.121	8.535	1.105	0.698	12.979	14.0	0.83	0.015	0.015	0.520	30	
YB024	2012/05/11	0	12	14.49	32.65	9.27	0.8	2.525	0.175	0.020	4.64	9.88	0.049	0.201	1.670	-	8.103	-	0.57	0.003	0.003	0.650	30
		10	13:20	14.31	32.65	9.31	0.4	0.740	0.297	0.024	3.18	8.60	0.069	0.110	0.737	-	8.392	-	0.78	0.007	0.007	1.273	30
		20	9.59	32.63	10.81	0.8	0.737	0.218	0.030	2.21	8.88	0.072	0.198	1.118	-	8.705	-	0.69	0.005	0.005	1.963	30	
		30	9.38	32.70	10.17	0.8	0.565	0.181	0.032	3.08	5.34	0.222	0.684	1.876	0.048	7.387	58.0	0.57	0.011	0.011	2.765	39	
		50	7.00	32.72	8.99	0.4	1.189	0.221	0.020	3.15	6.20	0.212	5.578	1.419	0.473	8.406	15.2	0.71	0.026	0.026	0.806	30	
YB049	2012/05/12	0	7	13.86	32.61	9.35	1.2	0.667	0.219	0.021	2.64	4.21	0.055	0.820	2.007	0.019	7.592	151.7	0.62	0.007	0.007	1.200	30
		10	8:15	13.84	32.62	9.34	1.2	0.800	0.128	0.026	3.18	7.85	0.047	0.132	0.869	0.014	7.799	74.9	0.61	0.036	0.036	1.635	30
		20	10.05	32.70	10.48	1.6	0.495	0.257	0.026	2.94	5.43	0.054	0.167	1.372	0.032	8.960	49.8	0.58	0.005	0.005	2.270	33	
		30	8.80	32.60	9.79	0.8	0.746	0.206	0.022	7.55	8.62	0.073	0.273	2.223	0.048	9.045	53.5	0.59	0.007	0.007	5.150	42	
		50	7.21	32.82	8.76	0.8	1.676	0.208	0.021	3.06	4.45	0.132	3.262	0.964	0.355	4.754	12.3	0.59	0.013	0.013	0.704	30	
YB086	2012/05/12	0	12	14.15	32.70	9.19	2.0	0.682	0.142	0.022	2.76	6.03	0.118	0.613	1.125	0.020	6.322	92.8	0.55	0.011	0.011	0.631	30
		10	10:40	14.02	32.70	9.22	2.0	0.391	0.150	0.019	2.88	7.99	0.050	0.134	0.912	0.069	9.049	15.9	1.59	0.009	0.009	0.411	30
		20	9.51	32.63	10.75	2.4	0.444	0.291	0.001	4.01	7.20	0.056	0.154	0.950	0.017	9.204	68.2	0.56	0.015	0.015	2.199	30	
		30	8.29	32.58	9.76	1.6	0.662	0.182	0.030	3.00	4.67	0.205	2.344	1.041	0.200	10.425	17.9	0.58	0.028	0.028	4.263	42	
		50	6.81	32.73	8.89	2.0	1.479	0.162	0.023	1.97	4.35	0.173	8.887	1.438	0.752	13.725	14.0	0.58	0.026	0.026	0.119	30	
85	7.62	32.95	8.39	2.8	3.017	0.000	0.027	5.76	7.10	0.195	8.717	1.316	0.740	13.275	13.8	0.57	0.026	0.026	0.260	30			

표 2-6-7. (계속)

Station No.	도차 시간 (m)	수심 (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)						TP (mg/l)	TN (mg/l)	Chl- <i>a</i> (µg/l)	WQI	
													NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si(OH) ₄	N/P					
YB101	2012/05/12	0	9	14.18	32.87	9.15	2.0	1.179	0.140	0.016	3.37	4.65	0.047	0.134	2.972	0.004	8.623	788.1	0.60	0.011	0.971	30	
		10	12:17	13.96	32.87	9.22	1.2	0.364	0.192	0.023	3.28	4.55	0.096	0.131	1.260	0.007	2.928	212.5	0.58	0.007	0.993	30	
	20	10.00	32.75	10.57	1.2	0.305	0.128	0.016	3.44	5.59	0.193	0.328	1.671	0.001	8.994	2191.7	0.56	0.015	1.411	30			
	30	9.33	32.79	10.04	1.2	0.374	0.196	0.033	3.57	4.95	0.087	0.366	1.016	0.041	9.741	35.8	0.60	0.007	5.231	42			
	50	8.07	33.17	8.77	1.6	1.295	0.166	0.024	3.23	4.61	0.215	8.490	2.080	0.701	13.533	15.4	0.55	0.030	1.154	30			
	83	8.10	33.21	8.21	2.0	2.022	0.234	0.032	3.61	5.37	0.216	8.505	1.964	0.749	13.906	14.3	0.73	0.032	0.679	30			
	YB135	2012/05/12	0	9	14.38	32.64	9.30	1.2	0.360	0.147	0.019	2.98	6.48	0.052	0.789	1.078	0.025	9.196	76.8	0.61	0.007	0.509	30
			10	12:17	12.70	32.70	9.86	0.8	0.280	0.172	0.020	2.94	6.17	0.131	0.186	1.064	0.036	6.219	38.4	0.59	0.017	0.678	30
20		9.73	32.67	10.65	1.2	1.126	0.112	0.016	4.16	11.67	0.047	0.194	1.090	0.027	9.510	49.3	0.62	0.030	1.570	30			
30		9.21	32.72	9.94	0.8	0.562	0.211	0.036	3.12	10.88	0.205	0.267	1.131	0.036	8.556	44.5	0.66	0.020	5.109	42			
50		7.42	32.92	8.52	1.6	1.718	0.148	0.023	3.15	5.11	0.165	6.773	1.203	0.649	10.598	12.5	0.64	0.032	0.696	30			
89		7.35	32.91	8.47	1.6	2.156	0.241	0.028	3.68	5.77	0.158	8.986	1.435	0.765	14.152	13.8	0.61	0.028	0.461	30			
YBR001		2012/05/11	0	9	13.70	32.80	9.27	0.8	0.295	0.117	0.017	3.44	5.14	0.067	0.826	1.247	0.030	7.387	71.3	0.84	0.005	0.872	30
			10	6:20	13.04	32.86	9.47	0.4	0.615	0.187	0.028	4.17	5.24	0.053	0.224	1.134	0.021	7.862	67.2	0.72	0.003	1.071	30
	20	8.97	32.61	10.47	0.4	0.455	0.230	0.034	3.74	7.22	0.055	0.161	0.990	0.022	8.139	54.8	0.41	0.022	1.758	30			
	30	8.36	32.56	9.89	1.6	1.664	0.302	0.051	5.61	7.55	0.082	0.371	1.748	0.050	7.093	44.0	0.41	0.013	5.250	42			
	50	6.91	32.70	8.68	2.0	1.493	0.152	0.024	2.88	5.51	0.189	7.171	1.754	0.597	12.721	15.3	2.36	0.015	1.107	30			
	81	7.05	32.74	8.57	0.8	3.343	0.188	0.031	4.16	6.34	0.183	7.184	1.723	0.614	12.950	14.8	0.56	0.013	1.029	30			
	YBR003	2012/05/11	0	9	14.70	32.82	9.13	1.2	0.307	0.112	0.015	0.13	4.96	0.116	0.200	1.765	-	8.743	-	1.52	0.015	0.566	30
			10	1:54	13.59	32.82	9.42	0.4	0.512	0.146	0.020	0.94	7.44	0.088	0.293	0.766	0.003	8.639	382.0	0.91	0.013	0.425	30
20		10:27	32.88	10.36	1.6	0.795	0.105	0.016	7.33	10.47	0.071	0.302	0.604	0.005	8.717	195.4	1.05	0.005	0.572	30			
30		9.58	32.85	10.08	0.4	1.194	0.203	0.028	1.62	3.87	0.062	0.282	0.701	0.019	9.113	55.0	0.75	0.013	1.575	30			
50		8.02	33.18	8.48	0.8	1.511	0.262	0.040	1.01	6.17	0.251	9.080	1.374	0.678	12.621	15.8	0.99	0.019	1.326	30			
76.3		8.07	33.22	8.34	0.8	1.994	0.239	0.041	1.03	4.69	0.226	9.110	1.315	0.736	12.858	14.5	0.56	0.013	1.279	30			

표 2-6-7. (계속)

Station No.	도착 수심		Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)						TP (mg/l)	Chl- <i>a</i> (µg/l)	WQI	
	시간 (m)	(m)											NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si(OH) ₄	N/P				TN
YBR005	2012/05/12	0	10	14.15	32.73	9.25	2.0	0.245	0.110	0.015	0.82	9.69	0.115	0.38	1.009	0.056	5.853	26.8	0.95	0.001	0.720	30
		12:17	10	13.77	32.76	9.42	1.2	1.195	0.148	0.017	3.13	7.03	0.326	0.57	1.242	0.051	6.472	41.9	1.12	0.003	0.761	30
		20	10.12	32.75	10.61	2.0	0.320	0.109	0.016	0.51	5.63	0.030	0.32	0.958	0.054	8.966	24.2	0.89	0.009	0.905	30	
		30	9.06	32.68	9.92	1.6	0.565	0.324	0.053	0.30	7.81	0.049	0.36	1.356	0.039	8.777	45.3	0.72	0.011	3.003	39	
		50	7.71	33.00	8.45	3.6	0.987	0.139	0.022	2.77	4.37	0.183	10.96	1.658	0.806	13.280	15.9	1.35	0.015	0.628	30	
YBR007	2012/05/11	0	9	13.82	32.55	9.66	0.8	0.958	0.236	0.030	4.15	5.55	0.024	0.52	2.184	0.092	4.449	29.6	0.76	0.011	1.359	20
		23:30	10	13.27	32.57	9.85	2.4	0.825	0.304	0.047	4.39	5.74	0.040	0.62	1.019	0.101	6.957	16.7	0.78	0.028	4.401	32
		20	8.71	32.64	12.11	1.2	1.300	0.189	0.029	4.36	6.40	0.230	6.98	2.438	1	10.439	15.9	0.80	0.032	2.404	23	
		30	6.69	32.72	9.33	1.6	1.569	0.159	0.024	3.26	12.01	0.133	7.48	2.014	0.698	11.986	13.8	0.84	0.048	1.329	20	
		50	6.67	32.72	9.23	0.4	2.224	0.170	0.026	4.09	10.05	0.140	7.71	2.671	0.764	12.047	13.8	0.83	0.044	1.357	20	
	72	6.66	32.72	9.22	1.2	3.229	0.220	0.030	3.68	5.13	0.143	8.07	2.538	0.785	12.548	13.7	0.86	0.028	1.729	20		

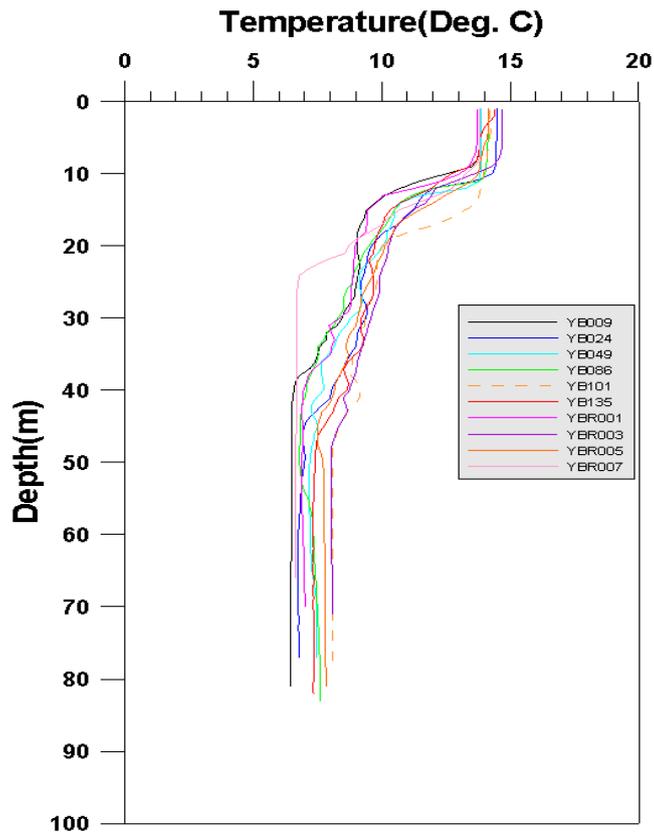


그림 2-6-5. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수직분포

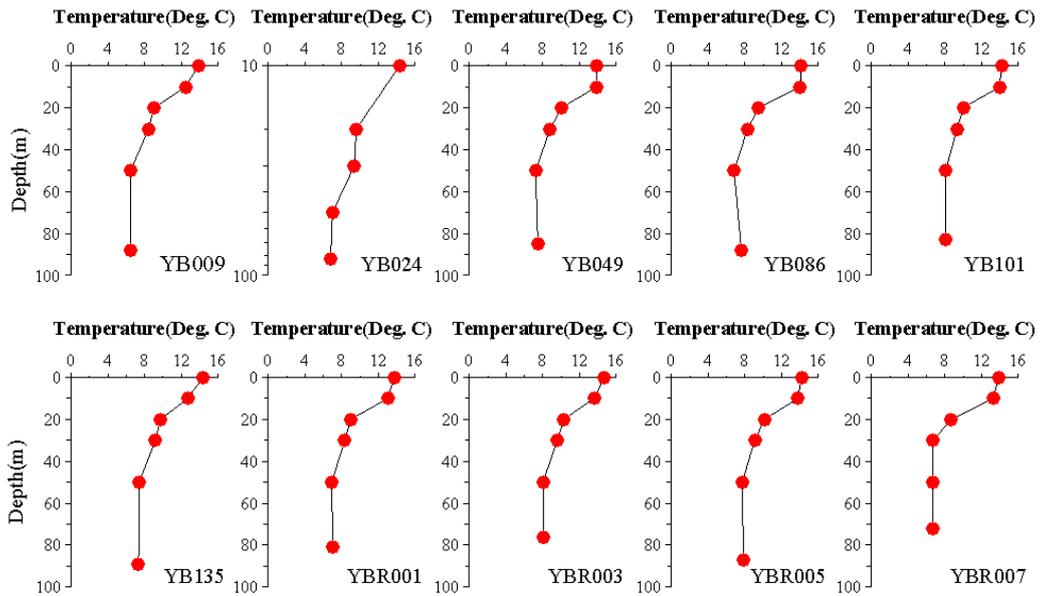


그림 2-6-6. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수직단면도

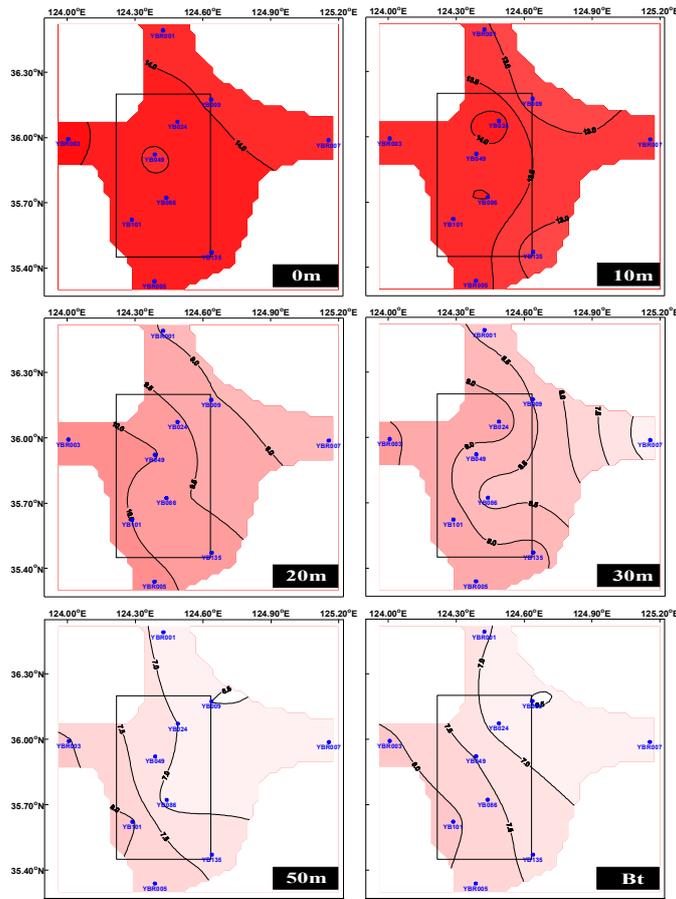


그림 2-6-7. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온의 수평분포도

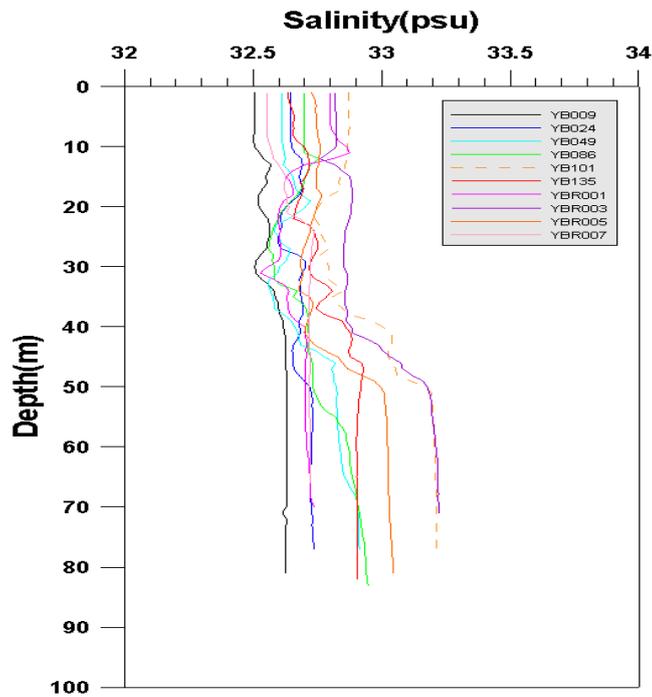


그림 2-6-8. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수직분포

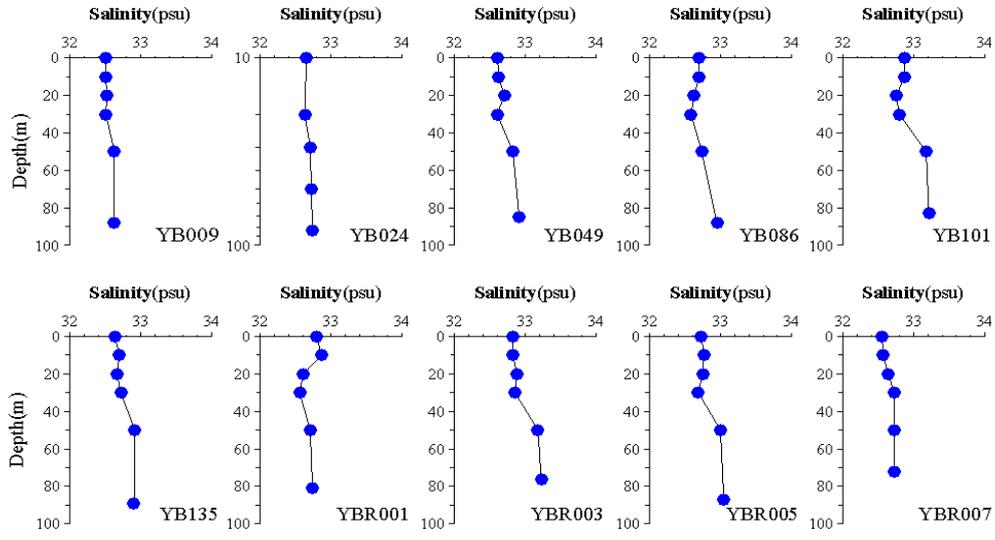


그림 2-6-9. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수직단면도

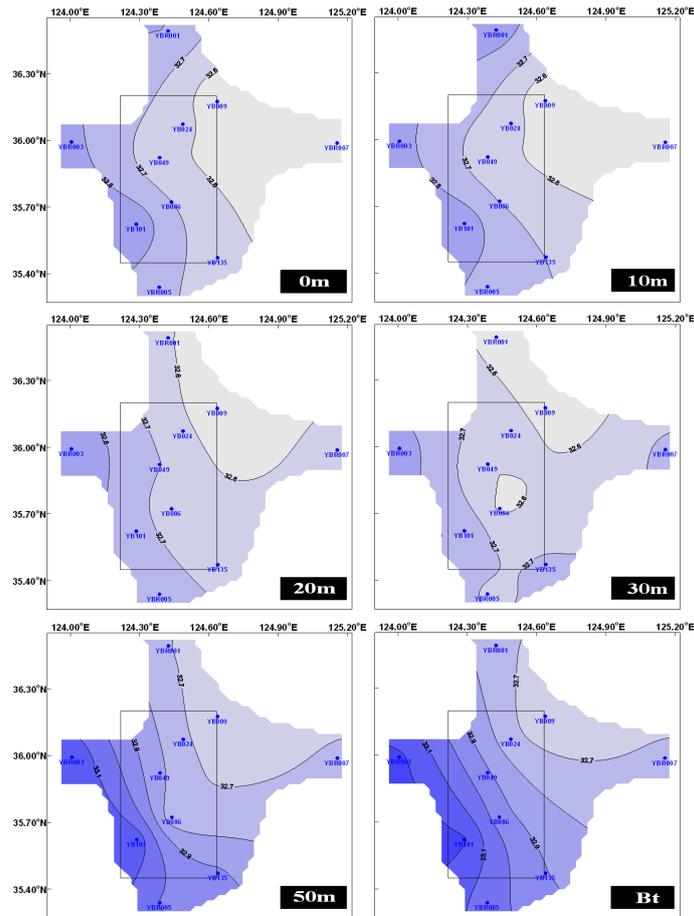


그림 2-6-10. 2012년 5월조사시 서해병해역 염분의 수평분포도

나) 인공위성 영상에 의한 수온의 수평분포

인공위성에 탑재되어 있는 적외선 센서는 광범위한 해수면 수온을 동시에 반복적으로 관측할 수 있다는 장점으로 인해 1980년대 이후 활발히 이용되고 있다. 수신한 인공위성의 관측시각은 2012년 5월 11일 ~ 12일까지를 이용하였으며 기상영향으로 조사시기의 배출해역 전체의 수온을 자세히 관찰할 수는 없었다. 위성명은 NOAA-18로 연구해역의 해표면 수온 분포를 참고하고자 하였다.

서해 병해역 해수면의 표면수온영상으로 본 자료는 약 8~15°C 범위를 나타냈으며, 현장에서 실시간 CTD 관측을 해 얻은 수온 자료는 12.5~14.7°C 범위를 보여 표면수온영상 자료와 CTD의 현장조사 자료가 1~4°C 차이가 나타남을 알 수 있었다. 서해는 서부의 중국의 영향과, 외해역의 동중국해의 영향을 받는 것으로 알려졌으나 조사기간 동안 흐린 날씨로 인한 구름의 영향으로 수온변화를 전반적으로 확인 할 수 없었다(그림 2-6-11).

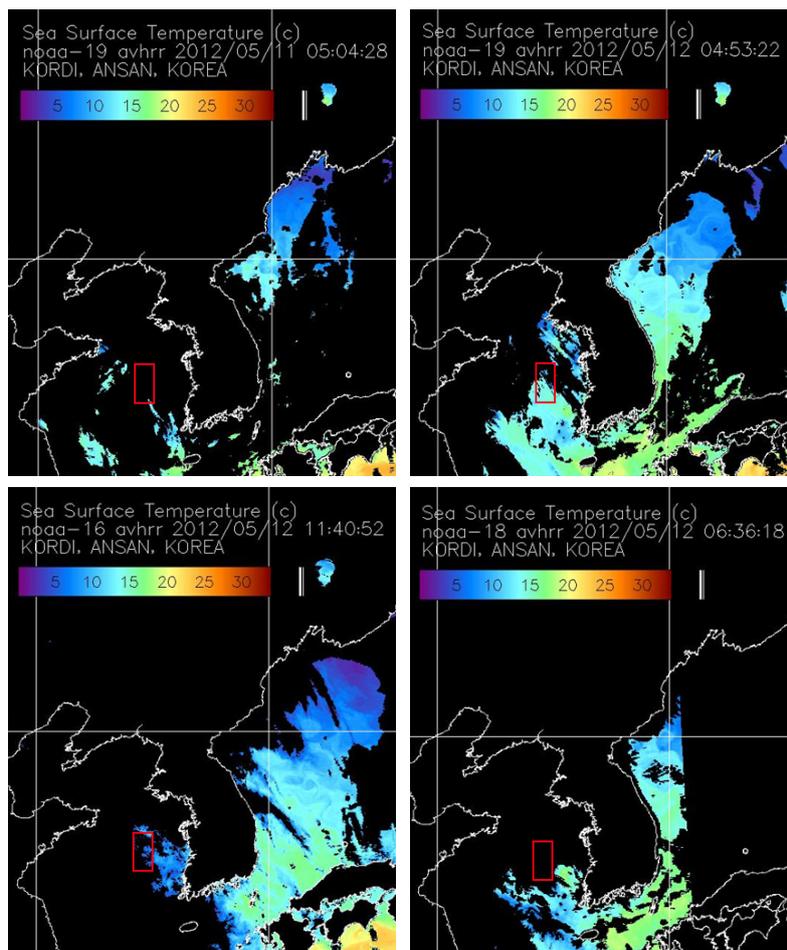


그림 2-6-11. 서해병해역 표면수온 인공위성영상(2012년 5월 11일~12일)

나. 표영생태계 일차생산자 생산성 조절요인

1) 친생물 인자 성분조사

가) 용존산소

2012년 5월조사시 서해병해역의 용존산소의 연직분포는 8.21~12.11mg/ℓ 범위를 보였고 평균 9.47mg/ℓ로 나타났으며, 전반적 수온약층이 나타난 10~35m 수심에서 높게 관찰되었으며 50m 수심까지 감소하다 저층까지 유사한 농도를 보였다(그림 2-6-12). 표층 농도범위는 배출해역은 9.15~9.57(평균 9.31)mg/ℓ을 보였고, 대조구해역에서는 9.13~9.66(평균 9.33)mg/ℓ의 농도범위를 보였다. 저층의 농도범위는 배출해역의 경우 9.33~9.71(평균 9.46)mg/ℓ로 나타났고, 대조구해역에서는 9.30~9.90(평균 9.48)mg/ℓ로 나타났다. 또한 최대값을 보인 20m에서는 배출해역은 10.48~10.90(평균 10.69), 대조구에서는 10.36~12.11(평균 10.77)mg/ℓ로 나타났다. 또한 수온, 염분과 용존산소를 같이 나타낸 결과 수온약층에서 용존산소도 크게 변하는 것을 관찰 할 수 있었으며(그림 2-6-14), 조사해역의 수평 분포를 확인한 결과 30m수층을 제외하고 고온고염이 나타난 남서부해역의 용존산소가 낮고 저온저염이 나타난 북동부해역이 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-13).

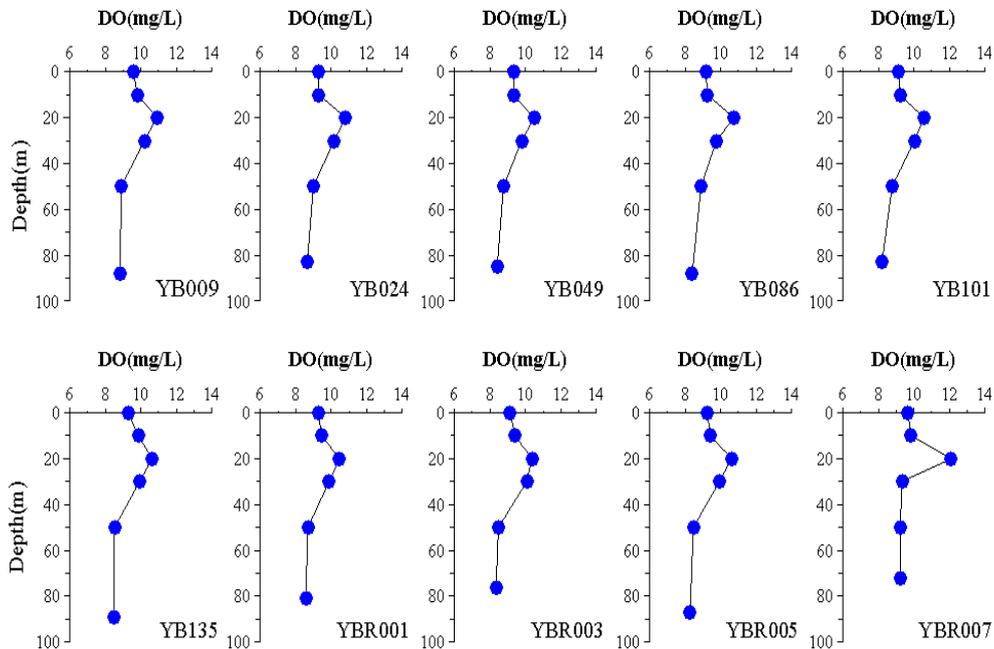


그림 2-6-12. 2012년 5월조사시 서해병해역 DO(용존산소)의 수직분포

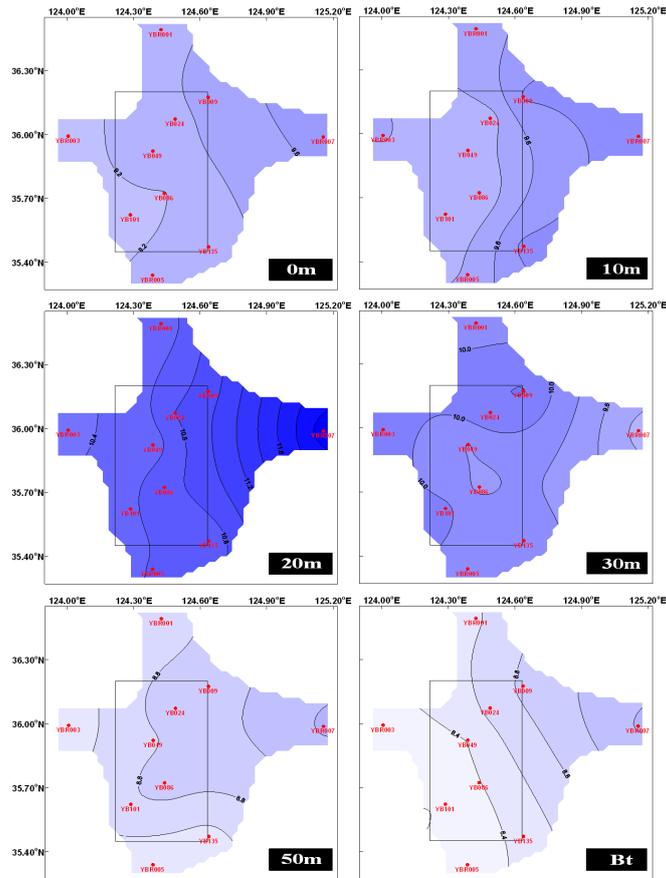


그림 2-6-13. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존산소의 수평분포

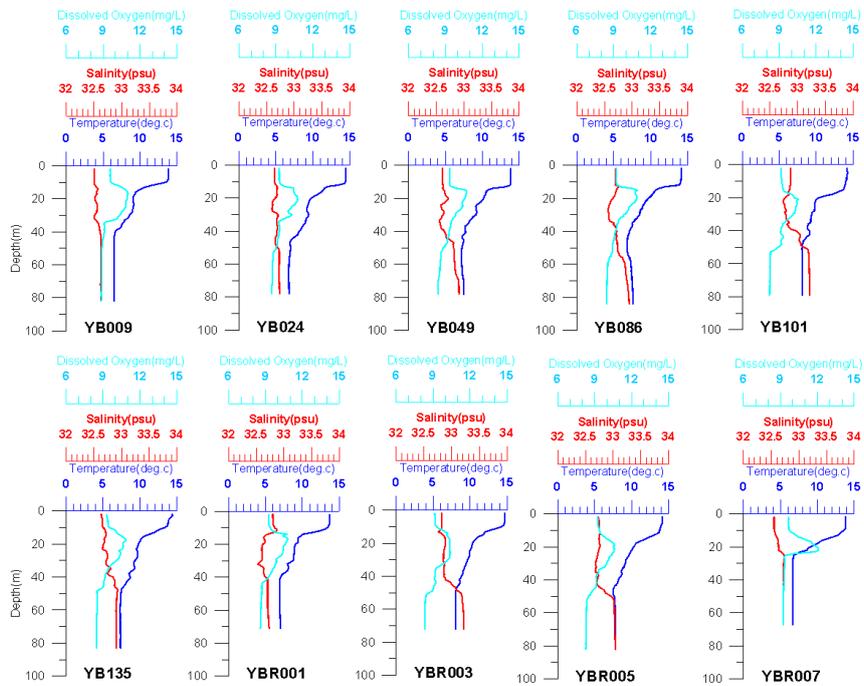


그림 2-6-14. 2012년 5월조사시 서해병해역 수온·염분·용존산소의 연직분포

나) 영양염류

아질산염의 분포는 0.024~0.326(평균 0.118) μ M의 범위를 보였고 최저농도는 대조구인 YBR007의 표층에서 나타났으며 최고농도는 남부해역에 위치한 대조구 YBR005의 10m층에서 나타났다(그림 2-6-15).

아질산염의 수직분포경향은 대체로 표층에서 저층으로 갈수록 농도가 증가하였으며 남부와 서부해역은 수온약층이 나타난 해역에서 높은 농도를 보이기도 하였다. 아질산염의 표층 농도 범위는 0.024~0.118(평균 0.068) μ M로 나타났으며, 배출해역 내 YB086에서 최대값을 보였고 저층은 0.143~0.296(평균 0.198) μ M 범위를 나타냈으며, 최소값은 동부해역의 YBR007, 최대값은 배출해역 내에 위치한 YB049에서 나타났다.

조사해역의 수층별 수평분포는 전반적으로 30m 수층과 저층은 배출해역 내에서 최대값을 보였고 나머지 해역은 대조구에서 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-16).

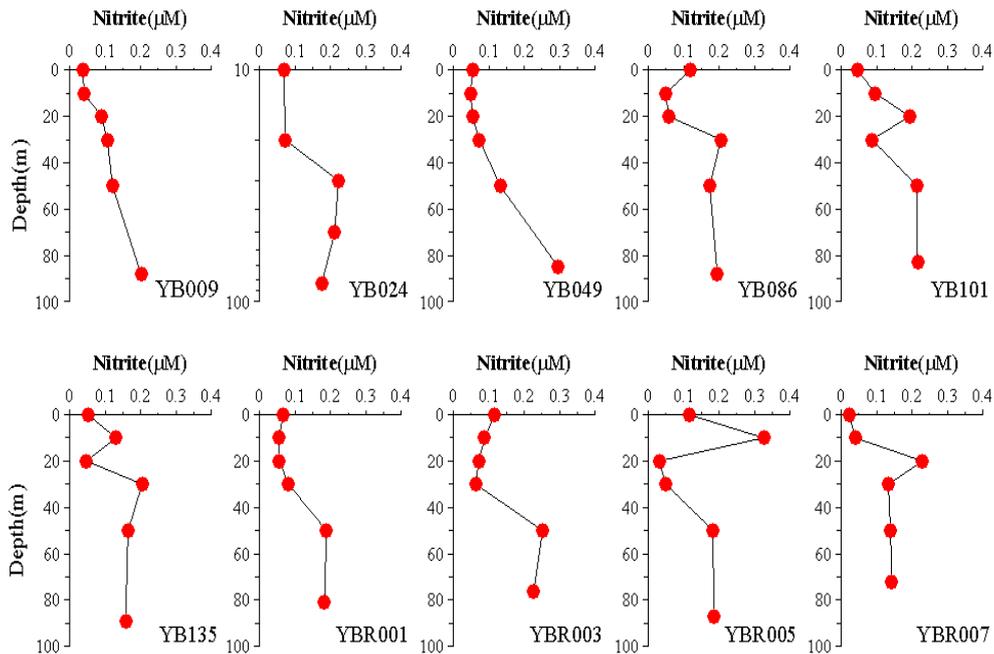


그림 2-6-15 2012년 5월조사시 서해병해역 아질산염의 정점별 수직분포

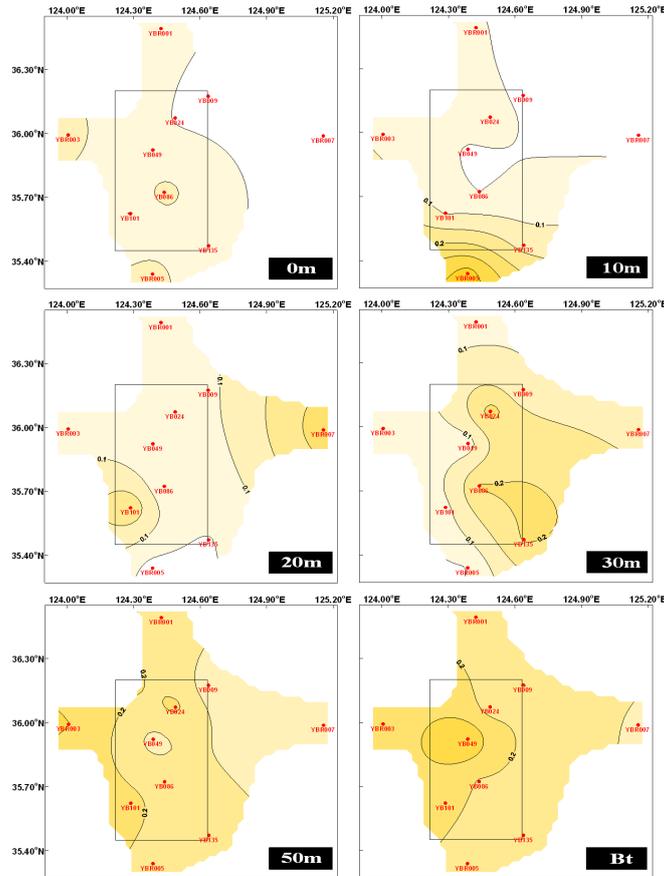


그림 2-6-16. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 아질산염의 수평분포

질산염의 분포는 0.110~11.113(평균 4.525) μ M의 범위를 보였으며 최소값은 정점 YB024의 10m층에서, 최대값은 정점 YBR005의 저층에서 나타났다.

질산염의 수직분포는 서부해역의 대조구 YBR007을 제외하고 30m에서 50m 층까지 질산염의 농도가 급격하게 증가하고 저층은 50m 수층과 유사한 농도를 보였다(그림 2-6-17).

질산염의 표층 농도 범위는 0.134~0.826(평균 0.507) μ M로 나타났으며, 북부해역이 YBR001에서 최대값을 보였고 저층의 질산염 분포는 5.404~11.113(평균 8.420) μ M 범위를 나타냈으며, 최소값은 YB049, 최대값은 YBR005에서 나타났다. 전반적으로 배출해역보다 대조구에서 높은 농도를 보였으며 10m 이하 수심에서는 북부해역에서 높고 20~30m 수층은 동부해역의 YBR007, 50m에서 저층까지는 배출해역을 포함하여 남부해역에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-18).

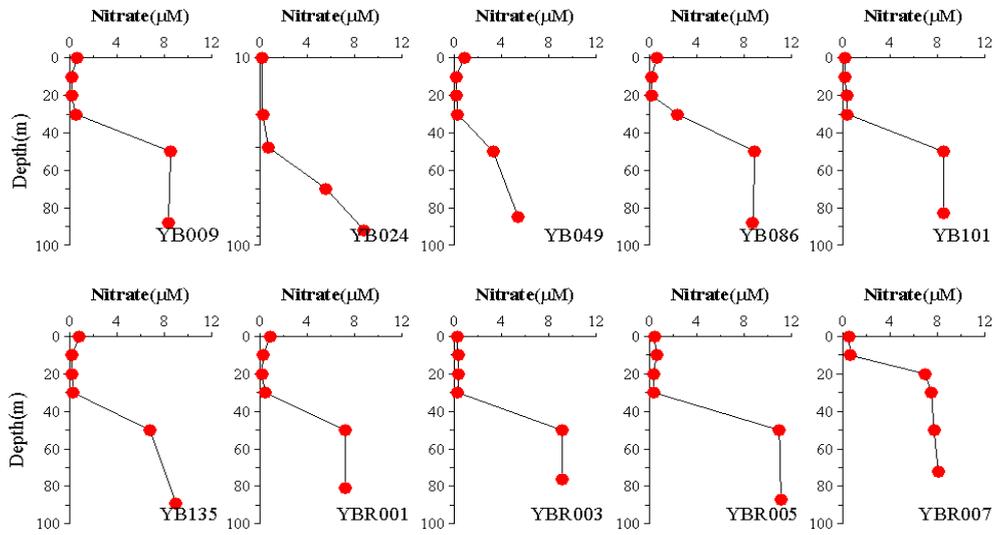


그림 2-6-17. 2012년 5월조사시 서해병해역 질산염의 정점별 수직분포

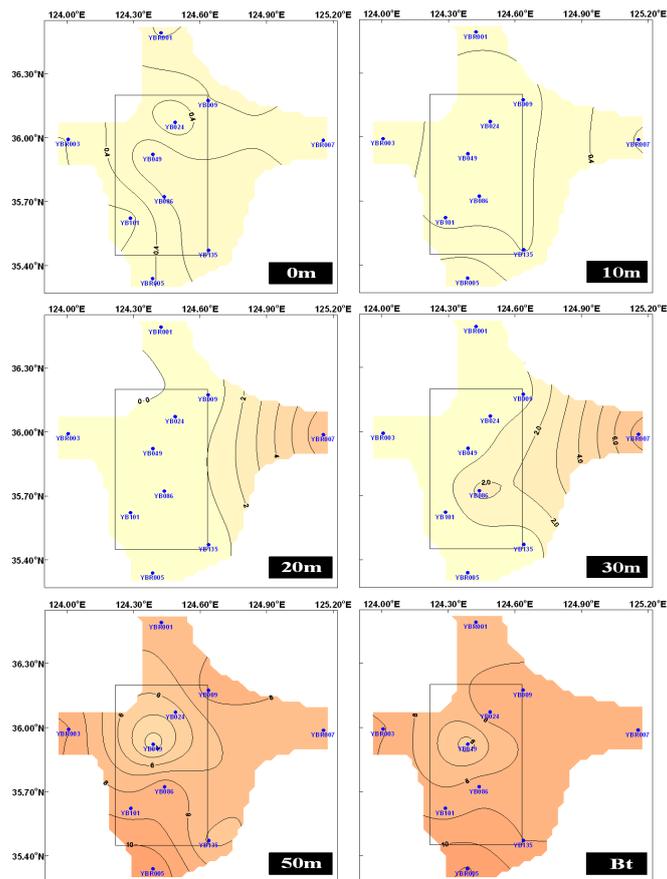


그림 2-6-18. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 질산염의 수평분포

암모니아의 농도분포는 0.681~2.972(평균 1.486) μM 의 범위를 보였으며 최소값은 정점 YB009의 20m에서, 최대값은 정점 YB101의 0m에서 나타났다.

전반적으로 수직분포는 북부해역과 남부해역의 정점은 표층에서 저층으로 갈수록 농도가 다소 증가하였으나 농도차가 크지는 않고, 배출해역 중앙부와 동부와 서부의 대조구는 표층에서 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-19).

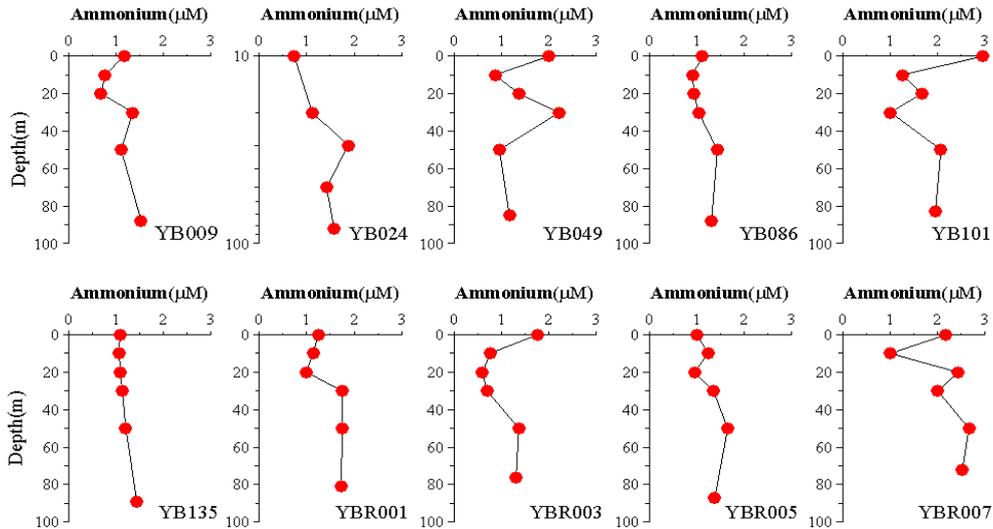


그림 2-6-19. 2012년 5월조사시 서해병해역 암모니아의 정점별 수직분포

배출해역은 0.681~2.972(평균 1.343) μM , 대조해역은 0.604~2.671(평균 1.483) μM 범위를 보여 대조구에서 높은 농도를 보였으나 배출해역의 YB101, YB049 정점의 경우 30m 이하의 얇은 수심에서는 높은 농도를 보였다(그림 2-6-20).

총용존성질소는 아질산염과 질산염 그리고 암모니아의 농도를 합한 값으로 0.915~12.805(평균 6.353) μM 의 범위를 보였으며 최소값은 정점 YB024의 10m 층에서, 최대값은 정점 YBR005의 50m 수층에서 나타났다.

질산염과 마찬가지로 수직분포는 서부해역의 대조구 YBR007을 제외하고 30m에서 50m 층까지 질산염의 농도가 급격하게 증가하고 저층은 50m 수층과 유사한 농도를 보였다(그림 2-6-21).

DIN의 표층 농도 범위는 1.503~3.152(평균 2.198) μM 로 나타났으며, 저층의 질산염 분포는 6.877~12.683(평균 10.214) μM 범위를 보였다. 전반적으로 배출해역보다 대조구에서 높은 농도를 보였으며 배출해역에서는 남부해역의 저층에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-22).

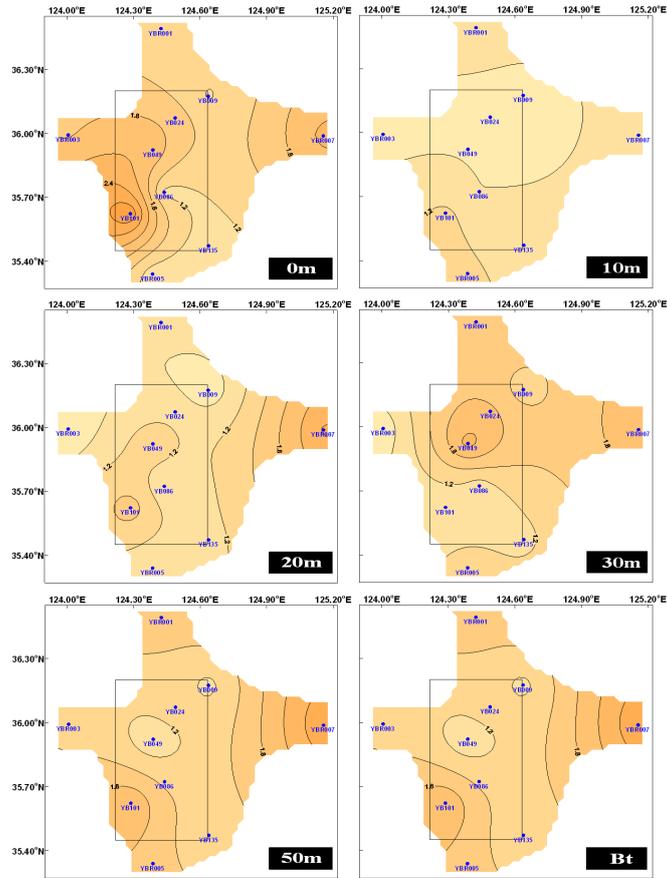


그림 2-6-20. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 암모니아의 수평분포

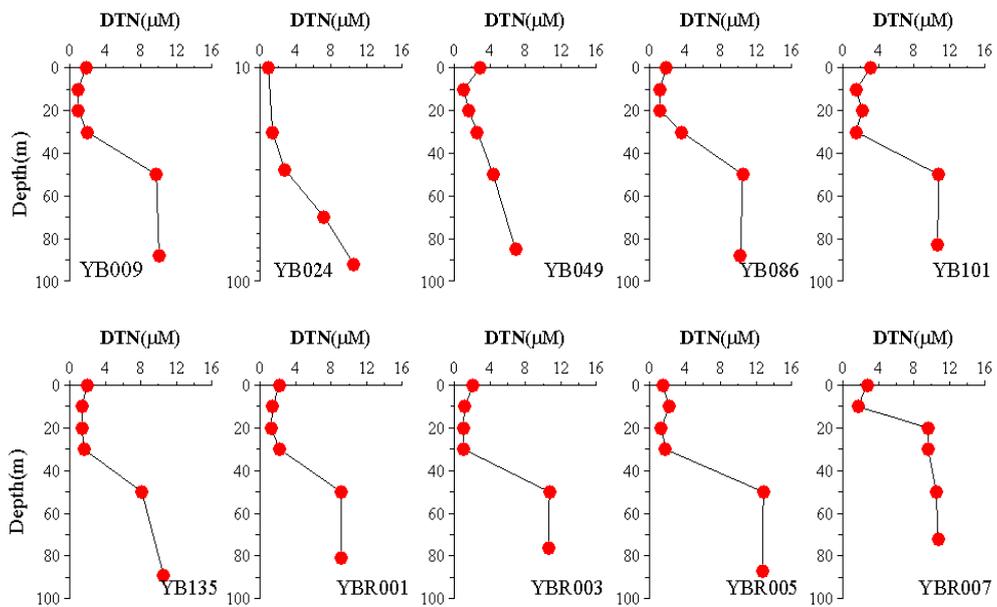


그림 2-6-21. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존성 총질소의 정점별 수직분포

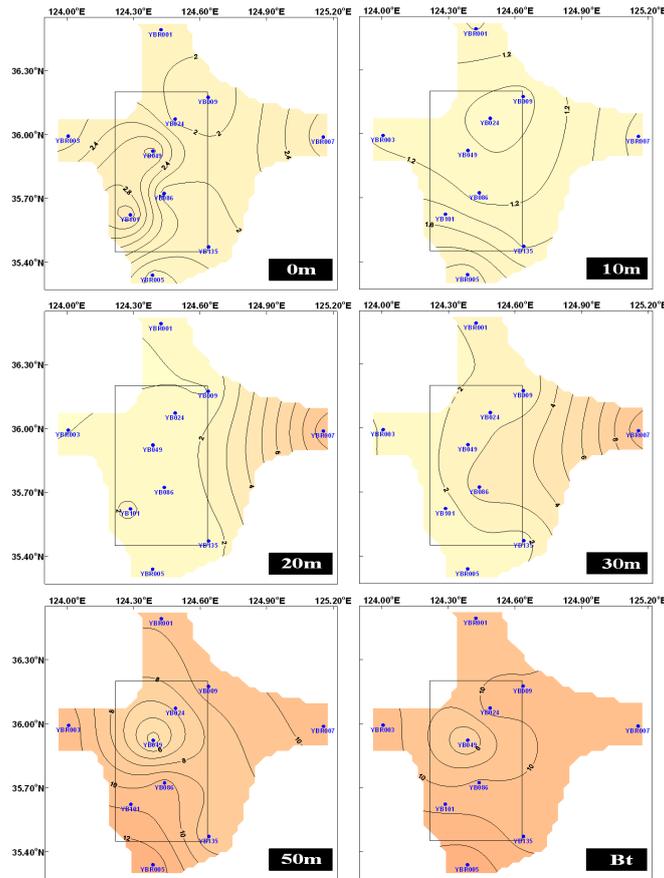


그림 2-6-22. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 용존성 총질소의 수평분포

인산염의 농도분포는 $N \cdot D \sim 0.817$ (평균 0.289) μM 범위를 보였으며, 최소값은 YB009의 30m수층, YB024의 20m 이하수층, YBR003의 표층에서 나타났고 최대값은 남부해역의 대조구 YBR005에서 나타났다. 인산염의 수직분포는 질산염과 아질산염과 0.97이상의 상관성을 보여 매우 유사하게 나타나 표층에서 수심 30m까지 유사한 농도를 보이고 50m까지 급격히 증가하고 저층까지는 유사한 농도를 나타냈다(그림 2-6-23). 표층에서의 농도 분포는 $N \cdot D \sim 0.092$ (평균 0.032) μM 의 범위를 보였고 배출해역의 표층 분포는 $N \cdot D \sim 0.025$ (평균 0.016) μM 이며, 대조구해역의 표층 분포는 $N \cdot D \sim 0.092$ (평균 0.059) μM 로 조사해역의 표층 분포 차이는 대조구에서 매우 높게 나타났다. 하지만 조사해역의 저층 농도는 $0.294 \sim 0.817$ (평균 0.693) μM 의 범위로 표층과 약 20배 이상의 차이를 보였으며, 배출해역에서 $0.294 \sim 0.765$ (평균 0.662) μM 을 보였고 대조해역에서는 $0.614 \sim 0.817$ (평균 0.738) μM 로 나타나 표층과 마찬가지로 대조해역에서 높은 농도를 나타냈다. 수층별 수평분포는 대조해역인 YBR007의 경우 전 수층에서 높은 농도를 보여 남동부해역에서 높은 농도를 보였으며 저층으로 갈수록 남부해역의 정점에서도 높은 농도를 보였다. 따라서 북서부해역의 YB024와

YB049에서 낮은 농도를 보여 대체로 배출해역의 북부해역과 중앙해역에서 인산염이 낮게 나타났다(그림 2-6-24).

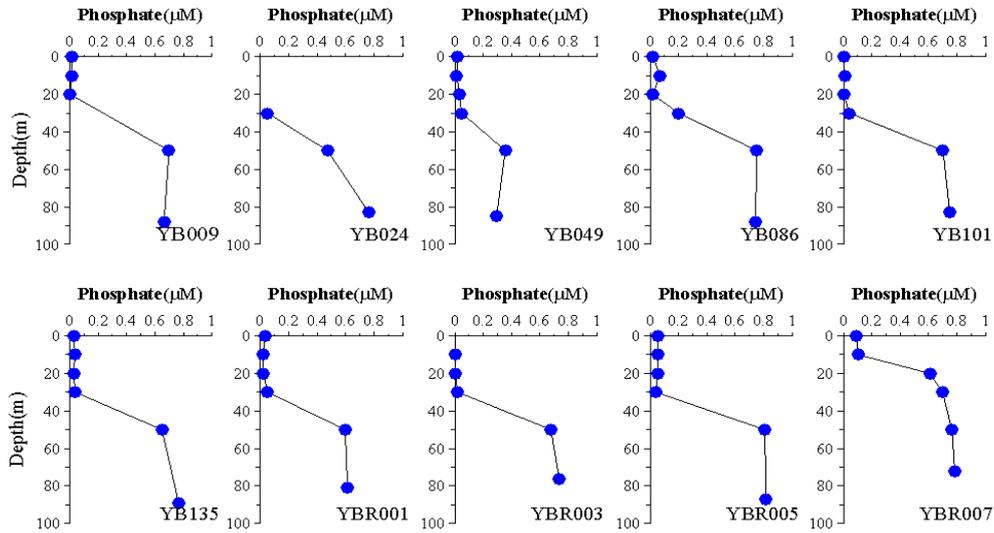


그림 2-6-23. 2012년 5월조사시 서해병해역 인산염의 정점별 수직분포

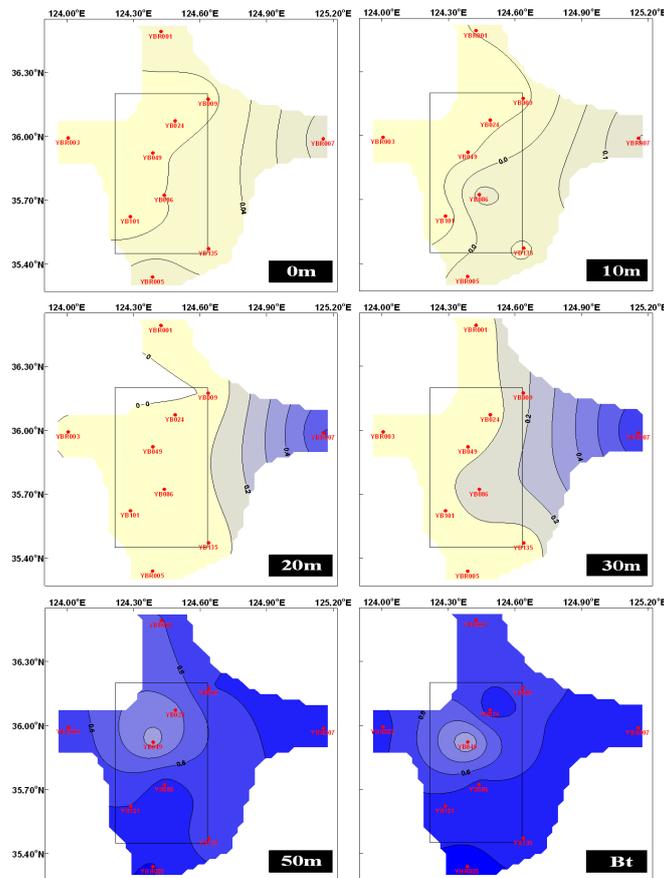


그림 2-6-24. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 인산염의 수평분포

규산염의 농도분포는 2.928~13.906(평균 9.342) μM 의 범위를 보였으며 최소값은 YB101의 10m에서 나타났고 최대값은 같은 정점의 저층에서 나타났다(그림 2-6-25).

전반적으로 표층에서 저층으로 갈수록 농도가 증가하였으나 질산염과 인산염같이 50m에서 급격히 증가하지 않고 남부해역의 YB101, YB135는 표층에서 높은 농도를 나타내 30m 이하의 얇은 수층에서 농도차이가 크게 나타나기도 하였다.

조사해역의 표층에서의 농도 분포는 4.405~9.196(평균 7.067) μM 를 보였으며, 저층은 6.954~14.152(평균 12.498) μM 로 나타났다(그림 2-6-19).

수층별 수평분포는 인산염과 달리 표층은 동부해역의 YBR007를 포함하여 북부해역의 YB009에서 매우 낮은 농도를 보였으며 북서부와 남동부에서 다소 높은 농도를 보였고 10, 20m의 수심에서는 배출해역 내에서 높은 농도를 보이고 북동부의 YB009는 낮은 농도를 유지하였다.

50m 이상 깊은 수심은 인산염과 마찬가지로 YB024, YB049에서 매우 낮게 나타났고 남부와 동부해역에서 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-26).

용존성 무기영양염의 상관성을 나타낸 결과 질산염과 용존성 무기질소와 0.99의 매우 높은 상관성을 나타냈고 인산염과는 질산염은 0.98, 용존성무기질소와는 0.97이상의 높은 상관관계를 보였다.

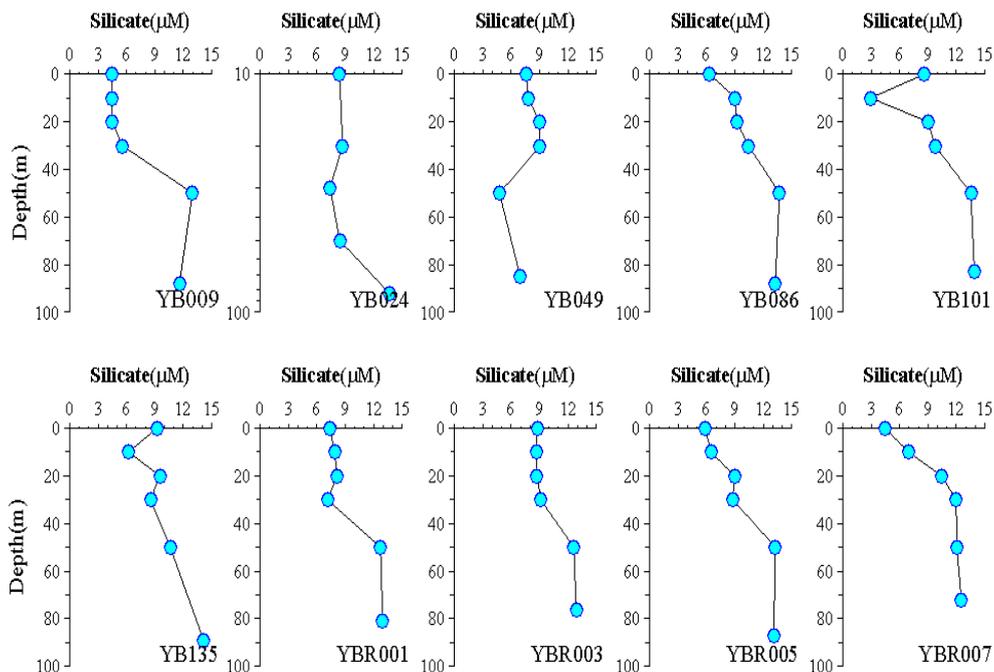


그림 2-6-25. 2012년 5월조사시 서해병해역 규산염의 정점별 수직분포

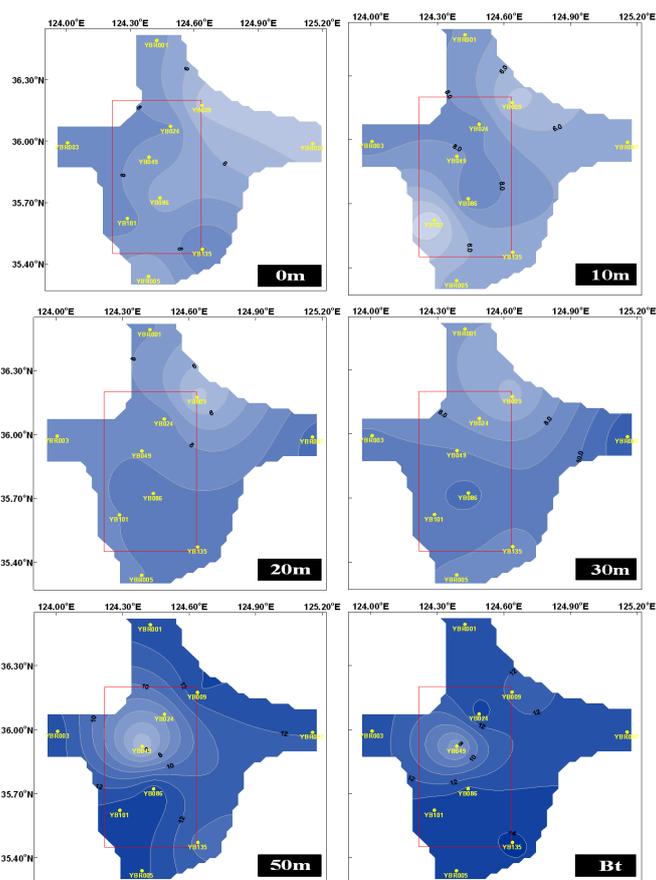


그림 2-6-26. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 규산염의 수평분포

단 규산염과는 용존성무기질소와 인산염모두 각각 0.65, 0.67로 상관성이 낮았으나 50m와 저층에서는 0.8 의 높은 상관성을 나타냈다. 또한 배출해역과 대조구에 관계없이 높은 상관성을 보였다(그림 2-6-27).

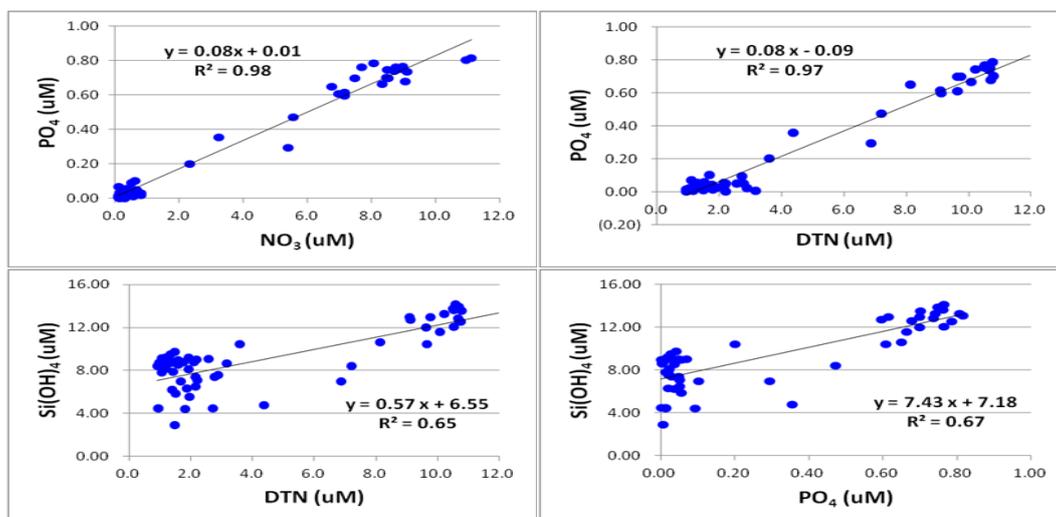


그림 2-6-27. 2012년 5월조사시 서해병해역 용존무기영양염류의 상관관계

식물성 플랑크톤의 성장을 위해 요구되는 영양염의 제한적 질소 및 인에 대한 N:P 비율은 본 조사해역에서 $N:D \sim 2191.746$ (평균 106.563)를 나타냈고 그림 2-6-28에서 보는 바와 같이 인산염과 용존성총질소가 낮게 나타난 표층에서 N/P ratio가 매우 높게 나타났다.

정상적인 해수에서 나타나는 비율인 15:1인 것을 감안하여 볼 때 전반적으로 높은 값을 나타냈으나 인산염과 질산염이 높게 나타난 50m와 저층에서는 20 이하의 값을 나타냈으며 얕은 수심에서는 다소 질산염에 비해 인산염이 매우 낮게 나타나 높은 값을 나타낸 것으로 보인다(그림 2-6-29). 표층~20m 수심은 인산염과 DTN이 매우 낮게 나타난 해역에서 N/P ratio가 최대값을 나타냈고 그 이상의 깊은 수심에서는 전반적으로 유사한 비율을 보였다.

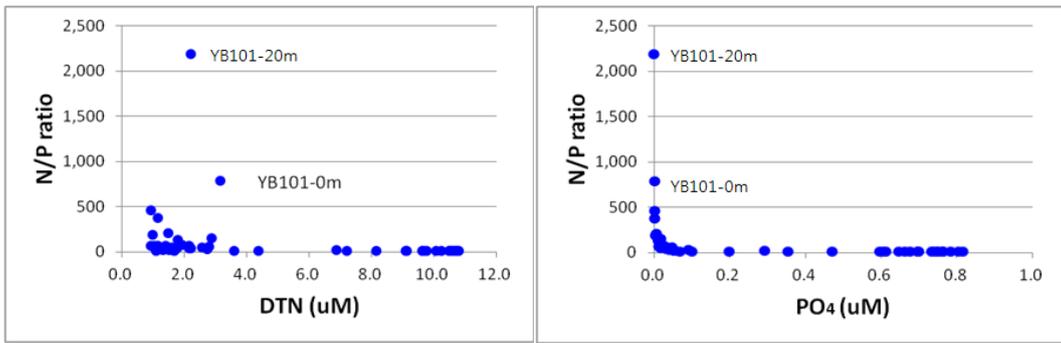


그림 2-6-28. 2012년 5월조사시 서해병해역의 N/P ratio와 용존성 총질소와 인산염의 상관관계

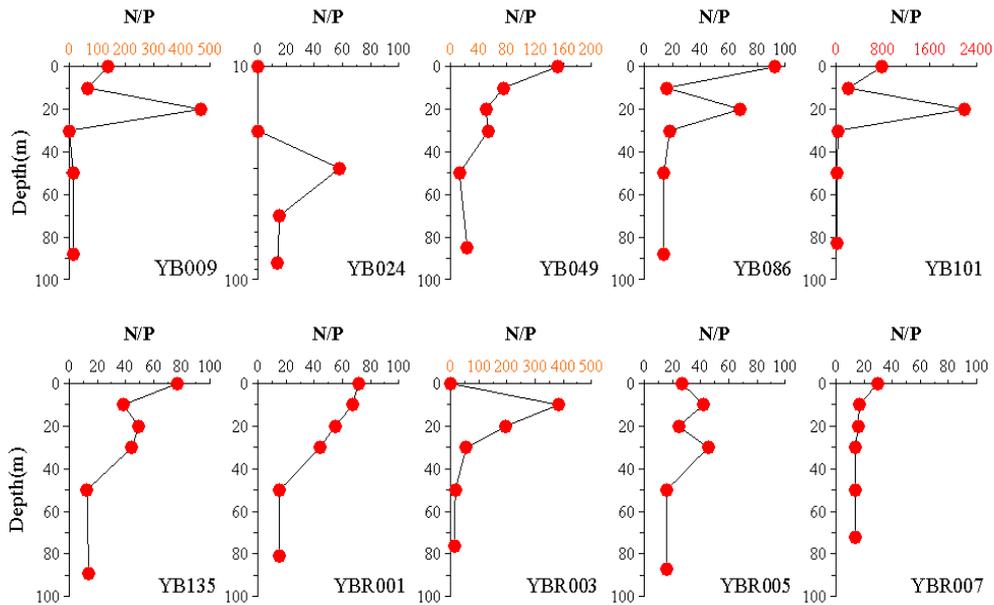


그림 2-6-29. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 N/P ratio의 정점별 수직분포

2005년부터 현재까지 서해 병해역의 변화를 살펴본 결과 수온은 표층은 계절적 영향을 받았으며 저층은 2005년과 2007년과 유사한 분포를 보였으며 2011년에는 저온을 나타냈었다.

염분은 다른 시기보다 표층과 저층 모두 약간 높은 농도를 보였고 용존 산소도 본조사시기에 가장 높게 나타났다(표 2-6-8). 지난 6년간의 영양염 변화는 아질산, 질산염, 인산염은 본조사시기에 낮은 농도를 보였고 2005년 자료와 유사한 분포를 보이거나 더 낮은 농도를 나타냈다.

본조사시기에 인산염의 경우 표층에서 영양염의 고갈로 매우 낮은 농도를 보였다. 반면 암모니아와 규산염은 본조사시기에 높은 농도를 보였고 암모니아는 2008년 7월조사보다는 낮게 나타났고 규산염은 표층의 농도만 매우 증가하고 2005년과 유사한 분포를 보였다.

전반적으로 영양염은 2005년조사와 유사한 범위를 나타냈고 질산염의 저층과 암모니아의 표층은 본조사시기에 2배가량 높은 농도를 보였다. 또한 그림 2-6-30은 배출해역 내 정점만 수직적분하여 시계열화한 그래프로 2011년까지 영양염이 증가한 것으로 나타났고 본조사시기에 용존성 무기질소와 용존성 무기인은 감소하였으며 규산염은 2011년도와 유사한 범위를 보였다.

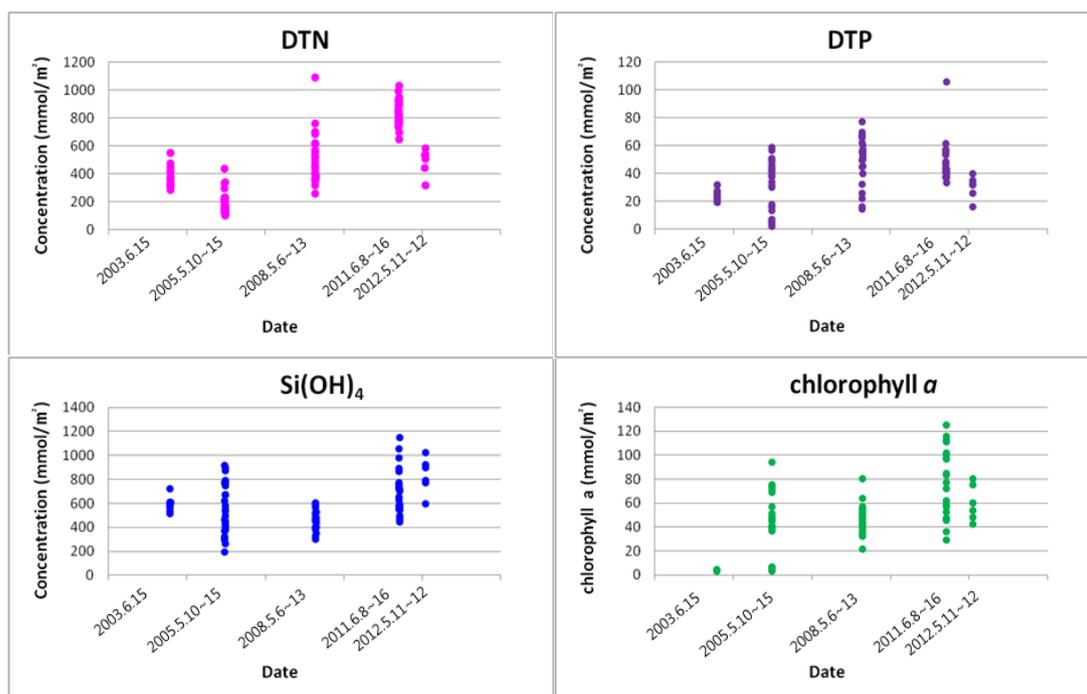


그림 2-6-30. 2003~2012년의 서해병해역 조사시 배출해역내의 영양염을 수직적분하여 시계열화한 그래프

표 2-6-8. 2005년부터 2012년까지의 서해병해역의 수온, 염분, 수소이온, 용존 산소, 용존무기성영양염류와 부유물질의 표·저층 평균농도

		2005. 5	2008. 7	2011.6	2012.5
Temp (°C)		11.36-13.27 (12.50±0.66)	20.98-23.56 (22.02±0.79)	16.04-19.20 (16.88±0.92)	13.70-14.70 (14.13±0.33)
		6.51-8.47 (7.22±0.54)	6.80-8.71 (7.26±0.44)	5.90-9.07 (6.72±0.92)	6.48-8.10 (7.34±0.58)
Salinity (psu)		32.272-32.888 (32.466±0.12)	31.45-32.72 (32.27±0.38)	32.20-32.52 (32.38±0.07)	32.51-32.87 (32.69±0.12)
		32.070-32.210 (32.718±0.21)	32.63-33.11 (32.74±0.08)	32.35-33.54 (32.67±0.35)	32.63-33.22 (32.91±0.21)
pH		8.1-8.3 (8.2±0.07)	8.13-8.32 (8.27±0.03)	8.20-8.32 (8.25±0.03)	-
		7.9-8.1 (8.1±0.04)	7.91-8.04 (7.98±0.04)	7.90-8.04 (7.98±0.04)	-
DO (mg/l)		7.560-8.349 (7.817±0.20)	7.36-7.71 (7.48±0.07)	7.99-8.47 (8.25±0.09)	9.13-9.66 (9.31±0.17)
		6.670-7.598 (6.944±0.20)	7.13-7.70 (7.35±0.11)	6.98-8.53 (7.79±0.37)	8.21-9.22 (8.54±0.30)
NO ₂ (μM)		0.004-0.230 (0.064±0.05)	0.066-0.554 (0.164±0.11)	0.09-0.46 (0.21±0.08)	0.02-0.12 (0.07±0.04)
		0.031-0.448 (0.102±0.09)	0.088-0.414 (0.193±0.10)	0.13-0.49 (0.31±0.09)	0.14-0.30 (0.20±0.04)
NO ₃ (μM)		0.030-2.934 (0.663±0.90)	0.416-13.340 (2.754±2.86)	0.16-2.14 (0.65±0.40)	0.13-0.83 (0.51±0.27)
		(0.090-4.737) (2.255±0.86)	5.427-17.881 (9.656±2.65)	10.96-18.47 (14.34±1.77)	5.40-11.11 (8.42±1.45)
NH ₄ (μM)		0.067-1.191 (0.537±0.30)	0.313-4.532 (1.904±0.91)	0.23-3.89 (1.26±0.85)	1.01-2.97 (1.62±0.63)
		0.047-3.564 (0.953±0.91)	0.390-6.146 (1.865±1.12)	0.20-1.95 (0.96±0.40)	1.18-2.54 (1.60±0.40)
PO ₄ (μM)		0.010-0.943 (0.213±0.21)	0.053-0.955 (0.429±0.22)	0.02-0.19 (0.07±0.04)	0.00-0.09 (0.03±0.03)
		0.075-0.993 (0.637±0.29)	0.284-1.503 (0.953±0.31)	0.61-1.21 (0.91±0.15)	0.29-0.82 (0.69±0.15)
SiO ₂ (μM)		0.336-13.441 (2.699±3.25)	0.124-11.400 (2.643±2.98)	0.17-1.60 (0.58±0.36)	4.41-9.20 (7.07±1.74)
		5.915-18.718 (11.848±3.18)	5.691-12.363 (9.825±1.59)	9.29-19.93 (14.20-2.86)	6.95-14.15 (12.50-2.08)

라) 입자성유기탄소(POC)와 입자성유기질소(PON)

입자성유기탄소(POC)는 0.000~0.324mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 0.187 mg/ℓ로 나타났다. 최소값은 YB086의 수심 20m에서 나타났고 최고농도는 YBR005의 수심 30m에서 나타났다(그림 2-6-31).

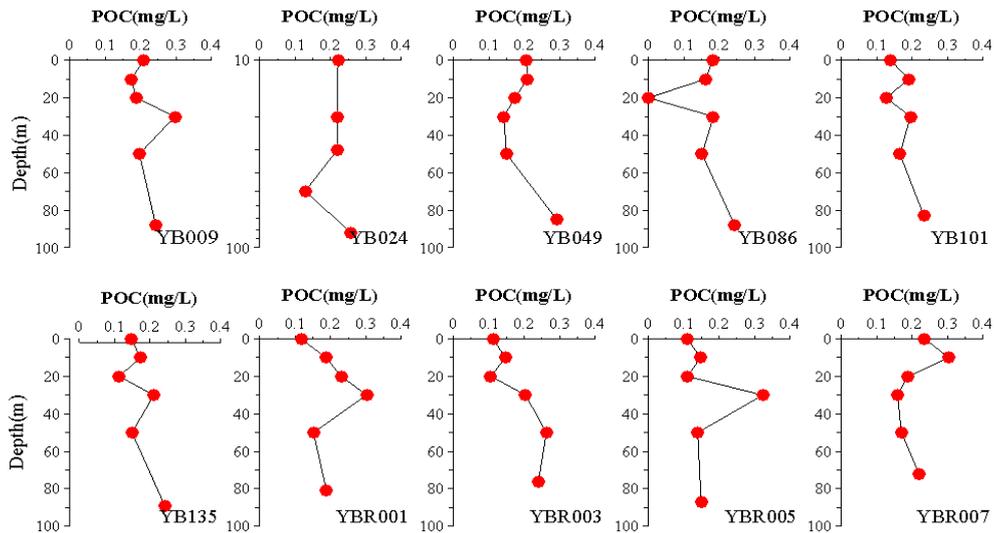


그림 2-6-31. 2012년 5월조사시 서해병해역 입자성유기탄소의 정점별 수직분포

입자성유기탄소의 수직 분포 경향은 표층에서 저층까지 농도변화가 크지 않은 정점과 30m 수심에서 높은 농도를 보이거나 저층에서 간헐적으로 높은 농도를 나타냈다. 30m에서 높은 농도를 보인 정점은 YB009, YB135, 대조구 YBR001, YBR005에서 높게 나타났으며 저층은 배출해역 중앙부와 남부해역의 정점에서 높은 농도를 보였다.

수심별 평균농도는 0.164, 0.191, 0.145, 0.224, 0.166, 0.231 mg/ℓ를 보여 20m 수심에서 가장 낮고 저층에서 가장 높게 나타났다(그림 2-6-32).

표층의 배출해역 농도 범위는 0.140~0.208(평균 0.177)mg/ℓ이며, 대조구 해역은 0.110~0.236(평균 0.144)mg/ℓ 범위로 배출해역에서 높게 나타났고 저층의 농도는 배출해역에서 0.234~0.291(평균 0.252)mg/ℓ, 대조구해역에서는 0.149~0.239(평균 0.199)mg/ℓ로 저층도 배출해역에서 높은 농도를 보였다.

입자성유기질소(PON)는 0.001~0.053mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 0.027 mg/ℓ로 나타났다. 가장 낮은 농도는 정점 YB086의 수심 20m에서 나타났고 최고농도는 YBR005의 30m에서 나타나 입자성유기탄소와 동일하게 나타났다(그림 2-6-33).

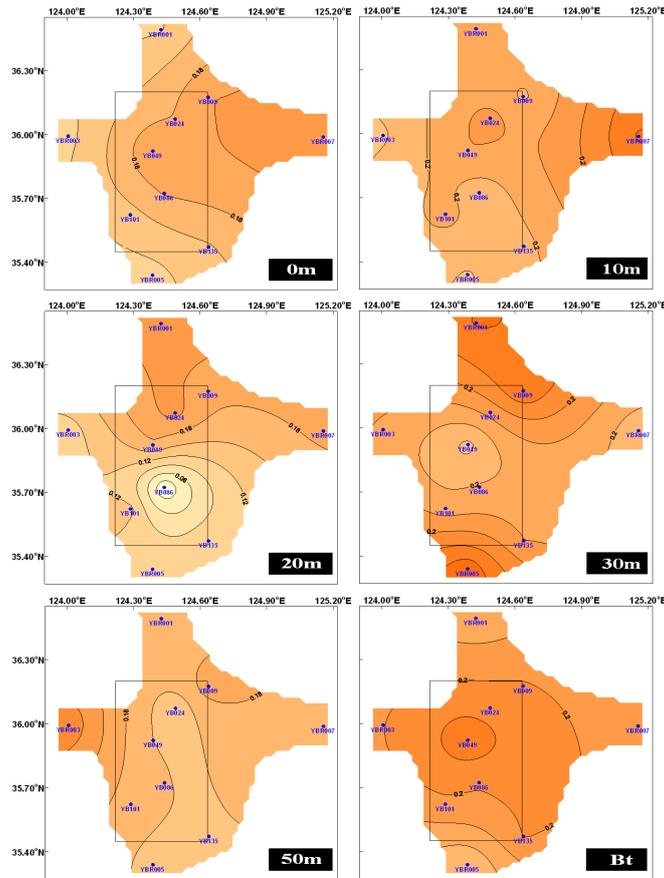


그림 2-6-32. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 입자성유기탄소의 수평분포

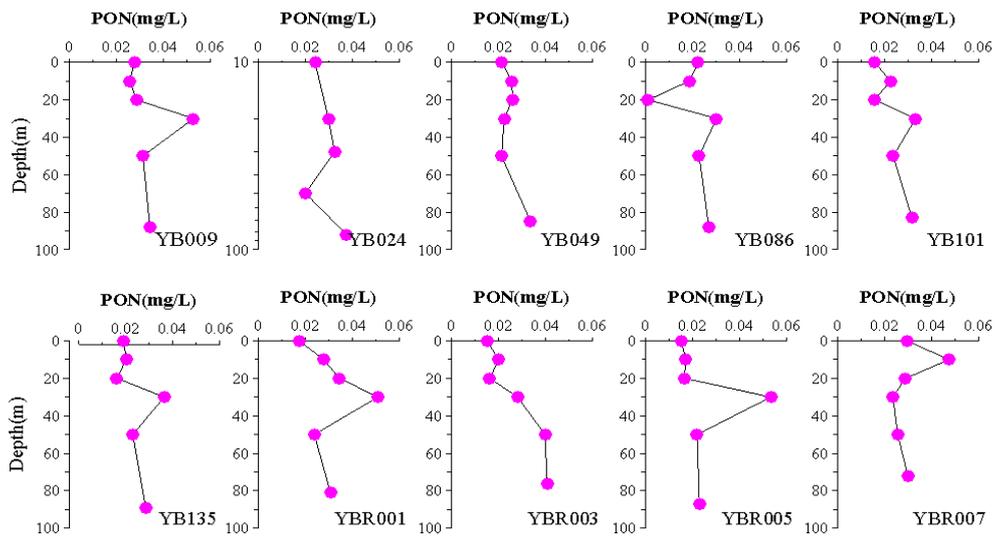


그림 2-6-33. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 입자성유기질소의 정점별 수직분포

입자성유기질소의 수직분포 경향은 입자성유기탄소와 0.8 이상의 상관성을 보여 유사하게 수심별 농도차이는 크지 않았으며 30m와 저층에서 높은 농도를

보였다(그림 2-6-34).

수심별 평균농도는 0.020, 0.025, 0.021, 0.036, 0.025, 0.032 mg/ℓ 를 보여 30m 수심에서 가장 높고 저층에서도 높게 나타났고 나머지 수층은 유사하게 나타났다.

표층의 배출해역 농도 범위는 0.016 ~0.028(평균 0.021)mg/ℓ 였으며 대조해역은 0.015~0.030(평균 0.019)mg/ℓ 로 배출해역에서 높은 농도를 보였으며, 저층의 배출해역 농도는 0.027 ~0.037(평균 0.032) mg/ℓ 이며, 대조해역은 0.023~0.041(평균 0.031)mg/ℓ 로 저층에서는 비슷한 농도범위를 보였다.

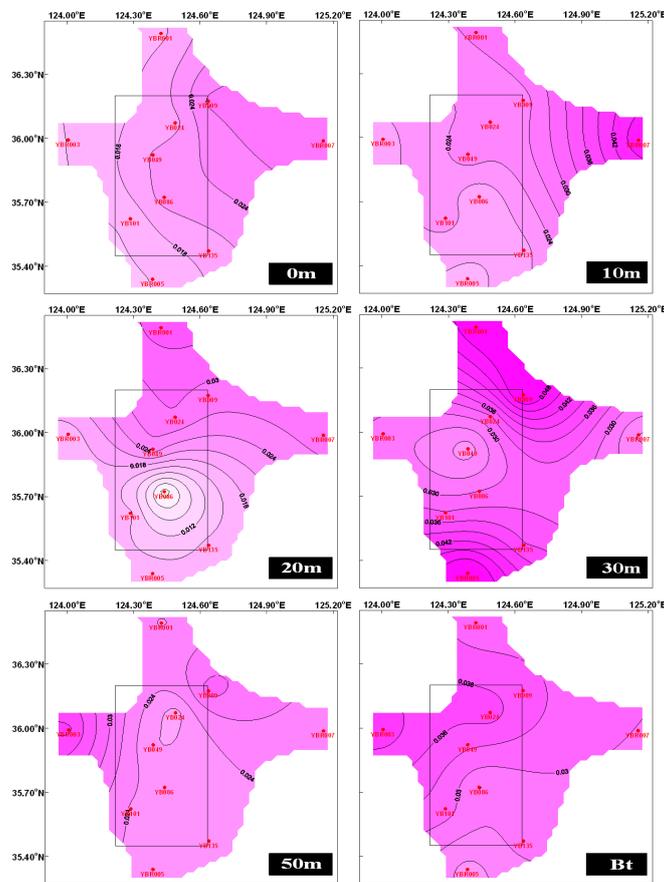


그림 2-6-34. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 입자성유기질소의 수평분포

2) 광조절 요인 성분조사

가) 부유물질(SS)

2012년 5월조사시 입자성 부유물질의 수직분포는 0.245~5.469mg/ℓ 범위를 보였으며, 평균농도는 1.277mg/ℓ 를 나타냈다. 최소농도는 정점 YBR005의 표층에서 나타났으며, 최대농도는 정점 YB009의 저층에서 나타났다. 수직분포 경향은 표층에서 수심 30m까지 농도차가 크지 않았으며 대체로 유사한 농도를 보였고 30m에서 저층까지 크게 증가하는 경향을 보였다(그림 2-6-35).

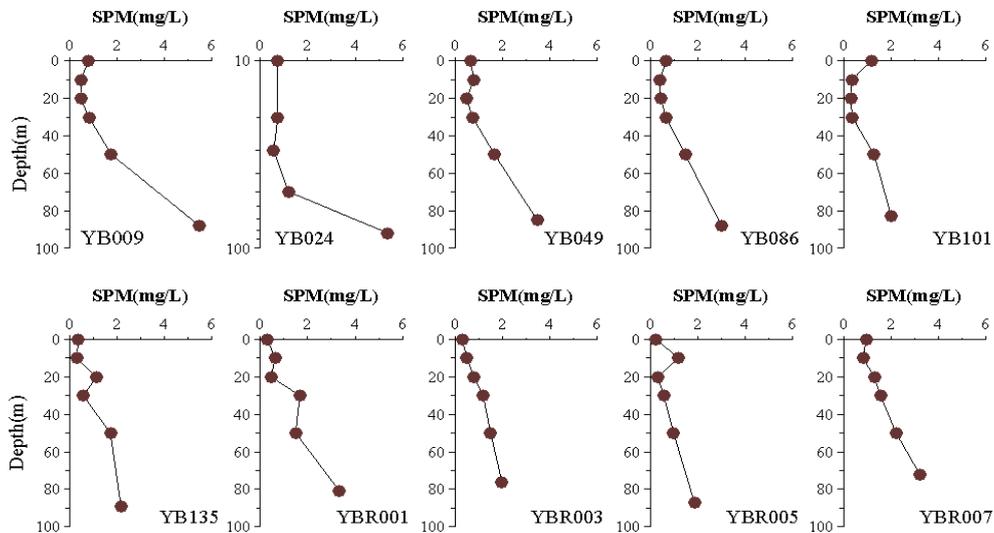


그림 2-6-35. 2012년 5월조사시 서해병해역 부유물질의 정점별 수직분포

표층에서는 0.245~2.525(평균 0.800)mg/ℓ 로 배출해역은 0.360~2.525(평균 1.032)mg/ℓ 이며, 대조구해역은 0.245~0.958(평균 0.451)mg/ℓ 를 나타내 평균적으로 배출해역에서 높게 나타났다. 저층도 1.867~5.469(평균 3.195)mg/ℓ 을 보였고, 배출해역은 2.022~5.469(평균 3.587)mg/ℓ , 대조구해역은 1.867~3.343(평균 2.608)mg/ℓ 를 보여 배출해역에서 높게 나타났다. 그러나 나머지 수층별 부유물질은 대조구에서 높은 농도를 보였다. 부유물질은 대체로 북부에 YB009와 YB024에서 높게 나타났으며 대조구는 서부해역에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-36).

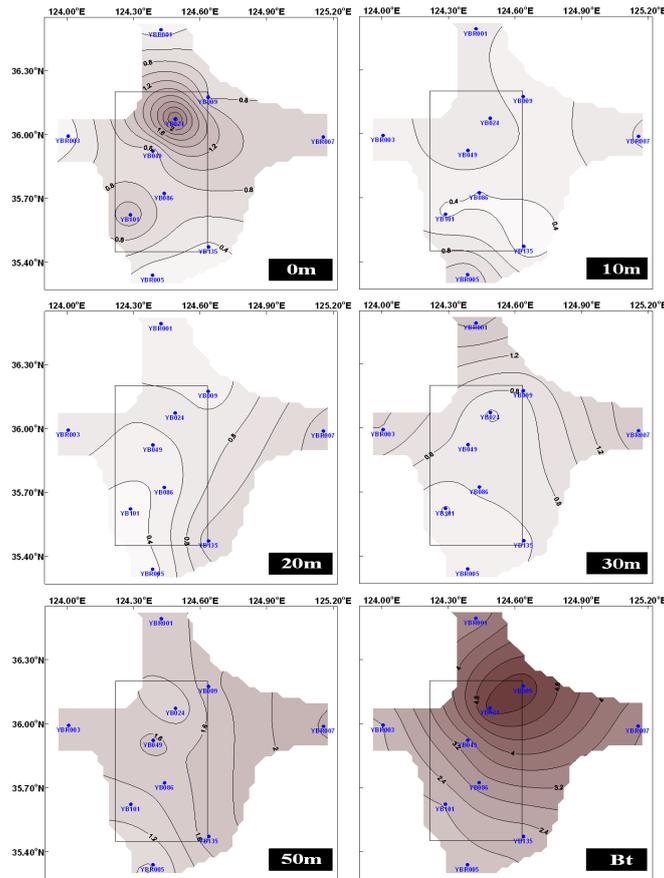


그림 2-6-36. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 부유물질의 수평분포

다. 표영생태계 일차생산자 생리 건강상태 조사평가

1) 클로로필 *a*

2012년 5월조사시 클로로필 *a*의 농도분포는 $0.119 \sim 5.250 \mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보였으며, 평균농도는 $1.573 \mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다. 최소농도는 정점 YB086의 50m층에서 보였으며, 최대농도는 YBR001의 30m 수심에서 높은 값을 보였다.

클로로필 *a*의 수직분포는 연안에 인접한 대조구 YB007이 10m에서 최대 값을 보인 것을 제외하고 전반적으로 30m 수심에서 크게 증가하여 최대값을 보였으며 저층까지 급격히 감소하는 경향을 보였다(그림 2-6-37~38).

수온약층이 형성된 수심에서는 배출해역 내에서 높은 농도를 보였으며 표층과 50m 이상의 깊은 수심에서는 대체로 대조구에서 생물량이 많이 관찰되었다. 단 휴식년구역에 위치한 YB009와 YB024는 수온약층에서 다른 해역에 비해 생물량이 많지 않았다.

클로로필 *a*의 최대수심은 수온약층과 유사한 수심을 나타내는 질산염 약층(nitracline)의 바로 상부에 나타나며, 이는 확산에 의한 영양염의 공급에 의한 식물플랑크톤 성장이 활발한데 기인한다.

조사해역의 클로로필 *a*의 평균 농도는, 표층은 $0.889\mu\text{g}/\ell$, 수심 10m는 $1.322\mu\text{g}/\ell$, 수심 20m에서 $1.701\mu\text{g}/\ell$, 수심 30m에서 $3.735\mu\text{g}/\ell$, 50m는 $0.842\mu\text{g}/\ell$, 저층은 $0.946\mu\text{g}/\ell$ 으로 나타났다.

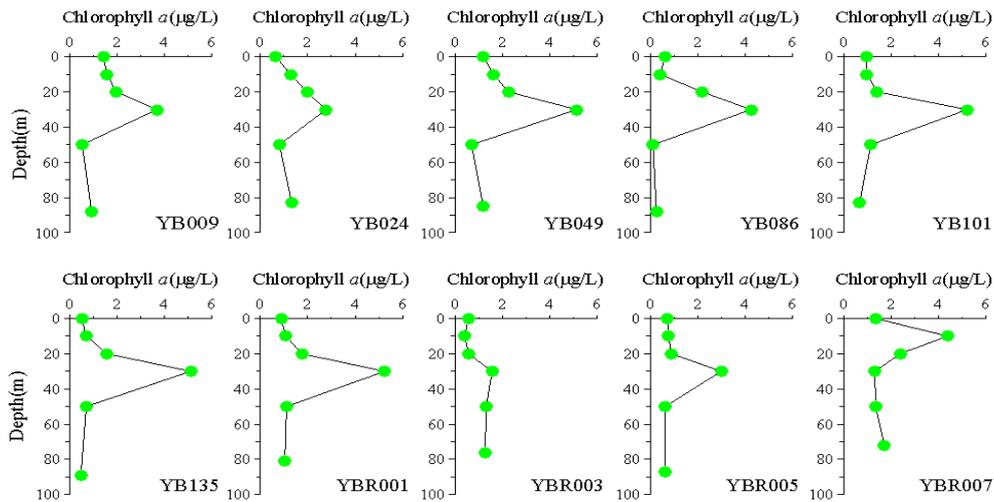


그림 2-6-37. 2012년 5월조사시 서해병해역 클로로필 *a*의 정점별 수직분포

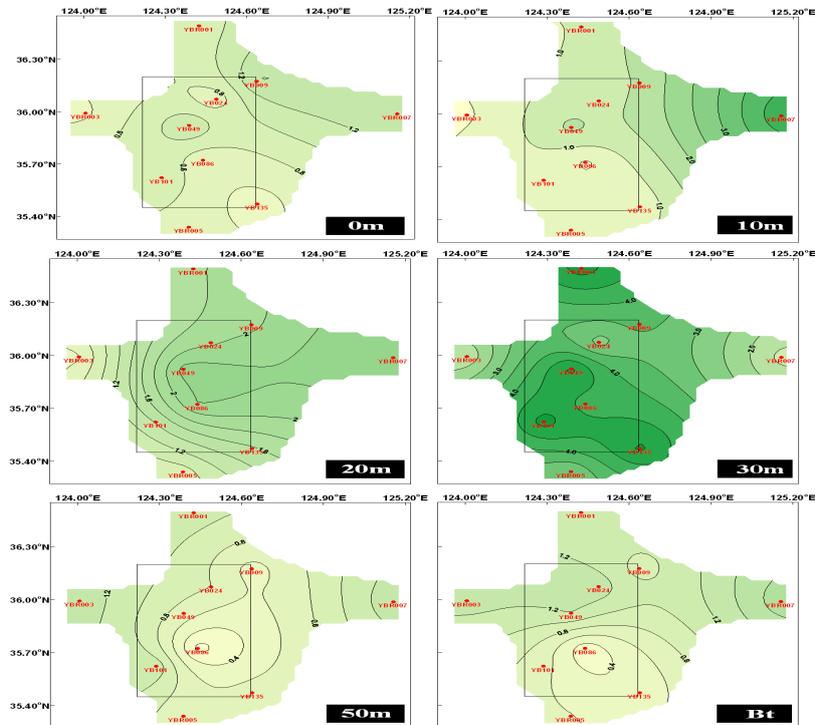


그림 2-6-38. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 클로로필 *a*의 수평분포

2) 일차생산력

2012년 5월에 서해병해역에서 기초생산조사를 총 7개 정점에서 실시하였으며 배출해역 내 YB009, YB024, YB049, YB086, YB101 총 5개 정점과 대조해역으로 서해병해역의 북부에 위치한 YBR001과 남부에 위치한 정점 YBR005를 선정하여 조사하였다. 조사 시 Secchi depth는 7~12m 내외로 나타났으며 YB049에서 투과도가 가장 낮게 나타났고, 나머지 정점은 10m 이상의 수심을 나타냈으며 최고 투과수심은 YB024, YB086에서 나타났다(표 2-6-9). 유광층의 서해병해역 내의 중앙해역에서 다소 깊게 나타났다.

표 2-6-9. 2010년 5월조사시 동해정해역의 수층별 일차생산량.

	Station	Light	Depth	P.P.	P ^B	Int P.P.		
		(%)	(m)	(mgC m ⁻³ h ⁻¹)	(mgC mgchl- <i>a</i> hr ⁻¹)	(mgC m ⁻² h ⁻¹)	(mgC m ⁻² day ⁻¹)	
2012년 05월 11일	YB009	100.0	0	106.230	75.141	1,190.423	1,1926.137	
		49.9	4	113.447	71.593			
		Secchi	30.0	7	108.948			105.068
		10.5	14.5	12	2.047			1.299
		(11:00~ 15:20)	3.5	21	11.860			6.073
		1.0	28	3.415	0.929			
	YB024	100.0	0	74.629	114.737	964.606	1,1557.852	
		49.9	5	70.908	73.824			
		Secchi	30.0	8	49.077			58.514
		12	14.5	14	25.674			16.224
(14:00~ 18:00)		3.5	24	6.289	2.296			
	1.0	33	2.735	1.612				
2012년 05월 12일	YB049	100.0	0	101.493	84.558	998.951	1,5869.645	
		49.9	3	90.256	104.743			
		Secchi	30.0	5	77.584			67.949
		7	14.5	8	79.041			43.902
		(8:50~ 13:00)	3.5	14	14.591			8.922
		1.0	19	1.014	0.447			
	YB086	100.0	0	63.408	100.512	1,672.183	1,5507.253	
		49.9	5	77.545	60.184			
		Secchi	30.0	8	78.766			61.107
		12	14.5	14	76.208			44.035
(11:20~ 14:50)		3.5	24	18.798	3.912			
	1.0	33	19.958	20.128				

표 2-6-9. (계속)

	Station	Light	Depth	P.P.	P ^B	Int P.P.	
		(%)	(m)	(mgC m ⁻³ h ⁻¹)	(mgC mgchl-a hr ⁻¹)	(mgC m ⁻² h ⁻¹)	(mgC m ⁻² day ⁻¹)
2012년 05월 12일	YB101	100.0	0	66.778	68.803	755.173	6,303.567
		49.9	4	60.411	83.861		
	Secchi	30.0	6	61.862	59.208		
	9	14.5	10	36.275	36.546		
	(13:00~ 17:00)	3.5	18	4.374	3.730		
		1.0	24	0.039	0.021		
2012년 05월 11일	YBR001	100.0	0	115.435	132.306	1,287.590	1,2993.303
		49.9	4	105.493	171.310		
	Secchi	30.0	6	81.480	132.316		
	9	14.5	10	66.740	62.289		
	(7:15~ 13:00)	3.5	18	11.083	6.303		
		1.0	24	4.347	1.193		
2012년 05월 12일	YBR005	100.0	0	54.900	76.220	573.271	6,607.485
		49.9	4	59.019	96.689		
	Secchi	30.0	7	43.306	62.071		
	10	14.5	11	2.239	0.746		
	(16:00~ 19:10)	3.5	20	7.027	11.183		
		1.0	27	6.838	1.150		
min			0	0.039	0.021	573.271	6303.567
max			33	115.435	171.310	1672.183	15869.645
average			11	49.085	50.801	1063.171	11537.892

본조사시 정점별 단위시간 단위체적당 최대 생산성은 0.039(YB101, 1% LPD)~115.135(YBR 001 100% LPD)mgC m⁻³ h⁻¹ 범위로 평균은 49.085mgC m⁻³ h⁻¹로 나타났다. 최대치는 남부해역의 대조구에서 나타났으며 표층에서 가장 높게 나타났다(그림 2-6-39). 같은 날 조사한 YB009도 광 투과도가 49.9%로 나타난 4m 수심에서 113.447mgC m⁻³ h⁻¹로 높게 관찰되었다. 대체로 오전 8시 경에 채수하여 배양한 정점 YB009, YBR001에서는 투과도가 100%인 표층에서 매우 높은 값을 보였으며 전반적으로 광량이 49.9%인 수심에서 생산력이 다소 높게 나타나거나 표층과 유사하게 나타났다. 광투과도가

14.5% 이하인 10m 이상의 수심에서 생산력이 급격히 감소하여 나타난 것은 광량의 감소에 기인한 것으로 보인다.

단위 엽록소량에 대한 정점별 최대 생산성(chlorophyll normalized productivity)은 0.021(YB101, 1% LPD)~171.310(YBR001, 49.9% LPD) mgC mg Chl a⁻¹ h⁻¹ 범위를 보였고 평균 50.801mgC mg Chl a⁻¹ h⁻¹ 를 나타냈다. 단위 엽록소량에 대한 생산성은 YB024와 YB086해역에서만 표층에서 최대생산력을 보여 엽록소 a가 다소 낮게 나타났으나 생산력은 표층에서 최대값을 보였다. 반대로 엽록소 a가 표층에서 다소 높게 나타났으나 생산력이 낮은 값을 보여 투과도가 49.9%에서 높게 나타난 정점은 YB049, YB101, YBR001이었으며, 나머지 YB009, YBR005는 엽록소 a와 일차생산력과 상관성이 높게 나타나 유사한 형태의 생산력을 보였다.

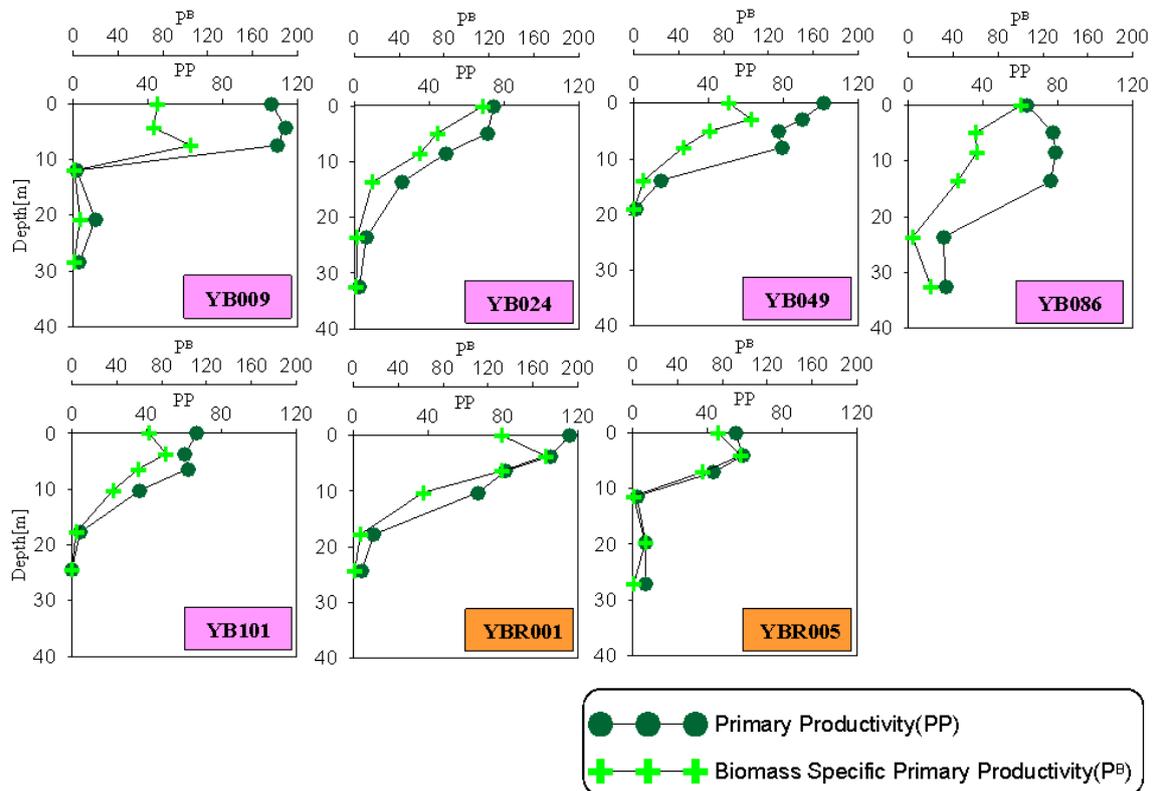


그림 2-6-39. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 일차생산력의 연직분포

유광층(1% LPD까지)의 일차생산력을 수층적분한 단위시간당 생산성은 573.271(YBR005) ~ ,672.183(YB086)mgC m⁻² hr⁻¹ 범위를 보였으며 평균 1,063.171mgC m⁻² hr⁻¹을 나타냈다. 시간당 일차생산성은 배출해역 내 중앙 하부에 YB086에서 가장 높게 나타났으며 북부해역의 YB049와 대조구 YB001에

서도 매우 높게 나타나 이를 제외한 나머지 정점은 평균치 이하를 보였다. 특히 남부해역의 YB101과 대조구 YBR005는 다른 해역보다 매우 낮은 생산력을 보였다(그림 2-6-40). 또한 일일 일차생산성은 6,303.567(YB101) ~ 15,869.645(YB049)mgC m⁻² d⁻¹ 범위를 보였으며 평균 11,537.892mgC m⁻² d⁻¹을 나타냈다. 일일 일차생산성은 배출해역 중앙에 위치한 YB049에서 최대값을 보였으며 단위시간당 생산성에서 최대값을 보인 YB086에서도 매우 높게 나타났다. 최소치는 남부해역에 YB101에서 나타났으며 대조구 YBR005에서도 평균치 이하로 매우 낮은 생산력을 보였다(그림 2-6-41).

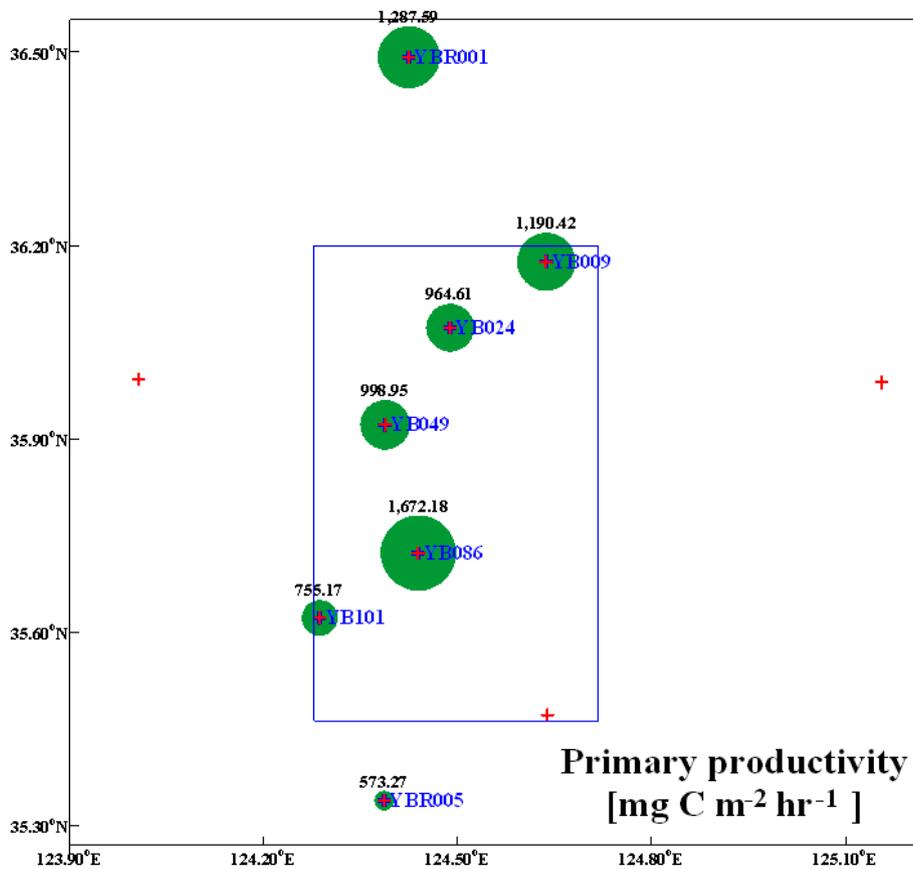


그림 2-6-40. 2012년 5월조사시 서해병해역의 일차생산력을 수층적분한 단위 시간당 생산성 분포.

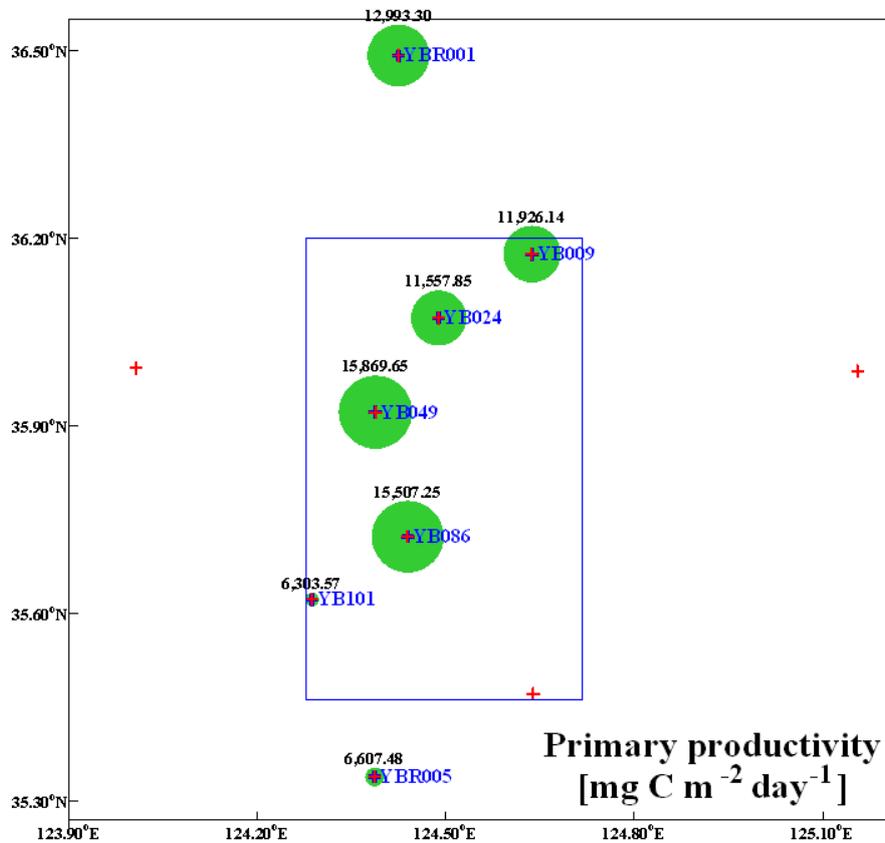


그림 2-6-41. 2012년 5월조사시 서해병해역의 일차생산력을 수층적분한 일일 일차생산성 분포.

3) 생체형광

식물플랑크톤의 광합성능력을 평가하고자 DCMU 사용 전(in vivo; F)과 후(Fd: FDCMU)의 형광차이를 나타낸 결과 생체형광 F는 2.57~19.70(평균 6.45)의 범위를 나타냈고, Fd-F는 3.37~30.90(평균 9.14) 범위를 보였다. F의 최대값은 YB135의 30m에서 나타났고, Fd-F의 최대값은 정점 YBR001의 30m에서 나타났다. 수직분포는 대체로 30m 수심에서 급격하게 증가하고 수심이 깊어질수록 급격히 감소하였으나 YB024와 대조구 YBR003, YBR005에서는 30m 수층에서 약간 높은 농도를 보이고 전체 수심에서 형광차이를 크게 보이지 않았다. 또한 연안과 인접한 YBR007은 10m 수심에서 최대값을 보였다(그림 2-6-42). 수층별 수평분포는 F의 경우 20m 이하의 얇은 수심은 북동부해역에서 높은 값을 보였고 30m 수심은 YB024를 제외하고 배출해역내에서 매우 높고 북부해역의 대조구 YBR001에서도 높게 관찰되 식물체의 광합성능력이 매우 높게 나타났다. 50m 이상의 깊은 수심은 서부해역에서 다소 높

게 나타났으나 다른 해역과 큰 차이를 보이지 않았다(그림 2-6-43). Fd-F도 마찬가지로 20m이하의 얇은 수심에서는 YB049를 포함하여 북동부해역에서 높고 30m 수심도 F와 마찬가지로였으나 특히 YB049에서 매우 높은 농도를 보였고 50m 수심은 서부해역에서 다소 높게 나타났다(그림 2-6-44).

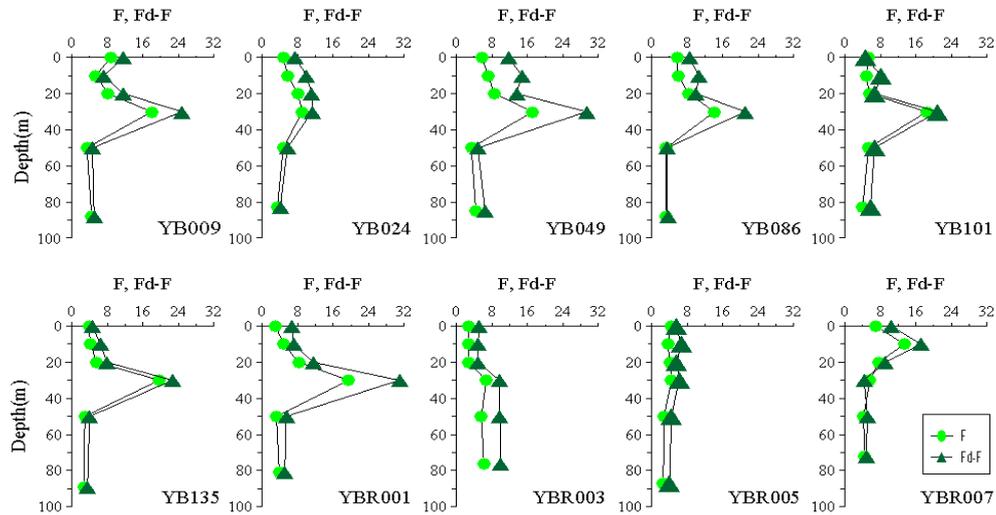


그림 2-6-42. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 F의 정점별 수직분포

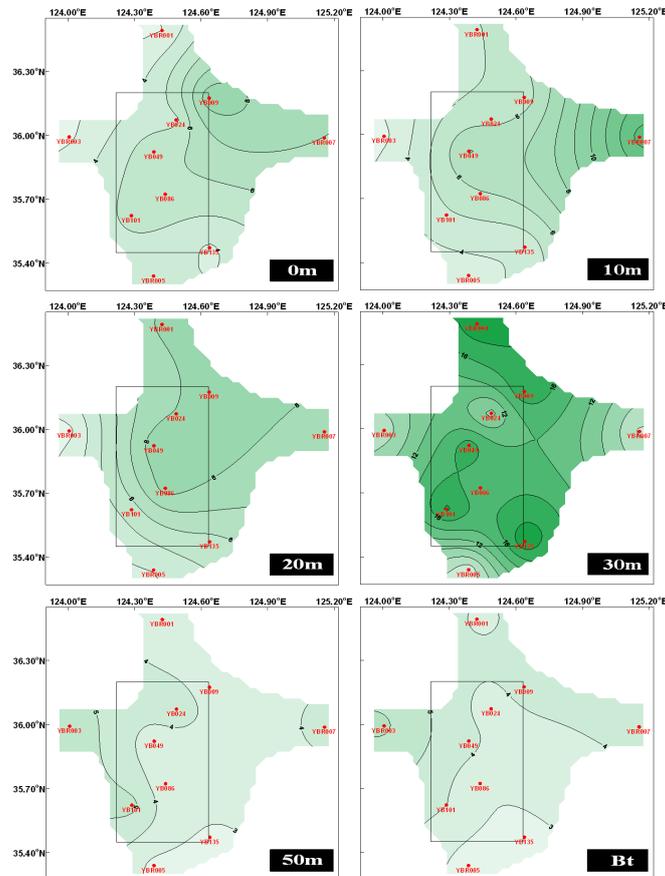


그림 2-6-43. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 F의 수평분포

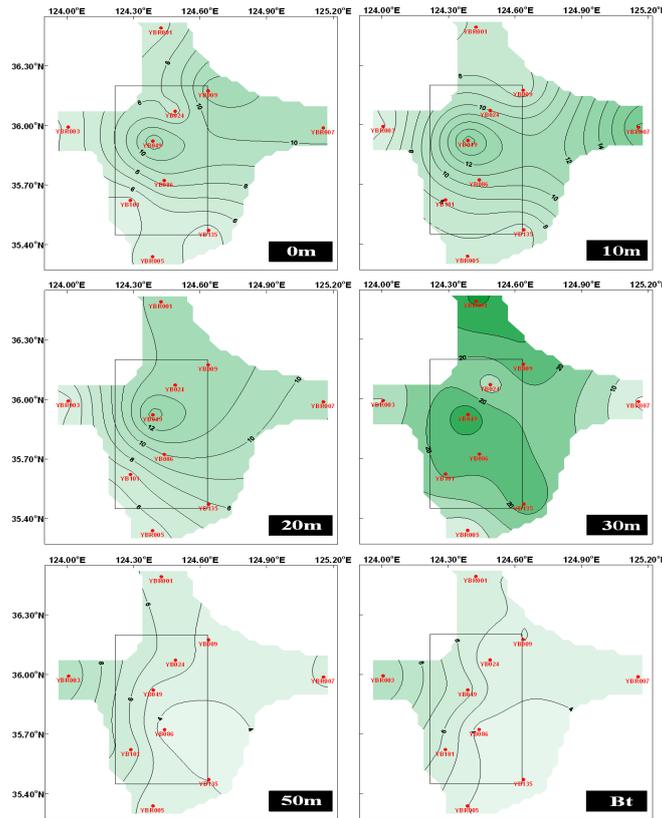


그림 2-6-44. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 Fd-F의 수평분포

광합성 생물량의 지시자인 chlorophyll *a*와 생체형광과의 상관관계를 살펴본 결과 생체형광 F와는 $R^2=0.88$ 로 가장 높게 나타났고, DCMU 첨가후의 형광 Fd는 $R^2=0.84$, DCMU 사용전과 후의 차인 Fd-F는 $R^2=0.79$ 순으로 상관관계가 높게 나타났다(그림 2-6-45). 또한 광합성활성도를 나타내는 FRI는 클로로필 *a*가 낮은 값을 보인 YBR007의 30m에서 FRI가 0.4를 보였을 뿐 대체로 0.5이상의 양호한 값을 보였다.

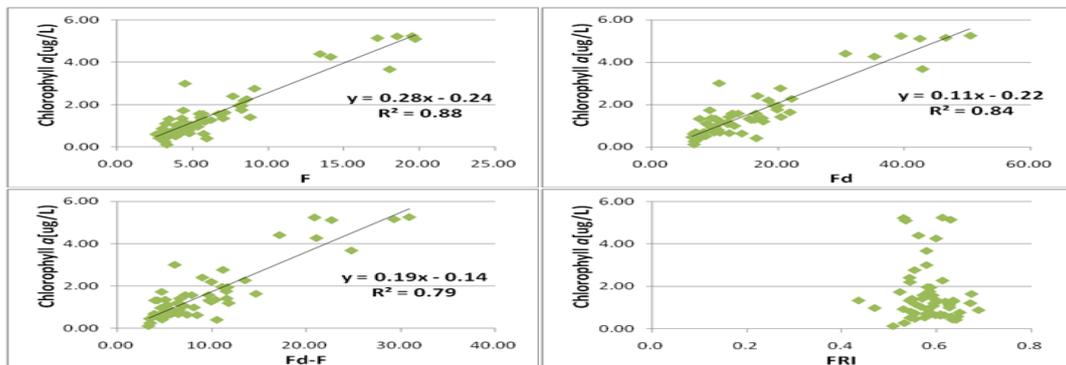


그림 2-6-45. 서해병해역의 엽록소 *a*와 생체형광(in vivo fluorescence; F), DCMU 첨가 후 생체형광 (DCMU fluorescence; FDCMU), DCMU 사용전과 후의 차 Fd-F, FRI 사이의 상관관계.

4) 생체형광지수

식물플랑크톤의 상대적인 광합성 활성도를 나타내는 형광반응지수를 나타내는 형광반응지수(FRI; Fluorescence Response Index) 값은 0.6 이상일 경우 일반적으로 매우 높은 광합성 활성도를 지시하며, 0.25 이하의 낮은 값은 식물플랑크톤이 생리적으로 심한 스트레스를 받고 있음을 나타낸다. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 형광반응지수는 0.43~0.69(평균 0.58) 범위를 나타냈으며, 최대값은 정점 YBR001의 표층에서 나타났고 최소값은 YBR007의 30m수심에서 나타났다. 대체로 연안에 인접한 YBR007에서만 낮은 값을 보이고 전 수층에서 평균 0.6을 나타내 매우 높은 광합성 활성도를 나타냈다(그림 2-6-46).

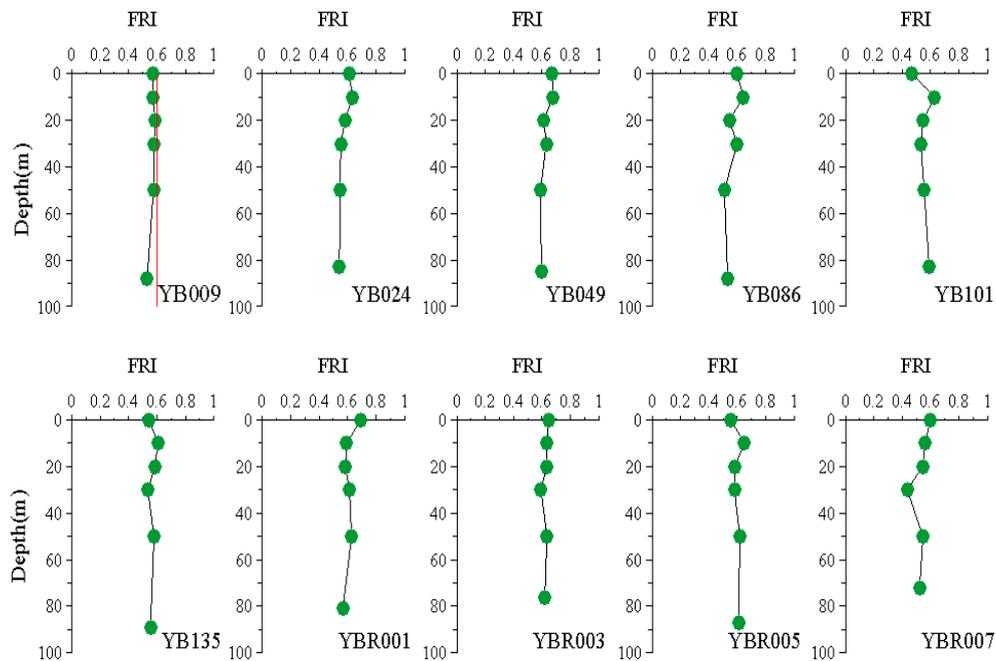


그림 2-6-46. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 FRI의 정점별 수직분포

50m 이상의 수심을 제외하고 배출해역의 북부와 중앙해역에서 높은 값을 보였고 배출해역 내에서는 생물량이 가장 많이 발견된 YB086에서 다소 낮은 값을 보였으나 이 또한 0.6의 높은 값을 지시한다(그림 2-6-47).

대조구는 서부와 북부해역에서 높은 값을 보였다.

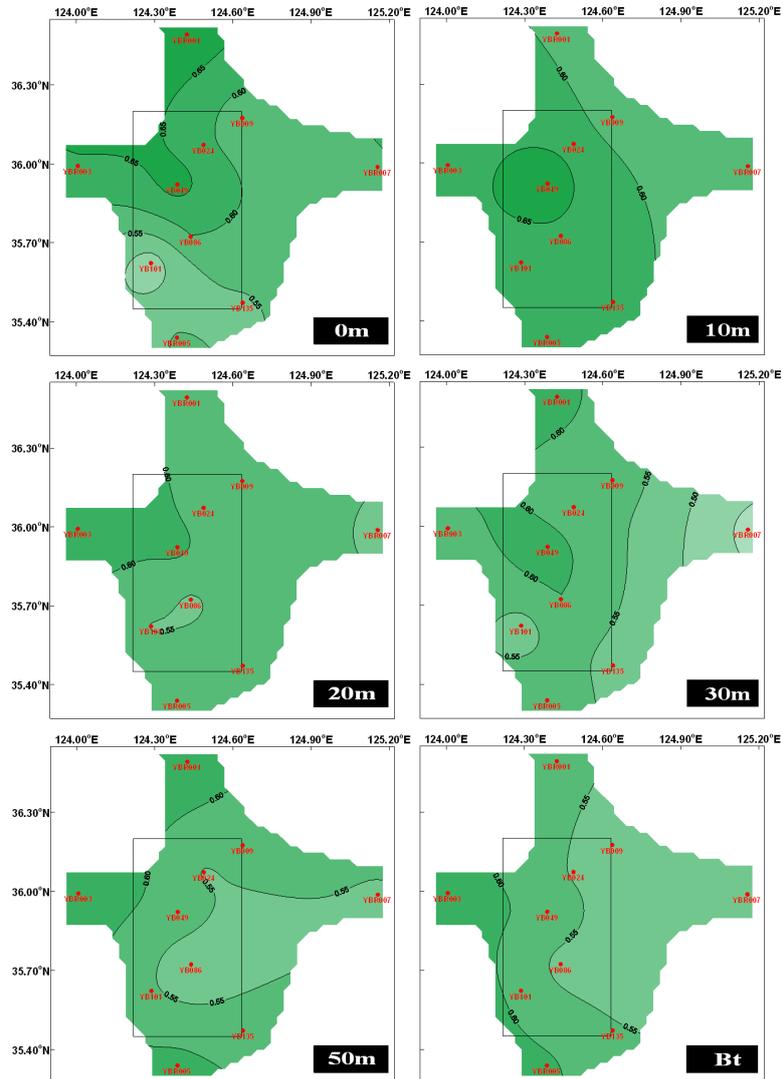


그림 2-6-47. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 FRI의 수층별 수평분포

전반적으로 생리건강상태조사를 위한 결과값을 과거 자료와 비교한 결과 클로로필 *a*의 농도는 본 조사 시기에 가장 높게 나타났으며 2011년 6월 여름철 조사보다 2배가량 높게 나타났다. 2005년 5월과는 20m수심을 제외하고 2배 이상 본조사시 높은 농도를 보여 봄철 대증식을 확인할 수 있었다. 생체형광 지수도 본 조사 시기에 가장 높은 평균농도를 보였으며 0.56 이상으로 나타나 봄철 대증식에도 가장 생물의 활성도가 좋은 조건이었음을 알 수 있었다. 또한 저층에서도 다른 조사시기보다 높은 값을 보였다(표 2-6-10).

표 2-6-10. 2005년부터 현재까지의 서해병해역의 엽록소 a, 생체형광지수의 표층과 저층의 평균농도 비교

		2005. 5	2008. 7	2011. 6	2012. 5
Chl-a ($\mu\text{g/L}$)		0.051-1.630 (0.400 \pm 0.31)	0.019-0.770 (0.369 \pm 0.20)	0.03-1.12 (0.52 \pm 0.25)	0.509-1.414 (0.889 \pm 0.33)
	10m	0.168-1.810 (0.553 \pm 0.363)	0.219-0.661 (0.457 \pm 0.125)	0.237-1.325 (0.613 \pm 0.27)	0.411-4.401 (1.322 \pm 1.16)
	20m	0.292-3.611 (1.007 \pm 0.638)	0.188-0.644 (0.482 \pm 0.105)	0.269-2.919 (1.006 \pm 0.47)	0.572-2.404 (1.701 \pm 0.60)
	30m	0.484-3.320 (1.473 \pm 0.641)	0.243-0.641 (0.499 \pm 0.081)	0.680-3.188 (1.865 \pm 0.66)	1.329-5.250 (3.735 \pm 1.51)
		0.068-0.930 (0.344 \pm 0.18)	0.028-0.988 (0.382 \pm 0.24)	0.032-1.325 (0.696 \pm 0.34)	0.260-1.729 (0.949 \pm 0.45)
FRI		0.127-0.725 (0.436 \pm 0.14)	0.42-0.63 (0.54 \pm 0.05)	0.42-0.66 (0.56 \pm 0.07)	0.47-0.69 (0.60 \pm 0.07)
	10m	0.219-0.661 (0.457 \pm 0.125)	0.47-0.63 (0.57 \pm 0.03)	0.43-0.66 (0.58 \pm 0.06)	0.56-0.67 (0.62 \pm 0.04)
	20m	0.188-0.644 (0.482 \pm 0.105)	0.42-0.60 (0.55 \pm 0.03)	0.41-0.63 (0.57 \pm 0.05)	0.54-0.63 (0.56 \pm 0.03)
	30m	0.243-0.641 (0.499 \pm 0.081)	0.39-0.57 (0.50 \pm 0.041)	0.43-0.63 (0.56 \pm 0.05)	0.43-0.63 (0.56 \pm 0.06)
		0.022-0.670 (0.278 \pm 0.16)	0.03-0.37 (0.23 \pm 0.08)	0.27-0.54 (0.40 \pm 0.07)	0.52-0.62 (0.57 \pm 0.04)

라. 표영생태계 유해물질 위해성 평가

1) 유해물질 농도 조사

가) 수질평가지수(Water Quality Index)

서해병해역의 수질평가 지수를 나타내기 위해 우선 생태구역을 정하였다. 서해병해역과 가장 인접한 서해중부 생태구를 적용하여 기준값을 표 2-6-11에 따라 엽록소 a는 $2.2\mu\text{g/L}$, 저층용존산소포화도는 90%, DIN, DIP는 각각 427, $31\mu\text{g/L}$, 투명도는 0.9m로 정하여 항목별 점수에 따른 농도범위를 표 2-6-10에 나타냈다.

서해병해역의 항목별 점수는 투명도는 7~12m로 1점, 영양염 DIN은 12.8~179.3(평균 65.7) $\mu\text{g/L}$, DIP는 0.0~25.3(평균 8.8) $\mu\text{g/L}$ 로 1점을 얻었다.

저층 용존산소포화도는 86~93(평균 88)%로 최대값을 얻은 동부해역의

YBR007를 제외하고 나머지 해역은 2점을 받았다. 또한 클로로필 *a*는 0.1~5.2(평균 1.6) $\mu\text{g/L}$ 로 낮은 평균을 보였으나 생물량이 많이 관찰된 30m 수심에서 대부분의 정점이 3.3 $\mu\text{g/L}$ 를 초과하여 5점을 얻었으며 YBR007은 10m에서 5점을 얻었다. 그리고 YB024, YBR005는 30m 수심에서 2.75 $\mu\text{g/L}$ 이상으로 4점으로 나타났고 이를 제외한 모든 정점의 수심은 2.2 $\mu\text{g/L}$ 이하로 1점으로 나타났다.

표 2-6-11. 서해중부 생태구를 적용한 항목별 점수표

	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	DO (%)	DIN ($\mu\text{g/L}$)	DIP ($\mu\text{g/L}$)	(m)
	2.2	90	427	31	0.9
1	2.2	90	427	31	0.9
2	2.42	81.00	469.70	34.10	0.81
3	2.75	67.50	533.75	38.75	0.68
4	3.30	45.00	640.50	46.50	0.45
5	3.30	45	640.50	46.50	0.45

항목별 점수를 적용하여 수질평가 지수QWI를 구한 결과 20~42(평균 30.8)로 나타났다. 수질평가 지수를 이용하여 표 2-6-11의 환경정책 기본법 시행령의 별표 1의 생태기반 해수수질 기준(표 2-6-12)을 적용한 결과 서해병 해역은 I(매우 좋음)~III(보통)등급으로 나타났다. I 등급을 보인 해역은 YBR007로 식물플랑크톤이 높게 나타난 10 m에서 II 등급을 보이고 전체 수심에서 I(매우 좋음)등급으로 나타났다. 그리고 III등급의 보통해역으로 나타난 30m를 제외하면 모든 해역에서 II등급의 “좋음” 해역으로 나타났다.

표 2-6-12. 해역 환경기준(환경정책기본법시행령별표)

1)

	(pH)	(/100mL)	(mg/L)
	6.5 ~ 8.5	1,000	0.01

2)

	가 (Water Quality Index)
I ()	23
II ()	24 ~ 33
III ()	34 ~ 46
IV ()	47 ~ 59
V ()	60

3)

(: µg/L)

						(6가)
*	3.0	7.6	34	9.4	19	200
**	1.2	1.6	11	3.4	2.2	2.8

* : 1

** : ()

4)

		(mg/L)		(mg/L)
	6가 (Cr6+)	0.05	- (PCB)	0.0005
		0.05		0.02
	(Cd)	0.01		0.06
	(Pb)	0.05	1.1.1-	0.25
	(Zn)	0.1		0.1
	(Cu)	0.02		0.01
	(CN)	0.01		0.03
	(Hg)	0.0005		0.02
				0.01
				0.005
			(ABS)	0.5

나) 총유기탄소(TOC)와 용존성유기탄소(DOC)

2012년 5월 조사시 총유기탄소는 3.868~12.010mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 6.704mg/ℓ 로 나타났다. 가장 낮은 농도는 YBR003의 30m층에서 보였고 최고 농도는 정점 YBR007의 수심 30m에서 나타났다(그림 2-6-48).

전반적으로 남부와 동부의 대조구를 제외하고 수심에 따른 농도변화는 수온약층의 일부 수층에서 매우 높은 농도를 보이고 깊은 수심에서 높은 농도를 보이기도 하였으나 10m이하의 수층과 큰 차이를 보이지 않았다.

총유기탄소의 표층 농도 범위는 4.208~9.878(평균 6.485)mg/ℓ 를 나타냈고 배출해역에서는 4.208~9.878(평균 6.584)mg/ℓ 범위이며, 대조구해역에서는 4.964~9.692(평균 6.337)mg/ℓ 로, 배출해역에서 높은 농도를 보이고 대조구는 남부해역에서 높게 나타났다.

저층의 농도는 4.484~10.692(평균 6.681)mg/ℓ 로, 배출해역에서는 4.484~8.840(평균 6.658)mg/ℓ 를 보였고 대조구해역에서는 4.694~10.692(평균 6.715)mg/ℓ 로 표층과 달리 대조구에서 높은 농도를 보였다.

조사해역의 수평분포는 배출해역내에서는 1~20m 수심까지는 북부해역의 YB024에서 높은 농도를 보인 반면 저층으로 갈수록 YB049와 YB135에서 높은 농도를 보였다. 대조구는 서부와 남부해역에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-49).

용존성 유기탄소는 0.130~7.982mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 3.437mg/ℓ 로 나타났다. 가장 낮은 농도는 YBR003의 표층에서 보였고 최고 농도는 정점 YBR005의 저층에서 나타났다.

용존성유기탄소의 수직분포는 배출해역 중앙에 위치한 YB049, YB086과 대조구 YBR005에서만 표층에서 저층으로 갈수록 농도가 증가하였으며 총용존성유기탄소와 마찬가지로 수온약층이 나타난 수심에서 최대값을 보이기도 하였다. 이를 제외한 나머지 정점은 수심에 따른 농도차이는 크게 나타나지 않았다(그림 2-6-50).

표층 농도 범위는 0.130~6.840(평균 3.177)mg/ℓ 를 나타냈고 배출해역에서는 2.642~6.840(평균 3.871)mg/ℓ 범위이며, 대조구해역에서는 0.130~4.152(평균 2.137)mg/ℓ 로 배출해역에서 매우 높은 농도를 보였다. 저층의 평균농도는 1.030~7.982(평균 4.009)mg/ℓ 로 배출해역에서는 2.806~5.756(평균 3.873)mg/ℓ, 대조구에서는 1.030~7.982(평균 4.213)mg/ℓ 로 총유기탄소와 마찬가지로 대조구에서 높은 농도를 보였다. 20m와 저층을 제외하면 평균 농도는 배출해역

에서 높게 관찰 되었다(그림 2-6-51).

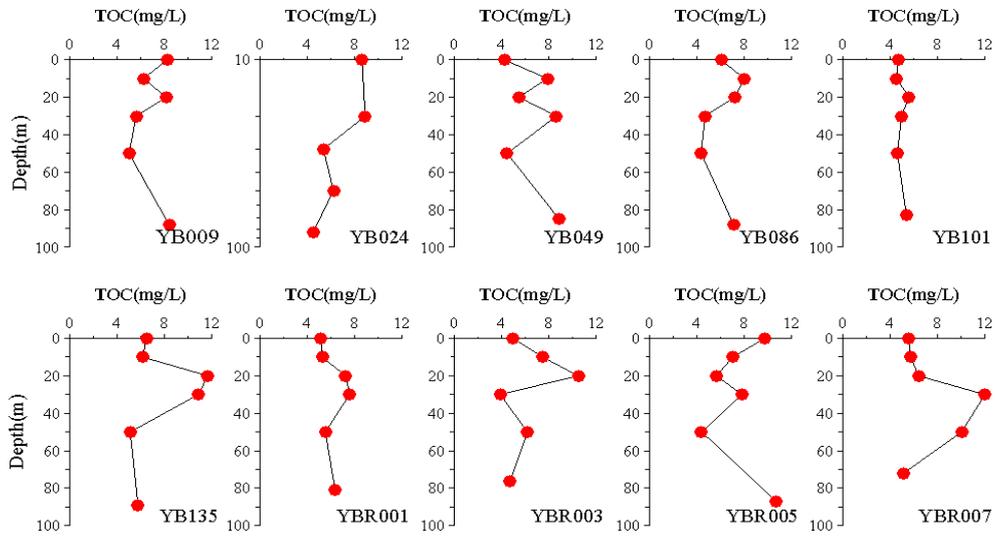


그림 2-6-48. 2012년 5월조사시 서해병해역 총유기탄소의 정점별 수직분포

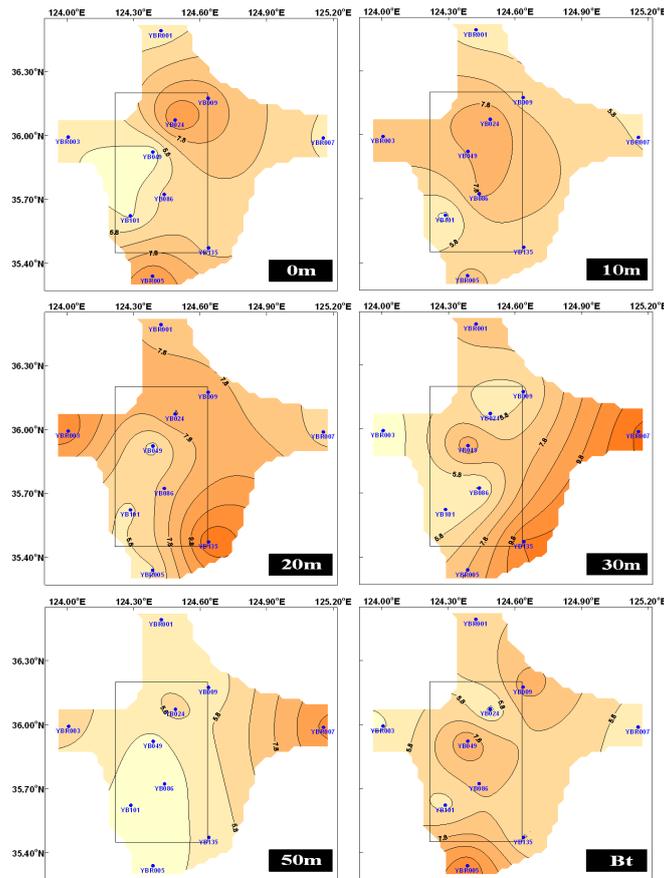


그림 2-6-49. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 총유기탄소의 수평분포

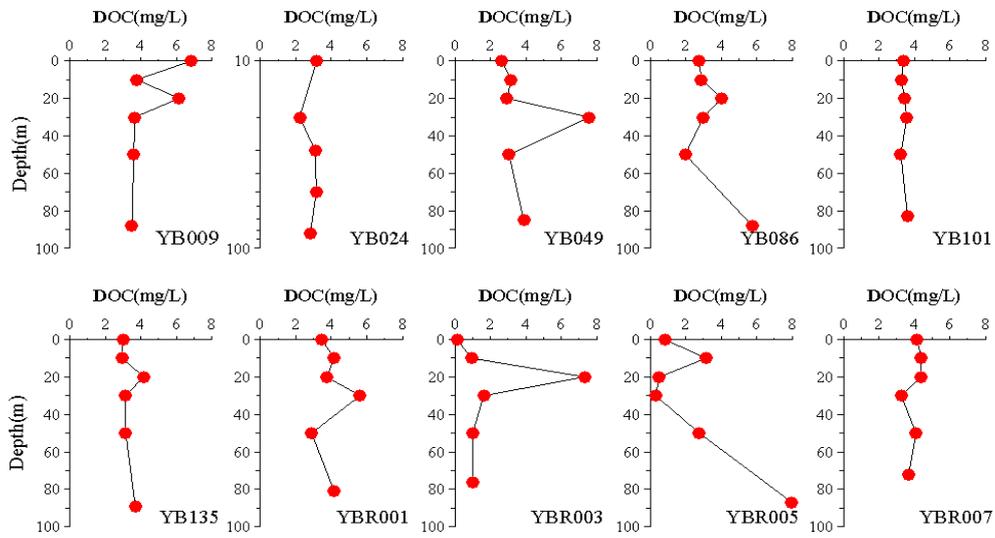


그림 2-6-50. 2012년 5월조사시 서해병해역 용존성유기탄소의 정점별 수직분포

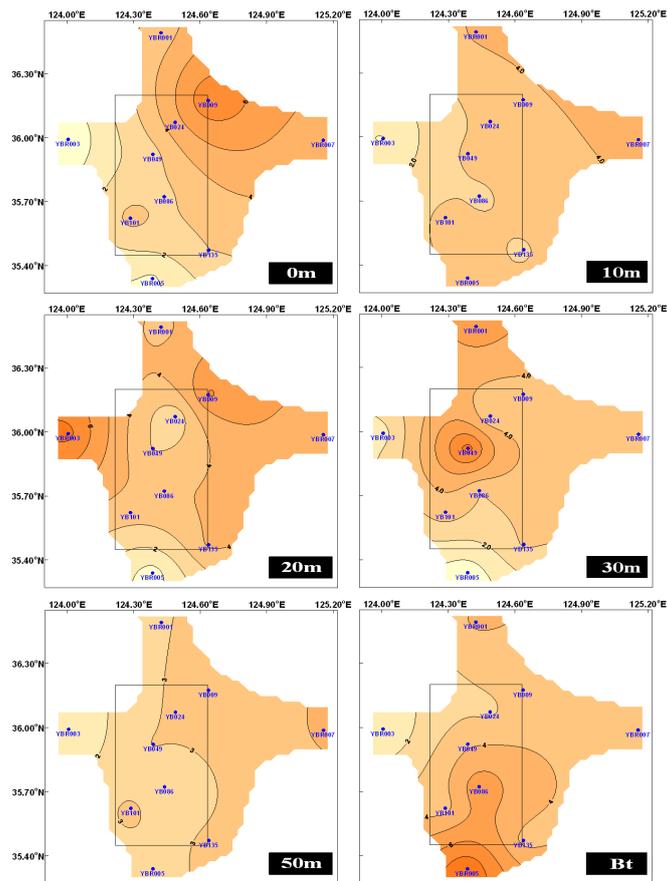


그림 2-6-51. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 수층별 용존성유기탄소의 수평분포

다) 화학적 산소 요구량

본 조사에서는 과거자료와 비교를 위해 기존의 오염물 지표인 COD, TN, TP를 분석하여 나타냈다.

2012년 5월조사시 화학적 산소요구량의 농도범위는 0.40~3.60(평균 1.27) mg/ℓ로 나타났고 표층에서 저층으로 갈수록 다소 높은 값을 보였다(그림 2-6-52).

표층에서 30m 수심까지의 평균 농도는 1.12~1.28mg/ℓ, 50m와 저층은 평균 1.40mg/ℓ로 나타났다. 배출해역과 대조구는 표층과 10m수심을 제외하고 대조구에서 각 수층별로 평균농도가 높게 나타났다.

전반적으로 배출해역 중앙의 YB086, YB101에서 높은 농도를 보였고 대조구는 남부해역의 YBR005에서 높게 나타났다(그림 2-6-53).

화학적산소요구량의 해역 생활환경기준은 북부해역의 YB009, YB024는 I 등급, 남부해역의 대조구 YBR005의 50m에서 III등급을 보이고 나머지 해역은 I~II 등급을 보였다(표 2-6-12).

과거 2005년부터 조사한 자료와 비교한 결과 2011년 6월보다 표층과 저층 모두 높은 농도를 보였으나 다른 조사시기보다 본조사시기에 전반적으로 낮은 농도를 보였으나 그러나 저층에서는 2008년 7월 조사를 제외하면 매우 높은 농도를 나타냈다(표 2-6-13).

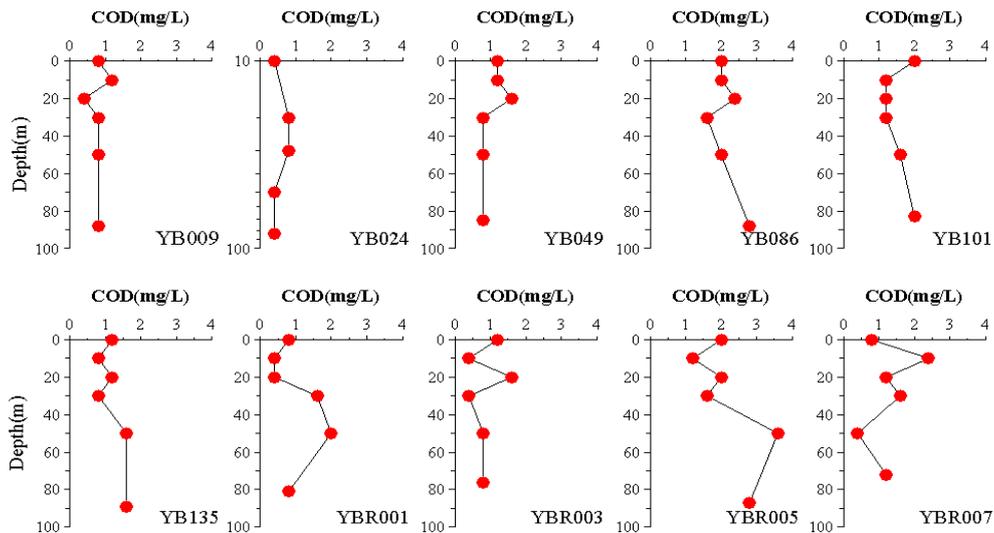


그림 2-6-52. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 화학적산소요구량의 정점별 수직분포

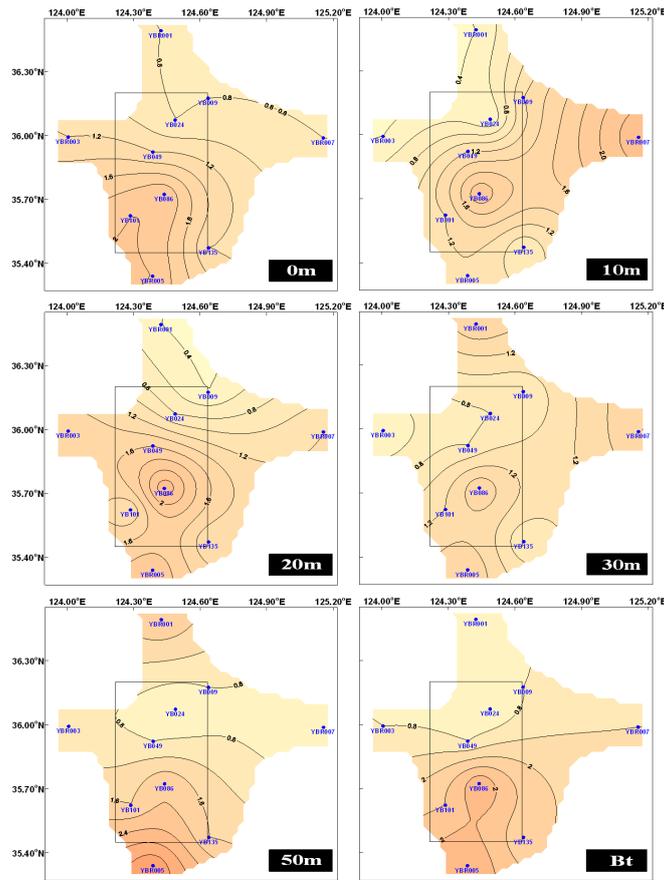


그림 2-6-53. 2010년 5월조사시 서해병해역에서 화학적산소요구량의 수층별 수평분포

라) 총 질소

2012년 5월조사시 총질소의 수직분포는 0.411~2.358mg/ℓ 범위를 보였으며 평균 0.774mg/ℓ를 나타냈다. 최소농도는 YBR001의 20, 30m 수심에서 나타났고 최대농도는 같은 정점 50m 수심에서 나타났다(그림 2-6-54). 총질소의 수직분포는 일부 정점의 수층에서 매우 높은 농도를 보인 것을 제외하면 표층과 저층의 농도차가 크지 않았으며 수평분포는 전 수층에서 배출해역 내에서 매우 낮은 농도를 보이고 표층은 서부해의 YBR003, 나머지 해역은 남부해역의 YBR005에서 높은 농도를 보이고, 북부해역의 YBR001은 50m에서 최대값을 나타냈다(그림 2-6-55). 총질소는 배출해역에서 해역수질등급의 생활환경기준 II~등급초과를 나타냈으며 배출해역 내 중앙해역과 남부해역에서 II등급을 보였고 북부해역의 YB009, YB024는 III등급을 나타냈으며 대조구는 대체로 등급을 초과하였다(표 2-6-12). 과거 2008년부터 조사한 자료와 비교한

결과 2008년 7월 조사보다는 다소 증가한 반면 2011년 6월보다는 낮은 평균을 보였다(표 2-6-13).

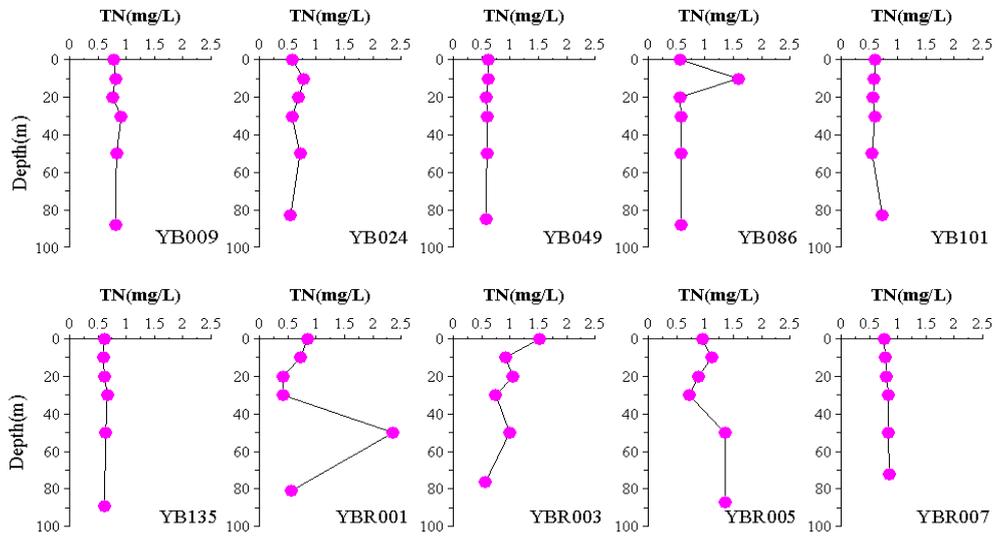


그림 2-6-54. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 총질소의 정점별 수직분포

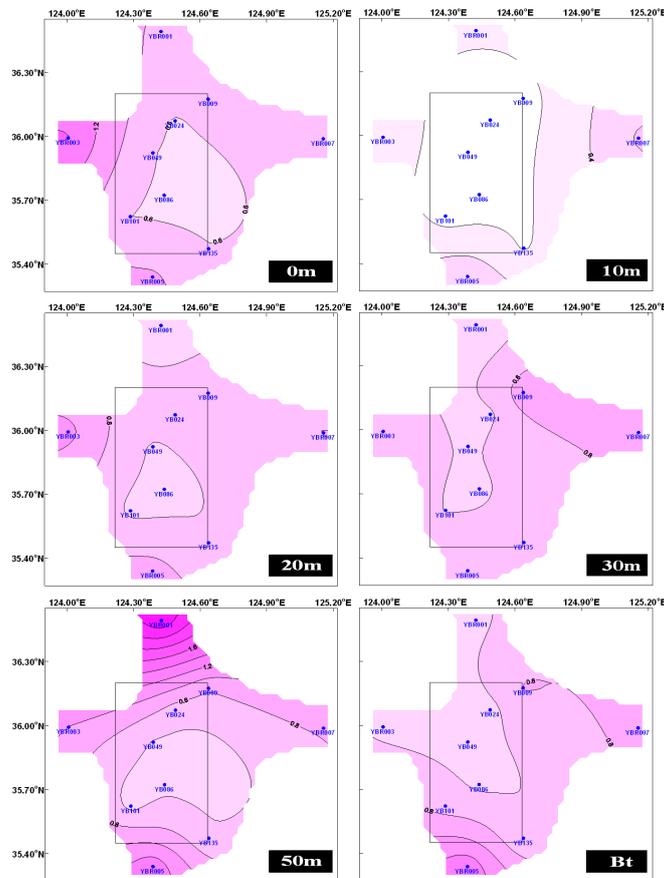


그림 2-6-55. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 총질소의 수층별 수평분포

마) 총 인

2012년 5월조사시 총인의 농도분포는 0.001~0.048mg/ℓ 범위를 보였으며, 평균 0.016mg/ℓ를 나타냈다. 최소값은 정점 YBR005의 표층, 최대값은 YBR007의 30m 수심에서 나타났다.

총인은 총질소와 달리 수심이 깊어짐에 따라 농도가 다소 증가하는 경향을 보였다(그림 2-6-56).

조사해역의 수심별 평균 농도를 보면 표층은 0.0083mg/ℓ, 10~30m에서 0.013~0.017mg/ℓ, 50m~저층까지는 0.023mg/ℓ로 나타났다.

수층별 수평분포는 배출해역 내에서 총질소가 매우 낮게 나타난 것과는 달리 각 수층별로 YB049, YB086, YB101, YB135에서 간헐적으로 높은 농도를 보여 배출해역에서 높게 나타났으며 대조구는 북부를 제외하고 나머지 해역에서 높은 농도를 보이고 특히 동부해역의 YBR007에서 전 수심에서 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-57).

해역수질등급의 생활환경기준은 YB049의 10m, YBR007의 30m, 50m 수심에서 II등급을 보이고 전 해역에서 I 등급으로 나타났다.

전반적으로 낮은 농도를 보였으나 2011년 6월 조사보다는 농도가 3배 이상 증가하였으며 2008년 7월 조사보다는 2배가량 감소한 것으로 나타났으나 조사시기가 봄철과 여름철로 차이가 있을 수 있다(표 2-6-13~14).

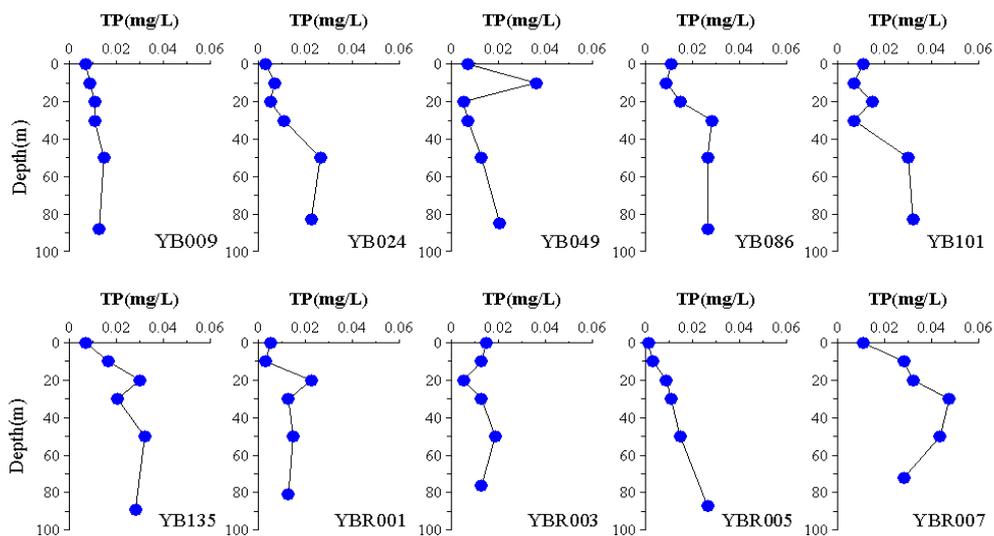


그림 2-6-56. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 총인의 정점별 수직분포

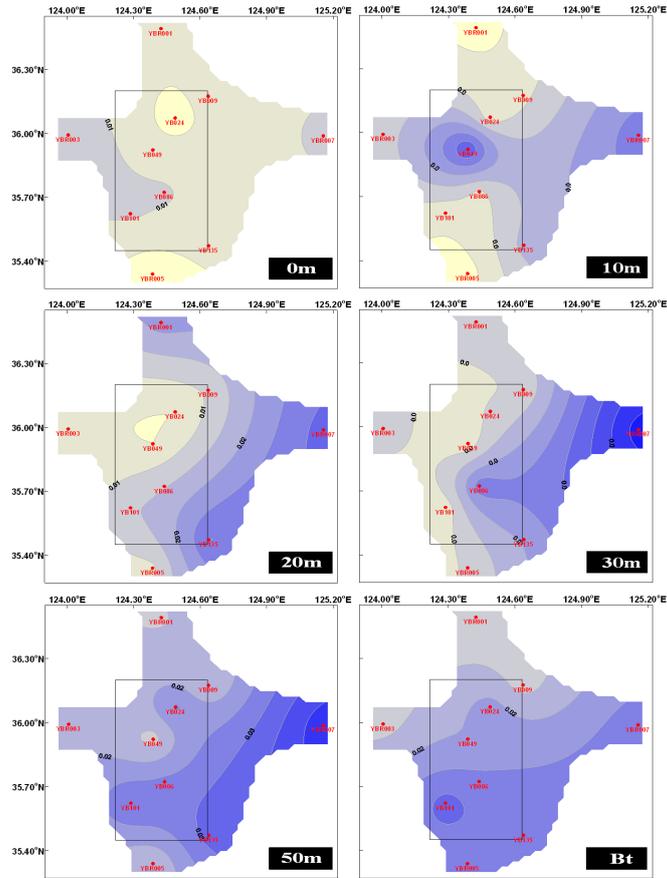


그림 2-6-57. 2012년 5월조사시 서해병해역에서 총인의 수층별 수평분포

표 2-6-13. 개정전 해역환경기준 (환경부, 2009)

<환경정책기본법 시행령 별표1; 환경기준 - 해역; 생활환경>

	(pH)	(COD) (mg/L)	(DO) (mg/L)	(MPN/ 100ml)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
I	7.8~8.3	1	7.5	1000	0.01	0.3	0.03
II	6.5~8.5	2	5	1000	0.01	0.6	0.05
III	6.5~8.5	3	2	—	—	1.0	0.09

표 2-6-14. 2005년부터 현재까지의 서해정배출해역의 화학적 산소요구량, 총 질소, 총인, 중금속, 유분, 시안, 페놀의 평균농도 비교

		2005. 5	2008. 7	2011. 6	2012. 5
COD [mg/L]		0.40-7.20 (1.91±1.24)	0.80-3.20 (1.72±0.61)	0.40-2.00 (1.23±0.45)	0.80-2.00 (1.28±0.53)
		0.03-2.15 (1.07±0.47)	0.40-2.80 (1.59±0.63)	0.40-2.00 (0.95±0.48)	0.40-2.80 (1.40±0.87)
TN [mg/L]		-	0.08-1.55 (0.47±0.37)	0.01-2.06 (0.87±0.66)	0.55-1.52 (0.78±0.29)
		-	0.36-1.55 (0.93±0.34)	0.10-2.74 (0.89±0.69)	0.55-1.35 (0.72±0.25)
TP [mg/L]		-	0.008-0.029 (0.017±0.00)	0.000-0.010 (0.003±0.003)	0.001-0.015 (0.008±0.004)
		-	0.023-0.058 (0.042±0.01)	0.003-0.012 (0.007±0.003)	0.013-0.032 (0.022±0.007)
Oil [ppb]		0.043-1.700 (0.583±0.42)	0.020-0.600 (0.233±0.17)	0.029-1.215 (0.122±0.212)	0.067-0.214 (0.106±0.043)
Phenol [mg/L]			0.001-0.006 (0.003±0.002)		0.001-0.005 (0.003±0.001)
CN [mg/L]		0.000-0.005 (0.002±0.001)	0.000-0.005 (0.002±0.000)	0.001-0.014 (0.007±0.004)	0.003-0.012 (0.005±0.003)

바) 유기독성화합물

(1) 용매추출유분

2012년 5월조사시 용매추출 유분은 0.067~0.214ppb범위를 보였으며 평균 농도는 0.106ppb를 나타냈다. 배출해역에서는 0.067~0.116(평균 0.095)ppb범위로 나타났고, 대조구에서는 0.067~0.214(평균 0.124)ppb 범위로 약간 높게 나타났다. 최대값은 서부해역의 대조구 YBR003에서 나타났고, 최소값은 배출해역내 YB024와 동부해역의 대조구 YBR007에서 나타났다(그림 2-6-58).

환경정책기본법 시행령 별표 1중 생활환경기준의 용매추출 유분 기준이 0.01mg/ℓ 이하로 본 조사해역의 측정 농도는 매우 낮은 농도였다(표 2-6-11). 과거자료와 비교한 결과 본조사시기에 매우 낮게 나타났으며 이는 과거에는 광유류 측정 방법을 사용한다 원인이 있으나 2011년 6월 같은 방법으로 조사한 농도에 비해 낮은 농도를 보였다(표 2-6-13).

(2) 시안화물

시안화합물 농도는 0.003~0.012mg/ℓ 범위를 보였으며 평균 0.005mg/ℓ를 나타냈다. 최대값은 배출해역 내 북부해역의 YB009에서 나타났으며 최소값은 YB049, YB101, YBR001, YBR003에서 관찰되어 전반적으로 시안화합물은 북

서부해역에서 낮은 농도를 보였다. 최대값을 보인 YB009를 제외하고 전 정점에 걸쳐 사람의 건강보호 기준 $0.01\text{mg}/\ell$ 를 초과하지 않았다. 2005년부터 조사한 과거 자료와 비교한 결과 2011년보다 낮은 평균을 보였으나 2005년과 2008년에 비해 본 조사 시에 약 2.5배 증가한 것으로 나타났다.

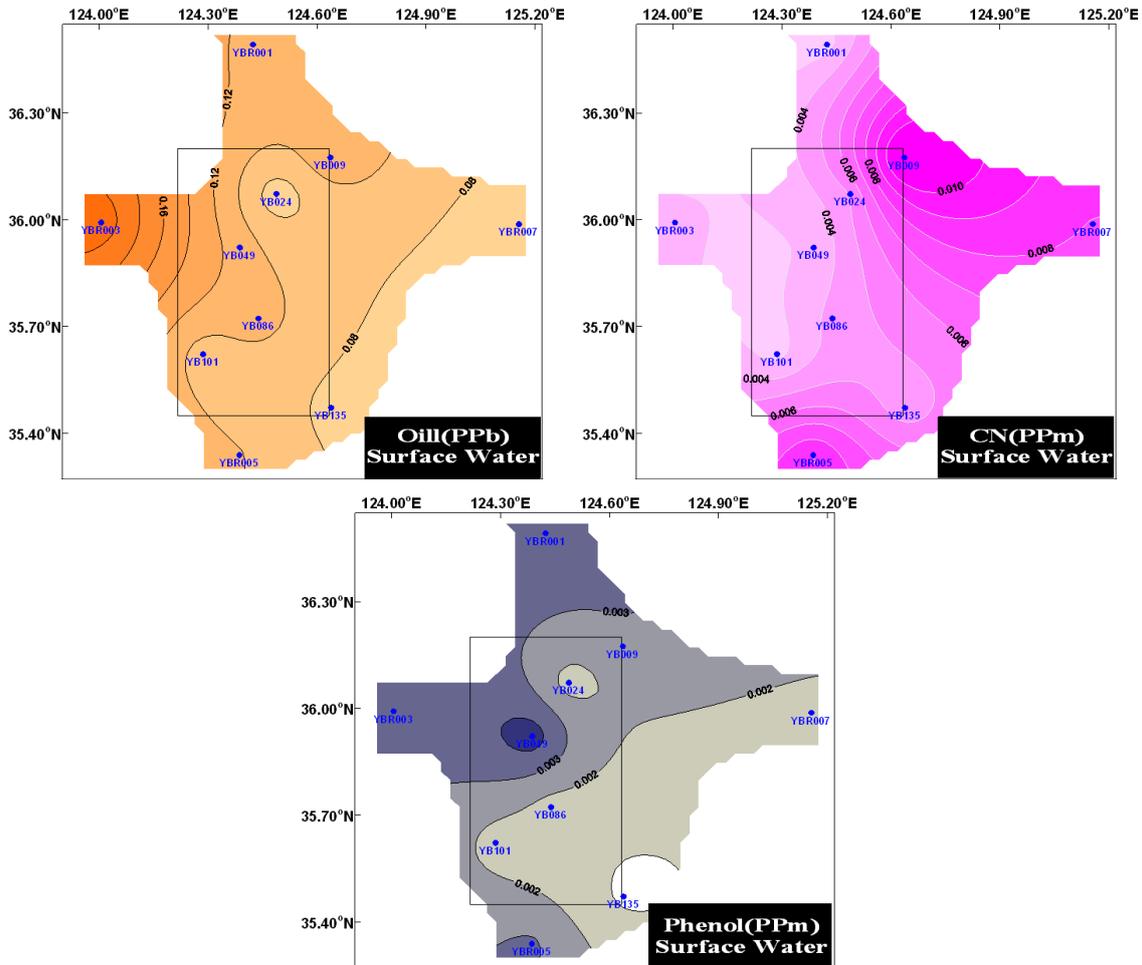


그림 2-6-58. 2012년 5월조사시 서해병해역 표층에서 용매추출유분, 시안화물의 수평분포

(3) 페놀류

페놀은 $0.001\sim 0.005\text{mg}/\ell$ 범위를 보였으며 평균 $0.003\text{mg}/\ell$ 를 나타냈다. 배출해역에서는 $0.001\sim 0.005$ (평균 0.002)ppb범위로 나타났고, 대조구에서는 $0.002\sim 0.004$ (평균 0.003)ppb 범위로 약간 높게 나타났다. 최대값은 배출해역 내 YB049에서 나타났으며 최소값은 YB135에서 관찰되유투분과 마찬가지로 남동부해역에서 낮은 농도를 보였다. 전 정점에 걸쳐 사람의 건강보호 기준 $0.005\text{mg}/\ell$ 를 초과하지 않았으나 배출해내 중앙해역에서 높은 정점이 나타나

계속적인 관찰이 필요하다. 과거 조사 자료와 유사한 농도분포를 보였으며 2008년 배출해역 중앙부의 동부해역서 기준치를 초과한 정점과 본조사시기의 기준치를 초과하지 않았으나 높은 농도를 보인 중앙해역과 유사한 해역에서 나타났다(표 2-6-13). ‘

마. 고찰

2012년 5월조사시 서해병해역의 폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태조사를 위해 해황조사와 표영생태계 일차생산자의 생산성조절에 영향을 주는 용존산소, 수소이온농도, 영양염류, 입자성유기탄소와 입자성유기질소를 측정하였고 일차생산자의 친생물 인자 중 광조절의 영향을 주는 부유물질을 측정하였다. 또한 클로로필-*a*, 생체형광, 생체형광지수와 일차 생산력을 측정하여 본조사기간의 일차생산자의 생리 건강상태를 체크하였다. 그리고 수질 평가 지수, 총유기탄소, 용존성유기탄소, 화학적산소요구량, 총질소, 총인과 유기화합물인 유분, 시안, 페놀을 측정하여 유해물질로 인한 위해성평가를 실시하였다. 서해병해역의 물리특성은 수온은 6.48~14.70℃, 염분은 32.51~33.22psu 범위로 나타났으며 남서부해역에서 고온고염, 북동부해역은 저온저염을 나타냈고 수온약층과 염분약층은 10~50m에서 관찰되었다.

표영생태계 일차생산자의 친생물인자인 용존산소는 8.21~12.11(평균 9.47)mg/ℓ 범위를 보였으며 수온약층에서 용존산소의 농도가 급격히 증가하여 나타났고 저온저염을 보인 북동부해역에서 높은 농도를 보였다. 용존성 무기영양염류는 아질산염은 0.024~0.326(평균 0.118)μM, 질산염은 0.110~11.113(평균 4.525)μM, 암모니아염은 0.681~2.972(평균 1.486)μM 범위를 보였다. 표층에서 30m 수심까지 질산염은 고갈되어 매우 낮은 농도를 보였으며 50m 수심부터 급격히 농도가 증가하여 나타났다. 아질산염은 배출해역 내 남부해역의 수온약층에서 높은 농도를 보이기도 하였으나 전반적으로 낮은 값을 보였으며 암모니아염도 배출해역 내에서 영양염이 낮게 나타났으며 50m 이상의 수심에서 영양염이 증가하는 양상을 보였다. 인산염과 규산염은 각각 N.D~0.817μM(평균 0.289), 2.928~13.906(평균 9.342)μM 범위를 보였고, 질산염과 마찬가지로 수온약층까지 매우 낮은 농도를 보였으며 50m 이상의 깊은 수심에서 증가하였다. 또한 용존성 영양염은 전반적으로 배출해역 내 북부해역의 휴식년 구역에서 낮은 농도를 보였다. 영양염간의 상관성은 총용존성무기질소와 인산염과 0.97 이상의 매우 높은 상관성을 보였고 인산염과 규산염과는 0.65 이상의 상관성을 나타냈다. N/P비율은 영양염고갈로 인해

50m 이상의 저층에서만 20 이하의 값을 나타냈고 얇은 수심은 매우 높은 값을 보였다. 입자성유기탄소(POC) 0.000~0.324(평균 0.187)mg/ℓ, 입자성유기질소(PON)은 0.001~0.053(평균 0.027)mg/ℓ 범위를 나타냈으며 입자성유기탄소는 배출해역내에서는 저층에서만 농도가 다소 증가하고 50m 수심까지 농도변화가 크지 않았으며 휴식년구역의 북서부해역에서 다소 높은 농도를 보였으며 대조구는 서부를 제외하고 30m 수심에서 높은 농도를 보였다. 입자성 유기질소는 휴식년구역의 북서부해역에서 대체로 높은 농도를 보였고 남부해역에서 낮게 나타났다. 광조절 요인인 부유물질은 0.245~5.469 (1.277)mg/ℓ 범위를 보이고 표층과 저층의 휴식년구역 YB009와 YB024에서 높은 농도를 보였다.

일차생산자의 생리 건강상태는 클로로필 a , 일차생산력과 FRI로 나타낸 결과 클로로필 a 의 농도분포는 0.119~5.250(평균 1.573) μ g/ℓ 범위를 보였고 전반적으로 30m 수심에서 높게 나타났으며 대조구보다 배출해역에서 높은 농도를 보이고 다소 북부해역보다 배출해역 중앙과 남부해역에서 생물량이 높게 관찰되었다. 이는 식물플랑크톤의 광합성능력을 평가하는 Fd-F도 같은 패턴을 보였으며 식물플랑크톤의 생리적 스트레스를 나타내는 형광반응지수는 30m 수심보다는 얇은 수심에서 높은 값을 보였으나 저층을 제외하고 전 해역 0.6 이상을 보여 양호한 상태를 나타냈다. 일차생산력은 유광층의 30%~14.5% LPD까지 생산력이 높게 나타났으며 남부해역의 YB101과 대조구 YBR005을 제외하고 배출해역내와 북부해역의 YBR001에서 생산력이 높게 나타나 일차생산자의 생리 건강상태는 양호한 것으로 나타났다.

표영생태계에 유해물질로 인한 위해성평가를 위해 환경기준에 명시된 항목을 측정한 결과, 생활환경기준인 용매추출유분은 0.067~0.116(평균 0.095)ppb로 기준치 미만의 매우 낮은 농도를 보였다. 다음으로 새로 개정된 생태기반 해수수질 기준의 등급을 선정하기 위해 수질평가 지수값(WQI)을 구한 결과 20~42(평균 30.8)로 나타나 서해병해역은 I(매우 좋음)~III(보통) 등급으로 나타났으나 이중 식물플랑크톤의 항목별 점수가 매우 높았던 30m 수심의 III(보통)등급을 제외하면 대부분 II등급의 좋음 해역으로 나타났다. 그리고 사람의 건강보호 기준의 시안화물과 페놀은 각각 0.003~ 0.012(평균 0.005)mg/ℓ, 0.001~0.005(평균 0.003)mg/ℓ 범위로 매우 미량의 농도를 보여 기준치를 초과하지 않았다. 또한 2012년 7월 이전 생활환경기준의 조사항목이었던 화학적산소요구량과 총질소, 총인의 농도범위는 각각 0.40~3.60(평균 1.27)mg/ℓ, 0.411~2.358(평균 0.774)mg/ℓ, 0.001~0.048 (0.016)mg/ℓ를 보여 전반적으로 COD와 TP는 I 등급 TN은 II~III등급을 보였고, 대조구보다 배출해역 내에서 낮은 농도를 보였다.

5. 2012년 동해정해역 표영생태계 건강상태 조사결과

2012년 동해정해역에서 조사된 물리화학적 특성 결과는 표 2-6-15에 있다.

가. 표영생태계 일차생산자 서식환경 조사

1) 물리특성 조사

(가) 수온과 염분

2012년 7월조사시 동해정해역의 수온은 10.66~27.14(평균 19.30)°C 범위를 보였고 배출해역은 DJ003~DJ059로 10.66~27.14(평균 19.66)°C, 대조해역은 DJR013과 DJR017로 10.74~26.38(평균 17.77)°C 범위를 보였다. 배출해역에서 표층 수온은 25.19~27.14°C(평균 26.21°C), 대조해역의 표층 수온 범위는 21.01~26.58°C(평균 23.79°C)로 대조구에서 수온이 낮게 나타나고 있었다. 특히, 연안해역에 인접한 해역에 DJR013만 약 5°C가량 낮은 수온을 나타냈으며 DJR017은 대조해역과 유사한 수온을 보였다(그림 2-6-59). 수온약층은 북부해역의 대부분의 정점은 10~40m 수심에서 나타났으며 남동부해역의 DJ054, DJ056, DJ059에서는 20~60m로 좀 더 깊은 수심까지 수온약층이 형성되고 있었다. 수층별 수평분포를 보면 배출해역내에서는 북부에 위치한 정점과 남부에 위치한 정점의 수온차가 나타나 남부 해역에서 수온이 다소 높게 나타났으며, 육지와 인접한 DJR013이 전반적으로 낮은 수온을 나타냈다(그림 2-6-60).

염분 분포는 32.15~34.44(평균 33.47)psu 범위를 보였으며, 배출해역의 표층에서는 32.15~32.43(평균 32.29)psu, 저층에서는 34.32~34.37(평균 34.35)psu로 나타났다. 동해정해역의 대조구해역의 염분 분포는 32.45~32.71(평균 32.58)psu였으며, 저층의 염분은 DJR013에서 34.22, DJR017에서 34.28psu로 나타났다(그림 2-6-61). 표층에서 최저염분이 나타난 곳은 정점 DJ059였고, 가장 높은 염분이 나타난 곳은 대조구 DJR013으로 다른 해역보다 0.4psu 이상의 염분차를 보였다. 반면 저층에서 최저염분이 나타난 정점은 표층에서 높은 염분을 보인 DJR013에서 나타났으며 최대값은 배출해역 내 DJ018의 100m 수심에서 나타났으나 전반적으로 저층의 염분과 큰 차이를 보이지 않았다. 수층별 수평분포는 북부해역과 연안에 인접한 해역에서 높고 남부해역에서 낮은 염분을 보였고 염분약층은 수온과 마찬가지로 10~60m 수심에서 형성되고 남동부해역에서 좀 더 깊게 나타났다(그림 2-6-62).

표 2-6-15. 2012년 7월 동해정해역의 물리·화학적 특성

Station No.	도착 시간	수심 (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	pH	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)				N/P	TN (mg/l)	TP (mg/l)	Chl-a (µg/l)	WQI
														NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄					
DJ003	2012/07/27 10:07	0	20	25.19	32.26	7.22	8.24	1.6	5.38	0.043	0.006	1.53	3.18	0.793	7.786	4.114	0.668	19.0	0.221	0.014	0.119	20
		10	10	24.62	32.40	7.25	8.23	1.2	3.80	0.039	0.007	1.16	4.02	0.050	0.143	1.243	0.097	14.8	0.421	0.021	0.119	20
	20	20	21.82	32.74	7.73	8.25	0.4	6.35	0.050	0.008	0.62	4	0.071	0.286	0.921	0.716	1.8	0.215	0.016	0.221	20	
	30	30	17.12	33.59	8.38	8.25	0.4	2.85	0.125	0.022	1.18	3.75	0.071	1.714	0.857	0.713	3.7	0.196	0.024	2.290	20	
	50	50	16.13	34.05	6.29	8.12	0.8	1.15	0.058	0.012	1.64	4.22	0.157	8.786	1.700	0.616	17.3	0.309	0.019	2.155	20	
	75	75	14.88	34.33	6.22	8.11	0.8	0.25	ND	ND	3.46	4.34	0.029	6.214	1.450	0.781	9.9	0.283	0.029	0.221	20	
DJ007	2012/07/27 11:03	100	100	14.60	34.37	6.04	8.10	1.2	1.70	ND	ND	1.62	4.12	0.057	8.857	2.279	0.694	16.1	0.327	0.034	-	20
		121	121	13.51	34.35	6.21	8.10	0.8	1.10	ND	ND	1.81	4.64	0.114	11.000	6.371	0.706	24.8	0.503	0.021	-	24
		0	18	25.54	32.40	7.06	8.23	1.2	4.00	ND	ND	2.60	3.47	0.043	1.214	1.850	0.439	7.1	0.346	0.011	0.190	20
		10	10	25.00	32.45	7.08	8.24	0.4	2.60	0.036	0.007	2.84	3.30	0.050	0.786	2.257	0.168	18.4	0.421	0.031	0.276	20
		20	20	22.18	33.25	8.04	8.28	0.4	2.65	0.060	0.009	3.46	5.40	0.057	1.000	1.429	0.716	3.5	0.277	0.041	0.899	20
		30	30	19.00	33.37	7.83	8.24	0.8	4.90	0.091	0.016	1.82	2.32	0.043	0.286	1.543	1.016	1.8	0.233	0.048	2.326	20
DJ016	2012/07/27 16:44	50	50	16.16	34.01	6.61	8.15	0.8	3.00	0.033	0.006	3.24	4.23	0.143	6.286	3.371	0.819	12.0	0.340	0.031	0.312	20
		75	75	14.90	34.30	6.07	8.11	1.2	2.10	0.011	0.002	1.18	3.13	0.100	9.500	3.907	1.074	12.6	0.402	0.034	0.060	22
		100	100	14.75	34.34	6.03	8.11	1.6	2.75	0.019	0.003	0.23	5.08	0.050	8.214	2.050	1.223	8.4	0.315	0.036	0.102	24
		120	120	13.63	34.32	6.19	8.11	0.8	2.80	0.016	0.003	1.32	6.63	0.064	8.429	2.043	1.294	8.1	0.427	0.024	0.100	26
		0	20	26.55	32.32	7.05	8.26	1.2	2.90	0.042	0.006	1.43	1.75	0.050	1.357	2.636	0.126	32.1	0.190	0.002	0.186	20
		10	10	26.01	32.38	7.09	8.26	1.2	2.70	0.039	0.006	2.36	4.56	0.057	1.786	5.636	0.555	13.5	0.290	0.007	0.186	20
DJ016	2012/07/27 16:44	20	20	21.68	33.36	8.13	8.30	0.8	4.45	0.097	0.013	1.78	9.15	0.057	2.000	2.750	0.813	5.9	0.315	0.007	1.109	20
		30	30	20.65	33.60	7.68	8.27	1.6	2.50	0.103	0.017	3.86	8.69	0.079	0.929	1.229	1.023	2.2	0.252	0.010	1.739	20
		50	50	15.96	33.89	6.79	8.17	2.0	3.05	0.057	0.010	3.19	10.82	0.214	7.714	1.407	1.045	8.9	0.440	0.015	0.396	22
		75	75	14.98	34.33	6.19	8.13	0.8	2.90	ND	ND	2.19	5.46	0.064	9.357	3.136	1.384	9.1	0.271	0.022	0.102	26
		100	100	14.57	34.38	6.02	8.11	2.4	3.85	ND	ND	3.01	5.90	0.079	10.857	2.071	1.565	8.3	0.296	0.024	0.102	26
		120	120	13.04	34.35	6.32	8.12	0.8	2.65	ND	ND	2.28	6.49	0.107	9.071	2.314	1.671	6.9	1.010	0.022	0.102	28

표 2-6-15. (계속)

Station No.	도차 시간	수심 (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	pH	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)				N/P	TN (mg/l)	TP (mg/l)	Chl-a (µg/l)	WQI
														NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄					
DJ018	2012/07/27	0	17	25.48	32.43	7.05	8.24	1.2	4.10	0.049	0.009	4.09	7.34	0.057	2.214	5.143	0.432	17.2	0.283	0.011	0.060	20
		14:42	10	25.05	32.44	7.14	8.24	0.8	2.90	0.045	0.008	2.03	5.00	0.036	1.643	2.179	0.677	5.7	0.309	0.016	0.144	20
		20	21.51	32.75	7.83	8.26	0.8	5.15	0.049	0.008	1.90	2.75	0.043	0.714	3.900	0.752	6.2	0.252	0.024	0.186	20	
		30	19.21	33.66	7.70	8.24	0.8	2.35	0.093	0.018	1.31	2.59	0.136	1.929	0.907	0.626	4.7	0.215	0.041	1.235	20	
		50	16.57	34.03	6.65	8.16	0.4	3.85	0.050	0.010	1.02	3.41	0.264	7.714	7.586	1.039	15.0	0.346	0.051	0.773	22	
		75	15.74	34.41	6.87	8.17	0.4	5.55	ND	ND	1.81	6.56	0.164	3.929	2.486	1.009	6.5	0.352	0.026	0.186	22	
		100	14.77	34.44	6.59	8.15	0.8	4.55	ND	ND	1.34	4.10	0.086	7.429	3.936	1.061	10.8	0.434	0.039	0.060	22	
	122	10.66	34.33	7.39	8.12	0.8	5.15	ND	ND	0.38	0.92	0.057	7.429	1.400	1.868	4.8	0.384	0.053	0.144	28		
DJ054	2012/07/28	0	18	27.14	32.23	6.98	8.24	0.8	2.47	0.037	0.006	2.01	4.17	0.079	0.786	3.571	0.297	14.9	0.434	0.011	0.060	20
		13:03	10	26.47	32.23	7.08	8.23	0.4	3.17	0.039	0.006	1.55	4.02	0.029	0.643	1.064	0.710	2.4	0.928	0.021	0.144	20
		20	25.40	32.38	7.23	8.22	0.4	6.04	0.032	0.005	1.89	5.33	0.050	0.357	2.379	0.645	4.3	0.296	0.009	0.144	20	
		30	21.35	33.30	7.88	8.23	0.4	6.28	0.048	0.008	1.71	3.71	0.036	0.571	0.807	0.739	1.9	0.415	0.051	2.235	20	
		50	17.86	33.98	6.34	8.12	0.4	4.54	0.041	0.007	2.26	3.40	0.336	6.786	1.993	0.835	10.9	1.210	0.061	0.564	20	
		75	16.72	34.32	6.28	8.09	0.8	3.09	ND	ND	1.44	3.60	0.100	8.286	2.107	0.768	13.7	1.078	0.026	0.144	20	
		100	15.53	34.30	6.20	8.08	1.2	3.44	ND	ND	1.73	3.99	0.121	9.571	3.279	1.213	10.7	0.321	0.048	0.102	20	
	131	14.68	34.37	6.01	8.08	0.4	2.90	ND	ND	1.85	3.79	0.050	8.929	1.736	2.903	3.7	1.047	0.066	0.060	28		
DJ056	2012/07/28	0	19	26.74	32.23	6.98	8.24	0.8	2.07	0.032	0.005	2.45	5.00	0.107	1.071	3.443	0.642	7.2	0.551	0.007	0.144	20
		10:57	10	26.45	32.23	7.03	8.24	1.2	2.03	0.038	0.006	1.55	5.05	0.121	1.429	1.314	0.787	3.6	0.692	0.005	0.186	20
		20	24.86	32.40	7.28	8.26	0.8	5.08	0.045	0.007	3.67	3.71	0.029	0.429	1.650	0.426	4.9	0.577	0.002	0.186	20	
		30	22.44	33.48	7.56	8.25	0.8	4.12	0.036	0.006	3.09	3.83	0.086	1.643	5.400	0.500	14.3	0.677	0.012	0.312	20	
		50	18.70	33.82	7.18	8.20	1.6	0.96	0.047	0.009	2.66	4.32	0.357	3.214	3.893	0.639	11.7	0.913	0.010	0.815	20	
		75	17.14	34.31	6.30	8.14	1.2	2.18	ND	ND	2.97	4.61	0.121	7.714	4.800	1.832	6.9	0.864	0.017	0.186	28	
		100	15.90	34.25	6.25	8.12	1.2	1.45	ND	ND	1.43	3.89	0.114	7.929	1.286	2.106	4.4	1.014	0.015	0.060	28	
	141	13.54	34.35	6.36	8.10	0.8	3.39	ND	ND	0.50	4.35	0.086	9.000	2.414	2.623	4.4	0.823	0.022	0.060	28		

표 2-6-15. (계속)

Station No.	도착 시간	수심 (m)	Secchi (m)	Temp (°C)	Salinity (psu)	DO (mg/l)	pH	COD (mg/l)	SMP (mg/l)	POC (mg/l)	PON (mg/l)	DOC (mg/l)	TOC (mg/l)	Nutrients(µM)				TP (mg/l)	TN (mg/l)	Chl-a (µg/l)	WQI	
														NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄					
DJ059	2012/07/28	0	17	26.82	32.15	6.85	8.24	1.2	4.23	0.070	0.010	2.43	3.02	0.136	0.643	3.593	0.971	4.5	0.524	0.010	0.102	20
		09:16	10	26.63	32.18	6.89	8.23	1.6	4.67	0.040	0.006	2.4	2.58	0.043	0.429	1.443	0.248	7.7	0.476	0.005	0.060	20
		20	24.86	32.50	7.33	8.24	0.8	8.77	0.099	0.014	2.28	2.65	0.057	0.214	2.814	0.603	5.1	0.353	0.007	0.144	20	
		30	22.87	32.97	7.77	8.24	2.0	2.95	0.094	0.013	1.18	2.81	0.050	0.500	1.936	0.255	9.8	0.480	0.012	0.312	20	
		50	19.78	33.73	7.09	8.17	0.8	1.69	0.072	0.014	1.95	2.64	0.207	2.857	1.764	1.106	4.4	0.416	0.019	0.857	22	
		75	16.45	34.19	6.28	8.09	0.8	1.33	ND	ND	0.94	1.91	0.136	8.357	1.343	1.355	7.3	1.148	0.017	0.270	24	
		100	15.62	34.32	6.31	8.08	1.2	5.56	ND	ND	0.8	1.16	0.100	8.000	1.014	1.561	5.8	1.495	0.015	0.144	26	
122	15.32	34.34	6.23	8.08	0.8	5.88	ND	ND	1.33	4.69	0.129	7.214	0.871	1.974	4.2	2.033	0.022	0.186	28			
DJR013	2012/07/28	0	18	21.01	32.71	10.52	8.40	2.0	4.00	0.133	0.017	1.82	4.04	0.071	2.286	4.986	0.716	10.3	1.271	0.005	2.200	20
		17:09	10	19.34	32.87	10.55	8.39	1.2	11.43	0.135	0.019	1.91	3.29	0.036	1.071	1.500	0.510	5.1	0.812	0.005	2.242	20
		20	16.66	33.28	8.04	8.23	0.8	3.32	0.102	0.020	1.17	1.56	0.229	6.357	5.093	1.006	11.6	1.002	0.015	2.410	20	
		30	13.33	33.97	6.32	8.10	1.6	7.37	0.035	0.007	2.01	2.69	0.193	8.000	1.529	1.439	6.8	1.021	0.010	0.396	26	
		50	10.74	34.22	6.42	8.05	0.8	2.25	0.023	0.005	2.47	3.08	0.143	9.857	2.964	2.281	5.7	1.955	0.019	0.186	28	
DJR017	2012/07/28	0	19	26.58	32.45	7.03	8.21	0.8	2.33	0.043	0.007	2.17	3.2	0.064	1.857	2.329	0.539	7.9	1.324	0.002	0.102	20
		15:05	10	24.15	32.56	7.20	8.25	1.2	5.33	0.048	0.007	1.97	3.59	0.071	0.929	4.079	0.142	35.8	1.510	0.012	0.186	20
		20	21.95	32.75	7.68	8.25	0.8	4.50	0.063	0.010	2.83	3.36	0.036	0.786	2.664	1.190	2.9	0.924	0.007	0.144	22	
		30	18.65	33.30	7.88	8.23	1.6	2.12	0.084	0.016	2.45	4.57	0.150	2.214	4.036	1.323	4.8	0.715	0.010	1.529	24	
		50	15.98	34.01	6.22	8.11	1.6	1.23	0.035	0.006	3.10	3.37	0.214	8.786	3.929	1.745	7.4	1.996	0.015	0.354	28	
		75	14.97	34.30	6.06	8.08	0.8	1.38	ND	ND	2.55	3.72	0.129	10.143	5.100	1.171	13.1	2.253	0.019	0.060	22	
		100	14.86	34.31	6.01	8.07	1.2	3.21	ND	ND	2.48	5.55	0.121	11.143	7.243	2.203	8.4	2.044	0.024	0.102	32	
141	12.82	34.28	6.28	8.05	1.2	1.48	ND	ND	2.10	4.08	0.114	9.429	4.900	2.268	6.4	1.865	0.032	0.102	28			

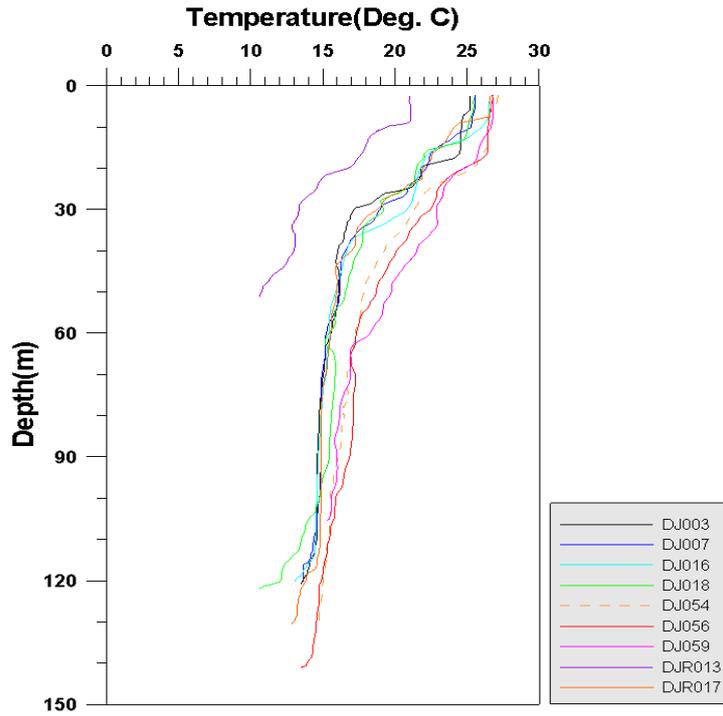


그림 2-6-59. 2012년 7월조사시 동해정해역 수온의 수직분포

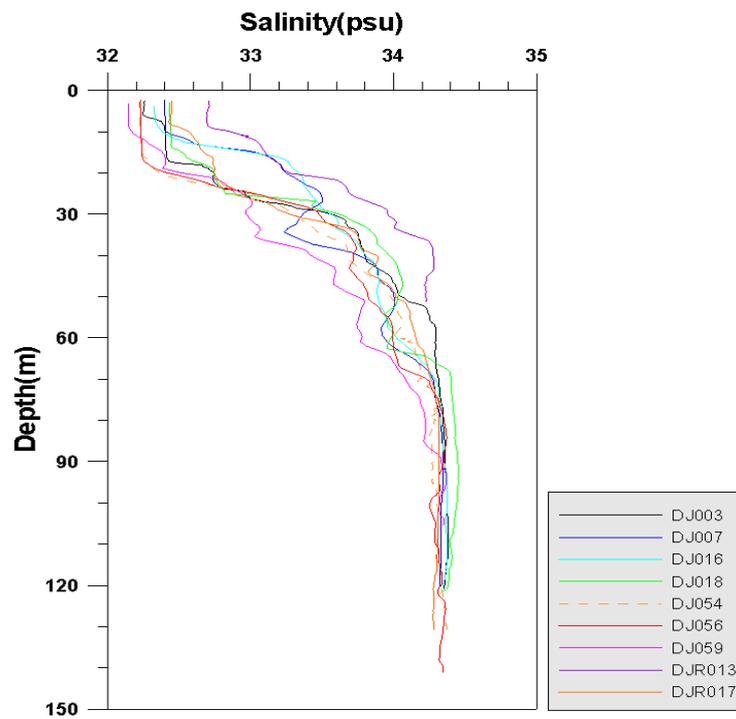


그림 2-6-60. 2012년 7월조사시 동해정해역 염분의 수직분포 및 수직단면도

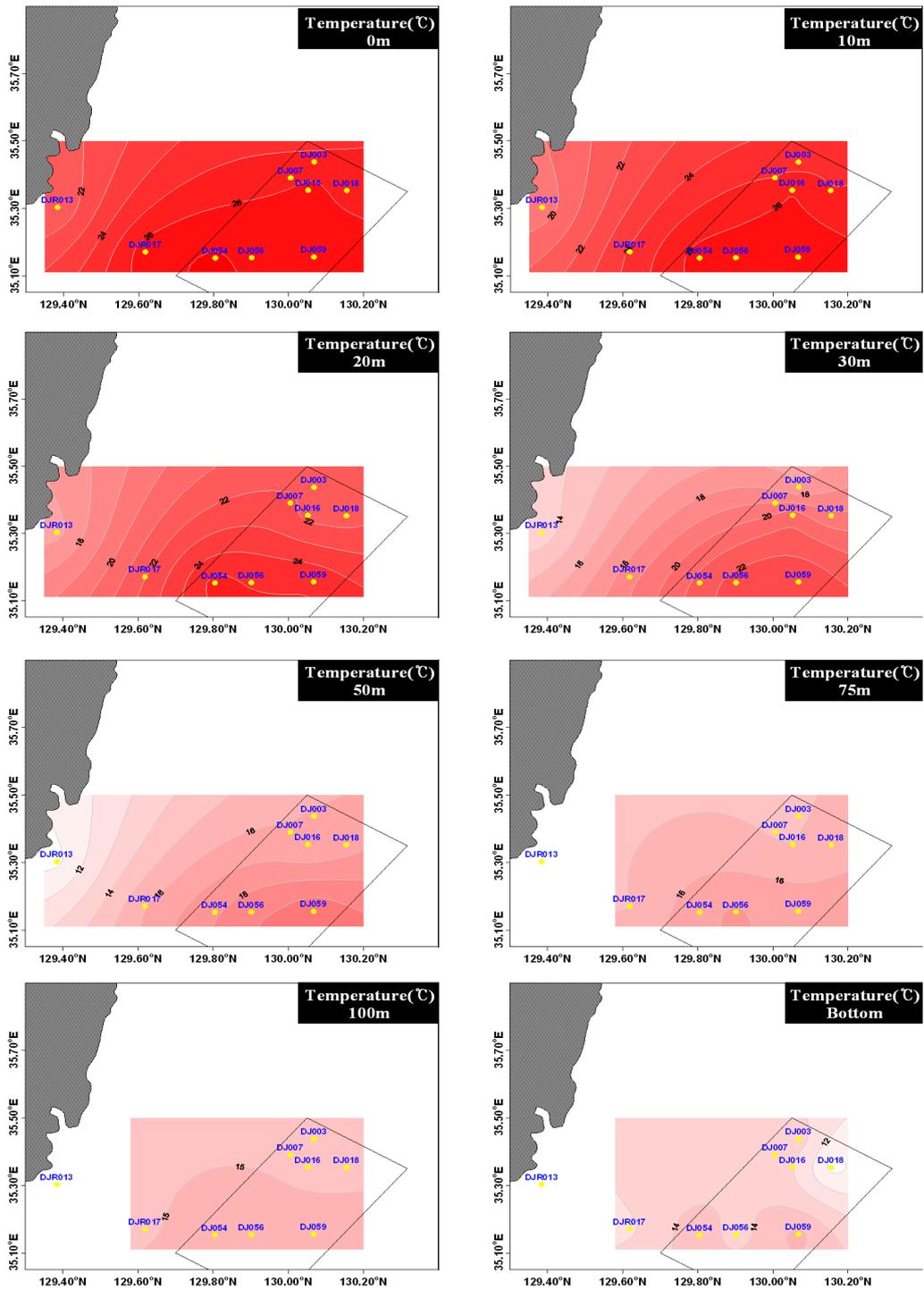


그림 2-6-61. 2012년 7월조사시 동해정해역 수온의 수층별 수평분포도

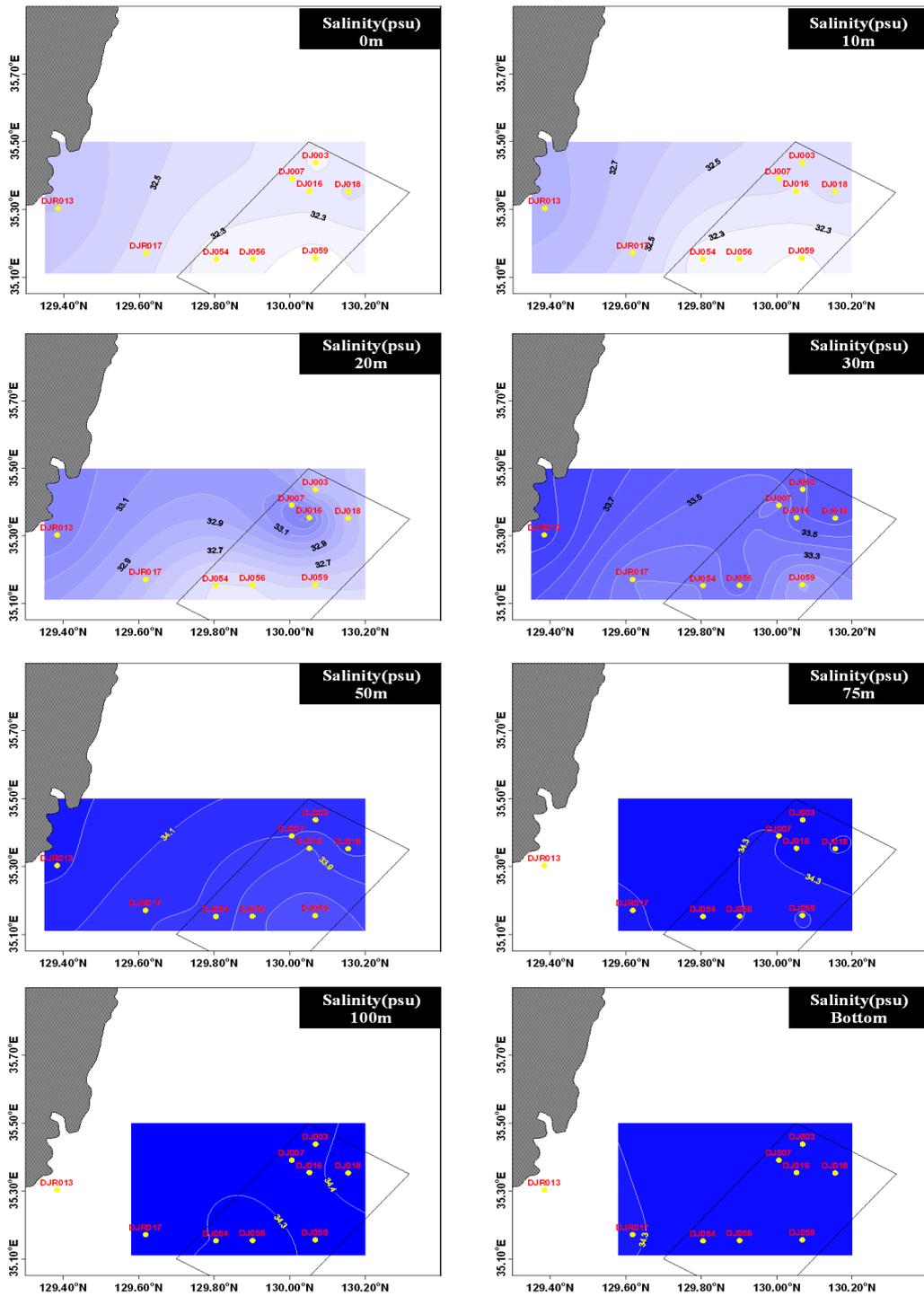


그림 2-6-62. 2012년 7월조사시 동해정해역 염분의 수층별 수평분포도

나) 인공위성 영상에 의한 수온의 수평분포

인공위성에 탑재되어 있는 적외선 센서는 광범위한 해수면 수온을 동시에 반복적으로 관측할 수 있다는 장점으로 인해 1980년대 이후 활발히 이용되고 있다. 수신한 인공위성의 관측시각은 2012년 7월 27일 ~ 28일까지이며, 위성명은 NOAA-18로 연구해역의 해표면 수온 분포를 참고하고자 하였다.

동해 정해역 해수면의 표면수온영상으로 본 자료는 24~28℃ 범위를 나타냈으며, 현장에서 실시간 CTD 관측을 해 얻은 자료는 25.19~27.14℃ 범위를 보여 표면수온영상 자료와 CTD의 현장조사 자료가 1℃ 미만의 차이가 나타남을 알 수 있었다. 표면수온영상자료를 보아 7월 27일 18시 32분경 배출해역내에서 낮은 수온을 보이기도 하였으나 전반적으로 배출해역내에서 수온의 변화가 크게 나타나지 않았다(그림 2-6-63).

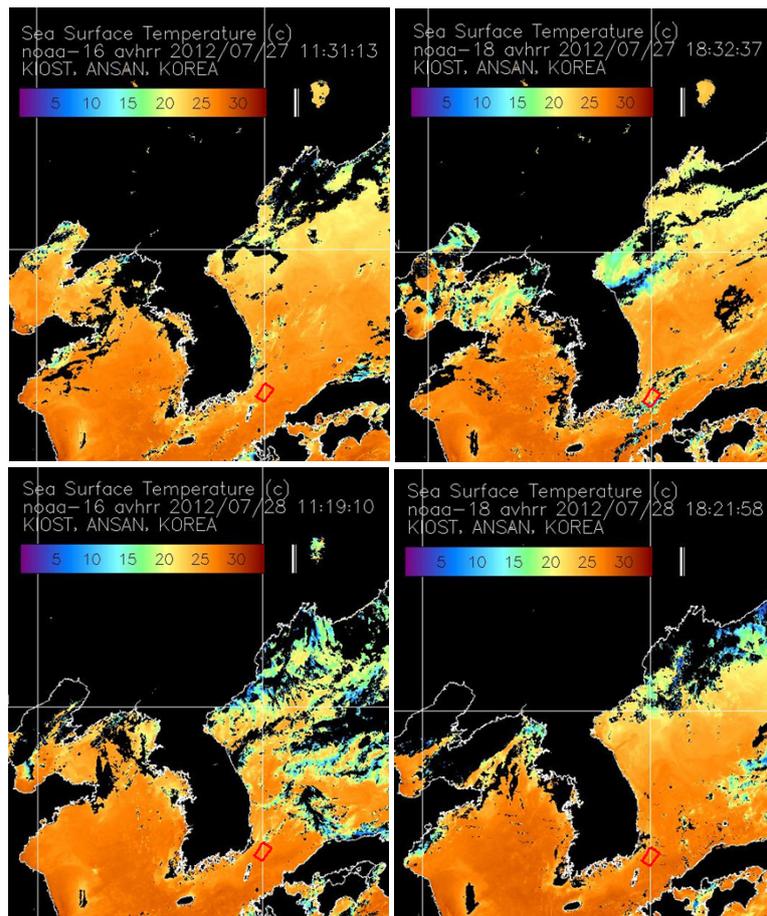


그림 2-6-63. 동해정해역 표면수온 인공위성영상(2012년 7월 27일~28일)

나. 표영생태계 일차생산자 생산성 조절요인

(1) 친생물 인자 성분조사

(가) 수소이온농도(pH)

2012년 7월조사시 동해정해역의 pH는 8.05~8.40(평균 8.18) 범위를 보였고, 최소값은 대조구 DJR013과 DJR017의 저층에서 나타났으며 최대값은 대조구인 DJR013의 표층에서 나타났다. 전체적으로 수직분포는 연안에 인접한 정점을 제외하고 표층에서 30m 수심까지는 pH 8.23이상으로 유사한 농도를 보였으며 30m에서 50m 수심에서 pH 8.14로 크게 감소하고 75m 이상의 깊은 수심에서는 pH 8.09로 감소폭이 적거나 유사한 값을 보였다(그림 2-6-64). 전반적으로 표층에 비해 저층에서 낮은 농도를 보였는데 이는 해수에서 일반적으로 강한 완충능력을 가지고 있어 pH의 범위가 차이가 나지 않으나, 표층 및 저층간의 밀도약층의 구분이나 저층에서 유기물질의 활발한 산화로 인하여 pH가 낮아지는 경향을 보인다. 수층별 수평분포는 0~10m 수심은 연안에 인접한 대조구해역과 배출해역내 DJ016에서 높은 농도를 보였고 10m 이상의 깊은 수심은 배출해역의 북부해역에서 높은 값을 보였다(그림 2-6-65). 전체적으로 본 해역은 해역환경 기준인 생활환경의 수소이온 농도 기준에 만족하였다(표 2-6-11).

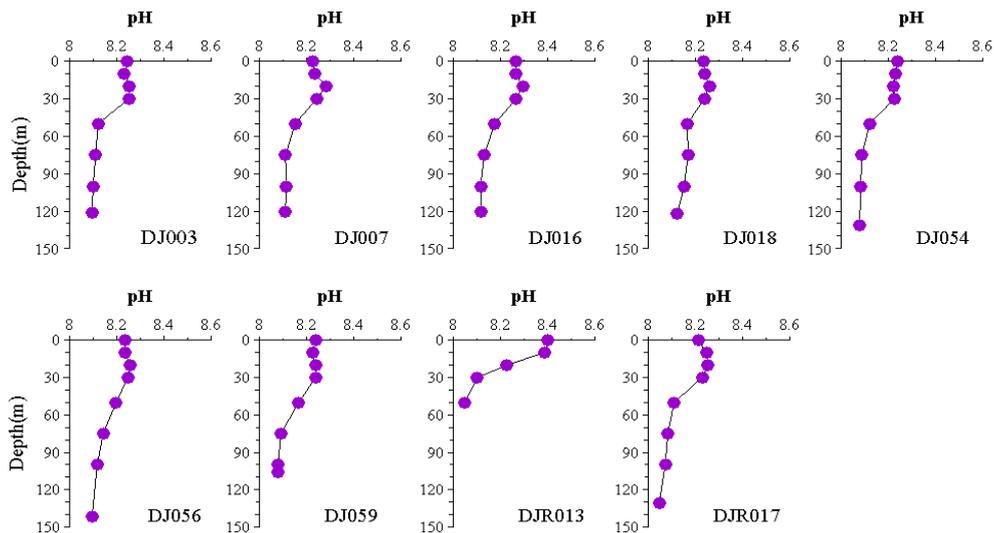


그림 2-6-64. 2012년 7월조사시 동해정해역 pH(수소이온농도)의 수직 단면도 및 수직분포

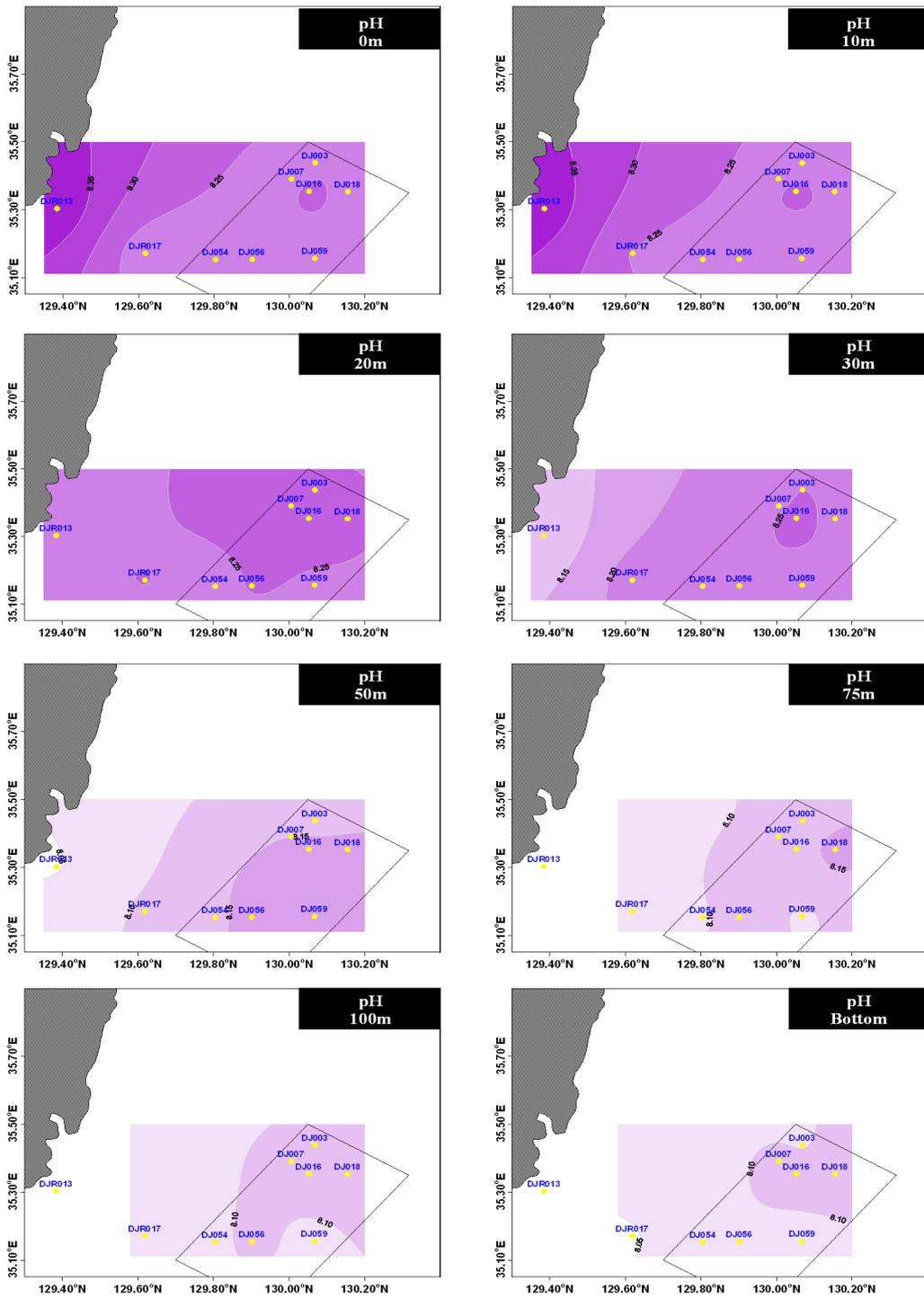


그림 2-6-65. 2012년 7월조사시 동해정해역 pH(수소이온농도)의 수층별 수평 분포도

(나) 용존산소

2012년 7월조사시 동해정해역의 용존산소의 연직분포는 6.01~10.55mg/ℓ 범위를 보였고 평균 7.06mg/ℓ로 나타났으며, 최소값은 배출해역 남부에 위치한 DJ054의 저층과 위 정점과 인접한 대조구 DJR017의 100m에서 나타났으며 최대값은 DJR013의 10m에서 나타났다. 수직분포는 북부해역은 20~30m 수심에서 높은 농도를 보였고, 배출해역 내 남부해역과 대조구 DJR017을 포함한 정점은 30m에서 높은 값을 보이고 연안에 인접한 DJR013은 표층과 10m 수심에서 매우 높은 농도를 보였다(그림 2-6-66). 전반적으로 수온약층과 염분약층이 나타난 해역에서 높은 농도를 보였고 그 이상의 수심에서는 농도가 급격하게 감소하고 점차로 저층으로 갈수록 유사한 농도를 보였다(그림 2-6-68). 수층별 수평분포는 30m보다 얇은 수심은 배출해역은 북부해역에서 높은 농도를 보이고 저층으로 갈수록 동부해역에서 다소 높은 농도를 보였다(그림 2-6-67). 표층 농도범위는 배출해역은 6.85~7.22(평균7.03)mg/ℓ을 보였고, 대조구해역에서는 7.03~10.52(평균 8.77)mg/ℓ의 농도범위를 보였다. 저층의 농도범위는 배출해역은 6.01~7.396(평균 6.39)mg/ℓ로 나타났고, 대조구해역은 6.28~6.48(평균 6.35)mg/ℓ로 나타났다.

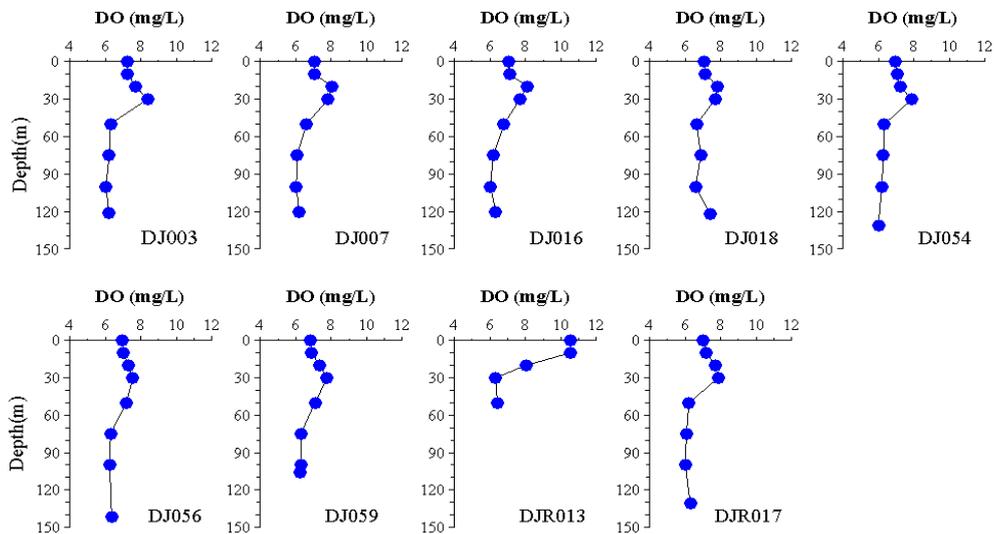


그림 2-6-66. 2012년 7월조사시 동해정해역 DO(용존산소)의 수직분포 및 정점별 수직분포

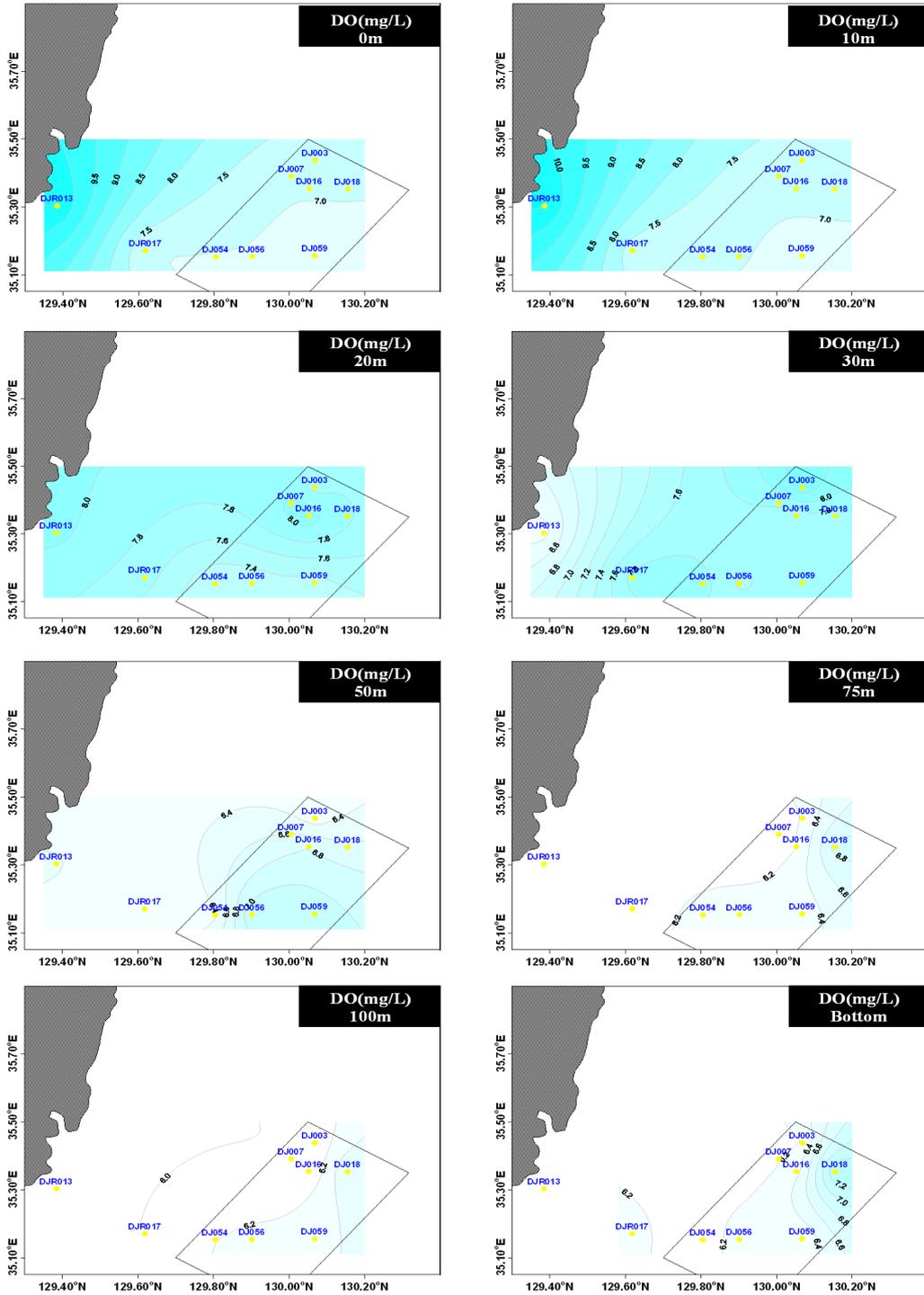


그림 2-6-67. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 용존산소의 수평분포

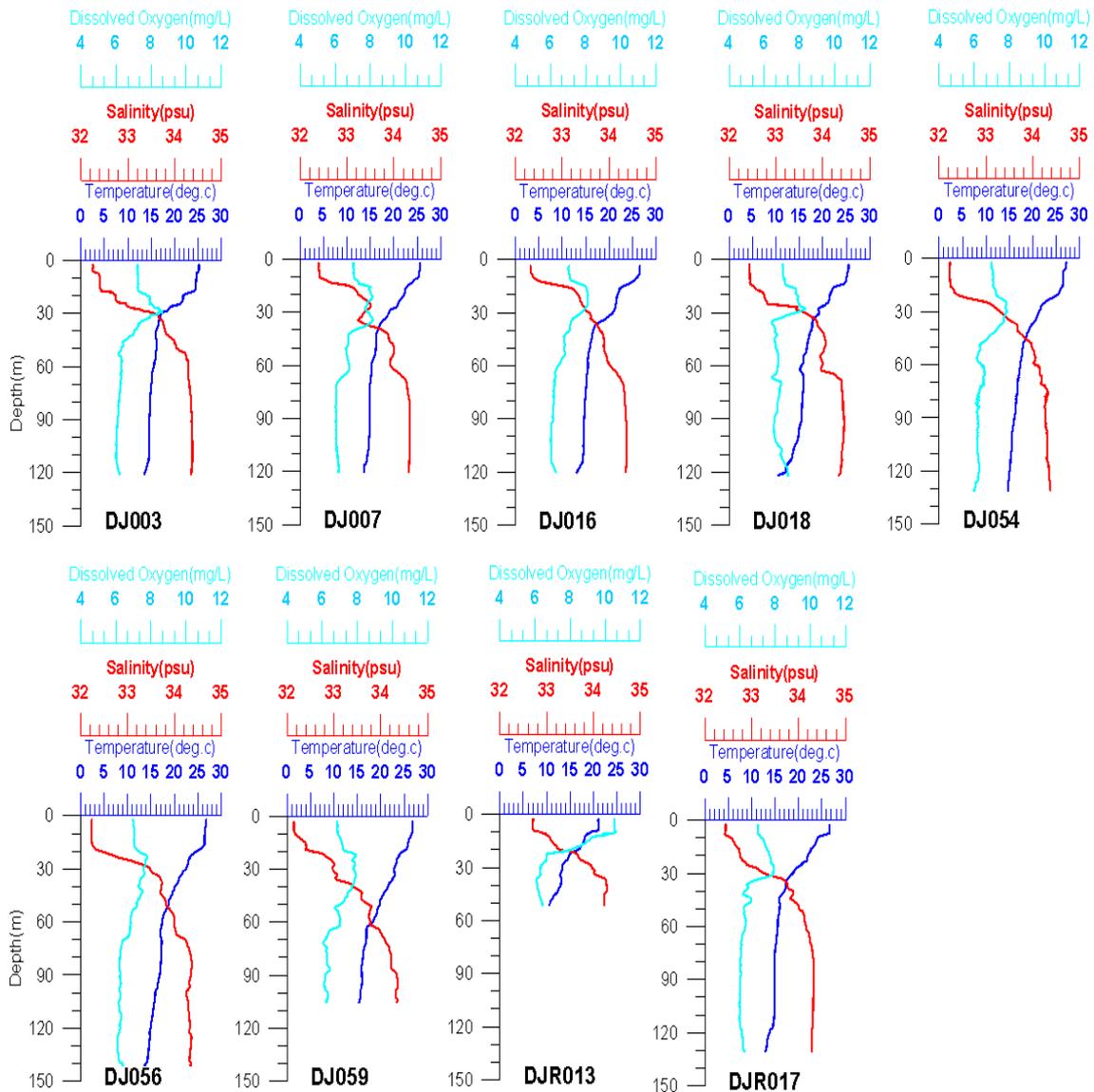


그림 2-6-68. 2012년 7월조사시 동해정해역의 정점별 수온·염분·온도의 연직분포

(다) 영양염류

아질산염의 분포는 0.029~0.793(평균 0.111) μM 의 범위를 보였고 최저농도는 DJ003의 75m와 남부해역의 DJ054의 10m, DJ056의 20m에서 나타났으며 최고농도는 DJ003의 표층에서 나타났다(그림 2-6-69).

아질산염의 수직분포경향은 최대값을 보인 DJ003의 표층을 제외하고 배출해역이나 대조구해역 모두 수온약층 부근인 수심 30~50m에서 최대값을 보였으며, 그 이상의 깊은 수심에서는 점차 감소하는 경향을 보였다.

중층에서 이러한 아질산염의 증가는 식물플랑크톤 대사과정에서 배출된

(release) 것으로 보인다(primary nitrite maximum; Romas and Lipschultz, 2006).

배출해역의 표층 농도는 0.043~0.793(평균 0.181) μM , 대조구해역의 표층 농도 범위는 0.064~0.071(평균 0.068) μM 로 배출해역에서 높은 농도를 보였고 50m 수심을 제외하고 나머지 수심에서는 대조구에서 높은 농도를 보였다.

저층의 농도 범위는 배출해역은 0.050~0.129(평균 0.087) μM 이며, 대조구해역의 농도범위는 0.114~0.143(평균 0.129) μM 로 나타났다.

수층별 수평분포는 표층을 제외하고 배출해역에서 매우 낮은 농도를 보였으며 50m이상의 수심에서는 배출해역의 남서부해역에서 높은 농도를 나타냈다(그림 2-6-70).

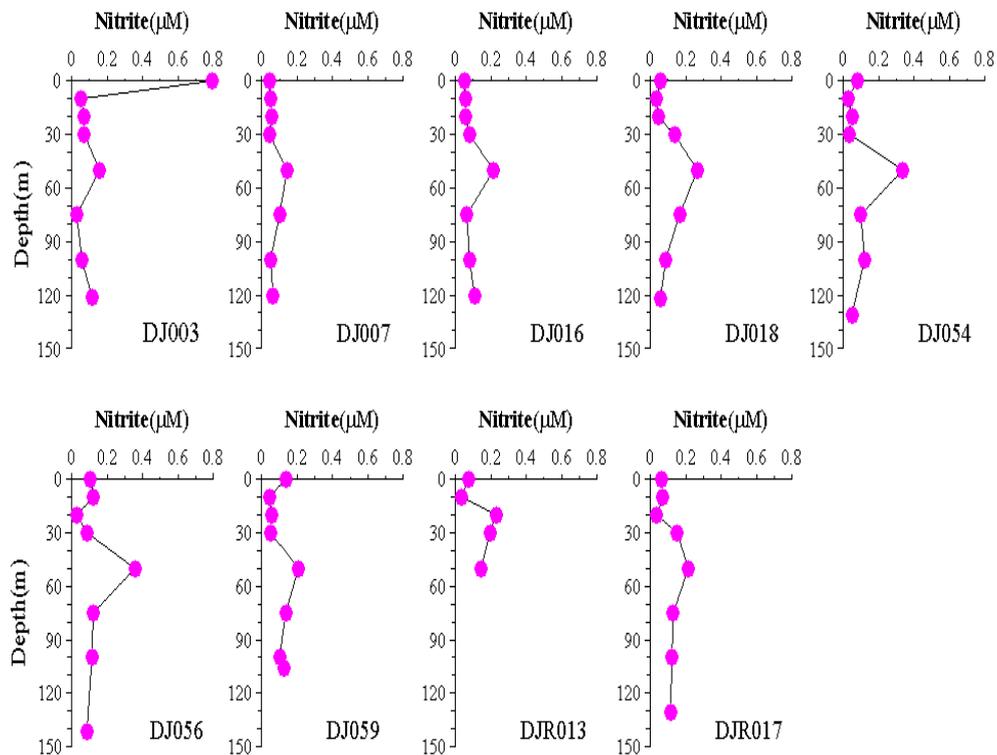


그림 2-6-69. 2012년 7월조사시 동해정해역 아질산염의 정점별 수직분포

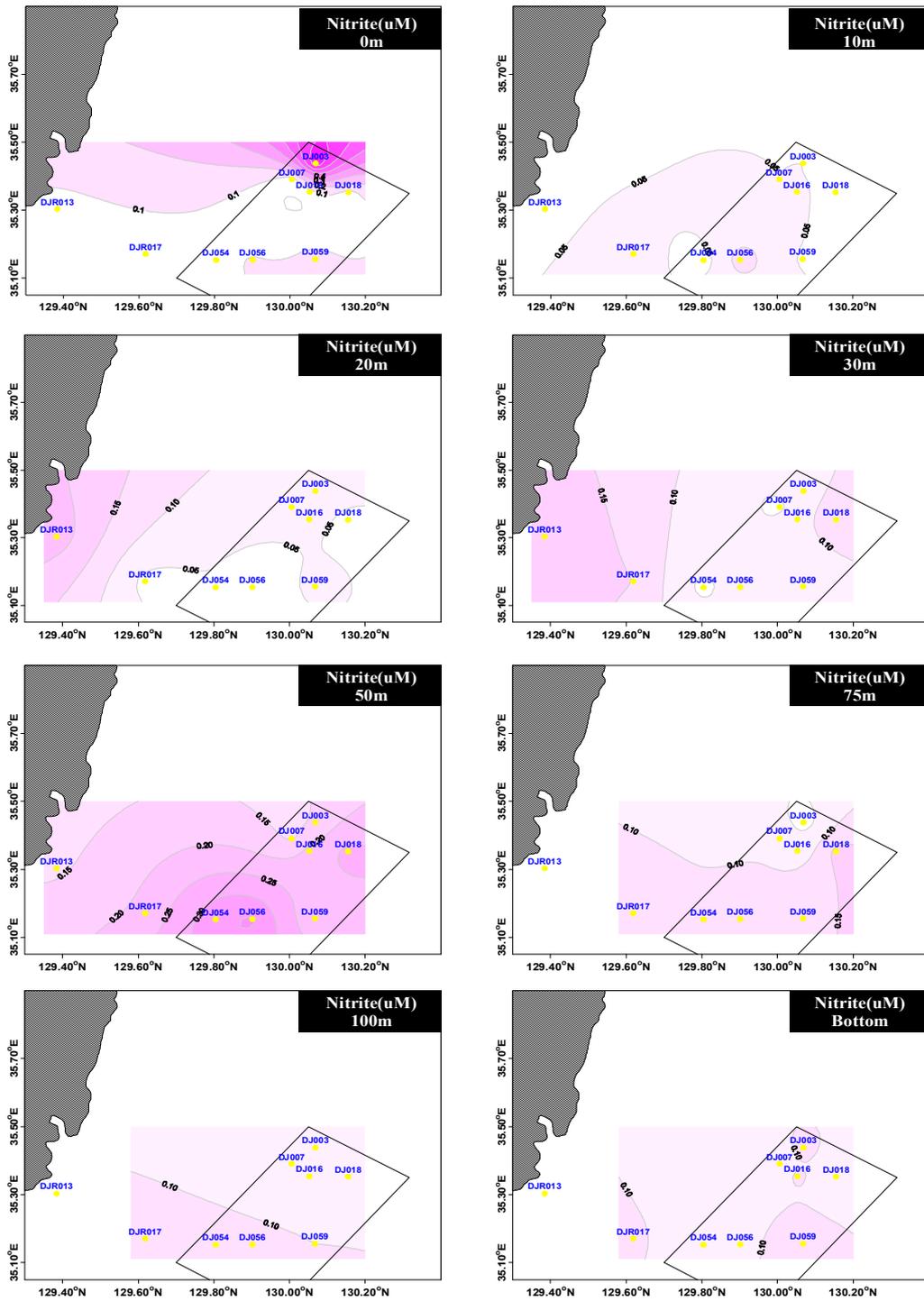


그림 2-6-70. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 아질산염의 수평분포

질산염의 분포는 0.143~11.143(평균 5.751) μM 의 범위를 보였으며 최소값은 정점 DJ003의 10m에서, 최대값은 정점 DJR017의 100m에서 나타났다.

질산염의 수직분포는 표층에서 30m 수심까지는 유사한 농도를 보였으며 50m 수심까지 급격히 농도가 증가하고 저층으로 갈수록 전반적으로 증가하였다(그림 2-6-71).

질산염의 표층 농도 범위는 0.643~7.786(평균 2.135) μM 로 나타났으며, 배출해역에서는 0.643~7.786(평균 2.153) μM , 대조구에서는 1.857~ 2.286(평균 2.071) μM 로 배출해역에서 높은 농도를 보였으나 DJ003의 표층에서 매우 높은 농도를 보여 평균이 증가하였으며 이를 제외하면 대조구에서 높게 나타났다(그림 2-6-72).

저층 농도는 7.214~ 11.000(평균 8.929) μM 로 나타났으며, 배출해역에서는 7.214~11.000(평균 8.724) μM , 대조구에서는 9.429~9.857(평균 9.643) μM 로 대조구에서 높은 농도를 보였다.

대체적으로 연안에 인접한 해역에서 높은 농도를 보여 서부해역에서 높은 농도를 보였고 대조구보다 배출해역에서 낮은 농도를 나타냈다.

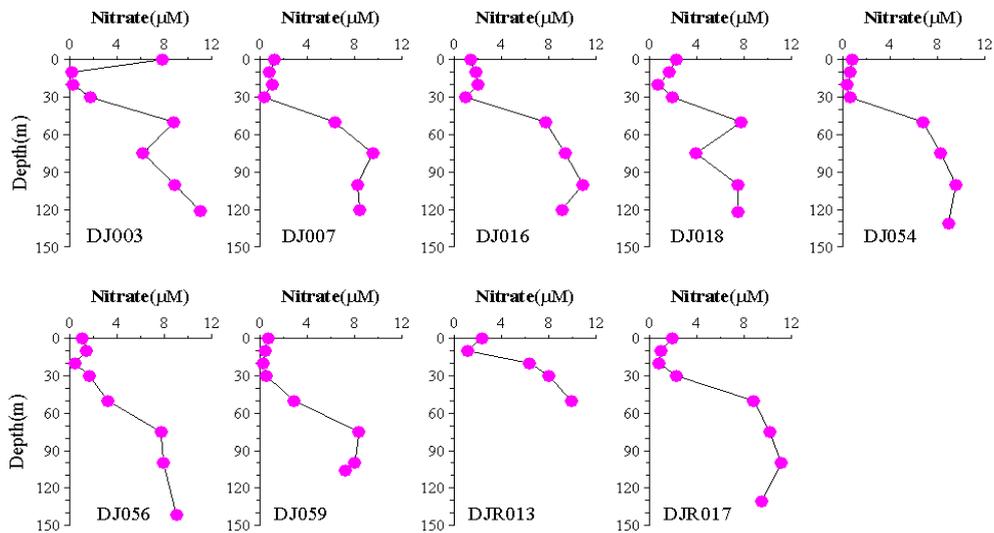


그림 2-6-71. 2012년 7월조사시 동해정해역 질산염의 정점별 수직분포

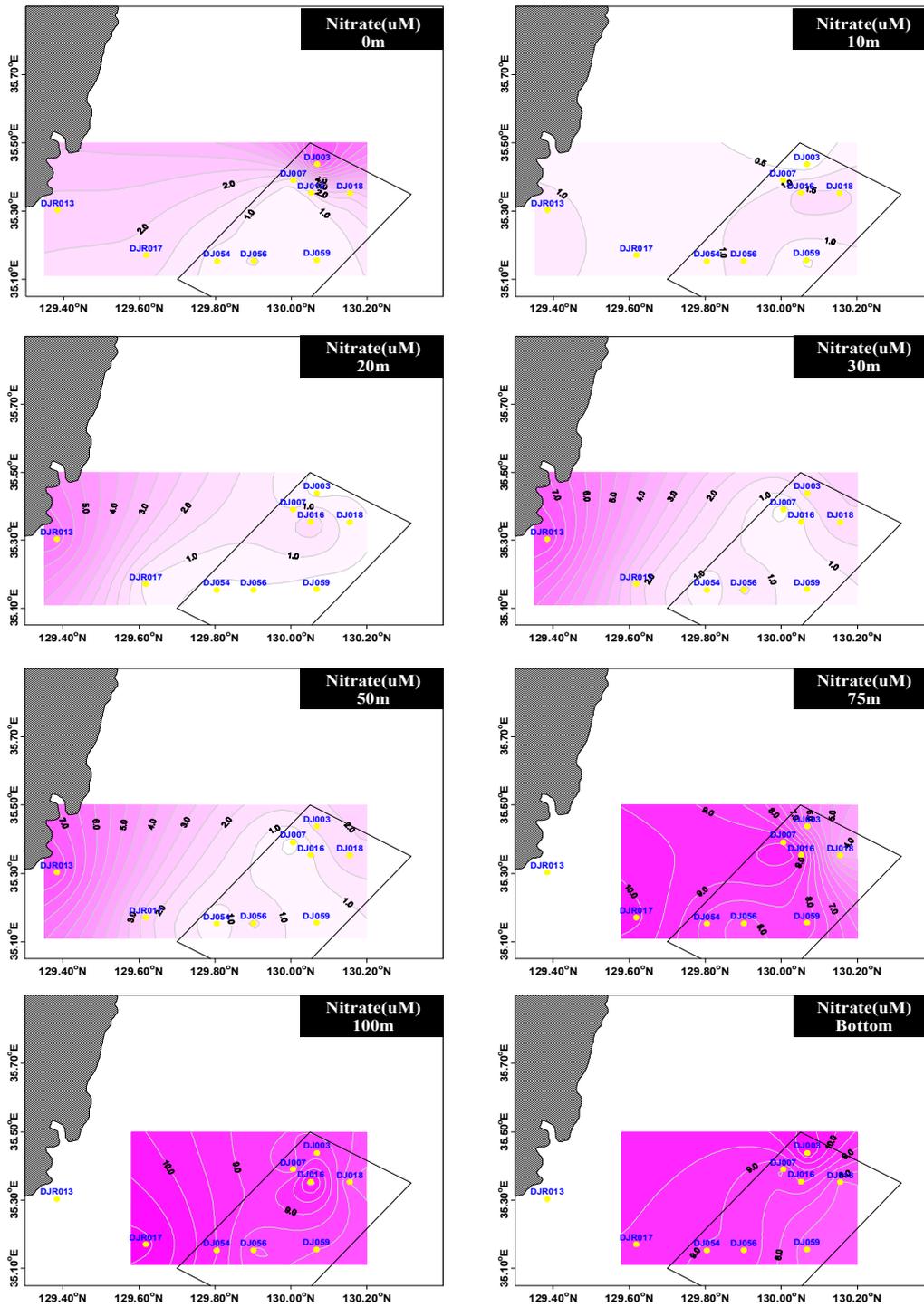


그림 2-6-72. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 질산염의 수평분포

암모니아의 농도분포는 0.807~7.586(평균 2.790) μM 의 범위를 보였으며 최소값은 정점 DJ054의 30m에서, 최대값은 정점 DJ018의 50m에서 나타났다.

암모니아의 수직분포는 전체적으로 큰 성향을 보이지 않았으며 간헐적으로 높은 농도를 보였고 DJ003과 DJR017을 제외하고 대체로 저층에서 낮은 농도를 보이거나 30~50m 수심에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-73).

수평분포는 대체로 배출해역에서 높은 농도를 보였는데 주로 북부해역의 정점에서 높았고 배출해역에 인접한 대조구 DJR017에서도 높은 농도를 보였다.

반면 배출해역내 남부해역의 정점에서는 암모니아 농도가 낮게 나타났다(그림 2-6-74). 표층의 농도범위는 1.850~5.143(평균 3.518) μM , 저층의 농도는 0.871~6.371(평균 2.779) μM 범위를 보여 표층에서 전반적으로 높게 나타났다.

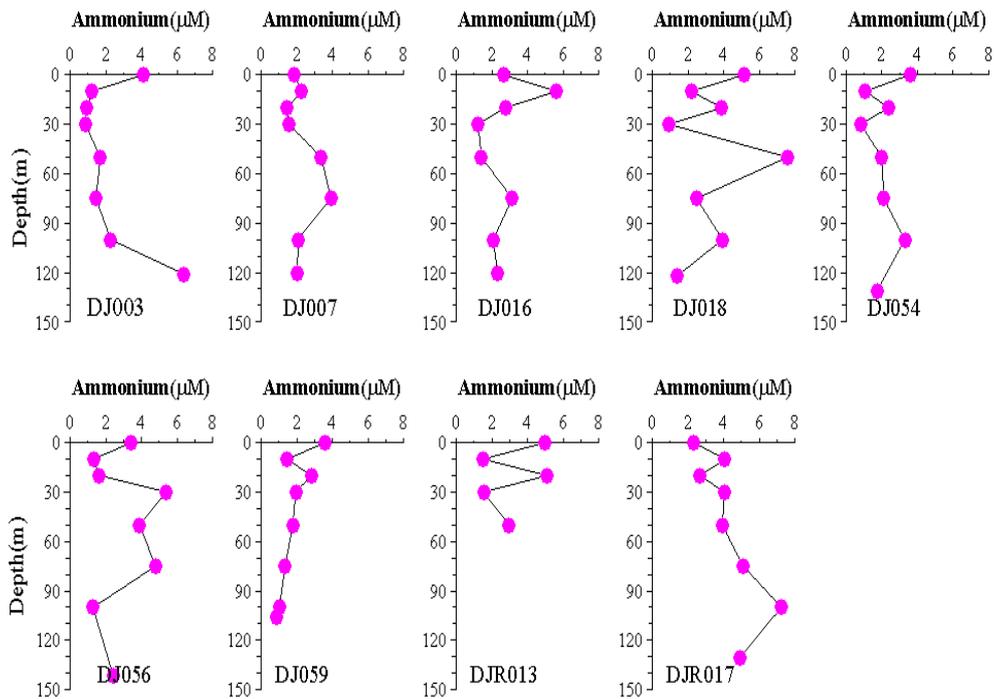


그림 2-6-73. 2012년 7월조사시 동해정해역 암모니아의 정점별 수직분포

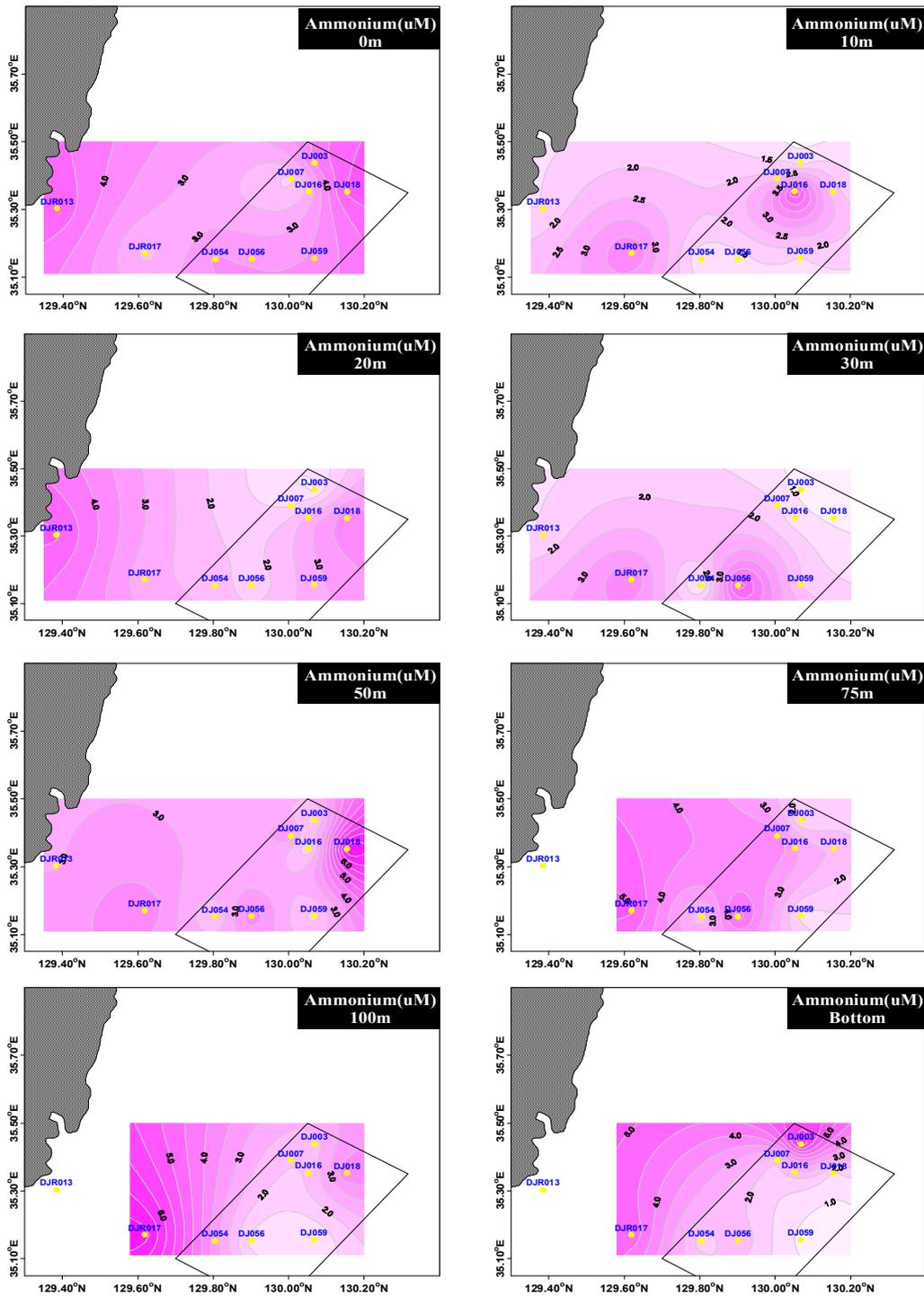


그림 2-6-74. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 암모니아의 수평분포

인산염의 농도분포는 0.097~2.903(평균 1.009) μM 범위를 보였으며, 최소값은 DJ003의 10m 수심에서 나타났고 최대값은 DJ054의 저층에서 나타났다.

인산염의 수직분포는 전반적으로 저층으로 갈수록 인산염이 증가하였으며 배출해역 북부는 농도가 점층적으로 증가한데 반해 남부해역은 저층에서 다소 급격히 증가하였다(그림 2-6-75).

표층에서 농도 분포는 0.126~0.971(평균 0.537) μM 의 범위를 보였고 배출해역의 표층 분포는 0.126~0.971(평균 0.511) μM 이며, 대조구해역의 표층 분포는 0.539~.716(평균 0.627) μM 로 대조해역에서 높은 농도를 보였다.

하지만 조사해역의 저층 농도는 0.706~2.903(평균 1.954) μM 의 범위로 표층과 약 4배 이상의 차이를 보였다. 저층에서 배출해역의 농도 분포는 표층과 마찬가지로 0.706~2.903(평균 1.863) μM 을 보였으며, 대조구해역에서는 2.268~2.281(평균 2.274) μM 로 대조구해역에서 농도가 높게 나타나는 경향을 보였다.

수층별 수평분포는 전반적으로 북부해역에서 낮은 농도를 보였으며 남부해역에서 높은 농도를 보였고 특히 75m 이상의 수심에서는 농도차가 크게 나타났다(그림 2-6-76).

영양염간의 상관성은 크게 나타나지 않았으며 N/P비율은 1.8~35.8(평균 9.2)로 일반적인 해수의 비율인 16보다 낮게 나타나 질소함량이 낮게 나타났다.

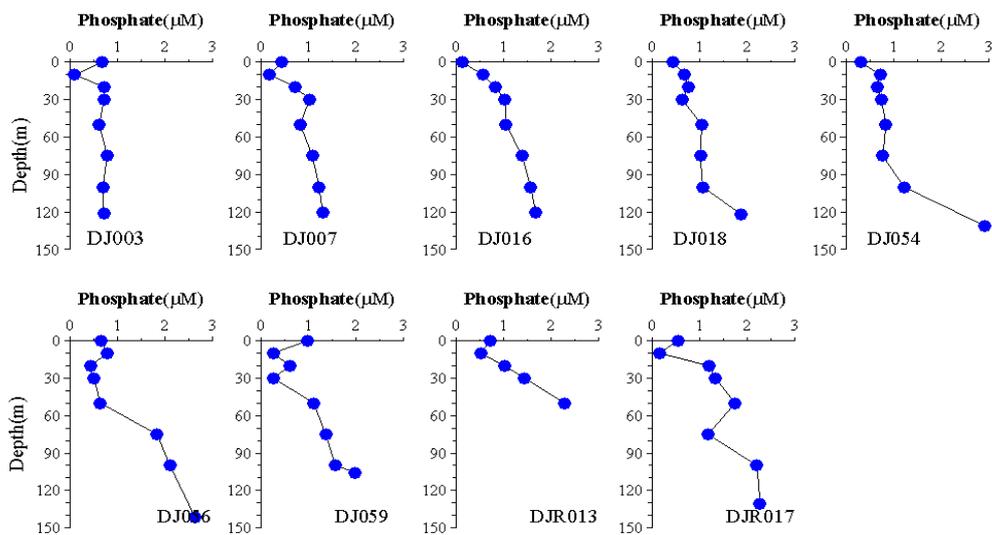


그림 2-6-75. 2012년 7월조사시 동해정해역 인산염의 정점별 수직분포

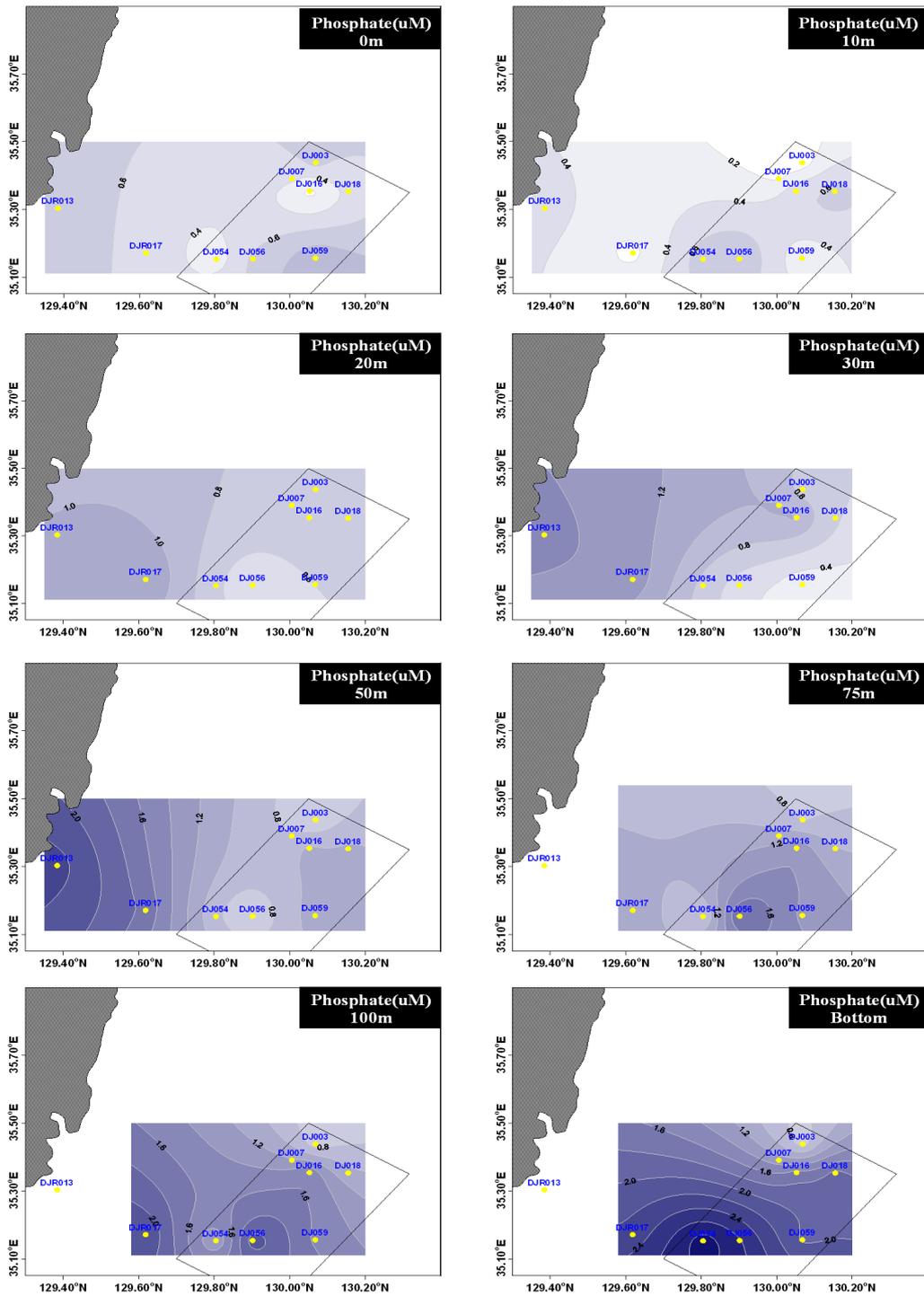


그림 2-6-76. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 인산염의 수평분포

2006년부터 현재까지 동해정배출해역의 변화를 살펴본 결과 수온은 저층은 표층보다는 수온차가 크지 않으나 본 조사시기에 저층 수온이 2006년 같은 계절에 측정된 것보다 평균 2℃가량 높게 나타났다.

염분은 표층에서 강우의 영향으로 7월조사시 표층에서 다소 낮게 나타난 반면 저층은 변화가 거의 나타나지 않았다.

수소이온농도는 표층과 저층 모두 본조사기에 약간 높게 나타났으나 큰 변화는 없었다.

지난 5년간의 영양염 변화는 전반적으로 유사한 범위를 나타냈으나 본조사시기에 아질산염과 질산염은 저층을 제외하고 전반적으로 2배미만의 높은 농도를 보였다(표 2-6-16).

따라서 표층에서 높은 농도를 보이고 저층에서 낮은 농도를 보인 질산염은 다소 외부로 인한 영향을 보이고 인산염 등의 전반적인 증가는 저층에서 영양염이 재생되는 해수의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

부유물질 또한 본조사시기에 2배이상 증가한 것으로 나타났다.

표 2-6-16. 2006년부터 2012년까지의 동해정해역의 수온, 염분, 수소이온, 용존산소, 용존무기성영양염류와 부유물질의 표·저층 평균농도

		2006.7	2007.4	2007.6	2010.5	2012.7
Temp (°C)		21.37-23.19 (22.36±0.75)	12.63-16.11 (15.04±1.00)	19.16-21.15 (20.28±0.58)	9.96-17.74 (16.47±1.86)	21.01-27.14 (25.67±1.88)
		7.53-14.67 (11.34±2.72)	3.71-12.92 (8.90±2.61)	1.40-13.91 (6.41±5.09)	1.03-12.82 (5.21±3.68)	10.66-15.32 (13.10±1.57)
Salinity (psu)		32.10-32.63 (32.44±0.20)	34.19-34.60 (34.50±0.10)	33.55-34.18 (33.91±0.24)	33.77-34.45 (34.26±0.20)	32.15-32.71 (32.35±0.17)
		34.23-34.39 (34.32±0.06)	34.06-34.46 (34.20±0.10)	33.81-34.37 (34.12±0.17)	34.04-34.40 (34.17±0.12)	34.22-34.37 (34.33±0.05)
pH		8.17-8.23 (8.20±0.01)	8.00-8.29 (8.20±0.06)	8.19-8.25 (8.22±0.02)	8.33-8.48 (8.41±0.03)	8.21-8.40 (8.25±0.06)
		7.96-8.06 (8.00±0.03)	7.80-8.16 (8.06±0.08)	7.69-8.07 (7.86±0.15)	7.80-8.25 (8.02±0.14)	8.05-8.12 (8.09±0.03)
DO (mg/l)		7.69-8.87 (8.34±0.40)	-	-	7.73-9.09 (7.94±0.33)	6.85-10.52 (7.42±1.17)
		6.92-9.48 (8.29±0.83)	-	-	8.53-11.26 (10.20±0.86)	6.01-7.39 (6.38±0.40)
NO ₂ (μM)		0.012-0.088 (0.053±0.028)	0.069-0.592 (0.321±0.144)	0.033-0.116 (0.068±0.024)	0.042-1.470 (0.424±0.370)	0.043-0.793 (0.156±0.241)
		0.105-0.298 (0.184±0.059)	0.159-0.969 (0.472±0.202)	0.062-0.433 (0.145±0.124)	0.308-2.419 (0.992±0.623)	0.050-0.143 (0.096±0.033)
NO ₃ (μM)		0.046-1.352 (0.394±0.407)	0.025-5.765 (0.321±0.144)	0.068-1.327 (0.663±0.393)	0.014-1.902 (0.544±0.536)	0.643-7.786 (2.135±2.199)
		(10.593-16.791) (13.432±2.169)	5.600-15.858 (9.643±2.898)	7.838-22.761 (13.441±4.817)	5.131-20.787 (13.256±4.722)	7.214-11.000 (8.929±1.166)
NH ₄ (μM)		0.910-1.672 (1.320±0.247)	0.956-6.524 (3.402±1.223)	0.877-2.081 (1.246±0.346)	0.827-5.533 (2.345±1.284)	1.850-5.143 (3.518±1.126)
		0.803-2.211 (1.277±0.429)	1.423-7.582 (3.919±1.386)	0.736-1.947 (1.212±0.362)	0.497-5.871 (2.462±1.231)	0.871-6.371 (2.779±1.766)
PO ₄ (μM)		0.001-0.052 (0.034±0.018)	0.048-0.327 (0.184±0.069)	0.042-0.136 (0.091±0.030)	0.111-0.490 (0.267±0.120)	0.126-0.971 (0.537±0.249)
		0.362-0.736 (0.513±0.112)	0.292-0.949 (0.570±0.170)	0.509-1.312 (0.939±0.287)	0.465-1.685 (1.407±0.378)	0.706-2.903 (1.954±0.674)
SiO ₂ (μM)		1.548-5.216 (2.715±1.151)	0.888-6.024 (3.505±1.342)	2.549-5.107 (3.317±0.095)	1.888-5.534 (3.421±1.019)	-
		9.318-19.770 (12.967±3.132)	4.585-16.421 (8.621±2.770)	10.441-27.166 (17.757-6.327)	8.466-28.387 (18.500±6.383)	-
SMP (mg/L)		0.21-1.17 (0.62±0.27)	0.43-7.18 (1.16±1.29)	0.20-0.73 (0.42±0.15)	0.31-4.55 (1.29±0.97)	2.07-5.38 (3.50±1.10)
		0.54-1.64 (0.99±0.35)	0.34-3.33 (1.18±0.70)	0.74-3.78 (1.93±1.15)	0.58-5.16 (1.97±1.18)	1.10-5.88 (3.07±1.57)

라) 입자성유기탄소(POC)

입자성유기탄소(POC)는 DJ007를 제외하고 표층에서 50m 수심에서 조사를 하였으며 농도분포는 0.011~0.135mg/ℓ를 나타냈으며, 평균 0.057mg/ℓ로 나타났다.

가장 낮은 농도는 DJ007의 수심 75m에서 나타났고 최고농도는 DJR013의 수심 10m에서 나타났다(그림 2-6-77).

입자성유기탄소의 50m까지의 수직 분포 경향은 배출해역 북부해역의 정점은 수심 20~30m수심에서 높은 농도를 보였으며 50m에서 표층과 유사한 농도로 감소하였다.

남부해역은 DJ059는 표층과 20~30m에서 높은 농도를 보인 것을 제외하고 나머지 정점은 농도변화가 없었다. 대조구는 연안에 인접한 YB013은 표층에서 가장 높고 저층으로 갈수록 농도가 급격히 감소하고 배출해역과 인접한 DJR017은 북부해역과 유사하게 나타났다.

수심별 평균농도는 0.056, 0.051, 0.066, 0.079, 0.046mg/ℓ를 보였으며 표층과 10m 수심에서는 대조구 DJR013에서 눈에 띄게 높은 농도를 보였으며 20m 수심에서는 배출해역 중앙에 dj016과 DJ059에서 높고 남서부의 DJ054에서 가장 낮았으며 30m 수심은 북부해역에서 높고 50m는 남동부해역에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-78).

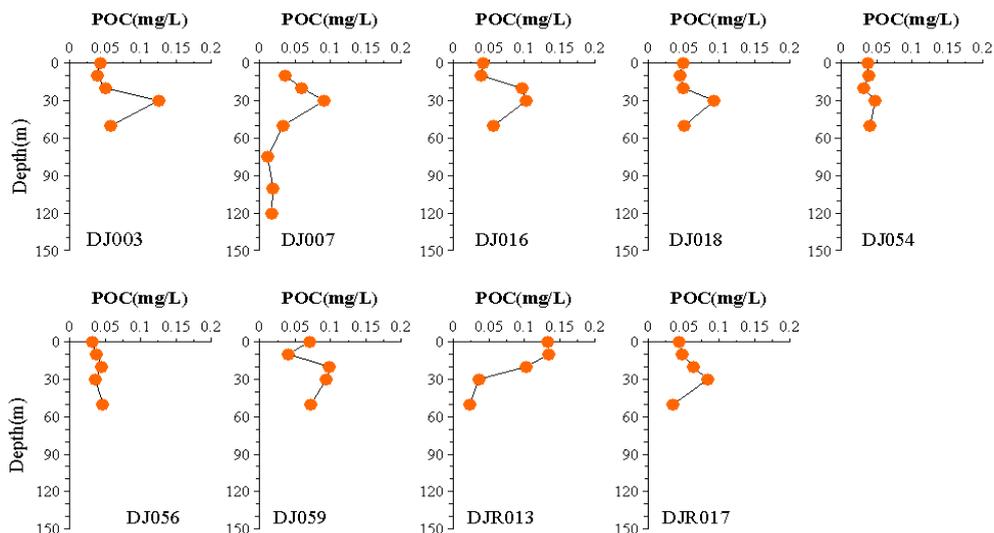


그림 2-6-77. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 입자성유기탄소의 정점별 수직분포

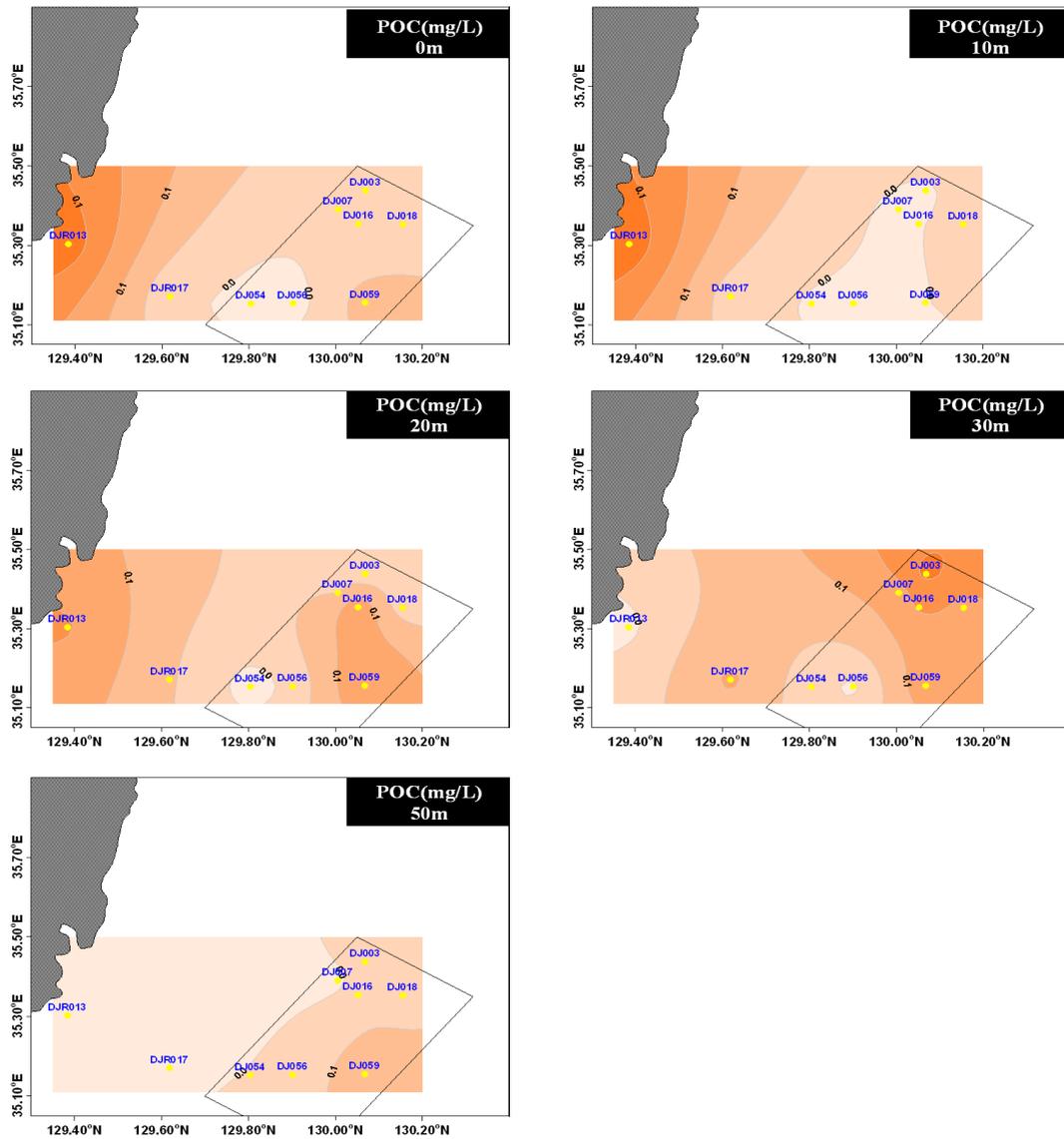


그림 2-6-78. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 입자성유기탄소의 수평분포

바) 입자성유기질소(PON)

입자성 유기질소(PON)도 입자성 유기탄소와 마찬가지로 DJ007을 제외하고 50m 수심까지 조사하였으며 위 해역에서의 농도범위는 0.002~0.022mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 0.009mg/ℓ로 나타났다.

가장 낮은 농도는 정점 DJ007의 75m 수심에서 나타났고 최고농도는 DJ003의 30m 수심에서 나타났다(그림 2-6-79).

입자성유기질소의 수직분포 경향은 입자성유기탄소와 유사하게 나타났으며 표층에서 20m 수심까지는 농도변화가 거의 없었으며 수심 30m에서 가장 높은 농도를 보이고 50m에서 감소하였다.

남부해역은 농도차가 거의 나타나지 않았고 남도부해역의 DJ059는 20m 이상의 수심에서 높은 농도를 나타냈고 대조구는 총유기탄소와 마찬가지로 형태를 보였다.

수심별 평균농도는 0.008, 0.008, 0.010, 0.014, 0.009mg/ℓ로 유사하게 나타났으며 표층과 20m 수심에서는 연안에 인접한 대조구 DJR013에서 눈에 띄게 높은 농도를 보였고 30m 수심에서는 배출해역의 북부해역에서 매우 높은 농도를 보였으며 50m에서는 배출해역의 남동부해역에서 높게 나타났다(그림 2-6-80).

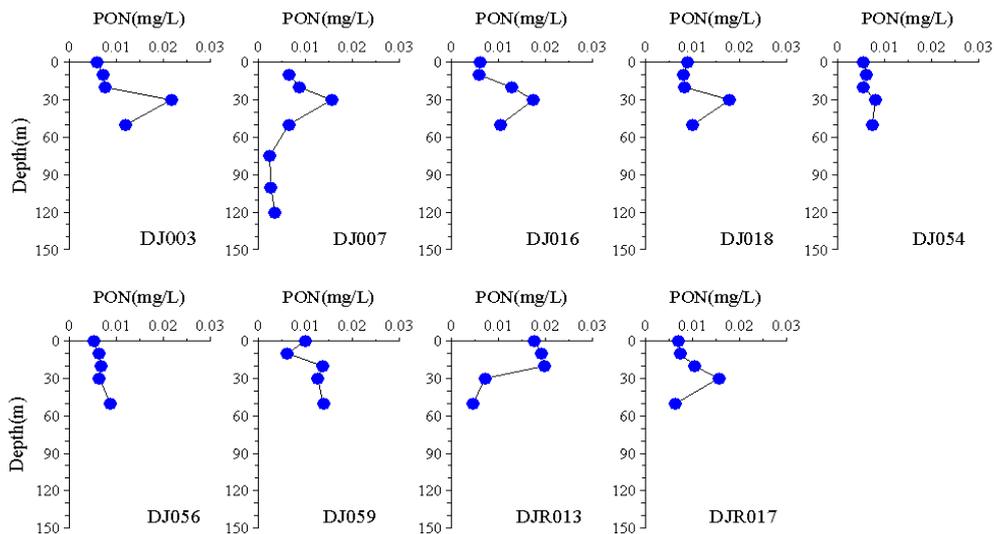


그림 2-6-79. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 입자성유기질소의 정점별 수직분포

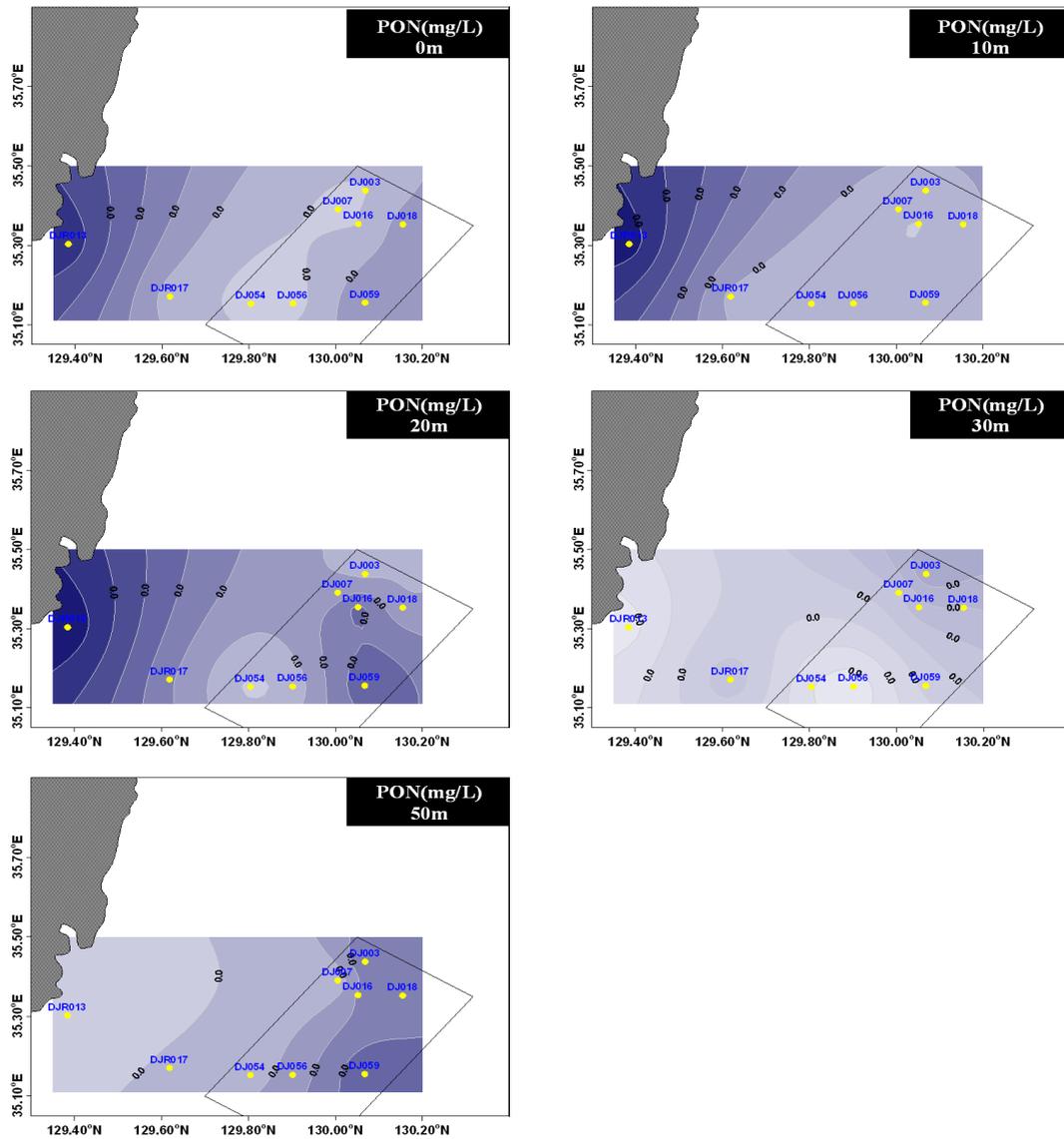


그림 2-6-80. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 입자성유기질소의 수평분포

(2) 광조절 요인 성분조사

(가) 부유물질(SPM)

2012년 7월조사시 입자성 부유물질의 수직분포는 0.250~11.435mg/ℓ 범위를 보였으며, 평균농도는 3.520mg/ℓ를 나타냈다.

최소농도는 정점 DJ003의 75m에서 나타났으며, 최대농도는 정점 DJR013의 10m 수심에서 나타났다. 수직분포 경향은 대체로 10~30m 수심에서 높은 농도를 보였고 수심이 깊어지며 감소하다 75m 수심부터 유사한 농도를 보였

으며 DJ056과 DJ059는 저층에서 증가하기도 하였다(그림 2-6-81).

표층에서는 2.067~ 5.375(평균 3.497)mg/ℓ 범위를 보였고 저층은 1.100~5.879(평균 3.066)mg/ℓ 로 표층에서 높은 농도를 보였고 20m 수심에서 2.650~8.769(평균 5.146)mg/ℓ 로 가장 높은 평균을 나타냈다.

수층별 최대 농도는 표층은 배출해역 북측의 DJ003, 10m 수심은 연안에 인접한 DJR013, 20m는 남동부의 DJ059, 30~50m는 북동부의 DJ018과 남부의 DJ056에서 높게 나타났으며 저층까지는 남동부해역의 DJ018와 DJR059에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-82).

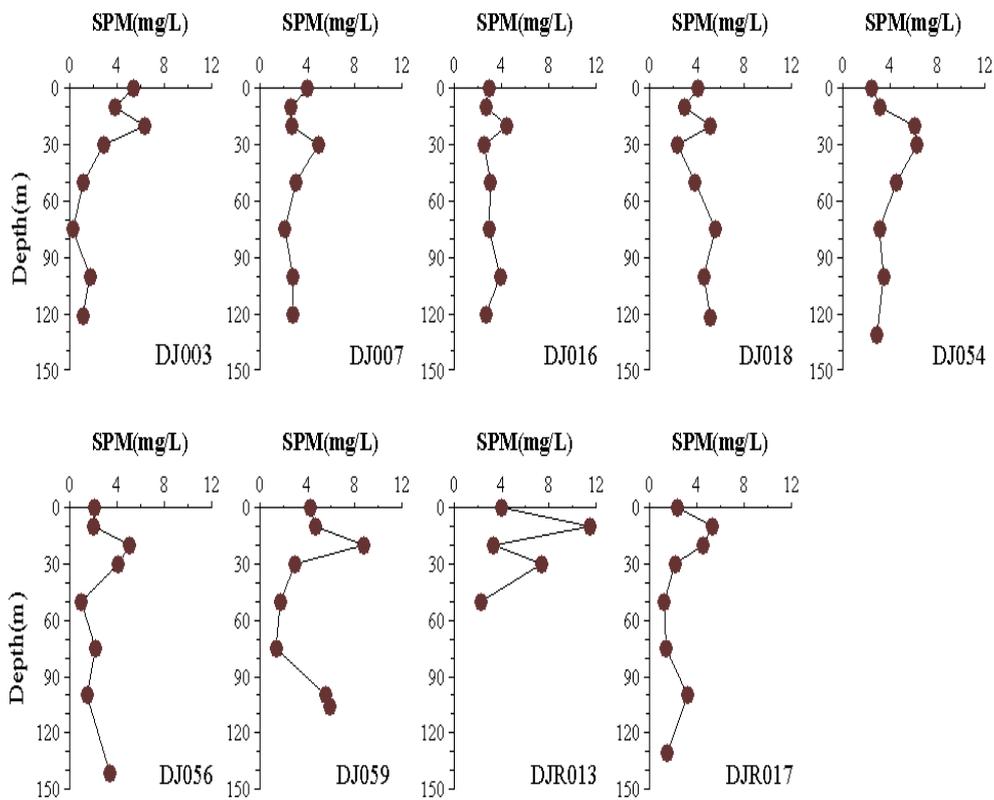


그림 2-6-81. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 부유물질의 정점별 수직분포

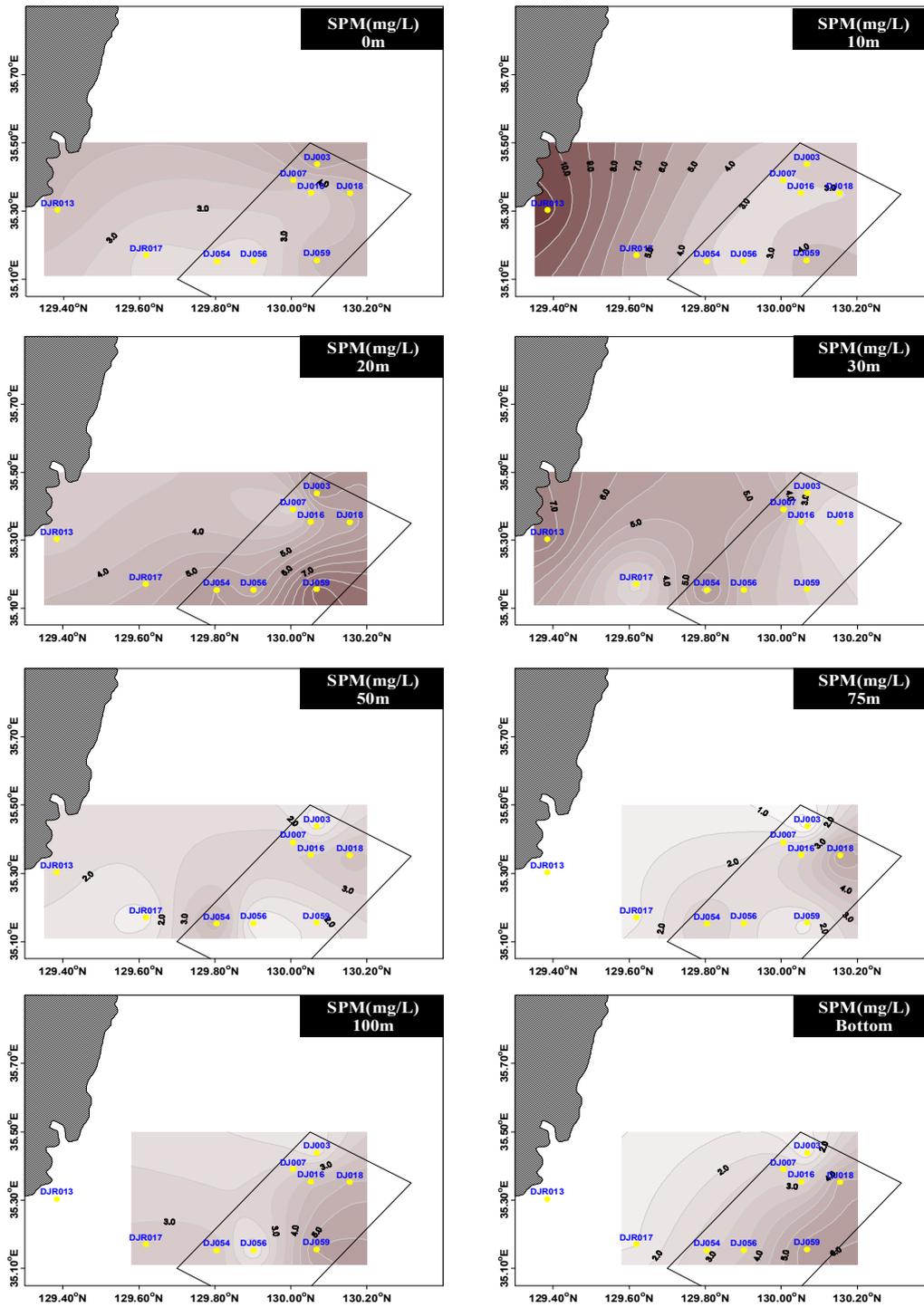


그림 2-6-82. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 부유물질의 수평분포

다. 표영생태계 일차생산자 생리 건강상태 조사평가

1). 클로로필 a

2012년 7월조사시 클로로필 a의 농도분포는 0.000~2.410 $\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 보였으며, 평균농도는 0.497 $\mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다. 최소농도는 정점 DJ003의 저층에서 나타났으며 DJ018, DJ054의 표층과 75m 이상의 깊은 수심에서 매우 낮은 농도를 보였다.

최대농도는 DJR013의 20m 수심에서 가장 높은 값을 보였다. 클로로필 a의 수직분포 경향은 수온약층이 나타나 30~50m 수심에서 높은 농도를 보이고 표층과 저층은 매우 낮게 나타났다. 단 연안에 인접한 DJR013은 표층~20m 수심에서 최대값을 나타냈다(그림 2-6-83).

조사해역의 클로로필 a의 평균 농도는, 표층은 0.351 $\mu\text{g}/\ell$, 수심 10m는 0.394, 수심 20m에서 0.605 $\mu\text{g}/\ell$, 수심 30m에서 1.375 $\mu\text{g}/\ell$, 50m에서 0.712 $\mu\text{g}/\ell$, 75m 이상의 수심에서 0.1 $\mu\text{g}/\ell$ 이하로 나타났다.

수층별 수평분포는 20m 수심까지는 연안에 인접한 DJR013에서 최대농도를 보였으며 배출해역은 북부해역의 3 정점에서만 30~50m 수심에서 높은 농도를 보이고 남부해역의 DJ056, DJ059에서는 전반적으로 매우 낮게 나타났으며 두 정점의 최대값은 50m에서 나타났다(그림 2-6-84).

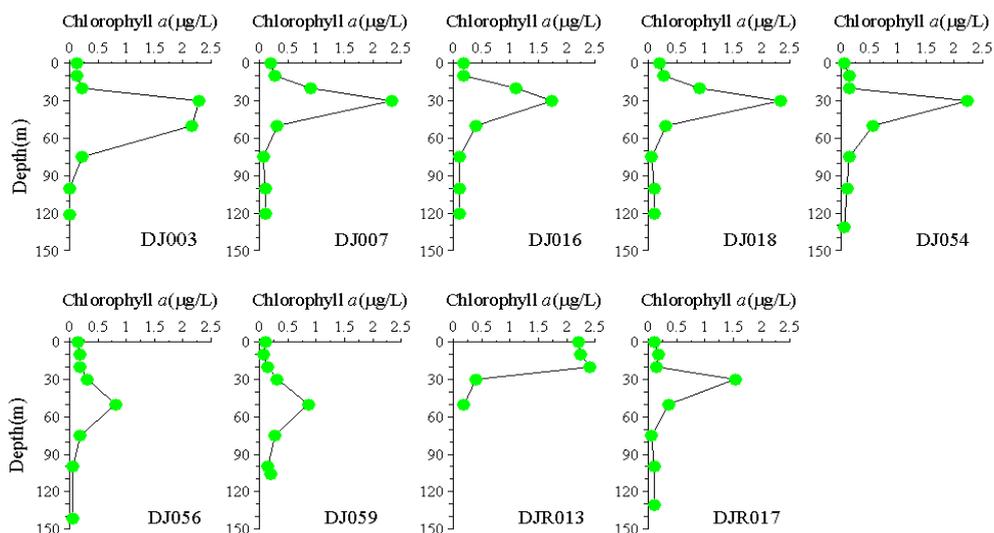


그림 2-6-83. 2012년 7월조사시 동해정해역 클로로필a의 정점별 수직분포

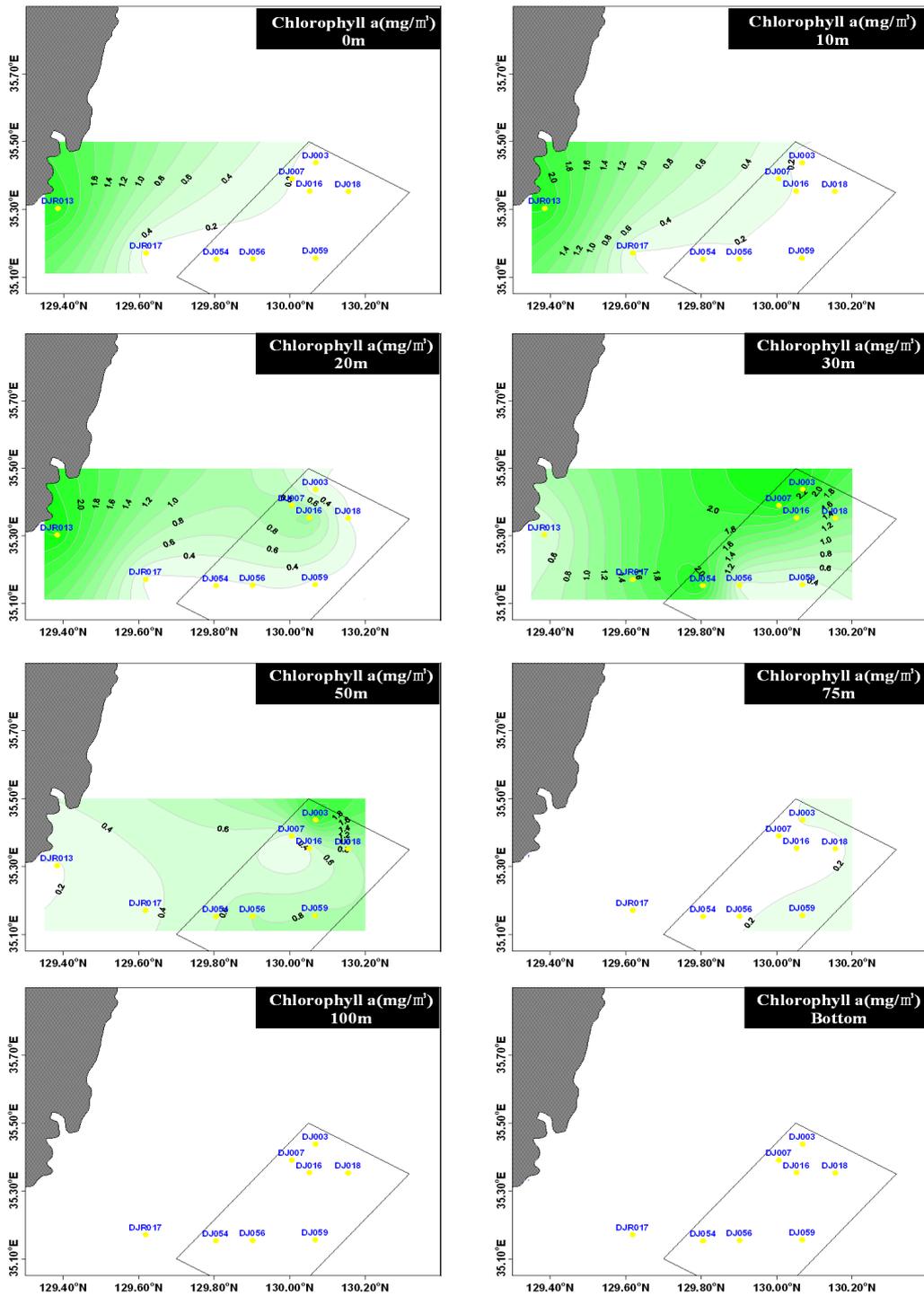


그림 2-6-84. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 클로로필a의 수평분포

2). 생체형광

식물플랑크톤의 광합성능력을 평가하고자 DCMU 사용 전(in vivo; F)과 후(Fd: FDCMU)의 형광차이를 나타낸 결과 생체형광 F는 0.056~4.410(평균 0.703)의 범위를 나타냈고, Fd-F는 0.002~5.220(평균 0.602) 범위를 보였다.

F의 최대값은 DJR013의 표층에서 나타났고, Fd-F의 최대값은 같은 정점의 20m에서 나타났다.

수직분포는 F, Fd-F 모두 배출해역 내에서는 북부해역은 20m~30m 수심에서 급격하게 증가하였고 남부해역의 DJ056과 DJ059는 표층에서 50m 수심까지 증가하다 감소하는 경향을 보였다.

대조구는 연안에 인접한 해역은 표층에서 20m 수심에서 높은 농도를 보이고 30m 수심에서 급격히 감소하였으나 F와 Fd-F가 표층에서 다른 양상을 보였다.

배출해역에 인접한 DJR017은 북부해역과 유사한 형태를 보였다(그림 2-6-85). 수평분포는 F, Fd-F 모두 표층과 10m 수층은 DJR013에서 높게 나타났고 배출해역은 북부는 20m, 30m에서 높고 배출해역에 인접한 DJR017도 30m에서 높았으며 남부해역은 50m에서 높게 나타나 클로로필 a와 일치하였다(그림 2-6-86~87)

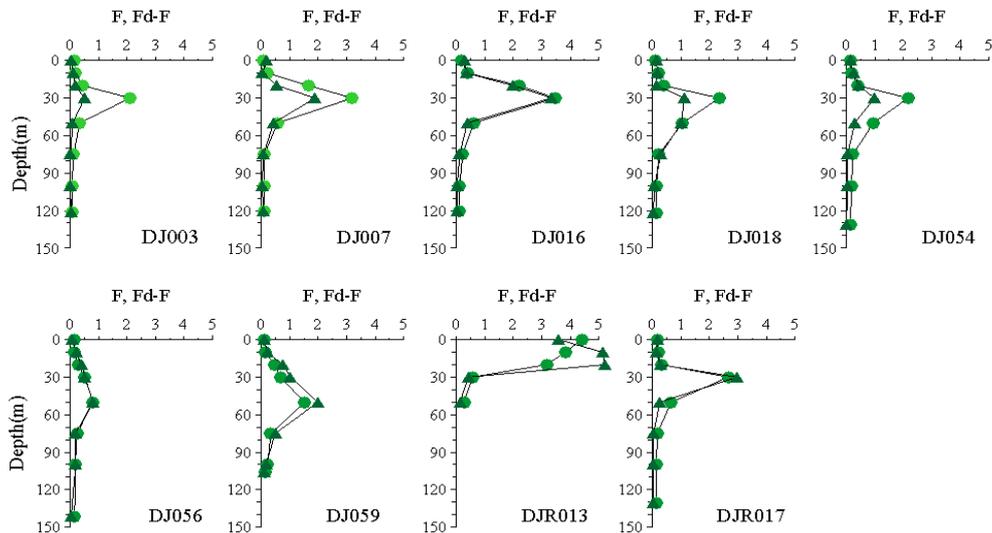


그림 2-6-85. 2009년 4월조사시 동해병해역에서 F, Fd-F의 정점별 수직분포

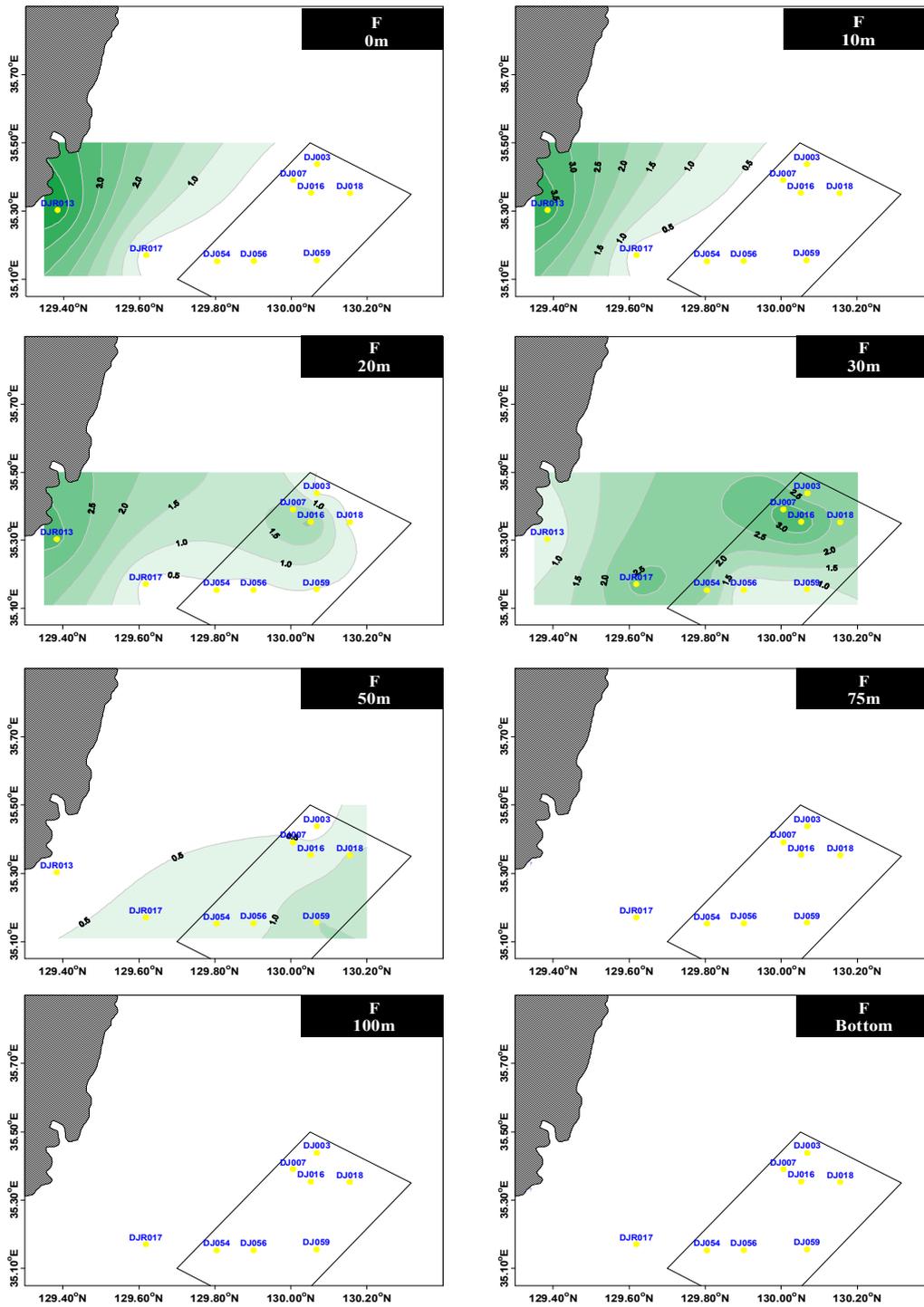


그림 2-6-86. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 F의 수평분포

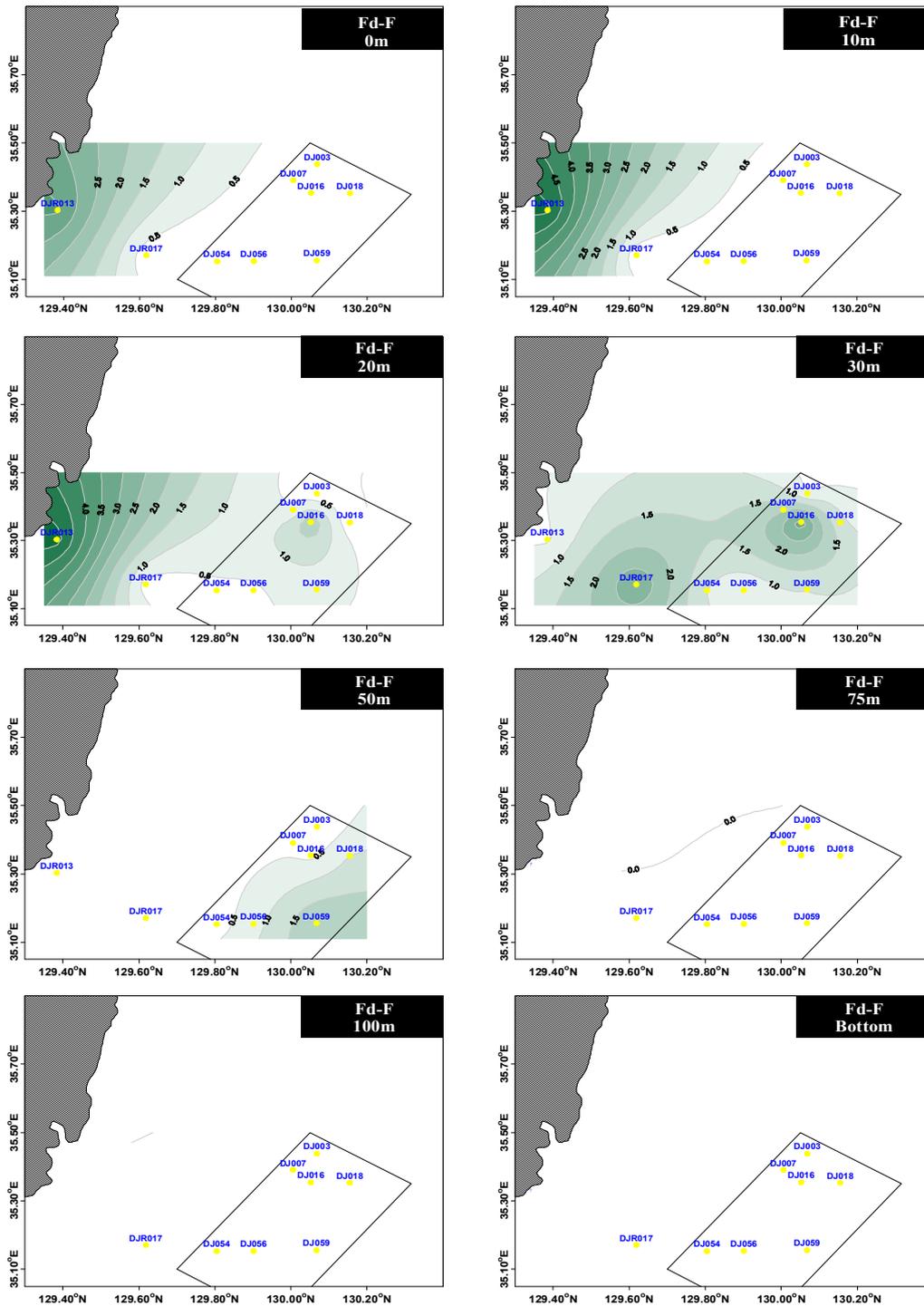


그림 2-6-87. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 Fd-F의 수평분포

광합성 생물량의 지시자인 chlorophyll a와 생체형광과의 상관관계를 살펴본 결과 생체형광 F는 $R^2=0.80$ 으로 나타났고, DCMU 첨가후의 형광 Fd는 $R^2=0.72$ 로, DCMU 사용전과 후의 차인 Fd-F는 $R^2=0.59$ 를 나타냈다(그림 2-6-88).

또한 광합성활성도를 나타내는 FRI는 클로로필 a가 높은 농도에서도 0.25 이하의 낮은 값을 보였으며 어떠한 상관성도 보이지 않았다.

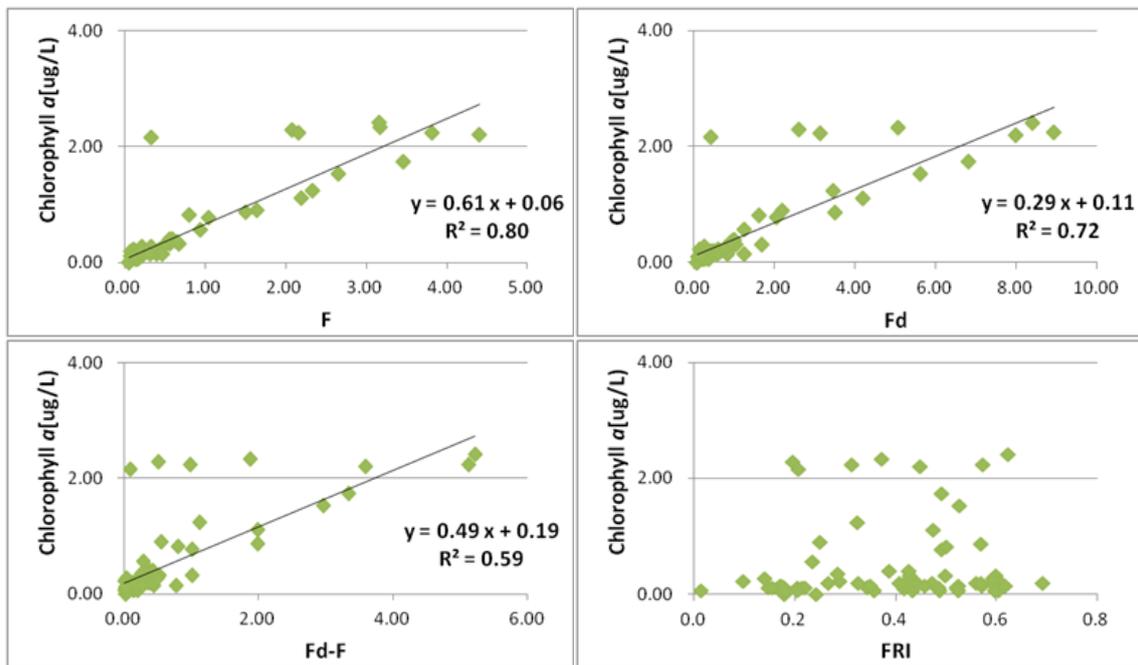


그림 2-6-88. 동해정해역의 엽록소 a와 생체형광(in vivo fluorescence; F), DCMU 첨가 후 생체형광 (DCMU fluorescence; FDCMU), DCMU 사용전과 후의 차 Fd-F, FRI 사이의 상관관계.

4) 생체형광지수

식물플랑크톤의 상대적인 광합성 활성도를 나타내는 형광반응지수를 나타내는 형광반응지수(FRI; Fluorescence Response Index) 값은 0.6 이상일 경우 일반적으로 매우 높은 광합성 활성도를 지시하며, 0.25 이하의 낮은 값은 식물플랑크톤이 생리적으로 심한 스트레스를 받고 있음을 나타낸다.

2012년 7월조사시 동해정해역에서 형광반응지수는 0.00~0.69(평균 0.39) 범위를 나타냈으며, 정점 DJ003 정점은 전수심에서 0.3이하의 매우 낮은 값을 나타냈으며 DJ059를 제외하고 100m 이상의 깊은 수심에서는 광저해로

0.25 이하로 낮은 값을 보였다(그림 2-6-89).

수층별 FRI는 표층에서 30m 수층에서 평균 0.49, 0.45, 0.45, 0.42로 0.4 이상의 값을 보였고 50, 75m 수심은 0.38, 0.36으로 나타났으며 저층까지 0.28, 0.23으로 수심이 깊어질수록 점점 감소하여 나타났다.

전체적으로 형광반응지수값이 낮은 이유는 생물량이 감소하는 여름철 조사로 인한 영향으로 보이며 저층에서 형광반응지수값이 감소하는 요인은 광부족으로 인한 광합성 감소 및 사멸되어가는 식물플랑크톤의 군집에 기인한다.

형광반응 지수는 대체로 배출해역의 남부해역에서 높은 값을 나타냈으며 대조구해역은 10~20m는 연안에 인접한 해역에서 0.5이상으로 양호한 값을 보였고 DJR017은 표층과 30m 수심에서 양호한 값을 보였다(그림 2-6-90).

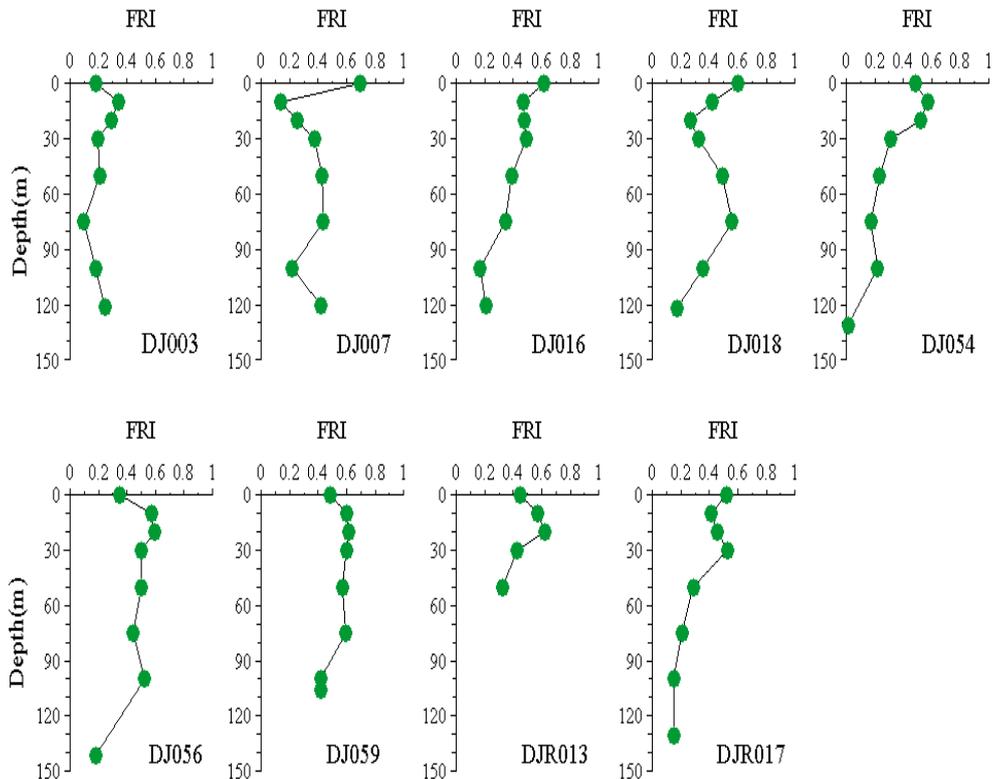


그림 2-6-89. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 FRI의 정점별 수직분포

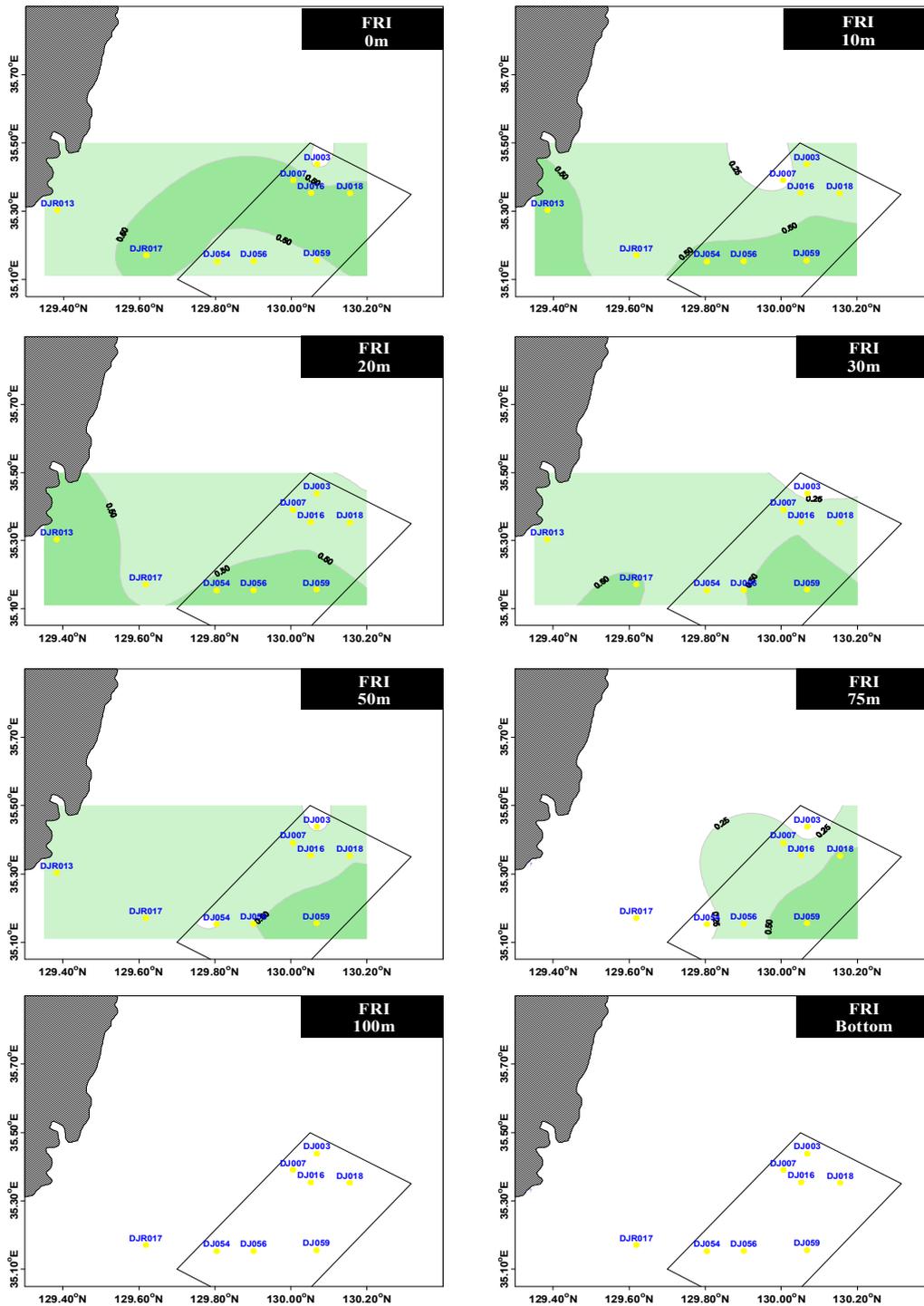


그림 2-6-90. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 FRI의 수층별 수평분포

전반적으로 생리건강상태조사를 위한 조사결과를 과거 자료와 비교한 결과 봄철 조사보다 수온이 상승하는 6, 7월 조사시 클로로필 a의 농도가 매우 낮게 나타났고 생체형광지수는 2010년 5월 봄철조사와 본조사시기에 다소 생리적으로 심한 스트레스를 받고 있는 것으로 나타났다(표 2-6-17).

표 2-6-17. 2006년부터 현재까지의 동해정해역의 엽록소 a, 일차생산, 생체형광지수의 표층과 저층의 평균농도 비교

조사 항목	2006.07	2007.04	2007.06	2010.05	2012.07
PP (mgC m ⁻³ h ⁻¹)	0.008-1.262 (0.40±0.42)	0.002-30.369 (6.91±7.08)	0.010-15.962 (3.28±3.79)	0.164-12.580 (4.31±8.85)	-
Pb (mgCmgChl _a h ⁻¹)	0.007-5.672 (0.99±1.32)	0.001-12.233 (2.60±2.77)	0.000-36.180 (9.11±9.71)	0.125-59.784 (8.82±10.70)	-
PP (mgC m ⁻² hr ⁻¹)	8.075-11.575 (9.83±2.48)	37.838-225.201 (116.17±49.70)	38.741-179.394 (81.90±48.39)	35.501-331.683 (181.17±108.86)	-
PP (mgC m ⁻² day ⁻¹)	85.88-134.470 (104.72±26.07)	705.754-2,493.389 (1,182.60±505.30)	366.500-2,440.356 (995.23±677.21)	405.479-3,256.172 (1,705.97±929.99)	-
Chl-a (μg/L)	0.02-1.38 (0.43±0.33)	0.00-7.83 (2.25±1.88)	0.00-2.65 (0.26±0.40)	0.01-9.01 (0.80±1.07)	0.06-2.41 (0.50±0.70)
FRI	0.15-0.72 (0.52±0.12)	0.23-0.70 (0.55±0.10)	0.00-1.00 (0.42±0.32)	0.00-0.66 (0.34±0.18)	0.01-0.69 (0.39±0.16)

라. 표영생태계 유해물질 위해성 평가

1) 유해물질 농도 조사

(가) 수질평가지수(Water Quality Index)

동해정해역의 수질평가 지수를 나타내기 위해 우선 생태구역을 정하였다. 동해정해역과 가장 인접한 대한해협 생태구를 적용하여 기준값을 표 2-6-3에 따라 엽록소 a는 6.3μg/L, 저층용존산소포화도는 90%, 영양염인 용존성무기질소(DIN)는 221μg/L, 용존성무기인(DIP)은 34μg/L, 투명도는 2.6m로 정하여 항목별 점수에 따른 농도범위를 표 2-6-18에 나타냈다.

동해정해역의 항목별 점수는 투명도는 4~20m로 1점, 저층 용존산소포화도는 121~139(평균 133)%로 1점, 클로로필 a는 0.1~2.4(평균 0.5)μg/L로 1점을 얻었다. 반면 영양염 중 DIN은 19.8~259.1(평균 106.8)μg/L로 DJ003과 DJR017의 저층에서 각각 245μg/L, 259μg/L를 보여 3점을 나타내고 나머지

해역의 전체 수심은 218 $\mu\text{g/L}$ 이하로 1점을 받았다. DIP는 3.9~90.0(평균 33.2) $\mu\text{g/L}$ 로 1~5점으로 높은 점수를 보였는데 표층에서 30m 수심은 34 $\mu\text{g/L}$ 이하로 1점을 받은 반면 50m 이사의 깊은 수심에서 높은 농도를 보여 2~5점으로 나타났다.

표 2-6-18. 대한해협 생태구를 적용한 항목별 점수표

	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	DO (%)	DIN ($\mu\text{g/L}$)	DIP ($\mu\text{g/L}$)	(m)
	6.3	90	221	34	2.6
1	2.2	90	427	31	0.9
2	6.93	81.00	243.10	37.40	2.34
3	7.88	67.50	276.25	42.50	1.95
4	9.45	45.00	331.50	51.00	1.30
5	3.30	45	640.50	46.50	0.45

항목별 점수를 적용하여 수질평가 지수QWI를 구한 결과 동해정해역은 20~32(평균 22.5)로 나타났다. 수질평가 지수를 이용하여 표 2-6-11의 환경정책 기본법 시행령의 별표 1의 생태기반 해수수질 기준을 적용한 결과 I(매우 좋음)~II(좋음)등급으로 나타났다.

배출해역내 북부해역과 남부해역은 표층에서 75m~100m 수심까지 I등급의 “매우 좋음”을 나타냈고 남부해역은 50m 수심, 대조구는 30m 수심까지 “매우 좋음” 해역으로 구분되었다. 나머지 해역의 수심은 II등급으로 “좋음” 해역으로 구분되었다.

(나) 총유기탄소(TOC)

2012년 7월 조사시 총유기탄소는 0.921~10.817mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 4.140mg/ℓ 로 나타났다.

가장 낮은 농도는 DJ018의 저층에서 보였고 최고 농도는 정점 DJ016의 수심 50m에서 나타났다(그림 2-6-91). 총유기탄소의 표층 농도 범위는 1.747~7.337(평균 3.907)mg/ℓ 를 나타냈고 배출해역에서는 1.747~7.337(평균 3.990)mg/ℓ 범위이며, 대조구해역에서는 3.200~4.040(평균 3.620)mg/ℓ 로, 북

부해역 동부에 위치한 DJ018에서 높고 조사해역의 북측해역에서도 높은 농도를 보였다.

저층의 평균농도는 0.921~6.629(평균 4.449)mg/ℓ 로, 배출해역에서는 20.921~6.629(평균 4.502)mg/ℓ 를 보였고 대조구해역에서는 3.080~4.080(평균 3.580)mg/ℓ 로, 배출해역에서 높은 농도를 보였으며 최대값은 DJ007에서 나타났으며 표층에서 높은 농도를 보인 동부해역에서 최소값을 보였다(그림 2-6-22).

총유기탄소의 수층별 평균 농도는 3.907, 3.933, 4.212, 3.885, 4.388, 4.167, 4.225, 4.297mg/ℓ 로 30m에서 농도가 가장 낮았으며, 저층에서 가장 높게 나타났다. 또한 DJ016의 경우 20~50m에서 최대값을 보였다(그림 2-6-92).

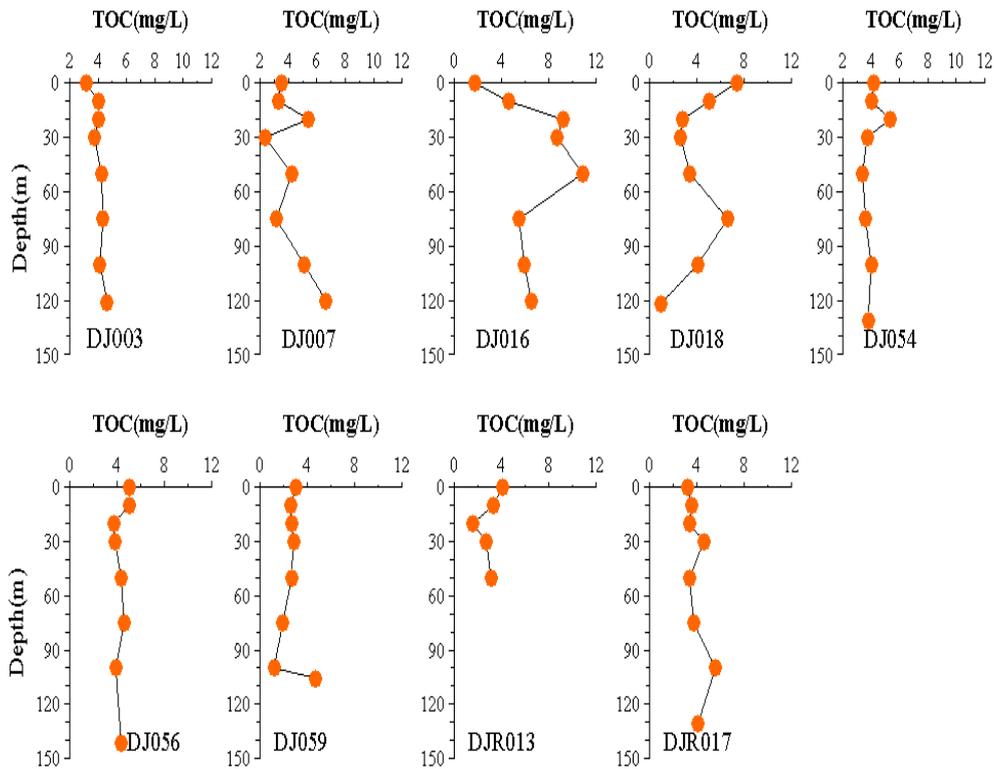


그림 2-6-91. 2012년 7월조사시 동해정해역 총유기탄소의 정점별 수직분포

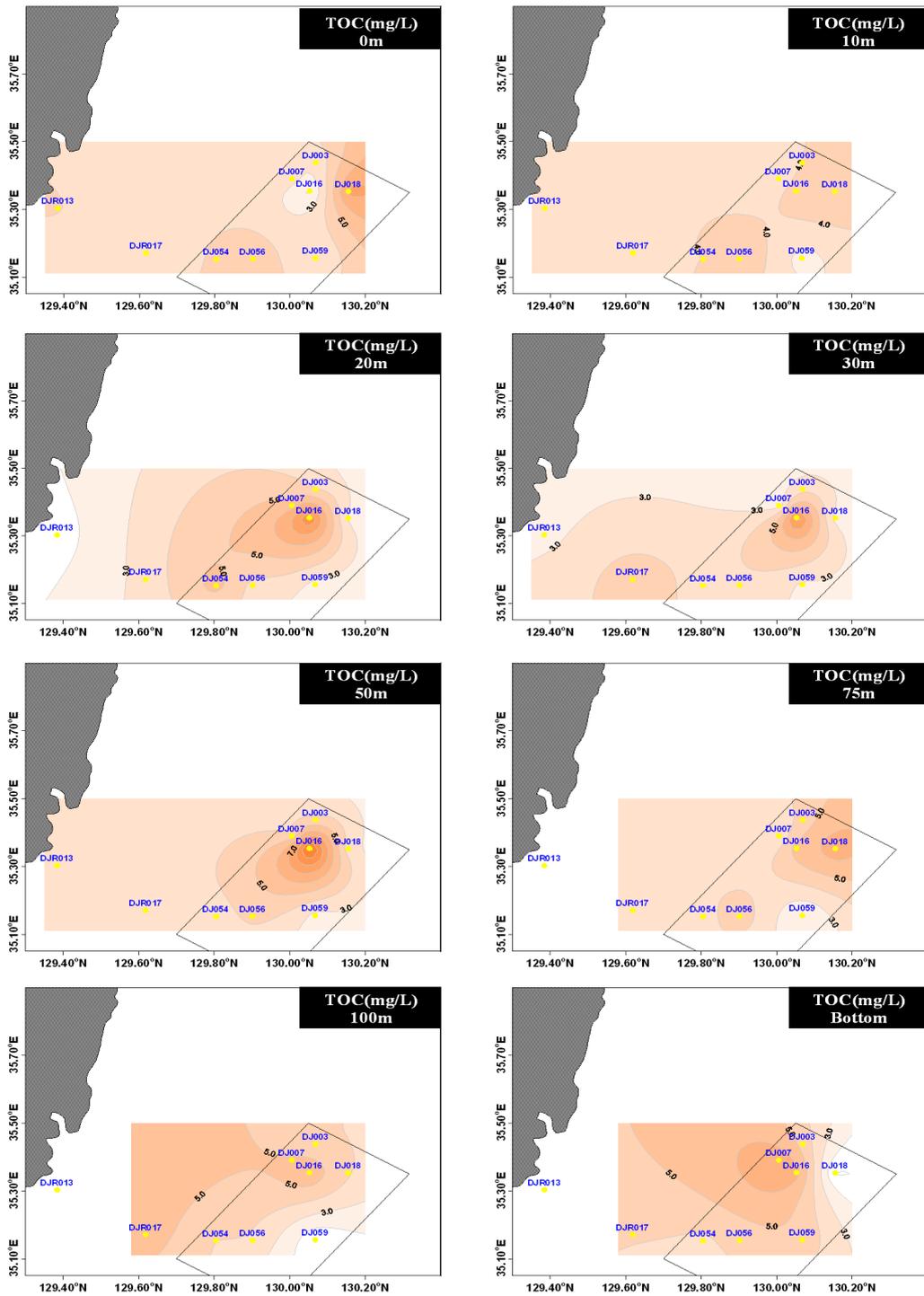


그림 2-6-92. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 총유기탄소의 수평분포

(다) 용존성유기탄소(DOC)

2012년 7월 조사시 용존성유기탄소는 0.228~4.092mg/ℓ 범위를 나타냈으며, 평균 2.010mg/ℓ 로 나타났다. 가장 낮은 농도는 DJ007의 100m 수심에서 보였고 최고 농도는 정점 DJ018의 표층에서 나타났다(그림 2-6-93).

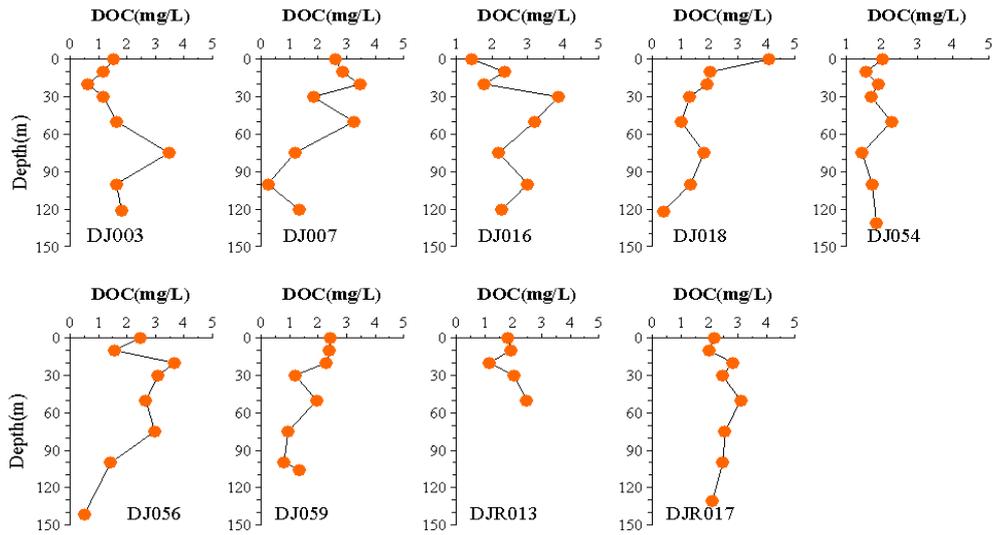


그림 2-6-93. 2012년 7월조사시 동해정해역 용존성유기탄소의 정점별 수직분포

용존성유기탄소의 표층 농도 범위는 1.430~4.092(평균 2.281)mg/ℓ 를 나타냈고 배출해역에서는 1.430~4.092(평균 2.362)mg/ℓ 범위이며, 대조구해역에서는 1.820~2.172(평균 1.996)mg/ℓ 로, 북부해역 동부에 위치한 DJ018에서 높고 조사해역의 북측해역에서도 높은 농도를 보였으며 대조구에 비해 배출해역에서 높은 평균을 보였다.

저층의 농도분포는 0.382~2.471(평균 1.560)mg/ℓ 로, 배출해역에서는 0.382~2.280(평균 1.353)mg/ℓ 를 보였고 대조구해역에서는 2.101~2.471(평균 2.286)mg/ℓ 로, 대조해역에서 높은 농도를 보였으며 최대값은 연안에 인접한 DJR013에서 나타났으며 DJ007에서 나타났으며 표층에서 높은 농도를 보인 동부해역과 남부해역에서 낮은 농도를 보였다(그림 2-6-94).

용존성유기탄소의 수층별 평균 농도는 2.281, 1.9743, 2.179, 2.067, 2.394, 2.068, 1.578, 1.560mg/ℓ 로 저층에서 농도가 가장 낮았으며, 50m 수심에서 평균이 높게 나타났다. 전반적으로 배출해역 내에서 높은 농도를 보였고 20~50m에서 총용존성유기탄소와는 달리 DJ016뿐만 아니라 DJ007과 남부해역의 DJ056에서 높은 값을 보였다.

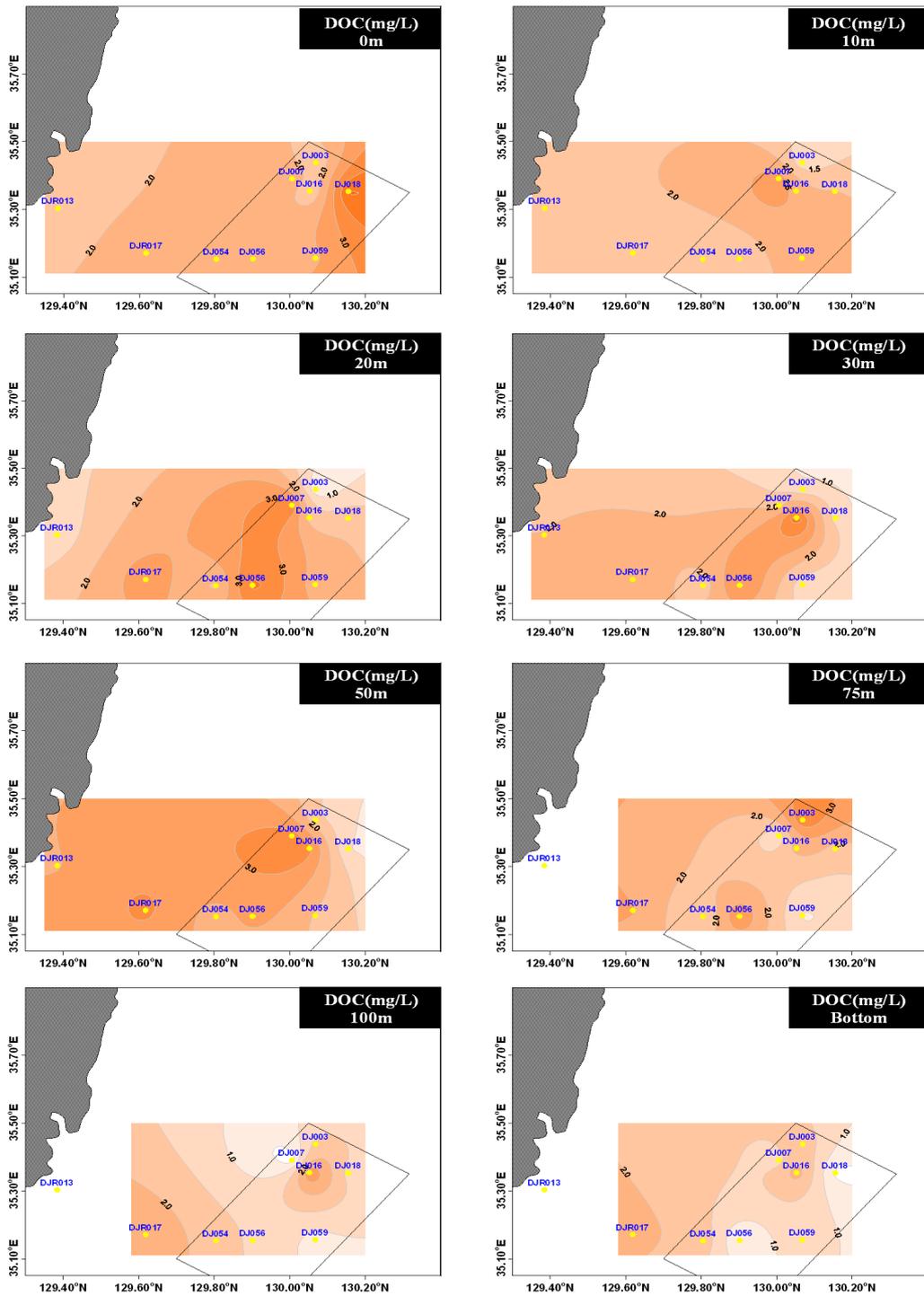


그림 2-6-94. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 수층별 용존성유기탄소의 수평분포

(라) 화학적 산소 요구량

2012년 7월조사시 화학적 산소요구량의 농도범위는 0.40~2.40(평균 1.00) mg/ℓ로 나타났으며, 최소농도는 DJ016을 제외하고 북부해역의 DJ003, DJ007의 10~30m 수심과 DJ018의 50~75m에서 나타났으며 남부해역의 DJ054도 표층과 깊은 수심을 제외하고 최소농도를 보였다. 최대농도는 DJ016의 100m 지점에서 나타났다.(그림 2-6-95).

조사해역의 수심별 평균 농도를 보면 1.20, 1.02, 0.67, 1.11, 1.02, 0.85, 1.35, 0.80mg/ℓ로 나타났고 표층과 100m 수나타났으며 20m 수심에서 가장 낮은 평균 농도를 보였다.

DJR013은 연안의 영향으로 표층에서 30m 수심에서 높은 농도를 보였으며 배출해역 내에서는 DJ016에서 전반적으로 높은 값을 가졌고 남부해역의 DJ059도 30m 이하의 얇은 수심에서 다소 높은 농도를 보였다(그림 2-6-96).

화학적산소요구량의 개정전 생활환경기준에 따르면 전체적으로 표층에서 I~II등급을 보였으며 DJ018과 DJ054는 전체 수심에서 I 등급을 나타냈다(표 2-6-12).

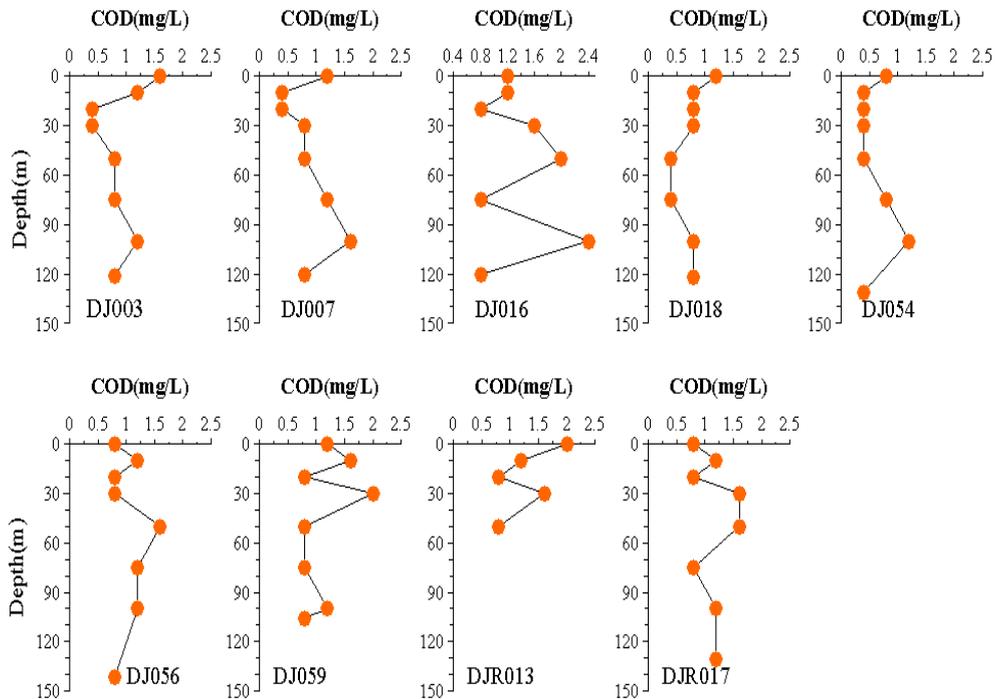


그림 2-6-95. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 화학적산소요구량의 정점별 수직분포

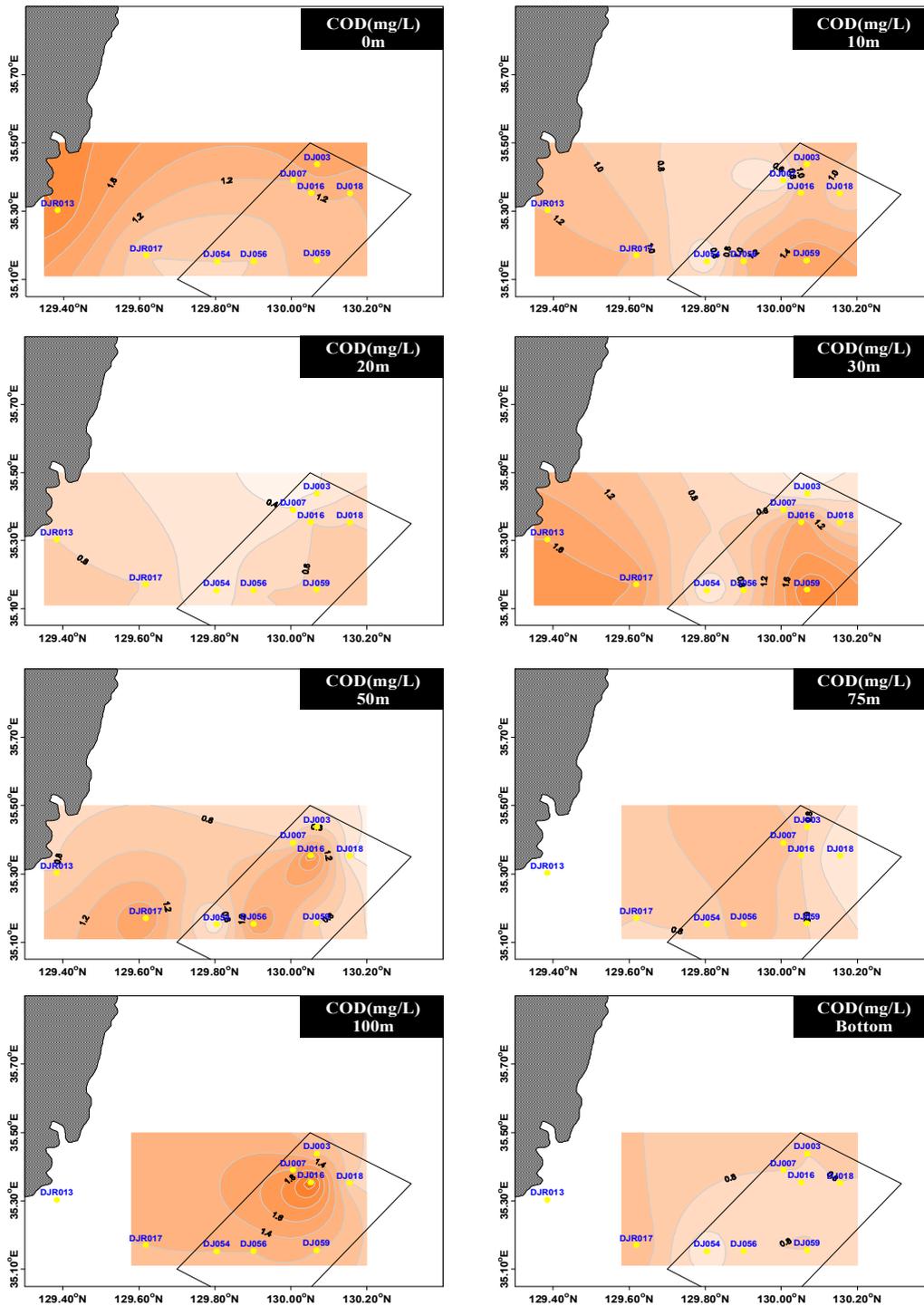


그림 2-6-96. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 화학적산소요구량의 수층별 수평분포

(마) 총 질소

2012년 7월조사시 총질소의 수직분포는 0.190~2.253mg/ℓ 범위를 보였으며 평균 0.700mg/ℓ 를 나타냈다.

최소농도는 DJ016의 표층에서 나타났고 최대농도는 DJR017의 75m에서 보였다. 수직분포는 대체로 수심이 깊어질수록 증가하는 경향을 보였다(그림 2-6-97).

배출해역내 북부해역의 정점은 표층에서 저층까지 농도차가 크지 않았으며 남부해역과 대조해역에서 농도가 매우 높게 나타났다.

조사해역의 수심별 평균 농도는 0.571, 0.651, 0.468, 0.467, 0.880, 0.832, 0.781, 1.011mg/ℓ 로 20~30m에서 다소 감소하다 증가하는 경향을 보였다.

수층별 수평분포는 배출해역에 인접한 대조해역인 DJR017에서 전반적으로 높은 농도를 보였으며 배출해역에서는 50m 수심까지는 매우 낮은 농도를 보였으며 깊은 수심에서는 DJ059에서 높게 나타났다(그림 2-6-98).

총질소는 배출해역에서 해역수질등급의 생활환경기준 I~등급을 초과하여 나타났으며 배출해역의 북부해역은 I~II등급을 보였으며 남부해역은 I~III등급, 대조구는 50m 이하의 얕은 수심은 III등급, 그 이상의 깊은 수심은 등급을 초과하여 나타났다(표 2-6-12).

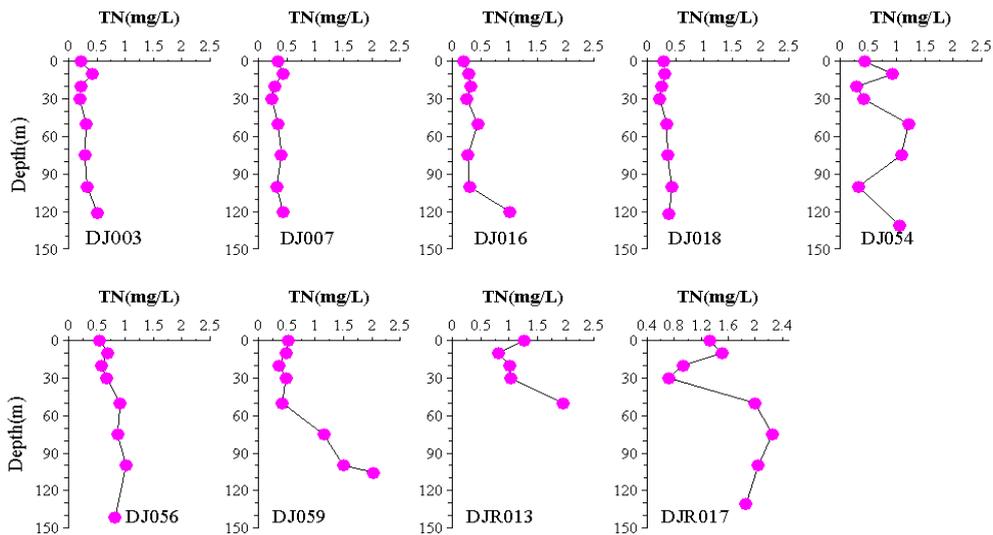


그림 2-6-97. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총질소의 정점별 수직분포

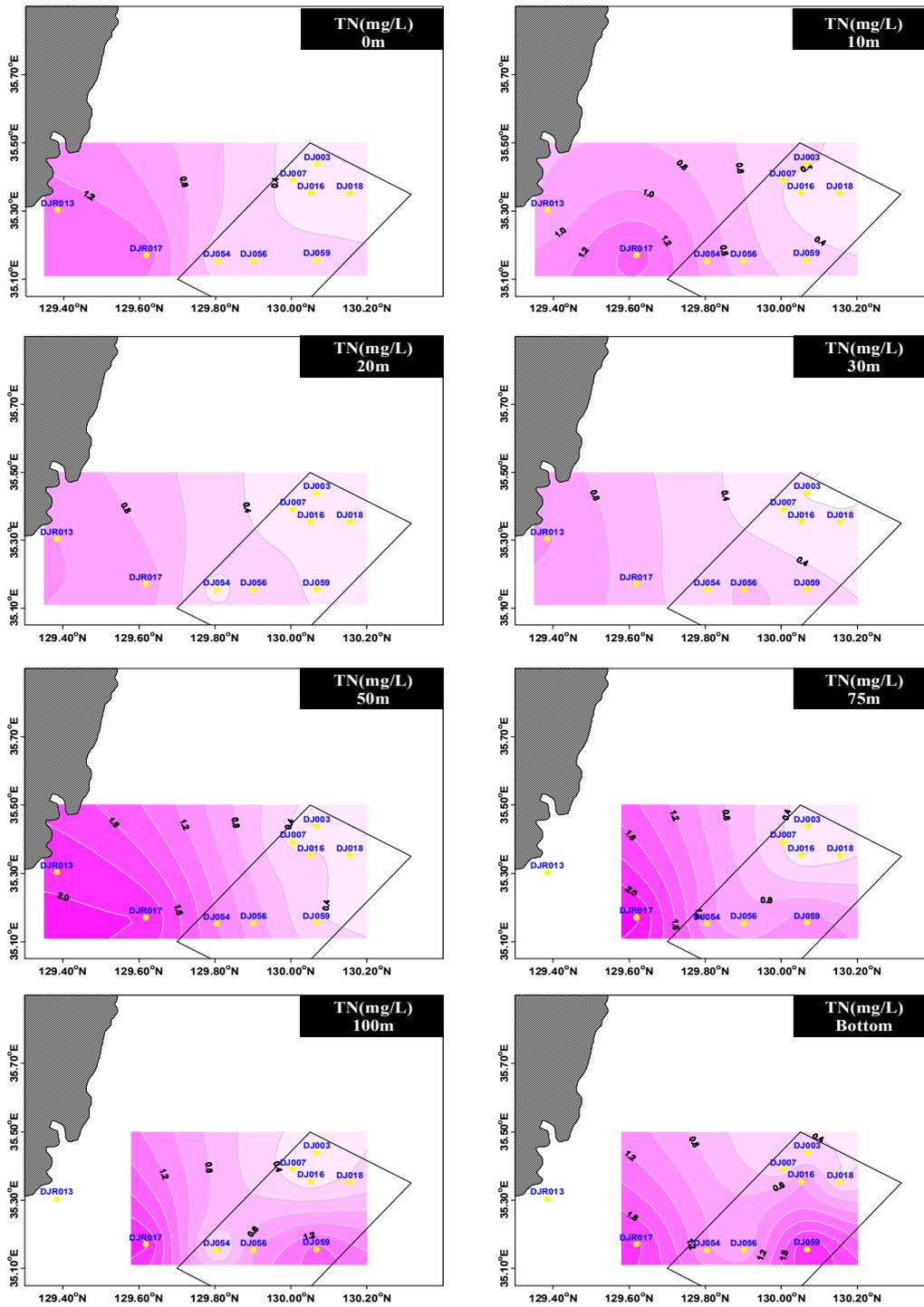


그림 2-6-98. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총질소의 수층별 수평분포

(바) 총 인

2012년 7월조사시 총인의 농도분포는 0.000~0.066mg/ℓ 범위를 보였으며, 평균 0.021mg/ℓ 를 나타냈다.

최소값은 정점 DJ056의 10m 수심과 DJR013의 표층에서 나타났으며, 최대값은 정점 DJ054의 저층에서 나타났다. 총인도 총질소와 마찬가지로 수심이 깊어짐에 따라 농도가 증가하는 경향을 보였다.

배출해역의 수직분포는 DJ007, DJ018, DJ054를 제외하고 수심 증가에 따라 점층적으로 농도가 증가하는 경향을 보였으며 농도차가 크지 않았다(그림 2-6-99).

조사해역의 수심별 평균 농도를 보면 표층부터 0.008, 0.013, 0.014, 0.024, 0.027, 0.024, 0.029, 0.033mg/ℓ 로 수심증가에 따라 점층적으로 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 수층별 수평분포는 대조해역보다 배출해역에서 높은 농도를 보였으며 배출해역의 서부해역에서 높은 농도를 보였으며 50m 이상의 수심은 동부해역의 DJ018에서도 높게 나타났다(그림 2-6-100).

해역수질등급의 생활환경기준은 배출해역은 대부분 I 등급으로 나타났고 DJ018과 DJ054의 50m와 저층에서 II 등급을 보였다.

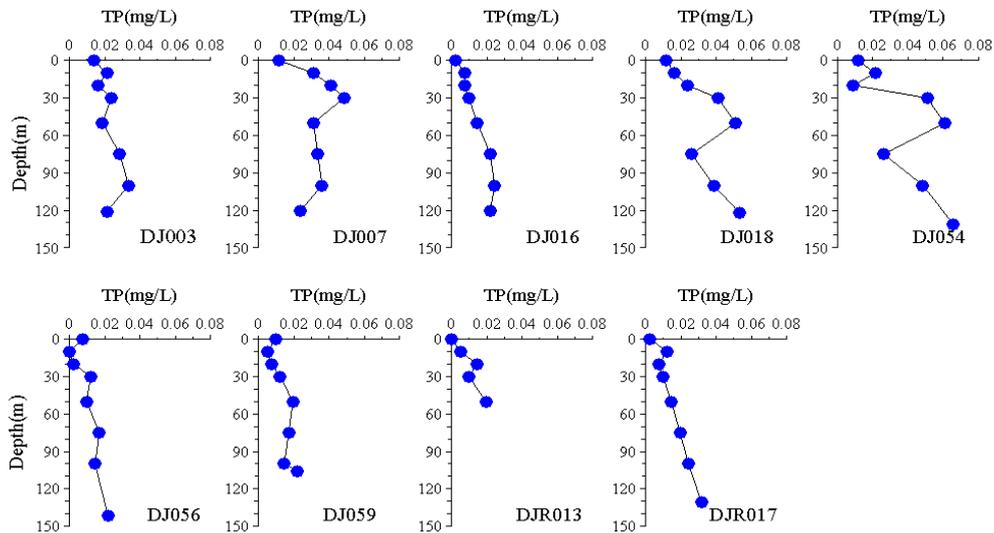


그림 2-6-99. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총인의 정점별 수직분포

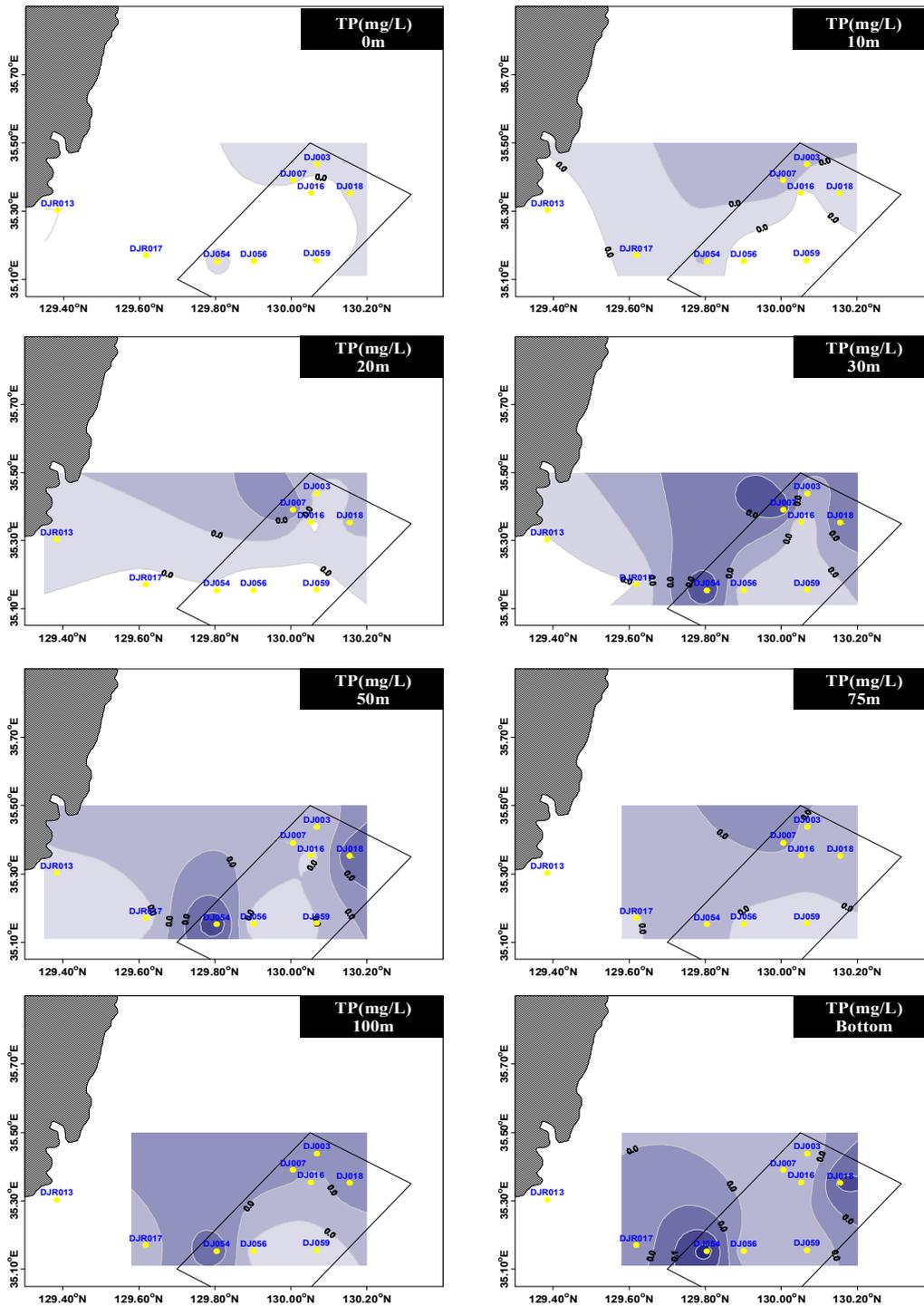


그림 2-6-100. 2012년 7월조사시 동해정해역에서 총인의 수층별 수평분포

(사) 유기독성화합물

① 용매추출유분

2010년 용매추출 유분은 본조사시 0.055~0.147 ppb범위를 보였으며 평균 농도는 0.090 ppb를 나타냈다. 최대값은 북부해역의 DJR003과 남단에 위치한 DJ054에서 나타났고, 최소값은 연안에 인접한 대조구 DJR013에서 나타나 대체로 대조구보다 배출해역에서 높은 농도를 보였다(그림 2-6-101). 환경정책기본법 시행령 별표 1중 생활환경기준의 용매추출 유분 기준이 0.01mg/ℓ 이하로 본 조사해역의 측정 농도는 매우 낮은 농도였다(표 2-6-11). 본 조사 결과와 2010년 5월자료와 비교한 결과 본조사시기에 2배가량 증가하였으며 2007년 이전자료는 광유류 측정 방법을 사용하여 분석하여 보고서에서 제외하였다(표 2-6-17).

② 시안화물

시안화합물 농도는 0.001~0.006mg/ℓ 범위를 보였으며 평균 0.005mg/ℓ를 나타냈다. 최대값은 배출해역 내 북부에 위치한 DJ007과 DJ018에서 높게 나타났으며, 최소값은 배출해역에 인접한 대조구 DJR017에서 나타났다. 전반적으로 배출해역은 북부해역에서 높은 농도를 보였고 정해역의 중앙해역에서 낮은 농도를 보였고 남서부의 DJ054와 DJ056에서도 평균치의 다소 높은 농도를 보였다(그림 2-6-101). 그러나 전반적으로 시안화합물은 전 정점에 걸쳐 불검출 수준으로 사람의 건강보호 기준 0.01mg/ℓ를 초과하지 않았다(표 2-6-11). 과거 자료 조사자료와 비교한 결과 시안 화합물의 농도는 2006년부터 현재까지 감소하는 추세를 보였으나 2010년 5월보다는 본조사시기에 증가한 것으로 나타났다(표 2-6-17).

③ 페놀류

페놀류 농도는 0.001~0.005mg/ℓ 범위를 보였으며, 평균 0.003mg/ℓ로 나타났다(그림 2-6-101). 최대값은 연안에 인접한 대조구해역의 DJR013에서 가장 높은 농도를 보였으며, 배출해역 내에서는 매우 낮은 농도를 나타냈다. 이 농도는 사람의 건강보호기준치를 초과하지 않은 농도이나 다소 높은 농도를 보인 DJR013은 관리가 필요할 것으로 보인다(표 2-6-11). 과거자료와 비교하였을 경우 기준치를 초과한 2010년 조사를 제외하면 과거와 유사한 농도로 나타났다(표 2-6-19).

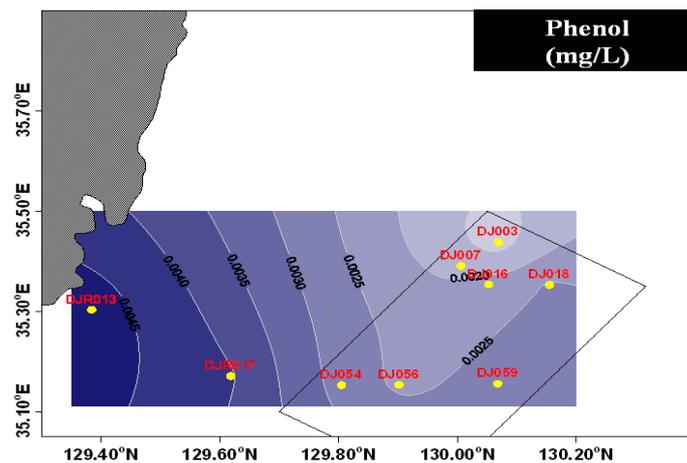
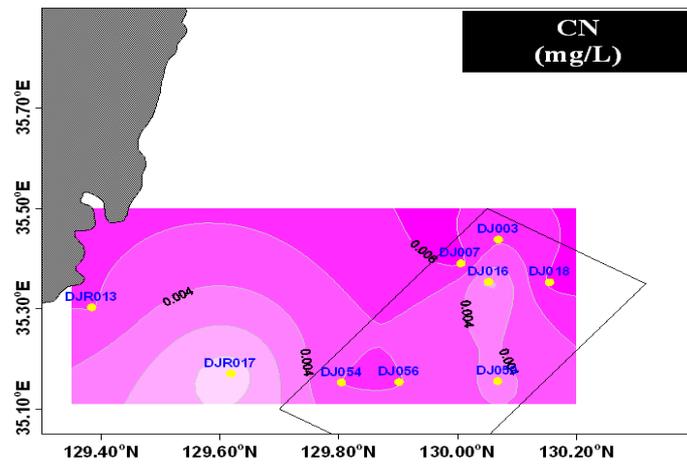
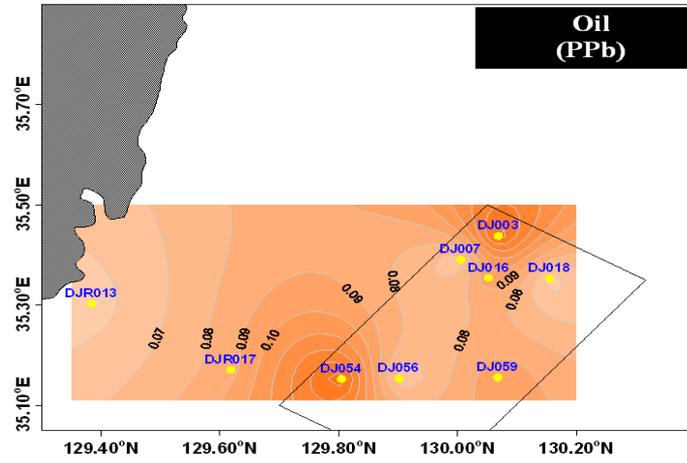


그림 2-6-101. 2012년 7월조사시 동해정해역 표층에서 용매추출유분, 시안, 페놀의 수평분포

표 2-6-19. 2006년부터 현재까지의 동해정배출해역의 화학적 산소요구량, 총 질소, 총인, 중금속, 유분, 시안, 페놀의 평균농도 비교

	2006.7	2007.4	2007.6	2010.5	2012.7
COD [mg/L]	0.571-1.560 (1.116±0.296)	0.400-14.800 (2.867±2.552)	0.400-14.800 (2.609±1.320)	0.000-2.400 (0.624±0.552)	0.40-2.40 (1.00±0.45)
TN [mg/L]	0.028-0.302 (0.131±0.088)	0.025-2.404 (0.612±0.390)	0.025-2.620 (0.704±0.506)	0.000-2.381 (0.460±0.478)	0.190-2.253 (0.700±0.535)
TP [mg/L]	0.001-0.018 (0.007±0.006)	0.003-0.044 (0.022±0.008)	0.003-0.065 (0.023±0.016)	0.001-0.103 (0.031±0.020)	0.002-0.066 (0.021±0.015)
Oil [ppb]	-	-	-	0.009-0.132 (0.049±0.033)	0.055-0.147 (0.090±0.037)
CN [mg/L]	0.006-0.018 (0.011±0.004)	0.003-0.016 (0.008±0.003)	0.001-0.016 (0.005±0.003)	0.001-0.008 (0.002±0.002)	0.001-0.006 (0.005±0.002)
Phenol [mg/L]	0.001-0.007 (0.003±0.002)	0.000-0.004 (0.002±0.001)	0.000-0.004 (0.001±0.001)	0.001-0.015 (0.008±0.004)	0.001-0.005 (0.003±0.001)

바. 고찰

2012년 7월조사시 동해정해역의 폐기물 배출로 인한 표영생태계 건강상태조사를 위해 서해병해역과 마찬가지로 해황조사와 일차생산자의 생산성을 조절하는 인자 중 친생물인자와 광조절인자를 조사하고 일차생산자의 생리 건강상태를 체크하고 유해물질로 인한 영향을 조사하기 위해 위해서 환경기준에 제시된 여러 항목을 조사하였다.

동해정해역의 물리특성은 수온은 10.66~27.14℃, 염분은 32.15~34.44psu 범위로 나타났으며 표층 수온의 평균은 23.79℃, 저층은 13.10℃로 약 10℃의 농도차를 보였고 염분은 표층은 32.35psu, 저층은 34.33psu로 농도차이가 2psu로 나타났다.

수온약층은 조사해역의 북부는 10~40m, 남부해역은 20~60m로 좀 더 깊게 나타났으며 전반적으로 남부해역에서 고온저염, 연안에 인접한 정점과 북부해역에서 저온고염을 보였다.

표영생태계 일차생산자의 친생물인자인 수소이온농도는 8.05~8.40(평균 8.18) 범위를 보였고 전반적으로 표층에 비해 저층에서 낮은 농도를 보였는데 이는 해수에서 일반적으로 강한 완충능력을 가지고 있어 pH의 범위가 차

이가 나지 않으나, 표층 및 저층간의 밀도약층의 구분이나 저층에서 유기물질의 활발한 산화로 인하여 pH가 낮아지는 경향을 보였다.

용존산소는 6.01~10.55(평균 7.06)mg/ℓ 범위를 보였으며 수온약층에서 용존산소의 농도가 증가하여 북부는 23~30m, 남부해역은 30~50m에서 높은 농도를 보였으나 전반적으로 북부해역의 정점에서 높은 농도를 보였다.

용존성무기영양염류는 아질산염은 0.029~0.793(평균 0.111)μM, 질산염은 0.143~11.143(평균 5.751)μM, 암모니아염은 0.807~7.586(평균 2.790)μM, 인산염은 0.097~2.903μM(평균 1.009)범위를 보였다. 아질산염은 전반적으로 수온약층에서 높은 농도를 보였고 질산염과 인산염은 깊은 수심에서 높은 농도를 보였으나 질산염의 경우 20m 이하의 얇은 수심은 유사한 농도를 보이고 저층으로 갈수록 급격히 증가하는 성향을 보였다. 단 아질산염과 질산염은 북부해역의 YB003의 표층에서 매우 높은 농도를 보였다.

암모니아는 간헐적으로 높은 농도를 나타내는 수심이 나타났고 표층을 제외하고 배출해역 내 정점에서 높게 나타났다.

영양염간의 상관성은 크게 나타나지 않았으며 N/P비율은 1.8~35.8(평균 9.2)로 일반적인 해수의 비율인 16보다 낮게 나타나 질소함량이 낮게 나타났다.

입자성유기탄소(POC) 0.011~0.135(평균 0.057)mg/ℓ, 입자성유기질소(PON)은 0.002~0.022(평균 0.009)mg/ℓ 범위를 나타냈으며 두항목 모두 표층에서 20m 수심까지는 농도변화가 거의 없었으며 수심 30m에서 가장 높은 농도를 보이고 50m에서 감소하는 유사한 형태를 보였다. 그러나 연안에 인접한 해역에서 높은 농도를 보인 것을 제외하고 입자성 유기탄소는 북부해역, 유기질소는 남부해역에서 높게 관찰되었다.

광조절 요인인 부유물질은 0.250~11.435(3.520)mg/ℓ 범위를 보이고 배출해역 내에서는 20m 수심에서 가장 높은 농도를 보였다.

일차생산자의 생리 건강상태는 클로로필 a 와 FRI로 나타낸 결과 클로로필 a 의 농도분포는 0.000~2.410(평균 0.497)μg/ℓ 범위를 보였고 수온약층이 나타나 30~50m 수심에서 높은 농도를 보이고 표층과 저층은 매우 낮게 나타났다.

단 연안에 인접한 대조구는 표층~20m 수심에서 보였다. 이는 식물플랑크톤의 광합성능력을 평가하는 Fd-F도 유사하였으나 20m 수심에서도 높은 값을 보였으며 식물플랑크톤의 생리적 스트레스를 나타내는 형광반응지수는 0.00~0.69(평균 0.39)로 다소 낮게 나타났으나 30m 수심까지는 0.4 이상의 값

을 보이고 깊은 수심에서 낮은 값을 보였다.

전체적으로 형광반응지수값이 낮은 이유는 생물량이 감소하는 여름철 조사로 인한 영향으로 보이며 저층에서 형광반응지수값이 감소하는 요인은 광부족으로 인한 광합성 감소 및 사멸되어가는 식물플랑크톤의 군집에 기인하는 보인다.

표영생태계에 유해물질로 인한 위해성평가를 위해 환경기준에 명시된 항목을 측정된 결과, 생활환경기준인 수소이온농도와 0.055~0.147(평균 0.090)ppb 범위를 나타낸 용매추출유분은 기준치 미만의 매우 낮은 농도를 보였다.

다음으로 새로 개정된 생태기반 해수수질 기준의 수질평가 지수값(WQI)을 구한 결과 20~32(평균 22.5)로 나타나 I(매우 좋음)~II(좋음)등급으로 나타났다. 이중 II등급은 깊은 수심에서 영양염인 용존성무기인(DIP)이 높은 항목별 점수를 얻어 나타났으며 대부분의 해역에서 I 등급의 매우 좋음으로 나타났다.

사람의 건강보호 기준의 시안화물과 페놀은 각각 0.001~0.006(평균 0.005) mg/ℓ, 0.001~0.05(평균 0.003)mg/ℓ 범위로 기준치를 초과하지 않았으나 페놀의 경우 대조해역에서 높은 농도를 보여 관리가 필요할 것으로 보인다.

또한 2012년 7월 이전 생활환경기준의 조사항목이었던 화학적산소요구량과 총질소, 총인의 농도범위는 각각 0.40~2.40(평균 1.00)mg/ℓ, 0.190~2.253(평균 0.700)mg/ℓ, 0.000~0.066 (0.021)mg/ℓ를 보여 전반적으로 COD, TP는 I~II 등급, TN은 북부해역은 I~II 등급, 남부해역은 III등급까지 나타났으며 대조구는 전체적으로 III등급을 보이고 저층은 등급을 초과하여 나타났다.

제 7 절 배출해역 식물플랑크톤 군집구조 평가

1. 서론

해양생태계에서는 일차생산자인 식물플랑크톤과 이를 먹이로 하는 이차생산자인 동물플랑크톤, 그리고 생물체가 죽고 나면 이를 분해하는 박테리아 등 서로 유기적인 관계를 형성하여 잘 조직된 하나의 계로 기능을 발휘하며 기초 생태계를 형성하고 있다. 해양에서 기초 생태계는 매질인 해수의 물리, 화학적인 변화에 따라 시, 공간적으로 정성적, 정량적인 변동을 보이면서 각 생태구성 요소에 영향을 미치게 된다. 특히 이러한 해양생태계에서 구성 생물 중 생태계를 유지하는 데 있어서 중심기능을 수행하고 있는 플랑크톤 군집에 대한 조사는 필수적이다. 따라서 플랑크톤의 생물량, 생산력 등 생물학적 지표와 함께 직·간접적으로 영향을 미치는 물리적, 화학적 요인을 포함하는 기초생태계를 조사하는 것이 매우 중요하다.

2. 시료 채집 및 분석방법

가. 시료채집

서해병해역, 동해정해역 및 주변 해역의 부유생물 군집 조사를 위하여 2012년 5월에 서해병해역의 총 10개정점과 2012년 7월 동해정해역의 총 9개정점에서 조사하였으며 Rosette sampler에 장착된 10ℓ Niskin 채수기를 이용하여 0, 20, 30, 50m에서 채수하였다. 채집된 해수시료는 1ℓ 용 폴리에틸렌 표본병에 넣어 Lugol 용액으로 최종농도가 0.4% 되도록 현장에서 고정하였다.

나. 분석방법

실험실에서 고정된 해수시료를 침전법에 의하여 24시간 침전시킨 후 상등액을 버리고 농축된 시료를 사용하여 정량과 정성 분석하였다. 시료의 농축은 Siphone을 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 100~200ml가

되도록 농축하여 검경 시료로 사용하였다. 정량분석을 위하여 농축된 시료를 균일하게 희석한 후 1ml를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 광학현미경 (BX41, Olympus)의 150배에서 엽록체를 함유하고 있는 세포를 계수한 후 해수의 단위체적당 세포수를 플랑크톤 현존량으로 환산하였다. 정성분석을 위하여 농축된 시료를 적당량 slide glass위에 놓고 400~1000배하에서 검정·동정하였다. 시료의 분류 및 동정은 심(1994), Cupp(1943), Dodge (1982), Chihara and Murano(1997), Tomas(1997) 등의 참고문헌을 이용하였다.

우점종의 선별은 전체 현존량의 5% 이상 생물량을 기록한 종들을 대표적인 우점종으로 정리하였고 각 구획의 식물플랑크톤 현존량 중에서 어떤 종이 차지하는 비율이 가장 높은 것을 제 1 우점종으로 선정하였다. 그리고 부유식물 밀도의 시기별 평균값(Average Value at Each sampling Time; 이하 AVET)과 최대값(Maximum Density at Each sampling Time; 이하 MDET)을 계산하여 이용하였다. AVET는 한 조사 시기에 채집한 모든 시료 (모든 구획과 모든 깊이) 각각에서 부유식물 밀도의 값을 구한 뒤 이를 평균한 값이고, MDET는 동시기 모든 시료 중 가장 높은 값을 택한 것이다.

또한 식물플랑크톤 군집을 분석하여 생태계의 기능을 파악하고자 다양성 지수(H')를 계산하였으며, 다음 식에 의해 산출하였다.

$$\text{다양성 지수} : H' = - \sum_{i=1}^s P_i \times \ln(P_i)$$

Shannon-Wiener Function (Pielou, 1969)

S : 출현 종수

Pi : 총 출현 개체수(N)에 대한 i번째 종의 개체수 (ni)의 비율(ni/N)

3. 2005년, 2008년과 2011년 서해병해역 식물플랑크톤 조사 결과

- 2005년 5월 서해병해역 표영생태계 건강상태(식물플랑크톤)
 - 총 출현한 식물플랑크톤은 110종이었고, 규조류는 52종(47.27%), 와편모조류가 28종(25.45%), 황갈조류가 4종(3.64%), 은편모조류가 1종(0.9%), 착편모조류가 1종(0.9%) 순으로 출현하였고, 규조류와 와편모조류가 우점함.
 - 식물플랑크톤 현존량은 배출해역은 20~390 cells/ml, 대조구는

27~316 cells/ml의 분포를 보여 유사하게 나타남.

- 서해병해역의 우점종은 전체적으로 제 1우점종은 *Asterionellopsis* sp.로 상층수에서 우점하였고, 제2우점종은 *Thalassiosira* sp. 로 30m 이하의 저층수에서 우점, 제3우점종은 *Skeletonema costatum*으로 50m 이하의 저층수에서 우점함.
- 2008년 7월 서해병해역 표영생태계 건강상태(식물플랑크톤)
 - 2008년 7월에는 31개 정점의 0, 10, 20m에서 채집하여 총 출현한 식물플랑크톤은 61종이었고, 규조류는 48종(92.2%), 와편모류가 7종(1.0%), 규질편모류가 2종(3.6%), 그리고 은편모류(Cryptophyceae)가 1종(2.9%), 남조류(Cyanophyceae)가 3종(0.3%) 출현하였고 규조류가 우점함.
 - 식물플랑크톤 현존량은 배출해역은 27~86 cells/ml, 대조구는 46~78 cells/ml의 분포를 보여 배출해역보다 대조구에서 높게 나타남.
 - 서해병해역의 우점종은 전체적으로 제 1우점종은 *Chaetoceros didymus*로 20m층에서 우점하였고, 제 2우점종은 *Cheatoceeros brevis*로 10m층에서 우점하고, 제 3우점종은 *Skeletonema costatum*으로 10~20m 수층에서 우점함.
- 2011년 6월 서해병해역 표영생태계 건강상태(식물플랑크톤)
 - 2011년 6월에는 총 26개 정점의 0, 20, 50m에서 채집하여 총 출현한 식물플랑크톤은 총 34종으로 규조류가 18종(52.9%), 와편모류가 14종(41.2%), 은편모류가 1종(2.9%), 황금빛조류가 1종(2.9%)으로 구성 됨.
 - 식물플랑크톤 현존량은 2(YB133, 0m)~68(YB019, 50m)cells/L의 범위로 분포를 보였고, 배출해역은 5~53(평균 19)cells/L, 대조구의 평균현존량은 9~35(평균 20)cells/ml의 분포를 보였으며 0~20m에서는 배출해역 서부해역과 대조구는 동부에 위치한 YBR004에서만 현존량이 높게 나타났고 50m 수심은 배출해역 북부에서 전반적으로 현존량이 높게 나타남.
 - 2011년 6월조사시 전 수층에서 제 1우점종은 *Chroomonas* sp.로 표층에서도 최우점하였고 제 2우점종은 *Ditylum brightwellii* 로 50m에서 최우점하였으며, 제 3우점종은 *Gymnodinium* sp. 로 20m 수심에서 최우점함.

4. 2007년 4월, 6월, 2010년 5월 동해정해역의 식물플랑크톤 조사 결과

- 2007년 4월 동해정해역 표영생태계 건강상태 (식물플랑크톤)
 - 총 출현한 식물플랑크톤은 67종으로 규조류가 56종, 와편모류가 5종, 규질편모류가 2종, 그리고 은편모류가 1종, 남조류가 3종으로 구성 됨.
 - 식물플랑크톤 현존량은 83,567(DJ059, 저층)~202,364 (DJ025, 30 m) cells/L의 범위로 분포하였으며, 30 m층에서 가장 높게 나타났고, 현존량의 평균값(Average Value at Each sampling Time; 이하 AVET)은 138,764 cells/L로 나타남.
 - 동해정해역의 제 1우점종은 *Skeletonema costatum*로 상층(30m 이하 층)에서 우점하였고, 저층은 *Navicula eiegans* 로 30m보다 깊은 저층수에서 제 1우점함.
 - 다양성지수는 2.168(DJR012, 표층)~3.107(DJ059, 저층) 범위로 평균값은 2.561로 나타남.
- 2007년 6월 동해정해역 표영생태계 건강상태 (식물플랑크톤)
 - 총 출현한 식물플랑크톤은 총 70종으로 규조류가 56종, 와편모류가 8종, 규질편모류가 2종, 시안세균류(Cyanophyceae)가 1종, 은편모류가 3종으로 구성 됨.
 - 식물플랑크톤 현존량은 75,129(DJ009, 50 m)~174,041(DJR021, 표층) cells/L의 범위로 분포를 보였고, 배출해역의 평균 현존량은 120,869 cells/L, 대조구의 평균현존량은 14,207 cells/ml의 분포를 보였으며 표층에서만 배출수역에서 높게 나타남.
 - 2007년 6월조사시 전 수층에서 제 1우점종은 *Skeletonema costatum* 로 나타났고, *Rhaphoneis sp.*(DJR024), *Chaetoceros didymus*(DJR014), *Chaetoceros affinis*(DJR019)에서도 제 1우점종을 보임.
- 2010년 5월 동해정해역 표영생태계 건강상태(식물플랑크톤)
 - 2010년 5월에는 배출해역 7개 정점과 대조해역 11개 정점의 0, 30, 50m에서 채집하여 총 출현한 식물플랑크톤은 총 75종으로 규조류가 58종(77.3%), 와편모류가 8종(10.7%), 녹조강이 2종(2.7%), 은편모

류가 2종(2.7%), 유글레나류가 2종(2.7%), 황금빛조류가 1종(1.3%), 남조식물문이 1종(1.3%) 출현하고 미동정종 1종으로 구성 됨.

- 식물플랑크톤 현존량은 1(DJ063, 50m)~478(DJ010, 50m)cells/L의 범위로 분포 하였고, 배출해역은 평균 196.11cells/L, 대조구는 182.5cells/ml의 분포를 보여 배출해역 내부에서 인접한 대조구보다 식물플랑크톤의 현존량이 높게 나타났고 연안에 가까운 DJ018에서는 출현종수, 현존량 모두 다량 검출되었고 배출해역내 DJ010은 출현종수는 소량인 반면 현존량은 가장 많이 출현함.
- 2010년 5월조사시 전 수층에서 제 1우점종은 *Cyclotella sp.*로 표층, 30m, 50m에서도 최우점하였고 제 2우점종은 *Chaetoceros socialis* 로 표층과 50m층에서도 차우점하였고, 제 3우점종은 *L. danicus*로 나타남.

5. 2012년 서해병해역 현장조사 결과

가. 식물플랑크톤 군집구조 분석

1) 식물플랑크톤의 종 조성 및 현존량 분포

2012년 5월 서해병해역의 자료와 대조구의 시료를 분석한 결과, 출현한 식물플랑크톤은 규조류(Bacillariophyceae)가 24종, 와편모류(Dinophyceae)가 10종, 은편모류(Cryptophyceae)가 2종, 황금빛조류(Chrysophyceae)가 1종으로 구성되어 있었고 총 24종이 출현하였다(그림 2-7-1, 표 2-7-1).

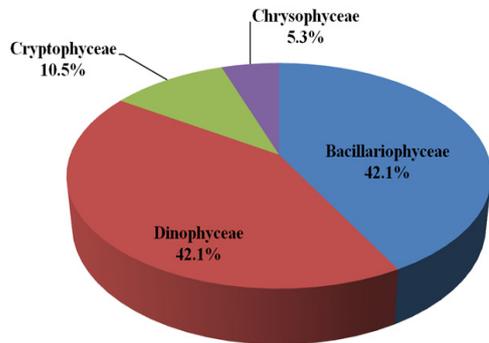
전체 수심의 식물플랑크톤 분류군별 분포양상은 규조류가 전체 식물플랑크톤 출현종수의 64.9%를 차지하였고 다음으로 와편모류가 27.0%로 나타났다.

나머지 종은 은편모류, 황금빛조류가 5.4, 2.7%로 출현하였다.

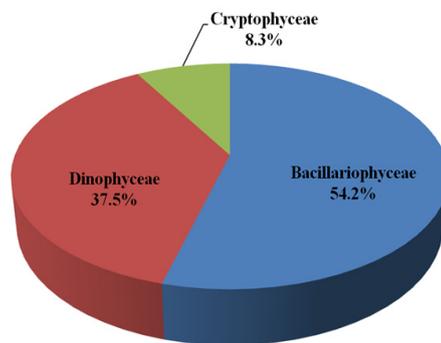
표 2-7-1. 2011년 6월 조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 분류군별 종조성

Division	YB009	YB024	YB049	YB086	YB101	YBR135	YBR001	YBR003	YBR005	YBR007	Total	(%)
0m	Bacillariophyceae	4	4	2	2	2	5	2	1	3	8	42.1
	Dinophyceae	3	4	3	1	3	4	1	2	6	8	42.1
	Cryptophyceae	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	10.5
	Chrysophyceae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5.3
Total	9	11	6	5	6	10	5	5	5	11	19	100.0
20m	Bacillariophyceae	3	3	6	4	3	8	2	3	4	13	54.2
	Dinophyceae	4	4	4	5	4	6	4	4	4	9	37.5
	Cryptophyceae	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	8.3
	Total	9	9	12	11	8	15	8	9	10	24	100.0
30m	Bacillariophyceae	3	4	2	6	4	7	0	6	8	15	57.7
	Dinophyceae	3	2	5	4	3	2	3	5	5	9	34.6
	Cryptophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	7.7
	Total	8	8	9	12	9	10	5	13	15	26	100.0
50m	Bacillariophyceae	11	4	5	5	1	12	3	3	9	21	67.7
	Dinophyceae	2	1	2	2	5	2	4	4	3	8	25.8
	Cryptophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	6.5
	Total	15	7	9	9	8	15	9	9	14	31	100.0
Total	Bacillariophyceae	14	8	9	10	5	13	5	7	13	24	64.9
	Dinophyceae	4	5	6	6	7	6	5	6	8	10	27.0
	Cryptophyceae	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	5.4
	Chrysophyceae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2.7
Total	20	16	17	18	14	11	20	12	15	23	37	100.0

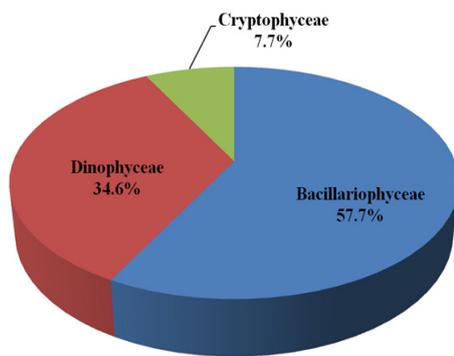
Species(0m- 19종)



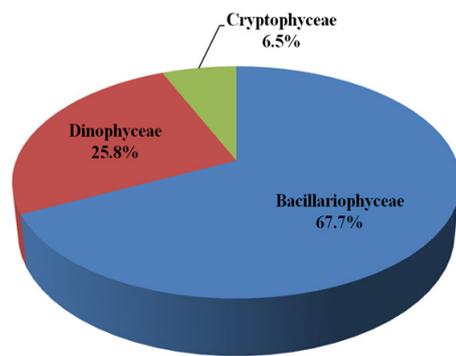
Species(20m- 24종)



Species(30m- 26종)



Species(50m- 31종)



Species(Total- 37종)

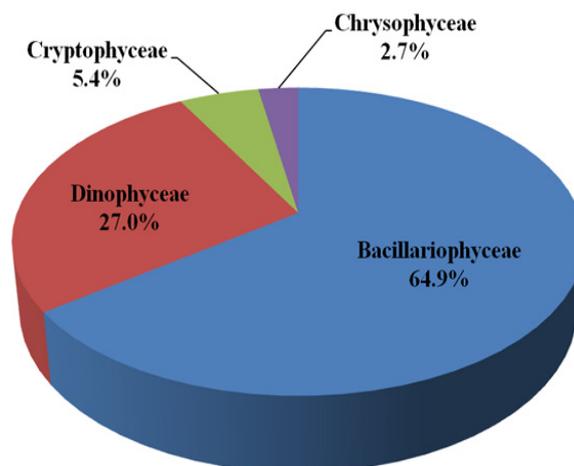


그림 2-7-1. 2011년 6월조사시 서해병해역의 식물플랑크톤 분류군별 종조성 그래프

수층별 종조성은 표층에서 19종으로 가장 적었으며 50m 수심에서 31종으로 가장 많은 종이 출현하였다.

전체적으로 규조류가 우점하였으나 표층만 규조류와 와편모조류가 8종으로 같은 비율로 42.1%를 차지하였다.

수층별로 규조류는 42.1(0m)~67.7(50m)% 범위로 우점하였으며 와편모류도 25.8 (50m)~42.1(0m)%를 나타냈다(그림 2-7-1).

은편모조류는 전 조사 정점의 각 수층에서 6.5(50m)~8.3(20m)% 출현하였으며, 황금색조식물류는 표층의 YB024에서만 발견되었고 전체 종의 5.8%를 차지하였다(그림 2-7-1).

표 2-7-1에 각 정점별 종조성을 살펴본 결과 전반적으로 표층은 총 19종이 출현하였고 YB024와 YBR007에서 11종으로 가장 많은 종이 나타났고 다른 해역에 비해 북부해역에서 다수종이 출현하였으며 북부해역은 규조류와 와편모류가 유사하게 나타난 반면 최대값을 보인 동부해역 YB007은 와편모류가 우점하고 있었다(그림 2-7-2~3).

20m 수심은 총 24종이 출현하였고 각 정점별로 5(YB135)~15(YBR001)종이 출현하였다.

최대값을 보인 북부해역의 YBR001에 규조류가 다량 출현한 반면 전해역에서 대체로 와편모조류가 다수종 출현하였다.

30m 수심은 총 26종이 출현하였고, 각 정점별로 5(YBR003)~15(YBR007)종으로 YBR003은 와편모조류와 은편모조류만 출현하였으며 대조구는 규조류가 증가하였고 배출해역은 규조류와 와편모조류가 유사하게 출현하였다.

50m 총 31종으로 가장 많은 종이 나타났고 수심은 7(YB024)~15(YB009, YBR001)종 출현하였으며 와편모류가 다수종 출현한 남부해역을 제외하고 전반적으로 규조류가 출현하였다.

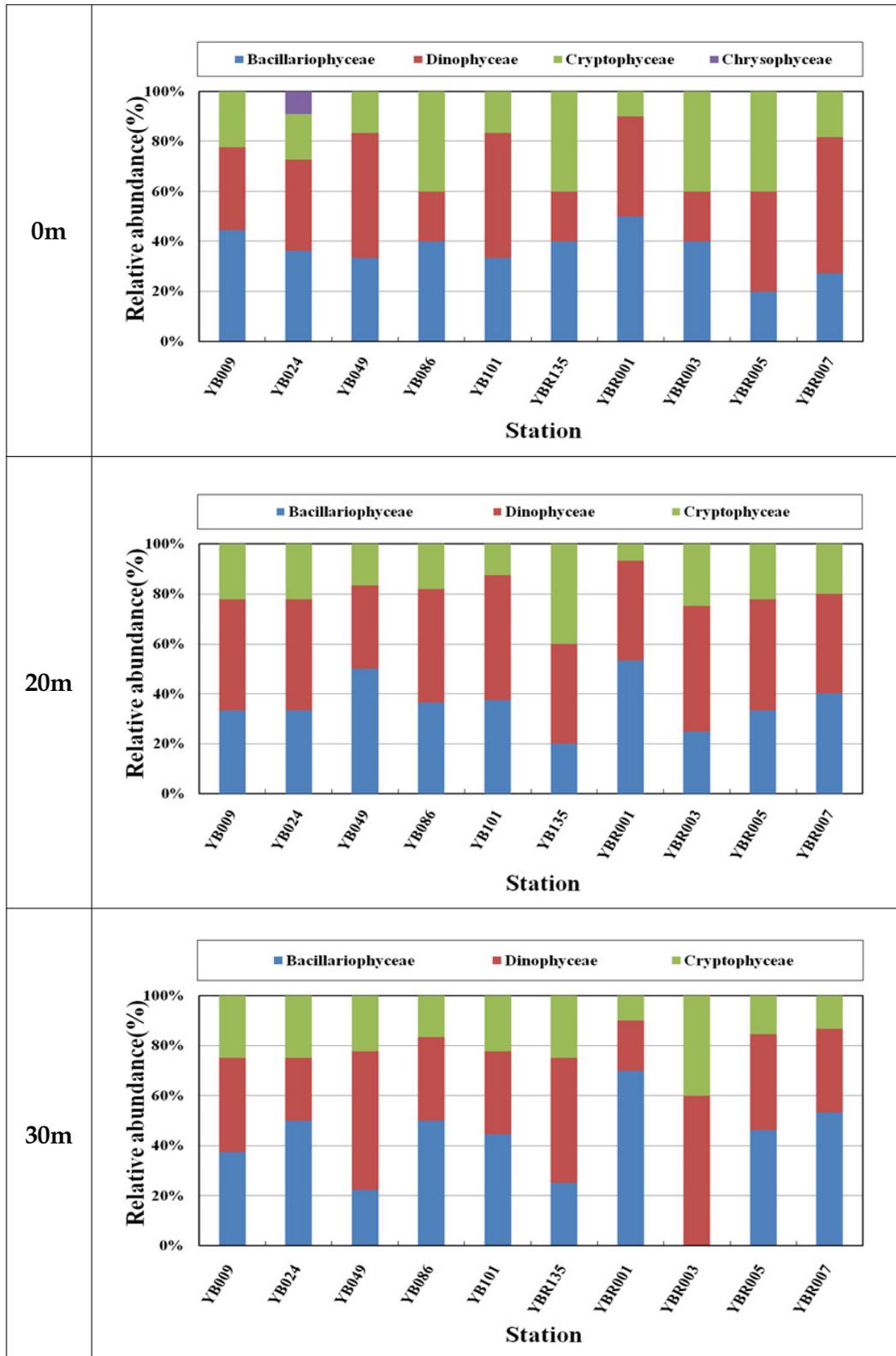


그림 2-7-2. 2011년 6월조사시 서해병해역의 정점별 식물플랑크톤 분류군별 종조성률

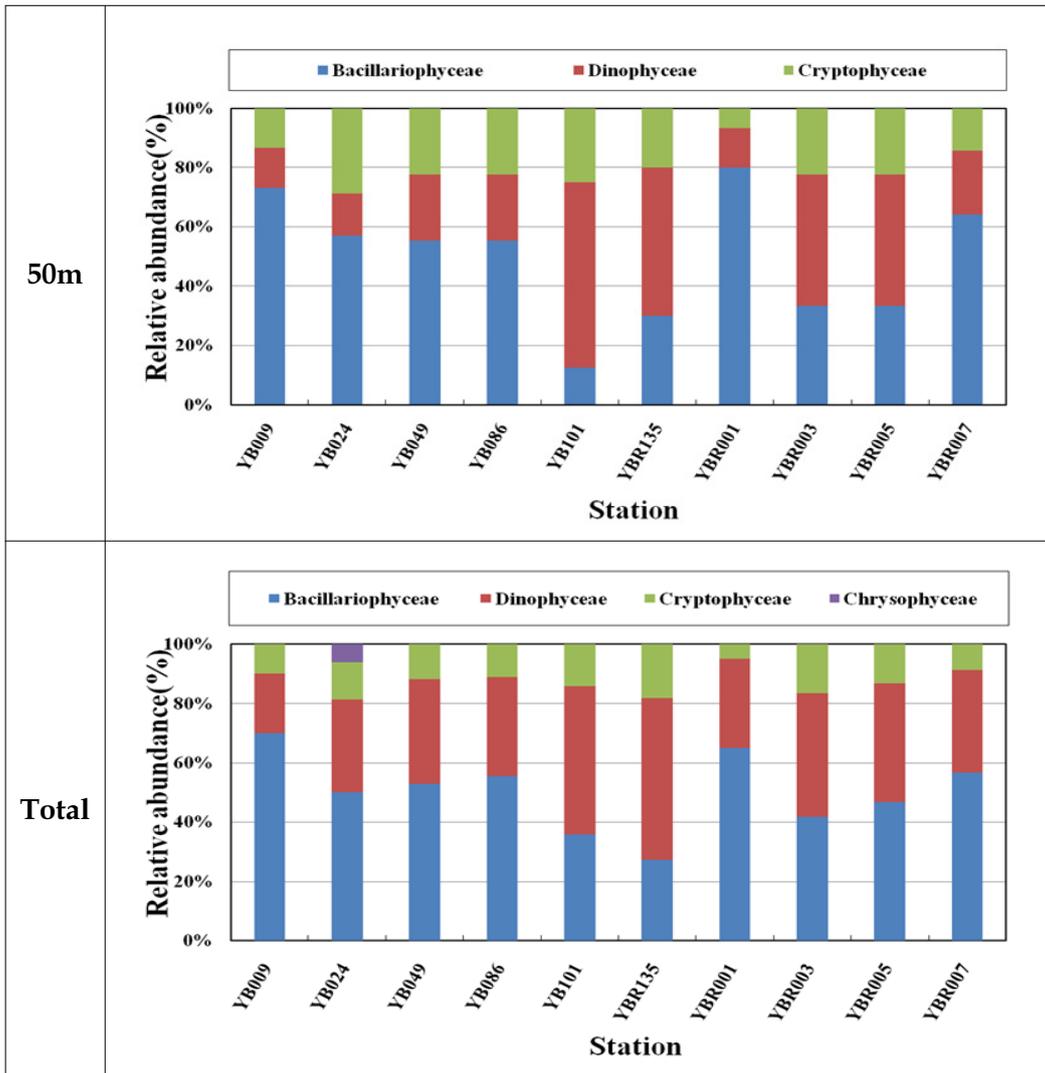


그림 2-7-2. (계속)

식물플랑크톤 현존량은 전체 수심에서 12(YB024)~64(YB009)cells/ml의 범위로 분포하였으며, 배출해역내 북부에서 현존량이 가장 높게 나타났고 배출해역 중앙에 YB049와 YB086에서도 대조구보다 높은 현존량을 보였다.

대조해역은 서부해역의 YBR003에서 높게 나타났다. 수층별 현존량은 표층은 2(YB086, YB135, YBR005)~161(YB009)cells/ml로 나타나 휴식년구역에 위치한 YB009에서 매우 높은 현존량을 나타냈고 대부분 규조류인 *Navicula sp. (small)*가 우점하여 나타났다.

20m 수심에서는 4(YBR005)~19(YB049)cells/ml로 현존량이 매우 낮게 나타났다으며 배출해역과 대조구 모두 종수가 제일 적었던 남부해역 YB135와 YBR005에서 현존량이 낮게 나타났다.

30m 수심에서는 12(YBR007)~132(YB086)cells/ml 관찰되었으며 얇은 수심에서 현존량이 낮았던 배출해역 중앙의 YB049와 YB086에서 현존량이 높게 나타났으나 은편모조류인 *Cryptomonad sp.*가 대부분을 차지하였다.

50m 수심은 7(YB024, YB135)~51(YBR003)cells/ml로 나타났으며 최대값을 보인 서부해역의 대조구를 제외하고 전반적으로 20cells/ml 이하로 유사한 현존량을 나타냈고 YBR003에서는 은편모조류인 *Cryptomonad sp.* 종이 우점하는 것으로 나타났다(그림 2-7-3, 표 2-7-2).

전체 평균값(Average Value at Each sampling Time; 이하 AVET)은 27cells/ml로 나타났다

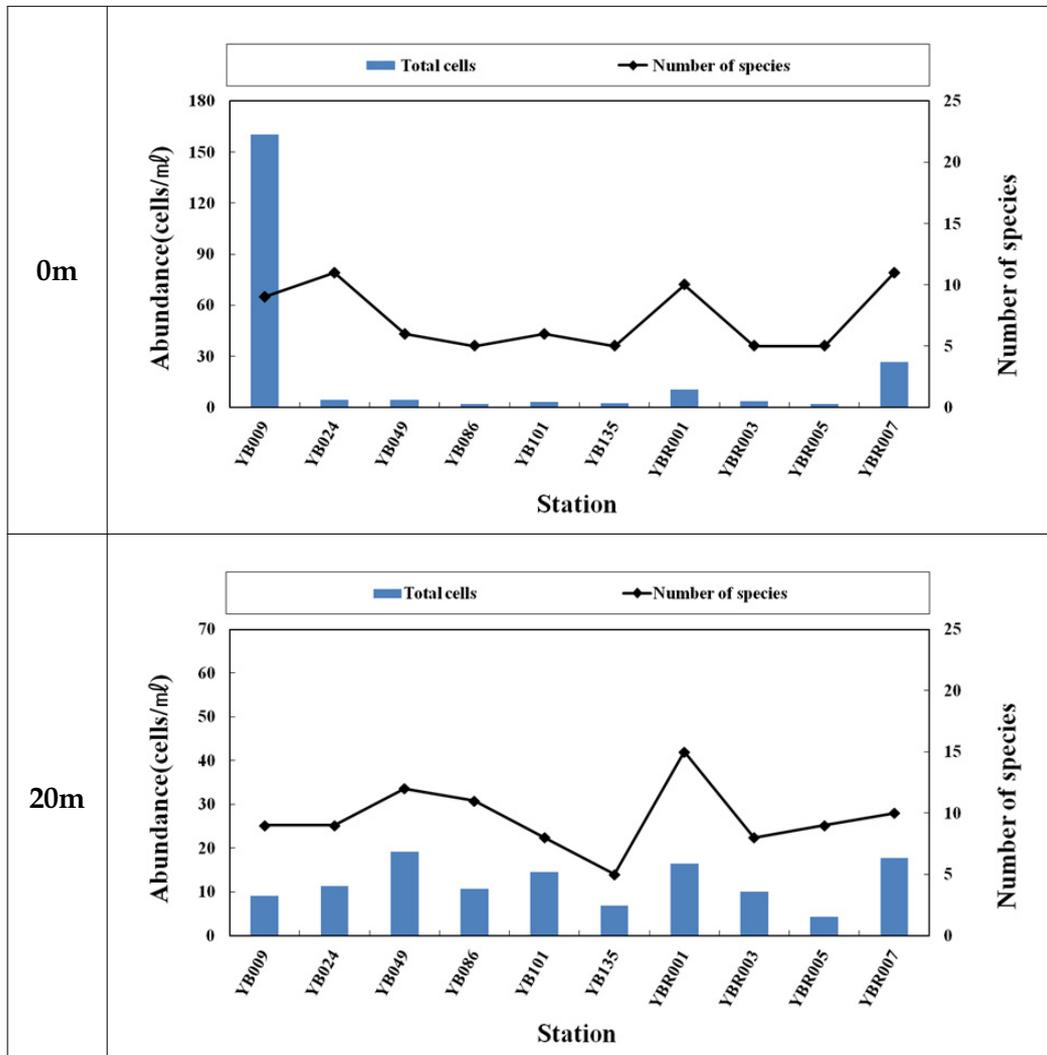


그림 2-7-3. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수심별 각 정점에서의 식물플랑크톤 출현종수와 현존량(Cell/ml)

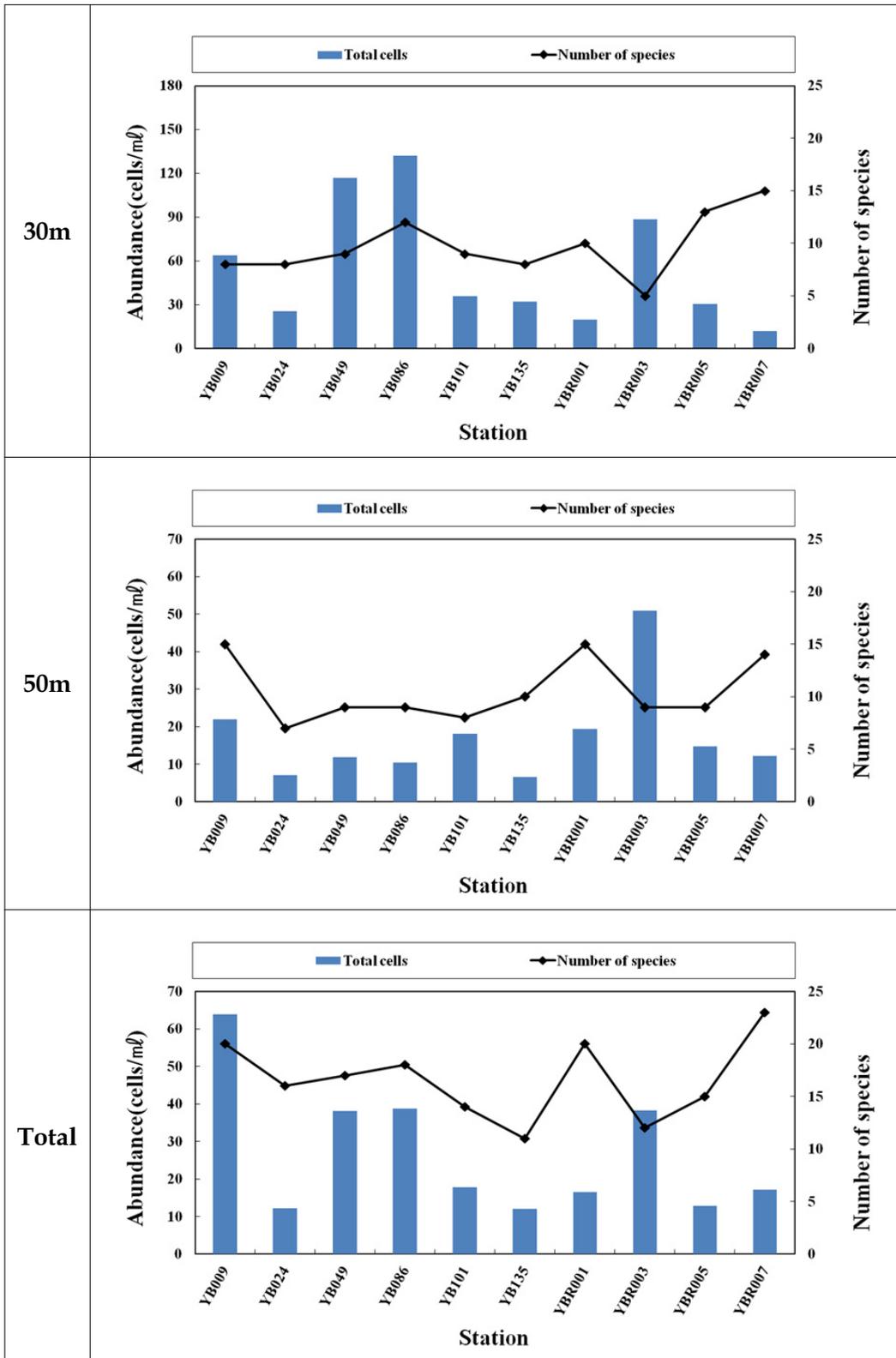


그림 2-7-3. (계속)

표 2-7-2. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 현존량 (cells/mL)

Station	0 m	20 m	30m	50 m			
YB009	161	9	64	22	256	64	30
YB024	5	11	25	7	48	12	
YB049	4	19	117	12	152	38	
YB086	2	11	132	10	155	39	
YB101	3	15	36	18	72	18	
YB135	2	7	32	7	48	12	
YBR001	10	17	20	19	66	17	21
YBR003	3	10	88	51	152	38	
YBR005	2	4	31	15	52	13	
YBR007	26	18	12	12	68	17	
Min.	2	4	12	7	48	12	
Max.	161	19	132	51	256	64	
Average	22	12	56	17	107	27	

(2) 우점종 및 다양성 지수

2012년 5월조사시 서해병해역의 제 1우점종은 은편모조류인 *Cryptomonad sp.*로 전체수심에서 40.9%를 차지했으며 30m 수심에서 최우점종으로 나타났으며 20m 와 50m 수심에서는 각각 19.4%, 20.2%로 차우점 하였으며 표층에서도 7.3%로 제 3우점종으로 나타났다.

제 2우점종은 표층에서 70.7%로 최우점종이었던 규조류인 *Navicula sp. (small)*로 전체적으로 14.8%로 나타났고 표층이외의 다른 수심에서는 5% 이상의 우점율을 갖지 못했다.

제 3우점종은 은편모조류인 *Chroomonas sp.* 가 11.8%로 나타났고 30m 수심에서 차우점으로 나타났고 50m 수심에서도 14.3%의 우점율을 나타냈다.

다음으로 와편모조류인 *Gymnodinium sp.(small)*로 5% 이상의 우점종으로 나타났고 50m 수심에서 22.4%로 최우점종이었으며 표층을 제외하고 5% 이상 우점율을 보였다. 전반적으로 각 수층마다 우점종이 상이하게 나타나고 있었다(표 2-7-3).

출현종류 중 수심에 따라 각 해역에서 출현빈도가 높게 나타난 종은 표층은 YB009에서 규조류인 *Navicula sp. (small)*가이었고 나머지 정점은 은편모

조류인 *Chroomonas sp.*(8.5%)> 은편모조류인 *Cryptomonad sp.* (7.3%)가 10% 미만을 차지하고 여러 종이 출현하였고 20m는 전반적으로 현존량이 낮게 나타나 다수종이 5% 이상의 현존량을 나타냈고 배출해역의 북부와 대조해역의 서부에서는 *Thalassiosira sp. (small)* (8.3%)의 빈도가 높게 나타나고, 남부해역에서는 와편모조류인 *Gymnodinium sp.(type A)*, 의 출현빈도가 높게 관찰되었다.

30m 수심은 배출해역내에서 *Cryptomonad sp.*의 출현빈도가 매우 높게 나타났으며 서부해역을 제외하고 우점종 이외의 종들이 출현하였다.

50m 수심도 다수종에서 현존량이 높게 관찰되었으며 배출해역 중앙부와 남부해역에서 특히 와편모조류인 *Gyrodinium sp.(small)*(6.4%)이 높게 관찰되고 은편모조류인 *Chroomonas sp.*도 출현빈도가 높게 나타났다(그림 2-7-4).

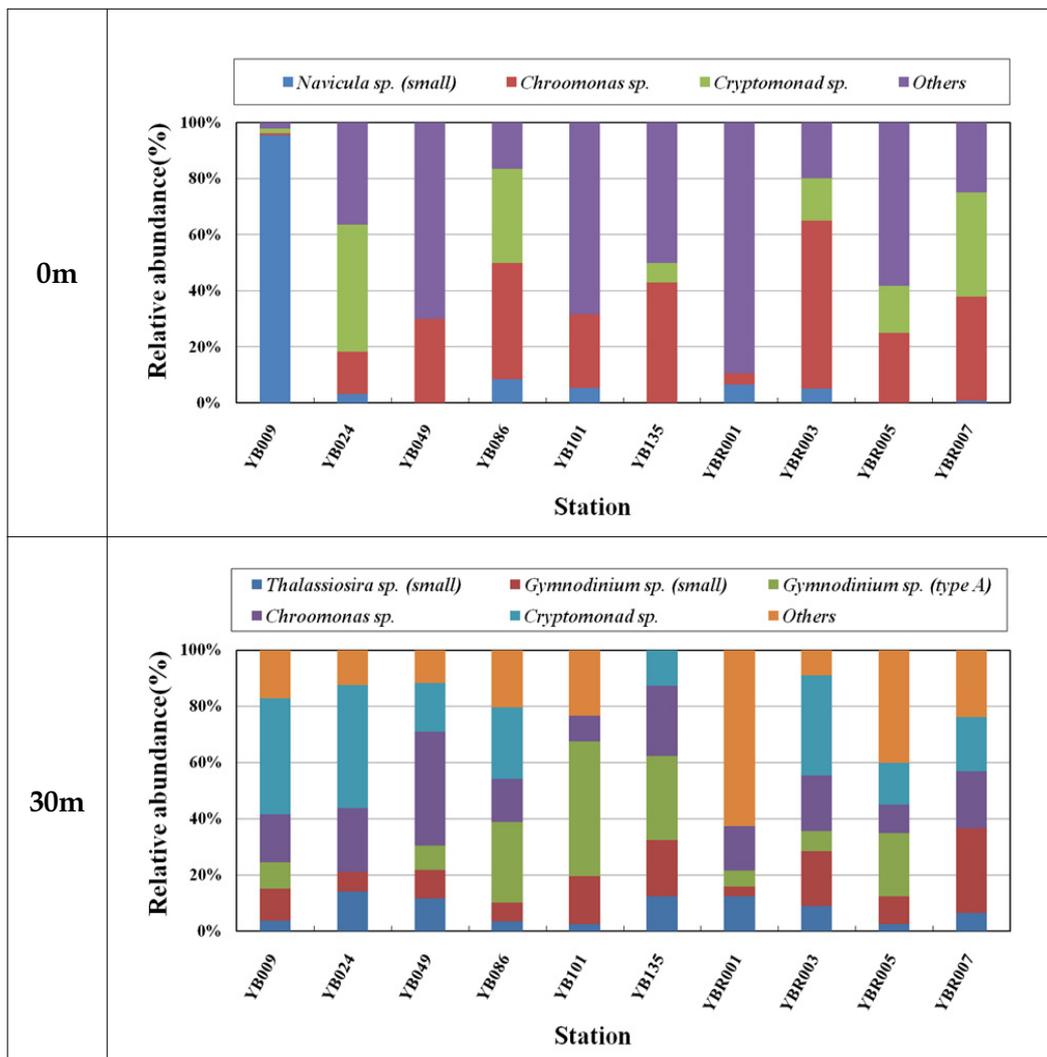


그림 2-7-4. 2011년 6월 서해병해역에서의 우점종(5% 이상)

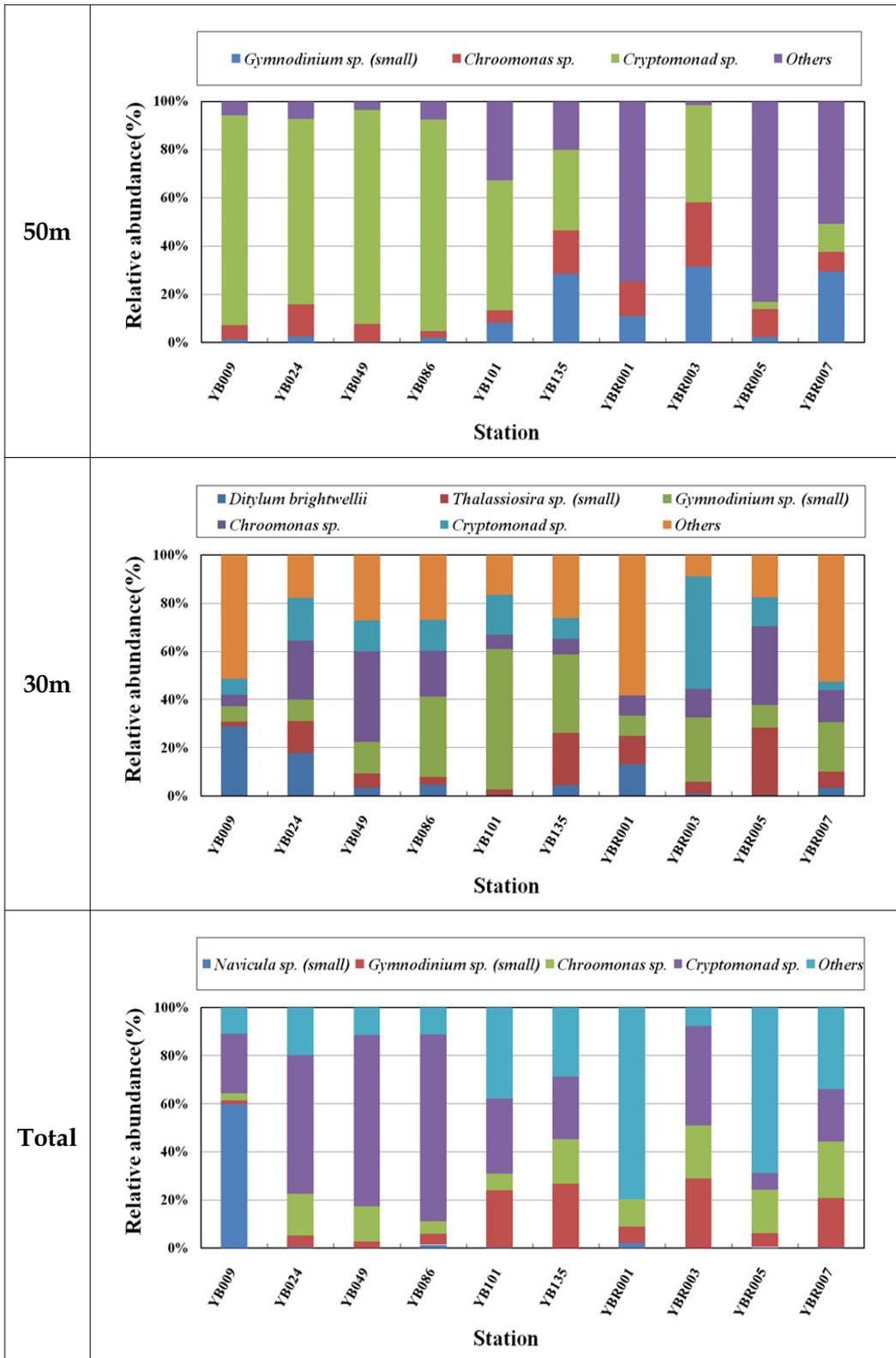


그림 2-7-4. (계속)

표 2-7-3. 2011년 6월조사시 서해병해역의식물플랑크톤 우점종 변화

Total	
<i>Cryptomonad sp.</i> (40.9%) <i>Navicula sp. (small)</i> (14.8%) <i>Chroomonas sp.</i> (11.8%) <i>Gymnodinium sp. (small)</i> (10.5%)	
0 m	20 m
<i>Navicula sp. (small)</i> (70.7%) <i>Chroomonas sp.</i> (8.5%) <i>Cryptomonad sp.</i> (7.3%)	<i>Chroomonas sp.</i> (21.0%) <i>Cryptomonad sp.</i> (19.4%) <i>Gymnodinium sp. (type A)</i> (14.4%) <i>Gymnodinium sp. (small)</i> (13.8%) <i>Thalassiosira sp. (small)</i> (8.3%)
30 m	50 m
<i>Cryptomonad sp.</i> (65.2%) <i>Chroomonas sp.</i> (10.4%) <i>Gymnodinium sp. (small)</i> (9.1%)	<i>Gymnodinium sp. (small)</i> (22.4%) <i>Cryptomonad sp.</i> (20.2%) <i>Ditylum brightwellii</i> (7.1%) <i>Chroomonas sp.</i> (14.3%) <i>Thalassiosira (small)</i> (8.2%)

생태계의 안정성을 나타내는 군집 다양성지수(H)는 식물플랑크톤의 군집 구조를 평가하는 수단으로 이용된다.

일반적으로 값이 클수록 서식환경에 대한 생물군집의 안정도가 증가한다고 알려져 있으며, 군집을 이루는 종수와 그 종의 우점 정도에 따라 영향을 받는다.

서해병해역의 군집다양성지수는 1.02(YB086)~2.34(YBR001) 범위를 나타냈으며, 전체 조사정점의 다양성지수 평균값은 1.69을 보여 다소 높게 나타났고, 30m 수심에서 1.32로 가장 낮고 다음으로 표층에서 1.43, 20m에서 1.77, 50m에서 1.90으로 가장 높게 나타내 안정된 군집구조를 보였다(그림 2-7-5).

또한 조사해역 전체적으로 보면 배출해역은 남부해역에서 높게 나타났고 대조구는 YBR001에서 높게 나타났다(그림 2-7-7).

중풍부도 지수는 전체적으로 보면 3.02(YBR003)~7.75(YBR007)로 나타났으며 평균 5.12로 나타났고 배출해역보다 대조구에서 전반적으로 높게 관찰되었으며 배출해역은 YB024에서 높은 값을 보였다.

각 수층별로 보면 표층은 YB024, YB086에서 가장 높은 값을 보이고 YB009에서 낮게 나타났으며 20m에서는 전반적으로 유사한 값을 보였고 대조구 YBR001과 YBR005에서 높고 남부해역의 YB135에서 가장 낮은 값을 보였다.

30m 수심도 배출해역은 전반적으로 유사한 값을 보였으며 YBR003에서 중풍부도가 가장 낮고 YBR007에서 높게 나타났다.

50m 수심은 배출해역 YB009와 YB135에서 4 이상의 중풍부도를 보였고 대조구 YBR007에서 최대값을 나타냈다.

균등도 지수는 전체 수심으로 보면 0.35(YB086)~0.82(YBR005) 범위로 평균 0.61를 나타냈고 수층별로는 표층의 YB009의 표층에서 0.12로 가장 낮은 값을 보였고 YBR005의 표층에서 0.99로 가장 높은 균등도를 나타냈다.

우점도는 전체적으로 0.06(YBR005)~0.6(YB086)범위를 보였으며 수층별로는 YBR005의 표층에서 가장 낮고 YB009의 표층에서 가장 높게 나타났고 전체적으로 배출해역의 30m 수심에서 높은 값을 보였다(표 2-7-4).

식물플랑크톤 군집유사도 분석결과, 0m, 20m, 30m, 50m를 포함한 전체 조사해역은 40% 이상의 유사도를 나타냈으며 YB049, YB086이 75%, YB101, YB135가 76% 정도가 유사도가 가장 높게 나타났다.

수층별로는 표층과 20m의 유사도가 가장 낮게 나타났으며 표층은 YB086과 YBR003이 70%, 20m는 YB009와 YBR003이 80% 이상, 30m는 YB049와 YB086이 75% 이상, 50m는 YB024와 YB049가 68%가량으로 유사도가 가장 높게 나타난 그룹이었다(그림 2-7-6).

표 2-7-4. 2011년 6월조사시 서해병해역의 수층별 식물플랑크톤의 생태지수

Division		YB009	YB024	YB049	YB086	YB101	YBR135	YBR001	YBR003	YBR005	YBR007	Min.	Max.	Aver.
Richness (R)	0m	1.58	6.63	3.39	6.68	4.54	4.44	3.85	3.25	6.50	3.05	1.58	6.68	4.39
	20m	3.61	3.29	3.72	4.21	2.62	2.07	4.99	3.03	5.42	3.13	2.07	5.42	3.61
	30m	1.69	2.16	1.68	2.25	2.24	2.02	3.02	0.89	3.51	5.63	0.89	5.63	2.51
	50m	4.53	3.05	3.24	3.42	2.41	4.76	4.72	2.03	2.97	5.19	2.03	5.19	3.63
	Total	4.57	6.01	4.40	4.65	4.51	4.02	6.78	6.78	3.02	5.48	7.75	3.02	7.75	5.12
Evenness (J)	0m	0.12	0.77	0.87	0.84	0.91	0.86	0.87	0.73	0.99	0.64	0.12	0.99	0.76
	20m	0.79	0.73	0.72	0.80	0.73	0.96	0.80	0.82	0.87	0.76	0.72	0.96	0.80
	30m	0.28	0.41	0.22	0.25	0.72	0.78	0.88	0.72	0.76	0.86	0.22	0.88	0.59
	50m	0.82	0.93	0.84	0.81	0.64	0.84	0.88	0.68	0.79	0.92	0.64	0.93	0.82
	Total	0.44	0.55	0.39	0.35	0.75	0.76	0.78	0.78	0.56	0.82	0.71	0.35	0.82	0.61
Diversity (H')	0m	0.27	1.84	1.55	1.35	1.64	1.38	2.00	1.17	1.59	1.54	0.27	2.00	1.43
	20m	1.73	1.60	1.80	1.93	1.52	1.55	2.17	1.71	1.92	1.76	1.52	2.17	1.77
	30m	0.58	0.86	0.49	0.62	1.59	1.63	2.02	1.16	1.96	2.33	0.49	2.33	1.32
	50m	2.23	1.82	1.85	1.79	1.33	1.94	2.37	1.49	1.74	2.42	1.33	2.42	1.90
	Total	1.32	1.51	1.11	1.02	1.97	1.82	2.34	2.34	1.40	2.22	2.24	1.02	2.34	1.69
Dominance (D)	0m	0.91	0.04	0.01	-0.54	-0.17	-0.19	0.08	0.17	-0.72	0.26	-0.72	0.91	-0.01
	20m	0.15	0.20	0.19	0.10	0.24	0.09	0.10	0.14	-0.07	0.16	-0.07	0.24	0.13
	30m	0.76	0.60	0.79	0.77	0.31	0.21	0.10	0.33	0.17	0.06	0.06	0.79	0.41
	50m	0.11	0.04	0.13	0.12	0.35	0.04	0.07	0.29	0.16	0.03	0.03	0.35	0.13
	Total	0.42	0.32	0.52	0.60	0.14	0.12	0.08	0.29	0.29	0.06	0.10	0.06	0.60	0.26

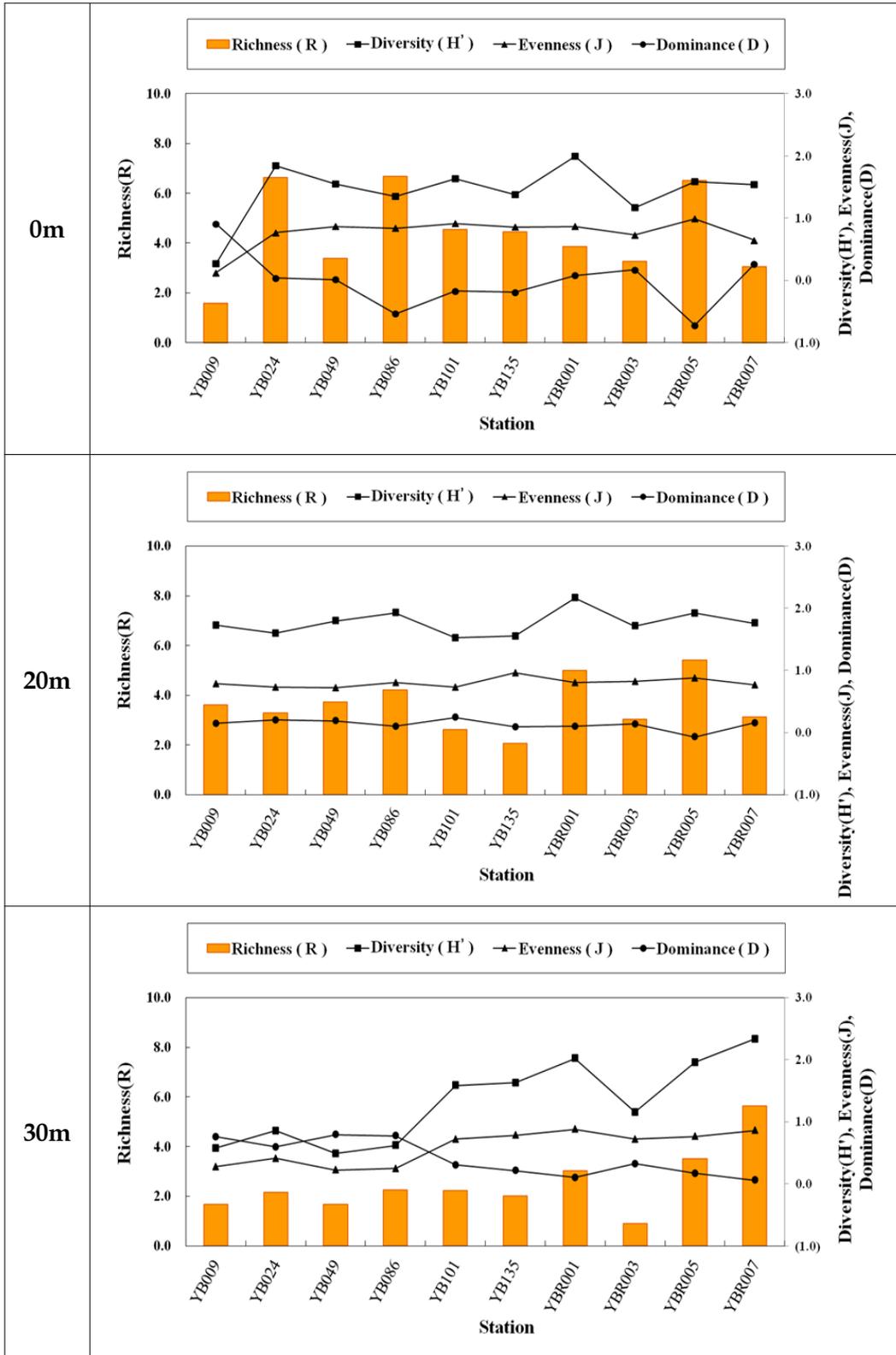


그림 2-7-5. 2011년 6월 서해병해역 식물플랑크톤의 조사정점별 생태지수 그래프

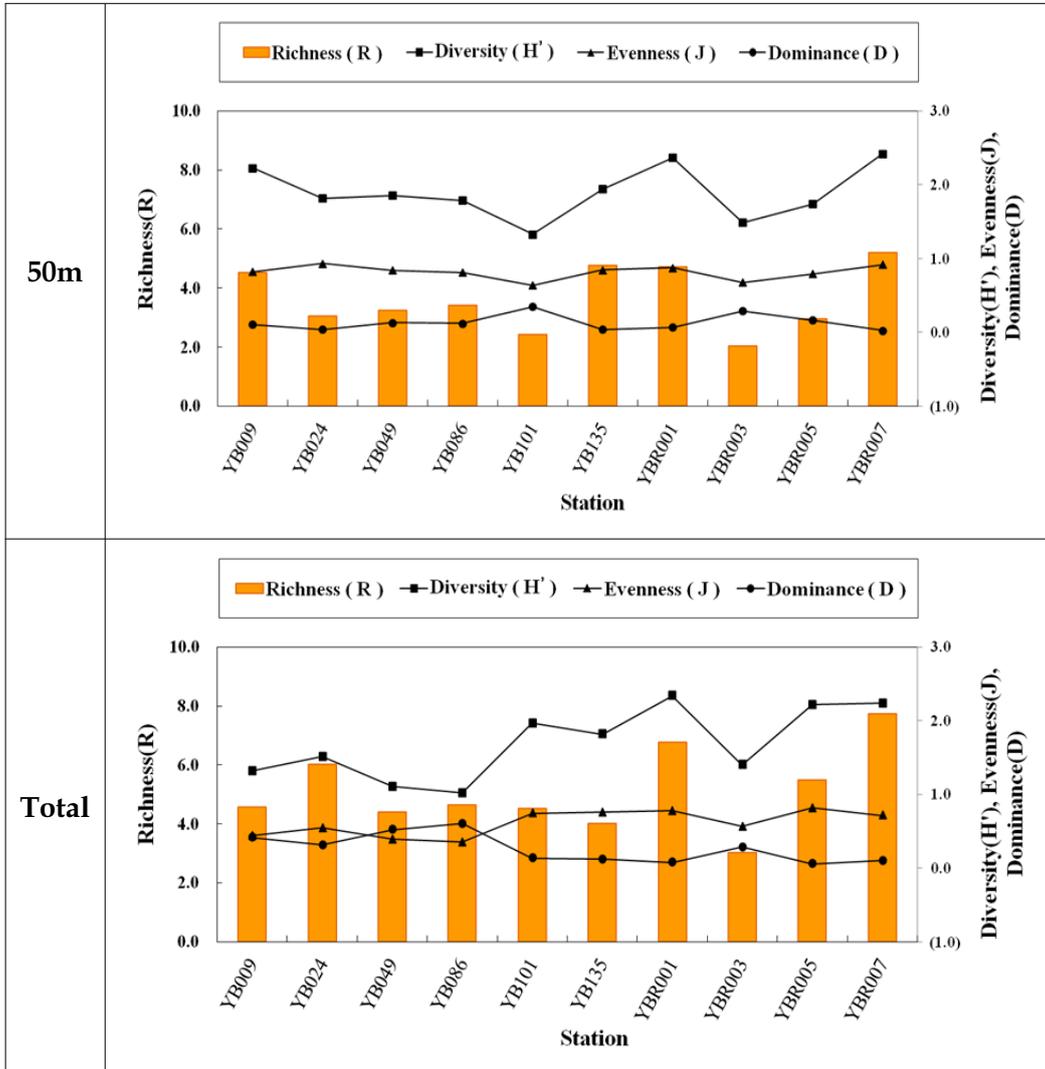


그림 2-7-5. (계속)

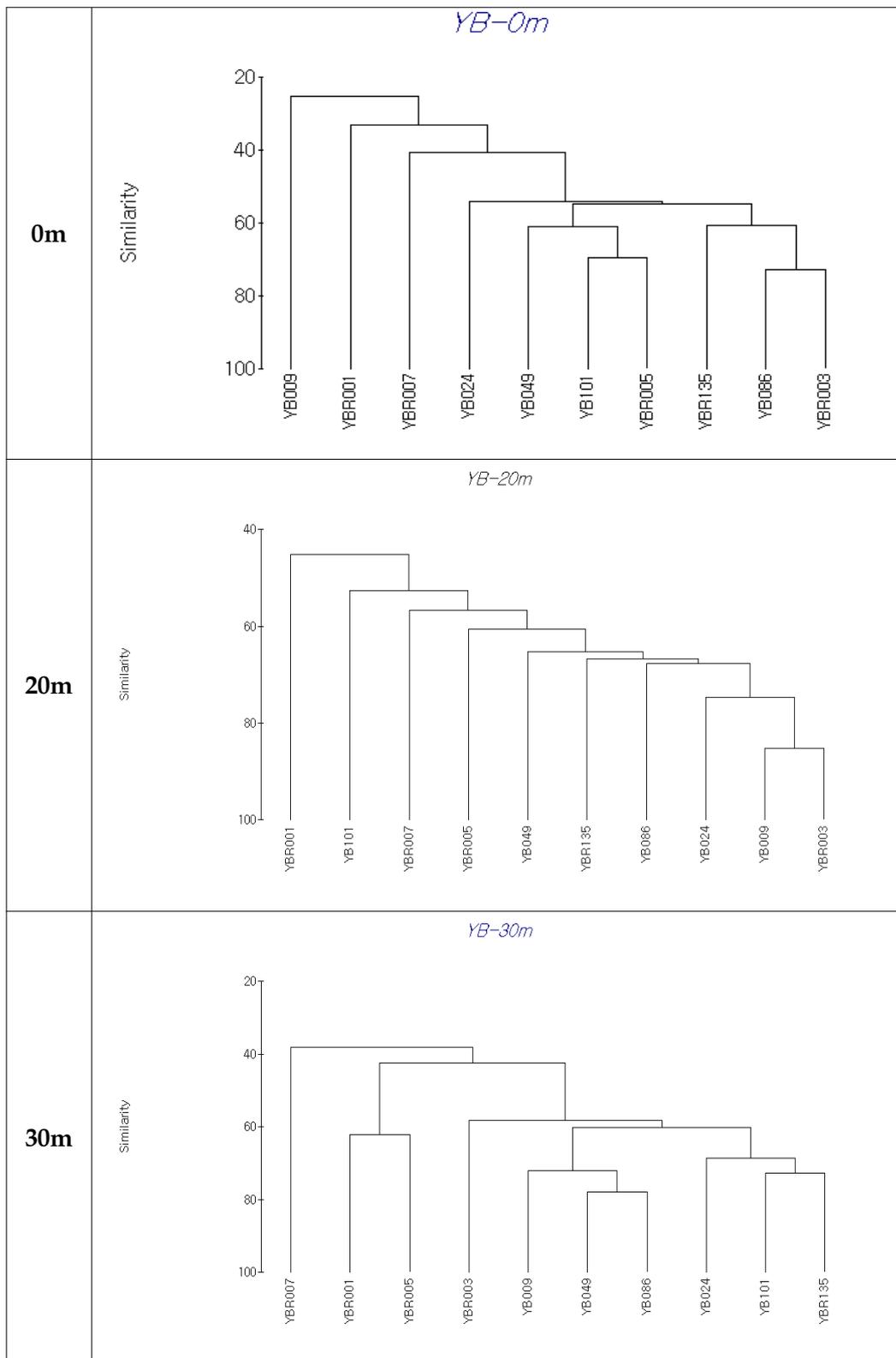


그림 2-7-6. 2011년 6월 서해병해역 식물플랑크톤의 조사정점별 유사도분석 그래프

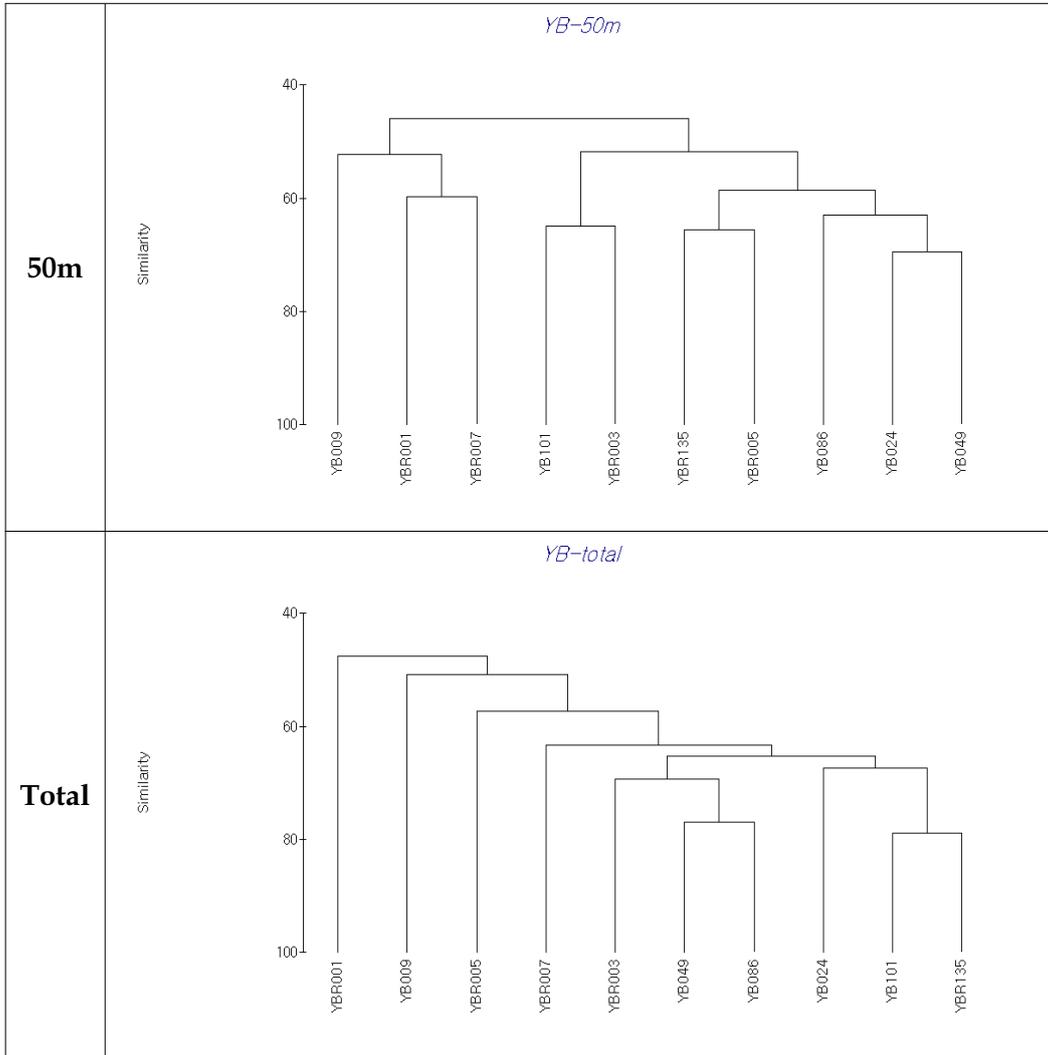


그림 2-7-6. (계속)

6. 2012년 동해정해역 현장조사 결과

가. 식물플랑크톤 군집구조 분석

1) 식물플랑크톤의 종 조성 및 현존량 분포

2012년 7월 동해정해역의 자료와 대조구의 시료를 분석한 결과, 출현한 식물플랑크톤은 규조류(Bacillariophyceae)가 61종, 와편모류(Dinophyceae)가 12종, 은편모류(Cryptophyceae)가 2종으로 구성되어 있었고 총 75종이 출현하였다(그림 2-7-7, 표 2-7-5).

전체 수심의 식물플랑크톤 분류군별 분포양상은 규조류가 전체 식물플랑크톤 출현종수의 81.3%를 차지하였고 다음으로 와편모류가 16.0%로 나타났고 은편모류가 2.7%로 출현하였다.

각 수층별 종조성은 표층에서 59종으로 규조류가 50종(84.7%), 와편모조류가 7종(11.9%), 은편모류가 2종(3.4%)으로 나타났고, 20m 수심에서는 총 58종으로 규조류가 50종으로 86.2%, 와편모류가 6종으로 10.3%, 은편모류가 2종으로 3.4%를 차지했고 전체수심중 종수가 가장 적게 나타났다.

30m 수심에서는 총 61종으로 조사 수심 중 가장 많은 종이 출현하였고 규조류가 52종으로 85.2%, 와편모류가 7종으로 11.5%, 은편모류가 3.3%로 나타났다. 50m 수심은 총 60종으로 규조류는 52종으로 86.7%, 와편모류는 6종으로 10.0%, 은편모류는 2종으로 3.3%를 차지하였다.

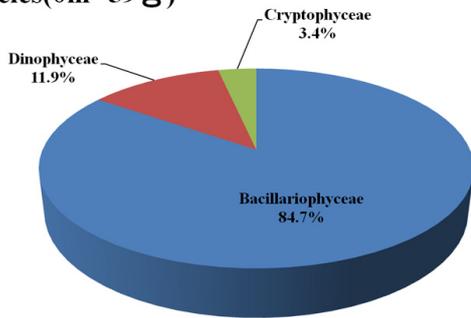
전반적으로 규조류가 85% 이상으로 대부분을 차지하였으며 표층의 DJ016은 와편모조류가 출현하지 않았고 20m 이상의 수심부터 출현하였으며 DJ003과 DJR017은 표층에서만 와편모류를 보이고 깊은 수심에서는 출현하지 않았으며 DJ003은 20m와 30m에서 은편모류가 출현한 반면 DJR017은 표층을 제외하고 규조류만 나타났다.

DJR013은 30m 수심부터 와편모류가 출현하지 않았고 규조류와 은편모류만 출현했고 DJ059는 50m 수심에서 와편모조류가 출현하지 않았다. DJ018과 남부해역의 DJ054, DJ056은 표층과 20m 수심에서 은편모류가 출현하지 않고 규조류와 와편모조류만 출현하고 30m 이상의 조사수심부터 은편모조류가 출현하였다. 나머지 정점은 3종이 동시에 출현하였고 DJ007은 30m와 50m에서 종이 발견되지 않았고, DJR013도 수심이 낮아 50m가 저층으로 종이 발견되지 않았다(그림 2-7-8).

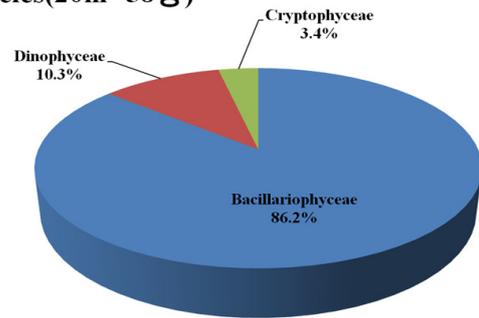
표 2-7-5. 2012년 7월 조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 분류군별 종조성

Division	DJ003	DJ007	DJ016	DJ018	DJ054	DJ056	DJ059	DJR013	DJR017		
0m	Bacillariophyceae	5	18	23	18	21	21	23	7	50	84.7%
	Dinophyceae	1	1	0	4	1	2	1	1	7	11.9%
	Cryptophyceae	0	1	2	0	0	0	1	0	2	3.4%
Total	6	20	25	22	22	22	10	25	8	59	100.0%
20m	Bacillariophyceae	24	25	17	31	12	16	27	22	50	86.2%
	Dinophyceae	0	3	1	3	1	2	1	0	6	10.3%
	Cryptophyceae	1	0	2	0	0	2	1	0	2	3.4%
Total	25	28	20	34	13	24	19	29	22	58	100.0%
30m	Bacillariophyceae	30	0	21	29	21	22	24	31	52	85.2%
	Dinophyceae	0	0	1	2	2	2	0	0	7	11.5%
	Cryptophyceae	1	0	1	0	0	1	1	0	2	3.3%
Total	31	0	23	31	23	32	25	25	31	61	100.0%
50m	Bacillariophyceae	15	0	21	22	24	29	24	0	52	86.7%
	Dinophyceae	0	0	1	2	2	0	0	0	6	10.0%
	Cryptophyceae	0	0	1	2	1	2	1	0	2	3.3%
Total	15	0	23	26	27	26	31	25	0	60	100.0%
Total	Bacillariophyceae	40	30	38	41	38	33	35	40	61	81.3%
	Dinophyceae	1	4	2	7	4	5	1	1	12	16.0%
	Cryptophyceae	1	1	2	2	1	2	1	0	2	2.7%
Total	42	35	42	50	43	48	40	37	41	75	100.0%

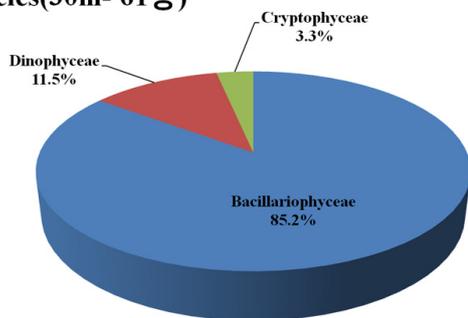
Species(0m- 59종)



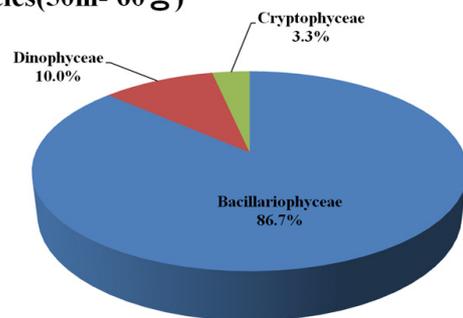
Species(20m- 58종)



Species(30m- 61종)



Species(50m- 60종)



Species(Total- 75종)

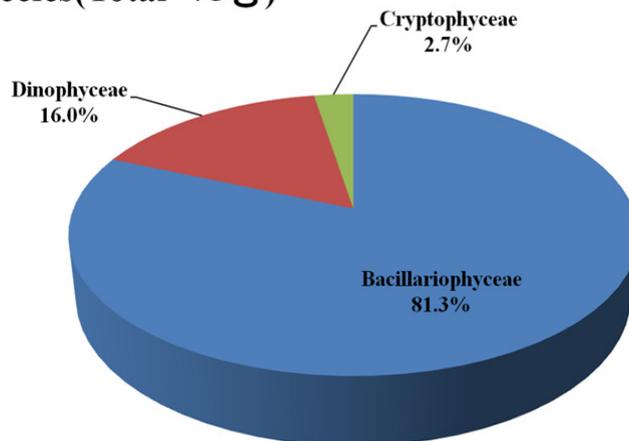


그림 2-7-7. 2012년 7월조사시 동해정해역의 식물플랑크톤 분류군별 종조성 그래프

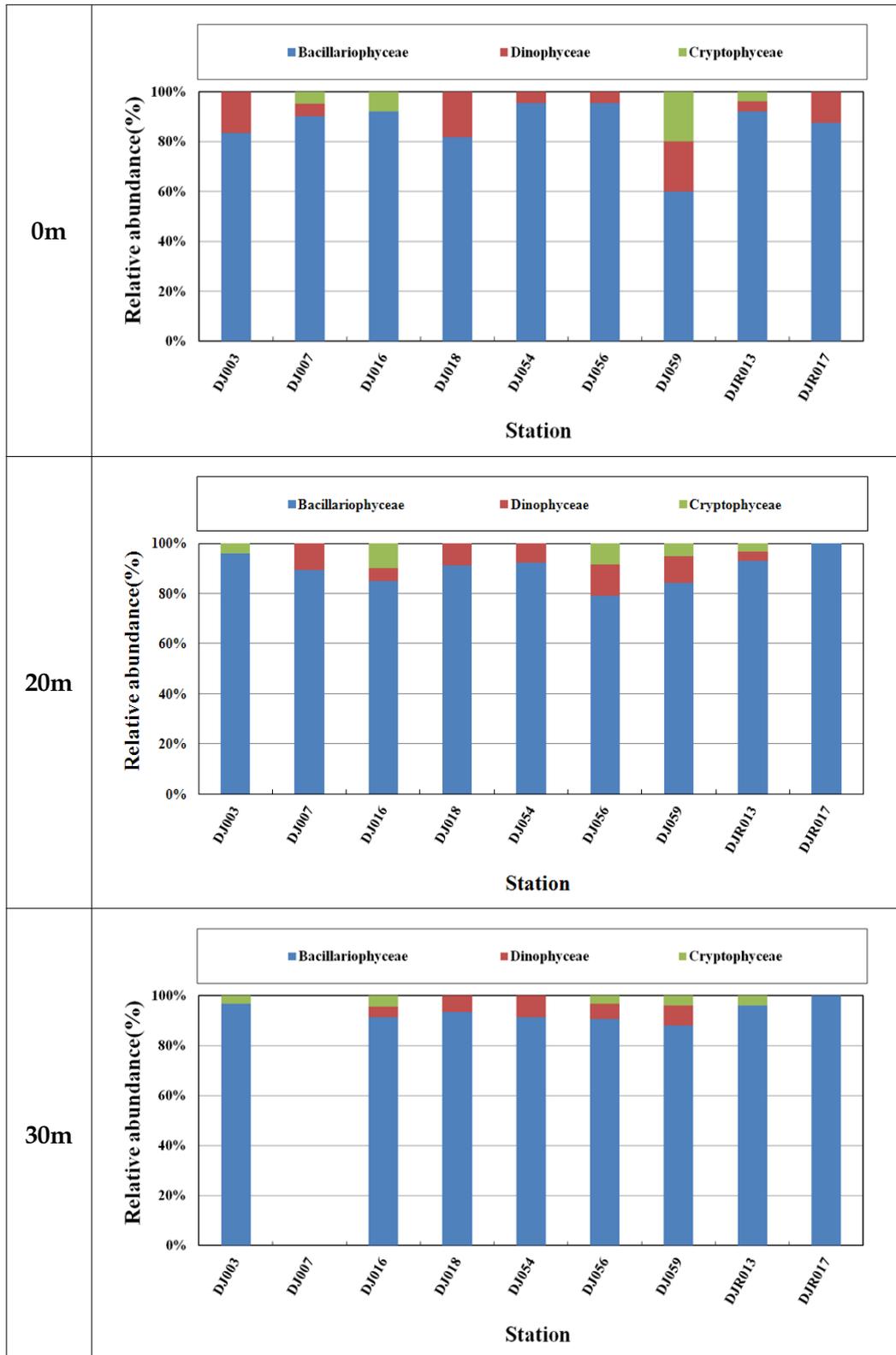


그림 2-7-8. 2012년 7월조사시 동해정해역의 정점별 식물플랑크톤 분류군별 종조성률

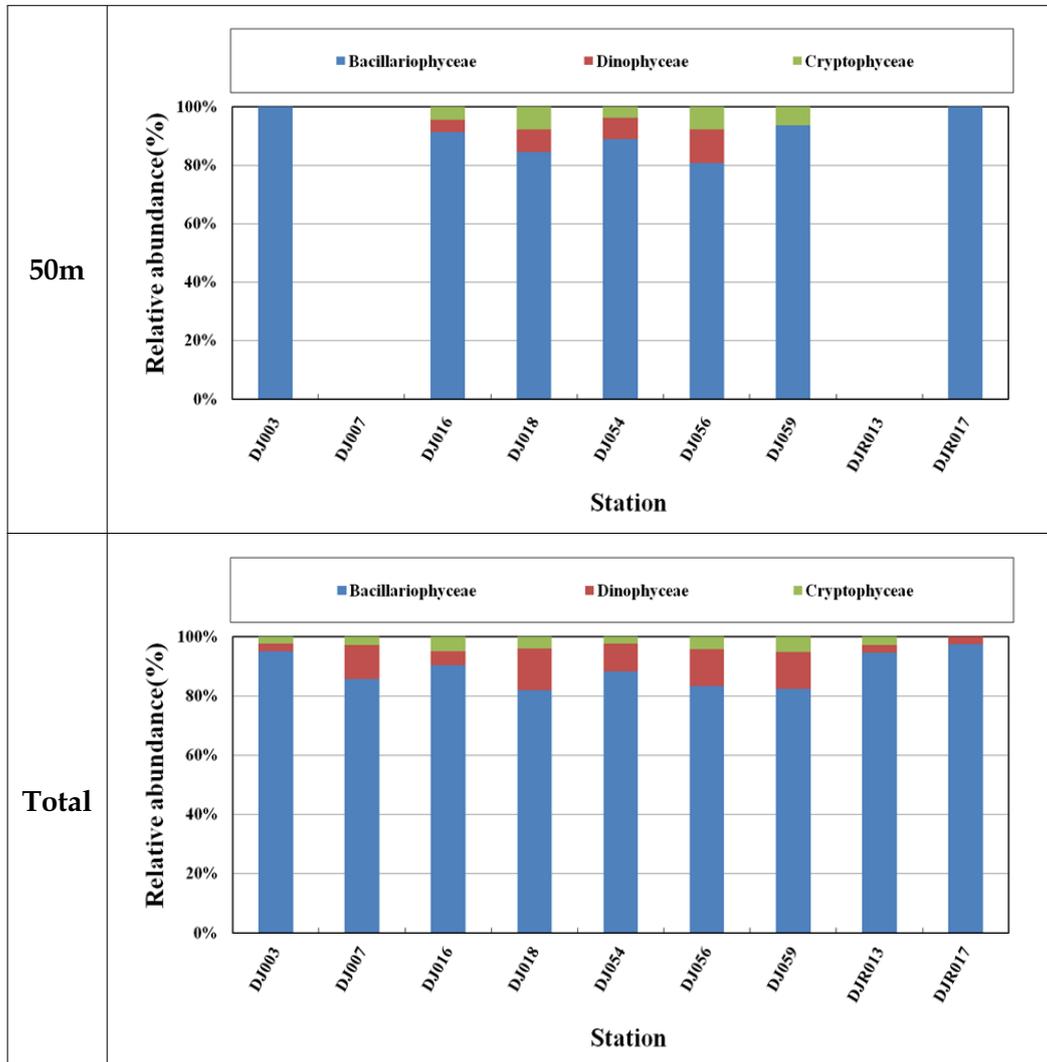


그림 2-7-8. (계속)

표 2-7-5와 그림 2-7-9의 각 정점별 종조성을 살펴본 결과 전체 수심으로 보면 35(DJ007)~50(DJ018)종이 출현하였으며 북부해역의 정점에서 종수가 적고 가장 동부에 위치한 DJ018에서 가장 많은 종이 출현하였다.

표층에서는 6(DJ003)~25(DJ016, DJR013)종이 분포하였고 북부의 DJ003, 남부해역의 DJ059와 대조구DJR017를 제외하고 전반적으로 유사한 종수를 보였다.

20m에서는 13(DJ054)~34(DJ018)종이 분포하였고, 30m에서는 DJ007에서 종이 출현하지 않았으며 나머지 정점에는 23(DJ016)~ 32(DJ056)종이 나타나 전반적으로 종수는 유사하게 나타났다.

50m 수심에서는 DJ007과 DJ013에서 종이 관찰되지 않았으며 30m와 마찬가지로 15(DJ003)~31(DJ059)종으로 종수는 큰 차이를 보이지 않았고 다소 저층에서 높게 나타났다. 각 정점별로도 와편모조류보다 규조류의 종수가 매우 다양하게 나타났다.

식물플랑크톤 현존량은 전체 수심에서 34(DJR017)~416(DJR013)cells/ml의 범위로 분포하였으며, 배출해역내에서는 DJ007에서 161cells/ml로 가장 높게 나타났다. 여기서 최대값을 나타낸 DJR013은 연안에 인접한 해역으로 50m에서 종이 발견되지 않았어도 다른해역에 비해 현존량이 매우 높게 나타났으며 배출해역내 DJ007도 표층과 20m 수심에서만 종이 출현하였음에도 현존량은 다른 정점보다 높게 나타나고 있었다.

수층별 현존량을 살펴본 결과 표층도 전체수심과 마찬가지로 DJR013에서 744cells/ml로 현존량이 가장 높게 나타났고 *Chaetoceros costatum*(157Cells/ml), *Chaetoceros curvisetus*(210Cells/ml)가 가장 우점하였고, 배출해역의 DJ007은 135cells/ml로 다량이 출현하였으며 *Rhizosolenia styliiformis*(50Cells/ml)이 대부분을 차지하였다.

나머지 정점은 1~39cells/ml의 범위를 보였다. 20m 수심도 마찬가지로 위 두 정점에서 매우 높게 나타났으며 DJ007과 인접한 DJ016에서도 현존량이 높게 나타났다. 20m의 현존량은 19(DJ059)~851cells/ml로 나타났고 표층에서 우점한 *Chaetoceros costatum*(110Cells/ml), *Chaetoceros curvisetus*(169Cells/ml) 종과 *Chaetoceros debilis*(107Cells/ml)가 새롭게 우점하였고, DJ007은 *Chaetoceros curvisetus*(110Cells/ml)가 가장 우점하여 나타났다.

30m 수심은 전반적으로 유사한 현존량을 보였으며 북부해역의 DJ003과 DJ016에서 250cells/ml 이상의 현존량을 보였고 DJ003에서 *Nitzschia delicatissima*(84cells/ml)로 우점하는 것으로 나타났다.

50m 수심에서는 0(DJ007, DJ013)~155(DJ018)cells/ml로 나타났고 동부해역과 DJ056을 제외한 남부해역에서 90cells/ml 이상의 값으로 현존량이 높게 나타났고 최대값을 보인 DJ018에서 *Navicula sp. (small)*(139cells/ml)로 나타나 현존량이 가장 높게 나타났다(그림 2-7-9, 표 2-7-6).

전체 평균값(Average Value at Each sampling Time; 이하 AVET)은 121cells/ml로 나타났다

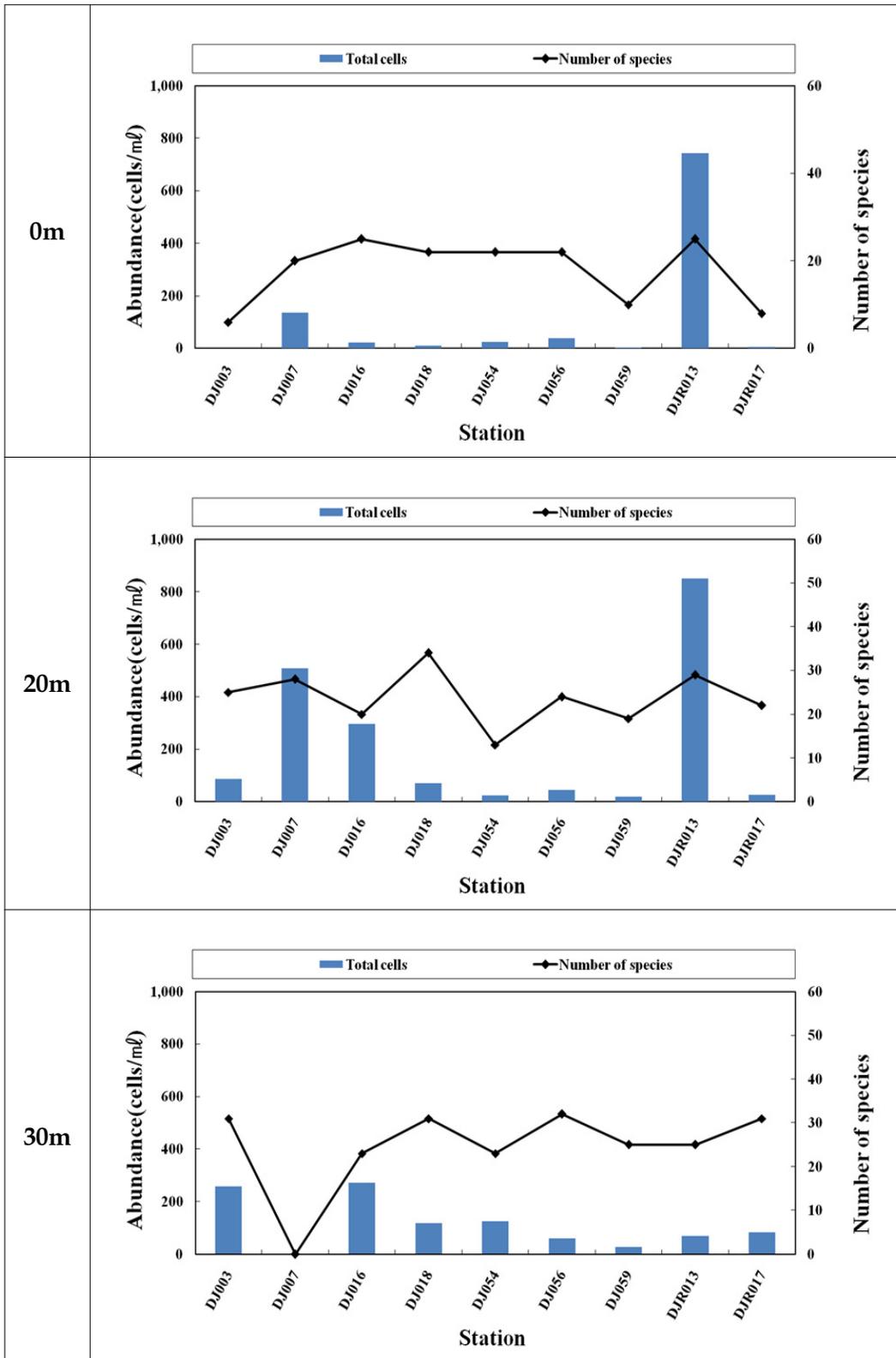


그림 2-7-9. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수심별 각 정점에서의 식물플랑크톤 출현종수와 현존량(Cell/ml)

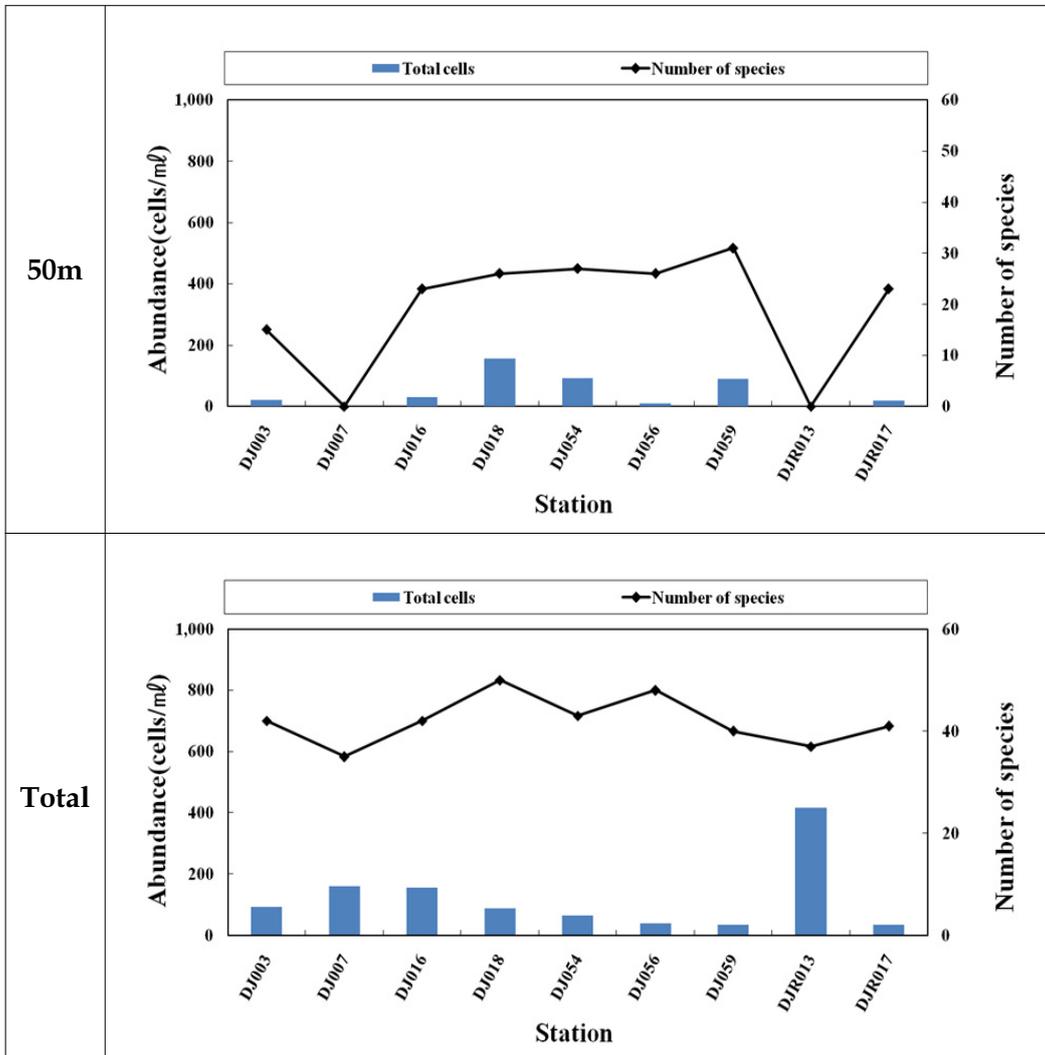


그림 2-7-9. (계속)

표 2-7-6. 2012년 7월조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 현존량 (cells/mL)

Station	0 m	20 m	30m	50 m			
DJ003	1	87	257	21	366	92	91
DJ007	135	509	0	0	644	161	
DJ016	22	296	272	29	619	155	
DJ018	11	69	118	155	353	88	
DJ054	24	24	125	91	264	66	
DJ056	39	45	59	9	152	38	
DJ059	2	19	28	91	140	35	
DJR013	744	851	69	0	1733	416	225
DJR017	5	26	84	20	135	34	
Min.	1	19	0	0	135	34	
Max.	744	851	272	155	1664	416	
Average	109	214	112	46	482	121	

(2) 우점종 및 다양성 지수

2012년 7월조사시 동해정해역의 제 1우점종은 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*로 전체수심에서 18.4%를 차지했으며 0m, 20m, 30m 수심에서 최우점종으로 나타났고 제 2우점종은 *Chaetoceros costatum*으로 13.9%로 50m 수심을 제외하고 전 조사수심에서 차우점하였다.

제 3우점종은 *Chaetoceros lacinosum*으로 5.0%로 나타났다.

각 수심별 우점종은 0m, 20m, 30m는 제 2우점종까지 동일한 종이 차지하였으며 표층은 제 3우점종까지 동일하였고 20m의 제 3우점종은 *Chaetoceros debilis*로 나타났고 30m는 *Nitzschia delicatissima*가 차지하였다.

단 50m 수심은 제 1우점종이 *Navicula sp.(small)*로 33.5% 우점하였으며 제 2 우점종은 *Nitzschia seriata*로 11.0%를 차지했다. 제 3 우점종은 *Nitzschia longissima*로 7.3% 였다(표 2-7-7).

출현종류 중 각 정점별 출현빈도는 표층의 경우 전반적으로 우점종보다 다수종의 합산이 높게 나타났으며 DJ007, DJ016, DJR013만이 우점종이 차지하는 출현빈도가 50%이상을 나타냈고 나머지 정점은 40% 미만의 우점율을

보였다. 또한 DJ003과 DJ059만 최우점종인 *Chaetoceros curvisetus*가 출현하지 않았다. 20m 수심도 우점종이 출현한 빈도가 50% 미만으로 크지 않았고 30m 수심부터 DJ003과 DJ016에서 우점종이 차지하는 출현빈도가 50% 이상을 나타냈고 40% 미만의 우점률을 보였다.

50m 수심에서는 DJ003과 DJ018, DJ054의 우점률이 70~90% 가량을 나타냈고 나머지 남부해역과 대조구 DJR017은 20% 미만으로 나타났다(그림 2-7-10).

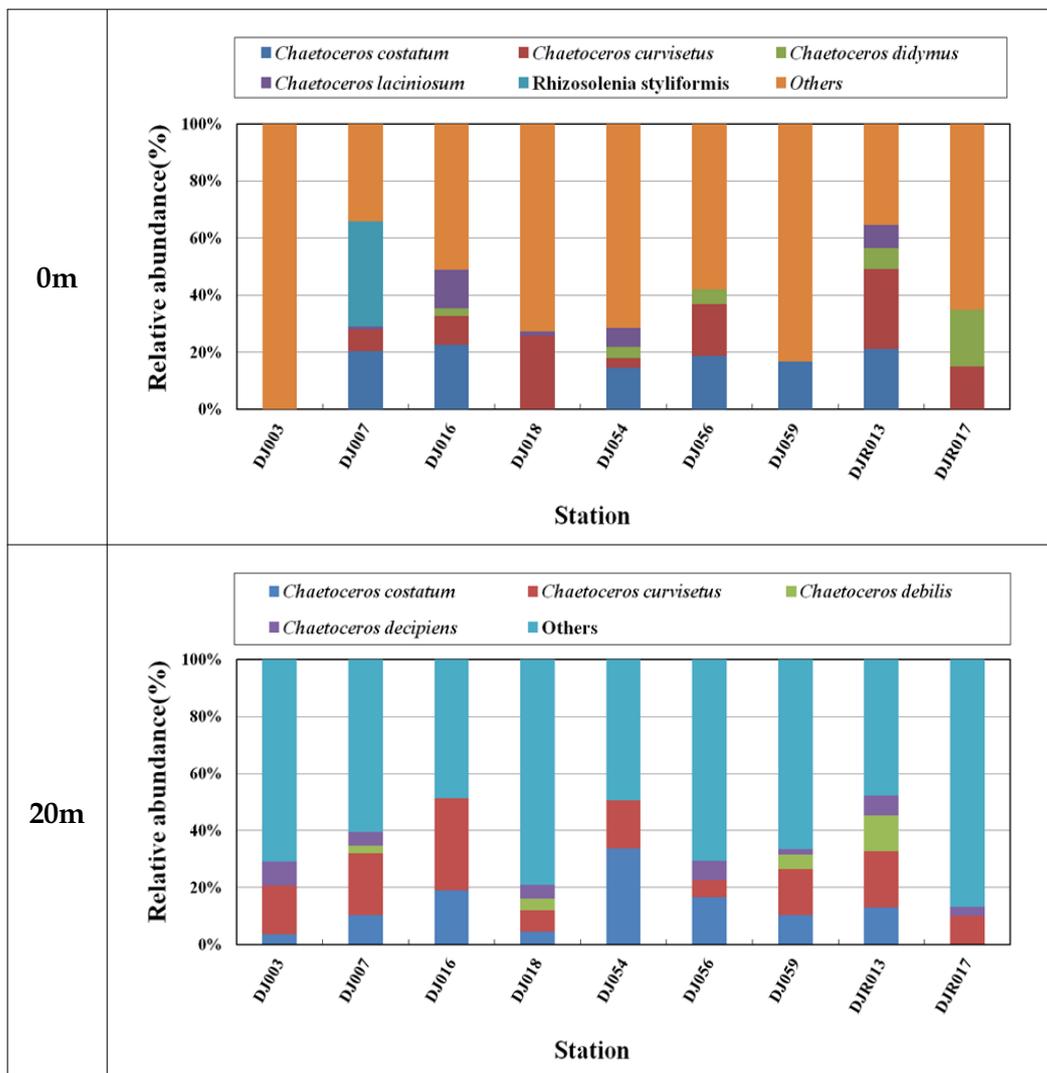


그림 2-7-10. 2012년 7월 동해정해역에서의 우점종(5% 이상)

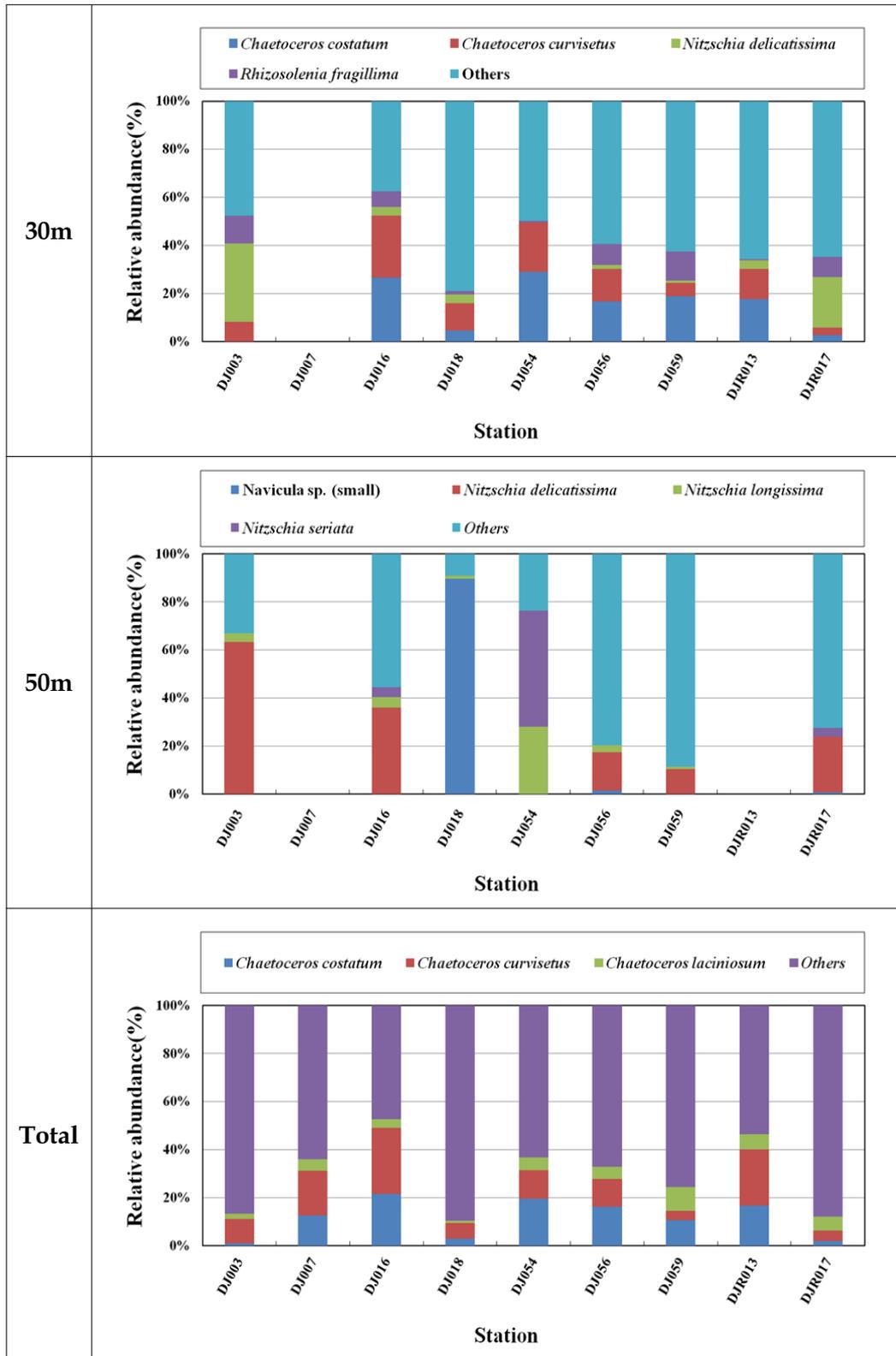


그림 2-7-10. (계속)

표 2-7-7. 2012년 7월조사시 동해정해역의식물플랑크톤 우점종 변화

Total	
<i>Chaetoceros curvisetus</i> (18.4%) <i>Chaetoceros costatum</i> (13.9%) <i>Chaetoceros lacinosum</i> (5.0%)	
0 m	20 m
<i>Chaetoceros curvisetus</i> (23.7%) <i>Chaetoceros costatum</i> (20.4%) <i>Chaetoceros lacinosum</i> (6.8%) <i>Chaetoceros didymus</i> (6.0%) <i>Rhizosolenia styliformis</i> (5.1%)	<i>Chaetoceros curvisetus</i> (21.1%) <i>Chaetoceros costatum</i> (12.6%) <i>Chaetoceros debilis</i> (6.5%) <i>Chaetoceros decipiens</i> (5.1%)
30 m	50 m
<i>Chaetoceros curvisetus</i> (14.9%) <i>Chaetoceros costatum</i> (14.2%) <i>Nitzschia delicatissima</i> (11.8%) <i>Rhizosolenia fragillima</i> (6.5%)	<i>Navicula sp.(small)</i> (33.5%) <i>Nitzschia seriata</i> (11.0%) <i>Nitzschia delicatissima</i> (9.5%) <i>Nitzschia longissima</i> (7.3%)

생태계의 안정성을 나타내는 군집 다양성지수(H)는 식물플랑크톤의 군집 구조를 평가하는 수단으로 이용된다. 일반적으로 값이 클수록 서식환경에 대한 생물군집의 안정도가 증가한다고 알려져 있으며, 군집을 이루는 종수와 그 종의 우점 정도에 따라 영향을 받는다.

동해정해역의 군집다양성지수는 전체 수심으로 보면 2.42(DJ018)~3.15(DJR017) 범위를 나타냈으며 전체 조사정점의 다양성지수 평균값은 2.77을 나타냈다.

전반적으로 북부해역보다 남부해역에서 높은 값을 보였고 대조구 DJR017에서 가장 높은 값을 나타내 안정된 군집구조를 보였다.

각 수층별 다양성지수는 0m, 20m, 30m 수심에서는 평균 2.25 이상으로 높게 나타나 안정된 군집구조를 보였고 50m 수심만 1.62로 낮은 평균을 보였다(그림 2-7-11).

최소값은 DJ003의 표층에서 1.30으로 나타났고 최대값은 DJ018에서 3.21로 가장 높은 군집다양성지수를 나타냈다. 종풍부도 지수는 전체적으로 보면

5.97(DJR013)~12.92 (DJ056) 범위를 나타냈고 평균 9.57로 나타났으며 다양성 지수와 마찬가지로 남부해역에서 종풍부도도 높은 값을 나타냈다.

각 수층에서 평균값은 20m(5.26)<30m(5.93)<0m(6.42)<50m(6.72)로 나타났으며 표층의 경우 DJR013에서 최소값을 보인 것을 제외하고 나머지 수심에서는 북부해역의 DJ016, DJ003에서 가장 낮고, 최대값은 20m 수심의 DJ018에서 보인 것을 제외하면 남부해역의 DJ056과 DJ059에서 높은 값을 나타냈다.

균등도 지수는 전체 수심으로 보면 0.62(DJ018)~0.85(DJR017)로 다양도지수와 같은 해역에서 최소, 최대값을 나타냈고 수층별로도 북부해역보다 남부해역에서 최대값을 보였다.

각 수층별 평균 균등도는 50m(0.66)< 30m(0.79)< 0m와 20m(0.82)로 나타났고 최소값은 DJ018의 50m에서 나타났고 최대값은 DJR017의 표층에서 보였다.

우점도는 전체수심으로 보면 0.03(DJR017)~ 0.22(DJ018)로 나타났고 수층별 평균 우점도는 0m(0.00)< 20m(0.09)< 30m(0.10)<50m(0.25) 로 나타났고 DJ059의 표층에서 우점도가 가장 낮고 DJ018에서 우점도가 가장 높게 나타났다(표 2-7-8).

식물플랑크톤 군집유사도 분석결과, 0m, 20m, 30m, 50m를 포함한 전체 조사해역은 40% 이상의 유사도를 나타냈으며 크게 3그룹으로 A그룹은 연안에 인접한 DJR013과 B그룹은 DJ007, DJ018과 C그룹으로 나머지 정점으로 나뉘고 C그룹은 다시 북부해역의 DJ003과 DJ016으로 62%가량의 유사도를 보였고 나머지해역으로 묶였으며 DJ059와 DJR017이 63%, DJ054와 DJ056이 60% 정도의 유사도를 나타냈다.

각 수층별로는 0m와 30m의 유사도가 10% 미만으로 표층은 DJ003과 가장 낮고 유사도가 높게 나타난 DJ016과 DJ056도 50%가량의 유사도를 나타냈다.

30m는 DJ007과 나머지해역과 유사도가 매우 낮게 나타났고 나머지 해역은 2그룹으로 남부해역의 DJ054, DJ056, 대조구인 DJR013과 북부해역의 나머지 정점으로 나뉘었으며 40%의 유사도를 나타냈다.

50m도 전체적으로 30%~60%의 유사도를 나타냈으며 서로 인접한 DJ054와 DJR017이 높은 유사도를 보였다(그림 2-7-12).

표 2-7-8. 2012년 7월 조사시 동해정해역의 수층별 식물플랑크톤의 생태지수

Division	DJ003	DJ007	DJ016	DJ018	DJ054	DJ056	DJ059	DJR013	DJR017	min	max	Average
Richness (R)	0m	N.D	3.87	7.80	8.83	5.74	10.43	3.63	4.50	3.63	10.43	6.42
	20m	5.38	4.33	3.34	7.79	6.05	6.07	4.15	6.46	3.34	7.79	5.26
	30m	5.41	N.D	3.92	6.29	4.56	7.23	5.66	6.76	3.92	7.60	5.93
	50m	4.59	N.D	6.52	4.96	5.77	11.16	N.D	7.40	3.87	11.16	6.29
Total	9.07	6.69	8.13	10.94	10.03	12.92	10.97	5.97	11.38	5.97	12.92	9.57
Evenness (J)	0m	0.72	0.67	0.81	0.85	0.83	0.90	0.73	0.95	0.67	0.95	0.82
	20m	0.83	0.81	0.69	0.91	0.79	0.85	0.83	0.92	0.69	0.92	0.82
	30m	0.75	N.D	0.72	0.83	0.74	0.81	0.77	0.86	0.72	0.86	0.79
	50m	0.57	N.D	0.74	0.19	0.52	0.90	0.84	N.D	0.82	0.19	0.90	0.67
Total	0.72	0.77	0.66	0.62	0.74	0.79	0.81	0.73	0.85	0.62	0.85	0.74
Diversity (H')	0m	1.30	2.02	2.60	2.64	2.76	2.07	2.35	1.97	1.30	2.76	2.25
	20m	2.67	2.68	2.08	3.21	2.02	2.71	2.45	2.86	2.02	3.21	2.59
	30m	2.56	N.D	2.25	2.84	2.33	2.82	2.64	2.97	0.00	2.97	2.32
	50m	1.54	N.D	2.31	0.63	1.71	2.94	2.90	N.D	2.56	0.63	2.94	2.12
Total	2.71	2.75	2.49	2.42	2.77	3.04	3.00	2.65	3.15	2.42	3.15	2.77
Dominance (D)	0m	N.D	0.20	0.07	0.02	0.04	0.08	0.15	-0.08	-0.46	0.20	0.00
	20m	0.09	0.09	0.18	0.03	0.14	0.07	0.10	0.03	0.03	0.18	0.09
	30m	0.14	N.D	0.16	0.08	0.15	0.07	0.11	0.07	0.06	0.16	0.10
	50m	0.38	N.D	0.14	0.80	0.31	-0.04	0.06	N.D	0.07	-0.04	0.80	0.23
Total	0.12	0.08	0.14	0.22	0.09	0.05	0.04	0.11	0.03	0.03	0.22	0.10

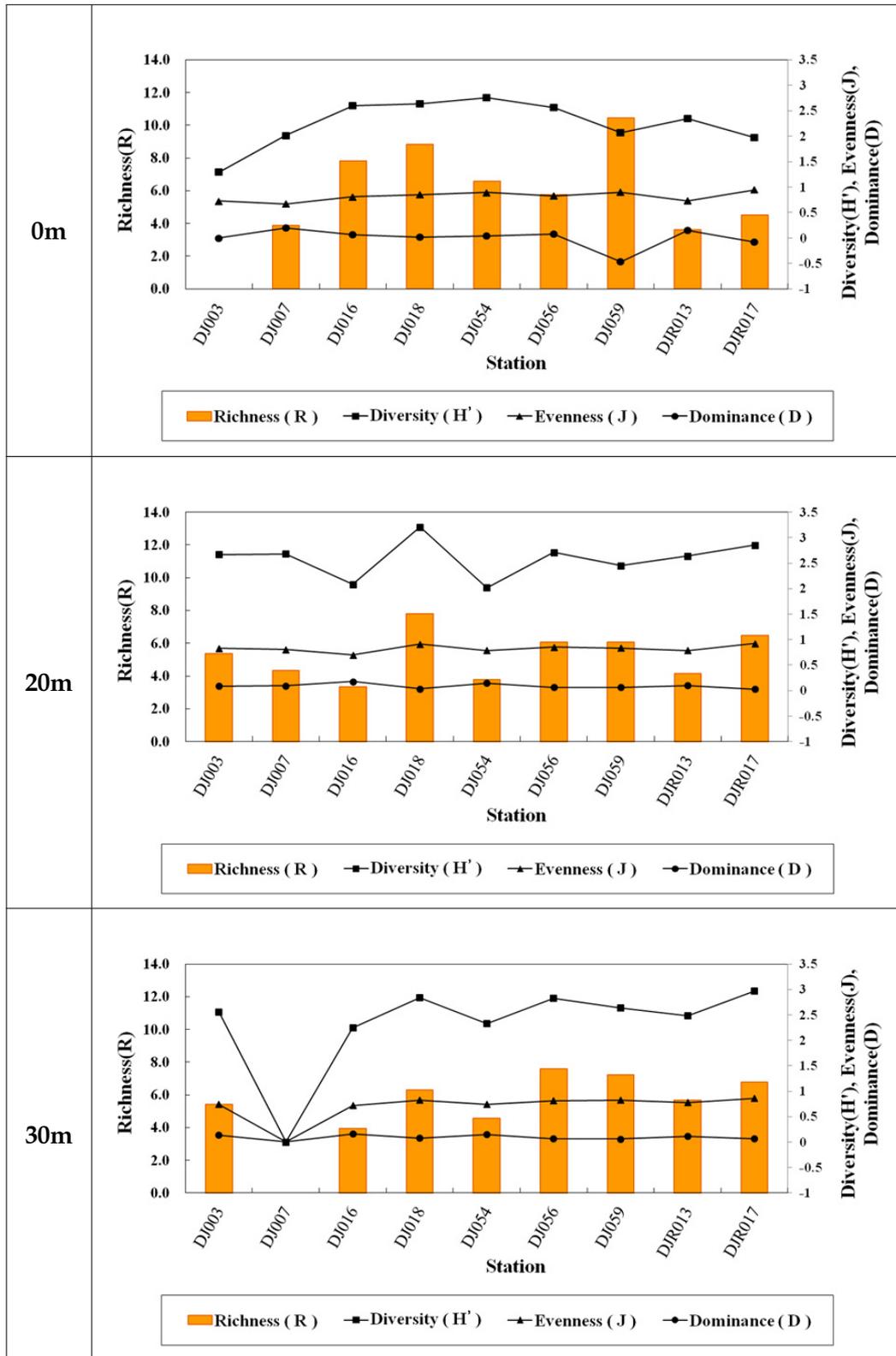


그림 2-7-11. 2012년 7월 동해정해역 식물플랑크톤의 조사정점별 생태지수 그래프

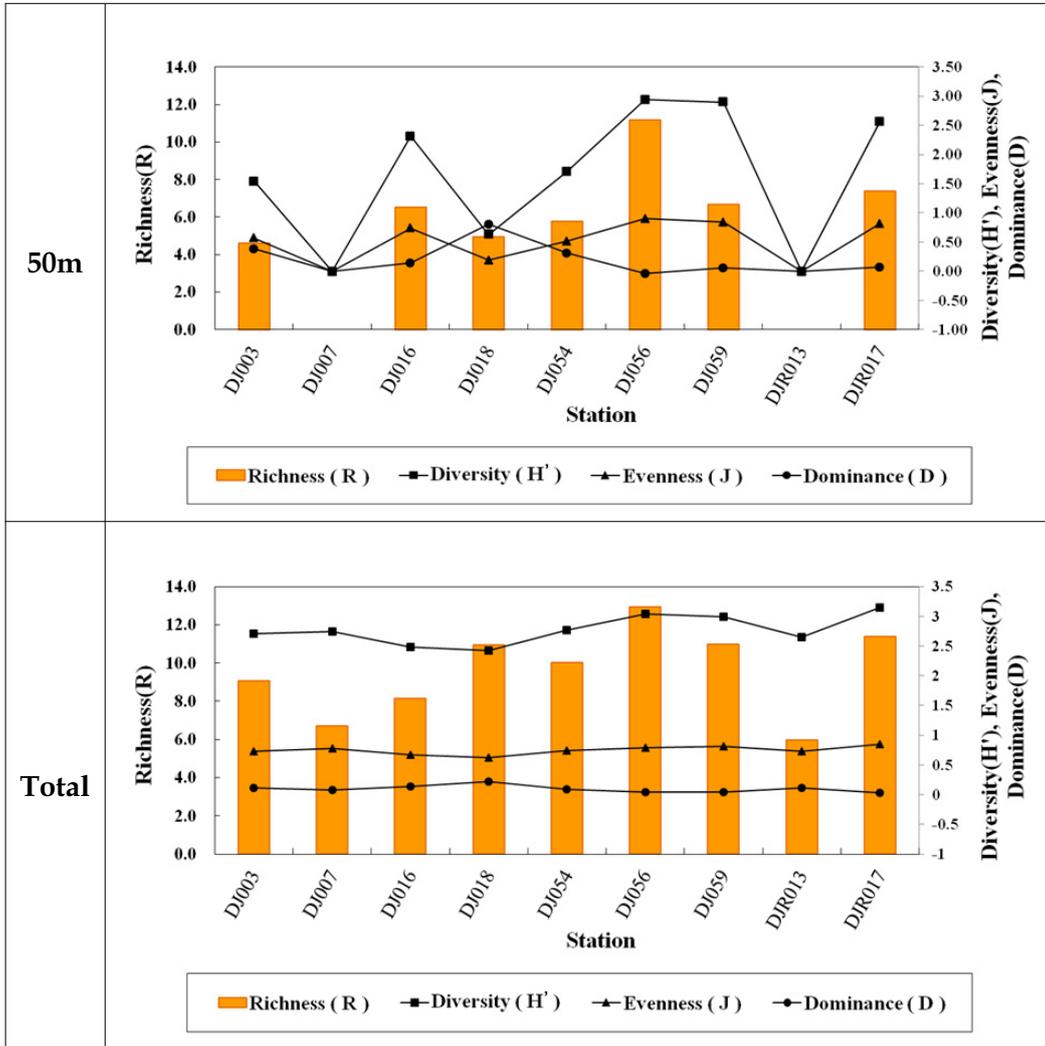


그림 2-7-11. (계속)

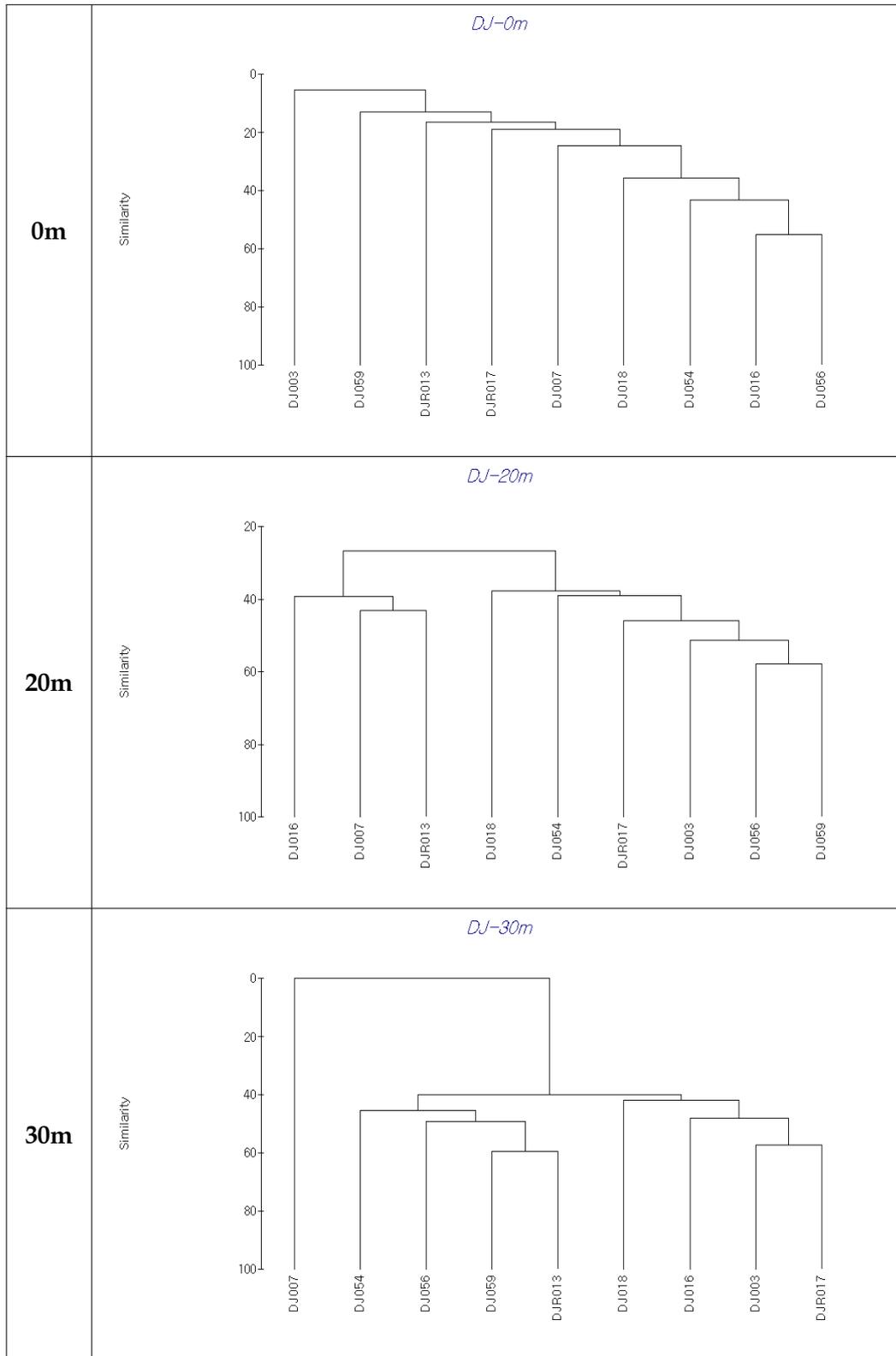


그림 2-7-12. 2012년 7월 동해정해역 식물플랑크톤의 조사정점별 유사도분석 그래프

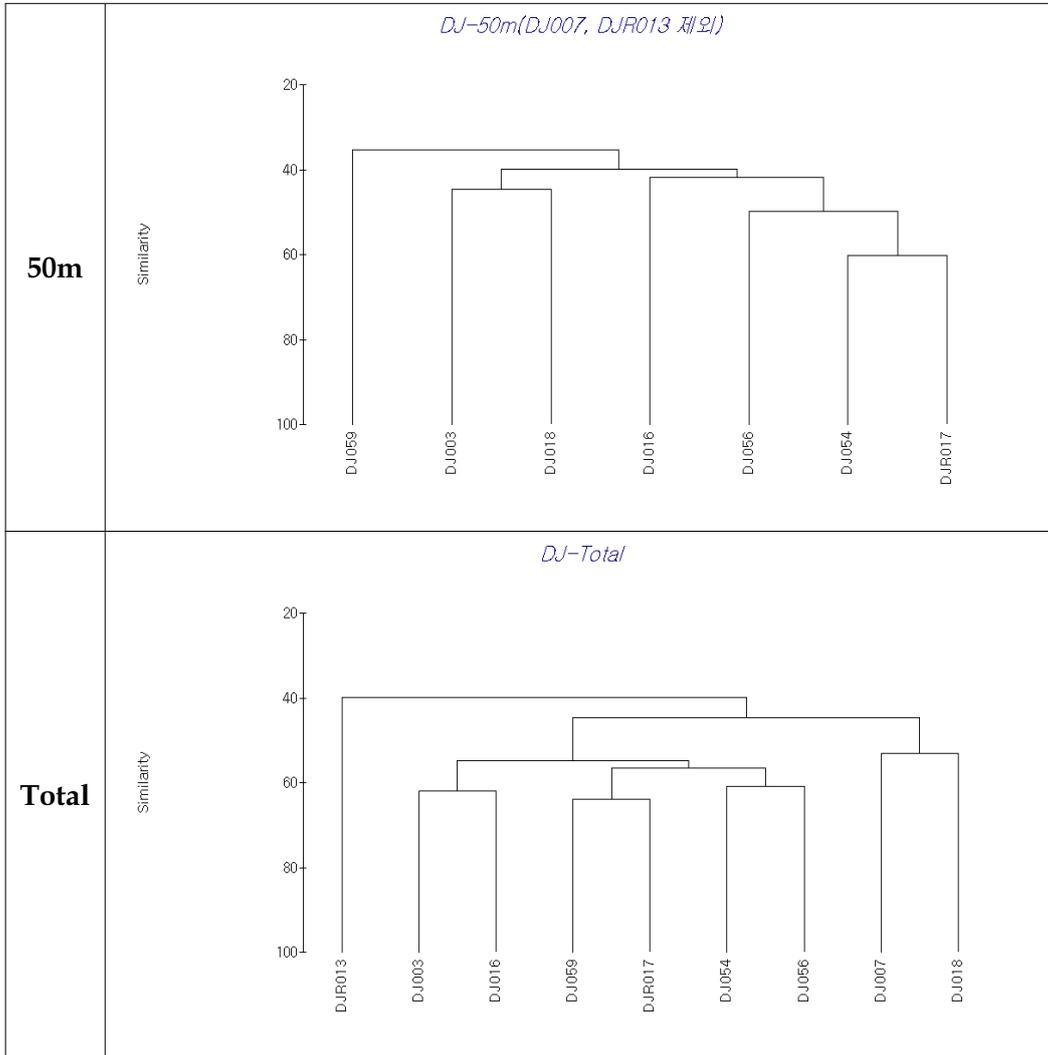


그림 2-7-12. (계속)

제 8 절 폐기물 배출해역 해저 퇴적물건강상태

1. 시료 채집 및 분석방법

가. 시료 채집

해저 퇴적물 시료는 2종류의 채니기를 사용하였다. 퇴적물중 화학성분의 수직분포를 파악하기 위하여 박스코어러를 사용하여 표층 퇴적물을 채취한 후 현장 부시료 채취코어를 사용하여 주상퇴적물을 채취하였다. 저서생물군집용 시료와 생물 독성용 공극수 시료는 그랩을 이용하여 표층 퇴적물을 채취하였다.

채취한 표층 퇴적물 시료는 각 분석성분별로 미리 전처리와 사전에 무게를 측정된 전용 용기에 현장에서 채취하여 측정성분의 특성에 맞추어서 냉장 또는 냉동보관하여 연구실로 가져왔다.

주상퇴적물은 박스코어로부터 2개의 부시료를 채취하여 1개는 중금속 분석용으로 현장에서 깊이별로 잘라서 미리 세척하여 무게를 측정된 비닐백에 넣어 냉동보관하고, 나머지 1개의 부시료는 진공을 이용한 공극수 채취장비로 현장에서 바로 채취하여 냉동보관하여 연구실로 가져왔다.

나. 분석방법

(1) 입도

약 5g의 채집된 퇴적물을 1,000ml 비이커에 담아 조개껍질 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1N HCl로 반응시켜 탄산염을 제거하였다. 또한 유기물을 제거하기 위하여 10M 과산화수소수(H_2O_2)로 24시간 이상 반응시켰다.

입도 분석이 준비된 시료는 4.0Ø 체를 이용하여 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다.

4.0Ø 이하의 모래 시료는 0.5Ø 간격으로 Gradex 2000 입도 분석기 (Particle size analyzer)로 약 10분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율

을 구하였다. 4.00 이상의 펄 시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2g을 취해 80ml의 0.1% calgon 용액을 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5100을 사용하여 입도 무게 백분율을 구하였다.

입도별 무게 백분율은 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도 등의 통계 변수들을 구하였고, 입도의 명칭은 Folk(1980)의 방법을 따랐다.

(2) 함수율

표층퇴적물 시료 약 5g을 오븐에서 110℃로 하루동안 건조시킨 다음 건조기내에서 실온으로 냉각 건조시켜 무게를 측정한 후 다음과 같은 식에 의하여 함수율(W; water content)을 구하였다.

$$W(\%) = \frac{(W_w - W_d) \times 100}{W_w}$$

여기서 W_w 는 자연상태의 건조하기 전 시료의 무게이며, W_d 는 건조 후의 퇴적물 시료 무게이다.

(3) 화학적 산소 요구량(COD)

습시료 약 1g의 무게를 정확히 취하여 250ml 삼각플라스크에 담고 0.1N 과망간산칼륨용액 100ml와 10% 수산화나트륨용액 5ml를 넣고 잘 흔든다. 시료와 시약이 담긴 플라스크를 1시간 동안 중탕한 후 실온에서 식히고, 10% 요오드화칼륨용액 10ml와 4% 아지드나트륨용액 한방울을 넣는다. 증류수를 가해 500ml로 만든 후 잘 흔들어 유리섬유여과지로 여과하여, 여과용액 100ml를 30% 황산용액을 넣고 잘 흔든다. 이를 0.1N 티오황산나트륨 용액으로 적정한다.

(4) 유기탄소 및 유기질소

냉동 건조되어 곱게 간 후 시료를 오븐에서 105℃로 하루밤 건조시킨 후, 데시케이터에 두시간 방치하였다.

사전에 무게를 측정한 유리병에 시료 약 0.5~1g을 정확하게 넣고, 1M

HCl 3ml를 첨가하여 탄산염을 제거하였다. 30분간 염산과 충분히 반응시킨 후 70℃에서 하룻밤동안 수분과 잔류염산을 날려 보내고 다시 상온 데시케이터 안에서 2시간 방치하여 무게를 측정하였다. 산으로 탄산염을 제거하기 전·후의 무게비를 구하여 분석 후에 측정된 유기탄소 농도를 보정하였다.

분석은 수mg 시료를 주석박막으로 말아 원소분석기로 측정하였다(Iperen and Helder, 1985).

분석결과의 신뢰도를 측정하기 위하여 캐나다 국립연구소(NRC)의 표준 퇴적물 비교 시료인 BCSS-1을 같은 방법으로 측정하여 비교하였다.

표 2-8-1. 캐나다 국립연구소 및 미국 국립지질조사소의 해양퇴적물 표준시료 분석결과 비교

	MESS-1			MAG-1		
	(N=12)		(%)	(N=12)		(%)
	(unit : %)			(unit : %)		
Al	5.95 ± 0.22	5.80 ± 0.20	103	8.83 ± 0.34	8.68 ± 0.16	102
Fe	3.18 ± 0.12	3.00 ± 0.20	106	5.13 ± 0.20	4.76 ± 0.42	108
	(unit : mg/kg)			(unit : mg/kg)		
Mn	523 ± 328	513 ± 25	102	783 ± 34	759 ± 70	103
Cr	69.7 ± 5.6	71 ± 11	98	109 ± 4	97 ± 8	113
Co	12.4 ± 0.3	10.8 ± 1.9	114	23.7 ± 0.6	20 ± 1.6	119
Ni	29.5 ± 0.5	29.5 ± 2.7	100	55.3 ± 1.4	53 ± 8	104
Cu	28.1 ± 0.9	25.1 ± 3.8	112	31.6 ± 1.5	30 ± 3	105
Zn	191 ± 4	191 ± 17	100	145 ± 5	130 ± 6	112
As	10.0 ± 1.2	10.6 ± 1.2	95	9.4 ± 1.6	9.2 ±	102
Cd	0.66 ± 0.05	0.59 ± 0.1	113	0.23 ± 0.04	0.2 ± 0.03	117
Pb	35.8 ± 1.7	34.0 ± 6.1	105	28.3 ± 1.4	24 ± 3	118
	MESS-1			BCSS_1		
	(N=3)		(%)	(N=3)		(%)
	(unit : mg/kg)			(unit : mg/kg)		
Hg	0.171 ± 0.006	0.171 ± 0.014	100	0.130 ± 0.010	0.129 ± 0.012	101

(5) 중금속

표층퇴적물 중 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 망간(Mn), 비소(As), 아연(Zn), 납(Pb)을 분석하기 위하여 동결 건조하여 전처리 한 퇴적물을 초단파산분해기(microwave -oven Model)에 0.5g 씩을 정확히 달아 teflon cell에 넣은 후 ultra-pure급 진한질산(HNO₃) 2.5ml, supra 급 진한과염소산 1ml(HClO₄), ultra-pure급 진한불소산(HF) 2.5ml를 더하여 250watt에서 10분간, 500watt에서 10분간, 750watt에서 10분간 산분해 시킨 후 실온으로 방냉시킨 후 미리 산세척된 teflon 50ml 비이커로 옮긴다. 만약 시료가 완전 분해되지 않고 잔사가 남을 경우 위의 조작은 한번 더 수행한다. 테프론 코팅된 세라믹 hot plate 및 석영(quartz) hot plate의 온도를 130℃로 맞춘 후 테프론 비이커에 담겨진 시료를 완전건조 시킨다. 완전히 건조된 테프론 비이커를 실온으로 낮춘 후 다시 ultra-pure급 진한 질산 2ml를 더하여 다시 완전 건조시킨 다음 이의 과정을 한번 더 수행한 후 따스한 1% 질산용액(50℃ 이하)으로 중금속 원소들을 용출시켜 낸 다음 GF/C 11cm 여지 혹은 Watman No. C 11cm 여지를 사용하여 여과시켜 100ml로 정용하여 유도결합질량분석기(ICP-MS, PekinElmer Elan 9000)을 사용하여 분석하였다(해양수산부, 2002).

수은 분석을 위해서는 금아말감 수은 전용분석기(Milestone Ltd., Model; DMA 80)를 사용하여 동결 건조시켜 미세하게 간 퇴적물 시료 0.5g을 정확히 달아 니켈 boat에 담아 분석 정량하였다.

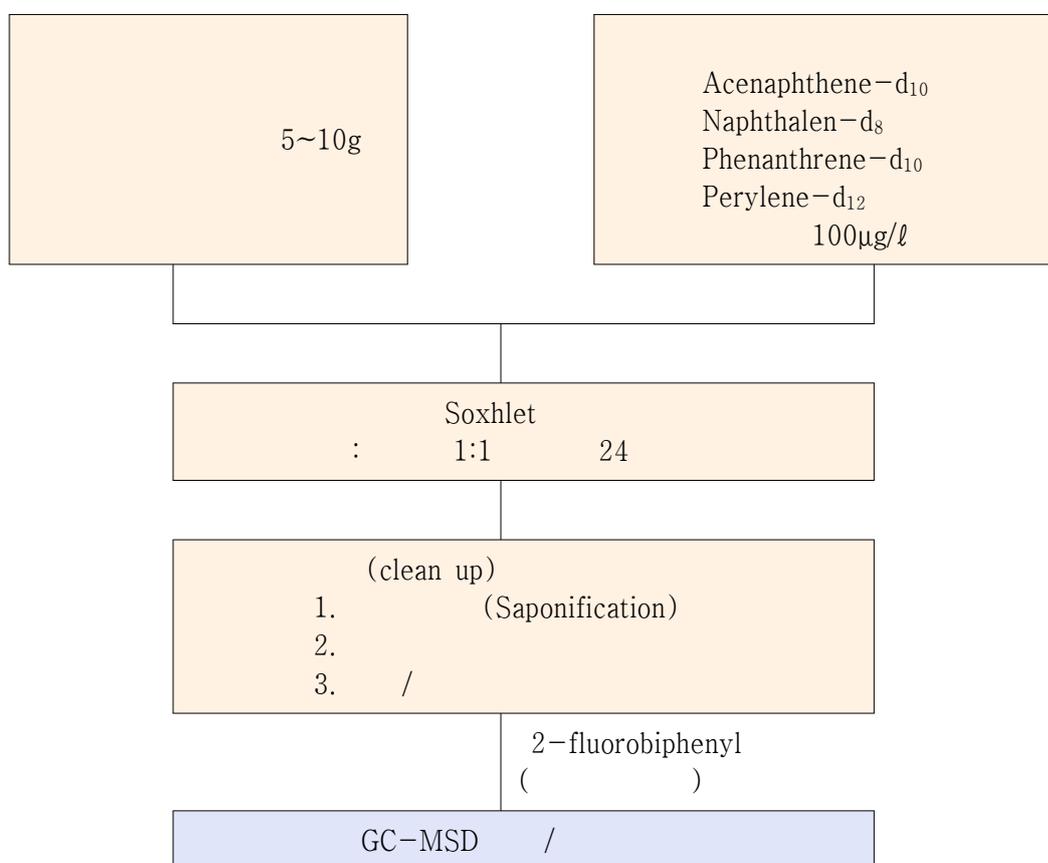
(6) 총 PAHs

PAHs 채집 및 측정을 위한 모든 채집병 및 초자기구는 초순수로 잘 세척한 후, furnace에서 500℃로 약 4시간 태운 후, Aceton과 n-Hexane로 세척한 것만을 사용하였다. 분석은 미국환경보호청 표준시험법(EPA method 8100)을 바탕으로 Aceves 등(1988)과 Moreda 등(1988)의 방법을 응용하여 분석하였다.

분석된 PAHs 항목들은 acenaphthene, acenaphthylene, anthracene, benzo(a)anthracene, 1-methyl anthracene, 2-methyl anthracene, 9-methyl anthracene, dibenzo(a,h)anthracene, chrysene, fluoranthene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, fluorene, naphthalene, 1-methyl naphthalene, 2-methyl naphthalene, 2,6-dimethyl naphthalene, 2,3,5-trimethyl naphthalene, phenanthrene, 1-methyl phenanthrene, 2-methyl phenanthrene, perylene, benzo(g,h,i)perylene, pyrene, benzo(a)pyrene, benzo(e)pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene 등 총 27종들이고 기기 분석조건은 다음과 같다.

Agilent 6890N Gas Chromatography	
column	30m×0.25mm i.d., 0.25µm(thickness) DB-5MS(5%-Pyenyl)-methylpolysiloxane
injection mode	splitless mode
oven temp.	60°C-10°C/min→250°C-8°C/min→320°C/min(5min)
carrier gas	Helium
injection temp.	280°C
Agilent 5973 Mass Selective Detector(MSD)	
solvent delay	5min
mass range	80~330 amu
Quad temperature	150°C
Source temperature	230°C
transfer line temp.	280°C

PAHs 분석은 동결 건조된 시료 5~10g을 취해 soxhlet 추출과 정제화 과정을 거쳐 가스크로마토그래피-질량분석(GC-MSD)으로 분석하였다. 분석 과정은 다음과 같다.



PAHs 분석의 방법검출한계(Method Detection Level, MDL)는 미국 Wisconsin Department of Nature Resources(WIDNR, 1996)의 방법으로 측정하였고(표 2-8-2), 결과의 신뢰도를 측정하기 위하여 미국 국립표준기술연구소(NIST)의 표준 퇴적물 시료인 1941b를 같은 방법으로 측정한 후 비교하였다(표 2-8-3).

표 2-8-2. 퇴적물, 해수 시료에 대한 PAHs 방법검출한계

PAH Compounds	sediment ^a (ng/g)	seawater ^b (ng/l)
Naphthalene	3.28	0.409
2-Methylnaphthalene	0.65	0.081
1-Methylnaphthalene	0.73	0.091
2,6-Dimethylnaphthalene	0.41	0.051
Acenaphthylene	0.71	0.089
Acenaphthene	0.45	0.056
2,3,5-Trimethylnaphthalene	0.36	0.045
Fluorene	0.67	0.084
Phenanthrene	1.67	0.208
Anthracene	0.66	0.082
2-Methylphenanthrene	0.41	0.052
2-Methylanthracene	0.45	0.056
1-Methylanthracene	1.24	0.155
1-Methylphenanthrene	0.91	0.114
9-Methylanthracene	0.61	0.076
Fluoranthene	0.25	0.032
Pyrene	0.27	0.034
Benzo(a)anthracene	0.82	0.102
Chrysene	0.84	0.105
Benzo(a)fluoranthene	1.03	0.129
Benzo(k)fluoranthene	1.48	0.186
Benzo(e)pyrene	1.13	0.141
Benzo(a)pyrene	0.98	0.123
Perylene	1.72	0.215
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	1.06	0.132
Dibenzo(a,h)anthracene	0.57	0.071
Benzo(g,h,i)perylene	0.97	0.121

^a 10g, ^b 80l

표 2-8-3. 표준퇴적물시료 1941b 분석 결과

PAH Compounds	1st value	2nd value	3rd value	Mean	SD	%RSD	Certified value	%REC
Naphthalene	528.6	545.9	456.8	510.4	47.3	9.3	848	60
Acenaphthylene	52.4	56.9	57.3	55.5	2.1	3.8	53.3	104
Acenaphthene	39.5	39.1	39.6	39.4	0.6	1.6	38.4	103
Fluorene	50.2	50.4	52.7	51.1	0.5	1.0	85	60
Phenanthrene	290.6	288.6	283.7	287.6	7.3	2.5	406	71
Anthracene	121.4	123.5	118.0	121.0	3.7	3.1	184	66
Fluoranthene	523.9	551.2	532.1	535.8	29.1	5.4	651	82
Pyrene	441.3	470.4	443.1	451.6	25.7	5.7	581	78
Benzo(a)anthracene	263.8	348.8	298.1	303.6	45.0	14.8	335	91
Chrysene	336.3	342.5	273.1	317.3	32.2	10.1	291	109
Benzo(a)fluoranthene	537.7	521.5	527.0	528.7	22.5	4.3	453	117
Benzo(k)fluoranthene	235.2	197.2	199.8	210.7	10.2	4.8	225	94
Benzo(a)pyrene	296.3	304.4	289.1	296.6	13.7	4.6	358	83
Indeo(1,2,3-cd)pyrene	252.3	303.8	312.8	289.7	50.7	17.5	341	85
Dibenzo(a,h)anthracene	66.8	76.5	79.6	74.3	11.3	15.1	53	140
Benzo(g,h,i)perylene	245.8	266.0	266.8	259.5	27.4	10.6	307	85

(7) 총 PCBs

PCBs 시료채취 및 측정을 위한 모든 시료채취병과 유리기구는 초순수로 잘 세척한 후 furnace에서 500℃로 약 4시간 태운다음 Aceton과 n-Hexane으로 잘 세척한 것만 사용하였다. 분석은 미국환경보호청(EPA, 1998)의 표준시험법(US EPA method 8082)에 의거하여 분석하였다.

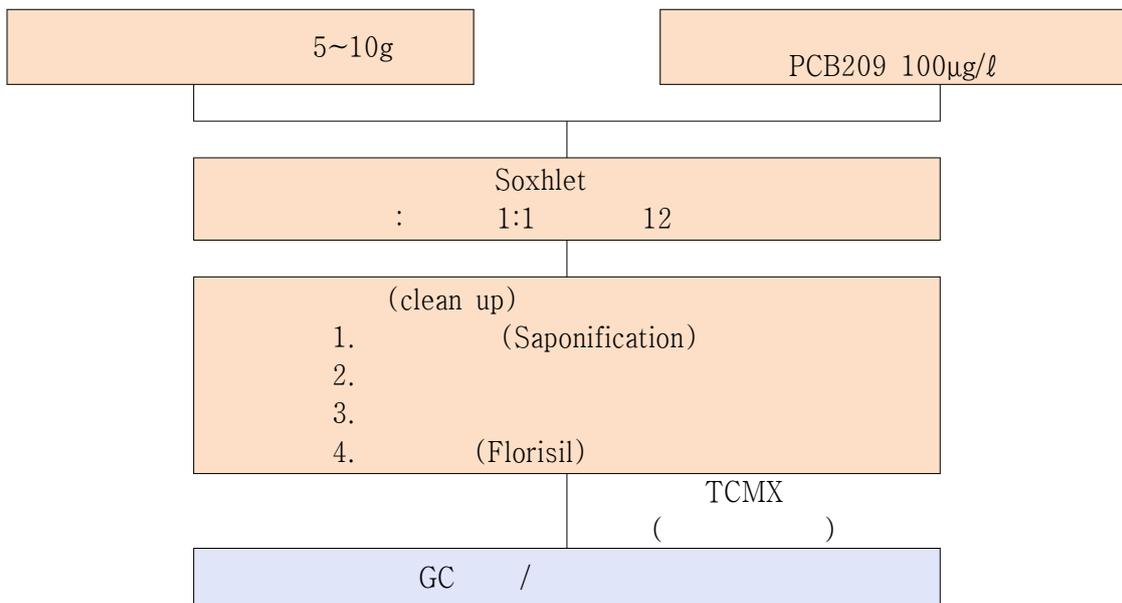
기기 분석조건은 다음과 같다.

Agilent 6890N Gas Chromatography	
column	60m×0.32mm i.d., 0.25µm(thickness) DB-XLB
injection mode	splitless mode
oven temp.	100℃(2min)-30℃/min→200℃(10min)-5℃/min →250℃(10min)-5℃/min→300℃(10min)
carrier gas	Nitrogen
injection temp.	220℃
Electron Capture Detector(µ-ECD)	
Detector temp.	320℃
Make-up gas	Nitrogen(80ml/min)

분석된 PCBs 항목들은 PCB-8, 15, 18, 28, 31, 37, 44, 49, 52, 60, 70, 77, 81, 87, 101, 105, 114, 118, 123, 126, 128, 138, 149, 153, 156, 157, 167, 169, 170, 180, 187, 189, 194, 195, 206로서 총 35개로서 이들에 대한 세부명들은 다음과 같다.

IUPAC		IUPAC	
8	2,4'-DiCB	123	2',3,4,4',5-PentaCB
15	4,4'-DiCB	126	3,3',4,4',5-PentaCB
18	2,2',5-TriCB	128	2,2',3,3',4,4'-HexaCB
28	2,4,4'-TriCB	138	2,2'3,4,4',5'-HexaCB
31	2,4',5-TriCB	149	2,2'3,4',5',6-HexaCB
37	3,4,4'-TriCB	153	2,2',4,4',5,5'-HexaCB
44	2,2',3,5'-TetraCB	156	2,3,3',4,4',5-HexaCB
49	2,2',4,5'-TetraCB	157	2,3,3',4,4',5'-HexaCB
52	2,2',5,5'-TetraCB	167	2,3',4,4',5,5'-HexaCB
60	2,3,4,4'-TetraCB	169	3,3',4,4',5,5'-HexaCB
70	2,3',4,5-TetraCB	170	2,2',3,3',4,4',5-HeptaCB
77	3,3',4,4'-TetraCB	180	2,2',3,4,4',5,5'-HeptaCB
81	3,4,4',5-TetraCB	187	2,2',3,4',5,5',6-HeptaCB
87	2,2',3,4,5'-PentaCB	189	2,2,3',4,4',5,5'-HeptaCB
101	2,2',4,5,5'-PentaCB	194	2,2'3,3',4,4',5,5'-OctaCB
105	2,3,3',4,4'-PentaCB	195	2,2'3,3',4,4',5,5'-OctaCB
114	2,3,4,4',5-PentaCB	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonaCB
118	2,3',4,4',5-PentaCB	209	DecaCB()

PCBs 분석은 동결 건조된 시료 5~10g을 취해 soxhlet 추출과 정제화 과정을 거쳐 가스크로마토그래피(GC)로 분석하였다. 과정은 다음과 같다.



PCBs 분석의 방법검출한계(Method Detection Level, MDL)는 미국 Wisconsin Department of Nature Resources(WIDNR, 1996)의 방법으로 측정하였고(표 2-8-4), 결과의 신뢰도를 측정하기 위하여 미국 국립표준기술연구소(NIST)의 표준 퇴적물 시료인 1941b를 같은 방법으로 측정한 후 비교하였다(표 2-8-5).

표 2-8-4. 퇴적물, 해수 시료에 대한 PCBs 방법검출한계

Congener number	sediment ^a (ng/g)	seawater ^b (ng/l)
8	0.10	0.013
18	0.08	0.009
15	0.09	0.011
31	0.06	0.007
28	0.06	0.008
52	0.04	0.005
49	0.07	0.008
44	0.03	0.003
37	0.04	0.005
70	0.05	0.006
101	0.03	0.003
60	0.03	0.004
87	0.02	0.003
81	0.03	0.004
77	0.02	0.003
149	0.02	0.002
123	0.02	0.002
118	0.04	0.005
114	0.03	0.003
153	0.02	0.003
105	0.02	0.002
138	0.02	0.003
187	0.02	0.002
126	0.03	0.003
128	0.02	0.003
167	0.03	0.004
156	0.02	0.003
157	0.03	0.003
180	0.03	0.004
170	0.03	0.003
169	0.03	0.004
189	0.03	0.003
195	0.02	0.002
194	0.01	0.001
206	0.02	0.002
209	0.03	0.004

^a 10g, ^b 80l

표 2-8-5. 표준퇴적물시료 1941b 분석 결과

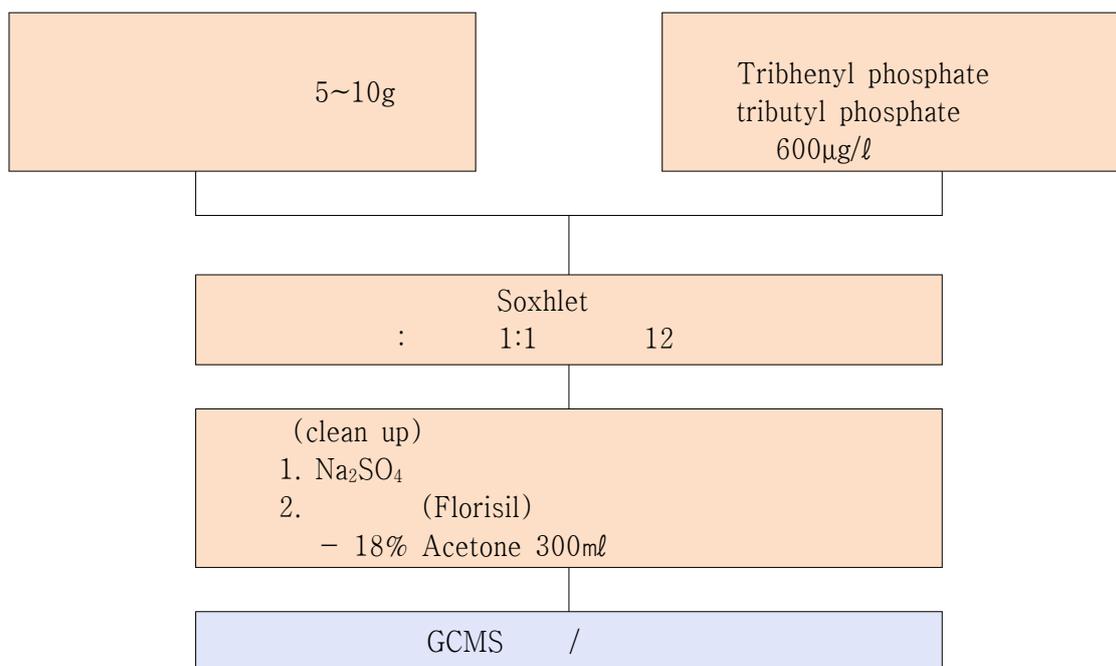
PCBs congeners	1st value	2nd value	3rd value	Mean	SD	%RSD	Certified value	%REC
8	1.40	1.33	1.40	1.38	0.039	2.9	1.65	83.5
18	2.27	2.08	2.19	2.18	0.098	4.5	2.39	91.3
31	3.03	2.85	2.91	2.93	0.090	3.1	3.18	92.1
28	4.17	3.79	3.95	3.97	0.190	4.8	4.52	87.8
52	5.60	5.22	5.38	5.40	0.193	3.6	5.24	103.0
49	4.26	3.98	4.04	4.09	0.148	3.6	4.34	94.3
44	3.77	3.44	3.53	3.58	0.170	4.8	3.85	92.9
70	5.05	4.67	4.76	4.83	0.201	4.2	4.99	96.7
101	5.74	5.04	5.17	5.32	0.374	7.0	5.11	104.1
149	4.97	4.58	4.68	4.74	0.199	4.2	4.35	109.1
118	4.71	4.46	4.55	4.57	0.126	2.8	4.23	108.2
153	5.67	5.26	5.38	5.44	0.211	3.9	5.47	99.4
138	4.28	3.82	4.02	4.04	0.231	5.7	3.60	112.3
187	2.11	1.96	2.03	2.03	0.074	3.6	2.17	93.6
128	0.75	0.69	0.74	0.73	0.031	4.3	0.70	104.5
156	0.49	0.42	0.49	0.47	0.039	8.4	0.51	92.3
180	3.42	3.18	3.28	3.29	0.122	3.7	3.24	101.6
170	1.61	1.45	1.47	1.51	0.086	5.7	1.35	111.6
194	1.14	0.93	1.00	1.02	0.105	10.2	1.04	98.5
206	3.18	2.84	2.85	2.96	0.194	6.6	2.42	122.1
209	5.89	5.11	5.09	5.36	0.456	8.5	4.86	110.4

(8) 유기인 화합물

유기인화합물 시료채취 및 측정을 위한 모든 시료채취병과 유리기구는 초순수로 잘 세척한 후 furnace에서 500℃로 약 4시간 태운다음 Aceton과 n-Hexane으로 잘 세척한 것만 사용하였다. 분석은 미국환경보호청(EPA, 1998)의 표준시험법(US EPA method 8082)에 의거하여 분석고 기기 분석조건은 다음과 같다.

Shimadzu GC2010 Gas Chromatography	
column	30m×0.32mm i.d., 0.25µm(thickness) DB-5MS(5%-Pyenyl)-methylpolysiloxane
injection mode	splitless mode
oven temp.	60℃(10min)-20℃/min→160℃(5min)-5℃/min→220℃ (5min)-10℃/min→280℃-20℃/min→300℃
carrier gas	Helium
injection temp.	250℃
Shimadzu GCMS-QP2010plus Mass Detector	
solvent delay	5 min
mass range	40-480 amu
Ion source temp.	200℃
Interface temp.	300℃

유기인화합물 분석은 동결 건조된 시료 5~10g을 취해 soxhlet 추출과 정제화 과정을 거쳐 가스크로마토그래피-질량분석(GC-MSD)으로 분석하였고, 그 과정은 다음과 같다.



분석된 OPPs 항목들은 Chloropyrifos, Demeton-S, Demeton-S-methyl, Diazinon, Dioxation, Disulfoton, Ethoprophos, EPN, Ethion, Famphur, Fenchlorfos, Malathion, Methyl chloropyrifos, Methyl parathion, Parathion, Phenthoate, Phorate, Sulfotep, Terbufos, Thionazin, Tributyl phosphorotrithioate등과 같이총 21종들이다.

OPPs 분석은 동결 건조된 시료 5~10g을 취해 soxhlet 추출과 정제화 과정을 거쳐 가스크로마토그래피-질량분석(GC-MSD)으로 분석하였다. 분석 과정은 상기와 같다.

2. 2005년~2011년 폐기물 배출해역 퇴적물 건강상태 조사결과 요약

가. 서해병해역

- 폐기물 해양배출 빈도수와 유해물질 농도 분포 비교
 - 서해병해역 퇴적물 중의 유해물질들은 2003년까지는 배출이 집중되었던 배출해역의 북동부 모서리 부분이 가장 높았고, 이후, 구심점제, 휴식년제 및 책임구역제를 실시함에 따라 서해병해역 전반에 걸쳐 점차 높아지는 양상을 나타내고 있다(그림 2-8-1).
 - 서해병해역 표층퇴적물 중 오염물질 농도는 과거 배출이 집중된 휴식년 구획과 2006년 이후 배출이 시작된 책임구획에서 높은 농도를 보이고 있다.
 - 점토질이 많은 서해병해역의 표층퇴적물 중 중금속 농도는 모래의 구성비가 높은 동해정해역에 비해서는 중금속의 종류에 따라 차이가 나지만 모든 중금속 성분이 높고, 같은 점토로 구성된 동해병해역에 비해 모든 중금속 성분이 낮았다.

(ppm)	22.19~57.81	31.3~758.2	2.33~15.39
(ppm)	37.37~47.28	46.3~373.3	11.34~21.93
(ppm)	0.11~0.24	0.45~8.46	0.03~0.22
(ppm)	0.03~0.13	0.04~2.86	0.01~0.08
(ppm)	57.43~279.28	86.0~2,624.8	15.7~61.5
(ppm)	6.66~13.05	8.94~36.28	2.23~5.06
(ppm)	78.03~174.77	66.6~3354.1	19.3~83.2
(ppm)	25.11~49.86	28.5~140.9	2.8~23.6

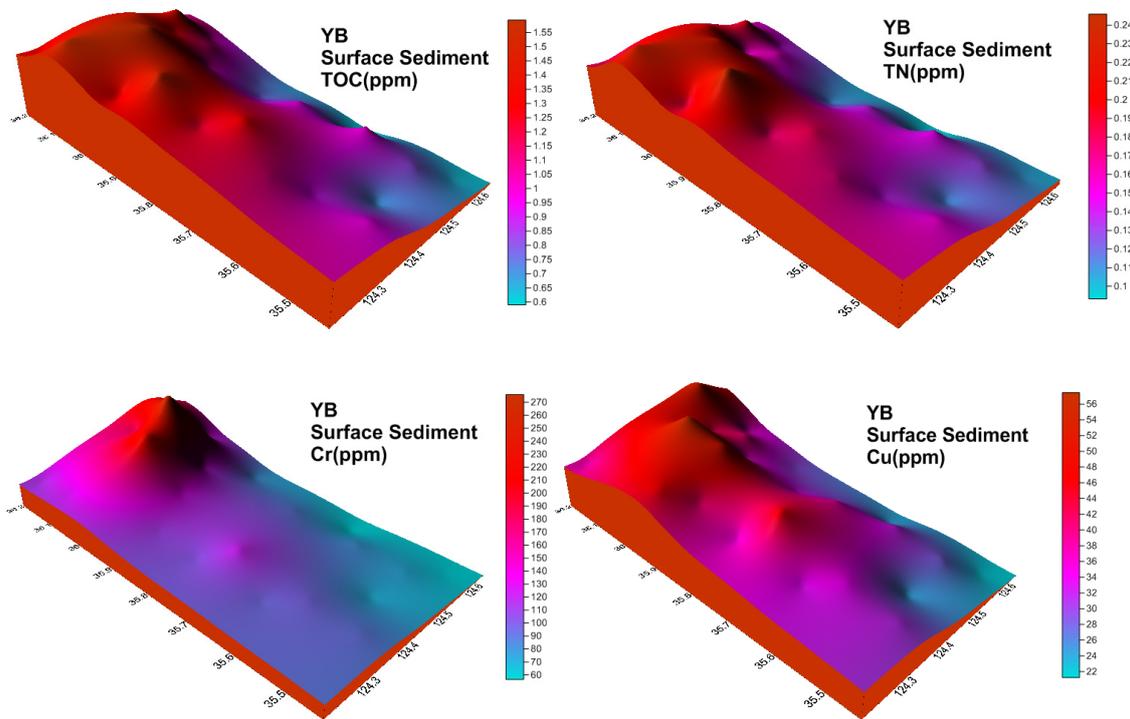


그림 2-8-1. 표층퇴적물 중 유기물(TOC, TN) 및 중금속(Cr, Cu) 농도분포

- 서해병해역 표층퇴적물 중금속 농도를 미국 환경보호청의 퇴적물 오염 기준과 비교할 경우 평균값으로는 구리, 아연, 니켈은 중간오염, 납은 비오염, 크롬은 극심 오염으로 나타났다.

				(28)	
	<25	25~200	>200	22.19~57.81(	37.77)
(ppm)	<40	40~60	>60	37.37~47.28(	36.46)
(ppm)	-	-	>6	0.11~0.24(	0.17)
(ppm)	<25	25~75	>75	57.4~279.3(	124.4)
(ppm)	<90	90~200	>200	78.0~174.8(	117.6)
(ppm)	<20	20~50	>50	25.1~49.9(	36.8)

- 서해병해역 퇴적물 중 유해물질이 생물에 미치는 영향을 평가하기 위해 미국 해양대기청(NOAA, 1991)의 기준과 비교할 경우의 각 중금속별 ERL과 ERM을 초과하는 구획수는 다음표와 같다.

	(mg/kg)		(28)		
	ERL	ERM		ERL	ERM
(ppm)	34	270	22.19~57.81	17	0
(ppm)	46.7	218	37.37~47.28	27	0
(ppm)	1.2	9.6	0.11~0.24	0	0
(ppm)	0.15	0.71	0.03~0.13	0	0
(ppm)	81	370	57.43~279.28	22	0
(ppm)	8.2	70	6.66~13.05	21	0
(ppm)	150	410	78.03~174.77	3	0
(ppm)	20.9	51.6	25.11~49.86	28	0

- 특히 OSPAR(북동대서양의 해양환경보호에 관한 협약)의 생물독성 평가 기준과 비교할 경우, 서해병해역 퇴적물 중금속 농도는 평균값으로는 크롬은 상한기준을 초과하였고, 구리, 납, 카드뮴, 아연, 니켈, 수은은 하한기준을 초과하였다.

	OSPAR 가		
(ppm)	5	50	22.19~57.81(37.77)
(ppm)	5	50	37.37~47.28(36.46)
(ppm)	0.1	1	0.11~0.24(0.17)
(ppm)	10	100	57.4~279.3(124.4)
(ppm)	50	500	78.0~174.8(117.6)
(ppm)	5	50	25.1~49.9(36.8)
(ppm)	0.05	0.5	0.03~0.13(0.07)
<ul style="list-style-type: none"> • OSPAR - ; - ~ : - : 			

- 서해병해역 퇴적물의 유해물질 축적 평가
 - 폐기물 배출로 인해 인위적으로 유입된 유기물이 표층퇴적물에 축적되어 있고, 그 영향은 퇴적물 깊이 약 11cm까지 미치고 있고, 서해병해역에 배출된 폐기물이 해류에 의해 배출해역의 북쪽, 서쪽, 남쪽의 외부까지 이동되어 영향을 미치는 것으로 추정된다(그림 2-8-2).

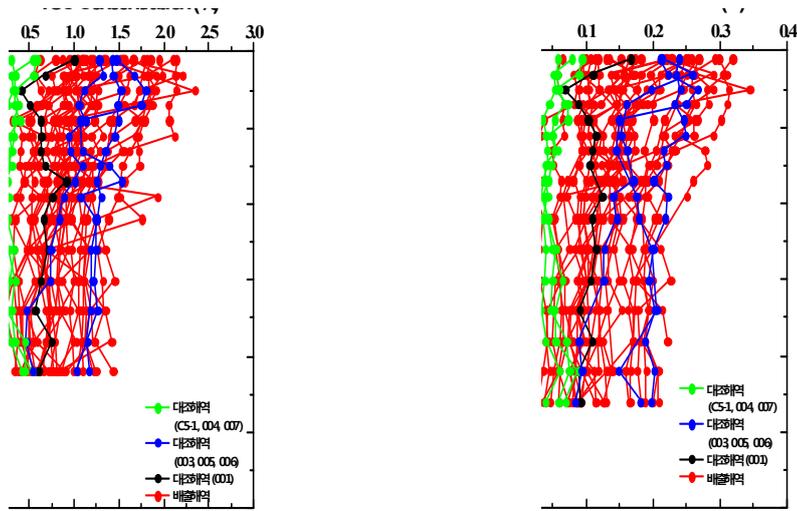


그림 2-8-2. 서해병해역 주상퇴적물의 유기탄소 및 유기질소 수직분포

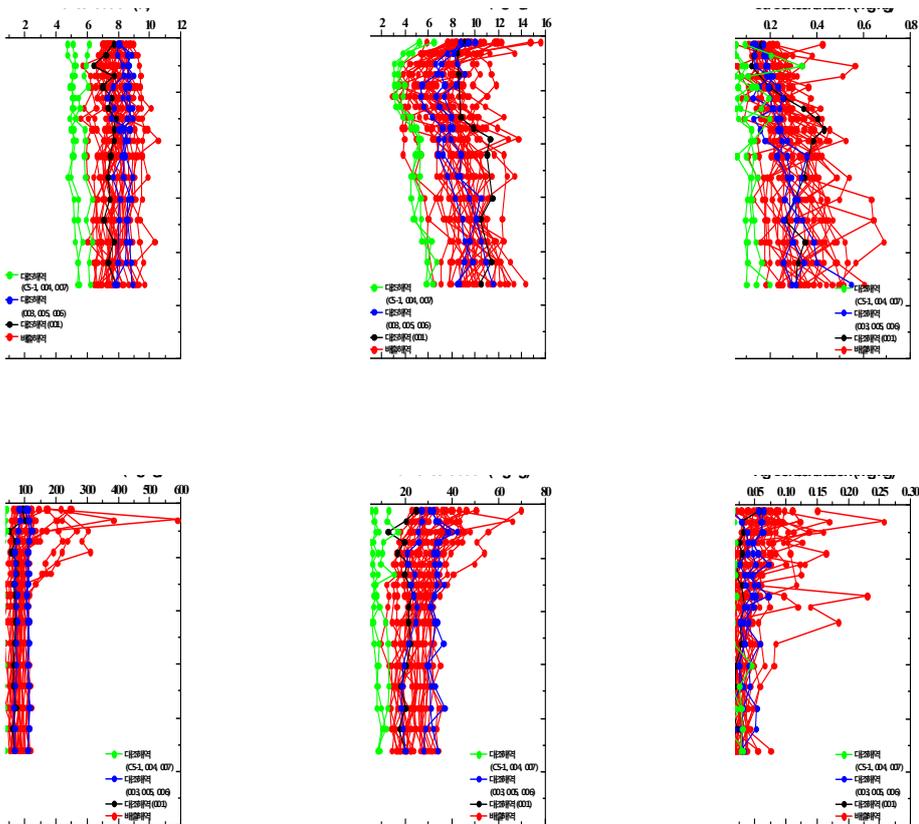


그림 2-8-3. 서해병해역 주상퇴적물의 중금속 수직분포

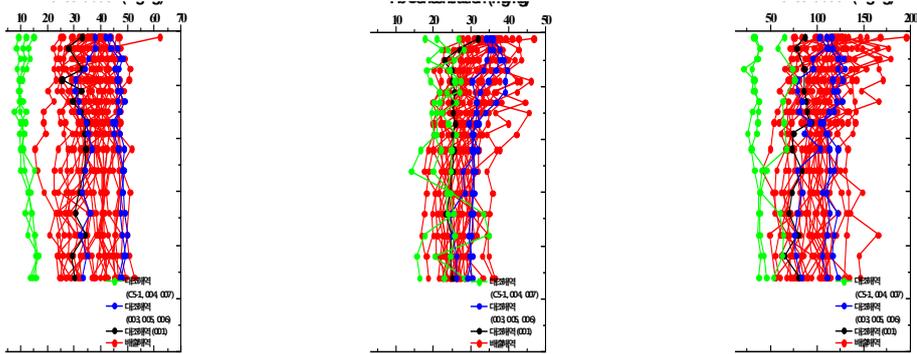


그림 2-8-3. (계속)

- 서해병해역 퇴적물은 폐기물 배출에 의해 표층퇴적물이 중금속으로 오염되어 있고, 카드뮴과 수은을 제외한 모든 중금속이 표층에서 ERL을 초과하고 있으며 그 영향은 퇴적물 깊이 5~10cm까지 미치고 있었다(그림 2-8-3).
- 서해병해역 오염현황의 연도변화
 - 2006년 6월 오염이 극심한 서해병해역의 북동쪽해역을 휴식년으로 지정하고 폐기물 배출을 금지한 후 표층퇴적물 중 유기물 및 유해물질 농도의 변화를 살펴본 결과
 - 표층퇴적물의 유기물양은 조사구획에 따라 차이는 있지만 휴식년 구획에서는 총유기탄소량으로 ~85%, 총질소 ~86%까지 감소하였지만, 책임 구획은 오히려 증가하는 구획이 나타났다(그림 2-8-4, 2-8-5).

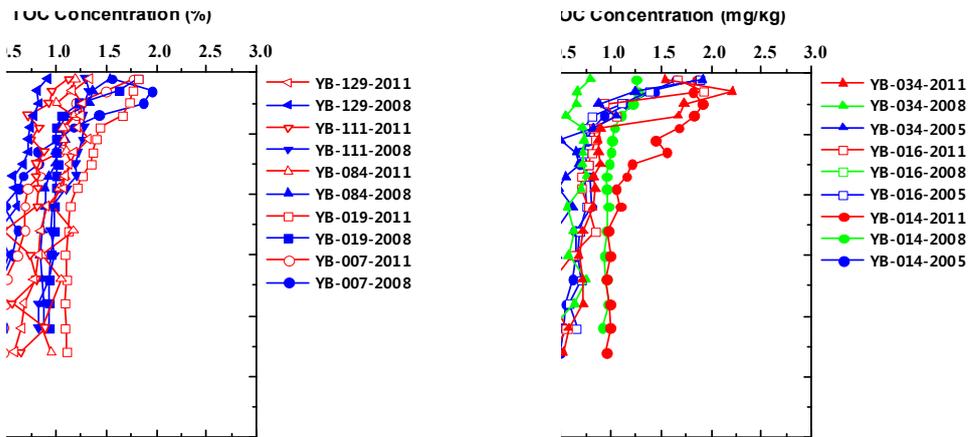


그림 2-8-4. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총유기탄소 함량 변화

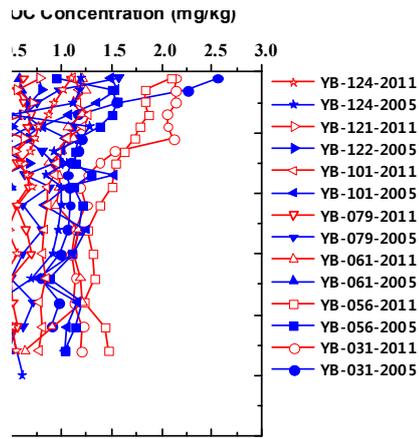


그림 2-8-4.(계속)

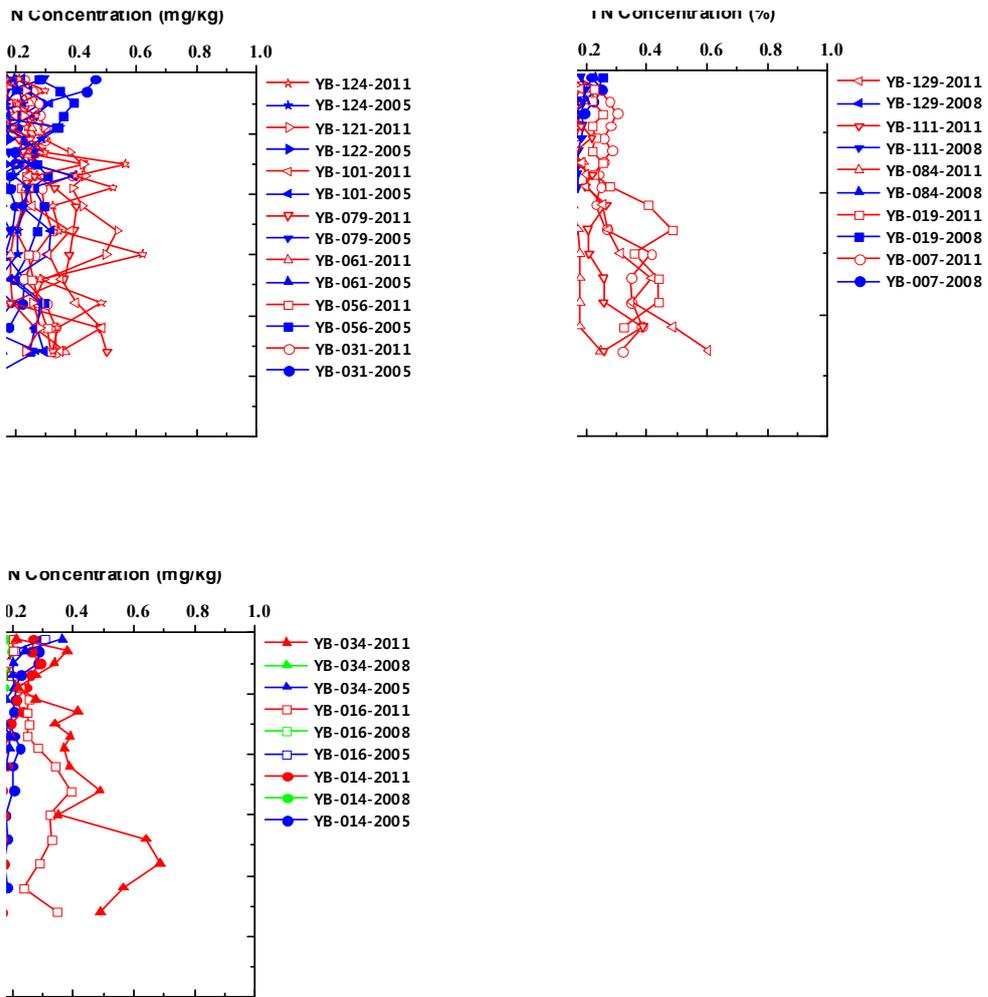


그림 2-8-5. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총질소 함량 변화

- 표층퇴적물 중 중금속 농도 역시 중금속 종류와 조사구획에 따라 차이는 있지만 휴식년의 일부 구획에서 최대 비소 ~42%, 카드뮴 ~61%, 크롬 ~80%, 구리 ~45%, 니켈 ~28% , 납 ~43%, 아연 ~70% 감소한 것으로 나타났다(그림 2-8-6~2-8-14).
- 그 외의 휴식년 및 책임구획에서는 농도의 증감이 유의 차이가 없거나 오히려 최대 비소 ~746%, 카드뮴 ~300%, 구리 ~20%, 니켈 ~40%, 납 ~21% 증가한 구획도 존재한다.

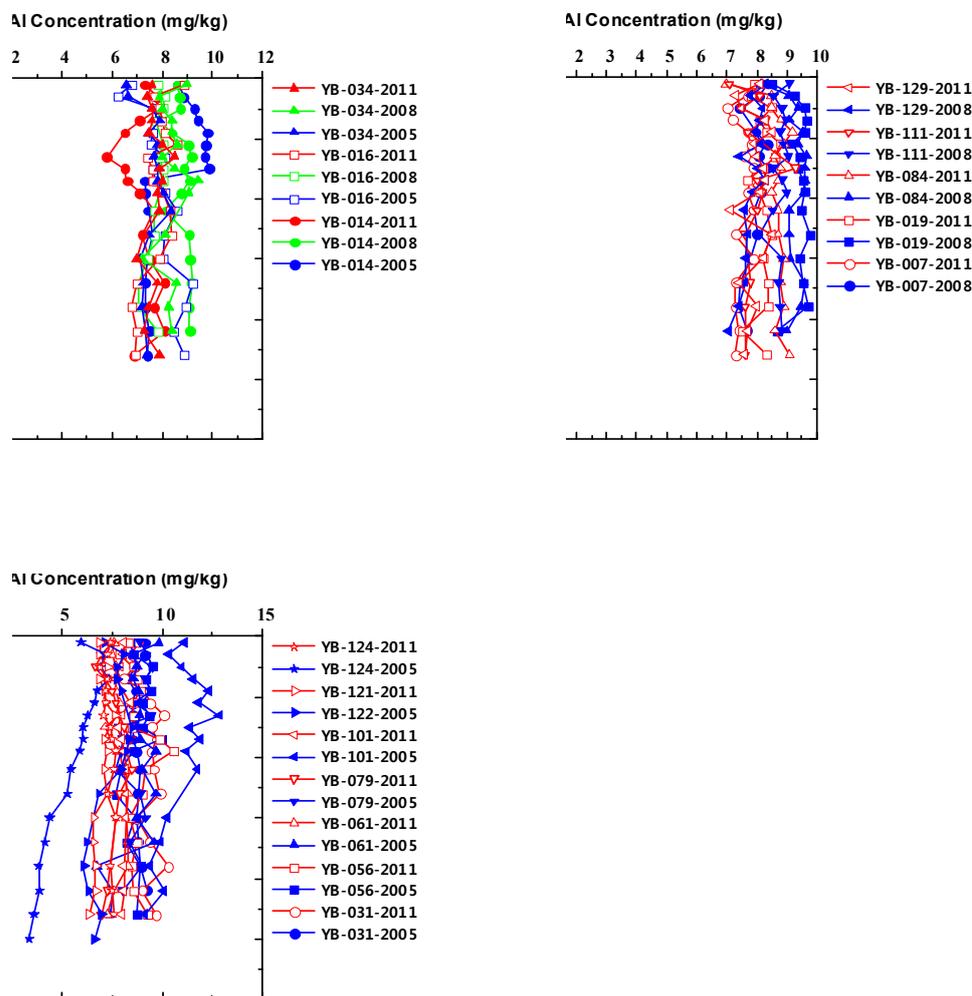


그림 2-8-6. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 알루미늄 농도 변화

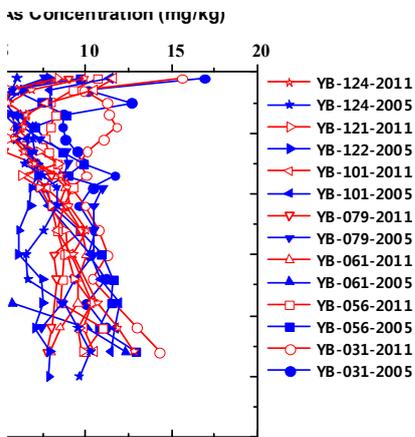
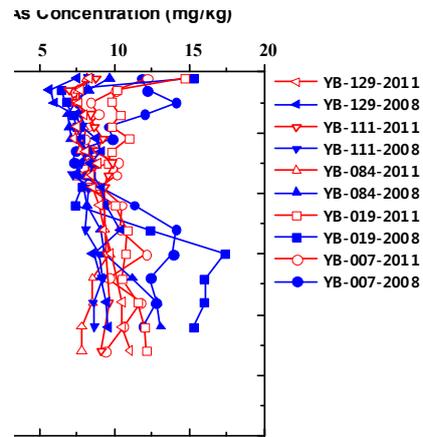
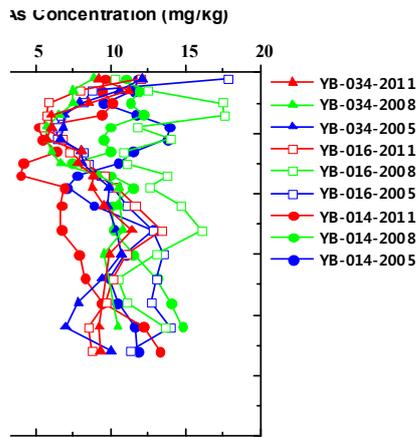


그림 2-8-7. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 비소 농도 변화

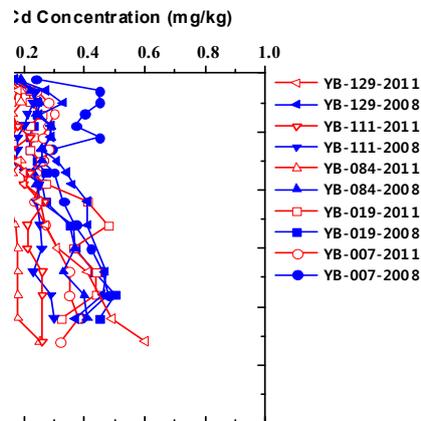
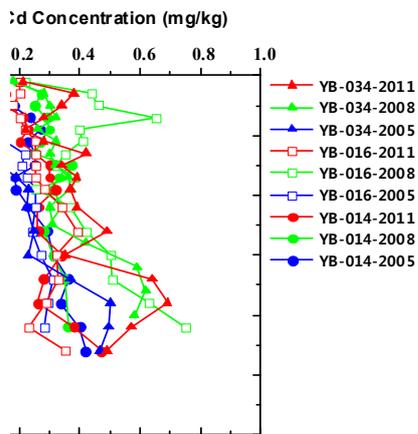


그림 2-8-8. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 카드뮴 농도 변화

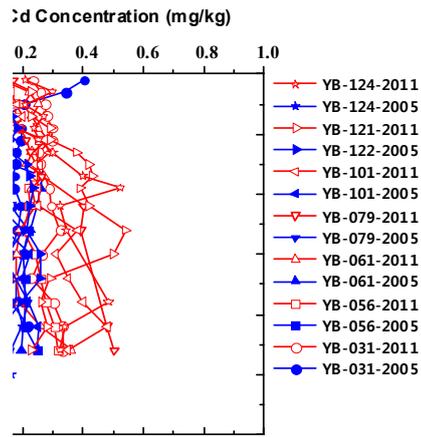


그림 2-8-8. (계속)

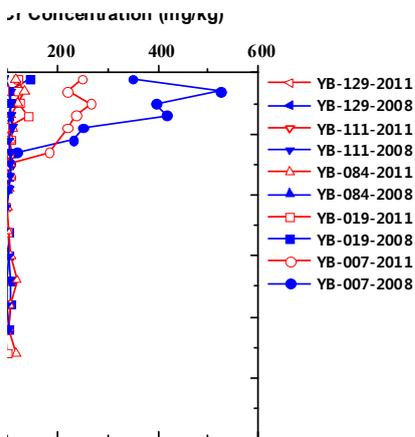
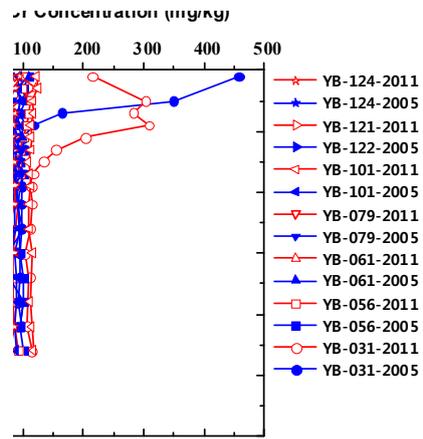
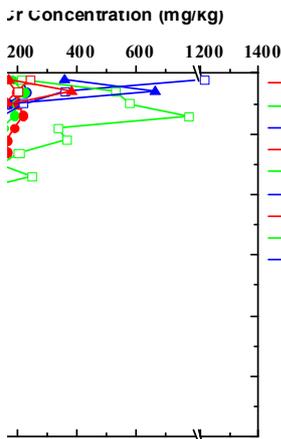


그림 2-8-9. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 크롬 농도 변화

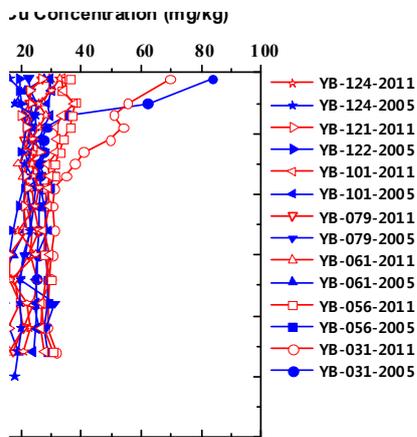
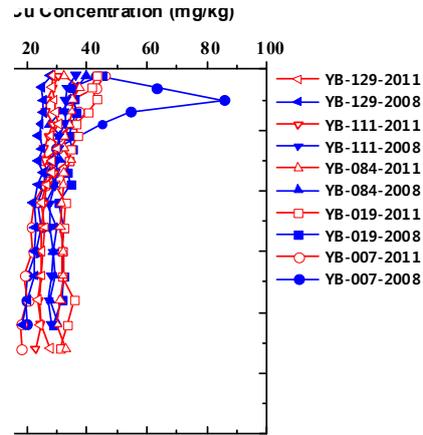
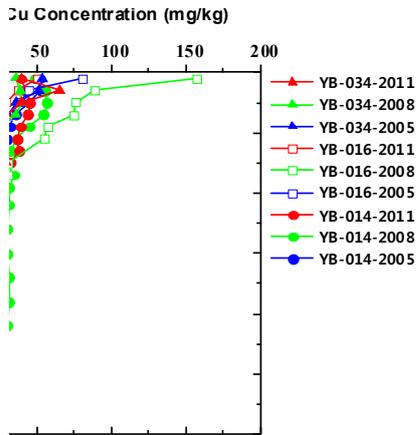


그림 2-8-10. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 구리 농도 변화

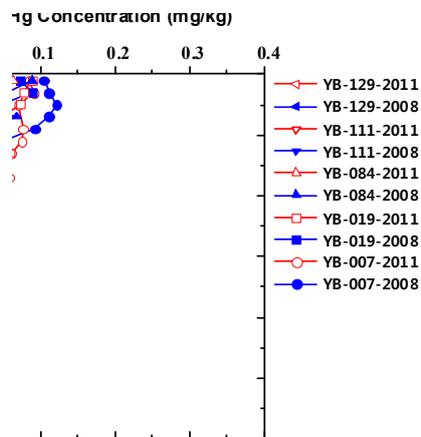
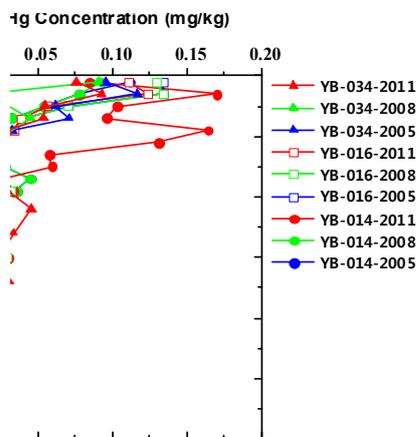


그림 2-8-11. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 수은 농도 변화

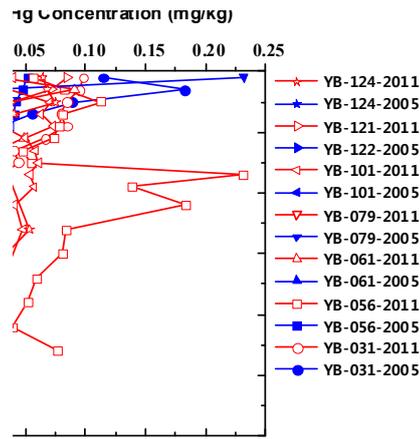


그림 2-8-11. (계속)

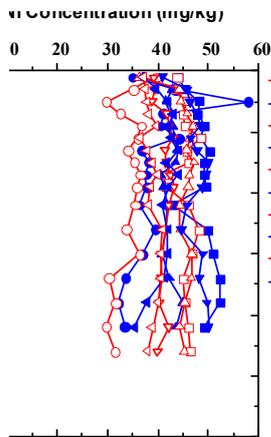
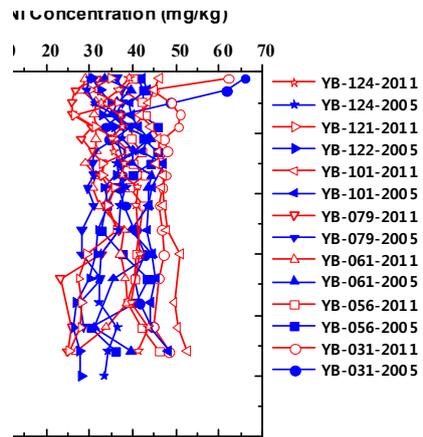
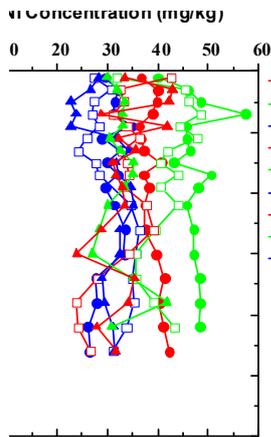


그림 2-8-12. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 니켈 농도 변화

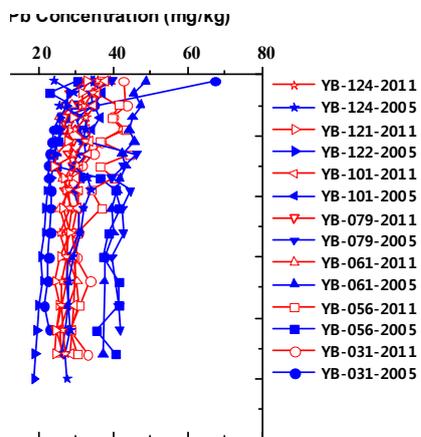
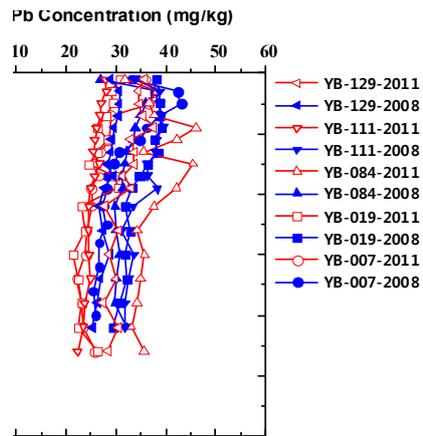
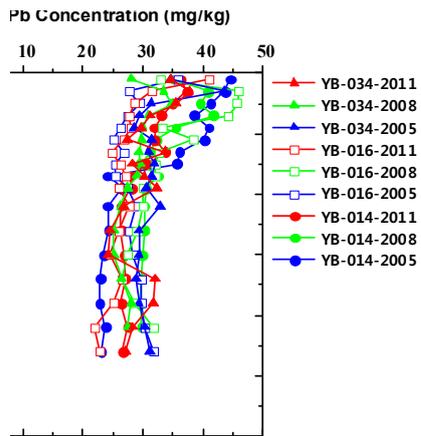


그림 2-8-13. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 납 농도 변화

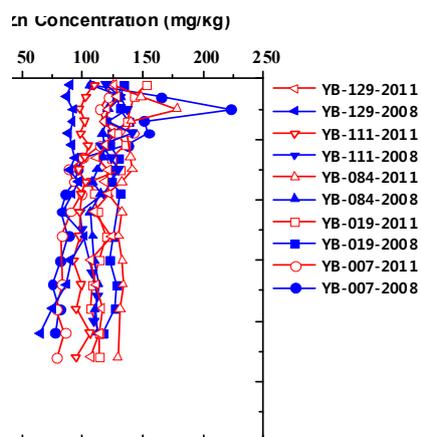
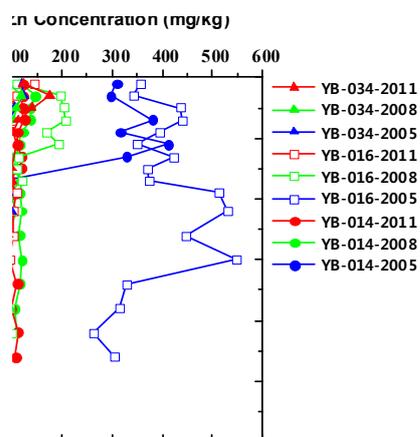


그림 2-8-14. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 아연 농도 변화

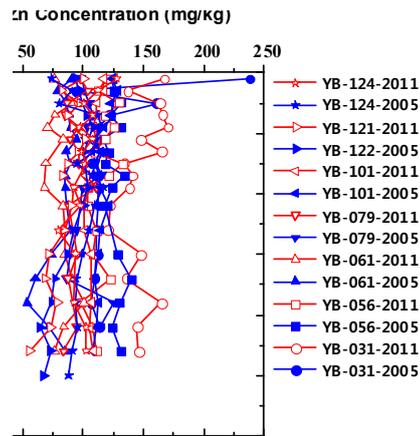


그림 2-8-14. (계속)

- 따라서 서해병해역 퇴적물 중 유기물 및 중금속의 오염상태의 연간 변화 조사결과로부터 휴식년제 시행으로 배출이 금지된 휴식년의 일부 구획은 인위적인 오염물질의 유입이 차단되어 표층퇴적물의 오염이 다소 감소하였지만 책임구획은 표층퇴적물 중 오염물질의 농도가 점차 증가하는 것으로 보아 폐기물 배출에 의해 새롭게 인위적인 오염이 가중되고 있는 것으로 사료된다.
- 결론적으로 오염이 극심한 지역은 폐기물 배출금지로 인하여 표층 퇴적물 중의 유기물과 중금속의 농도는 다소 감소하여 휴식년제의 효과가 나타나고 있다. 그러나 이 효과는 현재 퇴적물 표층에 국한되어 있고 표층 보다 아래에서는 여전히 높은 중금속 농도를 유지하고 있다. 이는 자연상태에서는 오염된 퇴적물의 회복에 상당히 많은 시간이 필요하다는 것을 시사한다.
- 따라서 배출해역의 폐기물 배출을 즉각 중지하고, 오염이 심각한 지역을 집중적으로 관리하여 오염해역의 정화·복원 양상을 지속적으로 모니터링을 할 필요가 있다.

나. 동해병해역

○ 폐기물 해양배출 빈도수와 유해물질 농도 분포 비교

- 동해병해역 표층 퇴적물 중의 중금속 등 유해물질들은 휴식년(2006년 6월부터 시행)구획에서 현재까지도 높게 나타났다, 특히 배출빈도가 높은 지역을 중심으로 모든 유해물질 및 유기물 함량은 상당히 높다 (그림 2-8-15).

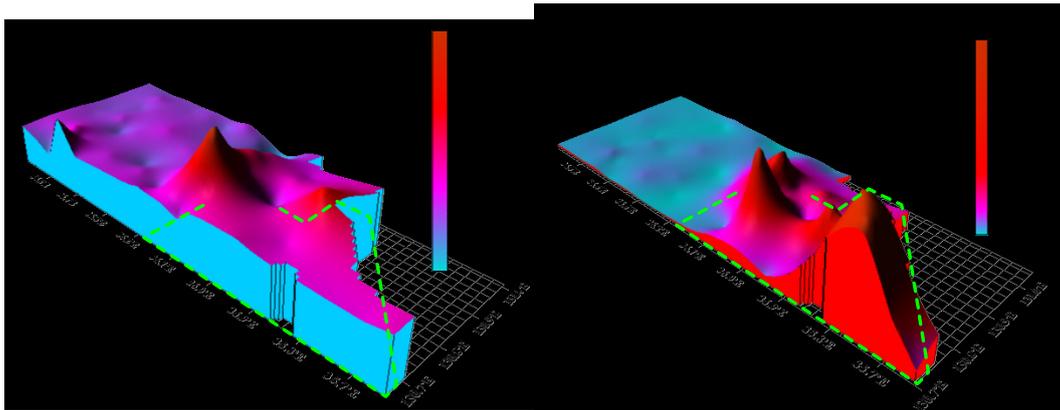
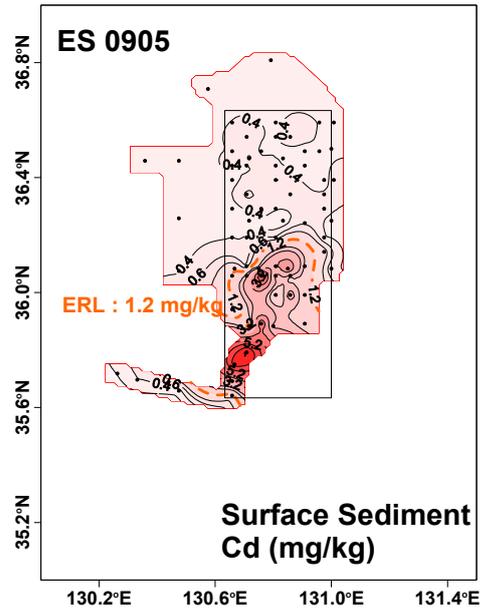
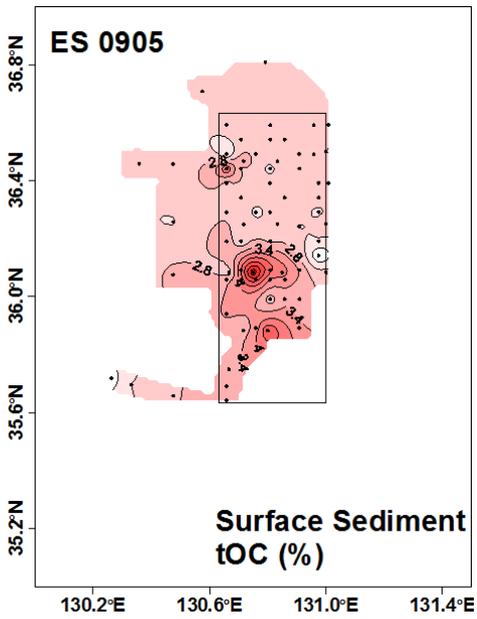


그림 2-8-15. 표층퇴적물 중 총유기탄소와 카드뮴 농도분포

(ppm)	16.15~157.00	31.3~758.2	2.33~15.39
(ppm)	24.25~67.27	46.3~373.3	11.34~21.93
(ppm)	0.04~0.40	0.45~8.46	0.03~0.22
(ppm)	0.02~0.35	0.04~2.86	0.01~0.08
(ppm)	55.69~482.52	86.0~2,624.8	15.7~61.5
(ppm)	4.54~17.27	8.94~36.28	2.23~5.06
(ppm)	64.47~238.56	66.6~3354.1	19.3~83.2
(ppm)	24.50~95.44	28.5~140.9	2.8~23.6

- 동해병해역의 휴식년 구획의 표층퇴적물 중 중금속 농도는 종류에 따라 다소 차이는 있지만 동해병해역과 동해정해역에 비해 1~2 자리 높은 농도를 보였다. 이는 타 배출해역에 비해 폐기물 배출로 인한 표층퇴적물의 중금속 오염이 크고 특히 납, 카드뮴, 수은, 크롬, 아연의 오염이 극심한 것을 나타내고 있다.
- 휴식년제 시행 후 북쪽해역(현재 배출구획)의 표층퇴적물 중의 유해물질 농도는 이전자료와 비교하면 현저하게 증가하지는 않았지만, 일부 구획에서는 중금속 농도가 약간 증가하는 양상이 나타나고 있다.
- 동해병해역 표층퇴적물 중금속 농도를 미국 환경보호청의 퇴적물 오염 기준과 비교할 경우 평균값으로는 구리, 카드뮴은 중간오염 정도로 나타나지만, 구획에 따라서는 극심오염 구획도 나타나고, 납, 크롬, 아연, 니켈은 평균값으로도 극심오염의 기준을 초과하고 있었다.

(ppm)	<25	25~200	>200	31.3~758.2(114.1)
(ppm)	<40	40~60	>60	46.3~373.3(129.3)
(ppm)	-	-	>6	0.45~8.46(2.54)
(ppm)	<25	25~75	>75	86.0~2,624.8(286.9)
(ppm)	<90	90~200	>200	66.6~3354.1(461.7)
(ppm)	<20	20~50	>50	28.5~140.9(51.9)

- 동해병해역 퇴적물 중 유해물질이 생물에 미치는 영향을 평가하기 위해 미국 해양대기청(NOAA, 1991)의 기준과 비교할 경우의 각 중금속별 ERL과 ERM을 초과하는 구획수는 다음과 같다.

	(mg/kg)			(59)	
	ERL	ERM		ERL	ERM
(ppm)	34	270	31.3~758.2	59	1
(ppm)	46.7	218	46.3~373.3	59	3
(ppm)	1.2	9.6	0.45~8.46	19	1
(ppm)	0.15	0.71	0.04~2.86	45	10
(ppm)	81	370	86.0~2,624.8	42	2
(ppm)	8.2	70	8.94~36.28	59	0
(ppm)	150	410	66.6~3354.1	26	13
(ppm)	20.9	51.6	28.5~140.9	59	14
PCBs(ppb)	23	180	0.0~377.8	31	7

- 특히 OSPAR(북동대서양의 해양환경보호에 관한 협약)의 생물독성 평가 기준과 비교할 경우, 동해병해역 퇴적물 중금속 농도는 평균농도는 아연을 제외하고 모두 상한기준을 초과하였다.

	OSPAR 가		
(ppm)	5	50	31.3~758.2(114.1)
(ppm)	5	50	46.3~373.3(129.3)
(ppm)	0.1	1	0.45~8.46(2.54)
(ppm)	10	100	86.0~2,624.8(286.9)
(ppm)	50	500	66.6~3354.1(461.7)
(ppm)	5	50	28.5~140.9(51.9)
(ppm)	0.05	0.5	0.04~2.86(0.86)
•	OSPAR		
-		;	
-	~	:	
-		:	()

- 동해병해역 퇴적물의 유해물질 축적 평가
 - 총유기탄소와 총질소의 수직분포는 표층에서 높고, 퇴적물 깊이가 깊어질수록 감소하여 퇴적물 깊이 약 11cm 이심에서 배경농도 수준으로 일정한 분포를 나타내었고, 폐기물 배출로 인해 인위적으로 유입된 유기물이 표층퇴적물에 축적되어 있고, 그 영향은 퇴적물 깊이 약 11cm까지 미치고 있는 것으로 판단된다(그림 2-8-16).

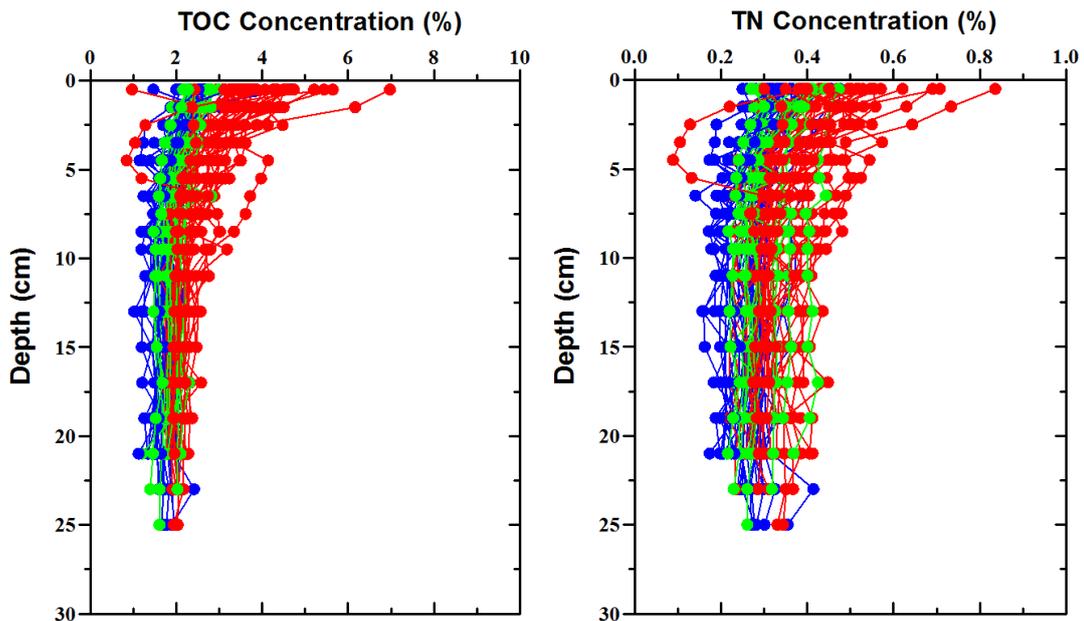


그림 2-8-16. 동해병해역 주상퇴적물의 유기탄소 및 유기질소 수직분포

- 퇴적물 중 중금속 농도의 수직분포 역시 유기물과 마찬가지로 대조해역에 비해 배출해역에서 높게 나타났고, 배출해역 내에서도 휴식년제 해역에서 높게 나타났다. 또한 폐기물 배출로 인해 투입된 중금속은 최대로 퇴적물 깊이 약 13cm까지 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다(그림 2-8-17).

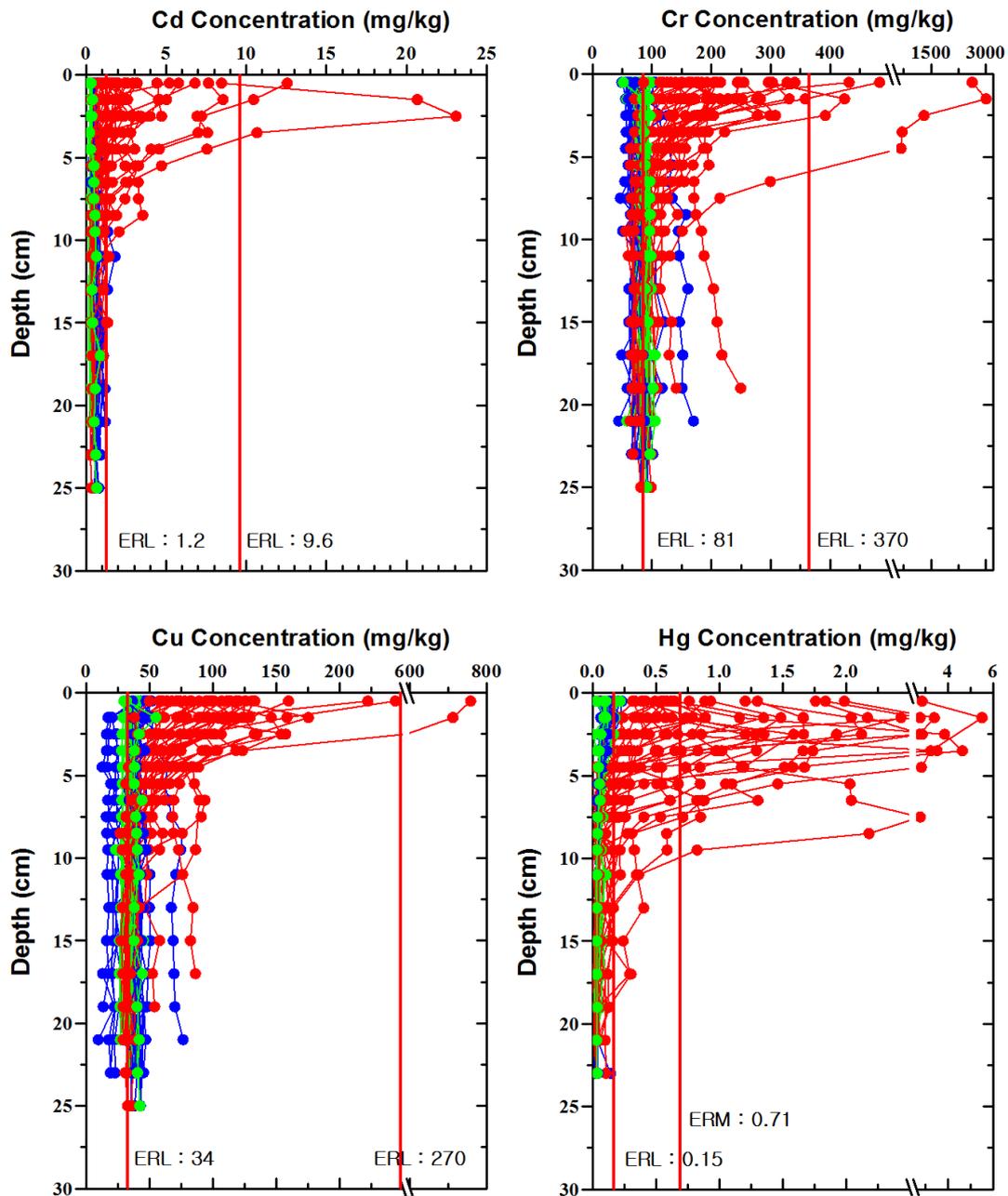


그림 2-8-17. 동해병해역 주상퇴적물의 중금속 농도수직분포

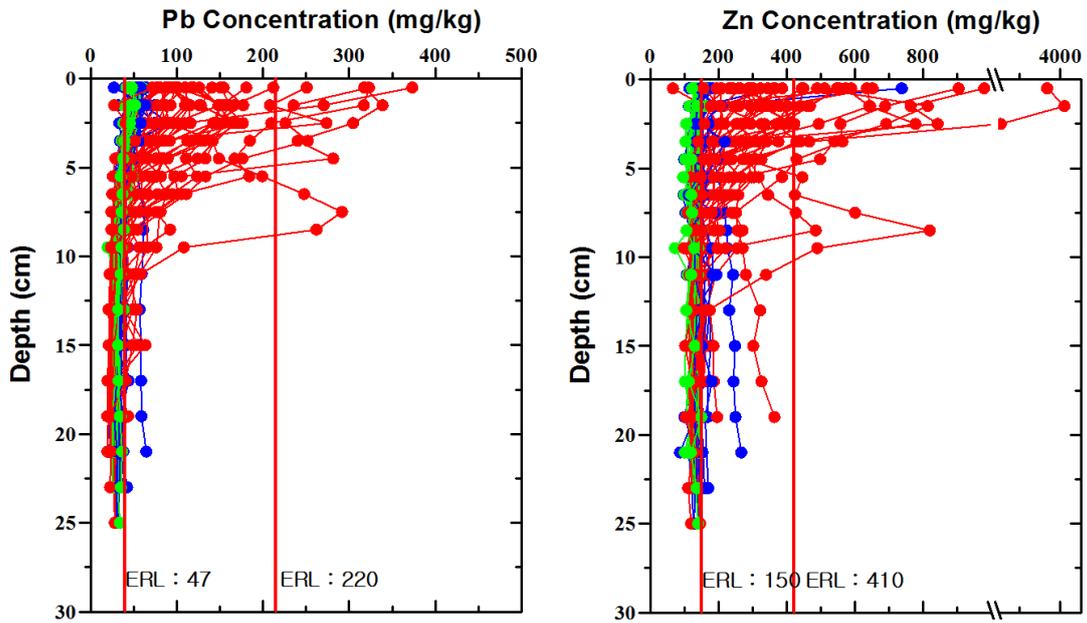


그림 2-8-17. (계속)

- 특히 오염이 심각한 구획은 휴식년제로 지정되기 전 집중식과 확산식 폐기물을 혼합하여 배출하던 해역의 DB-085 구획이었다. 모든 중금속이 1차(2004년) 조사에 비해 높게 나타났고, 타 조사구획에 비해서도 높게 나타났다. 실제 퇴적물 상태를 확인 해본 결과 수산화알루미늄 제조공정 폐기물(보크사이트 잔재물)과 하수 및 폐수오니로 추정되는 오니류가 퇴적물 약 10cm 깊이까지 많은 양이 쌓여 있어 휴식년제로 지정되기 이전 폐기물의 집중배출로 인하여 누적되고 축적된 영향으로 사료된다(그림 2-8-18).



그림 2-8-18. DB-085 구획의 퇴적물 사진

- 이상을 정리하면 동해병해역의 퇴적물 오염상태는 현재 높으며, 특히 휴식년제 해역에서는 아직까지도 표층뿐만 아니라 표층에서 약 13cm 까지 폐기물 배출로 인한 중금속 오염의 영향이 나타나고 있었다.

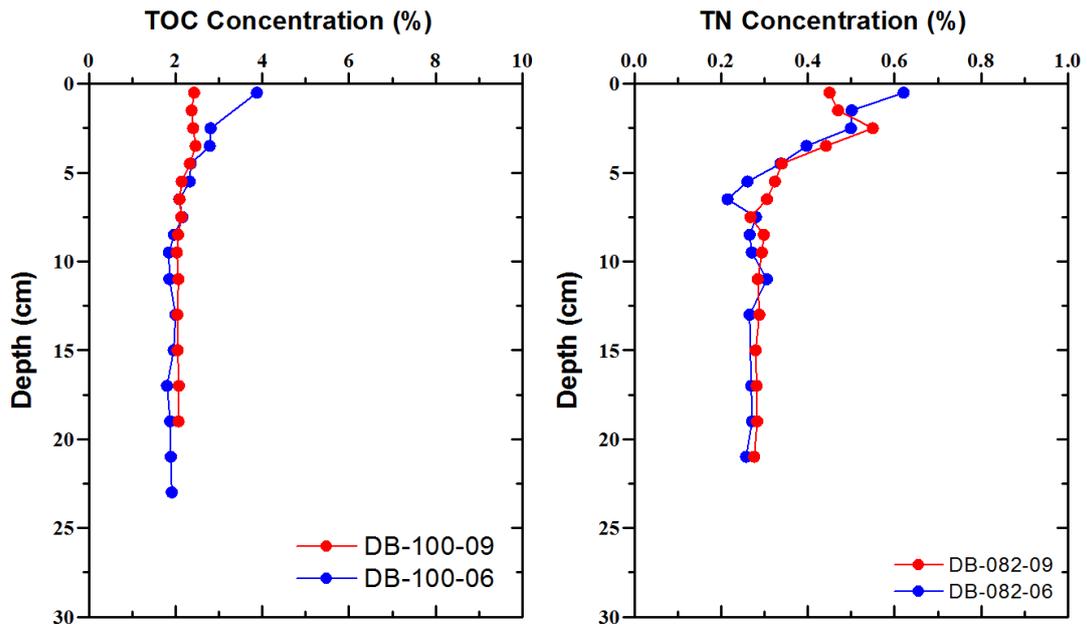


그림 2-8-19. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 총유기탄소 및 총질소 함량 변화

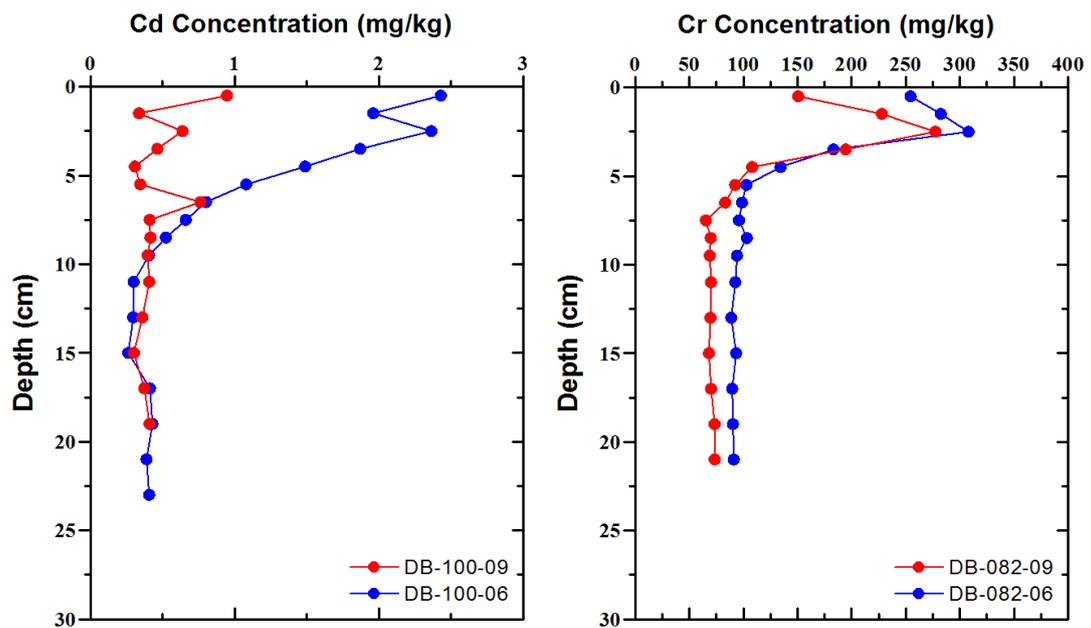


그림 2-8-20. 휴식년제 시행 전후의 퇴적물 중 중금속 농도 변화

- 2006년 6월 시행된 휴식년제 전후의 표층퇴적물 중 유기물 및 중금속 농도의 변화를 살펴본 결과
 - 표층퇴적물의 유기물양은 총유기탄소량으로 ~48%, 총질소 ~68%까지 감소하였다(그림 2-8-19)
 - 표층퇴적물 중 중금속 농도는 최대 비소 ~38%, 카드뮴 ~61%, 크롬 ~59%, 구리 ~63%, 수은 ~50%, 니켈 ~36% , 납 ~40%, 아연 ~76% 감소한 것으로 나타났다(그림 2-8-20).

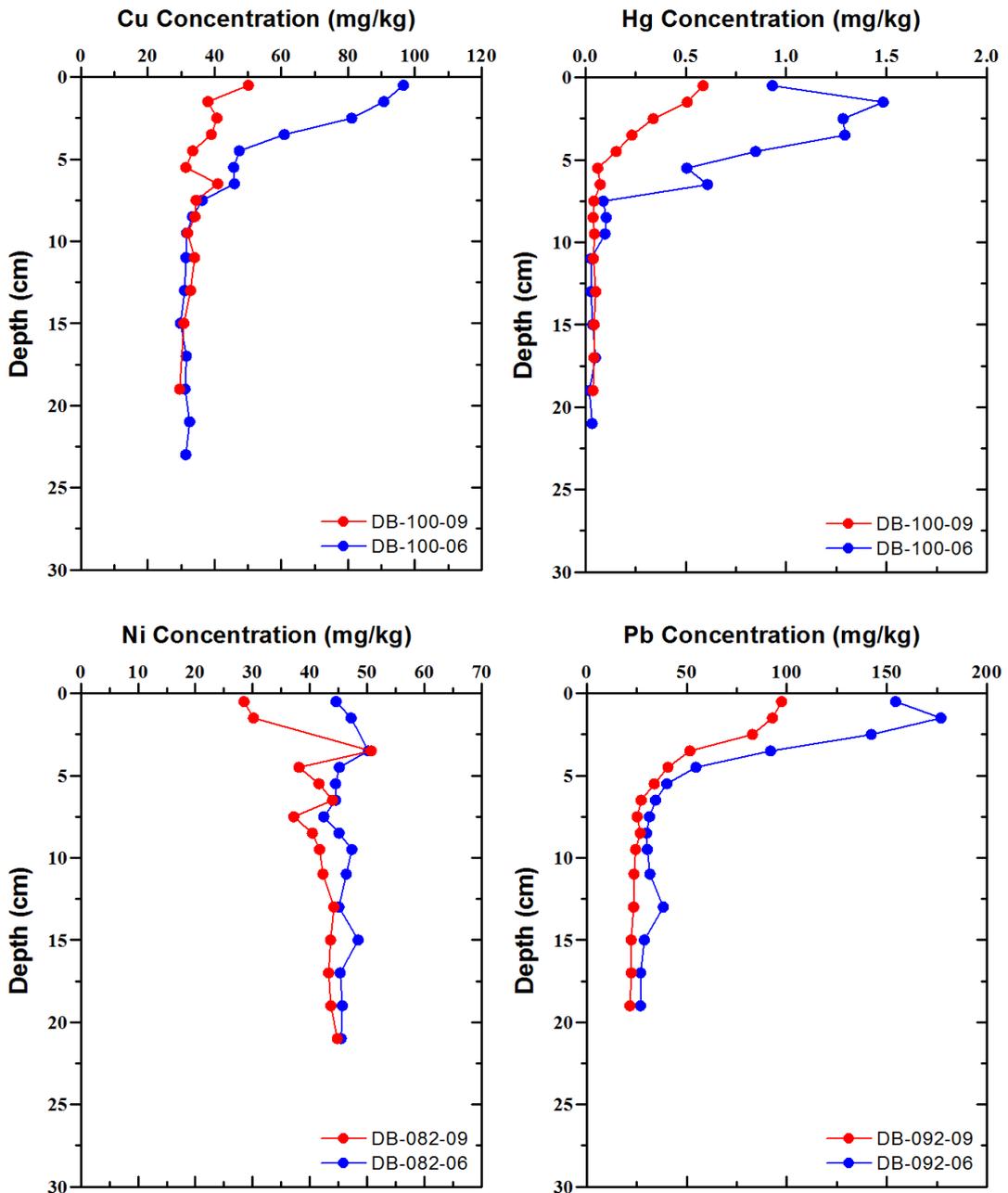


그림 2-8-20. (계속)

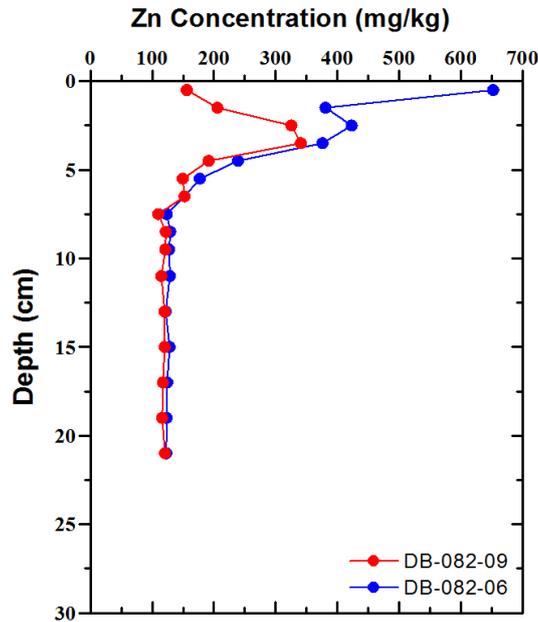


그림 2-8-20. (계속)

- 결론적으로 오염이 극심한 지역은 폐기물 배출금지로 인하여 표층퇴적물 중의 유기물과 중금속의 농도는 다소 감소하여 휴식년제의 효과가 나타나지만 이 효과는 현재 퇴적물 표층에 국한되어 있고 표층 이하에서는 여전히 높은 중금속 농도를 유지하고 있다. 이는 자연상태에서는 오염된 퇴적물의 회복에 상당히 많은 시간이 필요하다는 것을 시사한다.
- 따라서 배출해역에서, 오염이 심각한 지역을 집중적으로 관리하여 오염해역의 정화·복원 양상을 지속적으로 모니터링을 할 필요가 있다.
- 동해병해역의 준설물질 전용 배출지역으로 지정된 해역의 퇴적물 환경상태를 살펴보기 위하여 DB-017, 018, 025, 026 구획을 조사한 결과
 - 총유기탄소, 총질소 및 모든 중금속의 표층퇴적물 농도는 휴식년제 시행이후 본 해역에 다른 폐기물이 배출되고 있지만 2009년 현재까지는 배경농도 수준이었다.
 - 향후 본 해역에 실제로 준설물질이 배출이 시작될 경우 배출 도중과 배출 후의 영향정도를 파악하기 위하여 지속적으로 모니터링을 수행하여 관리해야 할 필요가 있다.
- 수산화알루미늄 제조공정에서 발생하는 폐기물(일명 보크사이트 잔재물)이 배출되고 있는 해역의 퇴적물 오염상태를 살펴보기 위하여 DB-079구획의 퇴적물중 유해물질 농도를 조사한 결과
 - 비소, 구리, 수은, 납 및 아연의 농도는 배경농도 수준이었으

나, 카드뮴이 0.93mg/kg으로 배경농도의 약 3배, 특히 크롬은 432mg/kg으로 배경농도의 약 5배 이상 높고 ERM(370mg/kg)을 초과하여 주변 생물에 악영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다.

- DB-079 구획에서 채취된 퇴적물의 표층 사진을 보면 퇴적물 표층이 보오크사이트 광석의 잔재물로 덮혀있다(그림 2-8-21).



그림 2-8-21. DB-079 구획 표층퇴적물 사진(보크사이트 잔재물로 덮혀있음)

- 따라서 DB-079 구획에서의 수산화알루미늄 제조공정에서 발생하는 폐기물의 추가배출은 환경오염문제로 비화될 수 있다.

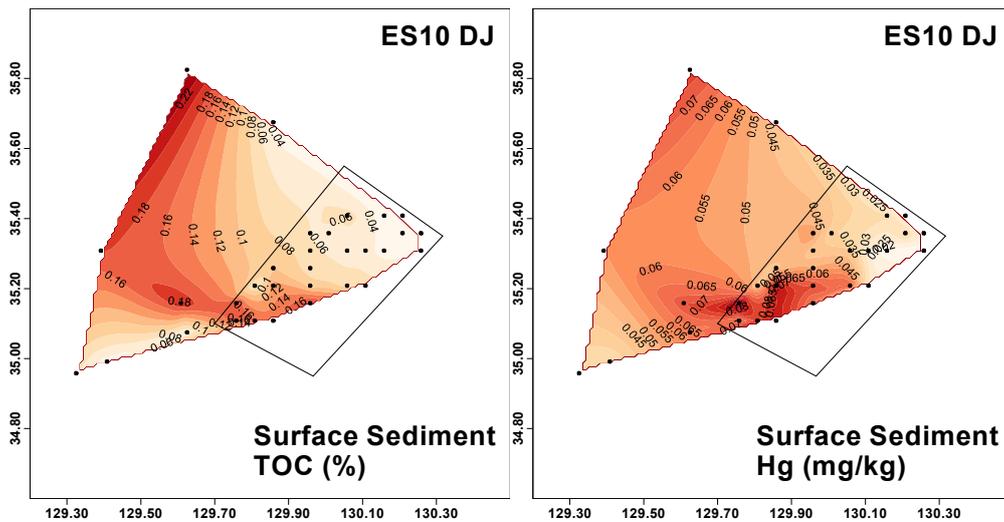


그림 2-8-22. 표층퇴적물 중 총유기탄소와 수은 농도분포

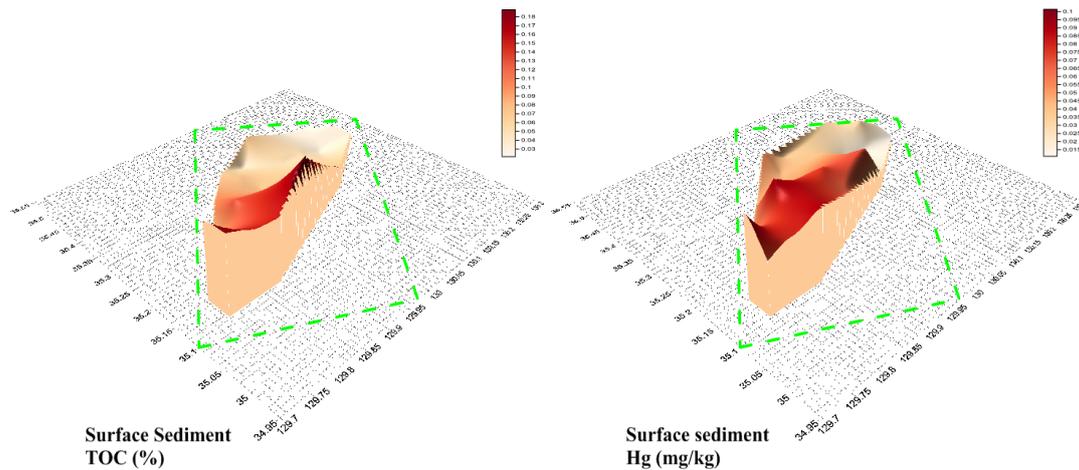


그림 2-8-22. (계속)

다. 동해정해역

- 폐기물 해양배출 빈도수와 유해물질 농도 분포 비교
 - 동해정해역 퇴적물 중의 유기물 및 중금속 등 모두 유해물질들은 폐기물 배출이 많이 이루어진 배출해역의 남쪽해역(DJ-053 구획 주변)에서 전반적으로 높게 나타났다(그림 2-8-22).
- 동해정해역 표층퇴적물의 오염정도
 - 동해정해역 표층퇴적물 중 중금속 함량은 동해병해역 및 서해병해역 표층퇴적물 중금속 함량에 비해 모든 성분에서 1~2 자리수 정도 낮은 농도를 나타내고 있었다.

항목	서해병해역	동해병해역	동해정해역
구리(ppm)	16.15~157.00	31.3 ~ 758.2	3.03 ~ 23.54
납(ppm)	24.25~67.27	46.3 ~ 373.3	9.31 ~ 24.02
카드뮴(ppm)	0.04~0.40	0.45 ~ 8.46	0.01 ~ 0.46
수은(ppm)	0.02~0.35	0.04 ~ 2.86	0.010 ~ 0.107
크롬(ppm)	55.69~482.52	86.0 ~ 2,624.8	10.04 ~ 90.78
비소(ppm)	4.54~17.27	8.94 ~ 36.28	2.55 ~ 5.41
아연(ppm)	64.47~238.56	66.6 ~ 3354.1	23.01 ~ 132.04
니켈(ppm)	24.50~95.44	28.5 ~ 140.9	3.26 ~ 31.57

- 동해정해역 표층퇴적물 중금속 농도를 미국 환경보호청의 퇴적물 오염 기준과 비교할 경우 평균값은 크롬을 제외하고 모든 성분은 비오염 기준 이하였다. 또한 크롬은 일부 구획에서 극심오염, 니켈과 아연은 일부 구획에서 중간오염 정도를 나타내고 있었다.

항목	오염 순위			동해정해역
	비 오염	중간 오염	극심 오염	
구리(ppm)	<25	25 ~ 200	>200	3.03 ~ 23.54(평균 11.08)
납(ppm)	<40	40 ~ 60	>60	9.31 ~ 24.02(평균 17.56)
카드뮴(ppm)	-	-	>6	0.01 ~ 0.46(평균 0.14)
크롬(ppm)	<25	25 ~ 75	>75	10.04 ~ 90.78(평균 39.14)
아연(ppm)	<90	90 ~ 200	>200	23.01 ~ 132.04(평균 62.48)
니켈(ppm)	<20	20 ~ 50	>50	3.26 ~ 31.57(평균 15.63)

- 동해정해역 퇴적물 중 유해물질이 생물에 미치는 영향을 평가하기 위해 미국 해양대기청(NOAA, 1991)의 기준과 비교할 경우 니켈 7개 구획, 총PCBs 1개 구획에서 ERL을 초과하였다.

항목	기준(mg/kg)		동해정해역 (총 59개 조사구획)		
	ERL	ERM	농도범위	ERL초과구획	ERM초과구획
구리(ppm)	34	270	30.3~23.54	0	0
납(ppm)	46.7	218	9.31~24.02	0	0
카드뮴(ppm)	1.2	9.6	0.01 ~ 0.46	0	0
수은(ppm)	0.15	0.71	0.010 ~ 0.107	0	0
크롬(ppm)	81	370	10.04 ~ 90.78	0	0
비소(ppm)	8.2	70	2.55 ~ 5.41	0	0
아연(ppm)	150	410	23.01~132.04	0	0
니켈(ppm)	20.9	51.6	3.26 ~ 31.57	7	0
총PCBs(ppb)	23	180	0.10 ~ 30.34	1	0

- 특히 OSPAR(북동대서양의 해양환경보호에 관한 협약)의 생물독성 평가 기준과 비교할 경우, 동해정해역 퇴적물 중금속 농도는 평균 값으로는 수은을 제외하고 모두 하한과 상한기준의 사이에 위치하고 있어 지속적인 감시를 필요로 하는 구획이 존재하였다.

항목	OSPAR 생물독성평가기준		동해정해역
	하한	상한	
구리(ppm)	5	50	30.3 ~ 23.54(평균 11.08)
납(ppm)	5	50	9.31 ~ 24.02(평균 17.56)
카드뮴(ppm)	0.1	1	0.01 ~ 0.46(평균 0.14)
크롬(ppm)	10	100	10.04 ~ 90.78(평균 39.14)
아연(ppm)	50	500	23.01 ~ 132.04(평균 62.48)
니켈(ppm)	5	50	3.26 ~ 31.57(평균 15.63)
수은(ppm)	0.05	0.5	0.010 ~ 0.107(평균 0.048)

• 기준에 따른 OSPAR 관리 조치
 - 하한기준 이하 ; 예상되는 생물 영향은 없음
 - 하한 ~ 상한 : 지속적 감시
 - 상한기준 초과 : 긴급 조치 필요 (해양배출 금지 포함)

○ 동해정해역 퇴적물의 유해물질 축적 평가

- 모든 구획에서 연안의 영향을 비교적 받지 않은 대조구획 DJ-021 및 남쪽 대조구획 DJ-012에 비해 표층뿐만 아니라 퇴적물 깊이에 따라서 유기물 및 중금속 농도가 높게 나타났다.
- 이와같은 분포는 폐기물 배출로 인하여 해저로 퇴적된 유기물 및 폐기물 기인 중금속이 퇴적물 속에 서식하는 저서동물의 생물활동에 따른 생물교란에 의하여 퇴적물 속 깊은 곳까지 오염물질이 이동하는 것으로 사료된다(그림 2-8-23~2-8-24).

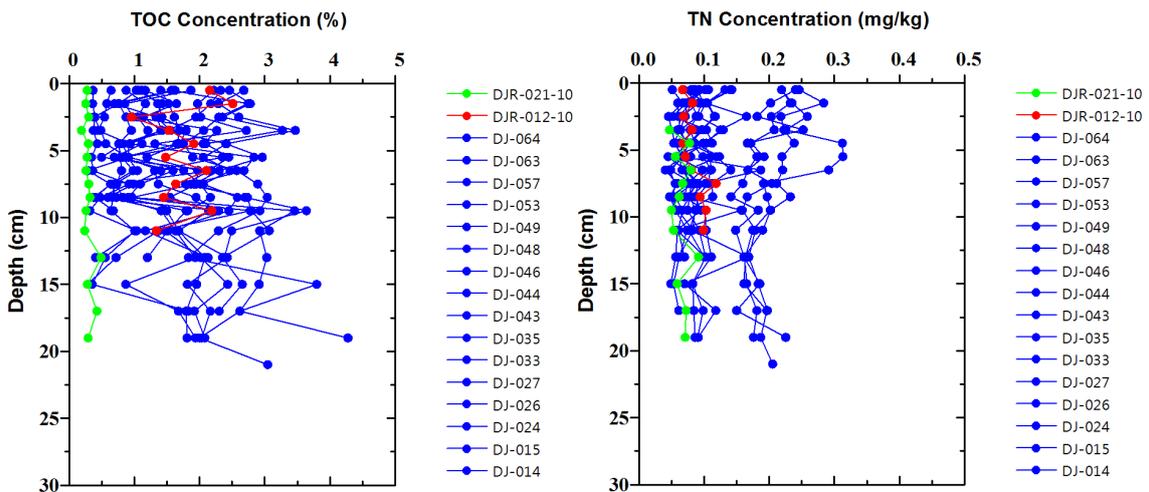


그림 2-8-23. 동해정해역 펄질 모래 구획의 유기탄소 및 유기질소 수직분포

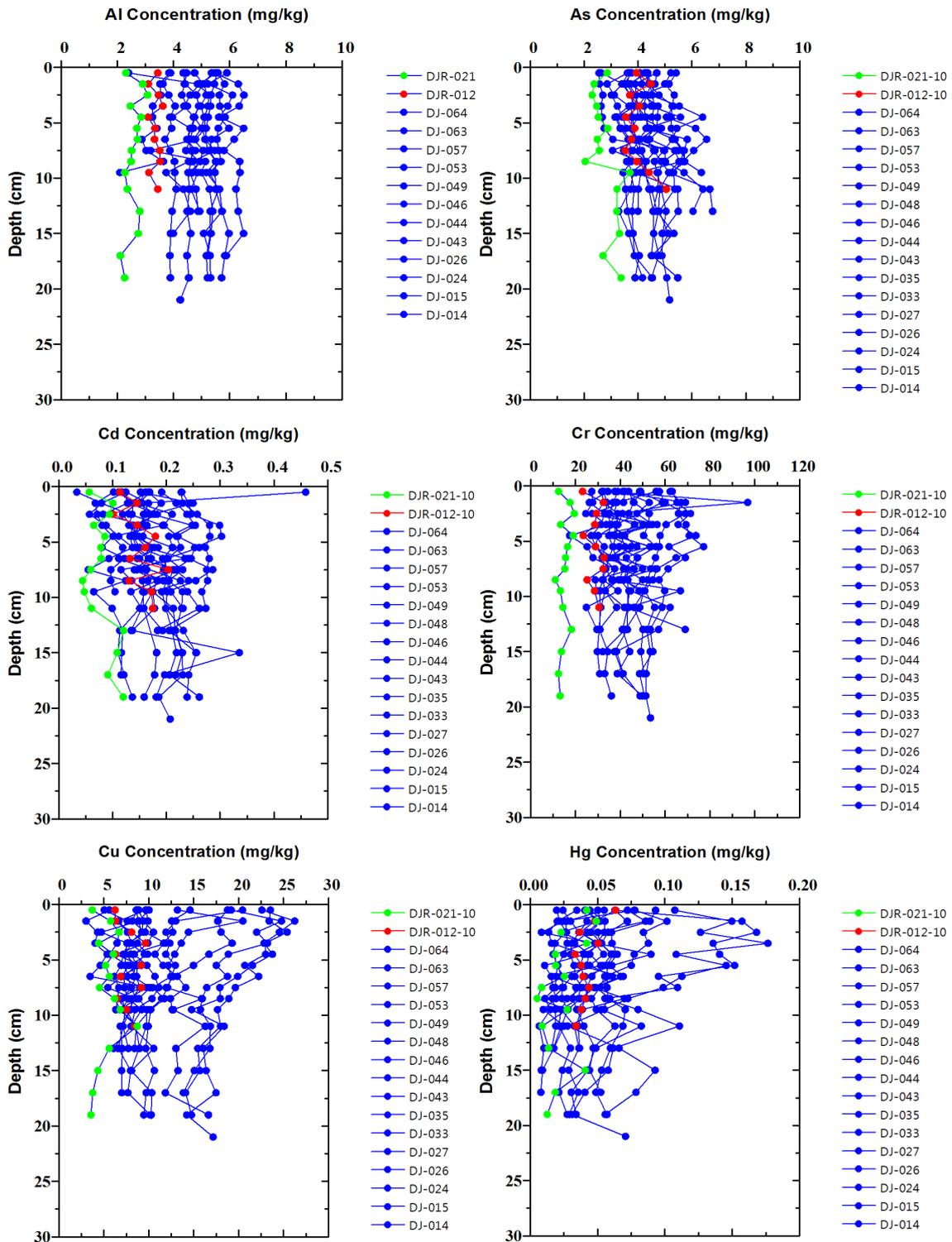


그림 2-8-24. 동해정해역 주상퇴적물의 중금속 수직분포

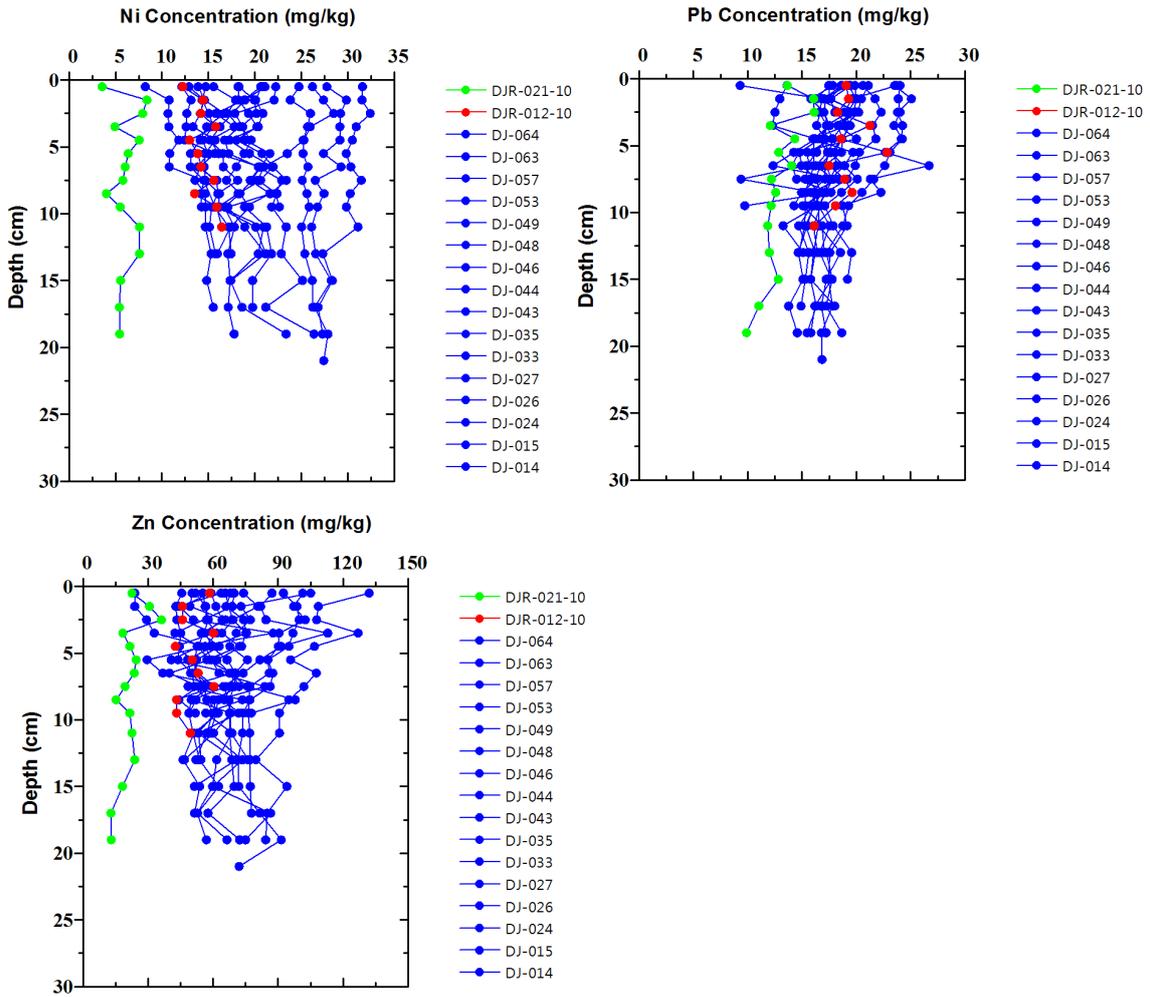


그림 2-8-24. (계속)

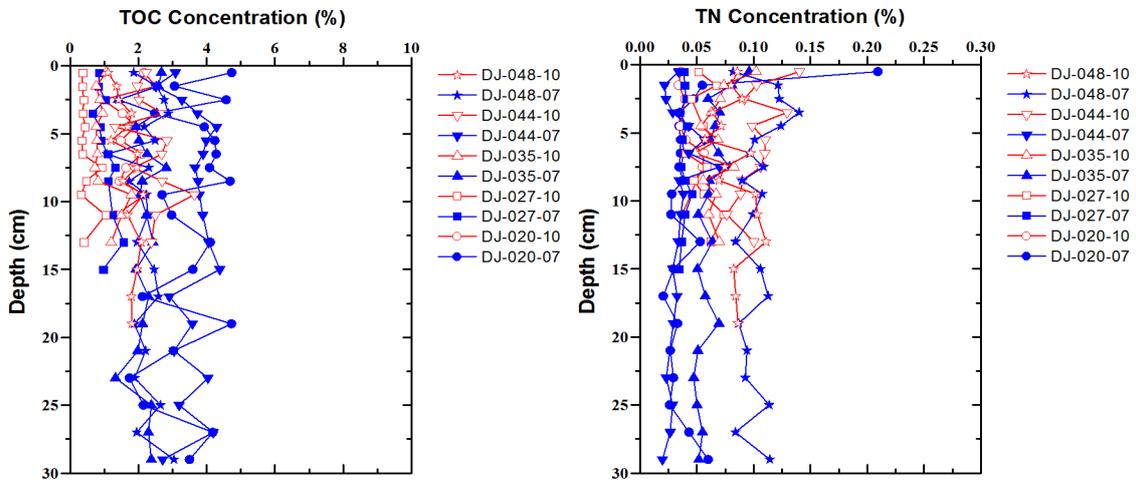


그림 2-8-25. 표층 퇴적물 유기물 함량의 연간 변화

- 2007년 조사된 구획 중 5개 구획을 3년이 지난 2010년에 재조사하여 3년간 퇴적물 중 유기물 및 중금속 함량의 변화 정도를 살펴본 결과
 - 표층퇴적물의 유기물양은 총유기탄소는 모든 구획에서 조금 감소하여 최대 약 70%까지 감소하였으나 총질소의 경우는 일부 구획에서만 감소 경향을 보였다(그림 2-8-25).
 - 표층퇴적물 중 중금속 농도는 일부 구획에서 구리와 같은 일부항목에서 감소한 경우도 있었지만 대부분은 함량 차이가 없거나 높아진 경우도 나타났다.(그림 2-8-26).

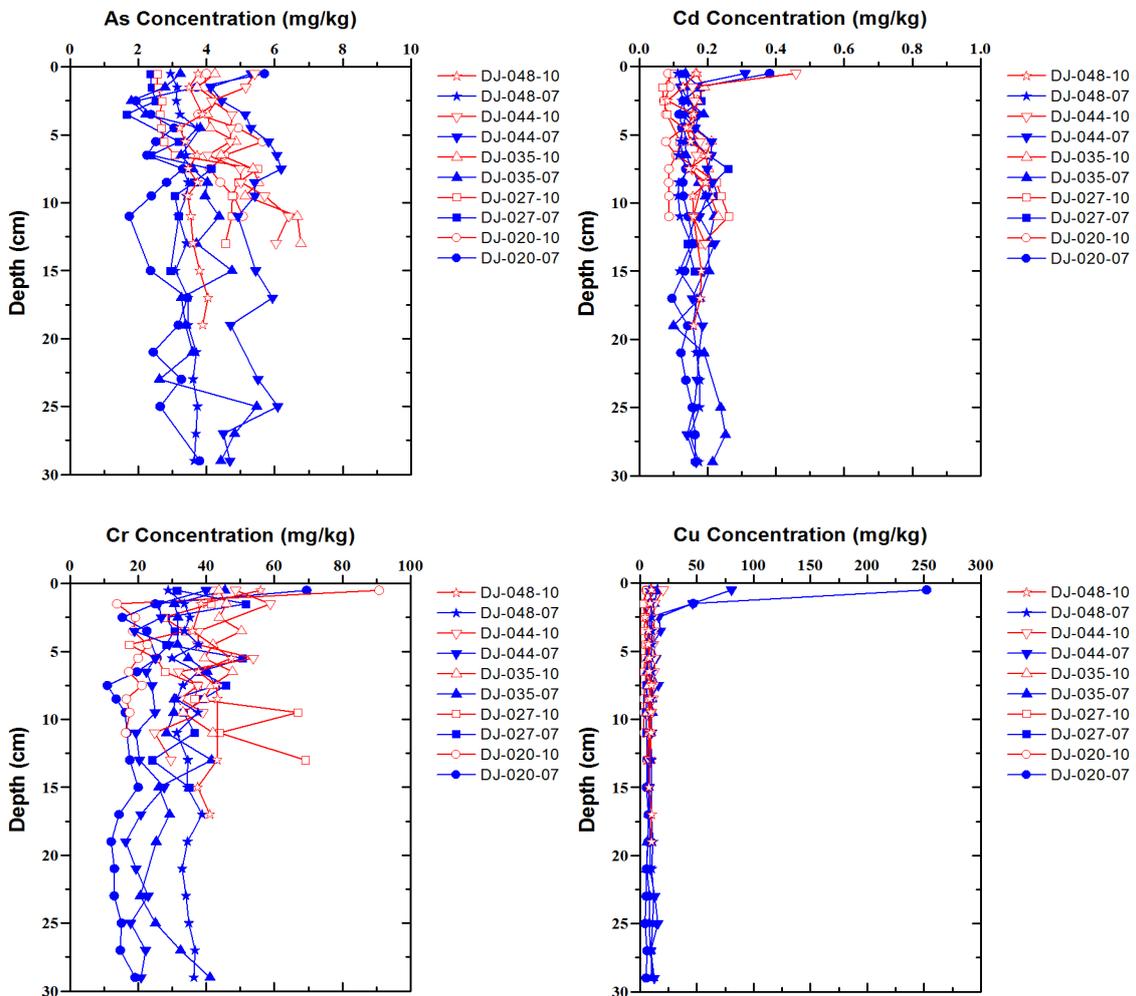


그림 2-8-26. 표층 퇴적물 중금속 함량의 연간 변화

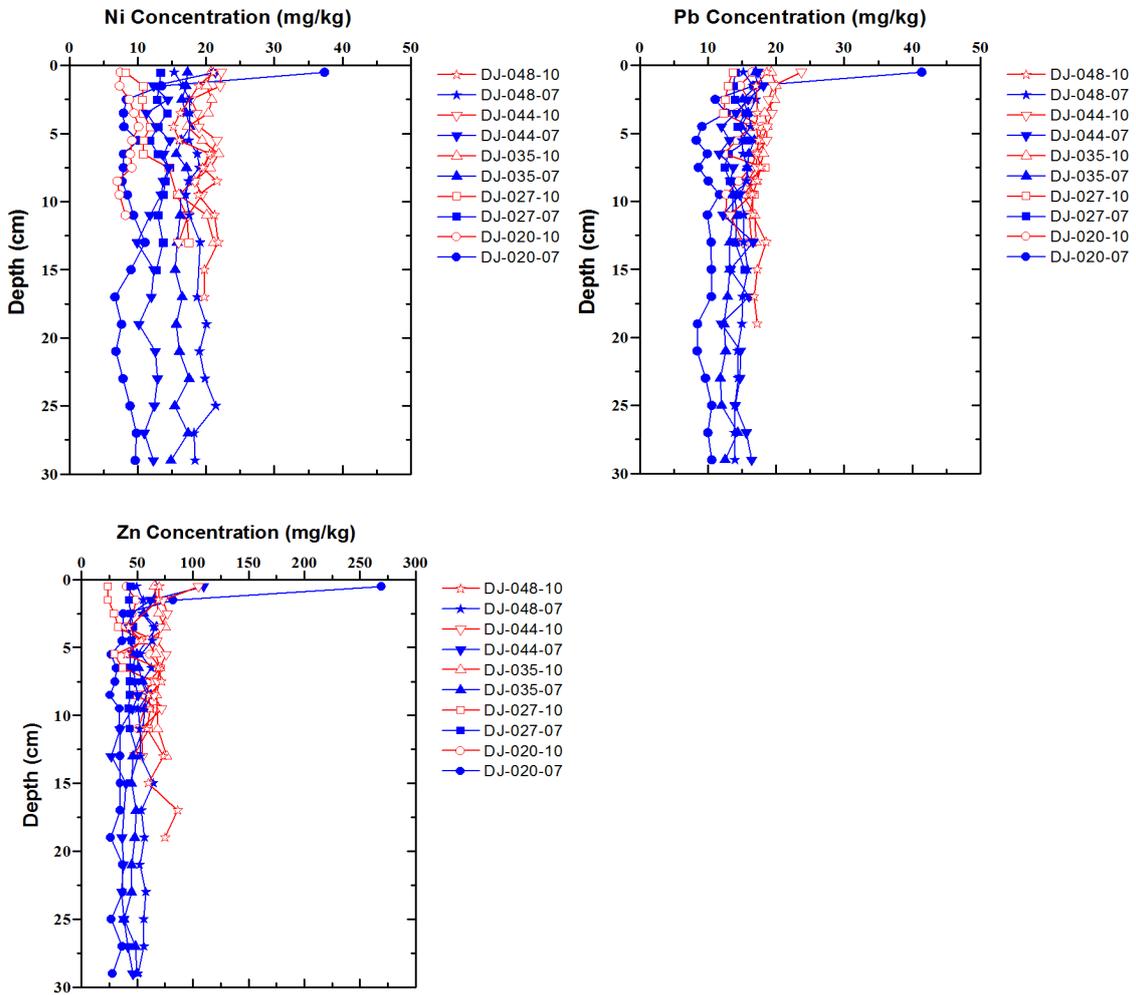


그림 2-8-26. (계속)

- 따라서 2006년 폐기물 해양배출 감축 정책 시행 이후 폐기물 배출량의 감소로 인하여 표층퇴적물 중의 유기탄소량과 일부 구획의 일부 중금속 성분이 감소한 것처럼 보이지만 감소효과는 일부 구획의 퇴적물 표층에서 일부 오염물질에 국한되어 있고 표층 보다 아래에서는 여전히 높은 중금속 농도를 유지하고 있다. 이는 자연상태에서는 오염된 퇴적물의 회복에 상당히 많은 시간이 필요하다는 것을 시사한다.

3. 2012년 폐기물 배역 퇴적물 건강상태 조사결과

2012년 당해연도 부터는 3개의 배출해역 중 순차적으로 매년 1개 배출해역을 집중 조사하던 기존의 형식을 변경하여 3개의 배출해역에 중장기적 퇴적물 오염상태의 변화를 살펴보기 위하여 각 해역별 대표구획을 10~12개씩 지정하여 매년 3개 배출해역 모두를 조사하는 형식으로 바뀌었다.

가. 서해병해역 퇴적물 오염물질 농도 연간 변화

서해병해역의 2005년, 2011년에 조사된 구획을 포함하는 휴식년 구획 3개, 배출구획 6개, 대조구획 3개 등 총 12개 구획에서 퇴적물 시료를 채취하여 오염물질을 분석하여, 기존의 조사 자료와 비교하여 퇴적물내 오염물질 농도의 변화 양상을 살펴보았다.

(1) 유기물(TOC, TON, COD)

서해병해역의 당해연도 조사된 구획의 표층퇴적물 중 TOC, TON 및 COD의 농도 및 기존 조사의 결과를 표 2-8-8에 나타내었다.

표층퇴적물의 유기물 농도의 연간변화는 TOC의 경우 휴식년 구획인 YB-009와 YB-024 구획은 2005 및 2011년에 비해 16~24% 정도 낮아졌으나 YB-026 구획에서는 유의의 차이가 없었다(3% 증가). 퇴적물 깊이별 TOC 농도의 연간변화는 퇴적물 깊이 2~5cm 범위에서 2011년에 비해 다소 농도가 낮아진 것으로 나타났다(그림 2-8-27).

표 2-8-6. 서해병해역의 표층퇴적물 유기물 농도(단위 : %)

조사구획		TOC (%)			TON (%)			COD (mg-O ₂ /g-dry)		
		2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년
휴식년 구획	YB 009	0.84		0.64	0.12		0.11	18.50		18.2
	YB 024		1.43	1.20		0.17	0.19		15.69	18.3
	YB 026		1.15	1.19		0.16	0.18		13.41	20.5
배출구획	YB 049	1.35	1.76	1.29	0.19	0.26	0.20	24.51	15.67	20.0
	YB 053		0.86	0.78		0.13	0.13		10.63	15.1
	YB 086	0.87		0.78	0.134		0.13	12.67		15.3
	YB 098		0.70	0.71		0.11	0.12		11.08	12.1
	YB 101	1.50	1.42	1.24	0.22	0.22	0.20	21.40	12.66	21.8
	YB 135	0.49		0.34			0.07	17.50		27.9
대조구획	YBR 001		0.75	0.47		0.11	0.08		12.08	11.3
	YBR 003	0.56	1.34	1.16	0.09	0.20	0.19	32.00	4.90	18.9
	YBR 005	0.95	1.20	0.79	0.16	0.18	0.13	10.60	13.92	18.7

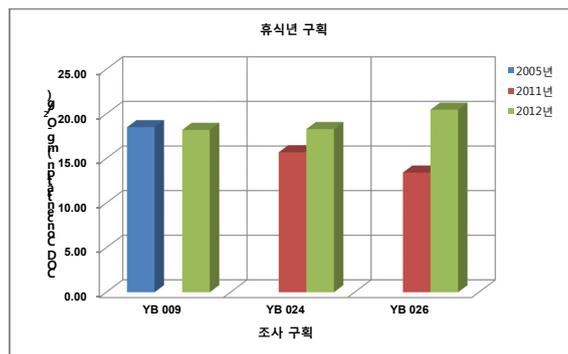
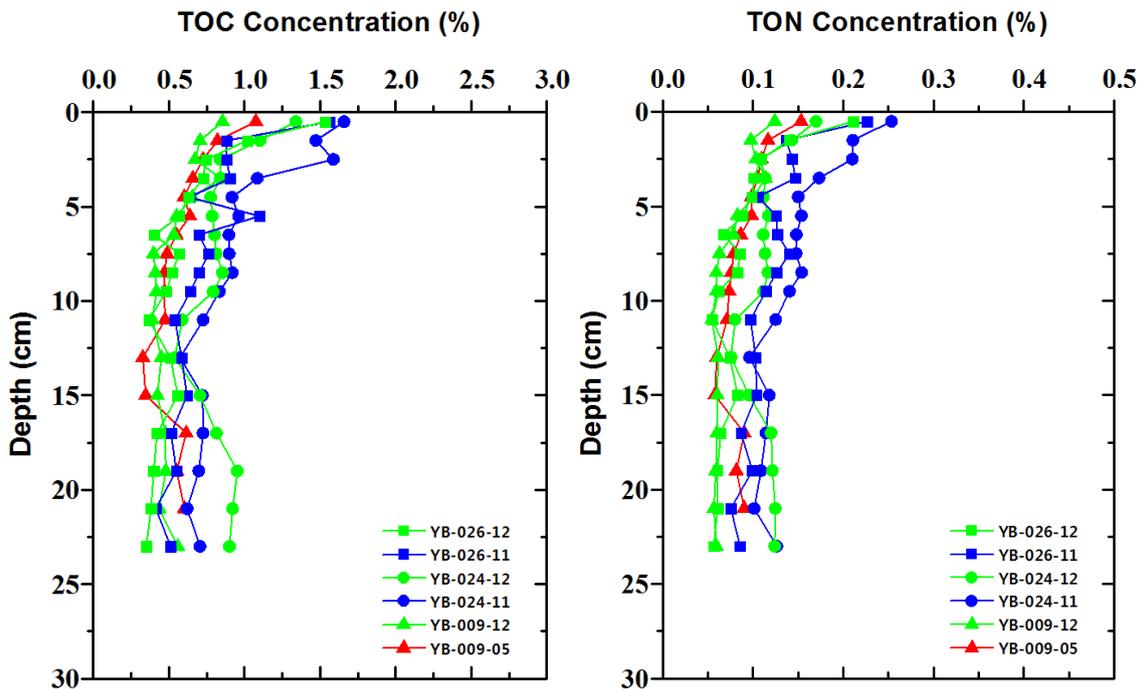
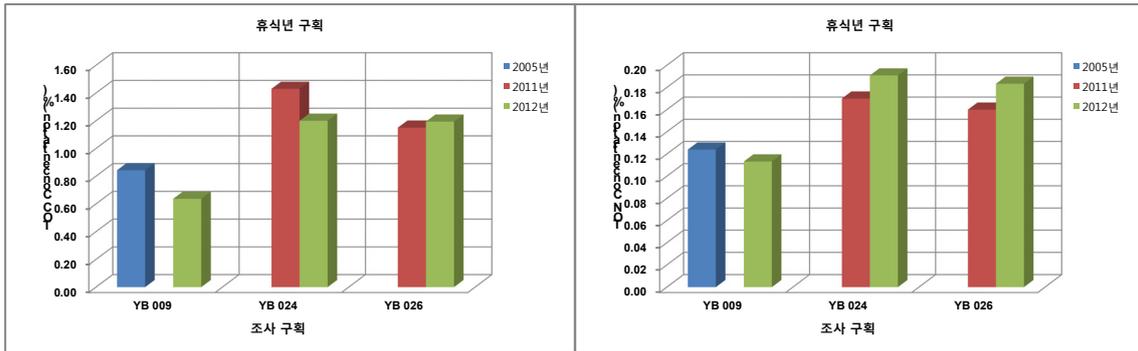


그림 2-8-27. 서해병해역 휴식년구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화

표층퇴적물의 TON 및 COD 농도는 TOC와는 달리 유의의 차이가 없거나 12~13% 정도 높아진 것으로 나타났다. 이는 유기물의 화학적 성질에 따른 분해속도의 차이 및 시료의 특성에 기인하는 것으로 추정되지만 추가적인

조사가 필요하다.

퇴적물 깊이별 TON 농도의 연간변화는 TOC와 유사하게 퇴적물 깊이 2~5cm 범위에서 2011년에 비해 다소 농도가 낮아진 것으로 나타났다.

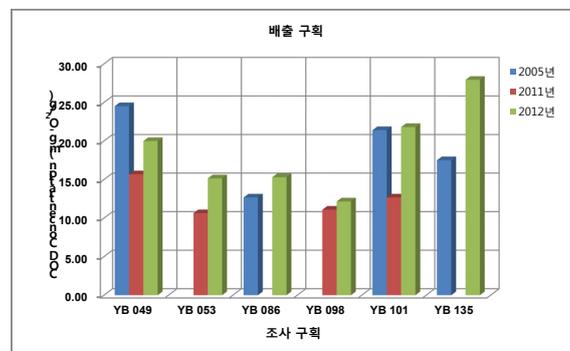
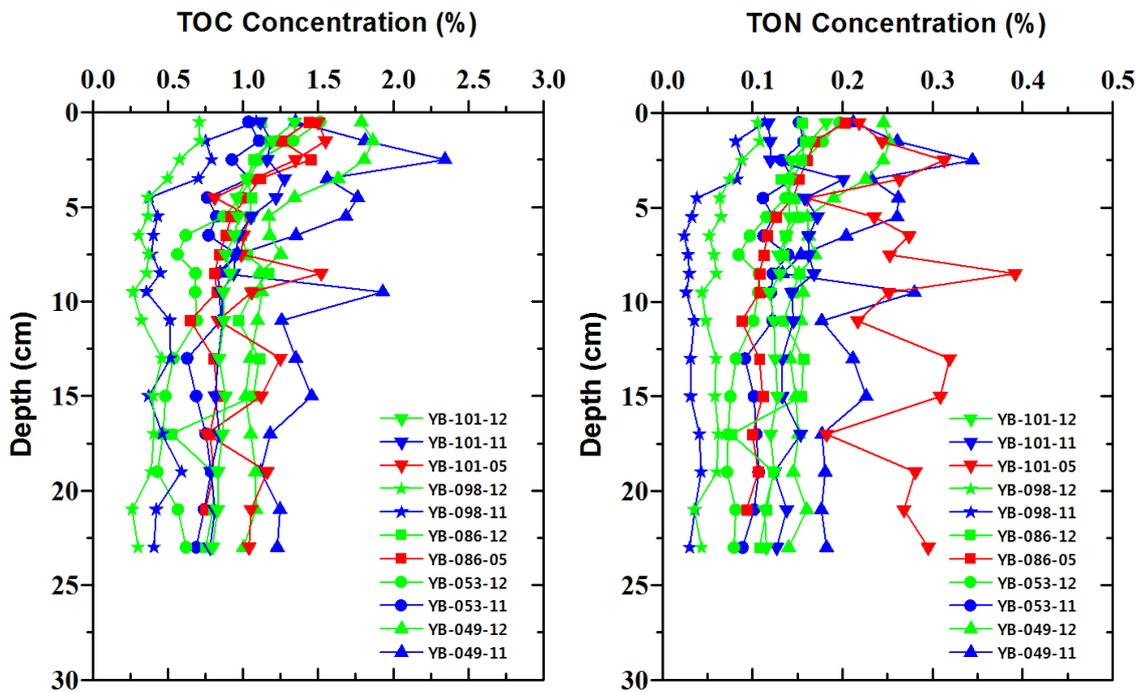
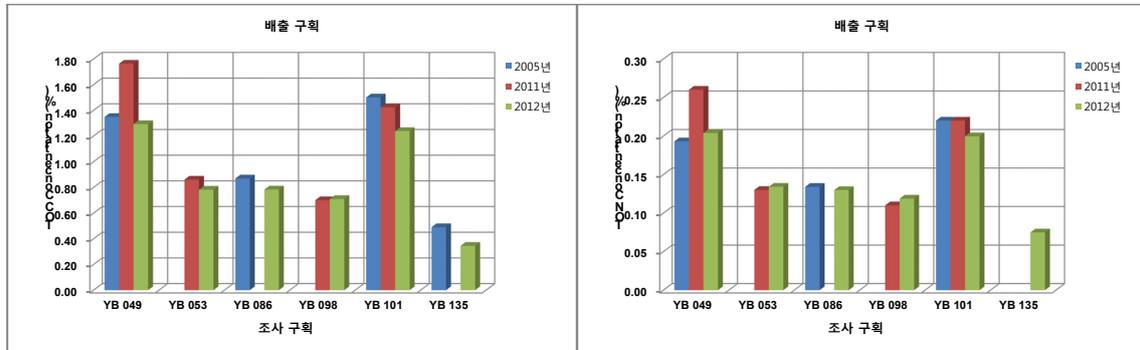


그림 2-8-28. 서해병해역 배출구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화

현재 폐기물을 배출하고 있는 배출구획에서의 표층퇴적물의 유기물 농도의 변화는 TOC와 TON 모두 YB-049와 YB-101 구획에서는 2011년에 비해 약간 감소하였지만 나머지 구획에서는 유의의 차이가 없었다. 이에 비해 COD의 농도는 모든 구획에서 다소 높아진 것으로 나타났다.

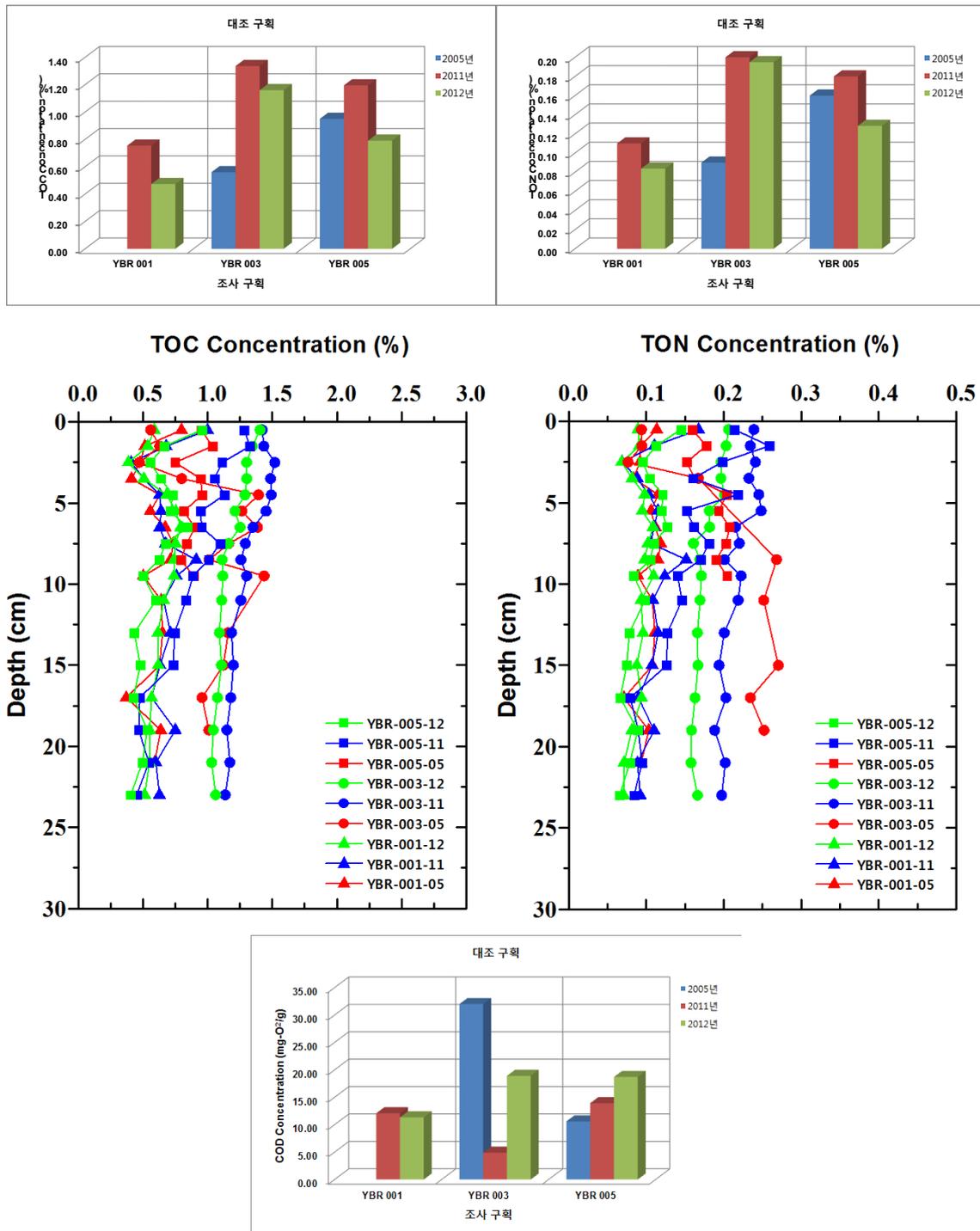


그림 2-8-29. 서해병해역 대조구획의 퇴적물 중 유기물 농도 연간변화

대조구획 표층퇴적물의 TOC 및 TON 농도의 경년변화는 모든 조사구획에서 2005년에 비해서는 약간 증가 하였으나, 2011년에 비해서는 모든 조사구획에서 다소 낮아지는 경향을 나타냈다(그림 2-8-29). 이에 비해 COD 농도는 YBR-001 구획에서는 변화가 없었고, YBR-003 구획에서는 2005년에 비해서는 낮아졌지만, 2011년에 비해서는 4배 이상 높아졌다. 그리고 YBR-005 구획에서는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다.

표 2-8-7. 서해병해역의 퇴적물 TOC 농도(단위 : %)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	1.08	0.85	1.66	1.34	1.56	1.53	1.35	1.79	1.04	1.51	1.44	1.12	1.09	0.71
1.5	0.82	0.71	1.47	1.10	0.88	1.02	1.81	1.86	1.11	1.33	1.25	1.18	0.75	0.71
2.5	0.72	0.67	1.59	0.84	0.88	0.74	2.34	1.81	0.93	1.10	1.45	1.07	0.79	0.58
3.5	0.66	0.84	1.08	0.84	0.90	0.73	1.56	1.63	1.04	1.04	1.11	1.03	0.70	0.50
4.5	0.60	0.66	0.92	0.78	0.63	0.63	1.76	1.34	0.76	0.98	1.03	1.06	0.38	0.37
5.5	0.64	0.55	0.96	0.79	1.10	0.57	1.69	1.17	0.82	0.87	0.92	1.05	0.43	0.37
6.5	0.55	0.53	0.90	0.80	0.70	0.40	1.35	1.18	0.77	0.62	0.89	0.99	0.40	0.31
7.5	0.49	0.40	0.90	0.81	0.76	0.57	0.97	1.25	0.96	0.56	0.84	1.03	0.39	0.37
8.5	0.47	0.41	0.92	0.85	0.70	0.52	0.85	1.11	0.83	0.68	0.81	1.17	0.45	0.36
9.5	0.47	0.42	0.83	0.79	0.64	0.48	1.93	1.13	0.84	0.68	0.83	1.06	0.36	0.27
11	0.47	0.39	0.73	0.59	0.54	0.37	1.26	1.10	0.85	0.69	0.65	0.97	0.51	0.32
13	0.33	0.45	0.57	0.54	0.58	0.51	1.35	1.05	0.63	0.54	0.81	1.11	0.52	0.46
15	0.35	0.42	0.72	0.71	0.62	0.56	1.46	1.02	0.69	0.48	0.83	1.07	0.37	0.40
17	0.61	0.48	0.73	0.81	0.51	0.42	1.18	1.05	0.75	0.47	0.78	0.53	0.46	0.41
19	0.55	0.48	0.70	0.95	0.55	0.40	1.12	1.08	0.79	0.43	0.81	0.80	0.59	0.39
21	0.60	0.44	0.62	0.92	0.41	0.38	1.25	1.09	0.74	0.57	0.75	0.80	0.42	0.26
23		0.56	0.71	0.90	0.51	0.35	1.23	1.00	0.69	0.62		0.75	0.41	0.30
25														

표 2-8-7. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	1.50	1.12	1.34	0.33	0.80	1.00	0.59	0.56	1.42	1.41	0.95	1.28	0.95
1.5	1.55	1.19	1.19	0.27	0.52	0.68	0.54	0.63	1.43	1.34	1.04	1.33	0.67
2.5	1.35	1.16	1.08	0.27	0.48	0.41	0.39	0.47	1.52	1.30	0.75	1.11	0.56
3.5	1.08	1.28	1.03	0.34	0.41	0.51	0.51	0.80	1.49	1.30	0.95	1.05	0.64
4.5	0.81	1.22	0.96	0.18	0.63	0.63	0.68	1.39	1.49	1.29	0.96	1.13	0.73
5.5	1.05	1.06	0.97	0.36	0.56	0.64	0.75	1.27	1.45	1.21	0.82	0.95	0.71
6.5	1.00	0.97	0.94	0.27	0.67	0.63	0.79	1.39	1.35	1.25	0.90	0.95	0.84
7.5	0.99	0.95	0.89	0.23	0.74	0.68	0.75	1.16	1.29	1.16	0.84	1.10	0.68
8.5	1.52	0.94	0.92	0.29	0.71	0.91	0.74	1.01	1.26	1.11	0.79	1.01	0.63
9.5	1.06	0.86	0.87	0.24	0.50	0.76	0.74	1.44	1.30	1.12	0.89	0.89	0.50
11	0.83	0.87	0.87	0.30	0.64	0.66	0.66		1.26	1.11		0.83	0.60
13	1.25	0.83	0.84	0.29	0.65	0.71	0.62	1.16	1.19	1.09		0.74	0.43
15	1.12	0.82	0.88	0.22	0.63	0.63	0.62	1.12	1.20	1.11		0.74	0.48
17	0.76	0.84	0.86	0.22	0.37	0.57	0.57	0.96	1.18	1.08		0.47	0.43
19	1.16	0.79	0.83	0.22	0.64	0.75	0.55	1.01	1.15	1.04		0.47	0.53
21	1.05	0.81	0.83	0.17	0.59	0.60	0.55		1.17	1.03		0.55	0.49
23	1.04	0.78	0.80			0.63	0.51		1.14	1.06		0.45	0.41
25													

표 2-8-8. 서해병해역의 퇴적물 TON 농도(단위 : %)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	0.15	0.12	0.25	0.17	0.23	0.21	0.21	0.25	0.15	0.20	0.20	0.15	0.11	0.11
1.5	0.12	0.10	0.21	0.14	0.14	0.14	0.26	0.25	0.16	0.18	0.17	0.16	0.08	0.11
2.5	0.11	0.10	0.21	0.11	0.14	0.11	0.34	0.25	0.13	0.16	0.16	0.15	0.09	0.09
3.5	0.11	0.11	0.17	0.11	0.15	0.10	0.23	0.23	0.15	0.14	0.15	0.13	0.08	0.07
4.5	0.10	0.10	0.15	0.11	0.10	0.10	0.26	0.19	0.11	0.14	0.15	0.15	0.04	0.06
5.5	0.10	0.08	0.15	0.12	0.13	0.09	0.26	0.16	0.12	0.12	0.13	0.15	0.03	0.07
6.5	0.09	0.08	0.15	0.11	0.13	0.07	0.20	0.16	0.11	0.10	0.12	0.14	0.02	0.05
7.5	0.08	0.06	0.15	0.11	0.14	0.09	0.15	0.17	0.14	0.08	0.11	0.13	0.03	0.06
8.5	0.08	0.06	0.15	0.12	0.13	0.08	0.13	0.15	0.12	0.11	0.11	0.15	0.03	0.06
9.5	0.07	0.06	0.14	0.11	0.11	0.06	0.28	0.16	0.12	0.11	0.11	0.14	0.03	0.04
11	0.07	0.05	0.13	0.08	0.10	0.05	0.18	0.15	0.12	0.10	0.09	0.13	0.04	0.05
13	0.06	0.06	0.10	0.08	0.10	0.07	0.21	0.14	0.09	0.08	0.11	0.16	0.03	0.06
15	0.06	0.06	0.12	0.10	0.10	0.08	0.23	0.15	0.10	0.08	0.11	0.15	0.03	0.06
17	0.09	0.06	0.11	0.12	0.09	0.06	0.18	0.15	0.10	0.07	0.10	0.08	0.04	0.06
19	0.08	0.06	0.11	0.12	0.10	0.06	0.18	0.15	0.11	0.07	0.11	0.12	0.04	0.06
21	0.09	0.06	0.10	0.12	0.08	0.06	0.18	0.16	0.10	0.08	0.09	0.12	0.04	0.04
23		0.06	0.13	0.12	0.09	0.06	0.18	0.14	0.09	0.08		0.11	0.03	0.04
25														

표 2-8-8. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	0.22	0.12	0.18	0.06	0.11	0.17	0.09	0.09	0.24	0.21	0.16	0.21	0.14
1.5	0.24	0.12	0.16	0.05	0.09	0.11	0.09	0.09	0.23	0.20	0.18	0.26	0.11
2.5	0.31	0.12	0.14	0.05	0.09	0.07	0.07	0.08	0.24	0.20	0.15	0.20	0.10
3.5	0.26	0.20	0.14	0.07	0.08	0.09	0.08	0.17	0.23	0.20	0.16	0.16	0.10
4.5	0.16	0.16	0.14	0.04	0.12	0.10	0.10		0.25	0.20	0.20	0.22	0.12
5.5	0.24	0.17	0.14	0.05	0.11	0.12	0.09		0.25	0.18	0.19	0.15	0.12
6.5	0.27	0.16	0.14	0.05	0.11	0.11	0.11		0.22	0.18	0.21	0.16	0.13
7.5	0.25	0.16	0.13	0.05	0.12	0.11	0.10		0.22	0.16	0.20	0.18	0.11
8.5	0.39	0.17	0.13	0.06	0.12	0.15	0.10	0.27	0.20	0.17	0.19	0.17	0.11
9.5	0.25	0.14	0.12	0.05	0.09	0.12	0.11		0.22	0.17	0.20	0.14	0.08
11	0.22	0.15	0.12	0.05	0.11	0.11	0.09	0.25	0.22	0.17		0.15	0.10
13	0.32	0.13	0.13	0.05	0.11	0.12	0.10		0.20	0.17		0.13	0.08
15	0.31	0.13	0.13	0.04	0.11	0.11	0.09	0.27	0.19	0.17		0.13	0.07
17	0.18	0.15	0.12	0.04	0.07	0.09	0.09	0.23	0.20	0.16		0.08	0.07
19	0.28	0.12	0.12	0.04	0.10	0.11	0.08	0.25	0.19	0.16		0.09	0.09
21	0.27	0.14	0.11	0.04	0.09	0.09	0.07		0.20	0.16		0.09	0.08
23	0.30	0.13	0.12			0.09	0.07		0.20	0.17		0.08	0.07
25													

(2) 중금속

서해병해역의 표층퇴적물 중의 중금속 농도의 연간변화를 살펴보기 위하여 기존의 2005년, 2011년 및 당해연도 조사 자료를 표 2-8-11에 나타내었다.

표 2-8-9. 서해병해역 표층퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

조사구획		As (mg/kg)			Cd (mg/kg)			Cr (mg/kg)		
		2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년
휴식년 구획	YB 009	18.07		8.70	0.086		0.130	460.30		99.50
	YB 024		10.40	11.30		0.240	0.150		279.30	172.20
	YB 026		10.60	10.70		0.150	0.110		132.10	126.80
배출구획	YB 049	16.97	11.60	8.20	0.089	0.190	0.220	110.20	130.90	126.70
	YB 053		7.40	6.40		0.150	0.180		79.20	101.00
	YB 086	15.61		7.00	0.090		0.160	83.10		78.60
	YB 098		7.00	6.70		0.130	0.110		57.40	62.00
	YB 101	11.38	10.00	8.20	0.065	0.109	0.180	92.00	94.00	98.60
	YB 135	14.60		5.20	0.092		0.110	63.90		45.30
대조구획	YBR 001		7.60	7.80		0.131	0.100		75.40	62.50
	YBR 003	12.62	8.61	10.90	0.077	0.220	0.120	93.20	96.00	97.00
	YBR 005	14.80	9.10	8.90	0.491	0.168	0.110		81.40	75.60
조사구획		Cu (mg/kg)			Hg (mg/kg)			Ni (mg/kg)		
		2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년
휴식년 구획	YB 009	28.94		27.80	0.043		0.036	28.20		28.40
	YB 024		42.20	38.10		0.086	0.069		34.90	36.40
	YB 026		35.80	35.50		0.106	0.059		32.50	35.90
배출구획	YB 049	32.75	52.30	42.30	0.041	0.053	0.069	95.40	43.30	39.80
	YB 053		29.30	31.60		0.059	0.105		26.50	30.30
	YB 086	24.43		29.40	0.025		0.037	32.00		32.70
	YB 098		24.50	22.10		0.043	0.028		25.10	24.50
	YB 101	29.37	31.68	35.00	0.032	0.059	0.042	42.30	38.50	38.40
	YB 135	17.07		15.50	0.018		0.018	28.50		17.90
대조구획	YBR 001		23.00	17.00		0.036	0.029		24.70	23.00
	YBR 003	29.22	36.60	34.60	0.034	0.042	0.039	39.20	44.70	42.90
	YBR 005		33.50	25.20	0.031	0.040	0.029	61.10	37.70	33.70
조사구획		Pb (mg/kg)			Zn (mg/kg)					
		2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년			
휴식년 구획	YB 009	34.60		31.90	161.10		91.00			
	YB 024		34.60	35.40		119.80	115.00			
	YB 026		36.20	35.80		106.70	110.00			
배출구획	YB 049	39.20	38.50	38.00	120.40	150.90	131.00			
	YB 053		32.30	32.60		109.40	99.00			
	YB 086	36.70		34.20	103.20		122.00			
	YB 098		31.20	30.40		83.80	82.00			
	YB 101	34.50	32.90	34.50	124.10	100.50	115.00			
	YB 135	28.60		28.20	76.80		77.00			
대조구획	YBR 001		27.90	26.40		65.00	70.00			
	YBR 003	40.00	40.30	37.80	123.60	133.40	122.00			
	YBR 005	42.20	32.90	31.90		130.90	98.00			

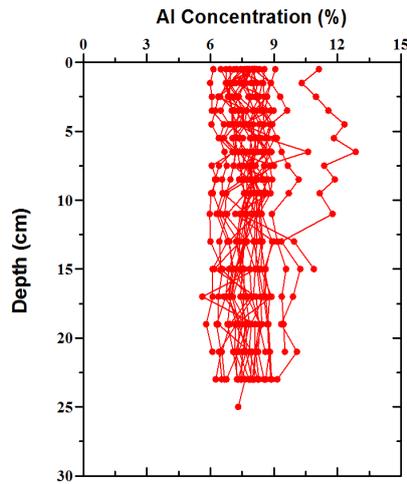


그림 2-8-30. 서해병해역 퇴적물 중 Al 농도의 수직 분포

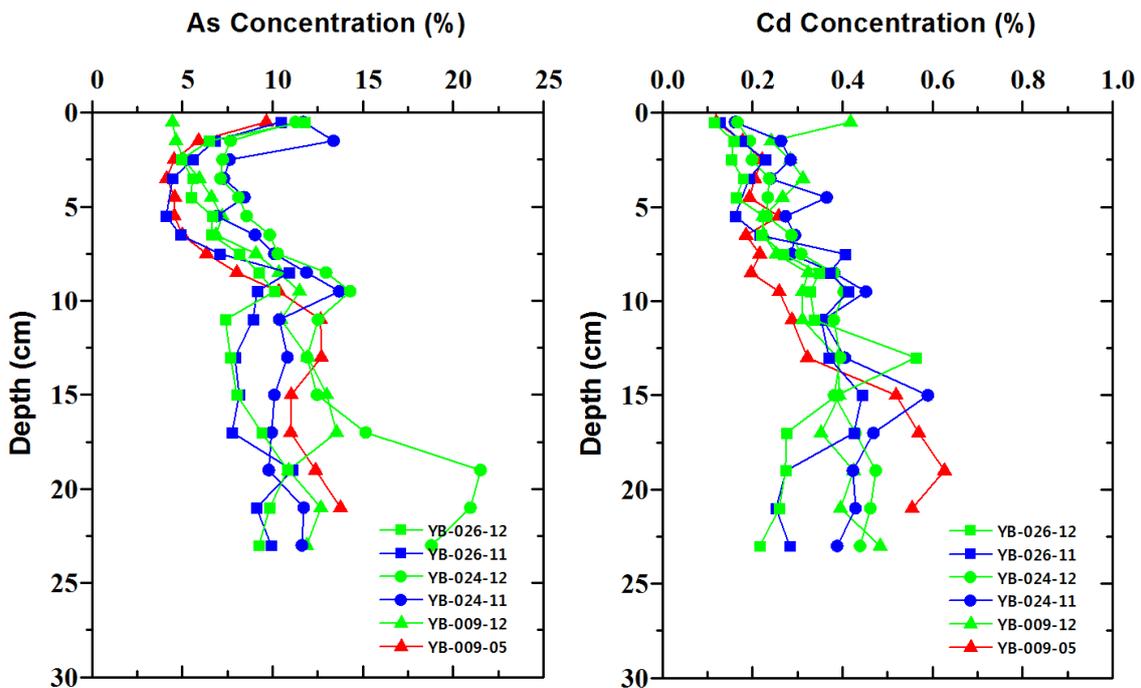
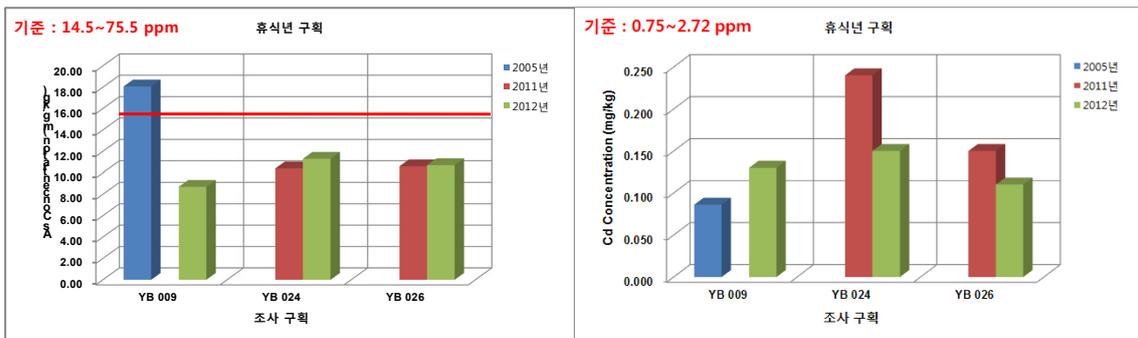


그림 2-8-31. 서해병해역 휴식년 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화

서해병해역 퇴적물 중 Al의 농도는 휴식년, 배출구획 및 대조구획 사이에서 유의미한 차이가 없는 것으로부터 서해병해역 퇴적물은 모두 유사한 기원으로부터 유래한 것으로 사료된다(그림 2-8-30).

휴식년 구획 퇴적물 중 As 농도의 연간변화는 과거 폐기물 배출이 특히 집중되었던 YB-009 구획에서 2005년 조사시에는 해양환경관리법의 해양퇴적물 기준의 주의기준인 14.5ppm을 초과하였으나 2012년 조사시에는 8ppm으로 감소하였고, YB-024 및 YB-026 구획에서는 2011년도 조사 결과와 비교하여 유의미한 농도변화는 보이지 않았다. 그러나 모든 조사구획에서 As의 퇴적물 기준 이하의 수준이었다 (그림 2-8-31). 퇴적물 깊이별 농도의 변화는 의미있는 변화 양상을 나타내지 않았다.

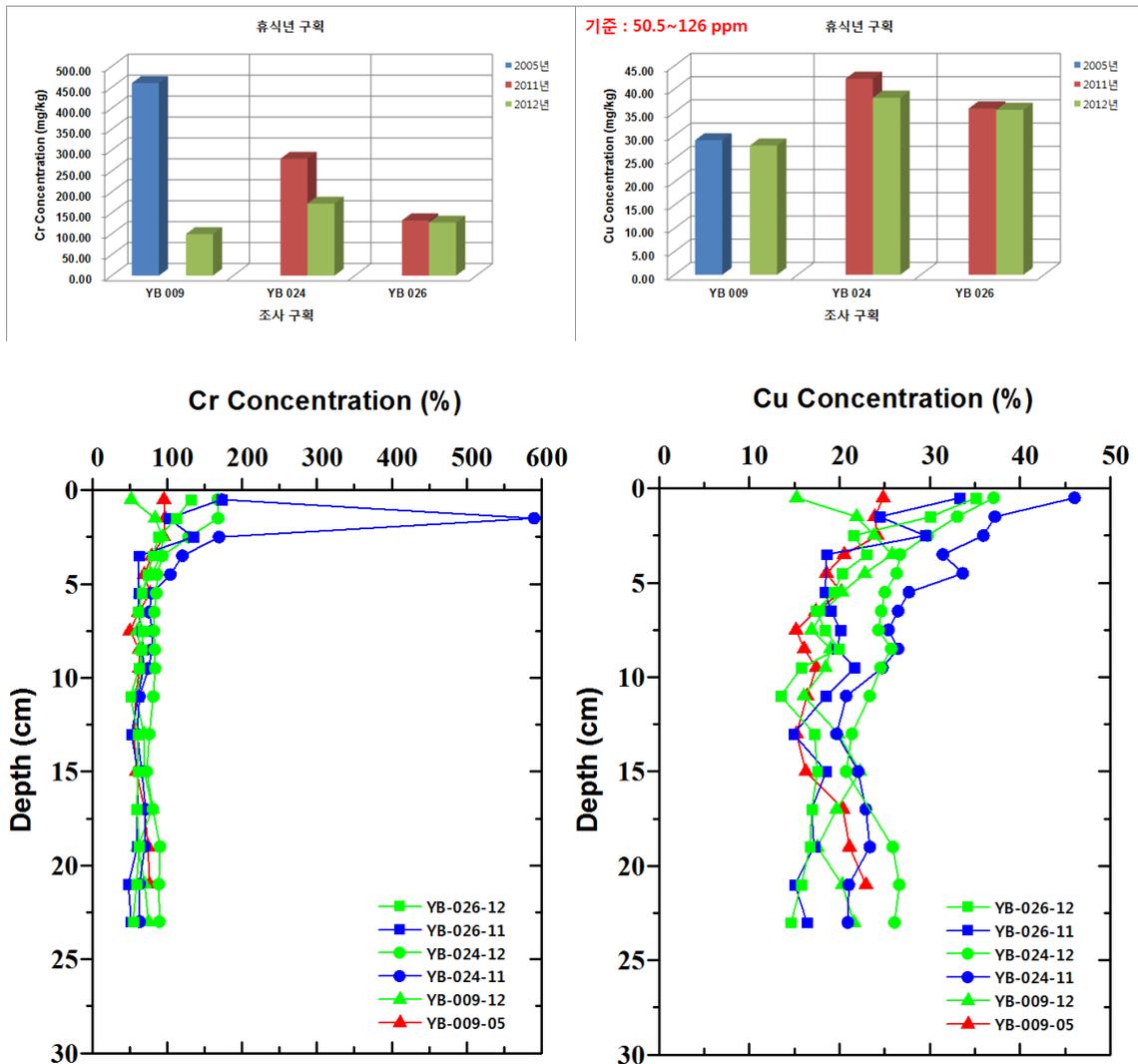


그림 2-8-31. (계속)

Cd은 퇴적물 기준이 0.75~2.72ppm이지만, 서해병해역 휴식년 구획의 퇴적물은 모두 기준치 이하로 나타났다. 표층퇴적물의 농도변화는 YB-009에서는 2005년에 비해 다소 증가하였으나, YB-024 및 YB-026에서는 2011년에 비해 감소한 경향을 보였다.

Cr은 서해병해역의 휴식년 구획에서 과거 가장 농도가 높았던 중금속으로 YB-026에서는 2011년에 비해 농도 차이가 없지만, 나머지 2개 구획에서는 모두 농도가 감소하였다.

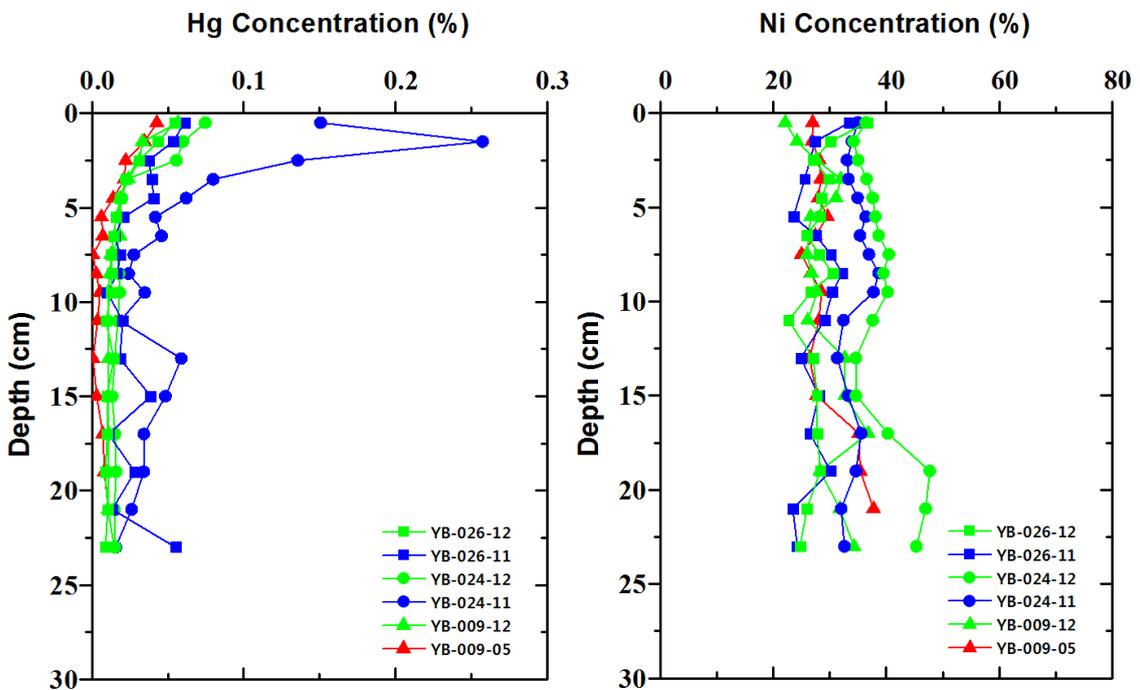
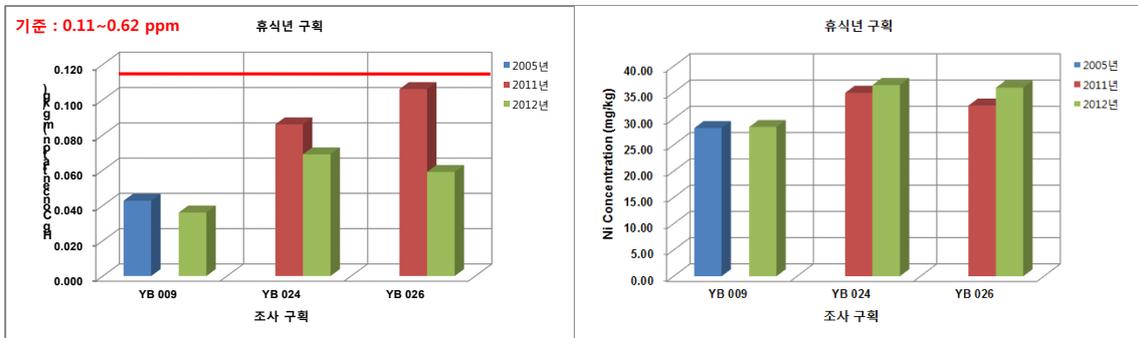


그림 2-8-31. (계속)

Cu는 퇴적물 기준이 50.5~126ppm으로 Cd와 마찬가지로 서해병해역 휴식년 구획의 퇴적물은 모두 기준치 이하로 나타났다. 표층퇴적물의 농도변화는 약간 감소 또는 유의한 변화의 경향은 나타나지 않았다.

Hg은 모든 조사구획에서 퇴적물 기준 0.11~0.62 이하였고 2011년에 비해 다소 감소하였고, Ni은 조금 증가하는 경향을 보였다.

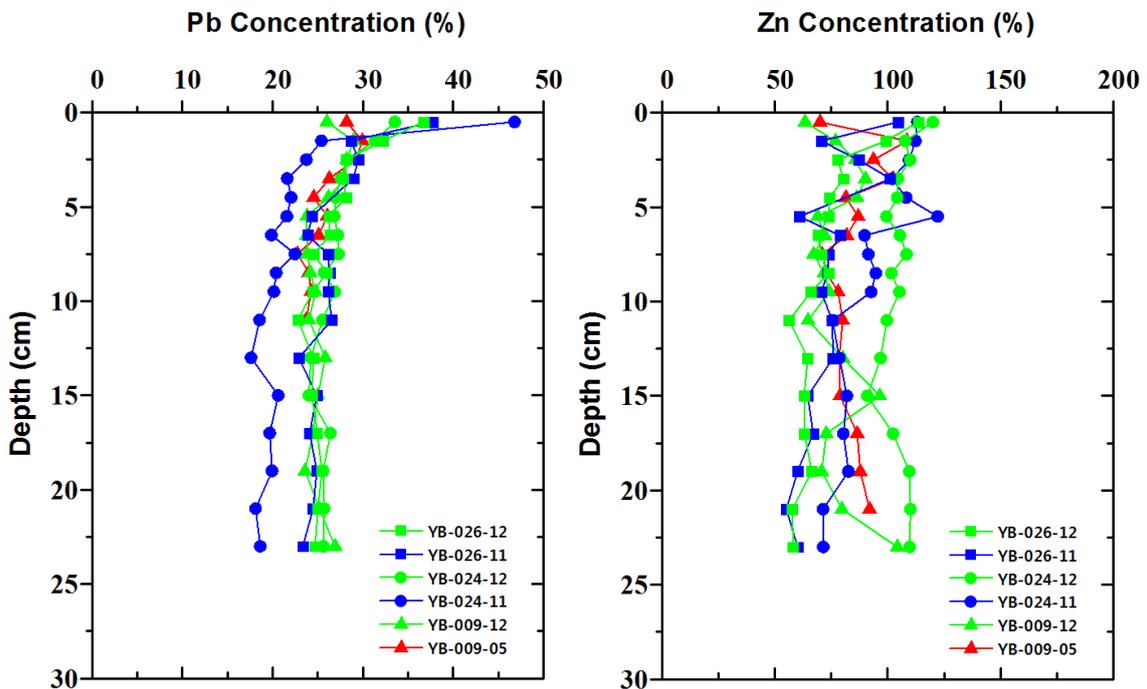
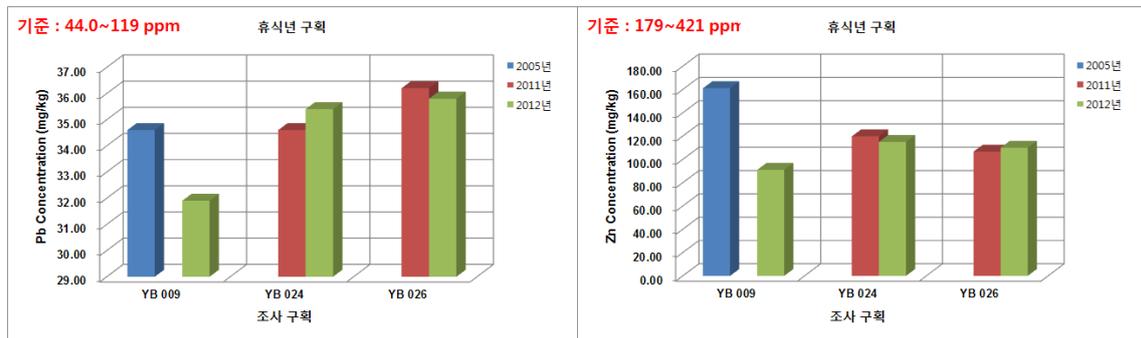


그림 2-8-31. (계속)

Pb은 퇴적물기준(44~119ppm)을 초과하는 구획은 없었고, YB-009 구획은 2005년에 비해 감소하였으나 YB-024에서는 약간 증가 및 YB-026 구획에서는 약간 감소한 것처럼 보이지만 의미있는 변화로는 볼 수는 없다

Zn 역시 Pb과 마찬가지로 퇴적물 기준(179~421ppm) 이하였고, YB-009 구획은 2005에 비해 유의하게 감소하였지만, 나머지 2개 구획은 의미있는 변화 경향은 보이지 않았다.

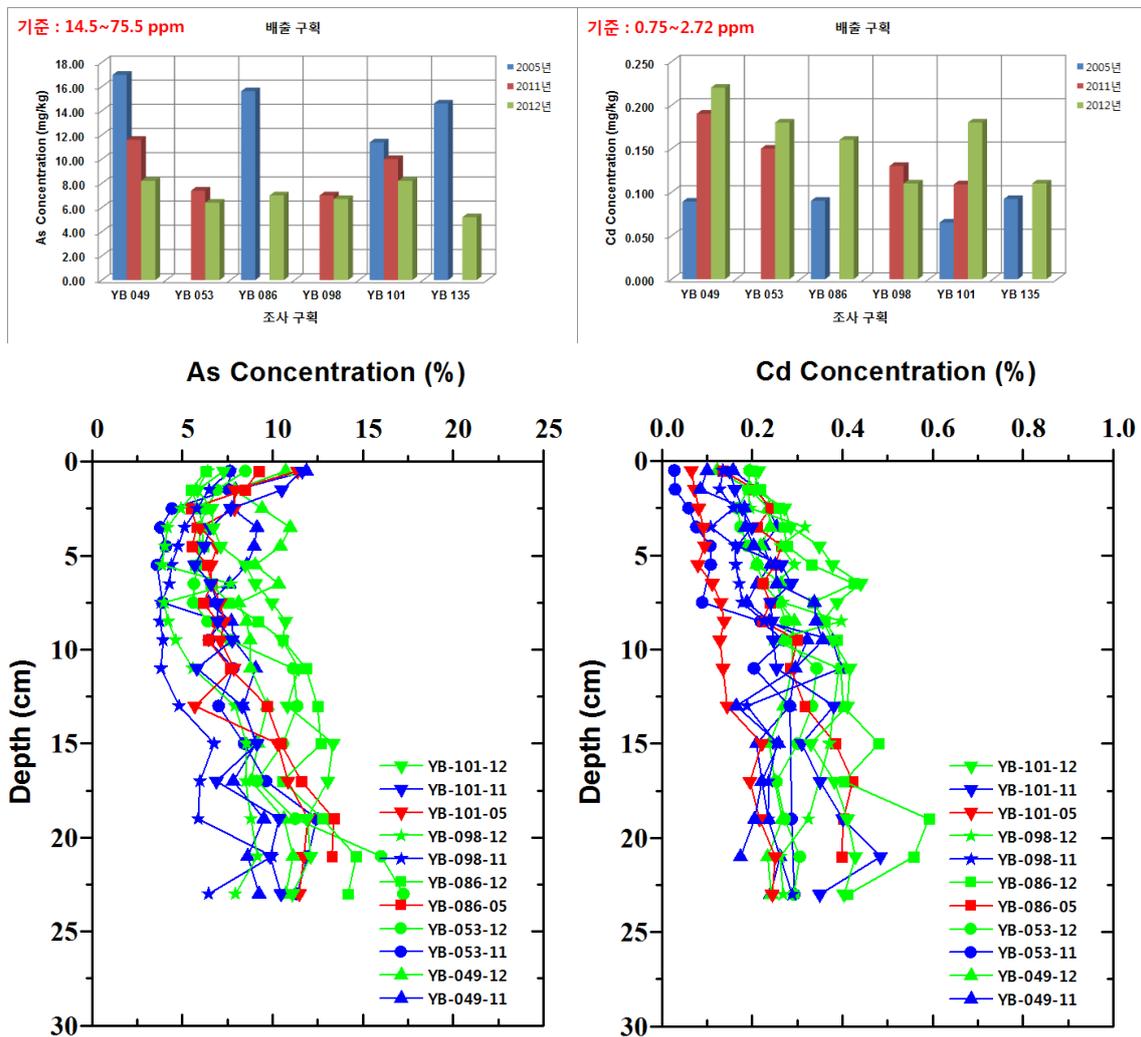


그림 2-8-31. (계속)

서해병해역의 현재 폐기물을 배출하고 있는 구획에서의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간 변화를 그림 2-8-32에 나타내었다.

모든 중금속에서 해양퇴적물 기준을 초과하는 구획은 없었다.

As 는 모든 조사구획에서 예년에 비해 다소 감소 또는 유의한 농도변화는 보이지 않았다.

Cd은 YB-098 구획의 표층퇴적물에서 2011년에 비해 약간 감소하였고, 나머지 모든 구획에서 증가하는 경향을 나타내었다. 퇴적물 깊이에 따른 농도 변화 역시 대부분의 조사구획에서 예년에 비해 다소 높은 농도를 보였다.

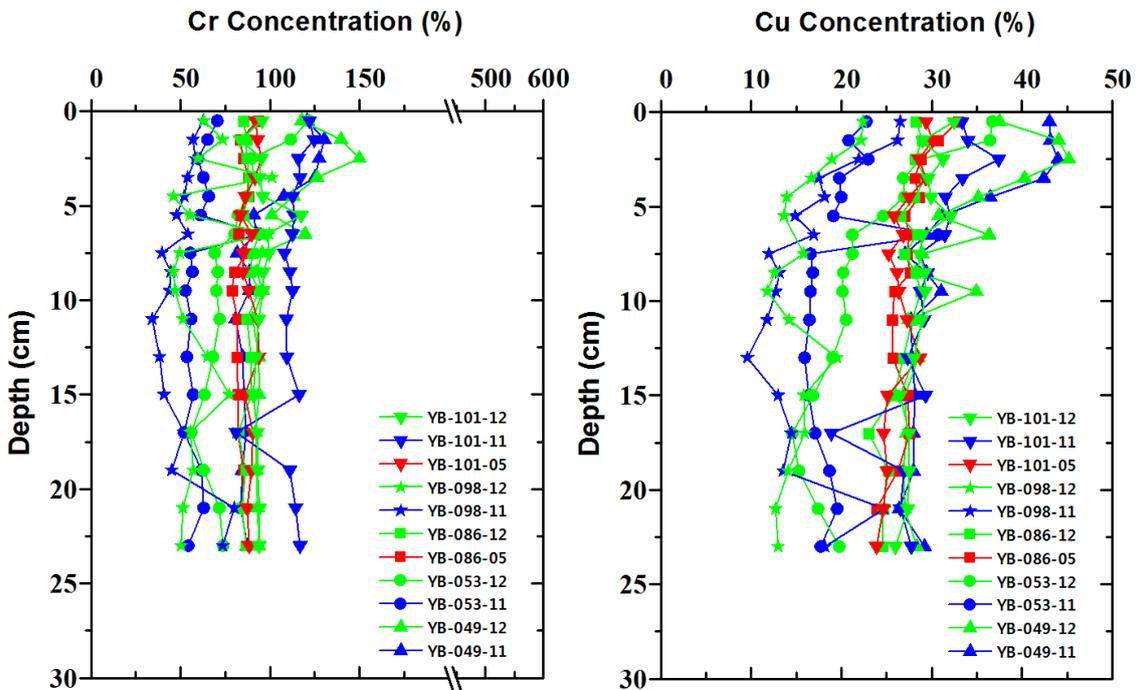
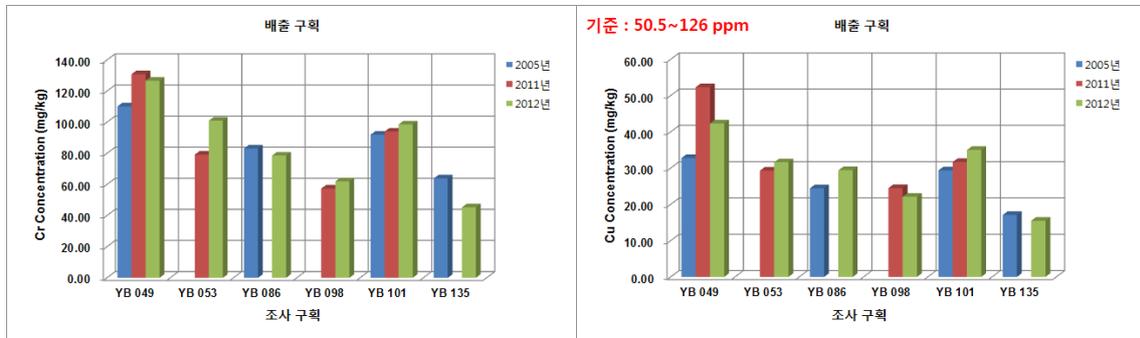


그림 2-8-32. 서해병해역 배출 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화

Cr은 YB-086 및 YB-135 구획에서 약간 감소하고, 나머지 조사구획에서는 모두 증가하는 경향을 보이고 있었다.

Cu역시 Cr과 유사한 경향으로 대부분의 조사 구획에서 증가하고 있었다.

Hg은 2005년에 비해 2011년도에 대부분의 조사 구획에서 증가하였지만, 2005년에는 일부 구획에서 다소 감소하였다.

Ni은 As와 마찬가지로 모든 조사구획에서 유의한 농도변화 경향은 보이지 않았다.

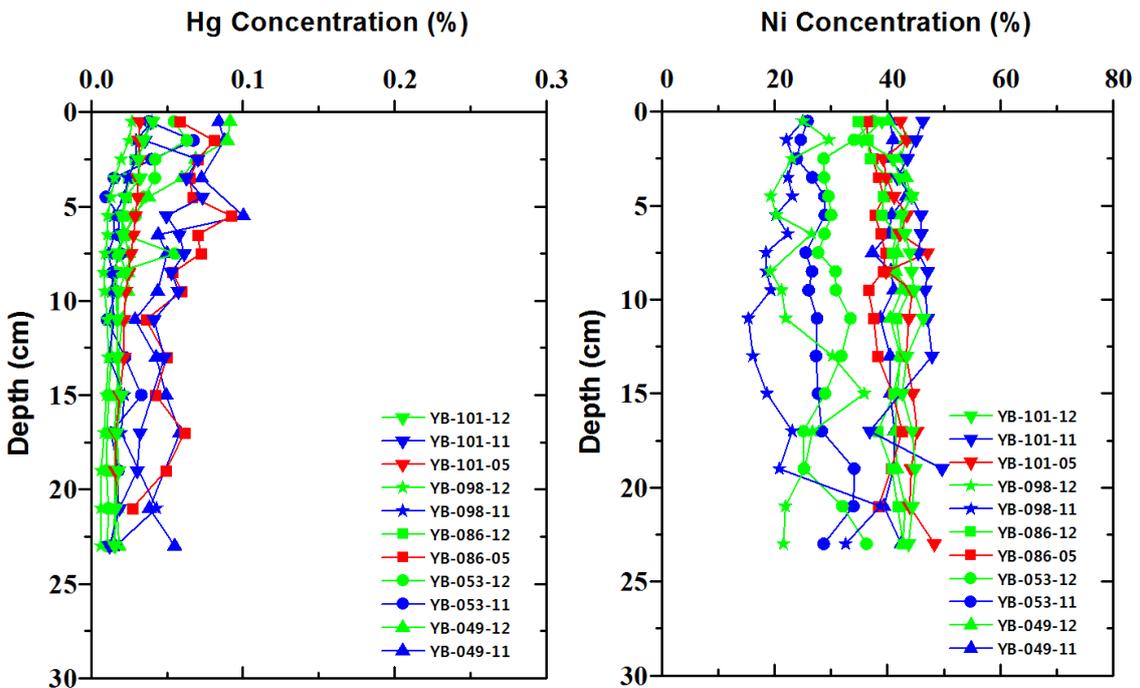
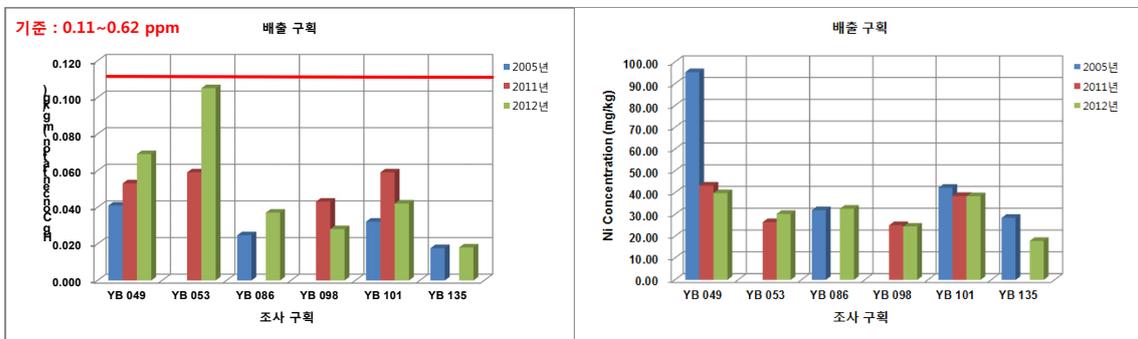


그림 2-8-32. (계속)

Pb 및 Zn은 As 등과 마찬가지로 모든 조사구획에서 의미있는 농도변화는 보이지 않았다.

이와같이 Cd, Cu, Cr 등의 중금속 농도가 증가하는 것은 휴식년제 시행 이후, 그동안 폐기물을 배출하지 않았던 구획에 폐기물 배출의 영향으로 사료되며, 특히 Cd, Cu, Cr 등의 농도가 높은 폐기물(예, 폐수,오니류 등)의 해 퇴적물에 일부 중금속이 축적되고 있는 것을 시사한다.

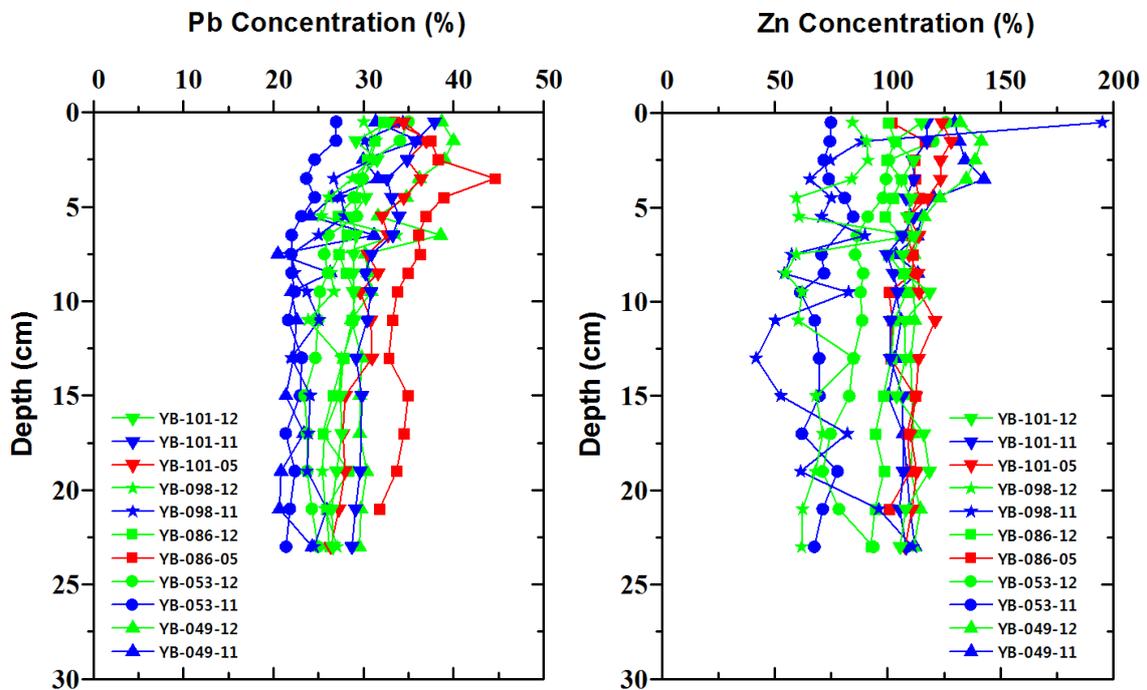
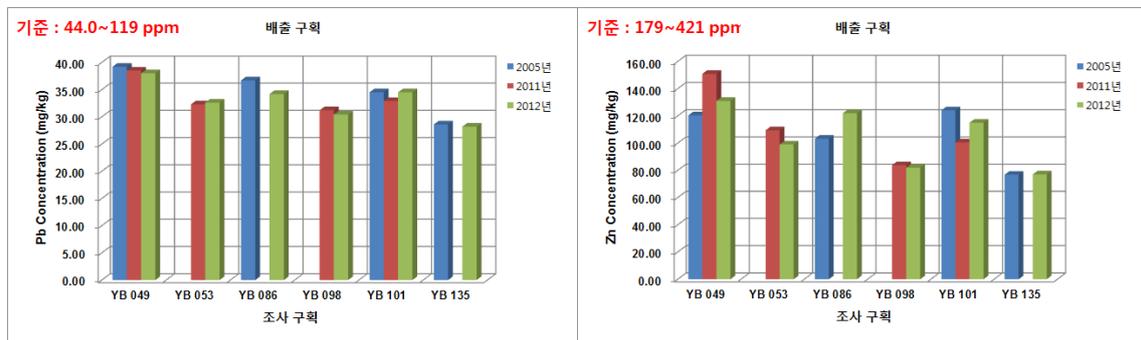


그림 2-8-32. (계속)

서해병해역 대조구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화를 그림 2-8-33에 나타내었다.

As는 2005년에 비해서는 감소하였지만, 2011년에 비해서는 유의한 차이가 없었다. Cd은 모든 조사구획에서 감소하는 경향을 나타내었다.

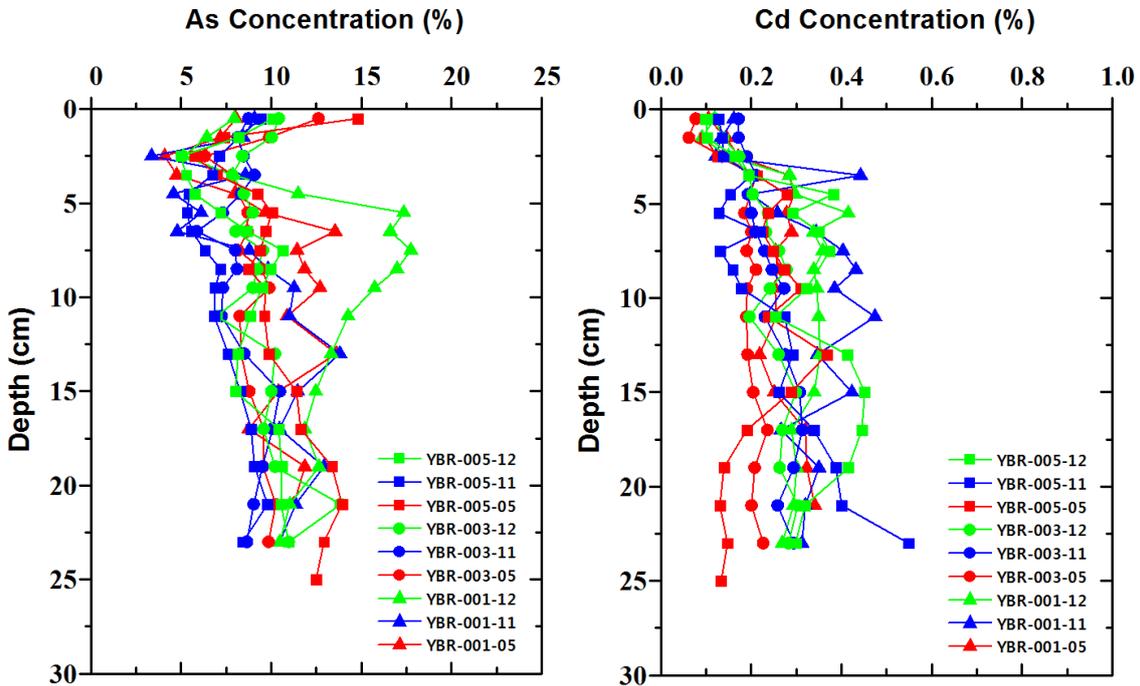
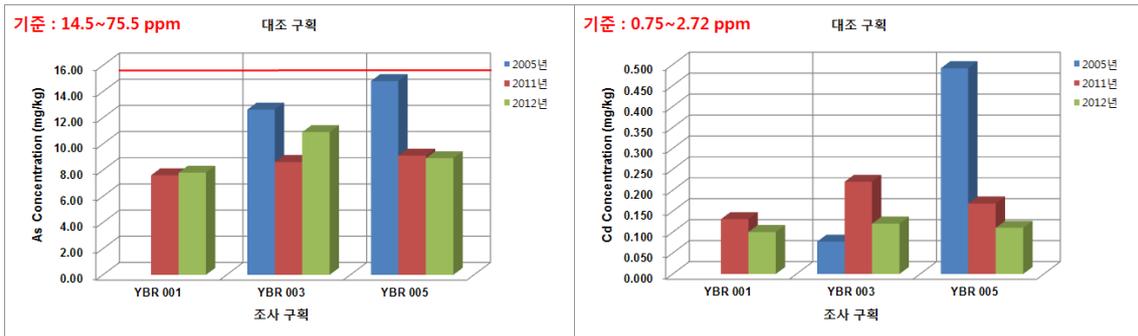


그림 2-8-33. 서해병해역 배출 구획의 퇴적물중 중금속 농도의 연간변화

Cr은 YBR-001에서 2011년에 비해 약간 감소하였고, 나머지 2개 구획에서는 유의한 차이가 보이지 않았다.

Cu는 모든 조사구획에서 2011년에 비해 감소하였다.

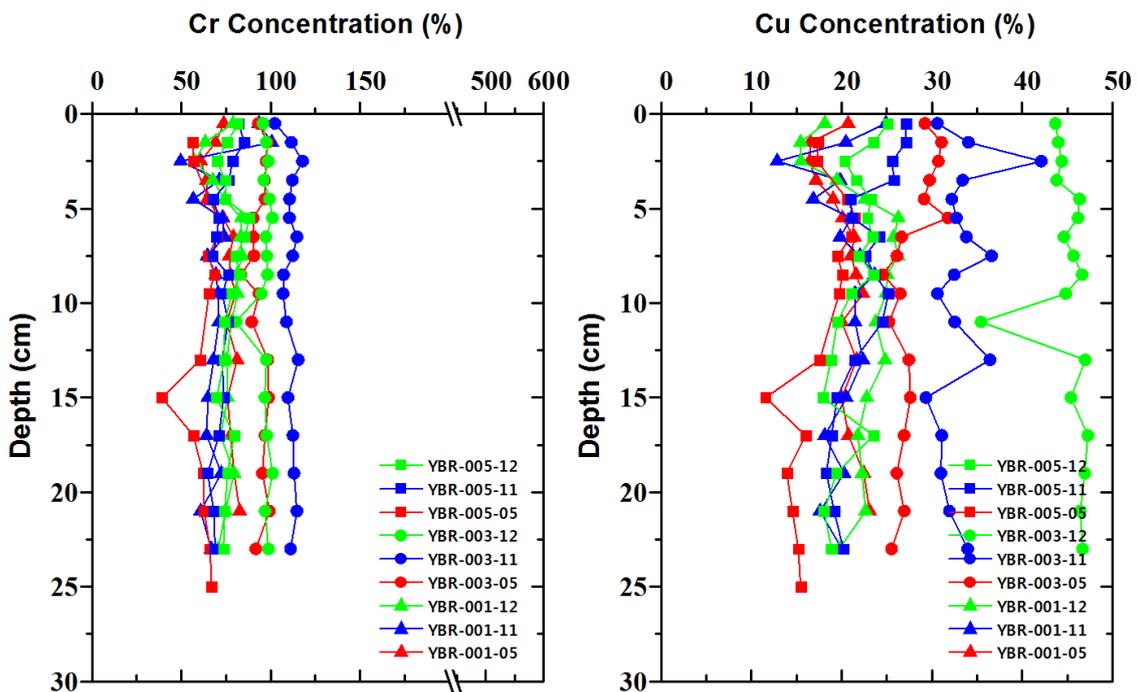
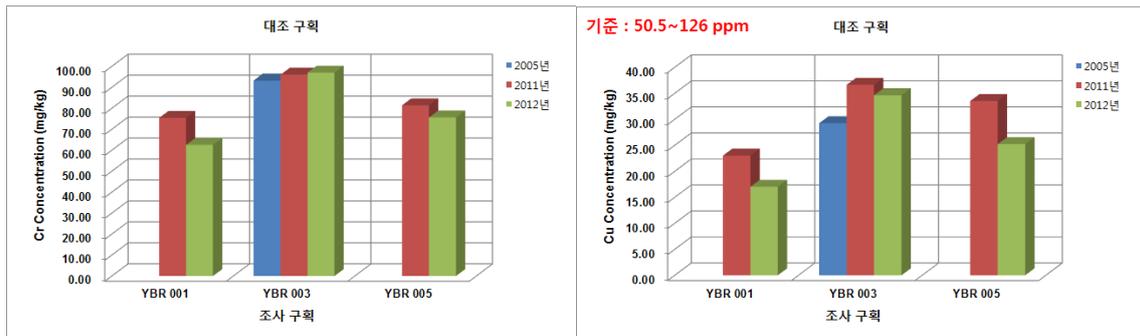


그림 2-8-33. (계속)

Hg은 모든 조사구획에서 2006년에 비해 2011에 다소 증가하였고 2012년에는 감소하였다. Ni은 2011년도에 비해 2012년도에는 의미있는 차이는 보이지 않았다.

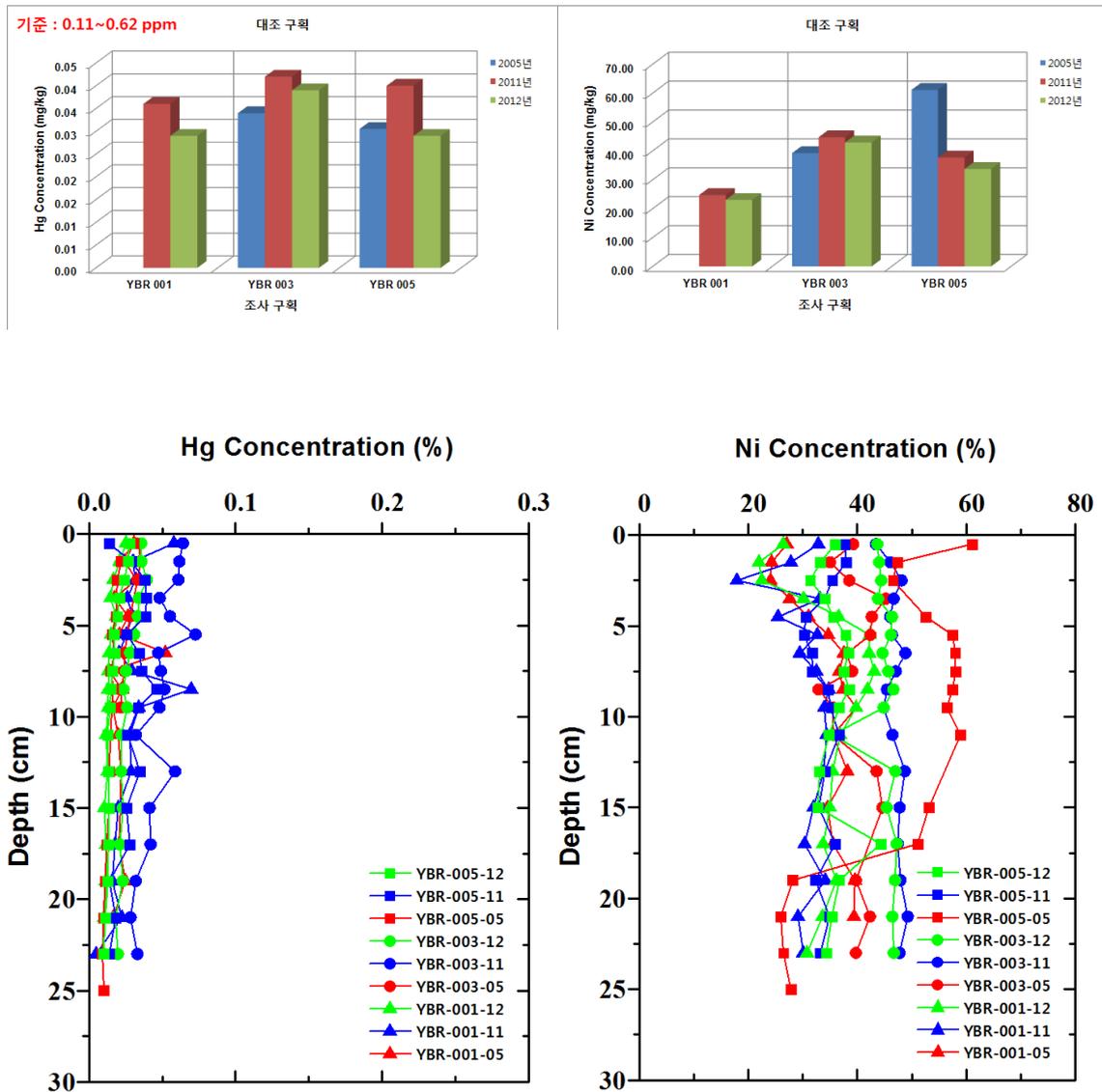


그림 2-8-33. (계속)

Pb과 Zn 역시 대조구획의 모든 조사 정점에서 의미있는 차이는 보이지 않았다.

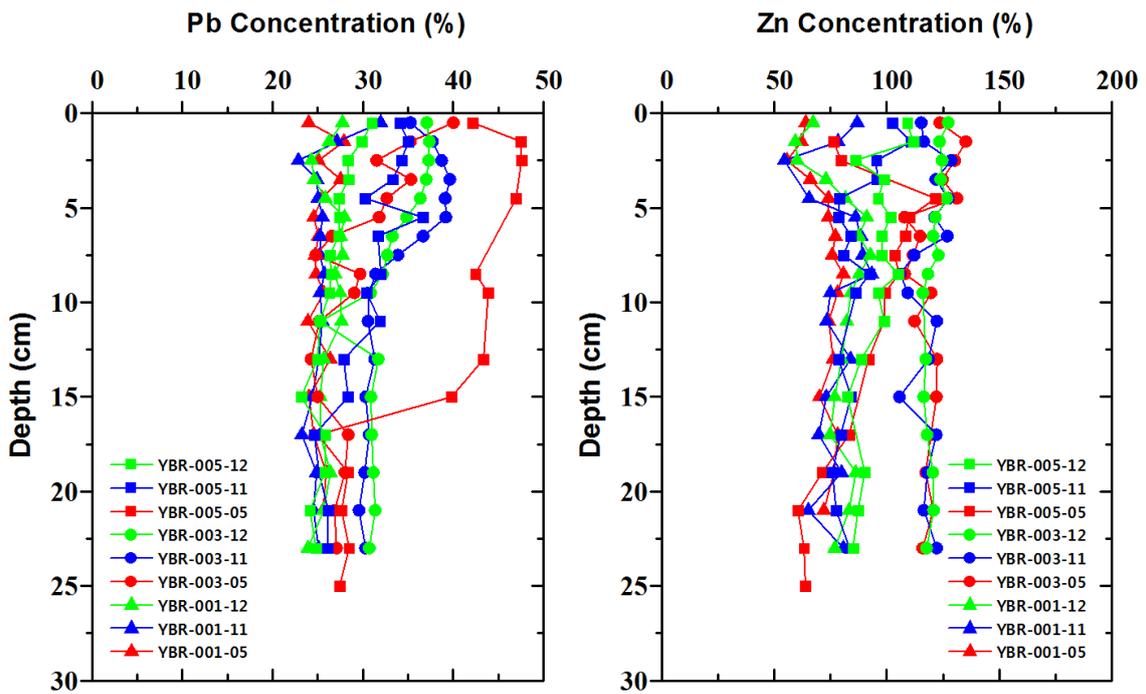
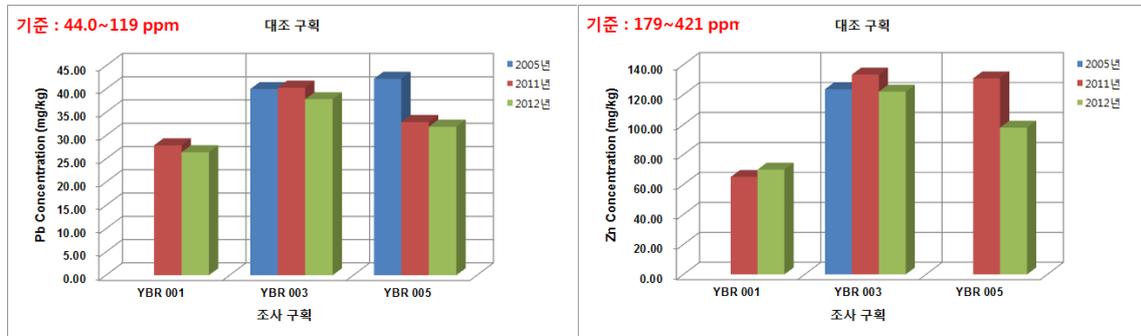


그림 2-8-33. (계속)

표 2-8-10. 서해병해역 퇴적물 중 AI 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	7.44	6.49	7.45	7.67	8.22	7.86	7.25	7.96	7.60	7.97	9.07	7.75	7.13	6.92
1.5	7.68	6.80	6.91	7.42	6.76	7.47	8.45	8.21	6.90	7.63	8.86	8.00	6.73	6.95
2.5	7.89	7.25	6.91	7.79	6.95	7.04	8.30	8.12	7.34	7.33	9.30	8.18	6.83	6.37
3.5	7.70	7.52	7.50	8.09	7.02	7.36	8.00	8.50	8.06	7.08	9.62	8.48	6.49	6.23
4.5	7.99	7.60	7.49	8.02	7.24	7.24	8.31	8.82	7.79	7.08	8.84	8.54	6.89	6.05
5.5	7.91	7.04	7.88	8.07	6.65	7.18	8.23	8.58	8.16	7.16	9.14	8.23	6.61	6.40
6.5	7.88	7.18	8.00	8.20	7.29	7.19	8.23	10.62	8.78	7.29	9.37	8.56	7.13	7.05
7.5		7.10	8.02	7.87	8.88	7.11	7.57	8.54	7.98	7.39	9.66	8.14	6.06	6.41
8.5	7.52	6.95	8.14	7.91	8.23	7.84	8.05	8.42	7.97	7.52	10.17	8.58	6.30	6.22
9.5	6.61	6.76	7.84	8.08	7.59	6.73	8.27	8.69	7.66	7.59	9.70	8.57	6.04	6.11
11	7.73	6.69	7.59	7.92	8.17	6.42	7.61	8.13	6.79	7.74	8.91	8.12	5.97	6.50
13	7.40	7.72	7.22	7.65	6.87	6.90	8.04	8.36	6.43	7.65	9.16	8.08	6.00	7.32
15	6.19	7.22	7.61	7.40	7.10	7.02	8.28	8.56	6.49	7.20	9.58	7.85	6.58	6.87
17	8.16	7.02	7.56	7.73	6.89	6.85	8.50	8.52	7.90	6.95	9.37	7.95	6.38	6.73
19	8.28	7.37	7.52	8.35	7.22	7.36	7.93	8.69	6.93	6.81	9.46	8.31	6.36	6.29
21	8.60	7.68	7.21	8.25	6.41	7.31	7.83	8.79	6.54	7.08	9.52	8.11	7.86	6.51
23		7.96	7.26	8.54	6.54	6.76	8.24	8.61	6.67	7.29		8.07	7.47	6.26
25														

표 2-8-10. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	11.12	8.08	8.13	6.15	8.10	7.71	6.73	8.32	8.04	8.55	8.01	8.01	7.78
1.5	10.32	8.08	7.11	5.99	6.74	7.20	6.77	8.84	8.84	8.50	7.52	7.92	7.65
2.5	10.98	7.95	8.64	6.07	6.87	6.38	6.47	8.68	8.54	8.54	7.96	8.29	7.20
3.5	11.57	7.68	8.09	6.07	7.02	7.72	7.17	8.59	8.99	8.43	8.84	8.35	7.72
4.5	12.33	7.30	8.46	6.64	7.01	6.99	7.71	8.93	8.45	8.81	7.51	7.67	7.62
5.5	11.84	8.41	8.28	6.44	7.35	7.54	8.11	8.68	8.62	8.73	9.04	7.26	8.17
6.5	12.86	8.05	8.74	6.67	7.56	7.35	8.15	8.61	8.89	8.42	8.70	7.74	8.02
7.5	11.38	7.79	8.54	6.78	7.55	7.85	8.00	8.07	8.56	8.80	9.01	7.50	7.91
8.5	11.88	7.95	8.72	6.56	7.35	7.72	8.18	7.63	8.03	8.92	7.98	8.74	7.94
9.5	11.17	8.15	8.85	6.57	7.68	7.72	8.23	8.03	8.41	8.84		8.41	7.88
11	11.77	8.20	8.30	6.29	7.41	7.48	8.01	7.41	8.42	7.18	8.38	8.23	7.65
13	9.35	8.18	8.42	6.80	7.23	7.35	7.60	9.95	8.92	8.98	8.46	7.65	7.58
15	10.24	8.15	8.22	6.10	7.42	7.45	7.51	10.89	8.61	8.55	8.38	8.11	7.18
17	9.90	5.62	8.37	6.11	6.64	7.06	7.42		8.60	8.80	8.89	8.03	7.66
19	9.35	8.12	8.43	5.80	7.63	7.72	7.71		8.74	8.70	7.18	7.15	7.85
21	10.09	8.11	8.14	6.09	7.57	7.35	7.69		8.82	8.76	7.16	7.97	7.52
23	9.16	7.99	8.29			7.82	7.30		8.89	8.86	7.64	7.89	7.44
25											7.32		

표 2-8-11. 서해병해역 퇴적물 중 As 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	966	446	1170	1127	1045	1177	1188	1073	763	850	923	630	763	641
1.5	591	465	1338	767	680	648	795	790	759	691	846	547	648	580
2.5	455	508	762	723	559	496	775	942	443	633	548	597	580	493
3.5	413	594	731	712	445	557	914	1097	379	596	581	608	513	418
4.5	457	661	844	812		548	899	1044	410	593	552	618	477	403
5.5	456	720	690	857	411	666	858	904	361	591	638	570	440	387
6.5	500	687	903	984	489	663	761	1033		564	663	656	428	770
7.5	635	908	1009	1029	706	816	646	812	390	561	616	757	383	399
8.5	802	1035	1189	1296	1090	924	772	856	712	642	694	921	377	421
9.5	1034	1149	1370	1430	913	1010	785	877	647	766	644	1057	394	463
11	1266	1046	1038	1251	891	739	906	878	781	1114	765	1185	382	558
13	1270	1195	1082	1191	791	767	836	972	701	1136	969	1248	483	792
15	1103	1300	1010	1246	814	801	909	920	843	1057	1046	1268	676	856
17	1101	1354	994	1516	776	940	783	882	963	912	1159	1054	598	850
19	1238	1088	978	2153	1111	1083	952	1062	1244	1127	1339	1276	588	880
21	1376	1267	1172	2096	910	985	862	1113	1195	1602	1328	1463	997	916
23		1188	1162	1880	993	924	925	1073	1134	1725		1418	645	794
25														

표 2-8-11. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	11.38	11.64	7.29	4.92	8.04	9.07	7.95	12.62	8.74	10.43	14.80	9.41	10.09
1.5	7.91	10.51	5.85	3.61	7.18	8.45	6.43	9.89	8.15	10.03	7.38	8.19	8.18
2.5	7.90	7.69	6.62	3.39	4.10	3.37	5.14	6.32	8.46	8.40	5.77	7.11	4.98
3.5	5.99	6.55	6.72	3.73	4.76	8.57	7.87	7.83	9.08	7.85	6.98	6.73	5.28
4.5	6.93	6.22	7.12	4.33	7.97	4.59	11.50	8.19	8.33	8.48	9.25	5.44	5.76
5.5	6.60	5.69	8.49	4.81	9.67	6.11	17.36	8.70	7.32	8.99	10.04	5.33	7.19
6.5	6.60	6.57	9.05	4.99	13.54	4.80	16.60	8.68	5.87	8.03	9.70	5.58	8.67
7.5	7.10	6.94	9.98	5.81	11.44	8.78	17.75	8.16	8.01	9.54	9.39	6.33	10.65
8.5	7.32	6.96	10.72	6.28	11.85	9.82	16.99	9.47	8.10	9.23	8.73	7.18	9.97
9.5	7.11	7.77	10.54	7.08	12.71	11.27	15.74	9.89	7.32	8.99	9.67	6.89	9.49
11	7.85	5.82	11.44	9.98	10.88	11.01	14.26	8.27	7.25	6.98	9.62	6.83	8.83
13	5.70	8.32	10.83	8.52	13.61	13.81	13.33	8.33	8.50	10.21	9.87	7.62	8.17
15	10.28	9.14	13.35	9.19	10.40	11.47	12.48	8.78	10.48	10.01	11.39	8.28	8.01
17	10.85	6.89	13.06	8.97	8.76	10.46	11.86	9.58	10.08	9.57	11.63	8.89	10.41
19	11.95	10.36	11.90	7.44	11.86	12.92	12.65	9.55	9.51	10.20	13.38	9.08	10.58
21	11.73	9.86	12.11	8.52	11.26	11.35	11.03	10.25	9.04	13.84	13.92	9.80	10.54
23	11.47	10.47	11.10			10.48	10.48	9.85	8.65	10.97	12.92	8.43	10.96
25											12.48		

표 2-8-12. 서해병해역 퇴적물 중 Cd 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	0.12	0.42	0.16	0.17	0.13	0.11	0.16	0.12	0.03	0.19	0.13	0.20	0.14	0.20
1.5	0.18	0.24	0.26	0.19	0.17	0.16	0.21	0.20	0.03	0.19	0.21	0.22	0.13	0.19
2.5	0.22	0.28	0.28	0.20	0.23	0.15	0.24	0.24	0.06	0.17	0.24	0.26	0.16	0.20
3.5	0.20	0.31	0.24	0.24	0.19	0.18	0.25	0.24	0.08	0.17	0.21	0.27	0.11	0.32
4.5	0.19	0.27	0.36	0.23		0.16	0.23	0.22	0.11	0.19	0.26	0.28	0.16	0.26
5.5	0.26	0.22	0.27	0.23	0.16	0.23	0.24	0.21	0.11	0.21	0.25	0.33	0.16	0.29
6.5	0.19	0.23	0.29	0.29	0.21	0.22	0.21	0.26		0.22	0.22	0.43	0.17	0.25
7.5	0.22	0.25	0.29	0.31	0.41	0.27	0.19	0.26	0.09	0.26	0.24	0.34	0.18	0.27
8.5	0.20	0.32	0.38	0.38	0.37	0.35	0.24	0.29	0.22	0.27	0.22	0.36	0.23	0.40
9.5	0.26	0.31	0.45	0.40	0.41	0.33	0.32	0.29	0.27	0.27	0.30	0.39	0.38	0.25
11	0.29	0.31	0.36	0.38	0.35	0.34	0.30	0.29	0.20	0.34	0.29	0.40	0.40	0.39
13	0.32	0.39	0.41	0.40	0.37	0.56	0.28	0.27	0.28	0.33	0.32	0.40	0.19	
15	0.52	0.39	0.59	0.38	0.44	0.39	0.21	0.24		0.30	0.38	0.48	0.25	0.37
17	0.57	0.35	0.47	0.43	0.43	0.28	0.22	0.25		0.25	0.42	0.40	0.24	
19	0.63	0.42	0.42	0.47	0.27	0.27	0.24	0.27	0.29	0.27	0.40	0.59	0.24	0.32
21	0.55	0.40	0.43	0.46	0.25	0.26	0.26	0.23		0.31	0.40	0.56		0.26
23		0.48	0.39	0.44	0.28	0.22	0.24	0.24	0.29	0.29		0.41	0.29	0.27
25														

표 2-8-12. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	0.07	0.15	0.21	0.10	0.10	0.16	0.12	0.08	0.17	0.12		0.13	0.10
1.5	0.07	0.16	0.20	0.09	0.14	0.13	0.09	0.06	0.17	0.14	0.10	0.14	0.10
2.5	0.08	0.18	0.27	0.18	0.17	0.12	0.15	0.14	0.19	0.17	0.13	0.14	0.16
3.5	0.09	0.20	0.29	0.19	0.28	0.44	0.29	0.21	0.21	0.20	0.21	0.20	0.19
4.5	0.09	0.17	0.35	0.20	0.30	0.20	0.30	0.20	0.19	0.20	0.28	0.15	0.38
5.5	0.08	0.27	0.38	0.25	0.28	0.26	0.42	0.18	0.20	0.24	0.24	0.13	0.29
6.5	0.11	0.29	0.44	0.25	0.29	0.34	0.34	0.20	0.21	0.23	0.22	0.22	0.35
7.5	0.13	0.24	0.39	0.34	0.25	0.40	0.36	0.19	0.23	0.26	0.25	0.13	0.37
8.5	0.14	0.24	0.36	0.34	0.26	0.43	0.34	0.21	0.25	0.28	0.27	0.16	
9.5	0.13	0.25	0.38	0.36	0.25	0.39	0.35	0.19	0.27	0.24	0.31	0.18	0.32
11	0.14	0.25	0.42	0.30	0.26	0.47	0.35	0.19	0.23	0.20	0.24	0.27	0.25
13	0.14	0.38	0.41	0.16	0.22	0.35	0.35	0.19	0.28	0.26	0.37	0.29	0.41
15	0.22	0.31	0.33	0.26	0.25	0.42	0.34	0.20	0.31	0.30	0.29	0.26	0.45
17	0.20	0.35	0.38	0.22	0.32	0.27	0.29	0.24	0.31	0.27	0.19	0.34	0.45
19	0.22	0.40	0.41	0.21	0.32	0.35	0.30	0.21	0.29	0.26	0.14	0.39	0.42
21	0.25	0.48	0.43	0.17	0.34	0.32	0.29	0.20	0.26	0.30	0.13	0.40	0.32
23	0.24	0.35	0.40			0.31	0.27	0.23	0.29	0.28	0.15	0.55	0.30
25											0.13		

표 2-8-13. 서해병해역 퇴적물 중 Cr 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	95.54	51.78	172.23	167.69	172.62	131.20	120.84	117.71	70.63	121.74	93.31	85.36	62.75	63.08
1.5	96.92	83.94	589.93	167.95	102.14	112.10	130.41	139.73	65.23	111.67	83.27	86.81	56.91	73.46
2.5	95.44	93.98	169.44	128.60	134.63	88.13	127.50	149.97	59.69	89.46	85.06	86.89	58.31	59.65
3.5	79.46	91.54	120.34	93.76	62.16	80.54	125.16	126.32	62.81	91.22	87.88	88.46	53.99	101.15
4.5	69.26	78.32	104.22	86.66		73.95	107.67	113.11	65.71	86.90	87.77	87.61	52.03	45.97
5.5	77.12	64.01	79.52	85.70	62.21	66.19	90.94	101.00	61.16	82.13	83.82	85.15	47.77	55.17
6.5	61.80	64.30	76.25	82.84	61.18	61.00	92.26	119.61	94.27	80.21	82.59	93.58	54.10	99.51
7.5	50.17	60.20	79.97	82.37	66.92	67.99	81.70	95.59	55.48	69.04	86.90	90.38	39.53	49.51
8.5	62.56	64.26	80.14	83.44	67.36	65.49	88.37	92.53	56.61	70.87	80.22	88.73	44.51	45.89
9.5	62.91	67.52	75.07	83.87	68.17	62.13	88.64	95.94	52.75	70.06	78.62	93.85	43.78	47.01
11	58.27	57.78	62.84	81.50	61.28	50.83	80.83	90.39	55.87	71.79	81.88	87.20	34.09	51.34
13	55.65	69.16	59.83	76.17	52.35	61.21	84.64	93.70	53.51	68.17	81.49	89.32	38.25	65.01
15	58.92	69.56	66.23	72.81	60.80	61.18	85.45	93.95	57.10	63.44	82.15	89.56	40.74	77.19
17	69.81	79.87	71.06	80.72	59.95	59.39	86.64	91.99	51.90	56.05	82.03	82.29	52.00	55.56
19	74.32	60.69	70.00	90.47	59.92	62.73	84.49	92.37	61.76	62.93	85.10	86.39	45.01	57.09
21	76.33	69.95	63.13	88.95	48.31	59.18	83.87	93.11	62.92	71.74	84.57	84.17	80.04	51.26
23		75.16	63.34	89.70	51.87	54.53	87.19	93.75	54.29	73.80		86.76	73.53	50.22
25														

표 2-8-13. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	91.99	122.09	95.61	41.33	73.73	93.40	78.97	93.22	102.41	95.77		82.10	81.74
1.5	93.08	124.67	83.41	37.82	69.22	100.62	63.43	98.22	111.55	97.58	56.60	85.25	75.62
2.5	95.13	115.83	95.21	37.16	60.90	49.65	57.40	97.54	117.87	98.76	56.70	78.61	69.96
3.5	91.61	116.83	94.04	39.78	64.13	71.23	67.58	96.64	112.15	96.15		76.63	74.54
4.5	86.19	112.64	96.02	43.72	64.61	56.66	74.21	96.87	110.57	99.41	65.34	67.86	74.84
5.5	83.45	113.44	117.50	43.87	73.49	72.94	83.62	90.31	110.46	100.99	70.81	70.96	88.13
6.5	89.76	112.56	98.44	43.38	79.17	74.09	83.21	90.31	114.66	97.23	70.01	69.73	85.39
7.5	85.17	108.12	99.46	54.47	76.96	64.67	84.11	90.72	112.36	97.81	65.09	67.64	80.34
8.5	84.89	111.14	96.23	49.49	77.48	69.37	81.18	83.24	107.23	98.26	68.55	76.29	82.84
9.5	88.15	112.68	96.04	49.36	80.40	70.63	81.49	93.56	107.00	94.88	65.46	73.06	78.38
11	93.04	109.16	93.74	49.17	75.31	71.01	78.08	89.45	108.81	80.61		76.08	74.23
13	93.77	109.40	92.19	49.40	81.20	67.95	75.46	98.36	115.43	97.59	60.39	72.96	74.04
15	85.89	116.27	90.69	50.38	75.88	64.87	75.95	98.90	109.71	96.82	39.13	73.64	69.79
17	90.47	81.13	92.89	46.07	77.60	64.14	72.03	96.89	112.48	97.87	56.67	71.09	79.56
19	89.58	111.03	93.11	44.07	79.59	72.38	79.53	95.39	113.08	101.23	62.23	64.72	75.82
21	87.25	114.30	94.12	39.78	82.68	60.76	74.69	99.29	114.67	96.89	62.84	68.13	74.32
23	88.33	116.73	93.88			66.73	70.65	91.73	111.17	98.74	66.09	68.92	73.61
25											66.82		

표 2-8-14. 서해병해역 퇴적물 중 Cu 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	2483	15.24	46.06	37.08	33.28	35.11	43.04	37.53	22.76	36.72	32.93	28.26	26.52	22.38
1.5	2391	21.90	37.24	33.05	24.45	30.06	43.15	44.08	20.80	36.44	30.70	28.95	26.21	22.18
2.5	2418	23.84	35.95	29.77	29.49	21.59	43.98	45.21	22.97	28.79	28.79	28.13	21.91	18.94
3.5	20.51	25.84	31.45	26.69	18.58	23.03	42.42	40.29	19.78	26.85	28.11	29.32	17.50	16.68
4.5	18.56	22.81	33.66	26.32		20.30	36.48	35.17	19.98	26.95	28.61	28.07	18.14	13.95
5.5	20.18	20.30	27.69	25.03	18.41	19.39	31.19	30.76	19.11	24.62	27.01	26.51	14.87	13.66
6.5	17.38	18.33	26.49	24.62	19.05	17.40	29.42	36.37	30.72	21.21	27.51	28.40	16.94	
7.5	15.19	16.89	25.42	24.32	20.08	18.39	27.06	28.94	16.58	21.24	27.24	27.00	11.98	15.83
8.5	16.09	18.99	26.48	25.74	19.76	19.91	29.42	28.23	16.83	20.20	27.63	28.19	13.14	12.62
9.5	17.43	18.45	24.75	24.56	21.65	15.76	31.06	34.95	16.59	20.14	25.87	28.81	12.73	11.79
11	16.41	16.06	20.75	23.34	18.50	13.48	27.72	27.41	16.45	20.54	25.65	27.82	11.75	14.21
13	15.23	19.85	19.68	21.36	14.91	17.23	27.83	28.49	15.92	19.00	25.68	26.86	9.58	19.51
15	16.28	22.27	22.07	20.73	18.52	17.53	28.15	27.08	16.38	16.87	27.32	25.82	12.99	15.83
17	20.38	19.69	22.91		16.90	16.92	27.97	27.22	17.09	14.56	27.55	23.00	14.46	15.94
19	21.10	17.52	23.36	25.90	17.18	16.72	27.97	26.86	18.69	15.30	26.26	25.20	13.54	14.09
21	22.93	20.31	21.03	26.63	15.05	15.74	26.41	27.01	19.53	17.41	23.85	24.63	24.75	12.71
23		21.59	20.92	26.11	16.39	14.64	29.19	28.33	17.71	19.77		24.53	18.17	12.98
25														

표 2-8-14. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	29.37	33.37	32.47	14.39	20.72	24.91	18.13	29.22	30.61	43.69		27.15	25.13
1.5	30.10	34.02	29.01	10.21	16.53	20.48	15.46	31.08	34.06	44.00	17.38	27.14	23.56
2.5	28.59	37.42	31.25	9.66	16.45	12.86	15.49	30.72	42.11	44.40	17.29	25.58	20.33
3.5	29.35	33.41	29.60	11.11	17.16	19.83	19.49	29.74	33.42	43.82		25.79	21.64
4.5	27.51	31.50	29.93	11.71	19.07	16.86	22.58	29.13	32.19	46.37	20.62	21.02	23.26
5.5	25.83	32.03	32.11	11.73	20.08	21.07	26.27	31.76	32.72	46.17	21.49	21.19	22.86
6.5	26.86	31.43	28.97	12.76	21.41	19.84	25.77	26.64	33.82	44.63	21.05	24.17	23.48
7.5	25.23	28.64	28.64	16.55	21.06	22.02	26.25	26.12	36.61	45.69	19.56	22.61	21.92
8.5	26.17	29.53	29.25	14.95	21.61	23.64	25.06	24.56	32.47	46.65	20.09	23.66	23.56
9.5	26.34	28.74	29.25	15.36	22.37	21.49	24.91	26.49	30.60	44.83	19.73	25.17	21.08
11	27.29	29.16	28.88	13.50	20.02	21.50	23.78	25.26	32.52	35.45		24.50	19.55
13	28.70	27.34	28.05	13.09	21.66	22.37	24.82	27.45	36.44	47.00	17.58	21.44	18.82
15	25.10	29.32	26.50	14.17	20.00	20.52	22.79	27.61	29.34	45.41	11.57	19.48	17.96
17	24.66	18.88	27.50	15.27	20.75	18.14	21.81	26.91	31.10	47.27	16.01	18.89	23.50
19	25.07	26.92	27.50	11.97	22.45	20.27	22.26	26.10	30.99	46.93	13.93	18.33	19.43
21	24.64	26.54	27.34	11.86	23.10	17.63	22.66	26.94	31.94	46.45	14.56	19.16	18.07
23	23.90	27.75	25.97			20.02	19.74	25.53	33.97	46.69	15.20	20.18	18.88
25											15.47		

표 2-8-15. 서해병해역 퇴적물 중 Hg 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	0.04	0.06	0.15	0.07	0.06	0.05	0.08	0.09	0.04	0.05	0.06	0.04	0.04	0.03
1.5	0.03	0.03	0.26	0.06	0.05	0.04	0.09	0.09	0.07	0.06	0.08	0.03	0.03	0.03
2.5	0.02	0.03	0.14	0.06	0.04	0.03		0.07	0.04	0.04	0.07	0.03	0.03	0.02
3.5	0.02	0.02	0.08	0.02	0.04	0.02	0.07	0.06	0.02	0.04	0.06	0.02	0.02	0.02
4.5	0.01	0.02	0.06	0.02	0.04	0.02		0.04	0.01	0.03	0.07	0.02	0.02	0.01
5.5	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.10	0.03	0.02	0.03	0.09	0.02	0.01	0.01
6.5	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.07	0.02	0.02	0.01
7.5	0.00	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.02	0.02	0.06	0.07	0.02	0.01	0.01
8.5	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01		0.02	0.01	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01
9.5	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01
11	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01
13	0.00	0.01	0.06	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01
15	0.00	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01
17	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.06	0.02	0.02	0.01
19	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01		0.02	0.02	0.01	0.05	0.02		0.01
21	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01
23		0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01		0.01	0.02	0.01
25														

표 2-8-15. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03	0.01	0.03
1.5	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02	0.03	0.03
2.5	0.03	0.07	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06	0.04	0.02	0.04	0.02
3.5	0.03	0.06	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01		0.05	0.03		0.04	0.02
4.5	0.03	0.07	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.06	0.03	0.02	0.04	0.02
5.5	0.03	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02
6.5	0.03	0.06	0.02	0.01	0.05	0.02	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02
7.5	0.03	0.06	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02
8.5	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.05	0.02	0.02	0.05	0.01
9.5	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.01
11	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01		0.03	0.02		0.03	0.01
13	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01		0.06	0.02	0.01	0.03	0.01
15	0.02		0.02	0.01	0.02	0.02	0.01		0.04	0.02	0.01	0.03	0.01
17	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01		0.04	0.02	0.01	0.03	0.01
19	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01		0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
21	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01		0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
23		0.01	0.02			0.00	0.01		0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
25											0.01		

표 2-8-16. 서해병해역 퇴적물 중 Ni 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	2697	22.15	35.02	36.42	33.54	36.65	40.46	40.15	25.85	37.46	36.40	34.72	25.04	25.10
1.5	2691	24.21	33.94	34.25	27.43	30.11	41.03	43.22	24.65	34.09	36.45	36.51	22.12	29.64
2.5	2816	27.70	33.08	35.05		27.15	40.44	42.38	23.93	28.72	37.38	36.93	23.28	23.10
3.5	2841	31.96	33.33	36.54	25.60	29.82	43.02	43.34	26.70	28.77	38.34	39.91	22.38	
4.5	2800	31.16	34.94	37.60		28.56	43.36	44.18	28.88	29.57	39.38	39.30	23.17	19.30
5.5	2961	26.63	36.41	38.09	23.59	28.33	40.76	42.54	28.93	30.06	37.75	39.02	20.21	20.36
6.5	2744	26.32	35.35	38.68	27.55	25.88	40.27			28.86	38.83	41.57	22.35	26.57
7.5	2501	26.02	36.97	40.47	30.22	28.17	37.35	41.70	25.53	27.71	39.64	40.85	18.47	
8.5	2670	26.81	38.68	39.51	32.22	30.53	40.63	41.45	26.65	30.81	39.19	41.21	18.53	19.25
9.5	2853	27.77	37.75	40.26	30.51	26.73	41.11	42.58	26.04	30.86	36.60	43.92	19.36	21.25
11	2811	26.14	32.45	37.60	29.08	22.71	38.75	40.50	27.54	33.48	37.59	41.63	15.34	21.99
13	2644	32.64	31.36	34.62	24.90	27.06	40.47	42.27	27.36	31.85	38.25	42.39	16.17	30.26
15	2769	32.68	33.27	34.67	28.07	27.74	40.51	41.74	27.73	28.97	40.91	41.16	18.66	35.89
17	3516	36.80	35.58	40.30	26.49	27.79	41.27	41.39	28.38	25.13	42.61	38.33	23.14	26.71
19	3539	28.28	34.65	47.71	30.16	28.33	41.08	41.65	34.13	25.22	40.69	40.78	20.85	25.32
21	3776	31.79	32.03	46.99	23.47	25.99	39.37	43.17	33.99	32.05	38.41	41.79	38.77	21.92
23		34.29	32.61	45.35	24.28	24.73	42.44	42.73	28.72	36.32		42.77	32.58	21.57
25														

표 2-8-16. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	42.32	46.25	39.04	17.63	27.06	32.84	26.42	39.25	43.46	43.69	61.05	37.68	35.93
1.5	43.42	45.06	35.46	15.46	24.27	27.84	21.96	35.02	46.07	44.00	47.32	38.00	33.24
2.5	39.26	43.54	40.96	15.38	24.09	17.92	22.51	38.55	48.14	44.40	46.56	35.41	31.39
3.5	39.78	41.73	42.14	16.56	27.62	33.17	30.15	45.26	46.70	43.82		34.02	34.03
4.5	41.17	44.27	44.40	18.63	31.05	25.47	36.61	42.69	46.04	46.37	52.61	30.56	35.66
5.5	43.46	45.96	42.60	18.62	34.67	32.68	42.29	42.41	46.39	46.17	57.51	30.27	37.87
6.5	42.21	45.99	43.11	24.23	37.55	29.45	42.19	38.12	48.86	44.63	57.97	31.68	38.40
7.5	47.10	45.47	43.99	24.25	36.71	32.50	43.12	39.08	47.08	45.69	58.04	31.79	37.49
8.5	39.77	47.14	44.29	23.79	37.42	34.78	41.88	32.90	45.45	46.65	57.51	34.64	38.50
9.5	44.42	46.71	44.76	22.33	39.80	33.94	39.76	35.59	44.88	44.83	56.45	35.12	36.69
11	43.77	47.11	46.37	24.14	35.56	34.35	36.88	35.62	46.46	35.45	58.95	36.67	34.79
13	43.34	47.91	43.45	23.22	38.21	33.86	35.47	43.55	48.74	47.00		34.06	33.10
15	44.50		42.62	21.10	34.57	31.98	34.99	44.65	47.80	45.41	53.14	32.94	32.78
17	45.26	36.87	44.42	21.48	35.54	30.35	33.75		47.45	47.27	51.07	35.95	44.29
19	44.23	49.68	44.92	19.21	39.56	34.11	36.16	39.75	47.95	46.93	28.17	32.37	36.73
21	43.93		44.43	18.32	39.41	29.13	33.63	42.34	49.27	46.45	25.99	34.90	35.34
23	48.31		43.74			30.12	30.78	39.76	47.77	46.69	26.45	33.24	34.30
25											27.81		

표 2-8-17. 서해병해역 퇴적물 중 Pb 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	28.22	26.02	46.81	33.56	37.72	36.70	31.36	38.69	26.98	35.00	33.43	32.22	34.37	30.04
1.5	29.93	28.96	25.41	31.37	28.68	32.21	36.13	40.01	26.94	34.06	37.51	31.26	30.15	31.36
2.5	29.22	28.21	23.75	28.23	29.50	28.16	29.99	39.03	24.58	30.88	38.28	30.41	30.91	30.79
3.5	26.29	28.02	21.62	27.61	28.93	27.80	31.59	36.19	23.65	29.90	44.59	29.62	26.70	28.77
4.5	24.56	26.18	22.05	26.95		28.13	26.49	34.77	24.59	28.92	38.90	29.05	27.50	26.14
5.5	26.06	23.80	21.59	26.83	24.36	26.24	24.10	31.61	23.12	29.26	36.92	27.10	27.91	25.32
6.5	25.10	23.80	19.87	27.22	23.92	26.36	31.18	38.58	22.02	26.11	36.11	28.10	25.02	33.71
7.5	22.76	23.82	22.49	27.30	26.13	24.51	20.49	30.19	21.97	25.65	36.25	27.25	22.03	27.37
8.5	24.00	24.18	20.40	25.69	26.30	25.99	26.30	30.47	22.04	26.04	34.97	28.04	22.34	26.38
9.5	24.25	24.74	20.14	26.90	26.16	24.44	21.99	30.87	22.36	25.16	33.72	29.10	23.72	26.71
11	23.72	24.03	18.56	25.51	26.54	22.81	22.58	28.64	21.64	24.94	33.25	28.73	25.08	23.84
13		25.83	17.63	24.22	22.92	24.49	22.22	29.80	23.15	24.65	32.81	27.77	21.99	27.55
15		25.01	20.62	24.03	24.87	24.35	21.38	29.59	22.96	23.46	34.95	26.56	24.09	27.29
17		24.48	19.69	26.40	24.11	24.95	23.38	29.57	21.37	23.75	34.48	25.49	23.87	25.67
19		23.59	19.95	25.60	24.89	25.44	20.85	30.35	22.38	23.75	33.67	28.33	23.76	25.44
21		25.17	18.12	25.71	24.49	25.01	20.66	29.73	21.83	24.26	31.79	25.86	25.94	25.75
23		26.93	18.63	25.62	23.35	24.71	24.30	29.54	21.39	24.95		26.20	24.51	27.06
25														

표 2-8-17. (계속)

Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	34.46	37.89	32.84	23.52	24.01	31.97	27.76	40.04	35.27	37.09	42.17	34.09	31.00
1.5	36.97	35.76	29.17	22.81	27.90	27.13	26.26	35.27	37.72	37.38	47.53	35.01	29.87
2.5	34.86	34.85	31.51	24.00	25.05	22.87	24.30	31.53	38.74	37.31	47.57	34.28	28.32
3.5	36.43	32.60	29.65	23.39	27.53	24.91	24.62	35.34	39.66	37.03		33.31	28.41
4.5	34.48	33.13	30.26	23.89	25.46	25.03	25.85	32.66	39.14	36.38	46.97	30.26	27.32
5.5	32.09	33.94	28.70	22.39	24.55	25.54	27.98	31.80	39.21	34.87		36.66	27.41
6.5	32.71	33.27	29.18	22.31	25.07	25.28	27.53	26.57	36.67	33.27		31.68	27.28
7.5	30.46	30.90	28.91	24.00	24.72	25.24	27.74	24.77	33.89	32.71			26.35
8.5	31.62	30.21	28.87	23.09	24.82	25.75	26.91	29.70	31.40	32.18	42.47	31.99	26.49
9.5	29.65	30.84	28.87	22.92	25.67	25.26	27.50	29.07	30.68	30.86	43.90	30.42	26.29
11	30.81	30.42	29.00	22.53	23.91	25.50	27.64	25.17	30.57	25.30		31.90	25.24
13	30.97	29.18	27.74	22.70	26.37	25.11	25.67	24.26	31.31	31.71	43.36	27.87	24.99
15	27.97	29.81	27.45	22.79	24.03	24.40	25.30	24.97	30.32	30.91	39.84	28.36	23.17
17	27.71		27.58	22.31	24.55	23.25	25.29	28.37	30.69	30.97	25.02	24.61	25.84
19	27.95	29.63	27.01	20.94	25.94	24.86	26.40	28.01	30.21	31.17	28.35	25.14	25.79
21	27.27	29.11	26.48	22.14	25.59	24.53	25.65	26.87	29.58	31.37	27.65	26.16	24.14
23	26.37	28.71	26.62			25.09	23.94	27.09	30.29	30.72	28.48	26.05	24.80
25											27.41		

표 2-8-18. 서해병해역 퇴적물 중 Zn 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	YB-009-05	YB-009-12	YB-024-11	YB-024-12	YB-026-11	YB-026-12	YB-049-11	YB-049-12	YB-053-11	YB-053-12	YB-086-05	YB-086-12	YB-098-11	YB-098-12
0.5	70.13	63.44	113.24	120.09	104.71	113.69	129.73	132.16	74.94	125.92	101.62	100.19	195.23	84.42
1.5	108.65	76.91	112.33	107.76	70.54	99.08	131.75	141.53	74.46	120.19	116.57	103.52	88.38	90.67
2.5	93.69	85.73	109.55	110.04	87.32	77.83	134.28	138.84	71.74	100.47	111.93	99.64	74.71	91.30
3.5	102.53	90.22	102.02	104.51	101.21	80.44	142.70	134.83	73.93	99.32	112.14	106.09	65.51	84.12
4.5	81.57	86.41	108.27	104.27		74.27	120.42	123.18	81.07	98.03	113.92	102.34	75.10	59.61
5.5	86.99	69.05	122.24	99.49	60.94	73.93	115.09	116.23	84.77	91.20	109.78	98.92	70.77	60.75
6.5	81.95	72.17	89.78	105.44	78.90	69.20	113.05			86.50	108.67	105.82	89.99	110.87
7.5	70.98	67.21	91.52	108.42	73.79	70.69	103.68	111.69	70.74	85.65	111.11	100.41	57.46	59.53
8.5	73.09	71.91	94.84	101.71	73.52	73.98	113.36	110.69	71.86	89.23	111.23	106.76	54.14	54.87
9.5	78.17	74.14	92.66	105.21	70.63	65.98	103.70	111.64	61.35	88.03	100.61	108.50	82.75	62.16
11	80.11	64.77	75.65	99.73	75.51	56.34	105.99	112.07	67.77	88.72	102.13	102.95	50.34	60.36
13	78.60	80.24	78.68	96.90	75.87	64.58	103.23	110.29	69.73	84.91	101.43	101.63	41.73	85.23
15	78.99	96.56	82.00	91.07	64.62	63.04	100.24	110.77	69.80	83.05	112.20	98.17	52.68	68.29
17	86.56	72.81	80.41	102.44	67.01	63.19	106.97	111.27	62.06	74.80	108.74	94.56	82.19	71.29
19	87.88	70.82	82.62	109.57	60.06	66.42	108.46	110.20	77.89	71.21	110.19	98.40	61.50	68.05
21	92.01	79.80	71.44	110.11	55.21	57.77	109.90	114.50	71.26	78.44	100.61	94.42	96.05	62.39
23		104.32	71.52	109.85	60.16	58.19	112.21	111.61	67.53	93.70		92.55	111.06	61.93
25														

표 2-8-18. (계속)

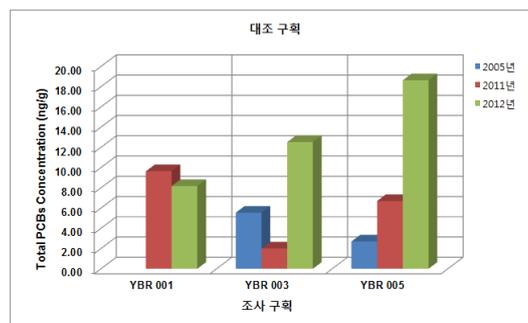
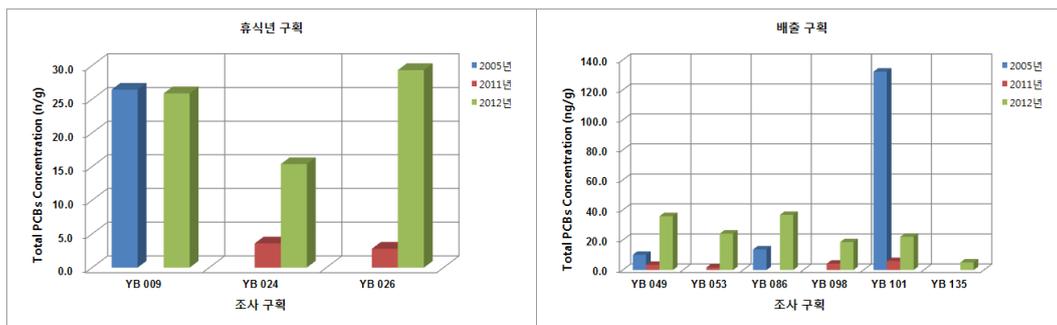
Depth (cm)	YB-101-05	YB-101-11	YB-101-12	YB-135-12	YBR-001-05	YBR-001-11	YBR-001-12	YBR-003-05	YBR-003-11	YBR-003-12	YBR-005-05	YBR-005-11	YBR-005-12
0.5	124.09	117.31	115.03	49.61	64.04	86.96	67.28	123.59	115.33	127.27		102.58	109.16
1.5	128.21	117.41	102.79	35.11	62.14	78.35	59.40	135.21	116.48	123.46	76.35	110.78	111.74
2.5	123.44	111.30	111.56	34.44	55.74	54.52	60.23	130.26	128.63	124.64	79.67	95.43	86.10
3.5	123.44	111.65	106.14	37.35	66.08		73.10	124.77	121.81	123.99		95.68	98.96
4.5	117.77	108.21	110.58	39.62	74.16	65.51	81.62	131.21	127.35	126.71	121.65	78.97	96.19
5.5	109.38	111.55	108.84	51.33	74.01	86.20	91.11	107.92	121.27	121.60	109.96	78.74	101.77
6.5	113.77	106.64	111.82	41.63	77.17	88.57	87.58	114.91	126.94	120.56	108.20	84.10	97.79
7.5	109.58	99.60	106.77	50.20	75.78	89.31	92.75	111.77	112.26	122.96	103.57	80.80	97.84
8.5	113.40	102.57	107.58	48.04	80.77	93.35	87.87	108.04	106.03	118.29	105.45	92.26	104.86
9.5	114.01	104.45	118.57	43.43	78.05	75.00	84.10	119.70	109.38	116.09	99.14	86.35	96.23
11	121.10	101.30	107.57	44.07	74.26	73.31	82.39	112.37	122.31		98.78		98.85
13	113.74	101.15	107.88	46.41	76.22	83.88	79.92	122.40	118.63	117.33	91.90	78.64	88.73
15	112.54	106.62	104.00	39.78	70.11	73.15	76.94	122.12	105.66	116.45		84.11	82.67
17	110.10		116.00	45.09	78.24	69.83	74.90	119.63	122.07	117.95	83.35	79.58	
19	112.92	106.95	118.56	39.81	76.55	79.95	86.25	117.38	118.04	120.49	71.33	75.86	90.23
21	110.85	105.33	108.02	37.73	72.07	65.17	83.32	120.70	116.50	120.82	60.58	77.54	87.24
23	107.75	108.25	105.51			80.77	76.97	115.99	122.25	117.68	63.26	83.47	85.00
25											63.88		

(3) 유기오염물질 (PCBs, PAHs)

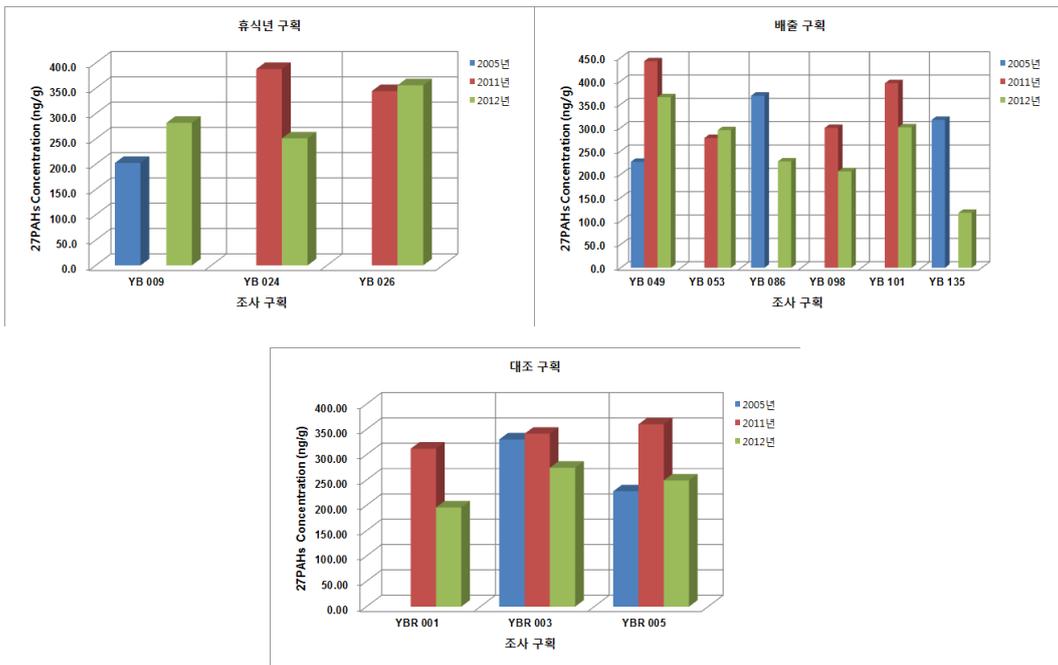
서해병해역의 표층퇴적물 중의 유기오염물질 농도의 연간변화를 살펴보기 위하여 기존의 2005년, 2011년 및 당해연도 조사 자료를 다음의 표에 정리하였다.

조사구획		Total PCBs (ng/g)			27 PAHs (ng/g)		
		2005년	2011년	2012년	2005년	2011년	2012년
휴식년 구획	YB 009	26.4		25.9	202.6		281.7
	YB 024		3.6	15.4		388.1	251.1
	YB 026		2.8	29.3		344.6	356.2
배출구획	YB 049	10.2	3.5	35.9	226.8	442.4	365.4
	YB 053		1.7	24.2		277.8	294.7
	YB 086	13.7		36.8	368.5		227.7
	YB 098		4.2	18.6		299.6	206.4
	YB 101	132.2	6.0	22.1		395.3	300.7
	YB 135			5.1	316.9		117.6
대조구획	YBR 001		9.6	8.2		311.9	195.8
	YBR 003	5.6	2.0	12.5	330.1	341.5	274.2
	YBR 005	2.7	6.7	18.6	227.6	360.0	249.0

휴식년 구획의 Total PCBs의 농도는 YB-009 구획에서는 2005년에 비해 2012년에 유의의 차이는 보이지 않았지만 YB-024 및 YB-026 구획에서는 2011년에 비해서 약 3~10배 농도가 증가하였다. 그리고 배출구획의 YB-101 및 대조구획의 YBR-001 구획을 제외하고 모든 구획에서 2012년도에 2005년 및 2011년에 비해 농도가 증가하였다.



휴식년 구획의 27 PAHs의 연간 농도 변화는 YB-009 구획은 2005년에 비해 농도가 조금 증가하였고, YB-024 구획은 2011년에 비해 감소, YB-026 구획은 2011년에 비해 유의의 차이가 보이지 않았다. 배출구획 및 대조구획에서는 YB-053 구획을 제외하고 모두 2005년 및 2011년에 비해 감소하는 경향을 보이고 있었다.



나. 동해병해역 퇴적물 오염물질 농도 연간 변화

동해병해역의 2006년, 2009년에 조사된 구획을 포함하는 휴식년 구획 4개, 배출구획 3개, 대조구획 3개 등 총 10개 구획에서 퇴적물 시료를 채취하여 오염물질을 분석하여, 기존의 조사 자료와 비교하여 퇴적물내 오염물질 농도의 변화 양상을 살펴보았다.

(1) 유기물(TOC, TON, COD)

동해병해역의 퇴적물의 유기물 농도의 연도별 조사 자료를 표 2-8-21에 정리하여 나타내었다.

표 2-8-19. 동해병해역 휴식년 구획 표층퇴적물의 유기물 농도

조사구획		TOC (%)			TON (%)			COD (mg-O ₂ /g-dry)		
		2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년
휴식년 구획	DB 079		0.97	3.43		0.10	0.34			29.9
	DB 085	4.5	4.34	1.25	0.71	0.40	0.17		23.40	29.8
	DB 089	4.43	3.24	2.49	0.57	0.39	0.31		26.70	32.4
	DB 092	4.52	3.82	3.13	0.53	0.45	0.41		26.30	30.0
배출구획	DB 026		2.72	3.34		0.32	0.46		19.50	32.7
	DB 028		2.00	2.92		0.25	0.42		17.90	32.2
	DB 042		2.72	2.40		0.35	0.36		24.00	28.9
대조구획	DBR 002		2.50	2.13		0.30	0.32		17.50	29.2
	DBR 003		2.16	1.94		0.24	0.29		22.70	23.2
	DBR 010		2.32	2.10		0.29	0.32		17.60	26.4

동해병해역 휴식년 구획의 표층퇴적물 중 TOC 농도의 연간변화는 DB-079 구획은 2009년에 비해 2012년에 약 3배 증가하였으나 나머지 구획들은 모두 2006년 및 2011년에 비해 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 주상퇴적물의 농도분포는 과거 표층의 높은 TOC 농도가 생물교란 및 퇴적물의 상하 혼합 등에 의해 2012년에 퇴적물 표층 아래 약 3~5cm 층에 높은 농도의 TOC 층이 보이고 있다(그림 2-8-34).

표층퇴적물의 TON 농도의 연간변화 역시 TOC와 동일하게 DB-079 구획은 2009년에 비해 다소 증가하였지만, 나머지 모든 구획에서는 지속적으로 감소하고 있었다. 주상퇴적물의 농도변화는 TOC와 다르게 퇴적물 표층 하에서 높은 TON 농도층은 보이지 않았다.

COD의 농도 변화는 TOC 및 TON과는 달리 모든 조사구획에서 2009년에 비해 2012년에 다소 증가하는 경향을 보이고 있었다.

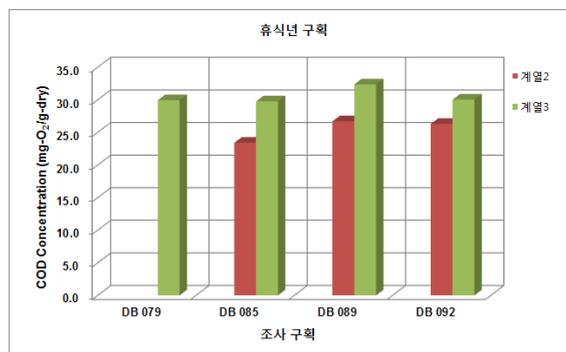
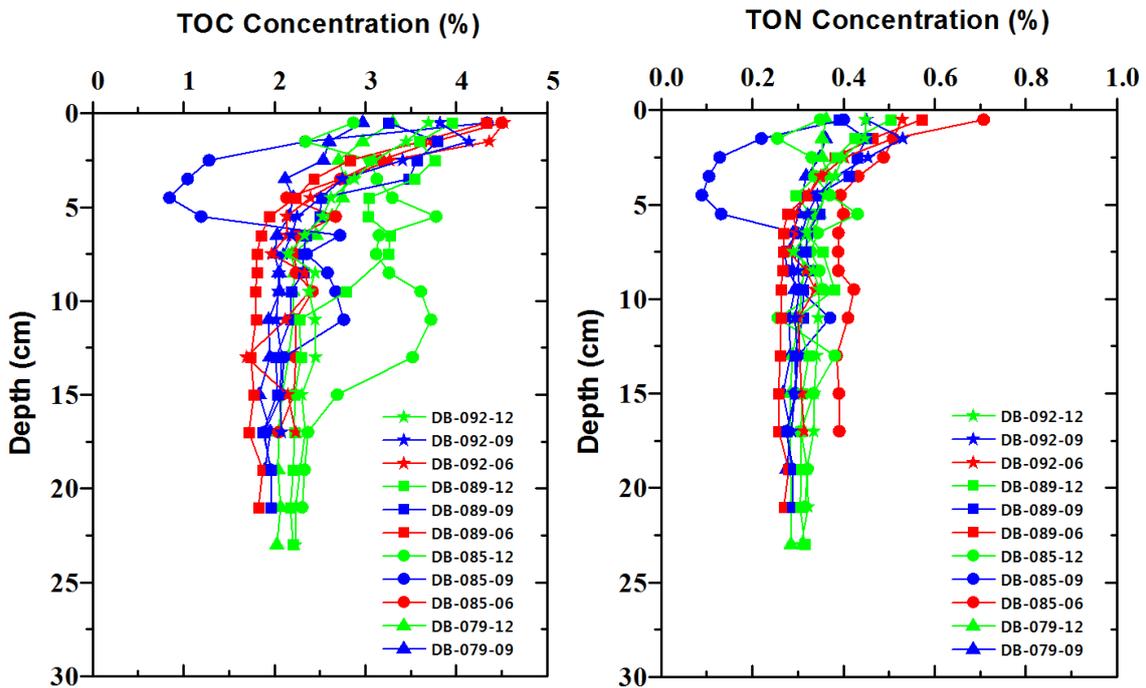
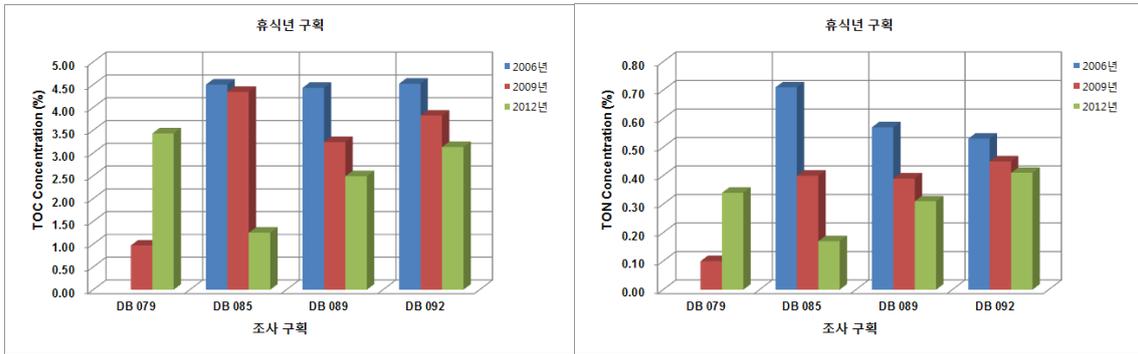


그림 2-8-34. 동해병해역 휴식년 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화

배출구획의 표층 퇴적물 중 유기물 농도의 변화는 TOC, TON 및 COD 모두 2009년에 비해 증가하는 경향을 나타내었고, 주상퇴적물에서도 약 5cm 정도 퇴적물 깊이까지 다소 높은 유기물 농도를 나타내고 있었다(그림 2-8-35)

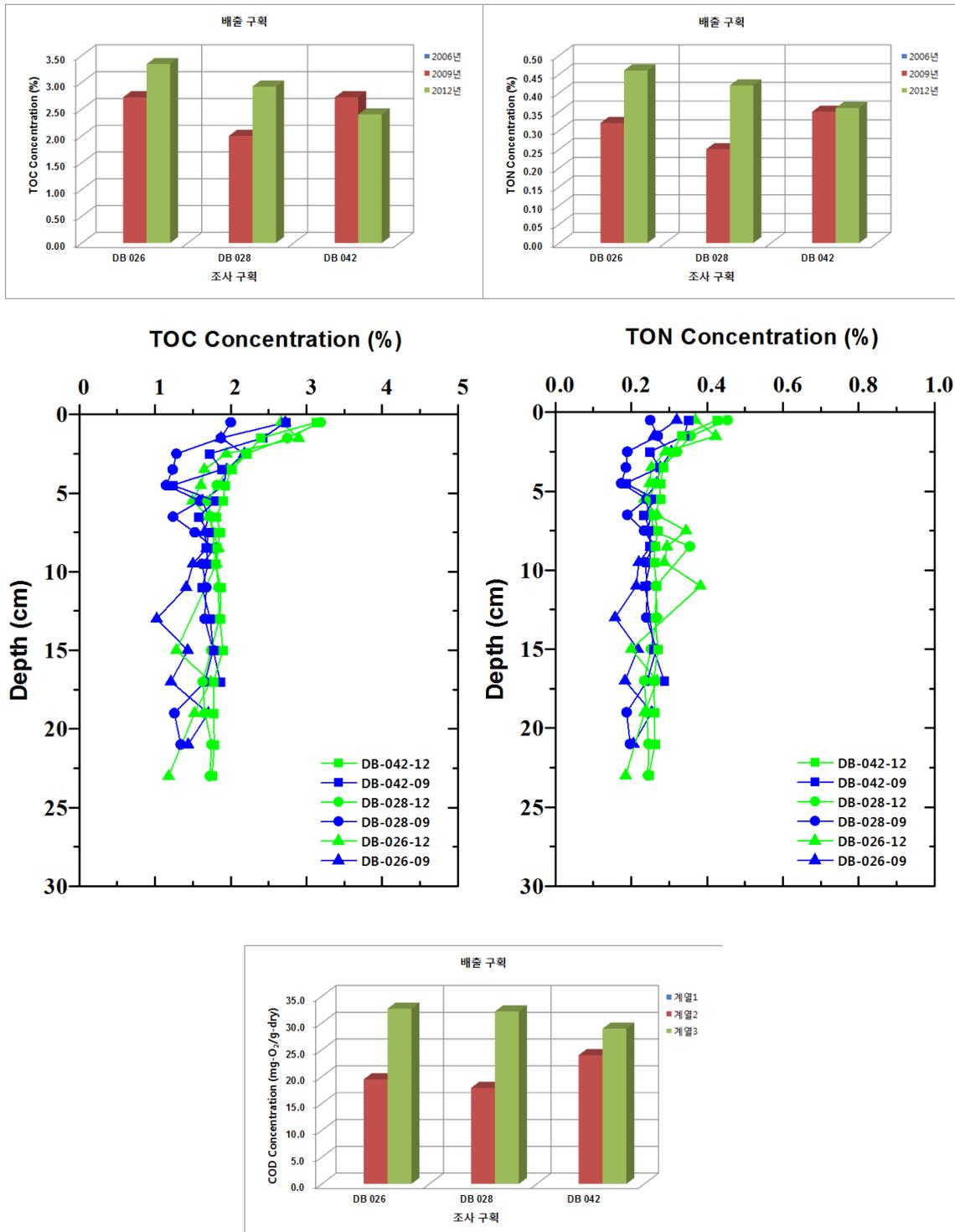


그림 2-8-35. 동해병해역 배출 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화

대조구획의 표층퇴적물 중 유기물 농도 변화는 TOC의 경우는 2009년에 비해 2012년에 모든 조사 구획에서 다소 감소하였지만, TON과 COD는 약간 증가하는 경향을 나타내었고, 주상퇴적물 중의 농도는 의미 있는 차이는 보이지 않았다(그림 2-8-36)

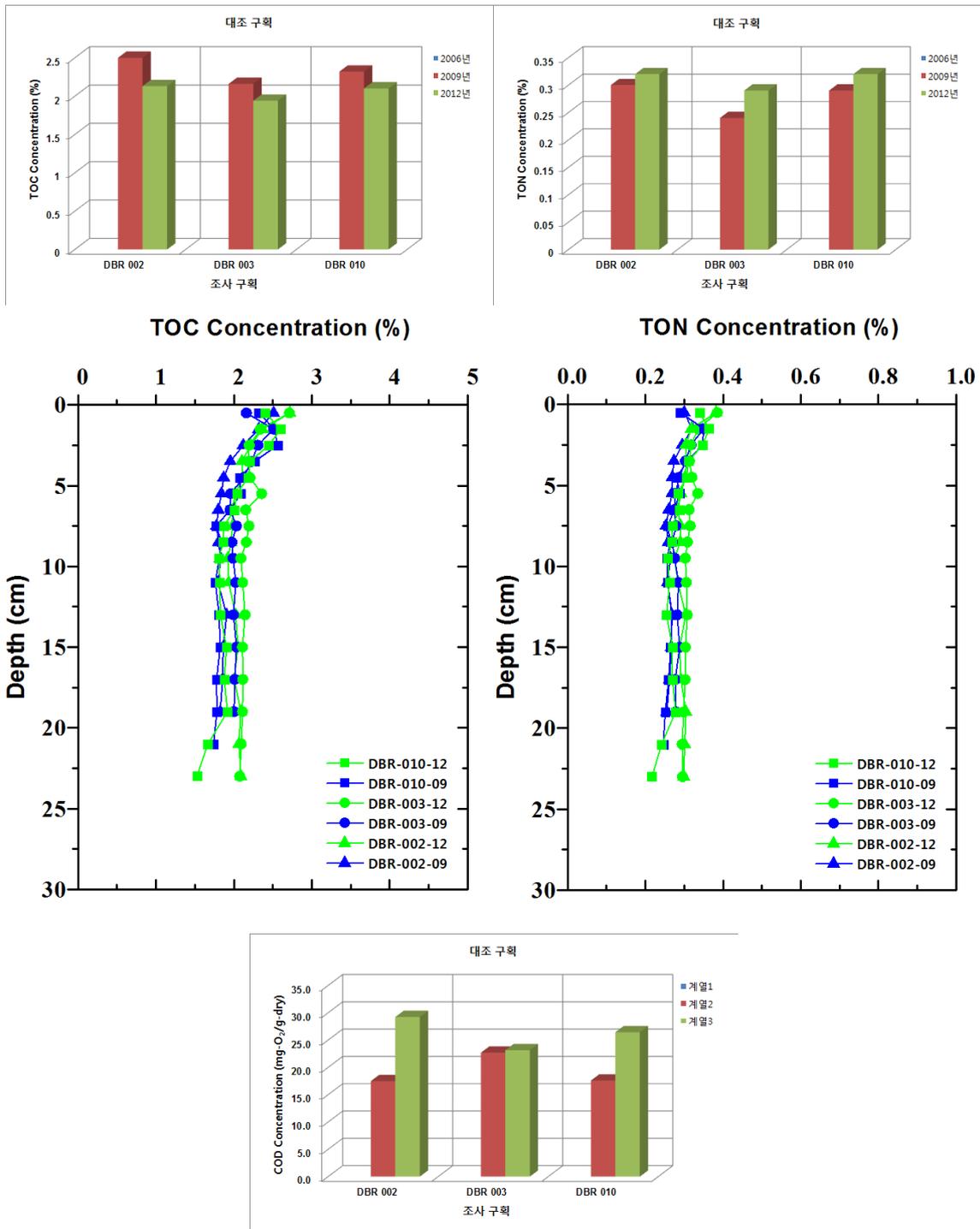


그림 2-8-36. 동해병해역 대조 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화

표 2-8-20. 동해병해역 퇴적물 중 TOC 농도 (%)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-89-12
0.5	2.72	2.7	2.00	3.2	2.72	3.1	2.97	3.3	4.50	4.34	2.9	4.33	3.25	3.9
1.5	1.87	2.9	1.87	2.7	2.42	2.4	2.60	3.0	3.76	2.34	2.3	3.61	3.79	3.6
2.5	2.18	1.9	1.28	2.2	1.72	2.2	2.54	2.7	3.16	1.28	3.1	2.83	3.57	3.8
3.5	1.95	1.7	1.23	2.0	1.88	2.0	2.12	2.8	2.73	1.04	3.1	2.43	3.48	3.5
4.5	1.91	1.6	1.15	1.8	1.23	1.9	2.21	2.7	2.13	0.85	3.3	2.23	2.51	3.0
5.5	1.63	1.5	1.60	1.7	1.80	1.9	2.16	2.6	2.67	1.19	3.8	1.94	2.50	3.0
6.5	1.71	1.7	1.24	1.7	1.58	1.8	2.03	2.5	2.26	2.72	3.1	1.85	2.35	3.3
7.5	1.65		1.53	1.8	1.71	1.9	2.00	2.2	2.22	2.35	3.1	1.81	2.32	3.3
8.5	1.68	1.8	1.79		1.68	1.8	2.05	2.2	2.24	2.58	3.3	1.81	2.31	
9.5	1.50	1.8	1.62		1.70	1.8	2.06	2.2	2.42	2.67	3.6	1.79	2.18	2.8
11.0	1.41		1.68	1.8	1.62	1.9	1.94	2.2	2.23	2.76	3.7	1.79	2.18	2.3
13.0	1.02		1.66	1.8	1.73	1.9	1.95	2.2	2.23	2.10	3.5	1.74	2.02	2.3
15.0	1.43	1.3	1.77	1.7	1.77	1.9	1.83	2.1	2.21	2.08	2.7	1.78	2.03	2.2
17.0	1.21	1.7	1.66	1.6	1.86	1.8	1.96	2.0	2.05	1.89	2.4	1.72	1.87	2.2
19.0	1.70	1.5	1.26	1.7		1.8	1.89	2.0		1.96	2.3	1.87	1.96	2.2
21.0	1.44		1.34	1.7		1.8		2.1			2.3	1.82	1.96	2.2
23.0		1.2		1.7		1.8		2.0						2.2
25.0														
27.0														

표 2-8-20. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	4.52	3.82	3.7	2.51	2.7	2.16	2.7	2.32	2.4
1.5	4.36	4.14	3.4	2.32	2.4	2.51	2.3	2.52	2.6
2.5	3.27	3.41	3.1	2.12	2.2	2.31	2.2	2.56	2.4
3.5	2.75	2.74	2.9	1.95	2.1	2.23	2.2	2.27	2.2
4.5	2.39	2.51	2.6	1.87	2.1	2.12	2.2	2.07	2.2
5.5	2.13	2.25	2.5	1.84	2.0	1.96	2.4	2.09	2.0
6.5	2.14	2.19	2.3	1.80	2.0	1.95	2.2	1.95	2.0
7.5	1.97	2.10	2.1	1.78	2.0	2.03	2.2	1.77	1.9
8.5	2.33	2.05	2.4	1.80	2.0	1.98	2.2	1.85	1.9
9.5	2.38	2.04	2.4	1.83	1.9	1.99	2.1	1.81	1.8
11.0	2.12	2.02	2.4	1.80	1.9	2.02	2.1	1.76	1.8
13.0	1.69	2.08	2.5	1.91	2.0	1.99	2.1	1.81	1.8
15.0	2.15	2.06	2.3	1.86	2.0	2.03	2.1	1.82	1.9
17.0	2.23	2.08	2.3	1.85	2.0	2.01	2.1	1.78	1.9
19.0			2.3	1.82	2.1	2.00	2.1	1.78	1.9
21.0			2.2		2.1		2.1	1.74	1.7
23.0			2.2		2.1		2.1		1.5
25.0									
27.0									

표 2-8-21. 동해병해역 퇴적물 중 TON 농도 (%)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-89-12
0.5	0.32	0.37	0.25	0.45	0.35	0.43		0.36	0.71	0.40	0.35	0.57	0.39	0.50
1.5	0.26	0.42	0.27	0.36	0.34	0.33	0.36	0.35	0.51	0.22	0.26	0.46	0.45	0.42
2.5	0.31	0.29	0.19	0.32	0.25	0.31	0.35	0.35	0.49	0.13	0.33	0.38	0.43	0.38
3.5	0.28	0.25	0.19	0.28	0.27	0.28	0.32	0.37	0.43	0.11	0.34	0.35	0.41	0.34
4.5	0.27	0.25	0.17	0.26	0.18	0.28		0.36	0.39	0.09	0.37	0.32	0.34	0.30
5.5	0.23	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.35	0.40	0.13	0.43	0.28	0.35	0.33
6.5	0.25	0.27	0.19	0.25	0.23	0.26	0.29	0.34	0.39	0.30	0.34	0.27	0.32	0.32
7.5	0.24	0.34	0.23	0.26	0.25	0.27	0.29	0.31	0.39	0.27	0.33	0.27	0.32	0.35
8.5	0.25	0.29	0.26	0.36	0.25	0.26	0.29	0.31	0.39	0.28	0.35	0.27	0.33	
9.5	0.22	0.29	0.24		0.25	0.26	0.29	0.31	0.42	0.30	0.36	0.26	0.31	0.38
11.0	0.21	0.38	0.24	0.27	0.24	0.27	0.28	0.30	0.41	0.37	0.26	0.26	0.31	0.30
13.0	0.16		0.24	0.27	0.25	0.26	0.28	0.29	0.39	0.30	0.38	0.26	0.29	0.32
15.0	0.22	0.20	0.27	0.25	0.26	0.27	0.27	0.28	0.39	0.29	0.33	0.26	0.30	0.31
17.0	0.18	0.27	0.24	0.23	0.29	0.26	0.28	0.28	0.39	0.27	0.31	0.26	0.28	0.31
19.0	0.25	0.23	0.19	0.24		0.26	0.28	0.28		0.29	0.32	0.28	0.29	0.31
21.0	0.21		0.20	0.25	0.26	0.26		0.29			0.32	0.27	0.29	0.31
23.0		0.19		0.24	0.25	0.25		0.28						0.31
25.0														
27.0														

표 2-8-21. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	0.53	0.45	0.45	0.30	0.38		0.39	0.29	0.34
1.5	0.51	0.53	0.45	0.32	0.32	0.35	0.34	0.35	0.36
2.5	0.40	0.45	0.40	0.30	0.30	0.32	0.32	0.35	0.35
3.5	0.35	0.38	0.38	0.27	0.31	0.30	0.31	0.31	0.31
4.5	0.32	0.34	0.36	0.27	0.30	0.29	0.32	0.28	0.31
5.5	0.29	0.32		0.27	0.29	0.28	0.33	0.29	0.28
6.5	0.30	0.31	0.32	0.26	0.28	0.27	0.31	0.27	0.29
7.5	0.28	0.30	0.29	0.25	0.29	0.28	0.32	0.26	0.27
8.5	0.32	0.30	0.33	0.26	0.29	0.27	0.31	0.26	0.27
9.5	0.34	0.30	0.35	0.26	0.27	0.28	0.30	0.26	0.26
11.0	0.30	0.29	0.34	0.26	0.28	0.29	0.31	0.26	0.26
13.0		0.30	0.34	0.27	0.30	0.28	0.31	0.27	0.25
15.0	0.31	0.29	0.34	0.27	0.29	0.29	0.30	0.27	0.27
17.0	0.31	0.29	0.33	0.26	0.29	0.28	0.30	0.26	0.27
19.0			0.32	0.26	0.30	0.28	0.30	0.25	0.28
21.0			0.32		0.30		0.29	0.25	0.24
23.0			0.31		0.30		0.30		0.22
25.0									
27.0									

(2) 중금속

폐기물 배출 제도 및 배출량의 변화에 따른 동해병해역의 퇴적물 중 중금속 농도의 변화를 살펴보기 위하여 연도별 조사 자료를 표 2-8-24에 정리하여 나타내었다.

표 2-8-22. 동해병해역 휴식년 구획 표층퇴적물의 중금속 농도

조사구획		As (mg/kg)			Cd (mg/kg)			Cr (mg/kg)		
		2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년
휴식년 구획	DB 079		8.94	14.8		0.93	0.41		431.88	110.4
	DB 085	19.47	29.38	14.7	1.34	4.44	0.76	483.22	2624.77	390.4
	DB 089	22.46	17.17	13.6	1.59	1.23	0.58	215.32	161.46	120.1
	DB 092	24.62	20.87	19.3	2.92	1.76	1.33	296.26	193.22	130.0
배출구획	DB 026		18.25	20.0		0.35	0.53		63.61	83.0
	DB 028		7.83	19.5		0.52	0.50		70.00	73.8
	DB 042		13.90	13.5		0.66	0.49		77.71	75.5
대조구획	DBR 002		24.87	10.9		0.35	0.35		55.45	74.1
	DBR 003		21.07	11.8		0.38	0.33		68.85	74.5
	DBR 010		23.67	23.9		0.37	0.33		63.82	67.2

조사구획		Cu (mg/kg)			Hg (mg/kg)			Ni (mg/kg)		
		2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년
휴식년 구획	DB 079		31.31	45.0		0.040	0.179		54.06	39.0
	DB 085	243.88	758.17	69.7		1.840	0.299	71.33	140.92	33.5
	DB 089	106.87	82.02	63.5	0.763	0.420	0.358	51.43	37.46	31.3
	DB 092	118.16	98.61	70.5	1.301	0.650	0.704	54.98	41.00	35.9
배출구획	DB 026		38.18	55.0		0.140	0.154		37.81	40.4
	DB 028		37.23	50.4		0.100	0.131		43.48	42.1
	DB 042		46.91	45.1		0.030	0.141		41.89	37.0
대조구획	DBR 002		32.28	36.4		0.220	0.129		41.77	40.9
	DBR 003		38.04	38.2		0.180	0.097		41.72	34.8
	DBR 010		40.92	38.3		0.090	0.102		44.37	38.5

조사구획		Pb (mg/kg)			Zn (mg/kg)		
		2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년
휴식년 구획	DB 079		77.11	48.6		66.60	140
	DB 085	97.33	373.34	67.5	635.20	3354.10	222
	DB 089	125.92	91.81	73.6	444.90	241.40	227
	DB 092	154.41	97.44	83.7	573.00	259.60	186
배출구획	DB 026		51.37	53.2		151.80	195
	DB 028		48.97	54.7		155.00	164
	DB 042		58.93	49.8		181.30	144
대조구획	DBR 002		48.01	54.3		117.20	136
	DBR 003		58.87	46.5		147.40	125
	DBR 010		55.14	50.4		159.50	123

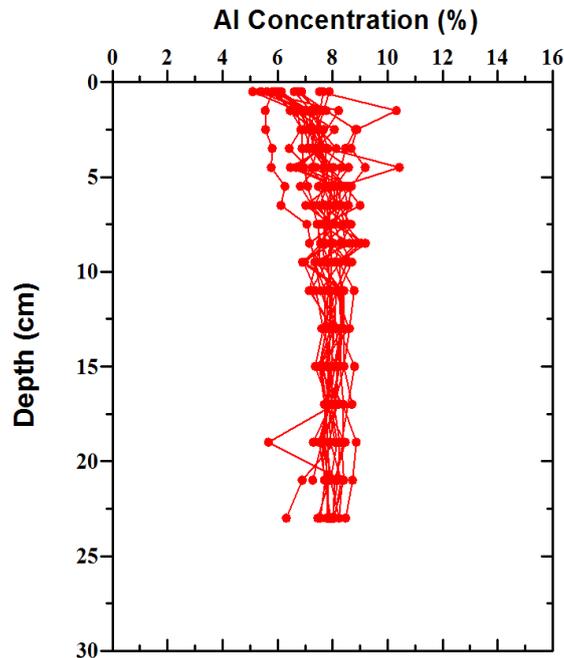


그림 2-8-37. 동해병해역 퇴적물 중 Al 농도의 연간변화

Al은 지각을 구성하는 주요 성분으로 자연 기원의 물질과 인위적 요인에 의해 유입된 물질을 구분하는데 이용되어 왔다. 동해병해역 퇴적물 중의 Al 농도는 휴식년, 대조해역 및 배출해역 간에 유의의 차이가 없기 때문에 자연 상태에서 동일 또는 유사한 기원으로부터 유래한 퇴적물인 것을 시사하고 있다(그림 2-8-37).

표층퇴적물의 As 농도는 DB-085, DB-089, DB-092 구획에서 2006년 및 2011년에 해양환경관리법에서 규정한 해양퇴적물 기준의 관리기준 14.5ppm을 초과하였으나 2012년에는 점차 감소하여 DB-085와 DB-089는 주의 기준 이하였지만, DB-092 구획은 여전히 관리기준을 초과하고 있었다. 퇴적물 깊이 별 농도변화는 DB-085 및 DB-089의 2012년 농도는 표층에서는 감소하였지만 퇴적물 깊이 약 3cm 이심에는 높은 농도의 As 층이 나타났다(그림 2-8-38).

Cd은 모든 조사구획에서 2009년 이전까지 주의기준인 0.75ppm을 초과하였고, 특히 DB-085 구획에서는 관리기준인 2.72ppm을 초과하였다. 2012년에는 모든 조사구획에서 감소하였지만 As와 마찬가지로 DB-092 구획에서는 여전히 주의기준을 초과하고 있었다. 주상퇴적물의 Cd 농도는 DB-085 및 DB-089에서 3cm 이심에서 높은 Cd의 농도층이 나타났다. 따라서 이들 구획에 대해서는 지속적인 감시가 필요한 상황으로 생각된다.

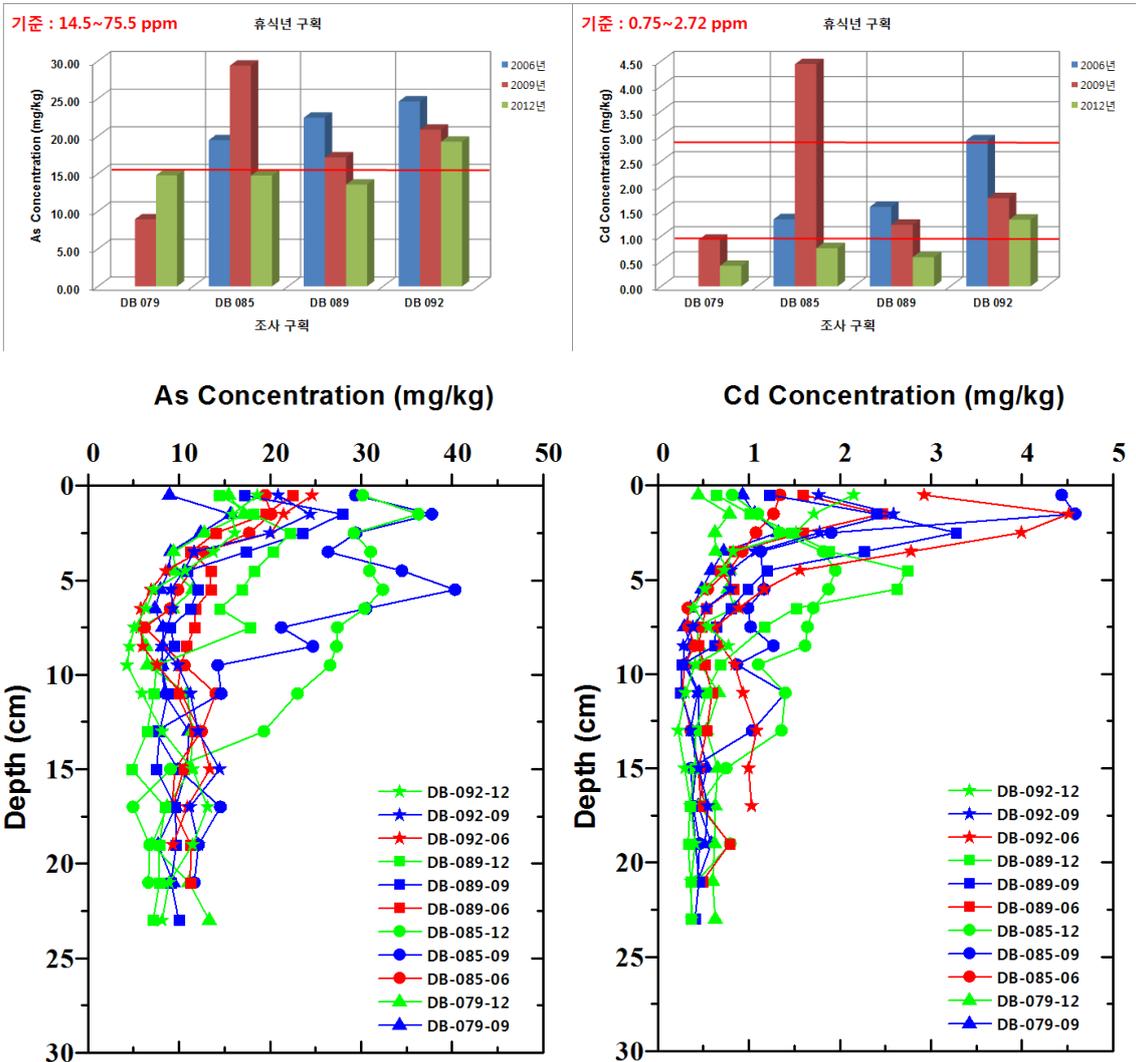


그림 2-8-38. 동해병해역 휴식년 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

Cr은 모든 조사구획에서 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있지만, 퇴적물 깊이별 농도변화에서 DB-085 구획은 2009년 표층에서 3000ppm을 초과한 것이 2012년에는 약 300ppm으로 10배 정도 감소하였지만, 퇴적물 깊이 3cm 층 이하에서는 여전히 높고 5cm 층에는 아직도 800ppm 규모의 아주 높은 Cr층이 나타나고 있었다.

Cu는 As 및 Cd과 마찬가지로 DB-085, DB-089 및 DB-092 구획에서 과거 모두 주의기준인 50.5ppm을 초과하였고, 특히 DB-085에서는 관리기준인 126ppm을 초과하였다. 2012년까지 점차적으로 감소하였지만, 여전히 3개 구획 모두 주의기준을 초과하였다. 퇴적물 깊이별 농도변화 역시 Cr과 마찬가지로

지로 DB-085 및 DB-089에서 퇴적물 표층 이심에서 높고, 특히 5cm 부근에서는 여전히 200ppm 이상의 높은 농도를 유지하고 있어 주의있게 살펴볼 필요가 있다.

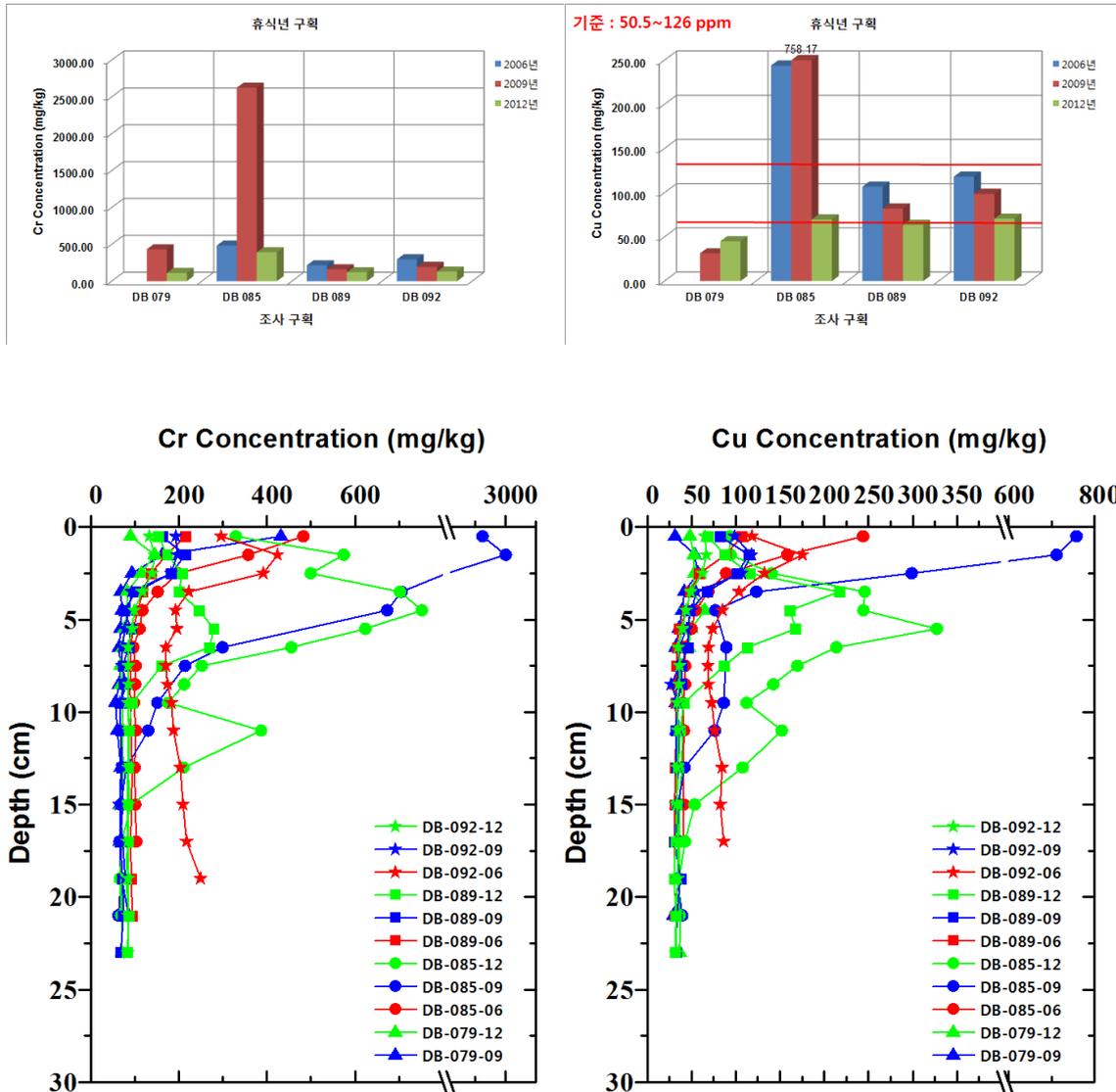


그림 2-8-38. (계속)

Hg는 DB-085, DB-089 및 DB-092 구획에서 관리기준인 0.62ppm을 초과하였고, 특히 DB-092구획은 2012년도에도 여전히 관리 기준을 초과하고 있었다. 퇴적물 깊이별 농도분포 역시 표층하 3cm 부근에 높은 농도의 Hg 층이 존재하고 있었다.

Ni은 모든 조사구획에서 매년 점차적으로 감소하고 있었고, 퇴적물 기준

을 초과하는 구획은 보이지 않았다. 퇴적물 깊이별 농도 분포는 DB-085 구획의 3cm 깊이 부근에서 약 180ppm의 높은 농도를 나타내고 있었다.

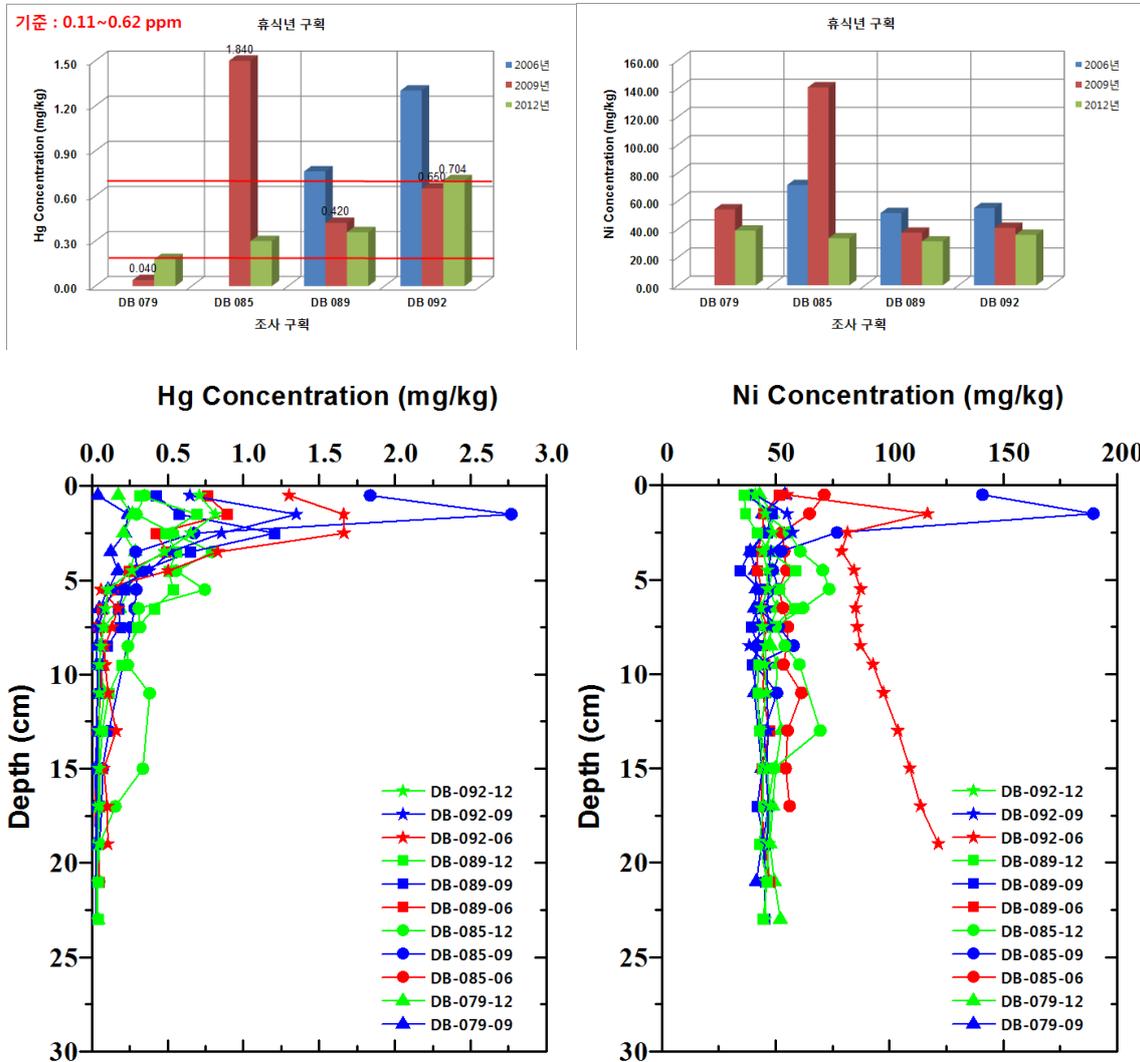


그림 2-8-38. (계속)

Pb은 다른 중금속들과 마찬가지로 모든 조사구획에서 2011년도까지 주의 기준인 44.0ppm을 초과하고 있었고, 2009년의 DB-085 및 2006년의 DB-089와 DB-092 구획에서 관리기준인 119ppm을 초과하였다. 2012년도에는 모든 구획에서 과거에 비해 점차적으로 농도가 감소하였지만, 모든 조사구획에서 여전히 주의기준을 초과하고 있었다. 퇴적물 깊이별 농도변화는 타 중금속과 마찬가지로 DB-085 및 DB-089 구획의 퇴적물 깊이 5cm 부근에 100ppm 이상의 높은 Pb 농도층이 나타났다.

Zn 역시 납과 마찬가지로 DB-085, DB-089 및 DB-092 구획에서 2011년도 까지 관리기준인 421ppm을 초과하였고, 2012년도에는 다소 감소하였지만 여전히 주의기준인 179ppm을 초과하고 있었다. 퇴적물 깊이별 농도변화는 Pb 과 마찬가지로 DB-085 및 DB-089 구획의 퇴적물 깊이 5cm 부근에 500ppm 이상의 높은 Pb 농도층이 나타났다.

이와같이 대부분의 퇴적물 중 중금속 농도는 휴식년 지정 후 6년이 경과 하였지만 여전히 주의기준 이상의 높은 농도를 나타내고 있어 휴식년 구획의 퇴적물이 심각하게 중금속 오염이 유지되고 있다는 것을 나타내고 있고, 주의깊게 지속적인 감시의 필요성을 시사하고 있었다.

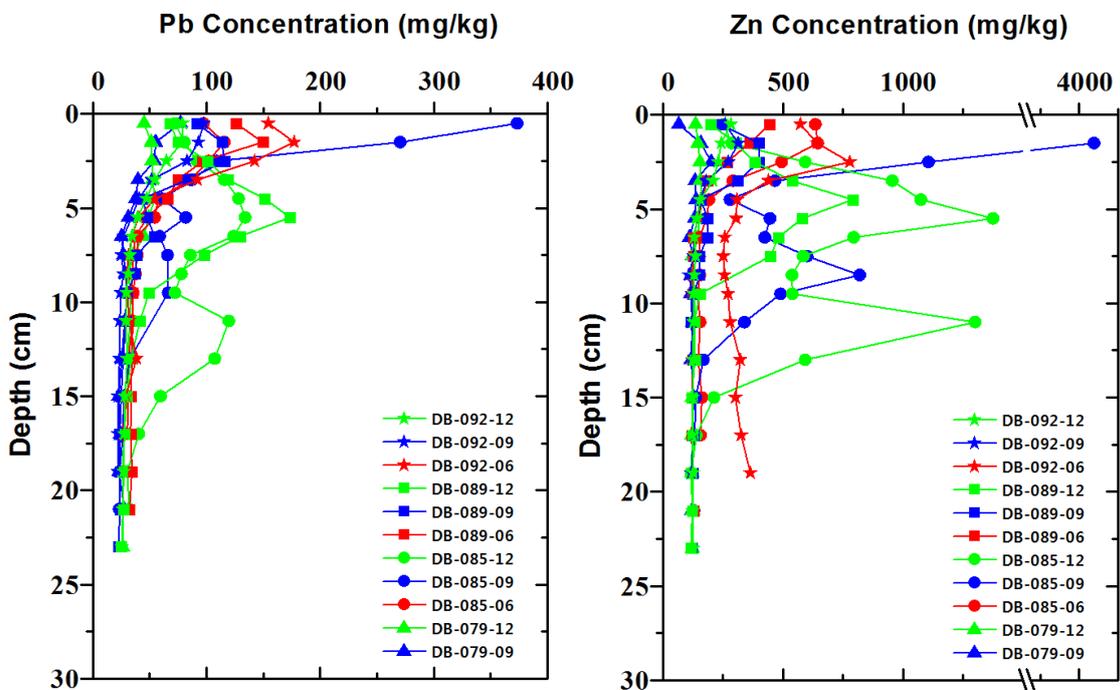
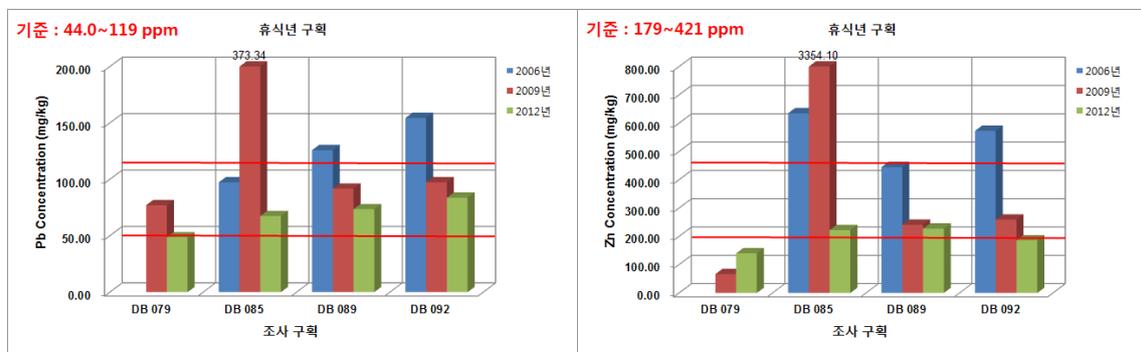


그림 2-8-38. (계속)

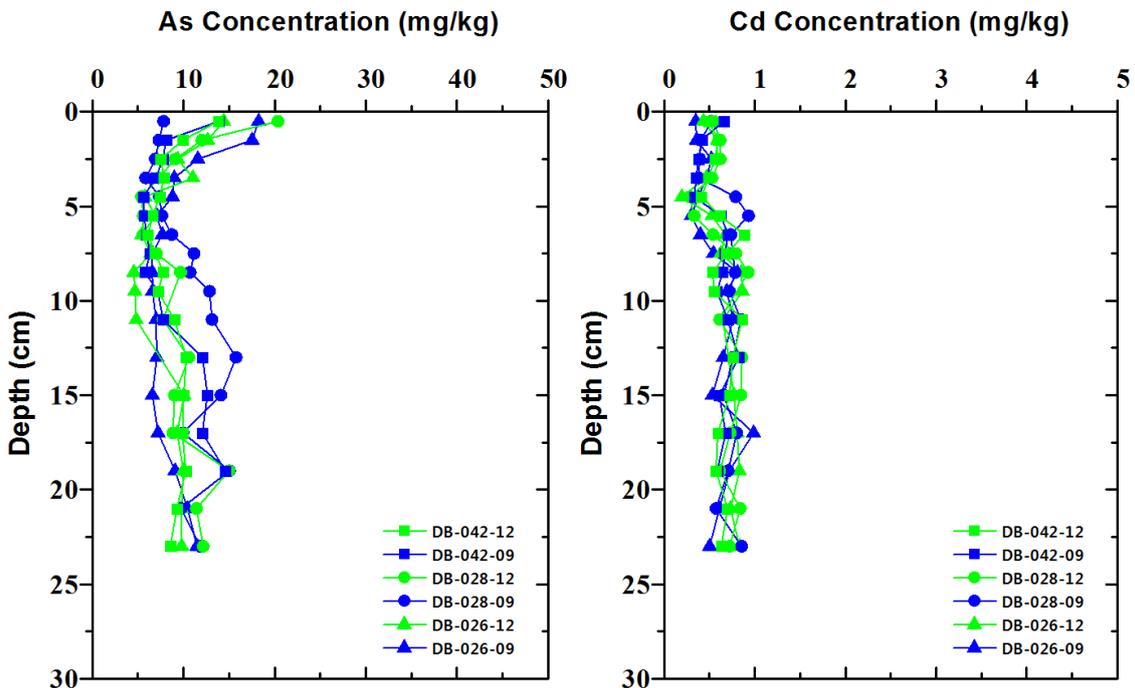
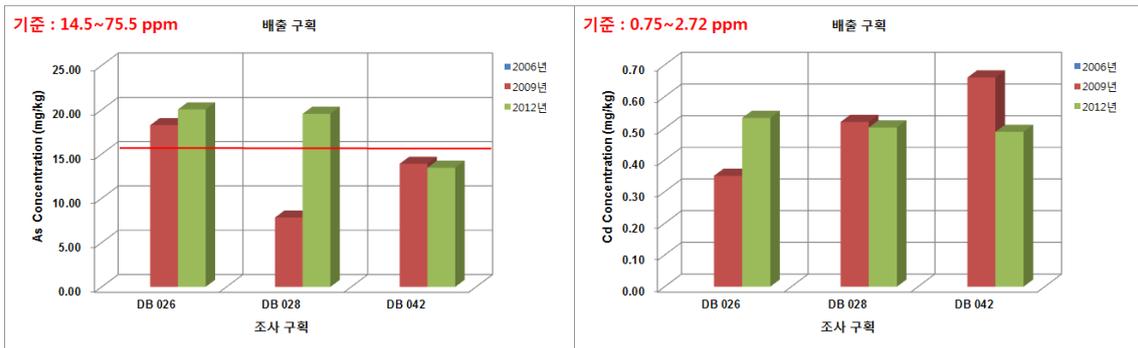


그림 2-8-39. 동해병해역 배출 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

2006년 6월 동해병해역 중 오염이 특히 심화된 구획을 휴식년 구획으로 지정하고, 폐기물 배출을 금지하고, 그동안 폐기물 배출이 되지 않았던 구획에 새롭게 폐기물 배출을 시작하였다. 본 조사에서는 이 배출구획의 3개 구획 DB-026, DB-28 및 DB-042 구획에서 배출이 시작된 후의 퇴적물 중의 중금속 농도 변화를 연도별로 살펴보았다(그림 2-8-39)

As는 DB-026과 DB-028 구획의 표층퇴적물에서 2011년에 비해 농도가 증가하였고, 2개 구획 모두 주의기준인 14.5ppm을 초과하고 있었다. 퇴적물 깊이별 농도는 표층에서 높고 점차 감소하여 퇴적물 깊이 약 5cm 이하에서 자연 수준으로 나타났다

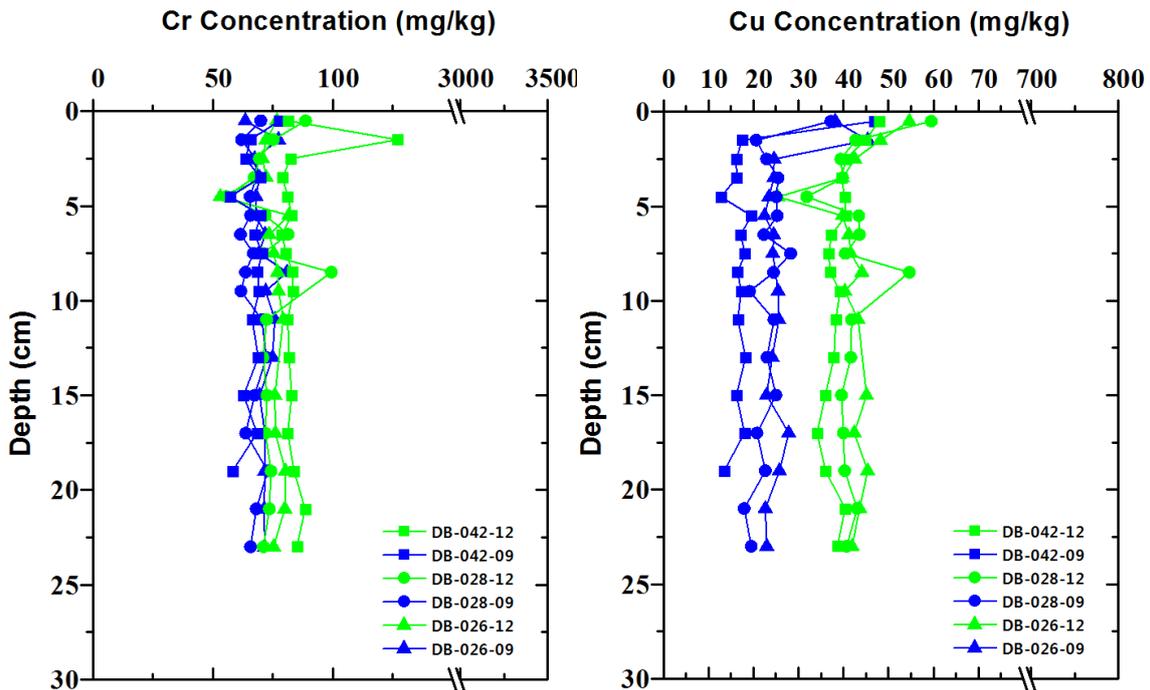
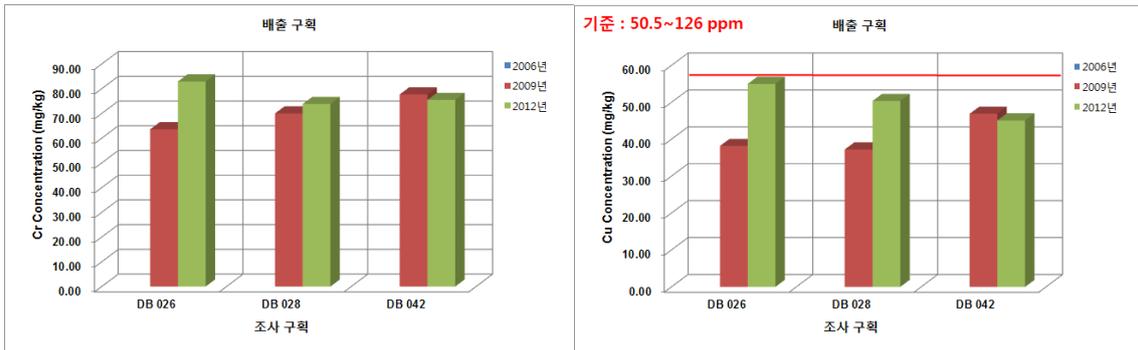


그림 2-8-39. (계속)

Cd은 DB-026 구획에서 2011년에 비해 2012년도에 표층퇴적물에서 농도가 증가하였고, DB-028 및 DB-042 구획에서 감소한 경향을 보였다. 또한 모든 조사구획에서 퇴적물 기준을 초과하지 않았다. 그리고 퇴적물 깊이에 따른 농도변화는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Hg은 2012년도의 모든 조사구획 구획에서 2011년에 비해 농도가 증가하였고, 주의기준인 0.11ppm을 초과하여 향후 주의하여 살펴볼 필요가 있었다.

Ni은 DB-026 구획에서 2011년에 비해 다소 표층퇴적물의 농도가 증가하였고, DB-028 및 DB-042 구획에서는 2011년도에 비해 감소한 경향을 나타내었다.

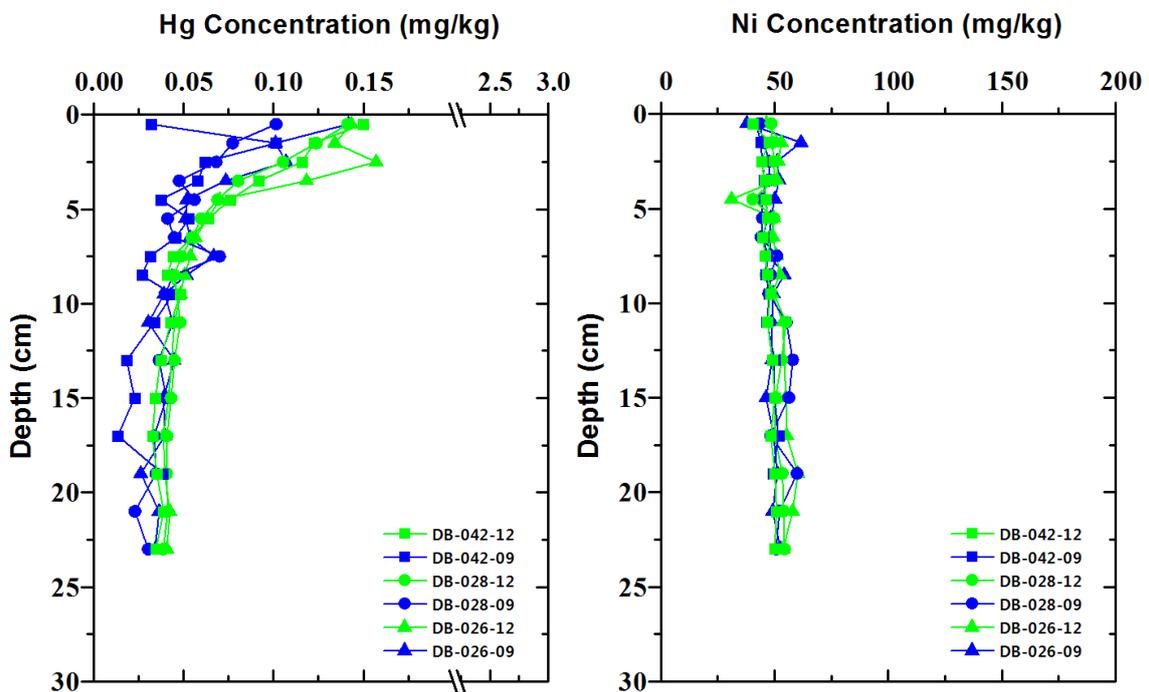


그림 2-8-39. (계속)

Pb은 3개의 조사구획 모두 표층퇴적물에서 2011년 뿐만 아니라 2012년에도 주의기준인 44.0ppm을 초과하고 있었고, DB-026과 DB-028 구획은 2011년도에 비해 증가하였다. 퇴적물 깊이별 농도변화는 유의한 차이는 보이지 않았다.

Zn은 Pb과 마찬가지로 B-026과 DB-028 구획의 표층퇴적물에서 2011년도에 비해 증가하였다. 그리고 DB-026 구획은 주의기준인 179ppm을 초과하였다. 퇴적물 깊이별 농도변화는 유의한 차이가 없었다.

이와같이 배출구획에서 특히 DB-026 구획을 중심으로 2011년도에 비해

퇴적물 중 중금속 농도가 증가하는 경향은 휴식년제 시행 이후 새롭게 이들 구획에 폐기물이 배출됨에 의해 퇴적물의 중금속 오염이 시작되고 있음을 시사하고 있다.

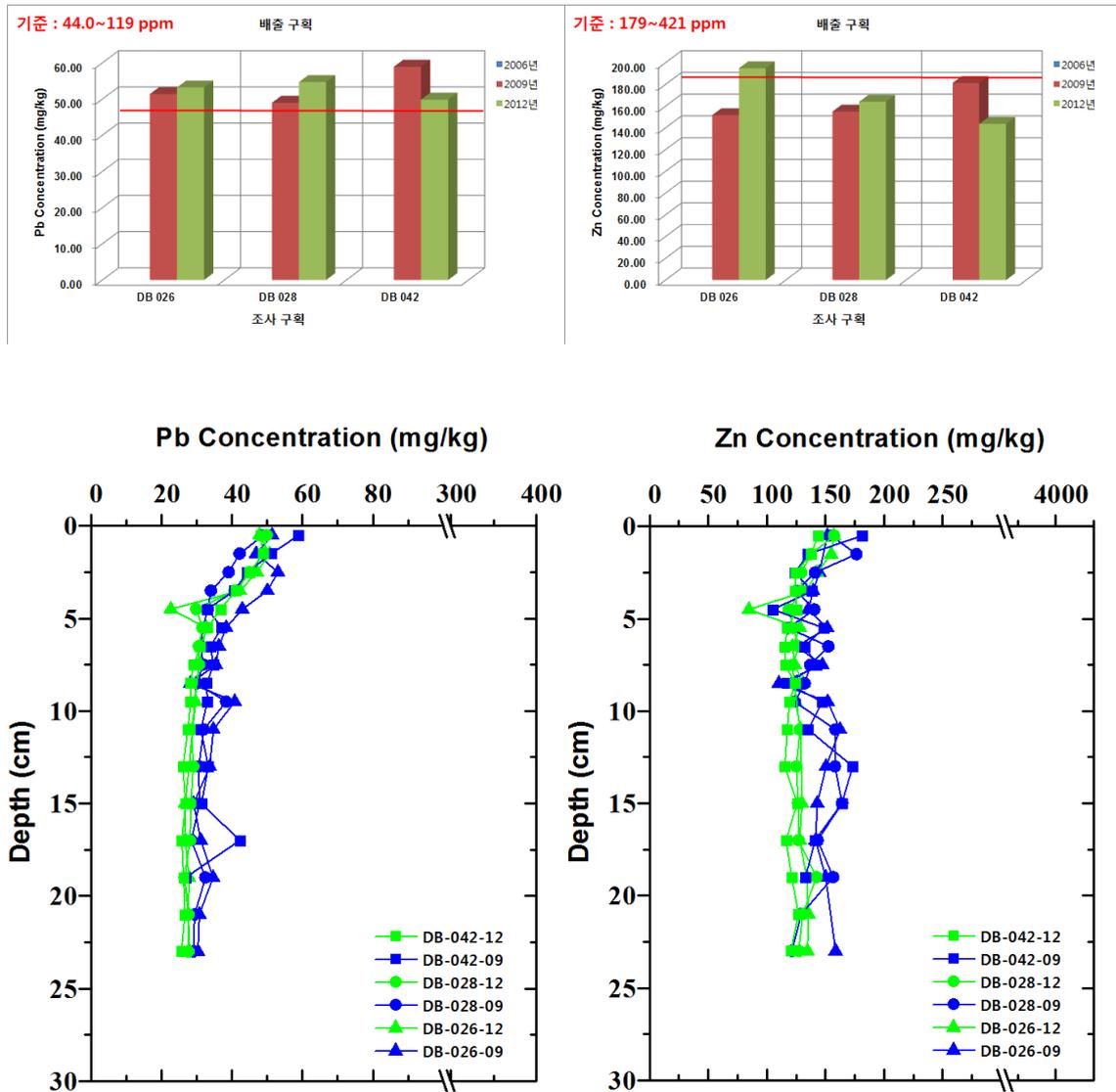


그림 2-8-39. (계속)

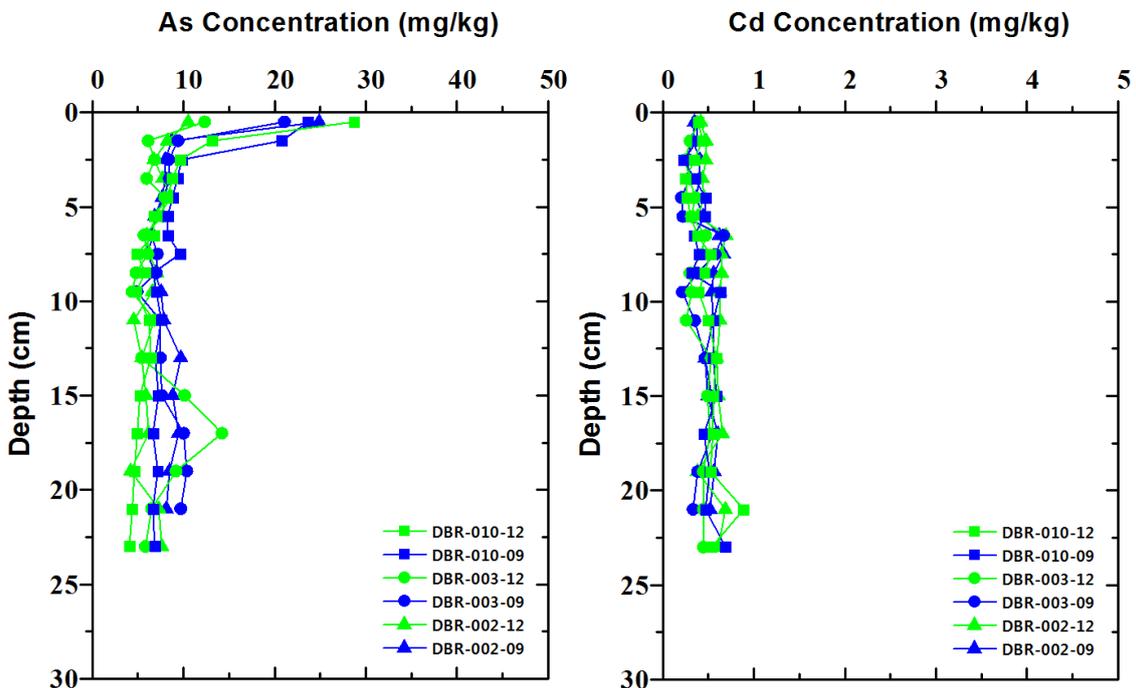
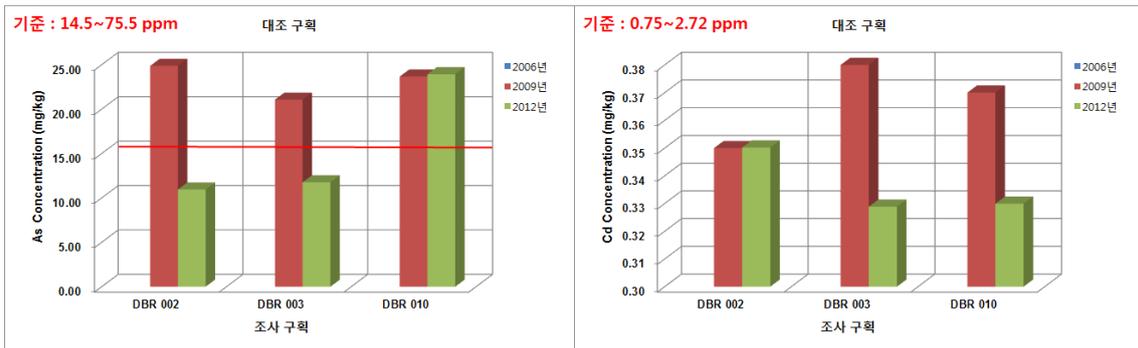


그림 2-8-40. 동해병해역 대조 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

대조구획의 퇴적물 중 중금속 농도를 그림 2-8-40에 나타내었다.

As는 DBR-002 및 DBR-003 구획에서 2011년도에 비해 감소하였고, DBR-010은 농도 변화가 없었고, 주의기준인 14.5ppm을 초과하였다. Cd은 모든 조사구획에서 농도변화가 없거나 2011년에 비해 감소하였고, 기준을 초과하는 구획은 없었다. Cr과 Cu는 모든 조사구획에서 약간 증가 또는 농도 변화가 없었고, 기준초과 구획도 나타나지 않았다. Hg 및 Ni은 3개의 조사구획 모두 2011년에 비해서 약간 감소하는 경향을 보였다. Pb은 모든 조사구획에서 주의기준인 44.0ppm을 초과하고 있었고, Zn과 함께 DBR-002 구획을 제외하고 2011년도에 비해 약간 감소하였다.

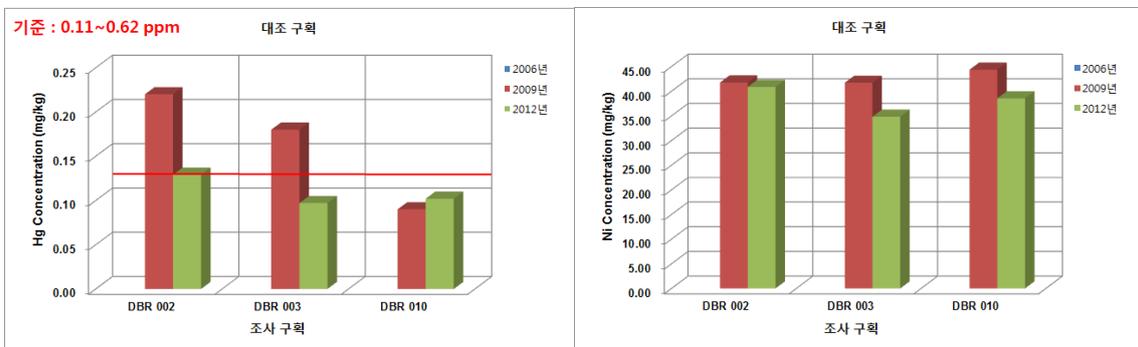
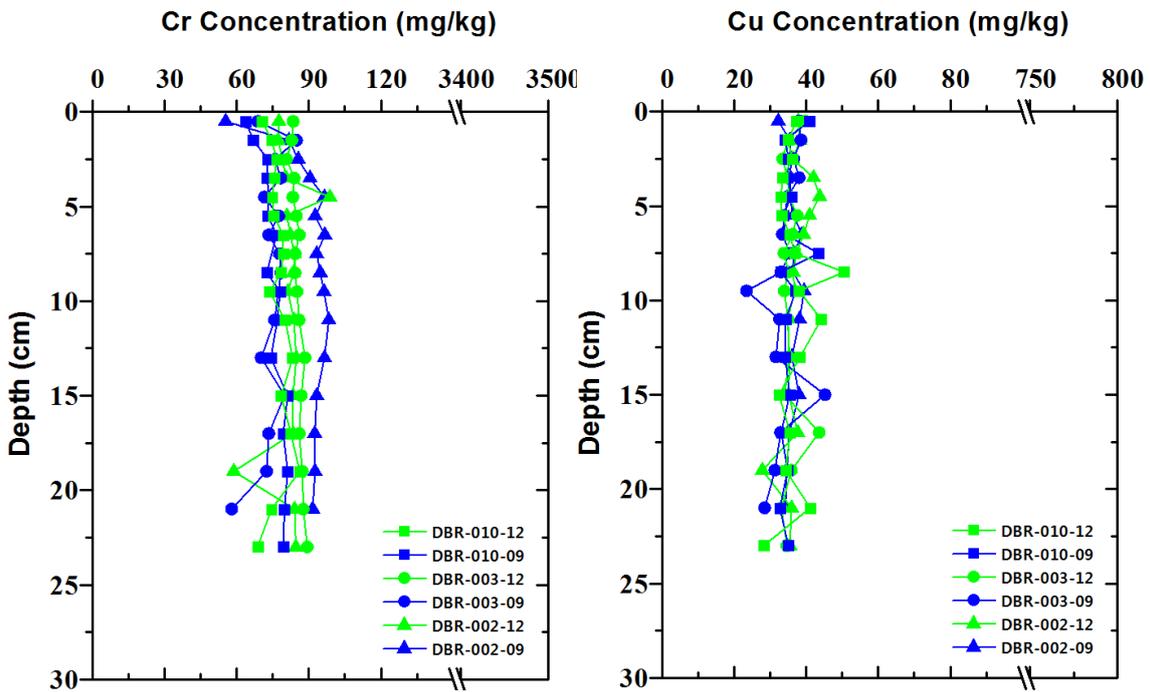
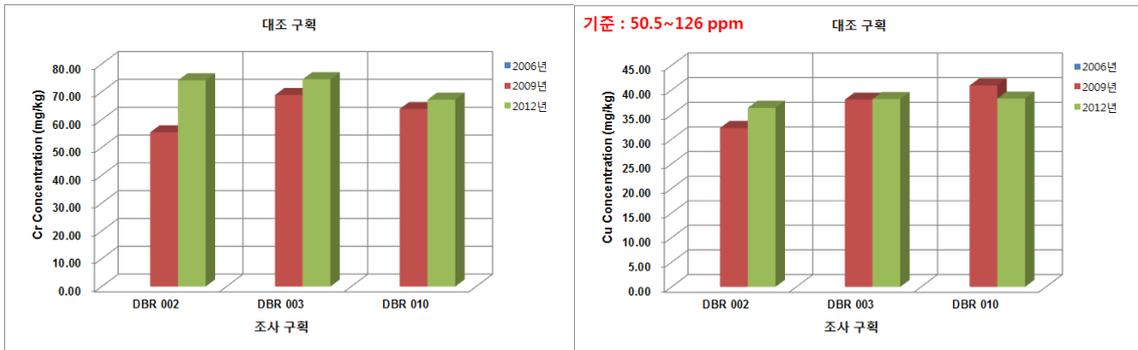


그림 2-8-39. (계속)

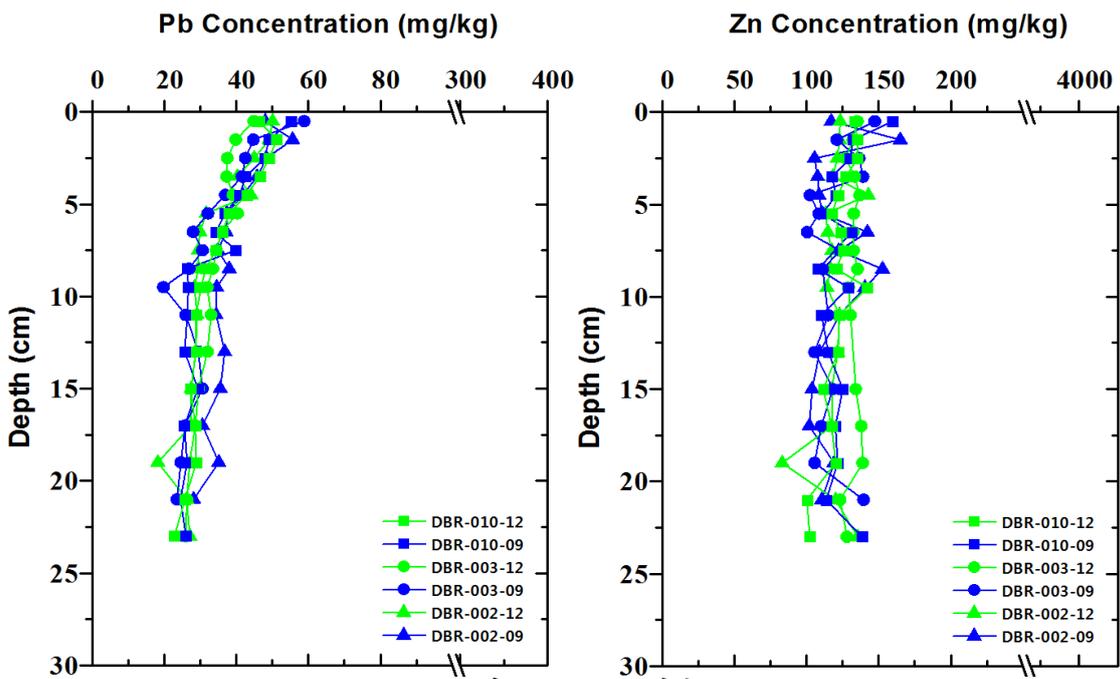
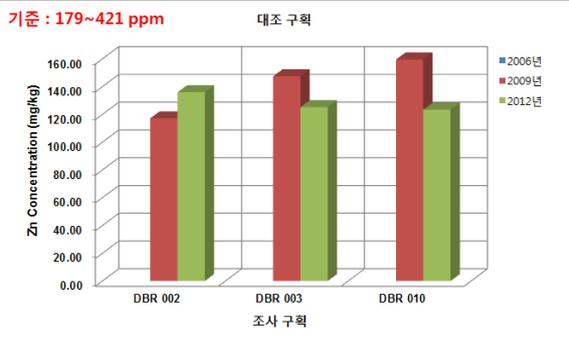
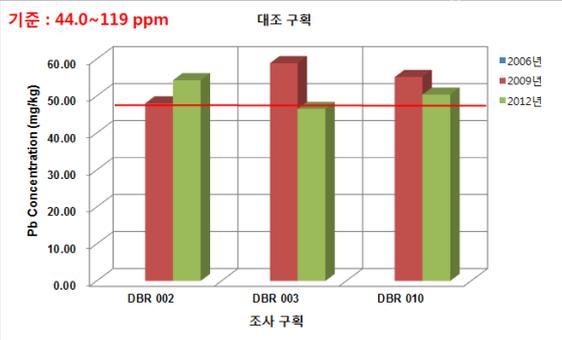
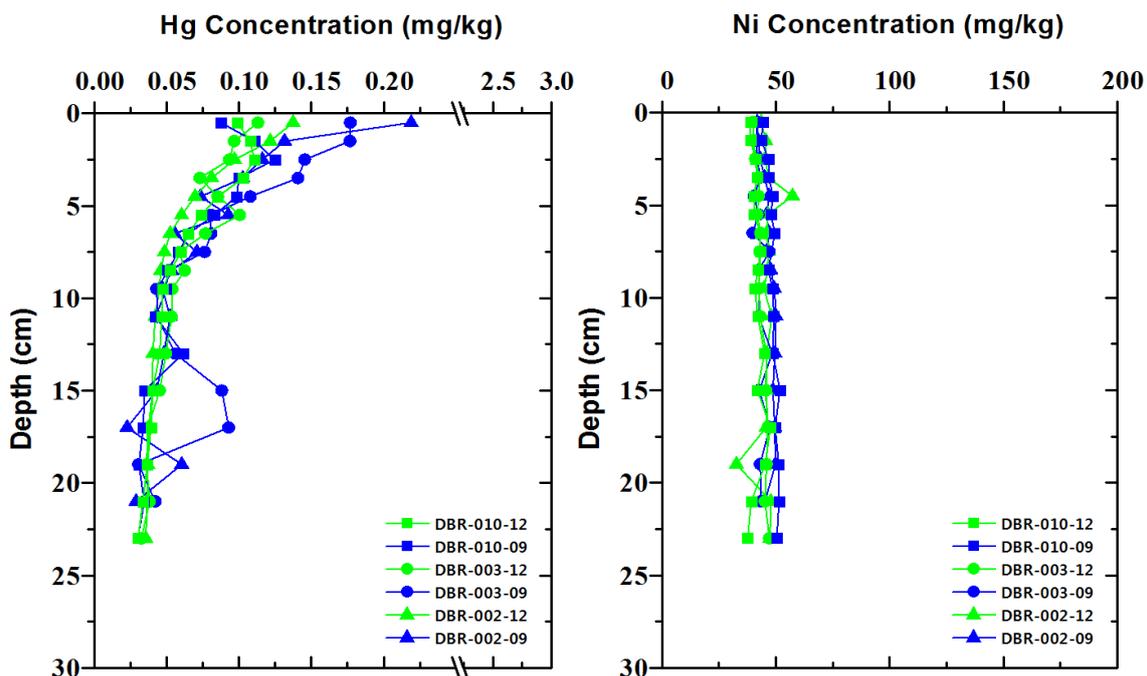


그림 2-8-39. (계속)

표 2-8-23. 동해병해역 퇴적물 중 AI 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	5.09	6.0	6.75	6.1	6.61	6.0	7.88	6.9	7.66	5.40	7.5			5.8
1.5	6.73	7.2	7.77	6.7	7.20	6.9	7.67	7.4	7.55	8.22	10.3		6.71	5.5
2.5	7.54	7.1	8.83	7.2	7.67	7.0	7.47	7.2	7.41		8.9		6.85	5.6
3.5	8.13	7.6	8.46	7.7	7.45	7.2		7.1	7.60	7.37	8.7		6.42	5.8
4.5	7.79	6.7	8.31	6.5	7.25	7.8		7.4	8.58		9.2			5.8
5.5	8.40	8.1	8.02	8.2	8.63	7.8	7.90	6.8	8.09		8.7		7.82	6.3
6.5	8.54	8.3	7.76	8.1	8.21	7.5	7.02	7.3	8.02	9.00	8.6		8.17	6.1
7.5	8.47	8.4		8.1	8.67	7.8	7.94	7.8	8.35	7.66	8.0		7.58	7.1
8.5	7.73	8.4	8.00	7.2	8.31	8.0	7.92	8.0	8.84	7.75	9.2		8.61	
9.5	8.53	7.6	6.91		8.70	7.8	7.79	8.5	8.24	6.99	8.3		7.35	7.4
11.0	8.12	8.3	8.30	8.0	8.24	8.0	7.20	8.1	8.78	8.40	7.6		7.56	7.7
13.0	8.59		8.33	8.1	8.31	7.9	7.93	8.1	8.61		8.0		8.23	7.7
15.0	7.47	8.3	8.11	8.2	8.05	7.9	7.77	8.0	8.41	8.27	7.6		8.80	7.8
17.0	8.37	7.9	7.70	8.0	7.93	7.9	8.16	7.7	8.71	8.39	7.8			7.8
19.0	8.86	8.2	8.46	8.3	7.30	7.9	7.54	7.7		8.38	7.7		8.32	7.5
21.0	8.72	7.9	8.07	8.2		8.3		7.8		8.10	8.0		8.41	7.7
23.0	8.48	8.2	8.03	8.0		8.1		7.9					8.04	7.6
25.0														
27.0														

표 2-8-23. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5		537	6.1	562	6.8	601	6.8	597	5.9
1.5		696	7.1	694	7.4	703	7.5	645	6.5
2.5		807	7.3	718	7.6	767	7.4	729	6.9
3.5		740	7.3	730	7.8	753	7.8	741	6.9
4.5		683	7.9	768	10.4	770	7.7	803	7.0
5.5		853	7.7	765	8.3	768	7.5	793	7.1
6.5		769	7.9	829	8.3	734	7.7	792	7.3
7.5		845	7.9	748	8.1	805	7.7		7.4
8.5		903	7.6		8.3	755	8.0	763	7.6
9.5		825	7.9	752	8.1		7.9	770	6.9
11.0		831	7.8	787	8.4	715	7.9	816	7.4
13.0		830	7.8	792	8.4	804	8.0	761	7.7
15.0		767	7.5	751	8.4	755	8.0	812	7.4
17.0		787	7.7	779	8.1	815	7.9	821	7.9
19.0		754	7.8	760	5.7	788	7.6	760	8.1
21.0			7.9	728	8.4	772	7.8	771	6.9
23.0			7.5		8.2		7.8	793	6.3
25.0									
27.0									

표 2-8-24. 동해병해역 퇴적물 중 As 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	18.25	14.4	7.83	20.4	13.90	13.8	8.94	15.5	19.47	29.38	30.2	22.46	17.17	14.4
1.5	17.53	12.7	7.31	12.0	8.10	9.9	15.69	17.1	20.10	37.76	36.3	19.55	27.94	18.2
2.5	11.57	9.4	6.92	9.1	7.73	7.5	12.36	12.8	17.71	29.45	29.2	14.01	23.59	22.2
3.5	8.98	11.0	5.85	7.3	6.97	7.8	9.08	9.4	12.86	26.36	31.1	11.30	17.34	20.3
4.5	8.81	5.8	7.36	5.4	5.59	7.4	8.89	9.5		34.49	30.9	13.48	10.95	18.3
5.5	7.06	6.9	7.61	5.6	5.68	6.6	7.94	11.5	9.88	40.32	32.4	13.49	12.07	16.9
6.5	7.67	5.4	8.73	5.6	5.92	6.1	7.35	9.3	9.05	30.55	30.4	11.79	11.28	14.4
7.5	6.58	6.4	11.17	7.0	6.35	6.9	8.21	5.8	6.19	21.23	27.4	11.72	9.06	17.8
8.5	6.57	4.6	10.74	9.7	5.77	7.8	8.19	6.4		24.71	27.3	10.85	9.46	
9.5	6.61	4.7	12.86		7.17	7.2	8.13	6.5	10.60	14.26	26.6	10.22	8.02	7.5
11.0	6.99	4.8	13.13	7.7	7.77	9.0	8.39	10.9	14.04	14.64	23.0	9.76	8.76	7.2
13.0	7.06		15.77	10.6	12.10	10.3	11.08	11.4	12.48	7.43	19.3	11.71	7.88	6.5
15.0	6.58	10.1	14.11	9.0	12.62	10.0	10.86	11.3	9.54	9.88	9.1	10.51	7.52	4.8
17.0	7.22	9.3	9.95	8.9	12.06	9.9	9.61	8.7	9.24	14.56	5.0	9.31	9.59	8.5
19.0	9.07	10.0	15.05	15.0	14.59	10.2	7.70	7.0		12.14	6.8	11.28	9.69	7.8
21.0	10.45	9.8	9.73	11.4		9.3	9.35	11.1		11.68	6.6	11.24	9.13	7.8
23.0	11.48	9.8	11.83	12.2		8.5		13.3					9.97	7.2
25.0														
27.0														

표 2-8-24. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	24.62	20.87	18.6	24.87	10.5	21.07	12.3	23.67	28.7
1.5	21.47	24.40	15.9	8.70	8.2	9.41	6.1	20.77	13.2
2.5	20.06	20.01	16.1	8.02	6.8	8.39	6.8	9.80	9.7
3.5	12.21	11.66	13.8	7.98	7.7	8.46	6.0	9.34	8.8
4.5	8.54	10.50	10.7	7.67	8.7	7.83	8.0	8.79	8.3
5.5	6.94	9.11	7.2	6.82	7.2	6.96	7.7	8.27	6.7
6.5	5.80	9.30	6.4	6.64	6.0	6.49	5.7	8.29	6.7
7.5	5.76		5.1	6.05	6.2	7.14	6.1	9.61	4.9
8.5	6.00	8.11	4.6	6.88	7.1	7.01	4.8	6.67	5.8
9.5	7.60	9.87	4.3	7.56	6.6	4.91	4.4	7.03	4.8
11.0	10.25	11.25	5.9	7.84	4.5	7.41	6.8	7.55	6.2
13.0	12.31	12.09	8.2	9.70	5.4	7.45	5.4	6.89	6.4
15.0	13.40	14.47	11.5	8.81	5.9	7.61	10.1	7.26	5.2
17.0	10.90	11.20	13.1	9.46	6.2	10.02	14.2	6.67	4.9
19.0	9.31	12.16	11.5	8.46	4.2	10.37	9.2	7.18	4.6
21.0			8.9	8.12	7.3	9.70	6.5	6.65	4.4
23.0			8.1		7.6		5.8	6.84	4.1
25.0									
27.0									

표 2-8-25. 동해병해역 퇴적물 중 Cd 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	0.35	0.4	0.52	0.5	0.66	0.5	0.93	0.4	1.34	4.44	0.8	1.59	1.23	0.6
1.5	0.36	0.6	0.40	0.6	0.41	0.6	1.06	0.8	1.27	4.59	1.1	2.47	2.40	1.0
2.5	0.52	0.6	0.39	0.6	0.38	0.6	1.32	0.6	1.08	1.90	1.3	1.59	3.27	1.5
3.5	0.47	0.5	0.38	0.5	0.35	0.5	0.72	0.6	0.93	1.13	1.8	0.84	2.27	1.9
4.5	0.38	0.2	0.79	0.3	0.33	0.4	0.59	0.8	0.78		1.9	0.68	1.20	2.7
5.5	0.30	0.5	0.93	0.3	0.62	0.6	0.48	0.8	0.55	1.17	1.9	0.83	0.99	2.6
6.5	0.40	0.7	0.74	0.5	0.71	0.9	0.36	0.8	0.33	0.99	1.7	0.53	0.81	1.5
7.5	0.54	0.6	0.76	0.8	0.67	0.7	0.29	0.4	0.34	1.02	1.6	0.48	0.64	1.2
8.5	0.81	0.8	0.78	0.9	0.65	0.5	0.36	0.5	0.40	1.27	1.6	0.45	0.62	
9.5	0.69	0.9	0.72		0.58	0.6	0.31	0.5	0.29	0.87	1.1	0.51	0.27	0.7
11.0	0.76	0.6	0.85	0.6	0.70	0.9	0.45	0.7	0.27	1.40	1.4	0.59	0.25	0.5
13.0	0.65		0.76	0.9	0.82	0.8	0.44	0.5	0.36	1.04	1.4	0.54	0.38	0.4
15.0	0.53	0.8	0.66	0.8	0.61	0.7	0.54	0.7	0.45	0.36	0.8	0.45	0.42	0.4
17.0	0.99	0.8	0.80	0.7	0.68	0.6	0.44	0.6	0.51	0.38	0.5	0.47	0.37	0.4
19.0	0.72	0.8	0.71	0.6	0.59	0.6	0.59	0.6		0.46	0.8	0.79	0.41	0.3
21.0	0.61	0.7	0.57	0.8		0.7	0.44	0.6		0.43	0.4	0.49	0.45	0.4
23.0	0.50	0.8	0.85	0.7		0.6		0.6					0.41	0.4
25.0														
27.0														

표 2-8-25. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	2.92	1.76	2.2	0.35	0.4	0.38	0.4	0.37	0.4
1.5	4.51	2.59	1.7	0.33	0.5	0.31	0.3	0.38	0.4
2.5	3.99	1.78	1.5	0.41	0.5	0.27	0.2	0.22	0.3
3.5	2.78	1.07	0.8	0.40	0.4	0.29	0.3	0.35	0.3
4.5	1.56	0.80	0.7	0.37	0.5	0.20	0.4	0.47	0.3
5.5	1.17	0.80	0.5	0.44	0.4	0.22	0.3	0.46	0.3
6.5	0.89	0.53	0.4	0.62	0.7	0.66	0.5	0.35	0.4
7.5	0.63	0.38	0.6	0.67	0.6	0.57	0.4	0.40	0.5
8.5	0.69	0.28	0.8	0.56	0.6	0.38	0.3	0.32	0.5
9.5	0.84	0.29	0.4	0.54	0.6	0.22	0.3	0.63	0.4
11.0	0.94	0.44	0.3	0.55	0.6	0.35	0.3	0.55	0.5
13.0	1.08	0.36	0.2	0.46	0.6	0.46	0.5	0.55	0.6
15.0	1.00	0.45	0.3	0.49	0.6	0.53	0.5	0.59	0.6
17.0	1.03	0.55	0.4	0.60	0.7	0.55	0.5	0.45	0.5
19.0		0.52	0.4	0.56	0.4	0.38	0.4	0.51	0.5
21.0			0.4	0.52	0.7	0.33	0.4	0.47	0.9
23.0			0.4		0.6		0.4	0.69	0.5
25.0									
27.0									

표 2-8-26. 동해병해역 퇴적물 중 Cr 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	63.61	76.7	70.00	88.7	77.71	81.4	431.88	90.1	483.22	2624.77	329.8	215.32	161.46	153.2
1.5	77.39	72.3	62.03	75.2	65.67	127.0	163.07	145.0	358.02	3005.20	574.8	172.24	214.57	174.3
2.5	67.49	70.7	67.61	69.5	63.72	82.3	93.51	115.0	198.74	1308.05	499.3	136.26	182.69	208.0
3.5	69.47	72.3	68.03	67.3	69.83	79.0	68.19	82.9	151.80	705.64	702.2	117.55	102.34	200.1
4.5	68.01	53.1	65.63	55.7	57.32	81.3	70.92	83.2	117.52	673.16	752.5	107.35	76.22	245.9
5.5	68.03	81.7	65.76	71.9	69.94	83.0	67.49	76.7	110.63		623.7	96.76	91.53	279.4
6.5	71.79	73.5	61.57	81.4	67.56	78.8	64.61	73.1	96.57	299.49	455.9	89.86	85.37	270.2
7.5	69.26	75.5	66.94	71.0	70.54	80.5	67.56	68.1	101.93	214.36	252.6	91.13	73.22	161.2
8.5	80.90	77.1	63.62	99.4	68.58	83.1	64.64	69.3	101.06		212.2	88.97	74.95	
9.5	72.00	77.4	61.78		69.39	83.5	55.90	72.5	98.04	151.27	176.1	89.99	67.54	94.0
11.0	75.82	79.3	70.44	72.5	66.43	81.3	60.46	72.6	102.58	130.52	387.0	91.02	67.56	85.9
13.0	74.92		72.29	71.0	68.94	81.7	68.23	73.3	99.48	80.51	211.3	94.00	69.88	84.1
15.0	69.54	75.9	67.45	72.6	62.88	82.9	66.61	70.3	101.18	68.51	91.7	92.38	73.10	82.7
17.0	71.67	76.1	63.69	71.9	68.41	81.3	66.44	69.6	103.17	65.57	70.4	90.52	66.62	83.6
19.0	71.70	80.3	72.91	74.3	58.26	83.9	70.55	68.7		68.79	66.3	92.30	72.36	79.5
21.0	71.42	80.0	68.11	73.6		88.5	85.91	70.8		63.18	69.4	94.50	74.18	86.5
23.0	71.62	75.3	65.73	71.1		85.1		70.0					67.97	83.0
25.0														
27.0														

표 2-8-26. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	296.26	193.22	133.3	55.45	77.6	68.85	83.5	63.82	70.6
1.5	424.13	196.81	144.6	81.73	77.3	84.94	83.0	66.93	74.5
2.5	391.88	182.51	139.4	85.62	79.0	76.00	80.8	72.97	76.7
3.5	222.64	93.05	117.2	90.51	80.6	78.33	83.9	72.68	75.6
4.5	192.56	86.45	98.4	96.55	98.7	71.53	83.3	73.32	74.8
5.5	195.97	77.60	94.2	92.69	80.8	77.46	84.8	73.08	75.4
6.5	170.79	71.38	84.7	96.69	82.4	73.33	86.1	76.59	79.4
7.5	170.38	71.10	85.6	93.32	84.0	77.85	84.3		79.4
8.5	174.06	81.02	85.8	94.80	83.6	78.39	84.3	72.53	78.6
9.5	183.31	66.48	84.4	96.32	81.4		85.1	78.08	73.7
11.0	187.85	67.37	86.4	98.31	83.8	75.84	85.9	76.92	80.2
13.0	203.65	72.27	85.6	96.50	84.8	70.22	88.4	74.22	83.3
15.0	209.62	64.86	86.1	93.30	83.4	79.94	86.9	81.21	78.5
17.0	217.99	72.51	83.9	92.45	83.4	73.35	86.0	79.39	82.5
19.0	249.62	78.25	85.2	92.62	58.8	72.43	87.3	81.23	86.2
21.0			85.2	91.61	84.1	57.95	87.7	79.86	74.5
23.0			84.7		84.6		89.4	79.38	68.8
25.0									
27.0									

표 2-8-27. 동해병해역 퇴적물 중 Cu 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	38.18	54.7	37.23	59.6	46.91	48.0	31.31	48.1	243.88	758.17	93.0	106.87	82.02	68.6
1.5	45.41	48.2	20.60	42.7	17.43	44.8	53.32	52.6	158.43	711.81	94.1	88.60	114.88	87.6
2.5	24.58	42.5	22.90	39.4	16.21	40.5	57.10	53.1	89.07	298.90	140.7	58.86	101.20	115.6
3.5	24.50	39.8	25.46	39.8	16.24	39.6	41.82	51.1	68.75	123.36	245.9	48.33	67.64	216.9
4.5	23.47	25.5	25.08	31.9	12.77	40.3	39.50	64.7	54.19	76.91	244.2	44.72	47.99	161.3
5.5	22.45	39.8	25.30	43.4	19.55	40.6	35.60	49.5	49.94		327.3	35.61		167.6
6.5	24.46	41.2	22.31	43.6	17.13	37.3	32.10	46.4	41.43	89.26	213.9	33.92	45.50	113.1
7.5	24.27	41.6	28.27	40.4	18.11	36.8	35.55	37.8	42.79		169.6	32.83	38.23	86.7
8.5		44.1	24.47	54.6	16.47	37.0	33.00	38.2	42.74		142.6	31.65	38.91	
9.5	25.47	40.3	19.13		17.22	39.3	32.40	40.0	40.26	86.44	112.3	31.92	33.96	41.3
11.0	25.61	43.3	24.54	41.8	16.51	38.3	32.82	39.7	41.48	76.22	152.2	32.36	32.23	36.9
13.0	24.17		23.00	41.7	18.19	37.9	34.30	39.0	40.74	41.98	107.8	31.73	32.90	35.3
15.0	22.89	45.1	25.01	39.6	16.21	36.0	32.82	36.3	41.24	34.63	53.5	30.88	33.59	33.0
17.0	27.83	42.4	20.77	40.0	17.99	34.1	34.21	36.4	40.45	34.22	42.5	30.37	30.82	31.9
19.0	25.78	45.4	22.65	40.3	13.52	36.0	35.40	35.4		33.94	36.0	30.93	37.35	30.0
21.0	22.65	43.6	17.94	43.0		40.3	29.62	36.8		39.35	36.6	31.51	33.55	32.4
23.0	22.95	41.9	19.51	40.7		38.7		36.6					31.85	31.2
25.0														
27.0														

표 2-8-27. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	118.16	98.61	65.1	32.28	37.9	38.04	39.8	40.92	37.3
1.5	175.46	117.89	66.5	35.52	38.3	38.57	34.9	34.21	35.0
2.5	132.67	106.60	62.3	35.77	36.2	36.51	33.5	35.09	36.1
3.5	103.68	55.20	49.1	35.64	42.1	38.04	34.8	34.91	33.5
4.5	84.90	50.18	43.6	35.38	43.8	34.91	35.3	35.85	33.0
5.5	73.88	44.31	39.8	36.44	41.0	33.92	37.5	33.67	33.3
6.5	69.15	35.84	34.9	38.83	39.3	33.38	36.2	34.16	35.4
7.5	68.36	36.15	36.5	36.57	37.3	35.44	33.9	43.40	36.9
8.5	68.99	26.94	35.8	36.30	36.4	33.02	35.0	32.94	50.5
9.5	73.01	34.18	33.6	39.46	36.8	23.44	33.9	37.13	38.1
11.0	76.17	35.34	34.6	38.18	34.9	32.65	34.9	34.30	44.2
13.0	84.43	34.44	33.8	36.05	35.3	31.60	35.2	34.22	38.3
15.0	82.35	32.40	33.2	38.03	35.2	45.25	34.0	35.40	32.5
17.0	86.29	34.37	34.6	35.36	37.7	32.90	43.6	33.09	35.5
19.0		34.52	34.6	34.64	27.8	31.33	35.9	34.89	34.3
21.0			32.2	34.21	35.9	28.51	33.1	32.75	41.1
23.0			32.4		35.5		34.7	35.00	28.2
25.0									
27.0									

표 2-8-28. 동해병해역 퇴적물 중 Hg 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	0.14	0.14	0.10	0.14	0.03	0.15	0.04	0.17		1.84	0.348	0.76	0.42	0.316
1.5	0.10	0.13	0.08	0.12	0.10	0.12	0.24	0.27		2.77	0.294	0.89	0.57	0.691
2.5	0.11	0.16	0.07	0.11	0.06	0.12	0.22	0.21		0.67	0.534	0.42	1.21	0.487
3.5	0.07	0.12	0.05	0.08	0.06	0.09	0.13	0.29		0.29	0.793	0.49	0.65	0.560
4.5	0.05	0.07	0.06	0.07	0.04	0.08	0.17	0.25		0.30	0.555	0.24	0.33	0.507
5.5	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05	0.06	0.11	0.24		0.29	0.747	0.16	0.21	0.536
6.5	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.18		0.28	0.309	0.07	0.18	0.413
7.5	0.07	0.05	0.07	0.05	0.03	0.04	0.03	0.08		0.26	0.317	0.04	0.18	0.300
8.5	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05			0.238	0.08	0.10	
9.5	0.04	0.05	0.04		0.04	0.05	0.03	0.05			0.237	0.07	0.05	0.197
11.0	0.03	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.08			0.382	0.06	0.05	0.112
13.0	0.04		0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05		0.11		0.04	0.04	0.070
15.0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04		0.07	0.336	0.04	0.03	0.051
17.0	0.04	0.04	0.03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.04		0.07	0.155	0.02	0.03	0.053
19.0	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04		0.05	0.051	0.04	0.03	0.040
21.0	0.04	0.04	0.02	0.04		0.04	0.03	0.04		0.04	0.048	0.05	0.03	0.039
23.0	0.03	0.04	0.03	0.04		0.03		0.04					0.03	0.038
25.0														
27.0														

표 2-8-28. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	1.30	0.65	0.710	0.22	0.14	0.18	0.11	0.09	0.10
1.5	1.66	1.35	0.815	0.13	0.12	0.18	0.10	0.11	0.11
2.5	1.66	0.86	0.653	0.12	0.10	0.15	0.09	0.12	0.11
3.5	0.83	0.52	0.478	0.10	0.08	0.14	0.07	0.10	0.10
4.5	0.50	0.38	0.266	0.07	0.07	0.11	0.09	0.10	0.09
5.5	0.06	0.15	0.106	0.09	0.06	0.08	0.10	0.08	0.07
6.5	0.17	0.08	0.090	0.06	0.05	0.08	0.08	0.07	0.07
7.5	0.13	0.04	0.073	0.07	0.05	0.08	0.06	0.06	0.06
8.5	0.09	0.03	0.061	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
9.5	0.09	0.04	0.050	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05
11.0	0.11	0.04	0.049	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05
13.0	0.16	0.03	0.046	0.05	0.04	0.06	0.05	0.06	0.05
15.0	0.08	0.03	0.047	0.04	0.04	0.09	0.05	0.03	0.04
17.0	0.10	0.04	0.040	0.02	0.04	0.09	0.04	0.03	0.04
19.0	0.10	0.03	0.046	0.06	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04
21.0			0.034	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
23.0			0.033		0.04		0.03	0.03	0.03
25.0									
27.0									

표 2-8-29. 동해병해역 퇴적물 중 Ni 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	37.81	46.4	43.48	48.5	41.89	40.4	54.06	43.0	71.33	140.92	39.3	51.43	37.46	36.2
1.5	61.59	53.0	44.96	49.2	43.83	47.5	44.38	48.7	64.98	189.56	45.2	44.80	48.40	36.6
2.5	51.08	51.7	47.73	49.4	44.64	44.2	44.82	47.8	52.81	76.99	56.0	44.03	45.98	41.9
3.5	51.95	51.1	47.58	50.1	45.36	45.6	38.85	45.9	53.69	52.40	60.9	42.09	38.92	46.9
4.5	50.10	31.1	44.12	40.4		46.2	41.16	48.6	54.82	48.69	70.7	41.90	34.38	58.7
5.5	48.26	49.6	44.66	49.8	46.87	46.7	41.44	46.8	51.48	51.25	73.5	43.84	42.83	51.6
6.5	48.13	49.3	44.04	48.3	44.94	44.7	40.76	50.6	53.20	42.22	62.0	43.14	42.27	58.2
7.5	47.84	50.9	51.01	46.9	46.84	45.9	42.72	47.5	55.41	51.28	49.9	46.33	39.09	48.9
8.5	54.23	52.3	48.19	46.2	46.10	46.9	42.22	47.9	54.88	57.90	54.1	43.89	42.41	
9.5	49.45	48.8	47.44		47.69	48.1	41.33	50.7	53.46	40.84	60.5	45.16	39.55	42.4
11.0	48.81	53.6	55.20	55.0	46.61	46.9	40.67	50.1	61.42	50.54		44.17	41.67	42.0
13.0	48.84		58.03	53.2	50.06	49.0		52.5	55.29	45.08	69.6	47.25	43.42	42.9
15.0	46.24	55.0	56.30	50.5	49.91	50.1	43.89	49.9	54.40	45.64	49.3	43.93	44.15	44.2
17.0	49.62	55.4	48.27	50.0	51.72	48.4	44.44	48.7	56.18	46.80	46.6	43.61	41.88	44.6
19.0	51.15	60.3	59.92	53.5	49.20	50.2	43.93	47.5		44.28	45.8	45.18	45.17	42.8
21.0	49.25	58.0	52.15	54.0		50.9	41.58	49.4		45.99	47.4	47.18	45.46	46.3
23.0	52.64	53.9	50.70	54.4		50.0		52.1					44.97	44.4
25.0														
27.0														

표 2-8-29. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	54.98	41.00	41.1	41.77	43.5	41.72	40.0	44.37	38.9
1.5	116.72	55.03	45.5	42.25	45.6	41.53	40.4	43.61	38.9
2.5	81.56	57.41	48.6	43.12	45.3	41.88	41.0	46.74	41.1
3.5	78.94	47.89	44.3	45.08	46.7	43.20	42.8	46.93	41.8
4.5	84.43	47.10	46.4	47.04	57.3	40.47	42.4	48.67	40.3
5.5	87.37	47.06	46.5	45.90	46.5	42.28	41.8	47.85	40.4
6.5	85.08	46.24	43.5	46.98	46.0	39.83	43.4	49.49	43.1
7.5	85.93	46.84	44.2	45.87	46.8	47.06	42.9		43.1
8.5	87.24	38.35	45.7	47.76	46.4	42.60	42.9	46.69	42.0
9.5	92.74	46.21	45.1	49.36	44.8		42.6	48.53	40.7
11.0	97.40	46.21	45.9	50.10	48.2	42.52	43.1	49.13	42.1
13.0	103.69	46.72	43.3	49.61	46.0	48.31	45.8	48.60	45.0
15.0	108.92	45.97	46.2	48.72	45.7	42.72	45.7	51.81	41.9
17.0	113.66	46.87	47.6	49.55	45.8	47.33	46.5	49.69	47.6
19.0	121.46	46.31	47.1	49.85	32.7	43.13	45.9	51.26	45.3
21.0			45.6	45.26	47.9	43.55	45.2	51.46	39.2
23.0			45.5		47.4		47.2	50.40	37.6
25.0									
27.0									

표 2-8-30. 동해병해역 퇴적물 중 Pb 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	51.37	47.8	48.97	49.8	58.93	48.1	77.11	45.0	97.33	373.34	72.5	125.92	91.81	68.0
1.5	46.91	50.7	42.20	49.1	51.18	48.9	55.22	51.4	115.61	270.54	80.5	149.54	113.49	74.6
2.5	53.07	47.1	39.09	44.9	44.41	45.1	54.12	51.8	101.83	109.05	91.6	96.80	115.85	101.0
3.5	50.06	42.3	34.03	40.8	40.66	41.2	39.64	52.3	85.76	87.38	115.7	74.63	83.36	118.9
4.5	42.94	22.7	33.14	29.9	33.05	36.8	37.76	54.8	57.54	60.75	128.2	65.71	43.72	151.1
5.5	38.38	32.7	31.72	31.6	37.13	33.0	31.21	48.9	54.35	81.74	134.0	48.01	48.02	173.4
6.5	36.31	31.6	31.17	30.6	33.91	31.0	25.18	44.9	39.23	58.79	123.8	37.39	54.05	129.8
7.5	35.43	31.1	31.91	30.7	34.73	29.2	27.01	35.3	39.01	65.75	85.8	35.89	38.27	98.1
8.5	28.24	29.8	30.02		32.89	28.2	28.54	31.6	37.52		78.0	34.70	37.30	
9.5	40.78	29.7	38.36		33.01	28.3	30.06	33.1	35.26	66.34	72.1	34.57	29.93	49.3
11.0	34.73	28.8	31.99	28.6	31.18	27.5	28.13	32.5	34.50		119.6	34.91	29.13	41.4
13.0	33.73		30.58	29.0	33.30	26.1	25.24	30.5	31.43	32.62	107.3	34.24	26.57	33.5
15.0	29.13	26.7	30.77	28.4	31.36	26.8	22.79	28.1	30.82	27.19	59.4	33.72	24.88	29.7
17.0	31.21	26.8	28.49	28.1	42.21	25.8	24.26	27.2	30.25	26.44	40.5	33.28	23.55	27.6
19.0	34.65	27.8	32.48	26.6	26.86	26.3	23.00	27.0		23.40	30.2	34.39	23.69	25.8
21.0	30.78	27.7	29.42	27.7		26.6	27.51	26.2		23.24	31.8	32.12	23.82	27.2
23.0	30.37	27.9	29.05	27.7		25.7		26.3					22.52	25.1
25.0														
27.0														

표 2-8-30. (계속)

Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	154.41	97.44	78.9	48.01	50.1	58.87	44.9	55.14	46.4
1.5	177.08	92.92	78.8	55.62	49.1	44.74	39.9	49.08	51.2
2.5	142.25	82.85	64.6	48.35	45.0	42.54	37.5	47.86	49.1
3.5	91.92	51.65	54.3	45.77	40.3	41.61	37.4	42.61	46.5
4.5	54.62	40.62	47.0	41.76	44.1	36.96	39.1	40.87	42.9
5.5	40.11	33.88	39.3	37.42	31.7	32.10	40.4	36.94	37.9
6.5	34.43	27.23	34.2	37.20	29.9	28.04	35.9	34.31	36.2
7.5	31.40	25.24	32.7	34.91	29.5	30.63	34.4	39.71	34.3
8.5	30.00	26.79	31.2	38.03	29.5	26.95	33.5	26.41	31.5
9.5	30.34	24.49	29.5	34.55	28.4	19.78	32.0	26.74	30.2
11.0	31.66	23.69	29.1	34.39	29.1	25.95	33.0	26.38	28.8
13.0	38.30	23.41	30.2	36.78	28.7	29.46	32.0	25.70	28.8
15.0	28.89	22.26	28.3	35.57	27.5	30.57	29.5	29.33	27.4
17.0	26.96	22.35	27.6	30.65	27.5	25.78	28.6	25.61	28.6
19.0	26.90	21.64	27.2	35.14	18.2	24.64	27.0	26.33	28.9
21.0			26.3	28.15	26.3	23.56	26.2	24.50	25.8
23.0			25.5		27.1		26.0	26.01	22.8
25.0									
27.0									

표 2-8-31. 동해병해역 퇴적물 중 Zn 농도 (mg/kg)

Depth (cm)	DB-026-09	DB-026-12	DB-028-09	DB-028-12	DB-042-09	DB-042-12	DB-079-09	DB-079-12	DB-085-06	DB-085-09	DB-085-12	DB-089-06	DB-089-09	DB-089-12
0.5	151.81	157.2	155.04	157.5	181.29	143.9	66.57	136.6	635.16	3354.12	252.9	444.93	241.38	199.0
1.5		155.0	176.56	137.6	135.05	137.4	158.24	146.2	644.70	4189.29	286.8	361.14	400.98	303.0
2.5	144.78	142.7	141.28	129.4	124.25	124.7	201.39	154.9	494.54	1105.94	593.2	267.65	400.95	382.4
3.5	139.55	133.7	125.11	129.7	138.45	124.3	134.15	155.0	291.76	466.74	955.7	183.85	312.58	537.9
4.5	135.37	84.8	140.51	118.8	105.04	125.7	138.67	165.8	192.56	279.73	1074.3	163.90	157.87	789.6
5.5	151.63	128.4	118.53	122.6	148.65	117.6	131.92	150.5	182.31	446.20	1374.7		186.21	580.0
6.5	125.66	122.0	152.63	127.5	132.35	115.3	111.37	147.2	152.79	424.63	794.4	127.77	186.05	481.3
7.5	147.45	124.0	137.09	121.8	142.75	115.7	122.29	123.7	151.82	600.84	584.9	126.93	150.85	447.8
8.5	110.33	131.1	132.41		117.47	124.2	117.75	122.6	153.49	819.55	538.0	122.72	152.21	
9.5	152.01	124.5	123.99		147.18	119.2	115.54	131.9	144.70	490.20	539.0	122.99	129.87	153.3
11.0	162.54	129.0	158.61	128.2	135.20	117.5	122.97	130.2	155.21	339.56	1300.2	126.02	118.55	131.8
13.0	150.61		158.25	125.3	173.27	115.4	117.45	128.7	147.56	168.82	593.1	124.74	127.95	132.7
15.0	143.17	130.0	164.31	126.8	164.09	125.9	129.48	121.7	162.28	137.37	212.3	122.07	124.37	121.1
17.0	141.72	128.1	143.37	127.1	141.29	116.4	122.07	120.6	156.59	132.18	139.4	119.79	127.06	123.0
19.0	150.20	134.0	156.67	142.4	133.08	121.2	122.05	120.9		118.77	118.6	122.69	125.32	117.7
21.0		135.6	129.59	130.7		127.0	121.02	124.8		128.40	124.9	127.22	122.63	122.7
23.0	158.81	134.7	121.44	127.2		120.6		123.4					120.00	116.2
25.0														
27.0														

표 2-8-31. (계속)

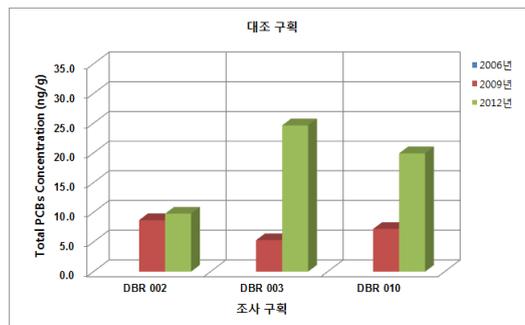
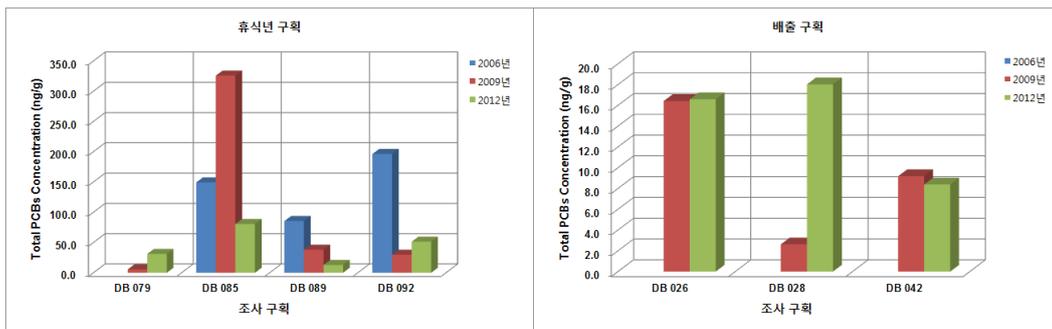
Depth (cm)	DB-092-06	DB-092-09	DB-092-12	DBR-002-09	DBR-002-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-003-09	DBR-003-12	DBR-010-09	DBR-010-12
0.5	573.00	259.64	283.2	117.19	123.5	147.38	135.4	159.48	133.2	133.2	133.2
1.5	641.94	314.16	243.7	164.96	122.8	121.06	132.3	132.33	135.4	135.4	135.4
2.5	778.25	273.02	230.0	105.59	121.5	136.53	127.1	130.18	135.4	135.4	135.4
3.5	439.82	180.78	208.3	107.76	118.2	139.19	133.5	117.68	127.4	127.4	127.4
4.5	309.39	156.33	155.0	108.67	142.9	102.42	136.8	120.42	121.9	121.9	121.9
5.5	305.03	143.72	142.0	111.03	113.2	108.61	132.8	111.12	117.7	117.7	117.7
6.5	258.29	130.95	130.5	142.26	114.8	100.60	132.4	131.05	123.7	123.7	123.7
7.5	251.73	127.83	135.7	122.31	117.6	123.36	132.7		125.7	125.7	125.7
8.5	256.43	108.23	130.9	152.70	116.5	111.16	135.4	108.12	120.8	120.8	120.8
9.5	271.07	122.49	127.5	140.50	114.2		129.1	128.98	142.1	142.1	142.1
11.0	280.45	122.21	127.9	122.75	123.0	115.01	130.5	110.52	122.6	122.6	122.6
13.0	322.65	124.10	125.5	109.12	121.5	105.62		115.03	121.9	121.9	121.9
15.0	302.25	125.09	124.0	103.84	117.6	118.31	134.2	125.24	111.7	111.7	111.7
17.0	326.12	127.40	123.5	101.99	117.7	110.30	138.0	120.01	117.4	117.4	117.4
19.0	364.45	118.78	125.2	119.16	83.2	105.70	139.0	121.57	120.2	120.2	120.2
21.0			125.1	110.68	120.2	139.70	123.4	113.74	100.4	100.4	100.4
23.0			126.3		135.4		128.0	138.39	102.2	102.2	102.2
25.0											
27.0											

(3) 유기오염물질 (PCBs, PAHs)

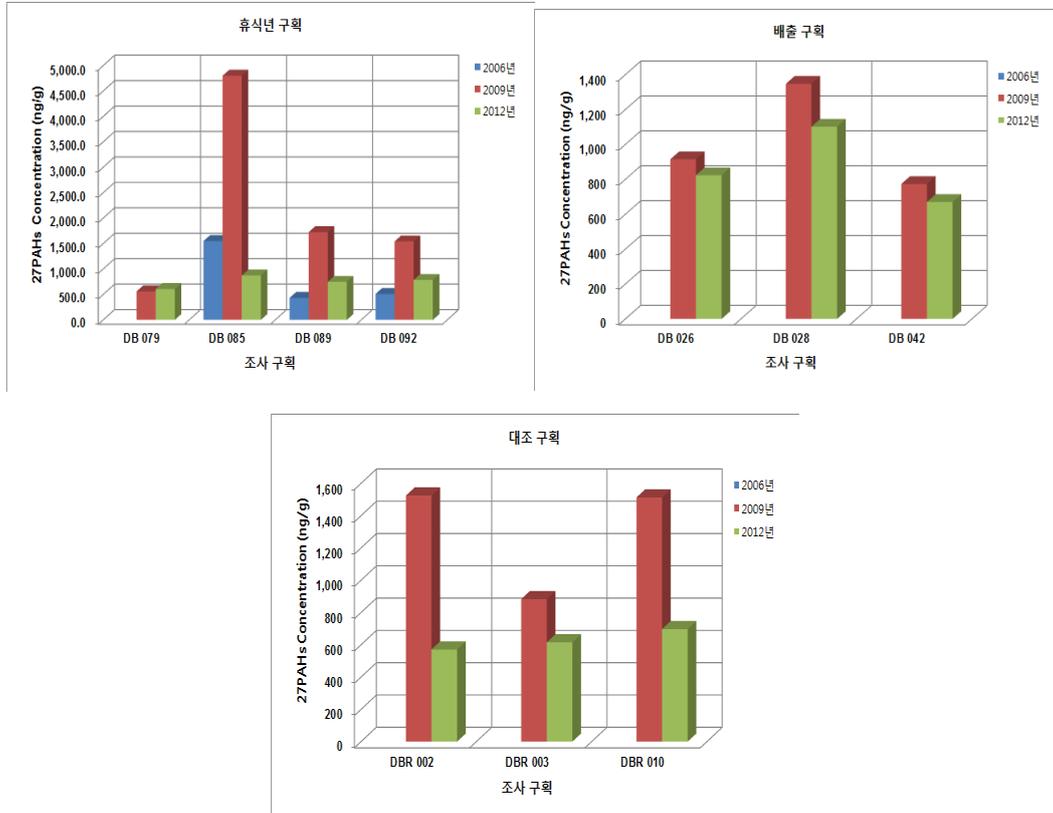
동해병해역의 표층퇴적물 중의 유기오염물질 농도의 연간변화를 살펴보기 위하여 기존의 2006년, 2009년 및 당해연도 조사 자료를 다음의 표에 정리하였다.

조사구획		Total PCBs (ng/g)			27PAHs (ng/g)		
		2006년	2009년	2012년	2006년	2009년	2012년
휴식년 구획	DB 079		5.6	31.2		561.1	607.0
	DB 085	149.2	325.7	80.6	1550.0	4800.6	872.1
	DB 089	85.4	38.2	12.9	432.0	1724.2	748.3
	DB 092	196.2	29.7	51.3	510.0	1543.7	785.5
배출구획	DB 026		16.4	16.6		915.1	823.9
	DB 028		2.6	18.0		1347.3	1102.0
	DB 042		9.2	8.4		773.5	670.0
대조구획	DBR 002		8.7	9.8		1524.1	570.9
	DBR 003		5.3	24.6		882.9	614.8
	DBR 010		7.2	19.9		1512.5	697.2

휴식년 구획의 Total PCBs의 농도는 DB-079 및 DB-092 구획에서는 2009년에 비해 2012년에 약간 농도가 증가하였고, 나머지 구획은 모두 감소하였다. 배출구획에서는 DB-028 구획에서 2011년에 비해 2012년에 약 9배 이상 증가하였고, 나머지 구획은 유의미한 차이는 보이지 않았다. 대조구획은 모두 2011년에 비해 2012년에 증가하는 경향을 보였다.



휴식년 구획의 27 PAHs의 연간 농도 변화는 모든 구획에서 2011년에 비해 농도가 조금 감소하였다.



다. 동해정해역 퇴적물 오염물질 농도 연간 변화

동해정해역의 2007년, 2010년에 조사된 구획을 포함하는 배출구획 7개, 대조구획 3개 등 총 10개 구획에서 퇴적물 시료를 채취하여 오염물질을 분석하여, 기존의 조사 자료와 비교하여 퇴적물내 오염물질 농도의 변화 양상을 살펴보았다.

(1) 유기물(TOC, TON, COD)

동해정해역 표층퇴적물 중의 유기물 농도의 연간 변화를 표 2-8-34 및 그림 2-8-41~2-8-42에 나타내었다.

동해정해역 폐기물 배출구획의 표층퇴적물 유기물 농도의 연간변화를 살펴보면 TOC는 모든 조사구획에서 2007년 및 2010년에 비해 2012년에 감소하였다. TON과 COD 역시 과거에 비해 유의의 차이가 없거나 감소하였다.

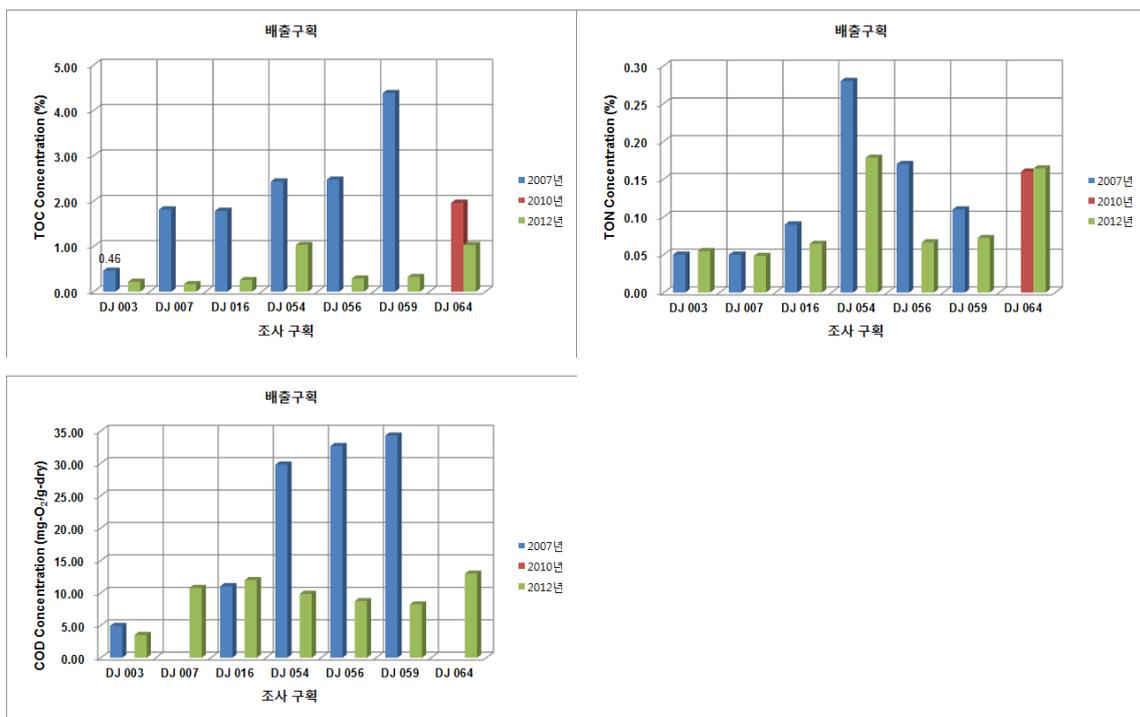


그림 2-8-41. 동해정해역 배출 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화

대조구획은 TOC 농도는 DJR-021을 제외하고 모두 감소하였고, TON은 DJR-009를 제외하고 증가한 경향을 보였다. COD는 자료수의 부족으로 연간 비교 해석이 불가능 하였다.

표 2-8-32. 동해정해역 표층퇴적물의 유기물 농도

조사구획		TOC (%)			TON (%)			COD (mg-O ₂ /g-dry)		
		2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년
배출구역	DJ 003	0.46		0.22	0.05		0.05	4.90		3.5
	DJ 007	1.81		0.17	0.05		0.05			10.8
	DJ 016	1.78		0.25	0.09		0.06	11.02		12.0
	DJ 054	2.43		1.03	0.28		0.18	29.78		9.8
	DJ 056	2.47		0.29	0.17		0.07	32.64		8.7
	DJ 059	4.38		0.32	0.11		0.07	34.27		8.2
	DJ 064		1.96	1.03		0.16	0.16			13.0
대조구획	DJR 008	0.40	0.36	0.22	0.02	0.06	0.05			3.7
	DJR 009	1.19	0.25	0.27	0.13	0.03	0.06	35.50		9.8
	DJR 021	0.19	0.21	0.53	0.04	0.03	0.10	4.49		

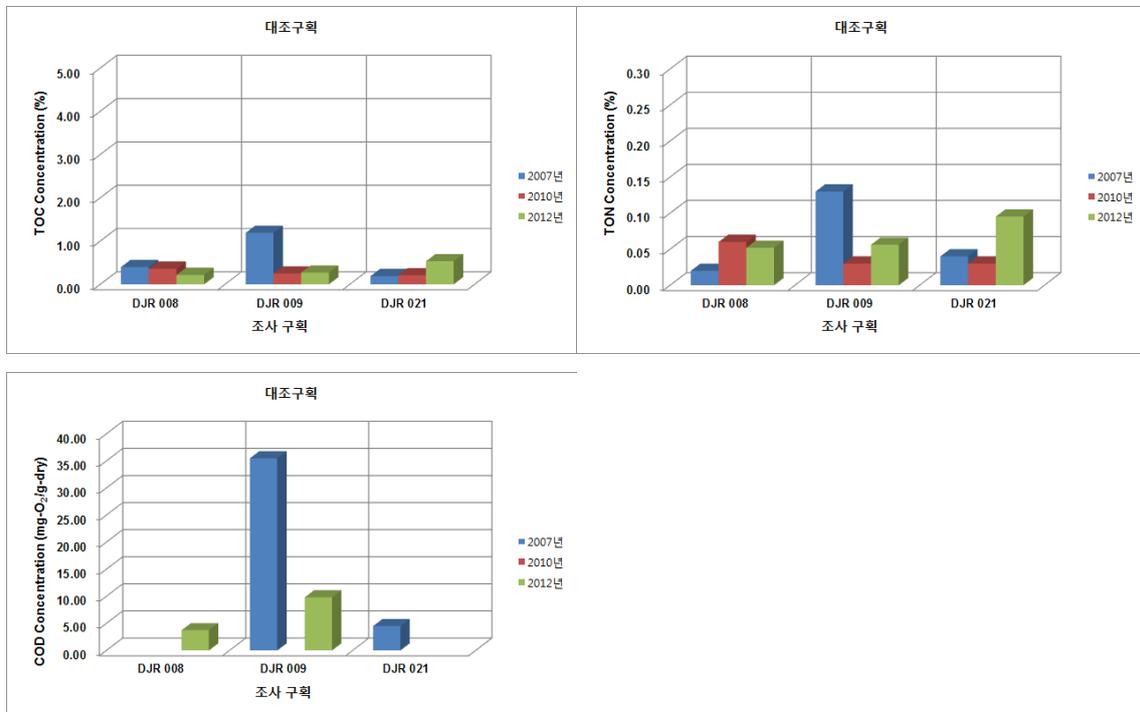


그림 2-8-42. 동해정해역 대조 구획의 퇴적물 중 유기물 농도의 연간변화

(2) 중금속

동해정해역의 배출구획 및 대조구획의 표층퇴적물 중 중금속 농도의 연간 변화를 살펴보기 위하여 기존의 조사자료와 함께 2012년 조사자료를 표 2-8-35에 정리 비교하여 나타내었다.

배출구획의 표층퇴적물 중 중금속 농도의 연간 변화 양상을 그림 2-8-43에 나타내었다. 모든 조사구획에서 중금속의 해양퇴적물 기준을 초과하는 구획은 나타나지 않았다.

표 2-8-33. 동해정해역 표층퇴적물의 중금속 농도

조사구획		As			Cd			Cr		
		2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년
배출구역	DJ 003	33.28		2.8	0.50		0.03	66.33		30.7
	DJ 007	2.86		7.2	0.06		0.09	26.87		39.9
	DJ 016	3.70		4.3	0.08		0.15	32.99		39.5
	DJ 054	4.85		5.3	0.22		0.22	61.45		103.2
	DJ 056	3.45		4.4	0.19		0.18	47.37		47.5
	DJ 059	2.43		3.6	0.11		0.07	20.02		30.7
	DJ 064		4.32	4.0		0.19	0.19		57.44	67.4
대조구획	DJR 008	3.02	2.59	2.0	0.06	0.14	0.03	11.50	17.71	15.1
	DJR 009	14.68	3.91	3.9	0.85	0.19	0.07	79.53	23.71	37.5
	DJR 021	2.54	2.86	5.8	0.03	0.07	0.08	12.00	12.48	43.5

조사구획		Cu (mg/kg)			Hg (mg/kg)			Ni (mg/kg)		
		2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년
배출구역	DJ 003	229.96		2.7	0.030		0.009	29.96		9.4
	DJ 007	5.48		12.2	0.019		0.013	10.02		11.7
	DJ 016	7.82		7.6	0.020		0.026	14.15		18.2
	DJ 054	13.81		20.7			0.060	23.65		41.7
	DJ 056	13.22		11.7			0.035	21.37		23.8
	DJ 059	2.33		4.7			0.033	8.10		14.4
	DJ 064		19.16	21.1		0.078	0.061		26.20	30.4
대조구획	DJR 008	3.08	5.29	3.1		0.030	0.010	5.62	2.68	7.5
	DJR 009	986.83	6.44	8.4		0.030	0.027	38.55	4.00	17.4
	DJR 021	2.85	3.71	12.7	0.010	0.042	0.035	4.24	3.57	20.4

조사구획		Pb			Zn		
		2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년
배출구역	DJ 003	32.58		13.4	269.07		38.1
	DJ 007	17.42		15.9	66.62		40.6
	DJ 016	17.38		17.9	49.04		57.3
	DJ 054	19.92		22.3	77.87		100.8
	DJ 056	18.53		16.4	78.16		69.7
	DJ 059	13.22		13.0	25.18		46.0
	DJ 064		20.59	22.4		101.36	102.5
대조구획	DJR 008	12.56	13.46	15.2	28.28	44.89	47.2
	DJR 009	129.70	17.84	18.1	431.42	45.06	59.4
	DJR 021	12.33	13.66	21.9	17.86	22.56	72.0

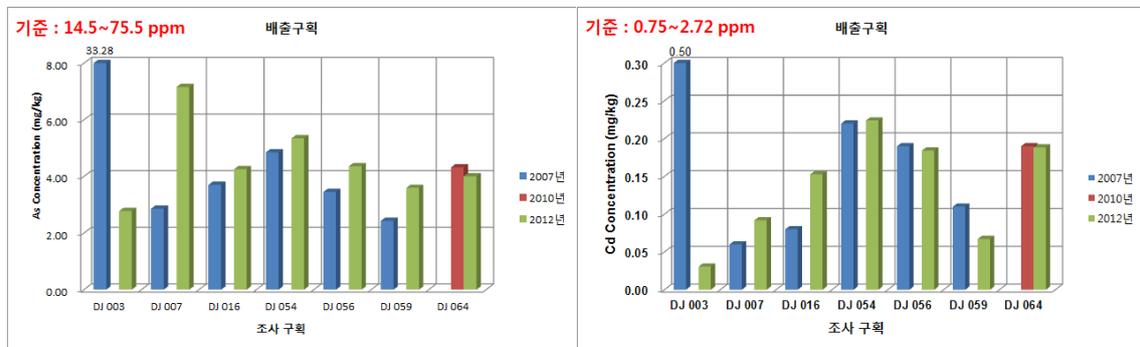


그림 2-8-43. 동해정해역 배출 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

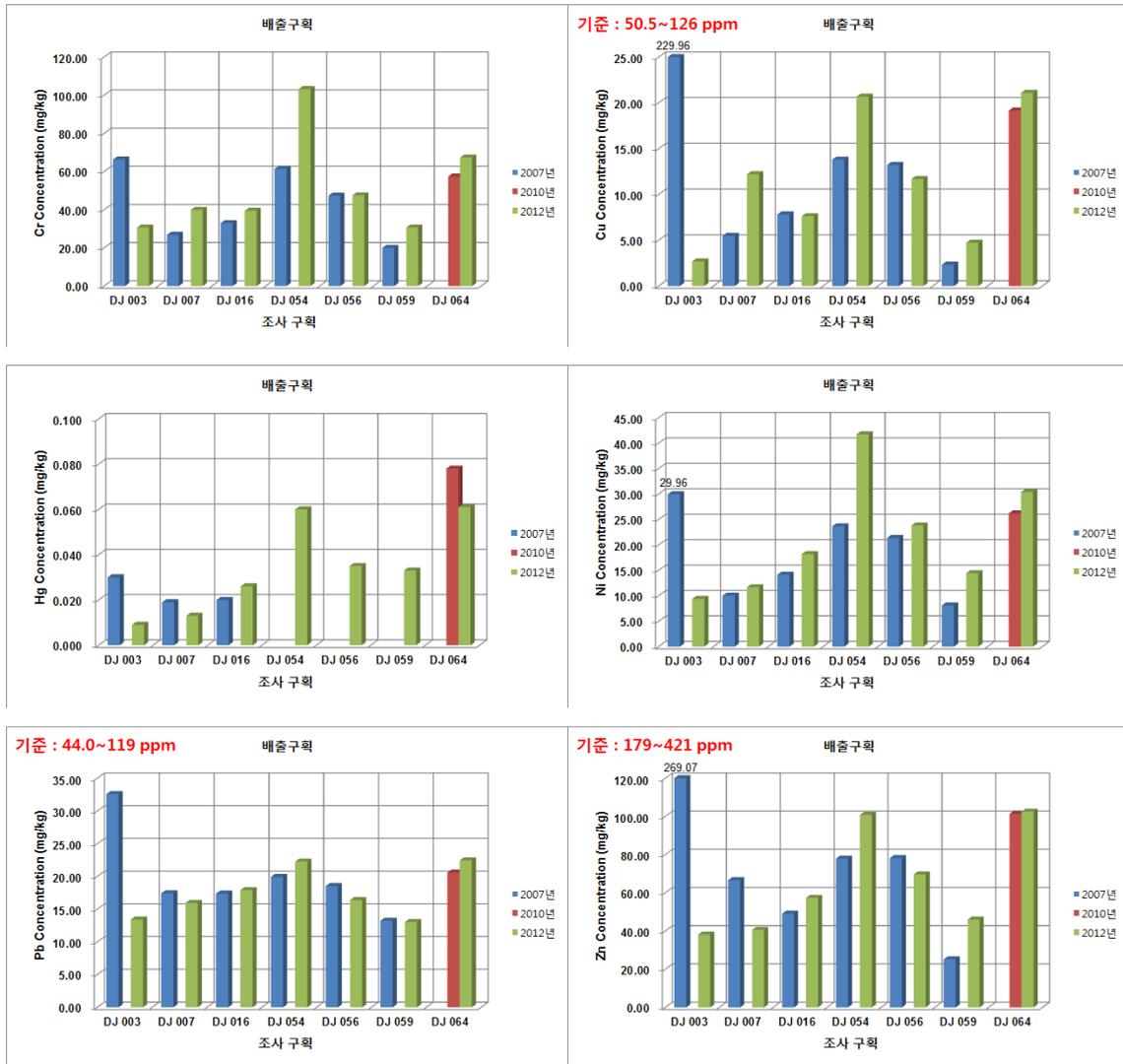


그림 2-8-43. (계속)

또한 DJ-003 구획은 모든 중금속의 표층 퇴적물 농도가 2007년에 비해 감소하였지만 나머지 구획에서는 2007년에 비해 2012년이 증가하는 경향을 나타내었다.

2012년도에 동해정해역은 폐기물 배출이 이루어지지 않았다. 그러나 이와 같이 유기물 농도는 감소하였지만, 중금속 농도가 증가하는 것은 기존의 폐기물 투기로 인하여 투입된 유기물의 분해에 따른 중금속의 농축효과로 인하여 중금속 농도가 상대적으로 높아진 것으로 사료된다.

대조해역의 표층퇴적물 중 중금속 농도의 변화는 DJR-008 구획에서는 As는 2007년부터 지속적으 감소하였고, Cd, Cu, Cr은 2007년에 비해 2011년에 증가한 후 2012년에 감소하는 형태를 나타내었고, Ni, Pb, Zn은 지속적으

로 증가하는 경향을 보였다. DJR-009 구획에서는 모든 중금속이 2007년에 비해 감소하였지만, DJR-021 구획에서는 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

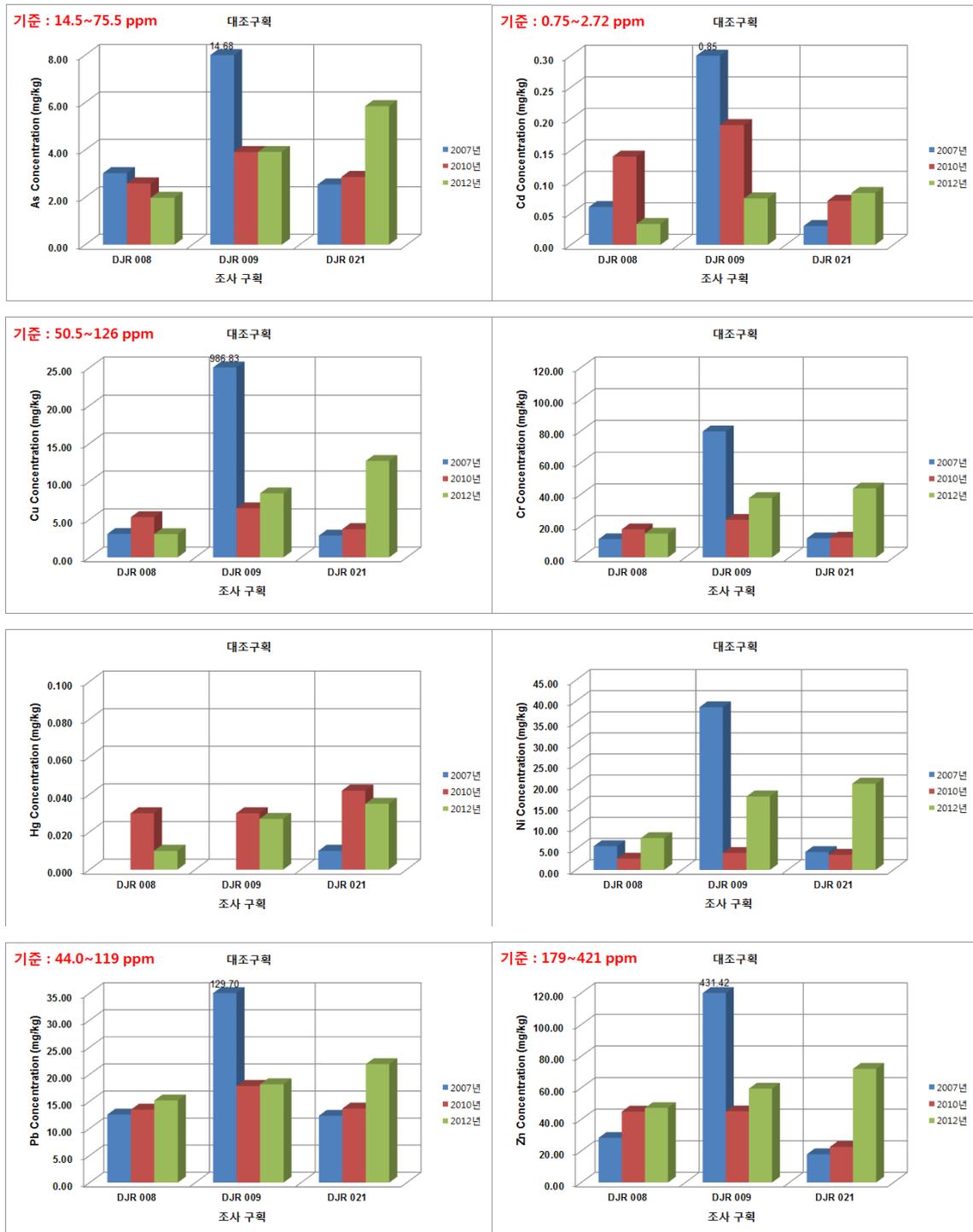


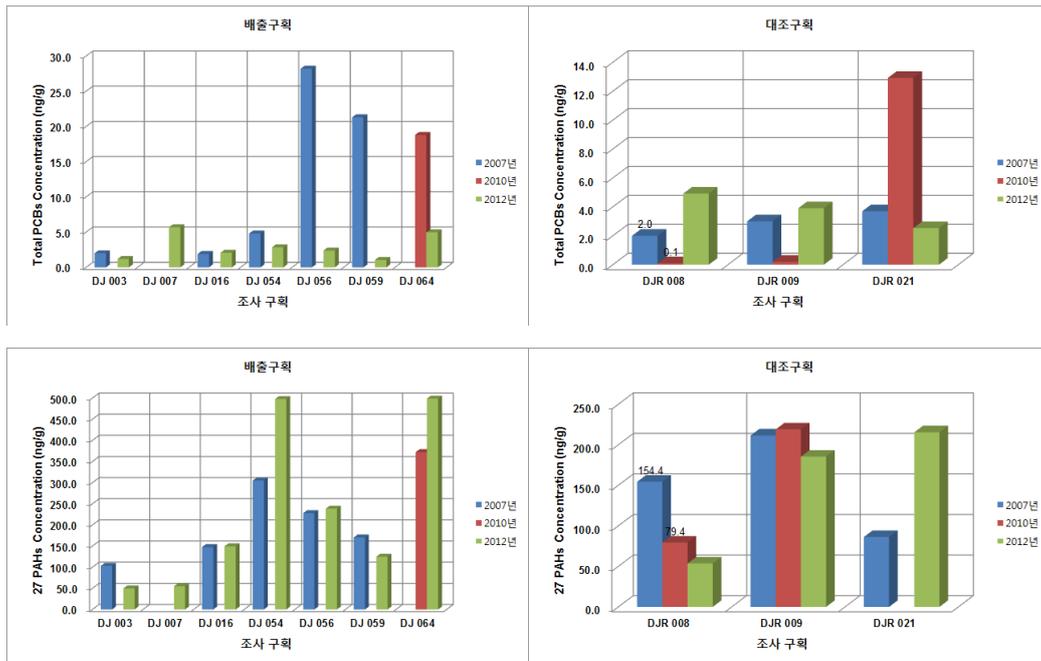
그림 2-8-44. 동해정해역 대조 구획의 퇴적물 중 중금속 농도의 연간변화

(3) 유기오염물질 (PCBs, PAHs)

동해정해역의 표층퇴적물 중의 유기오염물질 농도의 연간변화를 살펴보기 위하여 기존의 2007년, 2010년 및 당해연도 조사 자료를 다음의 표에 정리하였다.

조사구획		Total PCBs (ng/g)			27 PAHs (ng/g)		
		2007년	2010년	2012년	2007년	2010년	2012년
배출구역	DJ 003	2.0		1.2	103.1		49.8
	DJ 007			5.7			54.8
	DJ 016	1.9		2.1	147.7		149.5
	DJ 054	4.8		2.8	304.9		497.8
	DJ 056	28.2		2.4	227.9		238.5
	DJ 059	21.3		1.1	170.3		124.8
	DJ 064		18.8	5.0		372.1	498.8
대조구획	DJR 008	2.0	0.1	4.9	154.4	79.4	53.6
	DJR 009	3.0	0.2	3.9	211.5	219.0	185.4
	DJR 021	3.7	12.9	2.5	86.3		215.5

배출 구획의 Total PCBs의 농도는 모든 조사구획에서 2007년 및 2010년에 2012년에 감소하는 경향을 나타내었다. 대조구획은 DJR-21 구획을 제외하고 모두 2010년에 비해 다소 증가하였다. 27PAHs는 DJ-054, DJ-056 및 DJ-064 구획에서 2007년 및 2010년에 비해 다소 증가하였다.



4. 배출해역 폐기물 투기로 인한 중금속 흡착(Scavenging) 교란 분석

가. 서론

육지의 풍화작용 생성물이나 인간 활동에 의해 만들어진 화학물질은 하천과 대기를 통해 해양으로 입력되고, 해양에서의 여러 가지 물리, 화학, 생물학적 과정을 거치면서 순환되고 궁극적으로 해저에 축적된다. 특히, 중금속 원소들은 입자물질에 흡착되기 쉬워서 해양으로부터 빨리 제거되기 때문에 해수 중에는 이들 원소들의 농도는 극히 낮다. 따라서 이들 원소들은 시료채취 및 분석 과정 중 오염의 우려가 크고, 시료채취 방법이나 분석방법에 따라 측정오차가 커진다. 또한, 주어진 해역 전체에 대한 이들 원소들의 공급량 혹은 제거량을 측정하기에는 막대한 노력이 필요하다.

한편, 해양에 존재하는 방사성 핵종 중 반감기가 해양의 물리, 화학 생물학적 과정과 유사하고 입자에 대한 반응성이 큰 방사성 핵종 즉, ^{234}Th , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^7Be 등은 시료 채취와 실험실 분석과정에서 외부로부터 오염될 가능성이 매우 적고, 원자 하나의 붕괴를 계수하는 방사능 계수기가 매우 민감하여 매우 낮은 농도에서도 측정할 수 있기 때문에, 이와 유사한 거동을 보이는 금속원소의 거동을 밝히는데 추적자로 사용될 수 있다. 반응성 미량금속원들 중에서도 원소의 화학적 성질에 따라 해양에서의 거동은 크게 달라진다. 예를 들면, ^{234}Th 은 육상기원 무기입자물질에 의해 잘 흡착되는 반면에 Po은 생물기원 유기입자물질에 의해 효과적으로 수중으로부터 제거된다 (Santschi et al., 1979; Li et al., 1981; Bacon et al., 1988).

^{234}Th (반감기 = 24일)은 해수에 대량 용존 상태로 존재하는 ^{238}U 의 딸핵종이다. 해수 중 U는 주로 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_4^{-3}$ 화학종으로 존재하고 입자에 거의 흡착되지 않는다(입자성 ^{238}U 은 총량의 0.1% 이하이다). ^{234}Th (반감기 24일)은 ^{238}U (반감기 4.5×10^9 년)의 알파붕괴로 계속적으로 생성이 된다. 그 결과 해양에서 U은 보존성 원소형 분포를 보인다 (Eq. 1).

$$^{238}\text{U}(\text{dpm/l}) = 0.0686 \times \text{salinity} \text{-----}(1)$$

반면 용존 Th은 가수분해산물 $\text{Th}(\text{OH})_n(4-n)^+$ 로 존재하기 때문에 친입자성으로서

용존태로부터 입자태로 쉽게 전환된다. 물기둥에서 친입자성 딸원소인 ^{234}Th 과 용존성 모원소인 ^{238}U 사이의 방사비평형은 입자태 Th의 침강율을 추정하는데 사용할 수 있다.

이러한 ^{234}Th 와 ^{238}U 비평형을 이용한 입자 제거 기작 모형은 1960년대에 처음 시도되었다. 일반적으로 총 $^{234}\text{Th} : ^{238}\text{U}$ 은 연안 해양에서 그 비가 0.2 이하로서 Th의 포획(scavenging)이 강하여 표층해양에서의 Th의 평균체류기간은 약 10일이다. 대양에서는 연안해양보다 총 $^{234}\text{Th} : ^{238}\text{U}$ 비는 0.75-1.0으로 Th과 U은 평형을 거의 이루고 있고 Th의 평균체류기간은 수백일에 이른다. 그러나 이러한 총 ^{234}Th 함량조사(즉 여과하지 않은 해수 시료에서의 총 Th 함량)에 의하여 추정한 Th의 체류기간에는 입자성 물질에 의한 용존 Th의 흡착(uptake)에 걸리는 기간과 입자성 Th의 표층해양하부로의 침강에 걸리는 기간이 함께 포함되어있다.

$$\frac{\partial A^{\Sigma_{Th}}}{\partial t} = A_U \lambda_{Th} - A^{\Sigma_{Th}} \lambda_{Th} - A^{\Sigma_{Th}} \lambda_C$$

여기서 A_U 는 ^{238}U 방사능세기, λ_{Th} 은 ^{234}Th 의 붕괴상수, $A^{\Sigma_{Th}}$ 는 총 ^{234}Th 의 방사능, λ_C 는 ^{234}Th 의 1차 흡착율계수(first-order scavenging rate constant)이다. $A_U \lambda_{Th}$ 은 ^{234}Th 생성율이고, $A^{\Sigma_{Th}} \lambda_{Th}$ 는 ^{234}Th 의 방사능 붕괴율이다. $A^{\Sigma_{Th}} \lambda_C$ 는 방사능 붕괴를 제외한 ^{234}Th 침강율이다.

정상상태에서 용존 ^{234}Th 이 일정하게 생산되고, 즉 시간에 따른 변화는 0이고, 용존 ^{234}Th 이 입자에 비가역적으로 흡착된다고 가정하면

$$\frac{\partial A^{\Sigma_{Th}}}{\partial t} = 0$$

이고, 표층해양에서 총 ^{234}Th 의 평균수명(평균체류기간), τ_{Σ} 는

$$\tau_{\Sigma} = \frac{1}{\lambda_C} = \frac{\frac{1}{\lambda_{Th}}}{\left(\frac{A_U}{A^{\Sigma_{Th}}} - 1\right)}$$

이다. 그러나 ^{234}Th 의 용존태와 입자태 함량을 동시에 측정하면 더욱 정밀한 흡착모델을 구성할 수 있다. 여기서도 이류와 확산을 무시하면, 대개 입자 생성과 침강을 이류와 확산보다는 훨씬 빠르므로, 용존태 ^{234}Th 은 다음과 같은 방정식으로 기술할 수 있다.

$$\frac{\partial A_{Th}^p}{\partial t} = A_U \lambda_{Th} - A_{Th}^d \lambda_{Th} - J_{Th}$$

여기서 A_{Th}^p 은 용존태 ^{234}Th 이다. ^{238}U 은 용존태로 존재하므로, 방사붕괴하여 용존태 ^{234}Th 을 $A_U \lambda_{Th}$ 속도로 생성한다. $A_{Th}^d \lambda_{Th}$ 은 용존태 ^{234}Th 의 방사붕괴에 의한 소실이다. J_{Th} 은 ^{234}Th 가 용존태로부터 입자태로 전환되는 비율이다.

비슷한 방법으로 입자태 ^{234}Th 에 대하여서는

$$\frac{\partial A_{Th}^d}{\partial t} = J_{Th} - A_{Th}^p \lambda_{Th} - P_{Th}$$

이다. 여기서 ∂A_{Th}^p 는 입자태 ^{234}Th 방사능세기이다. J_{Th} 는 여기서는 근원항이 된다. $A_{Th}^p \lambda_{Th}$ 는 심층해양에서 침강하는 ^{234}Th 플럭스이다.

정상상태에서 표층해양의 용존 ^{234}Th 의 입자태로의 전환에 대한 용존 ^{234}Th 의 체류시간은

$$\tau_d = \frac{A_{Th}^d}{J_{Th}}$$

이고 표층해양으로부터 입자태 침강에 대한 입자태 ^{234}Th 의 표층해양에서

의 체류시간은

$$\tau_p = \frac{A_{Th}^p}{P_{Th}}$$

이다. 일반적으로 용존태와 입자태의 ^{234}Th 이 존재하면 입자태 ^{234}Th 의 방사붕괴 때문에 표층해양에서는 $\tau_d + \tau_p$ 는 $\tau\Sigma$ 보다 작다(환경부, 1996; Hung and Wei, 1992).

본 연구에서는 우리나라 동해에서 입자물질의 표면 해양 체류기간을 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 비평형 모형을 이용 추정하여 동해 폐기물 배출해역 내에서의 친입자성 금속물질의 거동을 파악하는 기본 자료로 사용하고자 한다.

나. 재료 및 분석방법

^{234}Th 분석용 해수는 0m, 20m, 50m, 75m, 100m, 200m에서 각각 20L씩 채수하였다. 선박의 갑판에서 양수펌프를 이용하여 시료를 채취하고, 표면 해수는 수심을 알 수 있는 장비인 CTD (Conductivity, Temperature, Depth) 장착된 대용량 해수채취 장비를 이용하여 채수하였다. 채수된 해수시료는 정확한 측정 후 147mm nuclepore filter 로 여과하여 입자성 부유물질을 제거하였다. Petridish에 넣어 냉동보관 하여 실험실로 옮긴다.

여과된 해수는 현장에서 바로 NaOH로 pH8-9 KMnO_4 와 MnCl_2 를 첨가하여 MnO_2 공침 147mm uclepore filter로 공침을 회수한 후 접어 petridish에 넣어 냉동 보관하여 실험실로 옮긴다.

(1) 용존성 ^{234}Th (Dissolved phase thorium isotopes)

실험실로 옮겨진 MnO_2 공침 베타측정 디스크에 맞게 접어서 상온 건조 ^{234}Th 의 베타선을 측정하였다. ^{234}Th 의 반감기(24days \times 4 half-time =96days)의 4배 기간까지 3~4차례 반복하여 ^{234}Th 를 측정하였다. 베타 계수기의 검출 효율 (Detectetor Efficiency)는 방사평형된 standard ^{238}U 를 이용하여 구하였다. Blank 시료는 deionized water 20L에 같은 재질의 KMnO_4 와 MnCl_2 를 사용하여 제조하였다. 모든 시료는 바탕값 (blank value)을 보정하였다.

(2) 입자성 ^{234}Th (Particulate phase thorium isotopes)

현장에서 해수에서 분리한 입자성 부유물질을 탑재한 필터(공경 $0.45\mu\text{m}$ nuclepore ϕ 147mm)를 60°C oven에서 하루 동안 건조한 후 실온으로 냉각하여 무게를 측정하고 필터를 베타측정 디스크에 맞게 접어서 용존성 ^{234}Th 측정 방법과 동일하게 베타 측정을 하였다. Blank로 공 필터의 베타선 방출을 측정한 후 모든 시료 측정값에서 필터 자체의 베타선 계수량 (blank counts)를 빼주었다.

다. 결과

(1) ^{234}Th 수직분포

해수 중의 ^{238}U 은 염분으로부터 해수일정성분비 법칙에 의거 계산하면 2.30~2.36 dpm/kg이었다. 용존 ^{234}Th 은 G-9, M, DW-12 정점에서 각각 1.348 ~1.875, 0.616~1.886, 0.460~1.403 dpm/kg이고, 입자태는 0.121~0.350, 0.039~0.356, 0.173~0.601 dpm/kg이고, 입자태는 총 ^{234}Th 함량 중 6.3~20.6, 5.9~23.4, 19.3~44.4%를 차지하였다 (표 7-1-1, 그림 7-1-1).

표 2-8-34. 조사해역의 정점별 수심별 입자태 및 용존태 ^{234}Th 농도

Stn.	Depth (m)	^{234}Th			Part/Total (%)	^{238}U (dpm/kg)	Salinity
		Dissolved (dpm/kg)	Particulate (dpm/kg)	total (dpm/kg)			
G-9	0	1.713 ± 0.095	0.124 ± 0.005	1.837 ± 0.096	6.8	2.3	33.6
	20	1.807 ± 0.146	0.121 ± 0.011	1.928 ± 0.146	6.3	2.3	33.6
	50	1.875 ± 0.134	0.13 ± 0.008	2.005 ± 0.134	6.5	2.33	33.92
	75	1.706 ± 0.129	0.125 ± 0.009	1.831 ± 0.129	6.8	2.34	34.12
	100	1.839 ± 0.147	0.128 ± 0.01	1.967 ± 0.148	6.5	2.36	34.41
	200	1.348 ± 0.171	0.35 ± 0.017	1.698 ± 0.171	20.6	2.36	34.39
M	0	0.616 ± 0.134	0.039 ± 0.022	0.654 ± 0.136	5.9	2.36	34.43
	20	0.804 ± 0.132	0.121 ± 0.02	0.925 ± 0.133	13.1	2.36	34.36
	50	1.595 ± 0.142	0.237 ± 0.01	1.833 ± 0.142	13	2.36	34.4
	75	1.698 ± 0.124	0.159 ± 0.01	1.856 ± 0.124	8.5	2.36	34.44
	100	1.886 ± 0.144	0.179 ± 0.019	2.065 ± 0.145	8.7	2.36	34.38
	200	1.163 ± 0.16	0.356 ± 0.06	1.519 ± 0.171	23.4	2.34	34.05
DW-12	0	0.62 ± 0.164	0.173 ± 0.003	0.793 ± 0.164	21.8	2.3	33.55
	20	0.732 ± 0.155	0.176 ± 0.005	0.908 ± 0.155	19.3	2.35	34.27
	50	0.46 ± 0.124	0.367 ± 0.046	0.827 ± 0.133	44.4	2.36	34.44
	75	0.772 ± 0.111	0.601 ± 0.037	1.373 ± 0.117	43.8	2.35	34.3
	100	1.403 ± 0.127	0.488 ± 0.025	1.891 ± 0.13	25.8	2.34	34.1

- 정점 M: 상부 0-50m 수심역까지 용존 ^{234}Th 은 급격히 증가하였다가, 50-100m 수심까지는 증가폭이 다시 줄었다가 100m 수심에서 ^{238}U 평형값의 80%에 도달하며 정점을 찍고 다시 감소하는 양상을 보였다. 100m 보다 더 깊은 수심역에서는 해저 면에서 재 부유한 퇴적물 때문에 SPM 함량이 증가하여 ^{234}Th 이 SPM에 주로 흡착된 것으로 사료된다.
- G9 정점: 용존 ^{234}Th 활동도 농도가 ^{238}U 에 비해 해수면에서 수심 200m 까지 거의 균일하게 20% 결핍되었다.
- DW-12 정점: 용존 ^{234}Th 활동도 농도가 ^{238}U 에 비해 0-50m 수심역에서는 약 65% 그리고 급격히 증가하여 100 m 수심역에서는 약 20%에 달하였다. 이는 0-50m 수심역에서는 입자에 의한 포획(scavenging)이 활발한 것으로 사료된다.

표 2-8-35. 정점 M, DK-12 의 ^{234}Th 체류시간

Stn	Depth (m)	A_{Th}^d/A_U	A_{Th}^p/A_U	J_{Th}/A_U	τ_d (day)	P_{Th}/A_U	τ_p (day)
M	0	0.276 ± 0.06	0.016 ± 0.009	0.021 ± 0.095	13	0.02 ± 0.095	1
	20	0.361 ± 0.059	0.051 ± 0.008	0.018 ± 0.112	20	0.017 ± 0.112	3
	50	0.713 ± 0.064	0.101 ± 0.004	0.008 ± 0.092	87	0.005 ± 0.092	19
	75	0.758 ± 0.055	0.067 ± 0.004	0.007 ± 0.095	109	0.005 ± 0.095	13
	100	0.843 ± 0.064	0.076 ± 0.008	0.004 ± 0.059	188	0.002 ± 0.059	33
	200	0.526 ± 0.072	0.152 ± 0.026	0.014 ± 0.099	39	0.009 ± 0.098	16
	Depth (m)	J_{Th} (dpm m ⁻³ d ⁻¹ *10 ⁻³)	P_{Th} (dpm m ⁻³ d ⁻¹ *10 ⁻³)	J_{Th}^* (dpm m ⁻² d ⁻¹ *10 ⁻³)		P_{Th}^* (dpm m ⁻² d ⁻¹ *10 ⁻³)	
	0	0.049 ± 0.225	0.048 ± 0.224	0.049 ± 0.225		0.048 ± 0.224	
	20	0.043 ± 0.264	0.04 ± 0.263	0.864 ± 5.272		0.795 ± 5.26	
	50	0.019 ± 0.218	0.013 ± 0.218	0.582 ± 6.538		0.378 ± 6.53	
	75	0.016 ± 0.225	0.012 ± 0.225	0.41 ± 5.627		0.296 ± 5.62	
	100	0.011 ± 0.139	0.005 ± 0.139	0.265 ± 3.479		0.137 ± 3.466	
200	0.032 ± 0.231	0.022 ± 0.229	3.175 ± 23.103		2.155 ± 22.932		
Stn	Depth (m)	A_{Th}^d/A_U	A_{Th}^p/A_U	J_{Th}/A_U	τ_d (day)	P_{Th}/A_U	τ_p (day)
M	0	0.269 ± 0.071	0.075 ± 0.002	0.021 ± 0.079	13	0.019 ± 0.079	4
	20	0.312 ± 0.066	0.075 ± 0.002	0.02 ± 0.093	16	0.018 ± 0.093	4
	50	0.195 ± 0.053	0.156 ± 0.02	0.023 ± 0.085	8	0.019 ± 0.085	8
	75	0.328 ± 0.047	0.255 ± 0.016	0.019 ± 0.134	17	0.012 ± 0.133	21
	100	0.6 ± 0.054	0.208 ± 0.011	0.011 ± 0.127	52	0.005 ± 0.126	38
	Depth (m)	J_{Th} (dpm m ⁻³ d ⁻¹ *10 ⁻³)	P_{Th} (dpm m ⁻³ d ⁻¹ *10 ⁻³)	J_{Th}^* (dpm m ⁻² d ⁻¹ *10 ⁻³)		P_{Th}^* (dpm m ⁻² d ⁻¹ *10 ⁻³)	
	0	0.048 ± 0.182	0.043 ± 0.182	0.048 ± 0.182		0.043 ± 0.182	
	20	0.046 ± 0.219	0.041 ± 0.219	0.928 ± 4.379		0.827 ± 4.377	
	50	0.055 ± 0.202	0.044 ± 0.201	1.636 ± 6.057		1.32 ± 6.017	
	75	0.045 ± 0.314	0.028 ± 0.313	1.133 ± 7.856		0.702 ± 7.829	
100	0.027 ± 0.296	0.013 ± 0.295	0.671 ± 7.4		0.321 ± 7.382		

라. 토의

(1) ^{234}Th 의 체류기간

일반적인 수심별 ^{238}U , ^{234}Th 의 분포특성을 보이고, POC, PN의 값을 알고 있는 M정점과 DW-12 정점에서만 체류기간을 구하였다. 0 m 표층의 $A^d_{\text{Th}}/A_{\text{U}}$ 는 M정점과 DW-12정점에서 각각 0.28 ± 0.06 , 0.27 ± 0.07 이고, 용존태는 체류시간이 두 정점 모두 13일 이다. 또한 표층의 $A^p_{\text{Th}}/A_{\text{U}}$ 는 M정점과 DW-12정점에서 각각 0.02 ± 0.01 , 0.08 ± 0.002 이고, 입자태 체류시간은 1일과 4일 이다. 0~50m 에서는 $A^d_{\text{Th}}/A_{\text{U}}$ 는 M정점과 DW-12정점에서 각각 평균 0.45 ± 0.06 , 0.26 ± 0.06 이고, 용존태는 체류시간이 각각 39.9 ± 40.7 , 12.4 ± 3.7 일이다.

이는 대양의 $A^d_{\text{Th}}/A_{\text{U}}$ 평균값인 0.75~1.0 보다 낮은 값을 보이며, Th의 평균체류시간인 수백 일과도 낮은 값을 보이고 있다.

이로써 동해 해역의 용존상태의 금속 원소 중 Th과 거동이 유사한 금속은 약 12.4~39.9일 정도 해수 중에 존재하다가 입자 물질에 흡착되어 해저면으로 가라앉을 것으로 사료된다. 그리고 입자 상태의 금속 원소 중 Th과 거동이 유사한 금속은 대략 1~4일 만에 해수에서 해저로 가라앉을 것으로 사료된다

(2) 신생산 추정

신생산 (new production)은 대기, 하천 혹은 유광대 하부의 심층 해양에서 유광대로 입력되는 영양염류에 의하여 생산되는 일차생산력이다. 동해에서의 식물플랑크톤의 광합성율의 계절적 변동을 보면 다음과 같다. 겨울에 영양염류가 표층에서 높으나 수직으로 해수가 전 수주(~80m)가 혼합되어 식물에 광이 부족하기 때문에 광합성이 낮다. 춘계에는 일사량의 증가에 따라 표면수가 더워져서 수직혼합 깊이가 얕아 지므로 광합성이 높아진다. 하계에는 일사량의 증가에 따라 표면수가 더워져서 수괴의 성층이 발달하여 심층 해양으로부터 영양염 공급이 차단된 상태에서 지속적인 식물의 광합성으로 표층해양에서의 영양염이 고갈되어 광합성 율이 낮다. 추계에는 일사량의 감소로 인한 냉각과 바람이 강하게 불어 수괴의 성층이 파괴되므로 고영양염 심층수가 표층으로 올라 오므로 표층해양에서의 기초 생산력이 크게 증가한다. 즉 bimodal 분포를 계절적으로 보인다.

여기서는 물기둥의 ^{234}Th 농도분포와 정상상태 모델로부터 추정된 입자태 ^{234}Th 플럭스를 계산하고 침강입자의 POC/ ^{234}Th 이나 PN/ ^{234}Th 비로부터 신생산(C 또는 N export)율을 추정하였다.

물기둥의 ^{234}Th 농도분포와 정상상태 모델로부터 추정된 입자태 ^{234}Th 플

릭스를 계산하고 침강입자의 POC/²³⁴Th와 PN/²³⁴Th비로부터 C와 N의 신생 산율(export flux)을 추정하였다.

- M 정점: PN/²³⁴Th의 비는 표층에서 0.25±0.14 으로 최대값을 보이며 점점 감소하여 200m에서 0.01±0.002 로 최소값을 보이고 있다 POC/²³⁴Th의 비 해수면에서 1.83±1.03이고 수심 50m 까지 0.17±0.01로 감소하다가 다시 수심 75m에서 0.25±0.02으로 증가했다. 그리고 다시 깊이에 따라 감소하여 수심 200m에서 0.07±0.01로 최소값을 보였다 (표 7-1-3). 표면층 (제1혼합층)으로 보여지는 50m 까지의 C 신생산 (new production)량은 55.04 mmol C/m²/day로 계산되었고, 100m (제2혼합층)에서는 63.20 mmol C/m²/day로 나타났다.

표 2-8-36. 정점 M과 DW-12에서의 유기물에 대한 ²³⁴Th비율, 유출플럭스 및 생산량의 수심별 분포

Stn. M Depth(m)	PN/ ²³⁴ Th (mg N /dpm ²³⁴ Th)	POC/ ²³⁴ Th (mg C /dpm ²³⁴ Th)	N export flux (mg N m ⁻² d ⁻¹)	C export flux (mg C m ⁻² d ⁻¹)
1	0.250 ± 0.141	1.828 ± 1.03	12.0 ± 56.5	87.5 ± 412.7
20	0.095 ± 0.016	0.638 ± 0.105	75.5 ± 499.9	507.3 ± 3358.8
50	0.026 ± 0.001	0.174 ± 0.007	10.0 ± 171.9	65.7 ± 1134.3
75	0.030 ± 0.002	0.252 ± 0.016	8.9 ± 168.2	74.6 ± 1416.8
100	0.025 ± 0.003	0.17 ± 0.018	3.4 ± 87.2	23.3 ± 590.8
200	0.009 ± 0.002	0.067 ± 0.011	19.7 ± 209.6	145.5 ± 1547.9
C export productivity (mmol C m ⁻² d ⁻¹)		50m at station M 55.04		
Stn. DW-12 Depth(m)	PN/ ²³⁴ Th (mg N /dpm ²³⁴ Th)	POC/ ²³⁴ Th (mg C /dpm ²³⁴ Th)	N export flux (mg N m ⁻² d ⁻¹)	C export flux (mg C m ⁻² d ⁻¹)
1	0.100 ± 0.002	0.635 ± 0.013	4.32 ± 18.17	27.5 ± 115.6
20	0.145 ± 0.004	0.857 ± 0.022	119.81 ± 633.91	708.9 ± 3751.1
50	0.018 ± 0.002	0.133 ± 0.017	23.32 ± 106.34	175.8 ± 801.6
75	0.008 ± 0.000	0.074 ± 0.005	5.55 ± 61.88	52.3 ± 583.0
100	0.007 ± 0.000	0.062 ± 0.003	2.31 ± 52.99	19.9 ± 458.0
C export productivity (mmol C m ⁻² d ⁻¹)		100m at station DW-12 82.04		

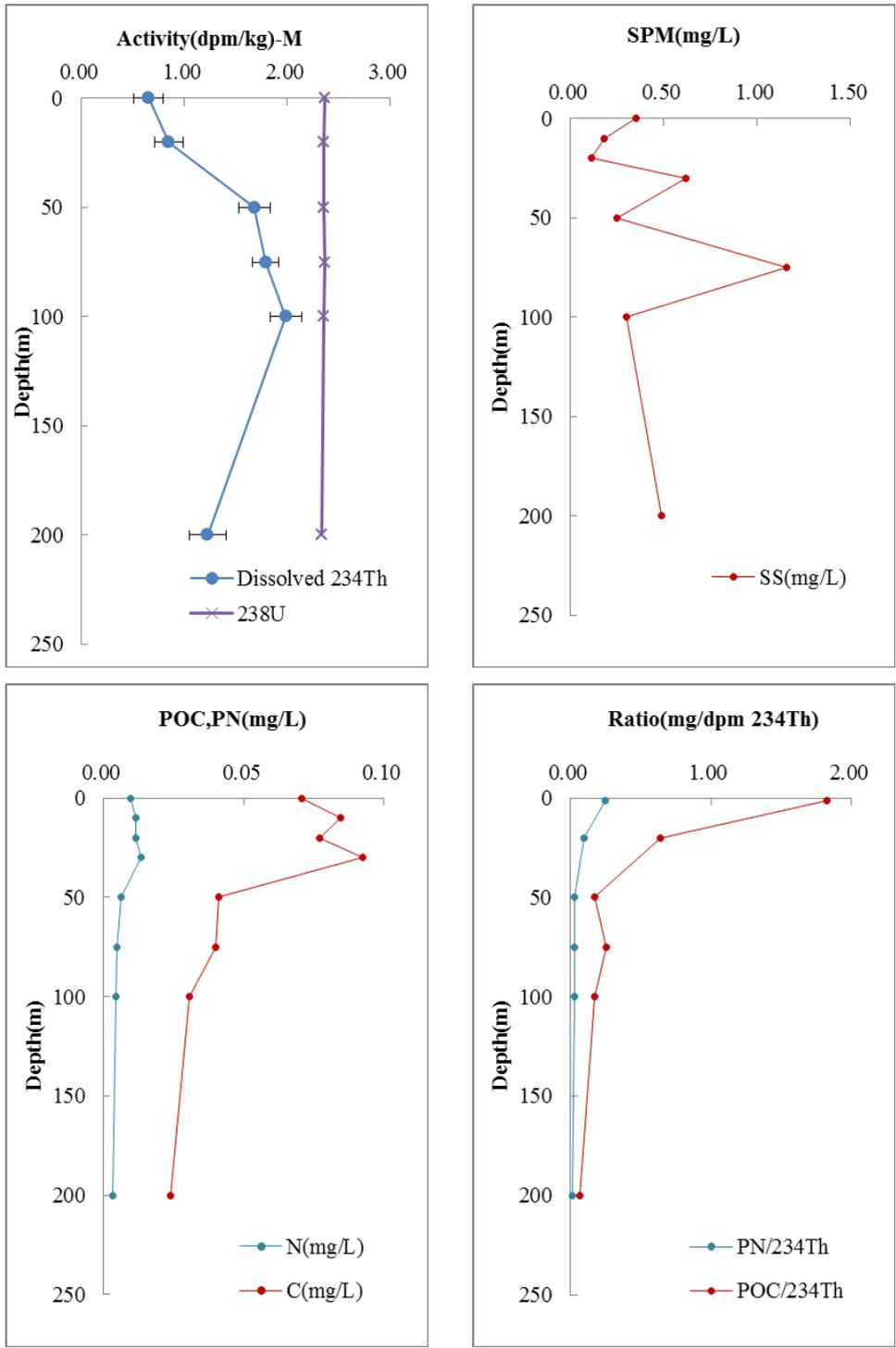


그림 2-8-45. 정점 M의 ^{234}Th , 비율 및 SPM, POC, PN 수직분포

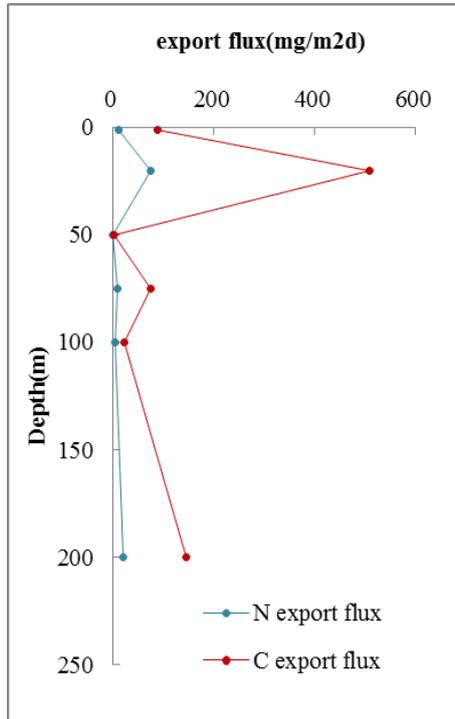


그림 2-8-45. 계속

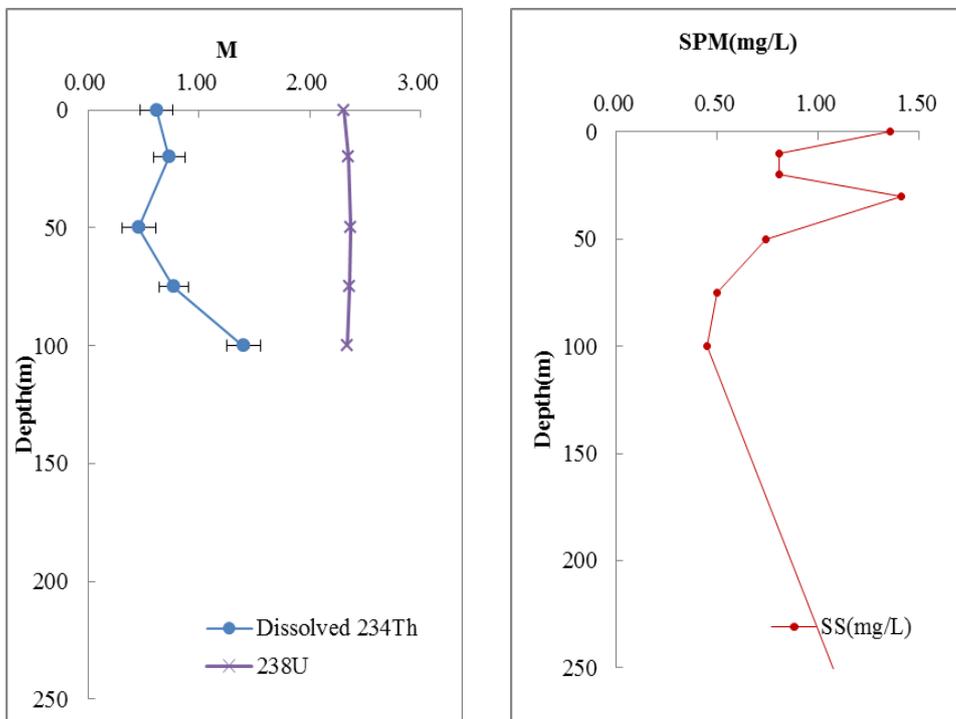


그림 2-8-46. 정점 DK-12의 ^{234}Th , 비율 및 SPM, POC, PN, 수은 염분 수직분포

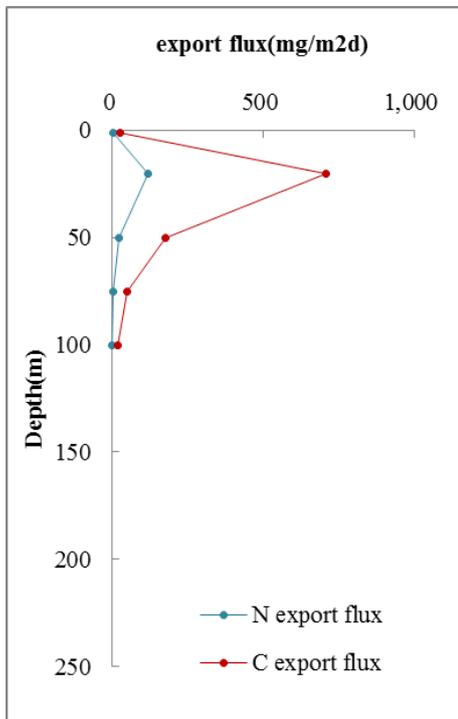
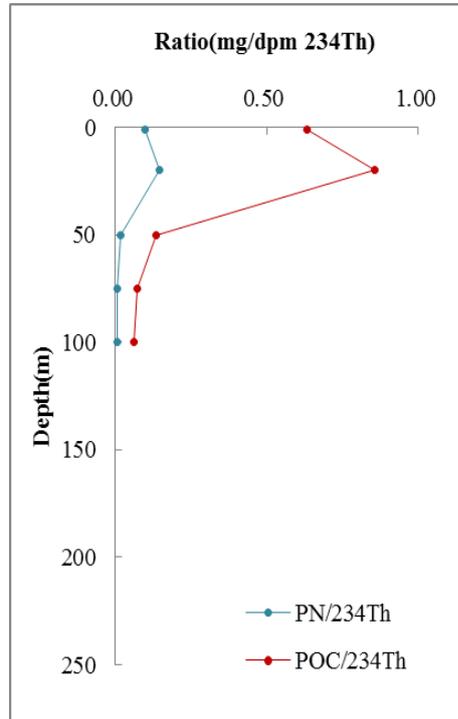
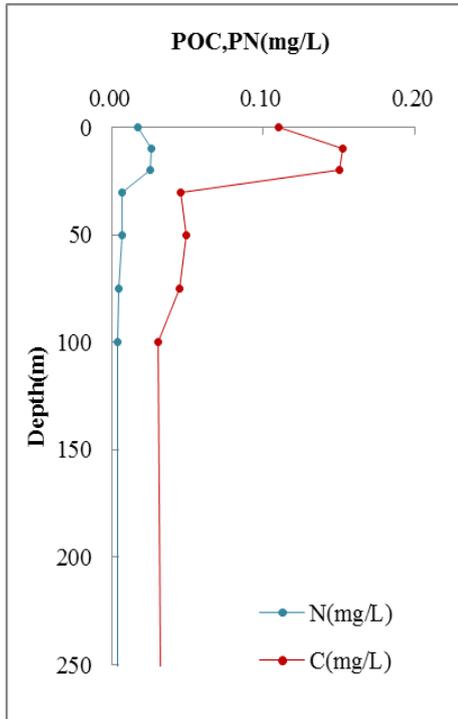


그림 2-8-46. (계속)

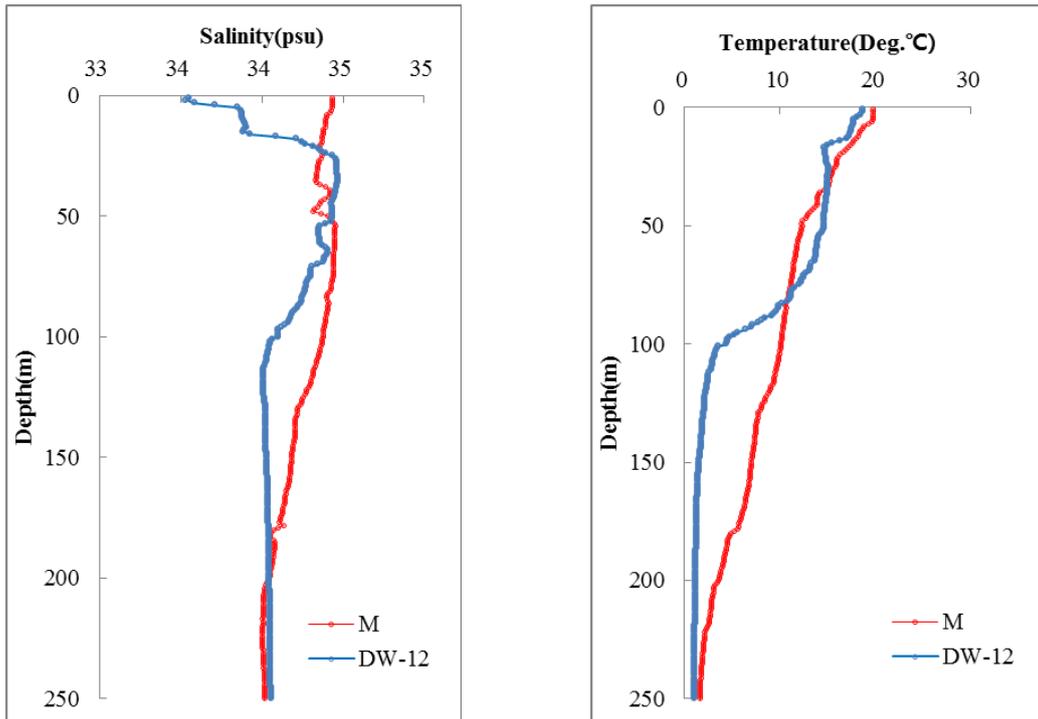


그림 2-8-47. 정점 M, DK-12 의 수온 염분 수직분포

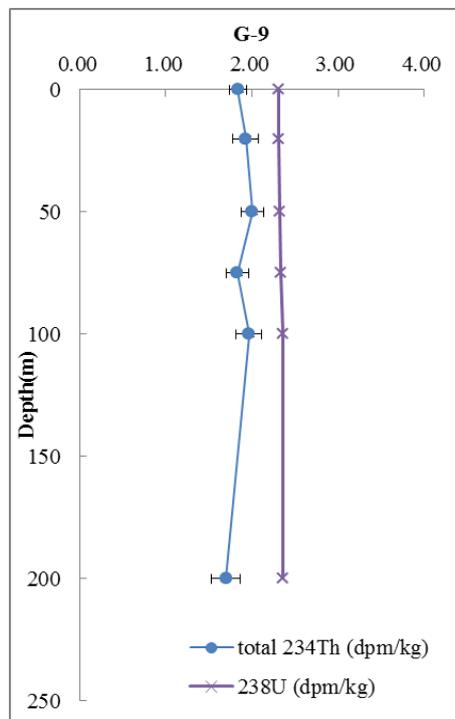


그림 2-8-48. 정점 G-9의 ^{234}Th 및 ^{238}U 의 수직분포

- DK-12 정점: $PN/^{234}\text{Th}$ 의 비는 표층에서 0.10 ± 0.002 이고, 20m에서 0.15 ± 0.004 로 최대값을 보이며 점점 감소하였다. $POC/^{234}\text{Th}$ 의 비는 표층에서 0.64 ± 0.01 이고 수심 20m에서 0.86 ± 0.02 로 최대값을 보이다 점점 감소하여 100m에서 0.06 ± 0.003 로 최소값을 보인다 (표 7-1-3, 그림 7-1-2). 혼합층 수심100m까지의 C 신생산 (newproduction)량은 $82.04 \text{ mmol C/m}^2/\text{day}$ 로 나타났다.

마. 결론

동해 배출해역에서의 용존상태의 성분은 약 12.4~39.9일 정도, 또 당해 원소 중 입자상태로 유입된 금속 원소는 대략 1~4일 만에 해수에서 해저로 가라앉을 것으로 사료된다. 그리고 동해 해역의 신생산율은 수심 100m에서 $63.20 \sim 82.04 \text{ mmol C/m}^2/\text{day}$ 로 추정된다.

5. 폐기물 이동 및 해저침강/축적 조사(동해병해역)

가. 서론

해양으로 유입된 난용성 또는 반응성이 큰 오염물질이 해수 중에서 제거되는 과정에는 해수 중 침강하여 퇴적물의 원료가 되는 침강입자가 중요한 역할을 한다. 이러한 침강입자를 포집하는 장치가 침강입자 포집기 (Sediment Trap)이다. 침강입자 포집기는 1970년대부터 해양에서 유기물, 난용성/반용성 성분 등 해수 중 물질의 해저 침강량을 산정하기 위해 이용되어 왔고, 초창기에는 단순한 원주형 실린더를 이용하였으나 기계 및 전자기술의 발달과 더불어 침강입자포집기도 진화하여 1980년대 후반부터 시료채취 기간을 임의로 설정이 가능하여 시계열 시료를 채취할 수 있는 포집기가 널리 사용되고 있다. 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 침강입자 포집기는 미국의 McLane사의 Mark-7 Type과 일본의 Nichiyou에서 제작된 SMD Type 2종류이다. 그림 2-8-49에 이 2종류의 침강입자 포집기를 나타내었다.

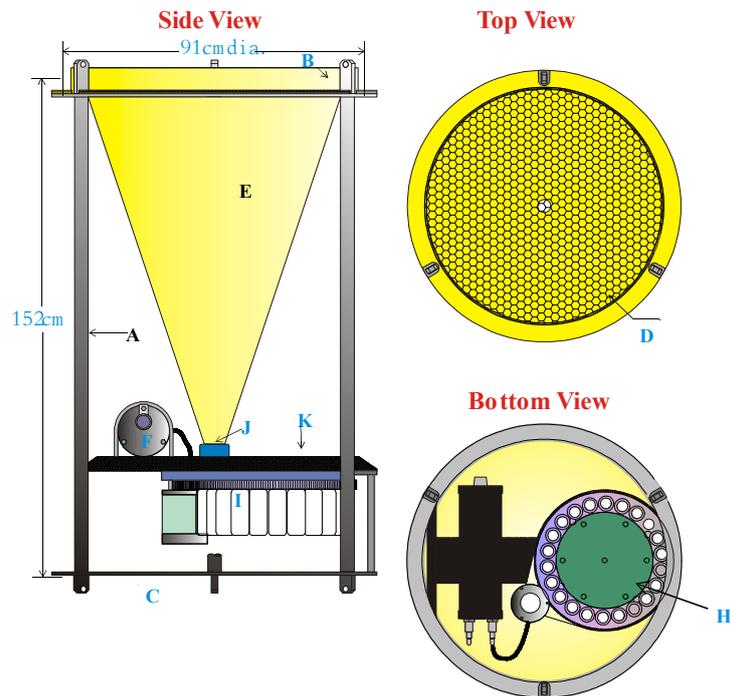
나. 침강입자 시료 채취 방법

침강입자 포집기를 동해 $37^{\circ}38.057'N$, $131^{\circ}20.619'E$ 지점, 수심 2,200m 해역에

수심 1,200m 위치에 Mark-7 Type을 2011년 7월부터 2012년 2월까지 7개월 간 8일 간격으로 26기간 설치하여 침강입자 시료를 포집하였다. 표 2-8-39에 침강입자 포집기 계류기간, 시료채취 기간 및 총 입자 플럭스를 나타내었다.



Mark VII-21 Sediment Trap



- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| A: Titanium frame | G: Stepper motor housing |
| B: 3 Upper mooring eyes | H: Rotator plate assembly |
| C: 3 Lower mooring eyes | I: Sample bottles |
| D: Honeycomb baffle | J: Funnel adapter |
| E: Funnel | K: Cross channel |
| F: Controller housing | |

그림 2-8-49. 일본 Nichiyu사의 Sediment Trap 및 Mark-7 Type Sediment Trap

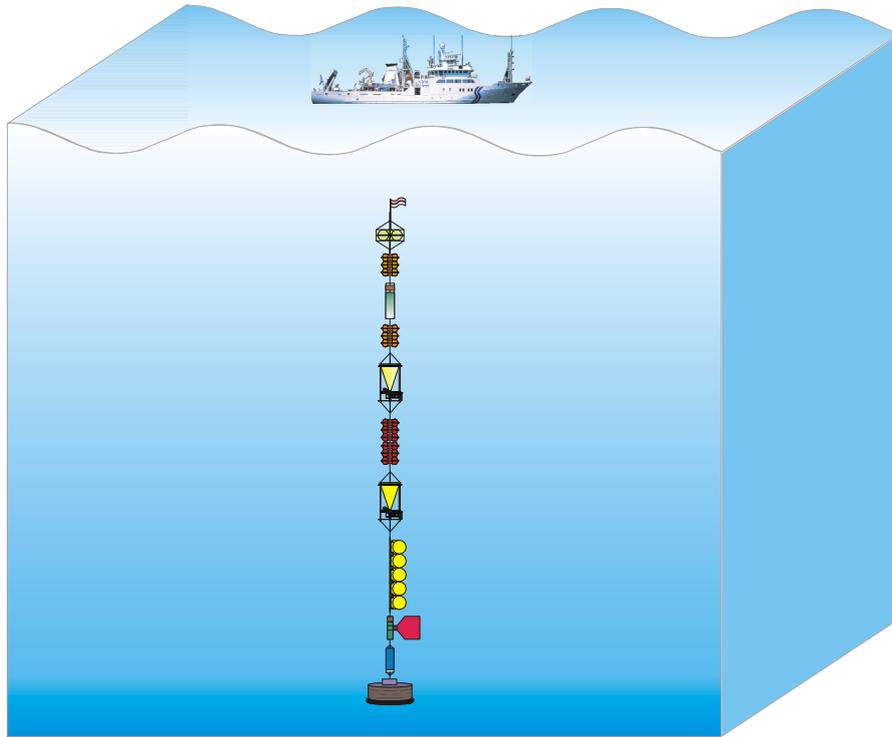


그림 2-8-50. Sediment Trap 계류 모식도

그림 2-8-51에 본 연구에서 계류한 침강입자 포집기의 계류도를 나타내었다. 계류라인의 최상층 부이는 해표면에서 수심 500m에 위치하여 선박 및 어업활동의 영향으로부터 회피 가능하도록 설계하였다. 또한 모든 계류장비 및 부품들의 수중 부력을 계산하여 항상 수중에서 직립하도록 부력을 조절하여 부이 위치를 결정하였다. 그리고 500m, 1500m, 2180m에 유속계를 함께 계류하여 계류기간 중의 해류 흐름도 함께 관측하였다.

표 2-8-37. Sediment Trap 시료채취 시간 설정 및 총 입자 플럭스

Sample No.	Event of Deployment (500m)					Total Mass flux (g/m ² /day)
	Open		Close		Period (day)	
	Date	Time	Date	Time		
ES1203-01	2011-07-04	12:00	2011-07-12	12:00	8.00	0.33
ES1203-02	2011-07-12	12:00	2011-07-20	12:00	8.00	0.35
ES1203-03	2011-07-20	12:00	2011-07-28	12:00	8.00	0.30
ES1203-04	2011-07-28	12:00	2011-08-05	12:00	8.00	0.18
ES1203-05	2011-08-05	12:00	2011-08-13	12:00	8.00	0.18
ES1203-06	2011-08-13	12:00	2011-08-21	12:00	8.00	0.23
ES1203-07	2011-08-21	12:00	2011-08-29	12:00	8.00	0.30
ES1203-08	2011-08-29	12:00	2011-09-06	12:00	8.00	0.47
ES1203-09	2011-09-06	12:00	2011-09-14	12:00	8.00	0.33
ES1203-10	2011-09-14	12:00	2011-09-22	12:00	8.00	0.39
ES1203-11	2011-09-22	12:00	2011-09-30	12:00	8.00	0.83
ES1203-12	2011-09-30	12:00	2011-10-08	12:00	8.00	0.18

표 2-8-37. (계속)

Sample No.	Event of Deployment (1000m)					Total Mass flux (g/m ² /day)
	Open		Close		Period (day)	
	Date	Time	Date	Time		
ES1203-01	2011-07-04	12:00	2011-07-12	12:00	8.00	0.29
ES1203-02	2011-07-12	12:00	2011-07-20	12:00	8.00	0.32
ES1203-03	2011-07-20	12:00	2011-07-28	12:00	8.00	0.28
ES1203-04	2011-07-28	12:00	2011-08-05	12:00	8.00	0.27
ES1203-05	2011-08-05	12:00	2011-08-13	12:00	8.00	0.17
ES1203-06	2011-08-13	12:00	2011-08-21	12:00	8.00	0.16
ES1203-07	2011-08-21	12:00	2011-08-29	12:00	8.00	0.18
ES1203-08	2011-08-29	12:00	2011-09-06	12:00	8.00	0.49
ES1203-09	2011-09-06	12:00	2011-09-14	12:00	8.00	0.25
ES1203-10	2011-09-14	12:00	2011-09-22	12:00	8.00	0.22
ES1203-11	2011-09-22	12:00	2011-09-30	12:00	8.00	0.59
ES1203-12	2011-09-30	12:00	2011-10-08	12:00	8.00	0.60
ES1203-13	2011-10-08	12:00	2011-10-16	12:00	8.00	0.63
ES1203-14	2011-10-16	12:00	2011-10-24	12:00	8.00	0.50
ES1203-15	2011-10-24	12:00	2011-11-01	12:00	8.00	0.31
ES1203-16	2011-11-01	12:00	2011-11-09	12:00	8.00	0.34
ES1203-17	2011-11-09	12:00	2011-11-17	12:00	8.00	1.19
ES1203-18	2011-11-17	12:00	2011-11-25	12:00	8.00	0.25
ES1203-19	2011-11-25	12:00	2011-12-03	12:00	8.00	0.15
ES1203-20	2011-12-03	12:00	2011-12-11	12:00	8.00	0.15
ES1203-21	2011-12-11	12:00	2011-12-19	12:00	8.00	0.12
ES1203-22	2011-12-19	12:00	2011-12-27	12:00	8.00	0.13
ES1203-23	2011-12-27	12:00	2012-01-04	12:00	8.00	0.11
ES1203-24	2012-01-04	12:00	2012-01-12	12:00	8.00	0.09
ES1203-25	2012-01-12	12:00	2012-01-20	12:00	8.00	0.05
ES1203-26	2012-01-20	12:00	2012-01-28	12:00	8.00	0.08

Sample No.	Event of Deployment (2000m)					Total Mass flux (g/m ² /day)
	Open		Close		Period (day)	
	Date	Time	Date	Time		
ES1203-01	2011-07-04	12:00	2011-07-12	12:00	8.00	0.17
ES1203-02	2011-07-12	12:00	2011-07-20	12:00	8.00	0.43
ES1203-03	2011-07-20	12:00	2011-07-28	12:00	8.00	0.40
ES1203-04	2011-07-28	12:00	2011-08-05	12:00	8.00	0.41
ES1203-05	2011-08-05	12:00	2011-08-13	12:00	8.00	0.26
ES1203-06	2011-08-13	12:00	2011-08-21	12:00	8.00	0.24
ES1203-07	2011-08-21	12:00	2011-08-29	12:00	8.00	0.17
ES1203-08	2011-08-29	12:00	2011-09-06	12:00	8.00	0.50
ES1203-09	2011-09-06	12:00	2011-09-14	12:00	8.00	0.39
ES1203-10	2011-09-14	12:00	2011-09-22	12:00	8.00	0.35
ES1203-11	2011-09-22	12:00	2011-09-30	12:00	8.00	0.49
ES1203-12	2011-09-30	12:00	2011-10-08	12:00	8.00	0.76
ES1203-13	2011-10-08	12:00	2011-10-16	12:00	8.00	0.74
ES1203-14	2011-10-16	12:00	2011-10-24	12:00	8.00	0.73
ES1203-15	2011-10-24	12:00	2011-11-01	12:00	8.00	0.51
ES1203-16	2011-11-01	12:00	2011-11-09	12:00	8.00	0.34
ES1203-17	2011-11-09	12:00	2011-11-17	12:00	8.00	0.34
ES1203-18	2011-11-17	12:00	2011-11-25	12:00	8.00	0.40
ES1203-19	2011-11-25	12:00	2011-12-03	12:00	8.00	0.24
ES1203-20	2011-12-03	12:00	2011-12-11	12:00	8.00	0.22
ES1203-21	2011-12-11	12:00	2011-12-19	12:00	8.00	0.21
ES1203-22	2011-12-19	12:00	2011-12-27	12:00	8.00	0.21
ES1203-23	2011-12-27	12:00	2012-01-04	12:00	8.00	0.30
ES1203-24	2012-01-04	12:00	2012-01-12	12:00	8.00	0.21
ES1203-25	2012-01-12	12:00	2012-01-20	12:00	8.00	0.17
ES1203-26	2012-01-20	12:00	2012-01-28	12:00	8.00	0.13

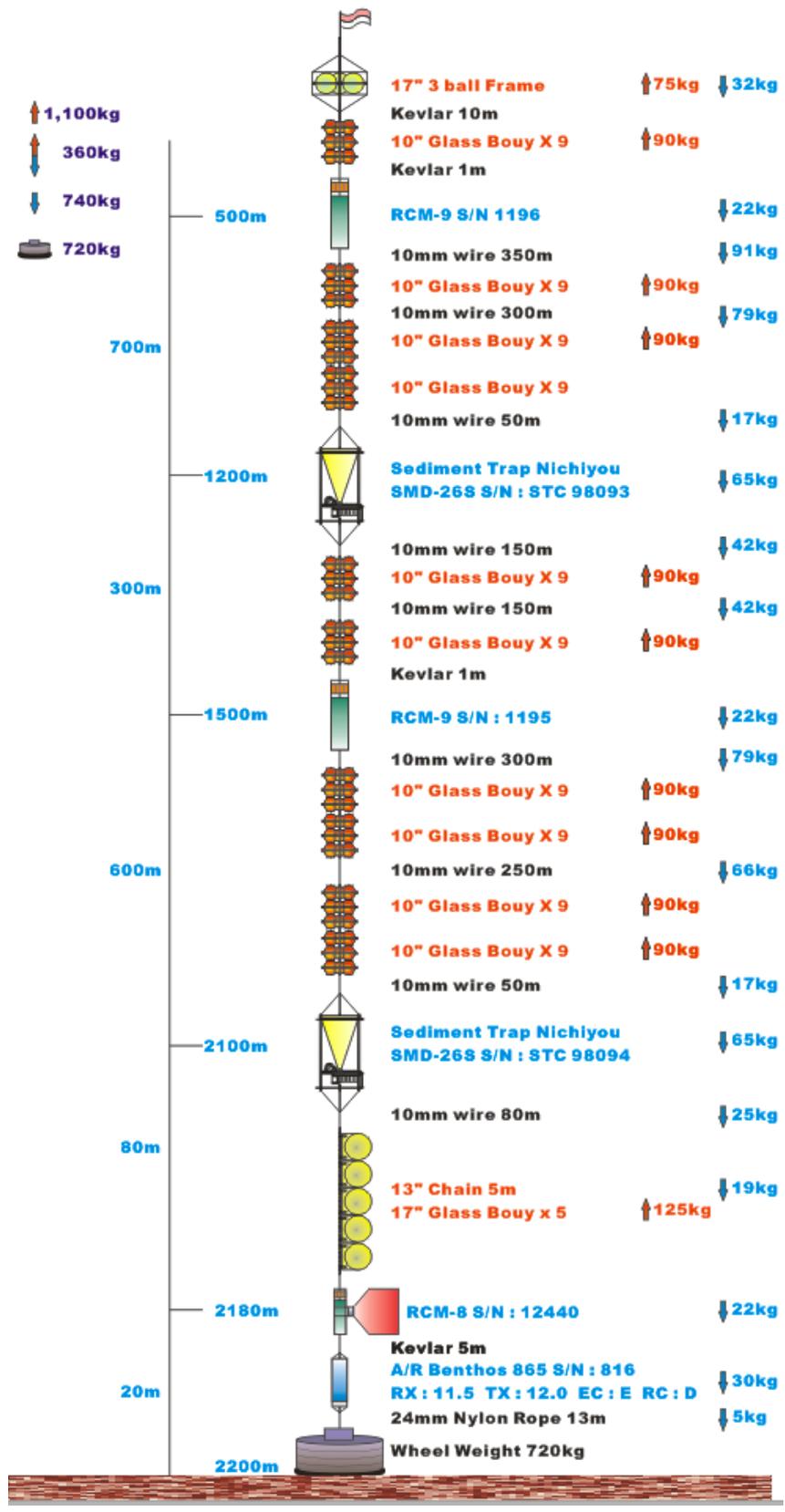


그림 2-8-50. Sediment Trap 계류도

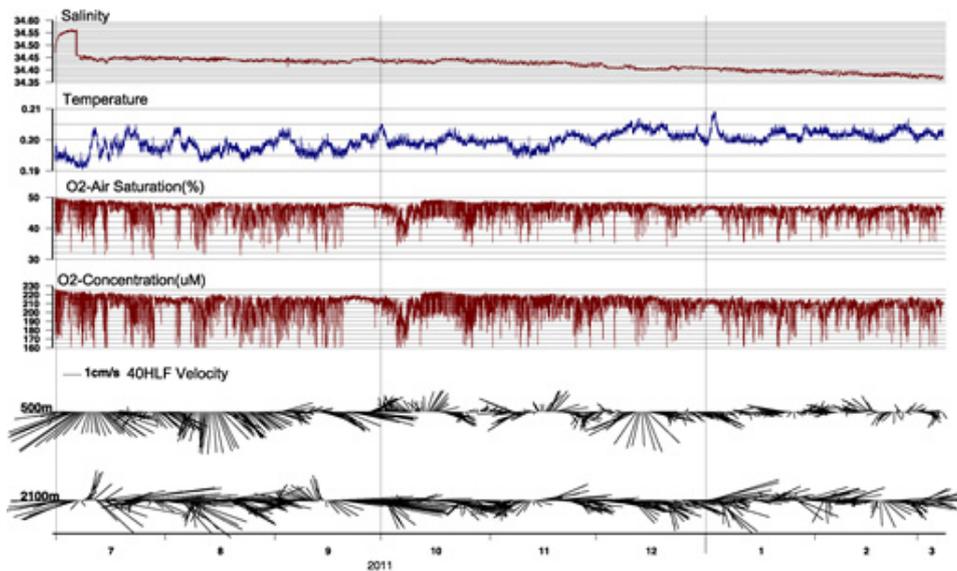
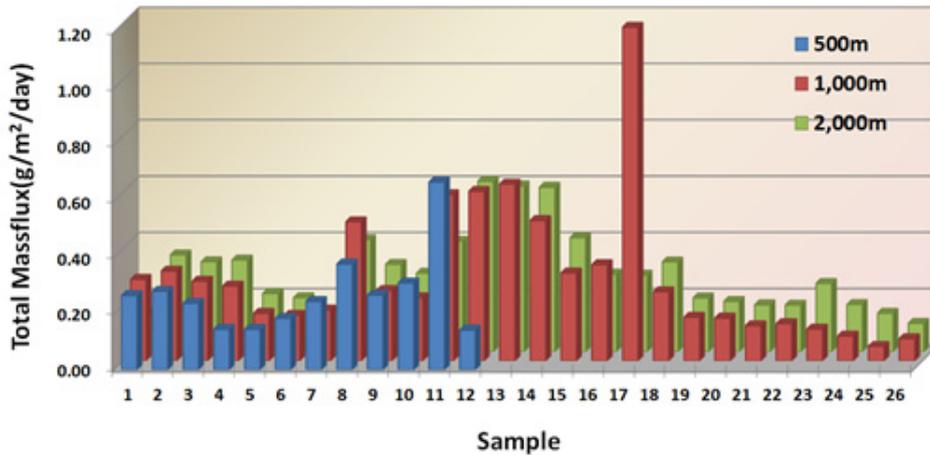


그림 2-8-51. 2011년 7월 ~ 2012년 1월 동해 울릉분지의 깊이별 입자플럭스 변화

다. 동해병해역 침강입자 플럭스 조사 결과

당해 연도 관측 결과로는 9월 하순부터 10월 말까지 약 40일에 걸쳐 추계 대변성이 관측되었다. 또한 500m, 1000m, 2000m 층의 모든 침강입자 플럭스는 대양에 비해 1자릿수 이상 큰 값을 나타내었다. 이것은 울릉분지를 포함한 동해의 생물생산 및 대기를 통하여 유입되는 육상기원 물질의 양이 대양보다 크다는 것을 의미한다. 그리고 수심에 따른 플럭스의 차이가 거의 없는 것으로부터, 동해 울릉분지의 입자 침강속도는 외양에 비해 상당히 빠르다는 것을 나타내고 있다.

제 9 절 저서생태계 건강상태 조사

1. 서론

국내의 해양 배출은 1988년에 도입되어 현재까지 진행되고 있다. 국내의 해양 배출해역은 총 3개 지역으로 동해에 2개소(동해병, 동해정), 서해에 1개소(서해병)가 있다(해양수산부, 2005). 본 연구해역인 서해병 해역은 군산 서방 200km에 위치한 해역으로 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수, 수산 가공 잔재물 등을 배출하고 있다. 일반적으로 폐수 속에는 높은 농도의 NP, PAHs, 중금속 등이 포함되어 있다 (Hong and Shin, 2009; Park et al., 2009). 폐기물에 포함되어 있는 중금속, PAHs 등의 독성 물질로 인해 저서 생태계에 악영향을 미치기도 한다 (Mojtahid et al., 2008). 또한 육상 폐기물의 해양배출은 고형유기물질을 저층에 공급하여 저서생물군집 내에 기회종의 증가를 유발하는 것으로 알려져 있다 (Rees, et al., 2006; Whomersley et al., 2007).

건강도 지수는 최근 많이 사용되고 있는 유기물에 대한 민감도를 이용하여 판단하는 Azti's 생물지수 (Azti's marine biotic index; AMBI)를 이용하였다 (Borja et al., 2000). AMBI는 여러 유형의 환경노출상황에 비교적 잘 적용이 되는 모델로 알려져 있으며 이러한 보고는 중금속오염에 의한 영향 (Borja et al., 2003), 모래채취가 저서생물에 미치는 영향 (Bonne et al., 2003), 무산소 환경이 저서생물에 미치는 영향 (Muxica et al., 2005), 폐기물 배출에 의한 영향 (Borja et al., 2000; 2003) 등이 있다. 따라서 폐기물과 같은 다양한 오염원을 가지는 물질에 대한 대형저서동물의 건강도 평가에 적합하다. 그리고 저서오염지수(Benthic pollution index; BPI)는 국내 저서환경을 평가하기 위해 최근에 많이 사용되어 지고 있는 방법이다. BPI는 저서동물의 섭식유형에 기초를 두고 Infauna index를 수정한 방법으로, 최근 시화호의 건강도 평가(이 등, 2003), 광양만(최 등, 2003), 마산만 및 진해만(최 등, 2005; 최와 서, 2007; 임 등, 2007)의 저서생물 건강도 평가에 사용되어져 왔다.

본 연구에서는 폐기물 해양투기로 인하여 대형저서동물이 어떠한 영향을 받는지를 알아보기 위해 서해병, 동해병·정 해역 대형저서동물의 군집구조를 조사하였고, 조사해역에서 출현하는 대형저서동물의 군집자료를 사용하여 저서생물지수인 AMBI와 BPI를 이용한 저서생물군집의 건강 상태를 파악하였다. 또한 현배출해역과 2005년 이후 배출이 금지된 휴식년제도를 시행하고 있는 휴식년해역의 군집구조와 건강도를 파악하여 휴식년제도의 효과를 평가하는

자료로 산정코자 하였다.

2. 시료채집 및 분석방법

국내 폐기물 해양배출해역과 그 주변해역에 서식하는 대형저서동물을 정량적으로 채집하고자 폐기물 배출해역인 서해병, 동해병 그리고 동해정에서 각각 10개 정점을 선정하여 조사하였다. 현장조사는 5월 서해병, 6월 동해병, 7월 동해정의 순서로 수행되었다. 서해병은 휴식해역 3개 정점, 배출해역 4개 정점, 그리고 대조해역 3개 정점을 조사하였고, 동해병은 배출해역 3개 정점, 휴식해역 4개 정점, 그리고 대조해역 3개 정점으로 조사를 실시하였다. 또한 동해정은 배출해역 7개 정점과 대조해역 3개 정점으로 나누어 현장조사를 실시하였다(그림 2-9-1).

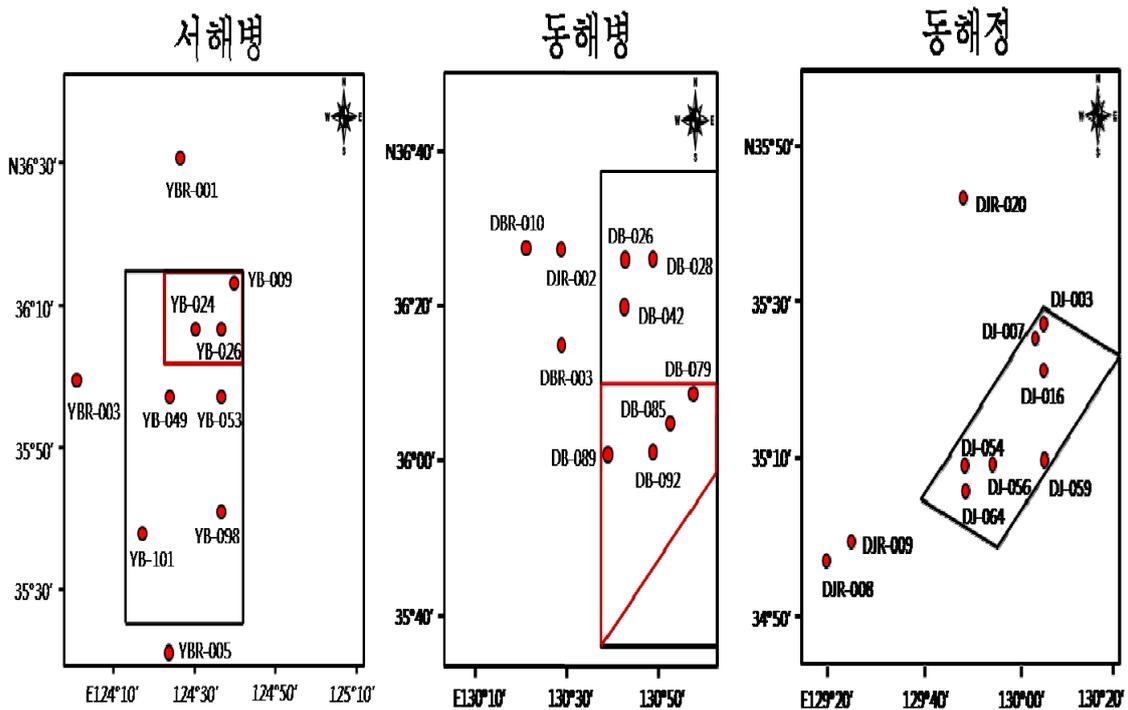


그림 2-9-1. 폐기물 배출해역 및 인근해역 대형저서동물 조사정점.

저서동물 채집은 서해병과 동해정의 경우, 개량된 van Veen grab sampler (0.1 m²)를 이용하여 각 정점 당 3회씩 퇴적물을 채취하여 총 채취 면적을 0.3 m²으로 하였고 동해병의 경우, box corer (0.08 m²)를 이용하여 총 채취면적을 0.24 m²으로 하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 망목 1 mm 체를

이용하여 저서동물을 분리하였고, 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별 및 동정을 실시하였고, 개체수를 계수하고 생체량을 측정하여 채집된 총량을 표시하였고, 정점당 출현개체수와 습중생체량은 단위면적당으로 환산하여 나타내었다. 즉 특정단위가 표시되지 않은 경우에는 현장조사에서 얻는 총량을 의미한다. 선별된 표본 동정은 Shen (1932), Imajima (1972, 1987, 1990), 김(1973, 1977), Yang and Sun (1988), 백(1989), Nishimura (1992, 1995), Okutani (1994, 2000), 김(1998), 국립수산진흥원(1999), 손과 홍(2003) 및 해양수산부 국립수산진흥원(2001)을 참고하였다. 각 종에 대한 국명은 한국동물분류학회(1997)를 근거로 하였다.

조사된 저서동물의 군집분석을 위하여 출현종수, 서식밀도, 습중생체량 및 우점종을 구하였다. 우점종은 출현 개체수와 출현 빈도를 고려하여 선정하는 LeBris index (1988)를 이용하였고, 그 식은 아래와 같다. 단 보고서에는 편리성을 위하여 도출된 값에 100을 곱하여 나타내었다.

$$D'_{ij} = F_{ij} \times D_{ij} \times 100$$

$$= \left(\frac{P_{ij}}{P_j} \times 100 \right) \times \left(\sum_{k=1}^{P_j} \frac{N_{ik}}{N_k} / P_j \right) \times 100$$

P_{ij} = j번째 군집에서 종 i의 출현 횟수

P_j = j번째 군집의 전체 정점수

N_{ik} = j번째 군집에서 k번째 정점에 출현하는 종 i의 개체수

N_k = k번째 정점에서 전체 개체수

저서동물의 군집분석은 위하여 종 다양도(Shannon and Weaver, 1949), 풍부도 및 균등도 등의 생태학적 제지수를 도출하였다. 종다양성지수(Species diversity index, H')는 Margalef (1958)의 이론에 의하여 유도된 Shannon-Wiener Function (Pielou, 1969)을 이용하여 산출하였다. 그리고 균등도(Evenness index)와 풍부도(Richness index)는 다음의 식으로 산출하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i (\ln P_i)$$

H' : 다양도

S : 전체 종수

P_i : i번째에 속하는 개체수의 비율 (n_i/N)

(N :군집내의 전 개체수, n_i :각 종의 개체수)

$$J = H' / \ln(S)$$

J : 균등도

H' : 다양도

S : 전체 종수

$$R = (S - 1) / \ln(N)$$

R : 풍부도

S : 전체종수

N : 총개체수

출현 종과 개체수의 자료를 이용한 집괴분석은 각 정점간의 유사도 (similarity)를 파악하기 위하여, Bray and Curtis (1957)의 similarity index를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram) 및 다차원분석으로 나타내었다.

한편, 저서건강도지수 산출로서 본 연구에 사용된 저서오염지수 (BPI)와 Azti's 생물지수 (AMBI)의 계산식과 각 지수 산출에 적용된 가정은 다음과 같다.

$$BPI = [1 - \{(axN_1 + bxN_2 + cxN_3 + dxN_4) / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) / d\}] \times 100$$

N₁은 육식자와 여과식자의 개체수, N₂는 표층 퇴적물식자의 개체수, N₃는 표층하퇴적물식자의 개체수, N₄는 오염지시종이나 기회종의 개체수를 나타낸다. 각 기능군의 출현 개체에 부과하는 가중치는 a=0, b=1, c=2, d=3으로 주어졌다. BPI=0이면 저서군집이 모두 오염지시종으로 구성되어 있는 경우이며, BPI=100이면 저서생물군집이 여과식자와 육식자만을 구성되어 있음을 나타낸다. 무산소 상태의 무생물 조건에서는 BPI값을 0으로 준다.

$$AMBI = [(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)] / 100$$

GI은 유기물 오염이나 교란이 있으면 현존량이 감소하는 민감종의 현존량 백분율, GII는 유기물 오염에 둔감하거나 무관한 저서생물의 현존량 백분율, GIII는 유기물 오염에 내성을 가지고 있거나 약간 증가하는 저서생물의 현존량 백분율, GIV는 2차 유기물 오염지시종의 현존량 백분율, GV는 1차 유기물 오염지시종의 현존량 백분율을 나타낸다. AMBI는 0-6까지의 값을 나타내며, 무생물조건에서는 AMBI값을 7로 준다.

BPI와 AMBI의 평가 기준은 표 2-9-1과 같다.

표 2-9-1. 대형저서동물 군집의 건강성 평가기준

Condition / Index	BPI	AMBI
Normal	≥60	0-1.2
Slightly polluted	40-60	1.2-3.2
Moderately polluted	30-40	3.2-5.0
Highly polluted	20-30	5.0-6.0
Very highly polluted	≤20	6.0-7.0

3. 조사결과

가. 배출해역별 군집 구조

1). 서해병해역

서해병 조사지역(배출해역, 휴식년해역 및 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 49종/3m², 3,607개체(361개체/m²), 693.60 gWWt (70.54 gWWt/m²)이었다. 분류군별 출현 종수를 살펴보면 환형동물 다모류가 25종이 출현하여 전체의 51.1%를 점유하였고, 다음으로 연체동물이 9종(18.4%), 절지동물 갑각류가 7종(14.3%), 기타동물이 6종(12.2%) 그리고 극피동물이 2종(4.1%)순으로 출현하였다. 정점별 출현종수는 최대 27종(YB-098)에서 최소 8종(YBR-003)으로 평균 18종이 출현하였다. 분류군별 서식밀도는 환형동물 다모류가 203개체/m²로 56.1%를 점유하였으며, 다음으로 연체동물이 66개체/m²(18.3%), 기타동물이 40개체/m²(11.0%), 절지동물 갑각류가 37개체/m²(10.2%) 그리고 극피동물 15개체/m²(4.2%)순으로 출현하였다. 정점별 서식밀도는 최대 687개체(YB-053)에서 최소 150개체(YBR-003)로 평균 361개체가 출현하였다. 분류군별 생체량은 기타동물이 25.72 gWWt/m²로 37.1%를 점유하였고, 환형동물 다모류가 23.00 gWWt/m²(33.2%), 연체동물이 17.21 gWWt/m² (24.8%), 극피동물이 1.79 gWWt/m² (2.6%) 그리고 절지동물 갑각류가 1.63 gWWt/m² (2.3%)순으로 출현하였다. 정점별 생체량 출현정도는 최대 173.91 gWWt(YB-101)에서 최소 11.80 gWWt(정점 YB-009)의 범위로 평균 70.54gWWt로 조사되었다.

해역별(배출해역, 휴식년해역, 대조해역) 대형저서동물 군집조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 37종, 대조해역에서 27종, 휴식년해역에서 31종이 출현하였다. 분류군별로 보면 3개 해역 모두에서 환형동물 다모류의 출현정도가 높고 연체동물과 절지동물 등의 순이었다. 평균 서식밀도는 배출해역에서 453개체/m², 휴식년해역에서 370개체/m² 그리고 대조해역에서 228개체/m²로 조사되었다. 평균생체량은 배출해역에서 108.38 gWWt/m², 대조해역에서 51.81 gWWt/m² 그리고 휴식년해역에서는 38.82 gWWt/m²으로 조사되었다. 배출해역에서 종수, 서식밀도 그리고 생체량은 배출해역에서 가장 높았고, 종수와 서식밀도는 휴식년, 대조역 순이었고, 생체량은 휴식년, 대조역 순으로 나타났다.

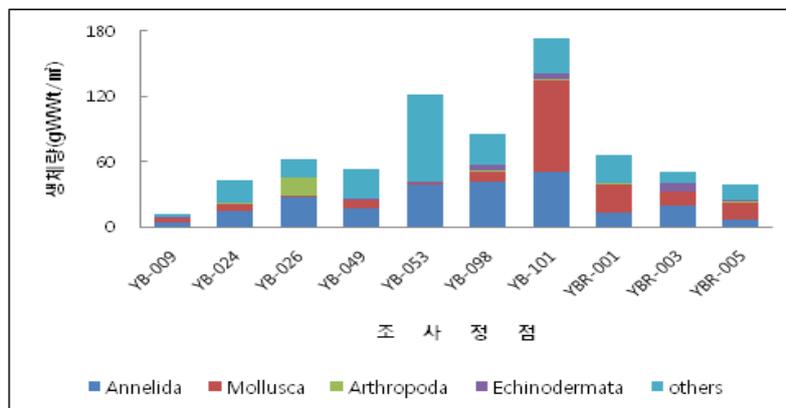
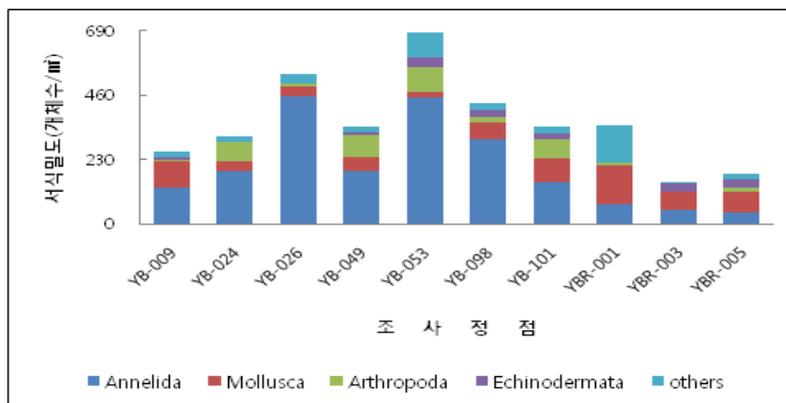
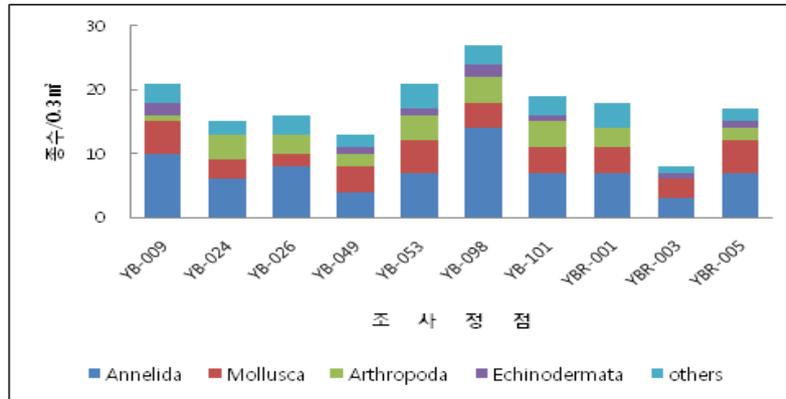


그림 2-9-2. 서해병 조사정점(10개)에서 출현한 대형 저서동물의 출현현황(상, 종수; 중, 서식밀도; 하, 생체량)

표 2-9-2. 서해병 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현
종수(종수/3m²), 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Species	%	Density	%	Biomass	%
Annelida	25	51.0	203	56.1	23.00	33.2
Mollusca	9	18.4	66	18.3	17.21	24.8
Arthropoda	7	14.3	37	10.2	1.63	2.3
Echinodermata	2	4.1	15	4.2	1.79	2.6
Others	6	12.2	40	11.0	25.72	37.1
Total	49	100	361	100	69.36	100

조사해역에서 출현한 대형저서동물의 각 해역별 조성률을 보면, 배출해역에서 출현한 종은 환형동물 다모류가 48.6%, 연체동물과 절지동물이 각각 16.2%, 기타동물이 13.5% 그리고 극피동물이 5.4% 이었다. 휴식년해역에서 다모류가 45.2%, 연체동물이 19.4%, 절지동물이 16.1%, 기타동물이 12.9% 그리고 극피동물이 6.5% 순이었다. 대조해역에서 다모류가 40.7%, 연체동물이 25.9%, 절지동물과 기타동물이 각각 14.8% 그리고 극피동물이 3.7%이었다.

서식밀도는 배출해역에서 환형동물이 60.3%, 절지동물이 14.3%, 연체동물이 11.8%, 기타동물이 8.8%, 극피동물이 4.8% 순이며 휴식년 해역은 환형동물이 69.7%, 연체동물이 15.0%, 절지동물이 7.5%, 기타동물이 7.2%, 극피동물이 0.6% 이었다.

생체량은 배출해역에서 기타동물이 38.8%, 환형동물이 34.2%, 연체동물이 24.5%, 극피동물이 2.4%, 절지동물이 0.1% 순이었고, 휴식년해역에서는 환형동물이 39.3%, 기타동물이 35.1%, 절지동물이 13.5%, 연체동물 12.0%, 극피동물 0.1 순으로, 대조해역에서는 연체동물이 36.6%, 기타동물이 33.0%, 환형동물이 25.6%, 극피동물이 4.8%, 절지동물이 0.1% 순으로 출현하였다.

배출해역에서 종수, 개체수 및 생체량이 다른 해역에 비해 높게 출현하는 경향을 보인다.

표 2-9-3. 서해병의 배출해역, 대조해역 및 휴식년 해역에서 출현한 대형저서 동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량 (gWWt/m²)

	Number of species			Density			Biomass		
	R	D	r	R	D	r	R	D	r
Annelida	11	18	14	258	273	53	15.26	37.02	13.24
Mollusca	7	6	6	56	53	93	4.65	26.56	18.97
Arthropoda	4	6	5	28	65	9	5.22	0.11	0.05
Echinodermata	1	2	2	2	22	20	0.05	2.64	2.46
others	4	5	4	27	40	52	13.64	42.05	17.08
total	27	37	31	370	453	228	38.82	108.38	51.81

R: reference (대조해역), D: dumping (배출해역), r: rest (휴식년해역)

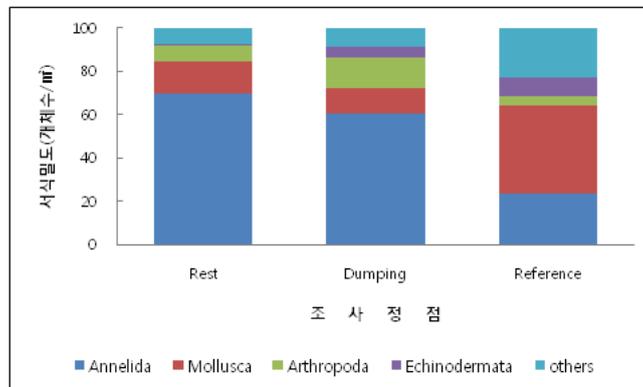
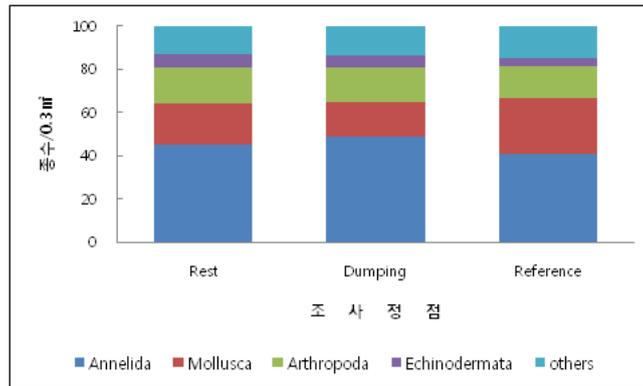


그림 2-9-3. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역별 분류군 조성률(Reference: 대조해역, Dumping: 배출해역, Rest: 휴식년해역).

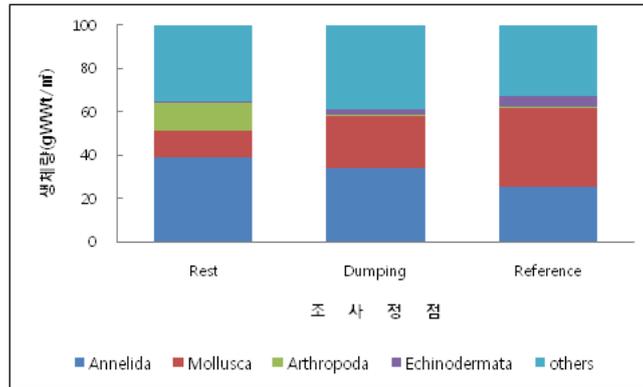


그림 2-9-3. (계속)

정점별 출현 양상을 보면, 출현종수는 배출해역 남동쪽 YB134(25종)에서 가장 높게 나타났으며 북서쪽 YB046(10종)에서 가장 낮게 나타났다. 또한 출현 개체수는 YB042(1347개체)에서 가장 높게 나타났고, YB019(110개체)에서 낮게 나타나는 경향을 보였다. 결과적으로 정점별 대형저서동물의 출현양상은 모두 배출해역 남동쪽에서 비교적 우세한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

조사해역별 대형저서동물 군집구조의 차이를 확인하기 위하여 조사항목별 평균값을 비교한 결과, 종수와 서식밀도는 배출해역 가장 많았으며 다음으로 휴식년해역, 대조해역 순이었다. 생체량은 배출해역, 대조해역, 휴식년해역 순으로 조사되었다(그림 2-9-4).

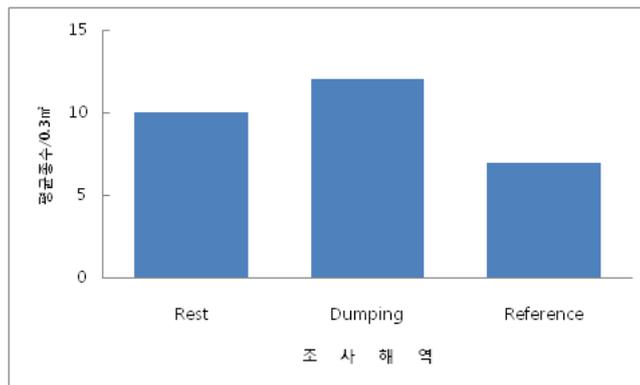


그림 2-9-4. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별(대조해역, 배출해역 및 휴식년해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량(Reference: 대조해역, Dumping: 배출해역, Rest: 휴식년해역).

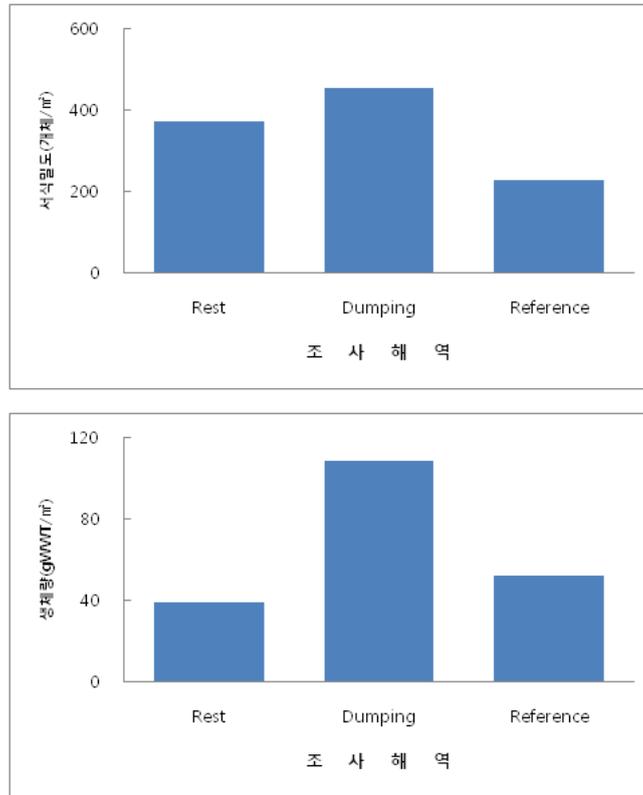


그림 2-9-4. (계속)

2). 동해병해역

동해병 조사지역(배출해역, 휴식년해역 및 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 18종/0.24m², 5,204개체(520개체/m²), 127.51 gWWt (12.75 gWWt/m²)이었다.

분류군별 출현 종수를 살펴보면 연체동물이 9종이 출현하여 전체의 50.0%를 점유하였고, 다음으로 환형동물 다모류가 8종(44.4%), 그리고 기타동물이 1종(5.6%)순으로 출현하였다.

정점별 출현종수는 최대 10종(DB-079)에서 최소 1종(DB-085)으로 평균 5종이 출현하였다.

분류군별 서식밀도는 연체동물이 385개체/m²로 73.9%를 점유하였고 다음으로 환형동물 다모류가 135(26.0%), 기타동물이 >1개체/m²(0.1%) 순으로 출현하였다.

정점별 서식밀도는 최대 1,425개체/m²(DB-079)에서 최소 71개체/m²

(DB-085)로 평균 520개체가 출현하였다.

분류군별 생체량은 연체동물이 11.68 gWWt/m²으로 91.6%를 점유하였고 환형동물 다모류가 0.96 gWWt/m²(7.5%) 그리고 기타동물이 0.12 gWWt/m² (0.9%) 순이었다.

정점별 생체량 출현정도는 최대 105.36 gWWt/m²(DB-079)에서 최소 0.60 gWWt/m²(DB-085)의 범위로 평균 12.75 gWWt/m²로 조사되었다(표 2-9-4, 그림 2-9-5).

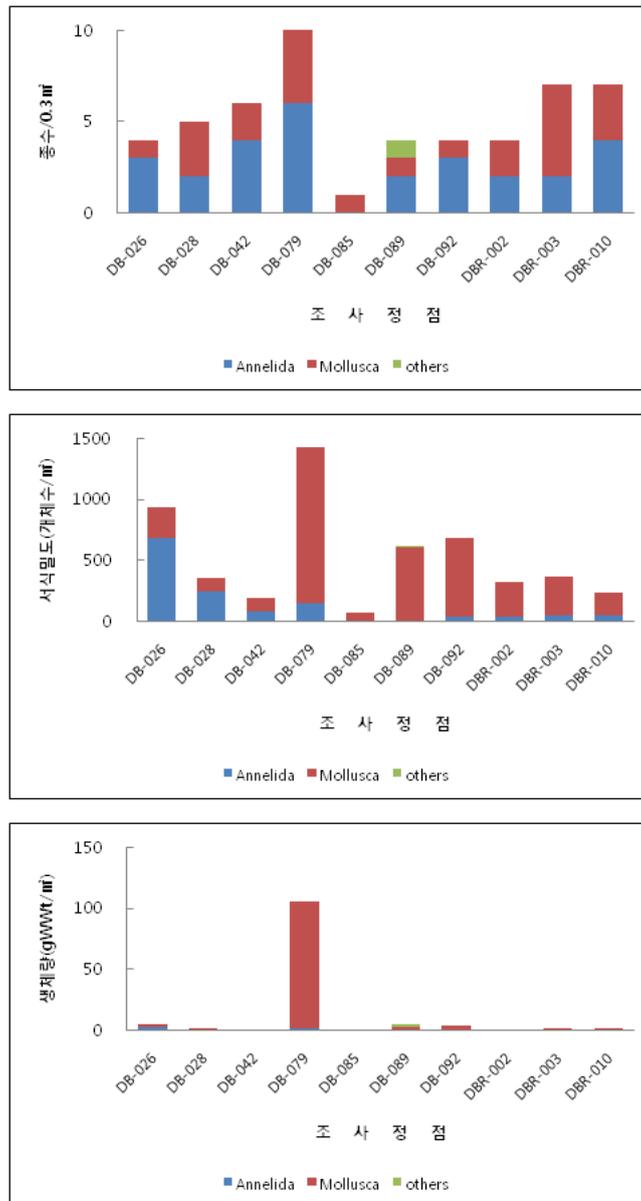


그림 2-9-5. 동해병 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현현황 (상, 종수; 중, 서식밀도; 하, 생체량)

표 2-9-4. 동해병 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현종수(종수/m²), 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Species	%	Density	%	Biomass	%
Annelida	8	44.4	135	26.0	0.96	7.5
Mollusca	9	50.0	385	73.9	11.68	91.6
Others	1	5.6	>1	0.1	0.12	0.9
Total	18	100.0	520	100.0	10.54	100.0

해역별(배출해역, 휴식년해역, 대조해역) 대형저서동물 군집조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 7종, 대조해역에서 12종, 휴식년해역에서 11종이 출현하였다.

분류군별로 보면 배출해역과 휴식년해역에서 환형동물 다모류의 출현정도가 높고, 대조해역에서 연체동물이 높았다. 다음으로 배출해역과 휴식년에서는 연체동물, 기타동물, 대조해역에서는 환형동물, 기타동물 순이었다. 평균 서식밀도는 배출해역에서 493개체/m², 휴식년해역에서 700개체/m² 그리고 대조해역에서 308개체/m²로 조사되었다. 평균생체량은 배출해역에서 2.55 gWWt/m², 대조해역에서 1.72 gWWt/m² 그리고 휴식년해역에서는 38.23 gWWt/m²으로 조사되었다. 배출해역에서 종수의 출현정도는 낮지만 서식밀도는 높은 경향을 보이며, 휴식년해역과 대조해역은 출현 종수는 높으나 서식밀도가 낮은 경향을 보인다(표 2-9-5).

표 2-9-5. 동해병의 배출해역, 대조해역 및 휴식년 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Number of species			Density			Biomass		
	R	D	r	R	D	r	R	D	r
Annelida	5	4	6	46	339	50	0.60	1.70	0.89
Mollusca	7	3	4	263	154	649	1.12	0.85	36.96
others	0	0	1	-	-	1	-	-	0.39
total	12	7	11	308	493	700	1.72	2.55	38.23

R: reference (대조해역), D: dumping (배출해역), r: rest (휴식년해역)

조사해역에서 출현한 대형저서동물의 각 해역별 조성률을 보면, 배출해역에서 출현한 종은 환형동물 다모류가 57.1%, 연체동물이 42.9% 그리고 기타 동물은 출현하지 않았다. 휴식년해역에서는 연체동물이 58.3%, 환형동물 다모류가 41.7%이었으며, 대조해역에서 다모류가 54.5%, 연체동물이 36.4% 그리고 기타동물이 9.1%이었다. 서식밀도는 배출해역에서 환형동물이 68.7%, 연체동물이 31.3%, 휴식년해역은 연체동물이 92.7%, 환형동물이 7.1%, 기타동물이 0.1%이었고, 대조해역의 경우에는 연체동물이 85.2%, 환형동물이 14.9% 이었다. 생체량은 배출해역에서 환형동물이 66.7%, 연체동물이 33.3, 휴식년해역에서는 연체동물이 96.7%, 환형동물이 2.3% 그리고 기타동물이 1.0%이었고, 대조해역에서는 연체동물이 65.4%, 환형동물이 34.7% 순으로 출현하였다. 배출해역에서 종수, 개체수 및 생체량이 다른 해역에 비해 높게 출현하는 경향을 보인다(그림 2-9-6).

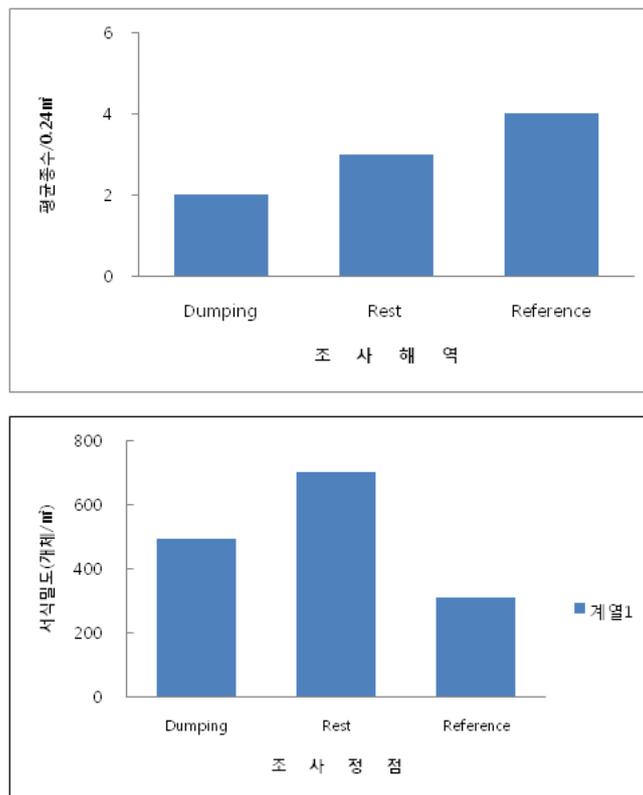


그림 2-9-6. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별(대조해역, 배출해역 및 휴식년해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량(Reference: 대조해역, Dumping: 배출해역, Rest: 휴식년해역).

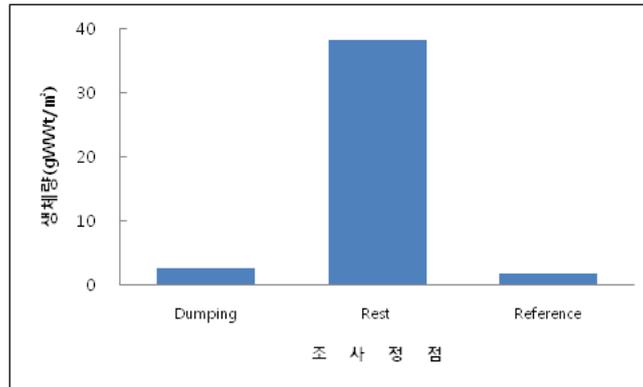


그림 2-9-6. (계속)

정점별 출현 양상을 보면, 출현종수는 배출해역 남동쪽 YB134(25종)에서 가장 높게 나타났으며 북서쪽 YB046(10종)에서 가장 낮게 나타났다. 또한 출현 개체수는 YB042(1347개체)에서 가장 높게 나타났고, YB019(110개체)에서 낮게 나타나는 경향을 보였다. 결과적으로 정점별 대형저서동물의 출현양상은 모두 배출해역 남동쪽에서 비교적 우세한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

조사해역별 대형저서동물 군집구조의 차이를 확인하기 위하여 조사항목별 평균값을 비교한 결과, 평균종수는 대조해역 가장 많았으며 다음으로 휴식년해역, 배출해역 순이었다. 평균서식밀도는 휴식년해역, 배출해역 그리고 대조해역 순이며, 평균생체량은 휴식년해역, 배출해역, 대조해역 순으로 조사되었다.

3). 동해 정해역

동해정 조사지역(배출해역, 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 103종/0.3m², 4,930개체(493개체/m²), 1,051.72 gWWt (105.17 gWWt/m²)이었다(그림 2-9-7).

분류군별 출현 종수를 살펴보면 환형동물 다모류가 40종이 출현하여 전체의 38.8%를 점유하였고, 다음으로 연체동물과 절지동물이 각각 25종(24.3%), 극피동물이 9종(8.7%) 그리고 기타동물이 4종(3.9%)순으로 출현하였다(표 2-9-6).

정점별 출현종수는 최대 35종(DJ-059)에서 최소 14종(DJR-020)으로 평균 23종이 출현하였다.

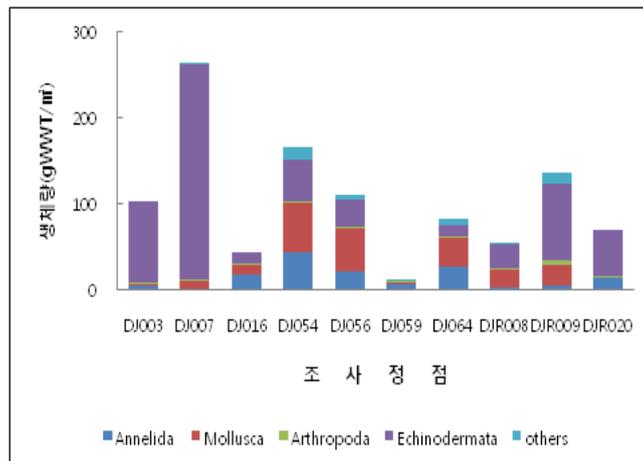
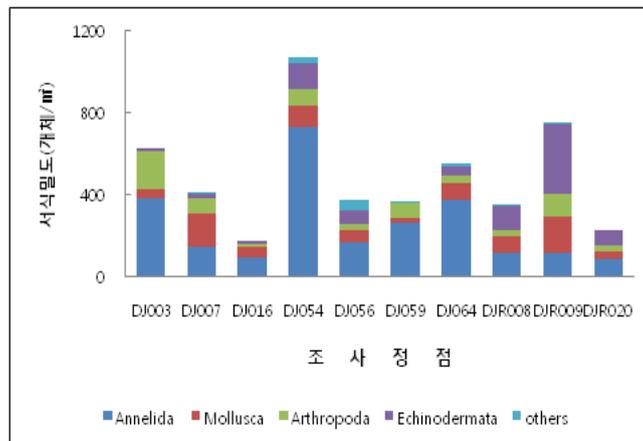
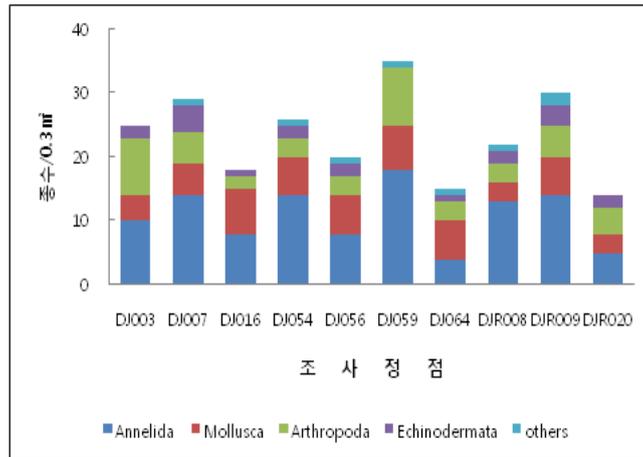


그림 2-9-7. 동해정 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현현황 (상, 종수; 중, 서식밀도; 하, 생체량)

표 2-9-6. 동해정 전체 조사정점(10개)에서 출현한 대형저서동물의 출현 종수(종수/m²), 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Species	%	Density	%	Biomass	%
Annelida	40	38.8	250	50.6	15.40	14.6
Mollusca	25	24.3	82	16.6	21.96	20.9
Arthropoda	25	24.3	67	13.6	0.93	0.9
Echinodermata	9	8.7	83	16.7	62.30	59.2
others	4	3.9	12	2.4	4.57	4.3
Total	103	100.0	493	100.0	105.17	100.0

분류군별 서식밀도는 환형동물 다모류가 250개체/m²로 50.6%를 점유하였고, 다음으로 극피동물이 83개체/m²(16.7%), 연체동물이 82개체/m²(16.6%), 절지동물 갑각류가 67개체/m²(13.6%) 그리고 기타동물이 12개체/m²(2.4%) 순으로 출현하였다(표 2-9-6).

정점별 서식밀도는 최대 1,070개체/m²(DJ-054)에서 최소 177개체/m²(DJ-177)로 평균 493개체/m²가 출현하였다.

분류군별 생체량은 극피동물이 62.30 gWWt/m²으로 59.2%를 점유하였고 연체동물이 21.96 gWWt/m²(20.9%), 환형동물 다모류가 15.40 gWWt/m²(14.6%), 기타동물이 4.57 gWWt/m²(4.3%) 그리고 절지동물 갑각류가 0.93 gWWt/m²(0.9%) 순이었다(표 2-9-6).

정점별 생체량 출현정도는 최대 265.52 gWWt/m²(DJ-007)에서 최소 12.11 gWWt/m²(DJ-059)의 범위로 평균 105.17 gWWt/m²로 조사되었다.

해역별(배출해역, 대조해역) 대형저서동물 군집조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 87종, 대조해역에서 51종 출현하였다(표 2-9-7).

분류군별로 보면 배출해역에서 대조해역에 비해 상대적으로 많은 종이 출현하고 양 해역 모두 환형동물 다모류의 출현정도가 높다. 평균 서식밀도는 배출해역에서 513개체/m², 그리고 대조해역에서 446개체/m²로 조사되었다. 평균생체량은 배출해역에서 112.56 gWWt/m², 대조해역에서 87.93 gWWt/m² 있었다. 배출해역에서 종수, 서식밀도 그리고 생체량이 높은 결과를 보였다.

조사해역에서 출현한 대형저서동물의 각 해역별 조성률을 보면, 배출해역에서 출현한 종은 환형동물 다모류가 35종(40.2%), 연체동물이 22종(25.3%),

절지동물 갑각류가 21종(24.1%), 극피동물이 6종(6.9%) 그리고 기타동물이 3종(3.4%)이었다. 대조해역에서 환형동물 다모류가 22종(43.1%), 연체동물과 절지동물 갑각류가 각각 11종(21.6%), 극피동물이 4종(7.8%) 그리고 기타동물이 3종(5.9%)이었다.

서식밀도는 배출해역에서 환형동물 다모류가 60.6%, 연체동물이 14.4%, 절지동물 다모류가 13.9%, 극피동물이 8.1% 그리고 기타동물이 2.9% 이었다. 대조해역의 경우에는 극피동물이 39.8%, 환형동물 다모류가 23.9%, 연체동물이 14.4%, 절지동물 갑각류가 13.9%, 극피동물이 8.1% 그리고 기타동물 2.9%이었다.

생체량은 배출해역에서 극피동물이 57.2%, 연체동물이 21.6%, 환형동물이 16.7%, 기타동물이 4.1% 그리고 절지동물 갑각류가 0.5% 이었다. 대조해역에서는 극피동물이 65.4%, 연체동물이 18.9%, 환형동물 다모류가 8.6%, 기타동물이 4.9% 그리고 절지동물 갑각류가 2.2% 순으로 출현하였다. 배출해역에서는 환형동물 다모류의 출현빈도 높고 대조해역에서는 극피동물의 출현빈도가 상대적으로 높은 경향을 보였다.

표 2-9-7. 동해정의 배출해역, 대조해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 분류군별 출현종수, 평균서식밀도(개체/m²) 및 평균생체량(gWWt/m²)

	Number of species		Density		Biomass	
	R	D	R	D	R	D
Annelida	22	35	106	311	7.54	18.77
Mollusca	11	22	100	74	16.61	24.26
Arthropoda	11	21	58	71	1.92	0.51
Echinodermata	4	6	178	42	57.53	64.35
others	3	3	5	15	4.33	4.67
total	51	87	446	513	87.93	112.56

R: reference (대조해역), D: dumping (배출해역)

정점별 출현 양상을 보면, 출현종수는 배출해역 남동쪽 YB134(25종)에서 가장 높게 나타났으며 북서쪽 YB046(10종)에서 가장 낮게 나타났다.

또한 출현 개체수는 YB042(1347개체)에서 가장 높게 나타났고, YB019(110개체)에서 낮게 나타나는 경향을 보였다.

결과적으로 정점별 대형저서동물의 출현양상은 모두 배출해역 남동쪽에서 비교적 우세한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

조사해역별 대형저서동물 군집구조의 차이를 확인하기 위하여 조사항목별 평균값을 비교한 결과, 평균종수는 대조해역에서 높은 경향을 보였으나 평균 서식밀도와 평균생체량은 배출해역에서 높은 경향을 보였다(그림 2-9-8).

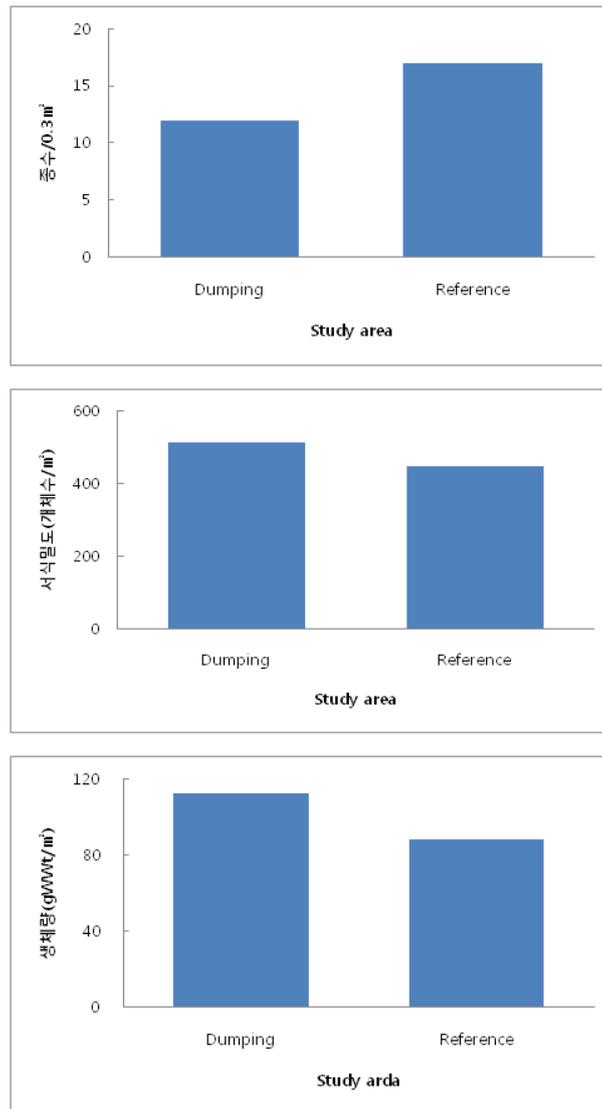


그림 2-9-8. 동해정 해역에서 출현한 대형저서동물 군집의 각 해역 별(대조해역, 배출해역) 평균 출현 종수, 평균 출현 개체수 및 평균 생체량 (Reference: 대조해역, Dumping: 배출해역, Rest: 휴식년해역).

나. 배출해역별 우점종 분포

1). 서해 병해역

서해병해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 출현개체수와 정점별 출현빈도를 고려한 Lebrix Index를 기초로 하여 나타내었으며 조사해역은 개체수 우점종을 기초로 나타내었다. 전 조사해역에서 최고 우점종은 환형동물 다모류인 황금빨사슴갯지렁이(*Melinna elisabethae*)로 9개 정점에서 출현하였고 점유율은 24.1%이었다. 다음으로 *Nothria otsuchiensis*로 10개 정점에서 출현하였고 점유율은 17.7%, 말발조개(*Thyasira tokunagai*)는 10개 정점에서 출현하였고 점유율은 10.1% 순이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 2,797개체, 77.5%를 점유하였다(표 2-9-8).

표 2-9-8. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황

순위	분류군	종	출현 개체수	정점별 출현빈도	Lebrix index	점유율 (%)
1	Apol	<i>Melinna elisabethe</i>	870	9	172,311.46	24.1
2	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	640	10	170,012.93	17.7
3	Mbi	<i>Thyasira tokunagai</i>	363	10	130,527.22	10.1
4	Mbi	<i>Ennucula tenuis</i>	127	9	41,702.55	3.5
5	Cam	<i>Eudorella pacifica</i>	267	6	40,527.18	7.4
6	Eop	<i>Ophiura kinbergi</i>	143	7	38,712.16	4.0
7	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	120	7	22,668.95	3.3
8	Other	<i>Calliactis sp.</i>	93	9	22,263.07	2.6
9	Other	<i>Nemertea unid.</i>	90	9	21,663.76	2.5
10	Mbi	<i>Yoldia notabilis</i>	83	6	14,617.59	2.3

Apol, 환형동물 다모류; Cam, 절지동물 단각류; Eop, 극피동물 거미불가사리류; Mbi, 연체동물 조개류; Other, 기타동물

조사해역별 우점종 현황을 살펴보면, 배출해역에서 가장 우점한 종은 *M. elisabethae* (23.0%)로 조사되었고 다음으로 *Nothria stsuchiensis* (22.4%), 단각류인 *Eudorella pacifica*(11.6%)순으로 출현하였다. 휴식년해역에서 가장 우점종은 *M. elisabethae* (40.2%), *Nothria stsuchiensis* (14.1%), *T. tokunagai* (11.1%) 순이었다.

대조해역에서는 연체동물인 말발조개(*T. tokunagai*, 23.3%), *Harenactis attenuata* (15.1%), *Nothria stsuchiensis* (11.2%) 순이었다.

배출해역과 휴식년해역에서는 *M. elisabethae*가 가장 우점하였고, 대조해역에서는 기회종으로 알려진 말발조개(*T. tokunagai*)가 우점하였다(표 2-9-9~11).

상위 우점종의 조사해역 내 지역적 분포양상을 살펴보면, 배출해역 및 휴식년해역에서 최고우점종인 황금빨사슴갯지렁이(*M. elisabethae*)와 차 우점종인 집갯지렁이류(*Nothria stsuchiensis*)가 우점하게 출현하고 있다. 황금빨사슴갯지렁이와 *N. stsuchiensis*는 표층퇴적물 식자이며, 보통 환경에 서식하는 종으로 알려져 있다. 대조해역에서는 유기오염 기회종으로 알려진 연체동물군의 말발조개(*T. tokunagai*)와 말미자류인 *Harenactis attenuata*가 우점하고 가장 북쪽 정점인 YBR-001에서 종다양성이 높았다.

표 2-9-9. 서해병해역의 휴식년해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	휴식년 출현개체수	점유율(%)
1	Apol	<i>Melinna elisabethe</i>	447	40.2
2	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	157	14.1
3	Mbi	<i>Thyasira tokunagai</i>	123	11.1
4	Apol	<i>Maldane cristata</i> (sp.A)	60	5.4
5	Cam	<i>Eudorella pacifica</i>	57	5.1
6	Apol	<i>Spio sp.</i>	40	3.6
7	Other	<i>Nemertea unid.</i>	37	3.3
8	Other	<i>Calliactis sp.(ac)</i>	27	2.4
9	Mbi	<i>Ennuculatenuis</i>	23	2.1
10	Apol	<i>Mesochaetopterus sp.</i>	17	1.5

표 2-9-10. 서해병해역의 배출해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	배출역 출현개체수	점유율(%)
1	Apol	<i>Melinna elisabethe</i>	417	23.0
2	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	407	22.4
3	Cam	<i>Eudorella pacifica</i>	210	11.6
4	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	93	5.1
5	Mbi	<i>Thyasira tokunagai</i>	80	4.4
6	Eop	<i>Ophiura kinbergi</i>	80	4.4
7	Mbi	<i>Yoldianotabilis</i>	77	4.2
8	Apol	<i>Schistocomus sovjeticus(sp.B)</i>	53	2.9
9	Other	<i>Calliactis sp.(ac)</i>	47	2.6
10	Other	<i>Nemertea unid.</i>	47	2.6

표 2-9-11. 서해병해역의 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	대조역 출현개체수	점유율(%)
1	Mbi	<i>Thyasira tokunagai</i>	160	23.4
2	Other	<i>Harenactis attenuata</i>	103	15.1
3	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	77	11.2
4	Mbi	<i>Ennucula tenuis</i>	67	9.8
5	Eop	<i>Ophiura kinbergi</i>	60	8.8
6	Other	<i>Eugyrioides glutinans</i>	27	3.9
7	Other	<i>Calliactis sp.</i>	20	2.9
8	Mbi	<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i>	20	2.9
9	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	17	2.4
10	Mbi	<i>Portlandia japonica</i>	17	2.4

2). 동해 병해역

동해병해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 출현개체수와 정점별 출현빈도를 고려한 Lebrix Index를 기초로 하여 나타내었으며 조사해역은 개체수 우점종을 기초로 나타내었다.

전 조사해역에서 최고 우점종은 연체동물 조개류인 꼬마말발조개 (*Axinopsida subquadrata*)로 9개 정점에서 출현하였고 점유율은 55.3%이었다. 다음으로 꼬마반달조개(*Yoldiella philippiana*)로 6개 정점에서 출현하였고 점유율은 17.5%, 환형동물 다모류인 *Capitella capitata*는 5개 정점에서 출현하였고 점유율은 18.9% 순이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 5,163개체, 99.2%를 점유하였다(표 2-9-12).

표 2-9-12. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황

순위	분류군	종	출현 개체수	정점별 출현 빈도	Lebrix index	점유율 (%)
1	Mbi	<i>Axinopsidasubquadrata</i>	2,879	9	404,563.11	55.3
2	Mbi	<i>Yoldiellaphilippiana</i>	913	6	172,370.37	17.5
3	Apol	<i>Capitella capitata</i>	983	5	83,387.07	18.9
4	Apol	<i>Nephtys oligobranchia</i>	154	9	38,052.80	3.0
5	Apol	<i>Armandia lanceolata</i>	129	5	11,720.03	2.5
6	Apol	<i>Sigambra tentaculata</i>	63	5	6,927.74	1.2
7	Mbi	<i>Cadellasp.</i>	21	2	463.80	0.4
8	Mbi	<i>Thyasiratokuganai</i>	8	1	259.74	0.2
9	Mgs	<i>Haminoeidaesp.</i>	8	1	232.56	0.2
10	Apol	<i>Chaetopterusvariopedatus</i>	4	1	172.41	0.1

Apol, 환형동물 다모류; Cam, 절지동물 단각류; Eop, 극피동물 거미불가사리류; Mbi, 연체동물 조개류; Other, 기타동물

조사해역별 우점종 현황을 살펴보면, 배출해역에서 가장 우점한 종은 환형동물 다모류인 *Capitella capitata*(64.5%)로 조사되었고 다음으로 *A. subquadrata* (21.1%), *Y. philippiana*(9.6%)순으로 출현하였다.

휴식년해역에서 가장 우점종은 *A. subquadrata* (89.0%), 다모류인

Armandia lanceolata(3.3), Y. phillippiana(3.0%)순이었다(표 2-9-13).

표 2-9-13. 동해병해역의 휴식년해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	휴식년 출현개체수	점유율(%)
1	Mbi	<i>Axinopsidasubquadrata</i>	2,492	89.0
2	Apol	<i>Armandia lanceolata</i>	92	3.3
3	Mbi	<i>Yoldiellaphillippiana</i>	83	3.0
4	Apol	<i>Nephtys oligobranchia</i>	38	1.3
5	Apol	<i>Capitella capitata</i>	29	1.0
6	Apol	<i>Sigambra tentaculata</i>	25	0.9
7	Mbi	<i>Cadellasp.</i>	17	0.6
8	Apol	<i>Brada villosa</i>	13	0.4

대조해역에서는 연체동물인 Y. phillippiana(79.4%), A. subquadrata (9.2%), 다모류인 Nephtys oligobranchia (5.8%) 순이었다(표 2-9-14).

표 2-9-14. 동해병해역의 배출해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	배출역 출현개체수	점유율(%)
1	Apol	<i>Capitella capitata</i>	954	64.5
2	Mbi	<i>Axinopsidasubquadrata</i>	313	21.1
3	Mbi	<i>Yoldiellaphillippiana</i>	142	9.6
4	Apol	<i>Nephtys oligobranchia</i>	42	2.8
5	Apol	<i>Sigambra tentaculata</i>	13	0.8
6	Apol	<i>Armandia lanceolata</i>	8	0.6
7	Mgs	<i>Haminoeidae sp.</i>	8	0.6

조사해역 모두에서 분류군은 다르지만 모두 유기오염 기회종인 C. capitata와 말발조개류가 우점종으로 출현하였다(표 2-9-15).

표 2-9-15. 동해병해역의 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	대조역 출현개체수	점유율(%)
1	Mbi	<i>Yoldiellaphillippiana</i>	688	74.3
2	Mbi	<i>Axinopsidasubquadrata</i>	75	8.1
3	Apol	<i>Nephtys oligobranchia</i>	75	8.1
4	Apol	<i>Armandia lanceolata</i>	29	3.2
5	Apol	<i>Sigambra tentaculata</i>	25	2.7
6	Mbi	<i>Thyasira tokuganai</i>	8	0.9
7	Mbi	<i>Cadellasp.</i>	4	0.5
8	Apol	<i>Chaetopterus varioopedatus</i>	4	0.5
9	Apol	<i>Terebellides horikoshi</i>	4	0.5
10	Mbi	<i>Nuculana pernula kawamura</i>	4	0.5

상위 우점종의 조사해역 내 지역적 분포양상을 살펴보면, 배출해역에 최우점종인 *C. capitata*는 DB-026에서 우점하고 남쪽정점으로 갈수록 출현빈도는 낮고 종 다양성은 증가한다.

휴식년해역에서는 DB-079에서 최우점종인 *A. subquadrata*의 출현빈도가 높고 종 다양성도 높은 경향을 보이고 남쪽정점에서는 유사한 경향을 보인다.

그리고 대조해역에서는 휴식년 해역과 가까운 DBR-003에서 휴식년해역 정점과 유사한 경향을 보이고 배출해역에 가까운 DBR-010과 DBR-002는 *A. subquadrata* 등이 우점하였다.

3). 동해 정해역

동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 출현개체수와 정점별 출현빈도를 고려한 Lebrix Index를 기초로 하여 나타내었으며 조사해역은 개체수 우점종을 기초로 나타내었다.

전 조사해역에서 최고 우점종은 극피동물인 살시빗살거미불가사리 (*Ophiura sarsi*)로 8개 정점에서 출현하였고 점유율은 15.3%이었다. 다음으로 점박이대나무갯지렁이(*Asychis pigmentata*)로 5개 정점에서 출현하였고 점유율은 22.6%, 작은갈매기고리갯지렁이(*Gonida maculata*)는 10개 정점에서 출현하

였고 점유율은 2.6%이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 2,828개체, 57.4%를 점유하였다(표 2-9-16).

표 2-9-16. 동해정 해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종 현황

순위	분류군	종	출현 개체수	정점별 출현빈도	Lebrix index	점유율 (%)
1	Eop	<i>Ophiura sarsi</i>	739	8	116,244.38	15.0
2	Apol	<i>Asychis pigmentata</i>	1,113	5	77,243.10	22.6
3	Apol	<i>Goniada maculata</i>	129	10	37,029.08	2.6
4	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	187	6	29,897.71	3.8
5	Mbi	<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i>	207	6	20,565.79	4.2
6	Apol	<i>Lumbrineris heteropoda</i>	74	8	19,109.44	1.5
7	Apol	<i>Terebellides sp.</i>	93	7	18,196.96	1.9
8	Cam	<i>Ampelisca sp.</i>	140	7	17,516.63	2.8
9	Mbi	<i>Ennucula tenuis</i>	70	5	11,192.45	1.4
10	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	75	5	10,658.55	1.5

Apol, 환형동물 다모류; Cam, 절지동물 단각류; Eop, 극피동물 거미불가사리류; Mbi, 연체동물 조개류; Other, 기타동물

조사해역별 우점종 현황을 살펴보면, 배출해역에서 가장 우점한 종은 환형동물 다모류인 점박이대나무갯지렁이(*A. pigmentata*)로 30.7%가 출현하였고 다음으로 솜털바퀴실타래갯지렁이(8.2%), *O. sarsi*(7.0%) 순으로 우점하였다(표 2-9-17).

대조해역에서는 연체동물인 *O. sarsi*(36.6%), 버선맵시조개(*Nuculana yokoyamai yokoyamai*)(12.0%), *Limopsis belcheri*(5.9%) 순이었다. 배출해역에서는 환형동물이 우세하고 조사해역에서는 극피동물과 조개류가 상위우점종으로 출현하여 차이가 있다(표 2-9-18).

표 2-9-17. 동해정해역 배출해역에서 출현한 개체수 기준 우점종 현황

순위	분류군	종	휴식년 출현개체수	점유율(%)
1	Apol	<i>Asychis pigmentata</i>	1,103	30.7
2	Apol	<i>Chaetozone setosa</i>	296	8.2
3	Eop	<i>Ophiura sarsi</i>	250	7.0
4	Apol	<i>Nothria otsuchiensis</i>	176	4.9
5	Cam	<i>Ampelisca sp.</i>	133	3.7
6	Apol	<i>Goniada maculata</i>	101	2.8
7	Other	<i>Siphonosomasp.</i>	93	2.6
8	Mbi	<i>Nuculana acinacea</i>	78	2.2
9	Mgs	<i>Neohaustator fortilirata fortilirata(g)</i>	73	2.0
10	Apol	<i>Terebellides sp.</i>	70	1.9

표 2-9-18. 동해정해역 대조해역에서 출현한 개체수기준 우점종 현황

순위	분류군	종	대조역 출현개체수	점유율(%)
1	Eop	<i>Ophiura sarsi</i>	489	36.6
2	Mbi	<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i>	160	12.0
3	Mbi	<i>Limopsisbelcheri</i>	79	5.9
4	Apol	<i>Ampharete arctica</i>	57	4.3
5	Cam	<i>Melita sp.</i>	43	3.2
6	Cam	<i>Cerapus tubularis</i>	43	3.2
7	Apol	<i>Goniada maculata</i>	28	2.1
8	Apol	<i>Nephtys polybranchia</i>	27	2.0
9	Apol	<i>Terebellides sp.</i>	23	1.7
10	Mbi	<i>Yoldiellaphilippiana</i>	23	1.7

상위 우점종의 조사해역 내 지역적 분포양상을 살펴보면, 배출해역에 최우점종인 박이대나무갯지렁이(*A. pigmentata*)는 배출해역의 남쪽에서 우세하고 DJ-064에서 가장 많이 출현하였고는 종다양성도 높은 경향을 보인다.

대조해역에서는 배출해역과 상대적으로 멀리 떨어진 DJR-008, DJR-009에서 종다양성이나 서식밀도가 높았다.

다. 생태학적 제지수

1). 서해 병해역

서해병 해역의 생태학적 제지수를 살펴보면, 풍부도는 1.40~3.49(평균 2.53), 종다양도는 1.68~2.44(평균 2.09), 균등도는 0.64~0.89(평균 0.77)로 조사되었다. 배출해역의 풍부도는 2.05~3.49(평균 2.72), 균등도 0.67~0.84(평균 0.77) 그리고 종다양도는 1.97~2.44(평균 2.18)이었다(그림 2-9-9).

휴식년해역의 풍부도는 2.07~3.08(평균 2.53), 균등도 0.64~0.79(평균 0.69) 그리고 종다양도는 1.68~2.29(평균 1.91)이었다. 그리고 대조해역의 풍부도는 1.40~2.73(평균 2.28), 균등도 0.78~0.89(평균 0.85) 그리고 종다양도는 1.82~2.41(평균 2.15)이었다. 전체적으로 배출해역과 대조해역의 생태학적 제지수가 휴식년해역에 비해 상대적으로 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 정점별 생태학적 제지수의 차이는 크게 나타나지는 않지만 배출해역에서 풍부도와 종다양성이 높은 편이며 특히 YB-098은 높은 풍부도와 다양성을 보인다.

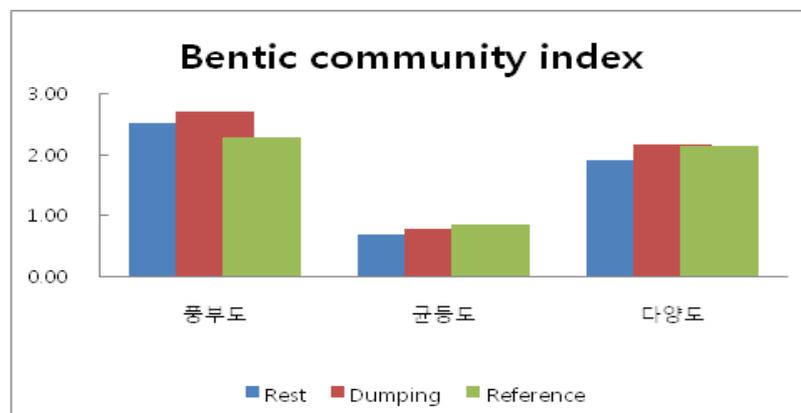


그림 2-9-9. 서해병해역의 조사해역별 생태학적 제지수

2) 동해 병해역

동해병 해역의 생태학적 제지수를 살펴보면, 풍부도는 0.31~0.96(평균 0.58), 종다양도는 0.08~1.41(평균 0.73), 균등도는 0.07~0.79(평균 0.48)로 조사되었다. 1종만 출현한 DB-085는 제외하였다.

배출해역의 풍부도는 0.44~0.96(평균 0.64), 균등도 0.46~0.79(평균 0.67), 그리고 종다양도는 0.63~1.41(평균 1.04)이었다.

휴식년해역의 풍부도는 0.31~0.96(평균 0.58), 균등도 0.07~0.37(평균 0.21) 그리고 종다양도는 0.08~0.76(평균 0.37)이었다. 그리고 대조해역의 풍부도는 0.35~0.68(평균 0.53), 균등도 0.44~0.65(평균 0.55) 그리고 종다양도는 0.48~0.92(평균 0.77)이었다.

전체적으로 생태학적제지수는 낮고 배출해역에서 휴식년해역이나 대조해역에서 상대적으로 높은 경향을 보인다(그림 2-9-10).

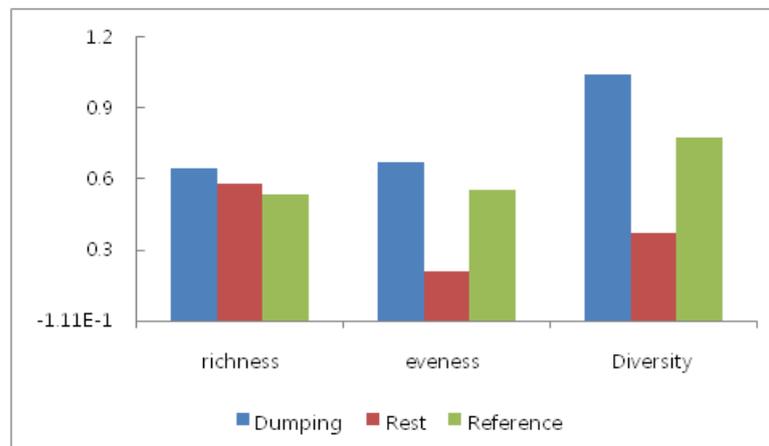


그림 2-9-10. 동해병해역의 조사해역별 생태학적 제지수.

3). 동해 정해역

동해 정해역의 생태학적 제지수를 살펴보면, 풍부도는 1.86~3.86(평균 2.83), 종 다양도는 1.47~2.92(평균 2.11), 균등도는 0.50~0.92(평균 0.74)로 조사되었다.

배출해역의 풍부도는 0.44~0.96(평균 0.64), 균등도 0.46~0.79(평균 0.67) 그

리고 종 다양도는 0.63~1.41(평균 1.04)이었다.

휴식년해역의 풍부도는 0.31~0.96(평균 0.58), 균등도 0.07~0.37(평균 0.21) 그리고 종 다양도는 0.08~0.76(평균 0.37)이었다.

대조해역의 풍부도는 0.35~0.68(평균 0.53), 균등도 0.44~0.65(평균 0.55), 그리고 종 다양도는 0.48~0.92(평균 0.77)이었다.

전체적으로 생태학적제지수는 낮고 배출해역에서 휴식년해역이나 대조해역에서 상대적으로 높은 경향을 보인다(그림 2-9-11).

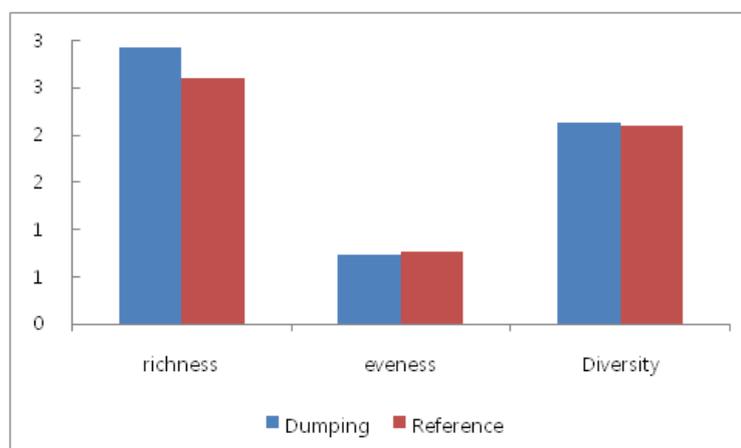


그림 2-9-11. 동해정해역의 조사해역별 생태학적 제지수

라. 배출해역별 유사도 및 군집 분석

1). 서해 병해역

출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 수지도와 다차원배열법(MDS)으로 나타내었다(그림 2-9-21, 표 2-9-19).

분석에서는 총 10개체 이상(출현밀도의 0.2%이상) 출현한 종을 대상으로 실시하였으며, 1개 정점과 2개 그룹으로 구분되었다.

1개 정점으로 분리된 정점 YBR-003은 생물밀도가 다른 그룹에 비해 빈약하고 최상위 우점종이 출현하지 않았다.

그룹 I (YB-024, YB-026, YB-049, YB-053, YB-098, YB-101)은 다른 그룹에 비해 종다양성이 높고 풍부도도 높은 경향을 보이며 특히 최상위우점종인 *M. elisabethae*와 차상위우점종인 *Nothria ostuchiensis* 등이 우점하였고, 그룹 2(YB-009, YBR-001, YBR-005)는 서해병 해역의 가장자리지역으로 그룹 I 과 달리 연체동물인 말발조개(*T. tokunagai*)와 북방호두조개(*E. tenuis*) 등이 우점하고 있으며 종다양성도 낮은 경향을 보인다(그림 2-9-12).

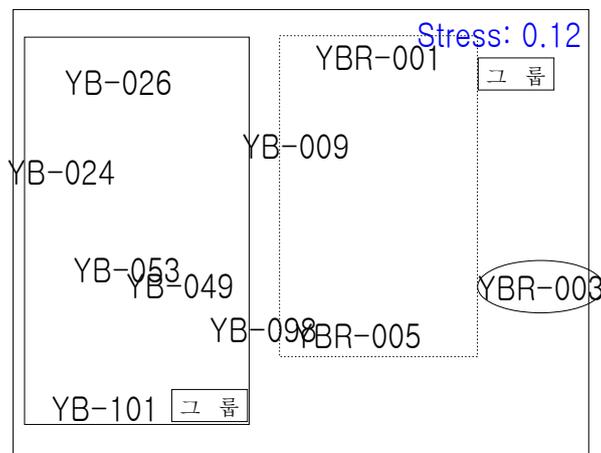
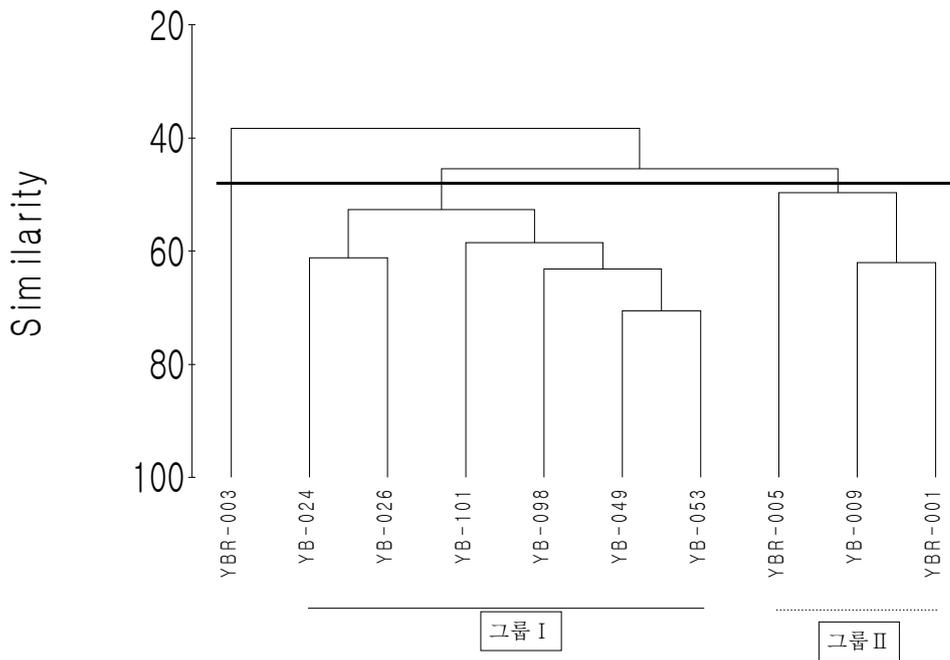


그림 2-9-12. 서해병해역의 수지도 다차원

표 2-9-19. 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종

정점 I		
Species name	Density	%
<i>Nothria otsuchiensis</i>	37	24.4
<i>Thyasira tokunagai</i>	37	24.4
<i>Ophiura kinbergi</i>	30	20.0
<i>Portlandiajaponica</i>	17	11.1
<i>Ennuculatenuis</i>	13	8.9
<i>Terebellides</i> sp.	10	6.7
<i>Nemertea</i> unid.	3	2.2
<i>Mesochaetopterus</i> sp.	3	2.2
그룹 I		
Species name	Density	%
<i>Melinna elisabethe</i>	840	31.5
<i>Nothria otsuchiensis</i>	510	19.2
<i>Eudorella pacifica</i>	263	9.9
<i>Thyasira tokunagai</i>	130	4.9
<i>Ampharete arctica</i>	93	3.5
<i>Maldane cristata</i>	83	3.1
<i>Ophiura kinbergi</i>	80	3.0
<i>Yoldianotabilis</i>	80	3.0
<i>Nemertea</i> unid.	77	2.9
<i>Calliactis</i> sp.	70	2.6
그룹 II		
Species name	Density	%
<i>Thyasira tokunagai</i>	197	24.8
<i>Harenactis attenuata</i>	103	13.0
<i>Nothria otsuchiensis</i>	93	11.8
<i>Ennuculatenuis</i>	63	8.0
<i>Eugyrioides glutinans</i>	40	5.0
<i>Ophiura kinbergi</i>	33	4.2
<i>Melinna elisabethe</i>	30	3.8
<i>Ampharete arctica</i>	27	3.4
<i>Calliactis</i> sp.	23	2.9
<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i>	23	2.9

2). 동해 병해역

출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 수지도와 다차원배열법(MDS)으로 나타내었다(그림 2-9-13, 표 2-9-20).

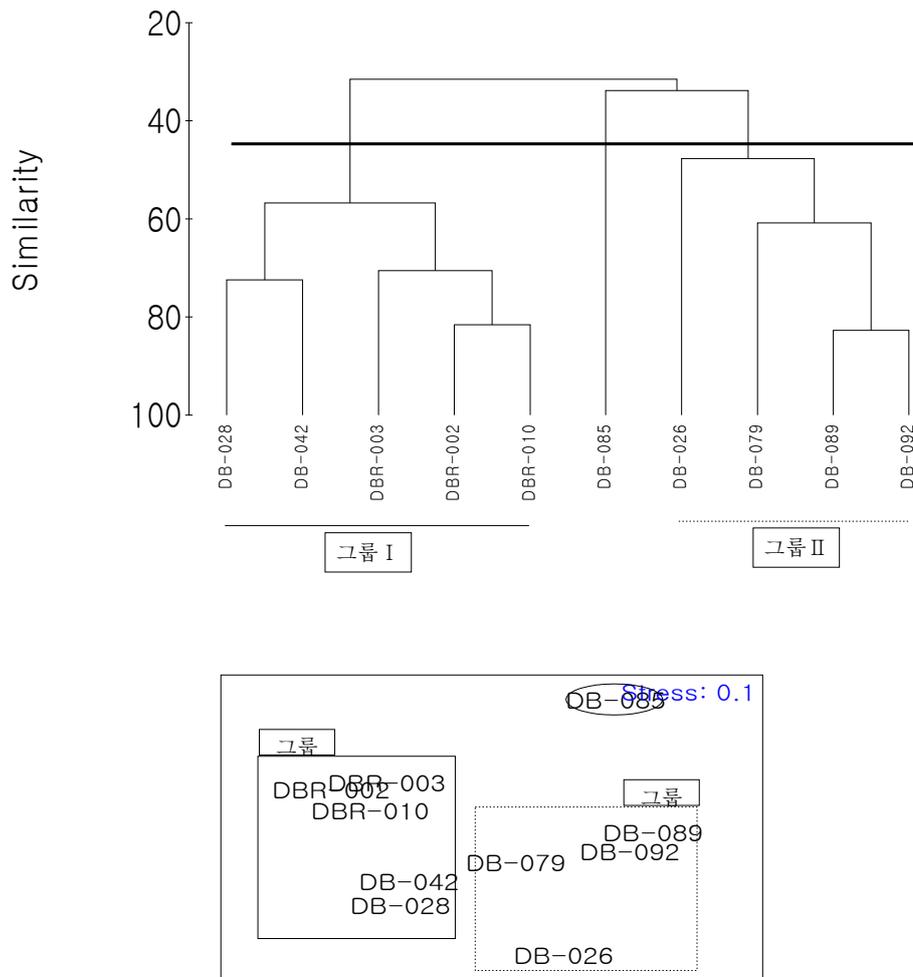


그림 2-9-13. 동해병해역의 수지도 다차원.

분석에서는 총 13개체 이상(출현밀도의 0.4%이상) 출현한 종을 대상으로 실시하였으며, 1개 정점과 2개 그룹으로 구분되었다.

1개 정점으로 분리된 정점 DB-085는 1종만 출현하여 생물밀도가 다른 그룹에 비해 빈약하였다.

그룹 I (DB-028, DB-042, DBR-002, DBR-003, DBR-010)은 주로 배출역해역과 대조해역의 정점이 포함되며 종다양성과 풍부도가 낮은 경향을 보이며

최상위우점종인 *A. subquadrata*의 출현빈도가 낮거나 출현하지 않는 정점 (DBR-002)도 있다.

그룹 2(DB-079, DB-026, DB-089, DB-092)는 최고 우점종인 *A. subquadrata*의 출현빈도가 높으나 차우점종인 *Y. phillippiana*는 출현하지 않거나 빈약하다(표 2-9-20).

표 2-9-20. 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종

정점 I		
Species name	Density	%
<i>Axinopsida subquadrata</i>	71	100
그룹 I		
Species name	Density	%
<i>Yoldiella phillippiana</i>	829	56.4
<i>Capitella capitata</i>	275	18.7
<i>Axinopsidasubquadrata</i>	142	9.6
<i>Nephtys oligobranchia</i>	113	7.6
<i>Armandia lanceolata</i>	38	2.5
<i>Maldane cristata</i>	83	3.1
그룹 II		
Species name	Density	%
<i>Axinopsida subquadrata</i>	2,667	72.8
<i>Capitella capitata</i>	708	19.3
<i>Armandia lanceolata</i>	92	2.5
<i>Yoldiellaphillippiana</i>	83	2.3
<i>Nephtys oligobranchia</i>	42	1.1

3). 동해 정해역

동해정해역의 출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조를 수지도와 다차원배열법(MDS)으로 나타내었다.

분석에서는 총 10개체 이상(출현밀도의 0.2%이상) 출현한 종을 대상으로 실시하였으며, 3개 그룹으로 구분되었다(그림 2-9-14, 표 2-9-21).

그룹 I (DJ-003, DJ-059)은 주로 배출해역의 가장자리에 위치하고 상위우점종으로 솜타래갯지렁이나 긴목집갯지렁이류 등이 우세하여 다른 그룹과

대별되며, 다른 그룹에 비해 상대적으로 종다양성이 높다.

그룹 II(DJ-007, DJR-008, DJR-009)는 주로 대조해역의 정점이 포함되며 최 우점종인 살시빚살거미불가사리는 출현하나 차 우점종인 점박이대나무갯지렁이가 출현하지 않는다.

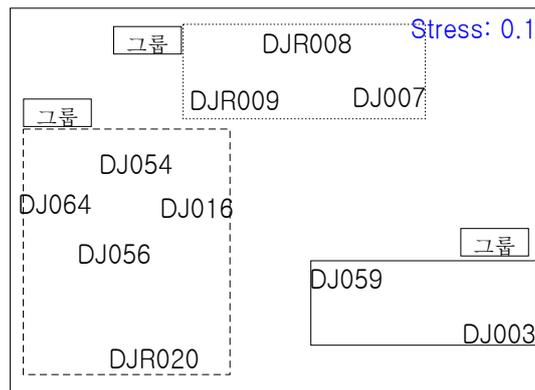
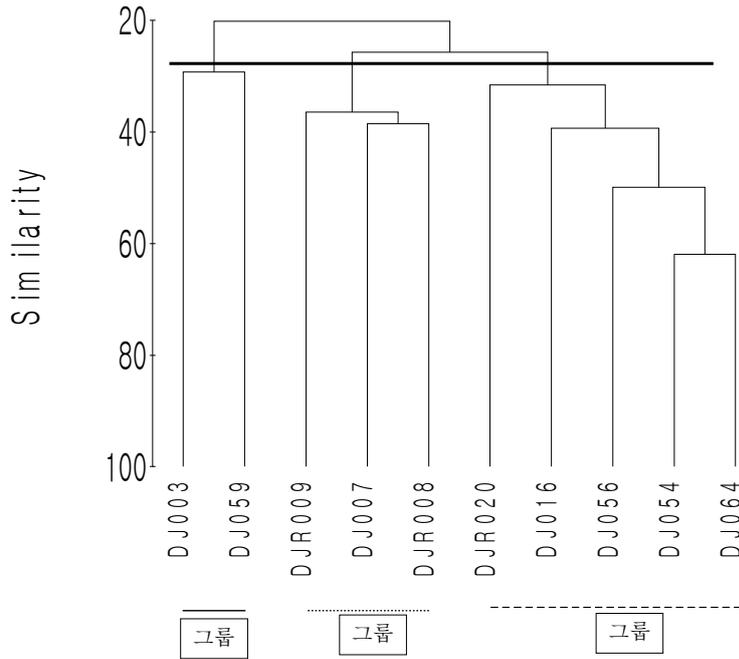


그림 2-9-14. 동해 정해역의 수지도 다차원.

그룹 III(DJ-016, DJ-054, DJ-056, DJ-064, DJR-020)은 최상위우점종과 차상 위우점종의 출현빈도나 서식밀도가 높고 중위 우점종도 그룹 II에 비해 출현

정도가 높다(표 2-9-21).

표 2-9-21. 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 각 그룹 우점종

그룹 I		
Species name	Density	%
<i>Chaetozone setosa</i>	291	0.3
<i>Nothria otsuchiensis</i>	154	0.2
<i>Ampelisca sp.</i>	48	0.1
<i>Nephtus ciliata</i>	48	0.1
그룹 II		
Species name	Density	%
<i>Ophiura sarsi</i>	446	29.2
<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i>	190	12.5
<i>Limopsisbelcheri</i>	79	5.2
<i>Nuculana acinacea</i>	75	4.9
<i>Cerapus tubularis</i>	63	4.1
<i>Goniada maculata</i>	44	2.9
그룹 III		
Species name	Density	%
<i>Asychis pigmentata</i>	1,103	45.9
<i>Ophiura sarsi</i>	293	12.2
<i>Siphonosoma sp.</i>	93	3.9
<i>Ampelisca sp.</i>	87	3.6
<i>Neohaustator fortilirata fortilirata(g)</i>	73	3.1

마. 배출해역별 대형저서동물 군집의 시공간적 변화 분석

1). 서해 병해역

서해병 해역(배출해역, 휴식년해역, 대조해역)에서 2008년, 2011년 그리고 본 조사결과와 비교하여 시간에 따른 대형저서동물 군집의 변화 양상을 관찰하였다(표 2-9-22).

2008년, 2011년 그리고 2012년을 비교하면 정점 수와 위치 등에 차이가 있어 직접비교가 불가능하여 배출해역과 대조해역, 휴식년해역의 대형저서동물 군집 전체 평균을 비교하였다. 평균 출현 종수와 출현개체수는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 시간이 경과할수록 낮게 나타났다.

평균 종수의 지속적 감소는 폐기물 유입에 의해 저서환경변화에 의해 적응하는 종과 그렇지 못한 종의 분리현상이 발생한 것으로 판단된다. 특히 휴식년해역에서 크게 감소한 것을 볼 수 있었다. 휴식년 해역 내 대형저서동물 개체수 감소는 오염지시종 감소에 큰 영향이 있는 것으로 판단된다.

우점종의 변화는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 중간 출현 개체수의 차이는 있지만 상위 우점종인 황금뿔사슴갯지렁이(*M. elisabethae*)와 집갯지렁이류(*Nothria* sp.)가 계속 우점하고 있는 것으로 조사되어 상위우점 종간 큰 변화는 없지만 2012년에 유기물오염 지시종인 말발조개(*T. tokunagai*)가 우점종으로 출현해 일부는 유기물오염이 지속적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

표 2-9-22. 서해병 해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상

Year	Dominant species		
2008	<i>M. elisabethae</i>	<i>M. californiensis</i>	<i>N. geophiliformis</i>
2011	<i>M. elisabethae</i>	<i>Nothria</i> sp.	<i>A. arctica</i>
2012	<i>M. elisabethae</i>	<i>Nothria</i> otsuchiensis	<i>Thyasira tokunagai</i>

2). 동해 병해역

동해병 해역(배출해역, 휴식년해역, 대조해역)에서 2008년, 2011년 그리고 본 조사결과와 비교하여 시간에 따른 대형저서동물 군집의 변화 양상을 관찰하였다.

2008년, 2011년 그리고 2012년을 비교하면 정점 수와 위치 등에 차이가 있어 직접비교가 불가능하여 배출해역과 대조해역, 휴식년해역의 대형저서동물 군집 전체 평균을 비교하였다(표 2-9-23).

평균 출현 종수와 출현개체수는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 시간이 경과할수록 낮게 나타났다. 평균 종수의 지속적 감소는 폐기물 유입에 의해 저서환경변화에 의해 적응하는 종과 그렇지 못한 종의 분리현상이 발생한 것으로 판단된다. 특히 휴식년해역에서 크게 감소한 것을 볼 수 있었다.

휴식년 해역 내 대형저서동물 개체수 감소는 오염지시종 감소에 큰 영향이 있는 것으로 판단된다.

우점종의 변화는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 중간 출현 개체수의 차이는 있지만 상위 우점종인 황금뿔사슴갯지렁이(*M. elisabethae*)와 집갯지렁이류(*Nothria* sp.)가 계속 우점하고 있는 것으로 조사되어 상위우점종간 큰 변화는 없지만 2012년에 유기물오염 지시종인 말발조개(*T. tokunagai*)가 우점종으로 출현해 일부는 유기물오염이 지속적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

표 2-9-23. 동해병 해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상

Year	Dominant species		
2008			
2011			
2012	<i>Axinopsida subquadrata</i>	<i>Yoldiella phillippiana</i>	<i>Capitella capitata</i>

3). 동해 정해역

동해정 해역(배출해역, 대조해역)에서 2008년, 2011년 그리고 본 조사결과와 비교하여 시간에 따른 대형저서동물 군집의 변화 양상을 관찰하였다.

2008년, 2011년 그리고 2012년을 비교하면 정점 수와 위치 등에 차이가 있어 직접비교가 불가능하여 배출해역과 대조해역, 휴식년해역의 대형저서동물 군집 전체 평균을 비교하였다. 평균 출현 종수와 출현개체수는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 시간이 경과할수록 낮게 나타났다(표 2-9-24).

평균 종수의 지속적 감소는 폐기물 유입에 의해 저서환경변화에 의해 적응하는 종과 그렇지 못한 종의 분리현상이 발생한 것으로 판단된다. 특히 휴식년해역에서 크게 감소한 것을 볼 수 있었다.

휴식년 해역 내 대형저서동물 개체수 감소는 오염지시종 감소에 큰 영향이 있는 것으로 판단된다.

우점종의 변화는 2008년, 2011년 그리고 본 조사(2012년)에서 중간 출현

개체수의 차이는 있지만 상위 우점종인 황금뿔사슴갯지렁이(*M. elisabethae*)와 집갯지렁이류(*Nothria* sp.)가 계속 우점하고 있는 것으로 조사되어 상위우점 종간 큰 변화는 없지만 2012년에 유기물오염 지시종인 말발조개(*T. tokunagai*)가 우점종으로 출현해 일부는 유기물오염이 지속적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

표 2-9-24. 동해병해역의 조사 시기 별 우점종 변화 양상

Year	Dominant species		
2008			
2011			
2012	<i>Ophiura sarsi</i>	<i>Asychis pigmentata</i>	<i>Goniada maculata</i>

바. 배출해역별 건강도 지수

1) 서해 병해역

2012년 서해병 배출해역 및 주변 해역의 저서 건강도를 알아본 결과, 저서 오염지수는 53.4-75.8 (평균 64.9)의 범위를 보여 약간 오염된 상태에서 건강한 상태를 나타냈다(그림 2-9-15).

저서오염지수는 휴식해역인 YB 009에서 가장 낮았고, 비 배출해역의 YBR 003에서도 56.7로 상대적으로 낮은 값을 보여 약간 오염된 상태로 나타났고, 현 배출해역의 YB 053에서 가장 높은 값을 보였다.

AMBI로 서해병 해역의 저서 건강도를 평가한 결과, 2012년 서해병 해역은 0.7-2.4 (평균 1.5)의 범위를 보여 약간 오염된 상태에서 건강한 상태로 나타났다. 현 배출해역의 YB 053에서 0.7로 가장 낮은 값을 보였고, 휴식해역의 YB 009에서 2.4로 가장 높았다.

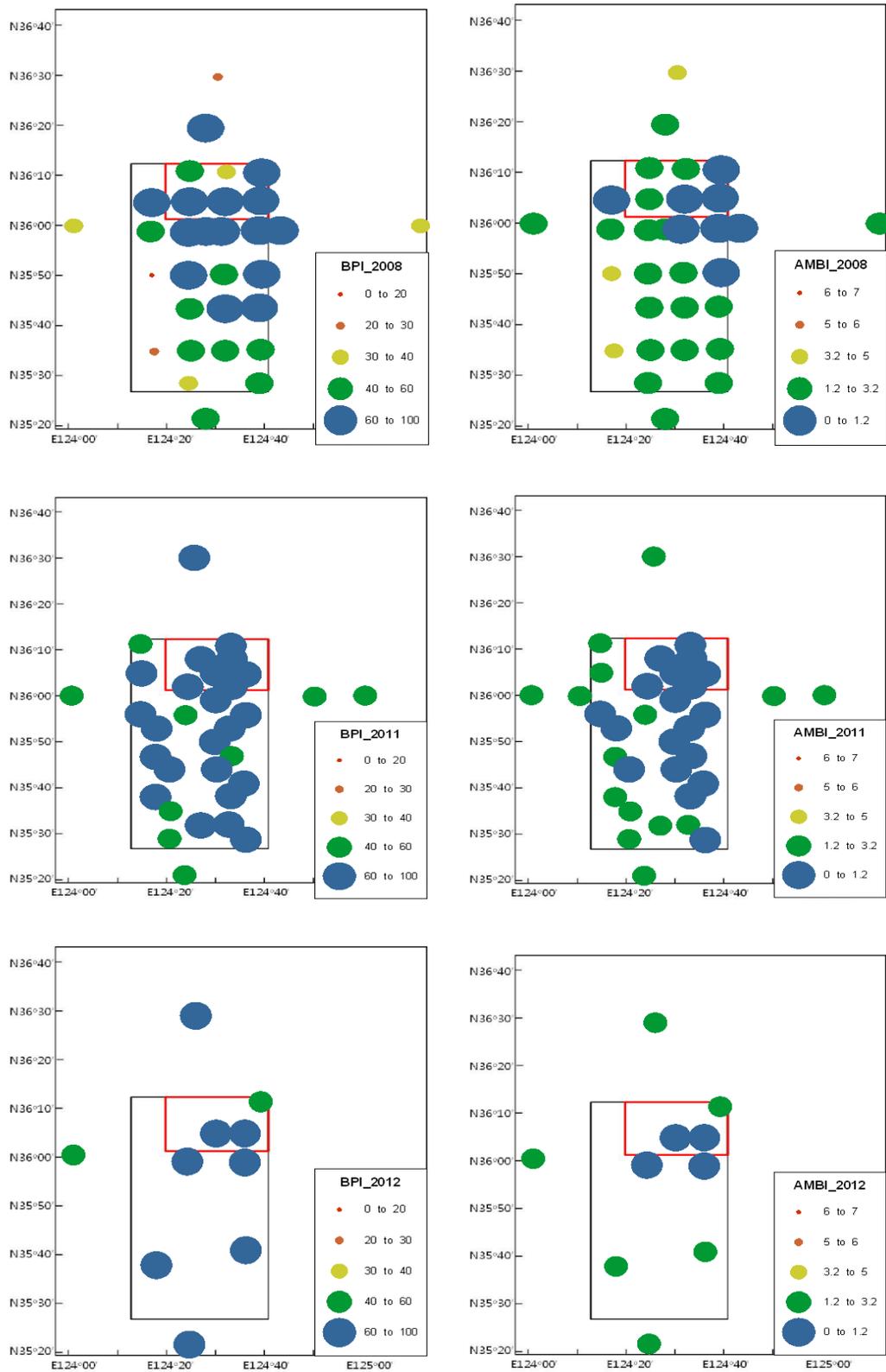


그림 2-9-15. 2008년, 2011년과 2012년 서해병 해역에서 출현한 대형저서 동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI).

해역별 건강도를 살펴본 결과, 비 배출해역의 저서 건강도가 60.0으로 가장 낮았고, 휴식해역, 배출해역의 순으로 나타났으나 모두 평균 60이상으로 건강한 상태를 보였다(그림 2-9-15).

AMBI는 비 배출해역에서 평균 1.8, 휴식해역은 평균 1.4로 약간 오염된 상태로 나타났고, 현 배출해역은 평균 1.0로 건강한 군집상태로 나타났다.

2008년 조사 해역과 2011년, 2012년 조사해역은 중복된 정점이 거의 없어 직접적 비교는 어려웠으나, 2008년에 비해 2011년과 2012년에는 심하게 오염된 해역이 줄어 저서 건강도가 좋아진 것으로 짐작되어 진다(그림 2-9-16).

2011년과 2012년 결과를 비교해 보았을 때, 두 지수 모두 현 배출해역의 저서 건강도는 2012년이 2011년에 비해 좋아졌으며, 휴식해역과 비 배출해역의 건강도는 2011년에 비해 나빠진 것으로 나타났다.

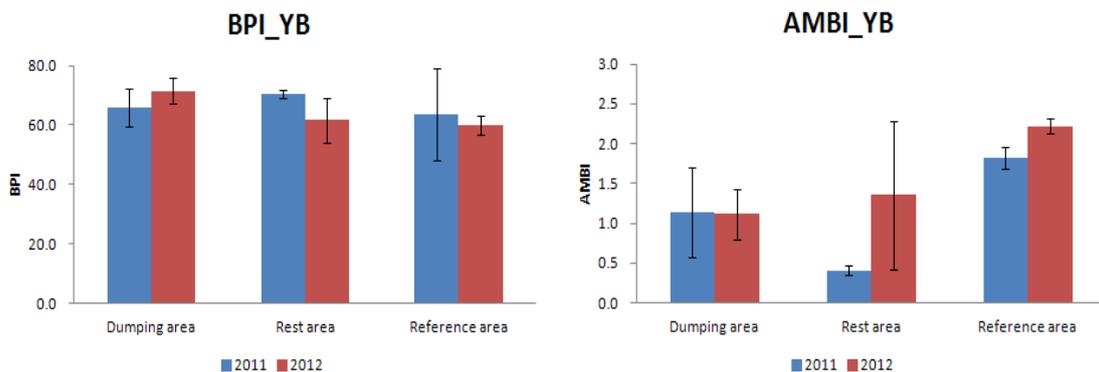


그림 2-9-16. 2011년과 2012년 서해병 해역의 해역별 저서 건강도 지수.

서해병 주변해역에서 출현한 오염지시종은 다모류 2종 (*Mesochaetoterus sp.*, *Sigambra tentaculata*), 연체동물 2종 (*Raetellops pulchella*, *Thyasira tokunagai*)였다 (표 2-9-25~26).

그중 가장 높은 서식밀도를 보인 종은 연체동물의 말발조개 (*T. tokunagai*)로 비 배출해역과 휴식해역에서 상대적으로 높은 서식밀도를 보였다. 쇠개량조개 (*R. pulchella*)와 다모류의 *S. tentaculata*는 현 배출해역에서만 출현하였으나 20 개체/m² 미만으로 출현량은 적었다.

표 2-9-25. 2011년과 2012년에 서해병 배출해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종 비교

Functional group	2011	2012
Group I	<i>Nothria</i> sp. Nemertea unid. <i>Eugyrioides glutinans</i>	<i>Nothria otsuchiensis</i> <i>Harenactis attenuata</i> <i>Calliactis</i> sp.
Group II	<i>Melinna elisabethae</i> <i>Ampharete artica</i> <i>Ophiura kinbergi</i>	<i>Melinna elisabethe</i> <i>Eudorella pacifica</i> <i>Ophiura kinbergi</i>
Group III	<i>Heteromastus filiformis</i> <i>Maldane cristata</i> <i>Praxillella affinis</i>	<i>Maldane cristata</i> <i>Praxillella affinis</i> <i>Heteromastus filiformis</i>
Group IV	<i>Raetellops pulchella</i> <i>Mesochaetopterus</i> sp. <i>Sigambra tentaculata</i>	<i>Thyasira tokunagai</i> <i>Mesochaetopterus</i> sp. <i>Raetellops pulchella</i>

표 2-9-26. 2012년 서해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m2)

	BPI	AMBI	YB009	YB024	YB026	YB049	YB053	YB098	YB101	YBR001	YBR003	YBR005	Density
<i>Thyasira tokunagai</i>	4	4	73	30	20	40	7	27	7	90	37	33	363
<i>Mesochaetopterus</i> sp.	4	4	10	3	3	0	0	0	0	0	3	0	20
<i>Raetellops pulchella</i>	4	4	0	0	0	3	3	7	0	0	0	7	20
<i>Sigambra tentaculata</i>	4	4	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
<i>Maldane cristata</i>	3	1	0	0	60	0	7	17	0	0	0	0	83
<i>Praxillella affinis</i>	3	1	3	0	0	0	0	13	0	10	0	0	27
<i>Heteronastus filiformis</i>	3	4	0	3	0	3	7	3	0	0	0	0	17
<i>Asychis biceps</i>	3	1	0	0	0	0	0	3	7	0	0	0	10
<i>Lagis bocki</i>	3	1	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
<i>Melinna elisabethe</i>	2	1	23	157	267	83	273	20	40	3	0	3	870
<i>Eudorella pacifica</i>	2	1	3	53	0	80	77	7	47	0	0	0	267
<i>Ophiura kinbergi</i>	2	2	3	0	0	10	33	17	20	0	30	30	143
<i>Ennucula tenuis</i>	2	2	10	0	13	3	3	23	7	27	13	27	127
<i>Ampharete arctica</i>	2	1	10	0	0	40	20	20	13	13	0	3	120
<i>Nothria otsuchiensis</i>	1	2	53	10	93	60	137	143	67	27	37	13	640
<i>Harenactis attenuata</i> (ac)	1	2	0	0	0	0	43	0	0	93	0	10	147
<i>Calliactis</i> sp.(ac)	1	2	3	7	17	10	20	13	3	10	0	10	93
Nemertea unid.	1	2	7	13	17	7	13	10	17	3	3	0	90
<i>Ampelisca</i> sp.	1	1	0	3	3	0	3	7	0	3	0	7	27

2). 동해 병해역

2012년 동해병 배출해역 및 주변 해역의 저서 건강도를 알아본 결과, 저서 오염지수는 18.0-69.5 (평균 55.1)의 범위를 보여 매우 심하게 오염된 상태에서 건강한 상태까지 편차가 크게 나타났다(그림 2-9-17).

가장 심하게 오염된 해역은 현 배출해역인 DB 026였고, DB 028와 DB 042에서도 각각 저서오염지수가 29.1, 43.0로 심하게 오염된 상태에서 약간 오염된 상태를 보였다.

그 외의 정점들에서는 모두 60이상의 값을 보여 건강한 상태로 나타났다.

AMBI로 동해병 해역의 저서 건강도를 평가한 결과, 2012년 동해병 해역은 2.8-5.2 (평균 3.4)의 범위를 보여 심하게 오염된 상태에서 약간 오염된 상태로 나타났다. 저서오염지수와 마찬가지로 현 배출해역의 DB 026에서의 저서 건강도가 가장 심각한 수준인 것으로 나타났고, DB 028와 DB 042의 건강도는 중간정도 오염된 상태로 나타났다. 그 외 정점들의 저서 건강도는 약간 오염된 상태로 나타났다.

해역별 건강도를 살펴본 결과, 비 배출해역의 저서 건강도가 평균 66.4로 가장 높았고, 휴식해역은 평균 66.2, 현 배출해역은 평균 38.4로 나타나 동해병 해역에서는 현 배출해역의 건강도가 가장 나쁜 것으로 조사되었다.

AMBI는 비 배출해역에서 평균 2.8, 휴식해역은 평균 3.0로 약간 오염된 상태로 나타났고, 현 배출해역은 평균 4.1로 중간정도 오염된 상태로 나타났다. 2011년 결과와 비교해 보았을 때, 저서오염지수는 모든 해역에서 2009년에 비해 값이 증가하여 저서 건강도가 좋아진 것으로 나타났다. 특히 휴식해역의 저서 건강도는 2009년 매우 심각한 상태였으나, 2012년에는 건강한 상태로 나타났다(그림 2-9-18).

동해병 주변해역에서 출현한 오염지시종은 다모류 2종 (*Capitella capitata*, *Sigambra tentaculata*), 연체동물 1종 (*Thyasira tokunagai*)였다. 그중 가장 높은 서식밀도를 보인 종은 전 세계적으로 오염지시종으로 널리 알려진 다모류의 *C. capitata*로 특히 현 배출해역에서 높은 서식밀도를 보였다. 2009년 조사에서는 휴식해역에서도 높은 서식밀도를 보였으나, 2012년에는 거의 출현하지 않았다. 이는 동해병 해역의 휴식년제 시행으로 인해 유기물 투입이 감소하여 기회종의 현존량을 감소하는 효과가 나타난 것으로 판단된다(표 2-9-27~28).

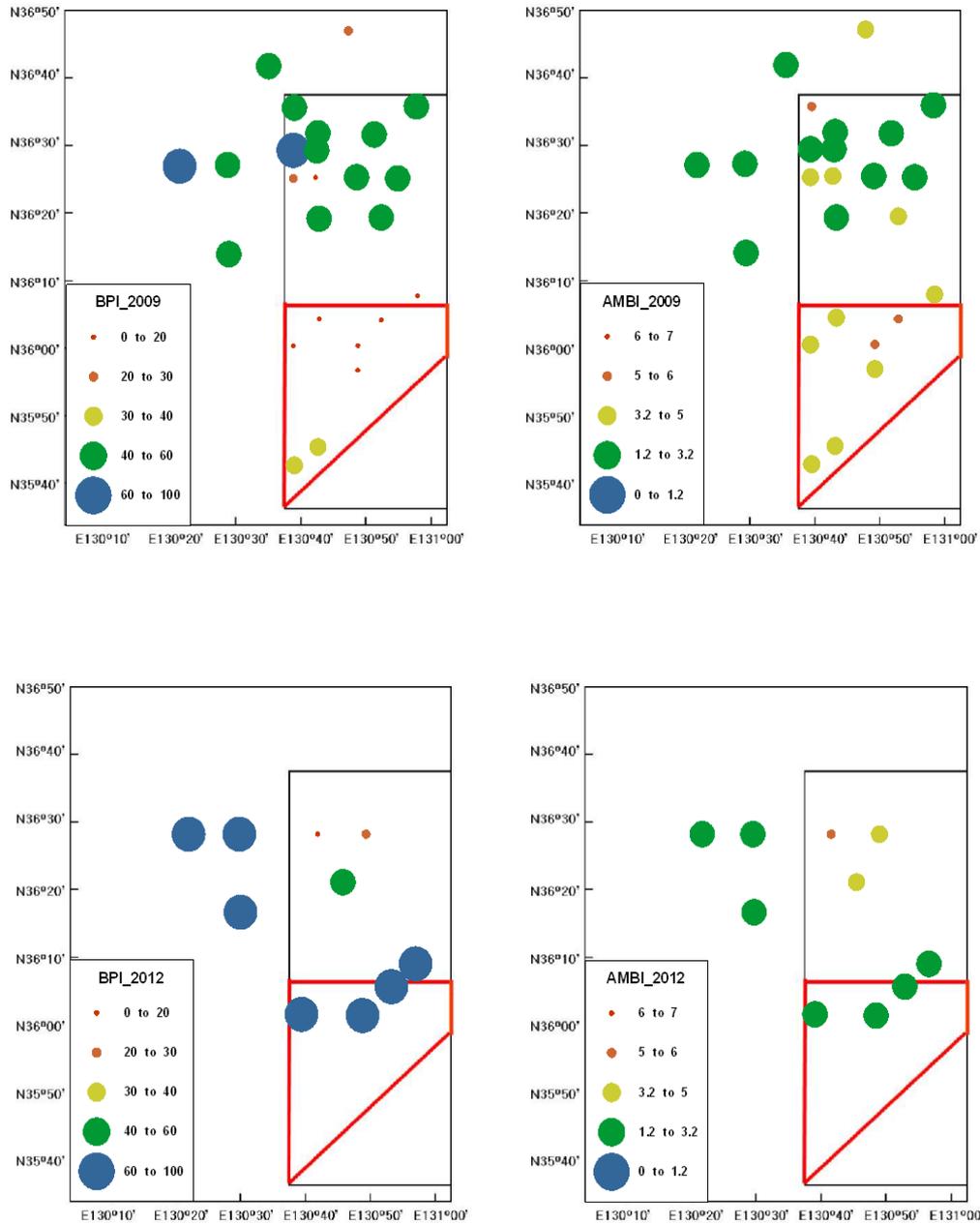


그림 2-9-17. 2009년과 2012년 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI).

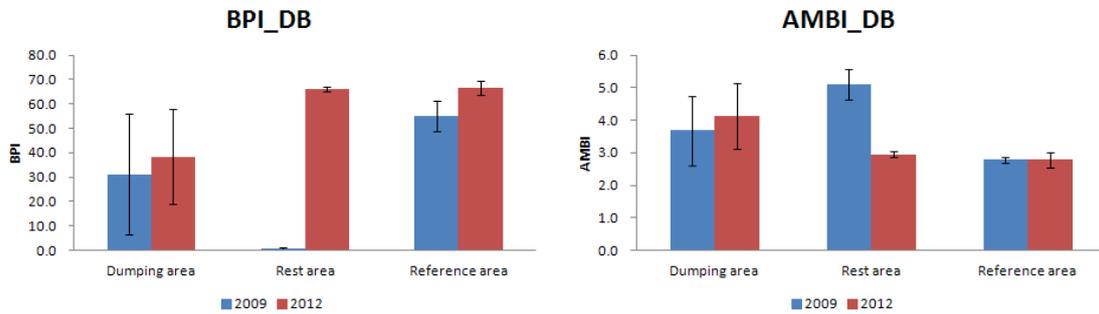


그림 2-9-18. 2009년과 2012년 동해병해역의 해역별 저서 건강도 지수.

표 2-9-27. 2009년과 2012년에 동해병 배출해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종

Functional group	2009	2012
Group I	<i>Aglaophamus malmgreni</i> <i>Hyperiid</i> sp. <i>Diaphana sakurai</i>	<i>Nephtys oligobranchia</i> <i>Chaetopterus variopedatus</i> Actinaria unid.
Group II	<i>Yoldiella philippiana</i> <i>Chaetozone</i> sp. <i>Tharyx</i> sp.	<i>Axinopsida subquadrata</i> <i>Yoldiella philippiana</i> <i>Cadella</i> sp.
Group III	<i>Ophelina acuminata</i> <i>Scalibregma inflatum</i> <i>Aricidea</i> sp.	<i>Armandia lanceolata</i> Maldanidae unid.
Group IV	<i>Thyasira tokunagai</i> <i>Capitella capitata</i> <i>Sigambra tentaculata</i>	<i>Capitella capitata</i> <i>Sigambra tentaculata</i> <i>Thyasira tokunagai</i>

표 2-9-28. 2012년 동해병 해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m2)

	BPI	AMBI	DB026	DB028	DB042	DB079	DB085	DB089	DB092	DBR002	DBR003	DBR010	Density
<i>Capitella capitata</i>	4	5	68	22	6	3	0	0	0	0	0	0	98
<i>Sigambra tentaculata</i>	4	4	0	0	1	2	0	0	0	0	3	0	6
<i>Thyasira tokuganai</i>	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Armandia lanceolata</i>	3	1	0	0	1	6	0	0	3	2	0	1	13
Maldanidae unid.	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Axinopsida subquadrata</i>	2	3	25	4	3	117	7	60	65	0	5	3	288
<i>Yoldiella philippiana</i>	2	3	0	6	8	8	0	0	0	27	25	16	91
<i>Cadella</i> sp.	2	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
<i>Brada villosa</i>	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Haminoeidae</i> sp.	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Nephtys oligobranchia</i>	1	2	0	3	1	3	0	0	1	3	2	3	15
<i>Chaetopterus variopedatus</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Actinaria unid.	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3). 동해 정해역

2012년 동해정 배출해역 및 주변 해역의 저서 건강도를 알아본 결과, 저서 오염지수는 42.6-85.5 (평균 65.7)의 범위를 보여 약간 오염된 상태에서 건강한 상태로 나타났다(그림 2-9-19).

가장 심하게 오염된 해역은 DJ 064였고, DJ 054와 DJ 056에서도 각각 47.1, 57.2로 약간 오염된 상태를 보였다. 그 외 정점들에서는 모두 60 이상의 값을 보여 건강한 군집 상태를 보였다. AMBI로 동해정 해역의 저서 건강도를 평가한 결과, 0.8-2.6 (평균 1.5)의 범위를 보여 약간 오염된 상태에서 건강한 상태로 나타났다. DJ 054에서 가장 낮았고, DJ 003에서 가장 높은 값을 보였다.

해역별 건강도를 살펴본 결과, 2012년에는 비 배출해역의 저서오염지수는 70.3, 현 배출해역의 저서오염지수는 63.7로 모두 건강한 군집 상태를 나타냈다. 2010년과 2012년에 동시에 조사한 정점은 배출해역 내에서는 2개 뿐 이어서 직접적 비교는 불가능하였다.

2007년 조사에서는 배출해역의 저서 건강도가 60이하로 약간 오염된 상태로 나타났는데, 이는 DJ 054, 056의 저서오염지수가 각각 37, 49로 약간에서 중간 정도 오염된 상태를 보였기 때문이었다. 이 정점들은 2012년 조사에서도 낮은 저서오염지수를 보여 여전히 저서 건강도에 문제가 있는 것으로 나타났다(그림 2-9-20).

동해정 주변해역에서 출현한 오염지시종은 다모류 3종 (*Paraprionospio paradioea*, *Dorvillea* sp, *Mesochaetoterus* sp), 연체동물 1종 (*Thyasira tokunagai*), 절지동물 1종 (*Jassa* sp.)였다. 그중 가장 높은 서식밀도를 보인 종은 절지동물의 *Jassa* sp. 였고, 배출해역의 DJ 064에서만 출현하였다(표 2-9-29~30).

2012년 동해정 해역에서는 BPI로 평가 하였을 때, 건강한 상태를 보이던 정점이 AMBI로 평가하였을 때에는 약간 오염된 상태로 나타났다. 이는 종의 기능군 분류에서 차이를 보였기 때문이었는데, 저서오염지수에서 약간 오염된 해역으로 나타난 배출해역의 DJ 054의 경우 가장 우점한 종은 다모류의 *Asychis pigment*였는데, 이종은 국내 평가 기준에서는 표층하퇴적물식자로 3등급에 해당하는 종이었으나, 유럽의 AMBI 기준으로는 1등급에 해당하는 종이어서 건강도 평가에 차이를 보였다.

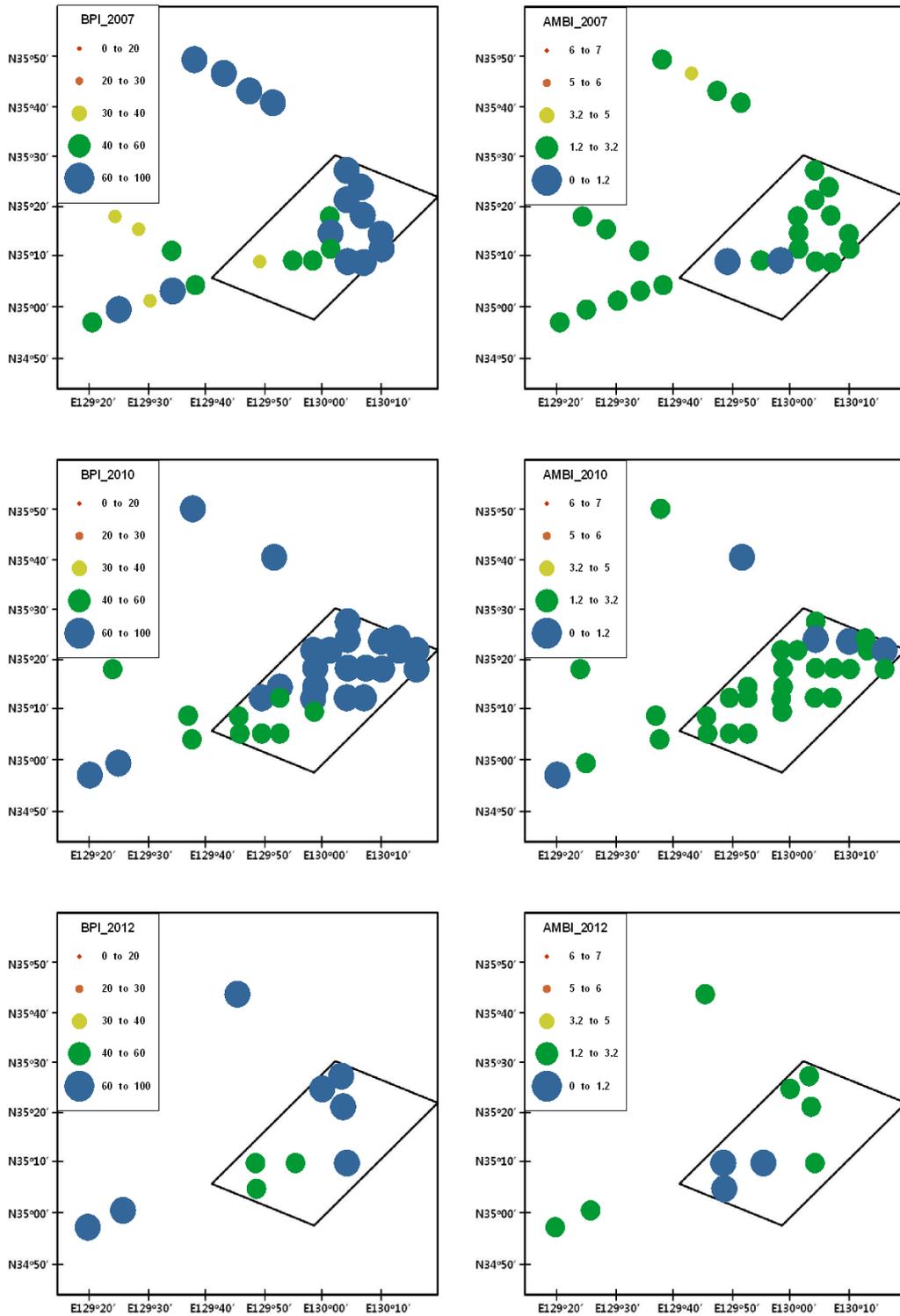


그림 2-9-19. 2007년, 2009년과 2012년 동해병해역에서 출현한 대형저서 동물의 정점 별 저서건강도지수 (BPI, AMBI).

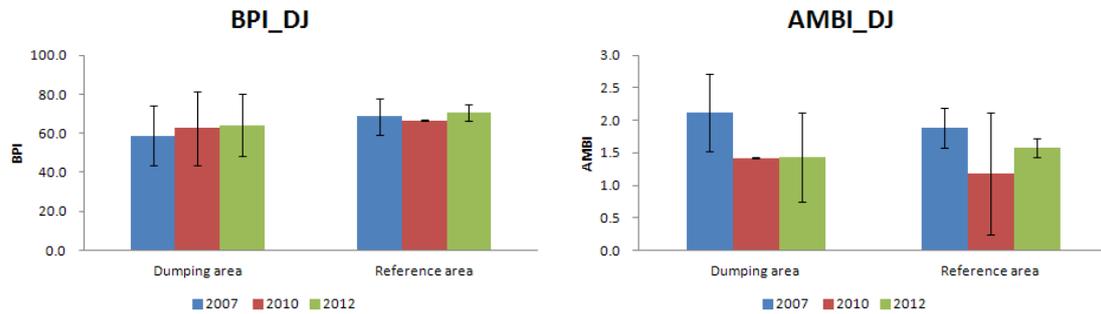


그림 2-9-20. 2007년, 2010년과 2012년 동해정 해역의 해역별 저서 건강도 지수 비교 (BPI, AMBI).

표 2-9-29. 2010년과 2012년에 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 각 기능군 별 우점종

Functional group	2010	2012
Group I	<i>Goniada maculata</i> <i>Protodorvillea egena</i> <i>Syllidae</i> sp.	<i>Nothria otsuchiensis</i> <i>Ampelisca</i> sp. <i>Goniada maculata</i>
Group II	<i>Spiophanes kroeyeri</i> <i>Aoroides</i> sp. <i>Ophiura sarsi</i>	<i>Ophiura sarsi</i> <i>Chaetozone setosa</i> <i>Nuculana yokoyamai</i>
Group III	<i>Maldane cristata</i> <i>Lumbrineris</i> sp. <i>Ammotrypane aulogaster</i>	<i>Asychis pigmentata</i> <i>Siphonosoma</i> sp. <i>Scoloplos armiger</i>
Group IV	<i>Mediomastus californiensis</i> <i>Polydora</i> sp. <i>Dorvillea matsumaeensis</i>	<i>Jassa</i> sp. <i>Paraprionospio paradisea</i> <i>Dorvillea</i> sp.

표 2-9-30. 2012년 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 정점별 기능군 별 주요 우점종 (Unit: ind./m2)

	BPI	AMBI	DJ003	DJ007	DJ016	DJ054	DJ056	DJ059	DJ064	DJR008	DJR009	DJR020	Density
<i>Jassa</i> sp.	4	4	0	0	0	0	0	0	27	0	0	0	27
<i>Thyasira tokunagai</i>	4	4	0	0	17	7	0	0	0	0	0	0	23
<i>Paraprionospio paradoicea</i>	4	4	0	0	0	0	3	0	0	13	0	0	17
<i>Dorvillea</i> sp.	4	4	0	0	0	7	0	0	0	0	3	0	10
<i>Mesochaetopterus</i> sp.	4	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
<i>Asychis pigmentata</i>	3	1	0	0	13	657	70	0	363	0	10	0	1,113
<i>Siphonosoma</i> sp.	3	3	0	0	0	27	53	0	13	0	3	0	97
<i>Scoloplos armiger</i>	3	1	23	13	0	0	0	0	0	7	0	0	43
<i>Armandia lanceolata</i>	3	1	0	0	7	7	0	3	0	3	13	0	33
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	3	3	0	0	0	13	10	7	3	0	0	0	33
<i>Ophiura sarsi</i>	2	2	0	7	17	120	60	0	43	103	320	53	723
<i>Chaetozone setosa</i>	2	4	227	3	0	0	0	0	0	0	0	0	230
<i>Nuculana yokoyamai</i>	2	3	0	20	7	3	0	0	7	3	157	0	197
<i>Terebellides</i> sp.	2	1	0	7	3	3	47	7	0	0	10	13	90
<i>Neohaustator fortilirata</i>	2	3	0	0	0	50	0	0	23	0	0	0	73
<i>Nothria otsuchiensis</i>	1	2	3	10	3	3	0	150	0	10	0	0	180
<i>Ampelisca</i> sp.	1	1	30	3	0	50	23	10	7	0	0	7	130
<i>Goniada maculata</i>	1	2	3	13	23	10	13	23	7	10	13	3	120
<i>Limopsis belcheri</i>	1	2	0	0	7	0	3	0	0	70	0	0	80
<i>Lumbrineris heteropoda</i>	1	2	3	0	20	13	7	3	7	0	7	13	73

3. 배출해역의 휴식년제 시행의 효과

동해병 해역과 서해병 해역에서는 2005년부터 휴식년제를 실시하여 동해병 해역의 53%, 서해병 해역의 20%를 휴식년 지역으로 설정하여 폐기물 배출을 금지하고 있다.

휴식년제 시행 효과를 살펴보기 위해 과거 연구의 휴식년제 해역, 2012년 휴식년제 해역의 저서오염지수를 살펴보았다.

동해병해역에서는 2009년 휴식년 해역에서 7개 정점, 2012년에는 3개 정점에서 조사를 실시하였다.

2009년에는 DB 130과 DB 137를 제외한 5개 정점에서 10 이하의 낮은 저서오염지수를 보여 심하게 오염된 해역으로 구분되었으나, 2012년에는 조사된 3개 정점 모두 BPI가 60 이상으로 건강한 군집상태를 보였다(그림 2-9-21).

이는 오염지시종의 개체수 감소와 관련이 있는데, 2009년에 휴식년 해역에서 단위면적당 200개체 이상 출현하여 우점하였던 연체동물의 *Thyasia tokunagai*, 다모류의 *Capitella capitata*의 개체수가 2012년에는 현저히 감소하였기 때문이다.

서해병 해역에서는 2008년에 휴식년 해역에서 6개 정점, 2011년에 7개 정점, 2012년에 3개 정점에서 조사를 실시하였다.

2008년에는 저서오염지수가 57.1로 약간 오염된 상태를 보였으나, 2011년과 2012년에는 각각 69.6, 61.7로 건강한 군집상태를 보였다(그림 2-9-21).

서해병 해역에서는 2008년에 7종의 기회종이 출현하였고, 연체동물의 쇄개량조개 (*Raetellops puchella*), 말발조개 (*T. tokunagai*) 등이 우점하였다. 2011년과 2012년에는 4종의 기회종이 출현하였다. 2008년에 비해 2011년과 2012년에는 기회종의 종 수도 감소하였고, 서식밀도도 감소하였다.

동해병과 서해병 해역에서의 휴식년제 시행은 유기물 함량을 감소시키고 그로 인해 기회종의 현존량을 감소시키는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

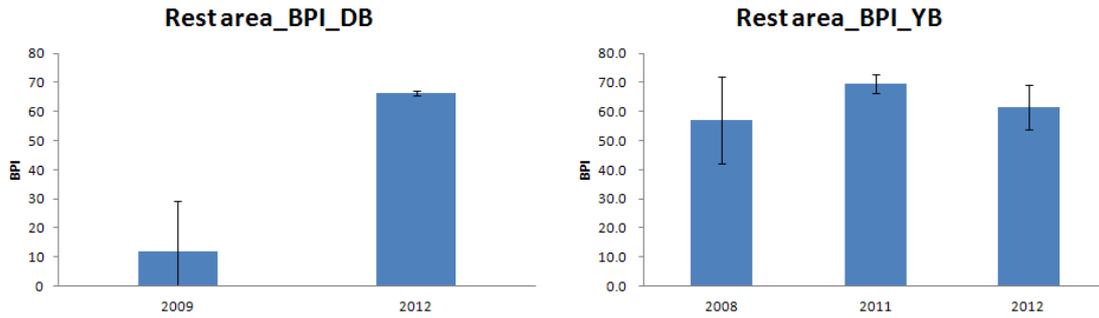


그림 2-9-21. 동해병(좌)과 서해병(우)의 휴식년해역의 저서오염지수.

4. 결론

1) 서해병해역

서해병 조사지역(배출해역, 휴식년해역 및 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 49종/3m², 3,607개체(361개체/m²), 693.60 gWWt (70.54 gWWt/m²)이었다. 분류군별 출현 종수를 살펴보면 환형동물 다모류가 25종이 출현하여 전체의 51.1%를 점유하였고, 다음으로 연체동물이 9종 (18.4%), 절지동물 갑각류가 7종(14.3%), 기타동물이 6종(12.2%) 그리고 극피동물이 2종(4.1%)순으로 출현하였다.

정점별 서식밀도는 최대 687개체(YB-053)에서 최소 150개체(YBR-003)로 평균 361개체가 출현하였다.

분류군별 생체량은 기타동물이 25.72 gWWt/m²로 37.1%를 점유하였고, 환형동물 다모류가 23.00 gWWt/m²(33.2%), 연체동물이 17.21 gWWt/m² (24.8%), 극피동물이 1.79 gWWt/m² (2.6%) 그리고 절지동물 갑각류가 1.63 gWWt/m² (2.3%)순으로 출현하였다.

해역별(배출해역, 휴식년해역, 대조해역) 대형저서동물 군집조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 37종, 대조해역에서 27종, 휴식년해역에서 31종이 출현하였다.

분류군별로 보면 3개 해역 모두에서 환형동물 다모류의 출현정도가 높고 연체동물과 절지동물 등의 순이었다.

평균 서식밀도는 배출해역에서 453개체/m², 휴식년해역에서 370개체/m² 그리고 대조해역에서 228개체/m²로 조사되었다. 평균생체량은 배출해역에서

108.38 gWWt/m³, 대조해역에서 51.81 gWWt/m³ 그리고 휴식년해역에서는 38.82 gWWt/m³으로 조사되었다.

배출해역에서 종수, 서식밀도 그리고 생체량은 배출해역에서 가장 높았고, 종수와 서식밀도는 휴식년, 대조역 순이었고, 생체량은 휴식년, 대조역 순으로 나타났다.

서해병해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 출현개체수와 정점별 출현빈도를 고려한 Lebrix Index를 기초로 하여 나타내었으며 조사해역은 개체수 우점종을 기초로 나타내었다.

전 조사해역에서 최고 우점종은 환형동물 다모류인 황금뿔사슴갯지렁이 (*Melinna elisabethae*)로 9개 정점에서 출현하였고 점유율은 24.1%이었다. 다음으로 *Nothria otsuchiensis*로 10개 정점에서 출현하였고 점유율은 17.7%, 말발조개(*Thyasira tokunagai*)는 10개 정점에서 출현하였고 점유율은 10.1% 순이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 2,797개체, 77.5%를 점유하였다.

결론적으로 서해병해역은 휴식년제 시행 후 점차 정상해역으로 회복중인 것으로 판단된다.

2) 동해 병해역

동해병 조사지역(배출해역, 휴식년해역 및 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 18종/0.24m², 5,204개체(520개체/m²), 127.51 gWWt (12.75 gWWt/m²)이었다.

분류군별 출현 종수를 살펴보면 연체동물이 9종이 출현하여 전체의 50.0%를 점유하였고, 다음으로 환형동물 다모류가 8종(44.4%), 그리고 기타동물이 1종(5.6%)순으로 출현하였다.

분류군별 서식밀도는 연체동물이 385개체/m²로 73.9%를 점유하였고 다음으로 환형동물 다모류가 135(26.0%), 기타동물이 >1개체/m²(0.1%) 순으로 출현하였다.

분류군별 생체량은 연체동물이 11.68 gWWt/m²으로 91.6%를 점유하였고 환형동물 다모류가 0.96 gWWt/m²(7.5%) 그리고 기타동물이 0.12 gWWt/m² (0.9%) 순이었다. 해역별(배출해역, 휴식년해역, 대조해역) 대형저서동물 군집 조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 7종, 대조해역에서 12종, 휴식년해역에서 11종이 출현하였다.

분류군별로 보면 배출해역과 휴식년해역에서 환형동물 다모류의 출현정

도가 높고, 대조해역에서 연체동물이 높았다. 다음으로 배출해역과 휴식년에서는 연체동물, 기타동물, 대조해역에서는 환형동물, 기타동물 순이었다.

평균 서식밀도는 배출해역에서 493개체/m², 휴식년해역에서 700개체/m² 그리고 대조해역에서 308개체/m²로 조사되었다.

평균생체량은 배출해역에서 2.55 gWWt/m², 대조해역에서 1.72 gWWt/m² 그리고 휴식년해역에서는 38.23 gWWt/m²으로 조사되었다. 배출해역에서 종수의 출현정도는 낮지만 서식밀도는 높은 경향을 보이며, 휴식년해역과 대조해역은 출현 종수는 높으나 서식밀도가 낮은 경향을 보인다.

동해병해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 조사해역은 개체수 우점종을 기초로 나타내었다. 전 조사해역에서 최고 우점종은 연체동물 조개류인 꼬마말발조개(*Axinopsida subquadrata*)로 9개 정점에서 출현하였고 점유율은 55.3%이었다. 다음으로 꼬마반달조개(*Yoldiella philippiana*)로 6개 정점에서 출현하였고 점유율은 17.5%, 환형동물 다모류인 *Capitella capitata*는 5개 정점에서 출현하였고 점유율은 18.9% 순이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 5,163개체, 99.2%를 점유하였다.

결론적으로 동해병해역의 휴식년해역은 해양투기 금지 후 점차 개선되고 있지만, 현재 배출되고 있는 해역은 오염된 상태이다.

3) 동해정해역

동해정 조사지역(배출해역, 대조해역)에서 출현한 대형저서동물은 10개 정점에서 103종/0.3m², 4,930개체(493개체/m²), 1,051.72 gWWt (105.17 gWWt/m²)이었다.

분류군별 출현 종수를 살펴보면 환형동물 다모류가 40종이 출현하여 전체의 38.8%를 점유하였고, 다음으로 연체동물과 절지동물이 각각 25종(24.3%), 극피동물이 9종(8.7%) 그리고 기타동물이 4종(3.9%)순으로 출현하였다.

분류군별 서식밀도는 환형동물 다모류가 250개체/m²로 50.6%를 점유하였고, 다음으로 극피동물이 83개체/m²(16.7%), 연체동물이 82개체/m²(16.6%), 절지동물 다모류가 67개체/m²(13.6%) 그리고 기타동물이 12개체/m²(2.4%) 순으로 출현하였다. 분류군별 생체량은 극피동물이 62.30 gWWt/m²으로 59.2%를 점유하였고 연체동물이 21.96 gWWt/m²(20.9%), 환형동물 다모류가 15.40 gWWt/m²(14.6%), 기타동물이 4.57 gWWt/m²(4.3%) 그리고 절지동물 갑각류가 0.93 gWWt/m²(0.9%) 순이었다.

해역별(배출해역, 대조해역) 대형저서동물 군집조사 결과, 대형저서동물의 종수는 배출해역에서 87종, 대조해역에서 51종 출현하였다.

분류군별로 보면 배출해역에서 대조해역에 비해 상대적으로 많은 종이 출현하고 양 해역 모두 환형동물 다모류의 출현정도가 높다.

평균 서식밀도는 배출해역에서 513개체/m², 그리고 대조해역에서 446개체/m²로 조사되었다. 평균생체량은 배출해역에서 112.56 gWWt/m², 대조해역에서 87.93 gWWt/m² 있었다.

배출해역에서 종수, 서식밀도 그리고 생체량이 높은 결과를 보였다. 동해정해역에서 출현한 대형저서동물의 우점종은 전 조사해역에서 최고 우점종은 극피동물인 살시빛살거미불가사리(*Ophiura sarsi*)로 8개 정점에서 출현하였고 점유율은 15.3%이었다. 다음으로 점박이대나무갯지렁이(*Asychis pigmentata*)로 5개 정점에서 출현하였고 점유율은 22.6%, 작은갈매기고리갯지렁이(*Gonida maculata*)는 10개 정점에서 출현하였고 점유율은 2.6%이었다. 이들을 포함한 상위 10종은 2,828개체, 57.4%를 점유하였다.

결론적으로 동해정해역은 대조구 기능을 상실하고 점차적으로 종수와 서식밀도가 좋아져 개선되는 경향을 보일 가능성이 있는 것으로 판단된다.

제 10 절 해양생물 및 인간 유해성 평가

1. 서 론

배출해역에서 이루어지고 있는 폐기물의 배출이 저서 생태계에 어떠한 악영향을 일으키고 있는지를 평가하기 위하여 배출해역 퇴적물 공극수에 대한 독성 조사를 실시하였다.

독성조사에 사용된 대상 생물은 등근성게(*Strongylocentrotus nudus*)이다. 단각류와 성게를 이용한 독성 조사는 이미 여러 나라에서 환경평가 및 모니터링의 기본항목으로 채택하고 있다. 이는 이들 생물이 민감도가 좋고, 실험 방법 또한 아주 간단하다는 장점을 갖고 있기 때문이다 (Nacci *et al.*, 1986; Dinnel *et al.*, 1987). 성게의 수정률 실험은 정자가 오염물질에 어느 정도의 영향을 받는지를 파악하는 것으로, 건강한 정자를 일정시간 동안 오염물질에 노출시킨 후 알을 넣어서 수정률을 측정하는 방법이다 (Nacci *et al.*, 1986; Dinnel *et al.*, 1987; Carr *et al.*, 1996). 발생률 실험은 이미 수정된 수정란을 오염물질에 노출시켜 발생이 진행되도록 하는 실험으로 정상적인 유생(pluteus)으로 발생하는 시간이 경과된 후, 실제로 정상적인 유생으로 발생한 정도가 얼마인 지를 측정하는 방법이다 (ASTM, 1995; USEPA, 1995). 수정률과 발생률 실험 모두 그 절차가 간단하며, 한 쌍의 어미로부터 얻은 배우체를 이용하여 동시에 많은 량의 시료를 한꺼번에 분석할 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라, 성게의 수정률과 발생률은 이미 많은 나라에서 연안 퇴적물의 오염평가를 위한 표준 방법으로 사용하고 있어서 (Kobayashi, 1981; Dinnel *et al.*, 1982; Pagano *et al.*, 1986; Nacci *et al.*, 1986; Carr *et al.*, 1996; Meador *et al.*, 1990) 실험 방법 또한 잘 개발되어 있고, 국내의 경우에도 등근성게 (*S. nudus*)를 이용한 수정률 및 발생률 실험의 표준화가 이루어져 있다 (Lee, 2000; Won, 2000).

유전자발현변화를 이용한 생물위해성 평가방법은 외부 환경 스트레스에 대한 생물체내의 반응을 분자수준에서 진단하여 유해한 환경/물질/오염도 등을 평가하는 방법이다. 구체적으로는 환경내 화학적 오염 및 독성이슈에 대해 유전체적인 기술을 통해 해석하려는 시도라 할 수 있다. 현재 생태계 및 환경과 관련된 생태독성분야도 분자생물학적 기술의 접목으로 인해, 유전

체학 기반의 기술은 매우 빠른 속도로 발전되고 있으며, 환경독성분야로의 도입 역시 매우 긍정적으로 진행되고 있다.

생물을 이용하여 유해성의 여부를 가늠하는 기존의 방법들(돌연변이 여부/행동이상/사망률/효소활성도 등)은 스트레스물질에 대해 이미 노출된 생물에게서 나타난 결과를 측정하는 방법들로써, 노출된 자극의 정도가 상당히 높은 수준이어야 측정이 가능하다는 약점을 가지고 있다. 또한, 실제 오염물질의 유출사고 이외의 일반적인 생물의 오염물질 노출은 낮은 농도로 장기간에 걸쳐 일어나므로, 신속한 진단 및 예측에 적용하기 어렵다. 반면 유전자발현변화를 이용한 평가방법은 외부 자극을 받고 난 후 유전자정보가 단백질로 넘어가는 전사수준에서 나타나 변화를 대상으로 스트레스 수준을 평가하는 방법으로써 매우 작은 외부의 자극까지도 감지해 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러므로 적은 양의 유해화학물질/환경변화/외부자극에 장기간 노출되었을 때의 생물반응의 결과까지도 예측해 볼 수 있다. 이러한 유전자발현변화를 이용한 평가방법에 사용되는 유전자 바이오마커는 그 특이성을 통해 독성물질의 환경 내 존재여부 및 오염연관성을 예측할 수 있고, 생태계의 오염물질에 대한 장기적 영향 및 그 환경 내 생물의 건강도 평가 또는 진단 가능하므로 낮은 수준의 오염/장기적노출/특정유해물질이라는 환경적 난제를 풀기에 매우 적합한 방법이다.

본 연구에서는 이러한 세계적인 추세를 반영하고자, 해양 퇴적층에 서식하는 갯지렁이류를 대상으로 환경오염 및 스트레스에 반응하는 것으로 예측되는 다양한 효소 및 단백질들의 유전자 분리를 시도하였다. 이에 2009년에서 2011년까지, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*) 기원의 Ferritin, Hemerythrin-like metalloprotein, Cytochrome P450 family 4, Superoxide dismutase, Catalase, Glucose peroxidase 1, 3, Glucose S-transferase-a, k, Heat shock protein 60, 70-12, 90a, Cu/Zn SOD, 및 Mn SOD 등 14종의 유전자들을 성공적으로 분리하여 이들을 투기지역 퇴적물의 위해성 평가에 이용하였다. 이들 생체정보의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

철분은 혈액내의 산소 이동, 더 크게는 체내 산소공급에 필수적인 요소이다. 철분은 혈액내 heme 그룹의 중심을 이루며, 이에 산소분자가 결합하여 필요한 조직으로 공급된다. 따라서 체내의 철분은 항상 일정한 농도로 유지되어야 한다. 한편, 철은 전이금속으로서 산화환원 반응을 촉매하는 성분이기도 하다. 즉, 체내에서 활성산소(reactive oxygen species, ROS)로부터 free radical의 생성을 촉진하여, 세포내 산화스트레스를 유발한다(Linn, 1998). 따라서 철은

체내에 독성이 없는 상태로 저장되어, 필요한 경우 사용되어야 하는데, 이 조절에 관여하는 것이 Ferritin 단백질이다. Ferritin은 450 kDa 크기의 단백질로 모든 세포내에 존재하며, 철분을 저장하며, 철분 대사를 조절하는 것으로 알려져 있으며 (Palmour and Sutton, 1971), 금속에 의해 생성되는 활성산소의 형성을 막아 세포내 독성을 억제하는 단백질로 알려져 있다. 체액내의 Ferritin 양은 체내의 철분 농도와 직접 연관되어 있고, 철분의 결핍 및 과다와 관련된 다양한 만성질환과 깊은 연관관계를 보이는 것으로 알려져 있다. 또한 산화스트레스의 증가에 따라 Ferritin 의 양이 mRNA 및 단백질 수준에서 모두 증가되는 것이 확인된 바 있다 (Orino *et al.*, 2001).

Metalloprotein은 금속 cofactor를 갖는 단백질로서, 효소, 수송 및 저장, 그리고 신호전달 등과 같이 다양한 세포내 기능을 갖는다. 금속 이온은 일반적으로 질소, 산소, 및 황 원자와 결합할 수 있는 특성을 갖고 있음으로써, 생물체내의 산화-환원반응이 일어날 수 있도록 한다. Hemerythrin은 heme-group을 갖지않는 철 결합 단백질로써, 환형동물을 포함한 몇몇 해양 무척추동물 그룹에서 발견되며, 산소 수송에 관여한다.

Cytochrome P450 그룹(CYP)은 매우 다양한 효소의 집합체로 유기물들의 산화를 촉매하는 기능을 갖고 있다. 가장 흔한 방법으로 모노옥시제나아제로 사용되어 산소원자 하나를 유기물질에 넘겨주고 다른 원자는 물로 환원되는 방법이다. 이들 그룹에 속하는 단백질은 동식물, 곰팡이, 세균, 고세균 등의 모든 생물들에게서 발견되며, 11,500종 이상이 알려져 있다. Cytochrome P450는 또한 각종 효소반응에서 다양한 기질을 사용하고, 전자전달계의 한 요소를 형성하며 주로 약물의 대사/활성과 관련되어, 생물체 총 대사작용의 75%를 차지한다. 인체의 간에서는 체내로 들어온 많은 화학물질들을 처리(산화, 분해, 변화 등)하여 체외로 배출할 수 있도록 해주는데, 특히 독성을 일으킬 물질들을 처리하여 무독한 물질로 만들기 위함이다. 이런 간에서의 물질의 처리에 핵심 역할을 맡고 있는 것이 CYP450이라고 불리는 효소이고, 간에서 가장 많이 발현되지만 간에만 국한되어 존재하는 것은 아니고, 신장이나 내장의 표면세포 등 다양한 기관에서 발현되어 존재한다.

Superoxide dismutase(SOD)는 외부 자극이나 다양한 효소반응에 의해서 생겨난 과산화물을 과산화수소로 바꾸는 작용을 한다. 초기 항산화 작용에 중요한 물질인 SOD는 Cu/Zn, Mn, Fe 등의 금속이 산화환원되는 기작을 통해서 과산화물이 과산화 수로로 바뀌게 된다. 이렇게 만들어진 과산화수소는 다른 항산화 물질에 의해 물 또는 산소로 치환되어 생명체에 무해한 물질로

바뀌게 된다.

Catalase(CAT)는 SOD에 의해 생성된 과산화수소가 생명체에 유해하게 작용하지 못하도록 물과 산소로 분해하는 작용을 한다. 4 개의 포르피린 헴기를 가지는 CAT는 다른 효소보다 반응 속도가 빠르다. CAT는 대부분의 생명체에서 발견되며 사람 경우에는 간, 적혈구, 신장에서 높은 활성을 보인다고 알려져 있다.

Glutathione peroxidase(GPx)는 glutathione을 이용하여 lipid hydroperoxides를 alcohols로 분해시키며 또한 과산화수소를 물로 바꾸는 역할을 하는 효소이다. GPx는 총 8 개가 존재하며, Glutathione peroxidase 1은 포유류의 cytoplasm에서 흔히 발견되고 glutathione peroxidase 3은 plasma에서 발견된다고 알려져 있다.

Glutathione S-transferase(GST)는 reactive oxygen species로 인하여 생성되는 lipid peroxides을 glutathione과 결합시켜 세포 밖으로의 이동이 가능하게 만들어주는 단백질이다.

위의 예에서 살펴본 것과 같이, 지구상의 생물에게 산소라는 것은 좋은 면과 나쁜 면 모두를 가진 기체이다. 인간을 비롯한 호기성 생물들에게는 산소가 필수적이거나, 산소는 세포에게 있어서 유독한 물질이기 때문에 혐기성 세포들은 세포와 접촉하면 즉시 죽어버린다. 이러한 산소가 전자쌍을 이루고 있을 때에는 비교적 안정한 물질로 존재하지만 쌍을 이루지 못한 전자를 가지고 있는 분자가 되는 경우 매우 반응성이 강한 활성산소종으로 된다. 이러한 활성산소종은 산화제 또는 환원제가 되기도 하는데, 즉 황, 비타민 C, NADPH는 산화시키고, cytochrome C와 금속이온은 환원시킨다. 슈퍼옥사이드는 음전하를 띄고 있어 초기에는 세포막을 통과하지 못할 것으로 생각하였으나 과산화수소는 실제 세포막이나 미토콘드리아막을 통과하고 핵안의 DNA까지 영향을 미치는 것으로 알려졌다. 초과산화이온이 가지고 있는 자유라디칼음이온(free radical anion)은 세포에 해로운 영향을 미치기 때문에 Superoxide dismutase (SOD)는 초과산화이온을 산소와 과산화수소로 바꿔줌으로써 독성으로부터 세포를 방어하는 역할을 한다. 산소에 노출되는 거의 모든 세포에서 이러한 SOD에 의한 해독이 중요하며, SOD에 의해 생겨진 과산화수소는 CAT에 의해 완전히 무해한 물과 산소로 바뀐다.

활성산소에 대한 방어로는 SOD/CAT가 가장 기본적인 방어체제이고, 두 번째가 글루타치온 (GSH)과 , 글루타치온 퍼옥시다아제 (GPX)이다. 셀레늄을 포함하는 효소인 GPX에 의해 과산화수소가 2분자의 글루타치온과 반

응하고 글로타치온이 산화글루타치온 (GSSG)으로 바뀐다. 세번째로 항산화 비타민인 C와 E, 베타카로틴인데 활성산소와 반응하여 제거한다.

Heat shock proteins은 샤페론의 일종으로 온도가 증가하는 환경에 노출된 경우에서 발현이 증가하는 것이 처음으로 발견되어 이름 붙여진 단백질이다. 또한 다양한 원인에 의해서 발현량이 변한다고 알려져 있으며, 그 원인으로는 산화환원반응이 일어나는 환경, 중금속에 노출된 경우, 독성을 가지는 약품에 노출된 경우, 아미노산 유사체가 존재할 경우, glucose 결핍, 바이러스 감염을 들 수 있다 (Yahara, 1996).

따라서 이와 같은 생체내 독성 저감 및 스트레스 완화를 위해 역할을 하는 생체물질들의 유전자들을 분자생물지표를 이용하면, 각 종 환경오염에 의해 유도되는 생물의 항산화스트레스의 정도를 파악하는 것이 가능하며, 이를 통해 서식환경의 오염상황을 쉽게 이해할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 중금속 오염의 영향 정도를 평가하기 위해서 무척추동물인 눈썹참갯지렁이 (*Perinereis nuntia*)에서 분리된 15종의 유전자들을 이용하여, 서해병, 동해병, 동해정 등 3개 지점에서 채취된 퇴적물로부터 추출된 공극수에 배양된 눈썹참갯지렁이로부터 각 유전자들의 발현량 변화를 비교함으로써 각 정점의 오염정도를 파악하고자 하였다.

2. 시료채집 및 분석방법

가. 퇴적물 및 공극수 시료의 준비

퇴적물 공극수의 독성을 알아보기 위한 현장시료의 채집은 2012년에 서해병과 동해병 해역에서는 비배출해역 3개 정점, 현 배출해역 4개 정점, 휴식해역 3개 정점, 동해정해역에서는 비배출해역 3개 정점, 현 배출해역 7개 정점에서 이루어졌다 (그림 2-10-1). 각 정점에서 box core를 이용하여 퇴적물을 채취하였고, 표층퇴적물 (5 cm 깊이)을 긁어 비닐봉지에 담고 잘 밀봉한 후, 즉시 호일로 감싸서 냉장 보관하였다. 시료를 실험실로 옮긴 후 성게 실험을 위한 공극수 추출에 사용하였다. 공극수는 3000 rpm에서 10분 간 원심분리를 2 회 반복하여 추출하였다.

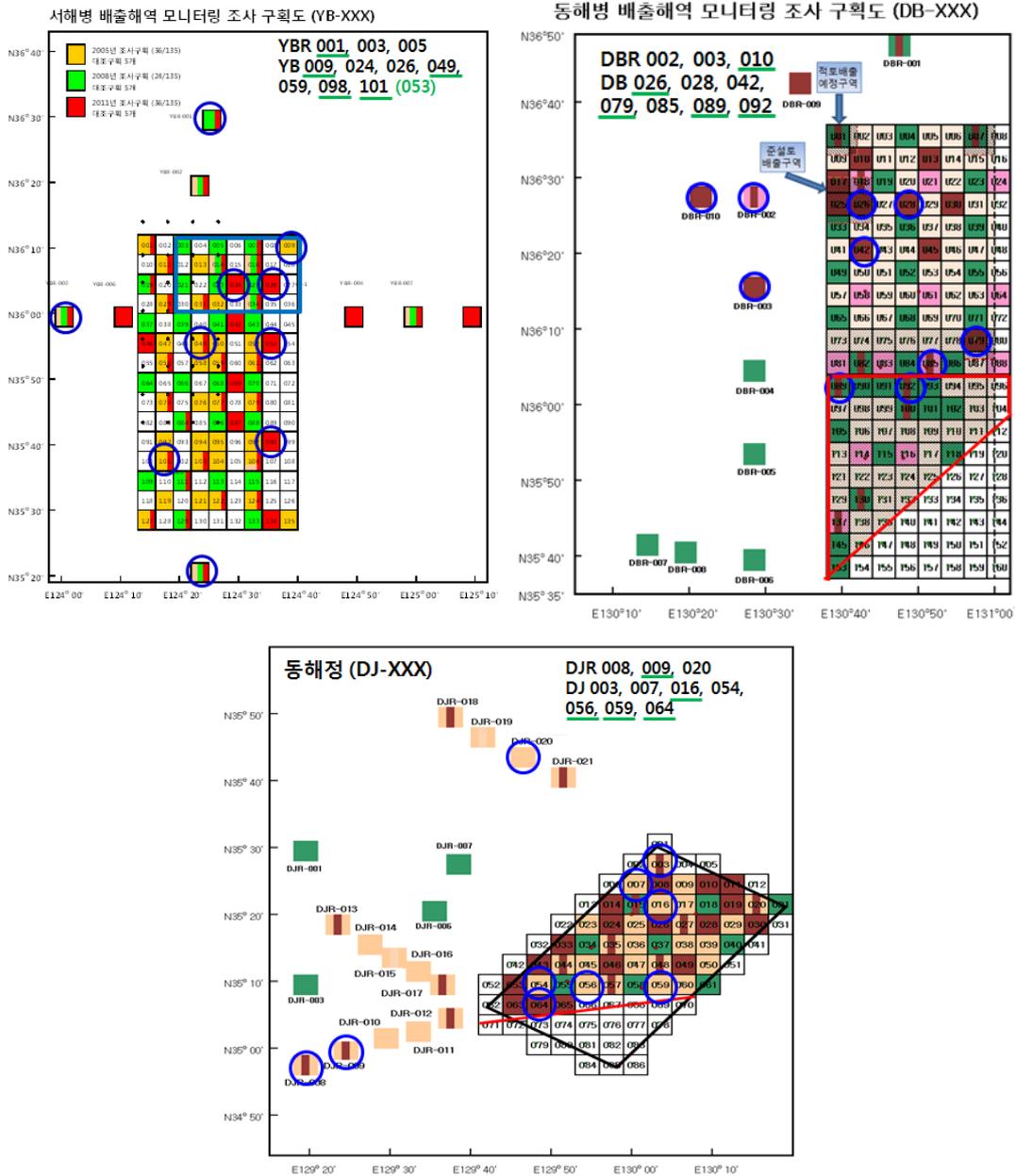


그림 2-10-1. 2012년 서해병, 동해병, 동해정 해역의 퇴적물 공극수를 이용한 생물검정 실험 정점 (Blue circle: 성계 독성검사 정점, Green line: 유전자 차등발현 분석 정점)

나. 성계를 이용한 공극수 독성 검사

실험에 사용된 등근성게 (*Strongylocentrotus nudus*)는 경남 거제도 주변해역에서 잠수작업을 통하여 채집되었다. 채집된 성게 어미를 실험실로 옮겨 2 ton 용량의 수조에 실험이 실시되기 전까지 사육하였다. 사육하는 동안 먹이로는 건조된 다시마 (*Laminaria* sp.)를 공급하였고, 물은 2일에 1회 1/2씩 환수하였고, 사육수의 온도는 18°C로 조절하였다.

성계를 이용한 독성실험은 ASTM (1995)과 USEPA (1995)의 표준지침서를 Lee (2000) 및 Won (2000)에 의해 수정된 방법을 적용하여 수행되었다. 성계를 이용한 독성 실험의 최종반응 (endpoint)으로는 수정률과 발생률의 두 가지가 있으며, 본 조사에서는 두 가지 모두 측정하였다. 각각의 실험 방법을 기술하면 다음과 같다.

수정률 실험은 정자를 시료에 노출시켜 정자의 활력이 얼마나 감소하는지를 알아보는 실험이다. 정자와 알을 어미로부터 얻기 위하여 1N-KCl 용액을 어미의 입 주위로 주사하여 산란을 유발하였다. 정자의 경우 파스퇴르피펫을 이용하여 생식공으로부터 방출되는 정자를 직접 수집하여 1.5-ml 용량의 원심분리 튜브에 옮겨 담고 5°C에서 보관하였다. 알의 경우 해수가 가득 담긴 비이커에 암컷을 거꾸로 뒤집어 놓아 방출된 알이 바닥으로 흘러내려 가라앉도록 하였다. 수집된 알을 세척하기 위하여, 비이커를 격렬히 흔들어 알이 떠오르게 한 후, 10분간 가라 앉혀 상등액을 버리는 작업을 3회 반복하였다. 이 과정을 통하여 크기가 작거나 성숙이 덜 이루어진 알을 제거할 수 있었다.

수정률 실험을 위한 알의 최종 밀도는 300 eggs/ml이 되도록 조절하였다. 수정률 실험에서 최적의 민감도를 얻을 수 있도록 정자의 희석비율을 결정하였는데, 정액을 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000, 1/8000, 1/16000, 1/32000 등의 비율로 희석한 후, 각각의 경우에서의 수정률을 관찰하였고, 이때 수정률이 85-95% 범위를 나타내는 희석비율을 최적 비율로 결정하였다. 정자의 최적 희석비율을 결정한 후, 이 비율대로 미리 준비된 시료에 정자를 노출시켰다. 실험 용기로는 24-well plate (Corning)를 사용하였다. 시료를 각 농도 당 5 반복으로 well에 주입하고, 각 well마다 50 μ l의 정자 희석액을 첨가하였다. 20 분 동안 노출시킨 후, 각 well마다 100 μ l의 알을 주입하였다. 정자와 알이 만나 수정이 이루어지도록 20 분간 더 기다린 후, 10% 완충 포르말린을 100 μ l씩 주입하여 실험을 종료하였다.

실험이 종료된 수, 알의 바깥쪽에 투명한 막(수정막)이 형성되어 있는지 여부를 직접 관찰하여 수정란과 미수정란으로 구별하였다. 각 well별로 100 개의 알을 전도현미경하에서 계수하였다. 수정률은 수정된 알의 백분율로 계산하였다.

발생률 실험은 수정란을 시료에 노출시켜 정상적인 유생으로 발생이 진행되는지 여부를 알아보는 실험이다. 발생률 실험을 위한 수정란의 최종 밀도는 100 eggs/ml이 되도록 조절하였다. 준비된 알에 정액을 5 방울 떨어뜨려 수정을 시키고, 수정률이 95% 이상일 경우에만 실험을 실시하였다. 수정란이 들어 있는 용액 내에 수정하지 못하고 남아 있는 정자를 제거하기 위하여 40- μm 크기의 체를 이용하여 5 회 이상 세척하였다. 시료는 각 정점별로 5 회 반복실험 하였다. 실험 용기로는 20-ml scintillation vial(Wheaton)을 사용하였다. 시료의 각 농도별로 5 ml씩 vial에 주입하였고, 여기에 100 μl 의 수정란을 첨가하였다.

배양은 20°C에서 48시간 동안 이루어졌고, 배양 후 10% 완충 포르말린을 100 μl 씩 주입하여 실험을 종료하였다. 실험이 종료된 후, 각 vial에서 1 ml씩 뽑아 Sedgwick-Rafter Chamber에 넣고, 발생도중 사망한 알(dead), 발생이 지연된 알(retarded), 발생은 되었으나 기형인 알(malformed), 정상적으로 발생된 알(normal)로 구분하여 각각을 계수하였다. 발생률은 정상적으로 발생된 알의 백분율로 계산하였다.

공극수 시료에서 측정된 수정률 또는 발생률이 공극수 내 독성물질의 영향을 받았는지 여부를 확인하기 위하여 ANOVA test를 실시하였다. ANOVA test를 실시하기 이전 각 정점에서의 수정율 및 발생율 값이 정규분포를 보이는지를 확인하기 위하여 정규성 검정을 실시하였는데, 반복실험이 3-5회로 실시하였기 때문에 Shapiro-Wilk검정의 유의수준으로 정규성 검정을 실시하였다. 통계처리는 SPSS vs. 12프로그램을 이용하였다.

다. 중금속 특이 유전자 차등발현을 이용한 노출 평가

(1) 유전자 차등발현 정량

(가) 공극수 노출

페트리디쉬(지름 15cm)에 투기지역의 정점 [서해병(YB-009, YB-049, YB-053, YB-098, YB-101 및 대조구 YBR-001); 동해병(DB-026, DB-079, DB-089, DB-092 및 대조구 DBR-010); 동해정(DJ-016, DJ-056, DJ-059, DJ-064 및 대조구 DJR-009)]에서 채취된 퇴적물로부터 추출된 공극수(20 mL)에 눈썹참갯지렁이(*P. nuntia*) 5 마리씩 넣어 24시간 동안 배양하였다. 또한 비교를 위하여 해수에 희석된 카드뮴 용액(200 µg/L) 20 mL에 같은 수의 눈썹참갯지렁이를 넣어 동일한 시간동안 배양하였다. 일반해수에 배양한 눈썹참갯지렁이(*P. nuntia*)을 대조구로 이용하였다.

(나) RNA 추출 및 정제

대조군 및 실험군의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)를 적당한 크기로 자른 후, 차게 식힌 glass homogenizer에 넣고, 조직 0.5g당 1mL의 Trizol Reagent를 넣어 조직을 완전히 파쇄하였다. 조직 용액을 1.5mL tube에 옮기고 5분간 얼음에서 배양하고, 0.2mL의 chloroform 용액을 첨가하여 잘 섞어주었다. 다시 얼음에서 2~3분간 배양하고, 13,000rpm, 4°C에서 20분간 원심분리하였다. 상등액만 취하여 새 tube로 옮기고, 0.5mL isopropanol을 첨가하여 조심스럽게 섞고, 얼음에서 10분간 반응시킨 후, 13,000rpm, 4°C에서 20분간 원심분리하였다. 상등액을 제거하고, 침전물을 취하였다. 침전물에 75% 에탄올 1mL 첨가하여 세척하고, 13,000rpm, 4°C에서 5분간 원심분리하였다. 에탄올을 제거하고, 공기중에서 말린 후 적당량의 DEPC 처리수에 RNA 침전물을 녹였다. RNA 용액은 -70°C에 보관하였다. Agilent 2100 bioanalyzer(Agilent Technology, USA)를 이용하여 RNA의 순도를 확인하였다.

나) First-strand cDNA의 합성

추출한 RNA 3µg, 5X reactin buffer 4µL, 2mM dNTP 5µL, 10µM Oligo dT 10µL, RNasin RNase inhibitor 0.5µL(40U/µL), Moloney murin leukemia reverse transcriptase 1µL(200U/µL)를 넣고, 증류수를 첨가하여 최종 부피를 20µL로 적정하였다. 합성반응은 42°C에서 1.5시간동안 수행하였다. 반응이 끝난 후에는 reverse transcriptase의 활성을 없애기 위해 95°C에서 5분간 가열하였다.

(다) Real-time quantitative PCR법을 이용한 mRNA 정량

카드뮴 및 각 정점 퇴적물의 공극수에 노출에 의해 유도된 유전자 발현 변화를 real-time quantitative PCR(qRT-PCR)법으로 정량하였다. 각 유전자의 정량분석을 위한 PCR증폭 primer는 앞에서 언급한 갯지렁이류 기원의 목적유전자 13종의 염기서열을 바탕으로 디자인되었으며, 각각의 염기서열은 다음과 같다.

1. Catalase: forward primer 5'-CTT CCC ATC ATA CAC ATT CTA CAT TC-3'; reverse primer 5'-CAT TCG ACC AAC AGG GAT CAG AGG-3'

2. Cu/Zn SOD: forward primer 5'-TGA AAG GAA AGA CAA CCA TAA CGG-3'; reverse primer 5'-CCC AGC TTT CCG TGT TCA TG-3'

3. Cytochrome P450 family 4: forward primer 5'-TGG GAA GAC CTG AAT CAG CT-3'; reverse primer 5'-TTT TCA GGC AGA AAT CTG TC-3'

4. Ferritin: forward primer 5'-AGA ATA TGA GAG GTG GAC GC-3'; reverse primer 5'-AG TCG CTG ATC TCC TTG ATG-3'

5. Glucose peroxidase 1: forward primer 5'- GCC CAG GAG GAG GAT TTG AAC-3'; reverse primer 5'-AGA GTG CGC CGC AAG AAC TG-3'

6. Glucose peroxidase 3: forward primer 5'- AGC CGG GAA GCA ATG AGG AGA TC-3'; reverse primer 5'-GGG TCA GCG CCG TTA CCA TTT AC-3'

7. Glucose S-transferase-a: forward primer 5'- GGT TCA AGC CAA TGT CTG TGC-3'; reverse primer 5'-GCC AGT AGG AAC AAC ATC AAG AAG-3'

8. Glucose S-transferase-k: forward primer 5'- GCA TCA AAG GCG AAG AAG ACA G-3'; reverse primer 5'-CCC ATT TGT TTC GGT AGC GAC-3'

9. Heat shock protein 60: forward primer 5'- GCC AAC AAC ACA AAT GAA GAA GC-3'; reverse primer 5'-GTG ACC TGC TTT GAC ATT GAC TTC-3'

10. Heat shock protein 70-12: forward primer 5'- CGG CGA AGA

GCG GAC AG-3'; reverse primer 5'-GCA AGT CTG TGA GGT CAA GGC-3'

11. Heat shock protein 90a: forward primer 5'- GAA GCA CTT AGA AAT CAA CCC TG-3'; reverse primer 5'-GGC GTG GAT TTG TGG GTC-3'

12. Hemerythrin-like metalloprotein: forward primer 5'-AAG TAT GCC GAC TTC GAC TC-3'; reverse primer 5'-AAG GTG ACG ACA ACT GAC TA-3'

13. Mn SOD: forward primer 5'-CCA GAT CTG CCA TAT GAT TAC AAC-3'; reverse primer 5'-CAA GTG CCT CGG CTA GCT TTT CTT C-3'

PCR조건은 95°C 30초, 60°C 30초, 72°C 30초의 반응을 40회 실시하였다. 분석을 위해 SYBR green DNA PCR Kit (Applied Biosystems, USA)을 이용하였다. qRT-PCR은 3회 반복 실시하였으며, β -actin 유전자(forward primer 5'-GGT CGT ACC ACT GGC ATT GT; reverse primer 5'-CGC TCG GTG AGG ATC TTC AT-3')의 발현량을 기준으로 정량하여, 변화값을 배수로 표시하였다.

(라) 발현량 변화값의 표준화

각 대조군 및 실험군에서 얻어진 변화된 상대적 유전자 발현량 변화 배수는 절대값을 취하여 각 정점별로 합산한 후, 그 평균을 산출하였다. 얻어진 평균값을 기준으로 각 정점별 순위를 정하여, 이를 바탕으로 정점간 상대적인 오염정도를 비교하였다.

3. 결과

가. 성계를 이용한 공극수 독성 검사

(1) 서해병배출해역

서해병배출해역의 퇴적물 공극수에 대한 성계의 수정 실험을 실시한 결과, 대조구의 수정률은 91.1%였고, 현배출해역은 평균 73.4%, 휴식해역은 60.9%, 비배출해역은 78.3%고 비배출해역의 수정률이 가장 높았고, 현 배출해역, 휴식해역의 순으로 나타났다 (그림 2-10-2).

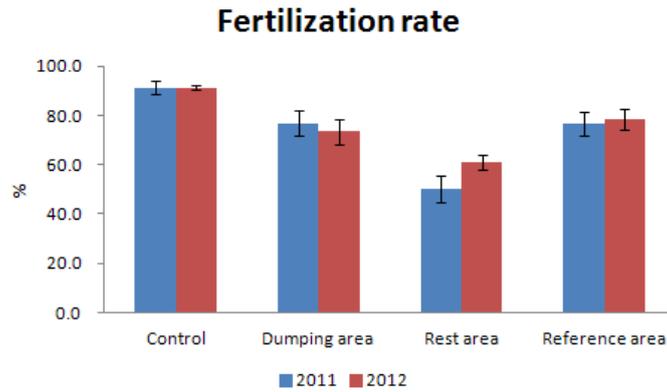


그림 2-10-2. 2011년과 2012년 서해병배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성게 배아의 수정률.

휴식해역의 YB 024에서 3.8%로 가장 낮은 수정률을 보였고, 대조해역의 YBR 005에서 89.6%로 가장 높은 수정률을 보였다 (그림 2-10-3).

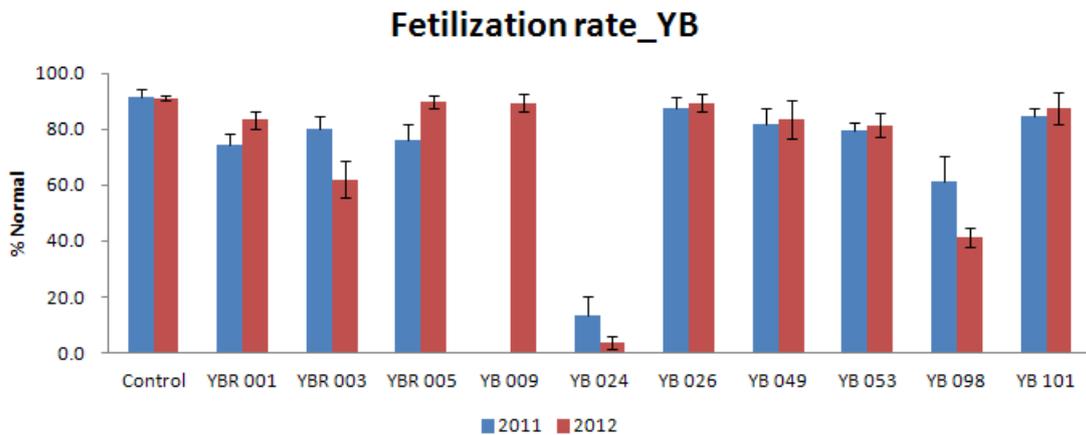


그림 2-10-3. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률.

서해병 배출해역의 성게 수정률은 2011년과 비교하였을 때, 2012년에는 모든 해역에서 유사하게 나타났고, 휴식해역의 수정률은 다소 상승한 것으로 나타났다. 정점별 수정률은 비배출해역의 YBR 003, 휴식해역의 YB 024, 배출해역의 YB 098에서 2011년에 비해 수정률이 2012년에 10-20% 이상 감소하

였다. 그 외의 정점들은 유사하거나 약간 상승된 수정률을 보였다.

서해병 배출해역의 퇴적물 공급수에 노출된 성게 배아의 정상 발생률은 현 배출해역은 평균 3.2%, 휴식해역은 평균 10.7%, 비 배출해역은 평균 0.0%로 나타나, 휴식해역, 현배출해역, 비배출해역의 순으로 나타났다 (그림 2-10-4).

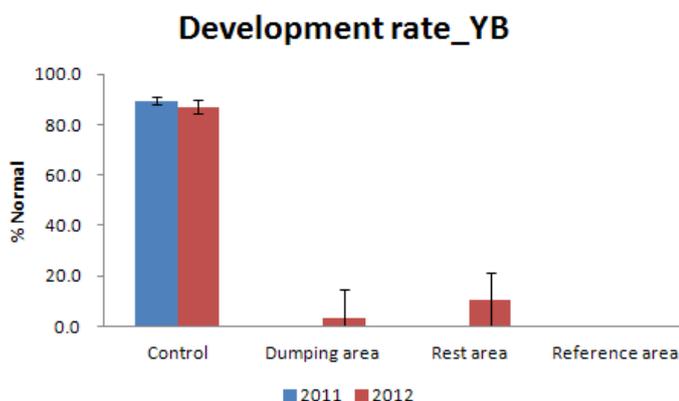


그림 2-10-4. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공급수(100%)에 노출된 성게 배아의 해역별 정상 발생률.

대조실험에서의 정상 발생률은 87.1%였다. 현 배출해역의 YB 049, 휴식해역의 YB 009를 제외한 모든 조사 정점에서 정상 발생이 진행되지 않았고, 일부 정상 발생이 진행된 정점들에서도 정상발생률이 35% 미만으로 낮게 나타났다 (그림 2-10-5). 2011년 조사에서도 모든 조사 정점에서 정상 발생률이 0%로 나타나 2012년과 큰 차이를 보이지 않았다.

정점별로 4개의 단계로 구분하여 발생 상태를 관찰한 결과, 비배출해역의 YBR 003, 휴식해역의 YB 024, 현 배출해역의 YB 053, 098, 101에서는 모두 발생이 전혀 진행되지 않은 'dead' 상태였다 (그림 2-10-6). 그 외에도 비배출해역의 YBR 001, 005, 휴식해역의 YB 026에서는 'dead'의 비중이 가장 높았고, 다음으로 기형상태인 'malform'의 비중이 높게 나타났다.

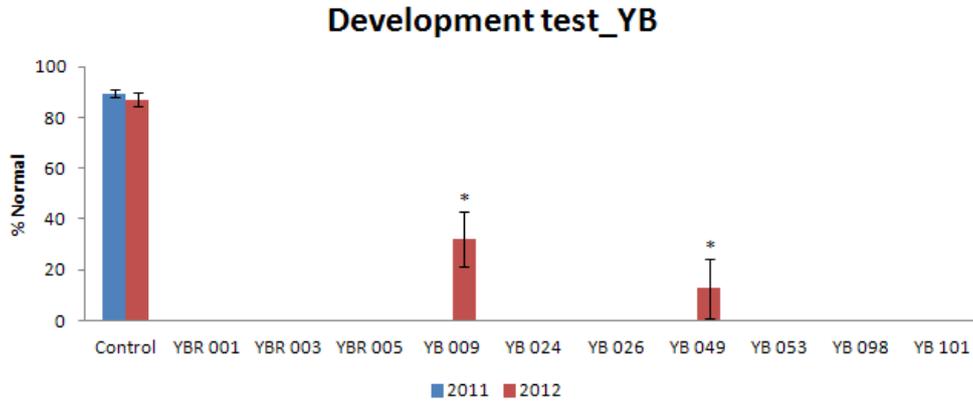


그림 2-10-5. 2011년과 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공극수에 노출된 성게 배아의 정점별 정상 발생률 (*: p<0.05).

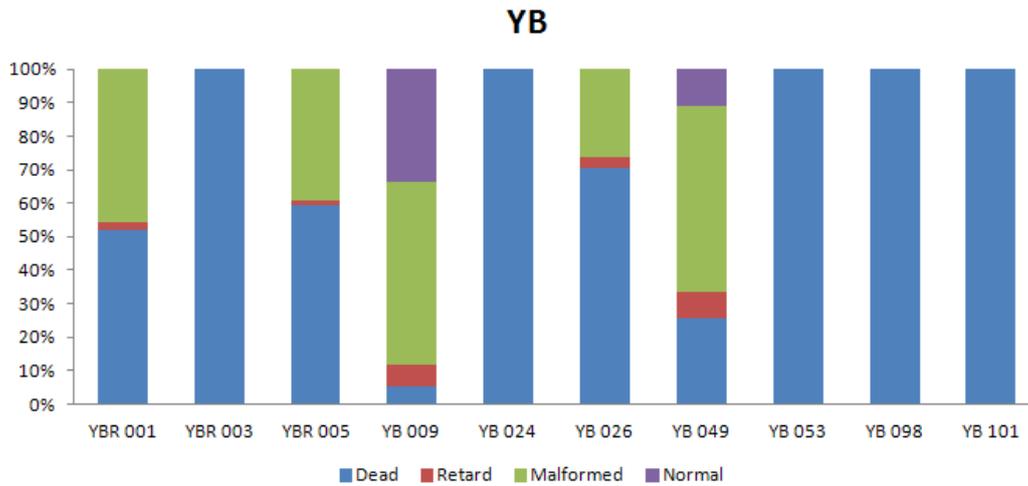


그림 2-10-6. 2012년에 서해병배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성게 배아의 발생 단계별 분포 비율.

(2) 동해병배출해역

동해병배출해역의 퇴적물 공극수에 대한 성게의 수정 실험을 실시한 결과, 대조구의 수정률은 91.1%였고, 현배출해역은 평균 87.3%, 휴식해역은 88.2%, 비배출해역은 77.1%로 휴식해역의 수정률이 가장 높았고, 현 배출해역, 비배출해역의 순으로 나타났다 (그림 2-10-7).

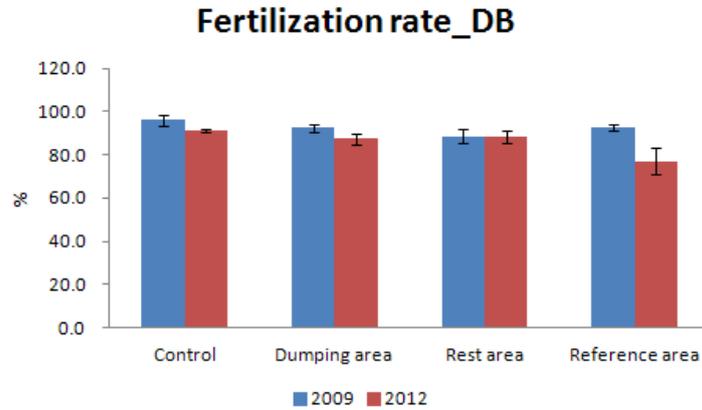


그림 2-10-7. 2009년과 2012년 동해병배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성게 배아의 수정률.

동해병 배출해역에서는 비 배출해역인 DBR 003에서의 수정률이 49.4%로 가장 낮았고, 비배출해역의 DBR 002에서의 수정률이 92.0%로 가장 높았다 (그림 2-10-8). 2009년 조사와 비교하였을 때, 비배출해역의 DBR 003에서의 수정률이 가장 크게 감소하였고, 휴식해역의 DB 026의 수정률도 10% 정도 감소하였다. 그 외의 정점들은 2009년과 2012년에 수정률에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

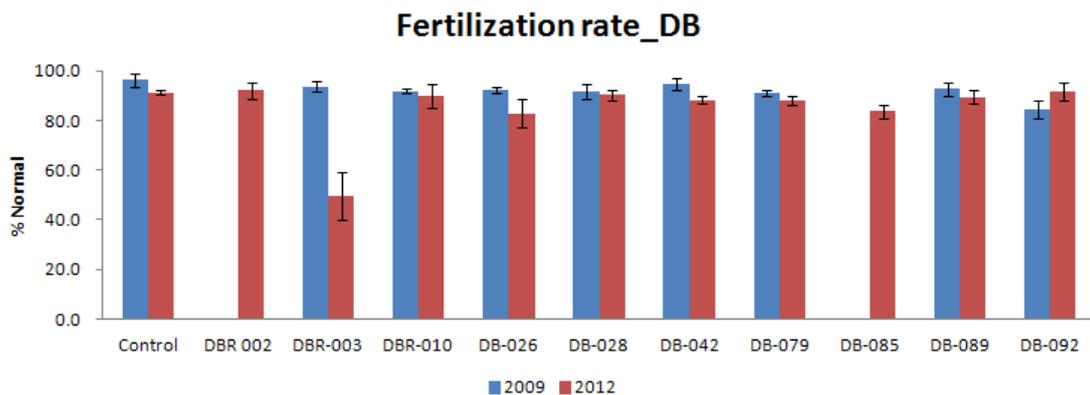


그림 2-10-8. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률.

동해병 배출해역에서의 정상 발생률은 휴식해역에서 평균 33.9%로 가장 높았고, 비배출해역 (29.8%), 현배출해역 (24.6%)의 순으로 나타났다 (그림 2-10-9).

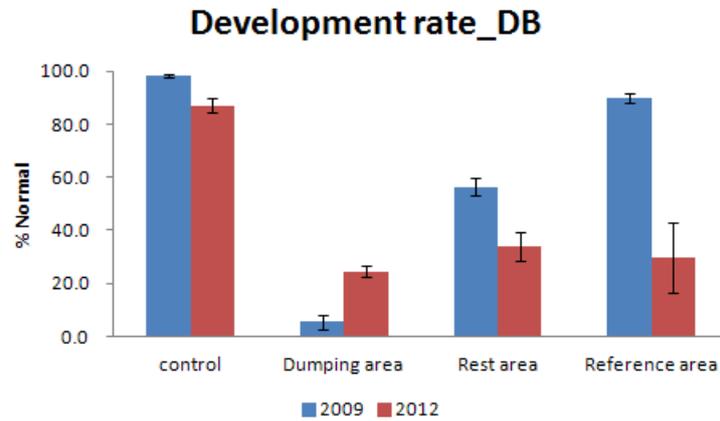


그림 2-10-9. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공급수(100%)에 노출된 성게 배아의 해역별 정상 발생률.

현 배출해역의 정상 발생률은 2009년에 비해 증가한 반면, 휴식해역과 비배출해역의 정상 발생률은 2009년에 비해 감소한 것으로 나타났다. 동해병 배출해역에서는 비배출해역의 DBR 003, 현 배출해역의 DB 026, 휴식해역의 DB 085에서 정상발생이 진행되지 않았고, 휴식해역의 DB 079에서도 5% 미만의 정상발생률을 보였다 (그림 2-10-10).

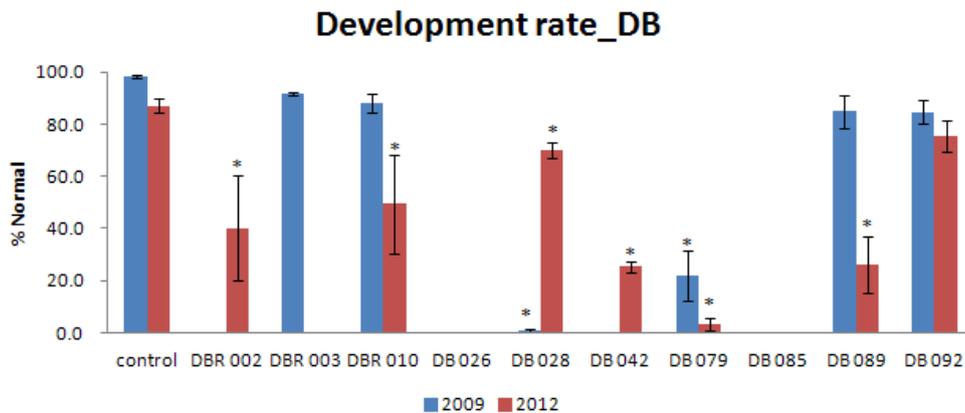


그림 2-10-10. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공급수에 노출된 성게 배아의 정점별 정상 발생률 (*: $p < 0.05$).

정점별로 4개의 단계로 구분하여 발생 상태를 관찰한 결과, 비배출해역의 DBR 002, 현 배출해역의 DB 026, 042, 휴식해역의 DB 079, 085, 089에서는 기형상태인 'malform'의 비중이 높게 나타났다 (그림 2-10-11).

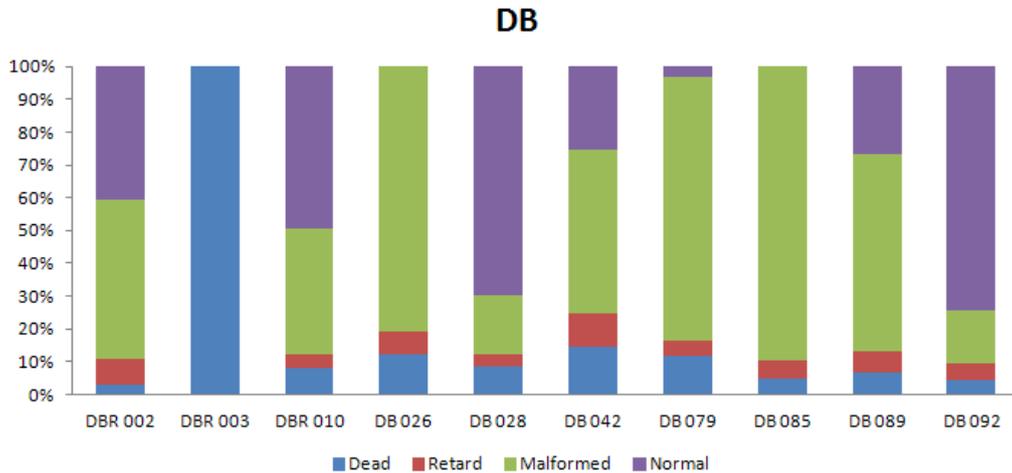


그림 2-10-11. 2012년에 동해정배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성게 배아의 발생 단계별 분포 비율.

(3) 동해정배출해역

동해정배출해역의 퇴적물 공극수에 대한 성게의 수정 실험을 실시한 결과, 대조구의 수정률은 91.1%였고, 현배출해역은 평균 70.4%, 휴식해역은 55.2%로 현 배출해역에 비해 휴식해역의 수정률이 낮게 나타났다 (그림 2-10-12). 이는 비 배출해역의 DJR 020에서 3.2%로 모든 조사 정점 중 가장 낮은 수정률을 보였기 때문이다. 그 외에도 현 배출해역의 DJ 003, 007, 016에서도 상대적으로 낮은 수정률을 보였다. 동해정 배출해역의 수정률은 2010년에 비해 모든 조사 정점에서 낮게 나타났다. 2010년에는 비 배출해역의 DJR 008, 009에서는 90% 이상의 수정률을 보인 반면, 2012년에는 79.6과 32.9로 10-20%가량 수정률이 감소한 것으로 나타났다 (그림 2-10-13). 현 배출해역의 DJ 064에서도 2010년에 비해 10%가량 수정률이 감소하였다. 그 외 정점들에서는 2010년에 수정률 실험을 실시하지 않아 직접적 비교는 불가능하였다.

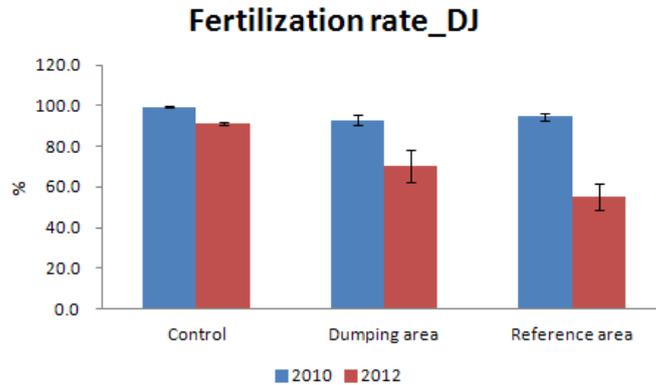


그림 2-10-12. 2010년과 2012년 동해정배출해역 및 주변해역의 퇴적물 공극수에 노출한 성계 배아의 수정률.

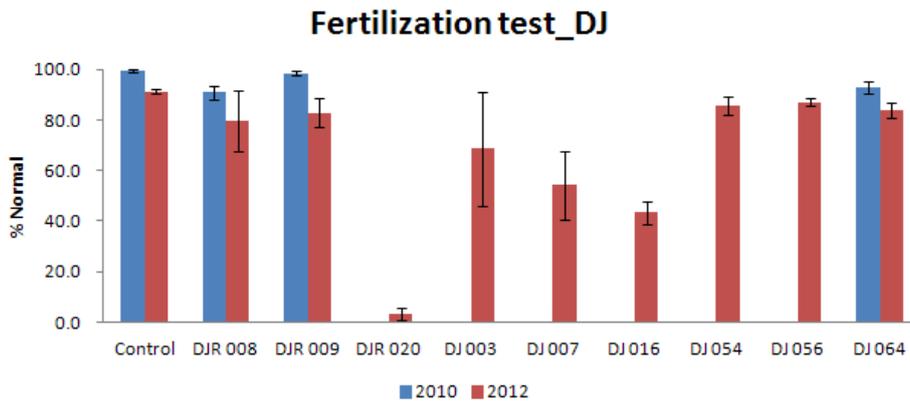


그림 2-10-13. 2010년과 2012년에 동해정배출해역의 각 해역 조사 정점에서 채취된 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 배아의 정점 별 수정률.

동해정 배출해역에서의 성계 배아 정상발생률은 현 배출해역에서는 24%, 비배출해역에서는 0%로 나타났다 (그림 2-10-14). 비배출해역에 위치한 DJR 009, 009, 020 모두 정상 발생률이 0%로 나타났고, 배출해역의 DJ 003, 007, 016, 054에서도 정상발생률이 0%로 나타났다 (그림 2-10-15). 가장 높은 정상 발생률을 보인 곳은 배출해역의 DJ 064로 80.5%의 정상발생률을 보였다. 2010년과 2010년에 모두 성계 발생실험이 수행된 곳은 비배출해역의 DJR 008과 DJ 064뿐이었다. DJR 008에서는 2010년에도 정상 발생률이 0%로 나타

났고, DJ 064에서는 92.7%로 나타나 2012년 조사와 큰 차이를 보이 않았다. 정점별로 4개의 단계로 구분하여 발생 상태를 관찰한 결과, 비배출해역의 DJR 008, 009, 배출해역의 DJ 054, 059에서는 기형상태인 'malform'의 비중이 가장 높았고, 배출해역의 DJ 016에서는 'malform'과 성장지연 상태인 'retard'의 비중이 유사하게 나타났다 (그림 2-10-16).

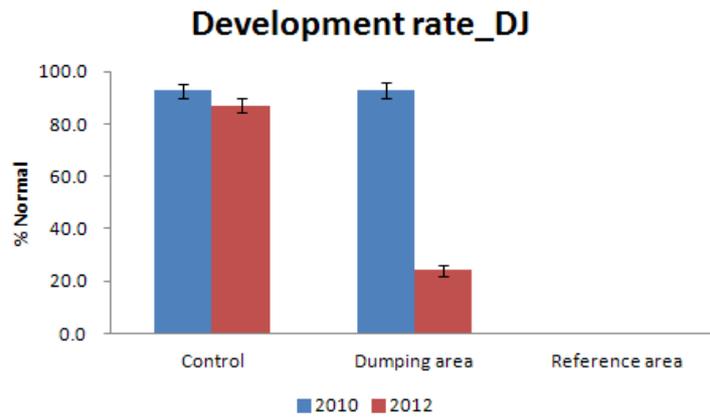


그림 2-10-14. 2010년과 2012년에 동해정배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성게 배아의 해역별 정상 발생률.

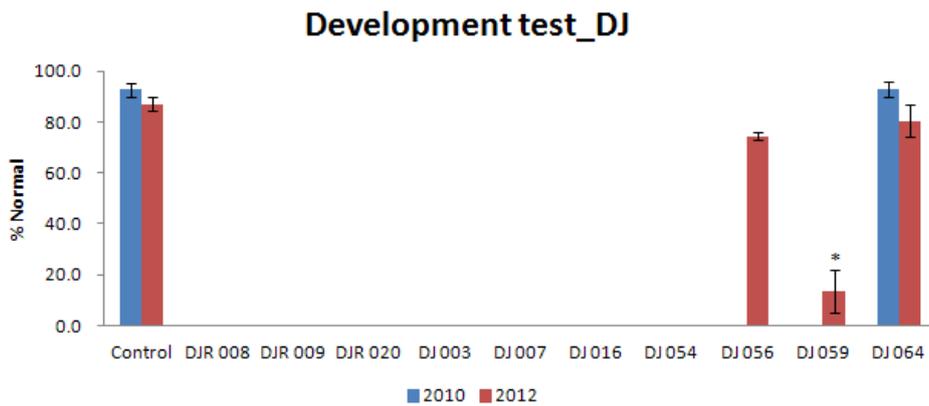


그림 2-10-15. 2009년과 2012년에 동해병배출해역의 퇴적물 공극수에 노출된 성게 배아의 정점별 정상 발생률 (*: p<0.05).

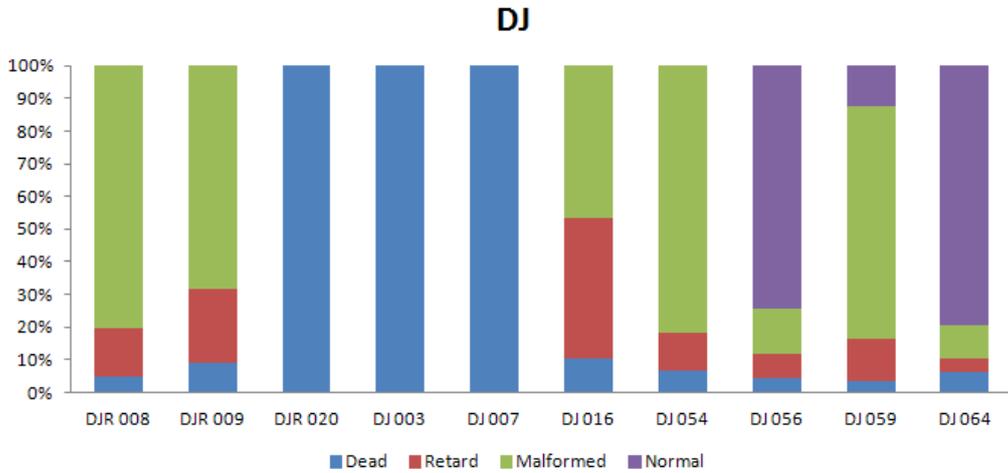


그림 2-10-16. 2012년에 동해정배출해역의 퇴적물 공극수(100%)에 노출된 성게 배아의 발생 단계별 분포 비율.

나. 목적 유전자를 이용한 현장 공극수 노출 평가

(1) 정점별 목적 유전자의 차등 발현 분석

Catalase(CAT), Cytochrome P450 family 4(CYP), Ferritin(Fer), Glucose peroxidase 1(GPx1), Glucose peroxidase 3(GPx3), Glucose S-transferase-a(GSTa), Glucose S-transferase-k(GSTk), Heat shock protein 60(HSP60), Heat shock protein 70-12(HSP70), Heat shock protein 90a(HSP90a), Hemerythrin-like metalloprotein(HLM), Cu/Zn SOD 및 Mn SOD 등 13종의 유전자 발현량을 기준으로 일반 해수에 노출한 대조군; 카드뮴 용액(200 µg/L, ppb)에 노출한 비교군; 비배출해역 정점 및 배출해역 정점에서 채취된 퇴적물에서 추출한 공극수에 노출한 실험군을 대상으로 유전자 발현량을 비교하였다.

(가) 서해병 배출해역

서해병 배출해역의 경우, YB-009, YB-049, YB-053, YB-098, YB-101 및 대조구 YBR-001에 대해 분석을 수행하였다. 계획한 13종의 유전자 중, 증폭물을 얻은 11종의 유전자(Fer, HLM, CAT, GPx1, GPx3, GSTa, GSTk, HSP70, HSP90a, Cu/ZnSOD, MnSOD)에 대한 발현량 변화의 정량 및 표준화가 가능하였다 (표

2-10-1, 그림 2-10-17).

Ferritin(Fer) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 비교군에서 1.79배 증가되었으며, 공극수에 노출한 YB-009에서 3.13배 증가, YB-053에서 2.83배 증가되는 것으로 확인되었다.

Hemerythrin-like metalloprotein(HLM) 유전자는 카드뮴 노출 비교군에서 1.77배 증가하였다. 공극수에 노출한 경우, YB-053에서 2.83배 증가되었다. YB-009의 경우에는 증폭되지 않았다.

카드뮴 용액에 24시간 노출한 비교군의 경우, Catalase(CAT) 유전자는 대조군에 비해 2.46배 발현양이 감소되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, Catalase 유전자의 발현양은 YB-009에서 1.95배 증가, YB-101에서 9.88배 감소되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 1(GPx1) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 2.68배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YB-009에서 5.03배 증가, YB-053에서 1.76배 증가되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 3(GPx3) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.18배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YB-009에서 4.71배 증가, YB-053에서 2.66배 증가되는 것으로 확인되었다.

Glucose S-transferase-a(GSTa) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 1.76배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YB-098에서 2.97배 감소, YB-101에서 1.53배 증가되는 것으로 확인되었다. YB-009의 경우에는 증폭되지 않았다.

Glucose S-transferase-k(GST-k) 유전자 발현은 카드뮴 용액 노출 비교군에서 2.35배 증가되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YB-009에서 1.55배 증가, YB-053에서 1.59배 증가, YB-101에서 2.22배 감소하는 것으로 나타났다.

Heat shock protein 70-12(HSP70) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.09배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YBR-001에서 2.04배 증가, YB-049에서 1.98배 증가, YB-053에서 2.35배 증가, YB-101에서 3.83배 감소되는 것으로 확인되었다. YB-009의 경우에는 유전자 증폭이 일어나지 않아 분석이 불가능하였다.

Heat shock protein 90a(HSP90a) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.42배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YBR-001에서 1.62배 증가, YB-009에서 5.96배 증가, YB-049에서 3.77배 증가, YB-053에서 6.68배 증가, YB-098에서 2.22배 증가, YB-101에서 1.95배 증가되는 것으로 확인되었다.

Cu/Zn SOD 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.07배 발현양이 감소되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, Cu/Zn SOD 유전자의 발현양은 YB-009에서 7.67배 증가, YB-053에서 3.09배 증가되는 것으로 확인되었다.

Mn SOD 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.19배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 YB-053에서 3.29배 증가, YB-101에서 1.86배 증가되는 것으로 나타났다. YB-009에서는 유전자 증폭이 일어나지 않아 분석이 불가능하였다.

표 2-10-1. 서해병 배출해역 5개 정점 및 배출해역 외부의 대조 정점에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 11종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함

	Fer	HLM	CAT	GPx1	GPx3	GST- α	GST- κ	HSP70	HSP90 α	CuZnSOD	MnSOD
Control	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CdCl ₂	1.79	1.77	-2.46	2.68	3.18	1.76	2.35	3.09	4.42	4.07	3.19
YBR-001	1.37	1.14	1.41	1.18	1.07	-1.08	1.46	2.04	1.62	1.02	1.30
YB-009	3.13		1.95	5.03	4.71		1.55		5.96	7.67	
YB-049	1.23	-1.18	1.30	1.00	1.18	-1.19	-1.13	1.98	3.77	1.20	1.27
YB-053	2.83	2.37	-1.45	1.76	2.66	1.42	1.59	2.35	6.68	3.09	3.29
YB-098	-1.24	-1.51	-1.22	-1.13	-1.23	-2.97	1.08	1.28	2.22	1.21	1.48
YB-101	1.41	1.45	-9.88	1.21	1.35	1.53	-2.22	-3.83	1.95	1.01	1.86

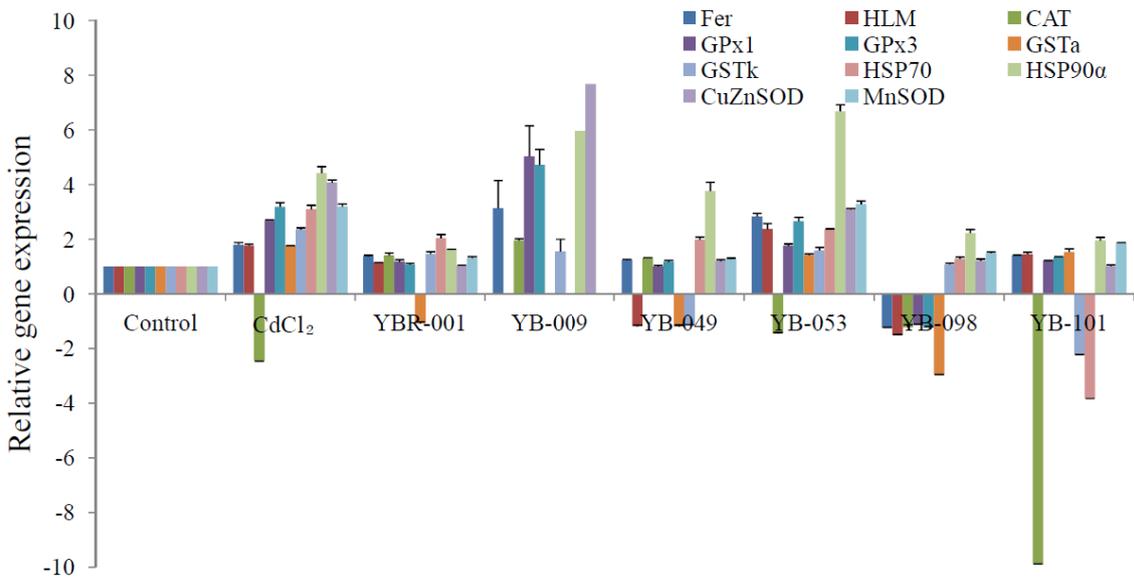


그림 2-10-17. 다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표 11종의 발현량 변화. 서해병 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한 눈썹참갯지렁이에서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함

(나) 동해병 배출해역

동해병 배출해역의 경우, DB-026, DB-079, DB-089, DB-092 및 비배출해역 DBR-010에 대해 분석을 수행하였다. 계획한 13종의 유전자 중, 증폭물을 얻은 11종의 유전자(Fer, HLM, CAT, GPx1, GPx3, GSTa, GSTk, HSP70, HSP90a, Cu/ZnSOD, MnSOD)에 대한 발현량 변화의 정량 및 표준화가 가능하였다 (표 2-10-2, 그림 2-10-18).

Ferritin(Fer) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 비교군에서 1.79배 증가되었으며, 공극수에 노출한 DBR-010에서 5.04배 증가, DB-026에서 2.86배 감소, DB-092에서 1.83배 감소되는 것으로 확인되었다.

Hemerythrin-like metalloprotein(HLM) 유전자는 카드뮴 노출 비교군에서 1.77배 증가하였다. 공극수에 노출한 경우, DB-026에서 1.90배 감소되었다. DB-092에서 1.95배 감소되었다. DBR-010의 경우에는 유전자 증폭이 이루어지지 않아 분석이 불가능하였다.

Catalase(CAT) 유전자는 카드뮴 용액에 24시간 노출한 비교군의 경우, 대조군에 비해 2.46배 발현양이 감소되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, Catalase 유전자의 발현양은 DBR-010에서 2.12배 증가, DB-026에서 151.09배 감소, DB-092의 경우 2.39배 되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 1(GPx1) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 2.68배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DBR-010에서 8.34배 증가, DB-079에서 1.64배 감소되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 3(GPx3) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.18배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DBR-010에서 8.34배 증가, DB-026에서 2.20배 감소, DB-079에서 1.72배 감소, DB-092에서 1.59배 감소되는 것으로 확인되었다.

Glucose S-transferase-a(GSTa) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 1.76배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DB-026에서 2.43배 감소, DB-089에서 1.55배 감소, DB-092에서 4.48배 감소되는 것으로 확인되었다. DBR-010의 경우에는 증폭되지 않았다.

Glucose S-transferase-k(GST-k) 유전자 발현은 카드뮴 용액 노출 비교군에서 2.35배 증가되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DBR-010에서 4.50배 증가, DB-026에서 8.90배 감소, DB-079에서 1.58배 감소하는 것으로 나타났다.

Heat shock protein 70-12(HSP70) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.09배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DB-026에서 17.48배 감소, DB-079에서 2.08배 감소되는 것으로 확인되었다.

Heat shock protein 90a(HSP90a) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.42배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DBR-010에서 9.71배 증가, DB-079에서 1.67배 감소, DB-089에서 2.51배 증가되는 것으로 확인되었다.

Cu/Zn SOD 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.07배 발현양이 감소되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, Cu/Zn SOD 유전자의 발현양은 DBR-010에서 4.42배 증가, DB-079에서 3.70배 감소되는 것으로 확인되었다.

Mn SOD 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.19배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DB-026에서 2.07배 감소, DB-079에서 1.54배 감소되는 것으로 나타났다.

DBR-010에서는 유전자 증폭이 일어나지 않아 분석이 불가능하였다.

표 2-10-2. 동해병 배출해역 4개 정점 및 비 배출해역에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 11종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함

	Fer	HLM	CAT	GPx1	GPx3	GST- α	GST- κ	HSP70	HSP90 α	CuZnSOD	MnSOD
Control	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CdCl ₂	1.79	1.77	-2.46	2.68	3.18	1.76	2.35	3.09	4.42	4.07	3.19
DBR-010	5.04		2.12	8.34	8.46		4.50	-1.05	9.71	4.42	
DB-026	-2.86	-1.90	-151.09	-1.37	-2.20	-2.43	-8.90	-17.48	-1.26	-3.70	-2.07
DB-079	-1.22	-1.30	1.33	-1.64	-1.72	-1.47	-1.58	-2.08	-1.67	1.05	-1.54
DB-089	1.07	1.28	-1.03	-1.34	-1.22	-1.55	-1.16	1.18	2.51	1.07	-1.10
DB-092	-1.83	-1.95	-2.39	-1.37	-1.59	-4.48	-1.38	-1.31	-1.15	-1.45	-1.03

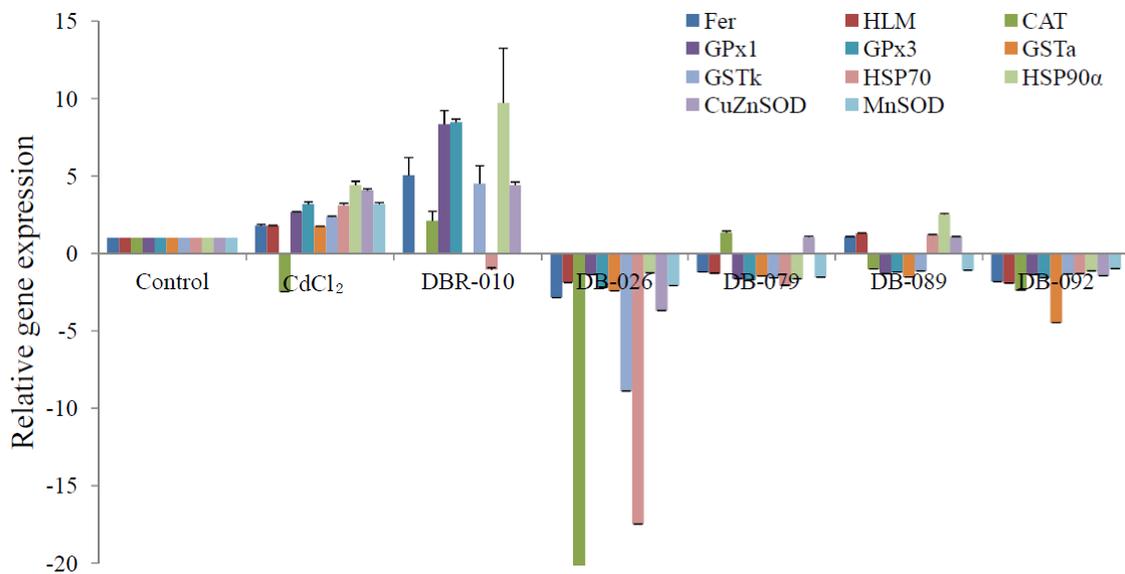


그림 2-10-18. 다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표의 11종의 발현량 변화. 동해병 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한 눈썹참갯지렁이에 서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함

(다) 동해정 배출해역

동해정 배출해역의 경우, DJ-016, DJ-056, DJ-059, DJ-064 및 비배출해역 DJR-009에 대해 분석을 수행하였다. 계획한 13종의 유전자 중, 증폭물을 얻은 10종의 유전자(Fer, HLM, CAT, CYP, GPx1, GPx3, GSTa, HSP70, HSP90a, MnSOD)에 대한 발현량 변화의 정량 및 표준화가 가능하였다 (표 2-10-3, 그림 2-10-19).

Ferritin(Fer) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 비교군에서 4.06배 증가되었으며, 공극수에 노출한 DJR-009에서 3.81배 증가, DJ-016에서 2.68배 증가, DJ-056에서 9.10배 증가, DJ-059에서 10.30배 증가, DJ-064에서 1.74배 증가되는 것으로 확인되었다.

Hemerythrin-like metalloprotein(HLM) 유전자는 카드뮴 노출 비교군에서 4.43배 증가하였다. 공극수에 노출한 경우, DJR-009에서 4.50배 증가, DJ-016에서 4.17배 증가, DJ-056에서 8.68배 증가, DJ-059에서 6.14배 증가, DJ-064에서 1.51배 증가되는 것으로 확인되었다.

Catalase(CAT) 유전자는 카드뮴 용액에 24시간 노출한 비교군의 경우, 대조군과 비교하여 변화가 없었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, Catalase 유전자의 발현양은 DJR-009에서 1.53배 감소, DJ-016에서 1.71배 감소, DJ-056에서 1.95배 감소되는 것으로 확인되었다.

Cytochrome P450 family 4(CYP) 유전자는 카드뮴 용액에 24시간 노출한 비교군의 경우, 대조군과 비교하여 2.63배 증가하였다. 공극수에 24시간 노출한 경우, CYP 유전자의 발현양은 DJR-009에서 1.75배 증가, DJ-016에서 1.95배 증가, DJ-056에서 4.05배 증가, DJ-059에서 5.49배 증가되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 1(GPx1) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 2.03배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DJR-009에서 1.98배 증가, DJ-016에서 2.56배 증가, DJ-056에서 3.99배 증가, DJ-059에서 3.29배 증가되는 것으로 확인되었다.

Glucose peroxidase 3(GPx3) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.99배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DJR-009에서 5.52배 증가, DJ-016에서 4.16배 증가, DJ-056에서 8.48배 증가, DJ-059에서 7.17배 증가되는 것으로 확인되었다.

Glucose S-transferase-a(GSTa) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 4.68배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출

한 경우, 유전자의 발현양은 DJR-009에서 4.58배 증가, DJ-016에서 4.49배 증가, DJ-056에서 9.83배 증가, DJ-059에서 8.25배 증가, DJ-064의 경우 2.15배 증가되는 것으로 확인되었다.

Heat shock protein 70-12(HSP70) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 1.62배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DJ-016에서 1.75배 증가, DJ-056에서 2.75배 감소되는 것으로 확인되었다.

Heat shock protein 90a(HSP90a) 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군과 비교하여 변화가 없었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DJR-009에서 1.86배 증가, DJ-016에서 1.56배 증가, DJ-056에서 3.29배 증가되는 것으로 확인되었다.

Mn SOD 유전자는 카드뮴 용액에 노출한 경우, 대조군에 비해 3.13배 발현양이 증가되는 것으로 확인되었다. 공극수에 24시간 노출한 경우, 유전자의 발현양은 DJR-009에서 2.88배 증가, DJ-016에서 3.31배 증가, DJ-056에서 5.13배 증가, DJ-059에서 3.40배 증가되는 것으로 확인되었다.

표 2-10-3. 동해정 배출해역 4개 정점 및 비배출해역에서 채취된 퇴적물 공극수 노출에 의해 유도된 다모류 기원의 목적 유전자 10종의 발현양 변화 배수. 대조군의 발현양에 대한 상대 배수로 표시함

	Fer	HLM	CAT	CYP	GPx1	GPx3	GST- α	Hsp70	HSP90 α	MnSOD
Control	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CdCl ₂	4.06	4.43	-1.01	2.63	2.03	4.99	4.68	1.62	-1.10	3.13
DJR-009	3.81	4.50	-1.53	1.75	1.98	5.52	4.58	1.47	1.86	2.88
DJ-016	2.68	4.17	-1.71	1.95	2.56	4.16	4.49	1.75	1.56	3.31
DJ-056	9.10	8.68	-1.95	4.05	3.99	8.48	9.83	-1.21	3.29	5.13
DJ-059	10.30	6.14	-1.01	5.49	3.29	7.17	8.25	-2.75	1.13	3.40
DJ-064	1.74	1.51	-1.04	1.08	1.09	1.47	2.15	1.20	-1.19	1.37

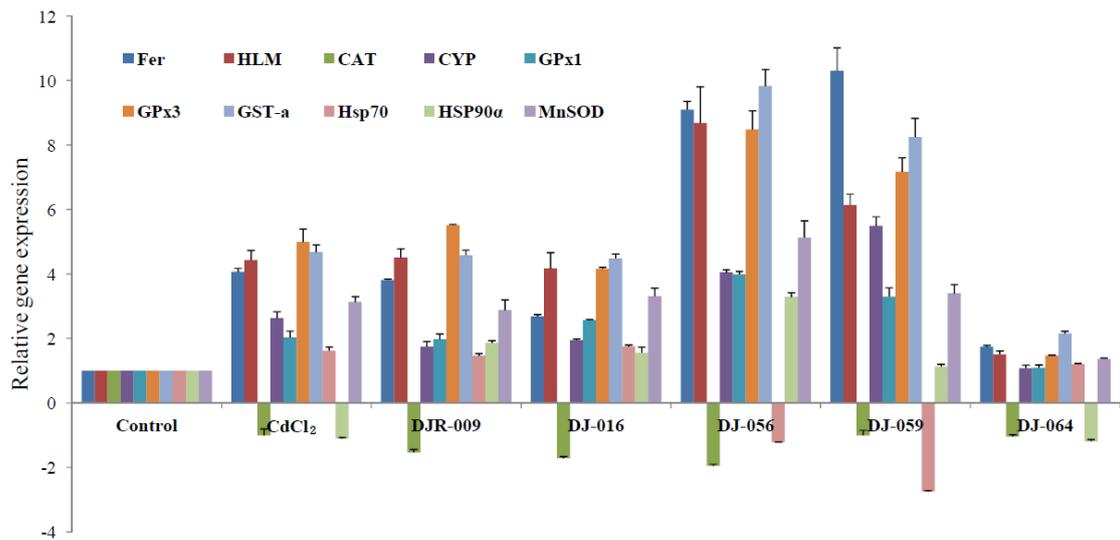


그림 2-10-19. 다모류 기원 생물스트레스 대응 유전자 지표의 10종의 발현량 변화. 동해정 배출해역 각 정점의 퇴적물 공극수에 노출한 눈썹참갯지렁이에서의 목적 유전자 변화를 qRT-PCR 방법으로 정량 분석함

(2) 조사 정점별 상대적 오염도 비교

증폭이 가능하여, 대조구에서의 발현양과의 상대적 정량비교가 가능한 목적 유전자의 발현양 변화를 기초로, 각 정점간의 오염 정도의 순위를 유추하였다. 즉, 각 목적 유전자들의 발현양 증가 및 감소 비율의 절대값을 취하여 합산하고, 평균을 내어 그 값이 큰 순으로 나열함으로써 각 정점이 내포하고 있는 생물 스트레스 요인의 정도를 비교하였다.

(가) 서해병 배출해역

서해병 배출해역의 경우 표 2-10-4과 같다.

표 2-10-4. 서해병 해역 조사 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과

	No	Sum	Mean
Control	7	7	1
CdCl ₂	7	20.96	2.99
YBR-001	7	9.13	1.30
YB-009	7	30.00	4.29
YB-049	7	10.81	1.54
YB-053	7	20.06	2.87
YB-098	7	9.34	1.33
YB-101	7	19.04	2.72

YB-009의 경우에는 7종의 유전자들에서만 증폭 결과를 얻을 수 있었으므로 이들 유전자들에 대한 분석결과만을 고려하였다. 그 결과 각 정점의 상대적 오염도는 YB-009가 가장 심하며, YB-053, YB-101, YB-049, YB-098 및 YBR-001의 순으로 예상된다. YB-098은 폐기물 투기지역과는 상당히 떨어져 있는 YBR-001과 비슷한 수준으로 추정된다.

(나) 동해병 배출해역

동해병 배출해역 조사정점의 공극수 노출에 의한 갯지렁이 목적 유전자 발현 변화량을 표준화하였다 (표 2-10-5). DBR-010 정점의 경우 8종의 목적 유전자에서만 증폭이 확인되어, 이들 유전자에 대해서 얻어진 값에 대해서만 분석을 수행하였다. 그 결과 DB-026 정점의 오염이 가장 심하며, DBR-010, DB-092, DB-079, 그리고 DB-089의 순으로 추측된다. DB-092는 DB-079와 비슷한 수준으로 예상된다.

표 2-10-5. 동해병 해역 각 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과

	No	Sum	Mean
Control	8	8	1
CdCl ₂	8	24.05	3.01
DBR-010	8	43.62	5.45
DB-026	8	188.85	23.61
DB-079	8	12.27	1.53
DB-089	8	10.58	1.32
DB-092	8	12.48	1.56

(다) 동해정 배출해역

동해정 해역 조사정점의 공극수 노출에 의한 갯지렁이 목적 유전자 발현 변화량을 표준화하여 표 2-10-6에 나타내었다. 조사한 모든 정점에서 적용한 10종의 유전자에 대해 분석이 가능하였다. 그 결과 DJ-056 정점의 오염정도가 가장 심한 것으로 예측되며, DJ-059, DJR-009, DJ-016, DJ-064의 순으로 예측된다.

본 연구를 통해 이루어진 환경 스트레스 관련 유전자들의 발현양 변화에 기초한 각 정점 퇴적물의 오염 정도 확인에 대한 연구는 해양환경 모니터링의 초기과정에서 각 지역에 대한 대략적인 오염 상황을 신속히 예측할 수 있는 중요한 자료를 제공하는 매우 유용한 최신 연구 기법이라 확신한다.

표 2-10-6. 동해정 해역 각 정점의 유전자 발현 변화량 표준화 결과

	No	Sum	Mean
Control	10	10	1
CdCl ₂	10	29.7	2.97
DJR-009	10	29.87	2.99
DJ-016	10	28.34	2.83
DJ-056	10	55.71	5.57
DJ-059	10	48.93	4.89
DJ-064	10	13.83	1.38

제 11 절 배출해역 수산자원 조사

1. 서 론

우리나라에서는 육상 폐기물의 처리 부담 경감 및 하천연안 오염보호를 목적으로 연안에서 멀리 떨어져 있는 3개해역(서해병, 동해병, 동해정)을 투기해역으로 지정 운영하고 있다. 서해병은 서해안에 위치하고 있으며, 해역면적은 3,165km²으로 평균수심이 80m이다. 동해정의 경우 남동해안에 위치하고 있으며, 해역면적이 1,616km², 평균수심이 150m이다. 동해병은 동해안에 위치하고 있으며, 해역면적이 3,700km², 평균수심 200~2,000m이다.

1988년 이후 최근 2005년까지 해양투기량은 급격히 증가하고 있으며, 최근에 2006년부터 감소하기 시작하여 2012년까지 해양투기량을 4,000,000톤으로 감소할 예정에 있다. 이와 같이 폐기물의 해양투기 제한 강화 방안으로 허용 품목을 14종(건설공사오니, 정수공사오니, 하수도준설토, 적토 폐산/폐알칼리 투기 금지)에서 9종으로 축소되었는데, 축산폐수, 음식물폐수, 하수오니, 폐수오니, 폐수, 분뇨 등을 투기하고 있다. 투기해역별로 살펴보면, 2006년도 동해병 해역에 5,475,000m³(62.1%), 서해병 해역에 2,160,000m³(24.5%), 동해정 해역에 1,177,000m³(13.4%)으로 나타나고 있다. 동해병 해역은 배출해역의 환경 용량이 커 상대적으로 해양 투기량이 많은 것으로 보인다. 동해정 해역에 배출하던 음식물류폐기물 처리폐수는 동해병 해역에 배출토록 시행규칙 개정에 따라 동해병 해역의 배출량이 많아지고 있다.

법적 근거로 국제협약은 런던협약(72LC)에서 1972년 폐기물 및 그 밖의 물질투기에 의한 해양오염방지에 관해 협약하였고, 런던협약('96의정서)에서 더욱 현실화시켜 해양투기 규제를 강화한 '1996 의정서' 채택하고 있다. 국내에서는 해양오염방지법에 의해 육지에서 처리 곤란한 폐기물을 해양수산부령이 정하는 바에 따라 해양투기 할 수 있는 특례를 인정하고 있다.

폐기물 해양투기 억제 대책으로 폐기물 해양투기 허용량을 감축하고 있으며, 관계기관 등의 협력을 통하여 폐기물의 육상처리 확대, 지도·단속 강화를 통하여 해양투기 억제를 하고 있다. 폐기물 배출해역을 보호하기 위해

배출해역 오염구역 휴식년제 시행, 배출해역에 대한 정기적인 해양환경오염도 조사, 폐기물 해양배출 정보관리 시스템 구축 등의 노력으로 해양폐기물 배출에 대한 관리를 지속적으로 수행 되어져야 할 것이다.

그러므로 폐기물 배출해역인 동해병에 대한 조업실태 및 어종별 어획량을 파악하고, 폐기물 배출로 인한 해양생물상의 변화 및 폐기물 배출이 수산자원에 미치는 영향에 대해 밝혀져야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 폐기물 배출해역인 동해병의 수산자원변동 상황을 조사·분석하여 해양폐기물 배출해역의 관리 방안에 대한 과학적인 근거 자료를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

동해병의 폐기물 배출해역에 있어서 해양폐기물 배출로 인한 수산자원의 변동을 파악하기 위하여 최근 9년 10개월, 2003~2012년간(2012년은 1월에서 10월 자료, 수협중앙회 자료)에 대한 어업별 조업실태 및 어획 동향을 분석하였다.

동해병의 폐기물 배출해역은 78해구에 78-7, 78-8, 78-9의 3개의 소해구, 84해구에 9개 모든 소해구와 89해구의 89-7, 89-8, 89-9의 소해구로 총 15개의 소해구를 대상으로 하였다.

각 소해구에 대한 조업실태를 파악하기 위해 수협중앙회 무선국에서 집계하고 있는 일별 위치보고 및 어획량 자료를 조사하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 어업별 폐기물 배출해역의 조업실태

(1) 조업 척수

수협 무선국 자료에 의한 동해병 해역의 일별 위치보고 자료를 분석한 결과, 총 16개의 업종에서 907척이 조업을 한 것으로 나타났다 (표 2-11-1).

표 2-11-1. 동해명 폐기물 배출해역에서의 어업별 조업척수, 2003년~2012년

(단위 : 척)

업종 \ 연도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
근해채낚기어업	131	126	170	296	185	114	162	203	237	148	436
근해유자망어업	11	13	18	19	19	25	39	39	36	28	104
기타통발어업	5	7	5	6	9	28	32	26	26	33	70
근해외출낚시어업	31	29	31	44	15	12	15	19	21	11	68
근해연승어업	4	3	2	11	13	3	19	15	11	23	61
연안자망어업	9	8	7	9	4	3	15	19	22	10	56
연안복합어업		1	8	7	3	2	11	13	8	5	36
동해구트롤어업	1	3	1	5	2	1	3	14	17	3	29
동해구기선저인망어업		2	1		1	4	6	1	1	11	15
외끌이서남해구기선저인망어업	6	10	2	9	10	9	8	7	7	7	11
소형선망어업			1				4			1	6
연안통발어업	1					1		3		2	5
장어통발어업			1	2	2						5
근해고정자망어업				1	1			1	2	1	3
양조망어업										1	1
오징어채낚기어업		1									1
총합계	199	203	247	409	264	202	314	360	388	284	907

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

연도별로 살펴보면, 2003년에 199척에서 2004년 203척, 2005년 247척, 2006년 409척으로 매년 증가하는 양상이었다. 이후 2007년 264척, 2008년 202척으로 감소하였으며 이후에 2011년까지 조업척수가 증가하는 양상이었다.

2009년 자료는 10개월 동안 284척이 조업하였다.

각 어업별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 436척으로 전체 어업척수의 48.1%로 가장 많은 조업을 하고 있었다. 다음으로 근해유자망어업이 104척(11.5%), 기타통발어업이 70척(7.7%), 근해외줄낚시어업 65척(7.5%)으로 많이 조업을 하고 있었다. 다음으로 근해연승어업, 연안자망어업, 연안복합어업, 동해구트롤어업, 동해구기선저인망어업, 외끌이서남해구기선저인망어업 순이었으며, 그 외 조업어선은 미미하였다.

연도별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 2003년 131척에서 점점 증가하여 2006년 296척으로 증가하였다. 이후 2008년까지 감소하였으며, 이후 2011년까지 증가하는 양상이었다. 근해 유자망 어업은 2003년에 11척이 조업을 시작하여 2009년과 2010년에 39척으로 증가하는 양상을 보였다. 기타 통발어업은 2003년에 5척에서 2009년에 32척으로 가장 많은 척수가 조업하고 있었다.

(2) 조업 일수

조업일수를 살펴보면, 9년 10개월간 907척이 11,010일을 조업을 한 것으로 나타났다(표 2-11-2).

연도별로 살펴보면, 2003년에 576일에서 매년 증가하여 2006년 1,819일로 가장 높은 값을 보였으며, 이 후 2007년에 970일, 2008년 867일로 감소하였다. 이후 2009년부터 2011년까지 증가하는 양상이었다.

각 어업별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 6,571일로 전체 조업일수의 59.7%로 가장 많은 조업을 하고 있었다. 다음으로 근해유자망어업이 980일(8.9%), 외끌이서남해구기선저인망어업이 976일(8.9%), 기타통발어업이 930일(8.5%), 근해외줄낚시어업이 743일(6.8%)로 많은 조업일수를 보였다. 그 외 연안자망어업, 근해연승어업, 연안복합어업의 순이었다.

연도별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 2003년 386일에서 점차 증가하여 2006년에 1,419일로 가장 높은 조업일수를 보였고 이후 2008년까지 감소하였다. 이후 2011년까지 조업일수가 다시 증가하는 양상이었다.

표 2-11-2. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어업별 조업일수, 2003년~2012년
(단위 : 일)

년 도 업 종	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
근해채낚기어업	386	388	516	1,419	696	394	489	706	1,150	427	6,571
근해유자망어업	33	26	32	51	30	77	191	244	216	80	980
외끌이서남해구기선저인망어업	19	105	2	49	148	263	166	72	53	99	976
기타통발어업	24	78	38	12	11	84	210	174	153	146	930
근해외줄낚시어업	88	70	108	206	39	23	40	56	80	33	743
연안자망어업	19	26	15	22	7	8	35	52	64	19	267
근해연승어업	4	3	2	36	27	7	39	25	21	77	241
연안복합어업	0	1	21	9	6	2	25	28	32	25	149
동해구트롤어업	1	3	2	7	2	3	4	19	25	3	69
동해구기선저인망어업	0	2	1	0	1	5	6	4	2	13	34
근해고정자망어업	0	0	0	6	1	0	0	1	10	6	24
연안통발어업	2	0	0	0	0	1	0	4	0	3	10
장어통발어업	0	0	4	2	2	0	0	0	0	0	8
소형선망어업	0	0	1	0	0	0	4	0	0	1	6
양조망어업	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
오징어채낚기어업	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
합계	576	703	742	1,819	970	867	1,209	1,385	1,806	933	11,010

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

근해유자망어업은 2003년에서 2008년까지 낮은 조업일수를 보였으며, 이후 2009년에서 2011년까지 높은 조업일수를 보였다. 외끌이서남해구기선저인망어업은 2003년 19일 조업하였으며 이후 감소하여 2005년에 2일을 조업하였다. 이후 증가하여 2008년 263일로 가장 높은 값을 보였으므로 이후 감소하는 양상이었다.

기타통발어업은 2003년에서 2008년까지 낮은 조업일수를 보였으며, 2009년에 가장 높은 210일이었으며, 이후 감소하는 양상이었다.

(3) 어획량

어획량으로 살펴보면(표 2-11-3), 6년 10개월간 907척이 11,010일 조업을 하여 7,593톤을 어획한 것으로 나타났다. 연도별로 살펴보면 2003년에 392톤에서 2004년 534톤, 2005년 400톤이었으며, 2006년 1,136톤을 가장 높은 값을 보였다. 2007년에 728톤, 2008년 865톤, 2009년에 677톤이었으며 이후 어획량이 증가하여 2012년에 10개월동안 1,051톤이 어획되었다.

각 어업별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 3,210톤으로 전체 어획량의 42.3%로 가장 높은 값을 보였다. 다음으로 기타통발어업이 2,577톤(33.9%), 외끌이서남해구기선저인망어업이 1,101톤(14.5%), 근해외줄낚시어업이 444톤(5.8%)의 순이었다. 그 외에 근해유자망어업(143톤), 연안자망어업(35톤), 근해연승어업(27톤), 연안복합어업(20톤), 동해구트롤어업(18톤)의 순으로 나타났다.

연도별로 살펴보면, 근해채낚기어업이 2003년 278톤, 2004년 258톤, 2005년 250톤을 어획하였고, 2006년 852톤으로 가장 높은 값을 보였다. 이후 어획량이 감소하는 양상이었으며, 2010년 211톤, 2011년 392톤으로 증가하였다. 기타통발어업은 2003년에 7톤으로 낮은 값을 보였으며 2008년 411톤으로 가장 높은 값을 보였다. 외끌이서남해구기선정니망어업은 2005년에 2톤으로 낮은 값을 보였으며 2007년과 2008년에 각각 206톤, 252톤으로 높은 값을 보였다. 근해외줄낚시어업은 2006년에 114톤으로 높은 값을 보였다.

표 2-11-3. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어업별 어획량, 2003년~2012년

(단위 : 톤)

업종	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
근해채낚기어업	278	258	249	852	408	168	143	211	392	252	3,210
기타통발어업	6	169	67	44	57	411	302	550	374	597	2,577
외끌이서남해구기선 저인망어업	16	50	2	60	206	252	182	83	81	170	1,101
근해외줄낚시어업	85	39	65	114	32	13	19	19	39	20	444
근해유자망어업	3	8	7	23	14	12	23	29	18	6	143
연안자망어업	3	4	2	14	2	1	4	1	4	1	35
근해연승어업	1	-	1	15	4	2	1	1	-	3	27
연안복합어업		1	3	3	2	1	3	3	2	3	20
동해구트롤어업	-	-	2	11	2	1	2	-	-	-	18
동해구기선저인망어업		3	-		1	4	-	2	-	-	10
장어통발어업			2	1	2						4
근해고정자망어업				1	-			-	1	-	3
연안통발어업	-					1		-		-	1
오징어채낚기어업		1									1
소형선망어업			-				-			-	-
양조망어업										-	-
합계	392	534	400	1,137	728	865	677	899	911	1,051	7,593

* - : 1톤 미만

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

나. 해구별 폐기물 배출해역의 조업실태

(1) 조업 척수

총 15개의 소해구를 대상으로 조업 척수를 살펴보면, 89-7 소해구에서 401척으로 전체 출어 척수의 12.3%로 가장 높은 값을 보였다. 다음으로 84-5 해구가 350척(10.7%)으로 높은 값을 보였다. 다음으로 84-7 소해구(301척), 78-7 소해구(284척), 89-8 소해구(259척), 84-8 소해구(248척), 84-1 소해구(242척), 84-3 소해구(231척), 78-8 소해구(219척), 84-2 소해구(202척), 84-6 소해구(197척), 78-9 소해구(195척), 89-9 소해구(133척) 순이었다. 소해구 84-4, 소해구 84-9에서는 조업 어선이 없었다(표 2-11-4).

표 2-11-4. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 조업척수, 2003년~2012년
(단위 : 척)

해구	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
78-7	7	9	34	36	28	44	61	76	99	34	284
78-8	8	11	30	26	16	19	42	67	51	32	219
78-9	5	4	14	22	7	12	27	85	51	15	195
84-1	16	11	32	31	26	19	40	82	65	18	242
84-2	9	19	28	12	31	20	24	39	58	28	202
84-3	19	13	35	32	15	7	30	82	65	31	231
84-5	33	35	78	156	62	24	21	69	73	42	350
84-6	4	10	25	46	14	9	26	64	43	26	197
84-7	15	42	38	80	15	14	65	61	83	46	301
84-8	8	10	20	79	20	15	28	56	59	44	248
89-7	80	96	81	188	117	88	137	76	183	125	401
89-8	87	74	62	140	60	23	33	47	93	42	259
89-9	21	33	11	61	4	2		8	31	4	133
합계	312	367	488	909	415	296	534	812	954	487	3,262

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

년도별로 살펴보면, 89-7 소해구는 2003년 80척이 조업을 하였으면, 2006년 188척으로 가장 높은 값을 보였다. 84-5 소해구에서는 2003년 33척으로 이후 증가하여 2006년 156척으로 가장 높은 값을 보였으며, 이후 감소하여 2009년 21척으로 가장 낮은 값을 보였다. 84-7 소해구에서는 2003년 15척으로 이후 증가하여 2006년 80척으로 가장 높은 값을 보였다.

(2) 조업 일수

조업일수를 살펴보면(표 2-11-5), 소해구별로 소해구 89-7가 3,726일로 전체 조업일수의 33.8%로 가장 높은 값을 보였다. 다음으로 89-8 소해구(1,605일), 84-5 소해구(1,050일)로 높은 값을 보였다.

표 2-11-5. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 조업일수, 2003년~2012년
(단위 : 일)

해 구	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
78-7	7	8	51	47	28	47	99	95	149	44	575
78-8	14	15	43	39	21	24	68	88	66	35	413
78-9	5	4	14	24	7	42	36	104	67	19	322
84-1	17	13	39	40	33	21	62	161	108	47	541
84-2	12	25	37	12	49	23	31	49	89	34	361
84-3	23	20	39	41	18	8	37	105	91	34	416
84-5	54	66	128	273	185	83	24	100	85	52	1,050
84-6	4	11	34	69	16	10	30	111	52	39	376
84-7	16	77	61	114	19	42	134	121	144	86	814
84-8	13	35	29	104	24	24	74	92	87	73	555
89-7	177	241	159	622	395	428	489	252	615	348	3,726
89-8	198	143	92	344	169	113	125	95	209	117	1,605
89-9	36	45	16	90	6	2	0	12	44	5	256
합계	576	703	742	1,819	970	867	1,209	1,385	1,806	933	11,010

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

(3) 어획량

어획량으로 살펴보면(표 2-11-6), 소해구 89-7에서 2,453톤을 채집하여 전체 어획량의 32.3%로 많은 양을 채집하였다. 다음으로 소해구 89-8에서 1,387톤(18.3), 소해구 84-7에서 814톤(10.7%)이 어획되었다. 소해구 78-9에서 72톤으로 가장 낮은 값을 보였다.

표 2-11-6. 동해병 폐기물 배출해역에서의 소해구별 어획량, 2003년~2012년
(단위 : 톤)

해 구	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
78-7	2	5	12	27	18	7	20	51	52	53	247
78-8	4	6	9	28	13	24	10	9	5	6	114
78-9	1	3	5	15	3	4	2	8	12	19	72
84-1	2	4	17	18	10	29	15	151	90	68	404
84-2	1	8	8	5	12	3	19	46	27	26	155
84-3	3	9	9	25	12	2	6	22	8	43	139
84-5	21	30	59	146	82	40	17	38	73	63	569
84-6	1	5	25	41	30	63	1	85	45	103	398
84-7	2	126	34	88	37	106	95	128	14	184	814
84-8	3	41	23	58	9	165	180	81	33	66	660
89-7	172	153	114	394	284	329	207	195	362	243	2,453
89-8	159	109	71	228	215	92	106	77	157	173	1,387
89-9	19	34	13	65	3	2	-	8	33	3	182
합계	392	534	400	1,136	728	865	677	899	911	1,051	7,593

* - : 1톤 미만

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

다. 시도별 폐기물 배출해역의 조업실태

(1) 조업 척수

시도별로 살펴보면(표 2-11-7), 경상북도가 435척으로 가장 많은 어선들이 조업하고 있으며, 다음으로 강원도가 168척, 경상남도가 68척, 부산시가 61척, 제주도가 56척 순이었으며 충청남도 3척, 전라남도 2척, 전라북도와 충청북도에서 각각 1척이 동해병 폐기물 배출해역에서 조업을 하고 있었다.

연도별로 살펴보면, 경상북도가 2003년 107척이 조업을 시작하여 점차 증가하여 2006년에 196척으로 많은 어선이 조업을 하고 있었으며, 이후 감소하는 양상이었으며 2009년 이후 증가하여 2011년에 198척으로 가장 많은 어선이 조업을 하였다. 강원도의 경우 2004년 33척으로 가장 낮은 값을 보였으며 이후 증가하여 2006년에 125척으로 가장 많은 어선이 조업을 하고 있었다. 경상남도의 경우 2003년 22척이 조업하였으며, 2006년 34척으로 가장 높은 값을 보였으며, 2008년 15척으로 가장 적은 어선이 조업을 하였다. 부산시의 경우 2010년 27척으로 가장 높은 값을 보였으며, 2004년에 5척으로 적은 어선이 조업을 하였다.

(2) 조업일수

시도별로 살펴보면(표 2-11-8), 경상북도가 6,299일로 가장 높은 값을 보였다. 다음으로 강원도가 2,438일, 경상남도가 1,543일, 부산시 438일, 제주도가 274일로 나타났다. 그 외의 지역에서는 조업일수가 미미하였다.

연도별로 살펴보면, 경상북도에서 2003년 292일에서 점차 증가하여 2006년 903일로 높은 값을 보였으며 이후 감소하였으며 2009년 이후 증가하여 2011년에 1,125일로 가장 높은 값을 보였다. 강원도의 경우 2003년 167일을 조업하였으며 이후 감소하여 2005년 108일로 가장 낮은 값을 보였다. 2006년에는 663일 가장 높은 값을 보였으며 이후 감소하는 양상이었다. 경상남도의 경우 2003년 72일, 2004년에 132일 조업하였으며, 2005년 50일로 가장 낮은 값을 보였다. 이후 점차 조업일수는 증가하여 2008년 279일로 가장 높은 값을 보였다. 부산시의 경우 2003년, 2004년 각각 28일 조업하였으며 2006년 97일로 가장 많은 조업을 하고 있었다. 제주도의 경우 2009년 56일로 높은 값을 보였으며 그 외의 지역에서는 조업일수는 미미하였다.

표 2-11-7. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 조업척수, 2003년~2012년

(단위 : 척)

시도	시군	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
강원도	강릉시	4	4	11	40	22		11	19	25	20	48
	고성군	13	16	14	22	14	5	19	20	20	6	28
	동해시	14	9	8	25	19	11	16	12	11	10	36
	삼척시	2	1	1	6	1			2	3	1	10
	속초시	16	3	12	31	19	22	23	18	29	16	45
	양양군				1				1			
강원도 요약		49	33	46	125	75	38	70	71	88	53	168
경상남도	남해군								1	1		1
	마산시							2				2
	사천시	1	1	1	1	1		1	3	2	2	6
	울산시	18	23	16	27	18	11	19	13	21	19	39
	울주군						1					1
	진해시				1	1	1					1
	통영시	3	2		5	2	2	10	7	5	5	18
경상남도 요약		22	26	17	34	22	15	32	24	29	26	68
경상북도	감포읍	7	12	15	15	14	11	16	26	36	32	63
	강구면	3	3	5	16	7	17	20	19	22	14	44
	경주시		2		2	1	1	2	1	1		4
	영덕군	5	2	8	15	5	6	11	6	10	7	29
	울릉군	13	10	13	20	12	10	15	22	15	9	41
	울진군	15	11	14	22	16	13	28	38	42	28	79
	포항시	64	85	100	106	72	69	70	80	72	63	175
경상북도 요약		107	125	155	196	127	127	162	192	198	153	435
부산시	기장군		1		1	1			1	1	1	5
	부산시	10	3	13	21	13	6	6	17	10	3	41
	사하구								1	1	2	2
	서구					1			1			1
	수영구					1			3	3		3
	영도구	1	1	1	2	1		1	3	7	1	8
	해운대구					1		1	1			1
부산시 요약		11	5	14	24	18	6	8	27	22	7	61
제주도	남제주군				1	1		1		1	1	1
	서귀포시		2	1	4	7	3	15	12	9	17	42
	제주시	3	3	1	4	5	1	3		3	4	13
제주도 요약		3	5	2	9	13	4	19	12	13	22	56
전라남도	여수시				1	1					1	2
전라북도	군산시		1	1	1							1
충청남도	보령시							1		2	2	3
충청북도	태안군				1							1
합계		192	195	235	391	256	190	292	326	352	264	795

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

표 2-11-8. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 조업일수, 2003년~2012년

(단위 : 일)

시도	시군	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
강원도	강릉시	8	13	14	148	51		13	77	109	73	506
	고성군	62	55	39	139	49	7	45	48	64	14	522
	동해시	46	34	23	181	46	22	69	42	54	22	539
	삼척시	4	1	6	10	1			5	3	1	31
	속초시	47	7	26	184	131	95	53	73	149	73	838
	양양군				1			1				
강원도 요약		167	110	108	663	278	124	181	245	379	183	2,438
경상남도	남해군								3	2		5
	마산시							2				2
	사천시	1	2	2	1	1		7	13	18	7	52
	울산시	50	111	48	107	163	268	196	74	148	134	1,299
	울주군						3					3
	진해시				1	1	1					3
	통영시	21	19		9	4	7	23	31	30	35	179
경상남도 요약		72	132	50	118	169	279	228	121	198	176	1,543
경상북도	감포읍	25	39	51	112	94	67	88	78	239	86	879
	강구면	3	8	8	51	32	26	82	84	114	53	461
	경주시		2		10	3	2	3	5	6		31
	영덕군	11	2	24	45	11	11	38	52	38	22	254
	울릉군	41	35	30	63	45	40	50	55	62	21	442
	울진군	21	66	56	46	28	57	158	257	210	100	999
	포항시	191	273	384	576	239	213	307	383	456	211	3,233
경상북도 요약		292	425	553	903	452	416	726	914	1,125	493	6,299
부산시	기장군		1		1	1			3	3	1	10
	부산시	25	10	24	86	31	37	12	42	36	3	306
	사하구								4	1	3	8
	서구					1			1			2
	수영구					1			9	3		13
	영도구	3	17	2	10	8		3	21	30	1	95
	해운대구					1		1	2			4
부산시 요약		28	28	26	97	43	37	16	82	73	8	438
제주도	남제주군				1	5		4		2	4	16
	서귀포시		2	1	19	13	7	28	23	19	58	170
	제주시	17	5	3	11	9	4	24		8	7	88
제주도 요약		17	7	4	31	27	11	56	23	29	69	274
전라남도	여수시				1	1					1	3
전라북도	군산시		1	1	5							7
충청남도	보령시							2		2	3	7
충청북도	태안군				1							1
합계		576	703	742	1,819	970	867	1,209	1,385	1,806	933	11,010

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

(3) 어획량

시도별로 살펴보면(표 2-11-9), 경상북도가 4,736톤으로 가장 많은 어획량을 올렸으며, 강원도가 1,190톤, 경상남도가 1,331톤, 부산시가 268톤의 어획량을 보였다. 제주도는 59톤의 어획량을 올렸으며 다른 지역의 어획량은 미미하였다.

연도별로 살펴보면, 경상북도가 2003년 165톤으로 가장 적은 값을 보였으며 이후 점차 증가하여 2010년에 721톤으로 가장 높은 값을 보였다. 강원도의 경우 2003년 138톤, 2004년 56톤, 2005년 69톤을 어획하였다. 2006년 418톤을 어획하여 가장 높은 값을 보였다. 경상남도의 경우 2003년 39톤을 어획하였으며 점차 증가하여 2008년에 261톤으로 가장 높은 값을 보였다. 제주도의 경우 2003년 9톤, 2004년에 3톤이 어획되었다. 2006년 12톤으로 가장 높은 값을 보였다.

라. 월별 폐기물 배출해역의 조업실태

월별 조업실태를 살펴보면(그림 1), 전체 어업별 조업일수는 1월에 3,570일로 가장 많은 조업을 하는 것으로 나타났으며, 다음으로 11월에 1567일 12월에 1,281일로 높은 값을 보였다. 그리고 7월에 177일로 가장 낮은 값을 보였다.

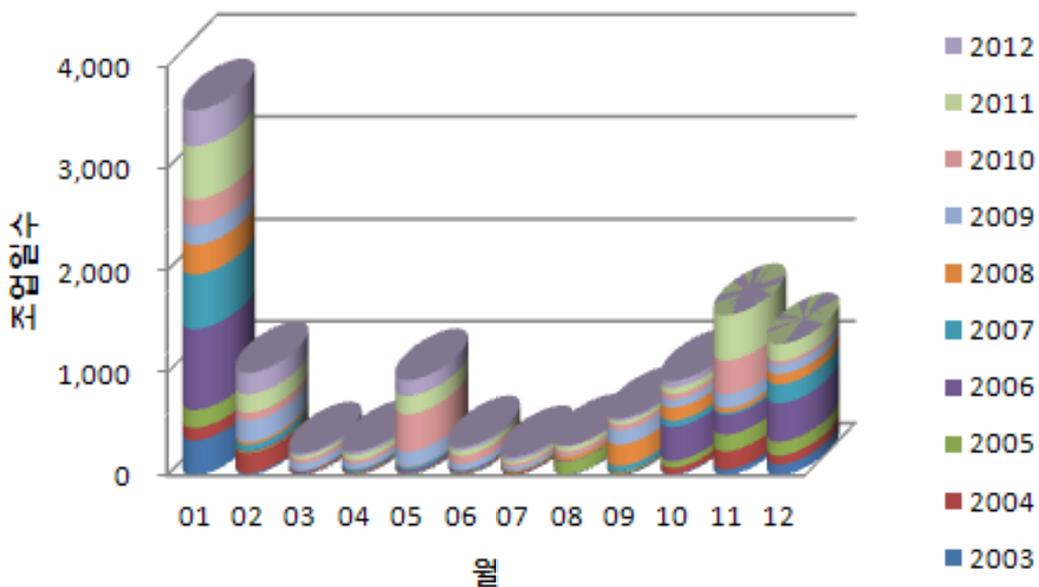


그림 2-11-1. 동해병 폐기물 배출해역에서의 월별 어업별 전체 조업일수

표 2-11-9. 동해병 폐기물 배출해역에서의 시도별 어획량, 2003년~2012년

(단위 : 톤)

시도	시군	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	합계
강원도	강릉시	2	3	13	89	20		-	10	22	19	180
	고성군	33	30	24	79	29	2	9	22	28	6	262
	동해시	17	20	6	112	32	11	15	7	15	19	254
	삼척시	8	-	11	9	1			-	-	-	29
	속초시	77	3	15	129	74	47	2	20	20	78	465
	양양군				-				-			
강원도 요약		138	56	69	418	156	60	27	60	84	122	1,190
경상남도	남해군								-	-		-
	마산시							-				-
	사천시	-	-	-	-	-		3	2	4	2	12
	울산시	32	58	34	81	211	260	192	74	142	188	1,271
	울주군						-					-
	진해시				-	-	-					1
	통영시	6	3		5	1	-	1	7	11	12	46
경상남도 요약		39	61	34	86	212	261	196	83	158	202	1,331
경상북도	감포읍	23	18	25	86	54	32	25	11	84	20	379
	강구면	-	10	6	27	12	24	25	24	9	117	255
	경주시		-		5	-	-	-	2	2		11
	영덕군	10	-	12	32	11	3	12	14	4	8	105
	울릉군	39	67	32	34	68	25	20	22	24	16	346
	울진군	8	173	74	62	63	388	287	531	376	479	2,441
	포항시	85	127	133	304	110	66	58	117	128	72	1,199
경상북도 요약		165	397	281	549	319	538	428	721	626	712	4,736
부산시	기장군		2		-	1			-	-	-	4
	부산시	39	6	13	49	21	2	7	17	21	3	178
	사하구								1	-	4	6
	서구					-			-			-
	수영구					-			1	1		3
	영도구	2	8	1	16	7		7	15	17	-	74
	해운대구					-		2	-			3
부산시 요약		41	16	15	66	30	2	16	34	40	8	268
제주도	남제주군				-	1		-		-	-	1
	서귀포시		-	-	7	1	2	-	-	-	2	14
	제주시	9	3	-	4	8	1	10		2	6	44
제주도 요약		9	3	-	12	10	3	11	-	3	8	59
전라남도	여수시				-	-					-	-
전라북도	군산시		-	-	6							6
충청남도	보령시							-		-	-	-
충청북도	태안군				-							-
합계		392	534	400	1,136	728	865	677	899	911	1,051	7,593

* - : 1톤 미만

* 2012년 자료는 1월에서 10월까지의 자료

어획량을 살펴보면(그림 2-11-2), 1월에 2,118톤으로 가장 높은 값을 보였다. 다음으로 12월에 1,426톤, 10월에 843톤, 11월에 770톤, 9월에 580톤의 순이었다. 7월과 8월에는 각각 55톤, 30톤으로 가장 낮은 값을 나타내었다.

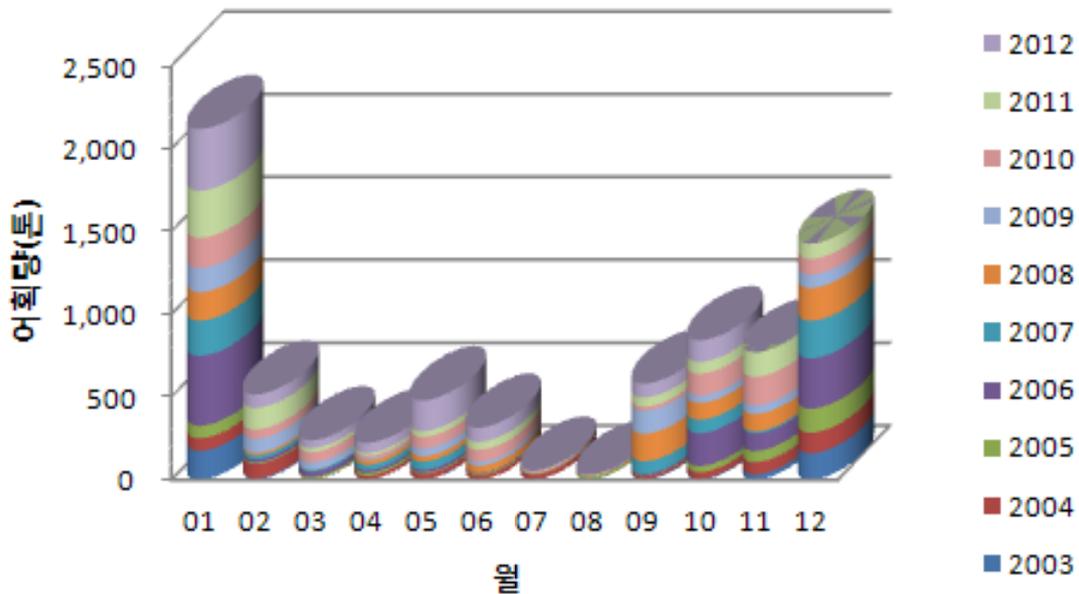


그림 2-11-2. 동해병 폐기물 배출해역에서의 월별 어업별 전체 어획량(톤)

마. 어종별 폐기물 배출해역의 조업실태

어종별 조업실태를 알아보기 위해 동해병 폐기물 배출해역에서 조업한 907척을 대상으로 9년 10개월(2003년~2012년)의 총 조업일수를 대상으로 우점종에 대한 어획량 자료를 이용하여 어획동향을 분석하였다.

전체 어업별 어획량을 년도별로 살펴보면(그림 2-11-3), 2003년도에 392톤이 어획되었는데 이 중 살오징어가 280톤으로 71.5%로 많은 어획량을 차지하였다. 2004년도에는 534톤을 어획하였는데, 이 중 살오징어가 226톤(47.9%), 붉은대게가 171톤(32.0%)으로 많이 어획되었다. 2005년은 400톤을 어획하였는데 이 중 살오징어 310톤(77.7%), 붉은대게가 67톤(16.8%)으로 많이 어획되었다.

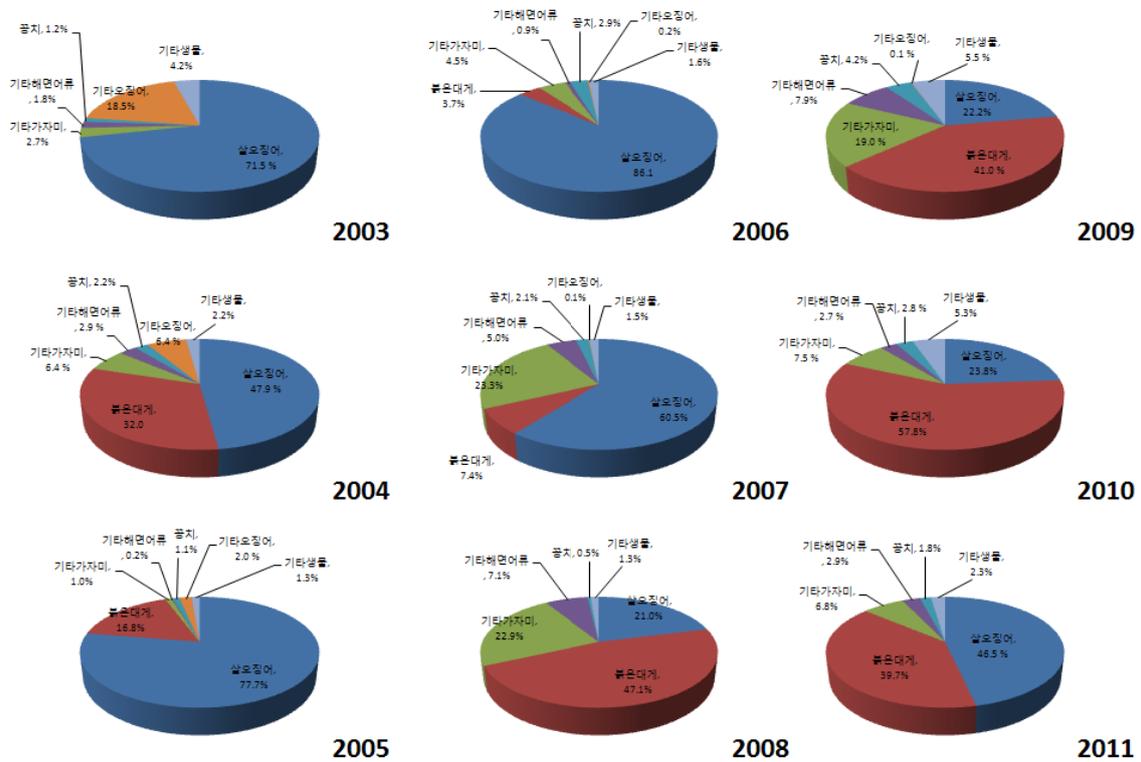


그림 2-11-3. 동해병 폐기물 배출해역에서의 어종별 전체 어획량

2006년에는 1,137톤이 어획되었는데 이 중 살오징어가 979톤으로 전체 어획량을 86.1% 차지하며 우점하였다. 2007년에는 728톤이 어획되었는데 이 중 살오징어가 440톤으로 60.5%, 가자미류가 170톤으로 23.3%를 차지하며 우점하였다. 2008년에는 865톤이 어획되었는데 이 중 붉은대게가 407톤으로 전체 어획량의 47.1%를 우점하였다. 다음으로 가자미류가 200톤, 살오징어가 182톤으로 각각 23.1%, 21.0%를 차지하였다. 2009년에는 677톤이 어획되었으며, 이 중 붉은대게가 278톤으로 전체 어획량의 41.0%로 우점하였다. 2010년에는 899톤이 어획되었으며, 이 중 붉은대게가 520톤으로 전체 어획량의 57.8%를 차지하였다. 2011년에는 911톤이 어획되었으며 이 중 붉은대게가 580톤으로 전체 어획량의 55.2%를 차지하며 우점하였다.

주요 어업별로 살펴보면, 근해채낚기어업의 어획량을 연도별로 살펴보면 (그림 2-11-4), 2003년에 274톤이 어획되었으며, 이 중 살오징어가 88.2%, 오

징어류가 11.9%로 어획량의 대부분을 차지하였다. 2004년에는 살오징어가 86.9%, 오징어류가 10.3%로 우점하였다. 2005년에서 2008년까지는 살오징어가 각각 97.7%, 99.8%, 99.0%, 98.7%로 어획량의 대부분을 차지하였다. 2009년에는 살오징어가 89.2%, 푹치가 5.8%, 기타 복어가 4.2%가 어획되었으며, 2010년에는 살오징어가 90.3%, 기타복어 6.7%, 푹치 2.9%의 어획량을 보였다. 2011년에는 살오징어가 98.2%로 대부분을 차지하였다.

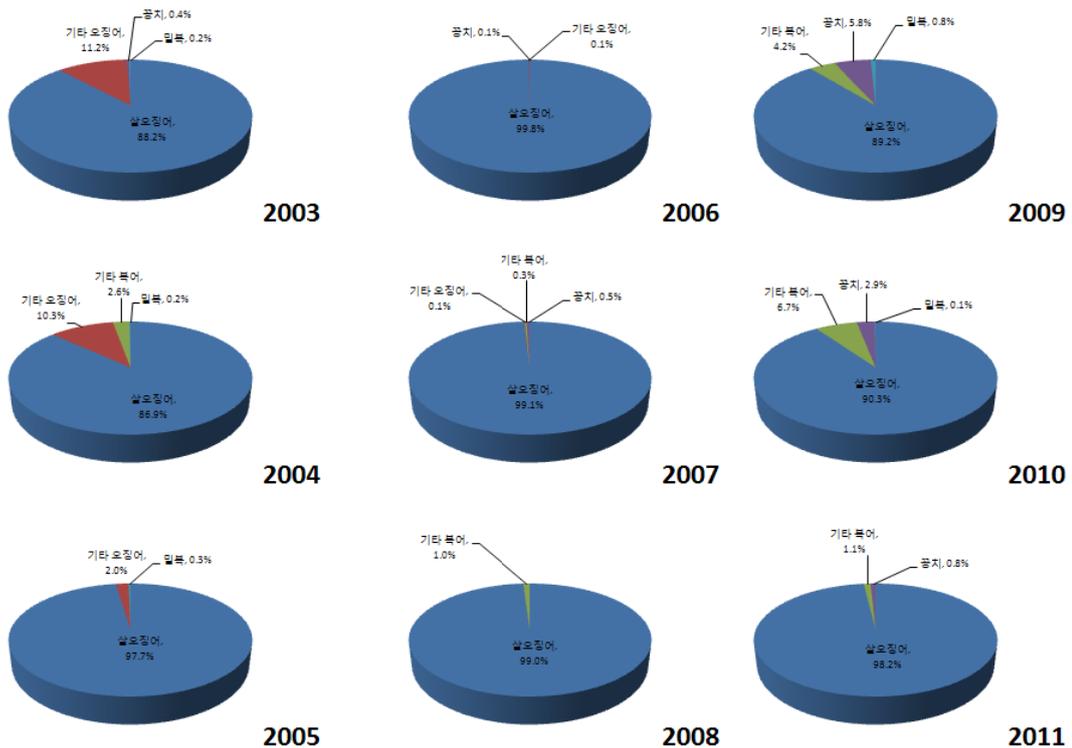


그림 2-11-4. 동해병 폐기물 배출해역에서의 근해채낚기어업의 어종별 어획량

기타통발어업(그림 2-11-5)은 2003년도에 골뱅이가 84.5%로 가장 우점하였다. 2004년부터 2011년까지는 붉은대게가 각각 98.3%, 99.7%, 97.7%, 95.4%, 99.2%, 92.4%, 95.6%, 96.7%를 차지하며 어획량의 대부분을 차지하였다.

외끌이서남해구기선저인망(그림 2-11-6)의 경우 2003년도에는 가자미류가 66.5%, 기타 해면어류가 32.9%를 차지하였다. 2004년에는 가자미류가 67.6%,

기타 해면어류가 31.2%를 차지하였다. 이후 모든 연도에서 가자미류가 많이 어획되었고, 다음으로 기타 해면어류가 많이 어획되었다.

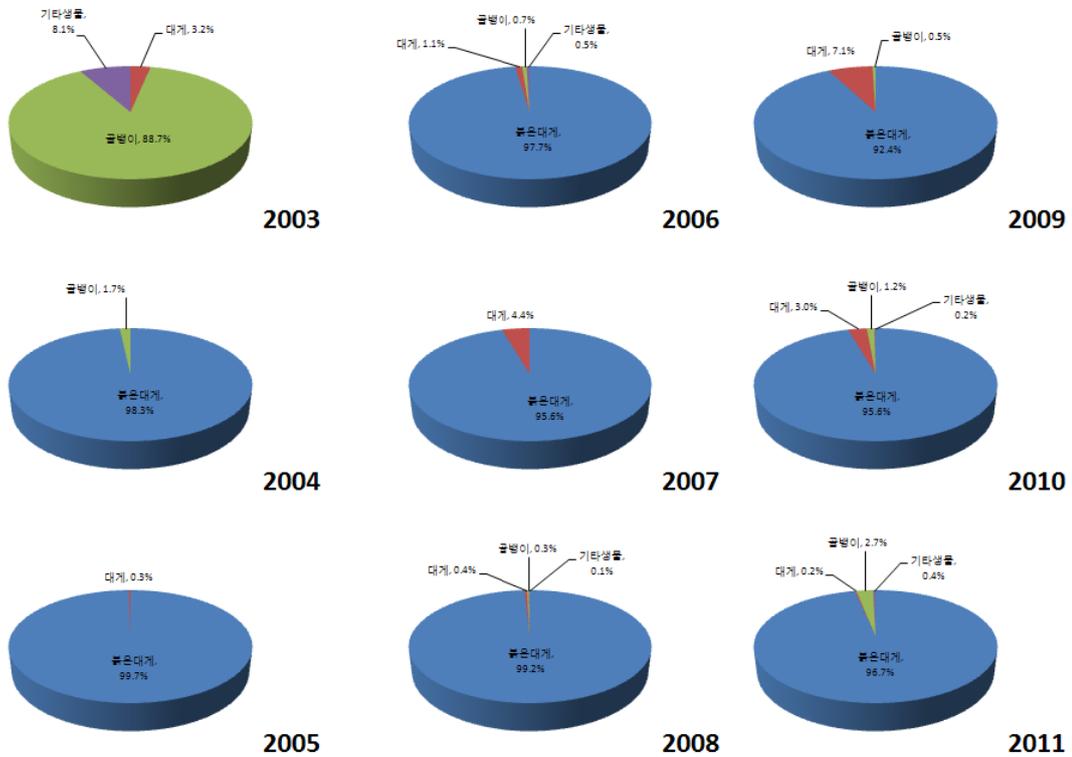


그림 2-11-5. 동해병 폐기물 배출해역에서의 기타통발어업의 어종별 어획량

근해외출낚시어업(그림 2-11-7)은 2003년에 오징어류가 48.5%, 살오징어가 43.4%로 오징어류가 대부분을 차지하였다. 2004년은 살오징어류가 79.9%, 오징어류가 19.6%를 어획하였다. 이후 살오징어가 90% 이상씩 채집되어 우점하였으며, 2008년에는 100% 살오징어가 어획되었다. 2009년 이후에도 살오징어가 98% 이상씩 채집되어서 우점하였다.

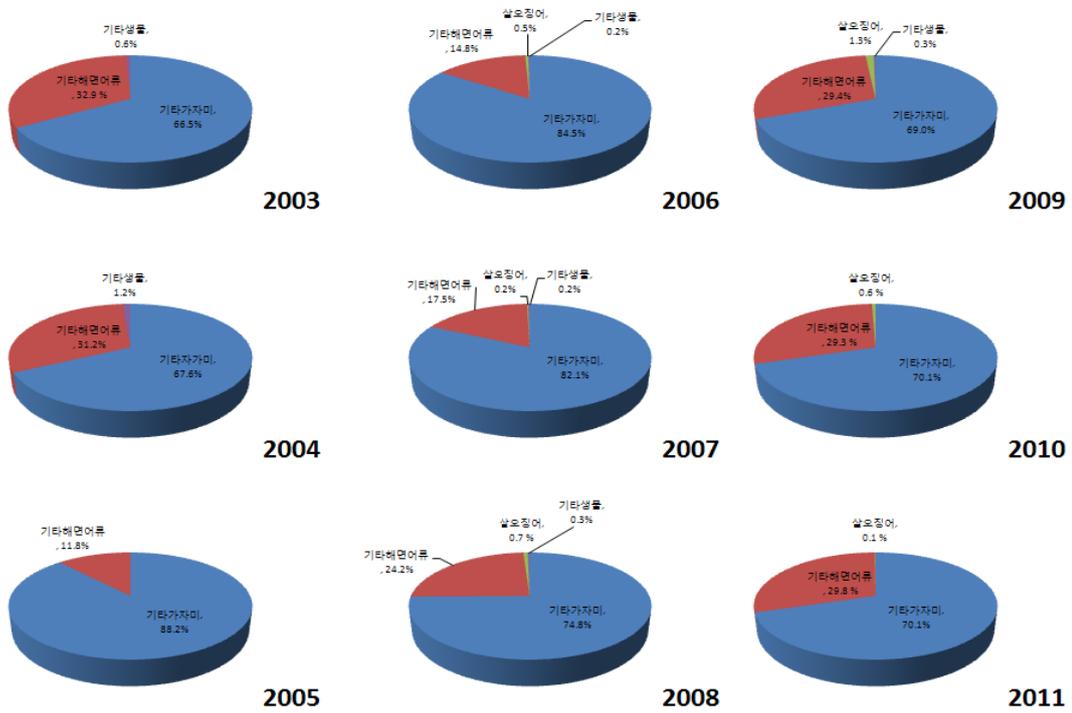


그림 2-11-6. 동해병 폐기물 배출해역에서의 외끌이서남해구기선저인망어업의 어종별 어획량

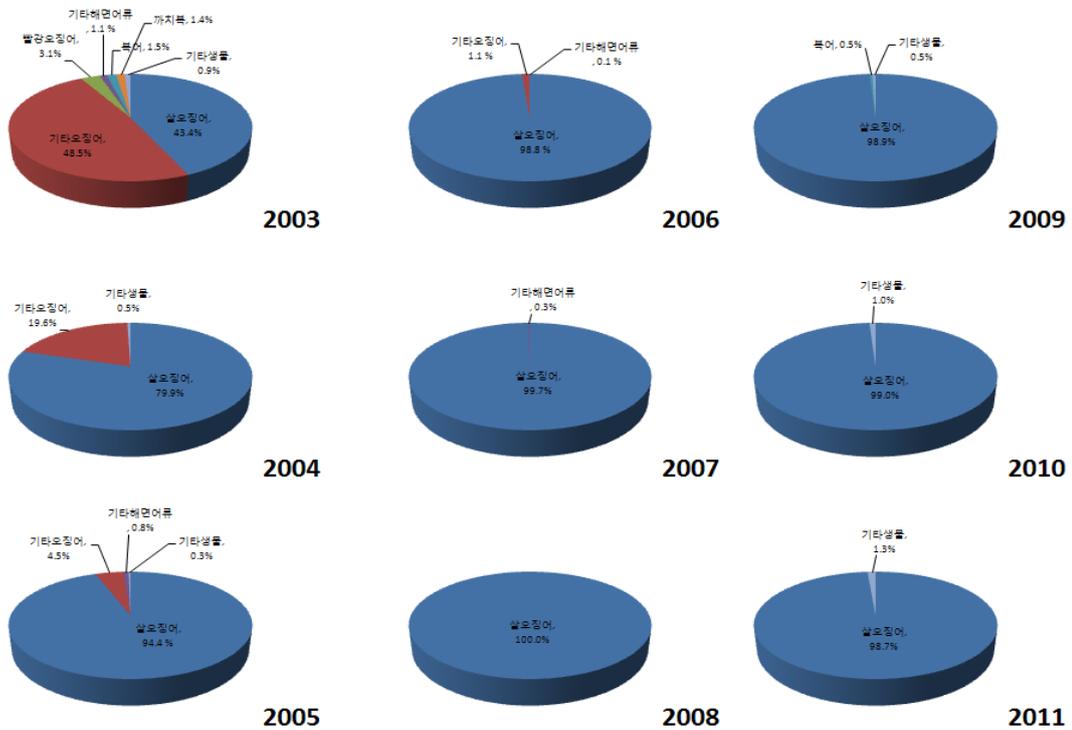


그림 2-11-7. 동해병 폐기물 배출해역에서의 근해외줄낙시어업의 어종별 어획량

제 12 절 동해병해역 수산생물 안전성

1. 서론

일반적으로 해양생태계 내에서 철, 구리, 아연, 코발트, 망간, 크롬, 몰리브덴, 바나듐, 셀렌, 니켈 및 주석 등은 생물체 구성 성분과 대사과정 중 꼭 필수적인 원소로 작용하지만 농도가 과도하게 체내 축적을 일으킬 경우 여러 가지 독성을 보인다. 특히, 납(Pb), 카드뮴(Cd) 및 수은(Hg) 등은 해양 동식물뿐만 아니라 먹이사슬을 통해서 오염된 수산물을 인간인 섭취할 경우 치명적인 독성을 보이는 원소로써 전 세계의 대부분의 국가에서는 모든 식품류에 이들 성분의 잔류허용기준을 정하여 자국민의 보건 안정성을 확보하고 있다. 그러므로 해역의 오염정도를 파악하기 위해서는 수질의 직접 측정 방법과 이를 보완하기 위한 방법으로써 고착성 생물로서 장기간 생존이 가능하며, 지속성 유기 혹은 무기오염물질을 체내에 축적하는 패류를 bioindicator(생물감시자)로 이용한 오염감시가 "Mussel Watch Program"로 조사를 수행하여 오고 있다(Goldberg *et al.*, 1983).

본 연구해역은 지난 20여년간 육상 폐기물을 해양에 배출해온 해역으로써 현재 퇴적물 내 다량의 중금속류로 퇴적된 오염해역으로 분류할 수 있다. 그러나 본 연구 해역은 수심이 깊고 이러한 정착성 부착 생물인 홍합이 연구해역에 생존하고 있지 않지만, 비교적 이동성이 적고 저서성 생물인 붉은 대게의 주요 어장으로써 붉은 대게 및 대게를 어획하여 근육 내 생물농축을 평가하고자 배출 및 비배출 해역에서 어획된 이러한 생물들을 이용하여 생체 내의 중금속을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시료의 어획

동해 병해역의 폐기물 배출해역은 남측의 경우 서쪽은 북위 35°38', 동경 130°38', 동쪽의 경우 북위 35°38' 및 동경 131° 00' 내측, 북측 해역의 경우 서쪽은 북위 36°38', 동경 130°38' 및 동쪽은 북위 36°38', 동경 131°00'의 내측

해역으로 남북으로 길고 동서로는 다소 짧게 구획 되어져 있다 (그림 2-12-1).

이 해역은 우리나라 어업인들이 이용하는 한국연안 해구도의 대해구 중 78, 84, 및 89의 3개 대해구에 포함되어 있으며, 1개의 대해구는 위·경도 30분에 해당하고, 1개 소해구에는 위·경도 10분 크기에 해당하는 13개의 소해구로 구성되어 있다. 본 폐기물 배출해역의 경우 78해구에 78-7, 78-8, 78-9의 3개 소해구, 84해구에 84-1, 84-2, 84-3, 84-5, 84-6, 84-7, 84-8의 7개 소해구, 89해구에 89-7, 89-8, 89-9의 3개 소해구소해구를 대상으로 총 13개의 소해구가 폐기물 배출해역에 해당된다.

폐기물 배출해역과 비배출해역 사이에서 어획된 유용수산물 중 중금속 오염 정도를 파악하기 위하여 2012년 11월 1일부터 1일까지 강구 선적 어선 4척을 이용하여 저층 2km 저층 통발을 사용하여 각 조사 정점에서 12시간에서 최대 48시간까지 설치 후 어획된 붉은 대게를 어획하였다 (표 2-12-1 및 그림 2-12-1). 대게의 경우 강구 선적 3척을 이용하여 저층 길이 2km의 자망 및 통발을 사용하여 2012년 12월 1일부터 12월 15일 사이에 어획하였다. 어획된 붉은 대게 및 대게는 즉시 얼음이 채워진 ice box에 담아 실험실로 옮겨 생물학적 특징조사 후 시료 전처리 전까지 급속 냉동 보관하였다.

표 2-12-1. 붉은 대게 및 대게의 조사 위경도

해역	조사정점	위도	경도
배출해역	1	36° 22' 12.21"	130° 41' 12.87"
	2	36° 7' 11.32"	130° 50' 0.28"
	3	36° 4' 32.35"	130° 41' 12.87"
	4	35° 47' 45.47"	130° 40' 54.04"
비배출해역	1	36° 19' 33.23"	129° 36' 13.76"
	2	36° 39' 16.76"	129° 35' 36.09"
	3	36° 56' 38.96"	129° 34' 58.42"

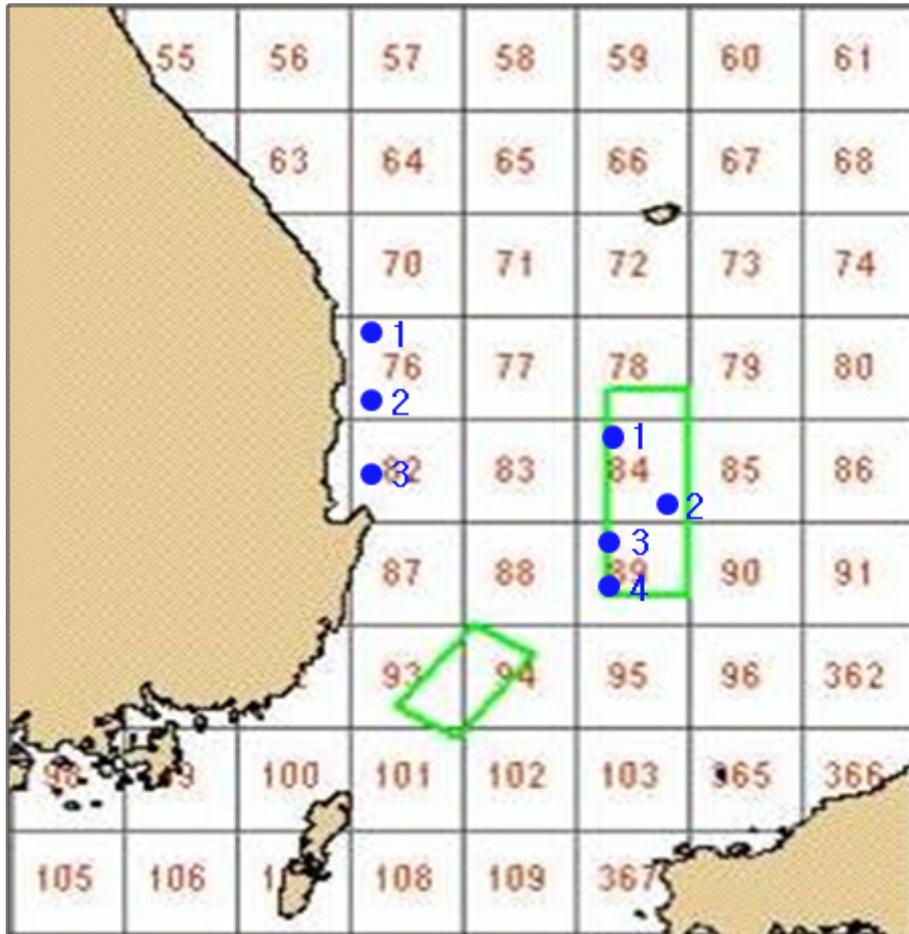


그림 2-12-1. 붉은 대게 및 대게 어획 조사도

나. 시료의 생물학적 특성 및 전처리

1) 갑장, 갑폭 및 무게의 측정

어획된 붉은 대게의 생물학적 조사는 각각의 조사 정점에서 어획된 붉은 대게 및 대게 30마리를 조사 시료로 사용하였다. 측정된 갑장, 갑폭, 무게의 값들을 바탕으로 각 정점별 갑장과 갑폭의 관계, 갑폭과 무게와의 상관관계를 파악하였다(그림 2-12-2).

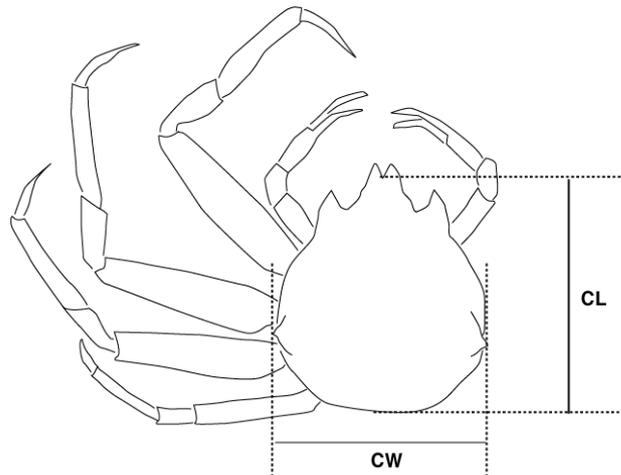


그림. 2-12-2. 홍게 측정부위. CW(Carapace width), 갑폭; CL(Carapace length), 갑장.

2) 시료의 전처리

동결된 붉은 대게 및 대게 시료는 해동시 수분이 제거되지 않도록 냉장고 내에서 약간 해동 시킨 다음 실험실 분진 등의 오염원으로부터 시료오염을 최소화하기 위해서 clean booth(class 10,000zone) 내에서 껍질과 내장을 제거하고 근육만을 분리하여 즉시 다시 급속 동결하였다. 동결된 근육은 동결건조기로 건조하여 막자사발을 이용하여 최대한 잘 혼합되도록 갈아서 시료로 준비하였다.

3) 산분해(acid digestion)

이들 시료중 건중량으로 약 2~3g 정도를 정확하게 무게를 측정하여 microwave-oven open vessel에 담아 ultra급 진한질산 5ml, 과염소산 1ml 및 과산화수소 1ml를 넣어 하룻밤 동안 class 100의 laminar clean booth에서 방치한 후 microwave-oven digestion system(Milestone Ltd. Model Ethos Plus)으로서 200watt 10분, 400watt 20분간 분해시킨 후 1N HNO₃용액을 사용하여 100ml로 정용하였다. 또한, 각각의 시료는 3반복 이상 준비 하였다.

4) 시료 분석

시료중 중금속을 분석하기 위하여 비소(As), 구리(Cu), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 아연(Zn), 니켈(Ni)은 유도결합플라즈마 (ICP-MS, PerkinElmer Co., Model Elan 6900)로 분석하였으며, 수은(Hg)은 금 아말감

수은분석기(Milestone Ltd., Model DMA 80)로 분석하였으며, 시료와 동일한 과정을 거쳐 분석한 표준물질분석결과를 표 2-12-2에 나타내었다.

표 2-12-2. Dogfish 근육(muscle)과 간(liver)의 표준물질인 DORM-2를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과.

원소	검증된 값(Certified Value)	분석된 농도(Mean ± SD)	회수율(%)	분석 수(N)
비소(As)	18.0 ± 1.1	17.9 ± 0.85	99.6	21
카드뮴(Cd)	0.043 ± 0.008	0.043 ± 0.001	100.2	21
코발트(Co)	0.182 ± 0.031	0.187 ± 0.010	103.0	21
크롬(Cr)	34.7 ± 5.5	34.8 ± 1.1	100.1	21
구리(Cu)	2.34 ± 0.16	2.31 ± 0.16	98.8	21
니켈(Ni)	19.4 ± 3.1	19.3 ± 1.2	99.6	21
납(Pb)	0.065 ± 0.007	0.065 ± 0.026	99.9	21
아연(Zn)	25.6 ± 2.3	25.5 ± 1.9	99.8	21
수은(Hg)	4.64 ± 0.26	4.43 ± 0.32	95.5	27

3. 결과 및 고찰

가. 붉은 대게(*Chionoecetes Japonicus*) 및 대게(*Chionoecetes opilio*)의 생리환경적 특성

붉은 대게 (*Chionoecetes Japonicus*)는 일명 홍게라고도하며, 영명으로는 Red Snow Crab이고 동해에서만 분포하며, 수심 400~2,300m의 부드러운 회색 진흙 또는 모래 바닥에 서식한다. 전체적으로 짙은 적색이며, 갑각의 뒷아가미 부분이 부풀어 올라 있으며 뒷부분의 경사가 급하고, 옆 가장자리 뒷부분에 예리한 가시가 있다(그림. 2-12-3). 동해의 수심 450~600m에서는 대게와 홍게의 잡종인 너도대게가 출현한다. 산란기는 2~3월이며, 주로 통발에 의해 어획되는 중요 산업종이다. 최대 갑각나비는 수컷에서 170mm, 암컷에서 80mm 정도이다(홍성윤, 2006).



붉은 대게

그림 2-12-3. 시험에 사용된 붉은 대게

대게(*Chionoecetes opilio*)는 동해의 수심 120~350m에 분포하며 진흙 또는 모래바닥에 산다. 갑각의 등면은 대체로 편평하며, 옆 가장자리 뒷부분에 작은 과립들로 뭉쳐진 사마귀모양의 돌기가 있다(그림 2-12-4). 암컷의 걷는 다리는 수컷보다 짧다. 산란기는 1~3월이며, 조에아유생 2기를 거치고, 수명은 암컷에서 9~12년, 수컷에서 13년 정도로 추정한다. 통발이나 저인망에 의해 어획되는 중요 산업종이다. 최대 갑각나비는 수컷에서 174mm, 암컷에서 105mm 정도이다(홍성윤, 2006).



그림 2-12-4. 시험에 사용된 대게

나. 붉은 대게 및 대게의 생물학적 특성

1) 체장 분포결과

동해 병해역에서 어획된 붉은 대게의 생물학적 특성을 그림 2-12-5에서 그림 2-12-12까지 나타내었으며, 비배출 연안해역에서 어획된 대게의 생물학적 특성을 2-12-13부터 그림 2-12-18까지 나타내었다.

배출해역에서 어획된 붉은 대게의 체장분포를 조사해 본 결과, 배출해역 내 각각의 정점에서 갑폭(Carapace With)은 정점 1의 경우 95.5~145.8 mm(평균 117.0 mm), 정점 2 경우 87.0~130.0 mm(평균 112.6 mm), 정점 3 경우 110.9~127.5 mm(평균 118.3 mm) 및 정점 4의 경우 98.3~108.2 mm(평균 102.9 mm)로써 정점 3 > 정점 1 > 정점 2 > 정점 4의 크기 순서를 보였다.

배출해역 내 각각의 정점에서 갑장(Carapace Length)은 정점 1의 경우 94.8~130.4 mm(평균 106.5 mm), 정점 2 경우 86.3~136.4 mm(평균 114.6 mm), 정점 3 경우 109.4~125.3(평균 115.5 mm) 및 정점 4의 경우 109.3~121.0 mm(평균 116.3 mm)로써 정점 4 > 정점 3 > 정점 2 > 정점 1의 크기 순서를 보였다.

배출해역 내 각각의 정점에서 무게는 정점 1의 경우 374~763 g(평균 553 g), 정점 2 경우 301~683 g(평균 453 g), 정점 3 경우 323~604 g(평균 461 g) 및 정점 4의 경우 416~652 (평균 542 g)로써 정점 1 > 정점 4 > 정점 3 > 정점 2의 무게 순서를 보였다.

비배출해역에서 어획된 대게의 체장분포 결과는 각각의 정점에서 갑폭(Carapace With)은 정점 1의 경우 91.0~102.4 mm(평균 96.1 mm), 정점 2 경우 104.3~114.7 mm(평균 108.6 mm) 및 정점 3 경우 98.3~108.2 mm(평균 102.9 mm)로써 정점 2 > 정점 3 > 정점 1의 크기 순서를 보였다.

비배출해역 내 각각의 정점에서 대게의 갑장(Carapace Length)은 정점 1의 경우 78.8~89.7 mm(평균 84.6 mm), 정점 2 경우 89.5~107.7 mm(평균 95.2 mm) 및 정점 3 경우 109.3~121.0 mm(평균 116.3 mm)로써 정점 3 > 정점 2 > 정점 1의 크기 순서를 보였다.

비배출해역 내 각각의 정점에서 대게의 무게는 정점 1의 경우 235~347 g(평균 283 g), 정점 2 경우 376~508 g(평균 440 g) 및 정점 3 경우 416~652 g(평균 542 g)로써 정점 3 > 정점 2 > 정점 1의 무게 순서를 보였다.

배출해역 조사 정점 1에서 어획된 붉은 대게의 경우 갑장과 갑폭 사이에

유의한 상관성을 보이지 않았으며, 그 외 정점들에서 붉은 대게 및 대게 생물학적 조사 결과 갑장과 갑폭, 갑폭과 무게사이에 유의한 정의 상관관계를 보였다.

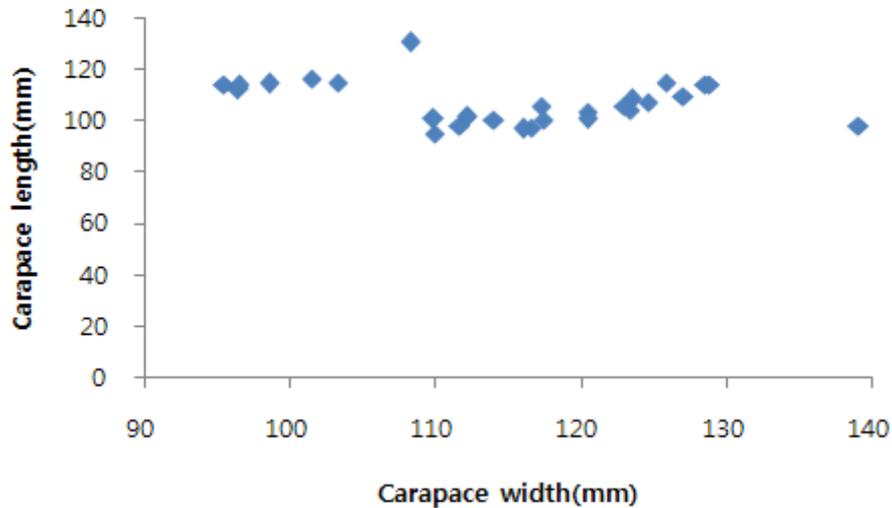


그림 2-12-5. 시험에 사용된 대게 배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑장과 갑폭의 상관관계

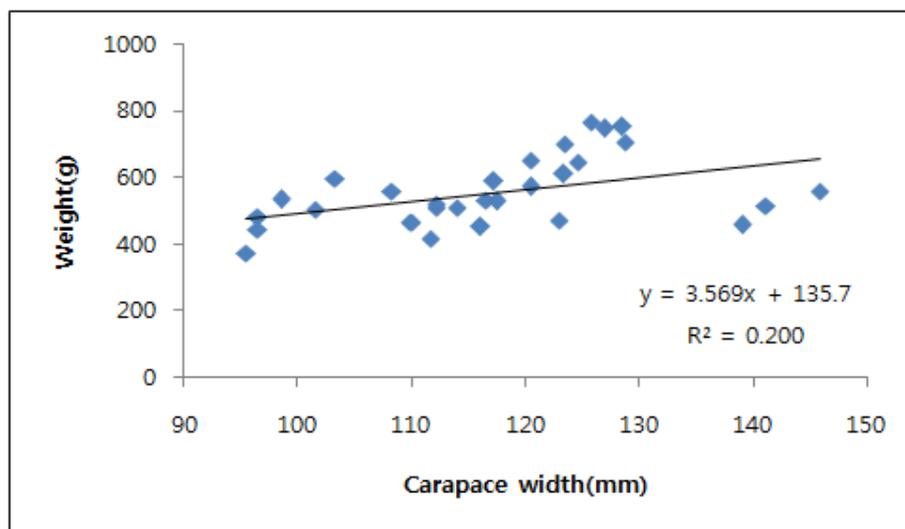


그림 2-12-6. 시험에 사용된 대게배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

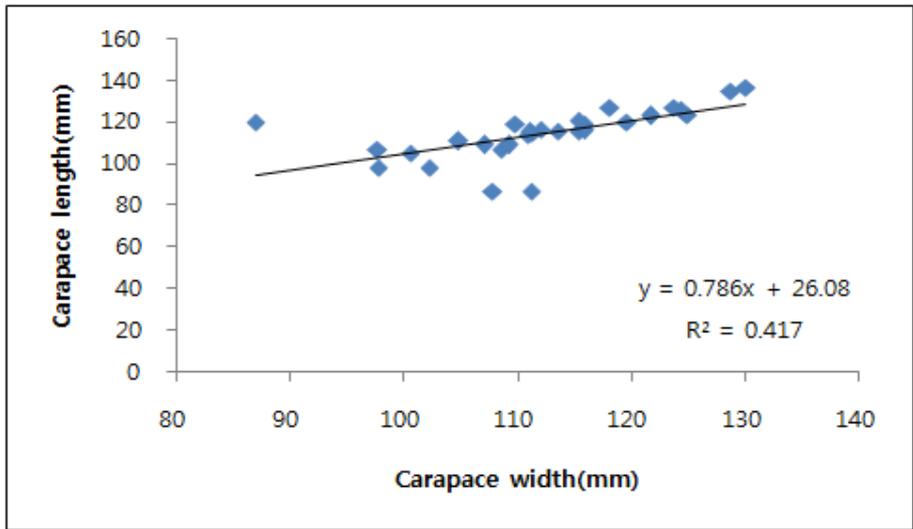


그림 2-12-7. 배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

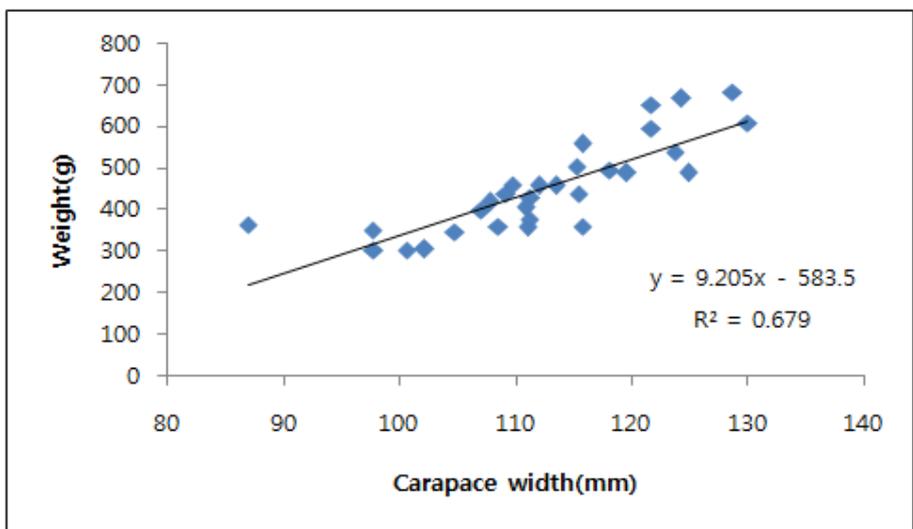


그림 2-12-8. 배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

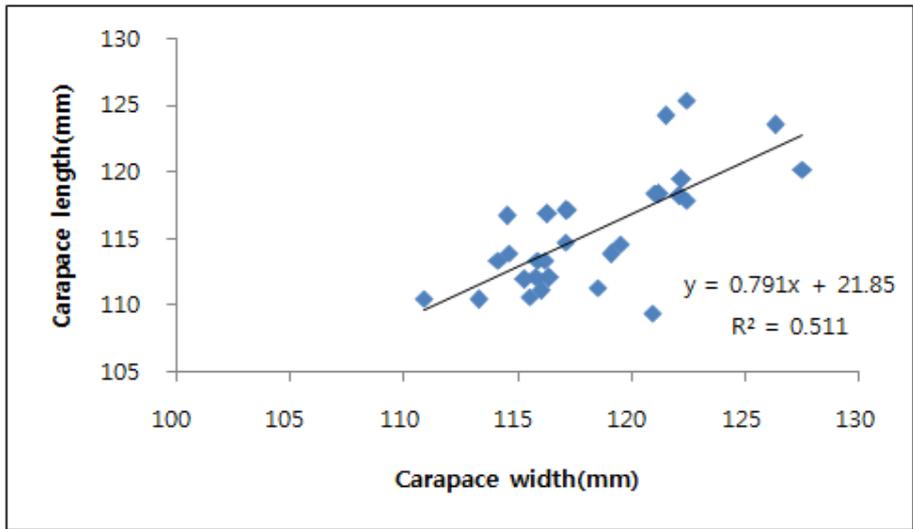


그림 2-12-9. 배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

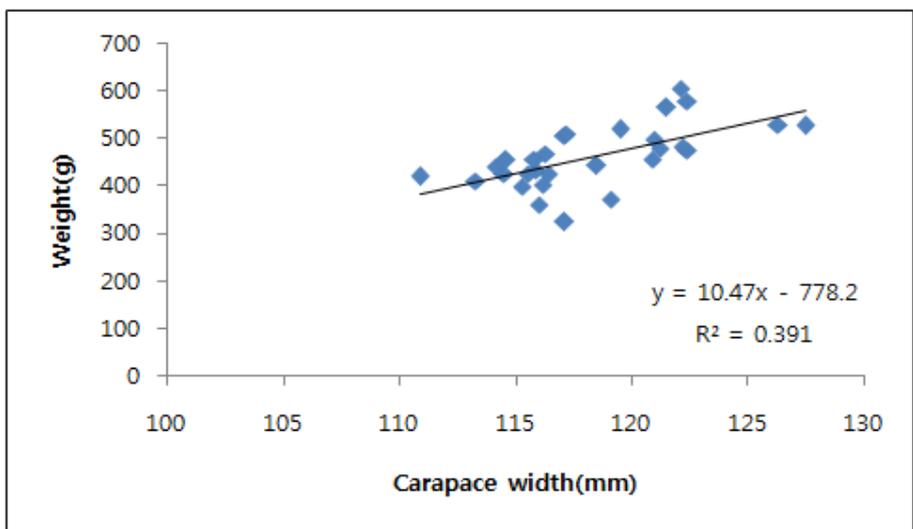


그림 2-12-10. 배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

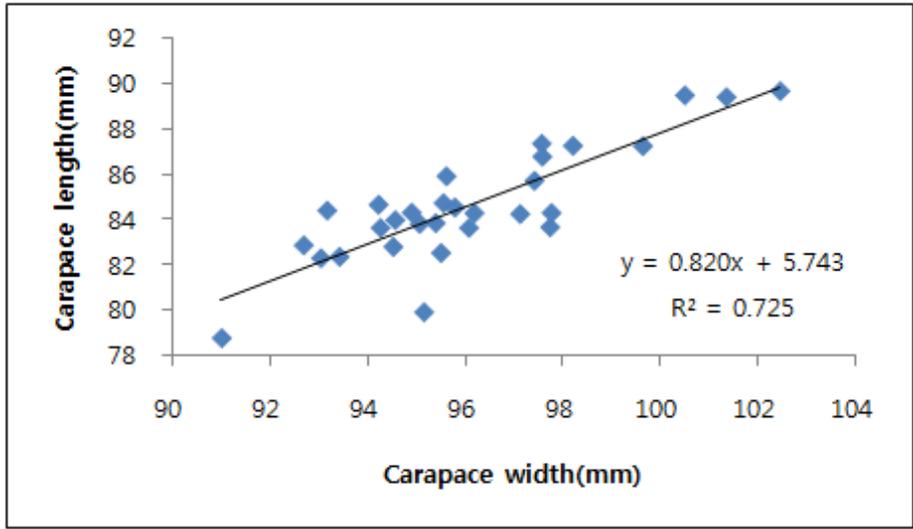


그림 2-12-11. 배출해역 조사정점 4에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

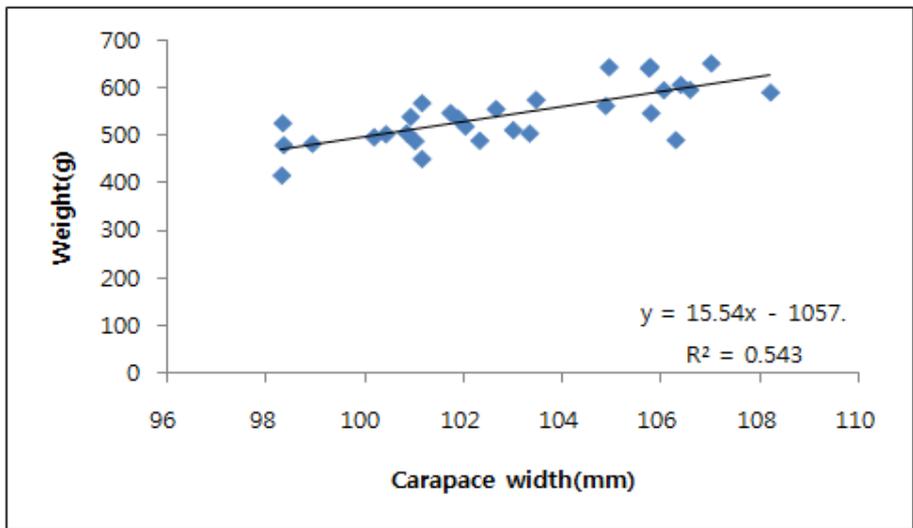


그림 2-12-12. 배출해역 조사정점 4에서 어획된 붉은 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

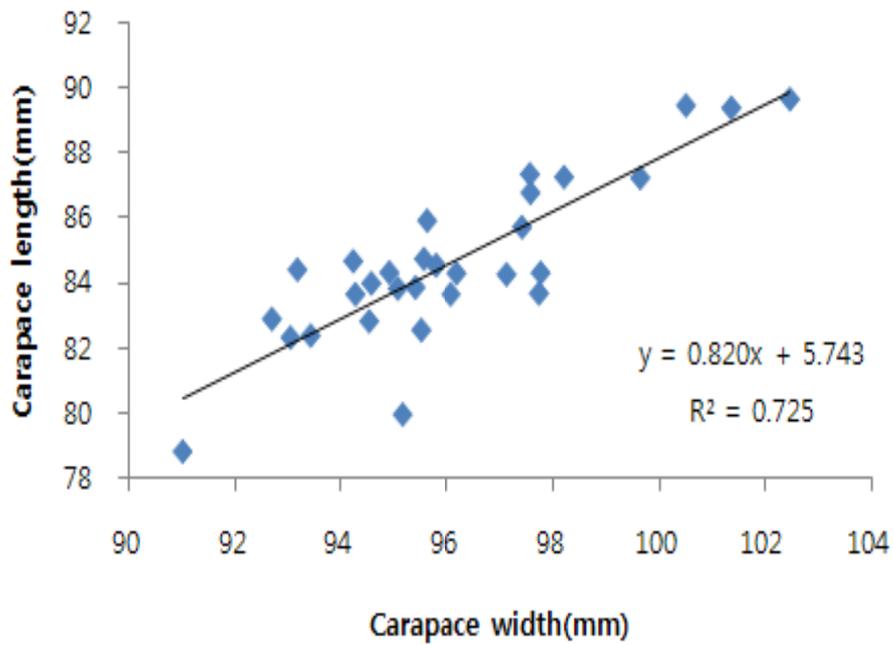


그림 2-12-13. 비배출해역 조사정점 1에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

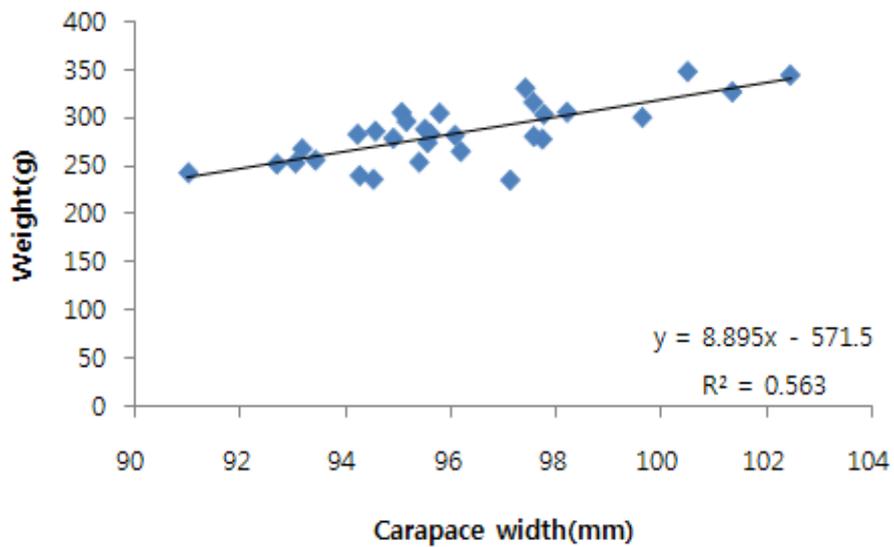


그림 2-12-14. 비배출해역 조사정점 1에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

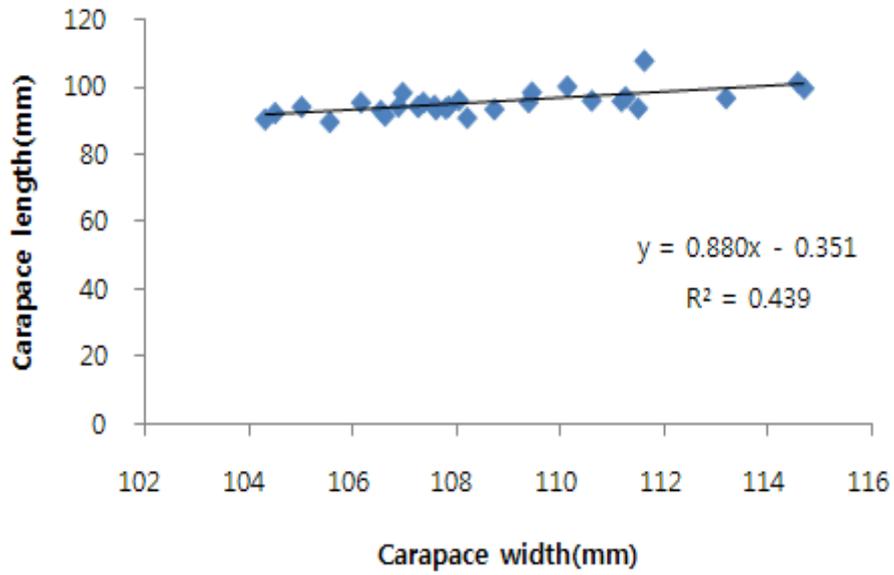


그림 2-12-15. 비배출해역 조사정점 2에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

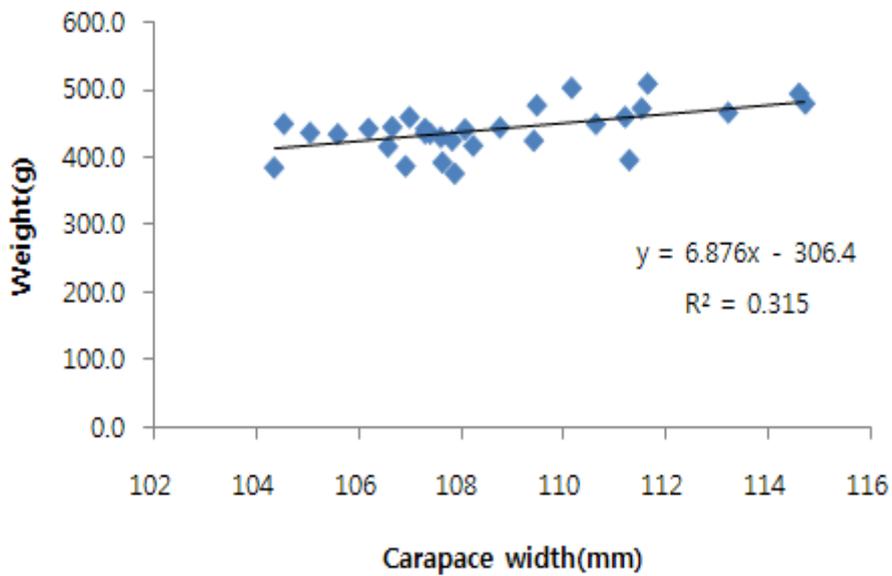


그림 2-12-16. 비배출해역 조사정점 2에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

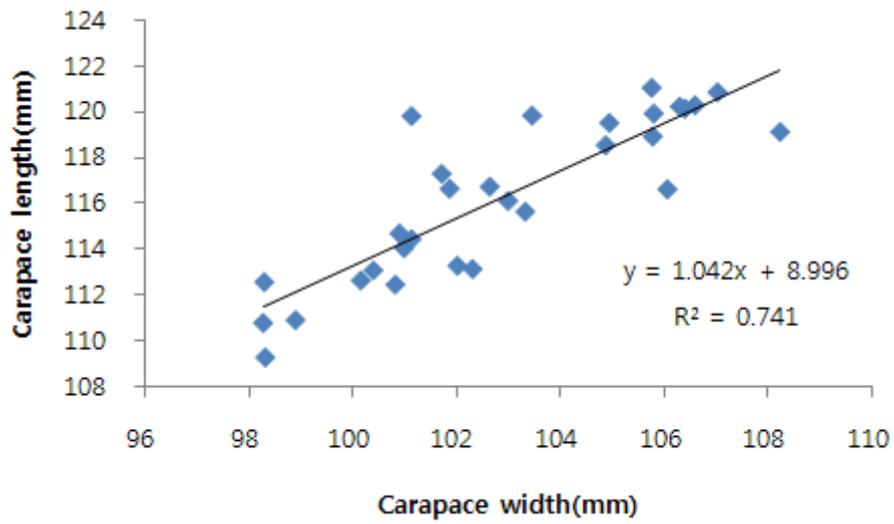


그림 2-12-17. 비배출해역 조사정점 3에서 어획된 붉은 대게의 갑장 및 갑폭의 상관관계

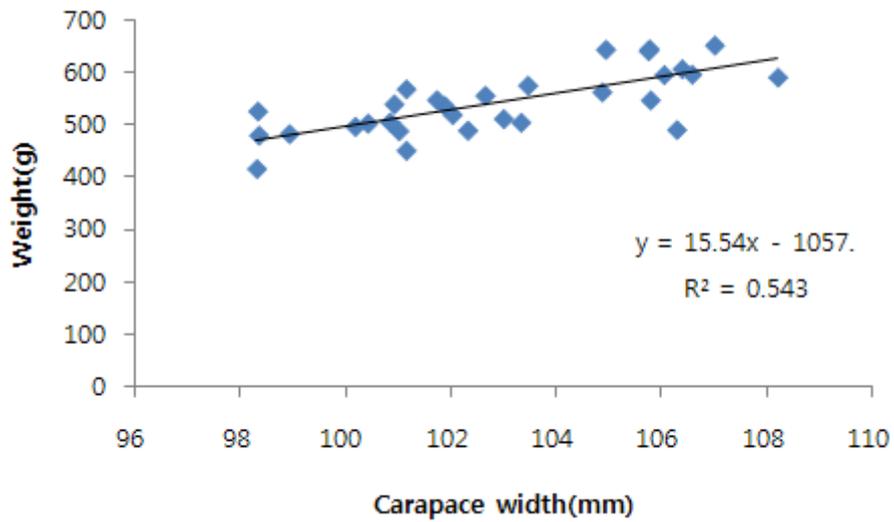


그림 2-12-18. 비배출해역 조사정점 3에서 어획된 대게의 갑폭 및 무게의 상관관계

2) 중금속 분석결과

폐기물 배출 및 비배출해역에서 어획된 붉은 대게의 근육 내 중금속 함량을 표 2-12-3 및 평균농도 (\pm 편차)를 그림 2-12-19에 나타내었으며, 세계 해양에서 주요 생물의 중금속 축적 농도 분포를 표 2-12-4에 나타내었다.

폐기물 배출해역 및 비배출 해역에서 어획된 붉은 대게의 근육에서 중금속 성분의 농도범위(평균 \pm 편차)는 각각 은(Ag) 0.005~0.148 mg/kg.wet(평균 0.043 \pm 0.044 mg/kg.wet), 비소(As) 27.1~38.7 mg/kg.wet(평균 33.4 \pm 3.3 mg/kg.wet), 카드뮴(Cd) 0.038~0.344 mg/kg.wet(평균 0.127 \pm 0.087 mg/kg.wet), 크롬(Cr) 0.151~0.247 mg/kg.wet (평균 0.201 \pm 0.031 mg/kg.wet), 구리(Cu) 6.03~11.46 mg/kg.wet(평균 7.93 \pm 1.62), 철(Fe) 1.10~2.19(평균 1.63 \pm 0.42 mg/kg.wet), 망간(Mn) 0.183~0.372 mg/kg.wet(평균 0.264 \pm 0.057 mg/kg.wet), 니켈(Ni) 0.008~0.029 mg/kg.wet(평균 0.019 \pm 0.007 mg/kg.wet), 납(Pb) 0.054~0.264 mg/kg.wet(평균 0.111 \pm 0.063 mg/kg.wet), 아연(Zn) 13.3~24.0 mg/kg.wet(평균 18.0 \pm 3.1 mg/kg.wet), 셀렌(Se) 0.237~0.749 mg/kg.wet(평균 0.460 \pm 0.175 mg/kg.wet) 및 수은(Hg) 0.116~0.223 mg/kg.wet(평균 0.171 \pm 0.044 mg/kg.wet)로써 세계의 주요 해양에서 어획된 어패류의 중금속 함량과 유사하거나 다소 낮은 중금속 농도를 보였으며 (표 2-12-4), 우리나라 및 주요 여러 나라의 수산물 안전기준 이내의 양호한 농도를 보였다 (표 2-12-5).

대조해역인 연안해역의 비배출 해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 중금속 성분의 농도범위(평균 \pm 편차)는 각각 은(Ag) 검출한계 이하, 비소(As) 9.3~20.03 mg/kg.wet(평균 14.4 \pm 4.3 mg/kg.wet), 카드뮴(Cd) 0.005~0.034 mg/kg.wet (평균 0.017 \pm 0.008 mg/kg.wet), 크롬(Cr) 0.176~0.216 mg/kg.wet (평균 0.192 \pm 0.013 mg/kg.wet), 구리(Cu) 4.18~6.94 mg/kg.wet(평균 5.16 \pm 0.87), 철(Fe) 0.67~2.43 (1.56 \pm 0.65 mg/kg.wet), 망간(Mn) 0.144~0.412 mg/kg.wet(평균 0.226 \pm 0.084 mg/kg.wet), 니켈(Ni) 0.018~0.039 mg/kg.wet(평균 0.028 \pm 0.007 mg/kg.wet), 납(Pb) 0.106~0.196 mg/kg.wet(평균 0.147 \pm 0.031 mg/kg.wet), 아연(Zn) 13.1~20.2 mg/kg.wet(평균 16.1 \pm 2.4 mg/kg.wet), 셀렌(Se) 0.373~0.711 mg/kg.wet(평균 0.503 \pm 0.143 mg/kg.wet) 및 수은(Hg) 0.045~0.059 mg/kg.wet(평균 0.053 \pm 0.007 mg/kg.wet)로써 배출해역에서 어획된 붉은 대게와 마찬가지로 세계의 주요 해양에서 어획된 어패류의 중금속 함량과 유사하거나 다소 낮은 중금속 농도를 보였으며 (표 2-12-4), 우리나라 및 주요 여러 나라의 수산물 안전기준 이내의 양호한 농도를 보였다 (표 2-12-5).

폐기물 배출 해역 및 비배출해역에서 어획된 붉은 대게 및 대게의 근육내 중금속 농도는 비소, 카드뮴, 구리 및 망간의 경우 대체로 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 근육 내에서 평균 농도가 높고, 니켈과 납의 경우 비배출해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 농도가 높은 경향을 보였다 (그림 2-12-19).

특히, 오피수 처리수의 지시 성분인 은 (Ag)의 경우 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 근육에서 미량이지만 검출되었고, 비배출 해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 검출한계이하의 농도로써 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 경우 폐기물 배출의 직간접적인 영향을 받고 있음을 의미하는 것으로 생각되어진다.

정점별로는 배출 해역 중 조사 정점 4에서 크롬, 구리, 납, 아연, 은, 셀렌 및 수은의 농도가 가장 높게 나타나는 특징을 보였으며, 이는 아마도 본 조사해역에 퇴적물 중의 중금속 농도가 가장 높게 나타나는 특징과 매우 잘 일치하고 있다.

또한, 붉은 대게 및 대게 체내 중금속 함량은 우리나라 및 선진 여러 국가들의 수산물 안전기준 이내의 농도를 보였다.

동해 병해역에서 붉은 대게의 어획은 2007년 8월 2일부터 금지가 되었으며, 동해 병해역에서 어획된 붉은 대게의 근육내 중금속 농도의 연간 변동을 표 2-12-6 및 그림 20-10-20에 나타내었다.

조업 금지 전후의 붉은 대게의 근육내의 농도는 비소(As), 크롬(Cr) 및 수은(Hg)의 경우 증가하는 경향을 보이며, 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb) 및 아연(Zn)등의 농도는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 본 조사의 결과는 동해 병해역의 3~4정점만의 조사 결과임으로 조업금지 전후의 농도 변화에 대한 토의는 큰 의미가 없을 것으로 생각된다.

조사정점

표 2-12-3. 폐기물 배출 및 비배출해역에서 어획된 붉은대게 및 대게 근육 내 중금속 조사결과(단위: ppm wet weight)

해역	조사 장점	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Se	Hg
배출 해역 (붉은 대게)	1	0.005	31.8	0.344	0.180	7.13	2.10	0.372	0.028	0.112	17.6	0.386	0.116
		0.026	29.6	0.192	0.154	7.85	1.35	0.289	0.020	0.087	16.0	0.349	-
		0.021	27.1	0.092	0.151	6.49	1.27	0.272	0.019	0.111	13.3	0.237	-
	2	0.052	32.4	0.198	0.200	9.08	2.19	0.337	0.029	0.078	18.5	0.355	0.175
		0.042	33.4	0.175	0.211	9.23	1.82	0.297	0.028	0.068	20.4	0.388	-
		0.072	33.2	0.086	0.213	7.01	1.43	0.235	0.019	0.078	16.8	0.342	-
	3	0.009	37.6	0.104	0.196	6.03	1.14	0.253	0.019	0.054	15.1	0.423	0.169
		0.011	38.7	0.100	0.187	6.19	1.18	0.279	0.016	0.056	16.0	0.407	-
		0.007	36.4	0.083	0.197	6.83	1.10	0.268	0.013	0.076	16.5	0.419	-
	4	0.028	34.2	0.038	0.247	11.4 6	1.99	0.201	0.008	0.264	22.1	0.749	0.223
		0.098	31.7	0.055	0.225	8.72	1.85	0.188	0.013	0.187	19.5	0.728	-
		0.148	35.0	0.057	0.246	9.13	2.14	0.183	0.014	0.156	24.0	0.739	-
평균		0.043	33.4	0.127	0.201	7.93	1.63	0.264	0.019	0.111	18.0	0.460	0.171
편차		0.044	3.3	0.087	0.031	1.62	0.42	0.057	0.007	0.063	3.1	0.175	0.044
비배출 해역 (대게)	1	b.d.l.	9.3	0.025	0.191	5.32	2.20	0.216	0.035	0.173	18.6	0.373	0.045
		b.d.l.	11.4	0.014	0.216	4.25	1.08	0.156	0.030	0.106	13.9	0.436	-
		b.d.l.	11.4	0.018	0.193	5.37	1.67	0.226	0.028	0.180	16.6	0.419	-
	2	b.d.l.	20.1	0.015	0.181	4.18	0.73	0.144	0.023	0.162	13.1	0.386	0.054
		b.d.l.	19.2	0.034	0.183	5.41	1.49	0.227	0.032	0.139	15.7	0.428	-
		b.d.l.	20.3	0.017	0.176	5.70	0.67	0.149	0.039	0.196	13.2	0.415	-
	3	b.d.l.	12.1	0.010	0.201	4.37	2.43	0.412	0.024	0.122	20.2	0.661	0.059
		b.d.l.	12.4	0.005	0.200	4.90	1.59	0.216	0.018	0.123	15.7	0.711	-
		b.d.l.	13.2	0.018	0.184	6.94	2.22	0.289	0.022	0.123	17.5	0.702	-
평균			14.4	0.017	0.192	5.16	1.56	0.226	0.028	0.147	16.1	0.503	0.053
편차			4.3	0.008	0.013	0.87	0.65	0.084	0.007	0.031	2.4	0.143	0.007

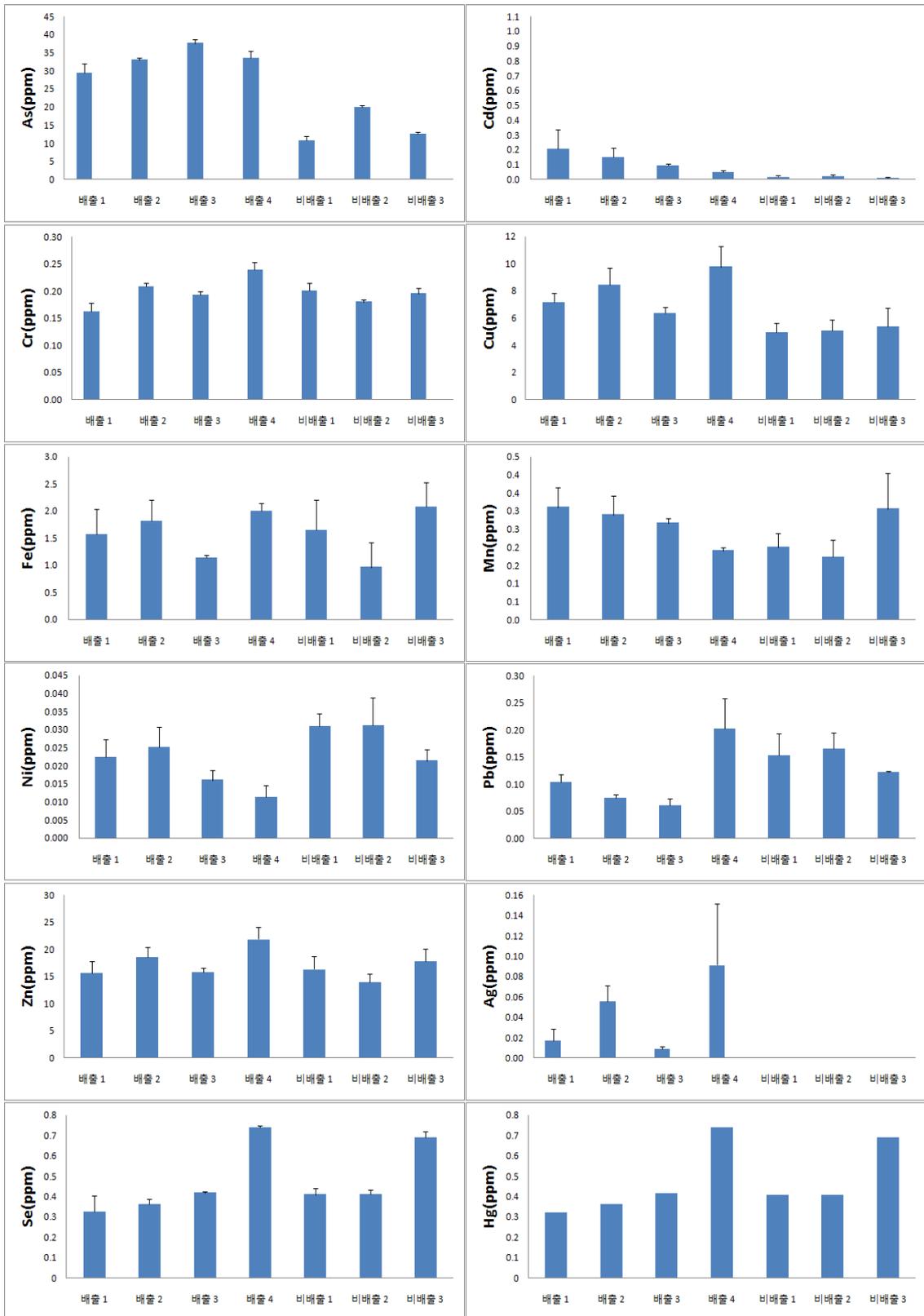


그림 2-12-19. 폐기물 배출해역에서 어획된 붉은 대게 및 대게 근육 내 중금속의 평균농도 및 편차

표 2-12-4. 세계 해양에서 주요 생물의 중금속 축적 농도 (ppm dry weight)

	arctic char	muscle	2.3	Arctic lake	Bohn and Fallis, 1978
	shorthorn sculpins	muscle	1.4	Arctic estuary	Bohn and Fallis, 1978
		liver	4.1	Arctic estuary	Bohn and Fallis, 1978
	whiting	muscle	2.5	Severn Estuary(UK)	Badsha and Sainsbury, 1977
	cod	average	1.3	NE coastal waters(UK)	Wright, 1976
	flatfish	average	1.4		
	littoral gastropods	average	9-550	Severn Estuary(UK)	Butterworth et al., 1972
Dog whelks (Necella lapillus)		500-1200	Bristol Channel(UK)	Stenner and Nickless, 1974	
	polychaetes (Hermodice carunculata)	whole body	5.6	Mediterranean(L ebanon)	Shiber, 1981
	polychaetes (Nereis diversicolor)	whole body	0.1-2.4	Cornwall(UK)	Bryan and Hummerstine, 1977
	Molluscs (Mytilus edulis)	soft part	19.9 (4-49)	Trondheims fjorden(Norway) metal mines	Lande, 1977
	brown shrimp	whole body	2.1 (0.4-3.8)	Gulf of Mexico(USA)	Horowitz and Presley, 1977
	rock shrimp	whole body	2.8 (1.8-4.2)		
	Bivalve (Scrobicularia plana)	digestive gland	3.6	SW England	Bryan and Hummerstine, 1977
		mantle and siphons	2.1		
foot and gonad		1.9			
marine gastropod (Thais lapillus)	digestive gland/gonad	554	coast of Wales(UK)	Irelan and Wooton, 1977	
	body	61			
Fish	muscle	0.5-2.0	polluted marine waters	Moore and Ramamoorthy, 1983	
Flounder	muscle	0.34	Medway estuary(UK)	Van Den Broek, 1979	
		0.77			
		0.72			
	Plaice	0.94	Medway estuary(UK)		
		1.30			
		1.32			
Mytilus edulis	muscle	0.3 (0.2-0.7)	Fjords(Norway)	Stenner and Nickless, 1974	
	fish	muscle	0.3	Mediterranean	Moore and Ramamoorthy, 1983
		liver	0.41		
Mytilus edulis	kidney	0.76			
	digestive gland	3-240	California	Young et al., 1978	
	gonad	4-360			
muscle	3-210				
Fish	average	0.5-33	Mediterranean coast(Israel)	Roth and Hornung, 1977	

표 2-12-5. 주요 국가별 수산물 미량금속 잔류허용기준

가				EU		
	(), 가 , (), () : 0.5 ppm	0.4ppm 0.3ppm ()	1.0ppm	0.5ppm 18 : 1.0ppm	0.5ppm ()	: 0.5ppm 가 : 1ppm
	(), 가 . (), () : 2.0ppm :1ppm(2ppm)		1.5ppm 1.7ppm	0.2ppm 11 : 0.4ppm () : 0.5ppm 1.5ppm () : 1.0ppm	Fish Protein Concentrate (FPC) : 0.5ppm	: 0.5ppm : 2ppm
	() : 2.0ppm(3ppm) :1ppm(5ppm) : 0.3ppm		: 3ppm 4ppm	: 0.05ppm 9 : 0.1ppm () : 0.5ppm 1.0ppm () : 1.0ppm		: 2ppm
			: 70ppm 80ppm			
			: 76ppm 86ppm		Fish Protein Concentrate (FPC) : 3.5ppm	: 2ppm : 1ppm
			: 12ppm 13ppm			

표 2-12-6. 폐기물 배출 해역에서 어획된 붉은 대게 근육 내 중금속의 범위
(평균±편차) (단위:ppm)

조사년	구분	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg	참고문헌
2006	최소	15.7	0.180	0.050	11.9	0.26	0.010	0.010	22.6	0.040	해양수산부 (2006)
	최대	38.4	1.280	0.220	27.5	18.99	0.150	0.890	37.4	0.240	
	평균	23.0	0.478	0.170	20.5	3.68	0.065	0.252	30.4	0.147	
	편차	8.1	0.414	0.063	5.8	7.51	0.060	0.364	6.3	0.084	
2009	최소	17.5	0.621	0.208	28.8	1.10	0.116	0.091	22.9	0.113	국토해양부 (2009)
	최대	29.4	2.360	0.286	42.1	16.50	1.144	0.174	24.9	0.148	
	평균	21.8	1.391	0.237	36.6	6.16	0.378	0.118	24.0	0.127	
	편차	4.9	0.639	0.026	4.4	5.84	0.330	0.028	0.8	0.015	
2012	최소	27.1	0.038	0.151	6.0	0.18	0.008	0.054	13.3	0.116	this study
	최대	38.7	0.344	0.247	11.5	0.37	0.029	0.264	24.0	0.223	
	평균	33.4	0.127	0.201	7.9	0.26	0.019	0.111	18.0	0.171	
	편차	3.3	0.087	0.031	1.6	0.06	0.007	0.063	3.1	0.044	

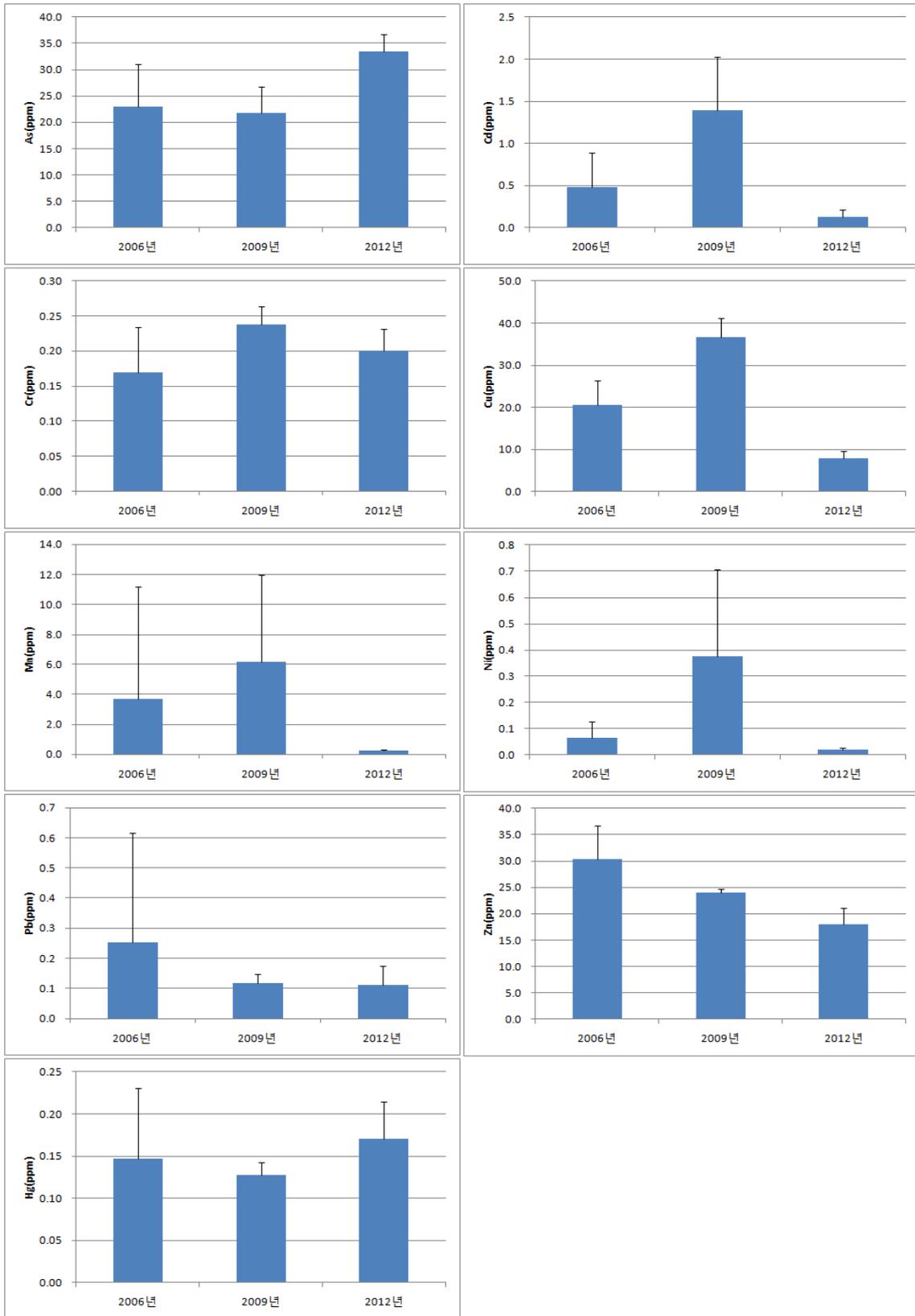


그림 2-12-20. 동해병 해역에서 어획된 붉은 대게 근육 내 중금속의 년도 별 평균 농도 및 편차

4. 결론 및 요약

동해 폐기물 배출해역인 병해역과 비배출해역에서 어획된 유용수산물중 중금속 오염 평가를 위하여 붉은 대게(*Chionoecetes Japonicus*) 및 대게(*Chionoecetes opilio*)의 근육 내에서 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn), 셀렌(Se), 철(Fe) 및 수은(Hg) 등의 중금속 성분을 조사 분석하였다.

폐기물 배출 해역에서 어획된 붉은 대게의 근육 내 중금속 농도범위(평균±편차)는 각각 은(Ag) 0.005~0.148 mg/kg.wet(평균 0.043±0.044 mg/kg.wet), 비소(As) 27.1~38.7 mg/kg.wet(평균 33.4±3.3 mg/kg.wet), 카드뮴(Cd) 0.038~0.344 mg/kg.wet(평균 0.127±0.087 mg/kg.wet), 크롬(Cr) 0.151~0.247 mg/kg.wet (평균 0.201±0.031 mg/kg.wet), 구리(Cu) 6.03~11.46 mg/kg.wet(평균 7.93±1.62), 철(Fe) 1.10~2.19(평균 1.63±0.42 mg/kg.wet), 망간(Mn) 0.183~0.372 mg/kg.wet(평균 0.264±0.057 mg/kg.wet), 니켈(Ni) 0.008~0.029 mg/kg.wet(평균 0.019±0.007 mg/kg.wet), 납(Pb) 0.054~0.264 mg/kg.wet(평균 0.111±0.063 mg/kg.wet), 아연(Zn) 13.3~24.0 mg/kg.wet(평균 18.0±3.1 mg/kg.wet), 셀렌(Se) 0.237~0.749 mg/kg.wet(평균 0.460±0.175 mg/kg.wet) 및 수은(Hg) 0.116~0.223 mg/kg.wet(평균 0.171±0.044 mg/kg.wet)였다. 비배출 해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 중금속 성분의 농도범위(평균±편차)는 각각 은(Ag) 검출한계 이하, 비소(As) 9.3~20.03 mg/kg.wet(평균 14.4±4.3 mg/kg.wet), 카드뮴(Cd) 0.005~0.034 mg/kg.wet(평균 0.017±0.008 mg/kg.wet), 크롬(Cr) 0.176~0.216 mg/kg.wet (평균 0.192±0.013 mg/kg.wet), 구리(Cu) 4.18~6.94 mg/kg.wet(평균 5.16±0.87), 철(Fe) 0.67~2.43(1.56±0.65 mg/kg.wet), 망간(Mn) 0.144~0.412 mg/kg.wet(평균 0.226±0.084 mg/kg.wet), 니켈(Ni) 0.018~0.039 mg/kg.wet(평균 0.028±0.007 mg/kg.wet), 납(Pb) 0.106~0.196 mg/kg.wet(평균 0.147±0.031 mg/kg.wet), 아연(Zn) 13.1~20.2 mg/kg.wet(평균 16.1±2.4 mg/kg.wet), 셀렌(Se) 0.373~0.711 mg/kg.wet(평균 0.503±0.143 mg/kg.wet) 및 수은(Hg) 0.045~0.059 mg/kg.wet(평균 0.053±0.007 mg/kg.wet)로써 붉은 대게 및 대게 근육 내 중금속 농도는 우리나라 및 주요 여러 나라의 수산물 안전기준 이내의 양호한 농도를 보였다.

폐기물 배출 해역 및 비배출 해역에서 어획된 붉은 대게 및 대게의 근육 내 중금속 농도는 비소, 카드뮴, 구리 및 망간의 경우 대체로 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 근육 내에서 평균 농도가 높고, 니켈과 납의 경우 비배출해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 농도가 높은 경향을 보였다.

그 외 조사 성분들의 경우 유의한 농도차이를 보이지 않았다.

특히, 오폐수 처리수의 지시 성분인 은 (Ag)의 경우 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 근육에서 미량이지만 검출되었고, 비배출 해역에서 어획된 대게의 근육 내에서 검출한계이하의 농도로써 배출해역에서 어획된 붉은 대게의 경우 폐기물 배출의 직간접적인 영향을 받고 있음을 의미하는 것으로 생각되어진다.

동해 병해역에서 2006년부터 2012년까지 붉은 대게의 근육내 중금속 농도의 연간 변동은 비소(As), 크롬(Cr) 및 수은(Hg)의 경우 증가하는 경향을 보이며, 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 망간(Mn), 니켈(Ni), 납(Pb) 및 아연(Zn)등의 농도는 감소하는 경향을 보였다.

제 3 장

런던의정서 준수지원

제 1 절 연구목적 및 내용

1. 연구목적

- 런던협약 및 런던의정서 회의 지원 및 동향 분석
- 런던의정서 준수를 위한 기술 지원
- 국제협약에서의 지위 확보를 위한 공동 협력

2. 연구수행기관

- 한국해양과학기술원 특정해역 보전관리연구센터

3. 주요 과업내용

- 제주 아시아·태평양지역 워크숍 및 런던협약/의정서 합동과학그룹 회의 개최
 - 제주 아시아·태평양지역 워크숍 및 런던협약/의정서 합동과학그룹회의 개최 관련 종합계획 수립 및 실무 준비
 - 개최 일시 및 장소 : 5.14 ~ 25, 제주 KAL호텔
 - 회의 개최 및 운영을 위한 분야별 실무조직 구성
 - 분야별 실무 조직 구성 및 역할 정리
- 런던협약/의정서 합동과학그룹회의 주제 (의장-아국 홍기훈 박사)
- 준수그룹 위원국으로서의 활동 지원
 - 준수그룹 위원국으로서 회의 참석(영국 런던 국제해사기구본부/10월)
 - 아·태지역 준수그룹 위원 역할 수행
- 당사국 준수 지원
 - 투기허가발행 보고서 작성을 위한 지원('10, '11년 허가발행)
 - 폐기물 배출해역 환경상태 보고서(안) 작성(IMO 제출 대비)
 - 런던의정서 준수를 위해 취해진 국내 행정·법적조치 보고서 제출

- 기타 런던의정서 사무국 요청사항 지원
- 기술 협력 및 지원
 - 아태지역 국가들의 런던협약/의정서 가입 유도 및 해양환경 보호를 위한 기술지원(런던의정서 제13조 의거)
- 폐기물 해양배출 국외 동향 분석
 - 당사국들에 대한 폐기물 해양배출 동향 분석
 - 당사국들에 대한 준수 이행상황 분석

4. 달성된 주요성과

- 런던협약/의정서 합동과학그룹회의 성공적 개최('12년 5월 제주)
- 런던의정서 아·태지역 워크숍의 성공적 개최('12년 5월 제주)
- 아국 홍기훈 박사 런던협약/의정서 합동과학그룹회의 의장 재선
- 아국 홍기훈 박사 런던협약/의정서 총회 부의장 선출
- 국제조약 회의 지원
 - 제35차 런던협약 및 제6차 런던의정서 합동 과학그룹회의 훈령 및 결과보고서
 - 제34차 런던협약 및 제7차 런던의정서 합동 당사국회의 훈령 및 결과보고서
- 우리나라의 런던의정서 준수그룹 위원국 임무 수행('09.10 ~ '12.10) 및 아·태지역 준수그룹 위원국 재선출('12.10 ~ '15.10)
- 런던의정서 당사국 준수를 위한 기술 지원
 - 투기허가 발행보고서('10, '11년 기간) 작성 자문 및 IMO 제출 지원
 - 런던의정서 준수를 위해 취해진 국내 행정·법적 조치 보고서 작성 및 IMO 제출
 - 폐기물 배출해역 환경상태 보고서(안) 작성
 - 폐기물 배출해역(서해병해역) 환경상태 보고서(안)

제 2 절 서 론

1972 폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양오염 방지에 관한 협약(이하 런던협약)은 산업폐기물의 해양투기로 인한 오염을 방지하기 위한 지구적 차원의 다자간 환경협정으로서 '72년에 체결되었다. 그리고 '96년에는 더욱 강화된 규제성을 갖는 의정서(일명 런던의정서)가 채택되어 '06년 3월 24일에 발효되었다.

우리나라는 1980년대에 이미 국제적으로 대량의 산업폐기물을 해역에 투기해온 국가로 국제해사기구의 런던협약 홈페이지에 소개될 정도로 많은 산업폐기물을 투기하여 그 량은 2006년에 약 1천만 톤에 이르렀으나 해양환경보호에 대한 국내적 공감대 형성으로 2014년 이전에 산업폐기물의 투기를 모두 종료할 계획으로 있다. 투기 해역의 오염은 어장을 폐쇄할 정도로 심화되어 해양환경 보호를 위한 노력이 국내외적으로 요구되었다.

국내적으로는 국제수준에 미치지 못하는 제도로 인해 다른 나라와는 달리 산업폐기물이 해양으로 투기되는 상황을 타개해야 했고, 국제적으로는 정부에서 지정한 투기해역이 인접 일본과 중국과의 공동 어로 수역에 속하여 직접적으로 이들 국가들로부터 발생할 마찰을 완화할 방안을 강구해야 했다.

국제적으로는 해역을 오염시키는 불량국가 혹은 국제기준을 준수하지 않는 미개한 국가로 오인되는 상황을 또한 타개해야 했다. 러시아연방이 동해 북부 해역에 방사성 폐기물을 투기한 사실과 그간 해양환경보호에 대한 공감대가 형성되어 우리나라는 1993년 12월에 런던협약에 가입하였다. 그리고 2003년부터는 런던의정서 가입 준비에 박차를 가하여 주변국가인 중국이 '06년 9월에, 일본은 '09년 2월에 당사국으로서의 위상을 확보하였다.

투기에 관한 국제 조약인 런던협약/의정서에서는 아국 투기 해역의 오염 심화에 따른 국제 압력을 완화하고 국내적으로는 이해당사자 협의와 제도 정비를 통해 선진국에서는 1996년에 이미 종료된 산업폐기물의 해양투기를 종료하기 위한 준비를 계속하여 2014년에 전면 금지하기로 입법조치를 완료했다. 여기서는 국제 부문만 검토한다.

아국 투기 해역의 오염에 따른 국제적 압력을 완화하기 위해 본 연구팀은 아국 폐기물 해양 투기 종료 계획의 홍보, 주요 의견 선도그룹과의 실무회의 개최 등으로 전회원국의 신뢰 확보를 통한 국내 이행 기간 확보하였다.

뿐만 아니라 회원국 공동의 글로벌 이슈 해결에 서신 및 작업반장 역할을

수행 했다. 가장 최근의 것은 이산화탄소스트림의 해저지질구조 격리 사업 시행의 목적으로 하는 이산화탄소 스트림을 수출하고 수입하는 경우에 수출·입 국가들 간에 체결해야할 약정서 작성에 관한 지침서 작성(아국 홍기훈 박사)을 했다. 또한 기후 완화 목적으로 등장하고 있는 기후지구공학 사업으로 인한 해양환경 오염을 방지하기 위한 규범을 런던의정서 내에 설치하는 작업과 건전한 방향으로의 논의 유도를 위한 회의 문서 제출 및 작업반 회의에 적극적으로 지도력을 발휘하였다.

아국 홍기훈 박사는 2003년부터 2010년까지 과학그룹회의 부의장을 그리고 '11년 5월에는 런던협약 및 런던의정서 합동 과학그룹회의 의장으로 선출되었고, 또 '12년에 연임되었다. 또한 '12년 10월에는 합동당사국총회 부의장으로도 선출되었다. 이로서 아국은 투기규제 국제 조약인 런던의정서/협약에서 우호적인 회원국들을 다수 확보하여 아국의 입장이 잘 수용되는 국제 환경을 조성하였다.

이제는 우리나라도 과거 해양배출 오염국으로부터 벗어나 해양환경에 대한 국제질서를 주도하는 선도적 역할을 담당하고 있다. 특히 '12년 5월에는 여수 세계해양박람회와 동시에 제주에서 아·태지역위크숍과 합동과학그룹회의가 성공적으로 개최됨에 따라 우리나라가 해양강국으로 첫발을 내딛는 중요한 해가 되었다.

런던협약과 달리 런던의정서는 제11조에서 조약의 준수를 위한 제도적 장치로써 준수지원 메커니즘의 분쟁 해결 제도를 규정하고 있다. 이에 따라 '08년 10월 제30차 런던협약 및 제3차 런던의정서 합동 당사국회의에서는 준수지원 메커니즘을 수행하기 위한 준수그룹이 설립되어 5개 유엔 지역그룹별 위원들이 선출되었고, 우리나라가 포함된 아시아 지역에서는 중국과 일본이 위원국으로 선출되었다.

'09년 제31차 런던협약 및 제4차 런던의정서 합동 당사국총회에서는 우리나라가 지명한 위원 후보가 준수그룹 아시아태평양지역(아·태지역 3명)을 대표하는 위원국(신창훈박사/아산정책연구소)으로 선출되어 임기 3년의 임무를 수행하였고, '12년 10월 당사국총회에서 다시 위원국으로 재선출(김영석교수/이화여대)되어 '15년까지 3년 임기를 수행할 예정이다.

그러나 해양강국으로서의 도약은 해양환경을 보호하는 책임이 뒤 따른다. 따라서 런던협약 및 런던의정서에 대한 심층적인 통찰은 우리나라가 당사국으로서의 규정 준수를 위한 제도 개선 및 실천 전략을 마련하는데 있어 매우 중요하다.

3

1. 런던협약 및 런던의정서 당사국 현황

가. 런던협약 당사국 현황

‘12년 12월 기준으로 런던협약 당사국은 총 87개국이다(표 3-3-1).

우리나라는 ‘93년 12월 21일에 가입서를 기탁하고 ‘94년 1월 20일에 런던협약 당사국 지위를 확보하였다.

표 3-3-1. 런던협약 당사국 가입 현황(LC 34/2, 2012)

순번	국 가	기탁서 제출 또는 서명일	비 고
1	Afghanistan	1975. 4. 2	
2	Antigua & Barbuda	1989. 1. 6	
3	Argentina	1979. 9.11	
4	Australia	1985. 8.21	런던의정서 당사국
5	Azerbaijan	1997. 7. 1	
6	Barbados	1994. 5. 4	런던의정서 당사국
7	Belarus	1976. 1.29	
8	Belgium	1985. 6.12	런던의정서 당사국
9	Benin	2011. 4. 28	
10	Bolivia	1999. 6.10	
11	Brazil	1982. 7.26	
12	Bulgaria	2006. 1.25	런던의정서 당사국
13	Canada	1975.11.13	런던의정서 당사국
14	Cape Verde	1977. 5.26	
15	Chile	1977. 8. 4	런던의정서 당사국
16	China	1985.11.14	런던의정서 당사국
17	Costa Rica	1986. 6.16	
18	Cote d'Ivoire	1987.10. 9	
19	Croatia	1991.10. 9	
20	Cuba	1975.12. 1	

표 3-3-1. (계속)

순번	국 가	기탁서 제출 또는 서명일	비 고
21	Cyprus	1990. 6. 7	
22	Democratic Rep. of the Congo	1975. 9.16	
23	Denmark	1974.10.23	런던의정서 당사국
24	Dominican Republic	1973.12. 7	
25	Egypt	1992. 6.30	런던의정서 당사국
26	Equatorial Guinea	2004. 1.21	
27	Finland	1979. 5. 3	
28	France	1977. 2. 3	런던의정서 당사국
29	Gabon	1982. 2. 5	
30	Germany	1977.11. 8	런던의정서 당사국
31	Greece	1981. 8.10	
32	Guatemala	1975. 7.14	
33	Haiti	1975. 8.28	
34	Honduras	1980. 5. 2	
35	Hungary	1976. 2. 5	
36	Iceland	1973. 5.24	런던의정서 당사국
37	Iran (Islamic Republic of)	1977. 1.13	
38	Ireland	1982. 2.17	런던의정서 당사국
39	Italy	1984. 4.30	런던의정서 당사국
40	Jamaica	1991. 3.22	
41	Japan	1980.10.15	런던의정서 당사국
42	Jordan	1974.11.11	
43	Kenya	1976. 1. 7	런던의정서 당사국
44	Kiribati	1982. 5.12	
45	Libyan Arab Jamahiriya	1976.11.22	
46	Luxembourg	1991. 2.21	런던의정서 당사국
47	Malta	1989.12.28	
48	Mexico	1975. 4. 7	런던의정서 당사국
49	Monaco	1977. 5.16	
50	Montenegro	2006. 6. 3	
51	Morocco	1977. 2.18	
52	Nauru	1982. 7.26	
53	Netherlands	1977.12.22	런던의정서 당사국
54	New Zealand	1975. 4.30	런던의정서 당사국
55	Nigeria	1976. 3.19	런던의정서 당사국
56	Norway	1974. 4. 4	런던의정서 당사국

표 3-3-1. (계속)

순번	국 가	기탁서 제출 또는 서명일	비 고
57	Oman	1984. 3.13	
58	Pakistan	1995. 3. 9	
59	Panama	1975. 7.31	
60	Papua New Guinea	1980. 3.10	
61	Peru	2003. 5. 7	
62	Philippines	1973. 8.10	런던의정서 당사국
63	Poland	1979. 1.23	
64	Portugal	1978. 4.14	
65	Republic of Korea	1993.12.21	런던의정서 당사국
66	Russian Federation	1975.12.30	
67	Saint Lucia	1985. 8.23	
68	Saint Vincent & the Grenadines	2001.10.24	
69	Serbia	1976. 6.25	
70	Seychelles	1984.10.29	
71	Sierra Leone	2008. 3.12	런던의정서 당사국
72	Slovenia	1991. 6.25	런던의정서 당사국
73	Solomon Islands	1984. 3. 6	
74	South Africa	1978. 8. 7	런던의정서 당사국
75	Spain	1974. 7.31	런던의정서 당사국
76	Suriname	1980.10.21	런던의정서 당사국
77	Sweden	1974. 2.21	런던의정서 당사국
78	Switzerland	1979. 7.31	런던의정서 당사국
79	Syrian Arab Republic	2009. 5. 6	
80	Tanzania	2008. 7.28	
81	Tonga	1995.11. 8	런던의정서 당사국
82	Tunisia	1976. 4.13	
83	Ukraine	1976. 2. 5	
84	United Arab Emirates	1974. 8. 9	
85	United Kingdom	1975.11.17	런던의정서 당사국
86	United States	1974. 4.29	
87	Vanuatu	1992. 9.22	런던의정서 당사국

나. 런던의정서 당사국 현황

‘12년 6월에 필리핀이 런던의정서에 가입함으로써 현재 런던의정서 당사국은 총 42개국이다(표 3-3-2).

우리나라는 ‘09년 1월 22일 가입서를 기탁하고 2월 21일에 런던의정서 당사국 지위를 확보하였다.

표 3-3-2. 런던의정서 당사국 가입 현황(LC 34/2/1, 2012)

순번	국가명	비준일	순번	국가명	비준일
1	덴마크	‘97.4	2	독일	‘98.10
3	영국	‘98.12	4	남아프리카공화국	‘98.12
5	바누아투	‘99.2	6	스페인	‘99.3
7	노르웨이	‘99.12	8	트리니다드 & 토바고	‘00.3
9	그루지아	‘00.4	10	캐나다	‘00.5
11	스위스	‘00.9	12	스웨덴	‘00.10
13	호주	‘00.12	14	아일랜드	‘01.4
15	뉴질랜드	‘01.7	16	앙골라	‘01.10
17	아이슬란드	‘03.5	18	통가	‘03.10
19	프랑스	‘04.2	20	이집트	‘04.5
21	세인트키트스&네비스	‘04.10	22	룩셈부르크	‘05.11
23	불가리아	‘06.1	24	사우디아라비아	‘06.2
25	벨기에	‘06.2	26	멕시코	‘06.2
27	슬로베니아	‘06.3	28	중국	‘06.9
29	바바도스	‘06.7	30	이탈리아	‘06.10
31	수리남	‘07.2	32	일본	‘07.10
33	케냐	‘08.2	34	시에라리온	‘08.3
35	마셜 군도	‘08.5	36	네덜란드	‘08.9
37	대한민국	‘09.2	38	가나	‘10.6
39	나이지리아	‘10.10	40	예멘	‘11.1
41	칠레	‘11.9	42	필리핀	‘12.6

2. 런던협약 및 런던의정서 회의의 논의 동향

'72년에 채택된 런던협약은 '75년 8월에 15개국이 가입서를 기탁하여 발효하였으며, 4개월 후인 12월에 제1차 런던협약 당사국회의가 영국 런던 국제해사기구 본부에서 개최되었다.

또한 '96년 채택된 런던의정서는 '06년 3월에 26개국이 가입서를 기탁함으로써 발효되었으며, 동년 10월에 영국의 국제해사기구 본부에서 런던협약 당사국회의와 합동으로 런던의정서 제1차 당사국회의가 개최되었다.

'12년에 개최된 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의와 당사국회의 현황은 표 3-3-3과 같다.

표 3-3-3. 2012년 개최된 런던협약 및 런던의정서 회의 현황

회의명	개최기간	개최장소
제35차 런던협약 및 제6차 런던의정서 합동과학그룹회의	5월 21~25일	대한민국 제주
제34차 런던협약 및 제7차 런던의정서 합동당사국회의	10월 29~11월 2일	영국 런던 국제해사기구본부

당해 연도는 우리나라가 과학그룹에서 의장국과 준수그룹 위원국으로 선출되었고, 특히 5월 제주에서 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의와 아·태지역위크숍이 성공적으로 개최됨으로서 해양강국으로서의 위상을 드높인 한해이었다.

이하에서는 2012년 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의와 당사국회의에서 논의된 결과를 주요 의제별로 요약 정리하였다.

가. 최근 회의에서의 의제별 주요 논의 동향

(1) 과학그룹회의

의제명	주요 논의 결과
이산화탄소 격리 · 해저지질구조 격리 · 해양 시비	《이산화탄소 해저지질구조내 격리; 런던의정서 의제》 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 런던의정서 범위내에서 해저지질구조로의 이산화탄소 격리에 따른 해양환경의 잠재적 위험과 이익에 대해 작업반을 구성하여 검토하고, 정책결정을 위한 기

의 제 명		주요 논의 결과
		<p>술적 검토자료를 작성함</p> <p>○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해저지질구조로의 처분을 위한 이산화탄소 스트림 평가 특정지침서 초안을 준비할 작업반을 구성 <p>○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5/스페인)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 평가특정지침서안을 수정하고, 당사국회의 검토를 위해 송부하기로 함 · 이산화탄소 해저지질구조 격리사업의 허가현황 보고 양식을 개발하기로 함 · 영리목적의 해양 철 시비 중지 선언문 채택 <p>○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해저지질구조 격리된 이산화탄소 스트림의 월경에 대한 법적·기술적 검토 추진 · 이산화탄소 해저지질구조 격리사업의 허가현황 보고 양식을 채택 · 해양시비 규모 등 제안서 평가서 개발 추진 <p>○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해저지질구조 격리된 이산화탄소 스트림의 월경에 대한 법적·기술적 검토에 대한 회기간 작업반 활동 보고 후, 다음을 합의 <ul style="list-style-type: none"> - 동 격리 관련 기술적 사안들의 존재 가능성을 인식하고, - 만일 의정서 6조(이산화탄소 수출금지) 개정이 채택될 경우, 당사국회의에서 상기 사안을 검토하도록 권고 <p>○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소 격리지침 개정 필요성 작업을 '12년까지 완료하기로 하고, 차기년도 회의에서 세부사안을 논의하기로 함 <p>○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 당사국에게 이산화탄소 격리지침 개정관련 정보 제공을 독려 <p>○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소 해저지중저장 지침서 개정안 개발 · 해저지중저장용 이산화탄소 수출 관련 협약 또는 협정 개발 이행에 관한 지침안 검토 <p>《해양시비》</p> <p>○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해양시비 작업반(반장국: 대한민국)에서 개발된 연구사업용 평가체계를 채택 <p>○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 연구사업용 해양시비 평가지침 채택, 당사국회의로 송부함 <p>○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해양시비에 대한 과학 개요서를 검토하고, 런던협약/의정서 목적과의 적격성에 대한 지속적인 작업 필요성을 제안 <p>○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 일반배치 평가체계 개발 · 해양시비 평가체계 적용에 관한 웹근간 문헌 보관소 개발 권고에 동의
폐기물 평가지침	포괄적 지침서 (WAG/ 1997)	<p>○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 해양처분을 위한 퇴적물 채집지침서를 완료 <p>○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 지침서를 항목별로 검토하고 수정함 <p>○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1997 해양투기 폐기물 및 기타물질 평가를 위한 지침(일명 포괄적 지침) 개

의 제 명	주요 논의 결과
	<p>정안을 검토하고, 회기간 검토를 지속하기로 함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 포괄적 지침 수정안 채택 및 미비점은 차기 회의까지 보강 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) <ul style="list-style-type: none"> · 포괄적 지침 개정안을 채택, 당사국회의로 송부함 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) <ul style="list-style-type: none"> · 기존 지침들을 채택 5년 후부터 갱신여부 검토 합의에 따라, 준설물평가지침 갱신을 위한 각 장별 임무 할당과 작업 일정을 합의
'96의정서 의거 긴급 상황제기하고 결정하는 절차 및 기준	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) <ul style="list-style-type: none"> · 의정서 8.1과 8.2항(긴급상황, 비상사태)을 구분 적용하는 흐름도를 완성하고, 당사국회의에 송부함
불활성무기 지질물질 평가지침서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 25차 런던협약 과학그룹회의('02. 5/자메이카) <ul style="list-style-type: none"> · 일본의 보오크사이트 잔재물 해양투기가 불활성무기지질물질 범주 해석에 주요 문제가 있음을 지적하고, 불활성무기지질물질 평가를 위한 특정지침서를 심의하기로 함 ○ 26차 런던협약 과학그룹회의('03. 4/영국 런던) <ul style="list-style-type: none"> · 일본의 보오크사이트 잔재물의 협약 정의(불활성무기지질물질) 해당여부 논란 지속 ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) <ul style="list-style-type: none"> · 일본의 보오크사이트 잔재물 투기해역 환경상태를 보고하고, 과학그룹회의에서는 일부 조사결과(생물축적등)에 의문을 제기 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) <ul style="list-style-type: none"> · 일본이 '16년부터 보오크사이트 해양투기 금지 계획을 보고 · 작업반을 구성하여 지침서의 애매모호한 용어를 결정할 수 있는 기준을 정리하기로 함 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) <ul style="list-style-type: none"> · 작업반이 작성한 불활성무기지질물질 적격여부 판단을 위한 단계별 문답식 기준안을 검토, 보완하여 교본으로 채택함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 불활성무기지질물질 평가 특별지침서의 재검토를 차기 회의에 하기로 함 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) <ul style="list-style-type: none"> · 불활성무기지질물질 적격기준을 평가지침 부속서에 포함시킨 평가지침서를 채택, 당사국회의로 송부
대형물체 평가지침서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 차기회의까지 검토하여 '08년 당사국회의에서 채택 목표로 추진 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) <ul style="list-style-type: none"> · 회기간 서신반을 재구성하여 작업 추진 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) <ul style="list-style-type: none"> · 동 지침서 보완을 위한 최종 일정 합의('10년 과학그룹회의에 지침 초안 제출) ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) <ul style="list-style-type: none"> · 지침 초안 보완을 위한 서신반을 구성하여 작업을 지속하기로 함

의 제 명		주요 논의 결과
준설물질 처리기준 개발 지침		<ul style="list-style-type: none"> ○ 25차 과학그룹회의('02. 5/ 자메이카) · 포괄적 지침서 범위 내에서 각 당사국이 자국의 처리기준을 개발하고, 투기로 인한 인간건강과 해양환경에 미치는 잠정영향을 다루는 기술지침을 제공하기로 결의 ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) · 생물독성 분석에 기반을 둔 처리기준에 관한 정보를 포함시킬 것을 요청함 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 작업반을 구성하고 각 항목별로 지침서를 작성할 회기간 서신반을 선정함 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) · 작업반을 소집하여 회기간서신반이 작성한 지침서를 검토하고, 미비점 보완을 위한 서신반 설정 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 서신반 초안에 대해 논의, 차기회의에서 완성하기로 함 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 총 8장으로 구성된 준설물질 처리목록 및 처리기준 개발 지침서를 채택, 당사국 회의로 송부함
	준설물질 평가지침 보완	<ul style="list-style-type: none"> ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹회의('10. 5/영국) · 준설물질 평가지침을 갱신하기로 합의하고 작업을 위한 서신반 설립(반장국; 미국, 아국 참여) ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · 준설물질 평가지침의 추가 개정을 위한 회기간 서신반 재설립 · 준설물질 지침 개정안 당사국회의 회부
	생선폐기물 처리기준 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · 생선폐기물 처리기술 개발을 위한 서신반을 구성하고, '11년까지 작업을 지속하기로 합의(반장국: 호주, 아국 참여) ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · 생선폐기물 평가지침의 추가 개정을 위한 회기간 서신반 재설립 · 생선폐기물 지침서 최종 개정안 당사국회의 회부
인공어초 배치 국제지침	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) · 런던협약 및 런던의정서의 목적에 부합되는 인공어초 배치에 관한 세계적 지침서를 개발하기로 합의함(회기간 교신반 구성) ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 단순처분 이외의 목적을 위한 물질 배치에 대한 미국의 사례 및 경험을 소개함 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) · UNEP가 국가별 인공어초 지침, 이행 및 사례연구들을 수집한 자료를 소개 및 검토하고, 지침서 개발을 위한 서신반을 구성함(스페인 반장) ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 서신반이 작성한 지침서 초안을 검토하고, 미비점 보강(환경영향평가, 청소 및 준비절차, 모니터링)하여 '08년 완성하기로 함 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 인공어초 배치 지침안을 채택, 당사국회의로 송부 	

의 제 명		주요 논의 결과
투기허가 발행보고 심의 및 보고서 제출 개선 노력	투기허가 보고 개선	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의(04. 5 / 케냐) · 당사국 투기허가 발행 보고율이 낮은 점을 개선하기 위해 전략적 행동계획을 작성하여 보고서 양식을 개발하기로 함 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의(05. 6 / 영국) · 기존보고양식을 새로운 전자양식으로 개선할 것을 제안하고, 작업반을 구성함 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의(06. 6 / 중국) · 1999~2002년 기간 당사국들의 투기현황을 검토하고 정리된 내용을 회의에 보고함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 1999~2002년 당사국 투기현황보고 현황을 데이터베이스로 구축하고, 1년간 시범운영 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 빠른 시일내 데이터베이스를 완료하기로 함 ○ 32차 런던협약 미 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) · 동 데이터베이스 개발 진행상황을 보고하고, 차기 당사국회의까지 완료 목표를 둠 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · 투기현황 및 투기장 지도에 대한 데이터베이스 작업이 거의 완료되었고, 조만간 웹을 통해 공개될 계획임을 사무국이 보고 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) · 회기간서신반을 통해 제안된 양식을 보완하고, 당사국회의에 제출하도록 권고
	당사국 투기허가 발행보고	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의(04. 5 / 케냐) · 1999년과 2000년의 당사국 투기허가발행 보고를 검토함- 한국의 보크사이트 잔재물 해양배출의 부적절함이 제기되었고, 1999년에 비해 2000년 투기량이 증가한 사유에 대한 설명을 차기회의에서 할 것을 요청함(일본도 한국의 투기장이 자국의 EEZ와 가까운데 대해 사건으로 우려를 표시함) ○ 28차 런던협약 과학그룹회의(05. 6 / 영국) · 2002년의 당사국 투기발행현황보고를 검토함-한국의 건설공사오니, 정수오니 해양투기가 지적됨 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의(06. 6 / 중국) · 2003년의 당사국 투기허가발행보고를 검토함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 2004년의 당사국 투기허가발행 보고 검토 및 미보고 국가(33개국) 명단 공개 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 2005년의 당사국 투기허가발행 보고 검토 및 미보고 국가(32개국) 명단 공개 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) · 2006년의 당사국 투기허가발행 보고 검토 및 미보고 국가(33개국) 명단 공개 · 대한민국이 “보오크사이트 잔재물 투기감축 노력” 문서 제출(LC/SG 32/5) 및 회의에서 내용 소개 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · 2007년 당사국 투기허가발행 보고서 및 2008년 동 보고서 초안 검토 및 미보고 국가 명단 공개 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) · 2008년 당사국 투기허가발행보고서 중 필리핀, 스페인, 페루, 칠레가 보고한

의 제 명		주요 논의 결과
		<p>투기품목에 의문이 제기되고, 당사국회의에서 재논의하기로 함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · '08~'10년 기간의 당사국 투기현황에 대해 서신반(반장국: 아일랜드)이 종합 정리한 문서를 검토하고 인쇄 오타 수정
해양환경 모니터링 및 평가	모니터링 보고서 및 투기장 환경상태 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) · 미국(인산비료제조시설 폐수 긴급처분)과 캐나다, 영국(준설물질 모니터링 결과)이 보고함 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 일본, 영국, 캐나다, 미국, 프랑스, 이탈리아, 독일이 자국의 모니터링 및 해양 환경 평가 결과를 보고 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) · 캐나다, 영국이 제출한 모니터링 보고서를 검토하고 자문함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 영국, 캐나다, 미국이 준설물질 모니터링 결과를 보고 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 영국, 미국, 벨기에가 모니터링 활동 보고 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) · 영국, 미국이 모니터링 활동을 보고 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · '96년 이후 당사국들이 수행한 모니터링활동에 관한 개요를 검토하고, 동작업을 지속적으로 하기로 함의 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) · 일본이 보크사이트잔재물 투기해역 모니터링 경과를 보고 ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · 영국, 미국은 준설도 투기장 모니터링 등 자국 제출 보고서 소개
	유엔정규 과정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) · 한국이 유엔 정규과정 설립에 대한 현황에 대해 소개 · 동 회의는 회기중 서신반을 구성하여 런던협약/의정서에서 발행되는 모니터링 보고서가 정규과정에 유용한 기여를 할 수 있는 지를 검토하기로 함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 작업반(아국 반장)이 유엔에서 평가사업의 평가를 '09년 목표로 착수함 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 아국이 유엔정규 해양환경상태보고서 작성을 위한 소요비용(\$8,000) 지원 표명 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) · 해양환경상태보고서 작성을 위한 계약 위임 계획('09. 9. 15)을 채택 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · 아이슬랜드 화산폭발로 의제 논의를 차기년도로 연기함 ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · 당사국, 참관기구 또는 사무국이 제출하는 유엔정규과정에 대해 검토, 차기회의에서 이 과정 관련 작업을 개시하기로 결정
기술협력 및 해양오염 방지 활동 관련 연안관리	<p>동일 분야 기구들과의 협력</p> <ul style="list-style-type: none"> · MEPC · UNEP/GP 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) · 마폴 73/78 부속서 5의 화물연관 폐기물 해양투기에 따른 문제가 제기되고, 사무국에게 IMO와 접촉하여 규모와 형태를 파악할 것을 지시함 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 런던협약의 선박 "정상운용" 면제에 대한 MEPC와의 공동협력과 당사국들이 선박의 정상운용 대신 투기로 간주하는 사례를 검토키로 하고, 실무자 그룹을

의 제 명		주요 논의 결과
사안	A	<p>구성하기로 결정함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) <ul style="list-style-type: none"> · 런던협약/마폴 간 합동서신반 결과를 검토할 작업반을 구성함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 작업반이 손상화물과 화물잔류물에 대한 양 조약간 차이를 분명히 하고, 선장에 대한 권고(초안) 작성과, 이를 기록하는 방안을 검토 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) <ul style="list-style-type: none"> · 손상화물 관리 지침안 채택 및 당사국회의로 송부 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) <ul style="list-style-type: none"> · 조선소 바깥에서의 선체 스크래핑 활동을 향후 런던협약/의정서와 MEPC 협력 사안에 포함시킴 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) <ul style="list-style-type: none"> · 손상화물 사안에 대한 MEPC와의 협력 및 광산폐기물의 하천/해저처분사안에 대한 UNEP-GPA와의 협력 배경 및 진행상황을 설명하고, 당사국회의에서 구체적인 논의를하기로 함 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) <ul style="list-style-type: none"> · 과학그룹은 선체 스크래핑에 대한 MEPC에 자문자로서 의견 제공을 제안 ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) <ul style="list-style-type: none"> · 선체 스크래핑 관련 MEPC와의 협력 방안 검토 · 실무작업반은 개정된 마폴 부속서 5('13년 1월부터 효력) 관련 MEPC 62차 63차 보고서 검토, 런던협약/의정서 목적 부합을 위한 런던협약/의정서/MEPC 공동 손상화물 관리 지침(안) 개발, 검토 · MARPOL 부속서 개정까지 중단되었던 손상화물 관련 홍보 재개를 권고
	선박 TBT 도로 제거용 최적관리 지침서 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) <ul style="list-style-type: none"> · AFS협약('08. 9. 17 발효)의 이행을 위한 선박 방오시스템 제거를 위한 최적 관리 지침서 개발 필요성 제기 및 이를 위한 작업반 소집 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 작업반이 각국 우수사례를 수집하고 소개하고, 이를 토대로 지침서를 개발하기로 함 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) <ul style="list-style-type: none"> · 동 지침서안을 채택하고 당사국회의로 송부
	하수처리 시설 및 하수오니 관리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) <ul style="list-style-type: none"> · 한국에게 하수오니 투기에 관련한 문서 제출을 요청 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) <ul style="list-style-type: none"> · 한국이 하수오니 현황 및 해양투기 감축을 위한 정부 노력을 보고함 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) <ul style="list-style-type: none"> · 마폴 부속서 V에서 회색지대인 크루즈선의 하수오니 사안을 차기 과학그룹회의에서 의제로 채택함 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) <ul style="list-style-type: none"> · 아국의 하수오니 처리관련 진행상황을 차기 과학그룹회의에 보고하도록 요청 ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) <ul style="list-style-type: none"> · 미국은 도시폐수 재이용을 통한 물 부족 해소 경험 소개 · 아국 하수오니 해양투기 저감정책* 보고
	워크숍	<ul style="list-style-type: none"> ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) <ul style="list-style-type: none"> · '12년 제주에서 개최되는 아태지역 워크숍 세부프로그램(안)을 승인하고, 당사국회의로 송부

의 제 명	주요 논의 결과
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · '12. 5.14~18 제주도 KAL호텔에서 개최된 아·태지역위크숍 참가현황, 내용 등 성과를 보고
의장단 선출	<ul style="list-style-type: none"> ○ 27차 런던협약 과학그룹회의('04. 5 / 케냐) · 의장(Craig Vogt/미국), 부의장(홍기훈/대한민국) 선출 ○ 28차 런던협약 과학그룹회의('05. 6 / 영국) · 의장(Craig Vogt/미국), 부의장(홍기훈/대한민국) 재선출 ○ 29차 런던협약 과학그룹회의('06. 6 / 중국) · 의장(Craig Vogt/미국), 1부의장(Chris Vivian/영국), 2부의장(홍기훈/대한민국) 선출 ○ 30차 런던협약 및 1차 의정서 합동과학그룹회의('07. 5 / 스페인) · 의장(Chris Vivian/영국), 1부의장(홍기훈/대한민국), 2부의장(Linda Porebski/캐나다) 선출 ○ 31차 런던협약 및 2차 의정서 합동과학그룹회의('08. 5/에콰도르) · 의장(Chris Vivian/영국), 1부의장(홍기훈/대한민국), 2부의장(Linda Porebski/캐나다) 재선출 ○ 32차 런던협약 및 3차 의정서 합동과학그룹회의('09. 5/이탈리아) · 의장(Chris Vivian/영국), 1부의장(홍기훈/대한민국), 2부의장(Linda Porebski/캐나다) 재선출 ○ 33차 런던협약 및 4차 의정서 합동과학그룹 특별회의('10. 5/영국) · 의장(Chris Vivian/영국), 1부의장(홍기훈/대한민국), 2부의장(Linda Porebski/캐나다) 재선출 ○ 34차 런던협약 및 5차 의정서 합동과학그룹회의('11. 4/에스토니아) · 의장(홍기훈/대한민국), 1부의장(Linda Porebski/캐나다), 2부의장(Darall Brown/미국) 선출 ○ 35차 런던협약 및 6차 의정서 합동과학그룹회의('12. 5/제주) · 홍기훈박사를 의장으로, Linda Porebski를 제1부의장, Darrel Brown을 제2부의장으로 선출

(2) 당사국회의

/		○ 25 ('03. 10 /) · 가 ; 80 · 가 ; 18 ○ 26 ('04. 11 /) · 가 ; 80 · 가 ; 20 ○ 27 ('05. 10 /) · 가 ; 81 · 가 ; 21 ○ 28 1 ('06. 11 /) · 가 ; 81 · 가 ; 30 (가 /9.29) ※ '06 3 24 ○ 29 2 ('07. 11/) · 가 ; 82 · 가 ; 32 (가 /10.2) ○ 30 3 ('08. 10/) · 가 ; 85 · 가 ; 36 ○ 31 4 ('09. 10/) · 가 ; 86 · 가 ; 37 (가 /1.22) ○ 32 5 ('10. 10/) · 가 ; 86 · 가 ; 39 (가 , 가) ○ 33 6 ('11. 10/) · 가 ; 87 · 가 ; 41 (, 가) ○ 34 7 ('12. 10/) · 가 ; 87 · 가 ; 42 (가)
	11.1 () <11.1 : 2 가, >	○ 25 ('03. 10 /) · 24 ○ 26 ('04. 11 /) · () ○ 27 ('05. 10 /) · , 2가 ○ 28 1 ('06. 11 /) · → 5 15 , ○ 29 2 ('07. 11 /) · 가

		→ (6), 3/4
		○ 30 3 ('08. 11 /) · (6) 1
		○ 31 4 ('09. 10 /) · 가 (2 , 3) 2 (가 , /)
		○ 32 5 ('10. 10/) · 3 13 (, ,) · 3 4 (), () , 2 가 (,) 1 () , 1 (가)
		○ 33 6 ('11. 10/) · 4 11 (, ,) · 4 5 (), () · 가 · 가
		○ 34 7 ('12. 10/) · 5 7 (, ,) · 6 (), () · (3) 5 (5)- 2 Ms. Zhao Lei (6), · 가 가 ·
	(6 / 9)	○ 25 ('03. 10 /) · '99~'02 가 , 가
		○ 26 ('04. 11 /) · 1999, 2000 가 42% . (5 가)
		○ 27 ('05. 10 /) · 가 , · , 5 가
		○ 28 1 ('06. 11 /) · 가 (1995-2003) ; 41 / 5 가(30)
		○ 29 2 ('07. 11 /) · 가 (1995-2004); 5 (~ 2002) 33

		○ 30	3	('08. 10 /)	
		· 가	(1995-2005);	5 (~ 2003)	32
		○ 31	4	('09. 10 /)	
		· 가	(1995-2006);	5 (~ 2004)	33
		○ 32	5	('10. 10 /)	
· 가	(1995-2007);	5 (~ 2005)	28		
		· 가		()	
		○ 33	6	('11. 10 /)	
		· 6 (, , , , ,)		5 가 (34	
		○ 34	7	('12. 10 /)	
		· 가	(1976-2011);	5 (~ 2010)	33
		《		》	
		○ 26		('04. 11 /)	
		·		,	
		·		,	가
		○ 27		('05. 10 /)	
		·		,	'06.
		2. 1			
		· /			
		· '06 4			
		·			
○ 28	1	('06. 11 /)			
·	('06.4)	→ 10			
·		가	I		
(가 7 8 가)					
· ('06.4)		→ 10			
· 가		→			
· 가					
○ 29	2	('07. 11 /)			
· 가 가					
· 가					
○ 30	3	('08. 10 /)			
·		(6	,		
)			
○ 31	4	('09. 10 /)			

		<p>· 6 () · 가)</p> <p>○ 32 5 ('10. 10/)</p> <p>·</p> <p>○ 33 6 , '11 ('11. 10/)</p> <p>·</p> <p>○ 34 7 ('12. 10/)</p> <p>· 6</p> <p>· 가 가</p> <p>《 》</p> <p>○ 29 2 ('07. 11 /)</p> <p>· ()</p> <p>· 가</p> <p>○ 30 3 ('08. 10 /)</p> <p>·</p> <p>○ 31 4 ('09. 10 /)</p> <p>· 1</p> <p>· '10 2</p> <p>○ 32 5 ('10. 10/)</p> <p>·</p> <p>·</p> <p>· (placement) ()</p> <p>○ 33 6 ('11. 10/)</p> <p>· 4가 1</p> <p>○ 34 7 ('12. 10/)</p> <p>· (鐵)</p> <p>· 4 2 -</p> <p>· , ,</p>
1972		<p>○ 25 ('03. 10 /)</p> <p>· ,</p> <p>○ 27 ('05. 10 /)</p> <p>· , '06</p> <p>· , 2007</p> <p>○ 28 2 ('06. 11 /)</p> <p>·</p>
	/	<p>○ 26 ('04. 11 /)</p> <p>·</p>

		<p>), MEPC(IMO</p> <p>)</p> <p>○ 27 (‘05. 10 /)</p> <p>·</p> <p>○ 28 1 (‘06. 11 /)</p> <p>· (‘07)</p> <p>○ 29 2 (‘07. 11 /)</p> <p>· TBT</p> <p>○ 30 3 (‘08. 10 /)</p> <p>·</p> <p>·</p> <p>○ 31 4 (‘09. 10 /)</p> <p>·</p> <p>· MEPC</p> <p>○ 32 5 (‘10. 10 /)</p> <p>· MEPC V</p> <p>· IMO MEPC</p> <p>· ‘11</p> <p>· UNEP-GPA</p> <p>· B2C</p> <p>· (2009) ‘11</p> <p>가</p> <p>○ 33 6 (‘11. 10/)</p> <p>· 5 MEPC</p> <p>○ 34 7 (‘12. 10/)</p> <p>· MEPC 65</p> <p>·</p>
1972		<p>○ 25 (‘03. 10 /)</p> <p>·</p> <p>OSPAR 가 ‘99</p> <p>○ 26 (‘04. 11 /)</p> <p>· IMO 가</p> <p>· , DWRC</p> <p>○ 27 (‘05. 10 /)</p> <p>·</p> <p>·</p> <p>○ 28 1 (‘06. 11 /)</p> <p>·</p> <p>○ 29 2 (‘07. 11 /)</p> <p>· (‘08)</p> <p>○ 30 3 (‘08. 10 /)</p> <p>·</p>

		○ 27 ('05. 10 /) · 가 (LC.51(16))
		○ 28 1 ('06. 11 /) · IAEA()
		· IAEA()가 가 ,
		○ 29 2 ('07. 11 /) ·
		○ 30 3 ('08. 10 /) · IAEA가
		○ 31 4 ('09. 10 /) · IAEA가
		○ 32 5 ('10. 10 /) · IAEA가
		<'03 IAEA가 >
		○ 33 6 ('11. 10/) ·
		○ 34 7 ('12. 10/) · IAEA
		○ 26 ('04. 11 /) · ('95-'03 10)
		○ 27 ('05. 10 /) ·
		○ 28 1 ('06. 11 /) · ()
		○ 31 4 ('09. 10 /) · / 가 Mr. Rick Boelens 10
		○ 32 5 ('10. 10 /) · / 가 Mr. Rick Boelens ()
		○ 33 6 ('11. 10/) · ,
		○ 34 7 ('12. 10/) · '13

	(GMA)	○ 26 ('04. 11 /) . 가 가 , '04 UN
		○ 27 ('05. 10 /) . 2
		○ 28 2 ('06. 11 /) . ,
		○ 30 3 ('08. 10 /) . \$8,000 (가)
		○ 31 4 ('09. 10 /) . / 가 , '08 (\$8,000)
		○ 34 7 ('12. 10 /) . 가 (UN Regular Process)
○ 26 ('04. 11 /) . : '05. 5. 23~27, . : '05. 10. 24~ 28,		
○ 27 ('05. 10 /) . : '06. 6. 5~9, . : '06. 10. 30~ 11. 3,		
○ 28 1 ('06. 11 /) . : '07. 6. 18~22, . : '07. 11. 5~9,		
○ 29 2 ('07. 11 /) . : '08. 5. 19~23, . : '08. 10. 27~31,		
○ 30 3 ('08. 10 /) . : '09. 5. 25~29, . : '09. 10. 26~28, . : '09. 10. 26~30,		
○ 31 4 ('09. 10 /) . : '10. 4. 19~23, . : '10. 10. 11~13, . : '10. 10. 11~15,		
○ 32 5 ('10. 10 /) . : '11. 4. 11~15, . : '11. 10. 17~19, . : '11. 10. 17~21,		
○ 33 6 ('11. 10 /) . : '12. 5. 21~25, . : '12. 10. 29~11. 2, . : '12. 10. 29~31,		

	<p>○ 34 7 ('12. 10/)</p> <ul style="list-style-type: none"> • : '13. 5. 27~31, • : '13. 10. 14~10. 16, • : '13. 10. 14~18,
	<p>○ 25 ('03. 10 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mr. John Karau/), 1 (Mr. Vitor Escobar Paredes/) 2 (<Mr. Saeid Hosseini Emami/) <p>○ 26 ('04. 11 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mr. John Karau/), 1 (Mr. Vitor Escobar Paredes/) 2 (Mr. Saeid Hosseini Emami/) <p>○ 27 ('05. 10/)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mr. Vitor Escobar Paredes/), 1 (Mrs. Chen Yuan/), 2 (Mr. Saeid Hosseini Emami/) <p>○ 28 1 ('06. 11 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mr. Vitor Escobar Paredes/) / 1 (Mrs. Chen Yuan:), 2 <p>○ 29 2 ('07. 11 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mr. Vitor Escobar Paredes/) / (Mrs. Chen Yuan/) , 2 <p>○ 30 3 ('08. 10 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mrs. Chen Yuan/), 1 (Matthew Johnston/) , 2 <p>○ 31 4 ('09. 10 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Mrs. Chen Yuan;), 1 (Matthew Johnston;) , 2 <p>○ 32 5 ('10. 10 /)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Ms. Chen Yuan;) , 1 (Mr. Tara Ross-Watt;) 2 (Mr. Ali Akbar Marzban;) <p>○ 33 6 ('11. 10/)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Ms. Chen Yuan;) , 1 (Mr. Ali Akbar Marzban;) 2 (Mr. Victor Escobar;) <p>○ 34 7 ('12. 10/)</p> <ul style="list-style-type: none"> • (Ms. Sue Milburn-Hopwood:), 1 (Cap. Ibraheem Olugbada:), 2 (:)

나. 2012년 런던협약 및 런던의정서 회의 상세 결과

(1) 제35차 런던협약 및 제6차 런던의정서 합동 과학그룹회의

(가) 회의 개요

회의명	제35차 런던협약 및 제6차 런던의정서 합동 과학그룹회의
기간/ 장소	2012. 5. 21 ~ 25 / 대한민국 제주
참가국 및 국제단체	<ul style="list-style-type: none"> · 런던협약 당사국(아국포함 8개국), 런던의정서 당사국(아국포함 14개국) · 비협약국(10개국), · 국제기구 및 비정부간 기구(5개)

(나) 의제별 논의 결과

의제 1 : 의제 채택

○ 15개 의제 및 일정을 채택함

일시		의제	
5.21 (월)	오전	개회	
		의제 1	의제 채택
		의제 2*	폐기물 평가지침
	오후	의제 2	(계속)
5.22 (화)	오전	의제 3	해양기후공학
		의제 4*	이산화탄소 해저지질구조내 격리(런던의정서의제)
	오후	의제 5*	투기활동 보고
5.23 (수)	오전	의제 6*	기술협력 및 지원
		의제 8*	연안관리 문제
	오후	의제 7	모니터링 및 해양환경 평가
5.24 (목)	오전	작업반 보고서 검토	
		의제 9	서식지 보완 및 개선
		의제 11	지침, 매뉴얼, 교본 등
		의제 12	합동 작업 프로그램 검토
	오후	과학의 날 : 해양에서의 이산화탄소 모니터링 기법	

일 시		의 제	
5.25 (금)	오전	의제 10	과학의 날 성과 검토
		의제 13	기타 사안
		의제 14	의장 및 부의장 선출
		의제 15	보고서 심의 및 채택
		회의 종료	

의제 2 : 폐기물 평가지침

- 준설풀 평가지침('00년 채택) 검토 및 갱신
 - 동 지침 갱신 논의를 위해 실무작업반(반장국 : 미국)을 구성하여 그 동안 작업한 결과를 검토함
 - 작업반 논의 결과 : 1) 기존의 지침에 퇴적물의 재사용 가치에 관한 상세한 설명 포함하고, 2) 오염퇴적물 위험 관리 및 감소에 적용할 관리 사례를 추가. 3) 문헌 및 각국이 채택한 지침 등을 이용하여 준설풀질의 구분, 처리 기준 적용 관련 지침의 확장, 4) 모니터링 프로그램 관련 정보를 추가, 5) 준설풀질 평가와 관리 관련 기술 정보 및 지침에 관한 참고 문헌을 추가하여 평가 지침 개정안을 업데이트할 것을 제안하고, 과학그룹은 이를 승인하고 당사국회의로 송부함
- 생선풀처리기준 개발에 관한 지침 검토
 - 실무작업반(반장국: 캐나다)를 구성하여 준설풀 처리기준 개발에 관한 지침('08년 채택)과 유사한 형태의 생선풀처리기준관련 지침 개발을 위해 그동안 작업한 결과를 검토하고, 동 기준 적용에 대한 당사국 사례 등 동 지침 완료 작업을 위해 회기간서신반*을 재구성
 - 관련 문서를 남태평양 도서국가 및 기타 관련 지역기구에 전달하기로 함
- 폐기물 품목별 평가지침에 대한 적용 촉진을 위한 검토
 - 실무작업반(반장국: 호주)을 구성하여 평가지침 효과 및 미비점 개선 등 동 지침들의 접근성에 대해 중점 논의한 후 다음을 제안;
 - 좀더 이해를 쉽게 하기 위해 모든 지침들의 서문을 개정
 - 지침을 적용한 당사국 경험사례 및 필요 사안 관련 정보 제공
 - 품목별 평가지침 양식의 변경보다는 현 지침의 내용을 보다 명확히 하는 것이 필요하다는 데 의견을 일치함

- 국가 처리기준 및 이들의 적용 사례 검토
 - 제출된 문서가 없어 의장은 차기 회의에 제출을 독려함
- 처분 관리 조치 등(예 : 피복) 소개
 - 피복(capping) 등 준설물 처분방안에 대해 미국이 경험을 소개함

의제 3 : 해양기후공학 활동 검토

- 해양시비(施肥) 평가체계 이행 지원 검토
 - 해양시비 과학연구용 평가체계('10년 당사국회의 채택) 이행을 지원하기 위한 정보저장소(repository) 개발 실현 가능성 조사 결과를 검토
 - 미국은 해저 생태계에서의 자연적인 철 시비 영향에 대한 정보를 본 회의에 제공함
- 배치(placement) 관련 포괄적 평가체계에 대한 실현가능성, 이용성 및 내용 검토
 - 배치활동 평가를 위해 제기된 “배치 관련 포괄적 평가체계” 개발에 대한 실현가능성, 이용성 및 검토할 내용을 논의 함

의제 4 : 이산화탄소 해저지질구조 격리

- 이산화탄소스트림 평가지침('07년 채택) 개정(안) 검토
 - 이산화탄소스트림 수출허용('09년 개정)과 월경(越境)사안 등에 따른 이산화탄소스트림 평가지침 개정을 위해 회기간서신반(반장국: 대한민국)의 작업 결과를 검토함
 - * 동 지침은 '12년에 완료 계획
- 이산화탄소스트림 평가지침('07년 채택) 실제 이행에 대한 당사국 경험 소개
- 이산화탄소 격리기술과 그의 적용에 대한 당사국 경험 소개
 - 미국은 이산화탄소 포집·저장 기술 사업 경험을 소개하는 자료를 본 회의에 제출

의제 5 : 투기활동 보고서 검토

- 해양투기 보고서 검토 및 신규 전자(電子)보고 양식 평가

- 당사국 투기현황보고서 검토 : '08~'10년 기간의 당사국 투기현황에 대해 서신반(반장국: 아일랜드)이 종합 정리한 문서를 검토함
- 국제그린피스 대표가 2009년 당사국 투기현황 보고서 중 사무국이 '11년 당사국회의에 제공한 초안(LC33/INF. 4)과 본 회기에 제공한 최종보고서(LC/SG 35/5)간 아국의 보크사이트잔재물 해양투기량 차이에 대한 의문을 제기함
- 아국은 런던의정서 사무국의 확인을 통해 최종보고서에 대한 사무국의 인쇄 오타임을 밝히고, 특히 2010년 이후부터는 실제적인 보크사이트 잔재물 해양투기가 없었음을 표명하여 **아국의 해양투기 저감정책을 홍보함**
- 보고 필요사안 검토
 - 제출된 문서가 없어 당사국에게 제출을 독려함
- 투기활동 보고 관련 UNEP(유엔환경개발계획)와 타 기구들과의 공동협력 검토
 - 투기활동 보고와 연계하여 의정서 사무국이 UNEP 지역해와 기타 기구들과 협력에 대한 과정을 재검토하여 차기회의에 보고하도록 함

의제 6 : 기술협력 및 지원

- “준수장벽 제거사업(Barrier to Compliance project : B2C project)” 계획 및 진행 보고서 검토
 - B2C 그룹(반장국: 미국)을 소집하여 이행계획 갱신 및 최근 워크숍 참가자에 대한 질의 답변서 분석결과를 검토하고, 과학그룹은 동 작업반에 국가별 적정 접촉창구를 정하는 전략을 개발하도록 지시함
 - 과학그룹은 세계준설협회가 개발도상국용으로 개발한 준설물 저급기술 교본('11년 채택)의 시험기간('12, 12.31까지)동안 접수된 결과를 검토한 후, 당사국회의에서의 검토를 위해 B2C 그룹에 동 WAG에 대한 통신계획을 작성하도록 지시함.
- 런던협약 당사국이 런던의정서 가입 준비를 목적으로 개최한 워크숍의 결과(또는 개최 계획) 보고
 - 에스토니아('11), **제주 아·태지역워크숍*** 등 지금까지의 지역워크숍 성과를 보고함(참고 3)
 - * 아국은 본 회의 전 주('12. 5.14~18)에 제주 KAL호텔에서 개최된 아·태지역워크숍 참가현황, 내용 등 성과를 보고했고, 과학그룹 참석국은 상당히 성공적인 워크숍 성과에 찬사와 감사를 표명함.

- 런던의정서 “규정 준수를 위한 매뉴얼” 개발
 - 실무작업반(반장국: 미국)을 구성하여 런던의정서 가입 촉진을 위한 교본으로 개발된 “런던의정서 규정 준수를 위한 매뉴얼”을 좀더 지속적으로 검토하기로 함.
- 런던협약/의정서 홈페이지 개선 및 갱신 검토.

의제 7 : 해양환경 모니터링 및 평가

- 당사국이 런던협약/의정서 준수규정에 따라 제출한 모니터링 보고서를 검토
 - 영국, 미국은 준설토 투기장 모니터링 등 자국 제출 보고서를 소개함
 - 과학그룹 의장은 차기회의에 좀 더 많은 보고서가 제출되도록 독려
- 범지구적 해양환경상태 평가 및 보고(유엔정규과정)에의 기여
 - 당사국, 참관기구 또는 사무국이 제출하는 유엔정규과정에 대해 검토했고, 차기회의에서 동 작업을 개시하기로 결정

의제 8 : 해양오염방지 활동에 관련된 연안 관리 사안

- MEPC(IMO 마폴협약의 해양환경보호위원회)와 협력 모색
 - 선체(船體) 스크래핑 관련 : 조선소 바깥 지역에서의 선체 스크래핑은 방오도로 방출에 따른 해양오염 우려가 있어 MEPC와 협력 방안을 검토
 - 손상화물 배출/투기에 대한 정책 협력 모색 : 실무작업반(반장국: 미국)을 구성하고, 개정된 마폴 부속서 5(13년 1월부터 효력) 관련한 MEPC 62차 63차 보고서를 검토하고, 런던협약/의정서 목적 부합을 위한 런던협약의 정서/MEPC 공동 손상화물 관리 지침(안)을 개발, 검토.
 - 공동 지침 개발 관련 서신반을 유지하기로 함.
 - MARPOL 부속서 개정까지 중단되었던 손상화물 관련 홍보물 제작 등을 재개할 것을 권고
- UNEP-GPA와의 협력
 - 광산 작업 발생 선광폐기물의 하천 및 해저처분에 대한 정보 수집 및 분석 결과 소개
- 하수처리시설 및 하수오니 관리에 대한 경험 소개
 - 미국은 도시폐수 재이용을 통한 물 부족 해소 경험을 소개함

- 아국 하수오니 해양투기 저감정책* 보고
 - '10년 과학그룹회의(에스토니아)에서의 의장 요청*에 따라, 하수오니 해양투기 저감정책과 감축실적, 하수오니 해양투기 금지 입법화를 보고함.
 - 의장은 의제8(연안관리문제)을 논의하면서 아국에 하수오니 처리관련 진행상황을 차기 과학그룹회의에서 보고 요청(회의진행 발언 중)
- 국제그린피스 대표는 하수오니 해양투기 금지를 향한 아국 노고에 감사 표명하고, 아국이 당사국 중 유일한 하수오니 해양투기국이므로 빠른 시일내에 성과를 거둘 수 있도록 독려

의제 9 : 서식지 보완 및 개선

- 폐기물 활용과 서식지 개선 활동에 대한 경험 소개
 - 미국, 네덜란드가 준설토를 유효 활용한 자국 경험 사례를 소개함

의제 10 : 과학의 날 성과 : 이산화탄소 모니터링 기법

- 당사국들이 주요 관심사항에 대해 주제*를 정하고 자유 발표를 통해 정보 교환
 - 미국(생태계를 기반으로하는 해양관리 방안), 영국(해양환경 유지를 위한 해역관리)이 자국 사례 소개
 - * 금번 회의 주제는 "해양관리를 위한 통합적 접근방법의 적용"
- '13년 과학의날 주제는 '12.10월 당사국회의에서 최종 승인

의제 11 : 지침 및 매뉴얼 등 소개

- 타 기구와의 협력, 심포지엄 또는 워크숍, 기타 정보 교환 관련하여 미국, 세계준설협회가 발행한 보고서를 소개

의제 12 : 합동 작업프로그램 검토

- 런던협약/의정서 합동 장기작업 프로그램 채택

- '13~'15년 기간의 런던협약 및 런던의정서 의제별로 우선순위를 설정하고, 완료기한을 정한 장기프로그램을 검토한 후 채택(참고 4)

의제 13 : 기타 사안

- 당사국 또는 참관기구가 제기하는 의제 이외의 안건들을 논의
- GESAMP(해양환경보호에 대한 과학전문가그룹)의 진행 활동 보고

의제 14 : 과학 그룹 의장단 선출

- 합동과학그룹회의 의장단 선출 ; 현 의장단 연임
 - ※ 現 의장단인 의장(홍기훈, 대한민국), 제1부의장(Ms. Linda Porebsk, 캐나다), 제2부의장(Mr. Darall Brown, 미국)이 차기 합동과학그룹회의까지 연임

의제 15 : 보고서 검토 및 채택

- 금번 회기동안 심의된 총 14개 의제에 대한 회의 결과보고서 검토 및 채택

(2) 제34차 런던협약 및 제7차 런던의정서 합동 당사국회의

(가) 회의 개요

회의명	제34차 런던협약 및 제7차 의정서 합동당사국회의
기간/ 장소	2012.10.29~11.2/ 영국 런던 국제해사기구 본부
참가국 및 국제단체	<ul style="list-style-type: none"> · 런던협약 당사국 : 아국포함 35개국 · 런던의정서 당사국 : 아국포함 21개국 · 비협약국 : 6개국 · 국제기구 및 비정부간 기구 등 : 8개

(나) 의제별 논의 결과

의제 1 : 의제 채택

- IMO 사무총장(Mr. Koji Sekimizu) 환영사
 - 여수엑스포에서 확인한 지속가능한 개발 달성을 위해 안정적이고 효율적인 해양관리 필요성을 제시하면서 런던의정서가 해양환경 관리에 가장 진보적인 국제조약임을 강조
 - 해양시비 행위 등의 관리를 위해 의정서에 구속력 있는 규정반영을 희망하고, 런던협약/의정서에 대한 IMO의 협력의지를 피력
- 의제 채택
 - 금번 당사국회의에 제안된 총 15개 의제를 채택

일 시		의 제	
		개 회	
10.29 (월)	오전	의제 1	의제 채택
		의제 2	런던협약 및 의정서 가입 현황
		의제 3	과학그룹 보고서 검토
	오후	의제 3	(계 속)
		의제 4*	해양시비 및 기타 활동 규제
10.30 (화)	오전	의제 4	(계 속)
		의제 5*	이산화탄소 해저지질 구조내 격리
	오후	의제 5	(계 속)
		의제 6*	준수 사안 (기타 사안)
		의제 7*	기술 협력 및 지원
10.31 (수)	오전	의제 7	(계 속)
		의제 8*	런던협약 및 의정서의 해석
	오후	의제 9	방사능 폐기물 관리

일 시		의 제	
		의제 10	LC-LP 관련 모니터링
11.1 (목)	오전	작업반 또는 초안 작성반의 보고서	
		의제 11	대외활동 및 타 기구와의 관계
	오후	의제 12	행정 준비 및 향후 작업 (회의 보고서 준비)
11.2 (금)	오전	의제 13	기타 사안
		의제 14	당사국 회의 임원 선출
		의제 15	보고서 검토 및 채택

의제 2 : 1972 런던협약 및 1996 의정서 현황

- 런던협약/의정서 가입국 현황 및 의정서 가입 확대를 위한 진행 상황 보고
 - '12.6월에 칠레가 런던의정서에 가입하여 현재까지 런던의정서 비준국은 총 42개국(런던협약은 87개국)
 - * 미국은 '13.1월중에 의정서 가입 가능성을 언급

순번	국가명	비준일	순번	국가명	비준일
1	덴마크	'97.4	22	룩셈부르크	'05.11
2	독일	'98.10	23	불가리아	'06.1
3	영국	'98.12	24	사우디아라비아	'06.2
4	남아프리카공화국	'98.12	25	벨기에	'06.2
5	바누아투	'99.2	26	멕시코	'06.2
6	스페인	'99.3	27	슬로베니아	'06.3
7	노르웨이	'99.12	28	중국	'06.9
8	트리니다드 & 토바고	'00.3	29	바바도스	'06.7
9	그루지아	'00.4	30	이탈리아	'06.10
10	캐나다	'00.5	31	수리남	'07.2
11	스위스	'00.9	32	일본	'07.10
12	스웨덴	'00.10	33	케냐	'08.2
13	호주	'00.12	34	시에라리온	'08.3
14	아일랜드	'01.4	35	마셜 군도	'08.5
15	뉴질랜드	'01.7	36	네덜란드	'08.9
16	앙골라	'01.10	37	대한민국	'09.2
17	아이슬란드	'03.5	38	가나	'10.6
18	통가	'03.10	39	나이지리아	'10.10
19	프랑스	'04.2	40	예멘	'11.1
20	이집트	'04.5	41	칠레	'11.10
21	세인트키츠&네비스	'04.10	42	필리핀	'12.6

의제 3 : 과학그룹 보고서 검토 및 채택

- 런던협약/의정서 과학그룹회의 결과보고서 심의 및 채택
 - 과학그룹의장이 보고한 제35차 런던협약/제6차 런던의정서 합동과학그룹회의 (12.5월, 제주) 결과보고서를 승인
- 합동 과학그룹회의 주요 의제 및 결과 요약

주요 의제명 (의제번호)	회의 주요 결과
폐기물 평가지침 (의제 2)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 준설물질 및 생선폐기물 평가지침의 추가 개정을 위한 회기간 서신반 재설립 ○ 준설물질 지침 개정안과 생선폐기물 지침서 최종 개정안 당사 국회의 회부
해양지구공학 (의제 3)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일반배치 평가체제 개발 ○ 해양시비 평가체제 적용에 관한 웹근간 문헌 보관소 개발 권고에 동의
(런던의정서) 이산화탄소 해저지중저장(의제 4)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이산화탄소 해저지중저장 지침서 개정안 개발 ○ 해저지중저장용 이산화탄소 수출 관련 협약 또는 협정 개발 이행에 관한 지침안 검토
투기활동 보고 (의제 5)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 당사국 투기현황('09~'10) 평가 및 미제출 국가에 제출 독려
기술협력과 원조 (의제 6)	<ul style="list-style-type: none"> ○ B2C 조정위원회 재설립 ○ B2C 조정위원회에 워크숍 참여 미가입 국가들의 적절한 연락처 지정 전략 수립 요청 ○ 2012년 5월 제주에서 개최된 아태 지역 워크숍 개관 설명
해양환경 모니터링과 평가 (의제 7)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 당사국 해양환경 모니터링 보고서 검토

의제 4 : 해양 시비(施肥)

- 캐나다 연안의 철(鐵) 투기*에 대한 우려 성명서 채택
 - 실무작업반에서 작성한 시비 목적의 철 투기에 대한 우려 성명서*를 채택

< 성명서 요지 >

- '12.7월 캐나다 서부연안 300km밖 태평양에 철 100Ton을 시비용으로 투기
- 런던의정서에서는 합법적인 과학조사용 해양시비 외에는 불허
- 해양시비가 광범위하며, 장기간 심각한 피해를 야기할 수 있음을 명시
- 해양시비를 이행하기 위하여는 사전 협의, 통보 및 보고 필요
- 해양시비 활동에 의한 경제적 이익이 허용되지 아니함을 재확인
- 당사국들은 캐나다 수역 이원의 투기에 대하여 심각한 우려 표명
- 해양시비 및 기타 협약/의정서 관할 범위에 포함되는 활동을 관리하기 위하여 지속적으로 노력하고 있음을 강조

○ 제4차 해양시비 실무작업반 회의('12.7.3.~7.6. 독일) 결과 및 서신반 제출
관련문서의 검토

- 작업반(반장국/캐나다)을 구성하여 당사국이 제기한 4개의 관리방안*에 대해 논의

* 1안) 호주/아국 공동발의안으로서 해양시비 외에 기타 해양지구공학활동 관리를 위한 새 조항과 부속서 및 지침 추가, 2안) 해양시비만을 관리하는 새 조항과 부속서를 의정서에 추가, 3안) 런던의정서 부속서 1에 합법적인 과학조사를 위한 해양시비 활동을 추가, 4안) 런던협약/의정서 개정 없이 결의서('08, '10년 채택)만으로 관리

- 작업반 논의결과 1, 2안은 보완하고, 3안은 공식개정안으로 고려하는 것을 보류하고, 4안은 검토 대상에서 제외

- 중국은 해석 결의안을 제출하고 의정서 개정안이 채택될 경우, 해석 결의안도 함께 채택할 것을 제안

* **아국은** 호주와 공동발의로 해양시비 관련 런던의정서 본조항 및 부속서 개정안(문서 LC34/4/3)을 제출함으로써 해양시비 등의 관리기준을 제시함

의제 5 : 이산화탄소 해저지질구조 격리

- 작업반을 구성하여 과학그룹이 제출('12.5월)한 평가지침서 개정안*과 캐나다가 제출한 저장용 이산화탄소 수출과 관련한 국가간의 협약 체결에 관한 지침안을 검토
 - * 저장된 이산화탄소의 국가간 이동가능성이 있는 경우, 관련 국가간 지질구조의 이용에 관해 협의하고 동의를 받도록 함
- 작업반이 제출한 지침서 개정안과 관련한 추가 논의 사항 및 캐나다의 수출 관련 지침은 회기간 서신반을 구성하여 논의키로 함

의제 6 : 준수 사안

- 당사국 해양투기('09년) 및 준수현황 검토
 - 사무국에 보고된 당사국 해양투기 현황의 검토와 미보고 당사국에 대한 투기현황 제출 촉구
 - * 아국은 '11년까지의 해양투기 현황을 제출
 - * 제주에서 개최된 과학그룹회의('12.5월)에서 아국의 해양투기 제로화 노력을 기 보고함으로서 금번 당사국회의에서 아국 투기관련 지적은 없었음
- 준수그룹 위원 선출
 - 지역별로 결원이 있는 준수그룹 위원(임기 3년) 5명 선임(참고5)
 - * 수석대표단 사전 조율을 거쳐 회의 마지막 날(금) 차기 당사국회의 의장단과 함께 선임
 - 아·태지역은 임기만료로 2명의 결원이 발생하여 한국과 중국의 전문가를 각각 1명씩 선임
 - * 한국 이화여대 법학과 김영석 교수(참고6), 중국 외교부 서기관 Ms. Zhao Lei
- 준수그룹 보고서 검토 및 차기 준수그룹회의 의제 선정
 - 제5차 준수그룹회의(10.27) 결과 및 차기 준수그룹회의 의제를 검토·채택함(참고7)
 - 준수그룹회의에서 당사국의 의정서 준수 평가 등 14개 의제에 대해 논의

하고, 그 결과를 총회에서 승인

의 제	주요 결과
차기 간부진 선출	의장 : Mr. Robyn Frost(호주), 부의장 : Prof. Takahiro Ichinose(일본)
준수 보고서 심의	<ul style="list-style-type: none"> o 투기현황보고서('08년, '09년 당사국의 투기허가 보고서)관련 사무국 오류 지적 1) '08년 보고서에 런던협약만 당사국인 국가 표시 필요 2) '09년 보고서 초안에서 보고의무 미이행 국가수에 비당사국도 포함 지적 3) NIL 약자에 대해 설명하는 각주 명기 필요
의정서 9.4.1의 이행과정에서 당사국이 경험한 문제점 검토	<ul style="list-style-type: none"> o 회기간 작업반을 통하여 이와 관련한 권고안이 작성되었으며, 해당 권고는 LC 33/15에 명시 o 상기한 회기간 작업반은 의정서 보고를 개선시키기 위하여 추가 권고를 개발하기로 함
의정서 9.4.2와 9.4.3조에 따라 제출된 보고서 검토	<ul style="list-style-type: none"> o 각국이 GISIS 데이터베이스에 관련 조항에 따른 행정, 법률 및 집행 조치를 기입하는 안을 소개 o 상기한 기입시에 6개 유엔 공용어 중 하나를 사용할 수 없는 경우는 간단한 영어 소개 및 담당자의 연락처를 포함할 것
LC/LP 웹사이트에 런던협약의 발전과 관련한 역사적 문서 게재 가능성 조사	<ul style="list-style-type: none"> o 당사국 총회에서 런던협약을 위한 외교관 회의에 참가한 국가들에게 보관하고있는 문서자료 제출하도록 권고
향후 작업 계획	<ul style="list-style-type: none"> o 다음의 향후 작업 프로그램을 권고 1) 가능성 있는 비준수에 대한 개별 제출물을 작업프로그램에서 우선순위로 처리 2) 준수장애제거사업 스티어링그룹과 작업 지속 3) 의정서 과학그룹에서 확인된 우려사항 포함한 투기보고서 검토 4) 의정서 당사국에게 국가연락처를 명확히 하도록 홍보 지속 5) 보고의무를 이행하는데 있어 당사국이 경험한 어려움 확인 및 검토 지속 6) 현장모니터링 및 제도 보고서 심사 7) 런던협약 개발관련 역사적 문서 수집 지속 8) 준수 촉진에서의 역할관련 자료 검토 및 개발

의 제	주요 결과
	9) 의정서 당사국 및 가입유망국의 의정서 이행 법안 개발 촉진 가능성 분석
기타 사안	<ul style="list-style-type: none"> o 당사국 총회에 신규 준수위원 지명 요청 및 향후 지명된 위원은 옵서버로 준수그룹회의에 참석하도록 독려 o 차기 준수그룹회의는 당사국총회 직전 일요일 당일 개최하 도록 권고 o 회기간에도 준수그룹 위원을 지속적으로 지명하도록 당사 국총회에 권고

의제 7 : 기술 협력 및 지원

- o “준수장벽 제거사업(B2C project ; Barrier to Compliance Project)” 관련
이행 계획 및 진행 보고서 검토
 - 동 사업관련 스티어링그룹을 구성하여 교육자료* 보완 및 발간 계획을
논의
 - * 아국은 스티어링그룹에 참여하여 교육자료(“초급기술 준설물질평가지침”,
“런던의정서 매뉴얼”) 작성에 기여
 - 스티어링그룹이 제출한 ‘11년 이후 개최된 지역/국가 워크숍 정보와 ‘13년
워크숍 계획을 검토
 - * 아국은 차기년도 동 사업과 관련하여 재정지원(\$15,000/년) 의사를 표명
 - * 동 사업관련 ‘08년 USD 8,000, ‘09~’11년 각각 USD 15,000을 기 지원

- o 런던협약/의정서 가입 촉진을 위한 활동 보고
 - 헬싱키협약 등 각 지역 해양환경보호 협약의 의장단, 사무국의 역할을
수행하는 당사국들이 활동한 실적이나 계획을 소개

- o 당사국들이 보고한 양자간 기술협력 프로젝트의 진척 상황 및 당사국
또는 비당사국이 런던의정서 가입 준비를 목적으로 개최할 워크숍 계획
소개
 - 미국은 유엔정규과정의 일환으로 마이애미 워크숍 개최 계획(‘12.11.13~
11.15)을 소개하고, 당사국들의 참여를 요청

- o ‘12년 제주에서 개최한 아·태지역 워크숍 감사* 표명

- * 아국은 성공적인 개최를 위해 협조·지원한 당사국과 IMO 측에 감사 표명
- * 미국, 영국, 캐나다 등은 제주에서의 아·태지역워크숍을 매우 조직적이고 훌륭하게 주최한 것에 대해 찬사를 표명

의제 8 : 런던협약 및 의정서 해석

- 해양환경보호위원회(MEPC)와 런던협약/의정서간 협력방안
 - 회기간서신반이 제출한 손상화물 관리지침 개정안을 검토·승인
 - MEPC 서신반 작업 검토 결과 및 최근 MEPC 제64차 회의 결과 검토
- UNEP(UNEP-GPA)와 런던협약/의정서간 협력방안
 - UNEP 대표가 광물채취와 관련하여 발생하는 폐석 및 기타 잔재물의 하천·해저투기 사례 및 유해성을 발표하고, 이에 대한 런던협약/의정서 측면에서의 대응 필요성을 발표

의제 9 : 방사성 폐기물 관리

- 이온화 방사능관련 평가지침 개발 진행상황 정보 제공
 - IAEA와 런던협약/의정서 공동으로 해양동식물에의 방사성 영향평가방법 개발 일환으로 비엔나(12.6월)에서 개최된 회의 결과를 보고
 - * 아국도 동 회의에 참석(홍기훈박사 / 과학그룹의장)
- 해양에 투기되거나 유실된 방사능물질에 대한 IAEA의 목록 보고 최종안 검토
 - IAEA는 상기한 사안에 관한 기존 보고서 업데이트를 완료하고 보안 웹사이트에 업로드 하였으며, 협약/의정서 가입국의 담당자에게 아이디어와 비밀번호를 제공하여 검토하게 함
- IAEA는 이동 핵원자로* 관련 보고서를 작성하여 검토 중임을 설명
 - * '10년 당사국총회에서 이동가능한 핵원자로 사안이 런던협약/의정서 당사국과 관련이 있기 때문에, IAEA에게 관련 정보를 지속 보고하도록 요청

의제 10 : 1972 런던협약 및 의정서 관련 모니터링

- 유엔 해양환경상태평가 정기보고 절차(UN Regular Process) 관련 정보 제공
 - 중국 산야에서 개최(12.2월)된 동아시아 및 남동아시아해역 워크숍 결과 설명
- 해양투기활동 관련 모니터링 결과보고 개선을 위해 '13년에 과학그룹에서 개선작업 실시

의제 11 : 의정서 가입 유망국에 대한 지원활동 및 해양환경 보호관련 타 기구와의 관계 개선

- 런던협약/의정서 홍보 진행과정 보고
 - 오스파협약 등 지역협약 의장국들이 런던의정서 가입촉진을 위한 활동 및 계획에 대해 당사국총회에서 보고
- 타기구 또는 프로그램 내의 런던협약/의정서 관련 사안 논의 내용 검토
- 런던협약/의정서 발행물 관련 갱신된 목록 검토
- 런던협약/의정서 웹사이트 갱신을 위해 진행 중인 활동 검토
 - 사무국에서 웹사이트 갱신과정 소개, 웹사이트 관련 불편을 겪었던 당사국들의 경험 청취

의제 12 : 행정 사항 및 향후 작업

- 장기 프로그램 검토
 - '13~'15 기간 동안 다룰 런던협약 및 런던의정서 의제별 우선순위를 설정하고, 완료기한을 정한 장기프로그램을 검토
- 런던협약/의정서 행정 예산 검토
 - 사무국이 '12~'13년 사무국 예산과 '10~'11년 기간의 실제 소요비용을 설명하고, 당사국총회에서 승인
- 런던협약/의정서 신용기금 검토
 - 당사국총회는 신용기금 집행내역('10~'11)을 검토하고, 아국 등 지원국 모두에게 감사 표명

○ 차년도 당사국회의 일정 및 의제 승인(참고8)

- '13년에 개최될 런던협약/의정서 회의일정을 합의하고 IMO 이사회에 보고하도록 사무국에 요청

회의명	일시	장소
과학그룹회의	'13. 5. 27~31	아르헨티나, 부에노스아이레스
당사국회의	'13. 10. 14~18	영국, 런던 IMO본부
준수그룹회의	'13. 10. 13	영국, 런던 IMO본부

* '14년 과학그룹회의는 미국 뉴올리언즈에서 개최기로 결정

- 2012년 런던협약 및 런던의정서 합동당사국회의 의제

의제	소의제 내용
과학그룹 보고서 검토	해양시비/해양지구공학/폐기물평가지침/모니터링 및 평가/이산화탄소해저지중저장/투기보고/기술협력 및 지원/준수그룹과의 공조/서식지 보완 및 개선/연안관리 및 해양오염 방지/방사능폐기물 관리관련 사안/과학의 날 토포픽/합동작업프로그램 검토
준수 사안	준수그룹 보고/투기보고 회기서신반 보고/투기보고 및 양식/준수장애제거사업 스티어링그룹과의 공조/준수 모니터링/보고의무 관련 지침
런던협약/의정서 목적 추구를 위한 모니터링	타 기구와의 공조/런던의정서 준수의무하에 접수된 보고서 심의
기술협력 및 지원	장기 전략 및 이행/준수장애제거사업/워크숍 결과/기술자문 등
해양시비활동 및 기타	해양시비 등 활동에 대한 제도 개발
이산화탄소해저지 중저장	이산화탄소지중저장 지침 개정(월경사안)/이산화탄소격리사업에 대한 경험
런던협약/의정서 이해하기	MEPC와의 공조(손상화물)/UNEP-GPA와의 공조(하천 및 파이프 라인 광산잔재물)
방사능폐기물관리 관련 사안	해양생물에 대한 자연 및 인공 방사성핵종의 위해도 평가 지침
가입유망국에의 홍보 및 해양보호관련 기구와의 협력	당사국, NGO 등의 보고/런던협약 및 의정서관련 활동 보고 /UNEP 등 기타 기구와의 협력/웹사이트 갱신 및 발간
행정 준비 및 향후 작업	런던협약 및 의정서 신용기금 보고/합동작업프로그램 검토

의제 13 : 기타 사안

- 차기 당사국회의 옵서버(유엔기구, 비정부기구, NGO 등) 초청 명단 확정
- 금년에 임기가 종료되는 당사국회의 의장(Yue Chen) 등 의장단의 노고에 감사 표명

의제 14 : 의장 및 부의장 선출

- 차기 합동당사국회의 의장단 선출
 - 의장 Ms. Sue Milburn-Hopwood(캐나다)
 - 제1부의장 Cap. Ibraheem Olugbada(나이지리아), 제2부의장 홍기훈박사(한국, 현 과학그룹의장)
 - * 의장단(3명) 임기 1년 (4년까지 연임 가능)

의제 15 : 보고서 검토 및 채택

- 금번 회기동안 심의된 총 14개 의제에 대한 회의 결과보고서검토 후 채택

3. 2012년 런던협약/의정서 합동당사국회의 의결 사안

2012년 런던협약 및 런던의정서 합동당사국회의에서 의결되어 회의 결과 보고서 부속서(총 13개)에 게재된 사안은 다음과 같다(부속서 1은 의제 문서 소개로 제외). 본 부속서 세부 내용은 별도로 발간된 2012년 런던협약/런던의정서 합동당사국회의 결과보고서에 게재하였다.

- 부속서 2 : 생선폐기물의 처리목록 및 처리기준 개발을 위한 2012 지침
- 부속서 3 : 2012년 7월 캐나다 서부연안에서 발생한 해양시비 사안에 대한 캐나다 대표단 성명서
- 부속서 4 : 해양지구공학 활동(방안 1)
- 부속서 5 : 해양시비 규제를 위한 추가 방안(방안 2)
- 부속서 6 : 해석적 결의서(방안 1에 추가안)
- 부속서 7 : 캐나다 서부 연안에서 발생한 철 시비 관련 우려 성명서
- 부속서 8 : 이산화탄소 해저지중저장 처분 평가를 위한 2012 특정 지침
- 부속서 9 : 런던의정서 준수평가그룹 5차 보고서
- 부속서 10 : 준설물 평가용 초급기술을 적용한 폐기물 평가 지침 교육자료 확장을 위한 커뮤니케이션 계획
- 부속서 11 : 손상화물 관리에 관한 지침 개정본
- 부속서 12 : 합동과학그룹 공동작업 프로그램(36차, 37차, 38차 회의)
- 부속서 13 : 35차 런던협약 및 8차 런던의정서 당사국회의 의제 목록

제 4 절 런던협약 및 런던의정서 준수 지원

1. 투기허가 발행 보고

가. 런던협약 및 의정서의 허가서 발행 및 보고 규정

런던협약 제VI조 및 의정서 제9조(허가서의 발행 및 보고)에 의거하여, 당사국들은 자국이 수행한 투기 활동들에 대해 런던협약 사무국에 제출하고 당사국회의가 지정한 기구에서 평가하여 그 결과를 당사국회의에 보고해야 한다.

런던협약 제VI조 및 의정서 제9조는 다음과 같다.

○ 런던협약 제 VI 조(허가증 발행과 보고)

- 1 당사국은 다음의 업무를 수행하기 위한 적절한 당국을 지정한다.
 - (a) 부속서 2에 열거된 물질의 투기를 위하여 사전에 필요한, 또는 제5조 제2항에 규정된 상황에서 필요로 하는 특별허가증의 발행
 - (b) 기타 모든 물질의 투기를 위하여 사전에 필요로 하는 일반허가증의 발행
 - (c) 투기되어지도록 허용되는 모든 물질의 특성과 양, 투기의 장소 시간 및 방법에 관한 기록의 유지
 - (d) 개별적으로 또는 다른 당사국 및 전문 국제기구와 협력하여 이 협약의 목적을 위한 해양의 상태의 감시
- 2 당사국의 적절한 당국은 투기하려고 하는 다음 물질에 대하여 제1항에 의해 사전에 특별허가증, 또는 일반허가증을 발행하여야 한다.
 - (a) 자기나라의 영토 안에서 선적된 물질
 - (b) 선적이 이 협약의 당사국이 아닌 국가의 영토 내에서 이루어지는 경우에는, 자국 영토 안에 등록되어 있거나 또는 자국의 국기를 게양하고 있는 선박 또는 항공기에 의하여 선적된 물질
- 3 제1항(a) 호 및(b) 호에 의거하여 허가증을 발행함에 있어서, 해당 당국은 부속서 3을 준수하며 또한 적절하다고 판단하는 추가적인 기준, 조치 및 요건을 준수하여야 한다.
- 4 당사국은, 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여, 제1항(c)호 및 (d)호에 규정된 정보와 제3항에 따라 자국이 채택한 기준, 조치 및 요건을 기구와 해당되면 타 당사국에 통보하여야 한다. 이러한 보고를 하는 절차와 내용은 당사국 간에 협의하여 합의하여야 한다.

○ 의정서 제 9 조(허가증 발행과 보고)

1. 각 당사국은 다음 업무를 수행할 적절한 기관을 지정한다.
 1. 동 의정서에 의거한 허가증의 발행
 2. 투기 허가증이 발행된 폐기물 또는 그 밖의 물질의 특성 및 량과 가능한 실제로 투기된 양과 장소, 시간 및 투기 방법에 대한 기록을 유지

2. 당사국의 해당기관은 투기 또는 8.2조에 기술한 해상소각을 목적으로 하는 폐기물이나 그 밖의 물질에 관해 이 의정서에 의거 허가증을 발행한다.
 1. 당사국 영토 내에서 선적된 물질
 2. 선적이 이 의정서의 당사국이 아닌 국가의 영토 내에서 이뤄지는 경우, 그(당사국) 영토 내에 등록되어 있거나 그 국기를 게양하고 있는 선박 또는 항공기에 선적된 물질
3. 허가증을 발행하는데 있어, 해당기관은 제4조의 의무과 함께 적절하다고 고려하는 추가적인 기준, 조치 및 의무를 준수한다.
4. 각 당사국은 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여 아래 내용을 국제해사기구(IMO)와 다른 당사국에 통보한다
 1. 제1항 제2호(허가서가 발행된 폐기물 및 그 밖의 물질의 성질 및 양 및 실제 투기된 양, 장소, 시간, 방법 등에 대한 기록) 및 제1항 제3호(허가가 이 의정서의 목적에 적합한가 여부에 대한 개별적 혹은 당사국 및 권한 있는 국제기구와의 협력을 통한 허가 후의 통제)에 규정된 사항
 2. 이 의정서의 조항을 실행하기 위해 취해진 행정적, 입법적 조치
 3. 제4항 제2호에 언급된 조치의 결과 및 그 적용상 발생하는 문제점들
 4. 제1항 제2호 및 제1항 제3호에 언급된 사항들은 매년 보고되어야 한다. 제4항 제2호 및 제4항 제3호에 언급된 사항들은 정기적으로 보고되어야 한다.
 5. 제4항 제2호 및 제4항 제3호에 의거 보고된 사항들은 당사국회의가 지정한 기구에서 평가되어야 한다. 그 기구는 평가 결과를 당사국 특별회의 또는 당사국회의에서 보고하여야 한다.

상기 규정들에 의거하여 런던협약 및 런던의정서 사무국에서는 당사국들의 의무사항인 투기허가발행 보고서 및 투기해역 환경상태 보고서 제출을 위한 양식은 다음과 같고, 런던협약/의정서 웹사이트로부터 다운로드 받을 수 있다:
<http://www.londonconvention.org> 혹은 http://www.imo.org/dynamic/mainframe.asp?topic_id=1553.

우리나라는 2010년과 2011년에 허가된 투기현황보고서를 제출했고, 2012년의 보고서는 다음의 「폐기물 해양투기에 관한 연차보고서 제출을 위한 주석서」에 의거하여 늦어도 2013년 10월 1일까지 런던의정서 사무국에 제출해야 한다.

폐기물 해양 투기에 관한 200[x]년 런던협약 연차 보고서 초안용 200[x]년 자료의 제출을 위한 주석서

해양 투기 활동들에 관한 연차 보고를 위한 양식

1. 귀국의 200x년 자료를 200x+1년 10월 1일까지, 가급적이면 전자 양식으로 혹은 이메일 (주소)를 통해, 첨부된 파일들 (보기 양식들) 및 이하의 지시사항들을 활용하여 부

속서에 있는 개정된 보고 양식으로 사무국에 제출해 주기 바랍니다. 본 양식들은 또한 전자적으로 이용가능하며 런던협약 웹사이트로부터 얻을 수 있습니다: http://www.imo.org/dynamic/mainframe.asp?topic_id=1553. 동 보고서들을 송부하기 전에 귀하가 문서 및 자료 파일들을 각각 저장하였는지를 확인하기 바랍니다. 그리고 또한 관련 파일들을 채워 넣은 후 귀국의 200x년 자료의 출력 정보를 복사하여 이 복사본을 팩스/우편을 통해 사무국에 제출해 주기 바랍니다:

Mr. René Coenen
Head, Office for the London Convention 1972
International Maritime Organization
4 Albert Embankment London SE1 7SR United Kingdom
Tel: +44-20-75873239 (direct)
Fax: +44-20-75873210
E-mail: rcoenen@imo.org
Web: <http://www.londonconvention.org>

- 2 200x년 폐기물 해양 투기에 관한 200x년 자료 및 정보를 보고하기 위한 디지털 보고 양식들은 동봉한 이메일에 첨부되어 있습니다. 동일한 파일들을 다운로드를 위해서 다음의 런던협약 웹사이트에서 이용할 수 있습니다 : http://www.imo.org/dynamic/mainframe.asp?topic_id=1553.

200x년 보고에 있어서 관련된 4개 파일들은 MS WORD 및 MS EXCEL 작업창을 사용해 확인될 수 있습니다:

- PERMITS.xls - 표 1에 해당 (Microsoft EXCEL에서 생성)
- AMOUNTS.xls - 표 2에 해당 (Microsoft EXCEL에서 생성)
- CO₂ storage sites(LP)- 표 3에 해당 (Microsoft WORD에서 생성)
- Explanatory notes.doc - 동 문서임 (Microsoft WORD에서 생성)

- 3 당해 보고 양식에서 주어진 지시사항들에 따라서, 주어진 표 보고 양식의 각각의 열과 행에 귀국의 국가 자료를 기입해 주기 바라며, 당해 표 보고 양식을 변경(예를 들어, 새로운 열 및 행의 삽입)하지 말고, 귀하가 직면할 수 있는 어떤 문제들에 대해서는 사무국에 통보해 주기 바랍니다. text02LC.doc 파일을 활용하여, 모든 추가적 정보들에 대해 그 참조를 명확하게 가리켜 주기를 바랍니다.
- 4 각각의 당사국의 투기 해역들의 위치를 표시할 수 있도록, 200[x]년에 사용된 처분 해역들의 런던협약/런던의정서 코드들(자료 표들에서 주어진 바와 같이)로 그 위치를 명확하게 나타내는 적절한 지도들을 제출해 주기 바라며, 또한 200[x]년에 사용된 투기 해역들에 대한 위치를 나타내는데 있어서 이전 보고서들에서 사용된 지도들이 여전히 유효한지를 사무국이 알 수 있도록 해 주길 바랍니다.

해양에서의 투기 활동에 관한 연차 보고를 위한 양식

연차 보고를 위한 양식은 다음과 같은 부분들로 구성되어 있습니다:

- 1 일반 사항
- 2 Part I 은 투기 활동들에 관한 정보 및 매년 변화하는 투기된 폐기물들의 총량에 관한 자료를 포함하며, 이를 위해서는 표로 만든 보고 양식이 적절하다.
- 3 Part II는 추가적인 정보들을 포함하며, 이를 위해서는 표로 만든 보고 양식이 적절하지 않다.

4 표 형식의 보고 양식들:

여기에서는 다음의 표들에 삽입될 자료 및 정보들의 보고를 위해서 표 형식의 보고 양식들을 포함한다:

표 1 : 발행된 허가들의 개수 및 인가된 수량, 그리고 매년 투기된 수량에 대한 개관

표 2 : 매년 해양에 투기되는 폐기물들의 총량

· 처분 해역들 및 투기 방법들에 대한 상세 사항들

표 3 : 이산화탄소 스트림 저장 해역들 및 허가들에 관한 상세 사항들

1 일반 사항

당사국들은, 전자 매체(디스켓 혹은 이메일)를 통하여, 그 투기 일시가 관련이 있는 연도의 다음 해 10월 1일까지, 그 양식에 따라서 각 역년에 대한 자료를 사무국에 보고해야 한다. 사무국은 당사국들에게 관련 연도별 파일 보고 양식들을 제공해 준다.

2 I 장

Part I 에서 참조되는 보고 양식들은, 당해 표의 제목, 영어로 적혀 있는 표제 열, 그리고 투기 활동들에 대한 정보 및 자료의 기입을 위하여 공란으로 남겨져 있는 무수한 행들로 구성된다.

그 자료는 대륙적 십진법(the continental decimal)을 사용하여 이용할 수 있는 최대 한의 아라비아 숫자들의 개수를 가지고(즉, 쉼표 다음에 아라비아 숫자들의 최대 개수를 가지고) 기입(1000 분리 기호로써 공간을 두고 십진법 분리 기호로써 쉼표를 사용하여)되어야 하며, 당해 열 표제에서 주어진 단위를 고려하여 기입되어야 한다. 이는 총량들을 산출하는데 있어서 올바른 계산을 보장해 줄 것이다. 모든 자료 영역들에 있어서의 사전에 정의된 수치 양식은 그 값들이 전시되고 출력되도록 보장해 줄 것이다.

빠져 있는 정보는 다음과 같이 나타내어져야 한다:

NA 해당 사항 없음

NI 해당 정보 없음

표 1 (File - PERMITS.XLS)

동 표는 발행된 허가들 및 인가된 총량들에 관한 정보를 필요로 함.

“기타 수단들에 의해 규제된 활동들”이라는 열에서는, 처분을 위해 인가되지 않았으나 다른 방법으로 규제가 된 그러한 활동들을 나타내야 함.

표 2 (File - AMOUNTS.XLS)

동 표는, 나타나 있는 각각의 폐기물 분류에 있어서, 각각의 처분 해역에서 투기된 총량에 관한 것임.

하나의 행은 일반적으로, 1개의 처분 해역에서 투기된 1개 폐기물 품목의 모든 총량의 합계를 위해 사용되어야 한다. 그러나 개발 및 유지 물질이 동일한 해역에 투기되는 준설품질의 경우에는, 개발 및 유지 물질에 있어서 서로 다른 행에 자료가 기입되어야 한다.

- 준설 활동의 유형

유지 준설 : 항구, 하구 혹은 해양 영역들에서 퇴적 과정들로 인하여 최근에 침전된 물질을 포함한다.

개발 준설 : 해저 밑에 있는 이전에 노출되지 않은 층들로부터 준설된 지리적 물질들 및 최근에 준설되지 않은 지역들로부터의 표층 물질을 포함한다.

이하에서 언급되는 폐기물 품목들에 있어서, “비고란” 옆에는 다음의 정보들에 관하여 첨부하도록 한다.

- 자연발생의 불활성 물질

불활성으로 분류되는 이유를 포함하여 불활성 물질의 유형이 나타나야 한다; 그리고

- 선박 및 플랫폼

선박 및 항공기의 유형, 크기 및 중량이 보고되어야 한다.

3 II 장

표 1 및 2

지침과 같이 다음의 표제들을 사용하여 표 1 및 2에서 보고되는 자료에 관한 정보 및 보충 설명을 기입해 주시기 바랍니다:

- 허가들 (총론)

문서

보충 설명 : 개수 및 문서

- 허가들 (표 1)

문서

표 1에 대한 보충 설명 : 개수 및 문서

- 총량 (총론)

문서

- 총량 (표 2)

문서

표 2에 대한 보충 설명 : 개수 및 문서

4 표 형식의 보고 양식들

런던협약 및 의정서 하에서의 전자 보고 양식의 개정된 표 양식들 및 런던의정서하에서의 해저지질구조에의 처분을 위한 이산화탄소 스트림에 대한 보고 양식

표 1 발행된 허가 개수들 및 인가된 양에 대한 요약 연도 __(yyyy)

	가	가	가	가
	가	()	
가				

표 2 처분 해역들 및 투기 방법들에 대한 상세 사항들¹⁾

LC / L P 코드	폐기물 품목										준설 물질		총량		자더적 위치	활성/비활성 지역	비고
	준설 물질	불활성 폐기물	생선 폐기물	선박	플랫 폼	하수 오니	유기 물질	부피가 큰 폐기물	이산화 탄소 스트림 ²⁾	기원: 해수 체계의 명칭	개발	유 지	건조	개수 ⁴⁾			
처분 해역	준설 물질	불활성 폐기물	생선 폐기물	선박	플랫 폼	하수 오니	유기 물질	부피가 큰 폐기물	이산화 탄소 스트림 ²⁾	기원: 해수 체계의 명칭	개발	유 지	건조	개수 ⁴⁾	위도 정도 ⁵⁾	A: 활성 I: 비활성	

1) 투기는 이산화탄소 스트림 해저지질구조의 경우에 의미한다

2) 주입된 이산화탄소 스트림을 포함, 화학적 구성은 표 3 참조

3) I 장의 표 2의 정의 참조

4) 투기된 선박, 플랫폼 수

5) 이산화탄소 스트림의 경우 : 주입정들의 좌표들은 표 3에 포함시키고, 본 표에 보고하지 말 것

표 3 - 이산화탄소 스트림 저장 지역 및 허가들에 관한 상세 사항들

동 보고 양식은, 런던의정서 제9조에 따른 이산화탄소 스트림의 해저 지질 구조 처분에 관한 연차 보고 및 표 1과 2에서의 정보를 보충하기 위해 활용되어야 한다. 당사국들은 참조를 위하여, 이산화탄소 스트림의 해저 지질 구조 처분을 위한 특별 지침을 참조해야 한다.

당사국 _____

보고 연도 _____(yyyy) 보고일시 _____(dd/mm/yyyy)

저장 사업의 명칭 _____

LC/LP ID 해역 번호 _____

지질 구조의 유형 _____

해저에서의 주입 구덩이들의 지리적 위치들:

			/
#1			
#2			

이용되는 저장 구고의 지리적 범위 (경계 좌표들) (지도 포함):

이용되는 저장 구조의 최저 수심 해수면으로부터 이하 _____미터

이용되는 저장 구조의 최대 수심 해수면으로부터 이하 _____미터

최초 주입 일시 _____(dd/mm/yyyy) 최종 주입 일시 _____(dd/mm/yyyy)

당해 보고 연도에 주입된 총량 _____ 톤

누출 및 모니터링 결과들을 고려, 당해 보고연도를 포함한 누적 저장량 _____ 톤

당해 이산화탄소 스트림의 화학적 구성 성분:

구성 성분	스트림의 비율(%)
예: CO ₂	

최종 모니터링 보고 일시 _____ (dd/mm/yyyy)

모니터링에 대한 요약, 중대한 모니터링 결과들, 그리고 적절한 경우에는 당해 지역에서 취해져야 할 완화 조치들:

나. 당사국 투기허가 발행 보고 현황

상기 절에서 언급된 바와 같이 런던협약 및 런던의정서의 당사국들은 매년 런던협약 및 런던의정서 사무국에 회기 전년도에 발행된 일반 허가 기록들을 보고해야 한다. 특별허가인 경우에는 허가 발행 직후 즉시 런던협약/사무국에 보고하도록 규정되어 있다.

특히 2004년 제26차 런던협약 당사국회의에서는 당사국들의 협약 준수 이행을 촉진시키기 위해 폐기물 해양투기 현황 미보고 당사국들의 명단을 공개하고 해당국 장관들에게 준수 보고를 촉구하기로 합의하였다.

이에 따라 2012년 제34차 런던협약 및 제7차 의정서 당사국회의에서도 2006년부터 2010년까지 자국의 폐기물 해양투기 현황을 보고하지 않은 총 33개국의 명단을 공개하였고(LC 33/6/1), 이 국가들은 대부분 아프리카 및 남아메리카 국가들로서 다음과 같다.

AFGHANISTAN	JORDAN
ANGOLA	LUXEMBOURG
ANTIGUA & BABUDA	NAURU
AZERBAIJAN	OMAN
BELARUS	PAKISTAN
BOLIVIA	PAPUA NEW GUINEA
CAPE VERDE	SAINT KITTS & NEVIS
COSTA RICA	SAINT LUCIA
CÔTE D'IVOIRE	ST. VINCENT AND THE GRENADINES
CUBA	SERBIA
DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO	SOLOMON ISLANDS
DOMINICAN REPUBLIC	SWITZERLAND
EQUATORIA GUINEA	TONGA
GABON	TRINIDAD AND TOBAGO
GUATEMALA	TUNISIA
HAITI	UNITED ARAB EMIRATES
HONDURAS	

2012년 제34차 런던협약 및 제7차 런던의정서 당사국회의에서는 아국을 포함한 당사국들에 의해 1976년부터 2011년까지의 투기현황 보고를 검토하였다. 우리나라는 런던협약 보고 안내 서신 (LC-LP.1/Circ.28)에 따라 2010년과 2011년 기간의 투기허가발행 보고서를 2012년 7월 6일 IMO에 제출하였고(그림 3-4-1), 런던협약 문서(LC34/INF.3)에 게재되어 당사국회의에 배포되었다(그림 3-4-2).



국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

Marine Conservation Division, Marine Policy Bureau, Department, Ministry of Construction & Transportation
Jungang-dong, Gwachon, Gyeonggi-do, REPUBLIC OF KOREA Tel: +82 2 504 5037, Fax: +82 2 503 7383, E-M: vga21@korea.kr

6 July 2012

Mr. Edward Kleverlaan,
Head, Office of London Convention & London Protocol
Marine Environment Division
International Maritime Organization
4 Albert Embankment
London SE1 7SR
United Kingdom

RE: Final reports on permits issued for the period of 2010-2011 of Republic of Korea

Dear Mr. Edward Kleverlaan,

The final reports on permits issued for the period of 2010-2011 of the Republic of Korea have prepared and enclosed here for your reference to comply with reporting requirements under article 9.4.1 of the London Protocol. Please find out an attachment to this cover letter, Korean Report on Implementation of the London Protocol.

It will be my pleasure to provide any further details on the report upon your request.

Sincerely yours,

JONG-HO YIN 

Director of Marine Conservation, Marine Policy Bureau
Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs, Republic of Korea

Encl.

1 Final report on permit issued for the period of 2010-2011

그림 3-4-1. 국제해사기구에 발송된 아국의 해양투기허가발행 보고관련 전문
(2012년 7월 4일 발송)

(General) Permits issued in 2009 for disposal at sea
Table 2.2 Indian Ocean, Western Pacific and adjacent waters (East Asia, Australasia)

Country	Type of waste	Number of permits issued	Quantity: tonnes (in tonnes) or				Location of site
			South West Pacific	East Asian Seas	Indian Ocean	Other	
AUSTRALIA	Dredge material	3					Australasia waters
	Adhesive and copolymer	3				3,889,945	
	Organic material of natural origin	3				1,701,486	
CHINA	Waste	1					Bohai Sea and Yellow Sea
	Organic material of natural origin	3				46,000,000	
	Dredge material	51				71,800,000	
HONG KONG, CHINA	Adhesive and copolymer	51				3,900,000	East China Sea
	Dredge material	60		13,503,220			South China Sea
JAPAN	Adhesive and copolymer	31				2,300,300	Map
	Dredge material	31					Sea of Japan and Pacific Ocean
	Organic material of natural origin	11				15,716	East China Sea and Pacific Ocean
NEW ZEALAND	Food processing and animal waste	5				2,002,461	Pacific Ocean
	Per geological material	5					
	Mineral filling and construction works	5					
REPUBLIC OF KOREA	Dredge material	6					Map
	Adhesive and copolymer	6	2,968,706				
	Organic material of natural origin	1	8,528				
	Human remains	1					
SOUTH AFRICA	Dredge material	12	1,034,395				Map
	Organic material of natural origin	3	72				
	Sludge	19	559,246				
	Rubbish	11	6,240				
	Other	1		1,839			
	Seawater	1					
SOUTH AFRICA	Dredge material	10					Map
	Adhesive and copolymer	10				3,295,816	
	Organic material of natural origin	10				420,409	
SOUTH AFRICA	Adhesive and copolymer	10				1,500	Port of Cape Town
	Organic material of natural origin	10					

1) Figures in brackets in the original report are in tonnes (in brackets in this table).
 2) Dredge material is defined as material excavated from the seabed.
 3) Dredge material is defined as material excavated from the seabed.
 4) Other includes:
 5) Sewage sludge
 6) Human remains

I:\LC34\INF-3.doc

그림 3-4-2. 우리나라가 제출한 해양투기 현황이 기재되어 런던협약/의정서
합동당사국회의에 배포된 문서(LC34/INF 3)

2. 폐기물 해양투기장 환경상태 보고

런던협약 제6조 및 런던의정서 제9조(허가증 발행과 보고)에 의거하여, 당사국들은 폐기물 해양투기 해역 모니터링 결과를 국제해사기구 및 다른 당사국들에게 보고해야 하며, 특히 런던의정서에서는 동 결과를 매년 보고하도록 규정하고 있다.

○ 런던협약 제 6 조(허가증 발행과 보고)

1 당사국은 다음의 업무를 수행하기 위한 적절한 당국을 지정한다.

(d) 개별적으로 또는 다른 당사국 및 전문 국제기구와 협력하여 이 협약의 목적을 위한 해양의 상태의 감시

4 당사국은, 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여, 제1항(c)호 및 (d)호에 규정된 정보와 제3항에 따라 자국이 채택한 기준, 조치 및 요건을 기구와 해당 되면 타당사국에 통보하여야 한다. 이러한 보고를 하는 절차와 내용은 당사국간에 합의하여야 한다.

○ 의정서 제 9 조(허가증 발행과 보고)

1. 각 당사국은 다음 업무를 수행할 적절한 기관을 지정한다.

.3 동 의정서의 목적을 위하여 해역의 상태를 개별적으로 또는 다른 당사국 및 유관 국제기구들과 협력을 통하여 감시(모니터링)

4. 각 당사국은 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여 아래 내용을 국제해사기구(IMO)와 다른 당사국에 통보한다

.3 제4항 제2호에 언급된 조치의 결과 및 그 적용상 발생하는 문제점들

.4 제1항 2호 및 제1항 제3호에 언급된 사항들은 매년 보고되어야 한다. 제4항 제2호 및 제4항 제3호에 언급된 사항들은 정기적으로 보고되어야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 지난 해의 배출해역 조사 결과를 토대로 IMO에 제출할 “동해정해역 환경상태 보고서(안)”을 다음과 같이 영문으로 작성하였다.

MONITORING OF THE MARINE ENVIRONMENT:

Environmental Impact Assessment of Waste Disposal into the Yellow Sea (Sea Area A) in 2011

Submitted by Korea

1. Introduction

Ocean dumping in Korea

Three sea areas have been established as the waste disposal sites for ocean dumping in Korea, as shown in Figure 1.

The conditions for ocean dumping including the type of wastes allowed to be dumped as well as the discharge method specified for each sea area are given below.

Sea area A located in the Yellow Sea has been used for waste disposal site since 1988 (Fig. 1). The total quantities of wastes authorized for disposal in sea area A was set out as 2429000m³ in 1998. Dredged material containing heavy metals and other contaminants had been dumped in this area.

Sea area B located 125km away from Pohang city is the wide area with a size of 3,700km² and depth ranging 200~2000m.

Sea area B has been used for the waste disposal site since 1991. The quantity of wastes disposed of in this sea area increased from 201,000m³ in 1991 to 5,883,000m³ in 2005.

Disposal of livestock wastewater, sewage sludge, wastewater, wastewater sludge have been dramatically increased during this period. The waste dumped into the sea area C is mainly organic material, which is supposed to disperse rapidly and to be consumed by marine biota.

2. Overview of the Subject Sea Area

2-1. Yellow Sea

The floor of the Yellow Sea is a geologically unique, post-glacially

submerged, and shallow portion of the continental shelf.

The seafloor has an average depth of 44 m, a maximum depth of about 100m. The slope of the seafloor is gentle near the Chinese continent while the slope is steep toward the Korean Peninsula.

The Yellow Sea is connected to the East China Sea in the south, forming a linked circulation system. The hydrographic properties and circulation of the Yellow Sea are created predominantly by winter cooling and summer heating, freshwater discharge from rivers. In summer, the circulation of the Yellow Sea comprises southward flowing Chinese coastal water, northward flowing Yellow Sea Warm Current to the east, and the northeastward movement of water from the East China Sea. In winter, the central cyclonic gyre is not pronounced but the overall circulation of the Yellow Sea remains essentially cyclonic. With its high primary productivity, the Yellow Sea ecosystem supports substantial populations of fish, invertebrates, marine mammals, and seabirds.

2-2. Disposal activity in the Yellow Sea

Since 2006, 633 km² of sea area A is designated as the-Year Sabbatical System area where waste disposal is temporally not allowed. Since the enforcement of comprehensive measures on waste disposal to the sea.

In March 2006, waste disposal activity was substantially reduced. Waste disposal to the sea area A in 2005 (2,383,000 m³) was reduced by about half in 2009 (1,286 thousand m³).

Slight increase of waste disposal in 2010 (1,363,000m³) and 2011 (1,311,000m³) was reported.

In 2011, among 3,972,000 m³ of wastes (excluding dredged material) disposed in Korean seas, 1,342,000 m³(34%) was disposed in the sea area A (Yellow Sea). The major disposed item was food wastewater (39%), followed by domestic sewage sludge (27%), wastewater treatment sludge (19%), wastewater (12%), and (3%).

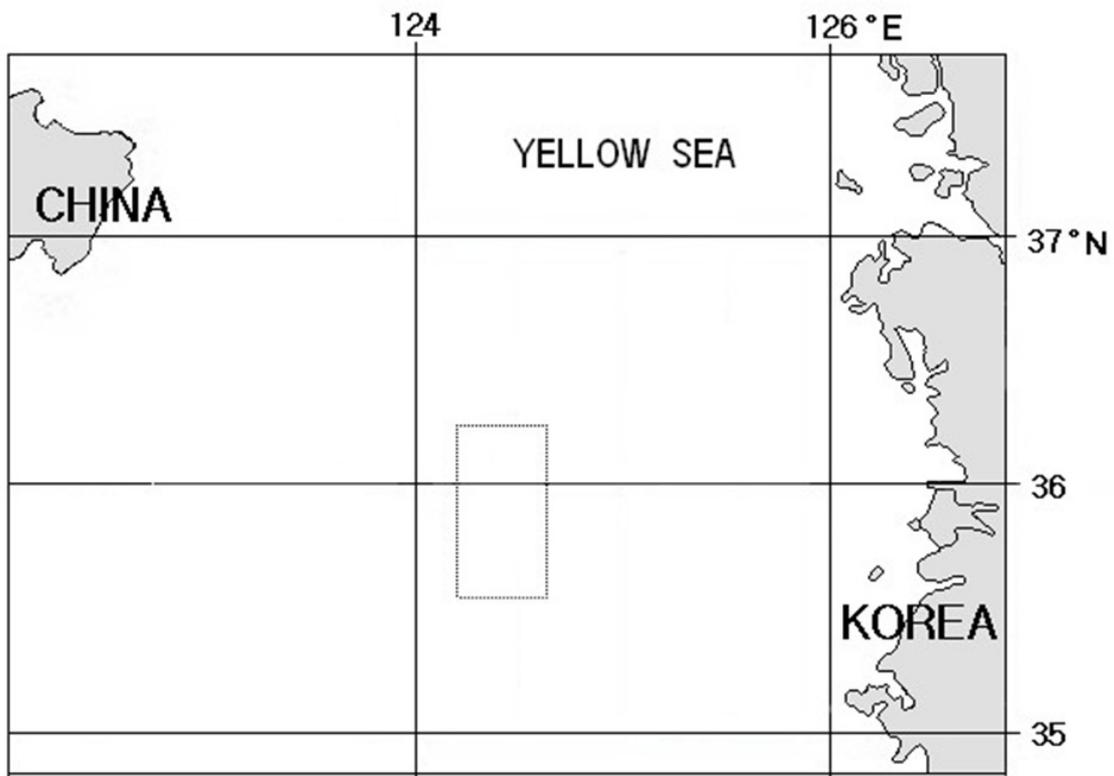


Fig.1 Location of Sea Area A (Yellow Sea).

2-2. Outline of survey

Outline of monitoring of the marine environment for ocean dumping in Korea

The monitoring program has been developed to provide the information on the fate of materials disposed of in the marine environment and the environmental impacts of the disposal.

It also provides the information indicating whether the disposal activities are occurring in compliance with the permit and site restrictions.

Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST) conducts monitoring surveys in the waste disposal area as part of "Marine Environment Monitoring". Monitoring sites in sea area A are shown in Fig. 2.

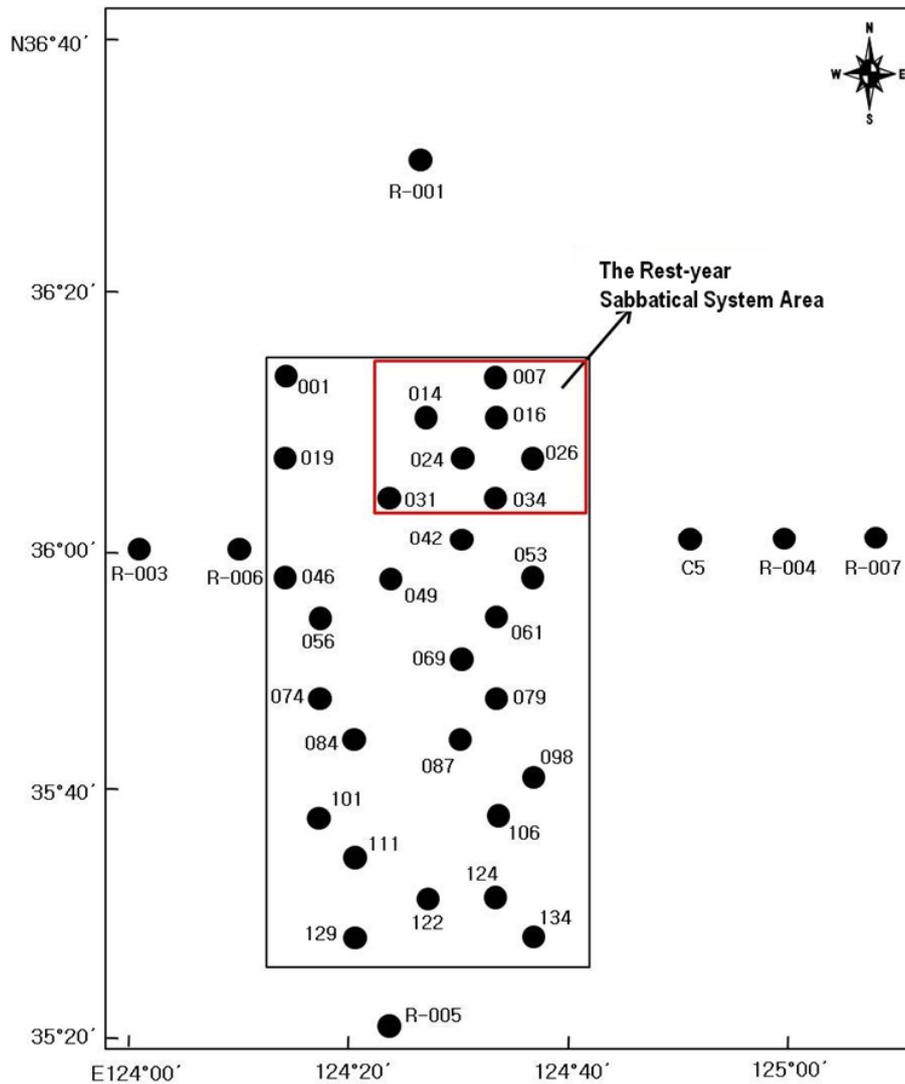


Fig. 2. Monitoring sites in sea area A (Yellow Sea)

These surveys include monitoring of water quality, sediment quality and ecosystem in areas, where waste is continuously being dumped. Samples were also taken near the disposal site, for the determination of regional background values. The major purpose of this monitoring is to understand the actual condition of pollution caused by ocean dumping and the impact of ocean dumping on marine organisms and ecosystem.

Items measured

Seawater and sediments are sampled for analysis of general seawater

quality parameters and contaminants as listed in Table 1 below. Biological parameters observed during the survey are also listed in Table 1. The information on the characteristics of the dumpsite is used to determine the probable fate of the dumped material. Careful evaluation will then permit prediction of the consequences of dumping. It will also permit determination of environmental processes that may dominate any transport of material away from the dumpsite.

Table 1: Items measured in the sea area A, B and C.

<p><u>Water quality</u></p> <p>Water temperature, salinity, DO, pH, Nutrients, Chlorophyll-a, Primary productivity, POC, PON, Suspended solids, COD, Total N, Total P, CN, Phenol, Oil, Dissolved and particulate metals (Cd, Ni, Cr, Pb, Cu, Zn, As, Hg), PCBs, PAHs, Organophosphates</p>
<p><u>Sediments</u></p> <p>OC, ON, PCBs, PAHs, Organophosphates, metals(Cd Ni Cr Pb Cu Zn As Hg Al) Sediment core samples were taken using Box corer. Grabs were also used for collection of reference and control sediments for toxicity testing.</p>
<p><u>Biological monitoring</u></p> <p>FRI(Fluorescence Response Index), primary productivity, phytoplankton, zooplankton, macro-benthos, toxicity testing.</p> <p>The biological test methods used for sediment assessment included a fertilization assay using echinoids and a measurement of gene expression level.</p>

Each step of the chemical analysis employed appropriate QA/QC.

3. Results of the Survey

3.1. Water column

Water sampling was conducted at a total of 36 sites in and around sea area A during the research vessel cruise made on June 7 ~17, 2011.

The range and mean values of DO and nutrient concentration in the

surface and bottom waters of disposal area in 2011 are summarized in Table 2. Surface values of DO were in the range 8.04~8.47 (m=8.26) mg/l at disposal sites and 7.99-8.29 (m=8.19) mg/l at control sites.

The range of dissolved inorganic nitrogen concentrations in the surface waters were 0.16~2.14 (m=0.65) μM for nitrates, 0.09-0.46 (m=0.21) μM for nitrites and 0.23~3.89 (m=1.26) μM for ammonia.

Nitrates concentrations increased with increasing depth showing more than 10 μM from 50m depth. The range of dissolved inorganic nitrogen concentrations in the bottom waters were 10.96~18.47 (m=14.34) μM for nitrates, 0.13~0.49 (m=0.31) μM for nitrites and 0.20-1.95(m=0.96) μM for ammonia.

The range of phosphate concentrations in the surface and bottom waters were in the range 0.02~0.19 (m=0.07) μM and 0.61~1.21 (m=0.91) μM , respectively. The concentrations of phosphates in the bottom waters of disposal sites (m=0.932 μM) were higher than those at control sites (m=0.780 μM).

The mean concentrations of silicates at surface, 10m, 20m, 30m depth were 0.576, 0.772, 1.457 and 4.896, respectively.

Table 2. DO and nutrient concentrations in Sea Area A in 2011.

Parameters	depth	Range	Mean
DO (mg/L)	Surface	7.99~8.47	8.25±0.09
	Bottom	6.98~8.53	7.79±0.37
NO ₂ (μM)	Surface	0.09~0.46	0.21±0.08
	Bottom	0.13~0.49	0.31±0.09
NO ₃ (μM)	Surface	0.16~2.14	0.65±0.40
	Bottom	10.96~18.47	14.34±1.77
NH ₄ (μM)	Surface	0.23~3.89	1.26±0.85
	Bottom	0.20~1.95	0.96±0.40
PO ₄ (μM)	Surface	0.02~0.19	0.07±0.04
	Bottom	0.61~1.21	0.91±0.15
Si(OH) ₄ (μM)	Surface	0.17~1.60	0.58±0.36
	Bottom	9.29~19.93	14.20-2.86

In June 2011 Chlorophyll concentrations varied from 0.032 to 3.188 (m=0.895) $\mu\text{g/L}$ with maximum concentrations at about 30m depth which was slightly over the thermocline.

TOC (Total Organic Carbon) concentrations were relatively high at disposal sites (m=4.046 mg/l) than at control sites (m=3.422 mg/l).

DOC (Dissolved Organic Carbon) concentrations in the surface waters were relatively high (m=1.446 mg/l) at disposal sites than at control sites (m=1.261 mg/l) while, in the bottom waters, these were relatively high at control sites (m=1.387 mg/l) than at disposal sites (m=1.141 mg/l).

POC (Particulate Organic Carbon) concentrations in the surface waters were in the range 0.084-0.178 mg/l at disposal sites and 0.097~0.129 mg/l at control sites.

Dissolved PCBs (Polychlorinated biphenyls) concentrations in the surface waters were well below the Korean seawater quality criteria which were set at 0.5 $\mu\text{g/L}$.

The concentrations of general water quality parameters and heavy metals in the surface and bottom waters of sea area A are summarized in Table 3.

The range of COD (Chemical Oxygen Demand) was 0.04~2.00mg/L with mean concentrations of 1.23 1.03 and 0.9 5mg/l at surface, 30m depth and bottom waters, respectively.

Mean concentration of CN (Cyan) in the surface waters was 0.007 mg/L in 2011 which was far below the Korean seawater quality standard (0,01 mg/L).

Total nitrogen and total phosphorous concentrations varied in the range 0.005-3.835 (m=0.890) mg/l and not detected -0.015 (m=0.004) mg/l.

SPM (Suspended Particulate Materials) concentrations in the surface waters were in the range 0.210~1.56-(m=0.748) mg/l at disposal area and 0.236~0.900 (m=0.603) mg/l at control sites.

In the bottom waters SPM concentrations were in the range 0.755~8.250 (m=4.000) mg/l at disposal area and 1.258-6.440 mg/l (m=3.222) mg/l at control sites.

In June 2011 the range of dissolved heavy metals in the surface waters of the sea area A (Yellow Sea) were 0.057~0.565 (m=0.388) $\mu\text{g/L}$ for Cu, 0.086~0.415 (m=0.285) $\mu\text{g/L}$ for Ni, 0.002~0.049 (m=0.014) $\mu\text{g/L}$ for Co, 0.074~2.147 (m=0.585) $\mu\text{g/L}$ for Zn, 0.009-0.041 (m=0.034) $\mu\text{g/L}$ for Cd, and 0.016~0.219 (m=0.049) $\mu\text{g/L}$ for Pb.

Zn concentrations in the surface waters of disposal sites (m=0.641 $\mu\text{g/L}$) were higher than those of control sites (m=0.296 $\mu\text{g/L}$). Cu, Ni Cd and Pb concentrations in the surface waters were also relatively high compared to those measured at control sites.

Co concentrations in the surface waters showed a slight increase compared to those measured in 2005 and 2008. Compared to the metal concentrations measured in 2005 and 2008, Ni and Zn concentrations decreased and Co concentrations increased slightly.

Table 3. General water quality parameters and heavy metal concentrations in the surface and bottom waters of sea area A (Yellow Sea) in June 2011.

Parameters		Range	Mean
COD (mg/L)	Surface	0.40-2.00	1.23±0.45
	Bottom	0.40-2.00	0.95±0.48
TN (mg/L)	Surface	0.01-2.06	0.87±0.66
	Bottom	0.10-2.74	0.89±0.69
TP (mg/L)	Surface	0.000-0.010	0.003±0.003
	Bottom	0.003-0.012	0.007±0.003
SMP (mg/L)	Surface	0.21-1.56	0.73±0.36
	Bottom	0.75-8.25	3.85±1.69
Co (ppb)	Surface	0.002-0.049	0.014±0.009
Ni (ppb)	Surface	0.086-0.415	0.285±0.073
Cu (ppb)	Surface	0.057-0.565	0.388±0.108
Zn (ppb)	Surface	0.074-2.147	0.585±0.368
Cd (ppb)	Surface	0.009-0.041	0.034±0.009
Pb (ppb)	Surface	0.016-0.219	0.049±0.035
Oil (ppb)	Surface	0.029-1.215	0.122±0.212
CN (mg/L)	Surface	0.001-0.014	0.007±0.004

3-2. Sediment

The mean concentrations of TOC and TN in the sediments of disposal sites (1.32, 0.19%) were more than twice as high as those at control sites (0.59, 0.09%). Relatively high concentrations of TOC and TN could be found in the northwestern part of survey area receiving increased amount of wastes after the enforcement of the Rest-year System in 2006. The mean COD in the sediments of disposal sites (13.46 mgO₂/gdw) was also more than twice as high as those at control sites (6.10 mgO₂/gdw).

Heavy metal concentrations measured in 2011 in the sediments of sea area A (Yellow Sea) are summarized in Table 4.

The ranges of Cu concentrations in the sediments were 22.29~57.81 (m=37.77) mg/kg at disposal sites and 4.70~36.61 (m=17.57) mg/kg at control sites. Relatively high concentrations of Cu in the sediment were found at the Rest-year System area where intensive waste disposal had been made.

Cu concentrations were also high at areas receiving recent input of wastes. The concentrations of Pb in the sediments were in the range 30.37~47.28 (m=36.40) mg/kg at disposal sites and 21.46~0.27 (m=28.87) mg/kg at control sites.

The mean concentration of Cd at disposal sites (m=0.17 mg/kg) was 1.6 times higher than that at control sites (m=0.11 mg/kg).

Cd concentrations in the sediments were relatively high at northern and central part of the disposal sites. The mean concentration of Hg in the sediments of disposal sites (0.067 mg/kg) was 2.8 times higher than that at control sites (0.024 mg/kg).

Hg concentrations at the Rest-year System area and the northwestern part of the disposal area were higher than those at other areas. The ranges of As concentrations in the sediments were 6.66~13.05 (m=9.43) mg/kg at disposal sites and 2.97~10.43 (m=5.96) mg/kg at control sites.

The mean concentrations of Ni and Zn in the sediments of disposal sites (36.75, 117.64 mg/kg) were twice as high as those at control sites (18.47, 59.24 mg/kg). Relatively high concentrations of Cr were found at

the Rest-year System area and central part of the disposal area.

The concentrations of heavy metals were also compared to those of other areas. The heavy metal concentrations in the mud-rich sediment of the sea area A (Yellow Sea) were relatively high compared to those in sand-rich sediment of sea area B (East Sea). The mud-rich sediments of the sea area C (East Sea) contained fewer amounts of heavy metals than sediments of sea area A.

The concentrations of heavy metals in the sediments of three disposal sites in Korea varied depending on the amount of disposal and disposed items. The concentrations of heavy metals in the sediments of the sea area A (Yellow Sea) were relatively high compared to that of sea area C (East Sea), where major disposal items were liquid wastes (livestock excretions and wastewaters).

Table 4. Heavy metal concentrations in the sediments of disposal area. - (Rest-year System area excluded)

	Sea Area A (Yellow Sea)	Sea Area B (East Sea)	Sea Area C (East Sea)
Cu (ppm)	22.19~57.81	31.3~758.2	2.33~15.39
Pb (ppm)	37.37~47.28	46.3~373.3	11.34~21.93
Cd (ppm)	0.11~0.24	0.45~8.46	0.03~0.22
Hg (ppm)	0.03~0.13	0.04~2.86	0.01~0.08
Cr (ppm)	57.43~279.28	86.0~2,624.8	15.7~61.5
As (ppm)	6.66~13.05	8.94~36.28	2.23~5.06
Zn (ppm)	78.03~174.77	66.6~3354.1	19.3~83.2
Ni (ppm)	25.11~49.86	28.5~140.9	2.8~23.6

The concentrations of heavy metals in the sediments of the sea area A (Yellow Sea) is relatively high compared to those of sea area B (East Sea) where large amount of wastes consisted mainly of domestic sewage sludge and wastewater treatment sludge were disposed.

The concentrations of organic materials and heavy metals measured in 2011 in the sediment of the sea area A were compared to those measured

in 2005 and 2008.

At some sites of the Rest-year System area, the concentrations of As, Cr, Cu and Zn in the sediments decreased slightly due to the ban of waste disposal. However, this reduction was limited on the surface sediments and heavy metal concentrations below the surface layer were still relatively high.

The concentrations of Ni, Cd and Pb remained unchanged or increased slightly at the Rest-year System area. The concentrations of heavy metals in the sediments are in gradual increase at sites receiving recent disposal of wastes.

The concentrations of $\Sigma 27$ PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) in the sediments were in the range 250~1,158 (m=406) $\mu\text{g}/\text{kg}$ at disposal area and 167-394 (m=315) $\mu\text{g}/\text{kg}$ at control sites.

The mean concentration of PCBs (Polychlorinated biphenyls) at disposal sites (16.37 $\mu\text{g}/\text{kg}$) was more than three times higher than that at control sites.

We used the approach of NOAA to characterize contamination in sediments. These researchers reviewed field and laboratory studies and identified nine metals that were observed to have ecological or biological effects on organisms. They defined ERL values as the lowest concentration of a metal that produced adverse effects in 10% of the data reviewed. Similarly, the ERM designates the level at which half of the studies reported harmful effects. Metal concentrations below the ERL value are not expected to elicit adverse effects, while levels above the ERM value are likely to be very toxic.

At some sites of sea area A, the concentrations of Cu, Pb, Cr, As, Zn and Ni in the sediments exceeded ERL (Effects Range Low). The concentrations of Cd and Hg did not exceed ERL at any sites of sea area A. Number of sites where heavy metal concentrations in the sediments exceeded the sediment quality guideline of NOAA is shown in Table 5. In the sea area A, there were 17 sites with copper concentrations exceeding ERL (Effects Range Low) limit of NOAA. The concentrations of chromium were in excess of ERL (81mg/kg) at all sites. The

concentrations of Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, As, Pb and Zn in the surface sediment did not exceed ERM (Effects Range-Median) of N.O.A.A., USA, representative of concentrations above which effects on biota frequently occur.

Table 5. Number of sites where heavy metal concentrations in the sediments exceeding the sediment quality guideline of NOAA.

	Guideline (mg/kg)		Sea Area A (28 sites)		
	ERL	ERM	Concentration range	Number of sites exceeding ERL	Number of sites exceeding ERM
Cu (ppm)	34	270	22.19~57.81	17	0
Pb (ppm)	46.7	218	37.37~47.28	27	0
Cd (ppm)	1.2	9.6	0.11~0.24	0	0
Hg (ppm)	0.15	0.71	0.03~0.13	0	0
Cr (ppm)	81	370	57.43~279.28	22	0
As (ppm)	8.2	70	6.66~13.05	21	0
Zn (ppm)	150	410	78.03~174.77	3	0
Ni (ppm)	20.9	51.6	25.11~49.86	28	0

The chemical contaminations in the sediments were also evaluated by comparison with the sediment quality guideline proposed by USEPA. These criteria are shown in Table 6. At some sites Cr and As concentrations in the sediments exceeded the guideline value of EPA for heavily polluted area.

We compared the heavy metal concentrations in the sediments of disposal area measured in 2005, 2008 and 2011 in order to evaluate the policy options to reduce the impacts of waste disposal to the ocean. The concentrations of contaminants in the sediments of currently used disposal area, which had received relatively small amount of wastes before, exceed the ERL limit due to recent increase of wastes.

Table 6. The comparison of heavy metal concentrations in the sediments with EPA guidelines for sediments.

	Sea area A	EPA guideline		
		Not polluted	Moderately polluted	Heavily polluted
Cu (ppm)	22 ~ 52	<25	25~200	>200
Pb (ppm)	31 ~ 47	<40	40~60	>60
Cd (ppm)	0.1 ~ 0.2			>6
Hg (ppm)	0.03 ~ 0.13			>1.0
Cr (ppm)	57 ~ 131	<25	25~75	>75
As (ppm)	7 ~ 12	<3	3~8	>8
Zn (ppm)	78 ~ 152	<90	90~200	>200
Ni (ppm)	25 ~ 44	<20	20~50	>50

On the sediment core, concentrations of total organic carbon and total nitrogen was high at the surface, decreased with increasing depth to 10-15cm, and were stable thereafter. The concentrations of heavy metals showed relatively high concentrations at the surface, decreased with increasing depth to 5~10 cm, and became stable thereafter. For Cd such vertical trend could not be well observed. Cr concentrations decreased with increasing depth to 3~5 cm, and became stable thereafter at sites receiving increased amount of wastes since 2006.

3.3. Macro-benthos

Studies on macrobenthic organisms were made at 36 sites during the survey in April 2011. The number of macrobenthic species at control sites (53 species) was higher than that at the Rest-year System area (32 species) and lower than that at disposal area (63 species).

The mean habitat densities of macrobenthic organisms were 745 individuals/m² at disposal sites, 547 individuals/m² at control sites and 434 individuals/m² at the Rest-year System area.

The mean biomass was 126.1 46.4 and 14.3 g wet weight/m² at disposal sites, at the Rest-year System area and at control sites, respectively.

The dominant species of macrobenthic organisms in 2011 was *Melinnaelisabethae* (21.8%) at disposal site. *Nothriasp.* and *Ophiurakinbergi* were also found to be dominant at this site. At control sites, *Thyasiratokunagai* (17.3%), *Heteromastusfiliformis* and *Nothriasp.* were frequently found. In the - area, *Melinna elisabetha* (58.1%) and *Amphareteartica* were found to be dominant. In 2011, the ecological scores for the benthic macroinvertebrate community (ESB) were as following. Species diversity index was 1.99, 1.89 and 1.29 at control sites, disposal area and the - area, respectively. Species evenness index at control sites, disposal area and the - area was respectively 0.82, 0.74 and 0.59. Species richness index at control sites, disposal area and the - area was respectively 1.8, 1.96 and 1.42.

The benthic biotic indices such as BPI (Benthic Pollution Index) and AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) are frequently used as ecological indicators in estuarine and coastal waters. In 2011, Benthic Pollution Index (BPI) ranged from 57 to 85 (Table 7, Fig. 3). At most sites this index was over 60 suggesting the normal state of benthic ecosystem. At the Rest-year System area, this index was in the range 40-60 suggesting slightly polluted state. In 2011, the range of AMBI was 0.2-2.9 in the study area indicating normal state. Some sites at disposal area and the - area showed AMBI values of slightly polluted state.

Benthic community health assessment using BPI and AMBI showed that the Rest-year System area is in normal or slightly polluted state due to the ban of disposal activity in 2006.

On the other hand, more opportunistic species could be encountered in currently-used disposal area receiving increased amount of wastes.

The health of benthic marine ecosystem appears to be improved in 2011 compared to that of the year 2008. The occurrence of opportunistic species was much reduced in the - areas after the implementation of the - in 2006.

Table 7. The results of ecosystem health assessment for macrobenthic organisms in the sea area A in 2011.

State of ecosystem health	BPI	AMBI	Yellow Sea - C (disposal area)	
			BPI	AMBI
Normal	≥ 60	0~1.2	57~85	0.2~2.9
Slightly polluted	40~60	1.2~3.2		
Moderately polluted	30~40	3.2~5.0	-	-
Highly polluted	20~30	5.0~6.0	-	-
Very highly Polluted	≤ 20	6.0~7.0	-	-

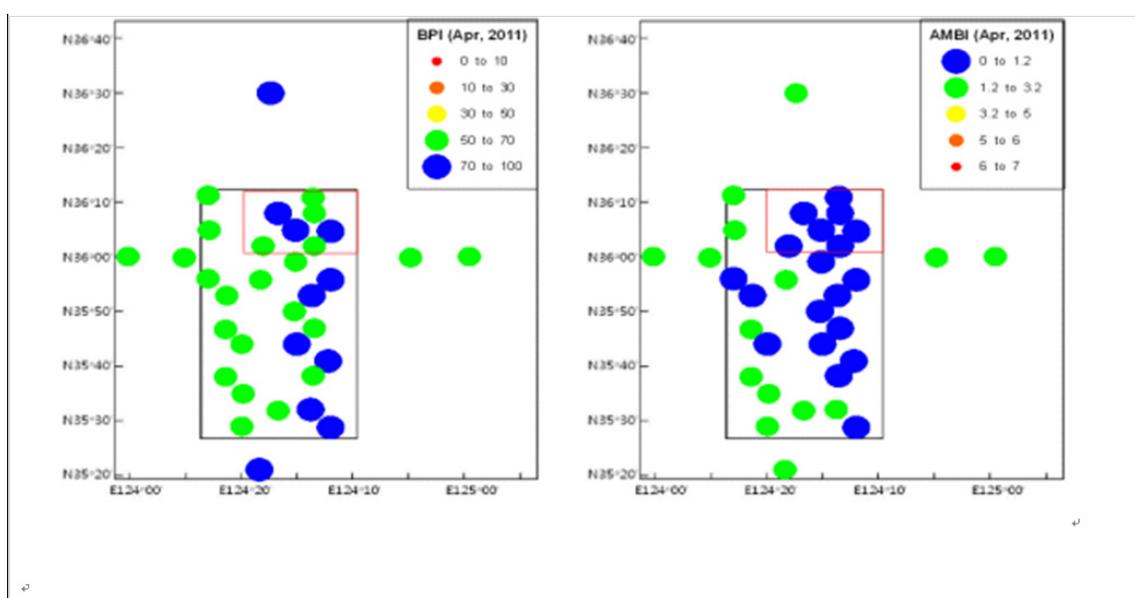


Fig. 3. BPI, AMBI for macrobenthic organisms at disposal area.

3.4. Egg fertilization rates in sea urchin and expression level of gene

Sediment pore water was collected from disposal sites and control sites for the biological test. *Strongylocentrotus nudus* (sea urchin) was used for the egg fertilization assay and embryo development assay.

Egg fertilization rates in sea urchin at disposal sites, the Rest-year System area and control sites, were 91.3, 76.7 and 50.3 and 64.7%, respectively. When exposed to sediment pore water taken from St. YB-024 in the - area and St. YBR-004, the mean egg fertilization rates in sea urchin were relatively low ($p < 0.05$).

YBR-004 is located near the - area and is thought to be influenced by waste disposal in the past.

In 2008, The egg fertilization rate was more than 90% at YB-037 (disposal sites) and YBR-004 (the - area) and more than 80% at other sites. But, in 2011, the egg fertilization rates were less than 70% at YB-098, YB-024 and YB-004 implying the expansion of polluted area.

At all sites the embryo did not develop normally when exposed to 100% sediment pore water. The embryo did not develop normally when exposed to 25% sediment pore water of YB-024 (the - area), YB-026 (the - area), YB-053 (disposal area), YB-098 (disposal area), and YBR-004 (control site). Unlike the benthic health indices, egg fertilization rate and mean embryo development rate in sea urchin in 2011 were relatively low compared to that in 2008, implying that sites showing high ecotoxicity increased.

The expression level of Ferritin gene and Hemerythrin-like metalloprotein gene after exposure to sediment pore water was surveyed. In 2011, the expression level of two genes after exposure to sediment pore water collected from St. yb-26 showed remarkable decrease or increase compared to the same experiment for control sites. Using expression level of the gene as a basis to infer the contamination level, the degree of contamination is estimated to be in the order of YBR-7, YB-49, YB-46, YB-53, YB-98.

4. Conclusion

Since the enforcement of comprehensive measures on waste disposal to the sea in March 2006, waste disposal activity was substantially reduced.

The heavy metal concentrations in the sediments of currently used disposal area, which had received relatively small amount of wastes before, exceed the ERL limit due to recent increase of wastes.

The health of benthic marine ecosystem appears to be improved in 2011 compared to that of the year 2008. The occurrence of opportunistic

species was much reduced in the - areas after the implementation of the - in 2006. In the sea area A, dinoflagellate was dominant among phytoplankton species.

The results of egg fertilization rate assay in sea urchin and embryo development rate assay showed that most sites were in polluted state. This means undetermined contaminants or variables exist in the surveyed area. More intensive ecotoxicological studies are needed in sea area A.

3. 행정 및 입법적 조치 보고

런던의정서 제9조(허가증 발행과 보고)는 당사국이 의정서 규정을 이행하기 위해 취해진 행정 및 입법적 조치를 정기적으로 보고하도록 규정하고 있다.

○ 의정서 제 9 조(허가증 발행과 보고)

4. 각 당사국은 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여 아래 내용을 국제해사기구(IMO)와 다른 당사국에 통보한다

.2 집행조치의 요약을 포함하여 이 의정서의 규정을 이행하기 위해 취해진 행정 및 입법적 조치

상기의 런던의정서 9.4.2항에 규정된 당사국 준수 일환으로서 본 연구에서는 우리나라가 런던의정서 규정을 이행하기 위해 취해진 행정 및 입법적 조치와 관련된 보고서를 '12년 4월 9일 IMO에 제출하였다(그림 3-4-3).



Marine Conservation Division, Republic of Korea, contact : vega21@korea.kr

Mr. Edward Kleverlaan
Director-Office for the London Convention and Protocol
Marine Environment Division,
International Maritime Organization
4 Albert Embankment
London SE1 7SR

9th of April 2012

Contact : KIM Guan-Jin
e-mail : vega21@korea.kr

Dear Mr. Kleverlaan

I am pleased to inform you that the Republic of Korea is providing information to comply with reporting requirements under article 9.4.2 of the London Protocol. Please find out an attachment to this cover letter, Republic of Korea Report on Implementation of the London Protocol.

It will be my pleasure to provide any further details on the report upon your request.

Sincerely yours

JONG-HO YUN 

Director of Marine Conservation Division, Marine Policy Bureau
Ministry of Land, Transport & Maritime Affairs, Republic of Korea

그림 3-4-3. 런던의정서 당사국 준수 일환으로 우리나라가 국제해사기구에 제출한 런던의정서 규정 이행을 위해 취한 행정 및 제도적 조치 보고 (2012년 4월 19일 발송)

**KOREAN REPORT ON ADMINISTRATIVE AND LEGISLATIVE
MEASURES TAKEN TO IMPLEMENT THE LONDON PROTOCOL
(Article 9.4.2)**

Reported by Republic of Korea

The Republic of Korea(ROK) reports to the Organization on the administrative and legislative measures taken to implement the provisions of the Protocol, including a summary of enforcement measures and the effectiveness of the measures in order to comply Article 9.4.2 and 9.4.3.

1. The Legislative and Administrative Measures Taken for Implementing the Protocol Including a Summary of Enforcement Measures

For the purpose of implementing the London Protocol which came into force for Korea on 21 February 2009, the ROK has revised the relevant domestic laws and regulations related to the Protocol in 2006. A key national legislation relevant to ocean dumping in the ROK is the Marine Environment Management Act (MEMA). It has an Enforcement Decree and an Enforcement Regulation.

Article 23 of the MEMA prohibits dumping of any wastes into the ocean within ROK jurisdiction, but exceptionally land-based source wastes which are listed in Annex 6 of the Enforcement Regulation of the MEMA may be disposed of in accordance with the conditions stipulated in the Enforcement Regulation within specific areas for disposal of wastes and other matter for the listed items set up by the Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (MLTM) pursuant to the Regulation.

When the MEMA was amended in 2006, the Master Plan of Ocean Dumping Management was adopted by relevant government ministries cooperatively. The adoption of the plan was done for the purpose of making our rules for ocean dumping to be compatible to the Protocol. In particular, the primary aim of the plan is to prohibit ocean dumping

of sewage sludge after 2012 (we currently classify the following items as sewage sludge: live stock manure, waste water from recycling food wastes, sludge from sewage treatment plant, sludge from waste water treatment plant, waste water from septic tank).

For this purpose, a number of inland sewage treatment facilities have been scheduled to be established and local communities' claims on potential side effects of building such facilities have been appropriately dealt with. As a result, dumping of sludge from sewage treatment plant and livestock manure which comprise of approximately 80% of sewage sludge dumped into ocean has been scheduled to be prohibited after January 2012.

In addition, waste water from recycling food wastes will be banned from January 2013 (this was stipulated into the MEMA through amendment of the act in December 2011). After all, most types of sewage sludge will be prohibited to be dumped at sea. Sludge and waste water produced through food processing comprise 20% of sewage sludge dumped at sea. We currently discuss prohibition of these items within a few years. In addition, ocean dumping of bauxite residue after January 2016 is scheduled to be prohibited through amendment of the MEMA in 2006, although it has not been dumped since 2010 and has been entirely disposed of on land since then.

The MLTM is the major responsible ministry for the administration, compliance and enforcement of maritime affairs and relevant laws including MEMA. Korea Coast Guard (KCG) issues permits for dumping of wastes including dredged material and designates a waste disposal site.

Key provisions on prohibition of ocean dumping of land based source of wastes and penalties for breaching them in the MEMA are as follows:

Article 23 (Prohibition of Disposing Waste Generated from Land into Ocean)

(1) Nobody shall dispose of wastes generated from land into the ocean; provided, however, that the Minister may allow within the scope not to affect the conservation and management of marine environment to dispose of only waste, which is difficult to dispose of in land and as determined by the Ordinance of MLTM into the sea area, as determined

by the Ordinance of the MLTM according to the disposal standards and methods as determined by the Ordinance of the MLTM. <Amended by Act No. 8852 on Feb. 29, 2008>

(2) The Minister may allow a licensed marine waste dumping business to dispose only wastes, of which a contracted disposal is filed by a waste contractor under the provisions of Article 76 (1), among wastes which can be disposed into the ocean under the provision of Section (1).

Article 129 (Penalties)

(1) A person who contravenes as follows is liable to imprisonment for a term not exceeding one year or to fine not exceeding 10,000,000 won.

.2 the person who disposed of wastes or other matters contravening Article 23 (1);

(2) A person who contravenes as follows is liable to imprisonment for a term not exceeding one year or to fine not exceeding 5,000,000 won.

.1 the person who disposed of wastes or other matters which is not filed contravening Article 23(2);

The Korean texts of the Acts, Decree and Regulation may be retrieved on the website <http://www.law.go.kr>, and English texts of these and the master plan can be obtained through contacting the MLTM.

MEMA enforcement officers have the enforcement measures at their disposal, including:

- . Suspension of a permit for dumping, use of facilities and vessels;
- . Revocation of a permit for dumping;
- . Warnings to indicate that the existence of a violence;
- . Monetary penalties
- . Criminal charging.

Currently, there are 15 waste dumping operators who are registered for ocean dumping. Enforcement measures taken by enforcement officials with regard to offences made by these operators since the London Protocol became effective for the Republic of Korea on 2 February 2009

are as follows:

<Number of Enforcement Measures Taken Since Entry into Force of the Protocol in February 2009>

Enforcement Measures	Suspension of Use of Carriage Vessels	Monetary Penalties	Criminal Charging	Warnings
2009	1	4	6	1
2010	1	4	2	6
2011	1	4	1	2

2. The Effectiveness of the Administrative and Legislative Measures Taken to Implement the Protocol and Any Problems Encountered in their Application

We have dealt with the following problems caused by the prohibition and restriction of ocean dumping and disposal of wastes on land:

- . The cost of recycling/disposing of wastes on land has increased because of shortage of the waste disposing facility on land. Waste producers have objected to the prohibition and restriction of ocean dumping of wastes since they have to bare more cost for disposing of wastes.
- . Although prohibition of ocean dumping of wastes did not immediately result in development of waste management industry on land, it has recently had positive effect of development of recycling industry.
- . Solutions for financial loss and closing business after the complete prohibition of ocean dumping of wastes are to be provided to the licensed marine dumping operators.

제 5 절 런던협약 및 런던의정서 당사국 폐기물 해양배출 동향

1. 당사국들의 폐기물 해양배출 동향

런던협약과 런던의정서에서는 모든 산업폐기물에 대해서는 해양배출을 금지하고 있고, 이에 대한 예외로써 다음과 같이 런던협약 부속서 1에서는 6개, 런던의정서 부속서 1에서는 8개 품목의 산업폐기물들의 해양배출에 대해 부속서 2(해양배출을 고려할 수 있는 폐기물 또는 기타물질에 대한 평가)에 의거한 절차를 거친 후 해양투기 허가를 발행하도록 규정하고 있다.

○ 런던협약 부속서 1

- 준설물질
- 하수오니
- 생선폐기물 또는 산업적 생선가공에서 나오는 유기물
- 선박, 플랫폼 또는 기타 해상인공구조물, 단 부유물질을 발생하거나 해양환경오염을 초래할 수 있는 물질을 최대한으로 제거한 경우에만 해당
- 화학적 성분이 해양환경에 방출될 가능성이 없는 비오염불활성지질물질
- 천연기원의 비오염 유기물질

○ 런던의정서 부속서 1

- 준설물질
- 하수오니
- 생선폐기물 또는 산업적 생선가공에서 발생하는 물질
- 선박 및 플랫폼 또는 기타 해상인공구조물
- 불활성무기지질물질
- 천연기원의 유기물질
- 철, 강철, 콘크리트 및 이와 유사하게 무해한 물질로서 물리적 영향만이 관심의 대상이 되는 폐기물로 투기 이외의 다른 처분이 없는 소규모 섬과 같이 고립된 공동체에서 발생하는 경우에 국한된 부피가 큰 품목
- 격리목적의 이산화탄소 포집 공정으로부터 발생한 이산화탄소 스트림

또한 당사국은 상기 폐기물들에 대한 해양배출 허가 발행 상황도 런던협약 및 런던의정서 사무국에 보고해야 하며, 특히 런던의정서에서는 동 상황에

준설품질 해양배출량을 표 3-5-2에서 정리하였다.

전반적으로 당사국들의 연도별 준설품질 해양배출량에서 뚜렷한 동향은 보이지 않으나, 주변국인 일본과 중국의 준설품질 해양배출량은 지속적으로 감소되는 추세이다.

표 3-5-2. 런던협약 및 의정서 주요 당사국들의 준설품질 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.4)

(단위 : 천톤/년)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	9,040	13,174	4,440	5,273	7,037	9,755	5,790	9,224	1,084
	6,274	5,586	7,129	9,424	7,581	5,072	3,965	3,042	2,360
	143,440	139,373	164,853	190,593	250,588	220,707	260,130	124,216	122,200
	4,943	3,218	-	-	-	-	0	1,128	-
	4.6	4.6	-	3,435	1,500	2,169	-	-	-
	5,601	4,825	11,017	13,498	6,464	20,353	9,401	7,998	-
	1,297	519	2,984	1,090	13	1,685	6,103	3,453	2,067
	-	-	-	0	0	0.15	5.7	0	0
	21,074	-	-	48,638	48,861	25,437	24,402	22,721	38,358
	4,722	6,292	175	1,191	4,692	2,926	3,904	3,535	3,339
	589	634	0	720	169	278	97	-	-
	919	0	708	368	2,577	3,613	2,557	7,608	-
	18,513	16,372	17,512	15,673	31,038	29,368	15,961	17,450	-
	9,800	10,629	7,790	9,724	20,966	10,724	27,775	45,317	-
	16,029	10,750	7,719	11,337	12,944	8,133	10,540	12,597	-
	28,671	27,800	24,806	22,029	28,502	61,895	92,750	30,907	-
	156	223	0	0	1,553	591	709	2,538	471
	1,669	2,996	2,688	3,119	-	-	5,774	-	-
	1,307	-	-	2,267	-	-	495	818	-
	1,003	640	1,140	1,934	1,052	1,054	584	1,581	-
	74,462	104,132	65,362	59,009	46,756	47,768	40,516	39,514	39,514
	2,938	3,406	2,568	3,070	2,636	1,431	3,834	-	-
	11,327	2,442,859	9,079	7,599	5,375	11,831	18,815	5,889	55,840
	5,371	17,912	-	3,279	5,004	3,954	31	14	10,906
	-	-	1,426	93	2	12	-	875	446
	4,160	17,121	17,004	23,364	5,980	1,959	7,915	2,815	3,727

나. 하수오니 해양배출 현황

표 3-5-3에는 2011년 발행된 국제물협회(IWA) 보고서의 세계 각국의 하수오니 발생 대비 처리 및 처분방안 비율을 정리하였다.

2008년 이후 런던협약 당사국 중 하수오니 해양배출 국가는 일본이 2008년 4월부터 하수오니 해양배출을 금지했다. 우리나라는 '12년 1월부터 하수처리오니 해양배출을 금지했지만, 하수오니 범주에 있는 폐수와 폐수처리오니는 해양배출하기 때문에 런던협약/런던의정서 당사국 중 하수오니 해양배출 유일국가의 오명을 갖고 있다.

표 3-5-3. 세계 각국의 하수오니 발생량 대비 처리/처분방안 비율

국가명 / 처리/처분	재활용(농업이용, 조정, 연료, 건설자재 원료 등)	소각	매립	해양배출
독일('08년)	97%	0%	3%	0%
네덜란드('08)	42%	58%	18%	
핀란드('08)	100%	0	-	
오스트리아('08)	82%	0	18%	
벨기에('08)	36%	54%	10%	
이탈리아('08)	64%	2%	24%	
불가리아('05)	40%	0	60%	
헝가리('05)	74%	1%	25%	
라트비아('05)	60%	0	40%	
루마니아('05)	3%	0	97%	
슬로바키아('05)	70%	0	30%	
미국('04)	57%	15%	28%	
멕시코('02)	24%	0	76%	
호주('09)	85%	0	15%	
일본('08)	78%	2%	20%	
대한민국('09)	26%	11%	16%		47%

자료 출처 : 국제물협회 보고서(2011)

다. 천연기원유기물 해양배출 현황

표 3-5-4에는 천연기원유기물 해양투기 현황을 정리하였다. 2009년에는 우리나라, 일본, 영국이 동 폐기물 해양배출을 보고하였다. 영국은 바닷물 침수로 인해 부패된 밀 0.04천톤을 해양 배출하였다. 뉴질랜드와 미국은 2008, 2009년에 시행된 수장(水葬) 1건을 천연기원유기물에 포함시켜 보고했다.

표 3-5-4. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 천연기원유기물 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.4)

(단위 : 천톤/년, 건중량)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	8	35	58	40	23	18	18	1	0.72
	191	161	148	211	247	157	56	-	16
	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-
	-	-	-	-	-	-	127	106	-
	-	-	-	-	-	0.61	-	-	0.04
	-	0.2	-	-	0.2	0.2	-	-	-

라. 생선폐기물 해양배출 현황

표 3-5-5에는 연도별 생선폐기물 해양배출 현황을 정리하였다. 런던협약 및 의정서 사무국에 제출된 2008년 보고서에는 우리나라를 포함한 6개국이 생선폐기물 해양 배출을 보고했다.

표 3-5-5. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 생선폐기물 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3)

(단위 : 천톤/년, 건중량)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	0.009	0.007	6	15	36	12	14	2	6
	60	67	64	63	67	71	61	0.6	-
	-	-	-	-	-	-	0.1	3	-
	0.35	0.15	-	-	-	-	-	1.8	-
	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-

마. 불활성무기지질물질 해양배출 현황

표 3-5-6은 불활성무기지질물질의 연도별 해양배출 현황이다. 2008년에는 필리핀과 멕시코가 동 폐기물에 대한 해양 배출을 보고하였다.

표 3-5-6. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 불활성무기지질물질 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3)

(단위 : 천톤/년)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	455	481	910	899.6	1,070	328	1,248	-	-
	-	-	-	-	-	-	315	178	-
	-	-	-	-	-	-	0.57	-	-
	-	-	-	-	857	221	4	-	-
	-	0.24	-	-	-	-	-	0.8	-
	-	518	-	-	-	-	-	-	-

바. 선박/플랫폼 등 해양배출 현황

표 3-5-7은 선박 및 플랫폼 등에 대한 연도별 해양배출 현황이다. 2008년에는 4개국, 2009년에는 3개국이 선박 등의 해양투기를 보고했다.

표 3-5-7. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 선박/플랫폼 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3)

(단위 : 천톤/년)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	-	0.15	0.058	-	-
	-	-	-	-	-	-	5.4	0.005	-
	-	-	-	-	0.82	0.21	1.12	-	-
	-	-	-	-	-	-	0.039	0.022	0.018
	-	-	-	-	-	-	2 /	-	-
	-	-	-	-	-	2 /	-	1.3	0.007
	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1

사. 고립도서 발생 대형물체 해양배출 현황

표 3-5-8에는 고립도서 발생 대형물체 해양배출 현황을 정리하였다. 런던협약 및 의정서 사무국에 제출된 2007년 투기허가발행 보고를 살펴보면, 동 폐기물 해양투기 국가는 호주와 남아프리카공화국이다.

표 3-5-8. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 고립도서 발생 대형물체 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3, LC33/INF.3~4)

(단위 : 천톤/년)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	174	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075

아. 기타 물질 해양배출 현황

표 3-5-9에는 런던협약 및 런던의정서 부속서 1에 열거된 폐기물 이외의 폐기물의 해양배출 현황을 정리하였다. 상기 폐기물로는 보크사이트 잔재물(Bauxite residue), 폐화약(Obsolete explosives), 진흙과 물로 구성된 시험 잔재물(Mud & water-based testing residue) 등이 있다.

그러나 일본이 해양 배출한 폐화약의 경우, 2008년 런던협약 및 런던의정서 합동과학그룹회의에서 2008년부터는 동 폐기물의 해양배출이 금지되었다고 보고하였다(LC/SG 31/16).

표 3-5-9. 런던협약 및 의정서 주요 당사국의 기타물질 해양배출 현황

(문서 LC 27/WP.1, LC29/INF.4, LC30/WP.1, LC31/INF.4, LC32/INF.3)

(단위 : 천톤/년)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1)	254.8	391.3	-	-	255	158	-	-	-
2)	-	-	-	-	126	61	44	20	
3)	2,643	2,457	2,685	2,702	2,477	2,395	2,496	298	2,062
4)	0.37	0.99	-	0.69	0.24	0.53	0.52	-	-
5)	0.37	-	-	0.69	0.24	0.53	0.52	-	-
6)	-	6.5	-	-	-	-	-	-	-
(Ashes)	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-
7)	-	31.5	-	-	58	421	0.32	0.005	22
8)	-	31.5	-	-	58	421	0.32	0.043	69
가 9)	-	-	-	2.7	-	-	-	-	-
1) () 2) 14 2)) ; '07 () 6 ; '16) 3) Bauxite residues : '16 4) Obsolete ammunition : 가 '08 / '08 5) Raw sewage and sludge of septic tank 6) Spoilt corn 7) Mud and water-based testing residue 8) Substances includes steel structures for artificial reef creation and other oil and gas exploration substances to be verified 9) Food processing									

2. 당사국들의 폐기물 해양배출관련 제도

가. 일본

(1) 폐기물 처리·처분 관련 담당 행정청

일본에서 하·폐수 관리는 여러 행정청에서 관리하고 있다. 이러한 업무 중 하수오니를 처리하여 비료로 활용하는 업무 담당은 농림수산성이다(그림 3-5-1). 반면에 환경성은 폐수관리와 재활용관련 업무를 맡고 있다.

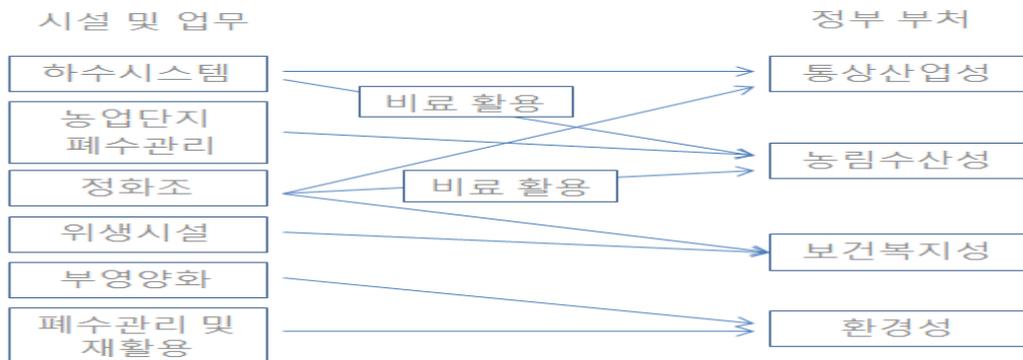


그림 3-5-1. 일본의 폐기물 처리·처분 담당 행정청(Ito, 2008)

또한 환경성지구환경국 환경보호대책과는 폐기물 해양배출 관리 행정청이다. 일본의 해양오염 방지법은 '07년 4월부터 하수오니 해양배출 금지를 시행하면서 또한 허가제도를 신설하여 폐기물 등의 해양투입 처분을 실시할 경우에 환경대신에게 허가 신청을 하여 심사를 받고 해양 투입처분 전에 해양배출 계획을 해상보안청에 제출하여 신청된 계획이 환경대신의 허가에 적합한 것인지 사전에 확인을 받도록 규정하고 있다(그림 3-5-2).

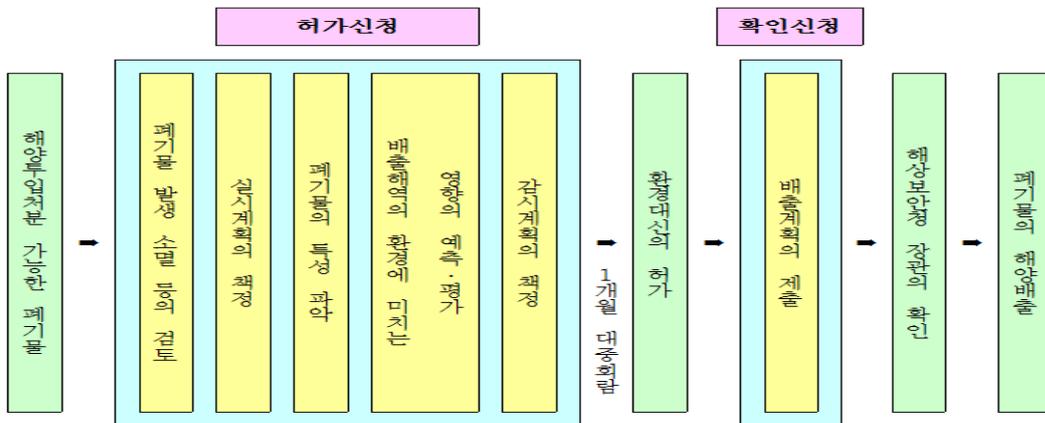


그림 3-5-2. 일본의 폐기물 해양배출 허가 신청 및 심사 절차

(2) 폐기물 배출해역

일본의 폐기물 배출해역은 I~IV 해역으로 구분되어 있다. I 해역은 해양 배출이 중단되었고, II와 III 해역에서는 건설공사오니, 보크사이트 잔재물이 배출되며, IV 해역의 해양배출 품목은 준설물질이다(그림 3-5-3). 하수오니 해양배출이 금지되기 이전까지는 III 해역에 하수오니를 배출했다.

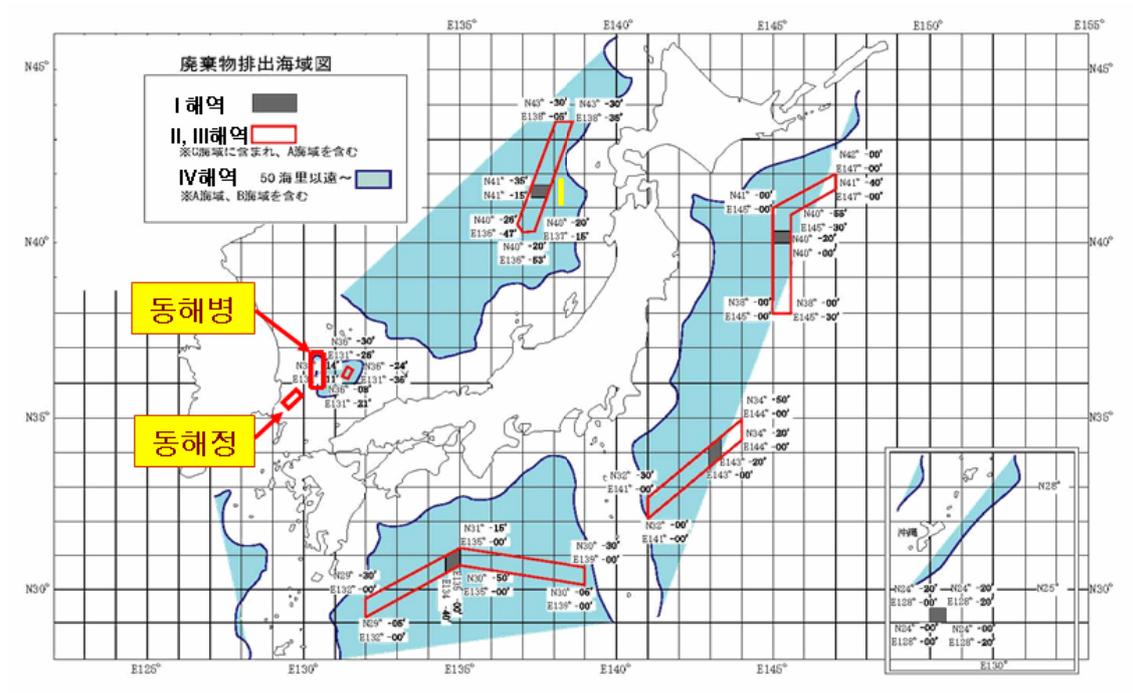


그림 3-5-3. 일본의 폐기물 배출해역 지도(LC33/INF.3)

(3) 폐기물 해양배출 허가 신청 심사

환경성의 허가신청서에는 폐기물 발생 및 소멸 과정 (발생원, 발생과정, 처리과정 등), 실시계획, 폐기물 특성, 투기해역 환경에 미치는 영향, 감시계획 등을 기재하도록 하고 있다.

폐기물 해양배출에 대한 실시계획으로서는 해양배출을 하려는 자가 ① 폐기물 해양배출 기간, ② 해양배출량, ③ 해양배출 해역 및 ④ 해양배출 방법을 기재하고 환경성에 제출해야 한다(표 3-5-10).

환경성은 실시계획을 검토하고, 이에 대한 배출해역의 오염현황을 감시할 계획을 책정한다(표 3-5-11).

표 3-5-10. 일본의 폐기물 해양배출 실시 계획서 기재사항

폐기물의 해양투입처분 하려는 기간 (해양투입처분 기간)	사업계획등으로부터 해양투입처분을 필요로 하는 기간을 기입한다. 단, 5년을 초과하여 처분이 예상되면 5년으로 신청한다 (<u>허가기간은 최대 5년이다</u>)
해양투입처분을 하려는 폐기물의 수량	앞서 말한 기간동안 해양투입 처분하려는 폐기물의 총량 (건적량)을 중량 및 용량 으로 기재한다.
단위기간에 있어서 해양투입처분을 하려는 폐기물의 수량	해양투입처분 기간이 1년을 초과할 경우에는 1년마다 (마지막에 1년 미만의 기간이 생길 경우에는 그 기간을 포함)의 해양투입처분 하려는 폐기물의 총량을 중량 및 용량으로 기재한다.
폐기물의 배출해역	허가성령 제6조(동별표)에 정하는 기준에 따라 해양투입처분하려고 하는 장소를 위도·경도, 반경 등으로 특정하여 나타낸다. 신청서에는 해도에 구체적인 범위를 개재한 것을 첨부한다. 범위를 설정할 경우에는 해양투입 처분 실시할 때 배출선박이 바람과 취송류에 의해 이동하는 것 등을 고려하여 배출선박에 의한 처분행위가 수렴되는 구체적인 해역 을 원형 또는 사각형으로 명시해야 한다.
폐기물의 배출방법	허가성령 제6조(동별표)에서 정하는 기준에 따라 해당 폐기물의 배출방법을 도면 등을 사용하여 적절한 방법 으로 알기 쉽게 기재한다.

표 3-5-11. 일본의 폐기물 배출해역 오염현황 감시 계획

	감시 방법	감시 빈도
수량의 실적	폐기물처리 기록부등에 의해 실적을 확인한다.	1년에 1회 (허가의 유효기간이 1년 미만의 경우에는 당해 허가의 유효기간에 대해 1회)의 빈도로 확인한다.
판정기준의 적합상황	공정등의 변경이 없고, 적합상황의 변화가 없다고 판단되는 경우에는 그 취지를 보고한다. 그 외의 경우에는 새로 분석해야 한다. 단 건설오니는 정기적으로 분석해야한다.	1년에 1회 (허가의 유효기간이 1년 미만의 경우에는 당해 허가의 유효기간에 대해 1회)의 빈도로 확인한다. 단 건설오니는 1개월에 1회의 빈도 로 분석해야 한다.
배출해역의 상황	뒤에서 기술하는 사전평가에 사용된 방법(문헌조사, 설문조사, 야외조사등)으로 상황을 파악한다.	해양투입처분에 의한 해역상황의 변화를 총괄적으로 파악하는데 있어 적당한 기간(기본은 허가기간의 종료직후). 단 허가의 유효기간이 3년을 초과할 경우에는 앞서 기술한 감시까지의 사이에 중간적인 감시를 실시한다.

나. 중국

(1) 폐기물 처리·처분 관련 담당 행정청

중국의 폐기물 해양배출 관련 행정청은 국가해양국으로서, 폐기물 배출 절차는 해양환경보호법 제55조 22항에 의거해 폐기물 해양 배출시 사전에 신청서를 제출하여 승인을 받아 허가증을 발행받은 후 해양 배출해야 한다.

(2) 폐기물 배출해역

중국의 폐기물 해양배출 해역은 총 98개로서 육지와 가까운 연안에 위치하고 있다(그림 3-5-4). 중국은 준설물질만 해양 배출하고 있다고 런던협약 및 의정서 사무국에 보고하였다(LC 33/INF. 3).



그림 3-5-4. 중국의 폐기물 배출해역 지도

(3) 폐기물 해양배출 제도

중국의 폐기물 해양배출 제도는 『해양환경보호법』, 『해양투기관리 조례』, 『해양투기 관리조례 실시방법』으로서 해양투기관리 기준, 해양투기 관할범위, 해양투기 주관부문, 해양투기 허가증 제도, 폐기물 분류규정, 해양투기 관리대상, 해양투기구 선정과 법률책임 등이 규정되어 있다.

중국의 폐기물 해양배출 제도와 관련해 진행되어 온 사항은 다음과 같다.

- 1983년 : 『중화인민공화국해양환경보호법』, 『해양투기관리조례』 실시
- 1985년 : 국무원 『중화인민공화국해양투기관리조례』 발표
- 1985년 : 『런던협약』 가입
- 1990년 : 국가해양국 『중화인민공화국 해양투기관리조례실시방법』
- 1992년 : 국가해양국 『중화인민공화국해양투기실시세칙』 제정
- 2006년 : 『런던의정서』 가입

폐기물 해양배출 허가증 제도(해양환경보호법 제55조 22장)를 도입하여, 폐기물의 해양배출이 필요한 자는 반드시 국가해양행정주관부문에 신청서를 제출하여 승인을 받아 허가증을 발급받은 후 배출해야 한다. 해양배출 허가증 제도와 배출해역 선정에 대한 구체적인 내용은 『해양투기관리조례』의 “해양투기관리조례실시방법”에 규정되어 있다.

허가증을 토대로 해양배출에 대한 심사로서 수속이 완전한지, 허가증의 사항과 투기 내용이 일치하는지, 투기 방법은 허가증에서 규정한 대로인지 등을 검토한다. 이외에도 순항감시(선박, 비행기 등을 이용한 순항), 모니터링, 경외 관련 투기활동에 대한 관리를 실시하고 있다.

다. 영국

(1) 하수오니 해양배출

영국의 폐기물 해양배출은 1982년 방사능 폐기물의 해양투기 금지를 시작으로, 1992년 산업 폐기물 투기 금지, 1998년 하수오니 투기 금지, 1990년 이후 폐기물 해상 소각이 금지되어 현재 영국의 관련법 하에서 해양배출이 가능한 물질은 준설물질, 생선 가공 폐기물, 자연 기원 불활성지질물질 및 선박 또는 항공기 등이다. 이들 물질의 해양배출은 1985년 식품, 환경 보호법 (Food and Environment Protection Act 1985)에 따라서 이행된다.

하수처리 과정에서 발생하는 하수오니의 해양배출은 유럽연합 지침에 의거하여 1998년부터 전면 금지되었다.

(2) 하수오니 해양배출 금지 제도

(가) 유럽연합지침의 도시폐수처리지침

하수오니의 처리와 관련한 영국법 또는 유럽연합지침은 도시폐수처리지침 (Urban Waste Water Treatment Directive)과 1989년 오니(농업용도)규칙

(Sludge(use in agriculture) Regulations 1989)에 있다.

도시폐수처리지침은 유럽연합 회원국에 공동으로 적용되는 정책으로서 유럽의회에서 1989년 11월 최초로 마련되었고, 1991년 5월에 최종안으로 채택되었다. 이 지침은 하수오니의 처리 및 처분을 규제하며 유럽연합 회원국에 1998년부터 하수오니의 해양배출을 금지하도록 규정하고 있다.

EU의 도시폐수처리지침은 영국이 기존에 도입하지 않았던 여러 기준들(예: COD)을 도입하게 하게 했다. 이는 기존에 영국의 연안역에 해양 배출하는 하수는 최소한의 처리만 해도 합법적인 것으로 간주되었으나 새 지침의 도입에 의해 영국이 하수오니 해양배출을 금지하게 하는 초석이 되었다.

(나) 영국의 하수처리 관련 제도

영국에서 하수처리는 1900년대에 최초로 도입되었으며, 주로 지방 당국들이 따로 이에 관여하여 폐수 처리 시스템이 획일화되지 못하였다.

1973년에는 수자원법(Water Act 1973)이 채택되어 10개의 수질관리 당국이 설립되었다.

1970년대와 1980년대에 영국 사회 전반의 경제, 재정 문제로 인하여 하수처리 부문에의 투자가 950백만 파운드(1973-4년 기준)에서 1980년대에 이 금액의 1/3까지 하락했다. 이러한 투자금액 감소에는 정치적 이유(선거를 위하여 수도세 인상을 포기함)가 작용하였다.

1974년에는 하수 방류를 공개적으로 등록하게 하는 규정을 포함하는 오염통제법(Control of Pollution Act 1974)이 제정되었으나, 이 법은 1986년이 되어서야 발효되어 이행될 수 있었다.

(다) 영국의 하수오니 해양배출

영국은 1998년 하수오니 해양배출 이전까지 이를 연안역에 배출하였으며 이러한 관행을 '해양처분(ocean disposal)'이라 명명하였다. 특히 폐수처리장에서 생산된 오니도 선박으로 운반하여 해양에 배출했다.

당시 하수 또는 오니를 배출할 때 정책적으로 큰 제약은 없었으며 하수 배출시 길이가 긴 배출구를 이용해 분산이 용이하도록 한다거나 연안 리조트와 같이 예외적인 경우에는 우선 처리를 하여 배출하도록 하는 등의 가벼운 제약은 있었다.

하수오니의 해양배출이 전면 금지될 때까지 총 590회의 연안역 배출이 있었으며 배출시 미처리 또는 기초처리만 한 하수를 배출하였거나 예외적인

경우에만 1차 처리를 하여 배출하였다.

이러한 관행은 하수처리의 민영화 시기와 맞물려 영국 의회 및 환경단체 등이 이와 같은 하수처리 및 해양 배출에 관한 규제를 정비하도록 촉구함으로써 변화하게 되었다.

영국의 하수 및 하수오니 해양투기 금지는 EU 지침(도시폐수처리지침)을 국내적으로 이행하는 과정에서 제안되었고, 북해연안국들 간에 개최되는 북해 각료회의에서 1980년대와 1990년에 영국의 해양처분에 관해 여러차례 지적이 있었고 수도산업의 민영화와 관련하여 민영화 이전에 관련 시의 출자자들이 해수욕장 등의 수질 개선과 관련된 금전적 책임 소재와 관련한 문의를 함으로 인하여 그러한 금지가 시행되게 된 것이다.

특히 수자원 정책의 유럽화 과정에서 영국내 제도 개선 압력이 강화되어 잉글랜드, 웨일즈 지역의 하수처리 관련 제도개선이 불가피하게 되었다.

이런 국내·외적 압력으로 1990년 3월 영국 정부는 마침내 연안 배출구를 통한 미처리 하수의 배출 전에 1차 처리를 하도록 하고, 오니의 해양배출은 금지하는 제도 개선안을 발표하였다.

새 제도가 기존의 제도와 여러 방면에서 상이하었던 관계로 추가 이행 비용이 많이 들 것으로 예상되었는데, 영국 정부는 최초로 EU 도시폐수 처리 지침을 이행하는데 드는 비용을 약 15억 파운드로 예상한 반면 수자원서비스 협회(Water Services Association)는 23억 파운드로 예상하였다.

민영화 이전에 관련 산업체는 정부의 협상능력에 대한 의의제기 또는 이러한 발표에 대한 의의가 있더라도 제기하지 않았으나, 민영화 이후에는 해당 지침상의 규제를 완화하기 위하여 적극적으로 로비를 제공하는 등의 활동을 할 의향이 있음을 밝혔고 실제 그러한 로비활동을 하였었다.

영국의 하수오니 해양투기 금지에는 관련업자의 이해관계뿐만 아니라 일반 대중의 해수욕장 이용 권리(수질) 및 리조트 등지의 수질 보존 요구, 국제사회(북해각료회의 참여국)의 수질 개선 노력 요구, 하수오니 처리시설의 민영화 등과 맞물려 필수불가결한 것으로 인식되었고 제도 개정에 대한 환경단체 등의 항의 등이 맞물려 신속하게 이루어 졌다.

(3) 영국의 하수오니 해양배출 금지 전과 이후의 동향

표 3-5-12는 1985년부터 하수오니 해양배출 금지 시행년도인 1989년까지 영국의 하수오니 해양배출 현황이다.

표 3-5-12. 1985년~1989년 영국의 하수오니 해양배출 현황

하수오니	'85	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99
총배출량 (1000톤 습중량)	9,216	9,335	9,735	9,985	9,923	9,657	9,731	9,910	9,655	6,825	0
총배출량 (1000톤 습중량)	262	274	287	292	274	289	296	277	258	193	0
아연	353	288	325	323	260	270	293	285	270	172	0
납	182	129	125	114	95	99	103	91	76	76	0
구리	162	147	165	163	141	156	152	130	121	79	0
크롬	102	104	104	93	69	77	75	71	57	35	0
니켈	25.2	20.7	20.0	19.5	18.2	17.0	17.7	15.0	12.5	12	0
카드뮴	3.83	2.06	2.15	1.95	1.31	1.10	1.09	0.85	0.70	0.47	0
수은	1.37	1.07	1.06	0.97	0.75	0.83	0.66	0.59	0.51	0.37	0

출처 : www.defra.gov.uk

영국은 1999년 해양투기가 전면 금지된 이후 하수오니를 전량 육상에서 처리하고 있다. 처리된 하수오니는 비료로 사용될 영양분을 포함하고 있으며, 적절히 토양에 살포되면 토지력을 향상시킬 수 있다. 그러나 중금속을 함유하고 있을 수도 있으므로 적절하지 못하게 살포되는 경우 인간은 물론이요 동물에게도 장기적으로 해가 될 수 있다. 토양에 살포되더라도 하수오니에 포함된 중금속은 비점원 오염(non-point source pollution)의 형태로 하천에 유입될 수 있다.

그와 같은 하수오니 유입이 발생하는 경우는 환경국에 즉각 보고해야 한다. 처리되지 아니한 하수오니는 폐기물 관리 면허(waste management license)를 취득하지 않고서는 식량으로서의 곡물(가축 사료 포함) 및 기타 곡물이 재배되는 경작지에 살포될 수 없다.

현재 영국의 하수처리 시스템은 재래식 및 개선식으로 나뉠 수 있는데, 재래식으로 처리된 하수오니는 지정된 처리 과정 및 기준을 통하여 최소한 병원균의 99%를 파괴하는 방식을 의미한다.

재래식으로 처리된 하수오니는 방목용으로 사용될 토지에는 표층 살포 할 수 없으며 적어도 방목 3주전 토양 하층에 주입하는 방식으로 처분해야 한다. 재래식 처리 하수오니는 옥수수과 같은 사료용 목초지 표층에 처분될 수도 있다. 그러나 해당 오니가 살포된 시기에 그루같이(aftermath) 또는 재경작하는 때에 방목을 할 수 없다. 재래식 처리 하수오니가 채소를 경작하는 토지에

살포된 경우는 최소한 12개월 후에야 수확할 수 있다. 개선식 하수처리 시스템은 처리를 통하여 처리전 오니(original sludge)가 포함하는 병원균의 99.9999%를 제거하는 방식이다. 개선식 처리 하수오니를 처분한 후에는 가축을 방목하거나 사료를 수확하기 전 적어도 3주간 간격을 두어야 하며, 토양과 직접 접촉하거나 익히지 않은 채로 먹는 과일 및 채소는 수확하기 전 적어도 10개월의 간격을 두어야 한다.

제 6 절 런던의정서 준수그룹 활동 분석

런던의정서 제11조 (준수절차)에 의거해 2007년 런던협약 및 런던의정서 합동당사국회의에서 당사국의 준수를 평가하고 촉진하기 위해 필요한 절차와 메커니즘을 인준하였다.

2008년 동 당사국회의에서는 실행기구로서 준수그룹이 발족되어 본격적인 활동을 수행함으로써 당사국들의 준수 여부 평가가 강화되고 있다.

1. 런던의정서 준수그룹 위원 현황

런던의정서 제11조 (준수절차)에 의거하여 2007년 런던협약 런던의정서 합동당사국회의에서 인준된 준수 절차 및 메커니즘(LC 29/WP.6)에 따라 준수 그룹 위원들은 5개 유엔 지역그룹(① 아프리카지역, ② 아시아·태평양지역, ③ 라틴아메리카 및 중앙아메리카, 캐리비안 지역, ④ 중·동부 유럽, 그리고 ⑤ 서부 유럽 및 기타 국가들)에서 각 3명씩 선출하도록 규정하고 있다.

2008년 런던협약 및 런던의정서 합동당사국회의에서 6명의 준수그룹 위원 선출을 시작으로 2011년 현재 8명의 준수그룹위원들이 임무 수행 중에 있다. 우리나라는 2009년 동 당사국회의에서 아시아·태평양지역 준수그룹위원으로 신창훈 박사(아산정책연구소)가 3년 임기로 선출되어 임무를 성공적으로 수행하였고, 2012년 11월부터 3년간 김영석 교수(이화여자대학교)가 차기 준수위원으로 선출되었다. (표 3-6-1).

표 3-6-1. 2012년 11월 현재 런던의정서 준수그룹 위원 현황

지역명	위원명(국가명)	임기
아/태지역	김영석교수(대한민국)*	'12.10 ~ '15.10
	Prof. Takahiro Ichinose(일본/부의장)	'11.10 ~ '14.10
	Ms. Zhao Lei(중국)*	'12.10 ~ '15.10
서부유럽 지역	Ms. Carla Pike(영국)	'10.10 ~ '13.10
	Ms. Anja Elisenberg(노르웨이)*	'12.10 ~ '15.10
	Ms. Robin Frost(호주/의장)	'11.10 ~ '13.10
중앙/동부 유럽지역	3명 공석	-
라틴/중앙 아메리카지역	Mr. Wendly Ellis(수리남)*	'12.10 ~ '15.10
아프리카지역	Ms. Radia Razack(남아프리카공화국)	'11.10 ~ '14.10
	Dr. Mogo Felicia Chinwe(나이지리아)*	'12.10 ~ '15.10
	1명 공석	-

2. 당사국의 보고의무와 관련한 준수그룹의 임무

런던협약과 런던의정서는 체약당사국에게 다음과 같은 보고 의무를 부과하고 있으며 이에 대한 준수그룹의 심의 사항은 다음과 같다.

가. 런던협약상 보고의무

(1) 협약 제6조 4항 상의 보고의무

“당사국은 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통해, 제1항 c호 및 d호에 규정된 정보와 제3항에 따라 자기나라가 채택하는 기준, 조치 및 요건을 기구 및 다른 당사국에 보고한다. 관련 절차 및 이러한 보고의 내용은 당사국간에 협의하여 합의한다”

(2) 보고의 내용

- (가) 투기가 허용되는 모든 물질의 성분과 양, 투기의 장소, 시간 및 방법에 관한 기록의 유지 정보(런던협약 제6조 1항 c호)
- (나) 개별적으로 또는 다른 당사국 및 권한이 있는 국제기구와 협력하여 이 협약의 목적을 위한 해양상태의 관찰 정보(런던협약 제6조 1항 d호)
- (다) 각국의 적절한 당국이 특별허가증과 일반허가증을 발행함에 있어서 부속서 3을 준수하며 또한 적절하다고 판단하여 채택한 기준, 조치 및 요건(런던협약 제6조 3항)

나. 런던의정서상 보고의무

(1) 의정서 제9조 4항 상의 보고의무

“각 당사국은 직접적으로 또는 지역협정에 따라 설치된 사무국을 통하여, 다음 각 호를 기구 및 적절한 경우 다른 체약당사국에게 보고한다”

(2) 보고의 내용

- (가) 투기 허가증이 발행된 모든 폐기물이나 그 밖의 물질의 특성과 용량, 가능한 경우 실제로 투기된 용량, 투기 장소에 관한 정보(런던의정서 제9조 1항 2호 ← 제9조 4항 1호)

- (나) 개별적 또는 다른 당사국 및 권한 있는 국제기구와 협력하여 이 의정서의 목적을 위한 해양 상태 감시에 관한 정보(런던의정서 제9조 1항 3호 ← 제9조 4항 1호)
- (다) 집행조치에 대한 요약 및 이 의정서의 규정을 이행하기 위해 취해진 행정, 입법조치(런던의정서 제9조 4항 2호)
- (라) 위 조치의 효율성(effectiveness)¹⁾ 및 그 적용시 발생하는 문제(런던의정서 제9조 4항 3호)

(3) 보고 빈도

- (가) 위에서 열거한 보고의 내용 중 (가)와 (나) 의 정보의 경우에는 매년 제출
- (나) 위에서 열거한 보고의 내용 중 (다)와 (라)의 경우에는 정기적 제출

다. 당사국의 보고의무와 관련한 준수그룹의 임무

- 준수그룹은 런던의정서 제11조2)에 따라 설립된 그룹이기 때문에 런던협약상 보고의무 사항에 관해서는 원칙적으로 심의할 수 없음.
- 런던의정서 제9조 5항은 “제4항 제2호 및 같은 항 제3호에 따라 제출되는 보고서는 당사국회의가 결정한 적절한 보조기구에서 평가한다. 이 기구는 평가 결과를 적절한 체약당사국 회의 또는 특별회의에 보고한다”라고 규정하고 있음.
- 따라서 보고의무와 관련한 준수그룹의 주된 임무는 1) 집행조치에 대한 요약 및 이 의정서의 규정을 이행하기 위해 취해진 행정, 입법조치와 2) 위 조치의 효율성 및 그 적용시 발생하는 문제에 관한 당사국 보고서의 평가라 할 수 있음.
- 2007년 당사국회의는 “1996년 런던의정서 제11조에 따른 준수절차 및 메카니즘(CPM)”을 채택하였는데, CPM 제6.3조 역시 런던의정서 제9조 4항 2호와 3호의 경우 사무국은 평가를 위해 반드시 준수그룹에

1) effectiveness

2) 1996
가
1

11 "1.
2.
"

회부할 것을 규정하고 있으며, 준수그룹은 이에 대한 결론을 당사국의 적절한 회의나 특별회의에 보고하도록 하고 규정하고 있기 때문에³⁾ 당해 보고서의 평가임무는 준수그룹의 전속적 위임사항이라 보아도 무방함. 다만 행정, 입법조치가 과학적 지식을 전제하는 경우라면 CPM 제6.1조에 근거하여 과학그룹이 정보를 평가하여 준수그룹에 자문하는 방식을 취할 수 있을 것임.⁴⁾

- 한편 런던의정서 제7조 3항 역시 체약당사국에게 “내수에서의 이행, 준수, 집행에 관한 법적·제도적 장치들을 기구에 보고”하도록 요구하고 있는데 당해 보고서 역시 준수그룹의 검토 내지 평가 대상이 될 수 있을 것임.⁵⁾

3. 보고의무와 관련한 제4차 준수그룹 회의 동향

- 아국은 2012년 10월 27일 영국 런던 국제해사기구(IMO) 본부에서 개최된 런던협약 제34차 당사국회의 및 런던의정서 제7차 당사국회의(이하 “합동당사국회의”라 지칭)에서 신창훈 박사가 아시아·태평양 그룹을 대표하는 준수위원으로 참석하였다.
- 준수그룹 회의의 주요 결과는 다음과 같다.

주요 의제명 (의제번호)	당사국회의에서 승인된 준수그룹 주요 결과 요약
의장, 부의장 선출	○ 준수그룹 의장으로 호주의 Ms. Robin Frost를 선출하고 부의장으로 일본의 Takahiro Ichinose 교수를 선출

3) CPM 6.3. . "Once Parties. reports under Articles 9.4.2 and 9.4.3, (regarding administrative and legislative measures taken to implement the provisions of the Protocol, including a summary of enforcement measures, the effectiveness of such measures and any other problems encountered in their application) are submitted to the Secretariat, it shall refer them to the Compliance Group for evaluation. The Compliance Group will report its conclusions to an appropriate Meeting or Special Meeting of Contracting Parties."

4) CPM 6.1. . "Reports and Records made pursuant to Articles 9.4.1, 9.4.2 and 9.4.3, 10.3, 26.5 and 26.6 shall be handled as described in the following paragraphs. Secretariat, which then transmits them to the LP Scientific Group and the Compliance Group. The LP Scientific Group will, in accordance with its terms of reference, evaluate this information and advise the Compliance Group, as appropriate, as well as the Meeting of Contracting Parties."

5) 1996 7 3 " "

주요 의제명 (의제번호)	당사국회의에서 승인된 준수그룹 주요 결과 요약
CPM 6.2, 6.4 및 6.5에 따라 제출된 보고서 검토	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다음의 보고서를 검토 <ul style="list-style-type: none"> -2008년에 발행된 허가에 관한 최종보고서(LC-LP.1/Circ.52, 1 May 2012) -2009년에 발행된 투기 허가에 관한 최종 요약 보고서 초안(LC 34/INF.3, 25 October 2012) ○ 개선 요구 : <ul style="list-style-type: none"> - 보고서 도표와 통계자료에서 협약/의정서 비당사국이 포함되어 있거나, NIL에 대한 설명 부족 등이 지적 - 홍콩과 중화인민공화국이 보고서를 별도로 제출해 왔으나, 2012년 이후부터는 취합하여 제출할 것이며, 이를 최종보고서에 반영할 것을 요구
의정서 제9.4.1조상의 보고의무 이행에 있어서 의정서 당사국이 경험한 장벽에 기여하는 요인의 식별 및 검토	<ul style="list-style-type: none"> ○ 의정서 당사국 중 현재 담당자 연락처(focal point)를 알려주지 않은 국가가 여럿 있으며, focal point의 부재가 보고의무 이행에 장벽이 되고 있다는 점이 여러 차례 지적되었으나, 개선되고 있지 않음
의정서 제9.4.2조 및 제9.4.3조에 따라 제출된 보고서 검토	<ul style="list-style-type: none"> ○ B2C 의장인 Patrick Cotter는 GISIS 구축과 관련한 데이터 베이스 구축과 입력 내용을 제안함. ○ 투기 허가 내용 등에 관한 상세보고 내용은 과학그룹이 검토하기 적당하며, 준수그룹은 보고의무의 이행에 있어서 당사국이 직면하고 있는 문제점이 무엇인지를 식별하고 이에 대해 권고하는 임무에 초점을 두어야 함. 즉 런던의정서 제9.4.2조 및 제9.4.3조에 따른 각국의 입법조치, 행정조치와 요약된 집행조치의 효율성 및 조치의 적용에 있어서 경험하게 되는 문제점 등에 대한 심의가 준수그룹의 주 역할임이 지적됨.
차기회의 의제	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다음의 향후 작업 프로그램을 권고 <ol style="list-style-type: none"> 1) 가능성 있는 비준수에 대한 개별 제출물을 작업프로그램에서 우선순위로 처리 2) 준수장애제거사업 스티어링그룹과 작업 지속 3) 의정서 과학그룹에서 확인된 우려사항 포함한 투기보고서 검토 4) 의정서 당사국에게 국가연락처를 명확히 하도록 홍보 지속 5) 보고의무를 이행하는데 있어 당사국이 경험한 어려움 확인 및 검토 지속 6) 현장모니터링 및 제도 보고서 심사

주요 의제명 (의제번호)	당사국회의에서 승인된 준수그룹 주요 결과 요약
	7) 런던협약 개발관련 역사적 문서 수집 지속 8) 준수 촉진에서의 역할관련 자료 검토 및 개발 9) 의정서 당사국 및 가입유망국의 의정서 이행 법안
기타 사안	<ul style="list-style-type: none"> o 당사국 총회에 신규 준수위원 지명 요청 및 향후 지명된 위원은 옵서버로 준수그룹회의에 참석하도록 독려 o 차기 준수그룹회의는 당사국총회 직전 일요일 당일 개최하도록 권고 o 회기간에도 준수그룹 위원을 지속적으로 지명하도록 당사국총회에 권고

제 7 절 2012년 5월 제주에서 개최된 런던협약/의정서 아시아·태평양지역 워크숍

런던협약 및 런던의정서 당사국 및 비당사국, 국제해사기구, 국제항만협회 등에서 온 약 100여명의 해양환경관련 고위공무원 및 전문가들이 참석한 아시아태평양지역 워크숍이 2012년 5월 14 ~ 18일까지 제주 KAL 호텔에서 국토해양부와 한국해양과학기술원 주최로 개최되었다(그림 3-7-1).



그림 3-7-1. 2012년 제주 아시아·태평양지역워크숍

특히 동 워크숍은 비영어권 국가로는 최초로 런던협약/의정서 합동과학그룹 의장으로 선출된 홍기훈박사(한국해양과학기술원) 주도로 진행되었다.

이번 워크숍은 에드워드 클리블런 국제해사기구 런던의정서 사무국장의 개회사와 박광열 국토해양부 해양환경정책관의 환영사를 시작으로 런던의정서 규정, 준설토 관리 및 활용 등을 주제로 연안관리와 폐기물 처리에 대한 선진국 정보를 습득하고, 아태지역 런던의정서 미가입국의 가입 유도를 통한 지역해양환경 보호와 협력을 모색한 교류의 장이 되었다.

또한 이번 워크숍이 여수 세계박람회와 더불어 개최됨으로서 우리나라가 해양환경 강국으로 도약하는 계기가 되었고, 육상폐기물 해양배출 제로화 입법화에 있어서도 크게 기여하였다.

본 연구팀에서 정리하여 국제해사기구에 제출된 동 워크숍 결과 보고서는 다음과 같이 총 14장으로 구성되어 있고, 세부 내용은 부록 1에 있다.

LIST of the Asia/Pacific regional Workshop

Chap. 1. Opening Ceremony

Chap. 2. Objectives and Structure of the Workshop

Chap. 3. IMO publications used for the workshop

Chap. 4. Ratification of London Protocol

1. Legal framework for marine pollution management
 - London Protocol
 - IMO and other global agreements for the protection of the marine environment and their relation to the London Protocol
2. London Protocol
 - Waste Assessment Guidance
 - Waste Assessment Guidance Tutorial
 - Compliance and Reporting Obligation
 - Current work programs of the London Protocol

Chap. 5. Environmental Protections and Management for Urban Ports:

1. Environmental Protection from Ships
 - Antifouling Systems
 - Ballast water and invasive species
 - Management of garbage and spoilt cargo from ships
 - Managing discharges of wastes from cruise ships
 - Shipyard environmental management
2. Engineering Enhancement of Port Function
 - Capital and maintenance dredging
 - London Protocol Guidelines for assessment of dredged material
 - Dredging and port construction around the sensitive area (Coral reefs)
 - Environmental Impact Assessment for Port Development: Rotterdam Port

- Environmental risk management for port infrastructure development
 - Remediation of contaminated sediments in ports
 - Brownfield development in ports
 - Environmental control of dredging project: turbidity
3. Management of point and non-point source discharge of pollution in urban ports
- Land based discharges to the marine environment
 - Beneficial use of sewage sludge
 - Port reception facilities
 - Water quality trading: a market based-tool to solve water quality problems

Chap. 6. Sustainable Sediment Management

1. Sustainable Sediment Management Principles
- Engineering with nature as a part of sustainable practice
 - Sand motor
 - Beneficial use of dredged material
 - Multi-criteria Decision Analysis for Managing Contaminated Sediments
2. Working toward sustainable sediment management, examples
- An-Shun Project, Taiwan
 - Sustainable management of dredged material in the Netherlands
 - Sustainable sediment management concept for Tidal River Elbe
 - Climate change adaptations on sediment management
3. Legislative principles for sustainable sediment management in ports and coastal areas

Chap. 7. Placement activities

- Artificial reefs

Chap. 8. Protection of Marine Environment with respect to climate change

- CO2 sequestration in sub-seabed geological formation
- Ocean fertilization

Chap. 9. Monitoring coastal and ocean environment

- Satellite Sensing of Coastal Marine Environment Changes
- Pollution from or through the Atmosphere: Case study
- Integrated Ocean Observing System

Chap. 10. Current technology developments in marine environmental protection

- Ballast water treatment technology
- Underwater sound from dredging

Chap. 11. Case Studies

- Thailand
- Viet Nam
- Mexico
- COCATRAM (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, and Panama)
- Japan
- Republic of Korea

Chap. 12. Technical Co-operations and Assistance Program

Chap. 13. Workshop Conclusions and Recommendations

Chap. 14. Closing Ceremony

ANNEX: Workshop Programs

제주 아시아태평양지역 워크숍에서 채택된 권고 사항

○ 런던의정서 가입

- 본 워크숍은 아태지역 국가들이 모두 런던의정서를 비준하고 폐기물의 해양투기 방지를 위하여 공동의 노력을 기울일 것을 권고한다.
- 해양환경 보호에 관한 다른 기준을 채택한 타 국제투기협약(예를 들면 누오메아 협약 투기 의정서)의 당사국은 국내 정책은 양 협

약 중 보다 엄격한 기준을 채택할 것을 권고한다.

○ 준설물질

- 아태지역 국가들은 소지역을 근간으로 준설물질의 오염원 목록 및 기준 결정을 위한 방법에 합의하도록 노력해야 한다. 준설물질 내 오염원의 농도 한계를 정할 때 관련 퇴적물의 집적 배경, 사용, 및 유래를 고려해야 한다.
- 런던의정서 관련 규정을 이행하는 국가는 인접국들과 그 이행 경험을 공유해야 한다.

○ 보고

- 아태지역 국가들은 의정서 가입과 상관없이 IMO에 런던의정서 하에서 지정된 요건에 따라 해양 투기활동에 대하여 규칙적으로 보고할 것을 권한다.

○ 기술적 협력

- 아태지역 국가들은 IMO에 런던협약/의정서의 온전한 이행에 장애가 되는 현 행정, 기관, 법 또는 기술 장벽에 대하여 논의할 것을 권고한다.
- 준설과 투기 관련 담당자를 따로 지정해 두는 것은 런던의정서 비준과 관련하여 매우 중요하다. 따라서, 초기 “1972년 런던협약의 1996년 의정서 이행 지침”을 근거로 더욱 상세한 모델 법률을 제정하는 것이 유용할 수 있다.
- 아태지역 국가들의 의정서 가입을 돕기 위하여 의정서 관련 국내 또는 지역 세미나 개최 활동 지원 요청을 권고한다.

제 4 장

폐기물 해양배출제도 선진화 및 저감정책 홍보

제 1 절 연구목적 및 내용

1. 연구목적

- 폐기물 해양배출 수요감축을 위한 법률적 기반 확보
- 폐기물 배출해역 관리정책 결정을 위한 최선의 자료를 제공
- 해양배출 관련 국내외 정보 제공을 통해 폐기물 최적관리 및 해양배출 감축정책 지지기반 조성

2. 연구수행 기관

- 한국해양과학기술원 특정해역 보전관리 연구센터

3. 주요 과업내용

- 배출해역 최적관리 방안 제시
 - 오염지수 및 환경평가 기준을 조합한 배출구획별 적정성 평가
 - 배출해역 예방적 관리를 위한 중점관리 구획 지정
 - 폐기물 해양배출 저감정책 효과 분석
 - 누년자료의 분석을 통한 배출금지구역(휴식년구역) 개선 효과
 - 배출량 감소에 따른 배출해역 오염물질의 장기적 변동
 - 배출해역 최적관리를 위한 제도 개선 방안 제공
- 해양배출 저감정책 정착화를 위한 정보 및 개선방안 제공
 - 해양배출 저감정책 정착화를 위한 정보 제공
 - 폐기물 해양배출 제도 및 개정 연혁
 - 연도별, 폐기물 종류별 해양배출 현황
 - 지방자치단체별 폐기물 처리·처분현황
 - 국내외 폐기물 처리 및 재활용기술 정보
 - 해양배출 제도개선 방안 제공
 - 런던의정서상 의결사항의 국내 수용방안 제시
 - 폐기물 해양배출 저감 및 제로화 정착을 위한 개선 방안 제공

- 해양배출 저감정책 홍보 및 이해당사자 주도적 참여 유도
 - 해양배출 폐기물 최적관리를 위한 정보 제공(홈페이지 활용)
 - 폐기물 육상처리 전환에 따른 국가경제 시너지 효과 홍보
 - 해양배출 폐기물 처리·처분현황 및 소요비용 정보
 - 지방자치단체 우수 사례 소개
 - 워크숍 개최, 관련 공무원 교육 및 대중 강연 실시
 - 해양배출관련 담당 공무원 교육훈련 프로그램 개발
 - 교재, 홍보물, 발간물 출간 및 배포
- 폐기물 해양배출관련 발표자료집, '12년 런던의정서 과학그룹회의/당사국회의 결과보고서 번역본, '12년 폐기물 해양배출관련 언론보도모음집 등

4. 달성된 주요성과

- 해양환경관리법 시행규칙 개정(폐수, 폐수처리오니, 분뇨 해양배출 금지 ; 국토해양부령 제555호)
- 폐기물 해양배출 저감정책 홍보물 제작 및 배포
- 해양배출 폐기물 이화학적 특성 데이터베이스
- 폐기물 종류별, 해역별 폐기물 해양배출량 통계
- 배출허가 현황 통계
- 배출해역 이용현황(배출빈도) 지도
- 배출해역 환경상태 정보
- 런던의정서 회의 동향 정보
- 폐기물 종류별 위탁처리 신고량 자료
- 재활용 기술 정보 제공
- 기술 전시회 및 폐기물분과 발표
- 폐기물 발생량 정보 제공
- 폐기물 위탁업체 정보 제공

제 2 절 서 론

폐기물에 대한 최적 정책은 폐기물 발생을 원천·차단하는 감축 → 재활용(재사용, 재이용, 에너지회수) 기회가 존재하는지를 면밀히 심의한 후에 별도의 대안이 없으면 육상폐기물 매립지에 처분하고, 그것도 불가하면 해양배출을 심의하는 순서로 처분보다는 재활용위주로 이루어져야 한다. 이는 해양환경은 육상과는 달리 최종처분 후 문제가 발생되더라도 복구가 불가능하고, 또한 해양생물이 오염된 폐기물을 먹어 체내에 오염물질이 축적됨으로서 생태계 파괴 및 궁극적으로는 오염된 수산물을 섭취하는 인간 건강에도 큰 위해를 줄 수 있기 때문이다. 이런 관점에서 외국에서 하수오니, 가축분뇨는 전량이 육상에서 재활용 또는 처리되고 있다.

또한 폐기물 해양배출로 인한 악영향으로 인해 폐기물 해양배출 허가시에도 국민적 공감대 확보를 위해 관보 또는 관련 웹사이트를 통해 폐기물에 대한 모든 정보를 제공함으로써 효과적인 폐기물 관리를 유도하고 있다.

우리나라도 해양환경관리법 시행규칙 개정을 통해 해양배출 폐기물 중 70% 이상을 차지했던 하수처리오니와 가축분뇨는 '12년 1월부터, 음식물폐기물류폐수(이하 음폐수)는 '13년 1월부터 해양배출을 금지('11. 12. 29 공포), 그리고 '13년부터 분뇨, '14년부터 폐수와 폐수처리오니 해양배출을 금지('12. 12. 21 공포) 하는 해양배출 제로화가 달성됨에 따라 폐기물 해양배출로부터 해양환경을 보호하려는 국제적 노력에 적극적으로 동참할 수 있는 계기를 마련했다.

이러한 노력을 발판으로 하여 당해연도에는 런던협약 및 런던의정서 합동 과학그룹회의와 아시아태평양지역 워크숍을 제주에서 성공적으로 개최했고, 12월로 예상된 육상폐기물 해양배출 제로화에 관한 해양환경관리법 개정이 마무리될 경우에는 우리나라의 선진화된 해양환경 제도를 이루기 위한 과정 모두가 후발 국가들에게는 표준 역할을 할 것으로 사료된다.

본 장에서는 해양배출 금지 정착화를 위해 대중매체인 인터넷 웹사이트, 홍보물, 교육 및 워크숍 등을 이용하여 해양배출 폐기물 발생 및 배출 통계 자료, 국내·외 재활용 정보 및 런던협약 관련 국제 동향 제공 등 해양배출 폐기물관련 모든 이해당사자들에게 제공함으로써 사전예방원칙인 육상처리 원칙에 대한 공감대를 형성하고, 재활용으로 유도하는데 중점을 두었다.

제 3 절 배출해역 최적관리 방안

1. 배출해역 건강상태 평가 및 해양배출 저감정책 효과 검증

‘12년 수행한 3개 폐기물 배출해역(서해병, 동해 병 및 정)에서의 정밀모니터링 결과를 토대로 건강상태 평가와 그동안 추진해온 해양배출 저감정책 효과를 검증하고, 최적관리방안을 제시하고자 한다.

가. 배출해역 및 폐기물 종류별 해양배출 누적량

○ 배출해역별 폐기물 해양배출 누적량 및 종류

- 해양배출 누적량 : ‘91년 이후부터 ‘12년까지 해양배출된 총 누적량은 128,071천m³이다. 배출해역 및 폐기물 종류별로 누적된 해양배출량은 폐수처리오니가 전체 중 20%로 가장 많고, 누적된 총 폐기물량 중 동해병해역에 48%, 서해병해역 30%, 동해정해역 22%가 해양배출되었다(그림 4-3-1).

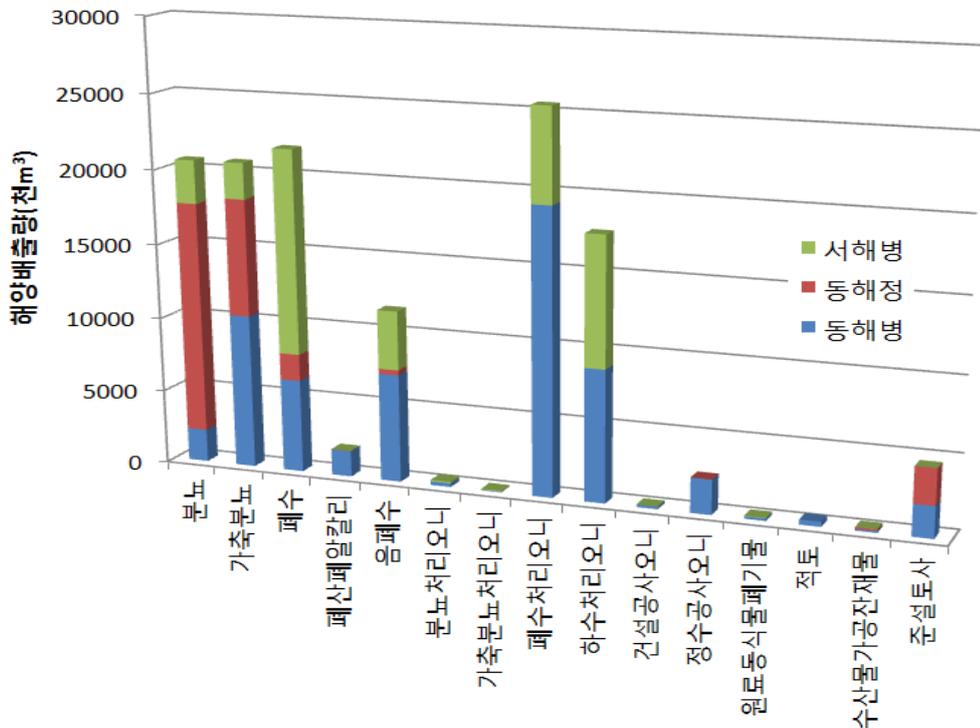


그림 4-3-1. 배출해역별 폐기물 해양배출 누적량과 종류

- 육상폐기물 종류별 해양배출 누적량 : 폐수처리오니가 21%로 가장 많았고, 폐수(18%), 가축분뇨 및 분뇨 (각 17%), 하수처리오니(15%), 음폐수(10%) 순이었고, 나머지 폐기물은 <1% 이하이었다.

○ 배출해역별 해양배출량 및 폐기물 종류 비교(2012년 기준)

- '12년 준설토를 제외한 폐기물 해양배출량은 총 2,288천m³로서 서해병해역과 동해병해역이 각각 46%, 54%를 차지했다. 동해정해역은 '12년 1월부터 가축분뇨 해양배출이 금지됨에 따라 동해정해역의 육상폐기물 해양배출은 전무했고, 단지 840천m³의 준설토만 해양배출되었다(그림 4-3-2a).
- '12년 1월부터 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출 금지가 시행되면서 2012년 육상폐기물 종류별 해양배출 비중은 음폐수가 52%로 가장 많았고, 폐수처리오니 33%, 폐수 12%, 그리고 분뇨처리오니, 원료동식물폐기물과 수산물가공잔재물은 각각 1% 이하로 미미하다(그림 4-3-2b).

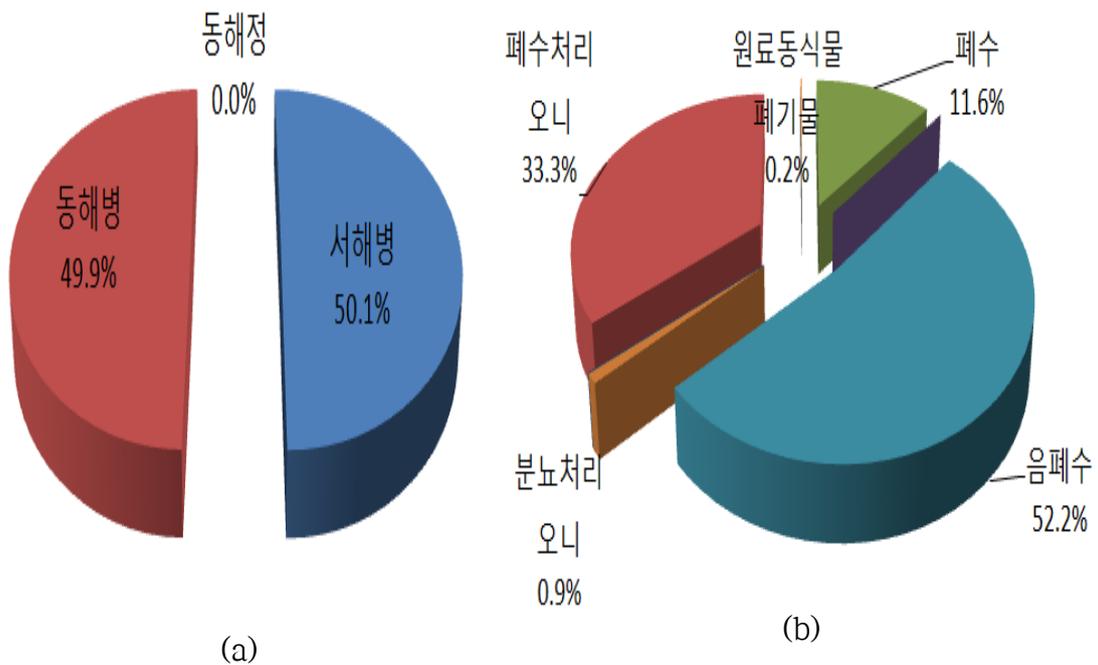


그림 4-3-2. '12년 폐기물 배출해역별(a) 및 폐기물 종류별(b) 해양배출 비율

나. 오염도 기준을 통한 배출해역 건강상태 평가

○ 배출해역 해수 건강상태

- 폐기물 해양배출 저감에 따라 과거에 비해 문제점은 발견되지 않았다.
- 생태기반 해수수질 기준에 의거한 수질평가 지수(국토해양부고시 제2011-344호)에 의거한 평가 결과는 다음과 같다;
 - 서해병 : 수질평가 지수는 20 ~ 42로서 II(좋음) ~ III(보통)
 - 동해정 : 20 ~ 32로서 I(매우 좋음) ~ II(좋음)

등급	수질평가 지수값 (Water Quality Index)	배출해역 평가	
		서해병	동해정
I (매우 좋음)	23 이하	서해병	동해정
II (좋음)	24 ~ 33		
III (보통)	34 ~ 46		
IV (나쁨)	47 ~ 59		
V (아주 나쁨)	60 이상		

○ 배출해역 퇴적물의 건강상태

- '12년 조사된 배출해역별 표층퇴적물 중금속 농도 범위는 폐기물 해양배출량과 동일한 동해병 > 서해병 > 동해정해역 순이었다.
- 유해물질이 생물에 미치는 영향을 평가하는 NOAA(미국 해양대기청) 생물영향기준, 그리고 EPA(미국 환경보호청)의 퇴적물 오염기준과 배출해역 퇴적물 중금속농도를 비교하면, 현 배출해역은 NOAA 기준의 ERM(서식생물 중 50% 이상 영향, 행정조치가 필요)을 초과하지는 않았지만, 일부 구획에서는 ERL(서식생물 중 10% 이상 영향, 세심한 관리 필요)을 초과하고 있어 지속적인 감시가 필요하다.
- 과거 오염 심화로 해양배출이 금지된 휴식년 구역의 일부 구획에서는 아직도 ERM을 초과하고 있어 회복 과정에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

표 4-3-1. 2012년 조사된 현 배출해역 퇴적물의 중금속 농도 및 국외 기준과의 비교(괄호는 휴식년구역)

항목	NOAA기준		해양환경기준		서해병	동해병	동해정
	ERL ¹	ERM ²	주의 ³	관리 ⁴			
구리	34	270	50.5	126	16 ~ 42 (28~38)	45 ~ 55 (45~71)	3 ~ 21
납	46.7	218	44.0	119	28 ~ 38 (32~36)	50 ~ 55 (49~84)	13 ~ 22
카드뮴	1.2	9.6	0.75	2.72	0.1 ~ 0.2 (0.1~0.2)	0.4 ~ 0.5 (0.4~1.3)	0.1 ~ 0.2
크롬	81	370	-	-	45 ~ 101 (100~172)	64 ~ 78 (110~390)	30 ~ 103
비소	8.2	70	14.5	75.5	5 ~ 8 (9~11)	14 ~ 20 (14~19)	3 ~ 7
아연	150	410	179	421	77 ~ 122 (91~115)	144 ~ 195 (140~227)	38 ~ 102
니켈	20.9	51.6	-	-	18 ~ 38 (28~36)	38 ~ 42 (31~39)	9 ~ 42

¹ ERL(Effect Range Low) : 서식생물 중 10%가 영향을 받는 기준

² ERM(Effect Range Medium) : 서식생물 중 50%가 영향을 받는 기준

³ 주의기준(Threshold Effects Level, TEL) 이하 : 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위(국토해양부고시 제2011-972호)

⁴ 관리기준(Probable Effects Level, PEL) 이상 : 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 범위(국토해양부고시 제2011-972호)

○ 배출해역 저서생물군집의 건강상태

- 대형저서생물 군집의 건강성을 평가하는 지수를 이용한 배출해역별 건강상태는 동해정 및 서해병해역은 정상~약간 오염상태, 동해병해역은 정상~중간 오염상태인 것으로 평가되었다(표 4-3-2).

표 4-3-2. '12년 조사된 배출해역별 저서생물군집의 건강성 평가 결과

건강상태 등급	AMBI	서해병 AMBI	동해병 AMBI	동해정 AMBI
정상	0~1.2	0.7~2.4	2.8~5.2	0.8~2.6
약간오염	1.2~3.2			
중간오염	3.2~5.0			
심한 오염	5.0~6.0			
매우 심한 오염	6.0~7.0			

○ 동해병해역 수산물 안전성 평가

- '12년 동해병해역에서 어획된 붉은대게의 근육 내 카드뮴(Cd), 납(Pb)과 수은(Hg) 농도는 모두 식약청 수산물 잔류허용기준을 충족한다.

표 4-3-3. 배출해역별 서식 수산물 체내 중금속 평균 농도

해역별	조사 시기	어종		중금속(mg/kg 습중량)		
				카드뮴	납	총수은
서해병	2005	아귀	어류	0.002	0.021	0.047
		가자미		0.007	0.002	0.035
		멸치		0.012	0.091	0.026
		곰치		0.006	0.001	0.018
		조피볼락		0.037	0.002	0.029
		게	갑각류	1.024	0.634	0.055
		새우	갑각류	0.223	0.248	0.036
	2008	황아귀	어류	0.0060	0.014	0.056
		넙치		0.0016	0.009	0.026
		양태		0.0020	0.015	0.047
		돌가자미		0.0023	0.014	0.030
		농어		0.0018	0.007	0.053
	2011	아귀	어류	0.002	0.008	0.031
		곰치		0.008	0.014	0.017
		대구		0.005	0.075	0.043
		새우	갑각류	0.181	0.049	0.032
동해병	2006	붉은대게	갑각류	0.112	0.016	0.647
	2009	붉은대게	갑각류	1.391	0.018	0.127
		물레고둥	연체류	0.277	0.081	0.306
	2012	붉은대게	갑각류	1.391	0.018	0.127
		물레고둥	연체류	0.277	0.081	0.306
동해정	2007	붕장어	어류	0.008	0.006	0.054
		참가자미		0.005	0.007	0.054
		황아귀		0.008	0.010	0.032
	2010	붕장어	어류	0.008	0.012	0.047
		참가자미		0.012	0.023	0.096
		황아귀		0.008	0.011	0.047
식약청 잔류허용기준 (고시제2010-58호)			패류/연체류	2.0	2.0	0.5
			어류	-	5.0	0.5
식약청 잔류허용기준 (행정예고 '12.6.21)			갑각류	1.0 (내장포함 5.0)	1.0 (내장포함 2.0)	-

다. 정부의 육상폐기물 해양배출 저감정책 효과 검증

○ 폐기물 해양배출량 지속 감소

- 폐기물 해양배출 저감정책의 일환으로 '06년 3월 「육상폐기물 해양 투기관리 종합대책」이 수립·시행된 이후 육상폐기물 해양배출량은 최대치인 '05년 2,383천m³에서 매년 10% 이상씩 감소하여 '12년에 2,288천m³로 약 3/4이 감소했다(표 4-3-4).

표 4-3-4. 연도별 육상폐기물 실제 해양배출량 및 목표량(단위 천m³)

연도별	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
배출량	9,929	8,812	7,451	6,173	4,785	4,478	3,972	2,288
목표량	-	9,000	8,000	6,000	5,000	4,500	4,000	2,500

○ 해양배출 저감정책에 따른 배출해역 건강상태 효과 검증

- 휴식년 시행(서해병 및 동해병)에 대한 효과 검증
 - 서해병 및 동해병해역 휴식년구역의 표층 퇴적물의 중금속 농도는 해양배출이 금지되면서 미국 NOAA의 행정조치가 필요한 기준인 ERM(서식생물 중 50% 이상이 영향을 받는 기준)이내로 감소함



그림 4-3-3. 동해병(좌) 및 서해병(우) 휴식년 구역 퇴적물의 시계열 구리농도(mg/kg 건중량) 변화

- 동해병해역과 서해병해역 휴식년구역의 저서생물 건강도는 대부분 정상적인 상태로서, '08년 이전에 비해 크게 상승함

2. 폐기물 배출해역 최적관리를 위한 종합제언

- 유해물질 농도분석과 저서생물군집구조변화 및 생물독성 시험 등 삼중요소(Triad components)에 의한 오염진단은 다음과 같다.

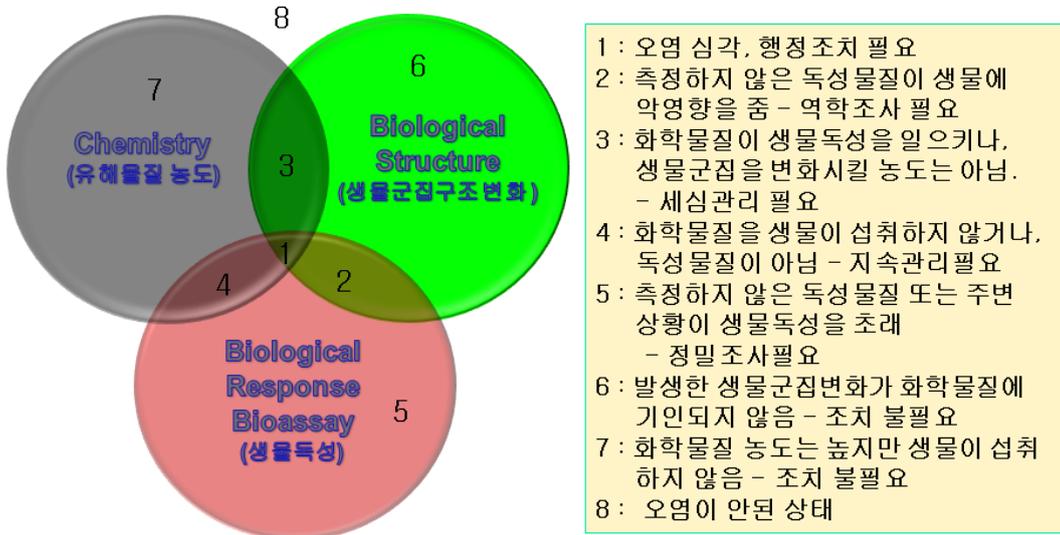


그림 4-3-4. 삼중요소에 의한 오염진단(Chapman 등, 1996)

- 상기 삼중요소 평가에 의한 오염진단 결과, 2012년 배출해역별 정밀 모니터링에서 산출된 퇴적물의 유해물질 농도와 저서생물 군집구조 결과는 휴식년구역 지정, 지속적인 해양배출량 감축과 해양배출 처리 기준 강화('08.8.22부터 제1기준 적용)로 효과를 보이고 있지만,
- '12년 조사결과, 현 배출해역의 유해물질 농도가 약간씩 증가하는 추세를 보임으로서 정부의 폐기물 해양배출 제로화 실현 및 배출해역 최적관리를 위한 지속적인 정밀모니터링이 필요함
 - 휴식년해역 및 현재 배출해역 책임구역의 일부에서 퇴적물 기준의 TEL(주의 기준, Threshold Effects Levels) 초과와 생물독성(성계배아의 수정 및 발생률) 결과 지속적인 주의 관찰이 필요함
 - 특히 동해병해역의 책임구역(현 배출해역)은 오염지시종인 *Capitella capitata*의 출현으로 건강도가 중간('09년) ⇒ 매우 심함으로 나타남.
 - 휴식년시행 및 배출량 저감으로 인해 상기 삼중요소 모두 해당되는 구역은 없었지만, 2개에 해당하는 배출해역별 주의 관찰 필요 구역은 다음과 같음
 - 서해 병해역 (9, 24, 49), 동해 병해역 (26, 42, 79, 85, 89), 동해 정(3, 7, 54, 56)

제 4 절 해양배출 저감정책 정착화를 위한 정보 제공

1. 폐기물 해양배출 제도

가. 폐기물 배출해역 및 배출제도

1) 폐기물 배출해역 위치 및 해역별 해양배출 폐기물 종류

우리나라의 폐기물 배출해역은 서해병해역, 동해병해역 및 동해정해역으로 1993년 해양오염방지법에 의해 지정되었다. 서해병해역은 군산 서방 200km, 동해정해역은 울산 남동방 63km, 그리고 동해병해역은 포항 동방 125km 떨어진 해역에 위치하고 있다(그림 4-4-1).



그림 4-4-1. 우리나라 폐기물 배출해역 지도

2) 배출해역별 해양배출 폐기물 종류

배출해역별로 하·폐수처리오니는 서해병해역과 동해병해역, 그리고 적토(수산화알루미늄공정과정에서 발생하는 잔재물)는 동해병해역에만 허용하고 있다.

수저준설토는 '87년 무해역(영해의 범위안의 해역)에 해양배출이 시작되었고, '93년에는 현재의 배출해역이 지정되면서 동해정해역과 동해병 및 서해병해역에도 해양배출이 확대되었다(표 4-4-1).

표 4-4-1. 배출해역별 해양배출 폐기물 종류(해양환경관리법 시행규칙 별표 6, 7)

구 분	거 리	면 적	수 심	배출가능 폐기물
동해병	포항 동방 125km	3,583km ²	200~ 2,000m	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수, 음식물 폐수 ◦ 수산가공잔재물, 하·폐수처리오니, 적토 ◦ 동식물잔재물, 수산가공잔재물, 수저준설토사
동해정	울산 남동방 63km	1,189km ²	150m	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수 ◦ 수산가공잔재물, 수저준설토사
서해병	군산 서방 200km	3,165km ²	80m	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 분뇨, 가축분뇨, 유기성폐수 ◦ 폐수·하·폐수처리오니, 동식물잔재물, 수저준설토사 ◦ 음식물류폐수, 수산가공잔재물
무해역	영해의 범위안의 해역			<ul style="list-style-type: none"> ◦ 수저준설토사

3) 폐기물 해양배출 방법

폐기물 해양배출 방법은 크게 확산식과 집중식으로 분류하고, 폐기물의 유기 또는 무기성 여부에 따라 해양배출방법을 적용하고 있다.

확산식은 유기물로 구성된 폐기물에 적용되며, 선박이 대수속도 4노트 이상으로 항행하면서 해면아래에 배출하는 방식이다. 반면에 집중식은 준설토 등과 같이 비중 1.2 이상의 분해가 되지 않는 폐기물을 선박이 정지된 상태에서 배출하는 방식이다(해양환경관리법 시행규칙 별표 6 비고; 표 4-4-2, 그림 4-4-2).

표 4-4-2. 폐기물 종류별 해양배출 방법(해양환경관리법 시행규칙 별표 7)

방법	특 징	해당폐기물
확산식	<ul style="list-style-type: none"> · 배출된 폐기물을 확산시켜 정화기능 높임 (분해되는 유기물) · 선박이 운행(4노트 이상)중 해양배출 	오니, 폐수, 분뇨 등
집중식	<ul style="list-style-type: none"> · 한 곳에 집중 배출하여 해수 혼탁 최소화 (분해 안되는 무기물) · 선박이 정지된 상태에서 해양배출 	수저준설토 적토 등



그림 4-4-2. 폐기물 해양배출 방법(해양환경관리법 시행규칙 별표 7)

4) 배출해역 이용방법

폐기물 해양배출이 특정 해역에 집중됨으로서 오염이 심화되는 것을 방지하기 위해 '02년부터 배출해역별로 배출 구심점을 지정하고 배출선박은 구심점을 거쳐 폐기물 해양배출하는 구심점 제도를 시행했다. 그러나 구심점 시행에도 불구하고, 육상에서 가까운 구심점들의 오염이 가중됨에 따라 '07년부터 책임구역제를 시행하고 있고, 오염 심화지역은 해양배출을 금지하는 휴식년 구역을 설정하여 해양배출을 금지했다(그림 4-4-3~4).

책임구역제는 배출업체별로 대각선으로 일정주기로 교대하면서 이용하는 제도로써 배출업체에게 배출해역의 관리에 대한 책임의식을 분담하여 지우고 배출해역의 오염을 저감시키려는 취지로 만들어졌다.

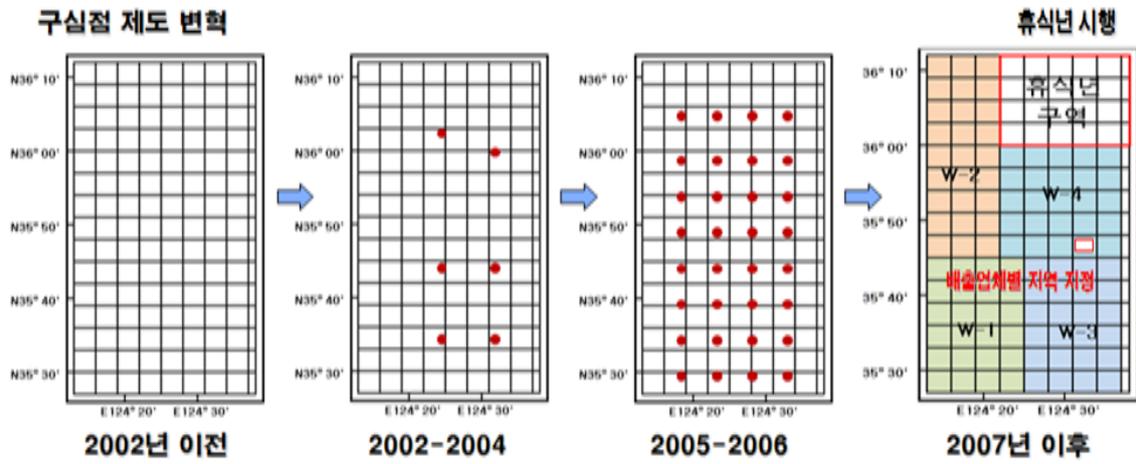
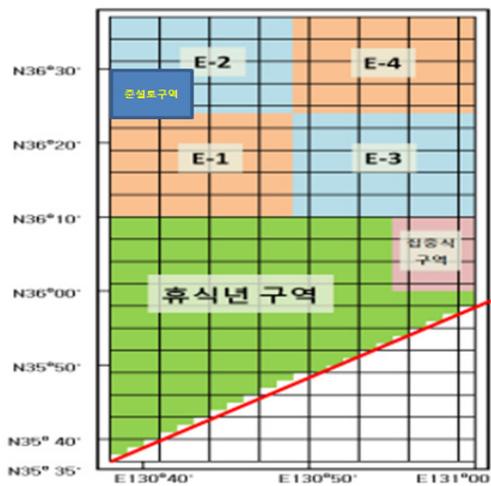
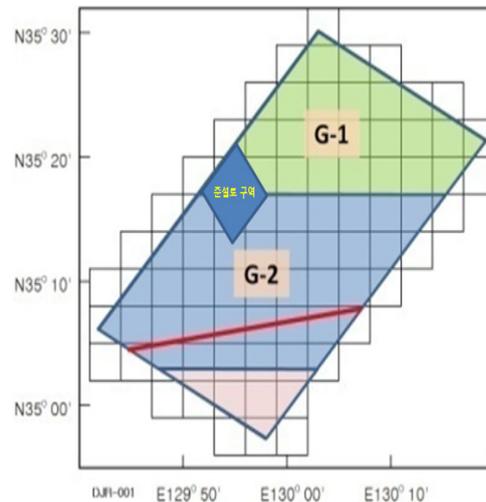


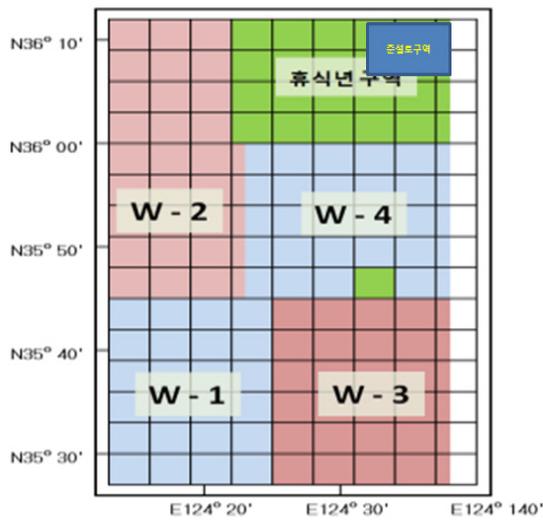
그림 4-4-3. 서해병해역 구심점제도 변혁



동해병해역



동해정해역



서해병해역

그림 4-4-4. 배출해역별 책임구역

가) 폐기물 배출해역별 구심점 제도 연혁

해양경찰청은 분산하여 배출하기 위하여 2002년 1월부터 서해병해역과 동해정해역은 6개, 동해병해역은 8개의 배출구심점을 지정하여 운영하였고 2005년 1월부터 서해병해역은 배출구심점을 다시 32개로 확대·조정하여 현재 운영 중에 있다(그림 4-4-5~9, 표 4-4-3). 구심점은 배출선박이 폐기물을 배출시 반드시 그 지점을 우회하면서 배출해야 하는 지점을 말한다.

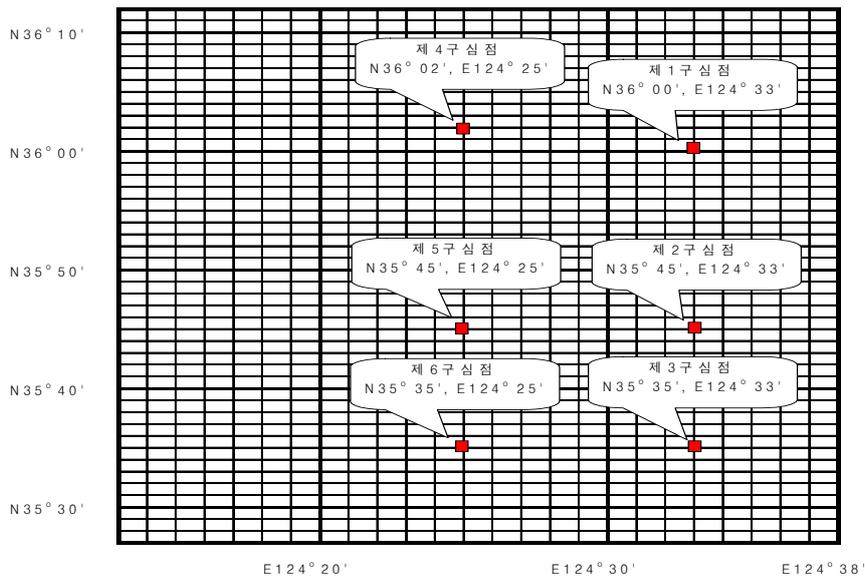


그림 4-4-5. 2002년~2004년 서해병해역의 구심점

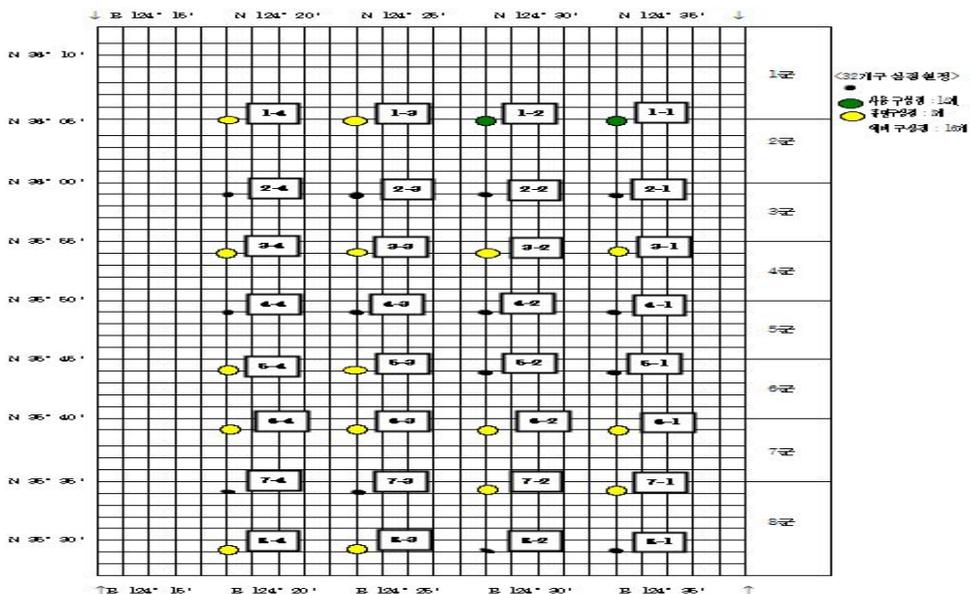


그림 4-4-6. 2005년 1월 이후 서해병해역의 구심점

표 4-4-3. 2005년 1월 이후 서해병해역의 구심점 위치

1	1-1	36 08 , 124 33	5	5-1	35 47 , 124 33
	1-2	36 08 , 124 28		5-2	35 47 , 124 28
	1-3	36 08 , 124 23		5-3	35 47 , 124 23
	1-4	36 08 , 124 18		5-4	35 47 , 124 18
2	2-1	36 02 , 124 33	6	6-1	35 42 , 124 33
	2-2	36 02 , 124 28		6-2	35 42 , 124 28
	2-3	36 02 , 124 23		6-3	35 42 , 124 23
	2-4	36 02 , 124 18		6-4	35 42 , 124 18
3	3-1	35 57 , 124 33	7	7-1	35 37 , 124 33
	3-2	35 57 , 124 28		7-2	35 37 , 124 28
	3-3	35 57 , 124 23		7-3	35 37 , 124 23
	3-4	35 57 , 124 18		7-4	35 37 , 124 18
4	4-1	35 52 , 124 33	8	8-1	35 32 , 124 33
	4-2	35 52 , 124 28		8-2	35 32 , 124 28
	4-3	35 52 , 124 23		8-3	35 32 , 124 23
	4-4	35 52 , 124 18		8-4	35 32 , 124 18

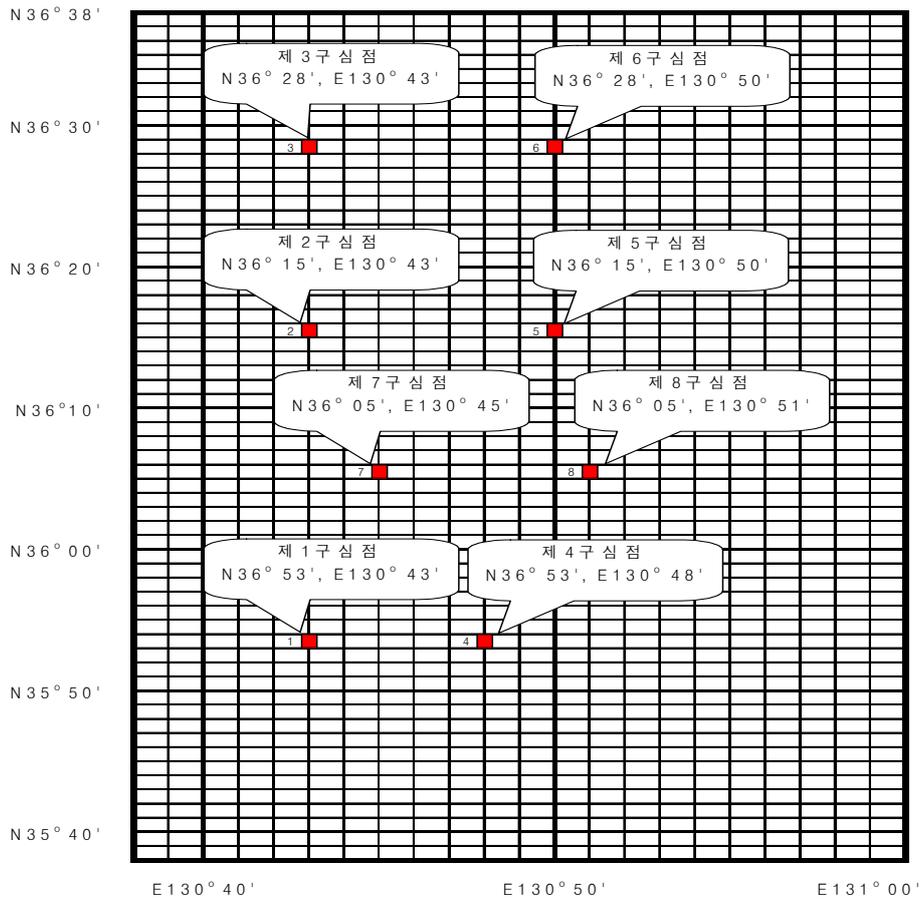


그림 4-4-7. 동해병해역의 구심점

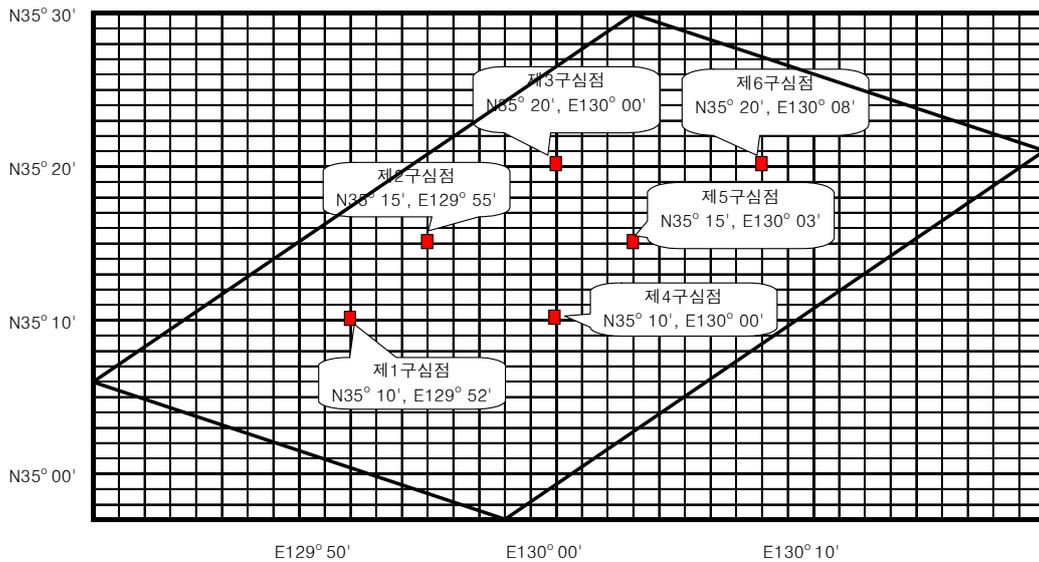


그림 4-4-8. 동해정해역의 구심점

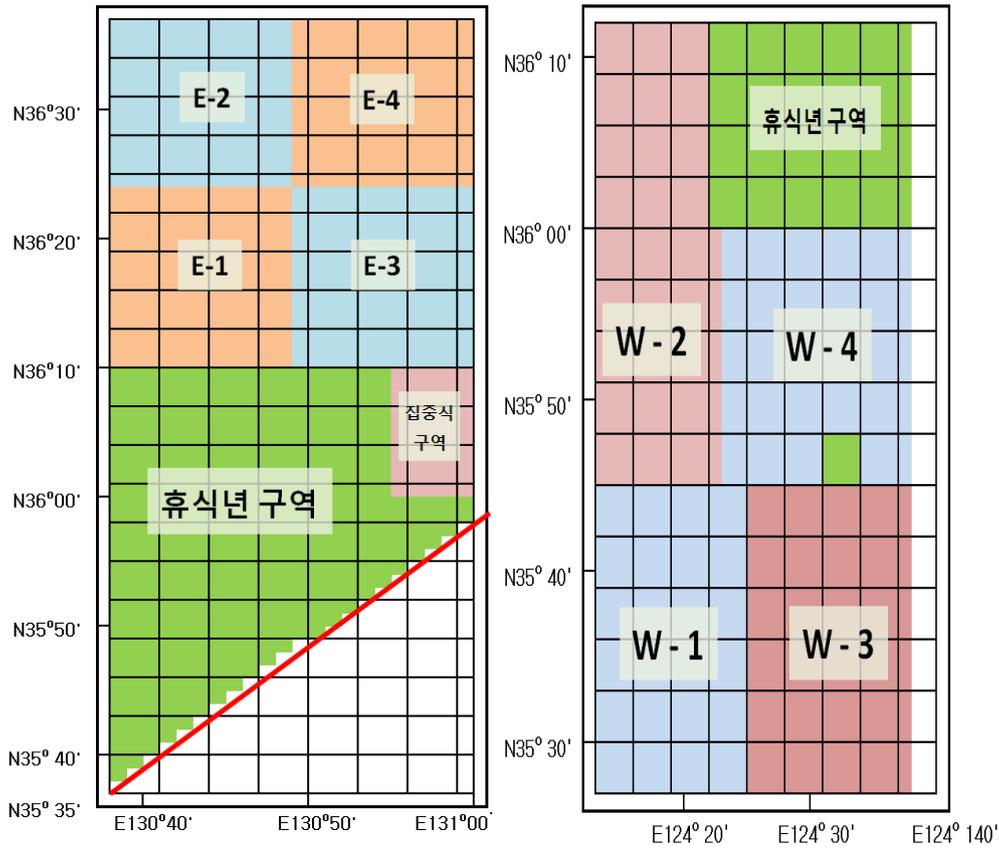


그림 4-4-9. 동해병해역(좌)과 서해병해역(우)의 휴식년 구역

나) 폐기물 배출해역 휴식년 제도

2006년 6월부터 상기 구심점들 중에서 표층퇴적물 중금속 농도가 ERM (Effect Range Medium)¹⁾을 초과하고, 환경조사 결과에서도 해저서식생물에 영향을 미치는 것으로 판단되는 지역에 대해 2006년부터 배출을 금지하는 휴식년제를 실시하고 있다(그림 4-3-9).

휴식년 구역이 배출해역 총 면적 중 차지하는 비율은 서해병해역은 약 20%, 동해병해역은 약 53%이다.

다) 폐기물 배출해역 책임구역 제도

해양경찰청은 육상폐기물을 분산하여 해양배출하기 위하여 배출업체별 분산배출 책임구역을 배출해역별로 지정하여 운영하고 있다. 동해병해역은 1개 업체에 2개의 책임구역을 지정하되 홀수월 및 짝수월을 구분하여 지정하였고,

1) ERM(Effect Range Medium) : (NOAA)
(50%)

집중식 폐기물 보유업체는 집중식 배출해역을 추가 지정하였다(그림 4-4-10).

동해정해역과 서해병해역은 2개 책임구역을 업체별로 지정해 업체 자율적으로 분산 배출하되 매월 해경서에 책임구역에 분산배출 여부를 확인받도록 하였다(그림 4-4-11~12, 표 4-4-4)..

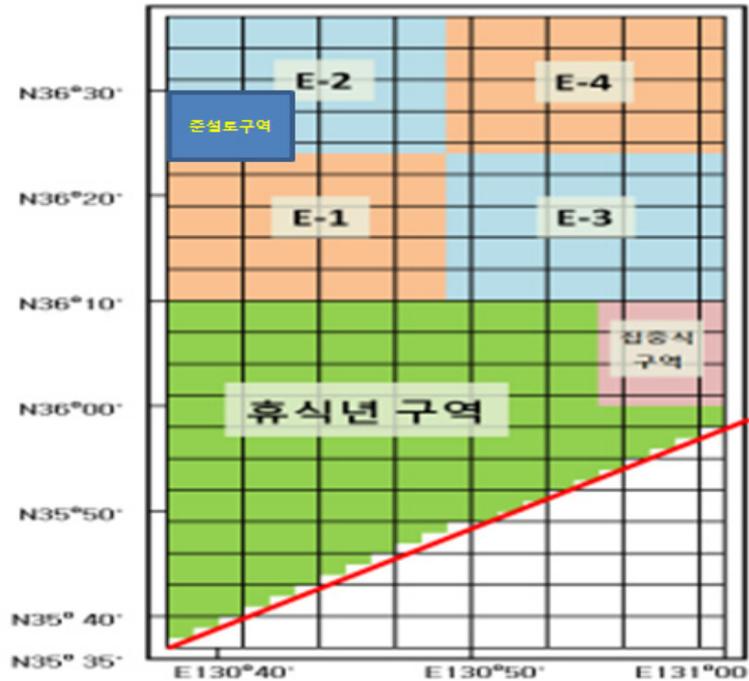


그림 4-4-10. 동해병해역의 책임구역

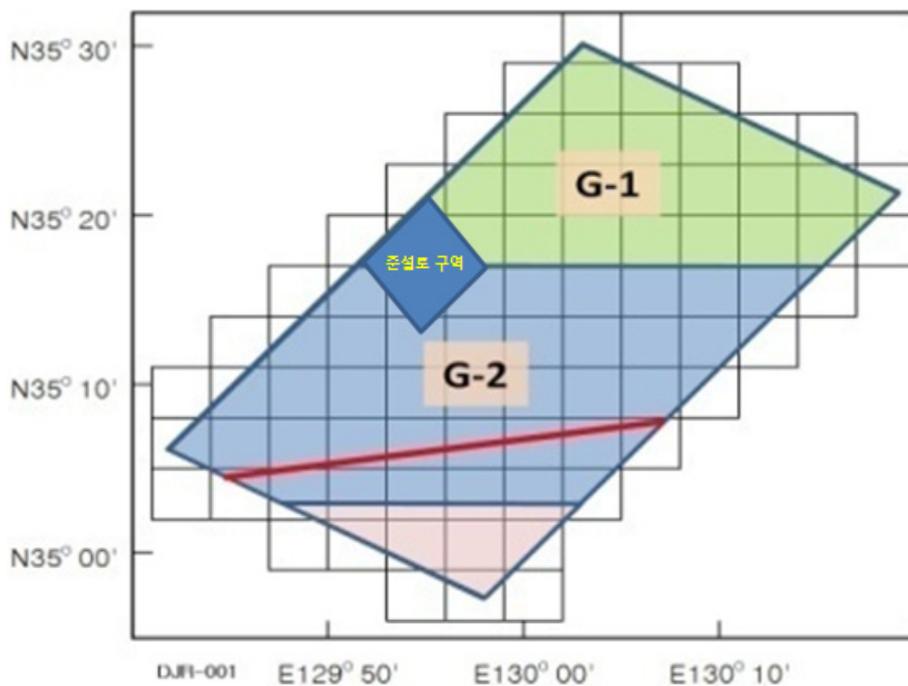


그림 4-4-11. 동해정해역의 책임구역

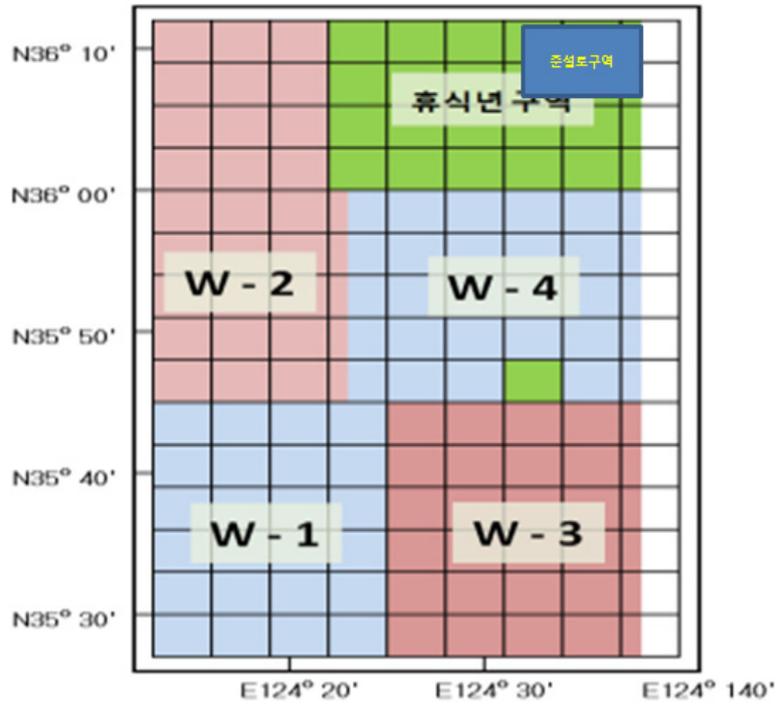


그림 4-4-12. 서해병해역 책임구역

표 4-4-4. 배출업체별 분산배출 책임구역 지정 현황

		A		B	
		E-1	E-4	E-2	E-3
		,	,	,	,
		,	,	,	, SJ
		,	,	,	,
		,	,	, SJ	,
		G-1		G-2	
		,	,	SJ,	,
		A		B	
		W-1	W-4	W-2	W-3
		,	,	,	,

나. 폐기물 해양배출 제도 개정 연혁

우리나라의 폐기물 해양배출 제도는 1977년 12월 31일 법률 제 3079호 『해양오염방지법』 제정부터 시작하여 2007년 1월에 해양오염방지법이 해양환경관리법으로 대체된 이후에도 여러 차례 개정이 이루어졌다(그림 4-4-13, 표 4-4-5).

❖ 해양환경관리법 변천사

· (폐기물 해양배출관련)

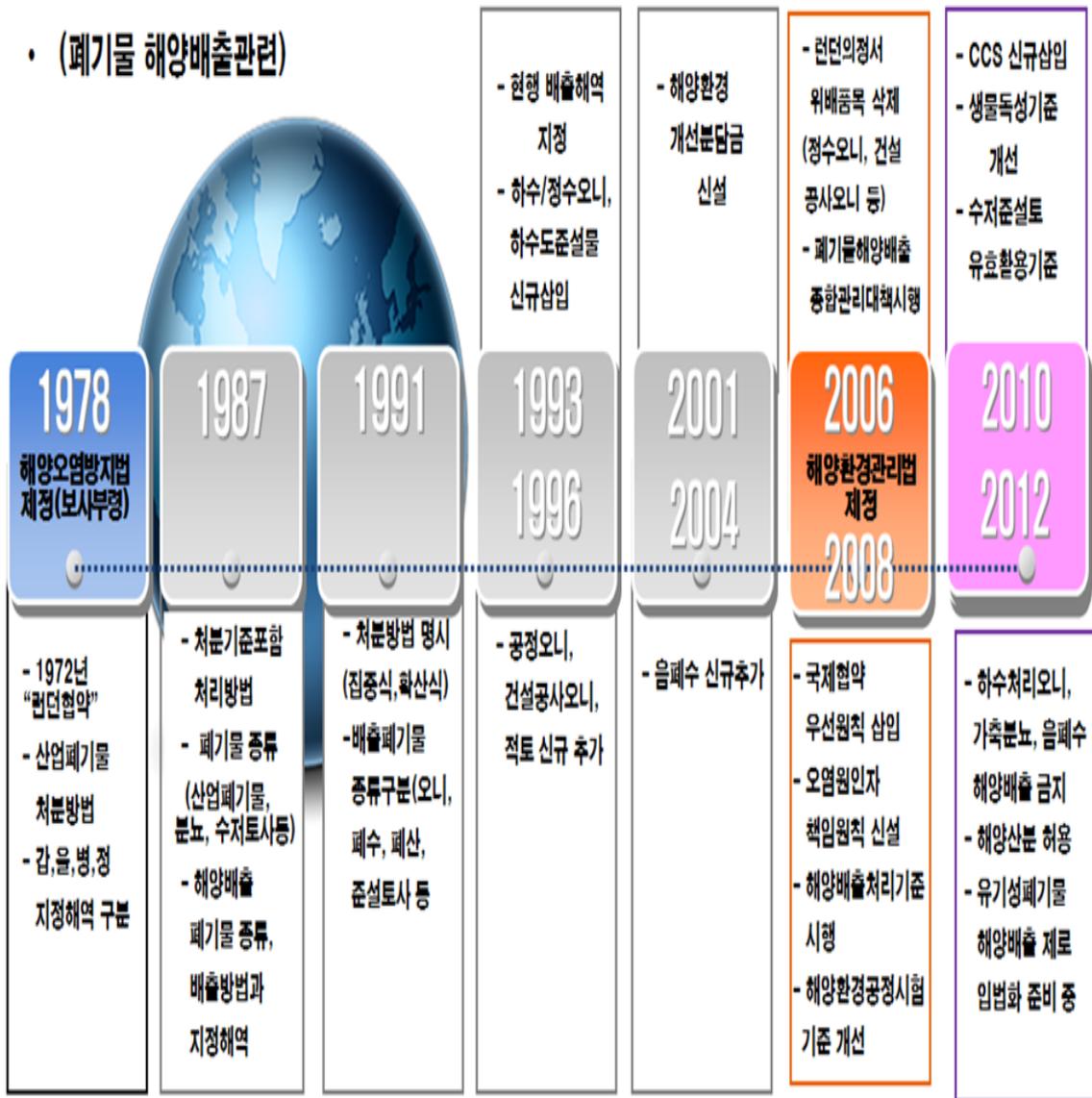


그림 4-4-13. 우리나라 폐기물 해양배출 관련 주요 제도 연혁

표 4-4-5. 우리나라 폐기물 해양배출 제도관련 연혁

1977	•
1978	• • , , ,
1987	• • () • - , , , () - , , ,) - , , , 가 가 • 가
1989	•
1991	• () • () 4); , , , 가 , • 95%
1993	• 3 (,) • • • (95% 5%) •
1995	•
1996	• → • , , 가
1997	•
1998	• . 2002 (1999 : <90%, 2000 : <75%, 2001 : <50%, 2002 : 0)
2001	•

2002	<ul style="list-style-type: none"> • •
2004	<ul style="list-style-type: none"> • , 가 가
2005	<ul style="list-style-type: none"> •
2006	<ul style="list-style-type: none"> • 3 (, ,), () 2015 () • • • (. . . .)
2007	<ul style="list-style-type: none"> • (1. 19) ; , •
2008	<ul style="list-style-type: none"> • → • • • (8. 23) • (,)
2009	<ul style="list-style-type: none"> •
2010	<ul style="list-style-type: none"> • 가 가 가(• :) •
2011	<ul style="list-style-type: none"> • , 가 ,
2012	<ul style="list-style-type: none"> • • • (,)

해양환경관리법 규정 별로 상세한 개정 변혁 사항은 다음과 같다.

○ 용어의 정의

개정 내용 및 연혁		시행규칙
<p>해양환경관리법</p> <p>제2조(용어의 정의) 이 법에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.</p> <p>2. "폐기물"이라 함은 사람이 필요로 하지 아니하게 된 물질등으로서 원활한 해양이용을 저해하는 물질(기름을 제외한다)로서 대통령령으로 정하는 것을 말한다.<신설 1977.12.31></p> <p>3. "배출"이라 함은 기름·폐기물 또는 광재등을 해양에 누출·유출 또는 투기하는 것을 말한다. 다만, 오염의 경감 또는 통제에 대한 적법한 과학적 조사·연구를 목적으로 하는 기름·폐기물 또는 광재등의 유출은 포함하지 아니한다.<해양오염방지법 조문신설 1977.12.31></p>	<p>↓ 개정 1986.12.30</p> <p>2. "폐기물"이라 함은..... 보건사회부령으로 .....말한다 <개정 1986.12.31></p> <p>↓ 개정 1989.12.30</p> <p>2. "폐기물"이라 함은 ... 총리령으로 ... 말한다<개정 1989.12.30></p> <p>7. "배출"이라 .....말한다. 다만, 총리령이 ... 포함하지 아니한다.</p> <p>↓ 개정 1991.3.8</p> <p>6. "폐기물"이라 함은 <u>해양에 배출되었을 경우 해양 환경의 보전을 저해하는 물질(기름 및 유해액체물</u></p>	<p>↓ 조문 신설 1987.8.31</p> <p>제2조(폐기물) 해양오염방지법(이하 "법"이라 한다) 제2조제2호의 폐기물은 별표 1과 같다. <해양오염방지법 본조신설 1987.8.31 보건사회부령 제806호></p> <p>[별표 1] 폐기물(제2조 관련)</p> <p>1. 특정폐기물</p> <p>가. 특정유해폐기물</p> <p>(1)카드뮴 및 그 화합물 (2)수은 및 그 화합물 (3)유기할로겐화합물 (5)유기인화합물 (6)연 및 그 화합물 (7)6가크롬 및 그 화합물 (9)동 및 그 화합물 (10)아연 및 그 화합물 (11)유기실리콘화합물 (13)기타 환경정장이 정하는 유해물질</p> <p>나. 폐합성수지 및 폐합성고분자화합물(합성고무, 합성섬유, 합성피혁을 포함한다)</p>

개정 내용 및 연혁	
해양환경관리법	시행규칙
<p>질등을 제외한다)로서 총리령이 정하는 물질과 해 양에 배출됨으로써 그 상태로는 쓸 수 없게 된 물질을 말한다<개정 1991.3.8></p> <p>7. "배출"이라 ... 말한다. 다만, 총리령이 정하는 바 에 따라 미리 환경처장관의 승인을 얻어 행하여 지는 유출 및 투기를 포함하지 아니한다<개정 1991.3.8></p> <p>⇩ 개정 1995.12.29</p> <p>6. "폐기물"이라 함은 ... 환경부령이 정하는 ... 물질을 말한다<개정 1995.12.29></p> <p>7. "배출"이라 ... 말한다. 다만, 환경부령이 정하는 바 에 따라 미리 환경부장관의 승인을... 아니한다 <개정 1995.12.29></p> <p>⇩ 개정 1997.12.29</p> <p>6. "폐기물"이라 함은 ... 해양수산부령이 정하는 ... 물질을 말한다<개정 1997.12.29></p> <p>7. "배출"이라 ... 말한다, 다만, 해양수산부령이 정하는 바에 따라 미리 해양경찰청장의 승인을 ... 아니 한다<개정 1997.4.10></p> <p>⇩ 개정 1999.2.8</p> <p>6. "폐기물"이라 함은 ... 물질을 말한다.</p> <p>7. "배출"이라 ... 말한다. 다만, 오염의 경감방지 또는 제거를 위한 과학적 조사 연구를 목적으로 행하여지는 유출 및 투기를 포함하지 아니한다<개정 1999.2.8></p>	<p>다. 폐산 및 폐알카리(특정유해폐기물을 함유하지 아니한 것)</p> <p>2. 일반폐기물</p> <p>가. 유기물류폐기물</p> <p>(1)폐지류 (2)폐목재류</p> <p>(3)폐천연섬유 및 폐천연고무류 (4)폐천연가죽류</p> <p>(5)동식물성 고형물 (6)분뇨</p> <p>(7)오니류(특정폐기물을 함유하지 아니한 것)</p> <p>(8)수송, 어로, 기타 선박의 통상활동에서 생기는 오수</p> <p>나. 무기물류폐기물</p> <p>(1)금속편류, (2)유리편류, 도자기편류 및 건축폐재류등 비금속물질, (3)광재(특정폐기물을 함유하지 아니한 것)</p> <p>(4)연소재(특정폐기물을 함유하지 아니한 것), (5)분진류(특정폐기물을 함유하지 아니한 것), (6)수저토사류, (7)파각류</p> <p>⇩ 개정 1997.11.4</p> <p>제5조(폐기물) 법 제2조제6호에서 "해양수산부령이 정하는 물질"이라 함은 별표 1의 폐기물을 말한다<개정 1997.11.4 해양수산부령 제33호>.</p> <p>[별표 1] 폐기물(제5조관련)</p> <p>1. 육지폐기물</p> <p>가. 폐기물관리법 제2조의 규정에 의한 폐기물</p> <p>나. 오수분뇨또는축산폐수의처리에관한법률 제2조의 규정에 의한 오수·분뇨 및 축산폐수</p> <p>다. 수질환경보전법 제2조의 규정에 의한 폐수</p> <p>라. 하수도법 제2조의 규정에 의한 하수도·공공하수도 및 종말처리장의 유지·관리와 관련하여 발생하는 준설물질 및 오니류</p> <p>마. 총포·도검·화약류등단속법 제2조의 규정에 의한 화학류중 쓸 수 없게 된 것</p>

개정 내용 및 연혁	
해양환경관리법	시행규칙
<p>↕ 개정 2005.12.29</p> <p>6. "폐기물"이라 함은 해양에 배출되었을 경우 해양 환경의 보전을 저해하는 물질(기름·유해액체물질 및 포장유해물질을 제외한다)로서 해양수산부령이 정하는 물질과 해양에 배출됨으로써 그 상태로는 쓸 수 없게 된 물질을 말한다<개정 2005.12.29></p> <p>7. "배출"이라 함은 기름·유해액체물질·포장유해물질 또는 광재(광재) 등 폐기물을 해양에 누출·유출 또는 투기하거나 선박·해양시설로부터 대기오염물질을 대기로 누출 또는 유출하는 것을 말한다. 다만, 오염의 경감·방지 또는 제거를 위한 과학적 조사·연구를 목적으로 행하여지는 유출 및 투기를 포함하지 아니한다<개정 2005.12.29></p>	<p>바. 기타 육지에서 발생되어 쓸 수 없게 된 물질(육지안의 하천·호소 등에서 발생되어 쓸 수 없게 된 준설물질을 포함한다)</p> <p>2. 해양폐기물</p> <p>가. 해저준설토사(굴착토사 및 암석류를 포함한다)</p> <p>나. 선박 및 해양시설에서 사람의 일상적인 활동에 따라 발생하는 분뇨</p> <p>다. 화물류의 운송중에 그 상태로는 쓸 수 없게 된 물질</p> <p>라. 부유성의 화물용칼개 및 끼우개, 화물용내장재, 포장물질 기타 가연성 폐기물(마호 내지 사호에 의한 가연성폐기물을 제외한다)</p> <p>마. 음식찌꺼기, 종이제품, 냄마, 유리, 금속, 병, 도기류 기타 유사한 폐기물</p> <p>바. 포장유해물질(위험물선박운송및저장규칙 제2조제1호의 규정에 의하여 해양수산부장관이 고시한 위험물과 그 포장용기)</p> <p>사. 합성로프·합성어망·페어구 및 플라스틱제의 쓰레기류를 포함한 플라스틱류</p> <p>↕ 개정 2005.3.12</p> <p>제5조(폐기물) 법 제2조제6호에서 "해양수산부령이 정하는 물질"이라 함은 별표 1의 폐기물을 말한다<개정 2005.3.12 해양수산부령 제290호></p> <p>[별표 1] 폐기물(제5조관련)</p> <p>1. 육지폐기물 가.~ 바. 변동 없음</p> <p>2. 해양폐기물 가. 해저준설토사(굴착토사를 포함한다) 나~사. 변동 없음</p>

개정 내용 및 연혁	
해양환경관리법	시행규칙
<p>↓ 해양환경관리법으로 전환, 일부개정</p> <p>3. "배출"이라 함은 오염물질 등을 유출·투기하거나 오염물질이 누출·용출되는 것을 말한다. 다만, 해양오염의 감경·방지 또는 제거를 위한 학술목적의 조사·연구의 실시로 인한 유출·투기 또는 누출·용출을 제외한다<개정 2007.1.19></p> <p>4. "폐기물"이라 함은 해양에 배출되는 경우 그 상태로 쓸 수 없게 되는 물질로서 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 물질(제5호·제7호 및 제8호에 해당하는 물질을 제외한다)을 말한다<개정2007.4.11>.</p> <p>*제5호(기름), 제7호(유해액체물질), 제8호(포장유해물질)</p>	<p>↓ 개정 2006.5.19</p> <p>제5조(폐기물) 법 제2조제6호에서 "해양수산부령이 정하는 물질"이라 함은 별표 1의 폐기물을 말한다<개정 2006.5.19 해양수산부령 제337호></p> <p>[별표 1] 폐기물(제5조관련)</p> <p>1. 육지폐기물 가 ~ 바. 변동 없음</p> <p>2. 해양폐기물 가. 해저준설토사(굴착토사 및 암석류를 포함한다) 나 ~ 사. 변동 없음 아. 선박의 의류구역 및 동물운송구역에서 발생하는 오수</p> <p>↓ 해양환경관리법으로 전환</p> <p>폐기물의 종류를 시행규칙 별표에서 완전삭제함<개정 2008.1.18 해양수산부령 제401호></p>

○ 해양환경관리법과 국제협약과의 관계

▼ 해양오염방지법/해양환경관리법

개정 내용 및 연혁		
해양환경관리법	시행령	시행규칙
제4조 해양환경 및 해양오염과 관련하여 국제적으로 발효된 국제협약에서 정하는 기준과 이 법에서 규정하는 내용이 다른 때에는 국제협약의 효력을 우선한다. 다만, 이 법의 규정내용이 국제협약의 기준보다 강화된	-	-

개정 내용 및 연혁		
개정 내용	시행령	시행규칙
해양환경관리법		
기준을 포함하는 때에는 그러하지 아니하다<해양환경관리법 조문신설 2008.1.19>		

○ 오염원인자 책임의 원칙

개정 내용 및 연혁		
개정 내용	시행령	시행규칙
해양환경관리법		
제7조 자기의 행위 또는 사업활동으로 인하여 해양환경의 훼손 또는 해양오염을 야기한 자(이하 "오염원인자"라 한다)는 훼손·오염된 해양환경을 복원할 책임을 지며, 해양환경의 훼손·오염으로 인한 피해의 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 한다<해양환경관리법 조문신설 2008.1.19>	-	-

○ 해양환경개선부담금

▶ 해양오염방지법/해양환경관리법

개정 내용 및 연혁	
제46조의 3(해양환경개선부담금) <해양오염방지법 본조신설 2001.9.12>	
<ul style="list-style-type: none"> ① 해양수산부장관은 해양환경 및 생태계에 현저한 영향을 미치는 사업으로서 다음 각호에 해당하는 사업에 대하여는 해양환경개선부담금(이하 "부담금"이라 한다)을 부과·징수한다. <ul style="list-style-type: none"> 1. 폐기물해양배출업자의 폐기물 해양배출행위 2. 그 밖에 대통령령이 정하는 규모 이상의 기름 등 배출행위<해양오염방지법 조문신설 2001.9.12> ② 해양수산부장관은 국가·지방자치단체 및 공공기관이 시행하는 사업, 그 밖에 국방목적 또는 공익상 중요한 사업으로서 대통령령이 정하는 사업에 대하여는 부담금을 감면할 수 있다 ③ 해양수산부장관은 제1항의 규정에 의한 부담금을 「어업협정체결에 따른 어업인 등의 지원 및 수산업발전특별법」 제22조의 규정에 의한 수 	

개정 내용 및 연혁

산발전기금으로 납입하여야 한다. <개정 2005.12.29>

④ 제1항의 규정에 의한 부담금의 산정·감면기준 및 부과·징수절차 등 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

↓ 해양환경관리법으로 전환

제19조(해양환경개선부담금) <해양환경관리법 개정 2007.1.19>

① 해양수산부장관은 ... 부과·징수한다.

1. 제70조제1항제1호의 규정에 따른 폐기물해양배출업을 하는 자(이하 "폐기물해양배출업자"라 한다)가 폐기물을 해양에 배출하는 행위

2. 선박 또는 해양시설에서 대통령령이 정하는 규모 이상의 오염물질을 해양에 배출하는 행위

② 해양수산부장관은 ... 감면할 수 있다.

③ 해양수산부장관은 ... 납입하여야 한다.

④ 제1항의 규정에 의한 ... 정한다.

↓ 개정 2008.2.29

제19조(해양환경개선부담금) <개정 2008.2.29>

① 국토해양부장관은 해양환경 및 해양생태계에 현저한 영향을 미치는 다음 각 호의 행위에 대하여 해양환경개선부담금(이하 "부담금"이라 한다)을 부과·징수한다.

1. 제70조제1항제1호의 규정에 따른 폐기물해양배출업을 하는 자(이하 "폐기물해양배출업자"라 한다)가 폐기물을 해양에 배출하는 행위

2. 선박 또는 해양시설에서 대통령령이 정하는 규모 이상의 오염물질을 해양에 배출하는 행위

② 부담금은 오염물질의 종류 및 배출량을 고려하여 산정하되, 오염물질의 배출량에 단위당 부과금액을 곱한 후 오염물질의 종류별 부과계수를 적용하여 부과한다. 이 경우 오염물질의 배출량·단위당 부과금액 및 종류별 부과계수 등은 대통령령으로 정한다.

③ 국토해양부장관은 납부의무자가 부담하여야 할 부담금을 분할하여 납부하게 할 수 있다.

④ 국토해양부장관은 제1항의 규정에 따른 부담금 및 제20조제2항의 규정에 따른 가산금을 「수산업법」 제76조에 따른 수산발전기금(이하 "기금"이라 한다)으로 납입하여야 한다. <개정 2008.2.29, 2009.4.22>

⑤ 제1항 및 제2항의 규정에 따른 부담금의 징수절차 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

▶ 시행령

- 해양환경개선부담금의 산정

개정 내용 및 연혁 (해양환경관리법 시행령)

제22조의3(해양환경개선부담금의 산정) <해양오염방지법 시행령 본조신설 2002.9.12>

① 법 제46조의 3 제1항 제1호의 규정에 의한 폐기물해양배출업자의 폐기물 해양배출행위에 대한 해양환경개선부담금(이하 "부담금"이라 한다)은 다음의 기준에 따라 산정한다.

- ② 폐기물해양배출량의 단위기준은 세제곱미터로 한다. 이 경우 세제곱미터 미만의 반올림하여 적용한다.
- ③ 단위당기준부과금액은 800원으로 하되 2004년 1월 1일부터는 3년간 매년 100원씩 인상한다.
- ④ 부과계수는 별표 4의 2와 같다.

폐기물해양배출량 × 단위당기준부과금액 × 부과계수

[별표 4의 2]폐기물 종류별 부과계수(제22조의 3 관련)

폐기물 종류	부과계수 산출기준			부과계수 (A×B×C)
	육상배출비율계수(A)	오염도계수(B)	정책계수(C)	
역상류	분뇨	1.0	1.0	1.2
	축산폐수	1.0	1.0	1.2
	폐수	1.2	1.0	1.32
유기성 오니류	분뇨처리오니	1.3	1.5	2.34
	폐수처리오니	1.1	1.5	1.65
	하수처리오니	1.0	1.5	1.5
	건설공사오니	1.3	1.5	1.95
무기성 오니류	정수공사오니	1.1	1.5	1.65
	원료동시물폐기물	1.2	1.5	1.8
	광물성폐기물	1.1	1.5	1.65
수산가공잔재물	수산가공잔재물	1.1	1.5	1.65
	정수준설토사(하수도준설, 경화용 준설등)	1.0	1.5	1.5
준설토사(항로준설, 항만개발 등)	1.0	1.0	1.0	1.0

비고 : 1. 폐기물의 종류를 확정하기 어려운 때에는 해양오염방지법 제16조제4항의 규정에 의한 해양배출이 가능한 폐기물의 종류를 고려하여 유사한 종류로 분류한다.
2. 폐기물의 특성상 무게단위(톤)로 거래가 이루어지는 폐기물에 대하여는 그 비중을 1.2의 계수로 나누어 환산적용한다.

⇩ 해양환경관리법 시행령으로 전환

제25조(폐기물해양배출업자에 대한 해양환경개선부담금의 산정) <해양환경관리법 시행령 개정 2007.1.19>

① 법 제19조제1항제1호에 따른 폐기물해양배출업자의 폐기물 해양배출행위에 대한 해양환경개선부담금은 다음 산식에 따라 산출한 금액으로 한다.

개정 내용 및 연혁 (해양환경관리법 시행령)

- 폐기물해양배출량(세제곱미터) × 단위당 부과금액 × 부과계수
- ② 제1항의 산식에서 폐기물해양배출량은 법 제72조제1항에 따른 처리실적서를 근거로 산정한다.
 - ③ 법 제19조제2항에 따른 폐기물의 단위당 부과금액과 종류별 부과계수는 별표 3과 같다.

[별표 3] <개정 2009.12.31>

폐기물의 단위당 부과금액 및 종류별 부과계수(제25조제3항 관련)

1. 단위당 부과금액

오염물질	부과금액
폐기물	1,100원/세제곱미터(m ³)

비고 : 배출량이 세제곱미터 미만은 반올림한다.

2. 종류별 부과계수

폐기물 종류	부과계수산출기준			부과계수(A×B×C)
	육·해상배출비용차액계수(A)	오염도계수(B)	정책계수(C)	
분뇨	1.0	1.0	1.2	1.2
가축분뇨	1.0	1.0	1.2	1.2
폐수	1.2	1.0	1.1	1.32
분뇨처리오니(汚泥)	1.3	1.5	1.2	2.34
폐수처리오니	1.1	1.5	1.4	2.31
하수처리오니	1.0	1.5	1.0	1.5
원료동식물폐기물	1.2	1.5	1.0	1.8
수산화알루미늄의 제조공정에서 발생하는 광물성폐기물	1.1	1.5	1.4	2.31
수산가공잔재물	1.1	1.5	1.0	1.65
수저준설토사	1.0	1.0	1.0	1.0

비고

1. 폐기물의 종류를 확정하기 어려운 경우에는 법 제23조제1항에 따른 해양배출이 가능한 폐기물의 종류를 고려하여 유사한 종류로 분류한다.
2. 폐기물의 특성상 무게단위(톤)로 거래가 이루어지는 폐기물에 대해서는 그 비중을 1.2의 계수로 나누어 환산·적용한다.

- 부담금의 부과 및 징수

시행령	시행규칙
<p>제22조의4(부담금의 부과 및 징수) <해양오염방지법 시행령 본조신설 2002.9.11></p> <p>① 법 제22조의3제1항의 규정에 의한 부담금은 매분기별로 산정·부과한다.</p> <p>② 부담금을 납부하여야 하는 자는 해양수산부령이 정하는 바에 따라 폐기물 인계인수서를 작성하여 폐기물을 해양에 배출한 날부터 20일이내에 매분기별 폐기물해양배출실적은 그 분기의 다음달 10일까지 해양수산부장관에게 각각 제출하여야 한다.</p> <p>③ 해양수산부장관은 제2항의 규정에 의한 폐기물해양배출실적을 근거로 부담금을 산출하여 해양수산부령이 정하는 바에 따라 그 분기의 다음달 15일까지 납부고지를 하여야 한다.</p> <p>④ 부담금의 납부기한은 납부고지를 한 달의 마지막 날로 한다.</p> <p style="text-align: center;">↓ 해양환경관리법 시행령으로 전환</p> <p>제26조(부담금의 부과 및 징수) <개정 2008.1.11></p> <p>① 해양수산부장관은 부담금을 매분기별로 산정·부과한다.</p> <p>② 제1항에 따라 산정된 부담금은 해양수산부령이 정하는 바에 따라 그 분기의 다음 달 15일까지 납부고지를 하여야 한다.</p> <p>③ 부담금의 납부기한은 납부고지를 한 달의 마지막 날로 한다.</p> <p>④ 제1항부터 제3항까지의 규정에도 불구하고 폐기물해양배출업이 분기 중에 종료되는 경우에는 그 종료된 것을 안 날부터 15일 이내에 해당 분기의 부담금에 대한 납부고지를 할 수 있다. 이 경우 해당 분기의 부담금 납부기한은 납부고지를 한 날부터 15일 이내로 한다.</p> <p>제26조(해양환경개선부담금의 부과 및 징수) <개정 2009.12.31></p> <p>① 국토해양부장관은 법 제19조제1항제1호 및 제2호에 따른 해양환경</p>	<p>제85조의4조(해양환경개선부담금의 납부고지) <해양오염방지법 시행규칙 본조신설 2002.9.11></p> <p>① 영 제22조4제3항의 규정에 의한 해양환경개선부담금(이하"부담금"이라 한다)의 납부고지는 별지 제66호서식에 의한다. 다만, 전산고지방식으로 납부고지를 하는 경우에는 해양수산부장관이 이를 따로 정한다.</p> <p style="text-align: center;">↓ 해양환경관리법 시행규칙으로 전환</p> <p>제10조(해양환경개선부담금의 부과·납부) <개정 2008.1.11></p> <p>① 영 제26조제1항에 따른 해양환경개선부담금 납부고지는 별지 제3호서식에 따른다. 다만, 정보통신망으로 납부고지를 하는 경우의 납부고지방법은 국토해양부장관이 따로 정한다. <개정 2008.3.14, 2010.1.12></p> <p>② 영 제27조제1항에 따른 부담금분할납부신청서는 별지 제4호서식에 따르고, 같은 조 제2항에 따른 부담금분할납부 허가 여부의 통지는 별지 제5호서식에 따른다.</p> <p>③ 영 제29조제2항에 따른 해양환경개선부담금의 조정부과 또는 환급의 통지는 별지 제6호서식에 따른다.</p> <p>④ 영 제30조제1항에 따라 해양환경개선부담금의 조정을 신청하려는 자는 별지 제7호서식의 해양환경개선부담금 조정신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)에 조정신청의 사유를 입증하는 서류를 첨부하여 지방해양환경청장 또는 해양경찰서장에게 제출하여야 한다. <개정 2010.1.12></p>

<p>개선부담금(이하 "부담금"이라 한다)을 다음 각 호의 구분에 따라 산정·부과하고, 국토해양부령으로 정하는 바에 따라 그 분기 또는 산정한 달의 다음 달 15일까지 납부고지를 하여야 한다.</p> <p>1. 법 제19조제1항제1호: 매분기별 2. 법 제19조제1항제2호: 배출행위 발생 시</p> <p>② 삭제</p> <p>③ 부담금의 납부기한은 납부고지를 한 달의 마지막 날로 한다.</p> <p>④ 제1항 및 제3항에도 불구하고 폐기물해양배출업이 분기 중에 종료 되는 경우에는 그 종료된 것을 안 날부터 15일 이내에 해당 분기의 부담금에 대한 납부고지를 할 수 있다. 이 경우 해당 분기의 부담금 납부기한은 납부고지를 한 날부터 15일 이내로 한다.</p>	<p>⑤ 영 제31조에 따른 독축장은 별지 제8호서식에 따른다.</p>
--	---

- 부담금의 분할납부

개정 내용 및 연혁	
시행령	시행규칙
<p>제22조의5(부담금의 분할납부) <해양오염방지법 시행령 본조신설 2002.9.11></p> <p>① 해양수산부장관은 제22조의3제1항의 규정에 의한 부담금에 대하여 납부의무자의 신청을 받아 분할납부를 허가할 수 있다.</p> <p>② 부담금을 분할납부하고자하는 자는 납부고지를 받은 날부터 5일 이내에 부담금분할납부신청서를 해양수산부장관에게 제출하여야 하며, 해양수산부장관은 그 허가여부를 신청인에게 서면으로 통지하여야 한다.</p> <p>③ 해양수산부장관은 분할납부허가 통지를 받은 납부의무자가 다음 각 호의 1에 해당하게되는 때에는 그 분할납부허가를 취소하고 분할</p>	<p>제85조의5(분할납부의 신청 및 허가여부의 통지) <해양오염방지법 시행규칙 본조신설 2002.9.11></p> <p>영 제22조의5제2항의 규정에 의한 부담금분할납부신청서는 별지 제67호서식에 의하고, 그 허가여부의 통지는 별지 제68호서식에 의한다.</p> <p>제85조의6(조정부과 또는 환급의 통지) <해양오염방지법 시행규칙 본조신설 2002.9.11></p> <p>영 제222조의7제1항의 규정에 의한 부담금의 조정부과 또는 환급의 통지는 별지 제69호서식에 의한다.</p>

개정 내용 및 연혁	
시행령	시행규칙
<p>납부와 관계되는 금액을 일시에 징수할 수 있다. 이 경우 해양수산부장관은 납부의무자에게 그 뜻을 서면으로 통지하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 분할납부금액을 지정된 기한까지 납부하지 아니한 때 2. 「국세징수법」 제14조제1항 각 호의 1에 해당하거나 그에 준하는 사유로 그 분할납부기한까지 그 분할납부에 관계되는 금액의 전액을 징수할 수 없다고 인정되는 경우 <p style="text-align: center;">↓ 해양환경관리법 시행령으로 전환</p>	<p>제85조의7(부담금의 조정신청) <해양오염방지법 시행규칙 본조신설 2002.9.11></p> <p>부담금의 납부고지를 받거나 분할납부허가를 받은 자가 영 제22조의 8제1항의 규정에 따라 부담금의 조정을 신청하고자 하는 경우에는 별지 제70호서식의 해양환경개선부담금 조정신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)에 조정신청 입증서류 1부를 첨부하여 제출하여야 한다<개정 2004.8.7></p> <p style="text-align: center;">↓ 해양환경관리법 시행령에 통합</p>
<p>제27조(부담금의 분할납부) <해양환경관리법 시행령으로 개정 2008.2.29></p> <ol style="list-style-type: none"> ① 법 제19조제3항에 따라 부담금을 분할납부하려는 자는 납부고지를 받은 날부터 5일 이내에 부담금분할납부신청서(전자문서로 된 신청서를 포함한다)를 국토해양부장관에게 제출하여야 한다. ② 국토해양부장관은 납부의무자가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 부담금의 분할납부를 허가할 수 있다. 이 경우 국토해양부장관은 그 허가 여부를 신청인에게 서면으로 알려야 한다. <ol style="list-style-type: none"> 1. 납부하여야 할 부담금이 1천만원 이상인 경우 2. 천재지변 또는 재해로 인하여 재산에 현저한 손실을 받은 경우 ③ 국토해양부장관은 분할납부허가 통지를 받은 납부의무자가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하면 그 분할납부허가를 취소하고 분할납부와 관계되는 금액을 일시에 징수할 수 있다. 이 경우 국토해양부장관은 납부의무자에게 그 뜻을 서면으로 알려야 한다. <ol style="list-style-type: none"> 1. 분할납부금액을 지정된 기한까지 납부하지 아니한 경우 2. 「국세징수법」 제14조제1항 각 호의 어느 하나에 해당하거나 그에 준하는 사유로 그 분할납부기한까지 그 분할납부와 관계되는 금액의 전액을 징수할 수 없다고 인정되는 경우 <p>제28조(분할납부금액의 산정 등) ① 제27조제2항에 따른 분할납부의 횟수는 3회로 한정하며, 분할납부의 첫 회분의 납부기한은 해당 부담금의 납부고지를 한 달의 마지막 날로 한다. <개정 2009.12.31></p> <ol style="list-style-type: none"> ② 제1항에 따라 분할하여 납부할 금액은 월별로 균분하여 정하는 것을 원칙으로 하며, 매회의 납부기한은 매월 마지막 날로 한다. <신설 2009.12.31> ③ 분할납부의무자는 분할납부금액의 총액에서 바로 전회까지 납부한 분할납부금액 또는 분할납부금액의 합계액을 뺀 잔액을 기초로 하여 바로 전회의 분할납부기한의 다음날부터 각 회분의 분할납부기한까지의 일수에 대하여 계산한 이자금액을 합하여 납부하여야 한다. 이 경 	

개정 내용 및 연혁	
시행령	시행규칙
<p>우 이자는 납부할 금액에 연 100분의 6의 이자율을 곱하여 산출한다. <개정 2009.12.31> 제29조(부담금의 조정) ① 국토해양부장관은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하면 부담금을 다시 산정하여 조정하되, 이미 납부한 금액과 조정된 금액에 차이가 있으면 그 차액을 다시 부과하거나 환급하여야 한다. <개정 2008.2.29></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 부담금의 부과대상 또는 산정방법이 잘못 적용된 경우 2. 분할납부금액 및 그 이자금액의 산정이 잘못된 경우 3. 그 밖의 사유로 부담금액이 잘못 부과된 경우 <p>② 국토해양부장관은 제1항에 따라 부담금을 조정하여 부과하거나 환급하려면 그 금액·납부기한·납부장소 및 그 밖에 필요한 사항을 적은 문서로써 알려야 한다. <개정 2008.2.29></p> <p>제30조(부담금의 조정신청) ① 부담금의 납부고지를 받거나 분할납부허가를 받은 자는 제29조제1항 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우에는 부담금의 납부고지를 받거나 분할납부허가를 받은 날부터 30일 이내에 그 부담금의 조정을 신청할 수 있다.</p> <p>② 국토해양부장관은 제1항에 따른 조정신청이 있으면 30일 이내에 그 처리결과를 그 신청인 또는 새로운 납부대상자에게 알려야 하고, 이미 납부한 금액과 조정된 금액에 차이가 있으면 제29조제2항에 따라 그 차액을 다시 부과하거나 환급하여야 한다. <개정 2008.2.29></p> <p>③ 제1항에 따른 조정신청은 부담금의 납부기한에 영향을 미치지 아니한다.</p> <p>제31조(독촉장) 법 제20조제1항에 따른 독촉장에는 납부할 부담금의 금액·가산금·납부기한과 납부장소를 적어야 한다.</p> <p>제32조(가산금) ① 법 제20조제1항에 따른 가산금은 체납된 부담금의 100분의 5에 해당하는 금액으로 한다. 다만, 부담금 납부의무자가 납부기한 경과 후 1주일 이내에 체납된 부담금을 납부하는 경우의 가산금은 체납된 부담금의 100분의 1에 해당하는 금액으로 한다. <개정 2011.3.9></p> <p>② 가산금은 이를 분할하여 납부할 수 없다.</p>	

○ 해양환경개선부담금의 강제징수

▼ 해양오염방지법/해양환경관리법

개정 내용 및 연혁
<p>제46조의4(부담금의 강제징수) <해양오염방지법 본조신설 2001.9.11></p> <p>① 해양수산부장관은 제46조의3의 규정에 의하여 부담금을 납부하여야 할 자가 납부기한 이내에 이를 납부하지 아니한 경우에는 30일 이상의 기간을 정하여 이를 독촉하여야 한다. 이 경우 체납된 부담금에 대하여는 100분의 5에 상당하는 가산금을 부과한다.</p> <p>② 제1항의 규정에 의하여 징수할 수 있는 기간 이내에 부담금과 가산금을 납부하지 아니한 경우에는 국세체납처분의 예에 의하여 이를 징수할 수 있다.</p> <p>③ 해양수산부장관은 제1항의 규정에 의한 가산금을 「어업협정체결에 따른 어업인 등의 지원 및 수산업발전특별법」 제22조의 규정에 의한 수산발전기금으로 납입하여야 한다. <개정 2005.12.29></p> <p style="text-align: center;">⇩ 해양환경관리법으로 전환</p> <p>제20조(부담금의 강제징수) <해양환경관리법 개정 2007.1.19></p> <p>① 해양수산부장관은 제19조의 규정에 따라 부담금을 납부하여야 할 자가 납부기한 이내에 이를 납부하지 아니한 때에는 30일 이상의 기간을 정하여 독촉장을 발부하여야 한다. 이 경우 체납된 부담금에 대하여 100분의 5를 초과하지 아니하는 범위 안에서 대통령령이 정하는 가산금을 징수하여야 한다.</p> <p>② 제1항의 규정에 따라 독촉을 받은 자가 정하여진 납부기한 이내에 부담금 및 가산금을 납부하지 아니한 때에는 국세체납처분의 예에 따라 징수할 수 있다.</p> <p style="text-align: center;">⇩ 개정 2008.2.29</p> <p>제20조(부담금의 강제징수) <개정 2008.2.29></p> <p>① 국토해양부장관은 제19조의 규정에 따라 부담금을 납부하여야 할 자가 납부기한 이내에 이를 납부하지 아니한 때에는 30일 이상의 기간을 정하여 독촉장을 발부하여야 한다. 이 경우 체납된 부담금에 대하여 100분의 5를 초과하지 아니하는 범위 안에서 대통령령이 정하는 가산금을 징수하여야 한다.</p> <p>② 제1항의 규정에 따라 독촉을 받은 자가 정하여진 납부기한 이내에 부담금 및 가산금을 납부하지 아니한 때에는 국세체납처분의 예에 따라 징수할 수 있다.</p>

○ 해양환경개선부담금의 용도

개정 내용 및 연혁		
해양환경관리법	시행령	시행규칙
<p>제21조(부담금의 용도) <본조신설 2008.1.11> 제19조제4항의 규정에 따라 기금으로 납입된 부담금은 다음 각 호의 사업을 위하여 사용되어야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 해양오염방지 및 해양환경의 복원에 관한 사업 2. 해양환경의 보전·관리에 관한 사업 3. 친환경적 해양이용사업자 및 연안주민에 대한 지원사업 4. 제18조제1항의 규정에 따른 해양환경개선조치에 대한 사업 5. 해양환경 관련 연구개발사업 6. 해양환경의 조사·연구·홍보 및 교육에 관한 지원사업 7. 해양오염에 따른 어업인 피해의 지원 등 수산업지원사업 8. 제1호 내지 제7호와 관련된 사업으로서 대통령령이 정하는 사업 	<p>제33조(부담금 관련사업) <본조신설 2008.1.11> 제21조제8호에서 "대통령령이 정하는 사업"이란 다음 각 호의 사업을 말한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 해양오염 저감대책의 시행 및 지원에 관한 사업 2. 해양환경의 보전·관리 및 해양오염방지 활동을 위한 민간단체 지원사업 	

○ 선박으로부터의 폐기물의 배출금지

▼ 해양오염방지법/해양환경관리법

개정 내용 및 연혁
<p>제10조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <해양오염방지법 본조신설 1977.12.31></p> <p>① 누구든지 해양에서 선박으로부터 폐기물을 배출하여서는 아니된다. 다만, 다음 각호의 1에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.</p> <p>④ 제1항 본문의 규정은 산업폐기물등으로서 육지에서 처리가 곤란한 폐기물을 대통령령으로 정하는 처리방법 및 지정해역에 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다.</p> <p style="text-align: right;">⇩ 일부개정 1986.12.31</p> <p>제10조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1986.12.31></p> <p>① 누구든지 ... 아니된다. 다만, 다음 ... 아니하다.</p> <p>④ 제1항 본문의 규정은 산업폐기물등으로서 육지에서 처리가 곤란한 폐기물을 보건사회부령으로 정하는 처리방법 및 지정해역에 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다.</p> <p style="text-align: right;">⇩ 일부개정 1989.12.30</p> <p>제10조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1989.12.30 법률 제4183호></p> <p>① 누구든지 ... 아니된다. 다만, 다음 ... 아니하다.</p> <p>④ 제1항 본문의 규정은 산업폐기물등으로서 육지에서 처리가 곤란한 폐기물을 총리령으로 정하는 처리방법 및 지정해역에 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다.</p> <p style="text-align: right;">⇩ 일부개정 1991.3.8</p> <p>제16조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1991.3.8 법률 제4365호></p> <p>① 누구든지 해양에서 선박으로부터 폐기물을 배출하는 행위를 하여서는 아니된다.</p> <p>④ 제1항 본문의 규정은 육지에서 처리가 곤란한 폐기물을 그 배출이 가능한 해역에서 총리령이 정하는 처리방법에 따라 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다. 이 경우 해양배출이 가능한 폐기물의 종류·배출해역의 범위 및 배출자에 대한 배출해역 지정절차 기타 필요한 사항은 총리령으로 정한다.</p>

↓

제16조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1995.12.29 법률 제5098호>

- ① 누구든지 ... 아니된다.
- ④ 제1항 본문의 규정은 ... 해역에서 환경부령이 정하는 ... 아니한다. 이 경우 ... 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.

↓ 일부개정 1997.4.10

제16조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1997.4.10 법률 제5336호>

- ① 누구든지 ... 아니된다.
- ④ 제1항 본문의 규정은 ... 해역에서 해양수산부령이 정하는 ... 아니한다. 이 경우 ... 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.

↓ 일부개정 1999.2.8

제16조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 1999.2.8 법률 제5915호>

- ① 누구든지 해양에서 선박으로부터 폐기물을 배출하는 행위를 하여서는 아니된다. 다만, 다음 각호의 1에 해당하는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ③ 제1항 본문의 규정은 공유수면매립법 제9조의 규정에 의한 면허를 받아 매립하고자 하는 장소에 폐기물을 해양수산부령이 정하는 처리 기준 및 방법에 따라 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다.<개정 1997.4.10, 1999.2.8>
- ④ 제1항 본문의 규정은 육지에서 처리가 곤란한 폐기물을 그 배출이 가능한 해역에서 해양수산부령이 정하는 처리기준 및 방법에 따라 배출하는 경우에는 이를 적용하지 아니한다. 이 경우 해양배출이 가능한 폐기물의 종류·배출해역의 범위 및 배출자에 대한 배출해역 지정절차 기타 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.

↓ 일부개정 2000.2.11

제16조(선박으로부터의 폐기물의 배출금지) <개정 2000.2.11>

- ① 삭제
- ③ 제1항 본문의 규정은 ... 아니한다.
- ④ 제1항 본문의 규정은 ... 아니한다. 이 경우 ... 정한다.

↓ 해양환경관리법으로 전환

제22조(오염물질의 배출금지 등) <해양환경관리법 개정 2008.1.19 법률 제8260호>

① 누구든지 선박으로부터 오염물질을 해양에 배출하여서는 아니 된다. 다만, 다음 각 호의 경우에는 그러하지 아니하다.
 1. 다음 각 목의 구분에 따라 폐기물을 배출하는 경우
 나. 해양수산부령이 정하는 폐기물을 공유수면매립법 제9조 및 동법 제38조의 규정에 따라 매립하고자 하는 장소에 배출하고자 하는 경우에는 해양수산부령이 정하는 처리기준 및 방법에 따라 배출할 것

제23조(육상에서 발생한 폐기물의 해양배출금지 등) <해양환경관리법 개정 2008.1.19 법률 제8260호 >

- ① 누구든지 육상에서 발생한 폐기물을 해양에 배출할 수 없다. 다만, 해양수산부장관은 해양환경의 보전·관리에 영향을 미치지 아니하는 범위 안에서 육상에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양수산부령이 정하는 폐기물에 한하여 해양수산부령이 정하는 해양수산부령이 정하는 처리기준 및 방법에 따라 배출하게 할 수 있다.
- ② 해양수산부장관은 제1항 단서의 규정에 따라 해양에 배출하게 할 수 있는 폐기물 중 제76조제1항의 규정에 따라 폐기물위탁자가 위탁처리를 신고한 폐기물에 한하여 폐기물해양배출업자로 하여금 이를 처리하게 할 수 있다.
- ③ 해양수산부장관은 제1항 단서의 규정에 따라 해양에 배출하게 할 수 있는 폐기물에 해당하지 여부를 해양수산부령이 정하는 바에 따라 미리 검사하여야 한다.
- ④ 해양수산부장관은 제3항의 규정에 따른 검사업무를 대통령령이 정하는 바에 따라 전문검사기관에게 대행하게 할 수 있다.
- ⑤ 제1항 단서의 규정에 따른 폐기물배출해역의 신청 및 지정절차 그 밖에 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.

↳ 일부개정 2008.2.29

제23조(육상에서 발생한 폐기물의 해양배출금지 등) <해양환경관리법 개정 2008.2.29 법률 제9037호 >

- ① 누구든지 육상에서 발생한 폐기물을 해양에 배출할 수 없다. 다만, 국토해양부장관은 해양환경의 보전·관리에 영향을 미치지 아니하는 범위 안에서 육상에서 처리가 곤란한 폐기물로서 국토해양부령이 정하는 폐기물에 한하여 국토해양부령이 정하는 해양수산부령이 정하는 처리기준 및 방법에 따라 배출하게 할 수 있다.
- ② 국토해양부장관은 제1항 단서의 규정에 따라 해양에 배출하게 할 수 있는 폐기물 중 제76조제1항의 규정에 따라 폐기물위탁자가 위탁처리를 신고한 폐기물에 한하여 폐기물해양배출업자로 하여금 이를 처리하게 할 수 있다.
- ③ 국토해양부장관은 제1항 단서의 규정에 따라 해양에 배출하게 할 수 있는 폐기물에 해당하지 여부를 해양수산부령이 정하는 바에 따라 미리 검사하여야 한다.
- ④ 국토해양부장관은 제3항의 규정에 따른 검사업무를 대통령령이 정하는 바에 따라 전문검사기관에게 대행하게 할 수 있다.
- ⑤ 제1항 단서의 규정에 따른 폐기물배출해역의 신청 및 지정절차 그 밖에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다.

○ 폐기물 해양배출업자(해양환경관리업자) 의무

▼ 해양오염방지법/해양환경관리법

개정 내용 및 연혁
<p>제72조(해양환경관리업자의 의무) ① 해양환경관리업자는 폐기물의 해양투기, 오염물질의 방제, 오염물질의 청소·수거, 부유·침적된 폐기물의 수거 및 퇴적된 오염물질의 준설·수거 등에 관한 처리실적서를 작성하여 국토해양부장관 또는 해양경찰청장에게 제출하여야 하며, 그 처리 대장을 작성하고 해당 선박 또는 시설에 비치하여야 한다. <개정 2008.2.29> ② 해양환경관리업자가 선박 또는 해양시설등으로부터 오염물질을 수거하는 때에는 국토해양부령이 정하는 바에 따라 오염물질수거확인증을 작성하고 해당 오염물질의 위탁자에게 이를 교부하여야 한다. <개정 2008.2.29> ③ 폐기물해양배출업자는 해양투기의 대상이 되는 폐기물을 국토해양부령으로 정하는 바에 따라 보관·관리하고, 제23조제1항 단서에 따라 폐기물을 해양에 배출하여야 하며, 국토해양부령으로 정하는 폐기물인계·인수서를 작성하여 이를 국토해양부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2008.2.29, 2012.6.1> ④ 제1항 내지 제3항의 규정에 따른 처리실적서·처리대장, 오염물질수거확인증 및 폐기물인계·인수서의 작성방법·보존기간 등에 관하여 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다. <개정 2008.2.29></p> <p style="text-align: center;">↓ 일부개정 2012.6.1</p> <p>제72조(해양환경관리업자의 의무) ③ 폐기물해양배출업자는 해양투기의 대상이 되는 폐기물을 국토해양부령으로 정하는 바에 따라 보관·관리하고, 제23조제1항 단서에 따라 폐기물을 해양에 배출하여야 하며, 국토해양부령으로 정하는 폐기물인계·인수서를 작성하여 이를 국토해양부장관에게 제출하여야 한다. <개정 2012.6.1></p>

○ 폐기물 해양배출업자 지원 대책

▼ 해양환경관리법

개정 내용 및 연혁
<p>제70조의2(폐기물 해양배출업자 지원대책 등)</p> <p>① 국토해양부장관은 제70조제1항제1호에 따른 폐기물해양배출업자가 육상폐기물의 육상배출금지 등 대통령령으로 정하는 사유로 폐업할 경우에는 대체사업의 추진 또는 폐업지원금의 지급·용자알선 등 지원대책을 수립·시행할 수 있다.</p> <p>② 제1항에 따른 지원대책에 관하여 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다. [본조신설 2012.6.1]</p>

▼ 해양환경관리법 시행령

개정 내용 및 연혁	
제70조의2(폐기물 해양배출업자 지원 사유)	
① 법 제70조의2제1항에서 "육상폐기물의 해양배출금지 등 대통령령으로 정하는 사유"란 법 제23조제1항에 따라 육상폐기물의 해양배출이 금지 또는 축소되어 폐기물해양배출업을 계속 영위하는 것이 곤란한 경우를 말한다.[본조신설 2012.11.27]	

▼ 해양환경관리법 시행규칙

개정 내용 및 연혁	
제70조의2(폐기물 해양배출업자 지원 사유)	
① 국토해양부장관은 법 제70조의2제1항에 따라 폐기물해양배출업자에 대한 폐업지원대책을 수립할 때에는 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여야 한다.	
② 제1항에 따라 폐기물해양배출업자에 대한 폐업지원대책에 포함되어야 할 사항은 다음 각 호와 같다.	
1. 지원목적	
2. 지원대상	
3. 지원내용 및 지원기준	
4. 그 밖에 폐업지원에 필요한 사항	
③ 국토해양부장관은 폐기물해양배출업자에 대한 폐업지원대책의 추진방법 및 절차 등에 관하여 필요한 세부기준을 정하여 고시할 수 있다. [본조신설 2012.11.29]	

○ 폐기물의 공유수면 매립

▼ 해양환경관리법 시행규칙

개정 내용 및 연혁	
시행규칙	
제34조(공유수면매립에 있어서의 폐기물 처리기준 및 방법<본조신설 > ② 법제16조제3항의 규정에 의하여 의하여 공유수면을 매립하는 장소에 폐기물을 배출하는 경우 그 폐기물의 종류에 따른 배출방법은 별표 13과 같다	
[별표 13] <개정 2000.2.11> 폐기물의 종류에 따른 매립장에서의 배출방법(제34조제2항 관련)	
폐기물의 종류	매립장에서의 배출방법
1. 수저준설토사·조개껍질류 및 이와 유사한 폐기물과 선박 안의 일상생활에서 생기는 유리조각류 등의 비가연성폐기물	가. 호안시설을 설치하여 해역과 차단할 것. 다만, 해저준설토사를 선박에 의하여 호안의 안쪽에 배출하는 경우에는 배출을 종료할 때까지 선박의 항해구간에 한하여 호안시설 대신에 오탁방지막을 설치할 수 있다. 나. 상등수를 해양으로 배출하는 경우 부유물질이 흘러 나가지 못하도록 하는 시설 또는 설비를 갖출 것
2. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물	「폐기물관리법」에 의한 당해 폐기물의 처리방법에 준하여 배출할 것
↓ 해양환경관리법으로 전환	
제11조(폐기물의 배출허용기준) <개정 2008.1.18 해양수산부령 제401호> ① 법 제22조제1항제1호 나목에 따라 선박으로부터 공유수면을 매립하려는 장소에 배출할 수 있는 폐기물과 그 처리기준 및 방법은 별표 3과 같다.	

개정 내용 및 연혁
시행규칙

[별표 3] <개정 2008.1.18>
폐기물의 종류 및 배출방법(제11조제1항 관련)

폐기물의 종류	배출방법
1. 수저준설토사·조개껍질류 및 이와 유사한 폐기물과 선박 안의 일상생활에서 생기는 유리조각류 등의 비가연성폐기물	가. 호안시설을 설치하여 해역과 차단할 것. 다만, 수저준설토사를 선박에 의하여 호안의 안쪽에 배출하는 경우에는 배출을 종료할 때까지 선박의 항해구간에 한하여 호안시설 대신에 오탁방지막을 설치할 수 있다. 나. 상등수를 해양으로 배출하는 경우 부유물질이 흘러 나가지 못하도록 하는 시설 또는 설비를 갖출 것
2. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물	「폐기물관리법」에 따른 해당 폐기물의 처리에 적합한 시설을 갖추고 그 처리기준 및 방법에 따라 배출할 것

↓

제11조(폐기물의 배출허용기준) <개정 2010.9.6>
① 법 제22조제1항제1호 나목에 따라 선박으로부터 공유수면을 매립하려는 장소에 배출할 수 있는 폐기물과 그 처리기준 및 방법은 별표 3과 같다.

[별표 3] <개정 2010.9.6>
폐기물의 종류 및 배출방법(제11조제1항 관련)

폐기물의 종류	배출방법
폐기물의 종류	배출방법
1. 수저준설토사(국토해양부장관이 정하여 고시하는 유효활용기준을 충족하는 수저준설토사는 제외한다. 이하 이 표에서 같다)·조개껍질류 및 이와 유사한 폐기물과 선박 안의 일상생활에서 생기는 유리조각류 등의 비가연성폐기물	가. 호안시설을 설치하여 해역과 차단할 것. 다만, 수저준설토사를 선박에 의하여 호안의 안쪽에 배출하는 경우에는 배출을 종료할 때까지 선박의 항해구간에 한하여 호안시설 대신에 오탁방지막을 설치할 수 있다.

개정 내용 및 연혁	
시행규칙	
나. 상동수를 해양으로 배출하는 경우 부유물질이 흘러 나가지 못하도록 하는 시설 또는 설비를 갖출 것	
2. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물	「폐기물관리법」에 따른 해당 폐기물의 처리에 적합한 시설을 갖추고 그 처리기준 및 방법에 따라 배출할 것

○ 해양배출 가능 폐기물

▼ 해양환경관리법 시행규칙

개정 내용 및 연혁	
시행규칙	
제6조(산업폐기물등의 처리방법 및 지정해역) <본조신설 1987.8.31 보건사회부령 제806호 >	
<p>① 법 제10조제4항의 규정에 의하여 산업폐기물등을 해양에 배출하고자 하는 자는 환경청장으로부터 배출해역의 지정을 받아야 하며, 배출하는 경우의 처리방법과 환경청장이 지정할 수 있는 해역의 범위는 별표 4와 같다. 다만, 선박의 통상활동에 의하여 생긴 폐기물을 배출하는 경우에는 배출해역의 지정을 받지 아니하고 배출할 수 있다.</p> <p>[별표 4] 산업폐기물등의 처리방법과 지정해역(제6조제1항 관련)</p>	
<p>1. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 선박의 통상활동에 의해 발생하는 것으로서 처리전 농도가 다음 기준 이하인 카드뮴 및 그 화합물, 수은 및 그 화합물, 유기할로겐화합물을 함유한 폐기물 가. 카드뮴 및 그 화합물 0.1ppm 나. 수은 및 그 화합물 0.005ppm 다. 유기할로겐화합물 0.003ppm</p>	<p>물</p> <p>가. 시멘트로 고형화하여 비중 1.20이상으로 할 것 나. 선박의 항행중에 배출하지 아니할 것</p>
<p>지정해역</p> <p>감해역</p>	

개정 내용 및 연혁		
시행규칙		
<p>2. 공장 또는 사업장에서 발생하는 폐기물 또는 수지토사류로서 특정유해폐기물(카드뮴 및 그 화합물, 수은 및 그 화합물, 유기할로겐화합물을 제외한다)을 함유한 폐기물</p>	<p>가. 시멘트로 고형화하여 비중 1.2이상으로 할 것 나. 시멘트로 고형화하여 용출시험 결과가 다음 기준이하일 것 (1)시안(CN) : 1ppm(CN으로서) (2)유기인화합물 : 1ppm(유기인으로서) (3)연 및 그 화합물 : 1ppm(Pb로서) (4)6가크롬 및 그 화합물 : 0.5ppm(6가크롬으로서) (5)비소 및 그 화합물 : 0.5ppm(As로서) (6)동 및 그 화합물 : 3ppm(Cu로서) (7)아연 및 그 화합물 : 1ppm(Zn으로서) (8)기타:환경청장이 정하는 기준 다. 선박의 항행중에 배출하지 아니할 것.</p>	<p>감해역</p>
<p>3. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 선박의 통상활동에 의하여 발생하는 것으로서 특정유해폐기물을 다음 기준이하로 함유한 것 가. 시안(CN) : 1ppm(CN으로서) 나. 유기인화합물 : 1ppm(유기인으로서) 다. 연 및 그 화합물 : 1ppm(Pb로서) 라. 6가크롬 및 그 화합물 : 0.5ppm(6가크롬으로서) 마. 비소 및 그 화합물 : 0.5ppm(As로서) 바. 동 및 그 화합물 : 3ppm(Cu로서) 사. 아연 및 그 화합물 : 1ppm(Zn으로서) 아. 기타:환경청장이 정하는 기준</p>	<p>가. 선박에 적재시의 수소이온농도지수가 5.0이상 9.0이하일 것 나. 수중깊이 배출할 것 다. 항행중에 배출할 것</p>	<p>을해역</p>
<p>4. 총포·도검·화약류·단속범 제2조제3항의 규정에 의한 화약류·중 폐화약류</p>	<p>가. 비중 1.2이상의 상태로 하여 배출할 것 나. 분말의 상태로 배출하지 아니할 것 다. 선박의 항행중에 배출하지 아니할 것</p>	<p>을해역</p>
<p>5. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 선박의 통상활동에 의하여 발생하는 것으로서 특정유해폐기물을 함유하지 아니한 폐산 및 폐알칼리</p>	<p>가. 공장 또는 사업장에서 발생한 것은 선박에 적재할 때의 수소이온농도지수가 5.0이상 9.0이하일 것 나. 선박의 통상활동으로부터 발생한 것은 배출전의 수소이온 농도지수가 5.0이상 9.0이하일 것 다. 수중깊이 배출할 것 라. 항행중에 배출할 것</p>	<p>병해역</p>
<p>6. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 수송어로활동 기타 선박의 통상활동에 의하여 발생하는 것으로서 특정유해폐기물을 함유하지 아니한 가연성의 폐기물</p>	<p>가. 작열감량 15%이하로 할 것 나. 비중 1.2이상의 상태로 할 것</p>	<p>병해역</p>

개정 내용 및 연혁		
시행규칙		
	다. 분말의 상태가 아닐 것 라. 항행중에 배출하지 아니할 것 가. 수증깊이 배출할 것 나. 항행중에 배출할 것	병해역
7. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 선박의 통상활동에 의하여 발생하는 것으로서 오니류(유기물 및 수용성 무기물에 한한다) 및 일반폐기물중 불연성의 액상폐기물	다. 분말의 상태가 아닐 것 가. 수증깊이 배출할 것 나. 항행중에 배출할 것	병해역
8. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 선박의 통상활동에 의하여 발생하는 것으로서 일반폐기물중 불연성의 폐기물(액상의 것을 제외한다)	가. 비중 1.2이상의 상태로 할 것 나. 분말의 상태가 아닐 것 다. 항행중에 배출하지 아니할 것	병해역
9. 분뇨	가. 황산 제1철 또는 염화 제1철을 0.1%이상 혼합하여 마쇄할 것 나. 수증깊이 배출할 것 다. 항행중에 배출할 것	정해역
10. 수중어로활동 기타선박의 통상활동에 따라 발생하는 특정유해폐기물을 함유하지 아니한 오수	처리방법은 한정하지 아니한다	정해역
11. 공장 또는 사업장에서 발생하거나 어로활동에 수반하여 발생하는 폐각류	항행중에 배출하지 아니할 것	정해역
12. 준설 또는 선박의 통상활동에 따라 생기는 특정유해폐기물을 함유하지 아니하는 수저토사류	항행중에 배출하지 아니할 것	무해역
<p>주 1. 갑, 을, 병, 정, 무의 해역의 범위는 다음의 해역으로 한다. 가. 갑해역 : 북위 38도의 선, 북위 37도45분의 선, 동경 132도15분의 선 및 동경 132도30분의 선으로 둘러싸인 해역 나. 을해역 (1)북위 38도의 선, 북위 37도45분의 선, 동경 132도의 선 및 동경132도30분의 선으로 둘러싸인 해역 (2)북위 36도36분과 동경 131도15분의 점, 북위 36도20분과 동경 131도11분의 점, 북위 36도14분과 동경 131도11분의 점 및 북위 36도30분과 동경131도25분의 점을 연결한 선으로 둘러싸인 해역 다. 병해역 : 모든 국가의 영해의 기선으로부터 50해리밖의 해역 라. 정해역 : 다음의 해역외의 해역 (1)항만법에서 규정하는 항만의 구역 (2)국토이용관리법에 의한 수산자원보전지구 (3)별표2의 규정에 의한 제1해역 (4)대한민국의 영해의 기선으로부터 50해리 이내에서 농림수산부장관이 수산동식물의 생육환경이나 해양환경보전상 필요하다고 인정하여 지정하는 해역과 법 제44조의3제1항의 규정에 의하여 지정된 연안오염 특별관리해역 마. 무해역 : 모든 해역(다만 "라"의 "(1)", "(2)" 및 "(4)"에서 규정한 해역을 제외한다) 2. 배출시의 시멘트의 고형화기준은 별표3의 기준에 의한다.</p>		



개정 내용 및 연혁
시행규칙

제6조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류 등) <개정 1991.9.9 총리령 제393호>
 ② 법 제16조제4항의 규정에 의하여 제1항의 폐기물을 해양에 배출할 경우 해역별 배출가능폐기물의 종류 및 처리방법과 그 처리기준은 각각 별표5 및 별표6과 같다.
 [별표 5] 해역별 배출폐기물의 종류 및 처리방법(제6조제2항 관련)

해역	배출폐기물의 종류	처리방법
갑해역	1. 시멘트로 고형화처리한 것.	다음과 같은 집중적 처리방법(이하 "집중식 처리방법"이라 한다)에 의하여 배출할 것 가. 비중 1.2이상의 상태로 처리할 것 나. 선박의 항행중에 배출하기 위하여 처리하지 아니할 것 다. 분말의 상태로 처리하지 아니할 것 라. 폐기물이 부유되지 아니하도록 처리할 것
을해역	1. 무기성 오니류 2. 해저준설토사 3. 총포·도검·화약류 등 단속법 제2조제3항의 규정에 의한 화약류 중 쓸 수 없게 된 것	집중식처리방법에 의하여 처리할 것
병해역	1. 별표4의 육지폐기물 중 가 내지 다(수산물가공시 발생하는 폐각료를 제외한다)에서 정한 폐기물 2. 별표4의 해양폐기물 및 수산물가공시 발생하는 폐각료	1. 다음과 같은 확산식 처리방법(이하 "확산식처리방법"이라 한다)에 의하여 처리할 것 가. 해면하에 배출되도록 처리할 것 나. 선박의 항행중에 배출되도록 처리할 것 다. 혐질물을 제거할 것 2. 집중식처리방법에 의하여 처리할 것
정해역	1. 별표4의 육지폐기물 중 가·나(1) 및 다(2)(폐각료를 제외한다)에서 정한 폐기물 2. 별표4의 해양폐기물 및 수산물가공시 발생하는 폐기물	1. 확산식처리방법 및 다음의 방법에 의하여 처리할 것 가. 황산제1철 또는 염화제2철을 0.1% 이상 혼합하여 미세할 것(처리되지 아니한 분뇨에 한한다) 나. 마쇄하여 처리할 것 2. 집중식처리방법에 의하여 처리할 것
무해역	1. 수산물가공시 발생하는 폐각료 및 해저준설 토사	집중식처리방법에 의하여 처리할 것

비고: 1. 갑·을·병·정·무의 해역의 범위는 다음과 같다.
 가. 갑해역 : 북위 38도의 선, 북위 37도45분의 선, 동경 132도15분의 선 및 동경 132도30분의 선으로 둘러싸인 해역
 나. 을해역

개정 내용 및 연혁	
시행규칙	
<p>(1) 북위 38도의 선, 북위 37도45분의 선, 동경 132도의 선 및 동경 132도30분의 선으로 둘러싸인 지역(2) 북위 36도36분과 동경 131도15분의 점, 북위 36도20분과 동경 131도1분의 점, 북위 36도14분과 동경 131도11분의 점 및 북위 36도 30분과 동경 131도25분의 점을 연결한 선으로 둘러싸인 해역</p> <p>다. 병해역: 모든 국가의 영해의 기선으로부터 50해리 밖의 해역</p> <p>라. 정해역: 다음의 해역외의 해역</p> <p>(1) 항만법에서 규정하는 항만구역</p> <p>(2) 국토이용관리법에 의한 수산자원보전지역과 어항법에서 규정하는 어항구역</p> <p>(3) 별표2의 규정에 의한 제1해역</p> <p>(4) 수산업법에 의한 보호수면 및 육성수면과 별 제61조제1항의 규정에 의하여 지정된 연안오염특별관리해역</p> <p>마. 무해역: 모든 해역. 다만, 라의(1),(2) 및(4)에서 규정한 해역을 제외한다.</p> <p>2. 해양배출시 시멘트로 고정화하는 경우의 기준은 다음과 같다.</p> <p>가. 시멘트는 수경성시멘트를 사용할 것</p> <p>나. 시멘트의 양은 콘크리트 1㎡당 150kg이상 혼합하고 균질하게 섞을 것</p> <p>다. 시멘트로 고정화하여 양생한 후 1축의 압축강도가 100kg/cm² 이상일 것</p> <p>라. 형상 및 크기는 다음과 같이 할 것</p> <p>(1) 부피와 1면의 표면적의 비가 5이상일 것</p> <p>(2) 변의 길이는 최대와 최소의 비가 3이하일 것</p> <p>(3) 최소변의 길이는 30cm이상일 것</p> <p>3. 해양배출시 시멘트와 폐기물이 구체적으로 명시되지 아니한 폐기물은 폐기물의 형태·성상등을 보아 가장 유사한 해역과 처리방법에 따른다.</p> <p>4. "선박의 항행중"이라 함은 대수속도 3노트이상으로 항행하는 경우를 말한다.</p>	<p style="text-align: center;">↓</p> <p>제6조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 1991.9.9 총리령 제393호 ></p> <p>① 법 제16조제4항의 규정에 의하여 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물은 별표4와 같다.</p> <p>[별표 4] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제6조제1항 관련)</p> <p>1. 육지폐기물로서 다음의 1에 해당되는 폐기물</p> <p>가. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조의 규정에 의한 분뇨</p> <p>(1) 분소에서 수거된 분뇨로서 전처리 된 분뇨</p> <p>(2) 정화조 오니</p> <p>나. 수질환경보전법 제2조의 규정에 의한 폐수</p> <p>(1) 동법시행규칙 별표3에 의한 폐수배출시설의 아목 내지 차목의 배출시설에서 배출되는 폐수중 생물화학적산소요구량 또는 화학적산소요구</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>량의 평균적 성분이 3,000mg/l을 초과하는 폐수 및 그 방지시설에서 발생된 오니중 수분함량 95%이상인 오니</p> <p>(2)동법시행규칙 별표4의 규정에 의한 수질오염방지시설중 생물화학적처리시설에서 발생된 오니중 수분함량 95%이상인 오니</p> <p>다. 폐기물관리법에 의한 폐기물중 다음의 것</p> <p>(1)폐산 및 페알카리</p> <p>(2)수산물가공잔재물</p> <p>(3)위 나(1) 및(2)의 오니중 수분함량 95%미만인 오니</p> <p>라. 총포·도검·화약류등단속법 제2조의 규정에 의한 화약류중 쓸 수 없게 된 것</p> <p>마. 기타 환경처장관이 해양배출이 가능하다고 인정하여 고시하는 폐기물</p> <p>2. 해양폐기물로서 다음의 1에 해당하는 폐기물</p> <p>가. 해저준설토사</p> <p>나. 기타 환경처장관이 해양배출이 가능하다고 인정하여 고시하는 폐기물</p> <p style="text-align: center;">↕</p> <p>제6조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 1993.1.8 총리령 제417호 ></p> <p>① 법 제16조제4항의 ... 같다.</p> <p>[별표 4] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제6조제1항 관련)</p> <p>1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물</p> <p>가. 오수·분뇨 및 축산폐수의처리에 관한 법률 제2조의 규정에 의한 분뇨와 오수정화시설·축산폐수정화시설 또는 분뇨처리시설에서 발생된 액상(수분의 함량이 95%이상이거나 고형물의 함량이 5%미만인 것을 말한다. 이하 같다)의 것. 다만, 전처리가 필요한 분뇨는 전처리된 것에 한한다.</p> <p>다. 폐기물관리법 제2조의 규정에 의한 폐기물중 다음의 것</p> <p>(3)오니(수분의 함량이 95%미만이거나 고형물의 함량이 5%이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것</p> <p>(가)가목의 오수정화시설·축산폐수정화시설 또는 분뇨처리시설, 나무의 수질오염방지시설 또는 생물화학적처리시설에서 발생된 것</p> <p>(나)하수도법 제2조의 규정에 의한 종말처리장에서 발생된 것</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 가. 수산물가공잔재물중 폐각등 각질류의 것 다. 음용수·공업용수·냉각수·소방용수등의 저장 또는 처리시설에서 발생된 것(액상의 것을 포함한다) 라. 하수도법 제2조의 규정에 의한 하수도에서 발생하는 준설물질로서 혐잡물을 제거한 것</p> <p><u>비고:</u> 1. 확산식처리방법의 경우에는 다음과 같이 배출하여야 한다. 가. 해면아래에서 배출되도록 할 것 나. 대수층도 4노트이상으로 항행하면서 배출할 것 다. 혐잡물을 제거할 것 라. 황산제1철 또는 염화제2철을 0.1%이상 혼입하여 마쇄할 것(분노처리 시설등에 의하여 처리되지 아니한 분뇨에 한하다) 마. 마쇄하여 배출할 것(각질류를 제외한 수산물가공잔재물에 한한다) 2. 집중식처리방식의 경우에는 다음과 같이 배출하여야 한다. 가. 비중 1.2이상의 상태로 배출할 것 나. 항행중에 배출하지 아니할 것 다. 분말의 상태로 배출하지 아니할 것 라. 폐기물 또는 포장된 용기등이 부유되지 아니하도록 처리할 것</p> <p style="text-align: center;">⇩</p> <p>제6조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 1996.7.15 환경부령 제22호> ① 법 제16조제4항의 규정에 ... 별표4와 같다.</p> <p>[별표 4]<개정 1996.7.15> 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제6조제1항 관련) 1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 다. 폐기물관리법 제2조의 규정에 의한 폐기물중 다음의 것 (2)오니(수분의 함량이 95%미만이거나 고형물의 함량이 5%이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>(나) 나목의 배출시설에서 발생하는 공정오염물 및 그 방지시설에서 발생된 것 (다) 수질환경보전법시행규칙 별표 4의 수질오염방지시설중 생물화학적 처리시설에서 발생된 것 (3) 나목의 배출시설에 원료로 사용된 동식물폐기물 2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 마. 건설공사에서 배출된 오니 바. 수산화알루미늄의 제조공정에서 발생한 광물성의 폐기물</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>제35조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 1997.11.4 해양수산부령 제33호> ① 법 제16조제4항의 규정에 의하여 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물은 별표 14와 같다.</p> <p>[별표 14] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제35조제1항관련) 1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 나. 수질환경보전법 제2조의 규정에 의한 폐수중 다음의 것 (1) 수질환경보전법시행규칙 별표 3의 폐수배출시설의 분류중 제4호 내지 제15호 및 제73호의 배출시설에서 배출되는 폐수 및 그 수질오염 방지시설에서 발생된 액상의 것 다. 폐기물관리법 제2조의 규정에 의한 폐기물중 다음의 것 (2) 오니(수분의 함량이 95%미만이거나 고형물의 함량이 5%이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것 (가) 가목의 오수처리시설·축산폐수처리시설 또는 분뇨처리시설에서 발생된 것</p> <p style="text-align: center;">⇓</p> <p>제35조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 2002.2.11 해양수산부령 제159호> ① 법 제16조제4항의 규정에 의하여 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물은 별표 14와 같다.</p> <p>[별표 14] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제35조제1항관련) 1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>비 고 :</p> <p>3. 폐산 및 폐알카리는 1998년의 배출량을 기준으로 1999년에는 90퍼센트 이내, 2000년에는 75퍼센트 이내, 2001년에는 50퍼센트 이내에 해당 하는 양을 배출할 수 있으며, 2002년 1월 1일부터는 이를 배출하여서는 아니된다.</p> <p style="text-align: center;">⇩</p> <p>제35조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 2004.3.19 해양수산부령 제270호> ① 법 ... 별표 14와 같다. [별표 14] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제35조제1항관련) 1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 라. 폐기물관리법시행령 제4조의 규정에 따른 폐기물처리시설에서 발생한 폐수중 다음의 것 (1)기계적 처리시설중 음식물류 폐기물을 처리하는 연료화시설에서 발생한 액상의 것 (2)생물학적 처리시설중 음식물류 폐기물을 처리하는 사료화·퇴비화시설 및 호기성(호기성)·혐기성(혐기성) 분해시설에서 발생한 액상의 것 마. 어류·패류의 것갈 또는 그 것갈의 생산·유통 및 보관과정에서 발생한 폐기물</p> <p style="text-align: center;">⇩</p> <p>제35조(해양배출이 가능한 폐기물의 종류등) <개정 2006.2.21 해양수산부령 제330호> ① 법 ... 별표 14와 같다. [별표 14] 육지에서 처리가 곤란한 폐기물로서 해양배출이 가능한 폐기물(제35조제1항관련) 1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 라. 폐기물관리법시행령 제4조의 규정에 따른 폐기물처리시설에서 발생한 폐수중 다음의 것 (2)생물학적 처리시설중 음식물류 폐기물을 처리하는 사료화·퇴비화시설 및 호기성(호기성)·혐기성(혐기성) 분해시설에서 발생한 액상의 것 (수질환경보전법 시행규칙 별표 3제2호의 배출시설란 제10호의 음식물류폐기물을 원료로 하는 사료제조시설에서 발생한 것을 포함한다)</p> <p>2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 나. 수저준설토사로서 합성로프·페어구·플라스틱류·닝마 또는 고무제품 등 이물질이 섞인 물건을 제거한 것</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>비고</p> <p>1. 확산처리방법의 경우에는 다음 각목과 같이 배출하여야 한다. 다. 합성로프·페어구·플라스틱류·닝마·고무제품·머리카락, 동물의 털 등 이물질이 섞인 물건을 제거할 것</p> <p>2. 집중식처리방식의 경우에는 다음과 같이 배출하여야 한다. 다. 가로의 상태로 배출하지 아니할 것</p> <p style="text-align: center;">⇓ 해양환경관리법으로 변경(2008.1.18)</p> <p>제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등) <개정 2008.1.18 해양수산부령 제401호></p> <p>① 법 제23조제1항 단서에 따라 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출할 수 있는 폐기물은 별표 6과 같고, 그 배출해역 및 처리방법은 별표 7과 같다.</p> <p>[별표 6] 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물(제12조제1항 관련)</p> <p>1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 가. 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조의 규정에 의한 분뇨 또는 축산폐수와 우수처리시설·축산폐수처리시설 또는 분뇨처리시설에서 발생하는 액상(수분의 함량이 95%이상이거나 고형물의 함량이 5%미만인 것)을 말한다. 이하 같다)의 것. 다만, 전처리가 필요한 분뇨는 전처리된 것에 한한다.</p> <p>나. 수질환경보전법 제2조의 규정에 의한 폐수중 다음의 것 (1) 수질환경보전법시행규칙 별표 3의 폐수배출시설의 분류중 제4호 내지 제15호 및 제73호의 배출시설에서 배출되는 폐수 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 액상의 것 (2) 수질환경보전법시행규칙 별표 4의 수질오염방지시설중 생물화학적처리시설에서 발생한 액상의 것 다. 폐기물관리법 제2조의 제1호 규정에 따른 폐기물 중 오니(수분의 함량이 95%미만이거나 고형물의 함량이 5%이상인 것)을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것 다. 폐기물관리법시행령 제4조의 규정에 따른 폐기물처리시설에서 발생한 폐수중 다음의 것</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 가목의 우수처리시설·축산폐수처리시설 또는 분뇨처리시설에서 발생한 것 (2) 나목의 배출시설에서 발생하는 공정오니 및 그 방지시설에서 발생한 것 (3) 수질환경보전법시행규칙 별표 4의 수질오염방지시설중 생물화학적 처리시설에서 발생한 것 (4) 하수도법 제2조의 규정에 따른 하수종말처리시설에서 발생한 것

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>(1)기계적 처리시설중 음식물류 폐기물을 처리하는 연료화시설에서 발생한 액상의 것 (2)생물학적 처리시설중 음식물류 폐기물을 처리하는 사료화·퇴비화시설 및 호기성(호기성)혐기성(혐기성) 분해시설에서 발생한 액상의 것 (수질환경보전법 시행규칙 별표 3제2호의 배출시설란 제10호의 음식물류폐기물을 원료로 하는 사료제조시설에서 발생한 것을 포함한다)</p> <p>마. 어류·패류의 젓갈 또는 그 젓갈의 생산·유통 및 보관과정에서 발생한 폐기물 바. 기타 국제협약에서 허용하는 품목으로서 해양수산부장관이 확산식처리방법에 의하여 해양배출이 가능하다고 인정하여 고시하는 폐기물</p> <p>2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 가. 수산물가공잔재물 또는 수산업법 제72조의2의 규정에 의한 연안수역의 정화시에 수거되는 조개껍질 등 각질류의 것 나. 수저준설토사로서 합성로프·페어구·플라스틱류·넙마 또는 고무제품 등 이물질이 섞인 물건을 제거한 것 다. 먹는물·공업용수·냉각수·방응수등의 저장 또는 처리시설에서 발생한 것(액상의 것을 포함한다). 라. 하수도법 제2조의 규정에 의한 하수도에서 발생하는 준설물질로서 잡것이 섞인 물건을 제거한 것.</p> <p>비 고 :</p> <p>1. 확산처리방법의 경우에는 다음 각목과 같이 배출하여야 한다. 가. 해면아래에서 배출되도록 할 것 나. 대수층도 4노트이상으로 항행하면서 배출할 것 다. 합성로프·페어구·플라스틱류·넙마, 고무제품, 머리카락, 동물의 털 등 이물질이 섞인 물건을 제거할 것 라. 황산제1철 또는 염화제2철을 0.1%이상 섞어넣어 갈아서 부술 것(분뇨처리시설등에 의하여 처리되지 아니한 분뇨에 한한다) 마. 갈아서 부수어 배출할 것(각질류를 제외한 수산물가공잔재물에 한한다)</p> <p>2. 집중식처리방법의 경우에는 다음과 같이 배출하여야 한다. 가. 비중 1.2이상의 상태로 배출할 것 나. 항행중에 배출하지 아니할 것 다. 가루의 상태로 배출하지 아니할 것 라. 폐기물 또는 포장된 용기 등이 떠다니지 아니하도록 처리할 것</p> <p style="text-align: right;">↓ 개정 2010.9.6</p> <p>제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등) <개정 2010.9.6 국토해양부령 제300호> ① 법 제23조제1항 단서에 따라 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출할 수 있는 폐기물은 별표 6과 같고, 그 배출해역 및 처리방법은 별</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>표7과 같다.</p> <p>[별표 6] 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물(제12조제1항 관련)</p> <p>3. <u>해저지질구조내 고립격리 방법에 의하여 배출해야 하는 폐기물 : 이산화탄소 포집공정으로부터 발생한 “이산화탄소 스트림(Stream)”으로</u> <u>서 국토해양부장관이 이산화탄소스트림의 성질과 상태, 해저지질구조와 위치, 처리방법 등을 정하여 고시하는 폐기물</u></p> <p style="text-align: center;">⇓ 개정 2011.12.29(하수처리오니, 가축분뇨, 음폐수 해양투기 금지 개정)</p> <p>제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등) <개정 2008.1.18 해양수산부령 제401호></p> <p>① 법 제23조제1항 단서에 따라 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출할 수 있는 폐기물은 별표 6과 같고, 그 배출해역 및 처리방법은 별표 7과 같다.</p> <p>[별표 6]</p> <p>육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물(제12조제1항 관련)</p> <p>1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물</p> <p>가. 「하수도법」 제2조에 따른 분뇨 또는 분뇨처리시설에서 발생한 액상(수분의 함량이 95% 이상이거나 고형물의 함량이 5% 미만인 것을 말한다. 이하 같다)의 분뇨인 것. 다만, 전처리가 필요한 분뇨는 전처리된 것만 해당한다.</p> <p>나. 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조에 따른 폐수 중 다음의 것</p> <p>1) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호의 배출시설란 제4호부터 제15호까지 및 제73호의 배출시설에서 배출된 폐수 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 액상의 것</p> <p>2) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설에서 발생한 액상의 것</p> <p>다. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물 중 오니(수분의 함량이 95% 미만이거나 고형물의 함량이 5% 이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것</p> <p>1) 가목의 분뇨처리시설에서 발생한 것</p> <p>2) 나목1)의 배출시설에서 발생한 공정오니 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 것</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>3) 나목2)의 처리시설에서 발생한 것</p> <p>4) 삭제 <2011.12.29></p> <p>라. 「폐기물관리법 시행령」 제5조에 따른 폐기물처리시설에서 발생한 폐수 중 다음의 것</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 기계적 처리시설 중 음식물류 폐기물을 처리하는 연료화시설에서 발생한 액상의 것 2) 생물학적 처리시설 중 음식물류 폐기물을 처리하는 사료화·퇴비화시설 및 호기성(好氣性) 혐기성(嫌氣性) 분해시설에서 발생한 액상의 것 (「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표4 제2호의 배출시설란 제10호의 음식물류폐기물을 원료로 하는 사료제조시설에서 발생한 것을 포함한다) <p>마. 어류·패류의 찌갈 또는 그 찌갈의 생산·유통 및 보관과정에서 발생한 폐기물</p> <p>바. 수산물가공잔재물(조개껍질 등 각질류의 것은 제외한다)</p> <p>사. 나목의 배출시설에서 원료로 사용된 동·식물폐기물</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물 <p>가. 수산물가공잔재물 또는 「어장관리법」 제15조에 따른 어장정화·정비를 실시하는 때에 수거되는 조개껍질 등 각질류의 것</p> <p>나. 수저준설토사로서 합성로프, 페어구, 플라ستيك류, 냉마 또는 고무제품 등 이물질이 섞인 물건을 제거한 것</p> <p>3. 해저지질구조내 고립격리 방법에 의하여 배출해야 하는 폐기물</p> <p>: 이산화탄소 포집공정으로부터 발생한 "이산화탄소 스트림(Stream)"으로서 국토해양부장관이 이산화탄소 스트림의 성질과 상태, 해저지질구조와 위치, 처리방법 등을 정하여 고시하는 폐기물</p> <p>4. 그 밖에 국제협약에서 해양배출이 허용되는 폐기물로서 다음 각 목의 요건을 모두 충족하는 폐기물. 이 경우 국토해양부장관은 그 폐기물의 종류, 대상지역, 배출기간 및 배출량 등을 구체적으로 정하여 고시하여야 한다.</p> <p>가. 육상의 폐기물처리시설의 가동중단 등 육상에서의 처리가 현저히 곤란한 사유가 발생할 것</p> <p>나. 국토해양부장관이 정하는 절차에 따라 관계 지방자치단체의 장의 요청이 있을 것</p> <p>다. 국토해양부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의할 것</p> <p>비고 : 제1호가목 및 다목의 수분함량 또는 고형물함량의 측정은 해양환경공정시험기준에 따른다.</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p><u>부칙<국토해양부령 제423호></u> <u>제1조(시행일)</u> 이 규칙은 2012년 1월 1일부터 시행한다. 다만, 별표 6 제1호라목의 개정규정은 2013년 1월 1일부터 시행한다.</p> <p style="text-align: center;">⇓ 개정 2012.12.21(분노, 폐수 및 폐수처리오니 해양투기 금지 개정)</p> <p>제12조(해양배출이 가능한 육상폐기물의 종류 등) <개정 2008.1.18 해양수산부령 제401호> ① 법 제23조제1항 단서에 따라 육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출할 수 있는 폐기물은 별표 6과 같고, 그 배출해역 및 처리방법은 별표 7과 같다. [별표 6]</p> <p>육상에서 발생한 폐기물 중 해양에 배출가능한 폐기물(제12조제1항 관련)</p> <p>1. 확산식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물</p> <p><u>가. 삭제 <2012.12.21></u> 나. 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조에 따른 폐수 중 다음의 것</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호의 배출시설란 제4호부터 제15호까지 및 제73호의 배출시설에서 배출된 폐수 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 액상의 것(음식물류 폐기물을 원료로 사료화하는 것은 제외한다) 2) 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설에서 발생한 액상의 것(음식물류 폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 것은 제외한다) <p>다. 「폐기물관리법」 제2조제1호에 따른 폐기물 중 오니(수분의 함량이 95% 미만이거나 고형물의 함량이 5% 이상인 것을 말한다. 이하 같다)로서 다음의 것</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 가목의 분뇨처리시설에서 발생한 것 2) 나목1)의 배출시설에서 발생한 공정오니 및 그 수질오염방지시설에서 발생한 것 3) 나목2)의 처리시설에서 발생한 것 4) 삭제 <2011.12.29>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
<p>라. 삭제 <2012.12.21></p> <p>마. 어류·패류의 것갈 또는 그 것갈의 생산·유통 및 보관과정에서 발생한 폐기물</p> <p>바. 수산물가공잔재물(조개껍질 등 각질류의 것은 제외한다)</p> <p>사. 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호의 배출시설란 제4호부터 제15호까지 및 제73호의 배출시설에서 원료로 사용된 등·식물폐기물</p> <p>2. 집중식처리방법에 의하여 배출하여야 하는 폐기물</p> <p>가. 수산물가공잔재물 또는 「어장관리법」 제15조에 따른 어장정화·정비를 실시하는 때에 수거되는 조개껍질 등 각질류의 것</p> <p>나. 수저준설토사로서 함성로프, 폐어구, 플라스틱류, 님마 또는 고무제품 등 이물질이 섞인 물건을 제거한 것</p> <p>3. 해저지질구조내 고립격리 방법에 의하여 배출해야 하는 폐기물</p> <p>: 이산화탄소 포집공정으로부터 발생한 "이산화탄소 스트림(Stream)"으로서 국토해양부장관이 이산화탄소 스트림의 성질과 상태, 해저지질구조와 위치, 처리방법 등을 정하여 고시하는 폐기물</p> <p>4. 그 밖에 국제협약에서 해양배출이 허용되는 폐기물로서 다음 각 목의 요건을 모두 충족하는 폐기물. 이 경우 국토해양부장관은 그 폐기물의 종류, 대상지역, 배출기간 및 배출량 등을 구체적으로 정하여 고시하여야 한다.</p> <p>가. 육상의 폐기물처리시설의 가동중단 등 육상에서의 처리가 현저히 곤란한 사유가 발생할 것</p> <p>나. 국토해양부장관이 정하는 절차에 따라 관계 지방자치단체의 장의 요청이 있을 것</p> <p>다. 국토해양부장관은 관계 중앙행정기관의 장과 협의할 것</p> <p>비고 :</p> <p>1. 액상은 수분의 함량이 95% 이상이거나 고형물의 함량이 5% 미만인 것을 말한다.</p> <p>2. 수분함량 또는 고형물함량의 측정은 해양환경공정시험기준에 따른다.</p> <p>부칙<국토해양부령 제555호, 2012.12.21></p> <p>제1조(시행일) 이 규칙은 2013년 1월 1일부터 시행한다.</p>

개정 내용 및 연혁
시행규칙
제2조(해양에 배출할 수 있는 폐기물에 관한 특례) 별표 6 제1호 각 목외의 부분 단서에도 불구하고 별표 6 제1호나목 및 다목에 따른 폐기물 중 국토해양부장관이 재활용·소각·육상 매립 등의 다른 방법으로 처리하는 것이 현저히 곤란하여 해양 배출이 불가피하다고 인정하는 폐기물은 2014년 1월 1일부터 2015년 12월 31일까지의 기간 중 국토해양부장관이 정한 기간 동안 해양에 배출할 수 있다. 이 경우 해당 폐기물은 별표 7에 따른 처리방법에 따라 처리되어 배출해역에 배출되어야 하고, 법 제10조에 따른 해양환경공정시험기준 및 별표 8의 처리기준에 적합하여야 한다.

○ 산업폐기물 등의 처리방법 및 지정해역

1987 7 1 12206	6 (10 4) ①	→
1987 8 31 806	[4] 가. 1.2	(6 1)

	<p>가 , 가 0.1ppm 0.005ppm 0.003ppm</p>	<p>가 1.2 가 (1) (CN) : 1ppm(CN) (2) : 1ppm() (3) : 1ppm(Pb) (4)67 : 0.5ppm (67 (5) : 0.5ppm(As) (6) : 3ppm(Cu) (7) : 1ppm(Zn) (8) :</p>	
	<p>2. ()</p>	<p>가 5.0 9.0 가</p>	
	<p>3. 가 (CN) : 1ppm(CN) : 1ppm() : 1ppm(Pb) 67 : 0.5ppm (67 : 0.5ppm(As) : 3ppm(Cu) : 1ppm(Zn) :</p>	<p>가 1.2 가</p>	
	<p>4. , , 2 3 가 1.2 가</p>	<p>가 5.0 9.0 가</p>	
	<p>5. 가 9.0 가 5.0</p>	<p>가 5.0 9.0 가</p>	

			가 5.0	
		9.0		
6.		가. 15%		
		1.2	가	
가				
7.		가.		
()			
8.		가. 1.2	가	
	(
9.		가. 1	1 0.1%	
10.				
11.				
12.				
1.	, , , 38	, 37 45	, 132 15	132 30
가.				
(1)	38	, 37 45	, 132	132 30
(2)	36 36	131 15	, 36 20	131 1 , 36 14
	131 11	36 30	131 25	
:	:	가	50	
:	:			

	<p>(1) (2) (3) 2 1 50 (4) 44 3 1</p> <p>2. : (" " "(1)", "(2)" "(4)") 3</p>										
1988 5 25 816	<p>[4] (6 1)</p> <p>3. 가 (가) .</p>	3.									
1991 9 9 393	<p>6 (가)</p> <p>② 16 4 1 5 6 .</p> <p>가</p> <p>[5] (6 2)</p> <table border="1" data-bbox="836 703 1326 1715"> <tr> <td data-bbox="836 1630 1075 1715">1.</td> <td data-bbox="836 1167 1075 1630">. (")</td> <td data-bbox="836 703 1075 1167">가. 1.2 (")</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1075 1630 1185 1715">1. 2. 3.</td> <td data-bbox="1075 1167 1185 1630">. 2 3</td> <td data-bbox="1075 703 1185 1167">. ; . ; .</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1185 1630 1326 1715">1. 가</td> <td data-bbox="1185 1167 1326 1630">가 ()</td> <td data-bbox="1185 703 1326 1167">1. ") (") 가. ; .</td> </tr> </table>	1.	. (")	가. 1.2 (")	1. 2. 3.	. 2 3	. ; . ; .	1. 가	가 ()	1. ") (") 가. ; .	
1.	. (")	가. 1.2 (")									
1. 2. 3.	. 2 3	. ; . ; .									
1. 가	가 ()	1. ") (") 가. ; .									

		2. 4 가	2.
1. ()		가. (1)	(2) 1. 가. 1 2 0.1% ()
2. 4 가		가	2.
1. 가			
: 1. 38 , 37 45 , 132 15 132 30			
가. (1) 38 , 37 45 , 132 132 30			
(2) 36 36 131 15 , 36 20 131 1 ,			
36 14 131 11 36 30 131 25			
. : 가 50			
(1) :			
(2)			
(3) 2 1 61 1			
(4)			
. : , (1),(2) (4) .			
2. 가. 1m³ 150kg			
. 1 가 100kg/cm³			
(1) 1 가 5			
(2) 가 3			
(3) 30cm			
3. 가			
4. " 3			

1993 1 8
417

6 (16 4)
② 가 1
. 5 6 가 .< 1993.1.8>

[5]< 1993.1.8> 가 (6 2)

		가	
1.	: 38 , 132 , 15 132 30		
2.	: 38 , 37 132 30 , 132	가 1 : 가	(1) (2) (3) . . . 2
	. 36 36 131 15 , 36 20 131 01 36 14 131 11 131 25 36 30	. 2 : 가 1	1
3.	: 50 가	가. 36 38 , 35 38 38 , 130 131	(1) 4 1 (2) 4 2 , . . . , 40%

		36 36 10 (1) 4 1 (2) 4 2 가	
4.	가. 35 30 130 03 , 35 21 130 19 , 35 06 129 42 34 57 129 58	: 124 13 , 124	(1) 4 1 (2) 4 2 가
5.	1 가	4 가	4 2 가
: 1.			
가.			
		61	

	<p>2. 가. · 1m³ 150kg · 1 가 100 kg/cm³ (1) 1 가 5 (2) 가 3 (3) 30cm</p>					
<p>1996 7 15 22</p>	<p>35 (가) [5] < 1993.1.8 > 가 (6 2)</p> <table border="1" data-bbox="708 707 868 1715"> <tr> <td>2. :</td> <td>가</td> </tr> <tr> <td>3. : 가 50</td> <td>가. : (2) 4 2</td> </tr> </table>	2. :	가	3. : 가 50	가. : (2) 4 2	<p>2. · 3. ·</p>
2. :	가					
3. : 가 50	가. : (2) 4 2					
<p>1997 11 4 33</p>	<p>35 (가) ② 15 16 . 가 (35 2)</p> <table border="1" data-bbox="1059 707 1315 1715"> <tr> <td>2. 가. · 가. 가</td> <td>가</td> </tr> <tr> <td>3. : 가 50</td> <td>가. : (1) 14 1 ... (2) 14 2 ... (1) 14 1 ... (2) 14 2 ...</td> </tr> </table>	2. 가. · 가. 가	가	3. : 가 50	가. : (1) 14 1 ... (2) 14 2 ... (1) 14 1 ... (2) 14 2 ...	<p>6 → 35 ② 5 6 → 15 16 2. 가. · (1) 4 → 14 3. (1) 4 → 14</p>
2. 가. · 가. 가	가					
3. : 가 50	가. : (1) 14 1 ... (2) 14 2 ... (1) 14 1 ... (2) 14 2 ...					

	<p>4. : 가. (1) 14 1 ... (2) 14 2 ... 14 2 14 2 14 2 14 2</p>	
2000 2 11 159	[15]< 2000.2.11> 가 (35 2)	
2005 3 12 290	[15]< 2000.2.11> 가 (35 2) 1. , r _____ 40	1 .
2006 2 21 330	[15] < 2005.3.12, 2006.2.21> 3. : 가 가 (2) 4. : 가. (1)..... 가 1. 가..... 2 4 가 (35 2)	3. “ 40% ” 1. 가.
2008 1 18 401	12 (가) ⊕ 23 1 6 , 7 . (12 1) [7]	→ 가 → “ 가 “

1987 8 31 806	6 (① 10 4) 4 (6 1)	
[4]		
1. 가 가 0.1ppm 0.005ppm 0.003ppm	가 . I.2	
2. 가 ()	가 . I.2 (1) (CN) : 1ppm(CN) (2) : 1ppm((3) : 1ppm(Pb) (4)67 : 0.5ppm (67) (5) : 0.5ppm(As) (6) : 3ppm(Cu) (7) : 1ppm(Zn) (8) :	가 가
3.	가 .	가

	가. (CN) : 1ppm(CN) : 1ppm(: 1ppm(Pb) . 6가 : 0.5ppm (6가) : 0.5ppm(As) : 3ppm(Cu) : 1ppm(Zn) :	5.0 9.0 : :	
	4. , , 2 3	가. 1.2 . .	
	5.	가. 9.0 . 9.0 . .	가 5.0 가 5.0
	6. 가	가. 15% . 1.2 . 가 .	
	7. ()	가.	
	8.)	가. 1.2 가 . .	
	9.	가. 1 1 0.1%	

	<p>10. .</p> <p>11.</p> <p>12.</p> <p>1. ' ' : 38 , 37 45 , 132 i5 , 132 30</p> <p>(1) 38 . 37 45 , 132 132 30</p> <p>(2) 36 36 131 15 , 36 20 131 1 , 36 14</p> <p>131 11 가 36 30 131 25</p> <p>: : 50</p> <p>(1)</p> <p>(2)</p> <p>(3) 2 1 50 44 3 1</p> <p>(4)</p> <p>. : (" " "(1)", "(2)" "(4)")</p> <p>2. 3</p>		
1988 5 25 816	<p>[4] (6 1)</p> <p>3. 가</p> <p>6 (가)</p>		3.
1991 9 9	<p>6 (가)</p> <p>② 16 4 1</p> <p>가 5 6</p>		.

393	<p>[6] (6 2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">(mg/l)</th> <th colspan="2">(mg/kg, mg/l)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>5.0 - 9.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>—</td> <td>—</td> <td>20</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td>1</td> <td>8</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>3</td> <td>40</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>2</td> <td>8</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.1</td> <td>0.05</td> <td>0.5</td> <td>0.1</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.005</td> <td>0.002</td> <td>0.02</td> <td>0.005</td> <td>0.005</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0.5</td> <td>0.3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>0.5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>6 가</td> <td>0.5</td> <td>0.3</td> <td>3</td> <td>0.5</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>15</td> <td>8</td> <td>60</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>P C B</td> <td>0.003</td> <td>0.001</td> <td>0.010</td> <td>0.003</td> <td>0.003</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>3</td> <td>15</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p>1. 2.</p>			(mg/l)		(mg/kg, mg/l)										—	—	—	5.0 - 9.0			—	—	20	5		1	1	1	1	1		2	1	8	2	2		5	3	40	5	5		3	2	8	3	3		0.1	0.05	0.5	0.1	0.1		0.005	0.002	0.02	0.005	0.005		1	0.5	1	1	1		0.5	0.3	3	1	1		1	0.5				6 가	0.5	0.3	3	0.5	0.5		15	8	60	15	15	P C B	0.003	0.001	0.010	0.003	0.003		5	3	15	5	5	
		(mg/l)		(mg/kg, mg/l)																																																																																																				
		—	—	—	5.0 - 9.0																																																																																																			
		—	—	20	5																																																																																																			
	1	1	1	1	1																																																																																																			
	2	1	8	2	2																																																																																																			
	5	3	40	5	5																																																																																																			
	3	2	8	3	3																																																																																																			
	0.1	0.05	0.5	0.1	0.1																																																																																																			
	0.005	0.002	0.02	0.005	0.005																																																																																																			
	1	0.5	1	1	1																																																																																																			
	0.5	0.3	3	1	1																																																																																																			
	1	0.5																																																																																																						
6 가	0.5	0.3	3	0.5	0.5																																																																																																			
	15	8	60	15	15																																																																																																			
P C B	0.003	0.001	0.010	0.003	0.003																																																																																																			
	5	3	15	5	5																																																																																																			
1993 1 8 417	<p>6 (가) ② 16 4) 5 6 가 .< 1993.1.8> [6]< 1993.1.8> (6 2)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">(: mg/L)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			(: mg/L)								1	50			1	1																																																																																							
		(: mg/L)																																																																																																						
		1	50																																																																																																					
		1	1																																																																																																					

	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="248 689 600 1025"> <p>20 90 15 1 0.05 1 5 1 5 200 0.03 50</p> </td> <td data-bbox="248 1025 600 1227"> <p>2 5 3 0.1 0.005 1 0.5 1 0.5 15 0.003 5</p> </td> </tr> </table> <p>6 가</p> <p>P C B</p> <p>1. 가. : 11</p> <p>7 . 가 : 7</p> <p>2. 4 1 가 2 가 .</p> <p>3. , .</p>	<p>20 90 15 1 0.05 1 5 1 5 200 0.03 50</p>	<p>2 5 3 0.1 0.005 1 0.5 1 0.5 15 0.003 5</p>			
<p>20 90 15 1 0.05 1 5 1 5 200 0.03 50</p>	<p>2 5 3 0.1 0.005 1 0.5 1 0.5 15 0.003 5</p>					
1996 7 15 22		→				
1997 11 4 33	<p>35 (가)</p> <p>② ... 15 16</p> <p>[16]</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="959 689 1070 1025">(: mg/L)</td> <td data-bbox="959 1025 1070 1227">(: mg/L)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="959 689 1070 1025"></td> <td data-bbox="959 1025 1070 1227">10</td> </tr> </table>	(: mg/L)	(: mg/L)		10	<p>→</p> <p>6 → 35</p> <p>5 6 → 15 16</p> <p>1 → 10</p>
(: mg/L)	(: mg/L)					
	10					
2006 2 21	<p>35 (가)</p> <p>② 16 4 . 15 16 .</p>	<p>, () .</p>				

[16] < 2006.2.21 >

_____ (35 2)

1. 14 1 7F (mg/kg,)

	1	2
()	10,000	2,000
	200	40
	4,000	800
	1,850	370
	9,000	1,800
	2,000	400
	20	4
	5	1
	100	20
	145	29
	1,100	220
- 28	0.15	0.03
- 52	0.15	0.03
- 101	0.15	0.03
- 118	0.15	0.03
- 138	0.15	0.03
- 153	0.15	0.03
- 180	0.15	0.03
(a)	4	0.8
	5	1
	4	0.8
(a)	4.5	0.9
	10	2.5
(a)	5	1
(b)	4	0.8

2.	14	1	·	2	가	(mg/kg,
)
		1	5	2		1
-	28	0.15	0.15	0.03		0.03
-	52	0.15	0.15	0.03		0.03
-	101	0.15	0.15	0.03		0.03
-	118	0.15	0.15	0.03		0.03
-	138	0.15	0.15	0.03		0.03
-	153	0.15	0.15	0.03		0.03
-	180	0.15	0.15	0.03		0.03

3.	14	2	(mg/kg,
)
		1	2
		370	80
		410	200
		270	65
		10	2.5
		1.2	0.3
		70	20
		220	50
		52	35
		0.180	0.023
		45	4

※

1. 1 2 가 1 1 2
가 14 가 1 2
. 14 가

2. " 4 3 3
3. " - 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
4. " " (a) , , (a)

(b)

2008 1 18 401	12 (가) ② [8] 23 3 10 가 8	→
2008 3 14 4	12 ② ... 12 2)	→

○ 계기물 운반선의 등록

1978 7 1 3079	11 () ① . ② 1	
1987 7 1 3905	11 () ① ② 1	① → ② →
1990 1 3 4183	11 () ① (1989.12.30). ② 1 1989.12.30).	① → ② →

<p>1991 9 9 4365</p>	<p>18 () ① 16 4 _____ _____ _____ . ② 1 _____ . _____ .</p>	<p>11 → 18 ① ②</p>
<p>1996 6 30 5098</p>	<p>18 () ① 16 4 1995·12·29 > ② 1 _____ . < 1995·12·29 > ③ 1 _____ 7† _____ . < 1995·12·29 > _____</p>	<p>① ② → ③</p>
<p>1997 10 11 5336</p>	<p>18 () ① 16 4 1995·12·29, 1997·4·10 > ② 1 _____ . < _____ . < _____ . < 1995·12·29, 1997·4·10 > ③ 1 _____ 7† _____ . < 1995·12·29, 1997·4·10 ></p>	<p>① ② → ③ →</p>
<p>1999 2 8</p>	<p>18 () ⇒ 18 ()</p>	<p>→</p>

○ 해양배출업자 규정

<p>1999 2 8 5915</p>	<p>18 () 16 4 가 (" ") . 21 () ① 가 6 1 2 2005.12.29> 1. 20 1 6 , , 20 5 가 2. 3. 1 2 4. 16 4 5. 1 1 5 2. 18 6. 19 2 7. 22 () ① 18 . .<改正 1995.12.29, 1997.4.10> ② 1 3 ,.<改正 1995.12.29, 1997.4.10></p>	

○ 폐기물 배출해역 지정신청

<p>1987 8 31 806</p>	<p>6 (1) ② 1) 가 (가 5 . , 4 " " 5 [5] (6 2) 1. 가. : , 2. 가. (, PH,) 3. 가. , : (,)</p>
--------------------------	--

1991 9 9
393

7 ()

①

16 4

3

2

9 1)

. 가

1.

2.

3. ②

1 ()

)

1.

2.

3. 3

3

8 ()

①

()

. .

. .

. 가

②

가 .

	<p>③ < % : 4% ></p> <p>9 ()</p> <p>① 8 3 가 5</p> <p>< : 5 ></p> <p>15</p> <p>1. 1 : 가</p> <p>2. 1 : 가</p> <p>② 1</p>	4
<p>1993 1 8 417</p>	<p>7 ()</p> <p>① 18</p> <p>가</p> <p>4 1 가</p> <p>1. _____</p> <p>2. _____</p> <p>3. _____</p> <p>4. _____</p> <p>5. _____</p> <p>② 1</p> <p>[_____ 1993.1.8]</p>	

<p>1994 10 14 468</p>	<p>7 () ①....< 1994.10.14> 8 () ①.....< 1994.10.14> ②.....< 1994.10.14> ④.....< 1994.10.14> ⑤.....< 1994.10.14> ⑥.....< 1994.10.14> ⑦.....< 1994.10.14> 9 () ①.....< 1993.1.8, 1994.10.14> ②.....< 1993.1.8, 1994.10.14></p>	<p>→</p>
<p>1996 7 15 22</p>	<p>7 () ②...< 1996.7.15> 8 () ①.....< 1994.10.14, 1996.7.15> ⑥.....< 1994.10.14, 1996.7.15> 9 () ②.....< 1993.1.8, 1994.10.14, 1996.7.15></p>	<p>→</p>
<p>1997 11 4</p>	<p>36 () ①.....6...<.....> ② 1.....<.....></p>	<p>→ 7 → 36 8 → 37 9 → 38 3 → 6</p>

33	<p>37 () ① 16 4 ② ④ ... 7 ⑤ ... 1 38 () ① 37 4 ... 8 ② 1 (가) . .</p>	<p>36 ① → 5. ② → 37 ① 16 4 가 ④ 4 → 7 ⑤⑥⑦ 1 가 ⑤ 1 가 38 ① 37 4 가</p>
1999 1 14 90	<p>36 (< 1999.1.14 > ①< 1999.1.14 > ② <1999.1.14 > 37 () ③... 3 ...< 1999.1.14 > 38 () ① ... 30< 1999.1.14 ></p>	<p>36 ① 18 ② 37 ③ 1 → 3 38 ① 15 →30</p>
2000 2 11 159	<p>36 (< 1999.1.14 > ② 1 가< 2000.2.11 > 가 10 .< 2000.2.11 ></p>	

2004 8 7 277	<p>36 (① ...) < 1999.1.14 > 5 1 < (.....) < 1999.1.14, 2000.2.11, 2004.8.7 ></p> <p>38 (①) , (.....) , 21 1</p> <hr/> < 1999.1.14, 2004.8.7 >	<p>36 ① 4 1 → ... 가 5 1</p> <p>38 ① 가</p>
-----------------	--	--

○ 계기물 해양채출업의 등록기준

<p>2002 2 9 17120</p>	<p>10 () ① 18 (“ ”) 4 . ② 1 .< 2000. 2. 9> [4] < 2000. 2. 9> (10 1) 1. : . 1 2. : 1 3. : 가 , (.) 1m³ 가 2m³ 가 1. . , 2. . , 3. .</p>
---------------------------	---

	<p>· [18] <2000.2.11> [19] <2000.2.11></p>	
<p>2006 2 21 330</p>	<p>[17 2] < 2005.3.12, 2006.2.21> · _____ (39 2) 1. 가. ... 2. . 「 」 .</p>	<p>1. 가. ... 가 2. . 가</p>

2. 폐기물 해양배출 현황

가. 연도별 폐기물 해양배출 현황

배출해역에 배출된 폐기물 배출량 자료는 현재 입수 가능한 자료는 1988년부터이지만, 폐기물의 종류별로 분류된 배출자료는 1991년 자료부터 남아있다. 1991년부터 2012년까지 해양 배출된 폐기물 종류 및 해역별 배출량 자료를 표 4-4-6~9에 정리하였다.

폐기물 해양배출량은 1988년에 547천 m^3 을 시발로 하여 매년 급격히 증가하였고, 유기성오니의 직매립이 금지된 2005년에는 9,929천 m^3 으로 18년간 18.2배가 늘어났다.

그러나 2006년부터 실시된 정부의 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」이 수립·시행되면서 매년 10% 이상 지속적으로 감소했다.

특히 '12년부터 해양배출량 중 절반을 차지한 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출이 금지되면서 '12년의 준설토를 제외한 육상폐기물의 해양배출량은 2,288천 m^3 로서 '92년 수준에 근접한 획기적인 성과를 달성했다(그림 4-4-14).

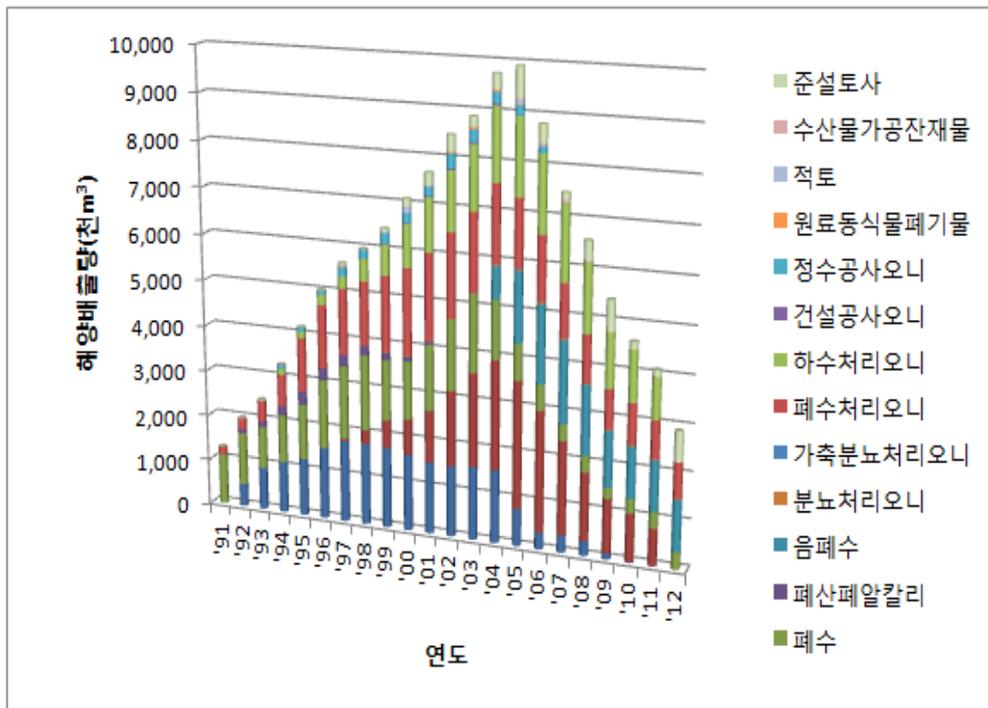


그림 4-4-14. 연도별 폐기물 해양배출량 추이

표 4-4-6. 우리나라 배출해역에서 폐기물별 해양배출 추이

(단위 : 천 m³)

년도	액상류				유기성 오폐수				무기성 오폐수		원료동식 물폐기물	광물성 폐기물	수산물가 공잔재물	준설물질		총계
	분노	가축분뇨	폐수	폐산업용액리	음폐수	분노처리오니	가축분뇨처리 오니	폐수처리오니	하수처리오니	간질공사오니				경수공사오니	정소준설토사		수지준설토사
1991	0	0	1,105	0	0	0	0	179	0	0	0	0	2	0	0	1,286
1992	499	0	1,148	87	0	0	0	241	0	0	0	0	15	0	0	1,990
1993	929	0	921	125	0	0	0	450	10	0	10	0	20	0	0	2,465
1994	1,124	0	1,040	213	0	0	0	692	129	0	76	0	17	0	0	3,291
1995	1,256	0	1,203	298	0	0	0	1,169	143	0	87	0	13	0	0	4,169
1996	1,562	0	1,500	257	0	0	0	1,374	231	0	72	0	17	1	0	5,014
1997	1,778	52	1,586	249	0	0	0	1,419	266	0	199	20	24	38	0	5,631
1998	1,780	297	1,637	206	0	8	0	1,356	484	2	182	0	13	11	0	5,976
1999	1,746	605	1,311	157	0	24	0	1,607	658	19	223	5	8	55	15	6,444
2000	1,666	765	1,257	107	0	30	0	1,837	920	14	210	5	8	101	65	7,104
2001	1,554	1,126	1,417	67	0	11	0	1,848	1,145	22	196	6	6	77	196	7,671
2002	1,538	1,626	1,520	0	0	12	0	1,794	1,268	35	301	28	5	137	211	8,475
2003	1,593	2,006	1,660	0	0	18	8	1,666	1,364	35	259	45	5	74	141	8,874
2004	1,582	2,346	1,258	0	698	23	10	1,650	1,547	35	238	31	12	95	220	9,749
2005	807	2,745	777	0	1,498	26	19	1,441	1,629	13	196	18	28	67	568	9,929
2006	364	2,607	563	0	1,656	43	15	1,352	1,640	7	122	14	9	40	332	8,811
2007	377	2,020	356	0	1,755	35	10	1,124	1,609	0	0	14	11	0	153	7,498
2008	328	1,461	356	0	1,484	24	11	1,014	1,457	0	0	14	3	0	409	6,584
2009	128	1,172	232	0	1,203	24	12	836	1,161	0	0	1	8	0	647	5,433
2010	15	1,039	308	0	1,100	30	16	867	1,093	0	0	1	9	0	151	4,629
2011	5	794	361	0	1,071	23	11	812	887	0	0	3	4	0	136	4,108
2012	0	0	266	0	1,192	22	0	802	0	0	0	4	2	0	840	3,128
sum	20,631	20,661	21,781	1,766	11,657	353	112	25,531	17,641	182	2,371	208	344	696	4,084	128,260

표 4-4-7. 서해평해역에서 폐기물별 해양배출 추이

(단위 : 천 m³)

년도	예상류				유기성 오폐수				무기성 오폐수		원료동식물 폐기물	광물성 폐기물	수산물가공 잔재물		준설물질		총계
	분뇨	가축분뇨	폐수	폐산폐알칼리	음폐수	분뇨처리오니	가축분뇨처리오니	폐수처리오니	하수처리오니	건설공사오니			정수공사오니	정수준설토사	수거준설토사		
1991	0	0	982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	982
1992	0	0	978	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	989
1993	0	0	716	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	726
1994	0	0	795	0	0	0	0	73	0	0	0	0	0	0	0	0	868
1995	0	0	914	0	0	0	0	126	9	0	0	0	0	0	0	0	1,049
1996	209	0	1,204	0	0	0	0	116	85	0	0	0	0	0	0	0	1,614
1997	306	0	1,380	0	0	0	0	214	93	0	0	20	0	0	0	0	2,013
1998	291	44	1,455	0	0	0	0	357	282	0	0	0	0	0	0	0	2,429
1999	296	148	1,071	0	0	0	0	423	442	0	0	0	0	0	0	0	2,380
2000	262	126	928	0	0	0	0	467	640	0	0	0	0	0	0	0	2,423
2001	189	112	846	0	0	2	0	483	758	0	0	0	0	0	0	0	2,390
2002	211	159	673	0	0	3	0	561	808	0	0	9	0	0	0	0	2,424
2003	197	358	507	0	0	9	8	575	744	0	0	8	0	0	0	0	2,406
2004	189	356	266	0	245	10	7	522	798	0	0	4	0	0	0	0	2,397
2005	139	256	161	0	503	10	10	443	856	0	0	0	0	5	0	0	2,383
2006	133	278	148	0	484	11	8	349	749	0	0	0	0	0	0	0	2,160
2007	177	207	94	0	483	9	5	273	676	0	0	0	0	0.1	0	0	1,924
2008	206	153	103	0	354	7	7	219	539	0	0	0	0	0.1	0	0	1,588
2009	95	97	65	0	372	9	7	206	435	0	0	0	0	0	0	0	1,286
2010	0	98	132	0	436	14	9	237	438	0	0	0	0	0.1	0	0	1,364
2011	0	30	157	0	524	11	8	251	362	0	0	0	0	0	0	0	1,342
2012	0	0	128	0	554	12	0	347	0	0	0	0	0	0.1	0	0	1,041
sum	2,900	2,422	13,704	0	3,955	106	69	6,263	8,714	0	0	41	0	6	0	0	38,178

표 4-4-8. 동해병해역에서 폐기물별 해양배출 추이

(단위 : 천 m³)

년도	액상류					유기성 오폐수					무기성 오폐수		원료동식 물폐기물	광물성폐 기물	수산물가 공진재물	준설물질		총계
	분뇨	가축분뇨	폐수	폐산폐물/일리	음폐수	분뇨처리오니	가축분뇨처리 오니	폐수처리오니	하수처리오니	건설공사오니	정수공사오니	정수준설토사				수저준설토사		
													분뇨	가축분뇨	폐수		폐산폐물/일리	음폐수	분뇨처리오니	가축분뇨처리 오니	폐수처리오니	하수처리오니	건설공사오니	정수공사오니	정수준설토사	수저준설토사
1991	0	0	20	0	0	0	0	179	0	0	0	0	0	0	2	0	0	201
1992	0	0	23	87	0	0	0	230	0	0	0	0	0	0	3	0	0	343
1993	28	0	83	125	0	0	0	440	10	0	10	0	0	0	11	0	0	707
1994	80	0	109	213	0	0	0	619	129	0	76	0	0	0	10	0	0	1,236
1995	80	0	120	276	0	0	0	1,043	134	0	79	0	0	0	7	0	0	1,739
1996	133	0	118	257	0	0	0	1,258	146	0	72	0	0	0	12	1	0	1,997
1997	160	51	124	249	0	0	0	1,205	173	0	199	0	0	0	17	38	0	2,216
1998	162	211	148	206	0	0	8	999	202	2	182	0	0	0	9	11	0	2,140
1999	62	187	161	157	0	0	24	1,184	216	19	223	5	11	6	55	15	0	2,325
2000	67	246	242	107	0	0	30	1,370	280	14	210	5	119	6	101	65	0	2,862
2001	119	458	488	67	0	0	9	1,365	387	22	196	6	0	4	77	196	0	3,394
2002	141	806	756	0	0	0	9	1,233	460	35	301	19	0	4	113	211	0	4,088
2003	175	902	1,042	0	0	0	9	1,091	620	35	259	37	0	4	74	124	0	4,372
2004	213	1,324	934	0	363	0	13	1,128	749	35	238	27	4	3	95	133	0	5,262
2005	238	1,871	571	0	789	0	16	998	773	13	196	18	97	4	67	223	0	5,883
2006	216	1,369	356	0	1,129	0	32	1,003	891	7	122	14	47	3	40	238	0	5,474
2007	182	875	200	0	1,272	0	26	851	933	0	0	14	34	5	0	87	0	4,484
2008	112	551	201	0	1,130	0	17	795	918	0	0	14	23	3	0	181	0	3,949
2009	26	500	119	0	831	0	15	630	726	0	0	1	9	2	0	0	0	2,864
2010	8	533	152	0	664	0	16	630	655	0	0	1	0	2	0	0	0	2,668
2011	1	506	187	0	547	0	12	562	525	0	0	3	0	2	0	0	0	2,350
2012.11	0	0	137	0	638	0	10	455	0	0	0	4	0	2	0	0	0	1,247
sum	2,203	10,390	6,292	1,744	7,363	247	43	19,268	8,927	182	2,363	167	344	122	672	1,473	0	61,801

표 4-4-9. 동해정해역에서 폐기물별 해양배출 추이

(단위 : 천 m³)

년도	액상류				유기성 오폐수				무기성 오폐수		원료동식 물폐기물	광물성폐 기물	수산물가 공진재물	준설품질		총계
	분뇨	가축분뇨	폐수	폐산업용유리	음폐수	분뇨처리오폐수	가축분뇨처리 오폐수	폐수처리오폐수	하수처리오폐수	건설공사오폐수				정수공사오폐수	정수준설품질		수지준설품질
1991	0	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
1992	499	0	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	658
1993	901	0	122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	1,032
1994	1,044	0	136	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	1,187
1995	1,176	0	169	22	0	0	0	0	0	8	0	0	6	0	0	1,381
1996	1,220	0	178	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1,403
1997	1,312	1	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	1,402
1998	1,327	42	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1,407
1999	1,388	270	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1,739
2000	1,337	393	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1,819
2001	1,246	556	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1,887
2002	1,186	661	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	24	0	1,963
2003	1,221	746	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	17	2,096
2004	1,180	666	58	0	90	0	0	0	0	0	0	0	9	0	87	2,090
2005	430	618	45	0	206	0	0	0	0	0	0	0	19	0	345	1,663
2006	15	960	59	0	43	0	0	0	0	0	0	0	6	0	94	1,177
2007	18	938	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	66	1,090
2008	10	757	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	228	1,047
2009	7	575	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	647	1,283
2010	7	408	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	151	597
2011	4	259	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	136	417
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	643	643
sum	15,528	7,850	1,786	22	339	0	0	0	0	8	0	0	113	24	2,415	28,084

나. 배출해역별 해양배출 현황

폐기물 해양배출 초기인 '90년 초에는 서해병해역이 전체 해양배출량 중 절반 이상을 차지했다. 그러나 하수처리오니가 동해병해역에 해양배출되기 시작한 '93년부터 서해병해역 의존도는 점차 감소하였고, 특히 '98년부터 서해병해역 해양배출량을 2,400천 m^3 이하로 제한하면서 총 폐기물 해양배출 중 서해병해역 의존도가 30%를 유지해 왔고, 상대적으로 동해병해역 의존도가 50% 이상으로 높아졌다.

'12년부터 하수처리오니와 가축분뇨의 해양배출이 금지되면서 '12년에 배출해역별 준설토를 제외한 육상폐기물 해양배출 비중은 동해정해역은 0%로 전무했고, 서해병해역과 동해병해역은 각각 46%, 54%로 비슷한 수준이다(그림 4-4-15).

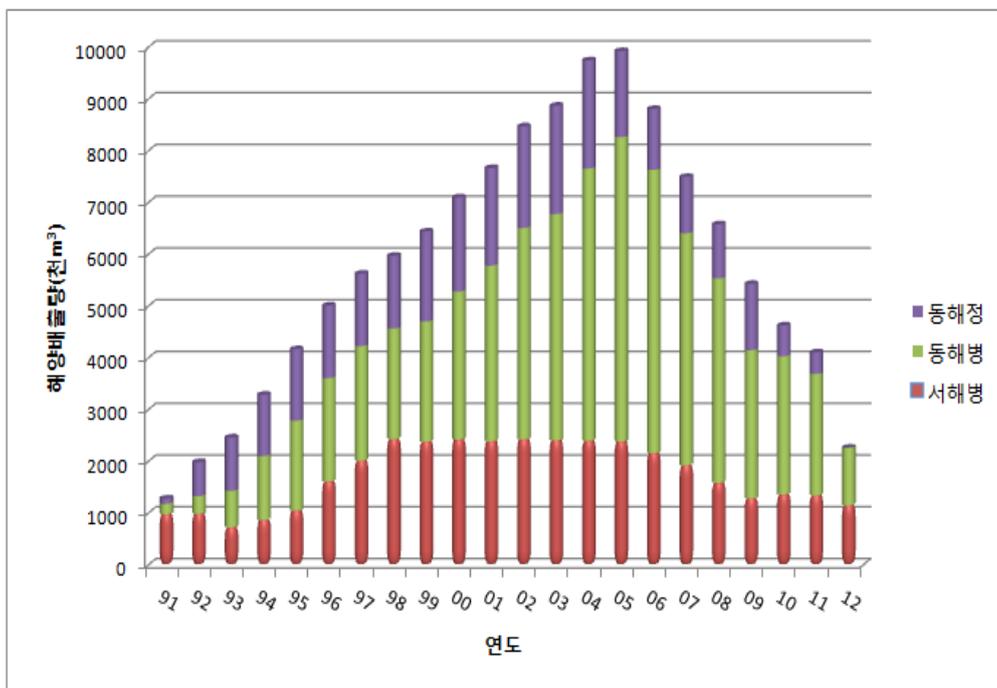


그림 4-4-15. 2012년까지 폐기물 해양배출량의 해역별 의존도

다. 폐기물 종류별 해양배출 현황

폐기물 해양배출 초기인 '90년 초에는 폐수가 전체 해양배출 폐기물 중

80% 이상으로 거의 대부분을 차지했지만, '92년부터 분뇨, 폐산폐알칼리, 그리고 '93년부터 하수처리오니 해양배출이 시작되면서 종류는 점차 다양해 지면서 이들 폐기물이 전체 해양배출 폐기물에서 차지하는 비중도 증가했다. 유기성 오니 육상직매립금지 직후인 '06년에 하·폐수처리오니가 전체 해양배출 폐기물 중 31%를 차지했다.

그러나 '12년부터 하수처리오니와 가축분뇨의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 '12년에 해양배출 폐기물 중 음폐수와 폐수처리오니가 각각 41%, 27%로 절반 이상을 차지했다(그림 4-4-16).

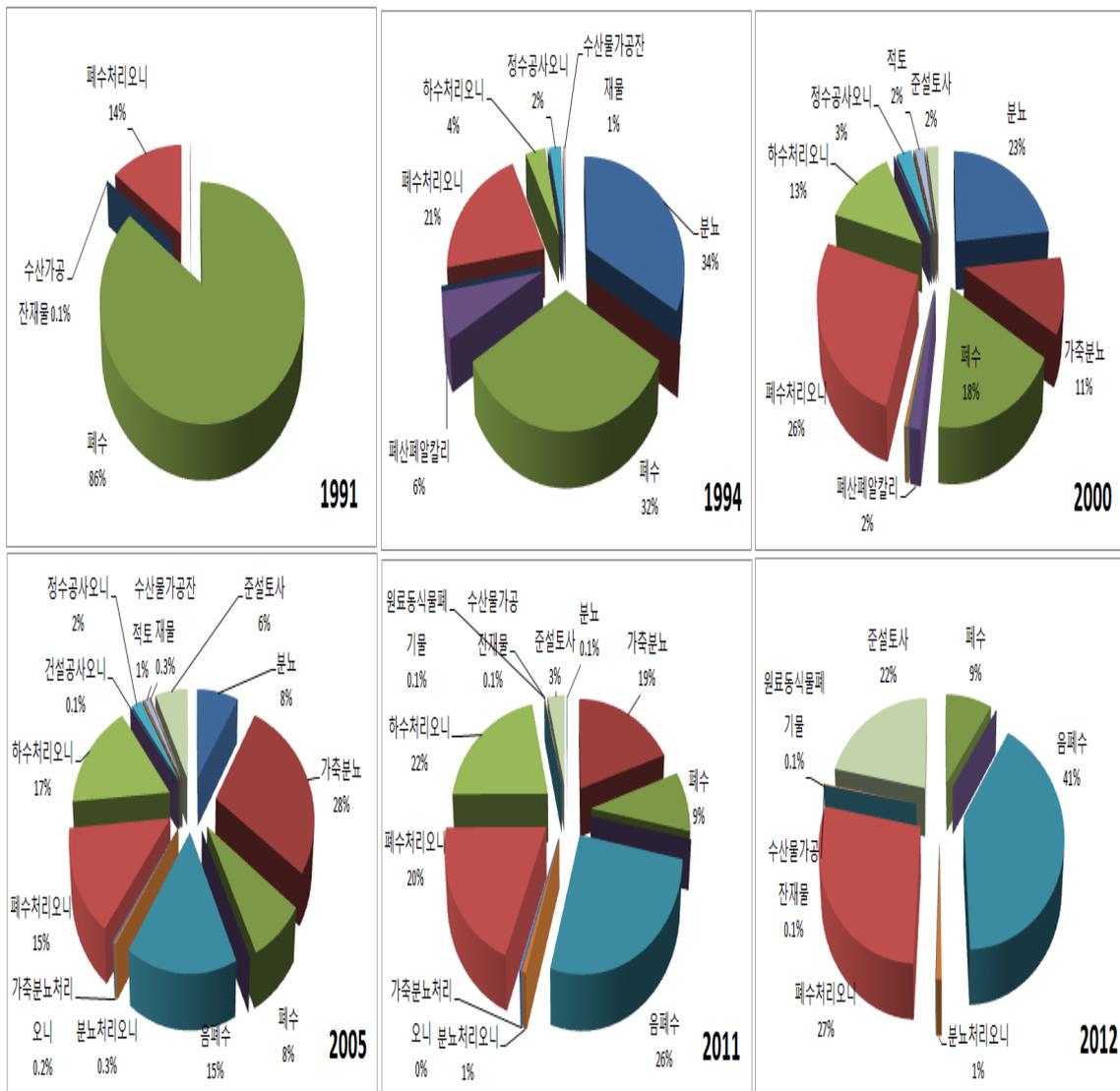


그림 4-4-16. 연도 및 폐기물 종류별 해양배출 변혁

라. 폐기물 해양배출 누적량

2012년까지 해양배출된 폐기물 총 누적량(준설토 포함)은 128,260천m³이다.

배출해역별로는 동해병해역 48%, 서해병해역 30% 및 동해정해역 22%로 나타났다(그림 4-4-17~18, 표 4-4-9).

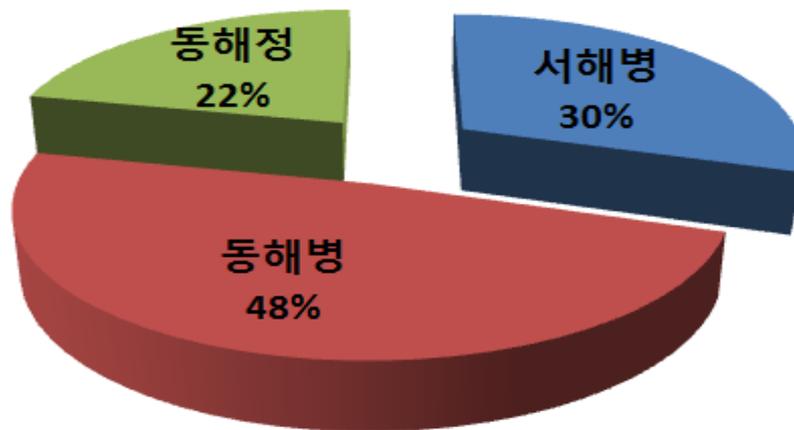


그림 4-4-17. 각 배출해역에 배출된 폐기물 총량 누적 비율

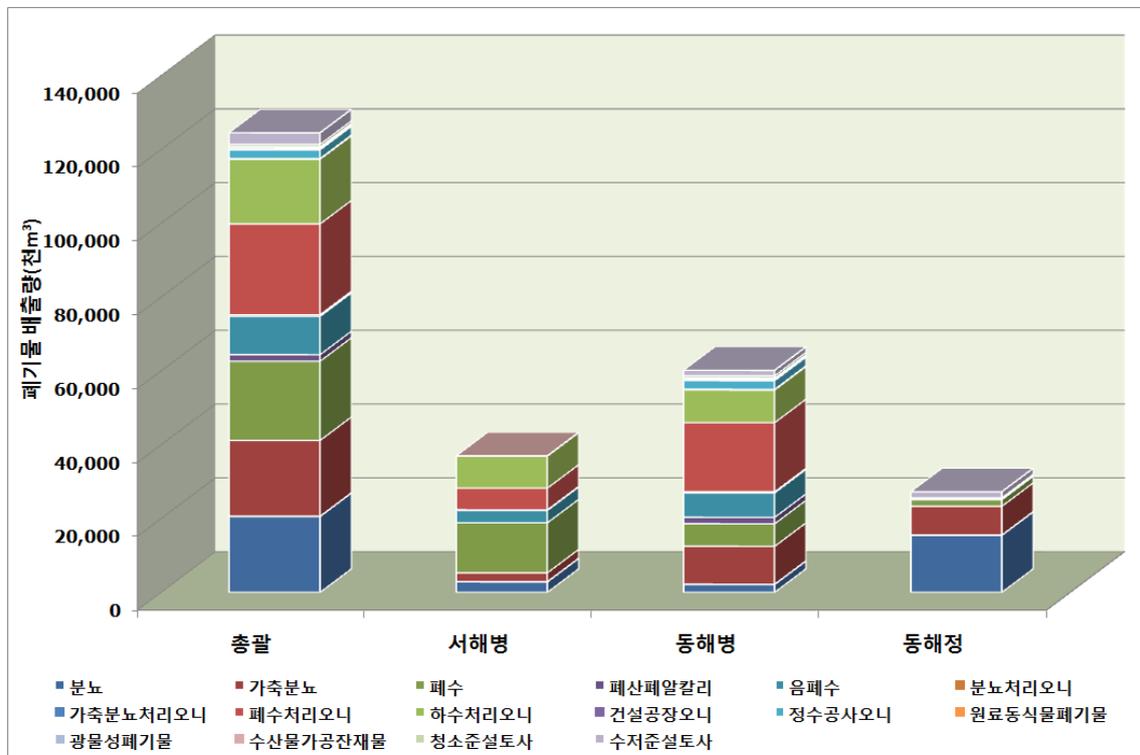


그림 4-4-18. 각 배출해역에 배출된 폐기물별 누적량

표 4-4-10. 2012년 각 배출해역에 배출된 폐기물별 누적량

(단위 : 천m³)

	2,900	2,203	15,528	20,631
가	2,422	10,390	7,850	20,662
	13,704	6,292	1,786	21,782
	0	1,744	22	1,766
	3,955	7,363	339	11,657
	106	247	0	353
가	69	43	0	112
	6,263	19,268	0	25,531
	8,714	8,927	0	17,641
	0	182	0	182
	0	2,371	0	2,371
	41	167	0	208
	0	344	0	344
가	6	122	113	241
	0	2,145	2,635	4,780
	38,180	61,808	28,273	128,261

마. 지방자치단체별 폐기물 해양배출 현황

1) 지방자치단체별 해양배출 의존도

'07년부터 '12년까지 전체 해양배출 중 지방자치단체별 폐기물 해양배출 의존도를 그림 4-4-19에 나타냈다.

경기도, 경상남·북도가 총 해양배출량 중 40% 이상을 차지하고 있다. 제주도는 '08년까지 해양배출 의존도가 1% 정도이었으나, 점차 감소하여 '12년에는 해양배출 0를 달성했다.

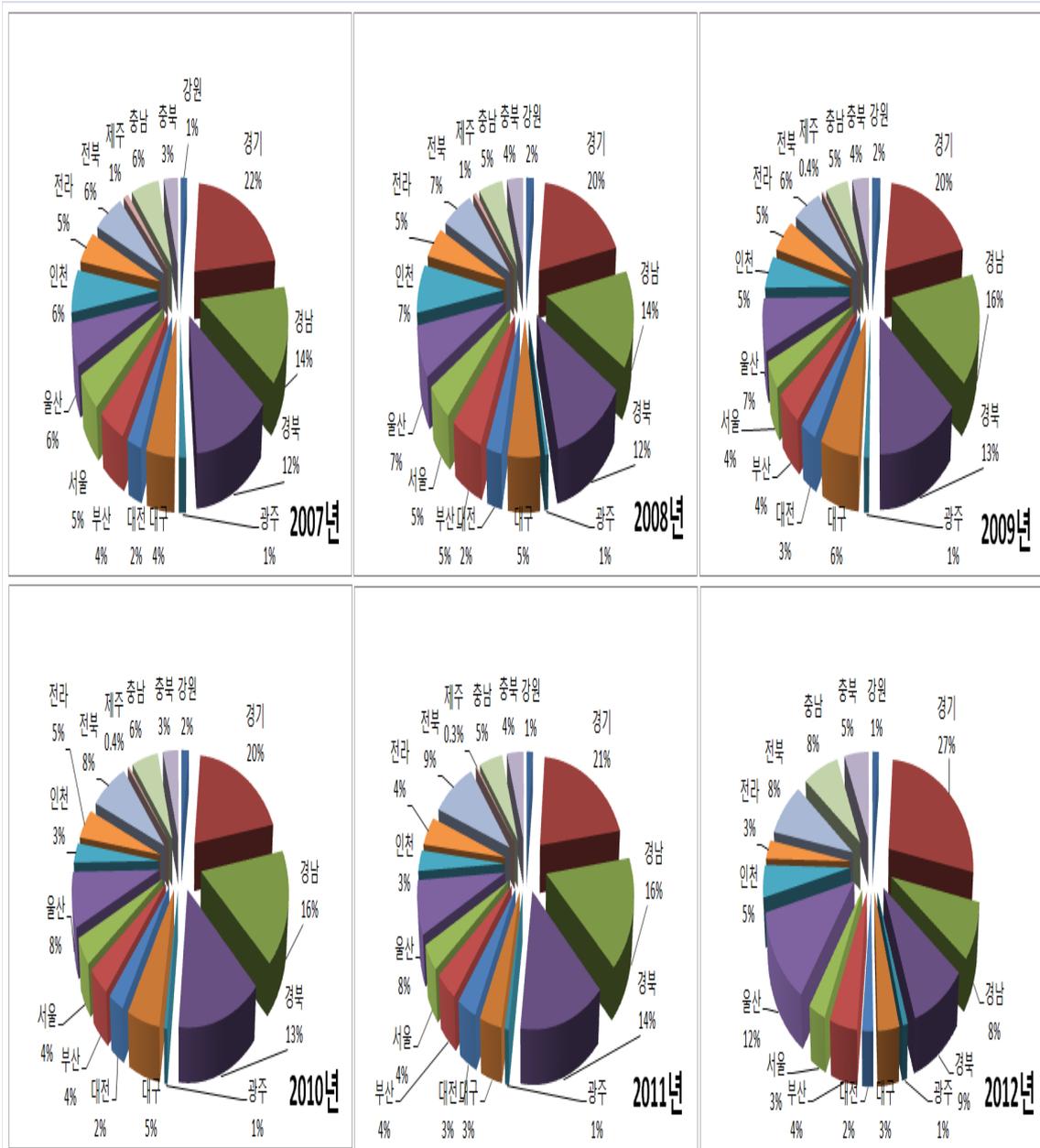


그림 4-4-19. 지방자치단체별 폐기물 해양배출 의존도 변화

2) 해양배출 금지예정 폐기물의 지방자치단체 해양배출 의존도

'11년까지 해양배출 폐기물 중 절반 이상을 차지했던 하수처리오니와 가축 분뇨는 '12년부터 해양배출 금지되었다. 이에 따라 현재 해양배출되는 폐기물 중 대부분을 차지하는 음폐수, 폐수처리오니 및 폐수의 지방자치단체별 해양배출 의존도를 정리했다.

가) 음폐수

'07년부터 '12년까지 지방자치단체별 음폐수의 연도별 해양배출 의존도를 그림 4-4-20에 나타냈다.

전체 폐기물 해양배출량 의존도와 같이 경기도, 경상남·북도가 음폐수 해양배출량 중 절반 이상을 차지하였다.

제주도는 '07년부터 음폐수의 해양배출이 종료되었다. 단지 광주광역시는 '09년부터 음폐수 해양배출을 종료했지만, 해양배출 금지 직전년도인 '12년에는 음폐수 14,270천m³의 해양배출을 재개하였다. 음폐수 해양배출은 '13년부터 금지될 예정이다(국토해양부령 제423호).

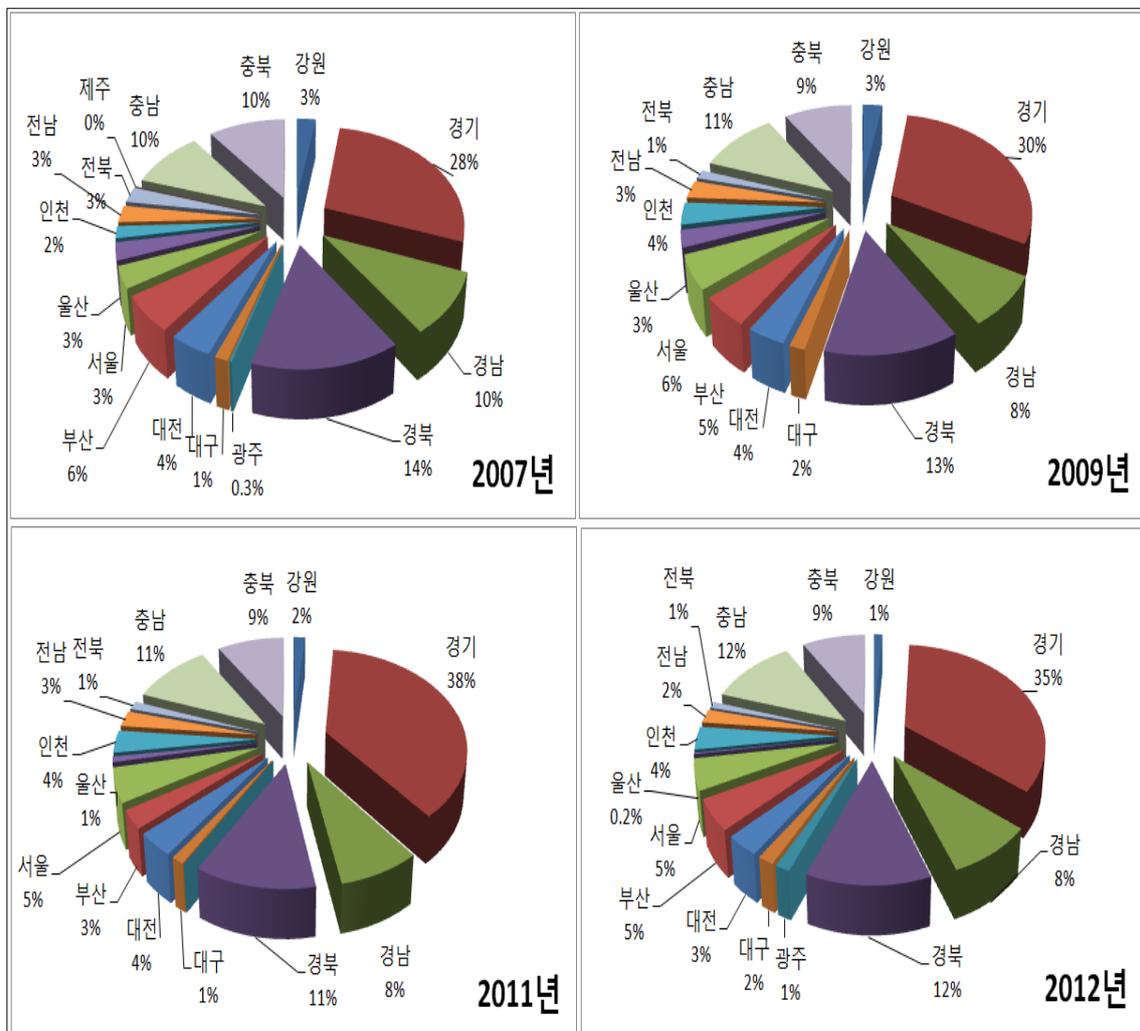


그림 4-4-20. 지방자치단체별 음폐수의 연도별 해양배출 의존도 변화

나) 폐수처리오니

'07년부터 '12년까지 지방자치단체별 폐수처리오니의 연도별 해양배출 의존도를 그림 4-4-21에 나타냈다.

음폐수와는 달리 폐수처리오니는 대규모 산업단지가 위치해 있는 울산광역시와 경기도의 해양배출 의존도가 높다. 제주도는 '11년부터 폐수처리오니 해양배출이 종료되었다.

폐수처리오니는 육상폐기물 해양배출 제로화정책에 의해 '14년부터 해양배출이 금지된다(국토해양부령 제555호).

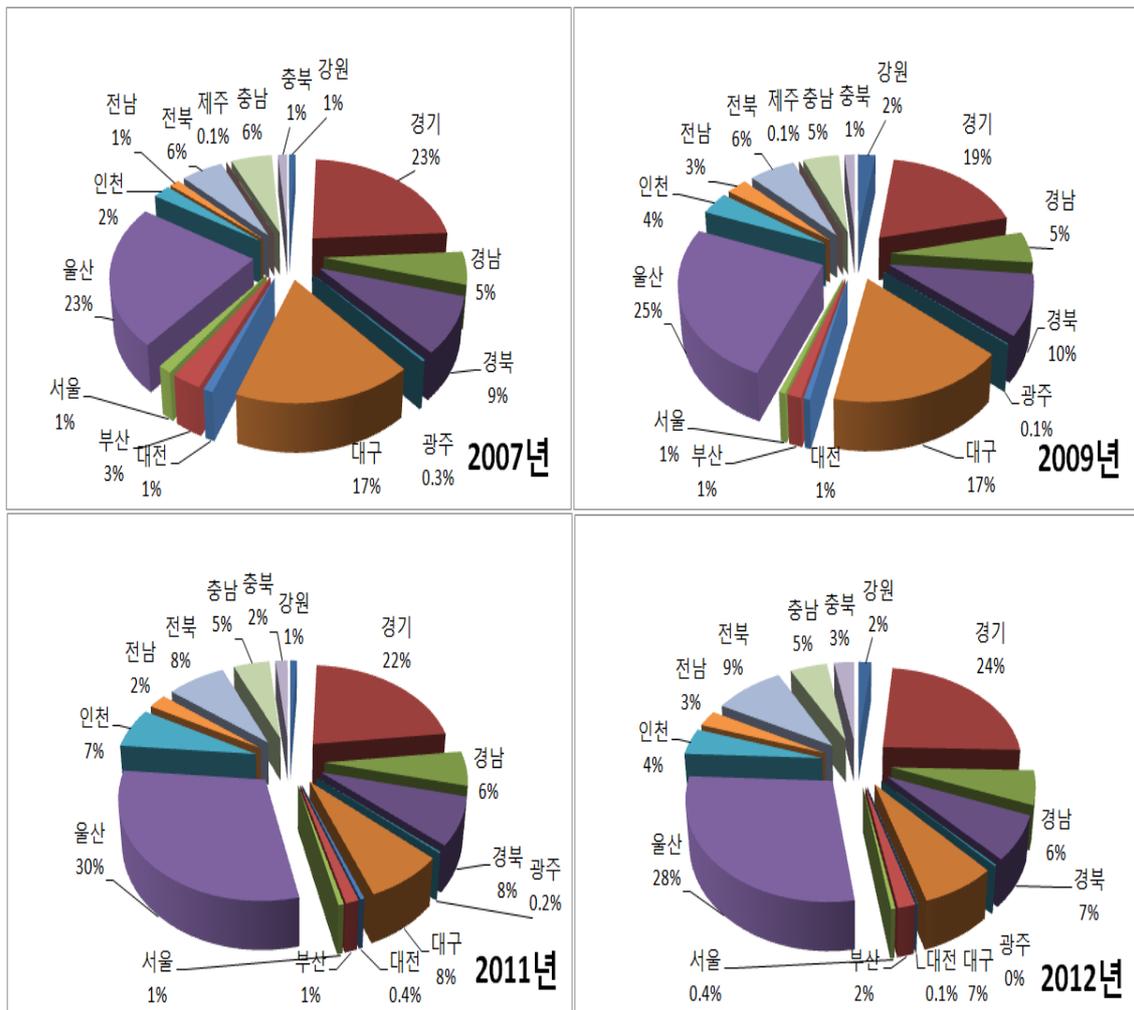


그림 4-4-21. 지방자치단체별 폐수처리오니의 연도별 해양배출 의존도 변화

다) 폐수

‘07년부터 ‘12년까지 지방자치단체별 폐수의 연도별 해양배출 의존도를 그림 4-4-22에 나타냈다.

폐수처리오니와는 달리 폐수는 고염 등으로 폐수처리에 어려움을 겪고 있는 대규모 식품제조공장들이 밀집해 있는 전라북도가 타 지자체보다 상대적으로 폐수의 해양배출 의존도가 높다. 등 폐수처리 발생산업단지가 위치해 있는 울산광역시와 경기도의 해양배출 의존도가 높다. 제주도는 ‘11년부터 폐수처리오니 해양배출이 종료되었다.

폐수처리오니와 더불어 폐수 또한 육상폐기물 해양배출 제로화정책에 의해 ‘14년부터 해양배출을 금지될 예정이다(국토해양부령 제555호).

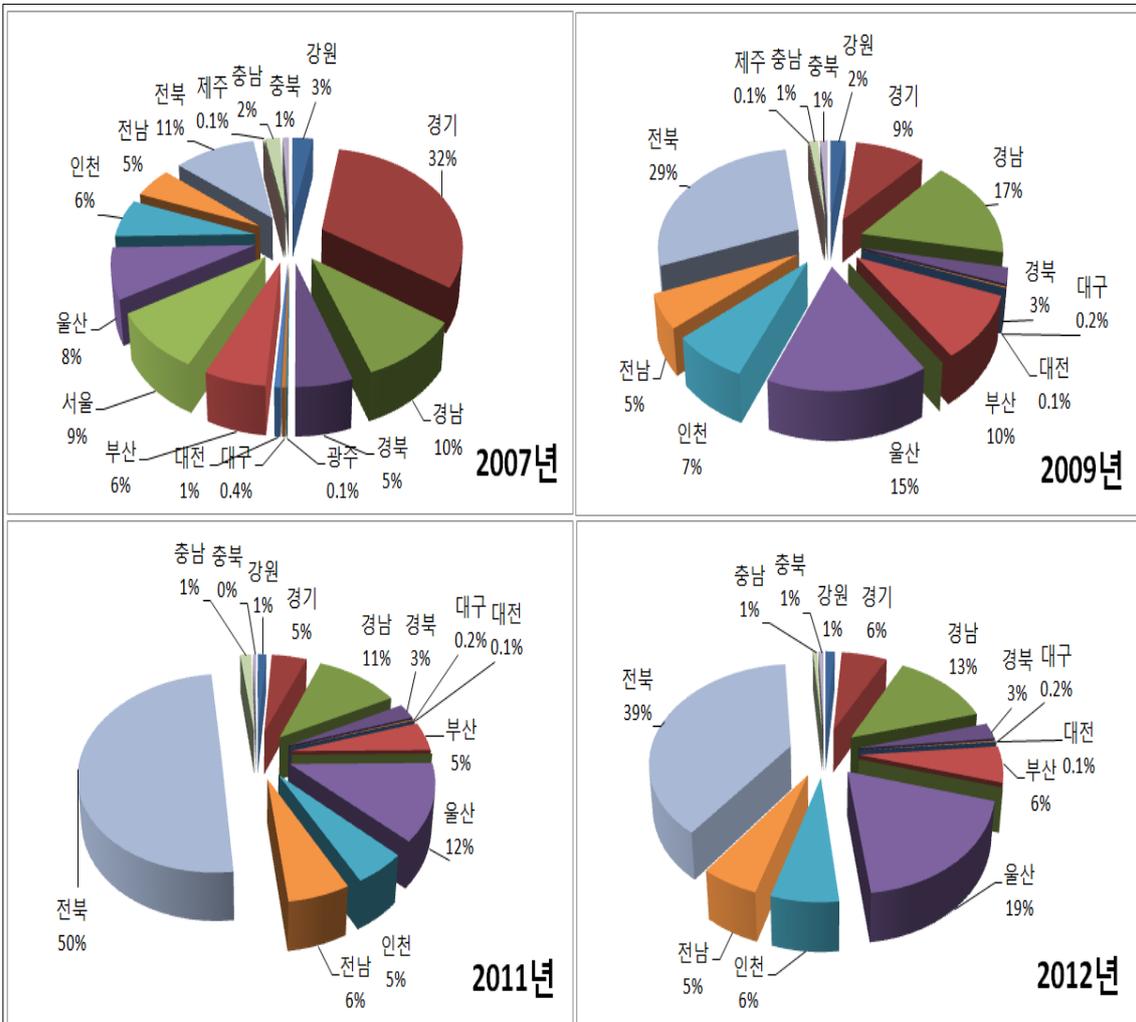


그림 4-4-22. 지방자치단체별 폐수의 연도별 해양배출 의존도 변화

라) 분뇨 및 분뇨처리오니

'07년부터 '12년까지 분뇨의 해양배출 중 지방자치단체별 폐기물 해양배출 의존도를 그림 4-4-22에 나타냈다.

분뇨는 처리장을 거치지 않는 생분뇨와 처리장을 거쳐서 발생된 분뇨처리오니로 구분된다.

생분뇨의 해양배출은 '08년에는 16개 광역시·도 중 강원도, 부산광역시와 인천광역시만 해양배출했지만, '09년에는 강원도가 해양배출을 종료했고, '10년부터는 유일하게 부산광역시만 해양배출하고 있다.

분뇨처리오니는 '08년까지 9개 광역시·도(강원도, 경기도, 경상남·북도, 부산광역시, 울산광역시, 인천광역시, 전라남·북도)가 해양배출했지만, 점차 육상처리로 전환하여 '12년에는 5개 광역시·도(강원, 경기도, 부산광역시, 인천광역시, 전라남도)가 해양배출했고, 총 해양배출량 중 인천광역시와 부산광역시가 각각 44%로서 거의 대부분을 차지했다(그림 4-4-23).

분뇨 및 분뇨처리오니는 육상폐기물 해양배출 제로화정책에 의해 '13년부터 해양배출을 금지된다(국토해양부령 제555호).

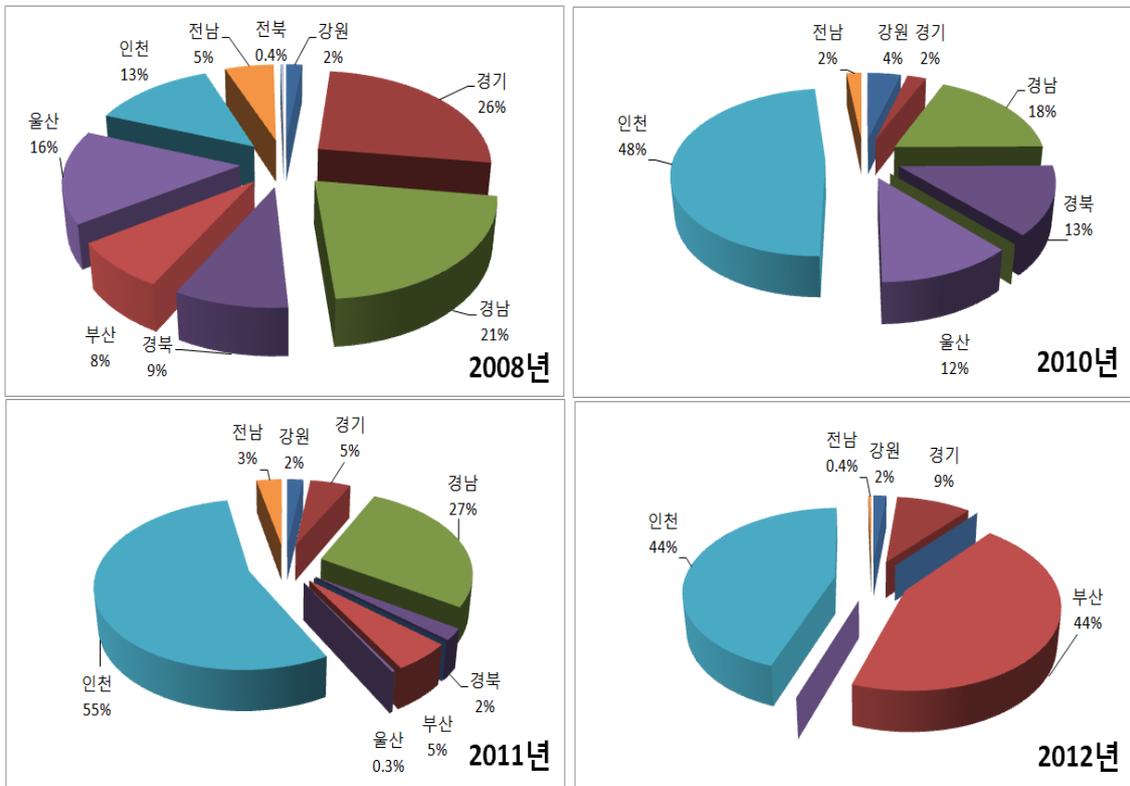


그림 4-4-23. 지방자치단체별 분뇨처리오니의 연도별 해양배출 의존도 변화

바. 폐수 및 폐수처리오니 업종별 해양배출 현황

1) 폐수

가) 해양배출 위탁업체 현황

‘12년 기준으로 총 345개의 폐수 해양배출 위탁업체 중 수산물 및 낙농관련 가공업이 각각 32%로 절반 이상을 차지했다. 식품류(「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호의 배출시설란 제4호부터 제15호까지 및 제73호의 업종)과 비식품류(「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설)로 구분할 경우에는 식품류업종이 69.4%를 차지했다(그림 4-4-24).

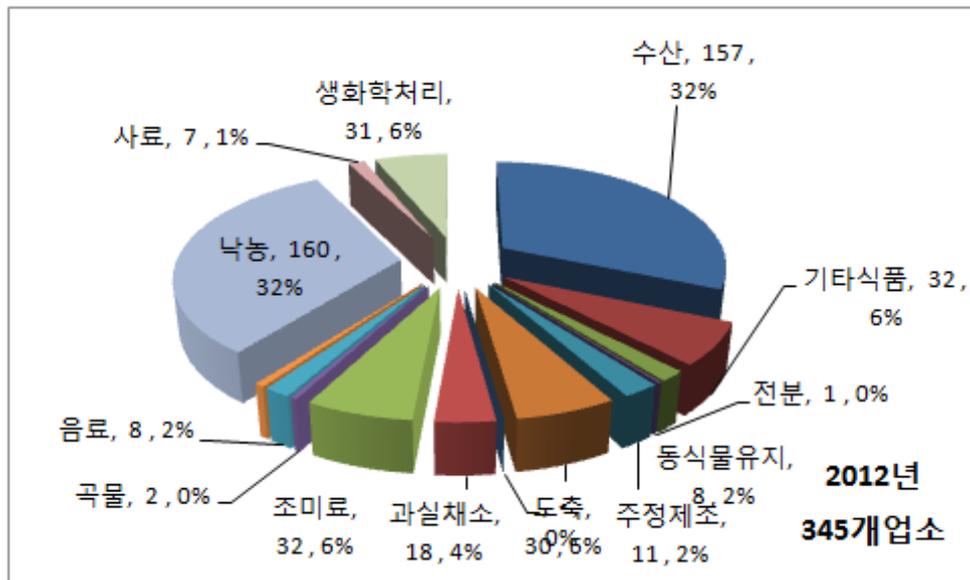


그림 4-4-24. 폐수의 해양배출 업종별 비율(‘12년 기준)

나) 업종별 해양배출 위탁량 현황

‘12년 기준으로 총 378천m³의 폐수 해양배출 위탁신고량 중 조미료 가공업이 42%로 가장 많았다. 식품과 비식품류 업종으로 구분할 경우에는 식품류업종이 77%로 대부분을 차지했고, 비식품류업종이 23%이다(그림 4-4-25).

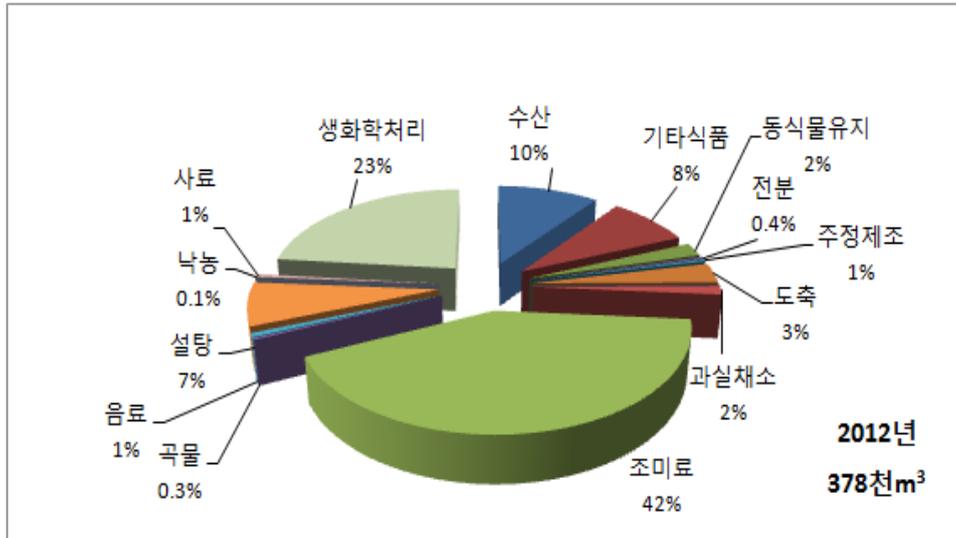


그림 4-4-25. 폐수의 해양배출 업종별 비율(12년 기준)

2) 폐수처리오니

가) 해양배출 위탁업체 현황

'12년 기준으로 총 438개의 폐수처리오니 해양배출 위탁업체 중 식품류(「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 4 제2호의 배출시설란 제4호부터 제15호까지 및 제73호의 업종) 업종이 58%, 그리고 섬유염색 등 비식품류(「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표 5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설)가 42%를 차지했다(그림 4-4-26).

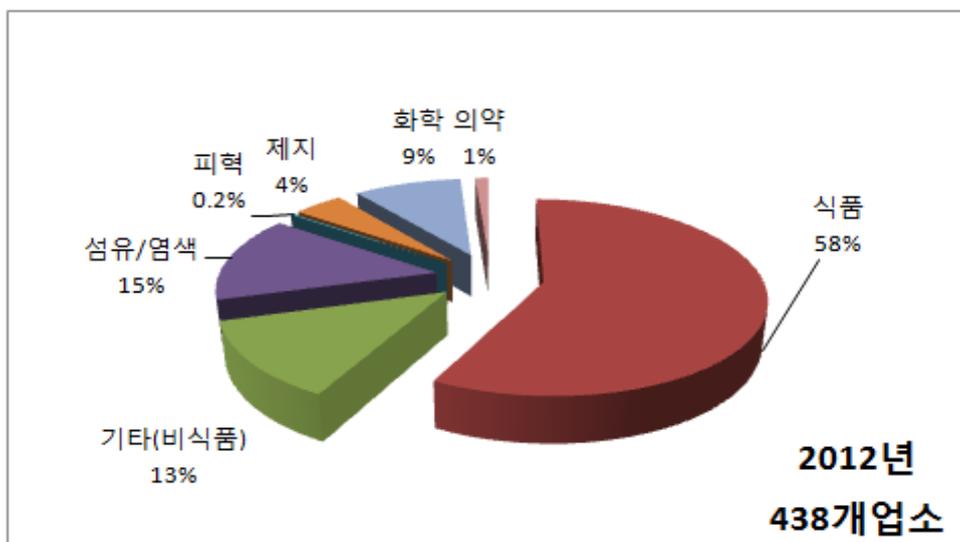


그림 4-4-26. 폐수처리오니의 해양배출 업종별 비율(12년 기준)

나) 업종별 해양배출 위탁량 현황

'12년 기준으로 총 687천m³의 폐수처리오니 해양배출 위탁신고량 중 비식품류 업종이 65%를 차지했고, 식품류가 35%이었다(그림 4-4-27).

비식품류 업종별 해양배출 위탁량은 제지 > 화학 > 섬유·염색 순이다.

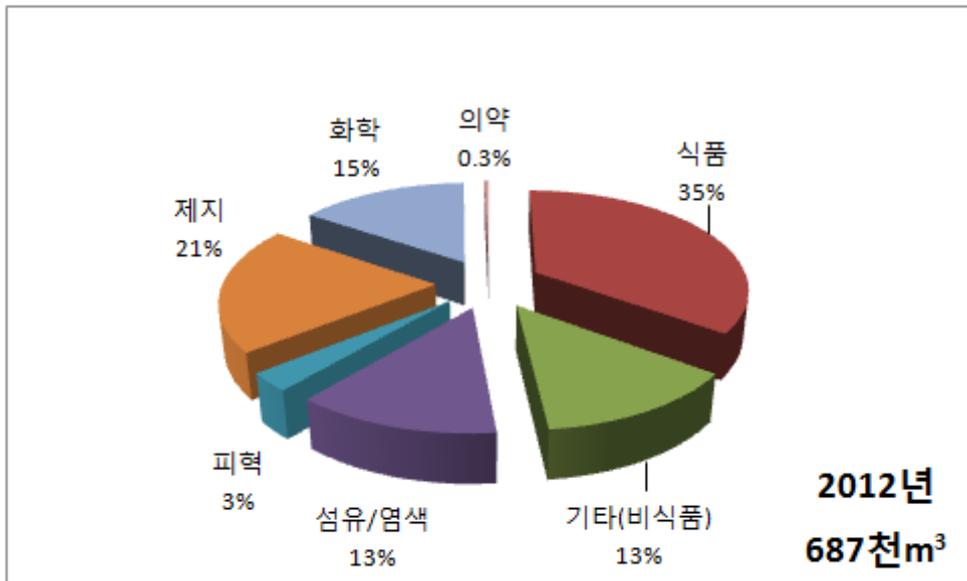


그림 4-4-27. 폐수처리오니의 해양배출 업종별 비율('12년 기준)

제 5 절 폐기물 해양배출 제도 선진화를 위한 제도 개선

1. 육상폐기물 해양배출 제로화

가. 육상폐기물 해양배출 제로화를 위한 법령 개정(안) 지원

본 연구에서 제안된 개정(안)은 국토해양부령 제 555호('12.12.21)로 공포됨

1) 배경

해양오염을 방지하고 해양투기 방지에 관한 국제협약 당사국으로서 의무 준수 등을 위하여 우리나라만 유일하게 해양배출 중인 산업폐수 등 육상폐기물의 해양배출을 금지하는 한편, 육상폐기물의 해양배출이 불가피한 폐기물 위탁업체의 경우 2년간의 한시적인 해양배출을 허용할 수 있도록 하여 육상폐기물의 해양배출 감축과 정책에 대한 연착륙을 도모하기 위함

2) 주요 내용

가. 산업폐수 등 육상폐기물의 해양배출 금지

분뇨와 분뇨오니는 2013년 1월 1일부터, 산업폐수와 폐수처리오니는 2014년 1월 1일부터 해양배출을 각각 금지함

음식물류 폐기물 폐수를 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙」 별표5 제3호 각 목에 해당하는 생물화학적 처리시설에서 처리한 경우라도 해양에 배출할 수 없도록 명문화함

나. 예외적 해양배출 한시 허용

산업폐수 또는 폐수처리오니 위탁업체가 해양배출이외의 방법으로는 폐기물처리가 현저히 곤란하여 해양배출이 불가피하다고 국토해양부장관이 인정(심사위원회 활용)하는 경우에는 2년('14.1.1~'15.12.31)의 범위 내에서 해양배출을 허용할 수 있는 근거를 마련함

나. 예외적 해양배출 한시 허용을 위한 신청서(안) 및 심사위원 구성·운영 규정(안)

1) 배경

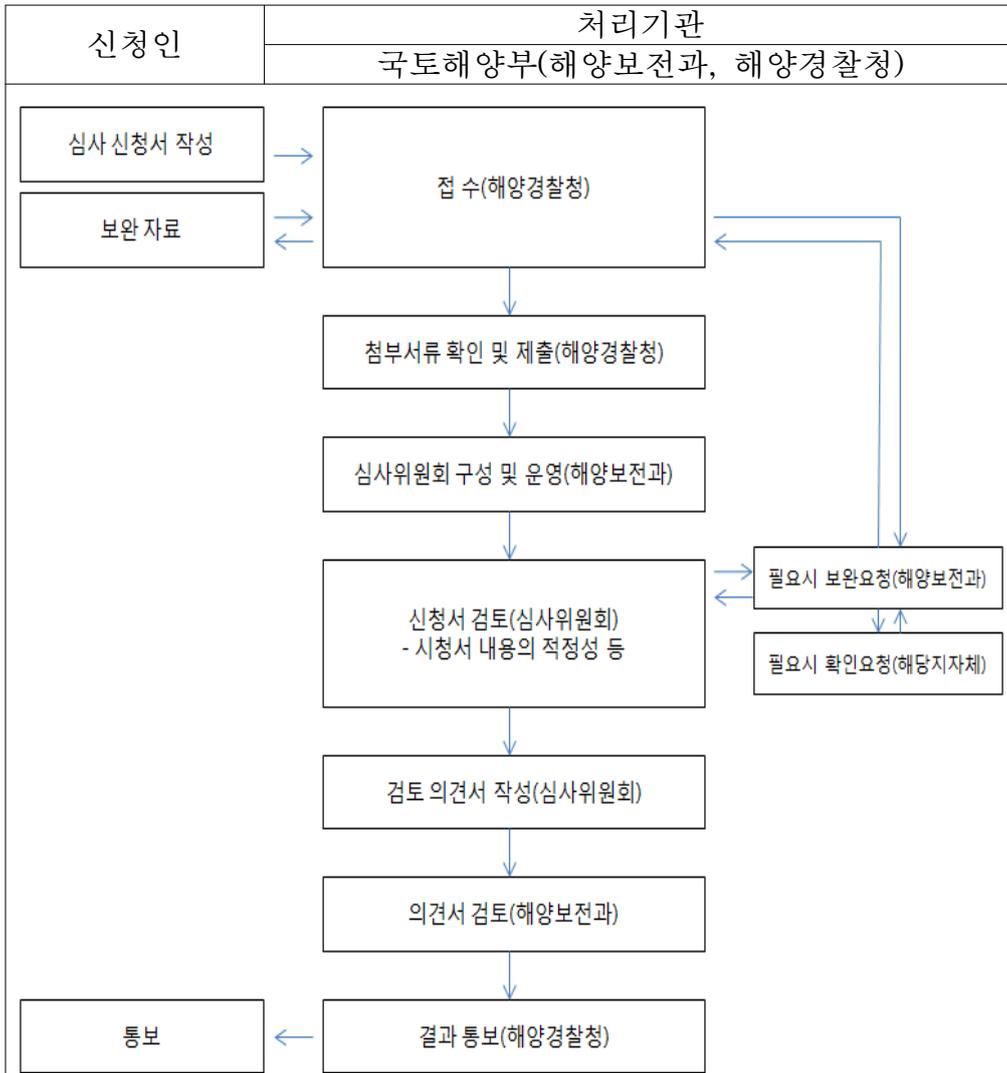
육상폐기물 해양배출 제로화의 개정규정에도 불구하고 단순비용 증가 원인 이외에 육상 전환을 위한 국내기술이 전무하거나, 해양배출이 불가피한 비상상황 발생 등에 대응하기 위해 심사를 거쳐 한시적 유예기간 동안 해양배출을 허용함으로써 해양배출 제로화 연착륙을 기하기 위함

2) 주요 내용

가) 예외적 해양배출 한시 허용을 위한 신청서(안)

예외적 해양배출 한시 허용을 위한 심사 신청서(안)		
1. 신청자	상호명 / 대표자 성명	/
	주소	
	연락담당자 성명/ 전화번호/이메일	/ /
2. 한시 허용 신청 폐기물에 대한 기술		
가. 폐기물 종류 (해당부분에 √)	폐수	폐수처리오니
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
나. 해양배출 신청량	_____ m ³	
다. 업종별 폐기물 종류 (수질및수생태계보전에 관한법률 시행규칙 별표 4)	<ul style="list-style-type: none"> 폐수배출시설 명 : _____ 한국표준산업분류 번호 : _____ 	
4.신청 폐기물 발생 경로	(처리공정도 첨부)	
5.신청 폐기물 특성	(검사성적서 첨부)	
6. 해양배출 불가피 사유	('12, '13년 모두 해양배출 위탁한 업소만 해당)	
7. 유예 신청 기간 및 이에 대한 사유	<ul style="list-style-type: none"> 유예신청기간 : _____년 _____월 _____일 ~ _____년 _____월 _____일 사유 : _____ 	
8. 향후 처리 계획 (유예기간 이후 대안)		

이 신청서는 아래와 같이 처리됩니다(신청서 뒷면)



나) 폐기물 위탁자 특례에 관한 심사위원회 구성 및 운영 규정(안)

폐기물 위탁자 특례에 관한 심사위원회 구성 및 운영 규정(안)

제 1 조 (심사위원회 구성)

- ① 국토해양부장관은 해양환경관리법 제 XX호의 X에 따라 폐기물 위탁자에 관한 특례 심사를 요청받는 경우, 이에 관한 전문적이고 효율적인 검토·심의를 위하여 위원장 1인을 포함한 6인 이내의 위원으로 구성된 심사위원회를 구성한다.
- ② 심사위원회는 폐기물 위탁자의 특례신청을 심의함에 있어서 폐기물 위탁자가 제출한 “해양배출 한시 허용 신청서”의 서류 심

사로 해양배출이 불가피한지 여부(단 단순비용 상승 사유는 제외)를 심사한다.

제 2 조 (심사위원 선정)

- ① 위원장은 국토해양부의 폐기물 해양배출 업무를 담당하는 소속 공무원 중에서 지정한다.
- ② 간사는 해양환경 보전·관리·평가, 폐기물 처리처분 등에 관련된 학식과 경험이 풍부한 자로 선정한다.
- ③ 위원은 해양경찰청, 한국해양과학기술원, 국립환경과학원, 폐기물 재활용협회에서 5인 이내로 선정한다.

제 3 조 (심사위원회 운영 등)

- ① 위원장은 회의를 소집하고, 그 의장이 된다.
- ② 심사위원 회의는 구성위원 과반수의 출석으로 개의하고, 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.
- ③ 위원장은 심사위원회 심의사항과 관련하여 서류심사만으로 판정 곤란한 경우는 관계인의 의견을 들을 수 있고, 또한 현장방문 조사를 실시하여 그 결과에 따라 보완 요구, 재서류 심사를 실시할 수 있다.
- ④ 심사위원 회의의 모든 결정은 원칙적으로 충분한 토론을 거치고, 실명제로 운영하여, 소수 의견도 기재한다.

제 4 조 (회의록 제출)

- ① 위원회 간사는 회의록을 작성하여 국토해양부 장관에게 제출한다.

2. 런던의정서 의결사항의 국내 수용방안 검토

런던협약/의정서는 폐기물 및 기타 물질의 해양투기 및 소각을 금지하기 위하여 설립된 조약으로 의정서의 부속서 1에 열거된 8개의 해양투기 심의 가능한 품목 중 지중저장용 이산화탄소스트림이 최근 런던협약/의정서 당사 국회의에서 가장 논의가 활발한 사안이다.

런던의정서 제 6조는 해양투기나 소각 목적으로 폐기물 및 기타물질의 수출 금지를 규정하고 있지만, 2009년 개정을 통해 지중 저장용 이산화탄소 스트림은 예외적으로 관련 국가의 합의나 약정이 있을 경우 수출을 허용하였다. 이 개정의 발효를 위해서는 의정서 당사국 중 2/3가 비준을 해야 하는데 현재 이 조항을 비준한 국가가 2개라 미발효 상태이다.

이산화탄소스트림 외에도 중요 논의 사안은 기후 온난화 저감 목적의 해양시비를 포함한 해양지구공학 활동이다. 이 활동을 관리할 법적 근거를 마련하기 위하여 현재 런던의정서의 개정이 논의 중이다.

본 절에서는 상기한 런던의정서 개정, 즉, 1) 해양시비를 비롯한 해양지구공학 활동의 관리, 2) 지중저장용 이산화탄소스트림의 수출과 관련한 개정에 대비하여 국내 수용방안을 제안하고자 한다.

가. 해양시비를 비롯한 해양지구공학 관련 개정과 국내법 반영

1) 배치(replacement)와 투기(dumping)가 런던의정서에서 구분되어야 하는 이유

런던의정서는 폐기물 또는 기타 물질의 투기 및 소각으로 발생하는 해양오염을 다룰 목적으로 설립된 협약으로 협약의 관할 범위 또한 폐기물 및 기타 물질의 해양 투기 및 소각 관리에 제한된다.

런던의정서의 해양투기 정의는 다음과 같다.

- 선박, 항공기 및 인공구조물로부터의 폐기물 또는 기타 물질의 해양에의 의도적 투기
- 선박, 항공기 및 인공구조물의 의도적 해양 투기
- 선박, 항공기 또는 기타 인공구조물로부터 해저 및 하층토에 폐기물 또는 기타 물질을 저장
- 의도적 투기 목적으로 플랫폼 또는 기타 인공 구조물을 폐기 또는 적재(toppling)

반면에 해양투기는 단순 처분 이외의 목적으로 런던의정서 목적에 반하지 않도록 어떤 물질을 배치하는 것은 포함하지 아니한다. 단 단순 처분 이외의 목적이라든가 런던의정서의 목적에 반하는 경우(즉 오염을 일으킬 수 있는 경우)는 물질의 배치가 투기에 포함되는 것으로 해석될 수 있으므로 의정서 관할이라 할 수 있다.

런던의정서 하에서 채택된 2008년 결의안 LC-LP.1(2008) (해양시비의 규제)에 따르면 해양시비는 (1)합법적 과학조사인 해양시비 (2) 합법적 과학조사 이외의 해양시비로 나뉜다.

현재 합법적 과학조사인 해양시비는 의정서 관리 대상이 아닌데 해양투기가 아닌 배치로써 오염가능성이 없는 것이어야 한다. 합법적 과학조사 활동 이외의 해양시비는 상업적 해양시비 또는 오염가능성이 있는 과학조사용 해양시비로서, 의정서의 관리 대상이 되어야 한다. 과학조사용 해양시비가 합법적 과학조사인지를 결정하는 기준은 2010년 채택된 '해양시비 관련 해양과학조사 평가체제'에 따른다.

해양시비가 런던의정서 관할이 될 수 있다는 해석에 대하여 모든 의정서 당사국들이 동의하는 것은 아니므로, 해양시비를 비롯한 해양지구공학의 관리 근거를 마련하고, 의정서 관할 대상이 아닌 합법적인 과학조사용 해양시비를 관할 대상에 포함시키기 위하여 현재 개정을 논의하고 있다(한국과 호주가 제출한 개정안 및 관련 평가체제 등은 표 4-5-1을 참고).

표 4-5-1. 해양시비 및 해양지구공학 관리를 위한 런던의정서 개정안

<p>해양시비를 포함하는 해양지구공학활동과 관련한 물질의 배치 규제를 위한 런던의정서 개정안</p> <p>호주, 대한민국 제출 (2012년 11월 개정안)</p> <p>제6A조 해양지구공학 활동의 규제</p> <p>1 "해양지구공학"이란 인위적 기후변화 및 그 영향에 대응하는 등의 자연과정의 조작 가능성을 가진 해양환경에의 의도적 개입을 의미하는데, 그 영향이 광범위하고, 장기지속적이거나 심각한 오염을 일으킬 가능성을 가진 것이다.</p> <p>2 당사국은 선박, 항공기, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물에서 부속서 4에 명시된 해양지구공학 활동을 위하여 물질을 배치하는 것을 허가해서는 아니된다. 단 해당 부속서에 특정 활동 또는 그 하위활동이 합법적 과학조사로서 허가될 수 있다고 명시된 경우는 예외로 한다.</p> <p>[2bis당사국회의는 당해 국제기구와 적절히 논의를 거쳐 부속서4의 제6A조에 활동 추가 절차를 개발하고 채택해야 한다.]</p>
--

[2ter어떤 활동의 허가를 검토할 때에 당사국은 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 국가의 동의를 받아야 한다.]

3 당사국은 부속서 5의 허가발행 및 허가 조건을 준수하고, 특정활동 관련하여 개발되고 당사국 회의에서 채택된 상세평가체제를 고려하도록 규정하는 행정 또는 법 조치를 채택해야 한다. 해당 활동에 대한 평가가 완료되고, 해당 활동에 의한 해양환경 오염이 가능한 최소한도로 방지 또는 경감된 것을 확인한 후에 허가를 발급할 수 있다.

[4 제4조는 부속서 4에 명시된 활동에 적용되지 아니한다.]

[5 이 조 또는 부속서 4는 해양법을 포함한 국제법 하의 국가 권리 및 의무를 침해하는 것으로 해석해서는 아니 된다.]

부속서 4 규제 대상 해양지구공학활동

1 해양시비

1. 해양시비란 해양의 일차생산을 촉진시킬 목적을 최우선으로 하여 착수된 인위적 활동이다. 해양시비는 근대 양식 해수양식 또는 인공어초 조성은 포함하지 아니 한다.
2. 3에 명시된 활동을 제외한 모든 해양시비 활동은 허가되어서는 아니 된다.
3. 상세배치평가체제를 근간으로 하여 합법적 과학조사로 판명된 해양시비만이 허가발급을 받을 수 있다.

부속서 5 : 일반배치 평가체제

일반

- 1 이 일반 평가 체제의 목적은:
 - a. 부속서 4에 나열된 배치활동을 평가, 그리고
 - b. 부속서 4에 나열된 상세 평가 체제 개발의 근간을 제공.
- 2 배치활동용으로 개발하는 상세평가체제에는 평가의 상세가 명시되어 있어야 한다.
- 3 배치활동을 평가할 때에 이 일반평가체제는 관련 품목별 평가 체제와 함께 사용되어야 한다.

활동 설명

- 4 첫째, 신청활동이 부속서 4가 관리 할 수 있는 활동인지, 해당 부속서에 따라 허가될 수 있는 지를 결정해야 한다. 그러한 결정을 내리기 위해서는 신청 배치 활동의 목적, 모든 활동 단계에 관한 전반적인 설명이 요구된다. 이에 더하여 각 단계별 작업 실제 및 관련단계에서 생산되는 폐기물에 관한 설명도 필요하다.
- 5 상기한 신청은 다음을 증명해야 한다:
 - 신청활동이 단순 투기 이외의 목적을 가지고 있다
 - 그러한 목적을 충족시키도록 고안되어 있다

•신청서에 합리성, 목표, 방법, 규모, 시기, 위치 및 예상 이익과 위험성이 적절히 명시되어 있다. 그리고

•신청활동의 작업 프로그램을 이행할 정도의 재원이 있다.

6 배치의 상세한 설명과 특성 및 모든 구성 요소는 평가의 필수 사전 조건이며 허가 발행 결정의 근간이다. 만일 신청 활동의 특성이 제대로 파악되지 않아 보건이나 환경에의 잠재적 영향이 평가되지 않는다면 허가는 발행되지 말아야 한다.

해양과학 및 조사

7 해양과학조사 신청 평가시, 해양과학조사와 관련한 UN 해양법협약 규정을 고려해야 한다. 모든 조사 신청은 제6A.3조에 따라 평가되어야 한다.

8 기초 해양과학조사는 오직 해양 및 지구 시스템 내에서의 해양의 역할에 대한 과학지식에의 기여를 목적으로 한다.

9 잠재 해양 지구공학 기술은 특히, 다음을 위하여 상세 조사가 필요하다:

- 영향을 끼칠 수 있는 자연 과정의 보다 나은 이해
- 해양환경에의 잠재적 영향 이해
- 지구공학 목적 달성과 관련한 해당 기술들의 잠재적 효율성; 그리고
- 해양 지구공학 관련 신청에 평가 체제를 효과적으로 적용할 수 있는지

10 조사활동의 경우 다음을 고려한다:

- 신청 활동이 과학 지식에 기여할 수 있는 답을 구하도록 고안되었다. 신청서에는 타당성, 연구 목적, 과학 가설 및 방법, 규모, 시기 및 장소와, 다른 방법으로는 기대하는 결과를 충분히 얻을 수 없는 명확한 이유를 명시해야 한다;
- 승인되고 적절한 과학적 방법론이 적용된다;
- 경제적 이익이 신청활동의 디자인, 수행 및 결과에 영향을 미치지 아니한다. 해당 실험 또는 그 결과로 직접적인 금전 및/또는 경제적 이익을 얻지 아니한다. 해당 실험 지원 서비스 또는 미래의 특허 기술의 금전적 효과에 대한 지급에도 이 원칙이 적용된다;
- 평가절차 중 적절한 단계에 신청활동을 과학자 집단의 검토를 받는다. 그리고
- 신청활동 결과의 일부는 과학 학술지에 출판하고, 신청 시에 해당 데이터 및 결과를 정해진 시간까지 공표할 계획을 포함한다.

11 상기한 단락 6은 해양과학조사에도 적용된다.

상담

12 배치활동이 타국의 관할수역 또는 공해에 영향을 미칠 수 있다면, 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 국가 또는 지역해 프로그램 및 기타 지역 환경 협정을 식별하여 이들에게 배치의 잠재적 영향을 설명하고, 과학적 협력을 조장하며 지속적인 상담을 제공할 계획을 수립해야 한다.

당사국은 신청이 접수 되면 모든 국내 또는 국제 관련 이해당사자와의 상담 절차를 설립해야 하는데,

13 최종 결정을 내리기 전 평가절차 수행 중에 이행해야 한다. 관할 수역 내에 잠재적 영향이 있을 것이라 예상되는 또는 그러한 영향이 예상되는 지역의 국가들 모두에게서 국제법에 반하지 아니하는 범위 내에서 동의를 구해야 한다. 적절한 경우 독립된 국제 과학전문가 자문그룹에 해당 배치활동에 관한 의견을 요청해야 한다.

배치 지역 선택

14 배치 지역 선택을 설명하기 위하여 당사국은 해당 지역의 선택을 평가하고 정당화하기 위하여 다음 정보를 적절한 경우에 요구해야 한다:

- 신청지역 및 잠재적 영향을 받는 지역의 물리적, 지리적, 화학적, 생물적 조건, 그리고 신청 활동과 관련한 이들 조건의 불확실성
- 쾌적함, 가치 및 신청해역 및 잠재적 영향을 받을 수 있는 해역의 기타 사용의 영향
- 기존의 해양환경으로의 물질 유입과 관련한 활동과 연관되는 유입 그리고
- 경제적, 운영적 실현가능성.

15 이와 같은 정보는 해역 선택 및 해당 체제의 기타 요소와 관련하여 수행될 평가에 사용될 수 있다. 이와 같은 정보는 아래 단락 18번의 영향 가설, 환경 기준, 위험 관리 조치, 추후 모니터링 및 신청 활동 목적의 성공적 달성을 위하여 필요하다.

해양환경에 배치될 물질의 평가

16 해양 환경에 투입을 신청할 물질 및 그 구조의 특성화 및 평가를 적절히 고려:

1. 기원, 총량, 형태, 평균 구성요소 및 사멸
2. 성질: 물리, 화학, 생화학 및 생물적
3. 독성
4. 지속성: 물리, 화학 및 생물적 그리고
5. 생물질 또는 퇴적물 내의 축적 및 생변형.

17 이들 데이터는 해역 선택 및 해당 체제의 기타 요소 평가 모두에 사용될 수 있다. 이들 데이터는 아래 단락 18의 영향 가설, 위험 관리조치 및 사후 모니터링과 신청 활동 목적의 성공적인 달성을 위하여 필요할 수 있다.

잠재 영향 평가

18 잠재 영향 평가로 활동 지역 및 잠재적 영향 해역 이내에서 배치 활동으로 발생할 경계를 초월한 영향의 기대치를 간략히 설명하는 "영향 가설"을 만들어 낼 수 있다. 이는 신청 배치 활동의 수정을 승인, 거부 또는 제안할 것인지를 결정하고, 위험관리 및 오염감소 조치와 환경 모니터링 요건을 정의하는 근거가 된다.

19 잠정 영향 평가를 통하여 신청 배치 활동의 특성, 신청 해역의 조건, 관련 물질 유입 및 신청 건설 기술에 관한 정보를 통합해야 한다. 해당 평가에는 보건, 해양 생태계

구조 및 종, 개체수, 군집, 서식지 및 생태계 과정 등의 민감성, 쾌적함 및 기타 해양의 합법적 이용을 포함한 생태계 역학에의 잠재적 영향이 명시되어야 한다. 또한 가정을 신중히 수립하여 이를 근거로 기대 영향의 성질, 시기적 공간적 규모 및 지속성을 결정해야 한다.

20 신청 배치활동 분석은 다음의 평가 관점에서 검토해야 한다: 보건의 위험, 환경 비용, 위해 (사고 포함), 경제학 및 미래 사용 배제. 반복 활동 또는 기타 활동의 누적 영향 또한 고려 대상이다. 평가의 결과 신청 배치 활동의 가능한 영향을 결정하는데 필요한 정보를 구할 수 없다면 이와 같은 활동은 추가로 검토될 필요가 없다.

21 각 잠재 영향 평가는 신청 배치 활동의 승인, 거절 또는 개정 제안을 결정하는 안으로 마무리 되어야 한다.

위험 관리

22 위험 관리 절차는 실행 가능하다면, 특히 경감 및 긴급 대책안을 통하여 환경위험을 최소화하고, 이익은 극대화하며, 예방적 접근법을 적용하는 안을 포함해야 한다.

23 위험 관리 또는 경감 전략은 검토 중인 해당 위험에 적합해야 한다. 당사국이 추가 조건으로써 부과할 수도 있고, 또는 해당 신청의 본문에 포함될 수도 있다. 해당 전략은 시기, 장소 및 관리 제한도 포함해야 한다.

24 긴급 대책은 영향 가설이 틀린 경우에 모니터링에 대응하기 위하여 설립해 둘 필요가 있다. 이 대책에 배치활동의 종료도 포함한다.

모니터링

25 모니터링 목적은 허가 조건을 준수하는지(준수 모니터링)를 확인하는 것과 허가 검토 및 해역 선택 과정에 설정한 가설이 옳은지와 환경 보호 및 보건의 충분한지(필드 모니터링) 확인하는 것이다. 모니터링 프로그램은 명확한 목적을 갖고 있어야 한다. 모니터링의 형태, 빈도 및 내용은 영향 가설 및 예상 지역 및 지방에 따라 결정한다.

26 모니터링은 영향 해역을 결정하고 변화가 예상 범위 내에서 일어나는지를 결정하는데 사용된다.

허가와 허가조건

27 허가 발행 결정은 다음의 경우에만 내릴 수 있다:

- .1 평가를 성공적으로 완료한 결과 신청 활동이 부속서 4에 나열된 활동이며, 해당부속서에 따라 허가될 수 있는 활동이다.
- .2 해당 활동은 목적을 충족시킬 수 있도록 고안되었다. 신청 활동의 작업 프로그램을 충족시킬 만큼의 재원이 있다는 것이 증명되었다.
- .3 모든 영향 평가는 성공적으로 완료되었다
- .4 위험 관리 및 모니터링 요건이 결정되었다
- .5 실행 가능하다면, 환경에 유해하거나 장애요소는 최소화시키고 이익은 최대화 하도록 조건이 지정되었다

- .6 단락 12과 13에 따라 논의 요건이 충족되었다. 그리고
 - .7 실행 가능한 경우, 신청활동에 의한 해양환경 오염이 방지 또는 최소한으로 감소된다는 것이 확인되었다.
 - 28 단락 27의 결정을 내리는데 적절한 정보를 구할 수 없다면 허가 당국은 결정을 내리기 전에 추가 정보를 요청해야 하며, 그렇지 않다면 허가를 발행하지 말아야 한다.
 - 29 허가 규정은, 실행가능한 한도 내에서, 보건 및 해양 환경에의 위험을 피하고, 환경 위해 및 장애를 최소화 하고 이익을 최대화하도록 보장해야 한다. 발행된 허가에는 다음을 명시하라는 조건을 포함해야 한다:
 - .1 배치할 물질의 형태와 기원
 - .2 배치 해역 위치
 - .3 배치 활동 방법
 - .4 위험 관리, 모니터링 및 보고 요건; 그리고
 - .5 적절한 경우 배치활동을 마친 후 제거, 처분, 재사용, 재활용 품목.
 - 30 허가는 모니터링 결과, 모니터링 프로그램의 목적 및 관련 연구를 고려하여 정기적으로 검토해야 한다. 모니터링 검토 결과는 현장 프로그램을 지속시킬지, 수정 또는 종료시킬지를 결정하고, 허가의 지속, 수정 또는 취소 관련 결정에 필요한 정보를 제공하는 역할을 할 것이다. 모니터링은 보건 및 해양환경 보호를 위하여 중요 피드백 메커니즘을 제공한다.
- 보고**
- 31 발행된 허가의 평가 및 문서화 결과는 사무국에 보고해야 하며 결정이 내려진 때에 공표되어야 한다. 사무국은 이후에 당사국들에 공지해야 한다.

2). 배치와 투기를 국내에서도 구분하여 관리해야 하는가

런던협약/의정서는 포괄적 협약이 아닌 특정활동 관리를 목적으로 하는 관리 협약이므로, 관할 범위는 단순 처분을 목적으로 폐기물 또는 기타 물질을 해양투기 및 소각하는 것을 관리하는데 제한되어 있다.

국내법 특히 해양투기 관련법인 해양환경관리법은 그러한 관할 범위에 한정되어 제정된 법이 아니고 해양환경관리를 목적으로 특정 오염활동을 전반적으로 관리하는 법이므로, 의정서와 동일한 오염활동 분류체계를 채택하지는 아니하였다. 따라서 해양시비 및 기타 지구공학활동을 이 법이 관리하게 되는 경우는 이 활동들을 배치 또는 투기로 한정하여 분류할 필요는 없다.

해양과학조사관련 법률은 해양과학조사법이 있으나 이 법률은 외국인의 국내수역에서의 해양과학조사 절차에 관한 법이므로, 내국인에 의해 국내해역 또는 공해에서 이행될 과학조사용 해양지구공학에는 적용되지 아니한다.

해양환경관리법은 국내해역에서의 국내 선박, 시설물 또는 외국선박 및 시설물로부터의 오염, 외국 관할해역 및 공해에서의 국내 선박 오염활동을 관할 대상으로 하므로, 국내해역 또는 공해에서 이행하는 과학조사용 또는 상업용 해양지구공학 활동 모두에 대해 적용될 수 있다. 단, 이 법의 “오염물질” 및 “폐기물”의 정의에 따른 “해양에 배출되는 경우 그 상태로 쓸 수 없게 되는 물질”에 해양시비의 철 또는 인이 포함되는지는 논란의 여지가 있다.

해양시비 목적으로 해양에 유입시키는 철 또는 인은 플랑크톤 개체 수를 증가시키는데 사용될 것이므로 “그 상태로 쓸 수 없게 되는”에 해당되는지가 분명치 않다. 또한 해양시비 외에 기타 해양지구공학활동은 어떤 방법으로 실시될지 현재로서는 알 수 없으므로 이들 활동을 이 법이 분류하는 기존의 활동 중 하나로 분류하여 관리하게 되는 경우 새로운 지구공학활동이 등장 할 때마다 적절한 분류와 개정작업을 요하게 된다.

해양환경관리법 제2조 3항의 ‘배출’ 정의에 따르면 오염방지 목적의 “학술목적의 조사·연구의 실시로 인한 유출·투기 또는 누출·용출”은 이 법의 관리활동 중 하나인 ‘배출’에 포함되지 아니하므로, 과학조사용 해양시비가 이 법에 따라 ‘배출’로서 관리될 수는 없을 것이다.

또한 포괄적 관리 조항에 의한 총괄 관리는 시행자들의 법규 이해를 용이하게 할 수 있다. 따라서 과학조사용, 상업용 해양시비 및 해양지구공학활동 전체를 이 법의 기존 오염활동으로 분류하여 각각 분산 관리하기 보다는 하나의 활동 항목으로 총괄하여 관리하는 것이 효율적 관리를 위하여 필요하다.

3). 국내법 개정 방향(안)

해양시비를 비롯한 해양지구공학 활동은 국내 수역 또는 공해에서도 이행될 수 있고 폐기물의 배출이 아니라 기존의 폐기물 배출 해역을 이용하지 아니할 것이며, 기존의 폐기물 해양배출 절차와 같이 배출업체를 통하여 해양에 영양염을 투입시키지는 아니할 것이므로 폐기물 배출 절차의 관리와 동일한 경로(폐기물 위탁자, 폐기물 해양배출업체, 해양경찰서, 국토해양부

간의)로 신청 관리될 수는 없다.

해양지구공학을 총괄하여 관리하기 위해서는 관련 용어 정비가 필요한데, 일단 이 용어의 정의를 제2조에 추가하고, 다음의 총괄 관리 조항을 해양환경관리법 제3장 제1절의 통칙에 포함할 것을 제안한다.

제2조 (정의) 추가: “해양지구공학”이란 인위적 기후변화 및 그 영향에 대응하는 등의 자연과정의 조작 가능성을 가진 해양환경에의 의도적 개입을 의미하는데, 그 영향이 광범위하고, 장기 지속적이거나 심각한 오염을 일으킬 가능성을 가진 것이다.

제23A조 (해양지구공학활동으로 발생하는 오염 방지)

① 합법적 과학조사로 판명된 경우를 제외하고는 선박, 항공기, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물에서 해양지구공학 활동을 위하여 소용될 물질을 해양에 투입하는 것을 허가하지 아니 한다.

<합법적 과학조사 판별 절차의 추가: 해양환경관리법 시행령과 시행규칙>

② 합법적 과학조사용 해양지구공학 활동은 이 법의 시행령 및 시행규칙이 정하는 허가발행 절차에 따라 허가를 발급 받아 허가 조건에 따라 시행해야 한다.

<해양환경관리법 시행령 및 시행규칙: 과학조사용 해양지구공학의 허가발행 절차 및 허가 조건>

시행령 제A조 (과학조사용 해양지구공학 활동의 허가 신청)

본 법 제23A조에 따른 해양지구공학 활동에 대한 허가 신청서에는 다음을 명시해야 한다.

- .1 해당 활동으로 인하여 기대되는 기후경감의 효과
- .2 투입할 물질의 형태와 특성
- .3 해당 활동의 연구목표, 방법, 규모, 시기, 장소, 기대 결과 및 위험성
- .4 투입할 해역의 특성
- .5 해당 연구방법의 대안과 기대 효과 비교
- .6 모니터링 계획
- .7 위험 관리 방안
- .8 해양환경에의 잠재적 영향 평가 결과
- .9 가능한 경우, 투입한 물질의 제거 계획
- .10 재원

시행규칙 제a조 (해양지구공학 활동 허가 신청서)

- ① 허가 신청서에 투입 물질에 관한 다음 특성을 기입해야 한다.
 - .1 기원, 총량, 형태, 구성 성분
 - .2 물리, 화학, 생화학 및 생물적 특성
 - .3 독성
 - .4 물리, 화학 및 생물적 지속성
 - .5 생물질 또는 퇴적물 내의 축적 및 생변형
- ② 허가 신청서에는 투입 해역에 관한 다음 평가 자료가 포함되어야 한다.
 - .1 투입 해역 및 잠재적 영향 해역의 물리적, 지리적, 화학적, 생물적 조건
 - .2 이들 조건의 불확실성
 - .3 기타 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 환경 요소
- ③ 모니터링 계획은 방법, 빈도 내용을 허가 조건 준수 모니터링과 허가 검토 및 해역 선택 과정에 설정한 가설이 옳은지와 환경 보호 및 보전에 충분한지를 확인하는 필드 모니터링으로 나누어 기입하여 제출한다.

시행령 제B조 (과학조사용 해양지구공학 활동의 허가 기준)

- ① 과학조사용 해양지구공학 활동은 해양오염을 방지 또는 최소화 하도록 고안되어야 한다.
- ② 다음의 경우에 과학조사용 해양지구공학 활동 허가는 발급할 수 없다.
 - .1 해양 환경에의 잠재 영향 평가가 불가능한 경우
 - .2 해당 활동으로 인하여 상업적 이익을 취할 수 있는 경우
 - .3 위험 관리 및 모니터링 요건을 충족시키지 아니하는 경우
- ③ 발급된 허가는 모니터링 결과 및 관련 연구를 고려하여 정기적으로 검토되어야 한다.

- ③ 과학조사용 해양지구공학 활동의 허가 신청시 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 해역 범위에 대한 정보를 함께 제출해야 한다.
- ④ 관계기관은 제출된 허가신청 서류상의 해역 범위를 고려하여 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 모든 국가로부터 동의를 받는 외교적 절차를 개시해야 한다.
- ⑤ 상기한 활동에 대한 허가는 관련 국제기구에 적절히 보고해야 한다.

나. 이산화탄소 지중저장 관련 의정서 제6조 개정과 국내법 반영

런던의정서는 2006년 개정을 통하여 이산화탄소의 해저지중저장을 해양 투기로 정의하고, 이 활동을 조건부로 허용하였다. 또한 이 활동과 관련한 이산화탄소 해저지중저장 평가 상세지침을 채택하였다. 의정서 제6조는 폐기물 또는 기타 물질을 해양투기 또는 소각 목적으로 타국에 반출할 수 없도록 하고 있는데, 2009년 개정을 통하여 저장용 이산화탄소는 예외적으로 다음과 같은 조건을 충족시키는 경우 외국으로의 수출이 가능하게 되었다:

1. 이 의정서 및 기타 관련 국제법에 의거하여 반출국과 반입국 사이에 허가할 책임을 확정하고 분담; 그리고
2. 비회원국에 반출하는 경우, 해당 협약 또는 협정이 이 의정서의 협약 당사국들의 해양환경을 보호하고 보전할 의무를 저해하지 않도록 보장하기 위하여 부속서 2의 규정을 준수하기 위한 허가 및 허가조건의 발급에 관한 조항들을 포함한 이 의정서에 포함된 규정과 최소한 동등한 수준의 규정. (런던의정서 제6조 2항)

이 조의 개정 이후 이산화탄소 해저지중저장 평가 상세지침(이산화탄소 지중저장 지침)의 개정안이 2012년 11월 당사국 회의에서 채택되었고, 이산화탄소 해저지중저장을 위한 수출 관련 협정 또는 협의에 대한 개발과 이행(이산화탄소 수출 지침) 안이 검토를 위하여 제출되었다(<표 4-5-2 참고).

표 4-5-2. 이산화탄소 해저지중저장용 수출 관련 런던의정서 개정

런던의정서 제6조

1. 협약 당사국은 해양투기 또는 해상소각을 목적으로 폐기물 또는 기타 물질을 타국으로 반출할 수 없다.
2. 1항에도 불구하고 부속서 1에 따라 처분하기 위하여 포집된 이산화탄소를 반출하는 것은 관계 국가간 협약 또는 협정 등이 체결된 경우에 발생할 수 있다. 그러한 협약 또는 협정은 다음을 포함해야 한다.
 1. 이 의정서 및 기타 관련 국제법에 의거하여 반출국과 반입국 사이에 허가할 책임을 확정하고 분담; 그리고
 2. 비회원국에 반출하는 경우, 해당 협약 또는 협정이 이 의정서의 협약 당사국들의 해양환경을 보호하고 보전할 의무를 저해하지 않도록 보장하기 위하여 부속서 2의 규정을 준수하기 위한 허가 및 허가조건의 발급에 관한 조항들을 포함한 이 의정서에 포함된 규정과 최소한 동등한 수준의 규정.

**이산화탄소 해저지중저장을 위한 수출 관련 협정(agreements) 또는
협의(Arrangements)에 대한 개발과 이행”안**

1 서론

1.1 2009년 당사국 회의 때 제6조의 개정안이 채택되어 제2항이 추가되었는데 그 내용은 해저지중 저장을 위하여 이산화탄소를 수출하는 것을 허가하는 것이었다. 제2항은 다음과 같다.

"21항에도 불구하고, 부속서 1에 따라 투기를 위하여 이산화탄소를 수출할 수 있는데 그 때 관련 국가들 사이에 협약 또는 협정이 체결되어야 한다. 그러한 협정 또는 협약은 다음을 포함해야 한다:

2.1 이 의정서의 규정 및 기타 관련 국제법에 따라 수출국과 수입국 간의 허가 책임을 정하고 분배; 그리고

2.2 비당사국에 수출하는 경우는, 해당 협약 또는 협정이 이 의정서의 해양환경 보호에 관한 당사국의 의무를 저해하지 아니하도록 부속서 2의 허가 발급과 허가 조건 등 이 의정서에 준하는 규정

1.2 상기의 개정은 아직 발효하지 아니하였으나, 이 부속서는 상세지침에 따른 평가와 연계하여 그러한 개정이 발효하였을 시 당사국의 이 개정안 이행을 지원하기 위하여 작성되었다.

2 개정의 적용

2.1 동 개정안은 의정서 당사국으로서 그 안을 비준한 국가에만 적용된다. 이 개정안은 제21조 3항에 따라 의정서 당사국 2/3가 개정의 승인을 국제해사기구(IMO)에 제출한 날로부터 60일 이후 발효되며, 발효 후에는 승인한 국가에 대하여 승인 이후 60일째 되는 날로부터 발효한다. 조약법에 관한 비엔나협약 제34조에 따르면 동의 없이는 조약 상의 의무는 비당사국에 부과될 수 없다. 의정서 규정 및 그 개정안의 준수는 따라서 해당 개정안의 당사국만의 책임이 된다. 해당 개정안을 채택한 결의안 LP.3(4)의 전문 단락 11 또한 다음과 같이 명확히 설명하고 있다: "의정서 규정의 준수 책임은 비당사국에 수출하는 경우에는 당사국에 있다는 것을 강조하며;"

2.2 당사국은 체결한 협정 또는 협약을 IMO에 통보해야 한다.

3 협정 또는 협약의 내용

3.1 해당 개정은 제6조 1항이 금지시킨 것, 즉 의정서 부속서 1에 따라 이산화탄소 지중 저장을 위하여 수출하는 것을 허가한다. 단 관련 국가들 간에 협약 또는 협정이 체결되어 있어야 한다. 이 조건은 이산화탄소가 당사국 또는 비당사국에 수출되는지와 관련 없이 모든 사례에 적용된다.

3.2 협정(agreement)이라는 것은 법적으로 구속력 있는 협약을 일컬으며, 국가간 협의(arrangement)는 양해각서와 같이 구속력 없는 것을 일컫는다.

3.3 부속서 1, 단락 8에 따르면 수출이란 "이산화탄소 저장을 위한 포집 절차를 통하여 추출한 이산화탄소"의 수출이어야 한다. 부속서 1, 단락 4에 따라 이산화탄소의 처분은 해저 지중에 하는데, 저장물은 대부분 이산화탄소이어야 하고, 원료에서 또는 포집 및 저장 절차를 통하여 우연히 관련 물질이 포함될 수는 있겠으나, 폐기물 및 기

타물질을 처분 목적으로 저장물에 추가할 수는 없다. 해당 협정 또는 협약은 이러한 요건을 충족시켜야 한다.

3.4 추가된 2개의 항은 이후 협약과 협정에 포함되어야 할 내용을 설명하였다.

3.5 어떤 경우여라도, 당사국 또는 비당사국에 수출하는지는 상관없이 해당 협약 또는 협정은 의정서 규정과 관련 국제법에 준하여 수출국과 수입국 사이의 허가 책임을 확인하고 분배하는 내용을 포함해야 한다. 따라서 두 국가간 협정 또는 협약 내용이 다소간에 차이 나더라도 이 의정서 및 유엔해양법협약과 해양에 관한 관습법 등 관련 국제법 규정에 준해야 한다는 제한이 있다.

3.5.1 의정서와의 일관성

3.5.1.1 상기한 개정은 수출국과 수입국 사이에 허가 책임 분배가 의정서 규정에 준해야 한다는 요건을 포함한다. 허가책임은 제9조에 다음과 같이 명시되어 있다:

"9.2당사국의 관련 당국은 의정서에 따라 투기 예정인 다음과 같은 폐기물 및 기타 물질 또는 제8조 2항에 명시된 바와 같이 해상 소각과 관련하여 의정서에 따라 허가를 발행해야 한다.

.1 해당 국가의 영토에서 적재한; 그리고

.2 이 의정서의 비당사국 영토에서 적재 할 때에는 해당 국가의 영토에 등록된 또는 국기를 계양한 선박 또는 항공기에 적재."

3.5.1.2 제6조 2.2.1항의 요건은 따라서 수출 또는 수입과 관계없이 허가 책임을 확인하고 분배하는 합의 또는 협정이 있어야 한다는 것을 나타낸다. 그러나 제9조 2항의 책임에 따르면 당사국은 이산화탄소가 그 영토 이내에서 적재될 때 또는 그 국적선이 수출을 목적으로 비당사국 영토에서 적재하는 경우에 허가 발급의 책임이 있게 된다. 상기한 허가 책임에 더하여 제4조에 따르면 부속서 1에 명시된 폐기물 또는 기타 물질의 투기 시에 연안국만이 관할권을 갖는 해역에 투기하는 것을 허가할 수 있다는 해양법 원칙에 따라 허가를 발행해야 한다. 해당 수출 시나리오에 따라 2~3개 국가가 연루될 수 있으며 따라서 협정 또는 협약에는 각각의 적절한 허가 책임이 명시되어 있어야 할 필요가 있다.

3.5.2 국제법과의 일관성

3.5.2.1 제10조에 따르면 당사국은 의정서 이행 조치를 적용할 때 국제법을 고려해야 한다. 유엔해양법협약과 이 협약의 비 당사국에 대해서는 국제해양관습법의 여러 해역에 대한 중요 규범이 적용된다.

3.6 제6조 2.2.2항의 이행

3.6.1 제6조 2.2.1항이 모든 수출과 관련되는 반면에 **2.2.2항은 비당사국에 수출할 때의 추가 요건을 제공한다.** 2.2.2항에 따르면 협정이나 합의가 최소한 의정서 규정에 준해야 하며 부속서 2의 허가 발행 및 조건의 최소 기준에도 부합하도록 하여 당사국의 해양환경 보호 및 보전 의무를 해당 협정 및 협약이 저해하지 아니하도록 해야 한다.

3.6.1.1 "준 한다(Equivalent)"는 의미는 옥스포드 영어사전의 정의에 따르면:

형용사. 가치, 권한, 효력, 또는 중요성에 있어서의 유사한 수준.

⇒ 사람 또는 물건의: 권력, 순위, 권한, 효력 또는 장점에 있어서의 유사한 수준

⇒ **동등한또는유사한장점** 의미 또는 중요성을 가짐: 대개 단어 또는 표현.

⇒ 사실상 동일함; 효과에서 동일함; 상당하는.

해당 협정 및 합의는 의정서 규정과 동일할 필요는 없다. 그러나 위의 정의가 나타나듯이 유사한 효력을 낼 수는 있어야 한다.

3.6.2 허가의 발행: 이 의정서와 일치하는 허가 책임을 확인하고 분배하는 것은 제6조의 2.2.1항이 다루고 있으므로 이 항은 다른 측면을 다루는 것으로 이해할 수 있다. 이 의정서 제9조 제목은 "허가와 보고의 발행"이다. 제9조 2항 및 3항은 상기한 단락 3.5.1에 명시된 허가의 발행과 관련 있다.

당사국이 비당사국으로 수출하는 경우에만 이들 추가 규정이 필요하게 되므로 제9조 2항의 요건은 그러한 경우에 수출하는 당사국과 관련 있게 되거나 그러한 국가에 지속적으로 적용될 것이다.

"9.3허가를 발행할 때 관계 당국은 제4조의 요건 및 관련된 추가 기준, 조치 및 요건을 준수해야 한다."

제4조 1.2항은 특히 다음과 같이 설명한다:

"부속서 1의 폐기물 또는 기타 물질의 투기 시에는 허가가 필요하다. 당사국은 행정적 법적 조치를 채택하여 허가 발급 또는 허가 조건이 부속서 2의 규정에 준하도록 해야 한다. 투기를 대신하는 친환경적인 대안에 특별히 주목해야 한다."

3.6.2.1 협정 및 협약과 관련하여 검토되어야 하는 제9조 2항 및 3항과 제4조와 관련한 사항은 다음과 같다:

⇒ 허가와 동등한 요건 - 대략 정부 당국의 승인 형태 (제4조 1.2항).

⇒ 허가국이 허가발행 및 허가 조건을 **부속서 2**에 준하도록 하는 조치를 채택했거나 채택하기위한필요. 개정안에 상세히 명시된 내용(제9조 3항은 제4조1.2항과 연계; 상세는 3.6.3을 참고)

⇒ 투기 대신 **환경친화적대안**에특히주목할것 (제4조 1.2항). 상세 지침을 이용하여 이 요건을 이산화탄소 저장과 관련하여 충족시킬 방법을 지정.

⇒ 해당 당국이 관련되어 있다고 판단하는 **추가기준, 조치및요건** (제9조 3항). 특히 이산화탄소 지중 저장과 관련한 특정 조치 및 요건을 명확히 하기 위하여 상세 지침이 명시되어야 함.

3.6.3 부속서 2와 상세 지침의 적용

3.6.3.1 두 당사국이 이산화탄소의 지중저장용 수출에 연루되는 경우, 각각은 부속서 2 및 의정서 규정을 준수해야 하며, 당사국간 협약 또는 협정에 각 당사국이 협약 부속서 2의 규정을 어떻게 준수할지에 관한 상세를 포함하는 것에 관한 명확한 요건은 없다.

아래의 지침은 따라서 비당사국으로 수출하는 당사국에 제6조 2.2.2항에 따라 적용된

다. 그러나 이산화탄소 수출은 거래 근간이기 때문에 책임 분배 및 정보 공유, 부속서 2의 각 요소를 어떻게 준수할 것인지를 협정과 협약에 문서화하는 것에 관한 판단은 두 당사국간의 수출과 관련되어 있다.

3.6.3.2 제6조 2.2.2항은 의정서에 포함된 규정과 동등한 정도의 의무를 관련 협정 또는 협약이 당사국에 부과하여 의정서 하의 해양환경 보호 및 보전 의무를 저해하지 아니하도록 하였다. 따라서 아래에 설명된 부속서2의 요건은 이러한 기준에 따라 다루어 져야 한다.

3.6.3.3 저해하지 않을 요건은 동등한 규정으로 달성할 수 있는 성과로 설명할 수 있으며, 개정안에는 이와 같은 사항을 달성할 방법은 정확히 표현되어 있지 않으나, 당사국들이 협정 또는 협약에 이 사안을 어떻게 반영할 것인지는 자유재량이라 할 수 있다. "보장한다"는 문구는 해당 협약 또는 협정이 충분히 강력하여 당사국이 타 당사국에 대응할 수 있는 지위에 있을 수 있다는 것을 나타낸다. 개정은 그러나 MoU 또는 협정의 위반이 수출 당사국의 비 준수를 의미한다고 규정하지 아니하였다. 중점을 두어야 할 것은 협정 또는 협약이 제6조 2항의 요건을 충족시키는 것이다.

3.6.3.3.1 특성

수출국이 이산화탄소의 특성에 관한 정보를 가장 많이 갖고 있을 것이다. 따라서 수출국은 수입국과 해당 정보에 관해 공유하여 관련 협정 또는 협약이 목표치를 달성하고, 처리기준을 준수하며, 이산화탄소의 안전한 수입 및 저장을 위하여 필요한 특별한 예방 또는 경감 수준을 반영할 수 있도록 해야 한다. 충족되어야 할 부속서 2에 명시된 특성 부분은 처리기준 및 수준에 관한 것이다. 상세 지침은 처리수준 목적에 관한 일반 지침을 제공하지만 그러한 수준이 지정되어 있지 아니한 관계로 각 국가는 다른 처리 수준을 차용할 것이다. 비록 관련 국가들이 협정 또는 협약의 일부로 처리 기준 또는 수준에 관해 협상할 수 있더라도, 예방적 접근법이면 모든 관련 국가들에 적용되는 처리 수준 또는 최소한 모든 당사국의 처리수준의 처리 기준을 충족시킬 것이다. 협정 또는 협약은 처리 기준 적용의 실제 결과를 반영해야 하며 수출 이전에 적용되어야 한다. 이산화탄소를 수입하는 국가는 필요한 경우 자가 진단을 통하여 이산화탄소 특성 수준을 스스로 확인해야 한다.

3.6.3.3.2 처분 해역 선택 및 특성

수입국은 저장 해역의 선택 및 평가와 그러한 특성을 수출국과 공유하는데 있어 유리한 입장에 있을 수 있다. 의정서의 요건 때문에 또는 협정 또는 협약에 따라서 양국이 허가를 발행해야 하는 만큼 각국의 관련 당국은 해당 지침을 적용하고 공유한 데이터를 사용해야 한다. 비 당사국에 수출하는 경우 당사국은 저장 해역의 선택과 평가에 관한 지침 제6부의 요건이 협정 및 합의에 반영되도록 해야 한다.

3.6.3.3.3 잠재적 영향

마찬가지로 자국의 영토에 저장지가 위치해 있는 당사국은 잠재적 영향을 평가하기 용이한 입장일 것이며, 그러한 평가 결과를 수출국과 공유하기가 용이할 것이다. 비 당사국에 수출하는 경우는 당사국은 잠재적 효과의 평가는 지침 제7부의 요건에 준하여 이행할 것을 보장해야 한다. 이를 위하여 제7부와 동일한 요건이 협약 또는 합

의에 반영되어야 한다.

3.6.3.3.4 모니터링과 경감

자국의 영토에 저장지가 있는 경우 준수를 확인하고 현장 모니터링을 실시하며, 위험 관리를 준비하고, 수출국과 평가를 공유하는데 유리한 위치에 있다. 당사국은 협정 또는 협약이 상세 지침 제8부의 요건과 동일한 정도의 모니터링과 위험관리 준비를 규정하도록 해야 한다.

3.6.3.3.5 허가와 조건

의정서 부속서 단락 17에 따르면 발행된 허가는 다음에 관한 데이터와 정보를 포함해야 한다:

- .1 투기 물질의 유형 및 기원;
- .2 투기해역 위치;
- .3 투기 방법; 그리고
- .4 모니터링 및 보고 요건.

허가는 정기적으로 검토되어야 한다.

당사국은 협정 또는 협약이 상세 지침 제9부의 요건과 동일한 허가 조건을 포함하도록 해야 한다.

4 결론

4.1 제6조 개정안의 이행과 관련한 최선의 관행이 추가로 개발될 것이다. 거래와 관련한 파트너 중 어떤 파트너가 정보 제공을 가장 잘 하는가에 관한 정보 등 최적의 역할과 책임은 실제 상황에 대하여 논의를 지속할수록 분명해 질 것이다. 게다가 협정 또는 합의가 체결되기 전에 두 당사국간 또는 당사국 및 비 당사국간의 상세한 협의를 통하여 최종 협정 또는 합의에 모든 요소가 반영될 수 있도록 해야 한다.

4.2 따라서 개정이 발효한 후 본 부속서를 적당한 시간 동안 검토하여 최적의 관행이 추가되지 않는지를 평가할 것을 제안한다.

이와 같이 런던의정서 하에서는 이산화탄소 해저지중저장은 해양투기로 분류되어 기존의 해양투기 조건부 허가품목에 저장용 이산화탄소가 포함되었으나, 해양시비 및 기타 배치로 정의되는 해양지구공학활동은 런던의정서 관할이 아니므로 따로 개정이 필요하다. 제1절에서 언급한 바와 같이 관련 국내법은 관할 범위가 투기와 배치로 구분되지 아니하므로 해양시비 및 기타 해양지구공학활동과 이산화탄소 해저지중저장 활동을 분리하여 관리하는 규정을 제정할 필요는 없다.

아래 절에서는 제1절에서 소개한 해양지구공학 관리 총괄 규정에 이산화탄소 해저지중저장, 특히 (1) 수출 개정안 및 협정 관련 지침 내용의 반영,

(2) 저장소 내 이산화탄소의 국제적 이동 관련 이산화탄소 지침 개정을 국내법에 반영하는 것을 각각 논의할 것이다.

1) 이산화탄소 지중저장용 수출 관련 개정의 국내법 반영

의정서 제6조 개정에 따른 이산화탄소 수출은 반드시 의정서 당사국 간에만 허용되는 것은 아니므로, 이산화탄소 수출과 관련하여 한국이 연계될 경우는 ① 회원국에 저장용 이산화탄소를 수출하는 경우, ② 비회원국에 저장용 이산화탄소를 수출하는 경우, ③ 회원국의 저장용 이산화탄소를 수입하여 국내 해역에 저장하는 경우, ④ 비회원국의 저장용 이산화탄소를 수입하여 국내 해역에 저장하는 경우로 나눌 수 있겠다.

이러한 수출, 수입과 관련하여 이 의정서에 따라 허가할 책임을 지정하고, 해양보호 보전 관련 의정서 조항의 이행을 보장하기 위하여 관련 국가간 협정 또는 협약을 맺어야 한다는 의정서 제6조 2항에 따라, 그러한 협정 또는 협약에 포함되어야 하는 내용을 명시한 지침의 안이 2012년 회기 때 제안되었다. 그러나 해당 지침안은 이행 지침이라기 보다는 해석 지침에 가깝다는 지적이 있어, 많은 보완이 필요하며, 따라서 회기간 서신반을 설립하여 수정할 계획에 있다.

한국은 개정된 제6조를 아직 비준하지는 아니하였으며, 현재 개정안을 비준한 국가는 노르웨이와 영국 두 개 국가이다. 당사국 수의 3분의 2가 비준하는 날로부터 60일째에 발효하며 현 의정서 당사국 수는 42개이고 비준국이 2개이므로 제6조 2항은 채택되었으나 아직 발효하지는 아니하였다.

이산화탄소 수입, 수출 관련 해양환경 보호 및 보전의무를 저해하지 아니하는 것과 관련된 허가 의무를 지정하기 위한 국내법은 해양환경관리법이 있다.

가). 외국에서 저장용 이산화탄소를 수입하여 국내 해역에 저장하는 경우

의정서 제6조 2항에 따르면 저장용 이산화탄소 수출에 연루된 국가들 간에 허가 책임을 확정해야 하는데 저장용 이산화탄소의 수출과 관련한 허가는 다음과 같이 수여되는 것이 원칙이다.

의정서 제9조에 따르면 각 협약 당사국의 허가 당국은 자국의 영토 내에서 선적된 물질 및 비회원국의 영토 내에서 선적된 경우 자국에 등록되거나 국기를 게양한 항공기 또는 선박에 선적된 물질의 해양투기 또는 소각을 허가할 권리를 갖는다... 제6조의 개정으로 타국에 저장할 수 있게 됨으로써 의정서 제9조에 따라 허가 발급 국가는 자국에서

선적한 경우 반드시 자국에 저장하지 않을 수도 있으므로 선적국 또는 비회원국에서 선적한 경우는 기국이 되어야 한다. 즉 저장에 대한 허가 발급 책임은 우선적으로 폐기물을 선적하는 국가인 반출국의 정부에 있다. 이러한 책임을 회피하기 위하여 반출국이 비회원국의 항구에서 선적하더라도 이 경우에는 의정서 제9조 (2)항이 적용되어 역시 반출국인 기국이 허가 당국이 되도록 하여 런던의정서상의 의무이행을 회피하지 못하도록 하였다. 따라서 비회원국에 저장하는 경우 이산화탄소 저장을 허가할 국가는 항상 반출국이 된다.

... .. 해양법협약 제210조 (5)항에 따르면 외국의 EEZ 또는 대륙붕에 해양투기를 하기 위해서는 연안국의 사전승인(prior consent)를 받아야 한다. 런던의정서에는 연안국 또는 반입국의 허가권리가 명시되어 있지 않지만 반입국의 대륙붕에 저장하기 위해서는 의정서에 따라 선적국 또는 기국의 허가가 있었다면 해양법협약에 따라 연안국(반입국)의 사전승인도 받아야만 한다. <김정은, “한국의 이산화탄소 해저 지중저장에 대한 런던의정서 제6조의 개정이 가지는 함의,” 홍기훈 편, *기후지구공학사업의관리규범제정에관한국제동향*, 연세대학교 동서문제 연구원, 도서출판 오름, 2011, pp.71-73.>

그러나 제출된 수출 협정 관련 지침에 명시된 허가 책임은 반드시 상기한 바와 같이 주어져 있지 아니한데 의정서 내의 관련 조항인 제9조의 내용이 폐기물의 해양투기를 감안하여 제정된 것이고 해저의 저장소에 저장하는 것을 관리하는 것과 폐기물 또는 기타 물질의 수출을 관리하는 내용을 반영하지 아니하였으므로 이산화탄소 지중저장과 관련한 허가 책임은 특화하여 지정할 필요가 있다. 수출 협정 관련 지침에 명시된 대략적인 허가 관리 책임에 따라 한국이 이 활동과 관련하여 연루될 수 있는 4개의 시나리오 별로 갖게 되는 의무 또는 권리를 대략적으로 설명하면 다음과 같다.

ㄱ. 회원국에서 수입

상기한 허가 원칙이 적용된다면, 회원국에서 저장용 이산화탄소를 수입하여 한국 관할 수역에 저장하는 경우 런던의정서 하의 허가 및 허가조건 이행을 보장할 의무는 해당 수출 회원국이 가지며 연안국으로써 한국도 해양법협약에 따라 그러한 저장활동에 대한 사전 승인을 수여할 권리가 있다. 지침안에 따르면 그러나 저장소 특성 관련 정보 수집 및 관리의 편의성으로 인하여 저장소 관련 정보 제공, 영향 평가 및 모니터링은 한국이 주도할 권리 및 의무가 발생할 수도 있다.

ㄴ. 비회원국에서 수입

비회원국에서 한국으로 이산화탄소를 수입하여 저장하는 경우는 회원국이자 연안국인 한국이 런던의정서의 허가 및 허가조건 관련 조항을 이행할 권리가 있게 된다. 또한 해양법협약에 따라 저장활동의 사전 승인을 수여할 권리도 갖게 된다.

나). 외국으로 저장용 이산화탄소를 수출하여 외국 해역에 저장하는 경우

ㄱ. 회원국에 저장

한국이 이산화탄소를 수출하여 회원국의 관할 수역에 저장하는 경우는 저장할 이산화탄소에 대한 정보 취급의 용이성으로 인하여 한국이 저장할 이산화탄소 관련 정보를 수입국에 제공할 의무가 발생하게 된다. 런던 의정서 제9조에 따르면 런던의정서 하의 허가 및 허가조건 이행 보장 의무, 양국 모두가 의정서 관련 규정을 적절히 이행하도록 보장할 의무 등을 갖게 될 수도 있다.

ㄴ. 비회원국에 저장

한국이 이산화탄소를 해저에 저장하기 위하여 비회원국에 수출하는 경우는 한국이 의정서 당사국으로서 의정서 관련 허가 및 허가 조건 규정의 적절한 이행을 보장할 의무가 있을 것이며, 저장할 이산화탄소 관련 정보를 수입국에 적절히 제공할 의무도 갖게 된다.

2). 해저지중저장용 이산화탄소 수출 관련 협약 체계안

개정된 런던의정서 제6조 2항 및 채택되지는 아니하였으나 수출 관련 협약 지침 내용을 반영하여 제1절에서 소개한 해양환경관리법의 해양지구공학 총괄 규정(안)을 개정하면 다음과 같다.

<본법>

제2조 (정의) 추가: “해양지구공학”이란 인위적 기후변화 및 그 영향에 대응하는 등의 자연과정의 조작 가능성을 가진 해양환경에의 의도적 개입을 의미하는데, 그 영향이 광범위하고, 장기지속적이거나 심각한 오염을 일으킬 가능성을 가진 것이다.

제23A조 (해양지구공학활동으로 발생하는 오염 방지)

- ① 이산화탄소 해저지중저장 이외에, 합법적 과학조사로 판명된 경우를 제외하고는 선박, 항공기, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물에서 해양지구공학 활동을 위하여 소용될 물질을 해양, 해저 및 하층토에 투입하는 것을 허가하지 아니 한다.
- ② 이산화탄소 해저지중저장과 합법적 과학조사용 해양지구공학 활동은 이 법의 시행령 및 시행규칙이 정하는 허가발행 절차에 따라 허가를 발급 받아 허가 조건에 따라 시행해야 한다.

- ③ 전항의 해양지구공학 활동의 허가 신청시 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 해역 범위에 대한 정보를 함께 제출해야 한다.
- ④ 관계기관은 제출된 허가신청 서류 상의 해역 범위를 고려하여 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 모든 국가로부터 동의를 받는 외교적 절차를 개시해야 한다.
- ⑤ 이산화탄소를 해저저장을 위하여 수출할 때에는 수입국과 양자간 협정을 체결해야 한다.

<시행령 : 제C조 (이산화탄소 해저지중저장 수출 협정)

이산화탄소를 해저지중저장 목적으로 수출하는 경우 다음 내용을 포함하는 협정을 수입국과 체결해야 한다.

- .1 국제법과 의정서 규정에 준하여 수입국과 수출국간에 허가 책임을 분배해야 한다
- .2 이 협정의 어떠한 규정도 의정서 하의 해양환경 보호 및 보전 의무를 저해하지 아니한다.
- .3 수출국은 지중저장용 이산화탄소의 특성 등의 정보를 수입국에 제공해야 한다.
- .4 수입국은 저장 해역의 선택 및 평가에 필요한 정보를 수출국에 제공해야 한다.
- .5 수입국은 지중저장의 잠재적 영향평가 결과를 수출국과 공유해야 한다.
- .6 수입국은 이 협정의 준수 책임과 저장해역 모니터링 및 위험관리에 책임을 진다.
- .7 이산화탄소 해저지중저장의 허가에는 다음의 정보가 포함되어야 한다.
 - .1 투기 물질의 유형 및 기원;
 - .2 투기해역 위치;
 - .3 투기 방법;
 - .4 모니터링 및 보고 요건.
- .8 해당 허가는 정기적으로 검토해야 한다. >

- ⑥ 상기한 활동에 대한 허가는 관련 국제기구에 적절히 보고해야 한다.

3) 이산화탄소 저장 후 월경성 이동에 관한 지침의 국내법 반영

이산화탄소의 해저지중저장소는 한 국가 이상의 관할 수역에 걸쳐 있는 경우가 있을 수 있는데 그러한 경우 이산화탄소의 주입 이후 자연적으로 다른 국가의 관할 해역에 위치한 저장소에 옮겨갈 수 있다. 비록 이산화탄소 주입 후의 저장용 이산화탄소의 경계를 초월한 이동이 발생할 가능성이 있

는 경우에 대비한 이산화탄소 저장 지침이 개정되어 2012년 10월 당사국회의에서 채택되었으나, 그러한 경계를 초월한 이동은 런던의정서 제6조의 수출에 해당하지 아니한다는 것이 제6조의 개정시 채택된 결의안에 명시되어 있으며 또한 이산화탄소 저장지침에도 명시되어 있다.

따라서 금번 지침의 개정은 수출과 직접적 관련 없이 해양환경을 보호할 일반적인 의무 이행을 위한 추가로 볼 수 있을 것이다.

저장소 내에서의 이산화탄소의 자연적 이동도 4가지 시나리오로 나누어 한국이 갖게 될 권리 또는 의무를 설명할 수 있다. 즉 여러 국가에 걸쳐 있는 저장소에 한국이 이산화탄소를 주입한 경우 (1) 관련 국가가 의정서 회원국인 경우, (2) 비회원국인 경우, 그러한 저장소에 타국이 저장한 경우 (3) 저장국이 회원국인 경우, (4) 저장국이 비회원국인 경우가 있을 수 있다.

가. 여러 국가의 대륙붕에 위치한 저장소에 한국이 저장한 경우

개정된 이산화탄소 저장지침에 따르면 주입한 국가(이 경우 한국)가 해당 지침의 이행 책임을 가진다. 또한 해양법협약 등의 관련 국제법을 침해함 없이 해당 지질 구조가 위치해 있는 모든 국가에 해당 활동의 동의를 구해야 한다. 또한 모든 관련 주체들과 정보공유를 해야 하며, 적절한 경우 협약 또는 협정 형태로 이 지침의 이행을 보장해야 할 의무를 가진다.

나. 여러 국가의 대륙붕에 위치한 저장소에 외국이 저장한 경우

ㄱ. 주입한 국가가 회원국인 경우: 상기한 지침을 들어 해당 지침을 이행할 것과 저장과 관련한 한국의 동의를 받을 것, 그리고 관련 정보를 한국과 공유할 것 등을 요청할 수 있다.

ㄴ. 주입한 국가가 비회원국인 경우: 역시 저장과 관련해 한국의 동의를 받을 것을 요청하고 정보 공유를 요청할 수 있다.

다. 이산화탄소 지중저장 지침 개정의 국내법 반영

2012년 채택된 개정안의 주요 내용은 다음과 같다.

- 수입국은 국제법을 저해함 없이 저장소가 여러 국가에 걸쳐 있는 경우 해당 저장소가 위치한 모든 국가들로부터 저장에 대한 동의를 구해야 한다.
- 수입국은 저장과 저장 위치 등에 관한 정보를 관련국에 제공해야 한다.

상기한 내용을 반영하여 제1절에서 소개한 총괄 규정을 수정하면 아래와 같다.

<본법>

제2조 (정의) 추가: “해양지구공학”이란 인위적 기후변화 및 그 영향에 대응하는 등의 자연과정의 조작 가능성을 가진 해양환경에의 의도적 개입을 의미하는데, 그 영향이 광범위하고, 장기지속적이거나 심각한 오염을 일으킬 가능성을 가진 것이다.

제23A조 (해양지구공학활동으로 발생하는 오염 방지)

- ① 이산화탄소 해저지중저장 이외에, 합법적 과학조사로 판명된 경우를 제외하고는 선박, 항공기, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물에서 해양지구공학 활동을 위하여 소용될 물질을 해양, 해저 및 하층토에 투입하는 것을 허가하지 아니 한다.
- ② 이산화탄소 해저지중저장과 합법적 과학조사용 해양지구공학 활동은 이 법의 시행령 및 시행규칙이 정하는 허가발행 절차에 따라 허가를 발급받아 허가 조건에 따라 시행해야 한다.
- ③ 전항의 해양지구공학 활동의 허가 신청시 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 해역 또는 저장소 범위에 대한 정보를 함께 제출해야한다.
- ④ 관계기관은 제출된 허가신청 서류 상의 해역 또는 저장소 범위를고려하여 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 모든 국가로부터 동의를 받는 외교적 절차를 개시해야 한다.
- ⑤ 이산화탄소를 해저저장을 위하여 수출할 때에는 수입국과 양자간 협정을 체결해야 한다.
- ⑥ 상기한 활동에 대한 허가 및 정보는 관련 국제기구에 적절히 보고해야 한다.

표 4-5-3. 런던의정서 2012년 이산화탄소 해저지중저장 평가 상세 지침 개정안 (추가된 부분)

이산화탄소 해저지중저장: 2007년 이산화탄소 저장 지침
2012년 이산화탄소 해저지중저장 평가 상세 지침 개정안 (추가된 부분)
A. <u>한 국가 이상이 사용할 수 있는 경계를 초월한 해저 저장소의 경우, 또는 주입한 이산화탄소가 경계를 초월하여 이동할 잠재성을 가진 곳에 해저 저장소가 위치해 있는 경우, 주입지역을 관할하는 협약 당사국은 이 상세 지침의 이행 책임을 가진다.해양법협약을 포함한 국제법을 저해함 없이 그러한 해저 저장소를 사용하기 위해서는 해당 저장소에 대한 관할권을 갖는 모든 국가들로부터 동의를 구해야 한다. 주입지역을 관할하는 협약 당사국은 타 협약 당사국, 제3국, 및 기타 관련 주체와 협력하여 필요한만큼 정보 공유를 보장해야 하며 국제법에 따라 협약 또는 협정을 체결하여 이 상세 지침이</u>

효과적으로 이행될 수 있도록 해야 한다.

B. 이 지침은 2009년 개정(2009년 10월 30일 채택된 결의안 LP.3(4) 참고)이 발효하면, 저장용 이산화탄소를 런던협약 제6조 2항에 따라 처분하기 위하여 수출하는 경우에 적용될 것이다.

6.5 한 국가 이상이 사용할 수 있는 해저지중 저장소의 경우, 또는 주입 후에 국가간 이동이 가능한 곳에 저장지가 위치해 있는 경우, 주입 발생지의 관할 당사국들은 타 관련 당사국, 제3국 및 관련 주체와 협력하여 국제법에 따라 필요한 만큼 정보를 적절히 공유할 수 있도록 해야 한다.

다. 결론

현재 이산화탄소 해저지중저장 관련 런던의정서 및 관련 지침의 개정과 지침 개정안 논의, 해양시비 및 해양지구공학 관리를 위한 개정 논의 등은 아직 채택, 발효되었거나 한국이 비준하지 아니한 관계로 한국이 즉각 관련 국내법을 정비할 이유는 없다. 하지만 한국도 이산화탄소 해저지중저장을 이행할 계획이 있으며, 런던의정서 하의 해양지구공학 활동의 관리를 위한 개정안 채택에 앞장섰던 만큼 논의 중인 개정안들을 비준할 필요가 있다. 따라서 그러한 경우에 대비하여 국내법의 관련 규정에 새로운 사안들을 어떻게 반영할 것인지를 사전에 논의해 두는 것은 필수적이라 하겠다.

이 글에서 논의한 런던의정서 하에서 해양시비를 비롯한 해양지구공학 관리를 위한 최근 논의와, 이산화탄소 개정 내용 등을 종합하여 최근 중요 사안들과 관련한 논의 내용을 반영한 국내법 개정안을 종합하면 다음과 같다.

<본법>

제2조 (정의) 추가: “해양지구공학”이란 인위적 기후변화 및 그 영향에 대응하는 등의 자연과정의 조작 가능성을 가진 해양환경에의 의도적 개입을 의미하는데, 그 영향이 광범위하고, 장기지속적이거나 심각한 오염을 일으킬 가능성을 가진 것이다.

제23A조 (해양지구공학활동으로 발생하는 오염 방지)

- ① 이산화탄소 해저지중저장 이외에, 합법적 과학조사로 판명된 경우를 제외하고는 선박, 항공기, 플랫폼 또는 기타 해상 인공구조물에서 해양지구공학 활동을 위하여 소용될 물질을 해양, 해저 및 하층토에 투입하는 것을 허가하지 아니 한다.

<합법적 과학조사 판별 절차의 추가: 해양환경관리법 시행령과 시행규칙>

- ② 이산화탄소 해저지중저장과 합법적 과학조사용 해양지구공학 활동은 이 법의 시행령 및 시행규칙이 정하는 허가발행 절차에 따라 허가를 발급 받아 허가 조건에 따라 시행해야 한다.

시행령 제A조 (과학조사용 해양지구공학 활동의 허가 신청)

본 법 제23A조에 따른 해양지구공학 활동에 대한 허가 신청서에는 다음을 명시해야 한다.

- .1 해당 활동으로 인하여 기대되는 기후경감의 효과
- .2 투입할 물질의 형태와 특성
- .3 해당 활동의 연구목표, 방법, 규모, 시기, 장소, 기대 결과 및 위험성
- .4 투입할 해역의 특성
- .5 해당 연구방법의 대안과 기대 효과 비교
- .6 모니터링 계획
- .7 위험 관리 방안
- .8 해양환경에의 잠재적 영향 평가 결과
- .9 가능한 경우, 투입한 물질의 제거 계획
- .10 자원

시행규칙 제a조 (해양지구공학 활동 허가 신청서)

- ① 허가 신청서에 투입 물질에 관한 다음 특성을 기입해야 한다.
- .1 기원, 총량, 형태, 구성 성분
 - .2 물리, 화학, 생화학 및 생물적 특성
 - .3 독성
 - .4 물리, 화학 및 생물적 지속성
 - .5 생물질 또는 퇴적물 내의 축적 및 생변형
- ② 허가 신청서에는 투입 해역에 관한 다음 평가 자료가 포함되어야 한다.
- .1 투입해역 및 잠재적 영향 해역의 물리적, 지리적, 화학적, 생물적 조건,
 - .2 이들 조건의 불확실성
 - .3 기타 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 환경 요소
- ③ 모니터링 계획은 방법, 빈도 내용을 허가 조건 준수 모니터링과 허가 검토 및 해역 선택 과정에 설정한 가설이 옳은 지와 환경 보호 및 보

전에 충분한지를 확인하는 필드 모니터링으로 나누어 기입하여 제출한다.
시행령 제B조 (과학조사용 해양지구공학 활동의 허가 기준)

- ① 과학조사용 해양지구공학 활동은 해양오염을 방지 또는 최소화 하도록 고안되어야 한다.
- ② 다음의 경우에 과학조사용 해양지구공학 활동 허가는 발급할 수 없다.
 1. 해양 환경에의 잠재 영향 평가가 불가능한 경우
 2. 해당 활동으로 인하여 상업적 이익을 취할 수 있는 경우
 3. 위험 관리 및 모니터링 요건을 충족시키지 아니하는 경우
- ③ 발급된 허가는 모니터링 결과 및 관련 연구를 고려하여 정기적으로 검토되어야 한다.
- ④ 전항의 해양지구공학 활동의 허가 신청시 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 해역 또는 저장소 범위에 대한 정보를 함께 제출해야 한다.
- ⑤ 관계기관은 제출된 허가신청 서류 상의 해역 또는 저장소 범위를 고려하여 해당 활동으로 영향을 받을 수 있는 모든 국가로부터 동의를 받는 외교적 절차를 개시해야 한다.
- ⑥ 이산화탄소를 해저저장을 위하여 수출할 때에는 수입국과 양자간 협정을 체결해야 한다.

<시행령 : 제C조 (이산화탄소 해저지중저장 수출 협정)

이산화탄소를 해저지중저장 목적으로 수출하는 경우 다음 내용을 포함하는 협정을 수입국과 체결해야 한다.

1. 국제법과 의정서 규정에 준하여 수입국과 수출국간에 허가 책임을 분배해야 한다
2. 이 협정의 어떠한 규정도 의정서 하의 해양환경 보호 및 보전 의무를 저해하지 아니한다.
3. 수출국은 지중저장용 이산화탄소의 특성 등의 정보를 수입국에 제공해야 한다.
4. 수입국은 저장 해역의 선택 및 평가에 필요한 정보를 수출국에 제공해야 한다.
5. 수입국은 지중저장의 잠재적 영향평가 결과를 수출국과 공유해야 한다.
6. 수입국은 이 협정의 준수 책임과 저장해역 모니터링 및 위험관리에 책임을 진다.
7. 이산화탄소 해저지중저장의 허가에는 다음의 정보가 포함되어야 한다.
 1. 투기 물질의 유형 및 기원;

- .2 투기해역 위치;
 - .3 투기 방법;
 - .4 모니터링 및 보고 요건.
 - .8 해당 허가는 정기적으로 검토해야 한다.
- ⑥ 상기한 활동에 대한 허가 및 정보는 관련 국제기구에 적절히 보고해야 한다.

주입 후에 저장용 이산화탄소의 경계를 초월한 이동은 저장용 이산화탄소가 주입된 후 경계를 초월한 해저 저장 지형 이내에서 한 국가의 경계를 초월하여 저장용 이산화탄소를 이동시킨 것으로 정의한다.

경계를 초월한 해저 저장지형은 그 외의 국가 또는 공해로 확장될 수 있다. 주입 후의 저장용 이산화탄소의 경계를 초월한 이동은 런던의정서 제6조의 수출에 해당하지 아니한다 (2009년 10월 30일 채택된 결의안 LP.3(4) 참고).

제 6 절 해양배출 저감정책 홍보 및 이해당사자 주도적 참여 유도

1. 폐기물 해양배출 종합관리정보망 운영

국내에서 발생된 폐기물은 경제적으로 이용하는 재활용 등 육상처리가 가능함에도 불구하고 상당량이 해양에 배출되고 있다. 특히 하수오니의 경우 우리나라는 런던협약(87개국) 및 런던의정서(42개국) 당사국 중 유일한 해양배출 국가라는 오명을 갖고 있다. 이것은 폐기물 발생부터 처분되기까지의 전 과정에 대한 정보 부족에 기인된다. 즉, 각 정부 부처·지방자치 단체별로 폐기물의 처분 운영을 하고 있기 때문에 배출되는 폐기물의 발생원, 종류, 성상과 같은 특징, 그리고 처분지 등에 대한 정보가 산재해 있어 최종 처분의 통계가 제대로 이루어지지 않고, 재활용을 할 수 있는 부분을 회수하는데도 많은 어려움이 있다. 따라서 본 폐기물 해양배출 종합관리 정보망은 누구나 접할 수 있는 웹사이트를 운영하여, 폐기물 발생현황, 폐기물 해양배출에 대한 국제동향, 국내외 제도, 폐기물을 경제적으로 활용할 수 있는 국내·외 모든 정보를 제공·홍보하여 발생된 폐기물을 해양배출하기 이전에 발생원부터 감축을 유도하고, 폐기물 해양배출 방지를 위한 대국민 건전 여론을 조성하는 목적으로 구축되었다(그림 4-6-1).



그림 4-6-1. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 메인화면

가. 홈페이지 구성

홈페이지의 구성은 크게 다음의 8가지 핵심 콘텐츠로 구성되어 있고 최신 자료로 갱신하여 운영 중에 있다.

		• •
		• • • • •
	/	• • • • • • •
	4	• • • •
		• • •
		• • • • •
		• • • • • •
	Q&A	• • • •
		• / • • • •

나. 회원 구성 및 이용도

본 정보시스템은 기본적으로 회원 방식으로 운영되고 있다. 그러나 비회원도 회원자료실, 게시판과 배출해역 환경상태를 제외한 모든 정보를 본 홈페이지를 통해 얻을 수 있다.

'11년까지 등록된 회원은 총 366명으로서, 폐기물 발생 및 재활용업체가 48%, 학생 26%, 학계 13%, 공무원 11%, 그리고 언론계 종사자 등 기타가 9% 순으로 나타났다(그림 4-6-2). '12년부터는 개인정보보호법 시행으로 회원제를 없애고, 누구나 모든 자료를 열람할 수 있도록 했다.

본 홈페이지 이용자 분야를 파악을 위해 '11년까지 운용한 회원제의 결과, 폐기물 발생업체 및 재활용 업체가 전체 회원에서 차지하는 비율은 2010년에 39%였으나 2011년에는 거의 절반을 차지함으로써, 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출이 금지되는 2012년을 앞두고 해양배출 관련업체 종사자들의 본 정보시스템에 대한 관심이 증가했음을 알 수 있다.

앞으로도 더욱 양질의 정보를 제공함으로써 폐기물 해양배출 저감을 위해 기여할 것이다.

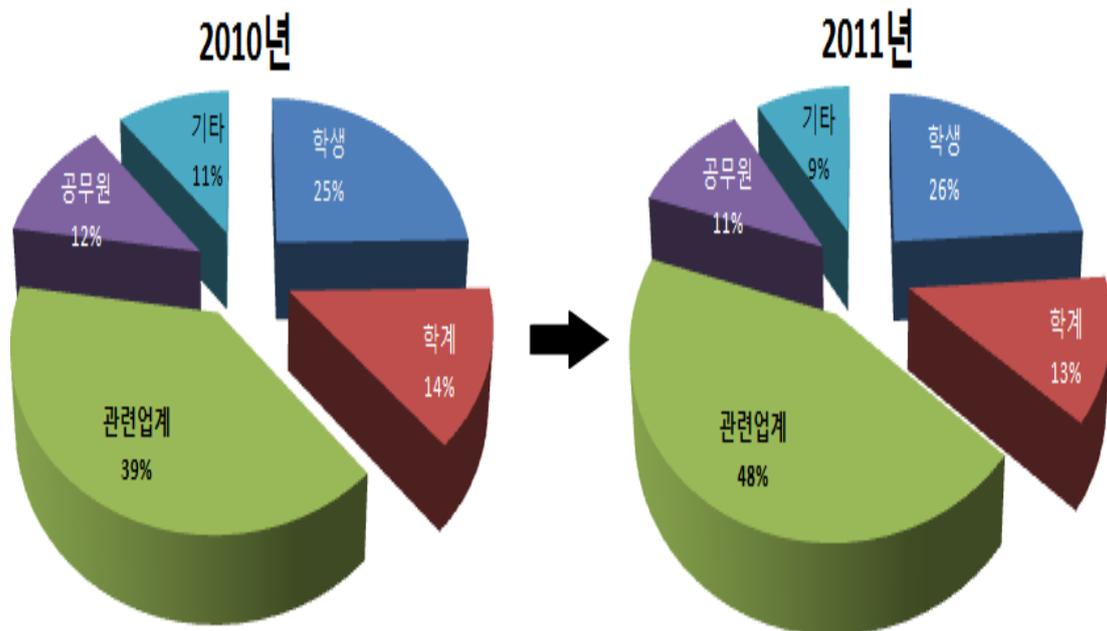


그림 4-6-2. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 회원 구성

또한 본 정보시스템의 관리모드에 있는 기간별 접속 통계 시스템이 설정된 2008년부터 2012년까지 852,082명(평균 14,500명/월)이 본 정보시스템을 방문하였다. 특히 하수처리오니, 가축분뇨와 음폐수 입법예고와 해양배출업체 파악이 시작된 2011년 8월에는 역대 최고인 32,000명이 본 홈페이지에 방문한 적도 있다(그림 4-6-3).

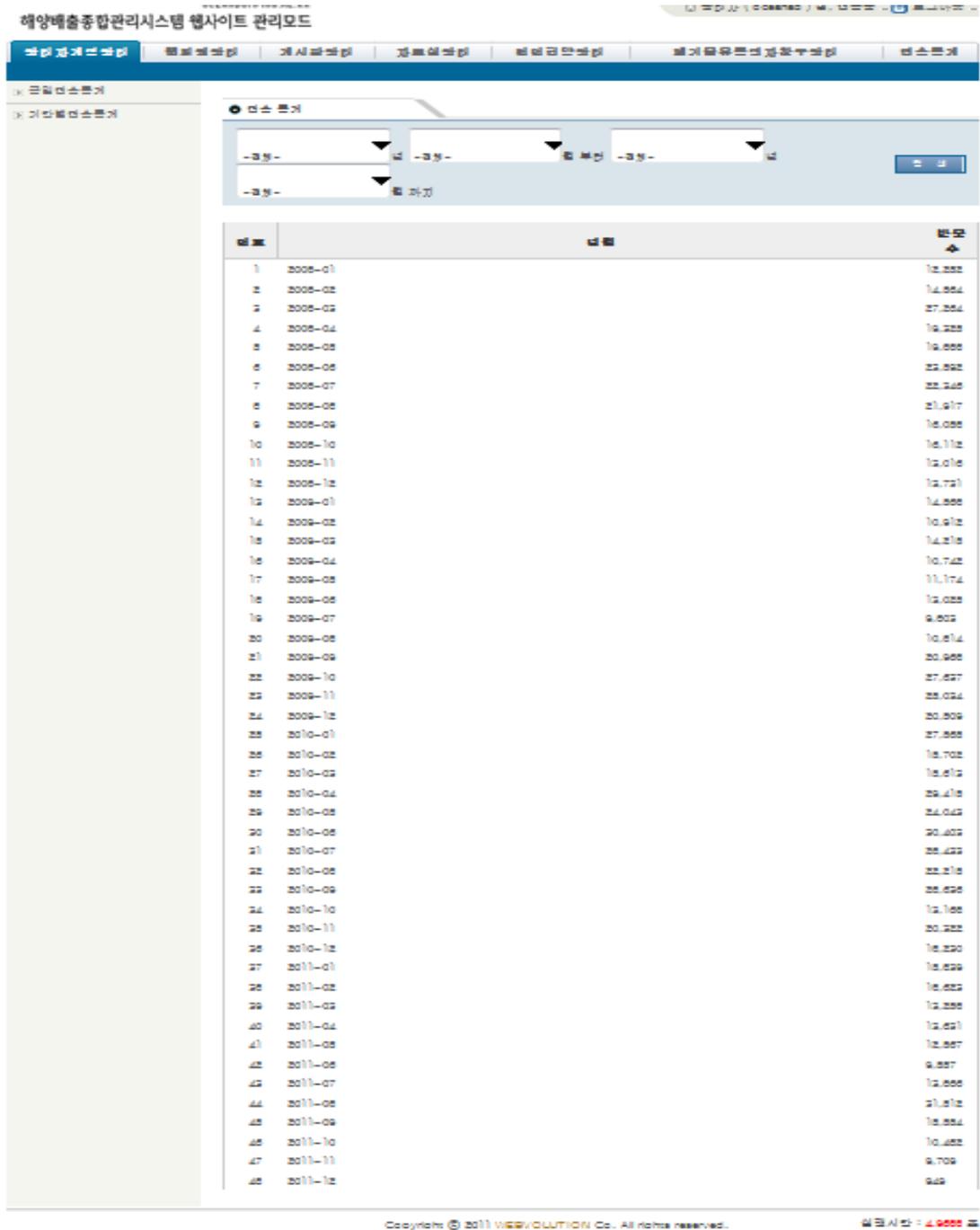


그림 4-6-3. 폐기물 해양배출 종합관리 정보시스템 월별 접속자 통계

2. 폐기물 해양배출 저감정책 홍보

가. 홈페이지 활용

1) 해양배출 금지 안내

정부는 2006년 3월 7일 수립된 「육상폐기물 해양투기관리 종합대책」에 따라 폐기물 해양배출량을 단계적으로 감축시키고, 궁극적으로는 해양배출을 금지하는 해양배출 저감정책을 시행하고 있다. 특히 당해 연도는 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출 금지를 시행한 획기적인 해이다.

동 홈페이지(www.oceandumping.re.kr)에서는 하수처리오니와 가축분뇨 해양배출금지 정착화와 ‘13년부터 시행되는 음폐수 해양배출 금지 등 정부의 저감정책에 대한 적극적인 대중 홍보를 위해 본 홈페이지 메인화면에 육상폐기물 해양배출 금지를 알리는 배너를 지속적으로 게재하고, 이를 클릭하면 저감정책에 대한 타당성과 금지 시기 등 상세한 내용을 볼 수 있게 했다.

또한 폐기물 해양배출에 따른 경각심도 재인식시키기 위해 2004년 11월 6일 KBS TV에서 방영되었던 KBS 환경스페셜 “해양투기 17년 바다는 경고한다”는 방송을 링크시켜 다시 볼 수 있도록 했다.



그림 4-6-4. 폐기물 해양배출 저감정책 홍보활동 현황

2) 폐기물 재활용 언론보도와 홈페이지 연계 정보제공

육상 폐기물 해양배출 전면금지 시행('12년; 하수오니, 가축분뇨 '13년: 음폐수), 폐기물 재활용과 관련된 신문, 잡지, TV 등 대중매체에 보도되거나 방영된 내용을 눈에 잘 띄는 본 정보 시스템 메인화면에 신속히 링크시켜 국민 및 육상 폐기물 해양배출 관련 이해당사자들이 육상 폐기물 해양배출 금지 정책과 폐기물 재활용 촉진에 관심을 갖고 또한 공감대를 형성할 수 있도록 하였다.

또한 이러한 정보는 육상처리에 대한 장애요인 분석과 육상 폐기물 해양배출 금지정책에 대한 지방자치단체들의 동향을 분석하는데도 유용하게 이용될 수 있다.

그리고 본 정보시스템에 링크된 2012년 언론사별 폐기물 해양배출 관련 보도 제목 및 일시를 정리하였다. 또한 관련 내용을 정리하여 2012년 해양배출 폐기물관련 언론보도 모음집을 별도의 부록으로 발간하였다.

3) 지자체 우수사례 및 재활용업체 우수기술 홍보

폐기물 관리의 기본원칙은 감량과 재활용이다. 그러나 경제성, 재활용 산업 발달의 부진, 정부의 지원 대책 미흡 등으로 해양배출 의존도가 심화되고 있는 상황이다. 이것은 폐기물관련 법/제도 미흡, 저렴한 해양처분 단가 등 여러 원인들에도 기인되지만, 재활용이 가능한 폐기물에 대한 이용자간 정보가 효율적으로 제공되지 못한 점도 지적될 수 있다.

현재 해양에 배출되고 있는 폐기물 중 거의 대부분은 풍부한 유기물이 함유되어 있어 위탁자에게는 폐기물이지만, 이를 재활용하는 이용자에게는 원료로서 활용될 수 있다. 그러나 극히 제한된 정보로 인해 재활용될 수 있는 폐기물이 효율적으로 유통되지 못해 해양배출이 한층 심화되고 있는 상황이다.

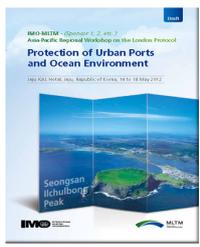
이에 따라 지난해에 이어 당해 연도에도 폐기물 발생자와 이용자간 상호 정보를 신속하게 제공할 수 있는 전자유통창구를 지속 운용 중에 있다.

또한 폐기물 육상처리 및 재활용 유도를 위해 세미나를 개최하고, 우수업체들을 초빙하여 이들의 기술을 적극 홍보하도록 하였다.

나. 기타 홍보 활동

당해 연도에도 홍보물 발간, 교육 및 세미나 개최와 대중잡지 기고문 등을 통해 폐기물 해양배출 감축 당위성과 육상처리 특히 재활용 촉진 유도에 주력하였다. 이에 대한 주요 활동들은 다음과 같다.

1). 홍보물 발간 (총 4편)

1	2012		2012.8
2	2012		2012.8
3	2012		2012.12
4	2012		2012.12

2) 자문, 강연, 교육 및 세미나 개최

▶ • :	<ul style="list-style-type: none"> • · : '12. 5. 30 · : KAL · : 가, , 가
▶ , (8) • :	<ul style="list-style-type: none"> • · : '12. 1. 31 · : · : , 가, • · : '12. 3. 23 · : · : , 가, • · : '12. 4. 20 · : · : , 가, • · : '12. 6. 21 · : · : , , 가 • · : '12. 9. 4 · : · : , 가, • · : '12. 11. 16 · : · : , 가, , • · : '12. 11. 20 · : · : , 가, • · : '12. 11. 23 · : · :

▶ • :	• MBC 9 (‘12. 5.30)

3). 대중잡지, 학술지 등 게재

, ()	
• (‘12. 8)	• : Ocean Science Journal, 47(3):387-394
• (‘12. 12)	• : :

참고문헌

참고문헌

- 강원구, 2003. 전업농가의 분뇨처리 해결방안과 효율적인 자원화 방안, 월간 양돈 5월호
- 강정훈, 김웅서, 심재형, 2002. 독도 주변에서 춘계와 추계의 동물플랑크톤 종조성과 개체수. *Ocean and Polar Res.*, 24:407-417.
- 공태식, 2004. 음식물류 폐기물 자원화시설의 설치 및 운영현황평가에 의한 개선 방안에 관한 연구, 서울산업대학교.
- 국립농산물품질관리원, 2007. 농업통계정보; 가축통계
- 국립수산과학원. 2004. 한국연근해 유용어류도감, 제2판. 334pp.
- 국립수산과학원, 2008. 동해어황정보
- 국립수산진흥원. 2001. 한국새우류도감. 한글그라픽스, 부산, 224pp.
- 국립해양조사원, 2007. 해양조사기술연보 2007.
- 국토해양부, 2008. 국토해양부 고시 제2008-268호. 「해양환경공정시험방법」 일부개정. 146-148.
- 국토해양부, 2009. 폐기물 해양배출 종합관리 시스템(VI) 최종보고서.
- 김동성, 이재학, 2000. 시화호 오염수 방류에 따른 중형저서동물의 군집 변동. *한국환경생물학회지*. 18: 205-216.
- 김동성, 이재학, 2001. 시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여. *한국환경생물학회지*, 19, 159-171.
- 김동성, 제종길, 신상호, 2000. 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링. *한수지*. 33: 307-319.
- 김상훈, 2006. 물벼룩과 발광미생물을 이용한 산업폐수 생물독성평가에 관한 연구. 한양대학교 박사학위논문. 206p.
- 김석현 등, 1998. 해양투기장 해역의 환경모니터링기술, 환경부 용역보고서, 747p.
- 김영일 등, 2007. 폐기물 해양배출 종합관리시스템 구축 (IV) 보고서, 해양수산부 용역보고서, 1,240p.

- 김일희. 1998. 한국동식물도감, 제38권 동물편(따개비류, 공생성 요각류, 바다 거미류). 교육부 국정교과서주식회사, 서울, 1038pp.
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠, 2003. 우리나라 남해안 패류의 중금속 함량. 한국식품위생안전성학회지. 18(3): 125-132.
- 김학균, 이필용, 최희구, 박종수, 강창근, 김차겸, 김평중, 박영철, 이삼근, 안경호, 심정민, 1994. 어정환경오염조사. 수진사업보고서(해양환경분야), 85-100.
- 김학균, 최희구, 김차겸, 김평중, 박영철, 이원찬, 1995. 어정환경오염조사. 수진사업보고서(해양환경분야), 62-73.
- 김훈수, 1973. 한국동식물도감-제 14권 동물편 (집게, 게)-문교부, pp. 694.
- 김훈수. 1977. 한국동식물도감, 제19권 동물편(새우류). 문교부, 414pp.
- 농림부, 환경부, 2004. 가축분뇨 관리·이용대책, 259p.
- 농촌진흥청, 2007. 가축분뇨 자원화 연구동향 및 금후 연구 추진방향 연구 보고서, 260p.
- 명정인, 김병일, 이선명, 전길봉, 2002. 우리나라 어류도감. 다락원, p288.
- 문동혁, 이희일, 신동혁, 신경훈, 조현구, 2008. 황해 표층퇴적물의 점토광물 분포: 절대광물조성과 상대광물조성, 한국광물학회지, 21(3): 289-295
- 박건호, 이규태, 이정석, 한경남, 2006. 방오도료(TBT, Sea-nine Cu-pyrithione 과 Zn-pyrithione)의 조피볼락 *Sebastes schlegili*과 단각류 *Monocorophium acherusicum*에 대한 급성독성 비교. 한국해양환경 공학회지, 9(1): 21-28.
- 박경수, 이상희, 이승민, 윤성진, 박승윤, 2005. 해양생태독성평가를 위한 표준시험생물로서의 식물플랑크톤에 관한 연구. 한국환경과학회지, 14: 1129-1139.
- 박경수, 이승민, 한태준, 이정석, 2008, 해양생태독성평가를 위한 표준시험방법 개발에 관한 연구. 한국해양학회지<바다> 13(2): 106-111.
- 박명호, 김일수, 류병재, 2003. 울릉분지 북서부 해역의 코어퇴적물에 대한 제4기 후기 테프라 층서 및 테프라층 비교 연구. 자원환경지질, 36(3): 225-232.

- 박명호, 류병재, 김일수, 정태진, 이영주, 유강민, 2002. 울릉분지 남서부 해역의 천부퇴적물에 대한 층서·퇴적학적 연구. 자원환경지질, 35(2): 171-177.
- 박철, 최종기, 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 1. 종 목록, 우점종 분포, 중간 유연관계. J. Korean Fish. Soc., 30: 225-238.
- 박치호 등, 2002. 가축분뇨처리를 위한 Biogas 이용기술 개발 (축산분뇨를 이용한 Biogas 생산이용 현장적용 기술), 농촌진흥청 시험연구보고서
- 백의인, 1989. 한국동식물도감-제 31권 동물편 (갯지렁이)-. 문교부. pp. 764.
- 서울특별시, 2006. 서울시 하수슬러지 생물독성평가. 179p.
- 서해립, 김성수, 고유봉, 남기완, 윤성규, 윤양호, 조수근, 홍재상, 1995. 영일만 표영군집 내의 ^{210}Po 축적. 한국수산학회지. 28권 2호, 219-226.
- 서해수산연구소, 2006. 생물검정을 이용한 해양환경평가기법개발 외부연구용역. 해조류, 해산어류 및 저서생물 독성평가 기법 개발과 교차분석. 193p.
- 손민호, 홍성윤. 2003. 바위해변에 사는 해양생물. 풍등출판사, 서울, 143pp.
- 수도권매립지공사, 2005. 유기성오니 처리체계 개선에 관한 연구, 수도권매립지공사, 2005. 12
- 수도권매립지공사, 2005. 음식물류폐기물 수거·운반·처리비용 산정기준 제정을 위한 연구, 수도권매립지공사, 2005. 8
- 승영호, 1992. 한반도 주변의수괴와 해수순환. 한국해양학회지, 27(4): 324-331.
- 식약청, 2000. 식품공전. 43p.
- 식약청 고시, 제 2010-58(2010. 7. 23)호.
- 양한섭, 김성수, 이재철, 1995. 동해 중부해역에서 ^{210}Po 과 ^{234}Th 의 순환에 대한 소용돌이의 영향. 한국해양학회지, 30권, 4호, 279-287.
- 양한섭, 김성수, 이재철, 1996. 봄철 동해에서 해수 중 ^{210}Po 과 ^{210}Pb 의 농도 분포 특성. 한국수산학회지, 29권, 2호, 238-245.
- 윤성진, 박경수, 오정환, 박승윤, 2006. 저서성 해산 요각류 *harpacticoid Tigriopus japonicus* 유생을 이용한 해양생태독성 평가. 한국해양환경공학회지. 9(3): 160-167.

- 이규태, 박경수, 김평중, 2008b. 해양성 발광박테리아를 이용한 해양환경 독성평가시험법 개발: N-tox test. 한국해양학회지 <바다>, 13(2): 156-163.
- 이규태, 이정석, 김동훈, 김찬국, 박건호, 강성길, 박경수, 2005a. 국내산저서 단각류 *Mandibulophoxus mai*와 *Monocorophium acherusicum*의 생존, 성장 및 민감도에 대한 온도의 영향. 한국해양환경공학회지, 8(1): 9-16.
- 이재학, 박자양, 박홍식, 이형곤, 김동성. 2003. 저서오염지수(BPI)를 이용한 시화호 환경평가. *Oce. Pol. Res.*, 25, 183-200.
- 이정석, 이규태, 2005. 유해오염물질에 급성 노출된 단각류 *Monocorophium acherusicum*의 자연 사망률에 관한 연구. 환경독성학회지, 20(2): 133-141.
- 이정석, 이승민, 박경수, 2008a. 국내산 저서 단각류를 이용한 퇴적물 독성시험법 개발에 관한 연구. 한국해양학회지<바다>, 13(2): 147-155.
- 이재학, 박자양, 박홍식, 이형곤, 김동성, 2003. 저서오염지수 (BPI)를 이용한 시화호 환경평가. *Ocean and Polar Res.*, 25, 183-200.
- 이창래, 박철, 문창호, 2004. 울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포. 바다, 9: 51-63.
- 이충일, 조규대, 최용규, 2003. 동해에서 쓰시마난류의 변동과 관련한 극전선의 공간적 변화. 한국환경과학회지, 12(9): 943-948.
- 이행필, 양한섭, 김기현, 1996. 춘계 동해남부 연안해역에서 해수 중 ^{210}Po 와 ^{234}Th 의 제거. 한국수산학회지, 29권 3호. 332-344.
- 임경훈, 신현출, 윤성명, 고철환, 2007. 진해만 대형저서동물 분석을 통한 저서환경 평가. 바다, 12(1): 9-23.
- 정재춘 외, 「음식물류폐기물 수거 운반 처리비용 산정기준 제정을 위한 연구」, 수도권매립지관리공사, 2005.8
- 정창수 등, 2004. 하수오니 해양배출 평가체제 개발 연구용역, 해양수산부, 390p.
- 정창수, 1989. 서해중부해역의 모악류 분포에 관한 연구. 인하대학교 석사학위논문. 87pp.

- 정창수, 2005. 런던협약 및 폐기물 배출해역 환경상태; 가축분뇨 해양배출 현황과 전망 세미나, '05. 6. 15 한국축산환경시설기기협회 개최, 31-44p.
- 정창수, 2009. 런던의정서 개요 및 최근 동향, 워터저널 3월호
- 정창수, 2010. 음식물류폐기물과 해양환경, 워터저널 4월호
- 정창수, 2010. 폐기물 해양배출 저감을 위한 노력, 미래환경저널 9월호
- 2011, 2011. 폐기물 해양투기국 불명예 벗는다, 미래환경저널 5월호
- 최미희, 서세욱, 2006. 유기성 폐기물 자원화 사업별 환경성 경제성 분석, 사업평가 현안분석 제14호, 국회예산정책처.
- 최병호, 1990. 세척자체계의 황해 및 동지나해 조석모형의 개발. 한국해양해양공학회지, 2: 231-244.
- 최진우, 서진영, 2007. 마산만 저서생태계를 중심으로 연안역 건강성 평가를 위한 저서생물지수의 적용, OPR, 29(4): 339-348.
- 최진우, 서진영, 이창훈, 류태권, 성찬경, 한기명, 현상민, 2005. 남해특별관리 해역인 마산만에서 동계 및 하계에 출현하는 대형저서동물 군집의 공간분포양상, OPR, 27: 381-395.
- 최진우, 현상민, 장만, 2003. 저서동물에 의한 여름철 광양만의 저서환경 상태 파악, 환경생물학회지, 21: 101-113.
- 최진우, 서진영, 이창훈, 류태권, 성찬경, 한기명, 현상민. 2005. 남해특별관리 해역인 마산만에서 동계 및 하계에 출현하는 대형저서동물 군집의 공간분포양상, Oce. Pol. Res., 27: 381-395.
- 최진우, 서진영. 2007. 마산만 저서생태계를 중심으로 연안역 건강성 평가를 위한 저서생물지수의 적용, Oce. Pol. Res., 29: 339-348.
- 폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축(II): 법제편(해양수산부 : 2005.12)
- 폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축(III): 법제편(해양수산부 : 2006.12)
- 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집. 아카데미서적, 서울, 489pp.
- 한국과학기술연구원해양연구소. 1990. 한국산 두족류에 관한 연구(I). PE00180-266-3, 146pp.

- 한국환경기술인연합회, 2011. 제 11회 환경정책 설명회 및 신기술 발표회 논문집 551p.
- 해양경찰청, 2007. 연구보고서 2권, 214p.
- 해양경찰청. 해양배출정보관리시스템 (<http://dms.kcg.go.kr/index.jsp>)
- 해양수산부, 2005. 폐기물 해양배출 종합관리 시스템 구축 (II); 최종보고서. 867-878 pp.
- 해양수산부, 2006. 동해병 폐기물 배출해역 생물 및 퇴적물 환경 정밀조사 보고서.
- 해양수산부, 2010. 해양환경공정시험기준
- 현정호, 목진숙, 조혜연, 조병철, 최중기, 2004. 하계 강화도 갯벌의 혐기성 유기물 분해능 및 황산염 환원력. 한국습지학회, 6:117-132
- 홍기훈, 김석현, 정창수, 김영일, 2003. 런던협약의 이해; 국가 폐기물 및 기타 물질의 최종처분 관리 정책 자료집, 범신사, 304p.
- 홍기훈, 김석현, 정창수, 정종률, 2000. 해양환경영향평가개론; 폐기물 및 기타 물질 최종처분과 해양환경관리, 시그마프레스, 502p.
- 홍성윤. 2006. 한국해양부척추동물 도감. 아카데미서적, p479.
- 환경부, 1996, 해양투기장 해역의 환경모니터링 기술
- 환경부, 1998. "해양투기장 해역의 환경모니터링 기술 연구. 제 3차년도 최종보고서. pp53-82.
- 환경부, 2002. 수질유해물질의 통합독성 관리제도 도입방안 연구. 환경부, 201p.
- 환경부, 2003. 수질유해물질의 통합독성 관리제도 도입방안 연구(II). 환경부, 201p.
- 환경부, 2005. 수질유해물질의 통합독성 관리제도 도입방안 연구(III). 환경부, p196.
- 환경부, 2005. 환경과 경제를 살리는 일 남은 은식물 자원화(음식물류폐기물 처리시설 운영사례), 환경부, 한국환경자원공사, 2005. 8
- 환경부, 2007. 환경부 고시 제2007-151호. 「폐기물공정시험방법」 개정. p208.
- 환경부, 2008. 산업폐수에 대한 생태독성 배출관리제도 홍보책자. 15p.
- 환경부, 2008. 환경부고시 제2008-99호. 수질오염공정시험기준. 제49항 물벼룩을 이용한 급성 독성 시험법(ES 04751.1). 354-359.

- 황인영, 류경무, 1996. 생물학적 방법에 의한 도시생활폐기물 매립지의 침출수 독성특성 평가. 한국환경독성학회지, 11(1-2): 31-39.
- 황운기, 이충원, 김광섭, 김형철, 안경호, 박승윤, 2009. 둥근성게의 수정 및 배 발생률을 이용한 해양배출폐기물의 독성평가. 한국환경독성학회지. 24(2): 25-32.
- Anderson RF, Flier AP. 1982. Determination of natural actinides and plutonium in marine particulate matter. Analytical Chemistry , pp. 1142 - 1147.
- Alexander, C.R., Master, D.J. and Nittrouer, C.A., 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: the Yellow Sea. Mar. Geo., 98: 51-72.
- An, H.S., 1974. On the cold water mass around the southeast coast of Korean peninsula. J. Oceanol. Soc. Kor., 9: 10-18.
- Amjad, S. and J.S. Gray., 1983. Use of the nematoda-copepod ratio as an index of organic pollution. Mar. Poll. Bull., 14: 178-181
- ASTM, 1995. Standard guide for conducting static acute toxicity tests with echinoid embryos. E1563-95. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 19 pp.
- ASTM, 1996. Standard guide for acute toxicity test with the rotifer Brachionus. ASTM 11.05, E1440-91, American Soc. Testing and Ma
- Bacon M. P. Belastock R. A., Tecotzky M., Turekian K. K. and Spencer D. W., 1988. Lead-210 and polonium-210 in ocean water profiles of the continental shelf and slope south of New England. Continental Shelf Research, 8, 841-853.
- Bacon M. P., Spencer D. W. and Brewer P. G., 1976. $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibrium in seawater and suspended particulate matter. Earth and Planetary Science Letters, 32, 277-296.
- Badsha, K.S., and M. Sainsbury, 1977. Uptake of zinc, lead and cadmium by young whiting in the Severn estuary. Marine Pollution Bulletin 8: 164-166.

- Balls P. W., 1988. The control of trace metal concentrations in coastal seawater through partitioning onto suspended particulate matter Earth and Planetary Science Letters, 32, 277-296.
- Baskaran M. and Santschi P. H., 1993. The role of particles and colloids in the transport of radionuclides in coastal environments of Texas. Marine Chemistry, 43, 95-114.
- Bat, K. and Raffaelli, D., 1998. Sediment toxicity testing: a bioassay approach using the amphipod *Corophium volutator* and the polychaete *Arenicola marina*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 226: 217-239.
- Bat, L., Raffaelli, D. and Marr, I.L., 1998. The accumulation of copper, zinc and cadmium by the amphipod *Corophium volutator* (Pallas). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 223: 167-184.
- Bat, L. and Akbulut, M., 2001. Studies on sediment toxicity bioassays using *Chironomus thummi* K., 1911 larvae. Turk. J. Zool., 25: 87-93.
- Beg, K.R. and Ali, S., 2008. Microtox toxicity assay for the sediment quality assessment of Ganga River. American Journal of Environmental Sciences 4(5): 467-472.
- Bennet, J. and Cabbage, J. 1992. Review and evaluation of Microtox test for freshwater sediments. Washington State Department of Ecology. Environmental Investigations and Laboratory Services Program Toxics, Compliance, and Ground Water Investigation Section Olympia, Washington 98504-7710. 28p.
- Bleck, R., and S. Benjamin (1993), Regional weather prediction with a model combining terrain-following and isentropic coordinates. Part I. Model description. Mon. Weather Rev., 121, 1770-1785.
- Bleck, R., and D. Boudra (1981), Initial testing of a numerical ocean circulation model using a hybrid (quasi-isopycnic) vertical coordinate. J. Phys. Oceanogr., 11, 755-770.

- Beardsley, R.C., R. Limeburner, K. Kim, and J. Candela, 1992. Lagrangian flow observations in the East China Sea, Yellow and Japan Seas. *La Mer*, 30: 297-314.
- Bohn, A., and B.W. Fails, 1978. Metal concentrations(As, Cd, Cu, Pb, and Zn) in shorthorn sculpins. *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus) and Arctic char, *Salvelinus alpinus* (Linnaeus), from the vicinity of Strathcona Sound, Northwest Territories. *Water Research*. 12: 659-663.
- Bonne, W., A., Rekecki, M., Vincx, 2003. Impact assessment of sand extraction on subtidal sandbanks using macrobenthos. In: Benthic copepod communities in relation on natural and anthropogenic influences in the north Sea, Chapter IV. Ph.D. Thesis, Ghent University, Biology department, Marine Biology Section, Belgium, pp. 207-226.
- Borja, A., J. Franco and V. Perez, 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Mar. Poll. Bull.*, 40: 1100-1114.
- Borja A., I., Muxika, J., Franco, 2003. The application of Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Mar. Poll. Bull.*, 46: 835-845.
- Bousfield, E.L., 1973. Shallow-water gammaridean amphipoda of New England. Ithaca and London, Cornell University press.
- Bowers, D.G., J.H. Simpson, 1987. Mean position of tidal fronts in European-shelf seas. *Cont. Shelf Res.*, 7: 35-44.
- Bray, J.R. & J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27: 325-349.
- Bruland, K. W., R. P. Franks, G. A. Knauer, and J. H. Martin. 1979. Sampling and analytical methods for the determination of Cu, Cd, Zn, and Ni at the nanogram per liter level in sea water. *Analytical Chimica Acta*, v. 105, pp. 234-245

- Butterworth, J., P. Lester, and G. Nickess, 1972. Distribution of heavy metals in the Seven estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 3: 72-74.
- Canada, 1992. Environmental protection series. Biological test method: Toxicity test using luminescent bacteria (*Photobacterium phosphoreum*). Report EPS 1/RM/24. 61p.
- Canuto, V. M., A. Howard, Y. Cheng, M. S. Dubovikov (2001), Ocean turbulence. Part I. One-point closure model-momentum and heat vertical diffusivities. *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1413-1426.
- Canuto, V. M., A. Howard, Y. Cheng, M. S. Dubovikov (2002), Ocean turbulence. Part II. Vertical diffusivities of momentum, heat, salt, mass, and passive scalars. *J. Phys. Oceanogr.*, 32, 240-264.
- Carr, R.S. E.R. Long, H.L. Windom, D.C. Chapman, G. Thursby, G. Sloane, and D.A. Wolfe, 1996. Sediment quality assessment studies of Tampa Bay, Florida. *Environ. Toxicol. Chem.*, 15(7): 1218-1231.
- Chapman P.M., M.D. Paine, A.D. Arthur and L.A. Taylor, 1996. A Triad Study of Sediment Quality Associated with a Major, Relatively Untreated Marine Sewage Discharge. *Marine Pollution Bulletin*, 32(1): 47-64.
- Chen, C., R.C. Beardsley, and R. Limeburner, 1995. A numerical study of stratified tidal rectification over finite-amplitude banks, II, Georges Bank. *J. Phys. Oceanogr.*, 25: 2111-2128.
- Chen S-Y. and Lin J-G., 2004. Bioleaching of heavy metals from livestock sludge by indigenous sulfur-oxidizing bacteria: effects of sludge solids concentration. *CHEMOSPHERE*, Vol. 54, No. 3: 283-289.
- Cheng, Q. et al., 1974. On the plankton copepods of the Yellow Sea. Cyclopoida and Harpacticoida. *Studia Marina Sinica*: 27-100.
- Cheng, Q., S. Zhang, 1965. The planktonic copepods of the East China Sea. Calanoida. *Studia Marina Sinica*. 7: 20-122.
- Cho, Y.K. and K. Kim, 1996. Seasonal variation of East Korea Warm Current and its relation with the cold water. *La mer*, 34: 172-182.

- Cho, Y.-K., and K. Kim, 1998; Structure of the Korea Strait bottom cold water and its seasonal variation in 1991, *Continental Shelf Research*, 18: 791-804.
- Choi, J.K., 1991. The influence of the tidal front on primary productivity and distribution of phytoplankton in the mid-eastern coast of Yellow Sea. *J. Oceano. Soc. Korean*, 26: 223-241.
- Choi, M.S., D.S. Lee, J.C. Choi, H.J. Cha and H.I. Yi, 2006. $^{239+240}\text{Pu}$ concentration and isotope ratio ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) in aerosols during high dust(Yellow Sand) period, Korea. *Science of the Total Environment*, 370: 262-270.
- Chough, S.K., Lee, H.J., Yoon, S.H., 2000. *Marine Geology of Korean Seas*. Elsevier, 313p.
- Clarke, M. and Davies, I.M., 1996. Report for Corophium bioassay of field sediments. Fisheries Research Services Report No 12/96. 34p.
- Cooper, M., K. Haines, 1996. Altimetric assimilation with water property conservation. *J. Geophys. Res.* 101, 1959-1977.
- Costa, F.O., Neuparth, T., Correia, A.D. and Costa, M.H., 2005. Multi-level assessment of chronic toxicity of estuarine sediments with the amphipod *Gammarus locusta*: II. Organism and population-level endpoints. *Marine Environmental Research* 60: 93-110.
- Coull, B.C., 1999. Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats, *Australian J. Ecol.*, 24: 327-343.
- Coull, B.C. and T. Chandler, 1992. Pollution and meiofauna : Field, laboratory, and mesocosm studies. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 30: 191-271.
- Coull, B.C., 1999. Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats, *Australian J. Ecol.*, 24: 327-343.
- Coull, B.C., G.R.F. Hicks and J.B.J. Wells, 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Poll. Bull.*, 12: 378-381.

- Cullen, J.J. and Renger, E.H. 1979. Continuous measurement of the DCMU-induced fluorescence response of natural phytoplankton populations. *Mar. Biol.* **53**:1-29.
- Dinnel, P.A., J.M. Link, and Q.J. Stober, 1987. Improved methodology for a sea urchin sperm cell bioassay for marine waters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**: 23-32.
- Dinnel, P.A., Q.J. Stober, S.C. Crumley, and R.E. Nakatani, 1982. Development of a sperm cell toxicity test for marine waters. In: Pearson, J.G., Foster, R.B., and Bishop, W.E. (eds.) *Aquatic Toxicology and Hazard Assessment: Fifth conference, ASTM STP 766*. American Society of Testing and Materials, Philadelphia, PA. 82098.
- Dinnel, P.A., J.M. Link, and Q.J. Stober, 1987. Improved methodology for a sea urchin sperm cell bioassay for marine waters. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**: 23-32.
- Domene, X., Alcaiz, J.M. and Andrés, P. 2008. Comparison of solid-phase and eluate assays to gauge the ecotoxicological risk of organic wastes on soil organisms. *Environmental Pollution* **151**: 549-558.
- Dunnett, C. W., 1964. New table for multiple comparisons with a control, *Biometrics*, **20**: 482.
- FAO/WHO Food and Agriculture Organization / World Health Organization. 1992. Evaluation of certain food additives and of contaminants Hg, Pb, and Cd. 16th report, Rome, p84.
- Farré, M.L., García, M.J., Tirapu, L., Ginebreda, A. and Barceló, D., 2001. Wastewater toxicity screening of non-ionic surfactants by Toxalert and Microtox bioluminescence inhibition assays. *Analytica Chimica Acta* **427**: 181-189.
- Farré, M., Arranz, F., Ribó, J. and Barceló, D., 2004. Interlaboratory study of the bioluminescence inhibition tests for rapid wastewater toxicity assessment. *Talanta* **62**: 549-558.

- Fisher N. S., Burns K. A., Cherry R. D. and Heyraud M., 1983. Accumulation and cellular distribution of ²⁴¹Am, ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in two marine algae. *Marine Ecology Progress Series*, 11, 233-237.
- Forget, J., 1998. Neurotoxic impact of contaminants on the acetylcholinesterase activity of the marine copepod *Tigriopus brevicornis* (Muller) Ph.D. Thesis, University of Paris VI, 180pp
- Fuentes, A., Lloréns, M., Sáez, J., Aguilar, M.I., Pérez-Marín, A.B., Ortuño, J.F. and Meseguer, V.F., 2006. Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilised sewage sludges. *Environmental Pollution*. 143(2): 355-360.
- Fukudome, K., J.-H., Yoon, A., Ostrovskii, T., Takikawa, and I.-S., Han, 2010. Seasonal Volume Transport Variation in the Tsushima Warm Current through the Tsushima Straits from 10 Year of ADCP Observations. *J. Oceanogr.*, 66: 539-551.
- Fulks, W. and K.L. Main., 1991. Rotifer and microalgae culture. *Proceedings of a US-Asia Workshop*. The Oceanic Institute, Makapuu Point, Hawaii USA. 364 pp.
- Gavini M. B., Beck J. N. and Kuroda P. K., 1974. Mean residence time of the long-lived radon daughters in the Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 79, 4447-4452.
- Halliwell, G. (2004), Evaluation of vertical coordinate and vertical mixing algorithms in the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM). *Ocean Model.*, 7, 285-322.
- Hickox, R., L. Belkin, P. Cornillon, and Z. Shan (2000): Climatology and Seasonal Variability of Ocean Fronts in the East China, Yellow and Bohai Seas From Satellite SST Data. *Geophys. Res. Lett.* , 27 (18), 2945-2948,.
- Hill J, Weigert RG, 1980. Microcosms in ecological modeling. In: Giesy JP, (ed) *Microcosms in Ecological Research*. U. S. Department of Energy, Symp. 52. National Information Service, Springfield, VA. pp 138-163

- Hill, R.T., W.L. Straube, A.C. Palmisano, S.L. Gibson and R.R. Colwell, 1996. Distribution of sewage indicated by *Clostridium perfringens* at a deep-water disposal site after cessation of sewage disposal. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62: 1741-1746.
- Honeyman B. D., Balistrieri L. S. and Murray L. S., 1988. Oceanic trace metal scavenging; the importance of particle concentration, *Deep-Sea Research*, 35, 227-246.
- Hong, G.H., S.H. Kim, C.S. Chung, D.J. Kang, D.H. Shin, H.J. Lee and S.J. Han, 1997. ²¹⁰Pb-derived sediment accumulation rates in the southwstern East Sea (Sea of Japan). *Geo-Marine Letters*, 17: 126-132.
- Hong G. H., Park S. K., Baskaran M., Kim S. K., Chung C. S. and Lee S. H., 1999. Lead-210 and polonium-210 in the winter well-mixed turbid waters in the mouth of the Yellow Sea. *Continental Shelf Research*, 19, 1049-1064.
- Hong, G.H., D.B. Yang, H.M. LOee, S.R. Yang, H.W. Chung, C.J. Kim, Y.II Kim, C.S. Chung, Y.H. Ahn, Y.J. Park and J.E. Moon, 2012. Surveillance of waste disposal activity at sea using satellite ocean color imagers: GOCI and MODIS. *Ocean Sci. J.*, 47(3): 387-394.
- Hong S. and K-H Shin, 2009. Alkylphenols in the core sediment of a waste dumpsite in the East Sea (Sea of Japan), Korea. *Mar. Poll. Bul.*, 58: 1566-1587.
- Horowitz, A., and B.J. Presley, 1977. Trace metal concentrations and partitioning in zooplankton, neuston, and benthos from the south Texas outer continental shelf. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 5: 241-225.
- Hsu J.H., and Lo S.L., 1999. Recycling of separated pig manure: characterization of maturity and chemical fractionation of elements during composting. *WATER SCIENCE & TECHNOLOGY*. Vol. 40, No. 1: 121-127.

- Hung C.-C, Wei C.-L. 1992. Th-234 Scavenging in the water column off southwestern Taiwan. *Terrestrial, Atmosphere and Ocean (TAO)* 3, 183-197.
- Huthnance, J.M., 1973. Tidal current asymmetries over the Norfolk sandbanks. *Estuarine, Coastal Mar. Sci.*, 1: 89-99.
- Ichikawa, H. and R. Beardsley (2002): The Current System in the Yellow and East China Seas. *J. Oceanogr.*, 58, 77-92.
- Imajima, M. 1972. Review of the annelid worms of the family Nereidae of Japan, with descriptions of five new species or subspecies. *Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo*, 15(1), 153pp.
- Imajima, M. 1987. Nephtyidae(Polychaeta) from Japan II., The genera *Dentinephtys* and *Nephtys*. *Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo, Ser A.*, 13(2), 42-77.
- Imajima, M. 1990. Spionidae(Annelida, Polychaeta) from Japan III., The genus *Prionospio(Minuspio)*. *Bull. Natu. Sci. Mus., Tokyo, Ser A.*, 16(2), 61-78.
- Ireland, M.P., and R.J. Wootton, 1977. Distribution of lead, zinc, copper and manganese in the marine gastropods *Thais lapillus* and *Littorina littorea* around the coast of Wales. *Environmental Pollution*. 12: 27-41.
- Irino, T. and R. Tada, 2002. High-resolution reconstruction of variation in aeolian dust(Kosa) deposition at DOP site 797, the Japan Sea, during the last 200 ka. *Global and Planetary Change*, 35: 143-156.
- ISO, 1995. Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricorutum*. ISO 10253:1995(E).
- Itaoka, M, and K. Tamai, 1993. Effect of eutrophication on the Structure of meiobenthic communities in Hiroshima Bay. *Benthos. Res.*, 45:19-28(in Japan)
- Ito D., 2008. The sustainable systems of waste water managemet and agriculture for closing the phosphorus resource loop. Thesis for

the fulfillment of the Master of Science in Agroecology Aas, Norway.

- James, I.D., 1977. A model of the annual cycle of temperature in a frontal region of the Celtic Sea. *Estuarine, Coastal Mar. Sci.*, 5: 339-353.
- Jo, Y.W., 1989. Shallow-water phoxocephalid amphipod (Crustacea) of Korea. *Bijdragen tot de Dierkunde* 59(2): 97-125.
- Juvonen, R., Martikainen, E., Schultz, E., Joutti, A., Ahtianinen, J. and Lehtokaris, M., 2000. A battery of toxicity tests as indicators of decontamination in composting oily waste. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 47: 156-166.
- Kadko D., 1993. Excess ^{210}Po and nutrient cycling within the California coastal transition zone. *Journal of Geophysical Research*, 98, 857-864.
- Kharkar D. P., Thomson J., Turekian K. K. and Forster W. O., 1976. Uranium and Thorium decay series nuclides in plankton from the Caribbean. *Limnology and Oceanography*, 21, 294-299.
- Kim, D. Y., 1985. Taxonomical study on Calanoid Copepod in Korean Waters. HanYang Univ. Ph.D Thesis. 240 pp.
- Kim, D.S., J.W. Choi and J.G. Ge, 1998. Community structure of meiobenthos for monitoring pollution in mariculture farms in Tongyung coastal area, Southern Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31: 217-225.
- Kim, Y.H., K.I., Chang, J., Park, S.K., Park, S.H., Lee, Y.K., Kim, K.T., Jung, and K. Kim, 2009. Comparison between a reanalyzed product by 3-dimensional variational assimilation technique and observations in the Ulleung Basin of the East/Japan Sea. *J. Mar. Sys.*, doi:10.1016.
- Kim, Y. H., Y.-B. Kim, K. Kim, K.-I. Chang, S. J. Lyu, Y.-K. Cho, and W. Teague, 2007; Seasonal variation of the Korea Strait bottom cold water and its relation to the bottom current, *Geophysical Research Letters*, 33, L24604, doi:10.1029/2006GL027625

- Kobayashi, N., 1981. Comparative toxicity of various chemicals, oil extracts, and oil dispersant extracts to Canadian and Japanese sea urchin eggs. *Publ. Seto. Mar. Biol. Lab.*, 226: 123-133.
- Komis, A., 1992. Improved production and utilization of the rotifer *Brachionus plicatilis* Muller in European sea bream (*Sparus auratus* Linnaeus) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* Linnaeus) larviculture. Ph.D. thesis, Univ. of Ghent, Belgium.
- Kostka, J.E., B. Gribsholt, E. Petrie, D. Dalton, H. Skelton, and E. Kristensen, 2002b. The rates and pathways of carbon oxidation in bioturbated saltmarsh sediments, *Limnol. Oceanogr.*, 47: 230-240.
- Kraus, E. B., and J. S. Turner (1967), A one-dimensional model of the seasonal thermocline: II. The general theory and its consequences. *Tellus*, 19, 98-106.
- Kress, N., H. Hornung and B. Herut, 1998. Concentrations of Hg, Cd, Cu, Zn, Fe and Mn in Deep Sea Benthic Fauna from the Southeastern Mediterranean Sea_ A Comparison Study Between Fauna Collected at a Pristern Area and at Two Waste Disposal Sites. *Mar. Pollut. Bull.*, 36: 911-921.
- Kristensen, E., A.H. Devol, S.I. Ahmed, and S. Monawwar, 1992. Preliminary study of benthic metabolisms and sulfate reduction in a mangrove swamp of the Indus Delta, Pakistan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 90: 287-297.
- Kristensen, E., F. Ø. Anderson, N. Holmboe, M. Holmer, and N. Thongtham, 2000. Carbon and nitrogen mineralization in sediments of the Bangrong mangrove area, Phuket, Thailand. *Aquat. Microb. Ecol.* 22: 199-213.
- Kwok, K. W. H., and K. M. Y. Leung, 2005. Toxicity of antifouling biocides to the intertidal harpacticoid copepod *Tigropus japonicus* (Crustacea, Copepoda) : Effects of temperature and salinity. *Marine pollution Bulletin* 51: 830 - 837.

- Lambert G. A., Martin H. and Buland K. W., 1979. Modification of the atmospheric polonium 210 to lead 210 ratio by volcanic emissions. *Journal of Geophysical Research*, 84, 6980-6986.
- Lamshead P.J.D., 1984. The nematode/copepod ratio: Some anomalous results from the firth of Clyde. *Mar. Pollut. Bull.*, 15: 256-259
- Landau and Lifshitz, 1959, *Fluid Mechanics*, Pergamonn Press
- Lande, D., 1977. Heavy metal pollution in Trondheimsfjorden, Norway, and the recorded effects on the fauna and flora. *Environmental Pollution*. 12: 187-197.
- Lapa, N., Barbosa, R., Morais, J., Mendes, B., M?hu, J., Santos Oliveira, J.F., 2002. Ecotoxicological assessment of leachates from MSWI bottom ashes. *Waste Management* 22: 583-593.
- Large, W.G., J.C. McWilliams, and S.C. Doney, 1994. Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Rev. Geophys.*, 32: 363-403.
- Lee, C.-H., 2000. A study on the sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) bioassay: Sperm and fertilized egg tests. Ph.D. Thesis. Seoul National University. 185 pp. (in Korean)
- Lee, D.-K., and Niiler P. P., 2005; The energetic surface circulation patterns of the Japan-East Sea. *Deep-Sea Research II*, 1547-1563.
- Lee, F.Y.K. and Cheung, R.Y.H., 2003. Ecology of marine amphipods in Hong Kong with special emphasis on its use as test organisms for assessing the toxicity of marine of marine sediments. 2nd International Symposium on Contaminated Sediments. May 26 - 28, Quebec City, Canada.
- Lee, J.C., 1983. Variation of sea level and sea surface temperature associated with induced upwelling in the southeast coastal of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 18: 1-4.
- Lee, J.C., and J.Y. Na, 1985. Structure of upwelling off the southeast coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 20: 6-19.

- Lee, J.S., Lee, K.T., Kim, D.H., Kim, C.K., Lee, J.H., Park K.H. and Park, G.S., 2005a. Application of indigenous benthic amphipods as sediment toxicity testing organism s. *Ocean Science Journal* 40(1): 17-24.
- Lee, J.S., Lee, K.T. and Park, G.S., 2005b. Acute toxicity of heavy metals, tributyltin, ammonia and polycyclic aromatic hydrocarbons to benthic amphipod *Grandidierella japonica*. *Ocean Science Journal* 40: 61-66.
- Lee K., Wohlgeschaffen, G., Tremblay, G.H., Tomas Johnson, B., Sergy, G.A., Prince, R.C., Gu?nette, C.C. and Owens, E.H., 2003. Toxicity evaluation with the microtox test to assess the impact of in situ oiled shoreline treatment options: Natural attenuation and sediment relocation. *Spill Science & Technology Bulletin* 8(3): 273-284.
- Lee, S.H., and R.C. Beardsley, 1999. Influence of stratification on residual tidal currents in the Yellow Sea. *J. Geophy. Res.*, 104: 15679-15701.
- Lee, S.H., and H.Y. Choi, 1997. A numerical model study of residual tidal currents in the mid-eastern Yellow Sea - initial stratification. *The Yellow Sea*, 3: 58-70.
- Lee SH, Whitledge T, Kang SH. 2007. Recent carbon and nitrogen uptake rates of phytoplankton in Bering Strait and the Chukchi Sea. *Continental Shelf Research* 27, 2231-2249.
- Levitus, S. (1982), Climatological atlas of the world ocean. NOAA Professional Paper 13. U.S. Department of Commerce, NOAA, NESDIS.
- Lie, H.J, 1989. Tidal fronts in the southern Hwanghae (Yellow Sea), *Cont. Shelf Res.*, 9: 527-546.
- Lim, D.B. and S.D. Chang, 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. soc. Kor*, 8: 46-52.
- Linn, S., 1998. DNA damage by iron and hydrogen peroxide *in vitro* and *in vivo*. *Drug Metab. Rev.* 30: 313-326.

- Li Y. H., Santschi P. H., Kaufman A., Benninger L. K., and Feely H. W., 1981. Natural radionuclides in waters of the New York Bight. *Earth and Planetary Science Letters*, 55, 217-228.
- Machida, H., 1999. The stratigraphy, chronology and distribution of distal marker-tephras in the around Japan. *Global and Palnetary Changes*, 21: 71-94.
- Manusadianas, L., Balkelyt, L., Sadauskas, K., Blinova, I., P?llumaa, L., and Kahru, A., 2003. Ecotoxicological study of Lithuanian and Estonian wastewaters: selection of the biotests, and correspondence between toxicity and chemical-based indices. *Aquatic toxicology* 63(1): 27-41.
- Margalef, R., 1969. Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence. Pages 25-37 in *Diversity and stability in ecological systems*. Brookhaven Symp. Biol. no. 22.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *General Systematics*, 3: 36-71.
- Margalef, R. 1969. Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence. Pages 25-37 in *Diversity and stability in ecological systems*. Brookhaven Symp. Biol. no. 22.
- Marine Consents and Environment Unit. 2001. *The Control of Marine Works, Dredging & Disposal at Sea and Approval of Oil Dispersants*.
- McAllen R, Taylor Ac, Davenport J., 1999. The effects of temperature and ocygen partial pressure on the rate of oxygen consumption of the high shore rock poo; copepod *Tigropus brevicornis*. *Comp Biochem physiol A* 123: 195 - 202
- McAllen, R., Taylor, A., 2001. The effect of salinity change on the oxygen consumption and swimming activity of the high-shore rockpool copepod *Tigriopus brevicornis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 263: 227-240.

- McKee B. A., 1986. The fate of particle-reactive radionuclides in the Amazon and Yangtze Continental shelves. Ph. D. Dissertation, North Carolina State University.
- MCMU(Marine Consents and Environment Unit), Incorporating Licence & Approval Charge Effective From 1 November 2004, 'The control of marine works dredging / disposal at sea and approval of oil dispersants' .
- Meador, J.P., B.D. Ross, P.A. Dinnel, and S.J. Picquelle, 1990. An analysis of relationship between a sand-dollar embryo elutriate assay and sediment contaminants from stations in an urban embayment of Puget Sound, Washington. *Mar. Environ. Res.*, 30: 251-272.
- Mellor, G. L., and T. Yamada (1982), Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
- Mojtahid, M., F., Jorissen, T.H., Pearson, 2008. Comparison of benthic foraminiferal and macrofaunal responses to organic pollution in the Firth of Clyde (Scotland), *Mar. Poll. Bull.*, 56: 42-76.
- Moore. J.W. and Ramamoorthy S., 1983. *Heavy Metals in Natural Waters*. New York Berlin Heidelberg Tokyo.
- Moore H. E., Poet S. E. and Martell E. A., 1973. ²²²Rn, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi and ²¹⁰Po profiles and aerosol residence times versus altitude. *Journal of Geophysical Research*, 78, 7065-7075.
- Mori, T., 1964. The pelagic copepoda from the Neighbouring Waters of Japan. 326 pp.
- Muxika., I., A., Borja, W., Bonne, 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coast., *Ecological Indicators*, 5: 19-31.
- Nacci, D.E., R. Walsh, and E. Jackim, 1986. Guidance manual for conducting sperm cell tests with the sea urchin, *Arbacia punctulata*, for use in testing complex effluents. In: *Aquatic Toxicology*

- Testing Manual. USEPA Environmental Res. Lab., Narragansett, R.I. 34 pp.
- Naimie, C.E., C.A. Blain, and D.R. Lynch, 2001. Seasonal mean circulation in the Yellow Sea: A model-generated climatology. *Cont. Shelf Res.*, 21: 667-695.
- Niino, H. and K. O. Emery, 1961. Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72: 731-762.
- Nishimura, S. (ed.). 1992. Guide to Seashore Animals of Japan with Color Pictures and Keys, Vol. I. Hoikusha, Tokyo, 663pp.
- Nishimura, S. (ed.). 1995. Guide to Seashore Animals of Japan with Color Pictures and Keys, Vol. II. Hoikusha, Tokyo, 425pp.
- NIWA., 1998. Marine Algae (*Dunaliella tertiolecta*) Chronic Toxicity Test Protocol, National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand, 30pp
- Nogrady, T., R. L. Wallace, and T. W. Snell, 1993. Rotifera. In H. J. Dumont (ed.), *Biology, ecology and systematics*. Vol. 1, Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. SPB Academic Publishers bv, The Hague, The Netherlands.
- Nozaki Y., Ikuta N. and Yashima M., 1990. Unusually large ^{210}Po deficiencies relative to ^{210}Pb in the Kuroshio Current of the East China and Philippine Seas. *Journal of Geophysical Research*, 95, 5321-5329.
- Nozaki Y., Tsubota H., Kasemsupaya V., Yashima M. and Ikuta N., 1991. Residence times of surface water and particle reactive ^{210}Pb and ^{210}Po in the East China and Yellow Seas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 1265-1272.
- OECD, 1996. "Integrated Pollution Prevention and Control : the Status of Member Country Implement of Council Recommendation C(90) 164/Final" ; "Council Directive 96/61/EC concerning integrated

pollution prevention and control” ; Official Journal of the European Communities L257/26-40.

Oh, I. S., V. Zhurbas, W. Park, 2000; Estimating horizontal diffusivity in the East Sea (Sea of Japan) and the northwest Pacific from satellite-tracked drifter data, *J. Geophysical Research*, 105 (C3): 6483-6492

Ohji, M., Takeuchi, I., Takahashi, S., Tanabe, S. and Miyazaki, N., 2002. Differences in the acute toxicities of tributyltin between the Caprellidea and the Gammaridea (Crustacea: Amphipoda). *Marine Pollution Bulletin* 44: 16-24.

Okutani, T. 1994. *Field Books*, Vol. 8. Yama-kei Publishers Co., Ltd., Tokyo, 367pp.

Okutani, T. (ed.). 2000. *Marine Mollusks in Japan*. Tokai Univ. Pre., Tokyo, 1173pp. Onorati, F., Pellegrini, D., and Ausili, A., 1999. Valutazione della tossicit  naturale nel saggio Microtox in fase solida: la normalizzazione pelitica. *Acqua. Aria.*, 6: 83-91.

Orino, K., L. Lehman, Y. Tsuji, H. Ayaki, S. V. Torti, and M. Torti, 2001. Ferritin and the response to oxidative stress. *Biochem. J.* 357: 241-247.

Pagano, G., M. Cipollaro, G. Corsale, A. Esposito, E. Ragucci, G.G. Giordano, and N.M. Trieff, 1986. The sea urchin: Bioassay for the assessment of damage from environmental contaminants. In: Cairns, J. Jr. (ed.), *Community Toxicology Testing*. ASTM STP 920. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. 66-92.

Pai, S-C., G-C. Gong, and K-K. Liu, 1993. Determination of dissolved oxygen in seawater by direct spectrophotometry of total iodine. *Mar. Chem.*, 41: 343-351.

Palmour, R. M., and H. E. Sutton, 1971. Vertebrate transferrins, molecular weights, chemical compositions, and ironbinding studies. *Biochemistry* 10: 4026-4032.

- Pandard, P., Devillers, J., Charissou, A.M., Poulsen, V., Jourdain, M.J., F?rard, J.F., Grand, C. and Bispo, A., 2006. Selection a battery of bioassays for ecotoxicological characterization of wastes. *Science of the Total Environmental* 363: 114-125.
- Park, J.M., S.B., Lee, J.P, Kim, M.J., Kim, O.S., Kwon and D.I. Jung, 2009. Behavior of PAHs from sewage sludge incinerators in Korea, *Was. Manag.*, 29: 690-695.
- Park, G.S., C.S. Chung, S.H. Lee, G.H. Hong, S.H Kim, S.Y. Park, S.J. Yoon, and S.m. Lee. 2005. Ecotoxicological evaluation of sewage sludge using bioluminescent marine bacteria and rotifers. *Ocean Science Journal* 40(2): 91-100
- Reiss, H. and I. Kr?ncke. 2005. Seasonal variability of benthic indices: An approach to test the applicability of different indices for ecosystem quality assessment. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 1490-1499.
- Park, J.M., S.B., Lee, J.P, Kim, M.J., Kim, O.S., Kwon and D.I. Jung, 2009. Behavior of PAHs from sewage sludge incinerators in Korea, *Waste Management*, 29: 690-695.
- Park, M.H., J.H. Kim and Y.W. Kil, 2007. Identification of the late Quaternary tephra layers in the Ulleung Basin of the East Sea using geochemical and statistical methods. *Marine Geology*. 244: 196-208.
- Park, Y.-G., K.-H. Oh, K.-I Chang, and M.-S. Suk, 2004, Intermediate level circulation of the southwestern part of the East/Japan Sea estimated from autonomous isobaric profiling floats, *Geophysical Research Letters*,31, L13213, doi:10.1029/2004GL020424
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. *Pergamon Press*. 173.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16: 229-311.

- Peirson D. H., Cambray R. S. and Spicer G. S., 1966. Lead-210 and polonium-210 in the atmosphere. *Tellus*, 18, 427-433.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13:131-144.
- Pielou, E.C. 1966. the measurement of diversity in different type of biological collections. *J. appl. Ecol.*, 5: 483-488.
- Pingree, R.D., P.M. Holligan, and G.T. Mardell, 1978. The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the northwest European shelf. *Deep Sea Res.*, 25: 1011-1028.
- Poole, H.N. and W.R.G. Atkins, 1929. Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 16: 297-324.
- Price, J. F., R. A. Weller, R. Pinkel (1986), Diurnal cycling: observations and models of the upper ocean response to diurnal heating, cooling and wind mixing. *J. Geophys. Res.*, 91, 8411-8427.
- Raffaelli, D., 1981. Monitoring with meiofauna: A reply to Coull, Hicks and Wells (1981) and additional data. *Mar. Ollut. Bull.*, 12: 381-382.
- Raffaelli, D., 1987. the behaviour of the nematodae/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Environ. Res.*, 23:135-152.
- Raffaelli, D. and C.F. Mason. 1981. Pollution Monitoring using the nematodae/copepod ratio: A practical application. *Mar. Pollut. Bull.*, 16: 62-68.
- Redi, M.H., 1982. Oceanic isopycnal mixing by coordinate rotation. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 1154-1158.
- Rees, H.C., M.A. Pendle, D.S. Limpenny, C.E. Mason, S.E. Boyd, S. Birchenough, C.M.G. Vivian, 2006. Benthic responses to organic enrichment and climate events in the western North Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 86: 1-18.

- Reiss, H. and I. Kröncke, 2005. Seasonal variability of benthic indices: An approach to test the applicability of different indices for ecosystem quality assessment. *Mar. Pollut. Bull.*, 50: 1490-1499.
- Roth, I, and H. Hornung, 1977. Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean coastal area, Israel. *Environmental Science and Technology* 11: 265-269.
- Samuelson, G. and Öquist, G. 1976. A method for studying photosynthetic capacities of unicellular algae based on *in vivo* chlorophyll fluorescence. *Physiol. Plant.* **40**, 315-319.
- Santschi N. R., Li Y. H. and Bell J., 1979. Natural radionuclides in the water of Narragansett Bay. *Earth and Planetary Science Letters*, 45, 201-213.
- Schratzbergera, M., S.G. Bolamb, P. Whomersleyb, K. Warra and H.L. Rees, 2004. Development of a meiobenthic nematode community following the intertidal placement of various types of sediment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 303: 79-96.
- Seung, Y.H., 1974. A dynamic consideration on the temperature distribution in the east coast of Korea in August. *J. Oceanol. soc. Kor.*, 9: 52-58.
- Seung, Y.H., 1987. A summer circulation inferred from the density (temperature) distribution in the eastern Yellow Sea. *J. Ocean. Soc. of Korea*, 22: 63-70.
- Seung, Y.H., J.H. Chung, and Y.C. Park, 1990. Oceanographic studies related to the tidal front in the mid-Yellow Sea off Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 28: 121-131.
- Shannon, C.E., and W. Weaver, 1963. Diversity indices. In Ludwig, J.A., and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons, pp. 89-92.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana

- Shannon L. V., Cherry R. D. and Orren M. J., 1970. Polonium-210 and lead-210 in the marine environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34, 701-711.
- Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete sample), *Biometrika*, 52: 591-611.
- Shen, C. J. 1932. The Brachyuran Crustacea of North China - Ser. A, Invertebrates of China. The Fan Memorial Institute of Biology, Peijing, China, 321pp.
- Shiber, J.G. 1981. Metal concentrations in certain coastal organism from Beirut. *Hydrobiologia* 83: 181-195.
- Shim, J.H., T.S. Lee, Studies of the plankton in the Southern Waters of the East Sea(III) zooplankton-standing stock, composition and distribution. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 21: 146-155.
- Simboura, N., E. Papathanassiou and D. Sakellariou, 2007. The use of a biotic index (Bentix) in assessing long-term effects of dumping coarse metalliferous waste on soft bottom benthic communities. *Ecological Indicators*, 7: 164-180.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature.*, 163:688.
- Simpson J.H. and D. Bowers, 1979. Shelf sea fronts' adjustment revealed by satellite IR imagery. *Nature*, 280: 648-651.
- Simpson J.H. and D. Bowers, 1981. Models of stratification and frontal movement in shelf seas. *Deep Sea Res.*, 28: 727-738.
- Smagorinsky, J., 1993. Some historical remarks on the use of nonlinear viscosities, in *Large eddy simulation of complex engineering and geophysical flows*, edied by B. Galperin and S. A. Orszag, Cambridge University Press.
- Snedecor, G. W. and W. G. Cochran, 1989. *Statistical Methods*, 8th Edition, Iowa State University Press, 502pp.
- Snell, T. W., and Persoone, G., 1989. Acute Toxicity Bioassays Using Rotifers: I. A Test for the Marine Environment with *Brachionus plicatilis*, *Aquatic Toxicology*, Vol 14: 65-80.

- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf, 1981. *Biometry*, 2nd edition. W.H. Freeman, San Francisco, CA, USA. 776 pp.
- Soupilas, A., Papadimitriou, C.A., Samaras, P., Gudulas, K. and Petridis, D.. 2008. Monitoring of industrial effluent ecotoxicity in the greater Thessaloniki area. *Desalination*. 224(1-3): 261-270.
- Steeman-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Perma. Int. Explor. Mer.* **18**: 117.
- Stenner, R.D., and G. Nickless, 1974. Absorption of cadmium, copper and zinc by dog whelks in the Bristol Channel. *Nature* 247: 198-199
- Sun, Y.-J., and Y.-K. Cho, 2010. Tidal front and its relation to the biological process in coastal water. *Ocean Sci. J.* 45: 243-251.
- Tanaka N., Takeda Y. and Tsunogai S., 1983. Biological effect on removal of ²³⁴Th, ²¹⁰Po from surface water in Funka Bay. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 1783-1790.
- Tanioka, K., 1968. On the East Korean Warm Current (Tosen Warm Current). *Oceanogr. Mag.*, 20: 31-38.
- Teague, W., D. Ko, G. Jacobs, H. Perkins, J. Book, S. Smith, K.-I. Chang, M.-S. Suk, K. Kim, S. J. Lyu, and T. Tang, 2006. Currents through the Korea/Tsushima Strait-A review of LINKS observations, *Oceanography* 19(3): 50-63.
- Teague, W., G. Jacobs, H. Perkins, J. Book, K.-I. Chang, and M.-S. Suk, 2002. Low-frequency current observations in the Korea/Tsushima strait, *Journal of Physical Oceanography*, 32: 1621-1641.
- Tokieda T., Yamanaka K., Harada K., and Tsunogai S, 1996. Seasonal variations of residence time and upper atmospheric contribution of aerosols studied with Pb-210, Po-210 and Be-7. *Tellus*, 48B, 690-702.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imperial Fishery Experimental Station*, 5: 57-190.

- U.S. EPA OPPT, 2005. Sediment Management Work Group Comments on U.S. EPA'S PCB Cleanup and Disposal Regulations.
- UNESCO, 1976. Zooplankton fixation and preservation. UNESCO Press, Paris:1-350.
- United States Environmental Protection Agency Washington, D.C., 2002. Principles for Managing Contaminated Sediment Risks at Hazardous Waste Sites.
- US Army Corps of Engineers, 2008. Steevens, J., Kennedy, A., Farrar, D., McNemar, C., Reiss, M.R., Kropp, R.K., Doi, J. and Bridges, T. 2008. Dredged material analysis tools. Performance of acute and chronic sediment toxicity methods. Dredging operations environmental research program. ERDC/EL TR-08-16. 73p.
- USEPA, 1994. Methods for assessing the toxicity of sediment-associated contaminants with estuarine and marine amphipods. United States Environmental Protection Agency. 140p.
- USEPA, 1995. Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms. United States Environmental Protection Agency, EPA/600/R-95/136.
- USEPA, 2000. Method 8082A, Polychlorinated biphenyls (PCBs) by GC, November.
- USEPA, 2002. "Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving water to freshwater and marine organisms", United States Environmental Protection Agency, 1~122.
- USEPA, 2010. United State Environmental Protection Agency Region 4. Science and ecosystem support division 980 college station Road Athens, Georgia 30605-2720. Gulf coast post-oil landfall beach and sediment sampling quality assurance project plan. Mississippi/Alabama/Florida. SESD Project Identification Number: 10-0440. 25p.

- Van den Broek, W.L.F., 1979. Seasonal levels of chlorinated hydrocarbons and heavy metals in fish and brown shrimps from the Medway Estuary, Kent. *Environmental Pollution*. 19: 21-38.
- Victoria Pablos, M., Fern?ndez, C., del Mar Bab?n, M., Mar?a Navas, J., Carbonell, G., Martini, F., Garc?a-Hortig?ela, P., Tarazona, J.V., 2009. Use of a novel battery of bioassays for the biological characterisation of hazardous wastes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72(5): 1594-1600.
- Weaver, A. and P. Courtier, 2001. Correlation modelling on the sphere using a generalized diffusion equation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 127: 1815-1846.
- Wei C. L. and Murray J. W., 1994. The behavior of scavenged isotopes in marine environments: ^{210}Pb and ^{210}Po in the water column of the Black Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 1795-1811.
- Weisberg, S.B., J.A. Ranasinghe, D.M. Dauer, L.C. Schaffner, R.J. Diaz and J.B. Frithsen, 1997. An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for the Chesapeake Bay. *Estuaries*, 20: 149-158.
- Weiss RF. 1970, The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research* 17, 721-735.
- Whomersley, P., M., Schratzberger, M., Huxham, H. Bates, H. Rees, 2007. The use of time-series data in the assessment of macrobenthic community change after the cessation of sewage-sludge disposal in Liverpool Bay (UK). *Mar. Poll. Bull*, 54: 32-41.
- Wilke BM, Riepert F, Koch C, Kuhne. T., 2008. Ecotoxicological characterization of hazardous wastes. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70(2): 283-293.
- Won, N.-I., 2000. Sea urchin bioassay using Korean purple sea urchin *Strongylocentrotus nudus*: Standardization of well plate method. MS Thesis. Seoul National University. 106 pp. (in Korean)

- Word, J.Q., 1978. The infaunal trophic index, in southern California Coastal Water Reseachers project Annual Report, El Segundo, CA, pp. 19-39.
- Wundram, M., Selmar, D. and Bahadir, M., 1996. The Chlamydomonas test: A new phytotoxicity test based on the inhibition of algal photosynthesis enables the assessment of hazardous leachates from waste disposals in salt mines. *Chemosphere* 32(8): 1623-1631.
- Yoshikawa, Y., T. Awaji. and K. Akitomo, 1999. Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 29: 1701-1722.
- Xia, C., F. Qiao, Y. Yang, J. Ma, and Y. Yuan, 2006. Three-dimensional structure of the summertime circulation in the Yellow Sea from a wave-tide-circulation coupled model. *J. Geophys. Res.*, 111: C11S03, doi:10.1029/2005JC003218.
- Yahara, I. 1996, Stress-inducible cellular responses. Introduction. EXS 77.
- Yanagi, T., and S. Takahashi, 1993. Seasonal Variation of Circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Oceanogr.*, 49: 503-520.
- Yang, D. and R. Sun. 1988. Polychaetous Annelids commonly seen from the Chines Waters. ISBN7-109-00135-0/Q1, 352pp.
- Yang, S.Y., Jung, H.S., Lim, D.L., Li, C.X., 2003. A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea. *Earth-Science Reviews* 63, 93-120.
- Young, D.R., T.K. Jan, and T.C. Heesen, 1978. Cycling of ttrace metal chlorinated hydrocarbon wastes in the southern California Bight. In; M.L. Wiley (ed), *Estuarine interactions*. Academic Press, New York, pp 481-496.

부 록 1

제주 아시아·태평양지역 워크숍 발표자료

아시아·태평양에서의 해양오염방지와 환경관리에 관한 IMO/UNEP/MLTM 워크숍

1. 개최 목적

- 폐기물 해양배출로부터 해양환경을 보호하려는 정부의 의지를 널리 알림으로써 향후 폐기물 해양배출 감축을 위한 안정적 기반 마련
- 아시아·태평양지역 국가들의 폐기물 해양배출 감축 노력에의 동참과, 런던의정서 가입을 촉진시키는 계기를 마련함으로써 해양환경보호 선진국으로서의 위상제고

2. 일시, 장소 및 참석국 현황

- 개최일시 : 2012. 5. 14 ~ 5. 18
- 개최장소 : 제주 KAL호텔 대연회실
- 참 석 국 : 대한민국, 보르네오, 캄보디아, 칠레, 차이나, 코스타리카, 엘살바도르, 과테말라, 온두라스, 인도네시아, 일본, 멕시코, 미얀마, 니카라과, 파나마, 필리핀, 싱가포르, 스리랑카, 태국, 베트남, 키리바시, 마셜군도, 파푸아뉴기니, 솔로몬군도, 통가, 바나튜, COCATRM, 캐나다, 독일, 네덜란드, 영국, 미국, 국제해사기구, 국제항만협회, 세계준설협회로부터 총 88명 참석



아·태지역워크숍 진행

3. 아태지역워크숍 결과 보고서

1

REPORT

International Maritime Organization (IMO)
Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs (MLTM)
ASIA-PACIFIC REGIONAL WORKSHOP on THE LONDON PROTOCOL
Protection of Urban Ports and Ocean Environment

14 July 2012

JEJU
REPUBLIC OF KOREA



Submitted by the Republic of Korea



IMO-MLTM Asia-Pacific Regional Workshop on the London Protocol



Preface

The 1996 Protocol to the Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 (London Protocol) provide for the establishment of a scientific and technical support programme to further the objectives of this instrument. London Protocol is the successor of the earlier Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 (London Convention) and London Protocol supersedes the London Convention as between Contracting Parties to this Protocol which are also Parties to the Convention.

The London Convention is one of the first global instruments to protect the marine environment from human activities and has been in force since 1975. Its objective is to promote the effective control of all sources of marine pollution and to take all practicable steps to prevent pollution of the sea by dumping of wastes and other matter. Currently, [87 States](#) are Parties to this Convention. In 1996, the "London Protocol" was agreed to further modernize the Convention and, eventually, replace it. Under the Protocol all dumping is prohibited, except for possibly acceptable wastes on the so-called "reverse list". The Protocol entered into force on 24 March 2006 and there are currently [42 Parties](#) to the Protocol. Apart from these global instruments, a number of regional instruments for the protection of the marine environment of their respective regional seas include the issue of dumping of wastes and other matter at sea (e.g., OSPAR, Barcelona, Helsinki Conventions, and Cartagena Conventions, the Pacific Regional Environmental Programme), therefore, the number of countries commit to incorporate international agreements on the matters directly relevant to the London Protocol into their national policies and legislations are much greater than the current number of Contracting Parties to the London Protocol.

The technical co-operation and assistance programme under London Protocol has held meetings of the technical advisory body of the London Convention and Protocol (the Scientific Groups) outside of IMO

Headquarters frequently. These meetings have been held recently in Dalian, China (2006), Guayaquil, Ecuador (2008), and Tallinn, Estonia (2011), and they facilitated the participation of countries who have not joined to the London Protocol as well as Contracting Parties in each region and enabled the London Protocol to reach out to countries in need of technical assistance. The objectives of the workshops are to (1) strengthen national marine pollution prevention and management capacities to achieve compliance with the Convention and Protocol; (2) promote membership of the Protocol, and (3) identify technical cooperation and assistance needs of the regional countries. From this identification, technical co-operation and assistance projects, "Barriers to Compliance" projects, have been drawn up and the countries concerned have been matched with potential donors/partners.

In this context, the IMO/MLTM Workshop on the London Protocol in the Asia-Pacific Region was convened from 14 to 18 May 2012 in Jeju, Republic of Korea. The workshop was held in conjunction with the 35th and 6th meetings of the Scientific Group of the London Convention and Protocol(21-25May2012) in the same location. This workshop was held in English.

ACKNOWLEDGEMENTS

This workshop was hosted by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), Republic of Korea and organized by the International Maritime Organization (IMO), International Steering Committee from the Scientific Groups of the London Convention/Protocol and MLTM.

International Steering Committee:

Co-Chair: Dr. Gi Hoon Hong (Chairman, Scientific Groups of the London Convention and Protocol)

Co-Chair: Mr. Edward Kleverlaan (Head, Office for the London Convention and Protocol, IMO)

Members:

Ms. Yue Chen (Chairman of the Meeting of Parties of the London Convention and Protocol)

Ms. Linda Porebski (Vice-Chairman, Scientific Groups of the London Convention and Protocol)

Mr. Darrell Brown (Vice-Chairman, Scientific Groups of the London Convention and Protocol)

Dr. Chris Vivian (Former Chairman of the Scientific Groups of the London Convention and Protocol)

Dr. Todd Bridges (US Army Corps of Engineers, US)

Mr. Patrick Cotter (Environmental Protection Agency, US)

Prof. Mario Tamburri (University of Maryland, US)

Local Organizing Committee:

Mr. Jong Ho Yun, Director of Marine Conservation Division (MLTM)

Mr. Kwan Jin Kim, Deputy Director (MLTM)

Dr. Gi Hoon Hong (Korea Ocean Research & Development Institute, KORDI)

Dr. Chang Soo Chung (KORDI)

Dr. Jung Eun Kim (KORDI)

Dr. Chang Hoon Shin (Asan Institute of Policy Studies)

This workshop was only possible with the financial and in-kind

contributions from the following organizations:

- The Government of Australia
- The Government of China
- The Government of Netherlands
- The Government of Germany
- The Government of Japan
- The Government of United Kingdom
- The Government of United States
- The International Association of Ports and Harbors (IAPH),
- The World Organization of Dredging Associations Central Dredging Association WODA/CEDA)

And this sponsorship was also extended to the joint session of the 35th and 6th Scientific Groups of the London Convention and Protocol, respectively.

Table of Contents

Preface

Acknowledgements

Executive Summary

Recommendations from the IMO-MLTM Asia Pacific Regional Workshop

Workshop Proceedings

1. Opening Ceremony

2. Objectives and Structure of the Workshop

3. IMO publications used for the workshop

4. Ratification of London Protocol

4.1. Legal framework for marine pollution management

London Protocol

IMO and other global agreements for the protection of the marine environment and their relation to the London Protocol

4.2. London Protocol

Waste Assessment Guidance

Waste Assessment Guidance Tutorial

Compliance and Reporting Obligation

Current work programs of the London Protocol

5. Environmental Protections and Management for Urban Ports:

5.1. Environmental Protection from Ships

Antifouling Systems

Ballast water and invasive species

Management of garbage and spoilt cargo from ships

Managing discharges of wastes from cruise ships

Shipyard environmental management

5.2. Engineering Enhancement of Port Function

Capital and maintenance dredging

London Protocol Guidelines for assessment of dredged material

- Dredging and port construction around the sensitive area (Coral reefs)
- Environmental Impact Assessment for Port Development: Rotterdam Port
- Environmental risk management for port infrastructure development
- Remediation of contaminated sediments in ports
- Brownfield development in ports
- Environmental control of dredging project: turbidity
- 5.3. Management of point and non-point source discharge of pollution in urban ports
 - Land based discharges to the marine environment
 - Beneficial use of sewage sludge
 - Port reception facilities
 - Water quality trading: a market based-tool to solve water quality problems
- 6. Sustainable Sediment Management
 - 6.1. Sustainable Sediment Management Principles
 - Engineering with nature as a part of sustainable practice
 - Sand motor
 - Beneficial use of dredged material
 - Multi-criteria Decision Analysis for Managing Contaminated Sediments
 - 6.2. Working toward sustainable sediment management, examples
 - An-Shun Project, Taiwan
 - Sustainable management of dredged material in the Netherlands
 - Sustainable sediment management concept for Tidal River Elbe
 - Climate change adaptations on sediment management
 - 6.3. Legislative principles for sustainable sediment management in ports and coastal areas
- 7. Placement activities
 - Artificial reefs
- 8. Protection of Marine Environment with respect to climate change
 - CO₂ sequestration in sub-seabed geological formation
 - Ocean fertilization
- 9. Monitoring coastal and ocean environment

Satellite Sensing of Coastal Marine Environment Changes
Pollution from or through the Atmosphere: Case study
Integrated Ocean Observing System

10 Current technology developments in marine environmental protection

Ballast water treatment technology
Underwater sound from dredging

11 Case Studies

Thailand

Viet Nam

Mexico

COCATRAM (Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica,
and Panama)

Japan

Republic of Korea

12 Technical Co-operations and Assistance Program

13 Workshop Conclusions and Recommendations

14 Closing Ceremony ANNEX: Workshop Programs

EXECUTIVE SUMMARY

The IMO/ MLTM Asia-Pacific Regional Workshop on London Protocol was organized jointly by the International Maritime Organization (IMO) and the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), Republic of Korea and held from 14 to 18 May 2012 at Jeju KAL Hotel, Jeju, Republic of Korea, in conjunction with the thirty-fifth and sixteenth meeting of the Scientific Group of the London Convention and Protocol, respectively (21-15 May 2012).

The Workshop was attended by 88 delegates from the following Asia-Pacific regional countries: Brunei Darussalam, Cambodia, Chile, China, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Indonesia, Japan, Mexico, Myanmar, Nicaragua, Panama, Peru, Philippines, Republic of Korea, Singapore, Sri Lanka, Thailand, Vietnam, Kiribati, Marshall Islands, Papua New Guinea, Solomon Islands, Tonga, Vanuatu and a representative from COCATRAM and from Canada, Germany, Netherlands, United Kingdom, and United States. Participants from Republic of Korea included representatives from the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Maritime Police, Korea Electricity Company, Construction Companies, universities and research institutions. The Workshop program was developed to provide a comprehensive overview of legal, technical and scientific tools needed to protect urban ports and ocean environment.

The program was formulated through close consultation with a number of Contracting Parties and was initiated at the last meetings of the Scientific Groups in Estonia, 2011.

The Workshop was sponsored by the Governments of Australia, Canada, China, the Netherlands, the Republic of Korea, United Kingdom and the United States and by International Association of Ports and Harbors (IAPH). In kind support from Canada, China, Germany, Japan, Netherlands, United Kingdom, United States, IAPH and WODA.

During the Opening Ceremony, Mr. Edward Kleverlaan (Head, Office for the London Convention and Protocol, IMO), Mr. Kwang Yeol Park (Director-General, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs,

Republic of Korea), Mr. Susumu Naruse (Secretary General, IAPH) and Ms. Chen Yue (Chairman of the Governing Bodies of the London Convention and Protocol) delivered the welcome and keynote addresses.

Recommendations from the IMO-MLTM Asia Pacific Regional Workshop

Membership to London Protocol

The Workshop encourages countries in the Asia Pacific Region (APR), who have not done so, to ratify the London Protocol and promote joint efforts to address marine pollution prevention from dumping of wastes at sea by all countries.

- Where a State is party to different international (dumping) agreements (e.g. Noumea Convention Dumping Protocol) with different standards for the protection of the marine environment, it is recommended to base its national policies on the *strictest one* of these standards.

Dredged Material

- The APR countries, on a sub-regional basis, should work together towards agreed methods for determining list and levels of contaminants in dredged material. When establishing concentration limits of contaminants in dredged material, due account should be given to the variations in background concentrations, use, and history of the sediments concerned.
- It is recommended that t countries that are already implementing the provisions of the London Protocol, share their experiences with their neighbouring countries.

Reporting

- Encourage countries of the APR to regularly report to IMO on any dumping at sea activities conducted in accordance with the requirements set out under the London Protocol, even if they are not currently parties to the dumping instruments.

Technical Co-operation

- APR countries to identify and communicate to IMO, their current administrative, institutional, legal, or technical barriers to achieving full compliance with the London Convention and Protocol.
- Coordinating different authorities related to the dredging and dumping are of paramount importance to ratify the London Protocol. Therefore, it may be useful to develop a more detailed model legislation based on the earlier "Guidance on the National Implementation of the 1996 Protocol to the London Convention 1972." This point may be considered in the "How to do manual" now under development.
- To help sustain the efforts of countries in this region towards accession to the Protocol, countries should consider requesting IMO for an activity which will lead to the delivery of national or regional seminars on the London Protocol.

WORKSHOP PROCEEDINGS

1. OPENING CEREMONY

1) Mr. Edward Kleverlaan, Head of Office for the London Convention and Protocol, IMO

Mr. Kleverlaan welcomed all workshop participants from other Asia – Pacific regional countries, and other participants. This workshop has a specific aim to promote the London Protocol in the Asia-Pacific Region that is currently substantially underrepresented considering the vastness of the ocean and activity of maritime sector. The London Protocol is an international forum for information exchange, technical cooperation, and assistance among Contracting Parties to the London Protocol. Therefore, non-member countries interested in protection of the marine environment can benefit from joining the London Protocol. He wished that all regional participants would have an opportunity to learn the accomplishment and experience of the London Protocol through the workshop deliberations and direct dialogue with resource persons in the context of their national and regional perspectives in the protection of marine environment from all source of pollution. He thanked Mr. Park of the MLTM of Republic of Korea to host this regional workshop and generous financial support.

He also extended his thanks to Australia, Canada, China, Netherlands, IAPH for their generous financial support and further thanks to the resource persons from Canada, Germany, Japan, Republic of Korea, Netherlands, UK, USA, UNEP, IMO, IAPH, and WODA. (Edward, you may elaborate further, as I do not have your speech text.)

2) Mr. Kwang Yeol Park, Director-General, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Republic of Korea

On behalf of government of Republic of Korea, he welcomed Mr. Kleverlaan, and thanked the IMO to cosponsor this workshop.

He welcomed Ms. Yuen Chen, Chairman of the Governing Bodies of London Convention and Protocol and all other workshop participants

from near and far.

The large diversity in this workshop demonstrates the importance and interest of environmental management in ports and marine pollution management issues in the Asia-Pacific region.

He noted that more than 90% of the world trade is carried out by ocean going ships and ports and harbors are the conduit bridging land and sea.

Ports and harbors have become pollution hot spots as the volume of trade increases. And the ocean environment is also under pressure from climate change. In order to add ressource charges on marine environmental protection, we found that anumber of marine environmental agreements, particularly London Protocol, provide useful legal sources for the protection of marine environment. Government of the Republic of Korea would like to see this workshop to be a forum to exchange views, share experience and further cultivate global partnership in the efforts of protecting marine environment from the current and emerging challenges. He also wished participants to have a time to enjoy the various opportunities Jeju could offer during the workshop.

3) Mr. Susumu Naruse, IAPH Secretary General

Mr. Naruse introduced the International Association of Ports and Harbors (IAPH). IAPH is an association of the global port community and it represents some 200 ports and 140 port-related organizations across about 90 countries worldwide. The member ports together handle over 60% of the world sea-borne trade cargo, accounting for nearly 80% of global container traffic. As an organization uniting the global port community, his organization is highly interested in preserving and controlling port environment in both sea and air. One of its seven technical committees, Port Environment Committee has been particularly active in this area for the last several years. Back in 2008, it has launched WPCI, World Ports Climate Initiative, which is dedicated to fighting to reduce greenhouse gas emissions from port activities. Now it has quite a few guidelines and manuals to control air quality in ports,

which include “Tool Box for Port Clean Air Programs”, “Carbon Foot Printing for Ports” and “Website for Onshore Power Supply”. It has launched a system called Environmental Ship Index, where an environmentally friendly ship can get a discount on port dues when it calls at participating ports. It has just started to work on “LNG fuelled Vessels and Ports” and will continue to tackle other contemporary issues. As dredging work is an essential part of port development, the London Convention and Protocol have been a center of its attention for a long time. IAPH has sent the relevant personnel to the IMO meetings on the London Protocol in order to make clear its position. Back in 2007, IAPH contributed some resources to IMO to help prepare “an extension of Waste Assessment Guideline Training Set for application of low-technology techniques” so that even countries that do not have high-tech equipment could carry out waste assessment properly. And again we donated some funds for this workshop mainly for participants travelling from developing countries in the region. Mr. Naruse wished all the participants would have vigorous discussions and produce fruitful results through the wonderful programs of this workshop. He concluded his speech by thanking the organizers of this workshop, the international steering committee, the local organizing committee and the office of the London Convention and Protocol for their effort to make this workshop possible.

4) Ms. Y. Chen, Chairman of the Meetings of the Parties to the London Convention and Protocol

Ms. Chen welcomed all participants to the workshop as the Chairman of the Meeting of the Parties to the London Convention and Protocol. She stressed that the Asia-Pacific region is very important as it contains an immense economic, cultural and biological diversity in marine sector at global level. She spoke that all efforts at national, regional and global level are need to ensure to conserve marine heritages and to sustain beneficial use of the sea for the present and future generations. She emphasized that in countering threats to the marine environment from dumping activities, London Protocol is an important instrument providing

many benefits, particularly in relation to developing new ports or navigation channels. London Protocol also opens doors to new and emerging climate related environmental issues such as carbon capture and storage (CCS) in sub-seabed geological formations and other geo-engineering issues. She pointed out that only 4 countries in Asia and 4 countries in the Pacific region are the Contracting Parties to the London Protocol. She recalled that the Asia-Pacific region is under represented in important debates occurred in the London Protocol due to their small number of countries are the Parties to the London Protocol. She urged to the countries in the Asia-Pacific to engage more actively to join the London Protocol to participate in the important debates in the meetings of Scientific Groups and Governing Bodies of the London Convention/Protocol. She appreciated this opportunity to call more representation from the Asia-Pacific region at the meetings of the London Protocol. She also reported that China have updated regulations and technical guidelines on controlling dumping wastes at sea reflecting the updated versions of guidelines adopted by the Governing Bodies of the London Convention and Protocol. Ms. Chen wished all participants a pleasant stay and a successful workshop and thanked the host of the workshop, Republic of Korea for their excellent preparations.

2 Objectives and Structure of the Workshop

Ms. Linda Porebski (Canada) introduced the objective of the workshop. Each nation in the world nowadays uses various materials for living every day, for example, desk top computers and its screens, clothes, automobiles, fuels. These products are largely imported from other countries and some are, in return, exported out of country. The international trade has greatly increased recent decades and consequently most world become more affluent than ever. More than 90% of the international trade is conducted *via* ships and their terminals are harbors and ports. Landside terminals become industrial and populations centers. Seaside terminals are used to be land extension but increasingly dependent upon the man-made structures built at sea. The world biggest metropolitan areas, in Asia-Pacific region, in particular, are mostly located

along the coast and the harbors are their centers. Therefore trade harbors become a central part of the urban area and here we use the term Urban Ports.

Urban harbors with multi-million residents are the meeting place from the sea and from the land in terms of fluxes of cargo and human travelers, and expanding worldwide rapidly. These great coastal cities are major innovation centers due to the easy access of foreign goods and culture and produce great economic gain. Concentration of economic activities and great population surrounding harbors, on the other hand, eventually intense environmental stress in the marine waters in and around the harbors as well as the coastal metropolitan city themselves. We may call it Urban Marine Waters. They are providing an invaluable scenic beauty even though they are no longer pristine, and therefore, each government designated a number of marine parks in coastal waters. At the same time, many aquaculture activities along with harvesting fisheries are prospering in the coastal waters. These marine and land areas should be constantly taken care of in order to be sustainable.

Oil tankers more than a few hundred meters long and cruise ships of more than a few thousands passengers are not rare and ever getting larger in volume and size. The ship hulls need to be protected from the fouling organisms by applying antifouling chemicals and ports are required to deepen channels and build breakwaters to accommodate large ships and protect them from the bad weather. Therefore, engineering work is continuously required in most harbors.

Coastal waters within harbor and adjacent to the metropolitan cities are naturally positioned in lower elevation than the adjacent land masses; therefore, they are subject to receive intentional and unintentional wastes from the adjacent metropolitan cities. Storm water runoff could be a conduit of contaminants accumulated along the road side trenches to the sea. Coastal waters including the waters inside the harbor often serve as habitats of many life forms and some of them usually migrate great distances in offshore depending upon their life stages. Moreover most marine life forms, animals and plants are significant source of food to the coastal human populations, especially in the Asia-Pacific region.

Therefore, the administrators of harbors in the region face multiple challenges in relation to (1) provide safe and efficient loading and unloading cargo, ship building, breaking and repair services, receive and treat ship generated waste from incoming ships, supply fuel, food and other necessary items to the outgoing ships, and (2) maintain clean water and air sufficient enough for swimming and healthy seafood in the harbor and its immediate surrounding coastal marine areas and guard against pollution from ships as well as the pollution spilled over from the land. However, (3) a national administration responsible for marine environment protection usually lacks of adequate regulatory framework including laws and guidelines in contrast to the ever increasing marine activities in terms of their kind, frequency and magnitude. They are usually fragmentary in nature, if there are any.

London Protocol primarily addresses dredged material and other 7 wastes disposal at sea, but it also provides a practical tool to apply waste prevention and consideration of waste management options. Also the management of dredged material and 7 waste streams are interlinked with many economic activities in the city and industry. The beneficial use of these 8 items and other waste streams not listed in LP could be also significantly enhanced by the application of LP. There are also a number international and regional treaties such as MARPOL and Ballast Water Management Convention, Antifouling Systems Convention, UNCLOS, and international program such as UNEP Global Programme of Action to control sea-based and land-based sources marine pollution. These treaties should be considered along with LP as they are complimentary in many issues related to the LP.

Each national administration dealing with coastal marine environment is usually also responsible to protect the global ocean from the number of marine activities including global climate change. LP has passed a number of resolutions to address the climate related issues since 2006 in particular and significant issues are pending regarding ocean fertilization and possibly other climate mitigation purpose geoengineering and transboundary nature involving carbon dioxide sequestration in sub-seabed geological formations. LP the is probably sole international

treaty to protect the marine environment from harbor to open ocean by collectively developing regulatory tools, sharing technical skills and assisting capacity building in countries as needed.

Therefore this workshop aims (1) to bring the global standing on the legal and technical features to address the urban harbor environmental protection to the Asia-Pacific region, (2) to familiarize the region on the practice and guidelines to implement port environment protection measures developed in LP and other national experiences, (3) to learn each other by sharing a number of regional case studies , (4) to foster some sort of common value to protect the marine environment among countries in the Asia-Pacific area, and (5) promote London Protocol to the Asia-Pacific Region as the region is relatively less participating in the London Protocol.

3. IMO publications used for the workshop

Each of the following IMO publications was distributed to all regional participants:

- (1) Guidelines of the London Convention 1972
- (2) London Convention, 2003 Edition
- (3) Guidance for dredged materials, 2009 Edition
- (4) Sampling of dredged material, 2005 Edition.
- (5) Guidelines for the Placement of Artificial Reefs, 2009 Edition
- (6) 2011 meeting reports of the Scientific Groups and Governing Bodies

All workshop participants were invited to convey their specific challenges in marine pollution prevention and their expectations from this workshop. A brief and general description of the week's agenda was given.

4. Ratification of London Protocol (LP)

4.1 Legal framework for marine pollution management, Mr. E. Kleverlaan (IMO)

Mr. Kleverlaan introduced first the workshop the key features of the

London Protocol and basic legal elements of the Protocol, list of allowable wastes to be disposed of, current trends in dumping, current and future issues in the Meeting of Contracting Parties, achievements and lessons learned up to date, and advantages and costs of joining the London Protocol. And Mr. Kleverlaan provided an overview on the IMO itself, IMO Conventions (MARPOL, Ballast Water Management Convention, Antifouling Systems Convention) and other global agreements linked with London Protocol (UEP Global Programme of Action, UNFCCC and Kyoto Protocol, UNCLOS, and regional agreements) for the protection of the marine environment and their relation to the London Protocol in his second talk.

London Protocol

The "Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter 1972", the "London Convention" for short, is one of the first global conventions to protect the marine environment from human activities and has been in force since 1975. 87 States are Contracting Parties to this Convention including China, Japan, Philippines and the Republic of Korea.

The London **Protocol** 1996(LP), which will eventually replace LC, is in force since 24 March 2006.

42 States are parties to it, 33 of which are also LC-parties, including China, Japan, Republic of Korea and most recently by the Philippines!!.

The London Protocol consists of 29 Articles and 3 Annexes and now it provides global rules and standards on dumping as required under Article 210.6 of UNCLOS (1982).

All dumping is prohibited except for possibly acceptable wastes listed in annex 1 to LP:

- dredged material
- sewage sludge
- fish wastes
- vessels and platforms
- inert, inorganic geological material (e.g. mining wastes)
- organic material in natural origin

- bulky items (conditions apply)
- CO2 capture and storage in sub-seabed geological formations

He explained that around 250 to 400 million tons of dredged material are dumped in Convention waters, 10% of which is contaminated from shipping, industrial and municipal discharges, and land run-off. According to the data presented, the dredged material constitutes 80-90% of all materials dumped. Other materials dumped include sewage sludge, decommissioned vessel, organic materials, e.g., food and beverage processing wastes, spoilt cargoes, fish wastes, inert, inorganic geologic materials.

The London Protocol adopts a precautionary approach, which means more restrictions on dredging operations and dumping of material as well as strong emphasis on control of contaminants at source. It also uses the "polluter-pays principle" and no "transfer of damage to environment."

He also explained the evolved character of the LP compared to the LC

- a more modern and comprehensive agreement providing greater protection of the marine environment than the Convention. For example, the precautionary approach to environmental protection is included under the Article 3.
- greater geographical coverage, as it also governs the storage of wastes in the sub-seabed, as well as the abandonment, or toppling of offshore installations, which the London Convention does not. Since 2006, it covers the storage of CO2 in sub seabed geological formations.
- parties have the option to apply the rules of the LP to their internal waters, or other effective permitting and regulatory measures (Article 7) to make it seamless.
- key provisions of the step-wise waste assessment procedure are made clear in annex 2 to the Protocol, rather than in non-binding guidelines.
- places more emphasis on compliance. Compliance procedures and mechanisms have been developed in 2007 under Article 11. Since

2008, Compliance Group (CG) is ready to assess and advise on compliance with the Protocol.

- technical Co-operation Provision(Article 13) are stronger.
- dynamic, including new developments and amendments such as storage of CO₂ in sub seabed geological formations.
- includes liability provisions and settlement of disputes between Parties in its Annex 3, whereas the 1978 amendments to the London Convention on the same issue never entered into force.

Also he discussed costs for states when joining London Protocol. Despite certain fees expected in preparing enabling national legislation and administering a licensing system and procedures, some or all costs could be recoverable under the polluter pays principle. Mr. Kleverlann, wrapped up by discussing initial steps towards to ratify LP.

IMO and other Global Agreements for the Protection of the Marine Environment and their relation to the London Protocol

International Maritime Organization (IMO) was created to provide machinery for co-operation among Governments in the field of governmental regulation and practices relating to technical matters of all kinds affecting shipping engaged in international trade; to encourage and facilitate the general adoption of the highest practicable standards in matters concerning the maritime safety, efficiency of navigation and prevention and control of marine pollution from ships; and to deal with administrative and legal matters related to the purposes by the adoption of the Convention on the International Maritime Organization (IMO) 1949 and in force since 1958. It is a specialized UN agency on maritime affairs. Member governments are responsible for implementing and enforcing the adopted regulatory framework. It has currently 170 member States and includes all major ship owning nations, covers all major port and coastal States. IMO Assembly meets every 2 years and IMO Council meets every 6 months. There are 5 committees and 9 subcommittees operating at this time. The Marine Environmental Protection Committee (MEPC) is presently closely related to the London Protocol.

MARPOL is a combination of several treaties and has been updated

through Amendments and revisions over time. MARPOL contains six Annexes with the first two being mandatory and the others optional:

- Annex I-oil.
- Annex II-noxious liquid substances.
- Annex III-harmful substances in packaged form
- Annex IV-sewage.
- Annex V-garbage from ships.
- Annex VI-air pollution from ships.

Mr. Kleverlaan pointed out the linkage of MARPOL with LP is that, although Normal operational discharges from vessels are not dumping, collaboration with the IMO's **Marine Environment Protection Committee (MEPC)** to clarify boundaries between conventions and assist domestic enforcement agencies with their duties ("cargo-associated wastes", garbage from ships, spoilt cargoes) – adopted guidance as joint Circular recently.

He continued urging member states to

- Comply with Annexes I and II.
- Consider ratifying Annexes III-VI and/or implementing national laws to cover these waste categories.
- Inform IMO of all incidences, permits, and inspection violations.
- Have the capability to inspect and monitor your own ships.
- Report incidences.
- Have capability to investigate incidences.

BWM (Ballast Water Management Convention) was adopted on the 13th of February 2004 to prevent the potentially devastating effects of harmful aquatic organisms carried in ships' ballast water. Discharge of ballast water is not regarded as dumping. Discharge of sediment from ballast tanks is not regarded as dumping, unless sediment is collected from land-based facilities for the purpose of dumping. It is also worthy to note that London Protocol aims to avoid dumping of organic wastes containing pathogens.

AFS (Anti-Fouling Systems Convention) was adopted in October 2001 to

prohibit the use of harmful organisms (TBTs) in anti-fouling paints on ships. Concentration of TBTs is a major factor in evaluating the quality of dredged sediments. In 2008, LP Parties developed "Best Management Practices for Removal of Antifouling Coating from Ships," which was adopted by MEPC 59.

Other international Agreements were introduced to protect the marine environment from land-based pollution. **UNEP Global Program of Action(GPA)** for the protection of the marine environment from land-based activities is more restrictive dumping regime under the London Protocol since it puts more pressure on finding land-based solutions and gives impetus to effective implementation of the GPA. Currently London Protocol works on areas of common concern with GPA such as mine tailings, habitat destruction in coastal ecosystems, and marine litter. Basel Convention prohibits transboundary movement of hazardous waste for disposal and began phase-out of movement for recycling of recovery. These agreements are complementary to and compatible with the London Protocol. International agreements to protect the marine environment from atmospheric pollution were also introduced including **UN Frame work Convention on Climate Change(1992)** and Stockholm Convention (2001). London Protocol leads international regulations on the safe management of new technologies, e.g., carbon capture and sequestration in sub-seabed geological formations, ocean fertilization, and other ocean geo-engineering.

United Nations Convention on the Law of the Sea(UNCLOS) Article 210 provides the foundation for regulation of dumping activities, and the definition of "dumping" under UNCLOS is copied from the London Convention. Various regional agreements were also shown to have similar or identical clauses to London Protocol. Relationship between global and regional international agreements was shown, and Mr. Kleverlaan concluded that effective implementation of the London Protocol will contribute to implementation of other agreements. In addition, he also mentioned the need to clarify the boundaries between agreements in the interests of harmonized and effective implementation of these agreements.

4.2. London Protocol

Waste Assessment Guidance, Mr. Chris Vivian (UK)

Dr. Vivian introduced the key components of the Waste Assessment Guidance (WAG) that is a legal requirement to issue a permit to disposal of waste and other matter into the sea (Annex 2 of the London Protocol). He focused on 3 key elements of the London Protocol:

- only items on the list in the Annex 1 are candidates for dumping, but more flexible shown in the 5 year grace period for new Parties and emergency exceptions provisions.
- alternatives to dumping must be considered to reduce or avoid dumping.
- management of dumping must have permitting regime to minimize potential impacts. It should be noted that the Waste Assessment Guidance (WAG) can form the basis for dumping permit of waste or other matter at sea under both LC and the 1996 Protocol.

The Waste Assessment Guidance is intended to aid states with waste management through: (1) aiding in the assessment of waste considered for dumping (2) helping with compliance to the LC and 1996 Protocol. (3) including the knowledge of the Scientific Group. Mr. Vivian also discussed how WAGs can be used by nations to implement precautionary approaches into domestic legislation, assess material, issue and control permits, conduct monitoring activities, and report all developments to the IMO. The WAG offers a general waste management framework for governments, saves duplication of efforts, and allows for adaptation by countries. Key components of the WAGs include (1) Waste characterization (2) Waste management options (3) Dumpsite selection (4) Impact assessment and monitoring (5) Permitting.

The participants were introduced the structure of the Guidelines for the assessment of wastes or other matter that may be considered for dumping and 8 steps of the guidelines were elaborated in detail. The list of wastes or other matter that may be considered for dumping in the LP-Annex 1 was reviewed individually and the benefit of having a positive

list in the London Protocol compared to the earlier negative list used in the London Convention. In characterizing waste, different wastes or other matter require to characterize them differently in relation to the potential marine environment impact. Wastes are described in a set of waste specific guidance and each specific waste will have certain characteristics and Action List considerations:

- Sewage sludge and organic material of natural origin-organic enrichment, pathogens, viruses, parasites, specific gravity, and oxygen demand. The action list should consider these aspects
- Fish waste-species, origin, BOD, was the fish fit for consumption
- Inert, inorganic geological material-origin, mineralogy, physical persistence. The action list should consider physical impacts only in most cases.
- Bulky wastes-specific gravity>1.2, composition of iron, steel or concrete, potential reactions with seawater. The action list should consider physical impacts only in most cases.
- Vessels/Platforms-have all hazardous materials been removed (including fuels, lubes, and dielectric fluids). The action list should consider cleanup standards and impacts should be of a physical nature.
- Dredged Material-volume, particle size, specific gravity, contaminants of concern, and potential for toxicity persistence and bioaccumulation.

National Action Lists can help countries identify materials which are acceptable for dumping, need further characterization, or unacceptable for disposal. The participants learned that the results obtained from the characterization would enhance the capacity of the administrator to find the pollution prevention and the alternative disposal option.

Depending on the result from Action List, proceeding to disposal site selection site can be made. In order to select and characterize the dump site, the administrator needs to be assisted by the marine science department in the university and fisheries administration to avoid sensitive areas. And then administrator has to weigh the potential impacts arising from the proposed wastes or other matter dumping. If

those impacts are perceived to be within the tolerable limit, then the administrator may issue a permit with appropriate conditions. And the administrator has to set up how to monitor the issued permit be carried out according to the permit conditions. The participants are also learned that these 8 steps are not a flow-through process but iterative process until a satisfactory information obtained in order to protect the marine environment through waste prevent and finding alternative management options other than disposal at sea. Various examples of characterization of wastes or other matter, waste prevention, and management options were given to the participants. Examples of action lists and national dumping regimes were also given. He also described the Waste Prevention Audit (WAG Section 2) and Waste Management Options (WAG Section 3) Waste prevention audits reveal opportunities for waste prevention and identify and control sources of contamination. Waste management options include reuse, off-site recycling, destruction or removal of hazardous constituents, treatment, disposal on land, into the air, or in water.

Waste Assessment Guidance Tutorial, Mr. Thomas Fredette (US)

Dr. Fredette introduced Waste Assessment Guidelines Tutorial (WAG Tutorial) to the workshop. The "Tutorial: Guidelines for the Assessment of Wastes Proposed for Disposal at Sea", also known as the "Waste Assessment Guidance Training Set" has been available for use since October 2007. This Tutorial, which is to be complemented by an Instructor's Manual (2009) and electronic presentation slides (2009), demonstrates the general concepts of the Waste Assessment Guidelines and is directed to national administrations responsible for waste management. It explains key components of the Guidelines and offers access to experience of Contracting Parties during the last 30+ years in regulating ocean dumping. The Tutorial, which is in English only, can be found at the London Convention website (<http://www.imo.org/OurWork/Environment/SpecialProgrammesAndInitiatives/Pages/London-Convention-and-Protocol.aspx>). CD-ROM versions can be also made available on request and at no costs by contacting the

Secretariat (lcip@imo.org). Dr. Fredette is the principal author of the WAG Tutorial.

He introduced the contents of the WAG Tutorial with a great detail using a number of examples and cases.

WAG Tutorial is consisted of;

Part 1: Introduction

Part 2: The London Convention and the London Protocol

Part 3 Step 1: Waste Characterization

Step 2: Waste Prevention Audit and Management Options

Step 3: Action List

Step 4: Select a Dump-site

Step 5: Impact Assessment

Step 6: The Permitting System

Step 7: Permit Conditions

Step 8: Monitoring

Part 4: Reference Materials

Compliance and reporting obligation, Mr.Shin Chang Hoon(Republic of Korea)

Under the LC and the LP, member states should try to do their best to make sea more sustainable, cleaner. He emphasized a holistic approach, referring to 1982 UNCLOS Preamble. Member states assume common but differentiated responsibility according to the article 2 of the LC. The concept has been invoked by many international environmental lawyers. The starting point of this common but differentiated responsibility would be the respect of difference in capability. His presentation was focused on how the compliance mechanism of the LC and LP contribute to the realization of common but differentiation approach. With the London Protocol in force since 24 March 2006, the Meeting of Contracting Parties adopted the 'Compliance Procedures and Mechanisms (CPM) pursuant to

Article 11 of the 1996 Protocol to the London Convention 1972' and established the Compliance Group in 2007. According to the CPM, members of the Compliance Group shall be nominated by Contracting Parties, based on equitable and balanced geographic representation of the five Regional Groups of the United Nations, and elected by the Meeting of Contracting Parties.

Dr. Shin compared multi non-compliance procedures with dispute settlement procedures. While dispute settlement procedures are sanction oriented in nature, CPM is to identify Parties' compliance difficulties and facilitate better compliance. Non-compliance procedures are more suitable for common but differentiated responsibility. Member states' reporting obligation and the function of CG was presented. Failure to report would be a violation of procedural obligation but no penalty or redress is imposed. Reporting obligation has a role of transparency in generating pressures for treaty compliance.

In collaboration with B2C (Barriers to Compliance) Project, the CG provides prospective Parties with possible option for obtaining advice and guidance to facilitate its becoming a Party to the London Protocol. The B2C project, which commenced in September 2006 under guidance of the IMO Secretariat, was conducted under the auspices of the "Long Term Strategy for Technical Co-operation and Assistance Program under the London Convention and Protocol" (TCAP). The TCAP aims to strengthen national marine pollution prevention and management capacities to assist existing members that are non-compliant due to a lack of technical, administrative, legal capacity.

Current work programs of the London Protocol, Mr. C. Huo (China)

Dr. Huo discussed the Joint Long-Term Program for the London Convention and the promotion of the London Protocol (2012-2014). The Joint Long-term Program outlines the tasks and activities undertaken by Contracting Parties and the Secretariat in relation to LC and LP. The Program includes the activities given to the Scientific Groups under the LC and LP and to the Compliance Group. It also includes targeted

completion dates and a priority level for each activity. This Joint Long-term Program is intended as a more detailed reference through its provision of additional information on activities, contacts, and status. It is also intended to provide Contracting Parties and non-Contracting Parties with a better understanding of Convention/Protocol activities. The Joint Long-Term Program is a tool for planning and tracking of achievements at the strategic level and covers all aspects of implementation of the London Protocol. It is updated by the Secretariat each year and is reviewed yearly by the governing bodies.

Dr. Huo briefly introduced the current 8 goals with 50 actions in the coming meetings of the Compliance Group, Scientific Group and Governing Bodies of the London Convention and Protocol for the period of 2012 to 2014.

- Goal 1. Outreach to prospective new Contracting Parties
- Goal 2. Improve Compliance with the Convention and Protocol
- Goal 3. Greenhouse gas issues
- Goal 4. Develop guidance and address technical and scientific issues to implement the London Convention and Protocol
- Goal 5. Matters related to the management of radioactive wastes
- Goal 6. Interpretation of the London Convention
- Goal 7. Technical co-operation and assistance
- Goal 8. Relations with other organizations in the field of marine environmental protection.

5. Environmental Protection and Management for Urban Ports

Various multilateral agreements and international programs on the environmental protection and management for urban ports in relation to shipping, engineering enhancement of port function, and management of point and non-point sources of pollution are discussed in this session.

5.1 Environmental Protection from ships

Antifouling Systems, Mr. Ryuji Kojima (Japan)

Dr. Kojima introduced the role and technological advancement of the antifouling systems (AFS) in response to the need of marine environmental protection. AFS is a coating, paint, surface treatment, or surface, or device that is used on a ship to control or prevent attachment of unwanted organisms. He pointed out that AFS is a sort of in-water cleaning agent. AFS serves to reduce the emission of greenhouse gases (GHG) and prevent invasive species by biofouling. However, AFS release harmful substances to the sea, by its design, and risks associated with these substances are not negligible. Therefore a number of restrictions are imposed on the use of AFS domestically and internationally.

For AFS purpose, various biocides, such as, copper sheathing, wax, tar and asphalt were used as AFS until 1800. Cu, Hg, As, PCBs, DDTs were used until 19760s, and organotin compounds, e.g., TBT and TPT were used until 1990s. Due to its toxicity to marine organisms, organotin paint application was agreed to be banned in 2001 by the meetings of the International Maritime Organization (AFS Convention) and AFS Convention entered in force in 2008. Therefore various biocides of organic or organometallic compounds are sought to replace more toxic ones used earlier. Dr. Kojima also introduced ISO risk assessment of AFS is now being prepared under ISO/TC8/SC2 for future reference to evaluate environment impact.

Ballast water and invasive species, Mr. Edward Kleverlaan (IMO)

Mr. Kleverlaan introduced Ballast Water Convention to control invasive species issues. Aquatic Invasive Species (AIS) are defined as foreign species introduced into the environment that have few predators, are able to thrive in that area, and displace local flora and fauna. Invasive aquatic species is one of the main threats to the world's oceans. It is estimated that about three to ten billion tons of ballast water is

transferred globally each year, potentially transferring from one location to another species of sea-life that may prove ecologically harmful when released into a non-native environment. Several case studies were provided on the comb-jelly and its devastation on the Black Sea and Caspian Seas, and on the Chinese mitten crab and its impact on coastlines in Northern Europe. The problem of invasive species is largely due to the expanded trade and traffic volume over the last few decades. Quantitative data show the rate of bio-invasions is continuing to increase at an alarming rate, in many cases exponentially, and new areas are being invaded all the time.

Human assisted dispersal of species are largely through canals, movement of large marine structures, movement of vessels between what bodies by land-transport, large expansion due to climate change, and shipping. Shipping carries 90% of world trade and predicted to triple in the next 10 to 15 years but doubts about sustainable growth. Pathways for these invasive alien species may occur through introduction and ballast water exchange. Examples of how intentional and unintentional introductions were described. Intentional introductions can include aquaculture and fishing, while unintentional introductions can occur through canal developments, marine debris, and escape or release from aquaria or shipping.

The impact of ballast water and invasive aquatic species is astonishing. For ecological impact, it is the second greatest threat to marine biodiversity after overexploitation. Economic impacts of the invasive species carried in the ballast tanks of ships cause billions of dollars in damage to fisheries, infrastructure, and tourism each year. Other damages include disease and death in humans. The impact on human health may include toxic dinoflagellates and species carrying cholera or other diseases. Ballast water contains local plankton, bacteria, viruses, mud and sand of the unloading port where the ballast water is taken. As the ballast water is discharged together with the plankton, etc, at another port, it possibly impacts the ecosystem in the sea area, causing a global-scale environmental damage.

International regulatory responses to ballast water issues include: IMO-MEPC 1991, IMO Res.A.774 (18), IMO-Res. A.868(20) in 1997(Guidelines – BW exchange), GloBallast Program (2000–04), IMO-BWM Convention 2004, and GloBallast follow-up (GloBallast Partnerships). The BWM Highlighted aspects of the convention included:

- Control mechanisms of the transfer of harmful aquatic organisms on ships.
- Development of policies and strategies for a contracting party's waters and ships.
- Encourages regional agreements.
- Regulations require tanks to be flushed 3 times in transit.
- Restrictions on locations for ballast water exchange.
- Created ballast water performance standards (i.e., less than 10 viable organisms per cubic meter).
- Requires sediment reception facilities in ports.
- Requires parties to obtain sufficient background information on the biological baseline and risks associated with their waters.

Meanwhile, IMO stipulates all new ships from 2012 to install Ballast Water Management System on board which shall meet the Standard on the water quality.

Management of garbage and spoilt cargo from ships, Mr. Darrell Brown (US)

Mr. Brown introduced the past achievement and on-going preparations on the management of garbage and spoilt cargo from ship of LC/LP and MEPC of IMO. Garbage from ships can be just as deadly to marine life as oil or chemicals. The greatest danger comes from plastic, which can float for years. Fish and marine mammals can in some cases mistake plastics for food and they can also become trapped in plastic ropes, nets, bags and other items. Many items can be degraded by the sea, but this process can take months or years. Against this backdrop, the MARPOL Convention sought to eliminate and reduce the amount of garbage being

dumped into the sea from ships. Under Annex V of the Convention, garbage includes all kinds of food, domestic and operational waste, excluding fresh fish, generated during the normal operation of the vessel and liable to be disposed of continuously or periodically. Annex V totally prohibits of the disposal of plastics anywhere into the sea, and severely restricts discharges of other garbage from ships into coastal waters and "Special Areas." The special areas established under Annex V are the Mediterranean Sea, the Baltic Sea Area, the Black Sea Area, the Red Sea Area, the Gulfs area, the North Sea, the Wider Caribbean Region and Antarctic Area. These are areas which have particular problems because of heavy maritime traffic or low water exchange caused by the land-locked nature of the sea concerned.

In July 2011, IMO adopted extensive amendments to Annex V which are expected to enter into force on 1 January 2013. Revised MARPOL Annex V reverses the historical presumption that garbage may be discharged into the sea based on the nature of the garbage and defined distances from shore. It prohibits the discharge of all garbage into the sea, except as provided otherwise, under specific circumstances.

Mr. Brown introduced the "Guidance on Managing Spoilt Cargoes" prepared by the Joint London Convention/MEPC Working Group to clarify boundary issues between the London Convention and Protocol (LC/LP) and MARPOL Annex V in 2009. The ideal way to manage cargo that spoils during a voyage would be to offload it from the ship to be managed on land; either to sell for an alternate use, recycle salvageable materials, or be disposed of in an environmentally safe manner. Dumping spoilt cargo at sea should only be considered when: there is a marked degree of urgency, facilities on land are unavailable, and it will not cause harm to the environment or human health. This guidance set out the applicability of the London Convention and Protocol and MARPOL Annex V to the management of spoilt cargo, contingency plans for the management of spoilt cargo, considerations for documenting spoilt cargo, applying for a permit, emergency permit, mitigation for invasive species and pathogens in some spoilt cargoes and alternative options when dumping at sea is not allowed.

Mr. Brown also introduced the importance of the port reception facilities in order to prevent garbage and spoilt cargo discharge or dumping at sea. He stressed that governments should assess the adequacy of port reception facilities, provide adequate training, funding and equipment, examine onboard garbage arrangements during inspections, investigate infringements, and prosecute offenders.

Managing discharges of wastes from cruise ships, Mr. Gi Hoon Hong (Republic of Korea)

Dr. Hong presented environmental management of ship discharges based on the Mr. Pat Cotter (US)'s slides. There are more than 230 cruise ships operating world-wide. Cruise ships are literally floating cities that provide some of the same services that small cities or towns provide to their citizens. Some of the wastes generated by cruise ships include bilge water (water that collects in the lowest part of the ship's hull and may contain oil, grease, and other contaminants), sewage, graywater (waste water from showers, sinks, laundries and kitchens), ballast water (water taken onboard or discharged from a vessel to maintain its stability), and solid waste (food waste and garbage). There is an increasing concern about the potential environmental impacts of cruise ship waste discharges as the cruise ship industry continues to expand. Vessels routinely discharge ballast water, grey and black water, oblige water, and deck runoff. These must be consistent with applicable international and national standards. Ballast Water discharges is a concern due to their potential to transfer aquatic species from one location to another with consequent changes in regional and local ecosystems.

Dr. Hong introduced U.S. cruise industry response to this challenge. A Combination of IMO conventions, national regulatory programs, industry support and coordination with NGOs has demonstrated global leadership in managing ocean-based discharges. Details were presented.

- Blackwater – MARPOL Annex IV / Major constituents: nutrients, pathogens, BOD, TSS, chlorine, metals, and dissolved organic carbon. Advanced treatment methods: biological treatments followed by

membrane filtration and often UV, ozone, or chlorine to disinfect (examples are RoChem, Xenon, Hamworthy and ScanShip).

- Graywater – no treaty / Major constituents: nutrients, pathogens, BOD, TSS, chlorine, oil and grease, and dissolved organic carbon. Advanced treatment methods: biological treatments followed by membrane filtration and often UV to disinfect (examples are Rochem, Xenon, Hamworthy, and Scan Ship). Discharges of black water also known as sewage and gray water, which is the effluent generated from wash basins and showers on board ships are regulated under MARPOL IV, as well as through specific restrictions established through national and local laws.
- Oily Bilge water – MARPOL Annex I/ Major constituents vary tremendously based on overall maintenance condition of the vessel. In general, oil, sulfides, and heavy metals are concerns. Treatment methods: oily water separators, ceramic ultra-filtration membranes, advanced membrane technologies, biological treatment, sludge tanks for oil residues, and reducing the amount generated.
- Ballast water – International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004 / Major contaminants of concern are aquatic nuisance species (ANS). Regulatory solutions will help reduce the spread of ANS. Ballast water treatment methods: filtration, UV radiation, biocides, ultrasound energy, air displacement technologies (e.g., CO₂ and N₂ saturation), and oily water reception facilities.
- Garbage – MARPOL Annex V/ Major constituents: cardboard, paper, plastic, wood, glass, metal cans, and food waste. Treatment methods: reducing the amount generated, disposal onshore, grinding before discharge, incineration, separate plastics, and pulpers/shredders (cardboard, glass, paper).
- Hazardous Waste – MARPOL Annex V revisions that enter into force on January 1, 2013 /Major constituents: paints, solvents, batteries, photo lab wastes, and dry cleaning wastes. These materials should not be discharged. They should be segregated from other wastes and

brought to shore for appropriate treatment and/or disposal.

- Anti-fouling Systems on Ships. Major contaminants of concern are TBT, copper, and zinc. Technologies which reduce the leaching rate can be used. Using non-persistent and non-bioaccumulative active agents is the best solution.
- Oil spills – MARPOL Annex I / Treatment methods: mechanical removal, photochemical catalysts, sorbent use, booms and damming, in situ burning, dispersant application, fates and effects 18 modeling, and contingency (pre-incident) planning.

Shipyards environmental management, Ms. Linda Porebski (Canada)

Ms. Porebski presented shipyard environment management issues using slides prepared by Mr. Patt Cotter (US). For the economic reasons, shipyards are mostly located inside ports and harbors. Typical shipyard activities are ship construction, repair and maintenance, fueling, blasting, stripping, and painting, ship breaking and others. Most shipyard activities have a potential to release oils and paint chips and other harmful substances (asbestos, biocides, PCBs, sewage) to the marine environment. Shipyards should meet evolving technical standard for components and processes. It should make efforts to address international standards on a ship's operational environmental performance. Shipyard discharges we are concerned include Ballast Water, Bilge Water, Liquid Wastes, Hazardous Air Pollutants, Sewage, Solid Waste.

A report on the shipbuilding industry published in November 2010 indicates a need for a shift in the prevailing shipbuilding industry culture. One solution is EMS (Environmental Management Systems) which is a structured set of policies processes, and practices to reduce an organization's environmental "footprint" and increase operating efficiency. It is based on the Plan-Do-Check-Act approach adopted by the private sector under ISO 14001, an EMS-based system that is recognized worldwide. EMS improves not only environmental performance but also public awareness and confidence. 2003 EMS Implementation Guide was prepared by U.S. EPA was introduced. It is composed of 18 modules,

each of which contains background information and recommendations on procedures to establish and maintain at shipyard.

OECD Council Working Party on Shipbuilding stated that "... there is a need for a shift in the prevailing [shipbuilding] industry culture from one where environmental factors are mostly seen from a perspective of inevitable burdens that disturb the industrial process and which incur higher operating costs, to one that is associated with innovation, competitiveness, and profit" in 2010.

The Environmental Management Systems (EMS) using best management practices are recommended to address those challenges. It requires properly identifying and storing hazardous materials and hazardous wastes, recycling of hazardous and non-hazardous wastes, containment structures to reduce particulates and capture hydroblast water, better containment/elimination of vessel leaks from hydraulic or fuel systems, storm water management to reduce pollution, improved housekeeping through better dry-dock cleaning and drain management, investigations to find sources of contamination.

2003 EMS implementation guide was prepared by US EPA, the Shipbuilders Council of America, and 9 Shipyards. It consisted of 18 modules grouped into activities that correspond to the EMS model components and each module contains background information and recommendations on procedures to establish and maintain at shipyards, a set of review questions and worksheets to aid in developing EMS, sample procedures, as required by the ISO 14001 standard, to be used as templates to define activities, and example of document and record management to implementation of a successful EMS.

Mr. Cotter stressed in his slides that compliance with London Protocol can be enhanced by EMS principles and procedures, shipyards have implemented EMS programs successfully to improve compliance and environmental stewardship and he concludes that EMS is a smart business decision.

5.2 Engineering Enhancement of Port Function

Capital and Maintenance Dredging, Dr. Thomas Fredette (US)

Dr. Fredette introduced a description of the types of dredging projects from WAG: capital dredging, maintenance dredging, and cleanup dredging, as the size of ship is getting bigger. Ultra large container ships (ULCS) often exceed more than 17 meters of their draft. He further introduced a variety of dredging equipment including mechanical/clamshell dredges, toothed clamshell bucket, 15 cubic meter buckets, enclosed clamshell bucket, excavator, dipper dredge, split hull disposal barge, hopper dredge, cutter head dredge, booster pump, hydraulic dredge operations, horizontal auger dredge. Various disposal sites of those dredged materials were introduced including upland disposal site, lined upland disposal site, island/nearshore disposal site as well as the marine disposal. He also detailed confined aquatic disposal (CAD) options to sequester contaminated dredged material. He explained how to de-water or separate the dredged material for potential beneficial uses.

He compares various methods against propose of each project and given site specific environmental criteria. He introduced his experience of managing capital and maintenance dredging projects to meet ever demanding needs of engineering enhancement of port function in his region.

London Protocol Guidelines for Assessment of Dredged Material, Mr. Chris Vivian (UK)

Dr. Vivian further elaborated that dredging is essential to maintain ports and harbours for the development of port facilities, flood mitigation, removal of sediments from structures, basins and water intakes. Three types of dredging explained.

- Capital dredging: for navigation, to enlarge or deepen existing channel and port areas or to create new ones.
- Maintenance dredging: to ensure that channels, berths or construction

- works, etc., are maintained at their designed dimensions
- Clean-up dredging: deliberate removal of contaminated material for human health and environmental protection purposes.

Participants learned the generic waste assessment guidance(WAG) which consists of 8 steps with several decision point.

- Step 1. Characterize the waste
- Step 2. Waste prevention audit: Audits should include evaluation of types, amounts and relative hazards or wastes as well as feasibility of the waste reduction/prevention techniques. For dredged material and sewage sludge, goal should be to identify and control sources of contamination. Quality can be improved over time by control and reduction of sources of contamination. Permit to dump shall be refused if appropriate opportunities exist to re-use, recycle or treat the waste without undue risks to human health or the environment or disproportionate costs. The practical availability of other means of disposal should be considered in the light of a comparative risk assessment involving both the dumping and the alternatives.
- Step 3. Waste management options: Management options are to reduce or control impacts to a level that will not constitute unacceptable risks. The practical availability of other means of disposal should be considered in the light of a comparative risk assessment involving both dumping and the alternatives.
- Step 4. Action list: Action Lists make use of physical, contaminant, or biological testing data collected during the characterization step. An Action List is a set of chemicals of concern, biological responses of concern, or other characteristics that can be used for screening dredged material for their potential effects on human health and the marine environment. Waste containing specified substances or causing biological responses, exceeding the relevant upper level shall not be dumped, unless made acceptable.
- Step5. Dump-site selection: Physical, chemical and biological characteristics of the water-column and the seabed
- Step 6. Assessment of potential effects: Takes cumulative effects into account if relevant

- Step 7. Permit and permit conditions: The types, amounts and sources of materials to be dumped, the location of the dump site, and the method of dumping should be taken into account.
- Step 8. Monitoring

Participants also learned that to help those countries where technical equipment and know how is lacking or too expensive, the Contracting Parties also developed the WAG Training Set Extension for the Application of Low Technology Techniques for Assessing Dredged Material (Low Tech WAG). The Low Tech WAG specifically provides information on low cost on sampling, testing, information gathering and documenting, monitoring and feedback surveys.

Dredging and Port Construction Around the Coral Reefs (PIANC 108), Mr. Matt Jury (PIANC)

One third of the world's population lives in coastal areas and rapid development of these areas has meant increased construction of coastal infrastructure and related activities, which has inevitably led to conflicting priorities between coral reef conservation and economic growth. The key impacts of these activities, if not managed, include (1) Direct loss of coral reef caused by the removal or burial of reefs (2) Lethal or sub-lethal stress to corals caused by elevated turbidity and sedimentation rates (3) Long-term changes in flushing and/or erosion/sedimentation patterns due to current changes.

Coral reefs are the living elements that build the reef are just a very thin layer of delicate living tissue, highly sensitive to surrounding environment. A detailed environmental impact assessment should be carried out to determine the potential impacts of the project and recommend appropriate monitoring, mitigation and management to minimize or avoid these impacts. The risk assessment should balance the direct and indirect impacts in order to determine the most environmentally effective solution, following the principles outlined in the World Association for Waterways, Shipping and Ports (WASP) PIANC's "Working with Nature" position paper. "Working with Nature" is conducted through preliminary environment assessment to understanding

impacts in order to avoid the impacts at the planning stage. PIIANIC approach is proactive and adaptive in contrast to traditional approaches which focus on reactive, static, inflexible response. Since 2004, Singapore has undertaken more than 10 major marine construction projects and all of these projects have been managed using the PIANIC Report No. 108 recommended approaches.

Environmental Impact Assessment and Stakeholder Involvement for Rotterdam Port Expansion Maasvlakte 2, Ms. A-M. Svoboda (Netherlands)

Ms. Svoboda presented Environmental Impact Assessment and stakeholder involvement using a case on the Rotterdam expansion Maasvlakte 2 in the Netherlands. Area Maasvlakte was built on the delta (5 m below sea level). The Project started in 2009. The Slufter, confined disposal facility for contaminated dredged material, was constructed as 23 m high x 50 m deep with 150 million m³ capacity. Project Main Port Rotterdam was organized under the final responsibility of the Minister of Infrastructure and the Environment. The Project organisation, planning and dealing with the contractors was all in the hands of the Port of Rotterdam and Rijkswaterstaat, the executing agency of the Ministry, has facilitated the project by organising the permits, mitigation measures, monitoring and evaluation plans so, that this project inside a nature area was made possible within all environmental requirements. Three projects are assigned to this Main Port Rotterdam project. Green, indicated here, concerns the existing Rotterdam area, this is about improving the living and social climate. Blue, 750 hectares of nature and recreation area in the surroundings of Rotterdam and yellow, indicated here, the land reclamation project Maasvlakte 2 with the associated compensation projects.

Amounts of sand extracted for the MV2: total for the MV1 was 170 million cubic metres and for MV2 this will 330-365 million cubic metres maximum. 240 for fase 1 (until 2013) and another 125, probably 90 for fase 2 (2013-2033). This large amount for MV2 is because this area is much deeper, about 17 metres deep, than MV1. Most of it comes from the North Sea, but about 40 million m³ from harbour areas.

Environmental Impact Studies have been carried out extensively by the year of 2000, and included juvenile fish, benthos, turbidity, silt transport, underwater sound, archaeology and paleontological studies

Throughout the environmental impact assessment, under the Agreement Vision and Dare (2000), mutual understanding among a number of stakeholders was achieved for 'Genuine interest + Transparency + Reliability = Confidence' to convince die . Three stakeholder agreements were made, in particular, (1) vision and trust agreement involving parties of industry, recreation, nature, environment, province, City of Rotterdam, the City Region to check and balance all the agreed sustainability concepts, (2) Sustainable Voordelta agreement involving nature, fisheries, Port of Rotterdam and State to balance fisheries uses and nature in sustainable way, (3) Sustainable Maasvlakte agreement involving Milieudefensie and Port of Rotterdam to jointly research on further air quality improvements towards a 10% lower target for the emission ceiling, and (4) Sea birds Maasvlakte 2 agreement involving parties of Fauna Protection and Port of Rotterdam to agree management plans for black-backed gull and terns on Maasvlakte 1 and 2.

Ms. Svoboda reflected that the stakeholder management was more complex upfront, but was easier going later stage and enable to overcome together die-hard opponents and guarantee the sound environmental management for the development.

Environmental Risk Management for Port Infrastructure Development, Mr. Todd Bridges

Dr. Todd explained the importance of risk informed decision in water infrastructures such as navigation system, reservoir system, flood risk reduction system and ecosystem restoration projects. These infrastructures has to be managed various risks associated with their operation, such as economic losses associated with reduced performance of a channel, environmental impacts associated with dredging, environmental impacts associated with dredged material placement, disposal, or beneficial use, navigation accidents, etc. He pointed out that the Annex 2 of the London

Protocol also requires Contracting Parties to analyze each disposal option should be considered in the light of a comparative assessment of the following concerns: human health risks, environmental costs, hazards, (including accidents), economics and exclusion of future uses (Paragraph 14).

Dr. Todd informed that risk analysis is consisted of risk assessment (what are the risks?), risk management (what actions should be taken?), and risk communication (how to exchange information?). And he introduced key references: Cura, J.J., Heiger-Bernays, W., Bridges, T.S., and D.W. Moore. (1999). Ecological and human health risk assessment guidance for aquatic environments. Technical Report DOER-4, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Dredging Operations and Environmental Research Program, December. And PIANC. 2006. Generic Biological Assessment Guidance for Dredging and Disposal (WG 8, 2006) and Environmental Risk Assessment in Dredging and Dredged Material Disposal (WG 10, 2006)

Dr. Todd concluded that, since coastal systems include a wide range of resources and human uses, therefore, many risks to manage and balance, uncertainties present an enduring challenge to decision-making processes, and risk analysis provides a comprehensive process for guiding environmental management.

Remediation of Contaminated Sediments in Ports and Harbors, Mr. Todd Bridges (US)

Dr. Bridges, quoting US EPA survey on the existence of 1 billion m³ of surface sediment posing potential risks in 1997, reviewed the current challenges to manage urban contaminated sediments due to the broad mix of waterway uses (industry, commercial navigation, and recreation), high spatial variability due to the complex geometries and abrupt transitions, and multiple sources of contamination due to legacy of past industrial activity, permitted industrial discharges, and sanitary sewer overflows (SSOs) and combined sewer overflows (CSOs). He identified 3 major elements of a remediation project which are (1) a scientific and engineering analysis of the site and potential remedy options, (2) a

deliberative process that structures decision making, (3) an adaptive management process to guide remedy implementation. And he also introduced in detail on the technology options to remediate contaminated sites with ex situ alternatives of containment and treatment after dredging, and in situ alternatives of monitored natural recovery (MNR), enhanced MNR (E-MNR) including treatment, and capping with various examples in the United States and other parts of the world. He concluded that contaminated sediments in urban ports and harbors pose environmental risks, scientific uncertainties, and engineering performance, however, a resilient remedy will provide both short and long-term risk reduction. The logical design preference would be in the order of MNR, E-MNR, Capping and dredging. The dredging would be the last resort on the contrary to the unstudied eyes. Adaptive management is usually needed to implement an efficient and effective remedy over both short- and long-term.

He introduced a number of key technical guidance for the remediation of contaminated sites in ports and harbors. Some of the ones he introduced in the workshop were:

- DoD 2009 *Technical guide: Monitored natural recovery at contaminated sediment sites*. ESTCP-ER-0622
- Palermo, M., Maynard, S., Miller, J., and Reible, D. 1998. "Guidance for In-Situ Subaqueous Capping of Contaminated Sediments," EPA 905-B96-004, Great Lakes National Program Office, Chicago, IL.
- DoD 2008 Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments. ERDC/E: TR-08-29.
- TS Bridges, KE Gustavson, P Schroeder, SJ Ells, D Hayes, SC Nadeau, MR Palermo, C Patmont. 2010. Dredging Processes and Remedy Effectiveness: Relationship to the 4 Rs of Environmental Dredging. *Integrated Environmental Assessment and Management* 6:619-630.
- DoD 2011. Mass balance, beneficial use products, and cost comparisons of four sediment treatment technologies near commercialization. ERDC/E: TR-11-1.

Brownfield Development in Ports, Mr. David Moore (US)

Dr. Moore presented the best practice cases for brownfield development in ports as shifts in industrial economies (shipyards, bulk loading terminals, and commercial fishing ports) to higher value commercial interests (e.g., hotels and condominiums) are occurring due to the changing economic activities within ports in most advanced economies in the world. In the past, operations in ports (shipyards, bulk cargo facilities, fuel terminals, and defense facilities) often left legacy contamination that have to be remediated in order to house new higher commercial economies. Also current use of ports should meet the present requirement of larger ships requiring deeper navigation channels and more stringent environmental regulations such as air quality and invasive control as well as the environmental justice for the bordering neighborhoods and adequate transportation corridors to support planned expansion.

Campbell Shipyard (Port of San Diego, CA) of 15 acres had been occupied by a number of industries over the last 100 years including utilities (manufactured natural gas), petroleum storage and pipelines, ship building and municipal waste incinerator, and was contaminated with number of contaminants including metals and PCBs. This brown field was developed into a Hotel and marina complex due to its location of water front and proximity to the downtown. The 15 acres was divided into three program areas. The preferred alternative was the remedy in place to minimize offsite transport of material and encourages to stabilize and re-sue on site. Bench-scale testing was carried out to confirm that the planned approach would achieve the desired leaching criteria for the treated soil. Shipways and offshore area was remedied by removing 10,613 tones of sediment and 28,200 gallons of groundwater and others to dispose of off-site. In the area where the sediments contain the elevated level of metals and PCBs were covered with armored capping to allow operations at adjacent bulk offloading facility. On shore area was graded and prepared for construction. The New Bay Front Hilton Hotel and marina were built afterwards.

Pier A West (Port of Long Beach, CA) is 123 acre site and much is below Mean Lower Low Water (MLLW). The site has been the previous and ongoing oil exploration and production field since 1930 to the present, therefore, has been contaminated with oily products and construction debris as well as PAHs, metals, pesticides, and PCBs. The groundwater was contaminated with TPH, Benzene, Toluene, BTEX, and chlorinated VOCs. The site is surrounded by marinas with live aboard residents. The sites was planned to re-developed to proved space for container re-handling facility and other port operations. The project installed two multi-phase extraction groundwater treatment systems and imported 1.3 million tons of geotechnically suitable fill. New marina parking lot, storm water basins were constructed.

Dr. Moore concluded that brownfield redevelopment offers potential win/win opportunities for growth/expansion while addressing legacy environmental issues, however, it can get bogged down in litigation over cost recovery for environmental clean-up. Therefore, it requires a high level stakeholder engagement and coordination upfront.

Environmental control on dredging projects: lessons learned from 15 years of turbidity monitoring: Mr. P. Laboyrie (WODA/CEDA)

Mr. Laboyrie first introduced Central Dredging Association (CEDA) that is a part of World Organization of Dredging Association (WODA) and is a professional association for dredging needs in Africa, Europe and the Middle-East. He described that each marine infrastructural project creates an impact to the environment, therefore, environmental impact assessment is usually required along determining "Indicators" of various thresholds, and the authority issues permit with conditions and those conditions often should be verified during and post project, according to the national legislation. Throughout the world, he observes that the environmental restrictions in terms of biological, chemical and/or physical processes become common and environmental limit values are more stringent. Therefore, monitoring become important as it provides information whether the environmental objective of the project is met.

Monitoring may be classified as surveillance monitoring to verify project conditions, feedback/adaptive monitoring to verify predictions/models, compliance monitoring to ensure compliance with restrictions and research monitoring to increase know-how of the project. He illustrated monitoring of dredging impact on sea grass and mussel beds and cod and other fish species from Øresund Fixed Link Project (1996) to build tunnel approach and submerged tunnel, artificial island, and bridges in Denmark. The monitoring program consisted of three tiers: the contractor's spillage monitoring, Øresundskonsortiet's feedback monitoring (spreading of sediment and sedimentation, eelgrass, common mussels, modeling of sediment spread and eelgrass), and authorities; control and monitoring (benthic vegetation, benthic fauna, common mussels, fish, birds, coastal morphology, bathing water, water quality). In this project, contractor was able to meet standards with very high effort in monitoring and clients were able to confirm all criteria were met based on the follow-up evaluation. Mr. Laboyrie concluded that environmental monitoring, in particular, turbidity, should be an integral part of project planning and his experience tells that monitoring can be a proper tool if it is well "managed."

5.3 Management of point and non-point source discharge of pollution in urban ports

Land based discharges to the marine environment, Mr. David Taillefer (Canada)

Mr. Taillefer discussed three major land-based discharges to the marine environment: storm water, municipal sewage, and industrial discharges. He stressed that these waters need to be treated in order to remove the dissolved and suspended wastes, providing drinking and cooking water as well as agriculture and industrial uses, providing water for fish and wildlife and finally but not the least to prevent sediment contamination and protect the marine environment. The urban area adjacent to ports are usually paved, thus, high percentage of impervious surface increases the amount of storm water runoff. The storm water often contains substantial amount of sediment, trash, nutrients, bacteria, organics (pesticides and herbicides), oil and grease, trace metals, toxic chemicals, chlorides. Therefore it is needed to maximize the infiltration of

precipitation where it falls.

The *insitu* infiltration into ground will prevent contamination of storm water because it does not have a chance to wash over surface picking up contaminants, promote ground water recharge, minimize flooding concerns, minimize in-stream scouring by reducing peak flows, and eliminate the need for large, expensive storm water collection, conveyance, storage and treatment systems. He introduced a number of storm water management techniques including disconnectivity, bioretention, open swales, parking lot island infiltration areas, rain gardens, permeable and porous pavements, green roofs, and soil amendment.

Mr. Taillefer introduced municipal waste water treatment in detail. The municipal sewage is usually treated preliminarily using screens, grit chambers, shredders and skimming tanks to remove obvious objects and foams. The primary treatment process is let settle down wastes using plain or chemical agents, and primary sludge is disinfected. The secondary treatment involves trickling filters, rotating biological contactors, stabilization ponds, aerated lagoons, activated sludge processes. The secondary sewage sludge is again disinfected. In some case, the tertiary treatment is applied to remove suspended solids, phosphorus, nitrogen and other dissolved salts.

Beneficial use of sewage sludge, Mr. Gi Hoon Hong (Republic of Korea)

Dr. Hong reviewed the background of recent cessation of sewage sludge disposal at sea as well as the earlier development to allow its sea disposal in 1993. Sewage treatment plants have been built very rapidly in the Republic of Korea since 1976 to keep up with the increasing demand of cities, their sanitary requirement, and rising population. However, Republic of Korea was not able to implement waste assessment guidance of the London Protocol and was not able to access the wealth of information on the sewage sludge management options other than marine disposal accumulated in the London Convention. And beneficial use of sewage sludge such as feedstock for thermal power plants or incinerator had been consequentially delayed.

Sewage sludge disposal at sea had led to perturb the marine environment including marine ecosystems and potential harm to human health. Therefore the relevant government ministries dealing live stock manure, fisheries and sewage treatment plants have agreed to cease marine disposal by 2011 in 2006. Dr. Hong noted that closing the

dumpsite had been uphill battle with the existing arrangements and their business ties. Dr. Hong also illustrated that London Protocol policy intervention, such as precautionary approach, polluter pays principle, holistic environment, and waste assessment guidance in the Annex 2 of the London Protocol, would facilitate sound management for all waste streams, using environment Kuznets curve.

Port reception facilities, Ms. Anne-Marie Svoboda (Netherlands)

Ms. Svoboda introduced the management practice of marine litter in the port of Rotterdam using You Tube, Part 1 (<http://www.youtube.com/watch?v=isb8zJtZ7WQ>) and Part 2 (<http://www.youtube.com/watch?v=N1NcGiysRrA>). According to Marine litter has become an increasingly serious environmental, economic, health and aesthetic problem around the world. It is found everywhere in the marine and coastal environment. An estimated 46.000 pieces of mainly plastic litter are now believed to be floating on every square mile of the ocean. Marine litter is a vicious killer of marine mammals, seabirds and many other life forms in the marine and coastal environment. It also entails substantial economic cost and losses to, e.g. fishermen, boat owners in general, coastal communities, farmers, power stations and individuals. Marine litter is a vicious killer of marine mammals, seabirds and many other life forms in the marine and coastal environment. It also entails substantial economic cost and losses to, e.g. fishermen, boat owners in general, coastal communities, farmers, power stations and individuals. The port of Rotterdam has a very active waste collection business. In this movie we will make you aware of the effects of marine litter on the marine environment, the role of shipping and possible solutions. The Port of Rotterdam Authority shows together with its business partners what their contribution is in solving the waste problem.

Ms. Svoboda also introduced The Internet-based Port Reception Facility Database (PRFD) went live to the public on 1 March 2006, as a module of the IMO Global Integrated Shipping Information System (GISIS) <http://gisis.imo.org/Public/>. The database provides data on facilities for the reception of all categories of ship-generated waste. She emphasized the

adequate port reception facilities is important tool to reduce the sea-based source of marine litter and recommended consulting the Guide of Good Practice on Port Reception Facilities (2009) which provides guidance and easy reference to good practices related to the use and provision of port reception facilities as well as a list of applicable regulations and guidelines.

Water quality trading: a market based-tool to solve water quality problems, Mr. Darrell Brown (US)

To start a presentation, Mr. Brown provided the location of Chesapeake Bay, the largest estuary in the United States. Chesapeake Bay is home to almost 17 million people, 150,000 new people each year. The problem is that its ecosystem has degraded and water quality became poorer, and the reasons include excessive nitrogen accompanied by population growth and over harvesting of fisheries.

To respond such a challenge, Chesapeake Bay program has been set up. Mr. Brown gave a detail about the Total Maximum daily loads or TMDLs under the Chesapeake Bay program. TMDL establishes the amount of nutrient and sediment pollution that the Bay and its tidal tributaries can safely receive each year. The TMDLs divide the pollution loads among sources, such as urban areas regulated for storm water runoff, wastewater treatment plants, and agricultural lands. As an integral component of restoring Chesapeake Bay, water quality offsets and trading currently operating in the Bay was also introduced. It is a market based tool to solve water quality problems, allowing wastewater treatment plants to purchase nutrient "credits" generated by other wastewater treatment plants that reduce the nutrients they release below required levels. This is expected to create lower-cost practices. Participants can have more information at <http://www.chesapeakebay.net/>.

6. Sustainable Sediment Management

6.1 Sustainable Sediment Management Principles

Engineering with Nature, Mr. Todd Bridges (US)

Dr. Bridges introduced the challenge to meet the need of (1) efficient, cost effective ways to achieve objectives related to water-based infrastructure, (2) collaboration and cooperation with our partners and stakeholders including ports, commercial interests, regulators, NGOs, (3) maintain sustainable practices to achieving triple-win outcomes to integrate social, environmental and economic considerations at every phase of a project.

Engineering With Nature is an initiative within the U.S. Army Corps of Engineers to intentionally align natural process with engineering practices to efficiently and sustainably deliver economic, environmental, and social benefits through collaborative processes. Through EWN, several expected outcomes were presented: (1) Expand the range of benefits produced by our activities and projects to include optimal combinations of economic, social and environmental benefits. (2) Broaden the base of support for our activities and projects across the stakeholder community. (3) Build respect and credibility for USACE. Examples of EWN Solutions were also presented for better understanding including Upper Mississippi River Training Structures, River Bend way Weirs Poplar Island, Chesapeake Bay, Wilmington Offshore Fisheries Enhancement Structure.

A key to achieve these outcomes is rethinking how the environment should be incorporated into engineering projects. In essence, EWN seeks to use natural processes to deliver desired results, minimizing the environmental footprint of projects and increasing potential benefits. It uses science-based collaborative processes to engage stakeholders, reduce project delays and social friction, and create projects that will be broadly accepted by a wide range of stakeholders.

Sand motor, Ms. Anne-Marie Svoboda (Netherlands)

Ms. Svoboda shared Netherlands experience to tame beach erosion. The

North Sea has been steadily chipping away at Holland's west coast, necessitating a sand replenishment operation that local authorities undertake every five years. However, the Dutch came up with an idea to protect the coast in more sustainable and natural way. Rather than fighting the tide, they decided to do a massive amount of work up front, then let the tide do the heavy lifting for the next 20 years. The resultant project is called the Sand Motor.

She presented a video how their sand motor works. The Sand Motor involves creating a massive artificial peninsula whose placement allows the ocean to slowly redistribute the sand and rebuild the coastline. Mr. Svoboda introduced that it is the first experiment of its kind in Netherlands. If the Sand Motor works as we expect, the concept can be rolled out to other places in the Netherlands and the rest of the world. More detailed information is provided at <http://www.sandengine.nl/>.

Beneficial Use of Dredged Material, Mr. Thomas Fredette (US)

Dr. Fredette gave a presentation on the beneficial use of dredged material for protection of coastlines and beaches, habitat restoration, and others.

Participants were encouraged to learn that most dredged material can be a valuable resource and should be considered for beneficial uses. Beneficial use of dredged materials refers to utilizing dredged sediments as resource materials in productive ways. Traditional dredging methods discharge sediment into confined disposal facilities or waters of oceans, rivers, lakes, wetlands, and estuaries. Due to growing scientific knowledge and public awareness of using dredged material as a valuable resource, beneficial use of dredged material has become a viable alternative to traditional "dredge and dispose" methods for a greater variety of projects and purposes. Dredged material can be considered, for example, for beach nourishment, habitat creation (e.g., wetlands), upland use (e.g., construction), mine reclamation, reef structures. The decision making process is as follows.

- (1) Contaminant status of materials: evaluating the contaminant status

of the dredged material is the first step to determine if the material is acceptable for beneficial use. In general, highly contaminated sediments may not normally be suitable for most proposed beneficial use applications and particularly for proposed wildlife habitat development projects. However, after appropriate examination, testing, and treatment, the material may be classified as suitable.

- (2) Site Selection: dredged material may have multiple beneficial use options and there may be several different potential placement sites. Once a potential use and site have been identified, various implications should be assessed.
- (3) Technical feasibility: technical feasibility of implementing a particular beneficial use at a designated site must be evaluated. Various constraints must be considered, such as pumping distance, water depth, access, etc.
- (4) Environmental Acceptability: permission to undertake or permit the dredged material placement may be denied if the proposed work is likely to have any significant adverse environmental effects.
- (5) Cost and Benefit: Although difficult to quantify, intangible benefits would always be taken into account when assessing overall costs and benefits. These benefits may include improved habitat, aesthetic enhancement, a more viable local community, and other benefits.
- (6) Legal constraints: some beneficial use options selected may be prohibited or rendered inappropriate by law or regulation. Early and concentrated coordination between permitting agencies, local interests, environmental protection agencies, and local interests is mandatory.

Often, dredged material placements can yield multiple beneficial uses. For example, beach nourishment activities may simultaneously provide shore protection and recreational opportunities.

Dr. Fredette also recommend to read "U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Army Corps of Engineers. 2007. Identifying, Planning, and Financing Beneficial Use Projects Using Dredged Material. Beneficial Use Planning Manual. EPA842-B-07-001" for future reference.

Multi-criteria Decision Analysis to Assess Options for Managing Contaminated Sediments, Mr. Burton Suedel (US)

Dr. Suedel presented a Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) approach to aid decision makers to choose the most preferred option for managing public works. His experience told that structured approach can result in good outcomes more frequently, however, making good decision is rarely easy due to the complex problems, tradeoffs between conflicting multiple objectives, scientific issues (e.g., uncertainties) vs. value issues, difficulty of evaluating criteria having differing units of measure (e.g., dollars and hectares). MCDA approaches is to allow three groups of people (stakeholders, decision-makers, and scientists and engineers) to engage decision processes using utility of each criterion and weight of each criterion. He illustrated how to apply MCDA approach to the real problem by taking Southern Busan harbor contaminated sediment case in the Republic of Korea. Criteria identified in this project were environmental (ecological and human health impacts), social (social acceptability, remaining risk), technical (technical feasibility, project duration), and economic (cost) ones. Six alternatives (cement lock, sediment washing, CAD-Hopper, CAD-Geotextile, CAD-Solid, Reclamation-Solid in the existing nearshore CDF) were tested their performance and evaluate the tradeoffs between criteria. The preferred alternative derived from MCDA approach was reclamation.

6.2 Working Toward Sustainable Sediment Management, examples

An-Shun Project in Taiwan , Mr. David Moore (US)

Dr. Moore stressed that most sediment management projects conducted in isolation of watershed objectives are likely not sustainable based on his experience. He defined the sustainable sediment management as a comprehensive approach to addressing long-term management and conservation of sediments within a watershed to maintain current and future beneficial uses while addressing regional environmental, economic and social objective for a give project area. He presented a case study of An-Shun Project Site in Taiwan for his lecture. The sediment and soil are

severely contaminated with mercury and dioxins. The objectives of the project were to remediate mercury and dioxin contaminated soil and sediment in the area and to incorporate separation of clean sand for beneficial use on site. His team set up sediment management plan consisted of sediment characterization, sediment excavation, hydraulic dredging, sand separation to obtain clean sand, geotextile tubes to contain the contaminated fines and dewater and consolidated them, as well as verification and additional remediation of capping or backfilling. The project will commence in July 2012. He concluded that beneficial reuse of dredged material is a trend in worldwide. However, he emphasized that it is important to focus on watershed-scale decision-making and coordination as well as continued research on technologies and applications for contaminated sediment.

Sustainable Management of Dredged Material in the Netherlands, Anne-Marie Svoboda (Netherlands)

Ms. Svoboda introduced the situation on dredged material management in the Netherlands. In Netherlands, the dredging is necessary for navigation, drainage, flood control and environment/ecological considerations. They dredge 25-35 million m³/yr annually excluding coastal defense and capital dredging. The dredged material is destined for relocation at sea (64%), placement on land (15%), treatment and reuse (4%), and confined disposal site (13%). They were faced with lack of destinations for dredged material, inconsistent risk assessment of contaminated sediments, and suffered from negative image of dredged material. In order to circumvent those issues, Netherlands constructed additional CDF (Hollandsch Diep), a large scale pilot for treatment and use of contaminated dredge material, revised legislation for use of dredged material (Soil Quality Decree), for rehabilitation of pits with dredged material, applied water legislation rather than soil legislation, and revised action levels for relocation at sea. The main issues have been solved or are in control. Remaining challenges are the increasing complexity of legislation, time consuming procedures and public concern about dredged material. The approach of Eco-Engineering or Working

with Nature looks promising to realize tailor-made solutions and reduce environmental procedures and costs.

Ms. Svoboda introduced a Dutch project on beneficial use on the North Sea. The characterization of sediments resulted in two recommendations: (1) Dredged material with a sand percentage of 70-90 % will be relocated in the east part of the new "Loswal kustfundament"; (2) DM with a sand percentage of 50 - 70% will be relocated in the west part of the new "Loswal kustfundament".

Sustainable sediment management concept for Tidal River Elbe, Mr. Polite Laboryie (WODA, Witteveen+BOS)

Mr. Laboryie introduced the new concept on the dredged material management developed in Hamburg, Germany from 1980. To Hamburg area, the 500,000 tones of fine material come down from the upper reaches of the river and coarse material is constantly being brought to the area through tidal pumping from the sea. Consequently the sediments settled in harbor basins, decrease biodiversity due to the lack of nutrient, and restrict fish consumption due to contamination, therefore, the dredged material is subject to treat mechanically to separate contaminated ones and release to the open water.

Climate Change Adaptations on Sediment Management, Mr. Polite Laboyrie (CEDA, Witteveen+BOS)

Mr. Laboyrie introduced recent efforts carried out by Central Dredging Association (CEDA) to reduce vulnerability and/or improve resilience on the water infrastructures not to compromise the safety against flooding, safety of navigation, environmental protection and improvement, economic and societal interests against the climate changes occurring, such as sea level rise, changes in rainfall rate, changes in sea bed morphology and hydro-meteorological regime. For example, a large scale dredging project is undergoing to enlarge discharge capacity of rivers for flood management. He concluded his presentation to note that climate change will bring both challenges and opportunities, climate

change measures will be most effective if they are based on a well-informed, pro-active and integrated approach, contingency plans will be useful in cases where emergency dredging is likely required, and flexibility in regulations and approaches is needed to deliver sustainable adaptive solutions.

6.3 Legislative principles for sustainable sediment management in ports and coastal areas, Ms. Linda Porebski (Canada)

Ms. Porebski led the panel discussion on the legislative principles for sustainable sediment management . The panel was consisted of Drs. T. Brides (US), T. Fredette (US), G. Hong (Korea), D. Moore (US), C. Vivian (UK). Dr. Bridges showed a river catch on fire in Ohio, 1952 due to the severely polluted river and truck load of fuel to illustrate the importance of moving standards-based to objectives- based environmental management, e.g., EU Bird Directive. He identified that science is developed along the way in the objective-based environmental management. Therefore, "how to use the science" is part of the process. He further noted that trade-offs increasingly gain attention because deliberative, stakeholder processes become more important as well as how to balance competing risks in the objective based environmental management. Drs. Fredette and Moore also noted that our current challenge on sustainable sediment management is beyond our earlier or existing management practices and requires holistic approach is needed since most watershed are significantly altered to affect sediment movement. Moreover different jurisdiction takes different objectives on their controlled segments of watershed. However, there are number of initiatives to mange sediment in the regional scale, rather than local scale in the past. Dr. Vivian noted that different agent see sediment differently either pollutant or resource material. Dr. Hong showed sea fly outbreak incidence in the near shore CDF constructed in 2005 near Busan as an example of lack of environmental management regulation on the sediment management.

Ms. Porebski reviewed the earlier presentations on the idea of sustainable sediment management from various angles. Me. Porebski introduced the

definition of sustainable sediment management as “a comprehensive approach for addressing the long-term management of sediments within a watershed/water body to maintain current and future uses while addressing regional environmental, economic and social concerns.” Within a harbor there are various management needs if one area is going to work in harmony with others. For a port to be sustainable it will have to consider the ship services, the environmental protection and habitat, the other uses, and the sediment that will need to be moved for construction or maintenance. There are many systems, processes and legal requirements that are in place. In this context, she posed two questions to the panel and audience.

- (1) If you were a harbor and coastal manager and you wanted to be able to have integrated sediment management from source to sink what would you say are your biggest barriers or concerns?
- (2) If you were in charge what would be the key components of a regulation/law that integrates all the needs for harbors and coastal areas to be able to manage their sediment sustainably?

The audience, answering the question (1), identified a number of biggest barriers for the sustainable sediment management and they are, inter alia, project by project basis management , i.e., piecemeal not holistic, disconnect between the causes of sediment issues and their solutions, sediment issues and their causes addressed by different agencies at different government levels with different laws, regulations, and policies that are often a response to specific problems-conflicting priorities, different views of sediment by various stakeholders, a lack of coordination and effective communication between agencies and programs. The audience and the panel identified key component of regulation/law, answering to the question (2), are recognizing sediment explicitly in legislation, managing sediments throughout the entire watershed/waterbody in a holistic manner, sediment as a resource not a waste, i.e., emphasis on conservation and beneficial use involving all stakeholders, “carrots” as well as “sticks”, integrated, cross-programmatic coordination and cooperation required, source controls.

7. Placement Activities

Artificial reefs, Mr. Darrel Brown (US)

Mr. Brown introduced the LC/LP guidelines for artificial reefs, benefits and impacts of artificial reefs, and criteria, materials, design, impact assessment, and monitoring of artificial reefs.

Artificial reefs are man-made habitats placed in areas away from natural reefs that provide a framework for new hard bottom communities to develop. Mr. Brown explained that installing artificial reefs can be considered to be placement under the terms of the Convention or Protocol, rather than dumping, provided such placement is not contrary to the aims of the Convention or Protocol.

Participants learned that the London Convention and Protocol/UNEP - Guidelines for the Placement of Artificial Reefs was set to assist those countries that have recognized the need to assess proposals for the placement of artificial reefs on the basis of scientifically sound criteria, as well as to develop an appropriate regulatory framework; to assist with the implementation of regulations in those countries where such regulations are already in place. The guidelines include 8 Annexes; specifically, Annex 3 Material for Artificial Reefs provides general criteria, Annex 4 Environmental Studies and Impact Evaluation, Annex 8 Dismantling.

8. Protection of Marine Environment with respect to Climate Geoengineering

CO₂ sequestration in sub-seabed geological formation, Ms. Linda Porebski

Ms. Porebski introduced the recent achievement of the LP to combat climate change including CO₂ sequestration in sub-seabed geological formation. Because elevated levels of CO₂ in the atmosphere by CO₂ emissions from the combustion of fossil fuel contribute to the climate change and ocean acidification, LP Parties adopted amendments in 2006 to Annex 1 to the Protocol, in force since February 2007, to regulate the

sequestration of CO₂ streams from CO₂ capture processes in sub-seabed geological formations. Mr. Porebski stressed the importance of this move that international environmental law to regulate carbon capture and storage (CCS) in the sea has established. Two guidance documents were adopted by the Governing Bodies and are available from the Secretariat: Risk assessment and management framework for CO₂ sequestration in sub-seabed geological formations (2006) and Specific Guidelines for Assessment of CO₂ sequestration in Sub-seabed Geological Formations (2007). Reporting format was also approved in 2008. In 2009, the Governing Bodies adopted to amend the Article 6 of the London Protocol to allow the export of CO₂ streams to other countries for disposal, provided that an agreement or arrangement has been entered into by the countries concerned. Such agreement or arrangement shall include confirmation and allocation of permitting responsibilities between the exporting and receiving countries, consistent with the provisions of the London Protocol and other applicable international law; and in the case of export to non-Contracting Parties, provisions at a minimum equivalent to those contained in this London Protocol, including those relating to the issuance of permits and permit conditions for complying with the provisions of Annex 2, to ensure that the agreement or arrangement does not derogate from the obligations of Contracting Parties under this London Protocol to protect and preserve the marine environment. The locations of the existing offshore CO₂ storage efforts in the world were also given to the participants.

Ocean Fertilization, Mr. Harald Ginzky (Germany)

Dr. Ginzky reviewed the current LP efforts in search of a global, effective and transparent control and regulatory mechanism on the scientific research involving ocean fertilization. Ocean Fertilization is a climate engineering measure. As of now, its efficiency for climate change mitigation is so far unproven. Among other potential risks are unclear effects on the biodiversity and environmental degradation. Currently, the LC/LP parties have agreed allowing only "legitimate scientific research" on the understanding that ocean fertilization activities other than such

legitimate research should not be allowed under the present state of knowledge and further agreed to work towards providing a global, transparent, and effective control and regulatory mechanisms for ocean fertilization activities that fall within the scope of the London Convention and the London Protocol and have the potential to cause harm to the marine environment in 2008 . In 2010, the Governing Bodies adopted the Assessment Framework on Scientific Research Involving Ocean Fertilization. The assessment framework consists of criteria to check 'legitimate scientific research', criteria for environmental risk assessment, and consultation with stakeholders. He also introduced a similar debate in the Convention on Biological Diversity(CBD) and adopt moratorium until a global, effective and transparent control and regulatory mechanism is in place. Dr. Ginzky noted that the regulation of ocean fertilization by LC/LP and CBD is the first regulatory approach for a climate engineering measure. He concluded his talk with the terms of reference for the coming the 4th Meeting of the Intersessional Working Group on Ocean Fertilization to be held in Bonn, Germany: refinement of options, Generic Placement Assessment Framework and others. Participants were informed the status of debate on the regulation of ocean fertilization and other geo-engineering option to combat climate change in London Protocol.

9. Monitoring Coastal and Ocean environment change

Satellite Sensing of Coastal Marine Environment Changes, Mr. Yu-Hwan Ahn (Republic of Korea)

Dr. Ahn introduced GOCI (Geostationary Ocean Colour Imager) launched in June 2010 and is planned for use in real-time monitoring of the ocean environment around East Asia by daily analysis of ocean environment measurements, e.g., chlorophyll concentration, dissolved organic matter, suspended sediment, etc., for seven years. Differently from the existing polar-orbit satellite, GOCI can get the data every one hour from 9:15 am to 4:15 pm around the Korean sea areas.

He demonstrated that high performance of the GOCI is very efficient to an ocean environmental monitoring as well as disasters such as red tide,

sea ice, tsunami, oil spill, volcano eruption, macro-algae bloom, yellow dust, mountain fire, typhoon, ship movement at dumping site. GOCI primary data can support ocean environment monitoring, operational oceanographic system, and fishery information service and climate change research.

Participants learned that there are number of satellite images are daily produced and available in some case cost-free, therefore, participants are encouraged to surf the satellite images on their waters if needed.

Pollution from or through the Atmosphere: Case study - Nitrogen nutrient increases in the northwest Pacific Ocean, Mr. Kitack Lee (Republic of Korea)

Dr. Lee studied trends in nitrate and phosphate in the coastal waters of Korea and Japan since the 1980s. He compared the amount of nitrogen deposited from the air between 2002 and 2008 with the amounts of nitrate in the water during that same time period to show that the increased levels in the water are directly correlated to an increase in human-generated atmospheric nitrogen.

Participants learned that ocean is susceptible to the pollution from or through the atmosphere and were encouraged to look at this pollution sources other than traditional ones such as land-based sources, seabed activities, dumping, and vessels. If needed, regulations have to be in place to prevent, reduce and control pollution of the marine environment from or through the atmosphere.

Integrated Ocean Observing System, Mr. Mario Tamburri (US)

Dr. Tamburri noted that oceans are undergoing profound changes, such as increase in ocean temperature and decreases in its pH, overfishing, invasive species, habitat loss, pollution, reduced ocean biodiversity. Ocean science and management must, therefore, evolve to better quantify, understand and predict these changes and their impacts. The success of all such efforts relies on accurate and reliable coastal and ocean observations of diverse physical, chemical and biological parameters, at

different scales, and with high spatial and temporal resolution.

To meet this demand of accurate and reliable environmental observations, which allow for informed management decision, various technologies have been developed. ACT is one of them. The Alliance for Coastal Technologies (ACT) is to bring about fundamental changes to technology transitioning and adoption practices, and to serve as a foundation for the Integrated Ocean Observing System (IOOS). ACT will continue to refine and expand core products and services and work to address changing ocean and coastal conditions.

He further elaborated that future plans for technology evaluations include an expanded performance demonstration of CO₂ partial pressure analyzers, a performance verification of pH sensors to address issues of ocean acidification and a performance verification of hydrocarbon sensors for oil spill monitoring, response and mitigation. He emphasized the importance that science needs to adapt to the changing oceans, and ACT is in line with this trend.

Participants learned that there are number of platforms, e.g., ACT, that can be easily accessed and communicated for assistance if needed.

10. Current Technology Developments in Marine Environmental Protection

Ballast water treatment technology, Mr. Mario Tamburri (US)

Dr. Tamburri reviewed ballast water management systems to stop invasive species coming into the harbors. The systems vary from physical separation to chemical treatment using various biocides or physical treatment using cavitation, deoxygenation, UV radiation. More than 25 technologies are approved by IMO. He pointed out that there are number of test facilities in the world, including Singapore (DHI), Republic of Korea (KORDI) and a few other areas are being developed. These test facilities are networked to generate comparable and accurate test results on the performance of ballast water management systems through transparency, testing standards, mutual recognition, and an open exchange of information.

Dr. Tamburri further introduced that his Maritime Environmental Resource Center. (MERC) located on the Chesapeake Bay. MERC is conducting research on ship biofouling and invasive species, ship alternative fuels, and port discharge database.

Participants learned that there are number of ballast water treatment technologies are available to stop invasive species. The detailed information can be obtained from IMO and other Global Ballast Water Test Facilities Network.

Underwater Sound from Dredging, Mr. Polite Laboyrie (CEDA+ Witteveen+Bos)

Mr. Laboyrie noted that sound travels more than 4 times faster than in the air, therefore, underwater can be quite noisy with sounds originated from seismic, shipping, and surface waves as well as marine life. EU Marine Strategy Framework Directive (EU MSFD, 2008) requires that introduction of energy, including underwater noise, is at levels that do not adversely affect the marine environment.

Like many activities, dredging produces underwater sound. Dredging involves a variety of activities that produce underwater sounds. Most of these are relatively low in intensity and frequency, although recent investigations indicated that occasionally higher frequencies are emitted. Compared to other activities, e.g., pile driving, that generate underwater sound, dredging is within the lower range of emitted sound pressure levels. While it is clear that dredging sound has the potential to affect the behavior of aquatic life in some cases, injury in most scenarios should not be a concern. To reduce remaining uncertainties, there remains a need to increase our knowledge about the effects of dredging sounds on aquatic life. In the meantime a lack of knowledge should not lead to unjustified restrictions on projects. More information on emitted sounds from all types of activities carried out during dredging are necessary to further identify risks and support informed decisions about the necessity of sound mitigation measures.

Participants learned that underwater sound generated by human activities

has drawn attention by society and became aware that there is an ongoing activity internationally to reduce the noise generated from dredging.

11. Case Studies

Regional Countries Report

Thailand: Perspectives of Thailand on the IMO London Protocol, Dredging and Dumping atSea, Mr. Piyarat Pitwatankul

Ms. Pitwatankul introduced recent 2011 floods led to His Majesty the King to order all concerned agencies to cooperate to dredge and rehabilitate water resources in the sea, river, canal, lake, etc., in the area of Bangkok and other flood prone areas. Thailand recognizes the adverse effects of marine environment due to dumping of wastes at sea, and adopted a policy on accession to the IMO protocol in 2009 and established LP Accession Working Group in 2010. She plans to develop national action list for dredged material, to develop national seabed map for dump site selection, and to develop tools for scientific analysis on various issues concerned. She plans to submit national ratification document to the Cabinet and Parliament shortly.

Thai Navigation Law (Article 119) prohibits dumping of wastes or other matter at sea and exceptionally allows dredged material to be disposed of, and requires a permit (Article 120). She also introduced case study on Songkhla Lagoon and Chao Phraya River dredging.

Vietnam: Status of Viet Nam marine environmental protection and possibility of being Party to the London Protocol, Ms. Nguyen Viet Anh

Mr. Ahn reviewed Viet Nam's status on ratification of international marine treaties. He reported that no wastes except dredged material are dumped so far at sea, and dredged material dumping is permitted by coastal provincial natural resources and environment department. The Ministry of Natural Resources and Environment currently reviews London Protocol

and they will consider ratification once their review is completed.

Mexico, Mr. Ezequiel Cruz Blancas

Mr. Blancas introduced the 'forty years of marine pollution prevention by dumping of wastes and other matter in Mexico" since 1972. The LP matters are dealt with Secretary of the Navy. Mexico has dump sites in both the Pacific and the Gulf of Mexico. Mexico is one the three depositories of the London Convention and a Contracting Party to the London Protocol. Among notables are the regulation on the prevention and control of marine pollution by dumping of wastes and other matter for prevent risk and harm to ecological balance and sea state in 1978, National Charter dumping areas in 1997, Inspection Procedures Manual and Enforcement of Sanctions on the Prevention and Control of Marine Pollution in 1999, Guidelines for Prevention and Control of Marine Pollution by Dumping in 2005, 2007 and 2008, seven formats to specific waste or other streams (dredged material, ships and platforms, materials made of iron, steel and concrete, drilling and hydrostatic tests, inert inorganic geological material, fish waste or material resulting from industrial fish processing operations, and artificial reefs) in 2011. Domestic laws and regulations related to the London Protocol are currently under review by Justice Council.

Central American Commission for Maritime Transport (COCATRAM), Ms. Rojas Darling (COCATRAM Secretariat)

Ms. Darling introduced COCATRAM to the workshop. It was created in 1980 to contribute to the development of maritime transport of Central America. It advises, promotes, facilitates, serves as a connection, works to get resources and trains the different actors of maritime transportation. Member countries are Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, and Panama. Current main activities of COCATRAM are to modernize and harmonize the maritime legal framework in Central America, to develop maritime port community policy, to establish hydrographic system to aid navigations, and to provide scholarship funds for training the regional maritime personnel. COCATRAM have agreed

with IMO to strengthen maritime authorities in the region and to assist ratification and implementation of IMO conventions and to build the regional capacity of the region.

Guatemala country report, Mr. Juan Contreas Alemán

Mr. Alemán reported that Republic of Guatemala ratified LC in 1975. National Maritime Authority - Deputy Minister of the Navy, Ministry of National Defense - is responsible for issuing permits and keeping records.

Elsavador, Mr. René Hernández Osegueda

Mr. Osegueda briefed that the legal framework and case on the protection of the marine environment. El Salvador is not a part of the London Convention/Protocol but the Port and Maritime General Law refers to the annexes. La Union Port was dredged and the dredged material of 14 million cubic meters were disposed of 32 km offshore from the pier of La Union Port. Environmental Law, Health Code, Port and Maritime General Law, Maritime Regulations and MARPOL(73/74) are the legal basis of marine environmental protection.

Honduras, Ms. Laura Rivera

Ms. Rivera briefed that Honduras is a Contracting Party to the London Convention. Licensing dredging and dumping is coordinated between Marine Pollution Prevention Office/Merchant Marine of Hondura and Environmental Authority.

Nicaragua, Mr. Hugo Lopez Sanchez

Mr. Sanchez introduced that Nicaragua has not ratified London Convention/Protocol and the dumping issues are handled through number of legislation including its Constitution and General Law of Environment and Natural Resources. He also introduced the dredging project in Rio San Juan of Nicaragua to improve navigation. The volume of dredged material was about 1.7 million cubic meters. The project operator submitted reports on technical study, environmental impact

study, and environmental management plan to obtain permit from the authority.

Costa Rica, Jorge Hernández Chavarría

Mr. Chavarría introduced that Costa Rica is a Contracting Party to the London Convention. He also briefed the maintenance dredging project and Petroleum Dock in Port Terminal Moin, in Limon. Total 1 million cubic meters were dredged for Petroleum Dock and total 1.7 million cubic meters of dredged material were also generated from maintenance dredging. The dredged material is deposited 4.8 km offshore.

Panama, Mr. Abraham Martínez

Mr. Martínez introduced Panama flag registry and IMO audit, Panama Canal expansion dredging, Panama maritime resources and sensitive areas both in the Pacific and Caribbean Sea, and their recent ratifications on marine environmental protection matters (MARPOL and OPRC 90).

Japan: Marine Copepod, Copepod, *Tigriopus Japonicus*, as a test species for Ecotoxicity testing, Messrs. H. Takaku and Y. Itoh

Messrs. Takaku and Itoh recalled that there is no official marine test organisms and toxicity methods unlike those of freshwater in OECD Guidelines for the Testing of Chemicals and other national authorities including US EPA. Therefore they embarked to develop chronic toxicity test method (reproduction test method) using marine copepod, *Tigriopus japonicus* and presented their laboratory results and achievements. They concluded that Marine copepod, *Tigriopus japonicus japonicus* is the one to be easily cultivated and managed in laboratory culture and it is the one that chronic effects of exposure of harmful substances can be observed, and reproduction cycle is relatively short (less than 15 days), therefore this marine animal is a promising marine model test organism for evaluating chronic effects in the sea.

Republic of Korea: D-2 Regulation Standards of Annex of Ballast Water Management Convention, Jung-Hoon Kang (Republic of Korea)

Dr. Kang recalled that there is a ballast water exchange (Regulation D-1) and a ballast water performance standard (Regulation D-2) under International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments (BMW). Ballast water exchange could be used to meet the performance standard.

Regulation D-2 Ballast Water Performance Standard - Ships conducting ballast water management shall discharge less than 10 viable organisms per cubic metre greater than or equal to 50 micrometres in minimum dimension and less than 10 viable organisms per milliliter less than 50 micrometres in minimum dimension and greater than or equal to 10 micrometres in minimum dimension; and discharge of the indicator microbes shall not exceed the specified concentrations.

Dr. Kang introduced current development of Port and Ballast Water Monitoring system in the Republic of Korea.

Republic of Korea: History of Lake Sihwa and Shihwa Tidal Power Plant, Mr. Sea-Won Kim (Republic of Korea)

Dr. Kim gave a detailed account how the current Tidal Power Plant arrived in the artificial lake of Sihwa. A large scale embankment (12.6 km long) was conceived in 1987 to reclaim part of the then Sihwa Bay (water volume of $332 \times 10^6 \text{m}^3$ with mean depth of 5.9 m) to create land for agriculture and industry. After completing embankment in 1994, the Sihwa lake water became stagnant and algal blooms persisted year round and compounded with direct discharge of municipal sewage and storm water intrusion from non-point sources of pollution during summer monsoonal rain events. This environmental deterioration was met strong opposition by environmental activists. In order to ease the pressure from the environmental activists as well as the protection of the lake, operator of the Sihwa Lake opened the gate in 1997 along with construction of sewage treatment plant. The lake water quality returned to normal as the gate kept open. Wet land of 1 km² was constructed to reduce the

non-point pollution sources for next 5years (1997-2002). The idea to install tidal power generation turbine at the gate was emerged since 2004 and the construction was completed in 2011. The plant is consisted of 10 turbines and 8 water gates, and produces 552.7GWh to support a city of 500, 000 inhabitants.

Participants learned that massive development project should be planned well ahead of time and analyze all potential risks in the physical features as well as the ecosystem in the project site, and communicate the plan and associated risks to all concerned stakeholders.

Republic of Korea: Utilization of seawater heat source and other ocean energy harnessing technologies, Mr. Ki-Chang Chang (Republic of Korea)

Dr. Chang reviewed current status of ocean energy utilization, such as wave, tidal, ocean current energies, and ocean thermal energy conversion (OTEC) in the light of increasing demand in renewable energy to combat climate change. He showed that, in this context, the cold deep sea water can be utilized for OTEC and spacing heating and cooling. One of the 2018 Winter Olympic ice skating rinks, located near the eastern coast of the Republic of Korea is going to be constructed using tandem heat pump using cold deep seawater.

Participants learned that many options to draw energy from the sea is available to meet the energy need of coastal community.

Republic of Korea: CO₂ removal using calcium oxide and seawater, Ms. Junghyun Lee (Republic of Korea)

Ms. Lee introduced her experimental work to react exhaust CO₂ with CaO and seawater to sequester CO₂ permanently. The resulting calcium ion and bicarbonate ion enriched seawater can be returned to the sea. She argued that the resulting seawater provides high alkalinity to further neutralize CO₂ and her technology would be economical as it does not require intensive energy like CO₂ capture. She reported her impact studies using mesocosm on the marine ecosystem.

12. Technical Co-operation and Assistance Program, Mr. Edward Kleverlaan (IMO)

Mr. Kleverlaan discussed a technical assistance program under London Convention/Protocol. Previously, technical co-operation activities were conducted on an ad hoc and opportunistic basis. Then in 1997, the Long-term Strategy for Technical Co-operation and Assistance under the London Convention and Protocol adopted. It is updated annually. The Long-term Strategy addresses Article IX of the London Convention, and its equivalent Article 13 of the London Protocol, which provides that Contracting Parties shall promote, through collaboration within the organization (IMO) and other international bodies, scientific and technical support for those Parties, who request such support.

Technical co-operation and assistance is crucial to the implementation of, and compliance with these instruments and their promotion. Therefore, the governing bodies develop the "Barriers to Compliance" (B2C) Project (2006/2007). The 2008 B2C Implementation Plan include: legislative and policy barriers, institutional barriers, technical barriers, socio-economic and financial barriers. B2C Steering Group works with the London Protocol Compliance Group and the Secretariat. Current projects include distribution of new WAG tutorials, development of 'low-tech' guidance on dredged material management, implementation of integrated TC Project "Removal of 'Barriers to Compliance'(2008-2012)" and B2C Project also plans to increase collaboration with industry organizations.

13. Workshop Conclusions and Recommendations

The workshop having noted the issues facing the region as a whole and country specific issues, and having recognized the need to ensure that these issue can be best addressed by London Protocol as a whole and regional cooperation in various regional groupings., has made the following recommendations:

Membership to London Protocol

The Workshop encourages countries in the Asia Pacific Region (APR), who have not done so, to ratify the London Protocol and promote joint

efforts to address reduction of marine pollution from dumping of wastes at sea by all countries.

- Where a State is party to different international (dumping) agreements (e.g. Noumea Convention Dumping Protocol) with different standards for the protection of the marine environment, it is recommended to base its national policies on the the strictest ofthesestandards.

Dredged Material

- The APR countries, on a sub-regional basis, should work together towards agreed methods of determination and levels of contaminants in dredged material. When establishing concentration limits of contaminants in dredged material, due account should be given to the variations in background concentrations, use, and history of the sediments concerned.
- It is recommended that countries that are already implementing the provisions of the London Protocol, share their experiences with their neighbouring countries.

Reporting

- Encourage countries of the APR to regularly report to IMO on any dumping at sea activities conducted in accordance with the requirements set out under the London Protocol, even if they are not currently parties to the dumping instruments.

Technical Co-operation

- APR countries to identify and communicate to IMO, their current administrative, institutional, legal, or technical barriers to achieving full compliance with the London Convention and Protocol.
- Coordinating different authorities related to the dredging and dumping are of paramount importance to ratify the London Protocol. Therefore, it may be useful to develop a more detailed model legislation based on the earlier "Guidance on the National Implementation of the 1996 Protocol to the London Convention 1972." This point may be considered in the "How to do manual" which is under development.

To help sustain the efforts of countries in this region towards accession to the Protocol, countries should consider requesting IMO an activity which will lead to the delivery of a national / regional seminars on the London Protocol.

14. Closing Ceremony

All participants, both representatives from regional countries and resource persons, were given a certificate of participation to the workshop.





Mr. Edward Kleverlaan thanked the participants for their hard work and noted the discussion had been very candid about the needs on which work should be focused. He noted further that this workshop is focused on the environmental protection of the urban ports that are vital to the economy of the Asia Pacific Region and expected more active participation to the London Protocol to reflect the concerns of the Asia-Pacific Region as this region is very much under-represented in the London Protocol. He urged countries interested in joining the London Protocol to contact the office of London Protocol, which will assist countries.

Finally he thanked the local organizers, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs/Korea Ocean Research and Development Institute for their warm hospitality during the workshop here in Jeju and he expects another occasion of Yeosu Expo in the scheduled field trip. He also delivered gifts from IMO to a number of local organizers.

Mr. Jong Ho Yun, Director of Marine Conservation Division of MLTM on behalf of host country of the Republic of Korea congratulated all

participants to fulfill the objectives of the workshop and expressed his happy to note emerging friendship among participants toward the protection of marine environment from all sources of pollution, particularly urban port environment as well as the fostering stewardship toward the seas of the Asia Pacific Region and the entire global ocean.

Dr. Gi Hoon Hong, co-chairman of the steering committee of the workshop, thanked the participants for their hard work and resource group to provide their valuable on the job experience and up to date information. He noted the sharing information is the first step for future collaboration and the technical cooperation and assistance program under London Protocol will be an important medium to meet the challenges of the regional countries in the protection of the marine environment.

Annexes

Workshop Programme

Asia-Pacific Regional Workshop on the London Protocol:

Protection of Urban Ports and Ocean Environment

Jeju, Republic of Korea, 14 to 18 May 2012

Day 1 (Monday, 14 May 2012)

08:30-09:30 **Registration of participants**

09:30-10:30 **Opening: Moderator (G. Hong, Korea)**

- Opening remark by IMO (Mr. E. Kleverlaan)
- Opening remark by MLTM
- Opening remark by IAPH (Mr. S. Naruse)
- Opening remark by Chairman of the London Convention (Ms. Y. Chen)
- Workshop aims and objectives (Ms. L. Porebski)
- Introduction of lecturers and participants (Mr. E. Kleverlaan)
- Workshop agenda and resource materials (G. Hong)
- Group Photo

10:30-11:00 *Refreshments*

11:00-12:30: **Ratification of London Protocol (LP): Moderator (Y. Chen, China)**

- Legal framework for marine pollution management: E. Kleverlaan (IMO)
- Introduction to the London Protocol: E. Kleverlaan (IMO)
- Introduction of the Waste Assessment Guidelines: C. Vivian (UK)
- Compliance and reporting obligations under the Protocol: C. Shin (Korea)

12:30-14:00 *Lunch*

14:00-16:00: **Ratification of London Protocol (LP) – Continued : Moderator (D. Brown, US)**

- Work programmes of the London Convention/Protocol: C. Huo (China)
- How to implement London Protocol (WAG tutorial): T. Fredette (US)

Regional Case Studies: Moderator (D. Taillefer, Canada)

CO₂ removal using calcium oxide and seawater: J Gil (Korea):

16:00-16:30: *Refreshments*

16:30-17:30: **Environmental Protection and Management for Urban Ports:
Shipping: Moderator(T.Fredette,US)**

- Ballast water and invasive species: E. Kleverlaan (IMO)
- Garbage from ships and spoiled cargo: D. Brown (US)
- Cruise ship environmental management (Environmental Management Systems and ISO 14001 Certification): Gi Hong using P. Cotter's presentation)

17:30: End of day one

18:00-20:00: Welcoming Reception at Jeju KAL Hotel

A short presentation of classical Korean music (including a long transverse bamboo flute) (20 minutes)

Day 2 (Tuesday, 15 May 2012)

09:30-10:30: **Environmental Protection and Management for Urban Ports:
Ship building and Repairing Ships in Harbor:
Moderator(A.Svoboda, Netherlands)**

- Application of antifouling systems: R. Kojima (Japan)
- Shipyard environmental management standards (ISO): L. Porebski using P. Cotter's presentation)
- Case study from the region: TBD

10:30-11:00: *Refreshments*

11:00-12:30: **Case Studies: Moderator(D.Yang, Korea)**

- Marine zooplankton, *Tigropus Japonicus*, as a test species for ecotoxicity testing: H. Takaku(Japan).
- Risk assessment of ballast water. J. Kang (Republic of Korea)

12:30-14:00: *Lunch*

14:00-15:30: **Environmental Protection and Management for Urban Ports:
Engineering Enhancement of Port Function: Moderator(T.
Bridges, US)**

- Capital and maintenance dredging: T. Fredette (US)
- Environmental control on dredging projects: lessons learned from 15 years of turbidity monitoring: P. Laboyrie (WODA/CEDA)

15:30-16:00: *Refreshments*

16:00-17:30: **Environmental Protection and Management for Urban Ports: Engineering Enhancement of Port Function–Continued: Moderator(T. Bridges, US)**

- Remediation of port environment (contaminated sediment management): T. Bridges (US)
- Brownfields development in ports: D. Moore (US)
- Environmental impact assessment on port development projects (Maasvlakte II, Netherlands): A. Svoboda (Netherlands)
- Dredging and port construction around coral reefs (PIANC report 108): M. Jury (PIANC)

17:30: End of day two

Day 3 (Wednesday, 16 May 2012)

09:30-10:30 : **Management of Point Source Discharges and Control of Nonpoint Source Pollution in Urban Ports(UNEP-GPA): Moderator(D. Taillefer, Canada)**

- Management of wastewater discharges and storm water runoff: D. Taillefer (Canada)
- Beneficial use and disposal of sewage sludge: G. Hong (Korea)
- Prevention and collection/disposal of marine litter-Any waste, Any time (DVD: Port of Rotterdam): Any Waste Any Time [Part 1] <http://youtu.be/isb8zJtZ7WQ>, Any Waste Any Time [Part 2] <http://youtu.be/N1NcGiysRrA>: A. Svoboda (Netherlands)
- Water quality trading in the Chesapeake Bay watershed: D. Brown (US)

10:30-11:00: *Refreshments*

11:00-12:30: **Sustainable Sediment Management: Moderator(C. Vivian, UK)**

- Engineering with nature as a part of sustainable practice: T. Bridges (US)
- Sand motor: A. Svoboda (Netherlands)
- Beneficial use of dredged material for protection of coastlines and beaches, habitat restoration, and others: T. Fredette (US)
- Dumping of dredged material at sea and Action List (Dredged Material Assessment Guidelines and its low-tech version): C. Vivian (UK)

12:30-14:00: *Lunch*

14:00-15:30: **Protection of Marine Environment with Respect to Geo-Engineering Projects for Climate Purposes(D. Brown, US)**

- Carbon dioxide sequestration in sub-seabed geological formation (CO₂AssessmentGuidelines):L.Porebski
- Climate change adaptation: P. Laboyrie (WODA/CEDA)
- Utilization of seawater heat source and other ocean energy harnessing projects: K. Chang(Korea)

15:30-16:00: *Refreshments*

16:00-17:00: **Placement Activities: Moderator(C. Huo, China)**

- Guidelines for the placement of artificial reefs: D. Brown (US)
- Regulation of ocean fertilization. Ginzky (Germany)

Case Studies: Moderator (C. Huo, China)

17:00-17:30: **Technical Assistance Programs Potentially Available to the Asia-Pacific Region: E. Kleverlaan(IMO), G. Hong(Korea)**

17:30: End of day three

18:00-20:00:Reception

A short presentation on the natural heritage values of Jeju Island: K. Woo (Korea)

Day 4 (Thursday, 17 May 2002)

09:00-10:30: **Sustainable Sediment Management–Continued: Moderator, C. Vivian(UK)**

- Risk management for projects involving contaminated sediments or protected habitats: T. Bridges (US)
- Case studies
 - Asian case: D. Moore (US)
 - Busan harbor, Korea: B. Suedel (US)
 - Dutch and German cases: by A. Svoboda (The Netherlands)
 - and P. Laboyrie (WODA/CEDA)P. Laboyrie (WODA/CEDA)

10:30-11:00: *Refreshments*

11:00-12:00: **Sustainable Sediment Management–Continued: Moderator(L.**

Porebski, Canada)

- Legislative principles for sustainable sediment managements in ports and coastal areas: T. Brides (US), T. Fredette (US), G. Hong (Korea), D. Moore (US), C. Vivian (UK)

12:00-12:30: **Group Discussion and Writing Recommendations: E.Kleverlaan(IMO), G. Hong(Korea)**

12:30-14:00: *Lunch*

14:00-17:30: **Study Tour**

- Larva tubes (Manjang lava cave)
- Stone Museum

17:30 End of day four

Day 5 (Friday, 18 May 2012)

09:30-10:30: **Monitoring Coastal and Ocean Environment: Moderator(M. Tamburi, US)**

Ocean surface acidification: K. Lee (Korea)

Satellite sensing of coastal environmental changes: Y. Ahn (Korea)

Technologies to monitor changing ocean: M. Tamburi (US)

10:30-11:00: *Refreshments*

11:00-12:00: **Current Technology Developments in Marine Environmental Protection and Measurements :Moderator(B. Suedel ,US)**

- Treatment technologies to prevent the transport of invasive species in ship's ballast water: M. Tamburri (US)
- Ocean business and stewardship of the seas (Shiwha ecosystem restoration and tidal power plant): S. Kim (Korea)
- Underwater sound with regard to dredging: P. Laboyrie (WODA/CEDA)

12:00-12:30: **Plenary Discussion and Adopting Recommendations: E. Kleverlaan(IMO), D. Brown(US), G. Hong(Korea), L .Porebski(Canada)**

12:30-13:00 **Close-outsession**

- Presentation of certificates
- Closing remark by IMO
- Closing remark by MLTM

· Other farewell remarks

12:30-14:00 *Lunch*

14:00 End of day five

Yeosu Expo Field Trip

May 19 (Sat)

Time	Activity	
07:30-08:00	Jeju KAL Hotel to Jeju Airport	Bus
09:00-09:45	Jeju to Kwangju	Air (KE1902)
10:00-13:20	Kwangju to Yeosu	Lunch in the bus
13:20-18:00	Tour Expo	
18:00-19:00	Dinner at a restaurant	
19:00-20:00	Leave for Kwanyangbus	
	Baekwon Plaza Hotel in Kwangyang lodge	

May 20(Sun)

Time	Activity	
07:30-08:00	breakfast	
08:3-11:30	Gwang to Kwangju Airport	Bus
12:50-13:35	Kwangju to Jeju	Air (KE1903)
13:35-14:00	Jeju Airport to Jeju KAL Hotel	Bus

The end of field trip

The end of the workshop

