

동해 심해 유입물질 특성과 서식생물 영향연구 I

Deep-Sea Environment & Ecosystem
Project of East Sea with Advanced
Scientific Technology I
(DEEP EAST I)

[단계 완료 보고서]

2017. 2.

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 "동해 심해유입물질 특성과 서식생물 영향연구" 연구사업의 단계 완료 보고서로 제출합니다.

2017. 2. 28.

총괄연구책임자 : 김영일

참 여 연 구 원 : (한국해양과학기술원)

강태욱, 권지남, 김근식, 김기영, 김동성,
김상미, 김석현, 김성은, 김원혁, 김윤배,
김창준, 김창환, 김태훈, 김하연, 김현욱,
김혜원, 김혜은, 노충환, 노현수, 문한비,
민원기, 박근하, 박다애, 박상록, 박서윤,
박석훈, 박재훈, 박종성, 박찬홍, 박현영,
박희영, 서선일, 성승규, 신아영, 신정완,
신창웅, 심수린, 양동범, 양현성, 오재혁,
원정희, 윤동영, 윤보배, 윤성진, 이명훈,
이병길, 이병호, 이상규, 이상훈, 이선은,
이재호, 이주연, 이준규, 이지민, 이하웅,
이희갑, 장 만, 장영석, 전찬형, 정다혜,
정수지, 정재우, 정창수, 정현주, 조명래,
최기영, 최문정, 최봉수, 최순영, 최현우,
최혜권, 홍기훈, 황효신

(경북대학교)

이성주

요 약 문

□ 과제명 : 동해 심해유입물질 특성과 서식생물 영향연구 I

1. 연구의 목적 및 필요성

□ 연구의 목적

- 동해 심해유입물질의 특성 및 유입플럭스 변화에 따른 저서생물 및 생태계 영향 파악
 - 평균 표층생물생산력 변화 패턴 파악
 - 표층생물생산력 변화에 따른 심해유입물질 플럭스변화와의 상관성 분석
 - 심해 퇴적물 조성과 유입물질과의 상관성 분석
 - 심해 주요 우점 저서생물군의 먹이망 구조 분석
 - 침강유기물과 표층퇴적물의 유기물 및 저서생물과의 상관관계 분석

□ 연구의 필요성

- 과학·기술적 측면
 - 동해는 우리나라 관할해역 중 유일한 심해로 효율적인 심해연구의 최적지
 - 동해는 약 90%의 해역이 수심 200m 이하의 심해(평균 수심 약 1,684m, 최대 수심 4,049m, 200m 이상의 수심 약 90%)로 구성되어 있음



[동해 울릉분지 해저 단면도]

- 동해의 심해는 연중 1도 이하의 차가운 해수가 존재하여 유입된 유기물의 분해속도가 느려 대양에 비해서도 퇴적물에 높은 유기탄소를 함유하고 있는 자연냉장고의 특징을 지니고 있음
- 동해 심해환경 관련 해양과학적 자료 및 지식 빈약
 - 국내 유일의 심해임에도 불구하고 관련 연구과제의 부재로 체계적인 심해 생태계 및 환경 연구가 수행되지 않아 동해 심해에 관한 해양과학적 지식이 매우 부족함
 - 동해 심해로 유입되는 물질의 거동 및 특성과 동해 표층 생물생산력 변동과의 상관성 연구 극히 미비
 - 동해 환경 변화와 저서 생태계의 영향연구 전무
- 동해 심해 서식 생물에 대한 학술적 연구 부족
 - 심해 환경 서식종의 특이성에 대한 연구 필요
 - 심해 저서생물의 군집구조의 특성을 파악하기 위한 기초 자료로서 해저 지형 및 해저퇴적물의 특성 및 퇴적환경 분석이 요구됨
 - 심해 서식 유용생물자원 확보를 위한 기반 기술 개발 필요
 - 특히 동해 심해의 주요 저서 수산자원의 유지/조절 요인 연구 전무
 - 울릉분지는 동일 면적의 다른 해역과 비교하여 생물생산성이 높고 생태적 가치도 높게 평가되고 있으나, 지역민에게 있어서 중요한 기초 생산력, 주요 수산생물 등과 같은 현안 문제와 연관된 연구는 매우 제한적임.
- 해저 퇴적물의 분포는 심해 생물의 서식에 많은 영향을 주며, 침강유기물과 저서 생물의 상호관계 분석을 위해서는 해저퇴적물의 특성 및 퇴적환경 분석이 요구됨.
- 해저 퇴적물의 퇴적환경 모니터링은 환경 변화에 따른 동해의 생물상 변화를 예측할 수 있어, 수산 자원 보호에 활용될 수 있음

○ 경제·산업적 측면

- 동해 심해 생물자원의 유지/조절인자 규명으로 저서 수산자원 관리 정책에 필수 기본자료로 활용
- 미래 해양생물 기반 자원 수요 예측 및 공급 방안 자료 축적
 - 심해에 서식하는 미개발 유용 생물자원의 활용 기술 선점 및 배타적 이용 권리 획득
 - 심해 해양생물 유래 신물질을 활용한 산업화 지원

○ 사회·문화적 측면

- 동해 주도권 확보를 위한 국가간 갈등 및 경쟁 심화에 과학적 자료 생산 및 관리를 통한 학술적 주도권 확보
- 동해지역 현안문제에 대한 학술적 해결 방안 제시로 우리기관의 지역사회 신뢰 및 위상 향상
- 심해 생물의 종 다양성 파악으로 해양 생물에 대한 대국민 관심 유발
- 심해 연구의 결과를 국제 저널에 게재함으로써 기관 및 국가 신뢰도 향상 기대
 - 기후 변화관련 동해의 변화 추이를 구체적으로 제시하여, 기후 변화에 대한 국민적 의식 고취 및 국가 녹색 성장에 기여

○ 연구소 고유기능 발전과의 연관성

- 경영목표의 중점전략인 **원천·기반연구 강화 및 국가 사회적 해양현안 해결**에 직접 연계된 동해 심해 환경 및 서식생물 연구 성과 도출
 - 기존의 해수순환, 연안지역, 표층 등에 한정되었던 연구범위를 심해까지 확대하여 체계적인 동해 심해의 환경 특성과 서식생물 및 생태계 정보 확보
 - 동해로 유입된 물질의 이동/순환 과정의 과학적 이해를 바탕으로 **동해지역 현안문제인 어업자원을 포함한 주요 저서 해양생물량의 유지/조절 요인 파악**
- 전략목표 **해양연구를 통한 기후변화 예측 및 대응**에 직접 연계
 - 동해 심해유입 물질의 특성 및 플럭스 변화를 파악함으로써 **한반도 주변 해역, 해수순환, 물질교환 및 고해양연구의 성과목표**에 직접 기여
- 전략목표 **지속 가능한 해양생태계 관리 및 미래 유용자원 탐색**활용에 직접 연계
 - 동해 심해 유입물질과 저서 생태계 반응과의 관계를 분석하여 **환경변화에 따른 해양생태계 반응 이해 및 대응기술 연구**의 성과목표에 기여
 - 동해 심해 서식생물 유래 유용 가능한 신물질 탐색을 통한 **한반도 주변 해역 해양생명소재 기반 신소재 개발**의 성과목표에 연계

- 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성
 - 정부 140대 국정과제의 해양환경 보전과 개발의 조화, 체계적인 해양영토 관리 및 해양수산업의 미래산업화에 연계
 - 기후변화에 따른 동해 표층생물생산의 변화에 따른 심해환경 영향 파악을 통하여 기후변화 대응 필수자료 확보
 - 주변해역에 대한 해양관측과 조사활동 강화에 연계하여 지속적인 동해 심해 유입물질 조사 부분을 담당
 - 동해 심해서식 수산생물의 유지/조절 요인을 파악하여 미래 해양생물자원 조성사업에 기여
 - 제3차 과학기술 기본계획의 19개 분야의 3. 미래성장 동력 확충의 해양 수산의 미래 산업화와 4. 깨끗하고 편리한 환경조성의 기후변화 대응력 강화에 연계
 - 동해 심해서식 수산생물의 생산량을 유지/조절하는 원인을 조사하여 해양 수산의 미래 산업화에 기여
 - 기후변화에 따른 동해의 환경변화 반응 및 생태계 영향을 파악하여 기후 변화 대응역량 강화에 필수 자료 확보

2. 연구개발 내용 및 범위

동해 심해 해수순환 연구

- 울릉도-독도간 심층순환의 평균분포 특성분석
- 울릉분지 층별 수괴구조 분석
- 심층수온의 변동규모 분석

동해 심해 물질순환 연구

- 표층생물생산 변화에 따른 심해유입물질 특성 및 플럭스 변화연구
- 울릉분지 심해 유입물질 특성파악
- 울릉분지 심해유입물질 플럭스 파악

심해 서식지 환경특성 파악

- 후포뱅크 주변 심해환경특성 조사
- 후포뱅크 주변 심해 서식지 퇴적물 환경 조사

심해 생태계특성연구

- 심해생물 다양성 및 군집특성 파악
- 심해생물과 표영생물간 상호관계성 파악

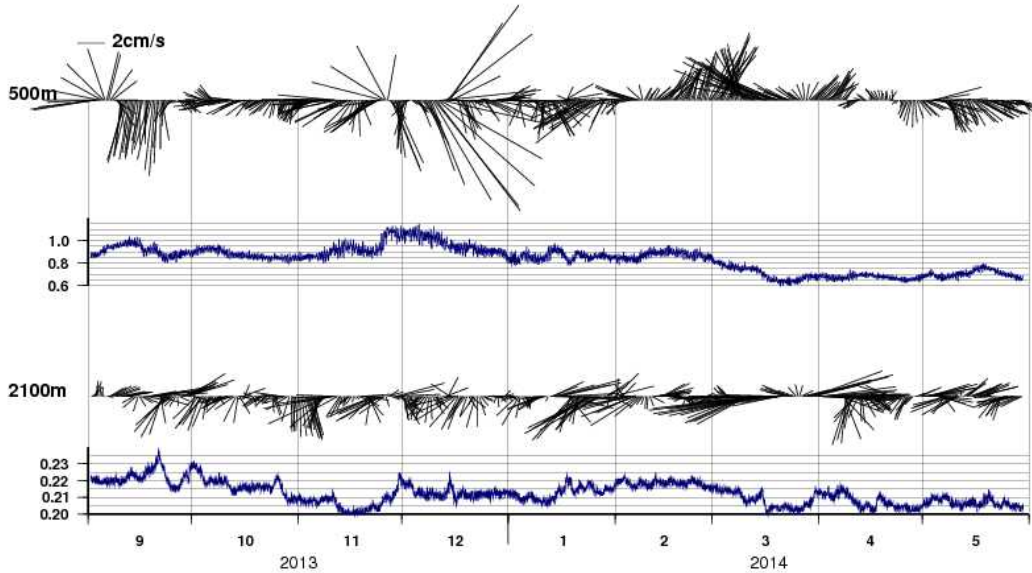
심해생물자원의 활용체계 마련

- 동해 심해생물 종별 기초정보 생산
- 상업적 활용 가능 정보 탐색
- 심해 해양생물 자원 뱅크 구축

3. 주요 연구 결과

□ 동해 심해 해수순환 연구

○ 울릉도-독도간 심층순환의 평균분포 특성분석

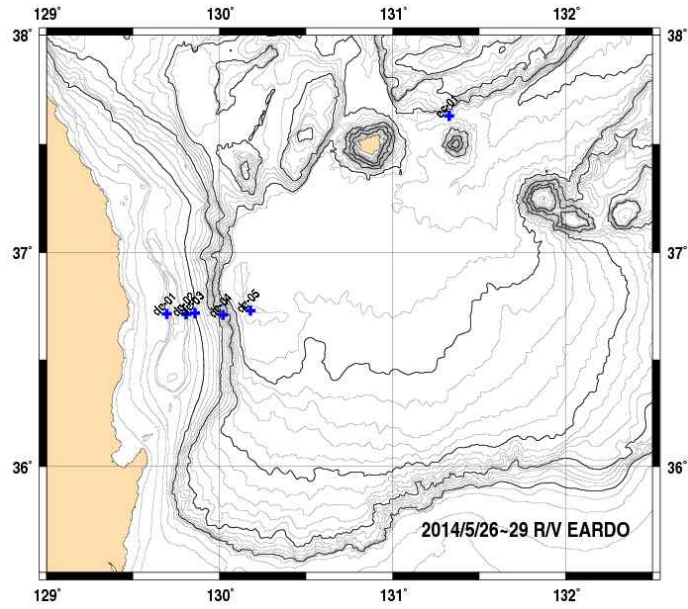


[울릉도-독도 사이 심층에서 수심 500m와 2100m의 해류 및 수온관측 결과]

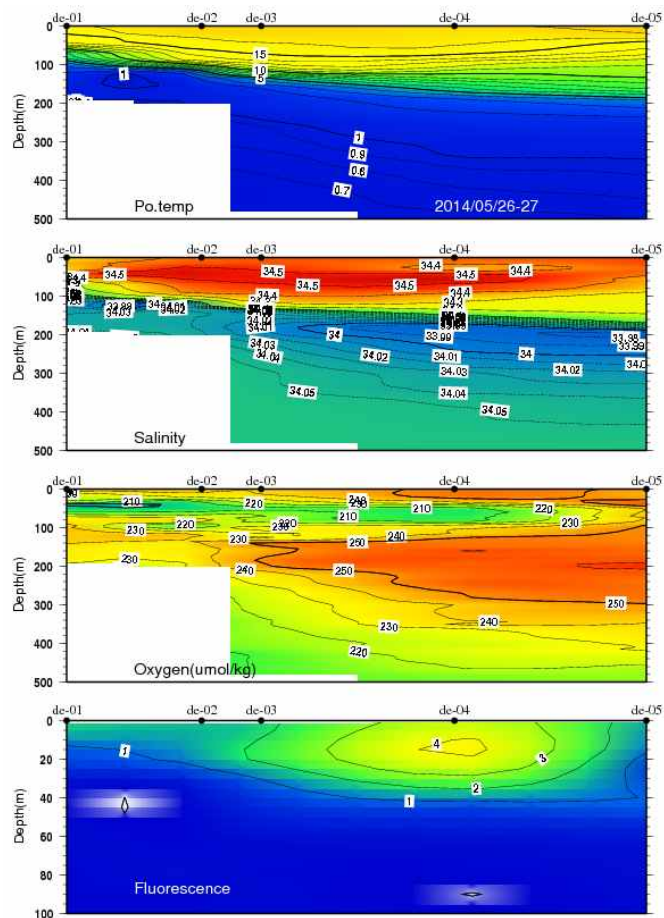
- 울릉도-독도간 심층순환을 분석하기 위하여 울릉도-독도간 정점(EC)에서 2013년 9월부터 2014년 5월까지 500m, 2100m 층에 계류된 해류계 자료를 분석함.
- 500m에서는 0.38cm/s (유향 201°, 최대유속 28.9cm/s), 2000m에서는 0.64 cm/s (유향 199°, 최대유속 10.9 cm/s)의 평균 유속으로 남서향 평균 흐름을 보임

○ 울릉분지 층별 수괴구조 분석

- 울릉분지 층별 수괴 분석을 위해 2014년 5월과 10월에 걸쳐 후포뱅크 해역에서 전층 CTD 관측을 수행하였으며, 2013년 2월부터 2014년 8월까지 후포뱅크 1개 단면에서 격월 간격으로 CTD 관측을 수행함



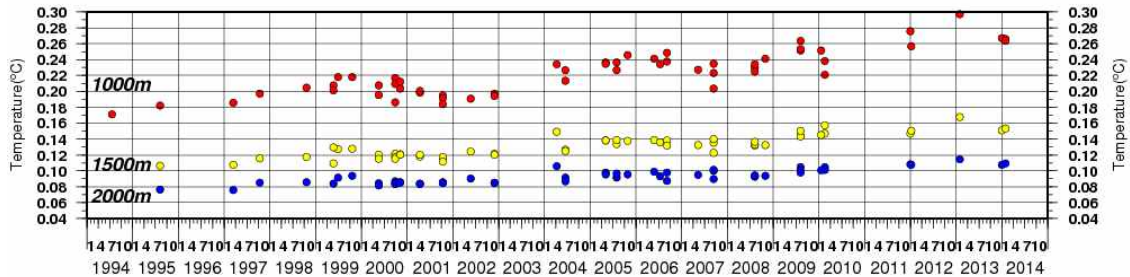
[2014년 5월 관측정점]



[2014년 5월 수심별 수온, 염분, 용존산소량, fluorescence]

○ 심층수온의 변동규모 분석

- 동해에서 심층 관측이 시작된 1994년부터 2014년 까지 울릉도-독도사이 해역에서 수심별(1000, 1500, 2000m) 장기 수온 변동 경향 분석
- 1000m 에서는 0.0048°C/년, 1500m에서는 0.0026°C/년, 2000m에서는 0.0017°C/년 비율로 상승중임이 밝혀짐.



[울릉도-독도사이 해역에서 1994~2014년 동안의 층별 수온 분포]

○ 동해북부 해역 심층순환 연구

- 목적 : 동해북부해역 심층순환연구 : 러시아 영해 관측을 위한 국제공동연구
- 협력기관 : P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (IO RAS))
- 러시아측 연구책임자: Alexander Ostrovskii
- Aqualog profiler 1기 투입
 - 계류해역 : 40° 05.9'N, 133 ° 50.3'E
 - 수온, 염분, 유속, DO, Turbidimeter 센서 장착
 - 6시간 간격 연직프로파일 관측 (10-210 미터), 6일 간격 Deep 프로파일 관측 (10-600 미터)
- 추진경과
 - 2013년 10월 21일 profiler 계류계 투입
 - 2014년 4월 21-22일 profiler 회수 및 장비훼손 확인 / 신규계류
 - 2014년 10월 18일 회수 및 재계류 예정이었으나 장비를 찾지 못하였고, 10월 24일 두 번째 회수 시도 중 당초 투입정점에서 동쪽으로 약 3 km 떨어진 곳에서 Acoustic release가 반응하였으나 나빠진 일기와 ship time부족으로 철수함.

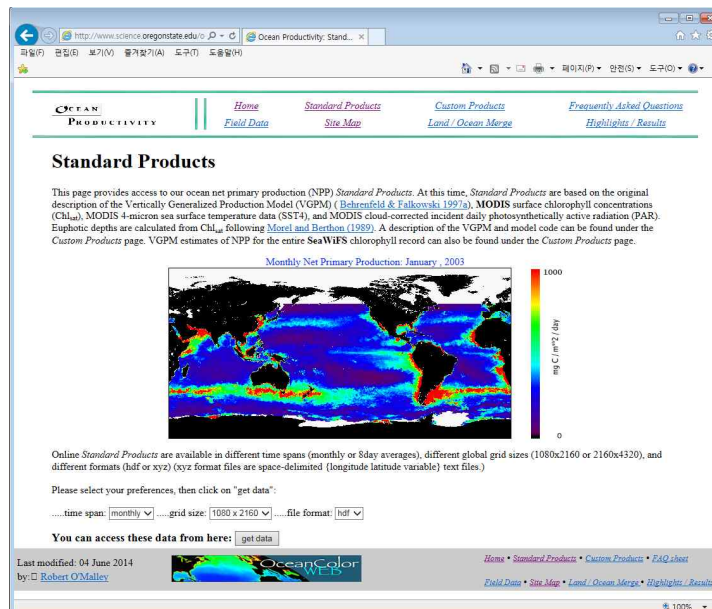


[Aqualog profiler 계류 모습]

□ 동해 심해 물질순환 연구

○ 표층생물생산 변화조사

- 울릉분지 표층의 평균 생물생산력의 변화를 파악하기 위해 Oregon 주립대의 Ocean Productivity(http://www.science.oregonstate.edu/ocean_productivity/index.php)에서 제공하는 MODIS Aqua위성 자료 기반의 VGPM(Vertically Generalized Production Model) 계산자료를 이용함.

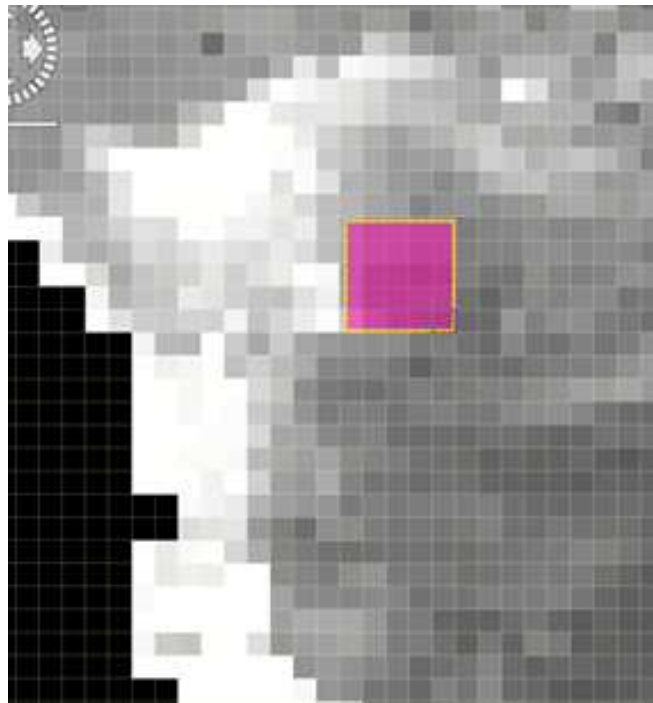


[Ocean Productivity Website]

- 표층생물생산력 값은 위경도 5분 간격의 1개 픽셀에서 계산된 값의 8일간의 평균을 계산하여 각각 4, 9, 25, 49, 169 Pixel의 범위에 대해 자료를 정리함

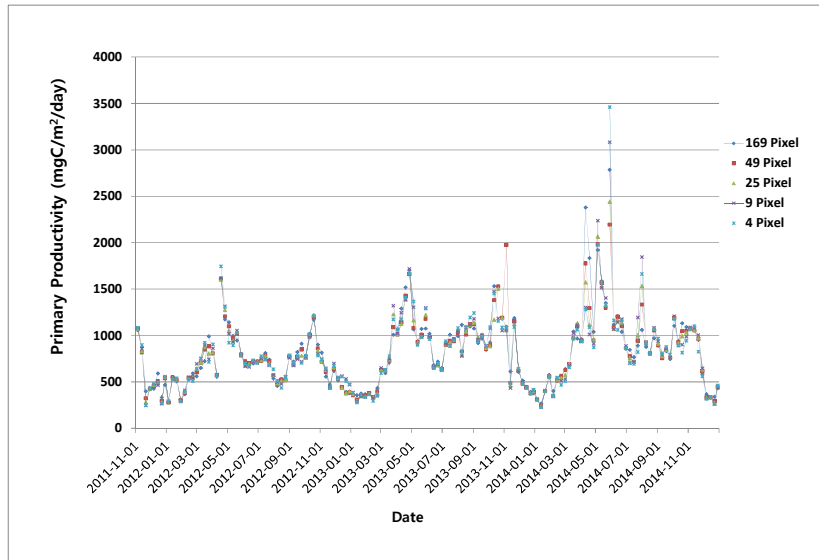
[울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 Pixel별 범위]

Pixel 수	Pixel 범위	
169 pixel	좌측상단 38도 10분, 130도 50분	우측하단 37도 10분, 131도 50분
49 pixel	좌측상단 37도 55분, 131도 05분	우측하단 37도 25분, 131도 35분
25 pixel	좌측상단 37도 50분, 131도 10분	우측하단 37도 30분, 131도 30분
9 pixel	좌측상단 37도 45분, 131도 15분	우측하단 37도 35분, 131도 25분
4 pixel	좌측상단 37도 40분, 131도 20분	우측하단 37도 35분, 131도 25분



[울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 픽셀]

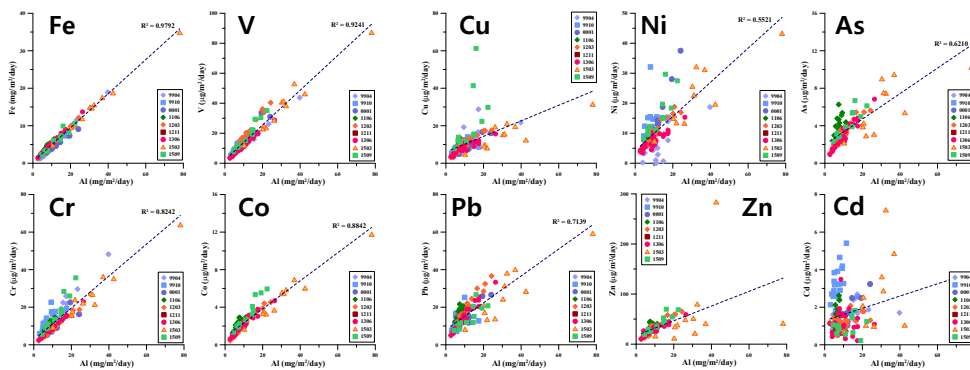
- 2011년 11월부터 2014년 12월까지 표층생물생산력은 226~3,624 mgC/m²/day (평균 1,452 mgC/m²/day)의 범위로 계절에 따라 1자리수 이상 차이를 나타냄.
- 계산된 픽셀의 범위에 따른 계산값의 차이는 크지 않고, 변화양상도 잘 일치하며, 봄과 가을의 Bloom시기에 높은 값은 나타냄.



[울릉분지 표층생물생산력의 시간 변화]

○ 울릉분지 심해 유입물질 특성 파악

- 울릉분지로 심해로 유입되는 물질의 특성을 파악하기 위하여 침강입자 중의 주요 금속성분을 분석하고, 기원을 파악하기 위하여 Al 농도와 각 금속성분의 상관관계를 구하고, 농축계수를 계산함.



알루미늄플럭스와 금속원소 플럭스와의 상관관계

	Fe	V	Cr	Co	Cu	Ni	As	Pb	Zn	Cd
R ²	0.98	0.92	0.82	0.88	0.30	0.55	0.62	0.71	0.25	-

미량금속의 농축계수(Enrichment Factor : EF)

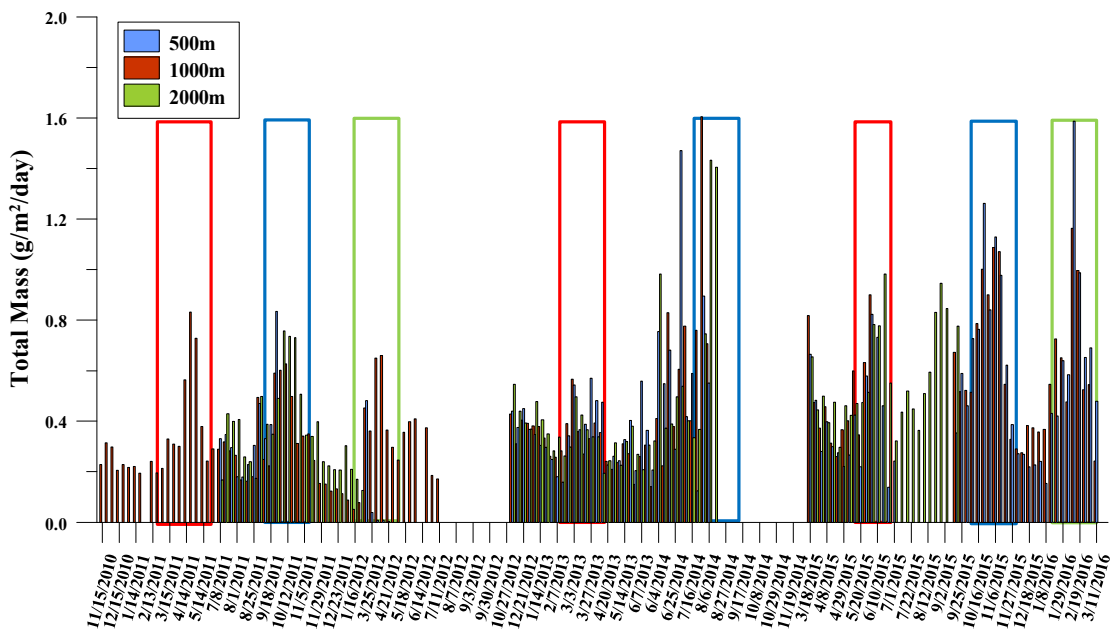
	EF_V	EF_Cr	EF_Co	EF_Ni	EF_Cu	EF_Zn	EF_As	EF_Cd	EF_Pb
Min	0.7	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	1.5	8.1	1.9
Max	1.3	1.2	1.4	2.4	8.4	9.4	10.9	297	10.7

[침강입자의 금속성분의 Al에 대한 상관관계 및 농축계수]

- 침강입자 형태로 심해로 유입되는 금속성분 중 Fe, V, Cr, Co 등은 모두 상관계수가 0.8 이상으로 대기를 통해 육상으로부터 유입된 육상지각 기원의 것으로 사료되며, Cu, Ni, As, Pb, Zn, Cd 등은 육상의 인간활동 등에 의해 방출된 오염물질 기원의 것이 많이 포함되어 있는 것으로 사료됨.

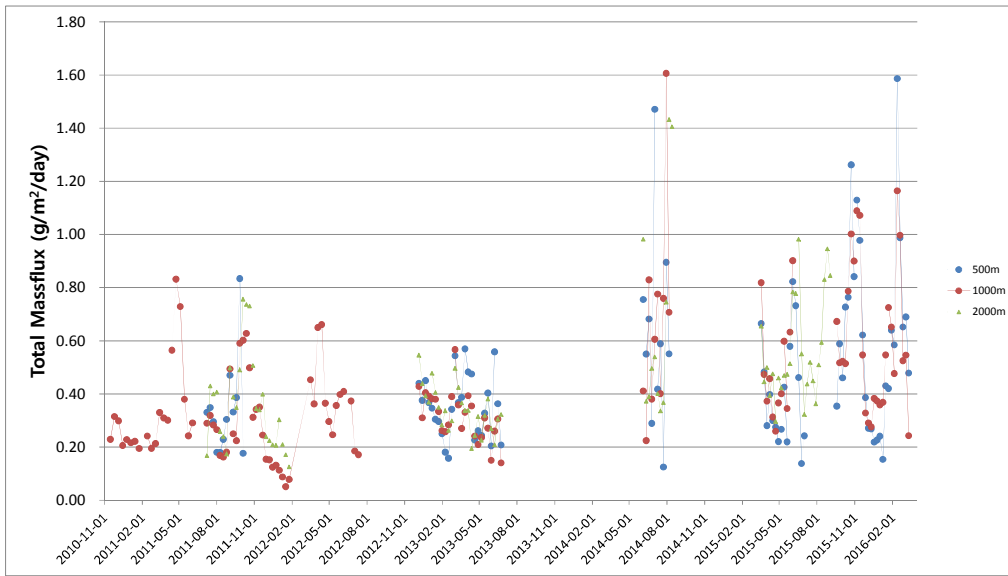
○ 울릉분지 심해 유입물질 플럭스 파악

- 2011년~2016년 Total massflux는 수심 500m 0.12~1.59 g/m²/day (평균 0.47 g/m²/day), 1000m 0.05~1.61 g/m²/day (평균 0.42 g/m²/day), 2000m 0.13~1.43 g/m²/day (평균 0.45 g/m²/day)로 시기에 따라 10배 이상 차이가 났으며, 특히 춘계 및 추계 Bloom 시기에 2배 이상 많은 입자플럭스가 관측되었음.

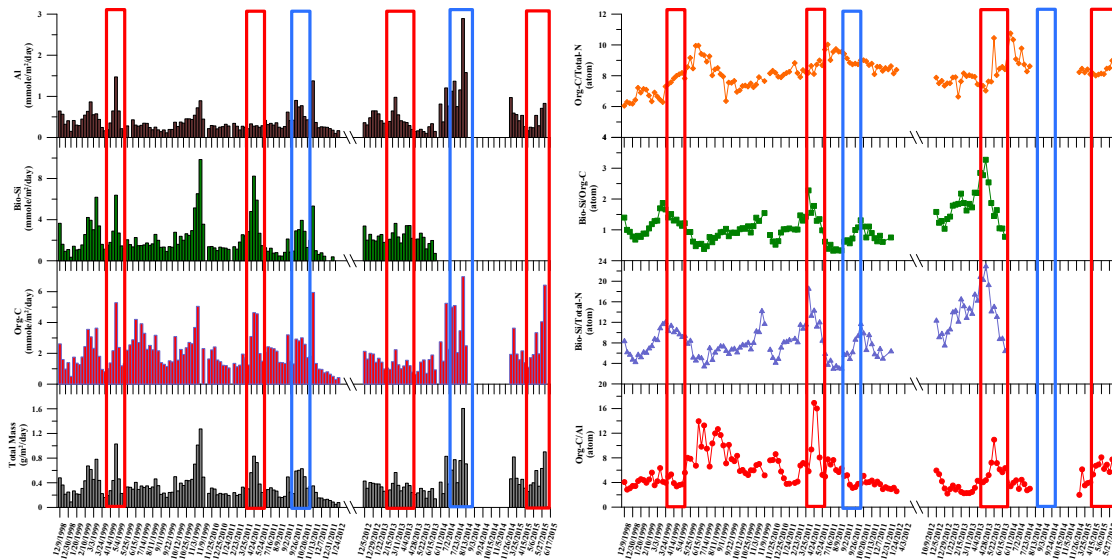


[동해 울릉분지의 Total Massflux 시간변화]

- 500m, 1000m, 2000m의 플럭스의 시간에 따른 변화양상 및 플럭스의 크기가 유사하며, 수심에 따른 플럭스 피크의 시간차이가 나타나지 않는 것 등으로부터 울릉분지는 표층에서 생물생산에 의해 생성된 입자가 빠르게 해저퇴적물로 유입되는 것으로 사료됨.



[동해 울릉분지의 수심별 Total Massflux 시간변화]

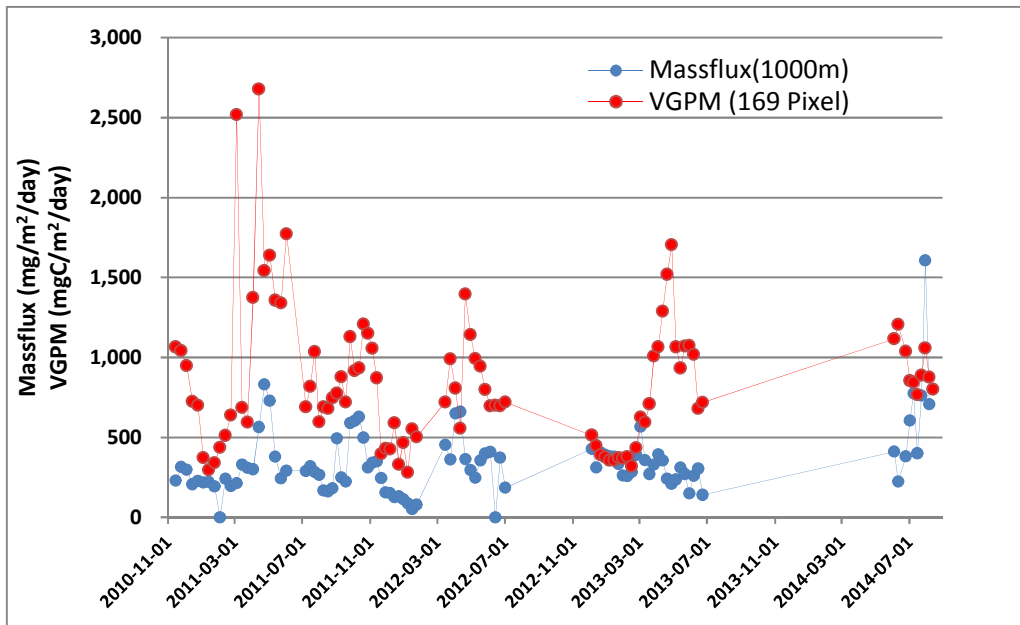


[동해 울릉분지의 Total Massflux, Bio-Si, AI의 시간변화]

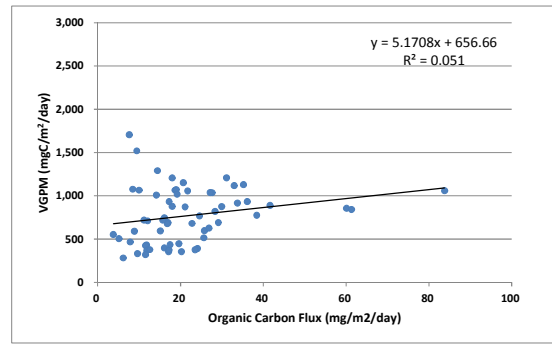
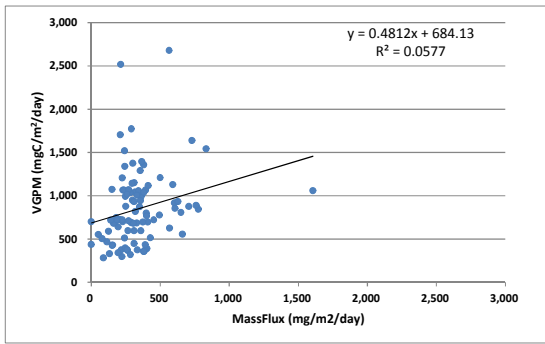
- 춘계 Bloom 시기에 높은 Massflux와 함께, 유기탄소 및 생물기원 규소의 Flux도 높음
- 1999년 춘계 Bloom 시기에 황사기원의 높은 AI Flux를 나타냈지만 2010년 이후에는 춘계 Bloom 시기에는 뚜렷한 황사가 없어, AI Flux도 작았지만 추계 Bloom 시기에 큰 AI Flux가 나타났고, 이는 수평이동에 의해 유입된 것으로 추정됨.
- Bloom 시기에 유기탄소 및 총질소에 대한 생물기원 규소의 비 값이 높은 것은 동해의 춘계 Bloom은 대부분 규조류에 의한 것임을 나타내고 있음

○ 표층생물생산력 변화와 심해유입물질 플럭스와의 관계

- 울릉분지 표층의 생물생산력 변화가 심해로 유입되는 물질 플럭스에 미치는 영향을 살펴보기 위해 2010년 11월부터 2014년 9월까지 Sediment Trap에서 포집된 Total Massflux 및 Organic Carbon flux와 MODIS Aqua위성 자료기반의 VGPM으로 계산된 표층의 생물생산력 자료와 비교하여 상관성 분석을 수행함.
- 시간에 따른 Total Massflux와 VGPM 값의 변화양상은 춘계와 추계 Bloom 시기에 함께 높아지는 등 유사한 패턴을 나타내지만, 상관관계는 분산이 크고 상관관계수 $R^2=0.05$ 정도로 낮았다.
- VGPM값에 대한 Total Massflux와 Organic Carbon Flux의 사이에 상관관계가 낮은 것은 표층에서 생산된 입자물질이 유광층 내에서 소비되고, 재순환 되는 과정 후에 Export Flux로 유출된 입자물질이 Sediment Trap에 포집된 것으로 Total Massflux가 표층의 생물생산력의 변화를 그대로 반영하지 않음을 나타냄.
- 향후 유광층 내에 Sediment Trap을 계류하여 보다 상세한 상관성 분석 실험이 필요함.



[Total Massflux 및 VGPM 값의 시간변화]

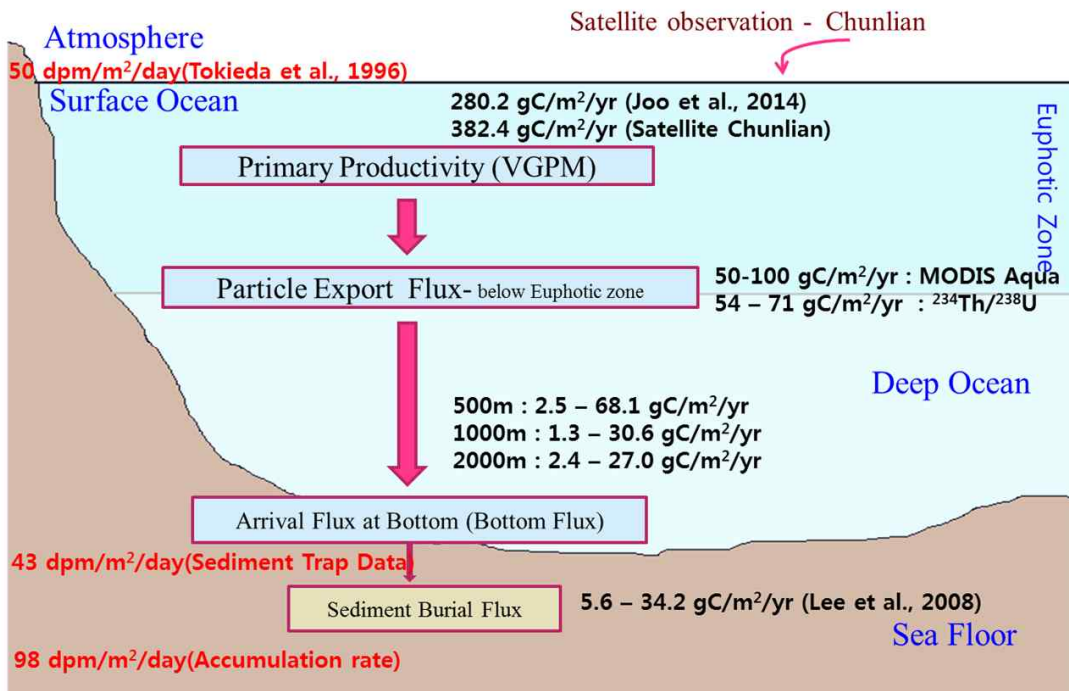


[Total Massflux 및 Organic Carbon Flux에 대한 VGPM 값의 상관관계]

○ 동해 울릉분지 POC 수치 계산

- 울릉분지 해저퇴적물에 존재하는 유기탄소 중 표층에서 일차생산에 의해 생산된 유기탄소의 기여율을 파악하고자 단순 박스모델을 이용하여 POC 수치를 계산함
- 계산에 사용된 각 요소별 자료
 - Primary Productivity : 천리안위성 자료로부터 계산된 일차생산력
 - Particle Export Flux : MODIS Aqua 위성자료 및 $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$
 - Arrival Flux at Bottom : Sediment Trap에서 포집된 침강입자중 POC Flux 평균
 - Sediment Burial Flux : 기 보고자료(Lee et al., 2008),
 - Atmospheric Input of ^{210}Pb : 50 dpm/m²/day(Tokieda et al., 1996)
 - Sediment accumulation rate : 98 dpm/m²/day(2013년 EC-1 자료),
 - Arrival Flux at Bottom of ^{210}Pb : 43 dpm/m²/day(1999년 Sediment Trap 자료)
- 표층유광대에서 생산된 탄소는 280.2~382.4 gC/m²/yr의 범위로 이 중 Particle Export Flux로써 유광층 아래로 유출되는 양은 50~100 gC/m²/yr로 표층생산력의 13 ~ 35%에 해당됨.
- Sediment Trap에서 포집된 POC 플럭스는 500m에서 2.5~68.1 gC/m²/y, 1000m에서 gC/m²/y, 2000m에서 gC/m²/y로 유광층 아래의 수심에서는 유사한 양이며, 해저퇴적물로 매몰되는 유기탄소의 플럭스는 5.6~34.2 gC/m²/y로 침강 입자의 POC 플럭스와 유사한 범위내에 존재하는 것으로부터 Sediment Trap에 포집된 POC가 그대로 해저 표층퇴적물로 유입되는 것으로 사료되며 표층에서 생산된 탄소의 2.4 ~ 9.6%가 해저퇴적물로 도달하는 것으로 계산됨.
- 해저퇴적물로 유입되는 물질은 해양표층에서 생산된 것 외에도 수평이동에 의해 유입된 것도 존재하기 때문에 수평이동되어 유입된 양을 파악하기 위하여 대기,

- 침강입자, 해저퇴적물의 천연방사성 핵종인 ^{210}Pb 플럭스 계산하여 비교함
- 대기로부터 울릉분지의 해수면으로 유입되는 ^{210}Pb 의 유입량은 $50 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 이며, 입자에 흡착되어 해저로 침강하는 ^{210}Pb 의 제거량은 $43 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 로 대기로부터 유입되는 양과 유사함.
 - 해저퇴적물로 매몰되는 ^{210}Pb accumulation rate는 $78 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 로 대기 및 수층을 침강한 양의 약 2배임
 - 따라서 울릉분지로 퇴적되는 퇴적물의 약 절반은 사면등에서부터 수평이동 되어온 것을 시사함

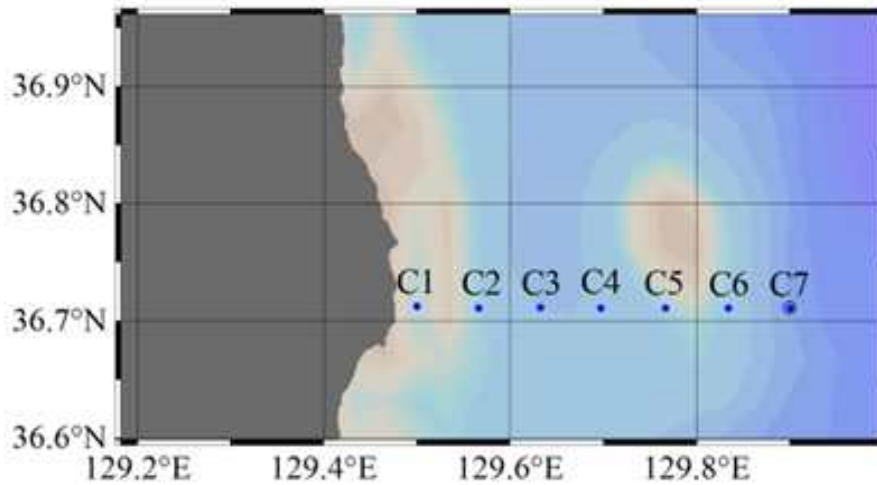


[동해 울릉분지의 POC 수지]

□ 심해 서식지 환경특성 파악

○ 후포뱅크 주변 환경특성 조사

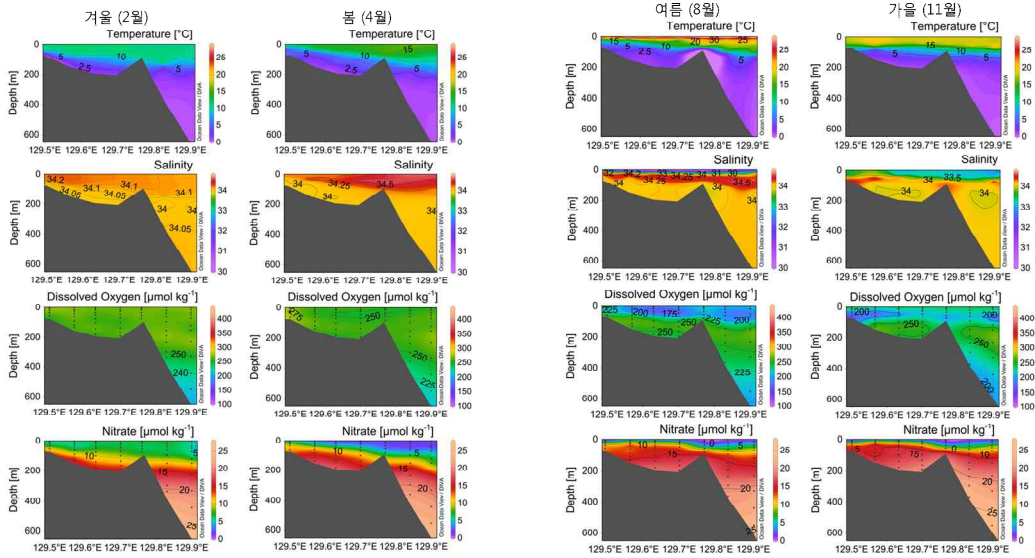
- 후포뱅크의 물리적, 화학적 특성 및 그 변화를 파악하기 위해 2, 4, 8, 10월의 4 계절 조사를 계획함.



[후포 뱅크 조사 정점도]

- 측정된 수온과 염분 분포를 살펴보면, 2월의 표층 수온은 10.5~11.5°C의 분포를 보이며, 염분 분포도에서는 표층에 고온, 고염의 대마난류수가 과거와 달리 연안 쪽에 분포하고 있는 것을 볼 수 있음. 이는 대마난류수의 외해 이동시기가 과거 보다 늦어 졌음을 의미함.
- 4월에는 대마난류수가 외해쪽으로 이동하였음. 4월 표층 수온은 2월보다 약간 상승하여 11~15.5°C의 분포를 보였고, 과거 같은 시기 측정치에 비해 내해와 외해 정점의 온도 구배가 큼. 연안 쪽은 15m 아래의 수온이 2월 보다 4월이 더 낮았음. 이는 용승이나 해류 분포 변화와 같은 물리적 요인에 의해 심해 해수가 연안 쪽을 올라왔기 때문으로 생각됨.
- 8월의 경우 표층 수온은 평균 28.6°C로 4월에 비해 크게 상승하였고, 과거와 비교했을 때도 온도가 월등히 높았음. 표층에는 저염수가 10~20m 두께로 분포하고 있으며, 이는 대마난류 표층수로서 강우와 양쯔강 하천수 유입에 의해 동중국해 및 황해에서 형성된 해수로 대한해협을 통과하면서 남해 연안수까지 섞여 올라온 것으로 고온, 저염이 특징임. 그 아래에는 정점 C1을 제외하고 수심 50m를 중심으로 고온, 고염의 대마난류 중층수가 분포하고 있음. 이는 초여름에서 초가을까지 동해 남부 연안에서 관찰되는 전형적인 수괴 패턴이나 연변동을 보임.
- 11월 표층 평균 수온은 18.3°C였으며, 수심 ~40m까지 수직 혼합층이 잘 형성되어 있음. 수심 100m 보다 깊은 곳의 수온은 8월에 비해 11월이 높았음. 표층 외해 쪽에 염분이 상대적으로 낮은 해수가 분포하며 여름철 표층 아래에서 관찰되었던 고염수는

더 이상 두꺼운 층을 이루지 못하고 연안 쪽과 바깥 외해 정점 아표층에서 소규모로 관측됨.



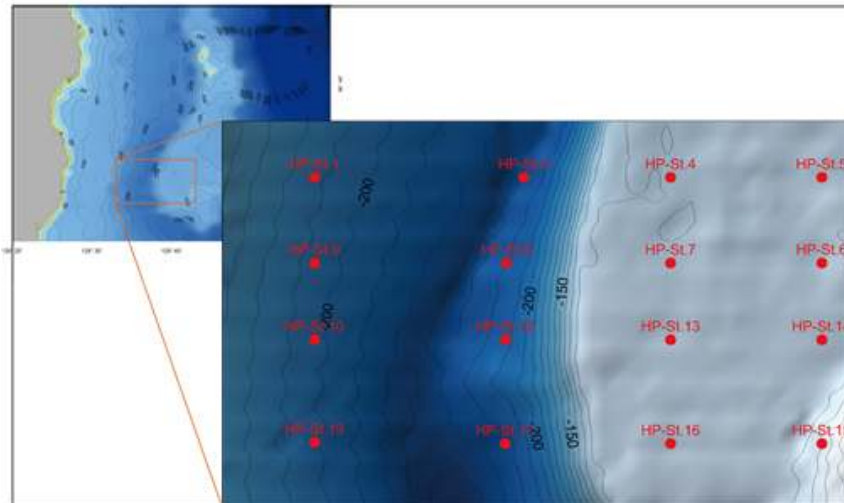
[수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도]

- 2월은 수온이 낮아 표층 식물 생산성이 낮았고, 표층 영양염 농도 또한 다른 계절에 비해 상대적으로 높았음.
- 연안의 경우 4월에도 수온이 낮아 과거에 비해 식물생산성이 높지 않았고, 상대적으로 수온이 높았던 외해에서 높은 식물 생산성이 나타남. 영양염 농도도 외해로 갈수록 낮아짐.
- 과거 8월의 경우 적조의 영향으로 표층 식물 생산성이 높았으나, 올해는 연안 정점을 제외하고는 식물 생산성이 높지 않았음. 영양염은 표층에서 고갈되었으나 본 조사 시기 이전에 이미 고갈된 것으로 보임. 용존 산소 농도의 경우 연안 정점 C1을 제외하고 아표층에서 농도가 낮은 물이 관측되었음. 이는 대마난류 중층수로 용존 산소 농도가 낮은 것이 특징임. 특히 정점 C2~4의 아표층에서 용존 산소 농도가 주위에 비해 상대적으로 매우 낮은 것을 볼 수 있음. 이와 동시에 영양염 농도도 높은 것으로 볼 때 이는 유기물 산화에 의해 야기된 것으로 생각됨.
- 11월의 경우 약간의 고염수가 남아 있는 연안쪽 정점과 외해 바깥 정점을 중심으로 아표층에서 상대적으로 낮은 산소 농도가 발견됨. 영양염 농도는 질산염과 인산염은 표층에서 고갈되었으며, 규산염은 4~7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 의 농도로 존재함. 식물생산성 역시

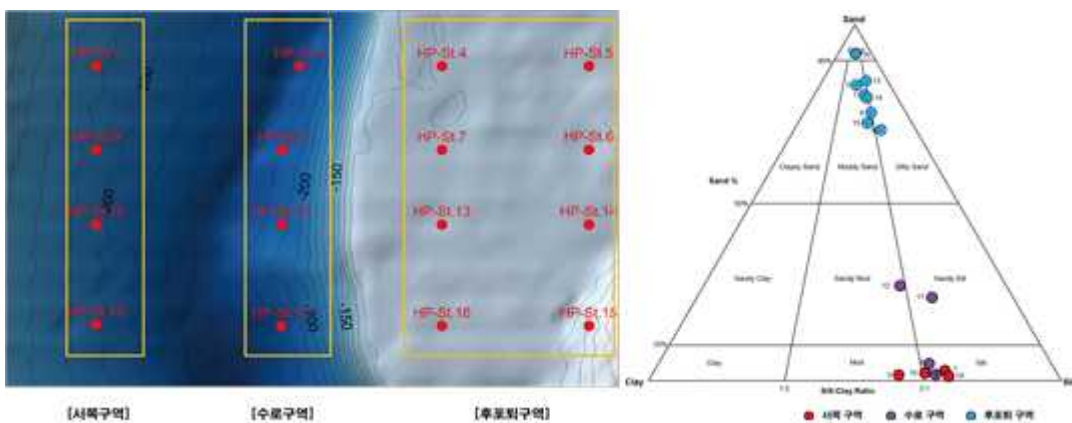
클로로필 농도와 겉보기 산소 소모량을 보았을 때, 맨 안쪽 연안 정점인 C1을 제외하고는 표층에 거의 없는 것으로 나타남. 이는 수직혼합 등에 의해 표층으로 공급된 영양염이 조사 이전에 고갈되었거나, 8월부터 표층으로 영양염 공급이 제대로 이루어지지 않았음을 나타냄.

○ 후포뱅크 주변 심해 서식지 퇴적물 환경 조사

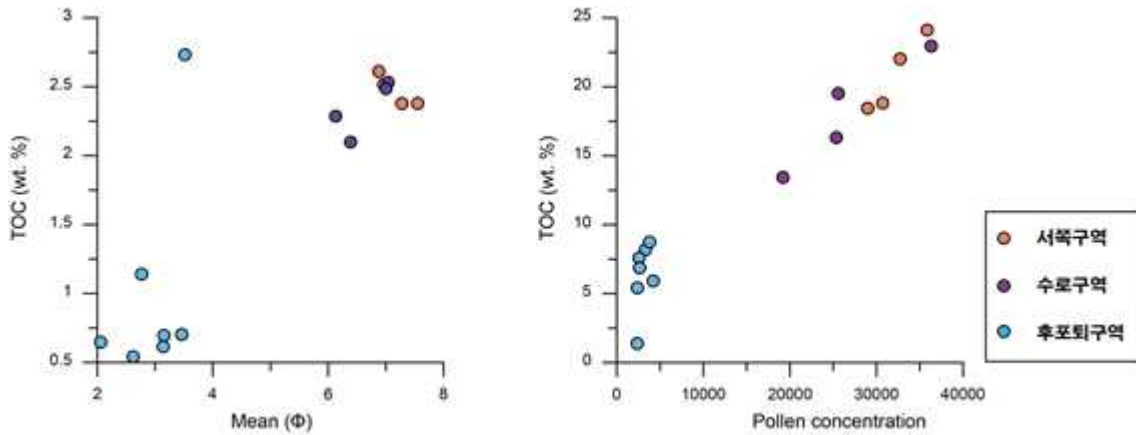
- 후포퇴에서 채취한 16개의 표층 퇴적물을 대상으로 입도, 유기퇴적물, 유기탄소 분석함
- 표층 퇴적물의 퇴적상은 시료 위치에 따라 크게 3구간으로 구분됨
- 사질 퇴적상을 보이는 반면에 서쪽과 수로 구역은 실트 및 니질로 구성
- 세립질 퇴적물에서 유기탄소가 높아지는 경향을 나타냄



[후포퇴 표층 퇴적물의 시료 채취위치]

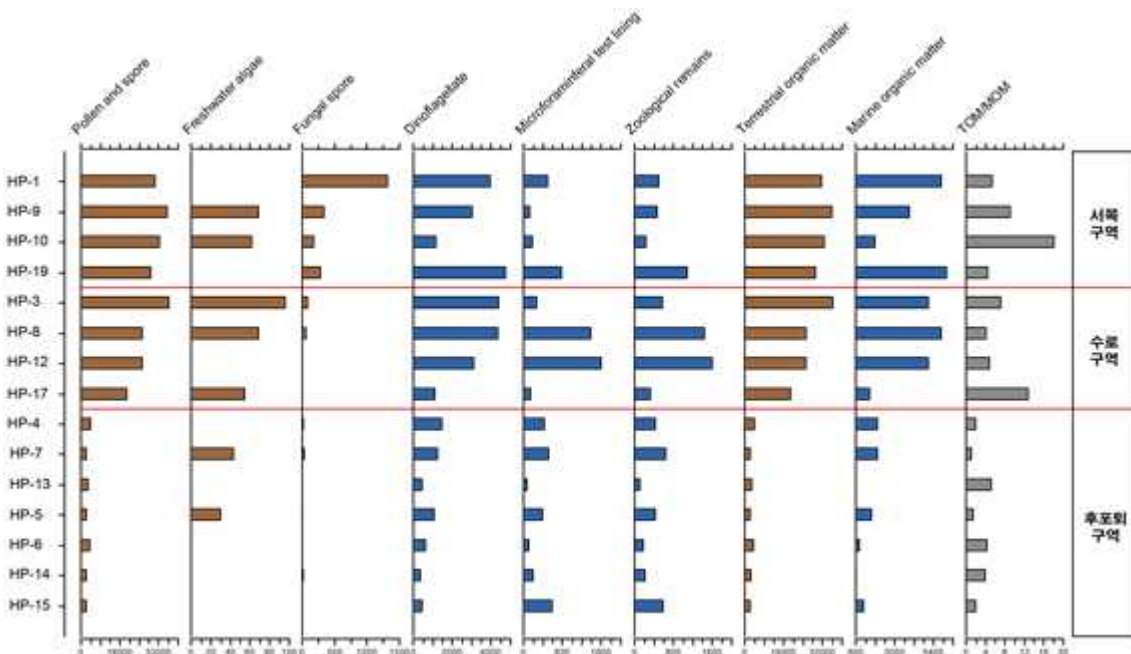


[구역에 따른 퇴적상 변화]

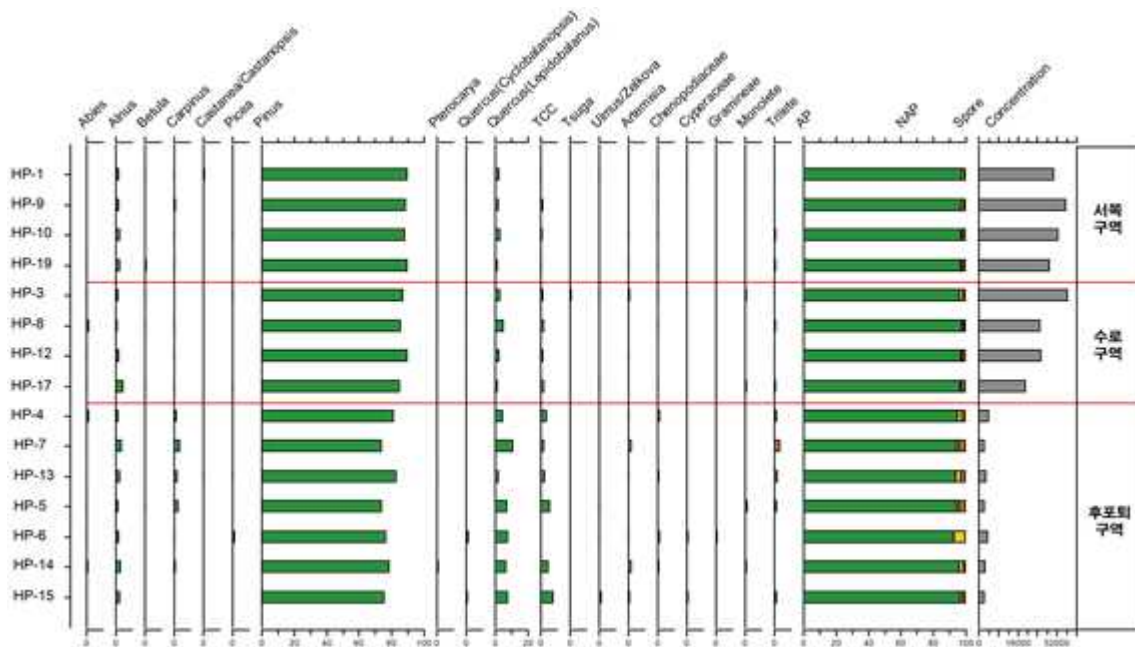


[유기탄소와 평균입도 및 화분 농집도의 상관관계]

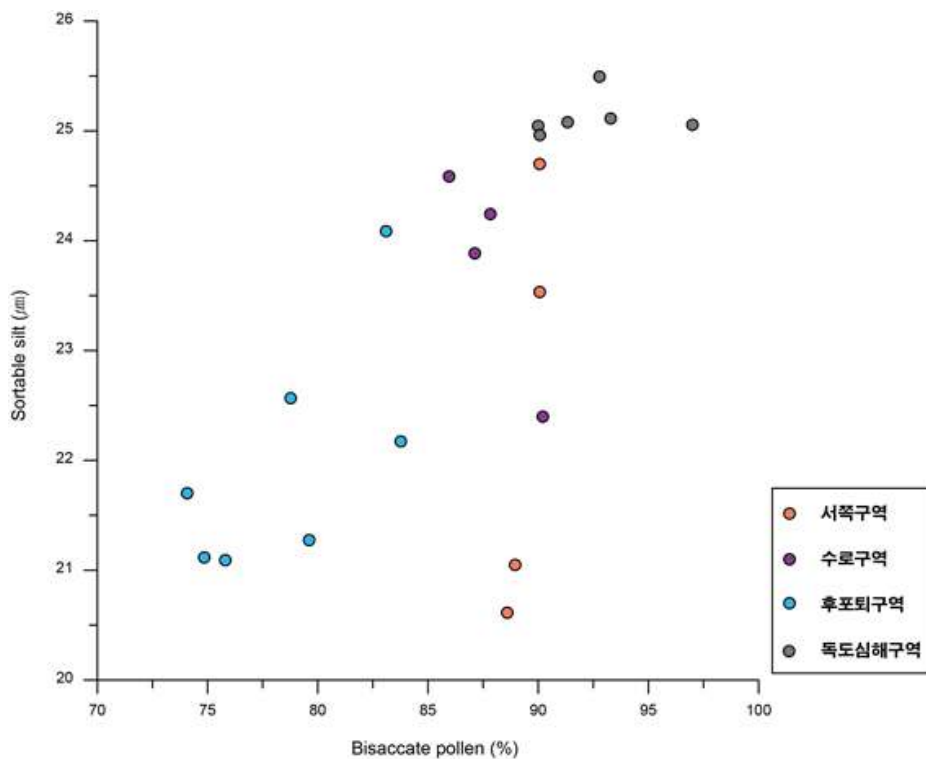
- 서쪽구역과 수로구역은 화분과 포자 농집도가 높게 산출됨. 이로 인해 육상 기원 유기물의 비율이 후포퇴 구역에 비해 높게 나타나는 특징
- 미유공충 내각은 수로 구역에서 가장 높게 산출됨. 수심이 얇고 온도가 높은 곳의 조립질 퇴적물에서 풍부하게 산출되는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 세립질 퇴적물에서 보다 풍부하게 산출됨. 이와 같은 이상 현상은 독도-울릉도의 심해 표층 퇴적물의 사례에서도 보고 된 바 있음



[후포퇴의 표층퇴적물에서 산출된 유기퇴적물의 산출 개체]



[후포퇴의 표층퇴적물에서 산출된 화분 산출 도표]



[기낭화분과 비응집성 실트]

- 목본 화분의 비율이 매우 우세하게 나타나며, 특히 소나무속이 전체 화분군집의 대부분을 차지함. 소나무속 화분은 기낭이라고 불리는 두 개의 공기주머니를 가지고 있어 다른 화분에 비해 바람에 쉽게 이동이 가능한 것으로 알려져 있음. 따라서 이러한 산출 형태는 소나무속 화분의 형태학적 특징에 기인하는 것으로 해석
- 기낭화분은 서쪽구역에서 가장 많이 산출되고 후포퇴에서 낮게 산출되는 특징을 보임. 해양퇴적물에서 기낭화분의 산출은 해안가에서 멀어질수록 증가하는 경향을 보이는 것이 일반적이나 후포퇴의 경우 상반된 결과를 보임
- 이는 퇴적환경에 따라 화분 군집의 조성이 영향을 받을 수 있음을 보여준 첫 번째 사례임

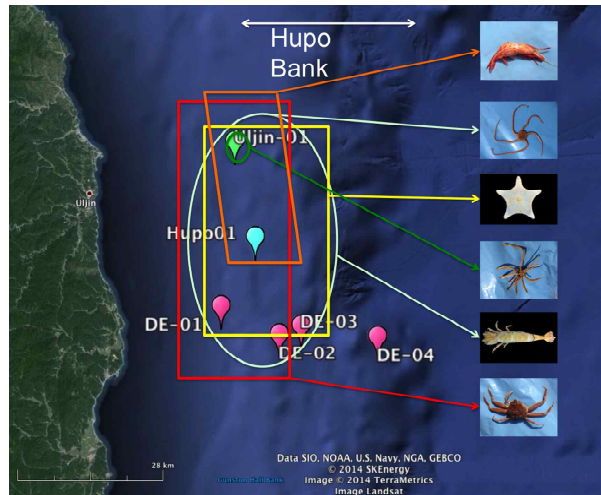
□ 심해 생태계특성연구

○ 심해생물 다양성 및 군집특성 파악

- 대형 및 초대형저서생물
 - 후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 대형저서생물의 분포특성을 파악하기 위해 4월 어선을 이용한 저인망 조사와 5월, 10월 이어도호를 이용한 드렛지 및 박스코어 조사를 실시함.
 - 채집된 대형 및 초대형 무척추동물은 Hupo01 정점에서 5개 분류군, 20종, 820 개체, DE-01에서 5개 분류군, 22종, 134 개체, DE-02에서는 7개 분류군, 26종, 209 개체, DE-03에서는 4개 분류군, 16종, 247 개체, DE-04에서는 1개 분류군, 2종, 3개체, EC-01에서는 1개 분류군, 1종, 4 개체가 출현하였음.
 - 조사 기간 동안 채집된 생물 중 6종이 우점하고 있으며 그림과 같이 분포하고 있으며, 그 6종은 물렁가시분홍새우, 살시빛살거미불가사리, 빛살판불가사리, 요정채직갯고사리, 진흙새우, 대게이며 137개체, 10038개체, 292개체, 82개체, 925개체, 81개체가 채집되었음.
 - 조사결과 DE-01, DE-02, DE-03이 DE-04, EC-01보다 높은 종다양성을 보였음. Uljin-01에서는 9종이 조사되었으나 생물량에서 살시빛살거미불가사리가 94%이상을 차지하였음.
 - 수심이 비슷한 DE-01, 02와 Hupo-01, Uljin-01정점에서는 진흙새우와 살시빛살거미불가사리, 빛살판불가사리가 대체적으로 발견되었음. 이는 후포뱅크를 기점으로

안쪽으로는 이 3종이 우점한다는 것과, Uljin-01 의 종다양도의 자료를 보면 12종인데 그 중 살시빚살거미불가사리가 94%를 차지할 정도로 한 종에게 유리한 서식처가 될 수 있음을 유추할 수 있음.

- 후포퇴의 안쪽과 상부지역이 종 다양성이 높고, 후포퇴에서 외해쪽으로 수심이 깊어질수록 종 다양성이 현저히 낮아짐을 알 수 있었음.



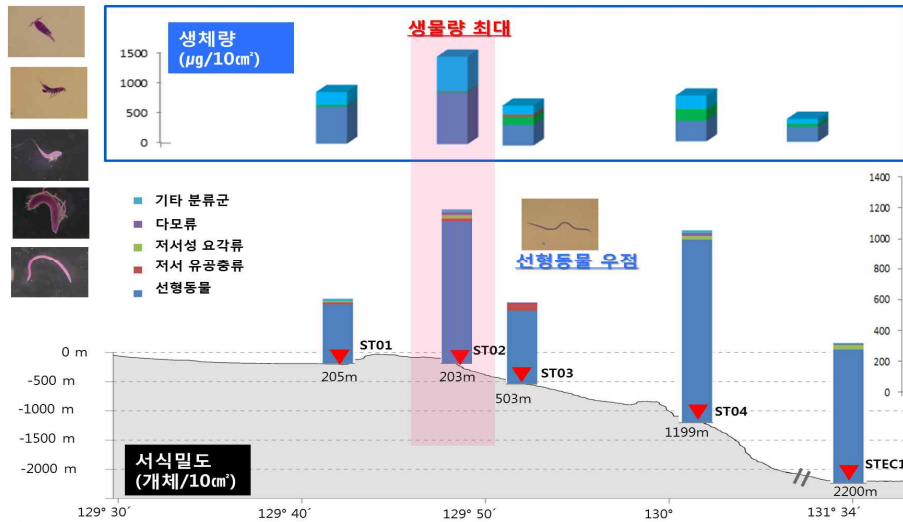
[조사지역내 우점생물종 분포도. (위에서부터 순서대로 물렁가시분홍새우, 살시빚살 거미불가사리, 빚살판불가사리, 요정채찍갯고사리, 진흙새우, 대게)]



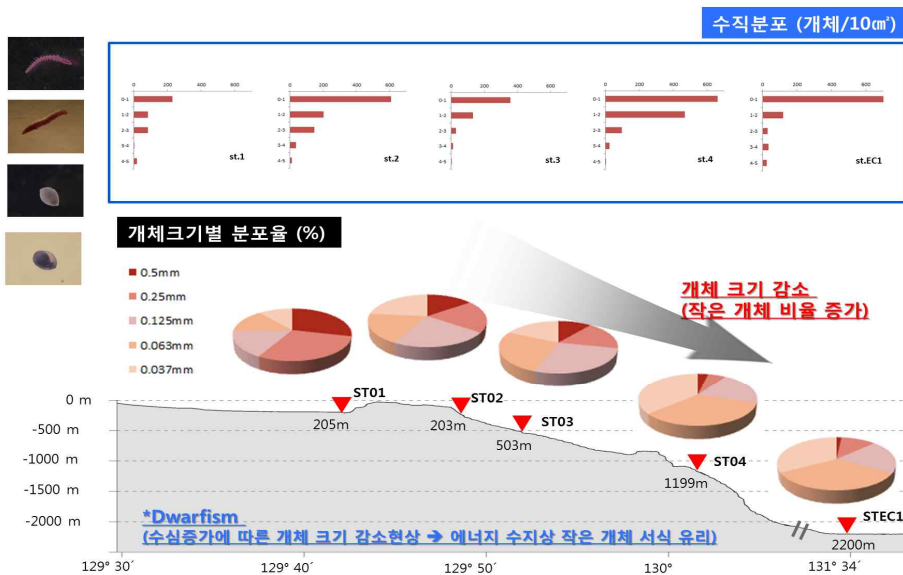
[정점 조사 결과 생물량이 높은 심해 생물종]

- 중형저서생물

- 후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 현존량을 정점별로 비교한 결과, 선형동물이 가장 우점하였으며, 후포퇴 후면 정점 2에서 최대 생물량을 나타냈음.



[5월 후포뱅크 및 울릉분지 각 조사정점의 심해 중형저서생물 서식밀도 및 생체량 분포 특성 비교]



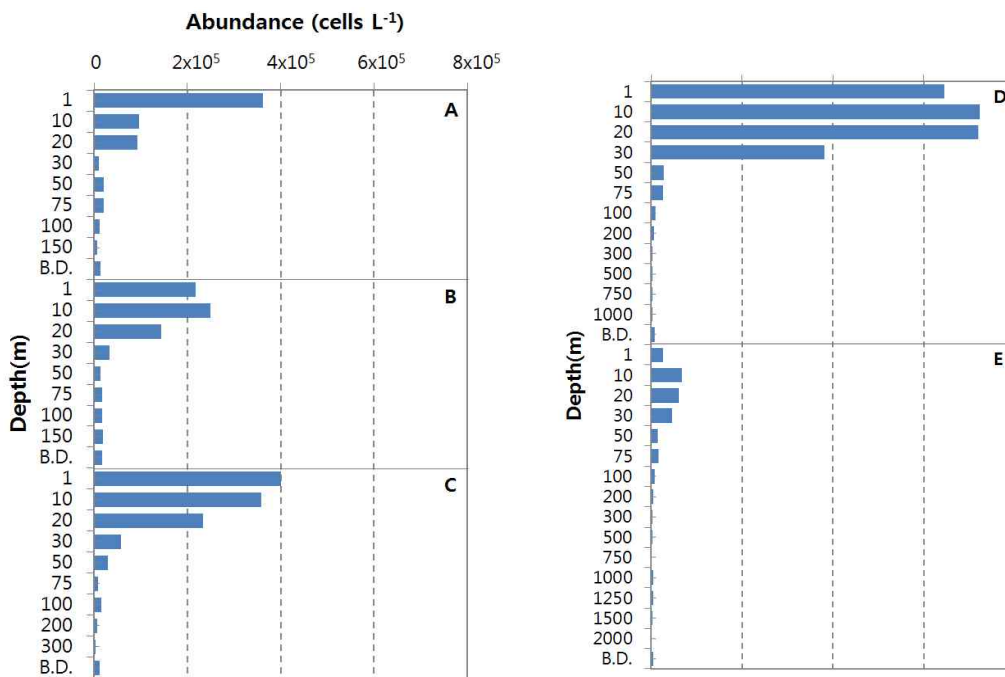
[5월 후포뱅크 및 울릉분지 각 조사정점의 심해 중형저서생물 군집의 수직분포 특성 및 개체 크기별 분포 특성 비교]

- 후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 퇴적물 내 수직 분포 분석한 결과, 대부분의 정점에서 표층 0-2cm 깊이에 대부분의 개체들이 서식하였음.
- 개체 크기별 분포 특성을 분석한 결과 수심증가에 따른 개체 크기 감소현상인 심해 생물의 Dwarfism (수심증가에 따른 개체 크기 감소현상으로 에너지 수지상 작은 개체 서식 유리하다는 이론)이 뚜렷하게 나타났음.

○ 심해생물과 표영생물간 상호관계성 파악

- 후포뱅크 표영생태계 식물플랑크톤 현존량 조사

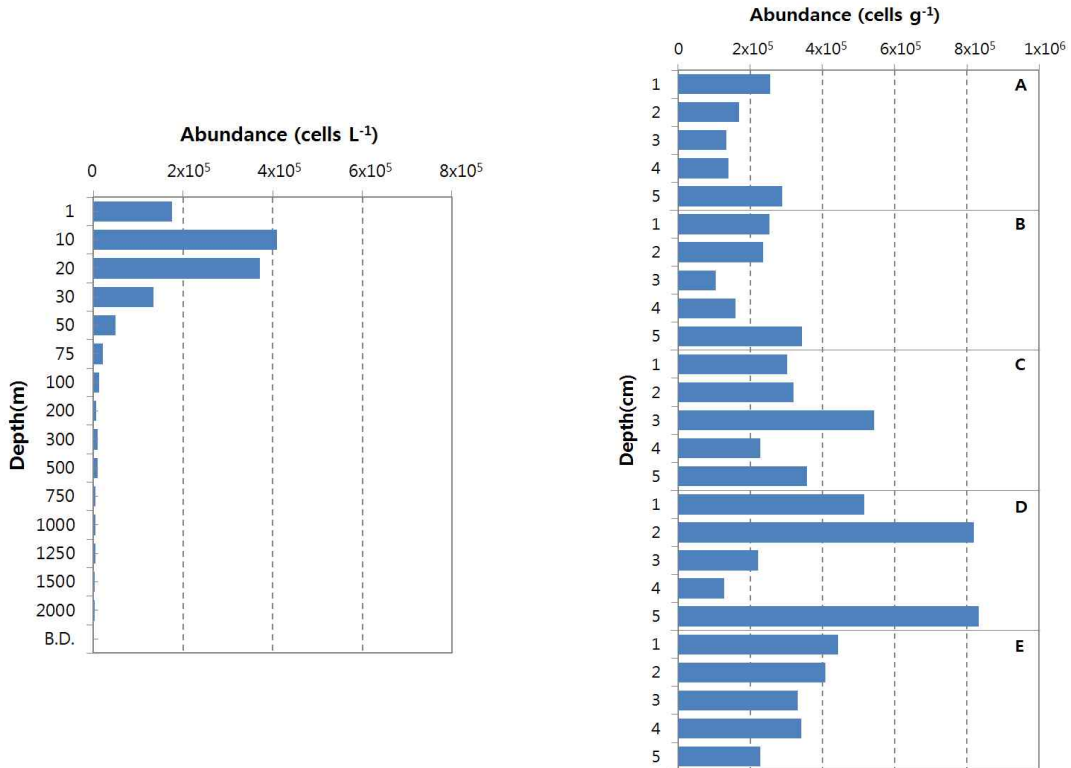
- 동해 심해 미소생물 생태계 이해를 위하여 후포뱅크 5개 정점에서 수심에 따른 식물플랑크톤의 현존량을 분석하였음.



[5월 후포뱅크 식물플랑크톤 현존량; A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) ST05]

- 후포뱅크의 5개 정점 중 ST04의 수심 1~30m에서의 식물플랑크톤 현존량이 다른 정점에 비해 상대적으로 높게 나타난 반면 ST05에서의 현존량은 전체 수심에서 낮은 현존량을 보였음. 전체적으로 수심이 깊어지면서 식물플랑크톤의 현존량이 감소하였고, ST05를 제외한 모든 정점에서 20m에서 30m로 내려가면서 현존량이 1.9~9.5배로 급감하는 경향을 보였음.

- 후포뱅크의 5개 정점과 울릉분지 EC-trap 정점의 수심 1~100m에서 식물플랑크톤 현존량을 비교할 때, EC-trap 수심 1m에서의 현존량은 ST05를 제외한 정점들보다 낮았고, 10~30m에서는 ST04를 제외한 정점들보다 높았음.



[5월 후포뱅크 식물플랑크톤 현존량; A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) ST05.] [후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 현존량 A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) EC-trap]

- 퇴적물 내 식물플랑크톤 군집 특성 조사

- 동해 심해 표영생태계와 심해생태계의 연계성을 이해하기 위하여 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 현존량을 분석하였는데, 당해 연도에는 후포뱅크 4개 정점과 울릉분지 1개 정점을 대표정점으로 선정하여 1~5cm로 나누어 정량 분석을 실시하였고, 이들의 현존량은 퇴적물 습중량(g)당 세포수로 표현하였음.
- 표영생태계와 퇴적물 내 식물플랑크톤의 현존량을 비교하면, ST04에서 표영생태계·퇴적물에서 모두 높은 현존량을 나타낸 것으로 확인되었음.
- 모든 정점의 퇴적물 내 식물플랑크톤은 규조강으로 나타났다. 그 중에서 ST01~03의 제 1 우점종으로 출현한 *Paralia sulcata*는 저서성이며 ST01 5cm, ST02

1cm, ST03 5cm, ST04의 전체 깊이, EC-trap 3cm에서 *Fragilaria cylindrus*는 제 1 우점종으로 나타남

[5월 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 우점종]

Station	Depth	1st	%	2st	%	3st	%
ST01	1cm	<i>Paralia sulcata</i>	29.5%	Unidentified (pennate)	15.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	11.6%
	2cm	<i>Paralia sulcata</i>	40.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	15.8%	Unidentified (round)	9.9%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	39.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.8%	Unidentified (round)	9.7%
	4cm	<i>Paralia sulcata</i>	24.6%	Unidentified (round)	18.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	17.5%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	23.5%	<i>Paralia sulcata</i>	21.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.8%
ST02	1cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	18.6%	<i>Thalassiosira</i> sp.	16.9%	<i>Paralia sulcata</i>	11.9%
	2cm	<i>Paralia sulcata</i>	17.8%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	13.9%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	25.3%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.1%
	4cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	32.6%	<i>Paralia sulcata</i>	22.5%	<i>Fragilaria</i> sp.	12.3%
	5cm	<i>Paralia sulcata</i>	18.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	17.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.9%
ST03	1cm	<i>Paralia sulcata</i>	21.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	17.5%
	2cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	20.0%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	11.1%	<i>Fragilaria</i> sp.	11.1%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	34.6%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	13.1%
	4cm	<i>Paralia sulcata</i>	30.5%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	22.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.9%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	25.6%	<i>Paralia sulcata</i>	20.9%	<i>Thalassiosira</i> sp.	16.3%
ST04	1cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	41.4%	<i>Paralia sulcata</i>	18.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	10.3%
	2cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	47.5%	<i>Thalassiosira</i> sp.	8.5%	<i>Dictyocha fibula</i>	5.1%
	3cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	28.9%	<i>Thalassiosira</i> sp.	22.1%	<i>Paralia sulcata</i>	9.4%
	4cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	32.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	24.7%	<i>Paralia sulcata</i>	14.2%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	20.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.3%	Unidentified (round)	10.8%
EC01	1cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.6%	Unidentified (round)	14.1%
	2cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	21.1%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.8%	<i>Paralia sulcata</i>	15.8%
	3cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	29.7%	<i>Dictyocha fibula</i>	13.5%	<i>Nitzschia</i> sp1	13.5%
	4cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.3%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	18.3%	<i>Paralia sulcata</i>	16.7%
	5cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	36.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	21.2%	<i>Tabularia fasciculata</i>	15.2%

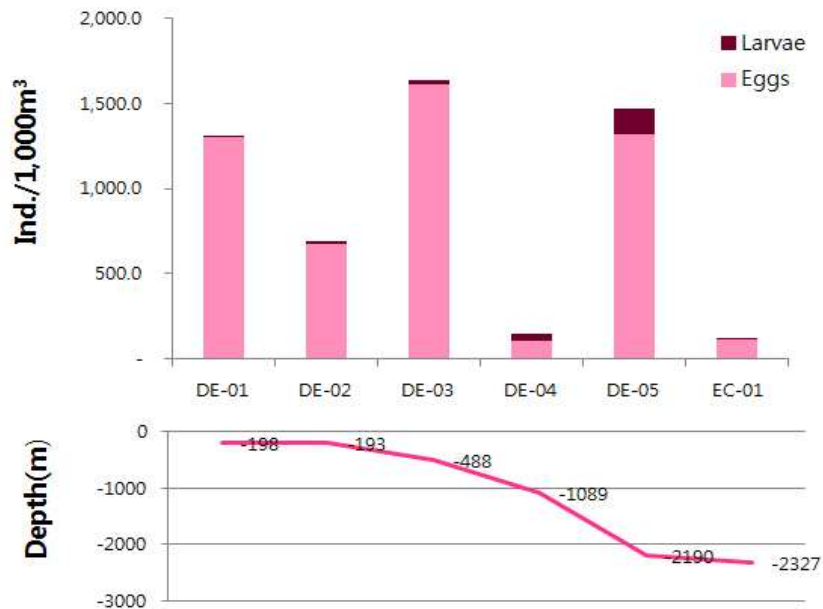
- 심해 어란 및 자치어

- 동해 심해에서 어란 및 자치어의 군집구조 조사를 위해, 후포뱅크와 울릉분지에 4개의 정선(정점 DE01~11, 정점 EC-01~05)을 설정하고 이 중에서 2014년 5월 27~31일에 후포뱅크 5개 정점(DE-01, DE-02, DE-03, DE-04, DE-05), 울릉분지 1개 정점(EC-01)에서 조사를 실시하였음.
- 조사기간 동안 출현한 어란은 멸치(*Engraulis japonicus*), 앨통이(*Maurolicus muelleri*)와 기타 어란으로 구분되었다. 멸치와 앨통이 어란 모두 전 조사정점에서 출현하였다. 출현비율은 멸치가 전체 출현량의 93.4%를 차지하여 우점하였고,

앨통이는 6.6%였으며, 기타 어란은 0.1% 미만이었다. 출현량 범위는 105.8~1613.7 개체/1,000m³였으며, 정점 DE-03에서 가장 높았고, DE-04에서 가장 낮게 나타났음.

[후포뱅크 및 울릉분지 해역에서 출현한 어란 및 자치어의 종조성(ind./1,000m³)]

Species	Korean name	Station						Total
		DE-01	DE-02	DE-03	DE-04	DE-05	EC-01	
Eggs								
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	1235.3	566.8	1548.4	88.3	1239.4	109.1	4,787.4
<i>Maurolicus muelleri</i>	앨통이	64.5	102.5	65.3	17.5	81.7	4.0	335.5
Others		0.4						0.4
egg total		1300.3	669.2	1613.7	105.8	1321.1	113.1	5123.3
Larvae								
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	0.4	9.2	12.7	19.9	121.8	3.5	167.5
<i>Maurolicus muelleri</i>	앨통이	1.3	10.0	9.6	19.2	23.1	0.3	63.5
Gobiidae sp.	망둑어류	0.9						0.9
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	기름가자미	0.4						0.4
Callionymidae sp.	돛양태류	0.4						0.4
<i>Glossanodon semifasciatus</i>	샛멸		0.2					0.2
Unidentified sp.			0.2					0.2
larvae total		3.5	19.6	22.3	39.1	144.9	3.9	233.3

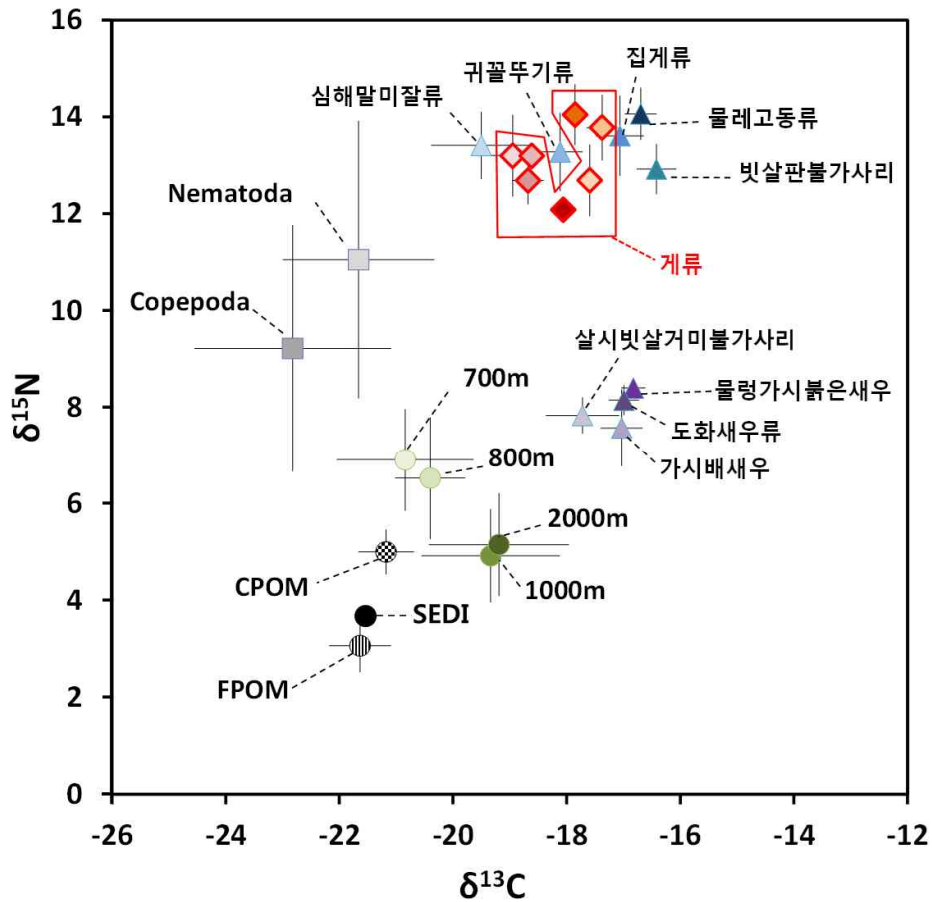


[후포뱅크 및 울릉분지에서 출현한 어란 및 자치어의 정점별 출현량]

- 조사기간 동안 출현한 자치어는 6개 분류군으로 동정되었고, 1종은 미동정되었다. 출현비율은 어란과 마찬가지로 멸치가 71.8%를 차지하여 우점하였고 다음으로 앨통이가 27.2%였으며, 이 두 종은 전 조사정점에서 출현하였다. 나머지 종은 망둑어류(Gobiidae sp.), 기름가자미(Glyptocephalus stelleri), 돛양태류(Callionymidae sp.), 샛멸(Glossanodon semifasciatus) 등이었음.

○ 심해 저서생물 먹이망 조사

- 울릉분지 심해 저서 주요 수산생물인 붉은대게와 대게의 어업생산량 유지 요인을 파악하기 위한 안정동위원소 비를 활용하여 유기물 공급 및 경로 파악 및 먹이연쇄를 분석함
- 대상시료
 - 퇴적물 : 동해 후포뱅크 주변에 채집된 표층퇴적물
 - 식물플랑크톤 (CPOM) : 동해 후포뱅크 주변에 채집된 식물플랑크톤 (>20 μ m)
 - 부유입자 (FPOM) : 동해 후포뱅크 주변 해수 중 부유입자 (<20 μ m)
 - 침강입자 : 울릉분지 사면 및 EC-01의 Sediment Trap 시료
 - 중형저서생물 : 울릉분지 심해 퇴적물 서식 중형저서동물 (선충류, 저서성요각류)
 - 대형저서생물 : 울릉분지 서식 대형저서동물 (귀꼴뚜기류, 물레고둥류, 집게류, 심해말미잘류, 빗살판불가사리, 살시빳살거미불가사리, 가시배새우, 물렁가시붉은새우, 도화새우류)
 - 수산심해생물 : 울릉분지 서식 중형저서동물, 홍게, 대게, 털게
- 표층해수의 CPOM(식물플랑크톤)과 FPOM(부유입자)의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 각각 -21.18 (± 0.48)와 5.00(± 0.46), -21.63(± 0.54)와 3.06(± 0.54)이었음
- 침강유기입자물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 수심 700m, 800m, 1000m, 2000m에서 각각 -20.84(± 1.20)와 6.90(± 1.05), -20.40(± 0.61)와 6.52(± 1.25), -19.33 (± 0.48)와 4.92(± 0.96) 그리고 -19.19(± 1.23)와 5.15(± 1.06)이었음
- 퇴적물내 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 -21.67, 3.56으로 부유입자의 동위원소 값과 거의 같은 값을 나타냄
- 표층에서 채집된 입자유기물질과 침강하는 입자유기물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 유사한 것으로 미루어, 표층에서 생산된 유기물이 비교적 보존된 상태로 저층까지 전달 되는 것으로 판단됨



[조사해역에서 채집한 소비자 동물들과 잠재 기원유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값 분포
 [퇴적물 (SEDI), 침강입자(후포뱅크 700 m 그리고 800 m; EC-trap 1000 m 그리고 2000 m), 중형저서생물 Ne(nematoda), Co(coepoda), 대형저서생물 (생물명 직접표시), JO(죽변대게, 2015), JO'(죽변대게, 2014), SO(속초대게), HJ(해미래홍게), YJ(영덕홍게), SJ(속초홍게), SI(속초털게)]

- 영덕, 죽변, 그리고 속초에서 채집된 홍게, 대게, 털게의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 범위는 각각 $-19.28\text{‰} \sim -16.98\text{‰}$ (평균±편차= -18.10 ± 0.65) $11.95\text{‰} \sim 14.76\text{‰}$ (평균±편차= 13.18 ± 0.83)으로 먹이망내 최상위에 위치함
- 영양단계를 통하여 안정동위원소비 값의 분별효과가 나타나는데 보통 한 영양단계 당 탄소안정동위원소 비값은 약 +1‰ 내외, 질소안정동위원소 비값은 약 +2~5‰ 정도의 분별효과가 나타남.
- 동위원소 분별효과를 고려했을 때, 저층에 서식하는 게류는 식물플랑크톤에서 유래된 침강유기입자물질을 1~2 영양단계를 거쳐 섭이하는 것으로 보임

- 중형저서동물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 이들이 침강유기입자물질과 상위 영양단계인 계류를 이어주는 먹이연쇄상 중간 단계인 것으로 판단되지만 넓은 범위의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 계류까지 이어지는 먹이연쇄에 또 다른 요소가 있을 가능성을 시사함
- 울릉분지에 서식하는 심해 대형저서생물의 동위원소값이 새우류를 포함한 일부그룹을 제외하고 대계류와 거의 같은 생태적 지위를 나타내서, 대계의 주요 먹이원은 주로 이보다 크기가 작은 갯지렁이 혹은 유영성 심해생물의 사체일 가능성이 높음

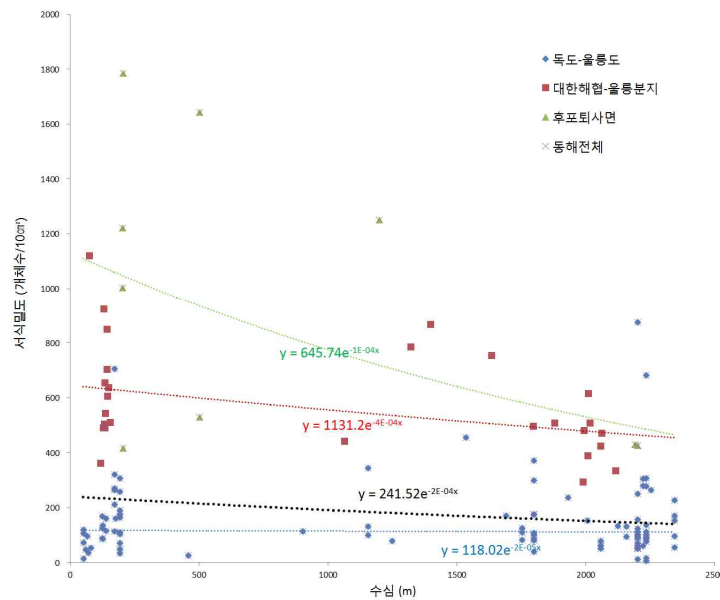
○ 심해저서생물 반응 연구

- 동해 심해 저서생태계의 환경변화에 대한 반응을 이해하기 위해 표영생태계의 주요 생물요소 및 저층 서식환경 요인과 저서생물량과의 상관 관계를 분석함
- 수심, 대형저서생물(서식밀도, 개체수), 표영생물(표층 식물플랑크톤 개체수, 퇴적물 식물플랑크톤 개체수, 어란 밀도, 자치어 개체수), 퇴적물특성(총유기탄소량, 평균 입도, 분급도), 중형저서생물(우점분류군 서식밀도, 생체량, 분류군수) 값을 상관 분석(SPSS) 실시

[후포뱅크-울릉분지 표영-저서-환경 특성 인자간 상관분석 결과. (+): 유의수준 0.01에서 양의 상관관계, (-) 유의수준 0.01에서 음의 상관관계]

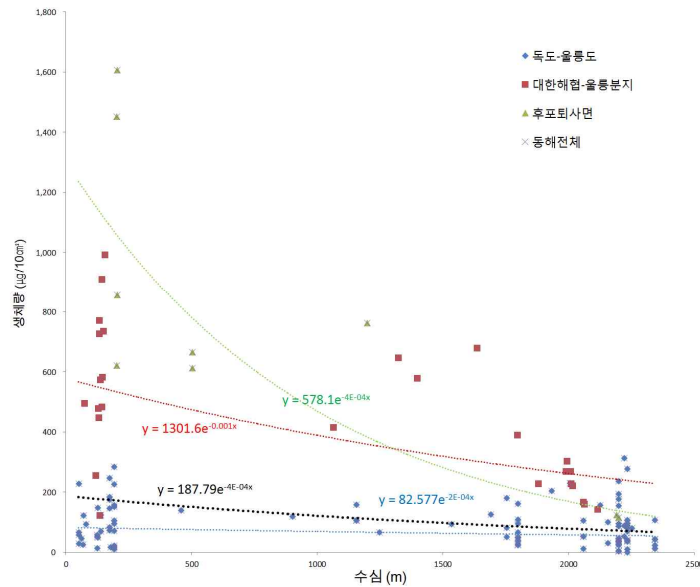
		대형저서생물		표영생태계		퇴적물 특성		중형저서생물 서식밀도				중형저서생물 생체량			중형저서생물 출현분류군 수		
		수심	서식밀도	출현종수	표층 식물플랑크톤 개체수	퇴적물 식물플랑크톤 개체수	어란 밀도	자치어 개체수	TOC	선형동물	유공충류	갑각류 유생	동문동물	총서식밀도		선형동물	요각류
수심			(-)				(+)						(-)	(+)			
대형저서생물	서식밀도									(+)							
	출현종수	(-)					(-)						(+)	(-)			
표영생태계	표층 식물플랑크톤 개체수				(+)	(+)											
	퇴적물 식물플랑크톤 개체수			(+)		(+)											
	어란 밀도											(-)					(+)
	자치어 개체수			(+)	(+)												
퇴적물 특성	TOC	(+)	(-)										(-)	(+)			
중형저서생물 서식밀도	선형동물			(+)									(+)				
	유공충류																(+)
	갑각류 유생																
	동문동물					(-)											(-)
	총서식밀도							(+)									
중형저서생물 생체량	선형동물	(-)	(+)				(-)								(-)		
	요각류	(+)	(-)				(+)							(-)			
	유공충류					(+)						(-)					
중형저서생물 출현분류군 수													(+)				

- 분석결과, 표영생태계 인자와 저서생태계 인자는 유의한 관계성을 나타내지 않았으며, 표영생태계 내에서 식물플랑크톤의 현존량은 자치어 개체수 값과 양의 상관관계를 나타냄
- 대형저서생물과 중형저서생물의 일부 분류군 현존량 사이에 상관관계를 나타냈으나 전체 생물량은 유의한 관계성을 나타내지 않았음
- 환경요인중에는 수심이 대형저서생물 출현종수와 중형저서생물 우점분류군 서식 밀도와 유의한 상관관계를 나타냈으며, 퇴적물 내 유기탄소 총량도 수심증가에 따라서 증가하는 양상을 보였음



[동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 서식밀도 감소율 비교]

- 수심 증가에 따른 중형저서생물 서식밀도, 생체량 감소율 비교 (독도-울릉도 지선, 대한해협-울릉분지, 후포퇴사면, 동해전체) 결과, 후포퇴 사면의 감소율이 가장 크게 나타났음
- 후포뱅크-울릉분지 경사면에서 가장 높은 서식밀도, 생체량 나타냄
- 수심증가에 따른 서식밀도/생체량 감소율은 후포퇴>대한해협-울릉분지>독도-울릉도 순으로 나타남
- 이상의 결과에서 표영-저서 생태계의 관계성은 명확히 통계적 관련성을 나타내지 않았지만, 수심과 저층 환경의 먹이 제한요인과 관계성을 나타내서 각 수심대별 먹이망 구조가 다를 것으로 예상되며, 향후 많은 자료들이 축적되면 통계적인 유의성이 높은 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대됨



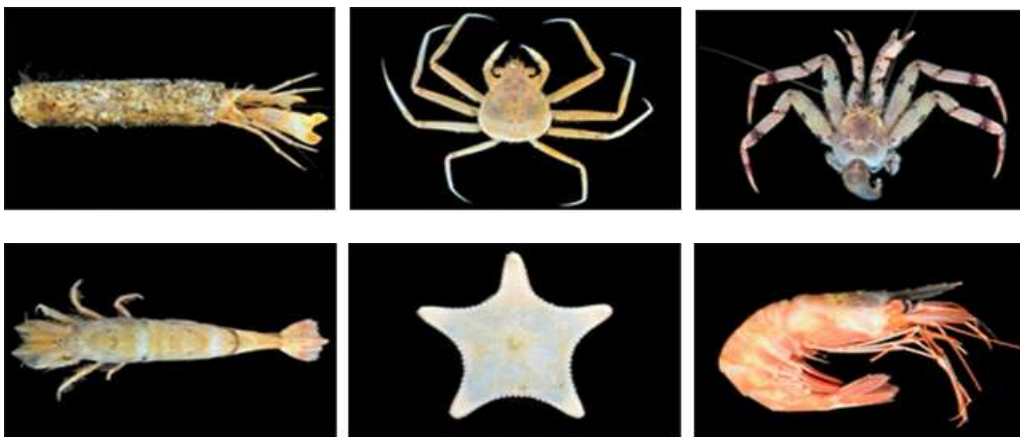
[동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 생체량 감소율 비교]

□ 심해생물자원의 활용체계 마련

- 심해생물자원 활용체계 마련 연구분야는 1차년도 연차평가결과 연구범위 축소에 의해 1차년도에 중단되었기 때문에 1차년도에 수행한 내용만 요약 정리함.

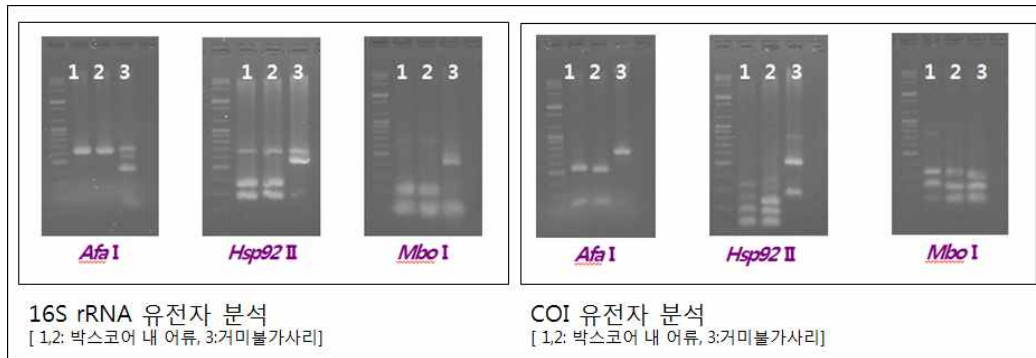
○ 동해 심해생물 종별 기초정보 생산

- 생물종별 개체(들)에 대한 디지털 기록(사진 또는 영상)을 체계화하여 일부시료에 대해 기록 및 개체 장기 보관



[현장조사에서 채집된 심해 대형/초대형 우점종 (진흙새우, 빛살판불가사리, 북방갯가꼬마새우, 뿔조개집게, 대게, 작은배참집게)]

- 빚트롤 및 박스코어 내에서 확보한 시료의 genomic DNA typing은 PCR-RFLP 기법을 이용하여 미토콘드리아 DNA의 16S rRNA 유전자 및 COI 유전자 영역을 증폭하여 제한효소로 절단하여 패턴을 확인하였음.



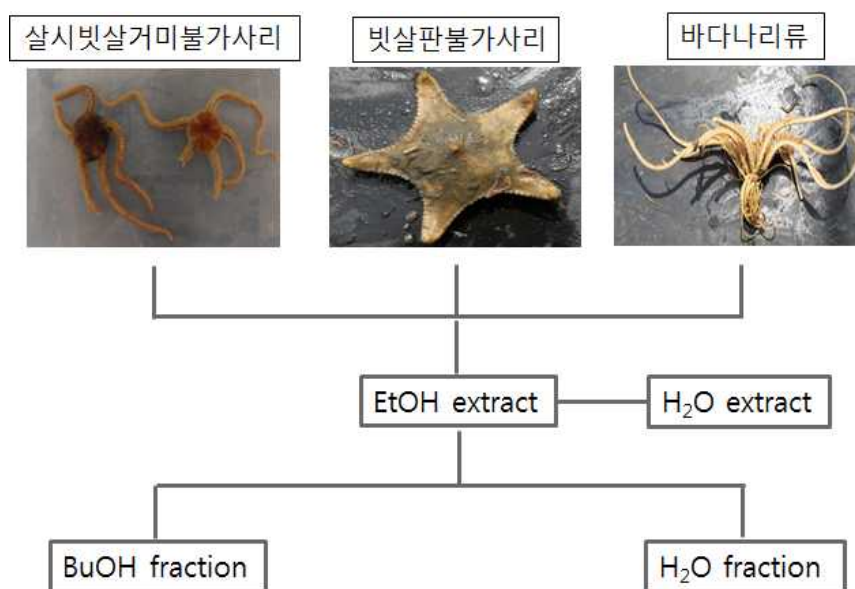
[빚트롤 및 박스코어 내 시료의 PCR-RFLP 분석]

- 후포뱅크 인근 심해역에서 어류시료 11종(기름가자미, 도루묵, 뚝지, 먹걸치, 벌레문치, 빨간대구, 얼룩수배기, 우렁성치, 청자갈치, 칠성갈치, 황아귀) 83개체를 확보하였음. 11종 시료의 미토콘드리아 DNA를 분석하였으며, 16S rRNA 유전자와 COI 유전자 염기서열을 분석하였음.

○ 상업적 활용 가능 정보 탐색

- 심해생물 배양/사육 기술 개발
 - 1차 심해 조사에서 채집된 개체 중 우점종 (빛살판불가사리, 대게, 작은배참집게, 뿔조개집게, 진흙새우)을 선별하여 4°C로 유지되는 순환사육 수조로 옮겨 관찰함.
 - 먹이는 EP사료, 혼합 건조 파우더, 고동류 등을 제공하였음.
 - 빛살판불가사리의 경우, 채집부터 수조로 옮겨 순치하며 관찰할 때까지 약 3주 정도 생존하였는데, 먹이 섭취 흔적이 없는 것으로 보아 영양 공급 부족으로 사망한 것으로 사료되며, 먹이 공급만 이루어진다면 장기 사육이 가능할 것으로 판단됨.
 - 또한, 1차 조사 우점종 중 절지동물류인 대게, 작은배참집게, 뿔조개집게, 진흙새우 등도 4°C로 유지되는 순환사육 수조에 사육을 실시하였음.
 - 이들 절지동물의 경우에는 혼합 파우더 및 고동류 등의 먹이를 섭취한 흔적이 발견 되었고 장기 사육이 가능할 것으로 판단됨.
- 심해 생물에서 극성/비극성물질 추출 및 항암활성 실험
 - 각 정점별 채집을 통해 살시빛살거미불가사리 8.4kg, 빛살판불가사리 1.25kg,

바다나리류 1.7kg을 획득하여 ethanol을 이용하여 추출 후, 추출물을 제조한 결과 살시빛살거미불가사리는 19.06g, 빛살판불가사리는 42.5g, 바다나리류는 27.76g의 에탄올 추출물을 획득함.



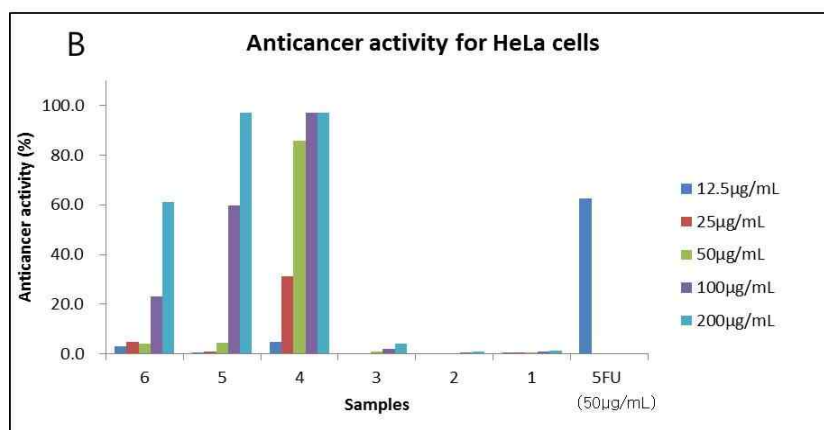
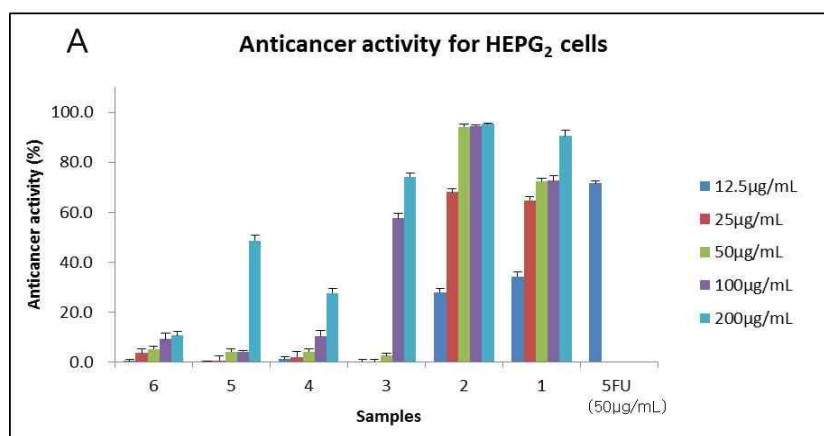
[동해 심해 해양생물로부터 EtOH 추출물, 용매분획물, 물 추출물 제조 과정]

- 각 시료에 함유되어 있는 극성 및 비극성 화합물을 분획하기 위하여 BuOH와 H₂O를 이용하여 용매분획을 시도한 결과 살시빛살거미불가사리는 총 8.41g의 EtOH-BuOH fraction, 8.65g의 EtOH-H₂O fraction을 획득함. 빛살판불가사리는 21.42g의 EtOH-BuOH fraction과 21.08g의 EtOH-H₂O fraction을 획득하였고, 바다나리류는 13.52g의 EtOH-BuOH fraction과 14.24g의 EtOH-H₂O fraction을 획득함.
- 또한, 열수 추출을 이용하여 H₂O extracts을 획득함. 살시빛살거미불가사리는 31.80g, 빛살판불가사리 22.95g, 바다나리류 18.75g의 열수 추출물을 획득함.
- 살시빛살거미불가사리의 proton NMR spectrum에서는 BuOH 용매 분획물 보다는 BuOH-H₂O 용매 분획물에서 다양한 대사산물이 함유되어 있는 것으로 예상됨. 특히 BuOH-H₂O 분획물의 7.8-8.2 ppm에 보이는 peak와 8.4-8.8 ppm에 보이는 peak는 furan 구조의 화합물이 함유되어 있을 것으로 예상됨.
- 빛살판불가사리의 proton NMR spectrum 분석결과 역시 BuOH 용매 분획물 보다는 BuOH-H₂O 용매 분획물에서 다양한 대사산물이 함유되어 있는 것으로

예상됨. 특히 2.5-4 ppm 사이에 보이는 peak는 다양한 phenolic compounds가 함유되어 있을 것으로 예상됨.

[동해 심해 해양생물로부터 추출된 다양한 추출물의 수율]

	EtOH extracts (g)	EtOH-BuOH fraction (g)	EtOH-H ₂ O fraction (g)	H ₂ O extracts (g)
살시빗살거미 불가사리	19.06	8.41	8.65	31.80
빗살판 불가사리	42.50	21.42	21.08	22.95
바다나리	27.76	13.52	14.24	18.75



[동해 심해 해양생물 유래 EtOH 및 H₂O 추출물의 항암활성 (A: HEPG2 세포에 대한 항암활성, B: HeLa 세포에 대한 항암활성[1: 바다나리 EtOH 추출물, 2:

빗살판불가사리 EtOH 추출물, 3: 살시빗살거미불가사리 EtOH 추출물 4: 살시빗살거미불가사리 H₂O 추출물, 5: 바다나리 H₂O 추출물, 6: 빗살판불가사리 H₂O 추출물]]

- 바다나리의 proton NMR spectrum 분석결과 BuOH 분획물이 BuOH-H₂O 분획물보다 다양한 화합물이 함유되어 있을 것으로 예상됨. 2.5-3.6 ppm 사이에 있는 peak는 OCH₃를 함유한 화합물이 존재 할 것으로 예상되며, 0.8 ppm에 있는 peak는 CH₃의 말단기를 갖고 있는 화합물이 존재 할 것으로 예상됨.
- HEPG2 세포에 대한 동해 심해 해양생물 유래 EtOH 추출물은 바다나리 EtOH 추출물이 12.5 ug/mL 농도에서 약 35%의 항암활성을 보이면서 가장 높은 활성을 나타냄. 하지만 50 ug/mL 이상의 농도에서는 빛살판불가사리 EtOH 추출물이 약 95%의 항암활성을 보이면서 가장 높게 나타남. 살시빛살거미불가사리 EtOH 추출물은 100 ug/mL에서도 약 60%의 낮은 항암활성을 보임.

○ 심해 해양생물 자원 뱅크 구축

- 심해생물 표본 제작 및 확보

- 국내에 희소성이 높은 심해 생물에 대한 표본을 제작하고 장기보관하기위하여 채집된 생물을 분류한 후 액침, 건조 표본으로 제작함.
- 작은배참집게 및 진흙새우 3종은 건조표본으로 제작.



[건조표본 제작 심해 대형/초대형 우점종(대게:위, 작은배참집게:아래 좌, 진흙새우:아래 우)]

- 또한, 절지동물류인 대게, 작은배참집게, 진흙새우, 빨조개집게, 극피동물류인 빛살판불가사리 및 연체동물류인 북방명주매물고둥 등 6종은 액침표본 제작



[액침표본 제작 심해 대형/초대형 우점종(빛살판불가사리, 진흙새우, 북방명주매물고둥, 대게, 빨조개집게 및 작은배참집게)]

Deep_Eastsea

- Base_station
- basemap
- Station_1
- benthos
 - benthos_Individual
 - benthos_faunada
 - benthos_species
- chemistry
 - chemistry_201402
 - chemistry_201404
 - chemistry_201405
- physics
 - physics_201402_CTD_1m
 - physics_201404_CTD_1m
 - physics_201405_CTD_1m
 - physics_201408_CTD_1m
- thalassosammon
 - thalassosammon
 - Larvae
 - thalassosammon_biomass
 - thalassosammon_density
 - thalassosammon_depth_density
 - thalassosammon_sieve_size_individual
- topography
 - topography_1
 - topography_2
 - topography_3
- working
 - Hupo_bathy

조사정형

ObjectID	Shape	StationID	Lon	Lat
Point				

수심

ObjectID	Shape	Stretched_Value	Pixel_Value
Raster			

DGPS

ObjectID	Shape	Lon	Lat
Point			

해안선

ObjectID	Shape	Id	Shape_Length
Polyline			

조사도면

ObjectID	Shape	Id	Shape_Length
Polyline			

해수환경-물리/화학

ObjectID	StationID	Date	Time	Depth	Temperature	POTemp	Salinity	DO_Mm	DO_M	FECO	Par	Xniss	Sigma-T	Sigma-Th	Shape
1	DE01	2014.5.26	23:51	15.088	14.557	14.1	34.717	6.418	1.749	0.872	999.999	25.3	25.3	Point	

저서생물 개체수/종원종수/종원종 목록

ObjectID	StationID	Decapoda	Echinoderm	Gastropoda	Bivalvia	Cephalopod	Scaphopoda	Polychaeta	Total	Shape
1	Hupo01	761	11	28	2	18	0	0	820	Point

간극생물 정량형/서식형태/색크기별 개체수

ObjectID	StationID	Nematodes	Copepods	Benthic_Feraminiferans	Others	Shape
1	ST01	618.1675	26.6564	240552	210.1716	Point

식물플랑크톤 원종명/종원종(해수)/원종명/종원종(퇴적물)

ObjectID	StationID	Date	Depth	Total_Cell_Num	Shape
1	ST01	2014.5.27	1	952.000	Point

어간/자지어 원종명

ObjectID	StationID	Date	GroupName	SpeciesName	Cell_Num	Shape
1	ST01	2014.5.27	Eggs	Muraulus muelleri	64.5	Point

퇴적물 금속/금속성분/함량/입도분석

ObjectID	StationID	Depth(cm)	Ammonium	Nitrite	Nitrate	Phosphate	Silicate	Shape
1	DE01	1	58.7	0.392	1.023	14.9	442	Point

[동해 심해 해양자료의 데이터셋과 테이블]

- 심해 자료관리 기본 설계
 - 동해 심해환경 및 생물자료의 DB는 설계한 데이터 모델을 기반으로 물리환경, 해수화학환경, 대형저서생물, 중형저서생물, 부유생물, 해저지형, 퇴적물 데이터셋을 정의하였고, 각각의 데이터셋에는 관리항목에서 선정한 속성정보를 객체클래스로 생성하여 ArcGIS의 Personal Geodatabase로 구축함.

목 차

제 출 문

요 약 문	1
목 차	41
표 목 차	44
그림 목차	45

제 1 장 서 론

1

제 1 절 서론

3

1. 동해의 자연환경

3

제 2 절 동해심해연구의 중요성

14

제 2 장 동해 울릉분지 심해 해수 순환

17

제 1 절 울릉도-독도 심층순환의 평균 분포 특성 조사

19

1. 울릉도 독도간 심층순환의 평균 분포 특성 조사

19

2. 울릉분지 층별 수괴구조 분석

19

제 3 장 동해 울릉분지 심해 물질 순환

27

제 1 절 울릉분지 표층 생물생산력 변화 조사

29

1. 천리안 위성자료 이용 울릉분지 표층생물생산 변화 조사

29

2. MODIS Aquar 위성자료 이용 울릉분지 표층생물생산 변화 조사

31

제 2 절	울릉분지 심해 유입물질 특성 및 플럭스 변화 조사	35
1.	침강입자 포집기(Sediment Trap) 계류 현황	35
2.	울릉분지의 총입자 플럭스 변화 특성	37
3.	표층생물생산력 변화와 심해유입물질 플럭스와의 관계	39
4.	울릉분지 심해 유입물질 특성	40
5.	울릉분지 입자성유기탄소(POC) 수치 계산	41
제 4 장	동해 울릉분지 심해 서식지 환경특성	45
제 1 절	후포뱅크 해역 해수환경 특성 조사	47
1.	2014년 조사	47
2.	2015년 조사	50
3.	2016년 조사	54
4.	울릉분지 심해 이산화탄소 흡수율 계산	57
제 2 절	후포뱅크 주변 심해 서식지 퇴적물 환경 조사	59
1.	후포뱅크 사면 측선 해저지형 조사	59
2.	후포뱅크 사면 표층퇴적물 특성 조사	61
3.	후포뱅크 사면 연직 퇴적물 특성 조사	66
제 5 장	동해 울릉분지 심해 서식생물 특성	75
제 1 절	심해생물 다양성 및 군집 조사	77
1.	심해 서식생물 특성 조사	77
제 2 절	심해생물과 표영생물간 상호관계	92
1.	표영생태계 식물플랑크톤 현존량 조사	92
2.	표영생태계 식물플랑크톤 군집구조 조사	95
3.	후포뱅크-울릉분지 수심별 식물플랑크톤 군집구조 비교	99
4.	퇴적물내 식물플랑크톤 군집 조사	102
5.	심해 어란 및 자치어 조사	110
6.	심해 저서생물 반응 조사	113

제 3 절	심해 저서생물 먹이망 조사	115
1.	심해 저서생물 먹이 특성 분석	115
2.	안정동위원소 이용 울릉분지 심해 저서먹이망 분석	123
제 6 장	동해 울릉분지 심해 생물자원의 활용체계 마련	127
제 1 절	동해 심해생물 종별 기초정보 생산	129
1.	심해생물 종별 기초정보 생산	129
2.	상업적 활용 가능 정보 탐색	139
3.	심해 해양생물 자원 बैं크 구축	143
참고문헌	149

표 목 차

표 3-1-1 울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 Pixel별 범위	32
표 3-1-2. 울릉분지에서 수행된 Sediment Trap실험 현황표	36

그림 목차

그림 1-1-1. 동해의 지리적 특징	3
그림 1-1-2. 동해 해저지형도	4
그림 1-1-3. 정기여객선에 장착된 ADCP로 관측된 대한해협 수송량의 5년간 변화 양상(Takikawa et al., 2005)	6
그림 1-1-4. RIAMOM을 이용한 동해 연평균 표층 수온 및 해류 모사 결과	7
그림 1-1-5. 동해 심층 수온의 증가 및 용존 산소의 감소	8
그림 1-1-6. 동해 심층 대류의 변화로 인한 저층수 생성 중단 모식도	9
그림 1-1-7. 2040년경 동해 저층수가 중층수로 대체되는 변화를 보여주는 실험 결과 ...	9
그림 1-1-8. 인공위성 추적 중층 부표(ARGO)로 계산된 동해 중층 순환 모식도	10
그림 1-1-9. 대한해협 해류계의 모식도	11
그림 1-1-10. 동해 표층퇴적물 입도 분포	12
그림 1-2-1. 후포뱅크-울릉분지 해저 단면도	14
그림 1-2-2. 동해의 홍계 및 대계 수산자원	14
그림 2-1-1. 울릉도-독도 사이 심층에서 수심 500m와 2100m의 해류 및 수온 관측 결과	19
그림 2-1-2. 2014년 5월 관측정점	20
그림 2-1-3. 2014년 5월 수심별 수온, 염분, 용존산소량, fluorescence	21
그림 2-1-4. 2014년 5월의 T-S diagram	22
그림 2-1-5. 후포뱅크 관측정점도	23
그림 2-1-6. 2013년 2월 - 2014년 8월까지의 C1,C3,C7정점의 수심별 수온(좌), 염분(우)	24
그림 2-1-7. 울릉도-독도사이 해역에서 1994~2014년 동안의 층별 수온 분포 ...	24
그림 2-1-8. 2013년 2월 - 2014년 8월까지의 정점별 최대염분(좌) 및 5℃ 등 온면의 수심(m)(우).	25
그림 2-1-9. Aqualog profiler에서 관측한 유속의 연직분포	26

그림 3-1-1. 위성자료 이용 표층 일차생산력 조사 해역 범위	29
그림 3-1-2. 일차생산력 산출 프로그램 A) GDPS, B) MATLAB	30
그림 3-1-3. 프로그램을 이용한 일차생산력 결과 분석 A) GDPS, B) MATLAB	30
그림 3-1-4. 울릉분지 및 EC-1 표층 일차생산력 변화	31
그림 3-1-5. Ocean Productivity Website	32
그림 3-1-6. 울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 픽셀	33
그림 3-1-7. 울릉분지 표층생물생산력의 시간 변화	33
그림 3-2-1. Sediment Trap 계류 위치 및 계류라인 설계도	35
그림 3-2-2. 동해 울릉분지의 Total Massflux 시간변화	37
그림 3-2-3. 동해 울릉분지의 수심별 Total Massflux 시간변화	38
그림 3-2-4. 동해 울릉분지의 Total Massflux, Bio-Si, Al의 시간변화	38
그림 3-2-5. Total Massflux 및 VGPM 값의 시간변화	39
그림 3-2-6. Total Massflux 및 Organic Carbon Flux에 대한 VGPM 값의 상관관계	40
그림 3-2-7. 침강입자의 금속성분의 Al에 대한 상관관계 및 농축계수	41
그림 3-2-8. 동해 울릉분지의 POC 수치	42
그림 4-1-1. 후포 뱅크 조사 정점도	47
그림 4-1-2. 2014년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 수온과 염분 수직 분포도	48
그림 4-1-3. 2014년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 용존 산소와 질산염 수직 분포도	49
그림 4-1-4. 2015년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도	51
그림 4-1-5. 2015년 a)수온, b)염분, c)용존산소, d)질산염, e)규산염, f)인산염 수직 분포도	52
그림 4-1-6. 2015년 외해쪽 후포뱅크 조사 정점	53
그림 4-1-7. 2015년 EC-01 정점에서의 수온, 염분, 용존산소, 질산염, 인산염, 규산염 농도의 수직변화	54
그림 4-1-8. 2016년 겨울 (2월)과 봄 (4월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도	55

그림 4-1-9. 2016년 여름 (8월)과 가을 (11월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도	56
그림 4-1-10. 13년 (1999-2012) 동안 흡수된 대기 이산화탄소의 수직분포도	58
그림 4-2-1. 단빔(정점연결측선 4월, 9월)과 멀티빔(500~900m 10월)을 이용한 해저지형조사	59
그림 4-2-2. Line-1의 해저지형 단면	60
그림 4-2-3. Line-2의 해저지형 단면	60
그림 4-2-4. Line-3의 해저지형 단면	61
그림 4-2-5. 박스코어를 이용하여 퇴적물 채취(5월, 10월)	61
그림 4-2-6. ST01~ST05의 퇴적물 위치와 사진	62
그림 4-2-7. ST06~ST08의 퇴적물 위치와 사진	62
그림 4-2-8. ST09과 EC01의 퇴적물 위치와 사진	63
그림 4-2-9. 표층 퇴적물의 삼각다이어그램(좌)과 입도분석(우)	63
그림 4-2-10. 표층 퇴적물의 입도분포와 매개변수	64
그림 4-2-11. 표층퇴적물의 입도 누적 분포에 의한 표층 퇴적물의 퇴적 기작	64
그림 4-2-12. 후포뱅크 심해저 퇴적물간의 비응집성 실트의 함량	65
그림 4-2-13. 후포뱅크 심해 각 정점의 표층퇴적물 유기탄소 분포	65
그림 4-2-14. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 총 유기탄소 함량 분포	66
그림 4-2-15. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 유기탄소와 질소의 비	67
그림 4-2-16. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 금속원소 함량 분포	68
그림 4-2-17. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 바나듐과 알루미늄의 비	69
그림 4-2-18. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 크롬과 알루미늄의 비	69
그림 4-2-19. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 니켈과 알루미늄의 비	70
그림 4-2-20. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 구리와 알루미늄의 비	70
그림 4-2-21. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 아연과 알루미늄의 비	70
그림 4-2-22. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 비소와 알루미늄의 비	71
그림 4-2-23. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 카드뮴과 알루미늄의 비	71
그림 4-2-24. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 납과 알루미늄의 비	72
그림 4-2-25. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 암모늄 분포	72

그림 4-2-26. 후포 댕크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 질산염 분포	73
그림 4-2-27. 후포 댕크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 질산염 분포	73
그림 4-2-28. 후포 댕크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 인산염 분포	74
그림 4-2-29. 후포 댕크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 규산염 분포	74
그림 5-1-1. 대형/초대형 저서 생물 군집 특성 조사 정점 및 각 정점당 수심	77
그림 5-1-2. 동해 해양변동에 따른 어란 및 자치어 최적 감시체제	80
그림 5-1-3. 조사지역내 우점생물종 분포도	80
그림 5-1-4. 정점 조사 결과 생물량이 높은 종	86
그림 5-1-5. 2014년 5월 후포댕크 및 울릉분지 각 조사정점의 심해 중형저서 생물 서식밀도 및 생체량 분포 특성 비교	87
그림 5-1-6. 2015년 4월 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 간극생물의 현존량 비교	88
그림 5-1-7. 2014년 5월 후포댕크 및 울릉분지 각 조사정점의 심해 중형저서생물 군집의 수직분포 특성 및 개체 크기별 분포 특성 비교	88
그림 5-1-8. 2015년 4월 조사해역의 중형저서생물의 수직분포 및 개체크기별 분포특성	89
그림 5-1-9. 2015년 9월 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 간극생물의 현존량 비교	90
그림 5-1-10. 2015년 9월 조사해역의 중형저서생물의 수직분포 및 개체크기별 분포특성	91
그림 5-2-1. 5월 후포댕크 식물플랑크톤 현존량	93
그림 5-2-2. 5월 울릉분지 식물플랑크톤 현존량	94
그림 5-2-3. 수심별 식물플랑크톤 군집구조 비교	101
그림 5-2-4. 후포댕크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 현존량	103
그림 5-2-5. 후포댕크-울릉분지 퇴적물 내 중심규조류1	106
그림 5-2-6. 후포댕크-울릉분지 퇴적물 내 중심규조류2	107
그림 5-2-7. 후포댕크-울릉분지 퇴적물 내 우상규조류	108
그림 5-2-8. 후포댕크-울릉분지 퇴적물 내 우상규조류 및 규질편모류	108

그림 5-2-9. 후포뱅크 및 울릉분지에서 출현한 어란 및 자치어의 정점별 출현량 ...	111
그림 5-2-10. 후포뱅크 및 울릉분지에서 출현한 자치어	111
그림 5-2-11. 동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 서식밀도 감소율 비교 ...	113
그림 5-2-12. 동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 생체량 감소율 비교 ...	114
그림 5-3-1. 죽변 주변해역에서 채집한 대게(<i>Chionoecetes opilio</i>) 개체 및 분리된 위 사진 ...	115
그림 5-3-2. 죽변에서 수집한 대게(<i>Chionoecetes opilio</i>) 개체 및 분리된 위 사진 ...	116
그림 5-3-4. 속초에서 수집한 붉은대게(<i>Chionoecetes japonicus</i>) 개체 및 분리된 위 사진	116
그림 5-3-5. 영덕에서 수집한 붉은대게(<i>Chionoecetes japonicus</i>) 개체 및 분리된 위 사진	117
그림 5-3-6. 속초에서 수집한 붉은대게(<i>Chionoecetes japonicus</i>) 개체 및 분리된 위 사진	117
그림 5-3-7. 울릉분지에서 무인잠수정 해미래로 채집한 붉은대게(<i>Chionoecetes japonicus</i>) 개체 및 분리된 위 사진	118
그림 5-3-8. 속초에서 수집한 털게(<i>Erimacrus isenbecki</i>) 개체 및 분리된 위 사진 ...	119
그림 5-3-9. 채집된 유용수산 자원인 대게, 홍게, 털게의 무게 및 크기 비교 ...	122
그림 5-3-10. 분석에 사용된 유용수산자원의 잠재적 먹이원인 대형저서생물의 각 개체별 무게 비교	122
그림 5-3-11. 조사해역에서 채집한 소비자 동물들과 잠재 기원유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값 분포	124
그림 6-1-1. 현장조사에서 채집된 심해 대형/초대형 우점종	129
그림 6-1-2. 건조표본 제작중 심해 대형/초대형 우점종	130
그림 6-1-3. 액침표본 제작 중 심해 대형/초대형 우점종	130
그림 6-1-4. 실내 사육 실험에 사용된 빗살판불가사리(좌) 및 절지동물류인 대게(A), 작은배참집게(B), 빨조개집게(C), 진흙새우(D)	131
그림 6-1-5. 동해 심해 해양생물로부터 EtOH 추출물, 용매분획물, 물 추출물 제조 과정 및 추출물의 수율	139
그림 6-1-6. 살시빗살거미불가사리 용매 분획물 및 H ₂ O 추출물의 NMR spectrum	140
그림 6-1-7. 빗살판불가사리 용매 분획물의 NMR spectrum	141
그림 6-1-8. 바다나리류 용매 분획물 및 H ₂ O 추출물의 NMR spectrum ...	141

그림 6-1-9. 동해 심해 해양생물 유래 EtOH 및 H ₂ O 추출물의 항암활성	143
그림 6-1-10. 동해 심해 해양자료 데이터 모델	145
그림 6-1-11. 동해 심해 해양자료의 데이터셋과 테이블	146
그림 6-1-12. 문헌조사를 통한 동해 울릉분지 주변 조사정점도	148

제 1 장

서 론

제 1 절 서 론

1. 동해의 자연환경

가. 동해의 지리적 특성

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

동해는 모두 수심이 140m 보다 얕은 4개 해협(타타르스키해협, 소야해협, 쓰가루해협 및 대한해협)을 통하여 외부와 연결되고 이들 해협을 통해 오�호츠크해, 북태평양 및 동중국해로 연결된다(그림 1-1-1~2).



그림 1-1-1. 동해의 지리적 특징

따라서 외해와 연결되는 해협이 얇은 수심으로 인하여 동해 전체 해수 약 10% 정도의 표층수만 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 3,500m가 넘는 일본 분지(Japan Basin)가 넓게 형성되어 있으며 남쪽으로는 야마토 해저마루의 동서로 수심 2,000m가 넘는 울릉분지(Ulleung Basin)와 야마토분지(Yamato Basin)들이 형성되어 있다.

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.

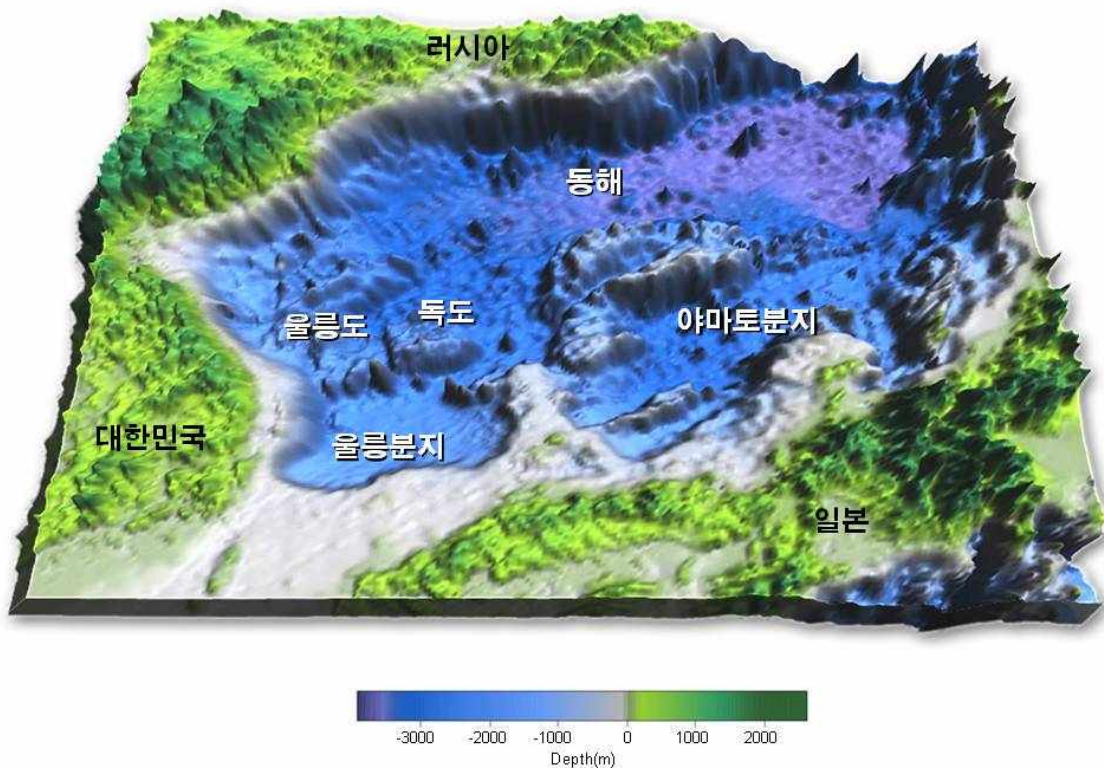


그림 1-1-2. 동해 해저지형도

나. 동해의 해수유동 특성

동해는 평균 수심이 약 1,700m이고 최대 수심이 4,049m이지만, 남해 및 오호츠크해, 태평양 등과 같은 주변해와는 수심 140m 이하의 얕은 해협(대한해협, 쓰가루해협, 쓰야해협 및 타타르해협)들로 연결되어 있다(그림 1-1-1). 따라서 이들 해협을 통해서 주로 물질 교환이 일어나게 되며, 기본적으로 대한해협을 통해 동해로 유입된 물이 나머지 3개 해협을 통해서 유출되지만 주요 유출 통로는 쓰가루해협과 쓰야해협으로 알려져 있다. 이렇게 해협을 통해서 유입·유출되는 해류는 유입·유출구가 천해인 까닭에 주로 표층에 국한되어 있으며, 유입해역에 있는 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 멀어져 간다.

대한해협을 통해 동해로 유입되는 동해 통과류 수송량의 시계열 변화는 동해의 상층 순환을 결정하는 중요한 요인이다. 1997년부터 2002년까지 약 5년간 정기여객선을 이용한 ADCP 조사에 따르면, 대한해협의 평균 수송량은 약 2.64Sv 정도이며 1월에 최소값을 나타내고 4월 및 10월에 최고값을 보였다. 그리고 일반적으로 4월보다 10월의 평균 수송량이 더 큰 것으로 나타났다(Takikawa et al., 2005, 그림 1-1-3). 동수도와 서수도의 유입량은 각각 1.10Sv과 1.54Sv 정도로 계절변동뿐만 아니라 연간 변동도 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.

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. 동해에 분포하는 해수는 수심에 따라 표층수, 중층수 및 심층수로 구분되며, 독도 주변을 포함한 극전선 남쪽의 경우 200m 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.

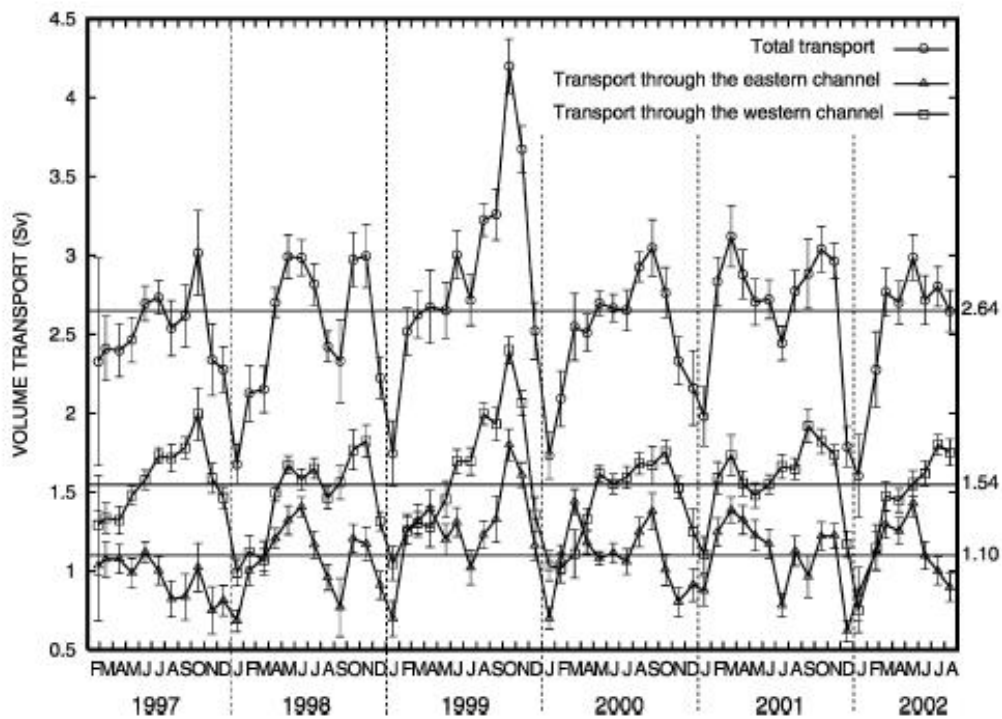


그림 1-1-3. 정기여객선에 장착된 ADCP로 관측된 대한해협 수송량의 5년간 변화 양상(Takikawa et al., 2005)

동한난류는 봄에서 여름 사이에 북으로 발달하여 가을과 겨울 사이에 세력이 감소한다(Ohwada and Ogawa, 1966; Hong and Cho, 1983). 이에 따라 여름철 표층 수온은, 대마난류의 확장과 육지로부터 유입되는 육수의 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).

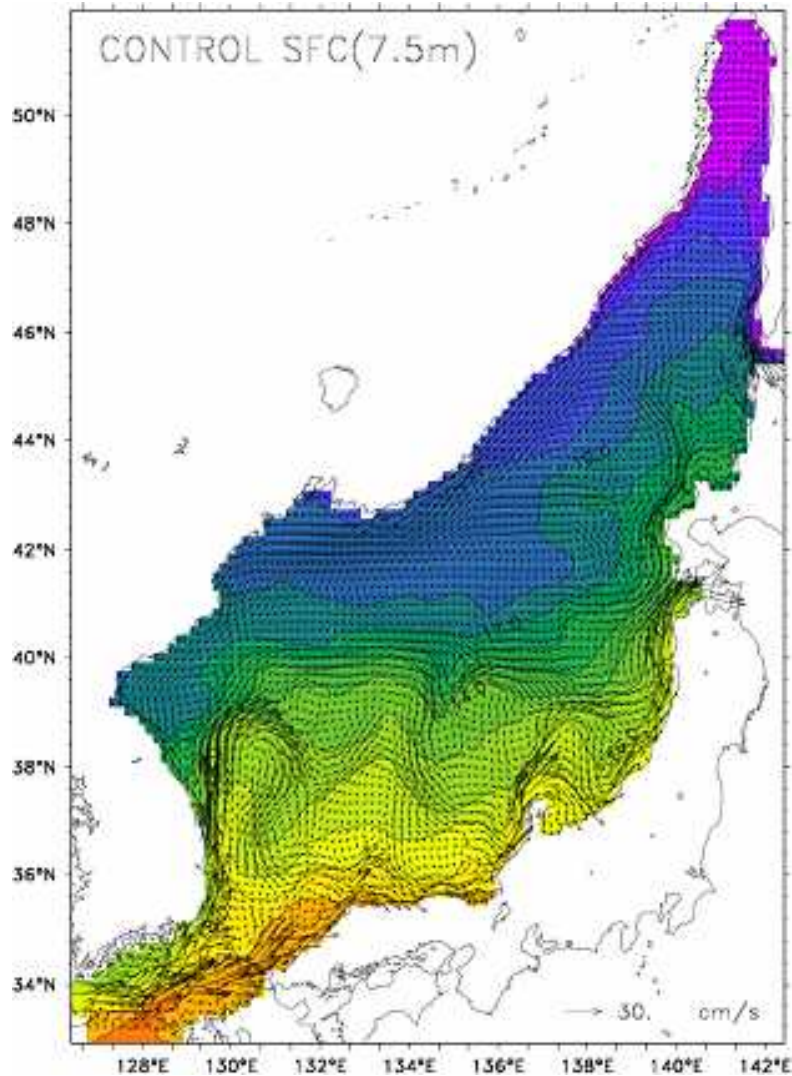


그림 1-1-4. RIAMOM을 이용한 동해 연평균 표층 수온 및 해류 모사 결과

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 난수성와류는 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 난수성와류는 이동을 하거나 한 장소에서 수개월 동안 정체하기도 한다(An 등, 1994; 한국해양연구소, 1993, 1994). 난수성 와류의 형성 기작은 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 가능성들이 제시되어 왔다.

동해 북쪽의 반시계방향 순환은 러시아와 북한연안을 따라 남하하는 리만 해류와 북한한류가 주 해류이며, 북한한류계수는 주문진 이북해역에서는 표층부터 중층까지 연중 지속적으로 존재하며 목호 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.

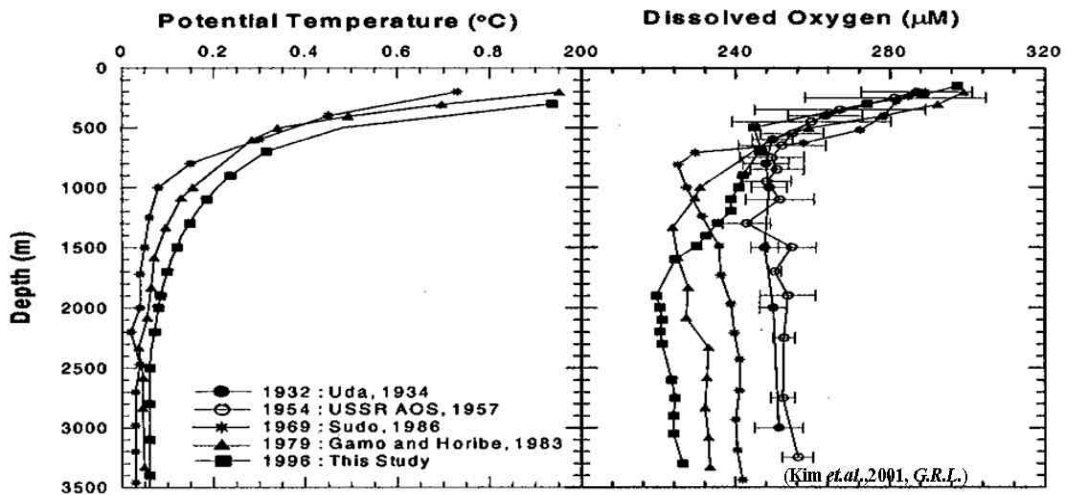


그림 1-1-5. 동해 심층 수온의 증가 및 용존 산소의 감소(Kim et al., 2001)

최근 동해는 심각한 지구 온난화의 영향을 받고 있는 것으로 보고되고 있으며, 대표적인 변화는 심층 수온의 증가 및 용존 산소의 고갈로 나타나고 있다(Kim et al., 2001, 그림 1-1-5). 이와 같은 변화는 동해 북부해역에서의 심층수의 형성과 연계되어 있는 것으로 밝혀지고 있으며, Gamo et al.(2001)가 제시한 바에 따르면 그림 1-1-5에 나타낸 바와 같이 저층수의 형성 모드가 바뀌었기

때문인 것으로 이해되고 있다. 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 1-1-7).

한편 Park et al.(2004) 등은 그림 1-1-8에서 보는 바와 같이 인공위성으로 추적되는 중층 순환 부표(ARGO) 자료를 이용하여 울릉분지를 중심으로 하는 동해 중층(약 7~800m)의 순환 모식도를 제시한 바 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 대륙사면에 나란한 방향으로 반시계 방향의 순환을 하는 양상이 나타난다.

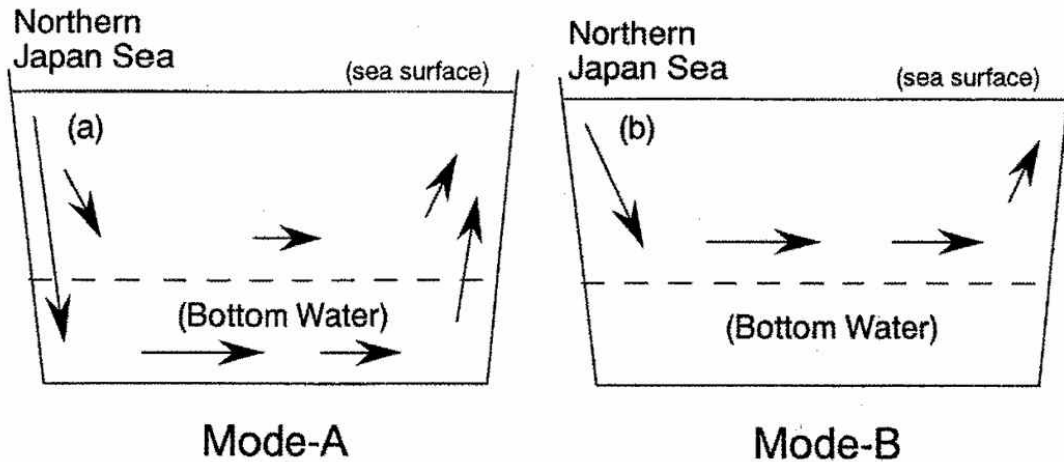


그림 1-1-6. 동해 심층 대류의 변화로 인한 저층수 생성 중단 모식도(Gamo et al, 2001)

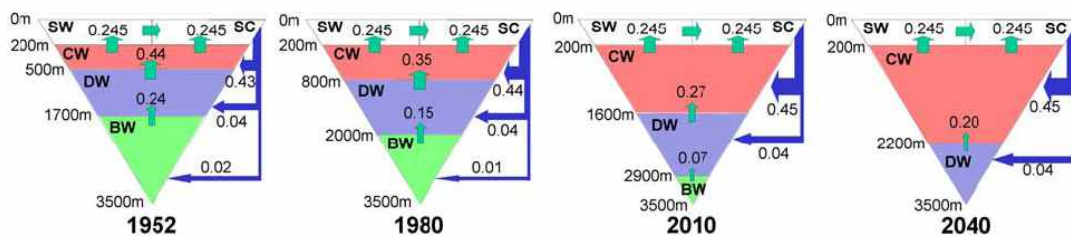


그림 1-1-7. 2040년경 동해 저층수가 중층수로 대체되는 변화를 보여주는 실험 결과(Kang et al, 2003)

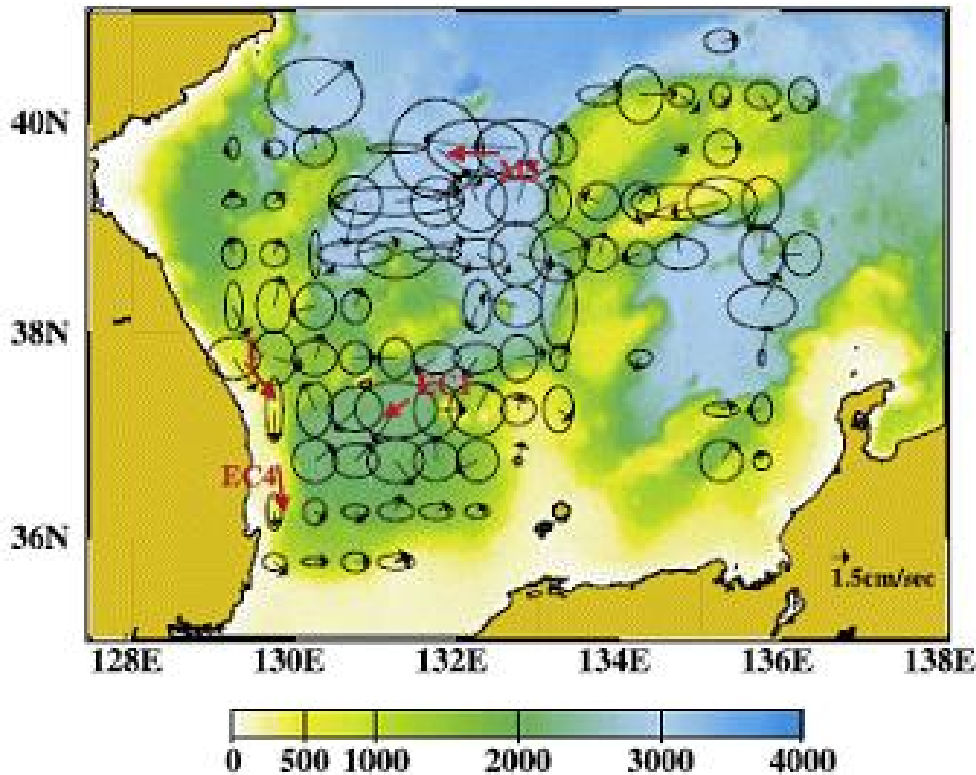


그림 1-1-8. 인공위성 추적 중층 부표(ARGO)로 계산된 동해 중층 순환 모식도 (Park et al., 2004)

다. 동해의 해수특성

동해의 수괴는 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 대한해협을 통해 유입되는 대마난류의 분류인 동한난류(East Korea Warm Current)와 북쪽에서 겨울철 냉각에 의해 형성되어 유입되는 북한한류(North Korea Cold Current)와 저온 고염고영양염의 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 34.00psu 이상, 용존산소 7.0ml/l 이하라고 규정하였다.

최근의 정밀한 관측기기에 의하여 약 1,500m 수심의 심해 염분최소층이

존재하는 수괴를 East Sea Deep Intermediate Water로, 심해염분 최소층 위의 상대적으로 용존산소가 높고 염분이 34.067psu 이상인 해수와 심해 염분 최소층 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. 동해 고유수의 영양염은 최근 동해의 남서부인 북위 36°~38°에서 조사된 바에 의하면, 질산염(nitrate)의 경우 150m 이하의 수심에서 대략 20 μ M 이상의 농도를 보이며, 인산염(phosphate)은 1 μ M에서 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 지구 기후 변화의 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).

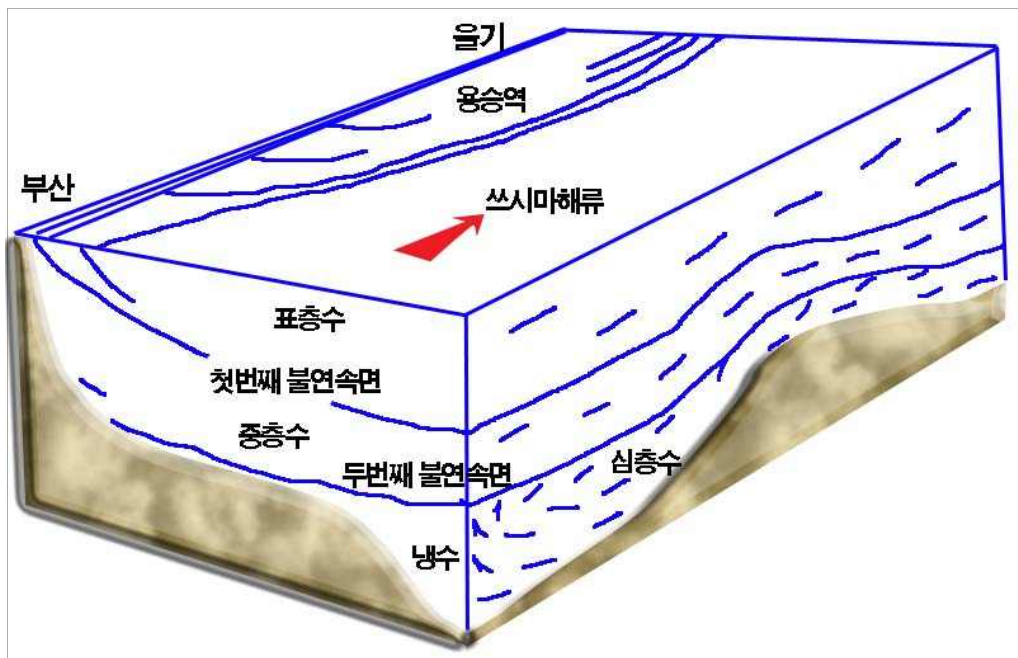


그림 1-1-9. 대한해협 해류계의 모식도(이석우, 2004)

라. 동해의 해저퇴적물 특성

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 생각된다.

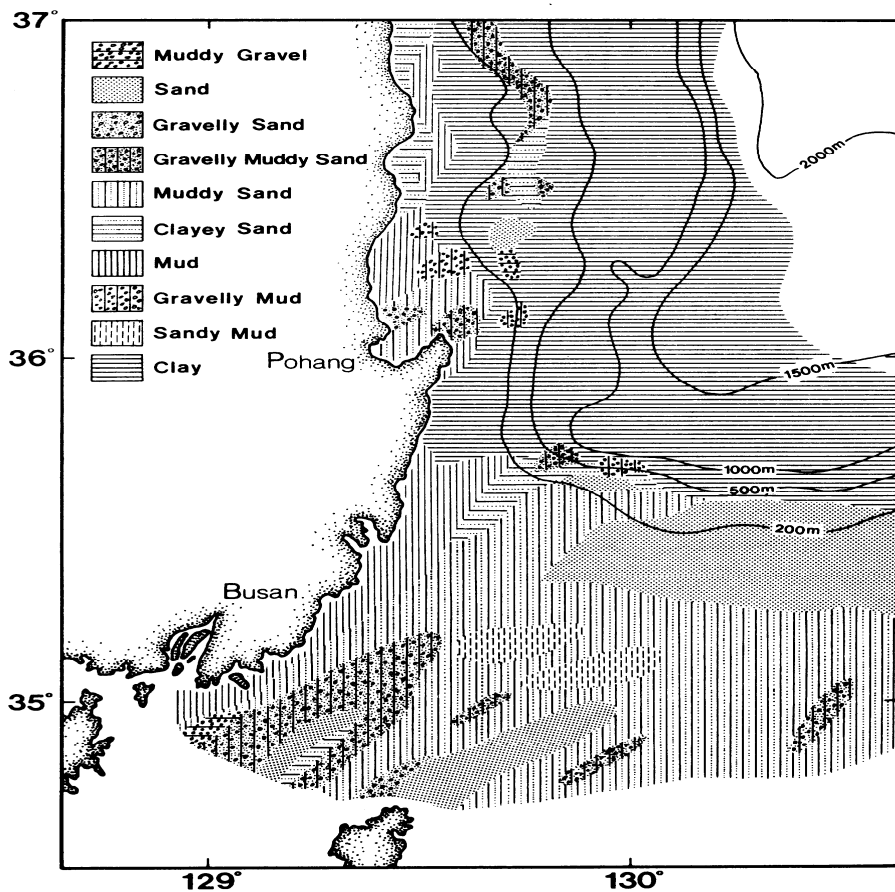


그림 1-1-10. 동해 표층퇴적물 입도 분포(Chough, 1983)

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 300m까지는 육성사질이며 곳에 따라서는 암반, 모래 및 자갈 등이

분포한다. 수심 300~800m 에는 유기물의 침전이 많다. 수심 800~3,000m에서는 상부는 산화철 또는 해록석으로 인하여 적니(red clay), 하부는 청니(blue mud)로 구성되어 있다. 3,000m 이심은 적점으로 구성되어 있다(그림 1-1-10).

퇴적물 축적률은 남쪽의 대륙붕과 대륙사면 상단부에서 약 200mg/cm²/yr, 대륙사면 하단과 분지에서는 20~30mg/cm²/yr로 매우 낮다(Hong et al, 1997). 또한 일본분지의 퇴적율은 2~11mg/cm²/yr로서 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 2,000m 이상인 울릉분지에서는 1.9~3.1% 정도의 함량을 보이는데, 대륙붕해역을 제외하고는 유기탄소함량은 대략적으로 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 가진다.

제 2 절 동해심해연구의 중요성

동해는 약 90%의 해역이 수심 200m 이하의 심해(평균 수심 약 1,684m, 최대 수심 4,049m, 200m 이상의 수심 약 90%)로 구성되어 있고, 심해는 연중 1도 이하의 차가운 해수가 존재하여 유입된 유기물의 분해속도가 느려 대양에 비해서도 퇴적물에 높은 유기탄소를 함유하고 있는 자연냉장고의 특징을 지니고 있는 우리나라 관할해역 중 유일한 심해로 효율적인 심해연구의 최적지이다.

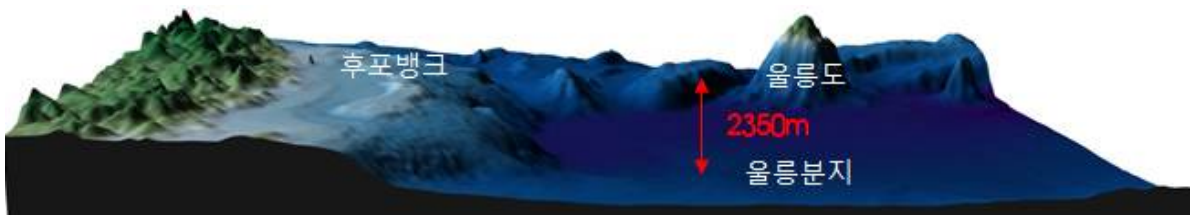


그림 1-2-1. 후포뱅크-울릉분지 해저 단면도

국내 유일의 심해임에도 불구하고 관련 연구과제의 부재로 체계적인 심해 생태계 및 환경 연구가 수행되지 않아 동해 심해에 관한 해양과학적 지식이 매우 부족한 상태이다. 특히 동해 심해로 유입되는 물질의 거동 및 특성과 동해 표층 생물생산력 변동과의 상관성 연구 극히 미비하고, 동해 환경 변화와 저서 생태계의 영향연구 역시 거의 전무한 상황이다. 이에 따라 울릉분지 심해는 동해 어업생산량의 20%를 차지하는 대게, 홍게 등의 주요 수산자원의 서식처 이지만, 아직까지 이들 심해의 주요 저서 수산자원의 유지/조절 요인 조차 밝혀져 있지 않다.



그림 1-2-2. 동해의 홍게 및 대게 수산자원

울릉분지는 지형적 요소 및 기후의 영향으로 동일 면적의 다른 해역과 비교하여 생물다양성이 매우 풍부하고, 고유성도 높게 평가되고 있으나, 이 지역민에게 있어서 중요한 기초 생산력, 주요 수산생물 등과 같은 현안 문제와 연관된 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔다.

따라서 본 연구는 동해 울릉분지를 중심으로 울릉분지 심해 유입되는 물질의 특성과 물질별 플럭스 변화를 파악하고, 표층의 생물생산력 변화와 심해 유입물질 특성과 플럭스 변화와의 상관관계를 파악하여, 심해 저서 생물 및 생태계에 미치는 영향을 이해하는 목적으로 수행되었다.

제 2 장

동해 올릉분지 심해 해수 순환

제 1 절 울릉도-독도 심층순환의 평균분포 특성 조사

1. 울릉도-독도간 심층순환의 평균 분포 특성 조사

울릉도-독도간 심층순환을 분석하기 위하여 울릉도-독도간 정점(EC)에서 2013년 9월부터 2014년 5월까지 500m, 2100m 층에 계류계 자료를 분석하였다. 500m에서는 0.38cm/s (유향 201°, 최대유속 28.9cm/s), 2000m에서는 0.64 cm/s (유향 199°, 최대유속 10.9 cm/s)의 평균 유속으로 남서향 평균 흐름을 보였다(그림 2-1-1).

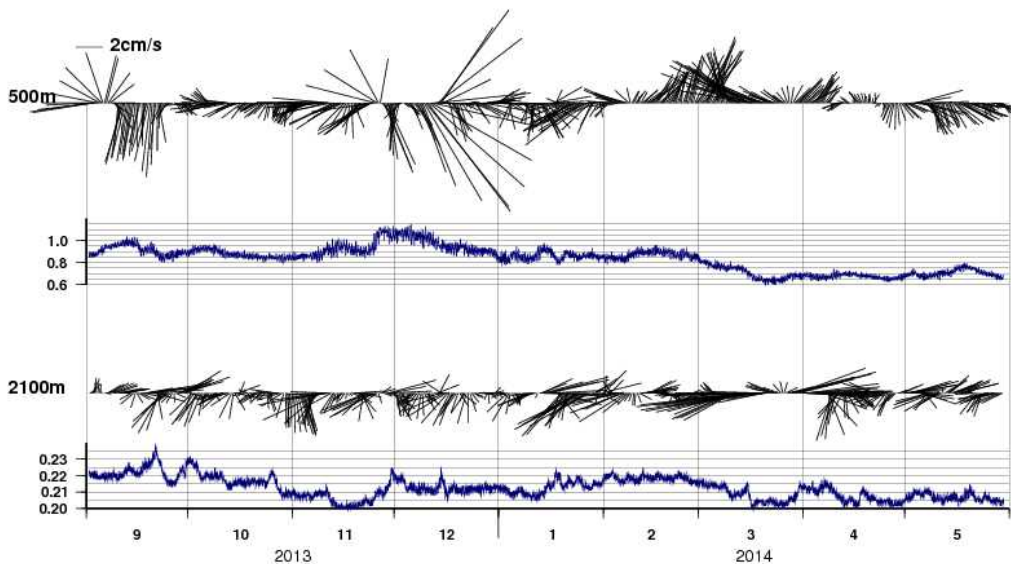


그림 2-1-1. 울릉도-독도 사이 심층에서 수심 500m와 2100m의 해류 및 수온관측 결과

2. 울릉분지 층별 수괴구조 분석

가. 2014년 5월 후포뱅크 및 울릉분지 조사결과

울릉분지 층별 수괴 분석을 위해 2014년 5월과 10월에 걸쳐 후포뱅크 해역 및 울릉분지의 6개 정점에서 전층 CTD 관측을 수행하였다(그림 2-1-2). 표층에는 15.8 ~ 17.6 °C 의 수온과 34.4 의 염분분포를 보임. 염분 34.3 이상의

고온 고염의 대마난류수는 50~115m 근처까지 분포하며, 후포뱅크 사면역은 DE3번과 DE4번 정점에서 깊은 수심까지 분포하였다.

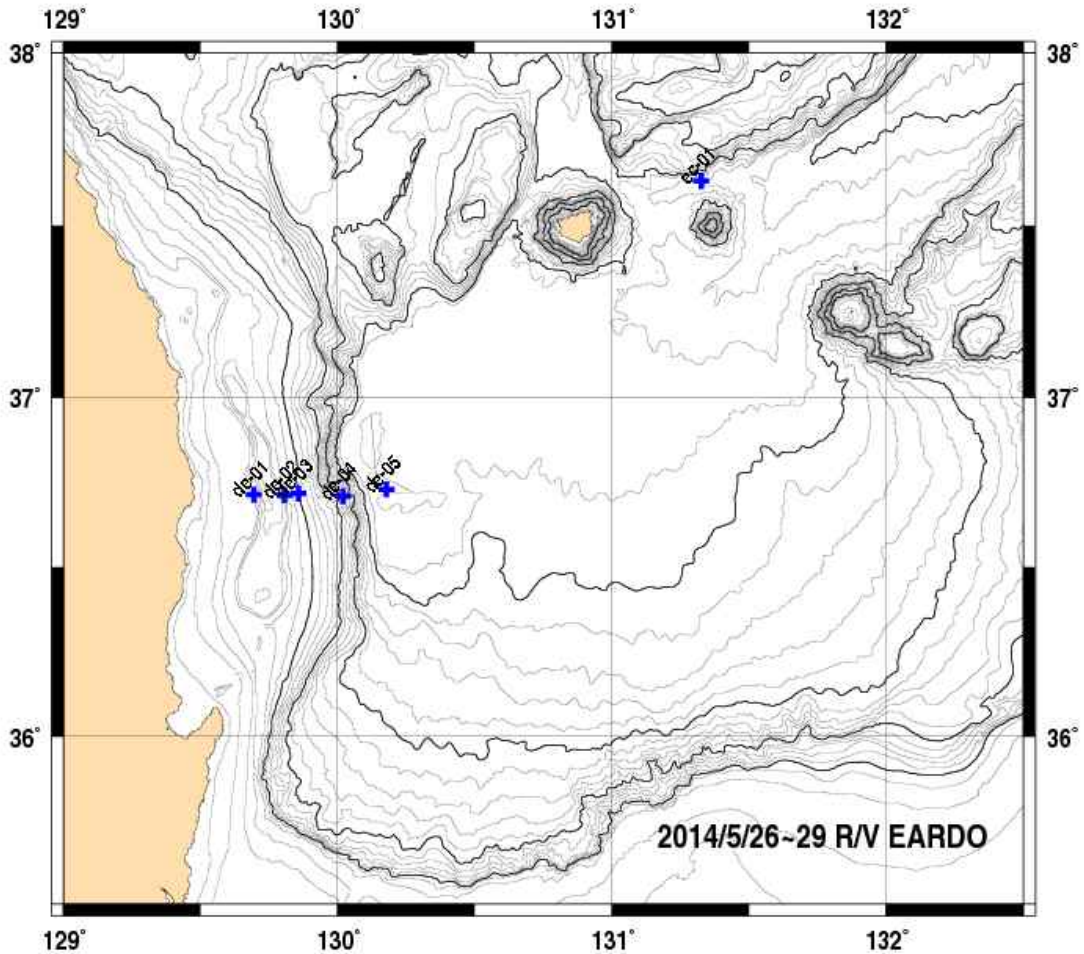


그림 2-1-2. 2014년 5월 관측정점

용존산소 최대 및 염분 최소를 특징으로 하는 동해 중층수는 (염분 34.05 미만) 130° E 동쪽의 후포뱅크 사면역 및 울릉도-독도사이의 정점의 수심 200m 근처에서 크게 발달하고 있었다. 동해중층수의 최소 염분은 후포 사면역인 DE5번 정점에서 33.97의 염분을 보였다. 동해중층수 아래로는 동해 중앙수(East Sea Central Water) 및 동해심층수(East Sea Deep Water)가 나타났다(그림 2-1-2~3).

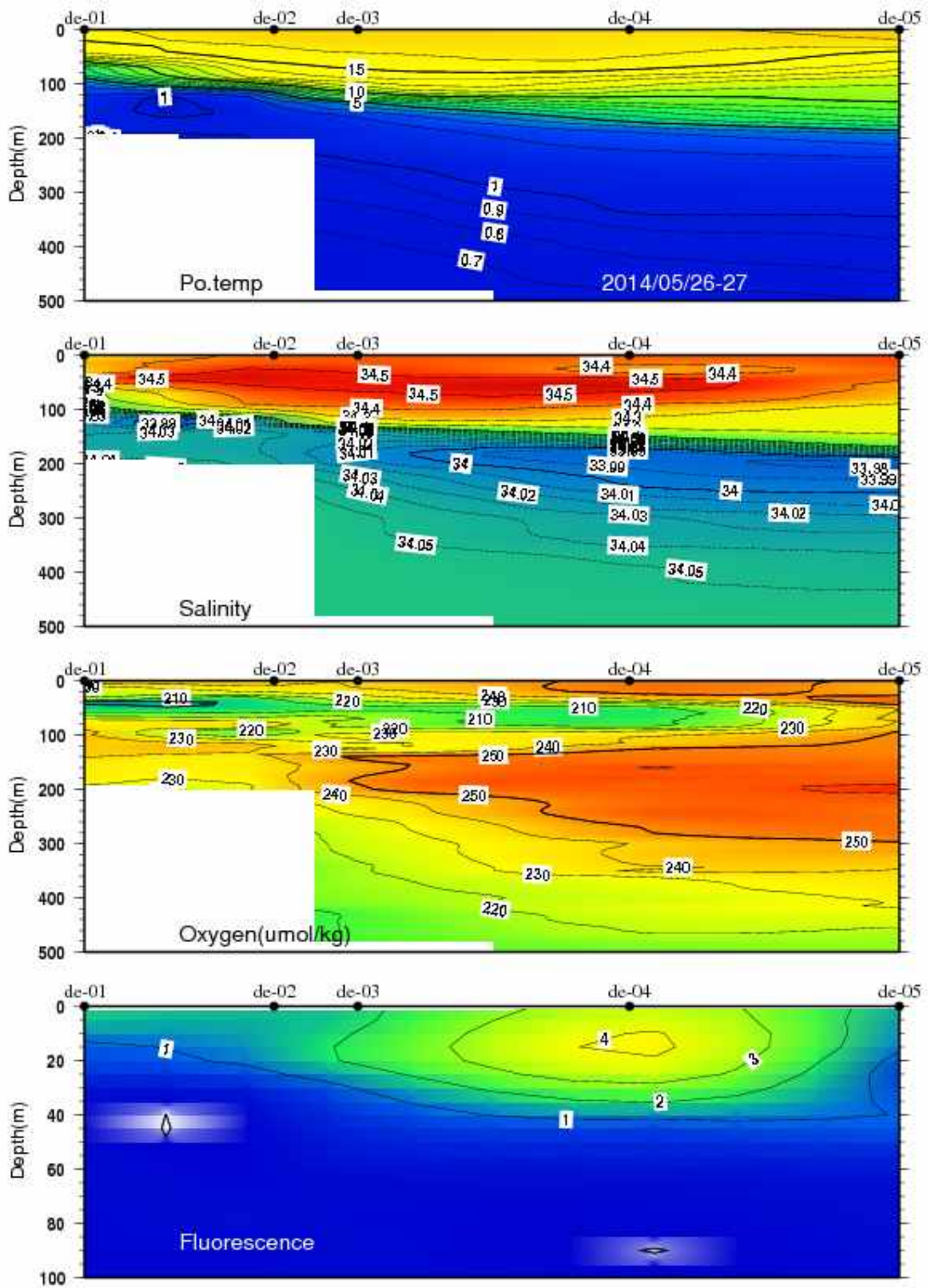


그림 2-1-3. 2014년 5월 수심별 수온, 염분, 용존산소량, fluorescence

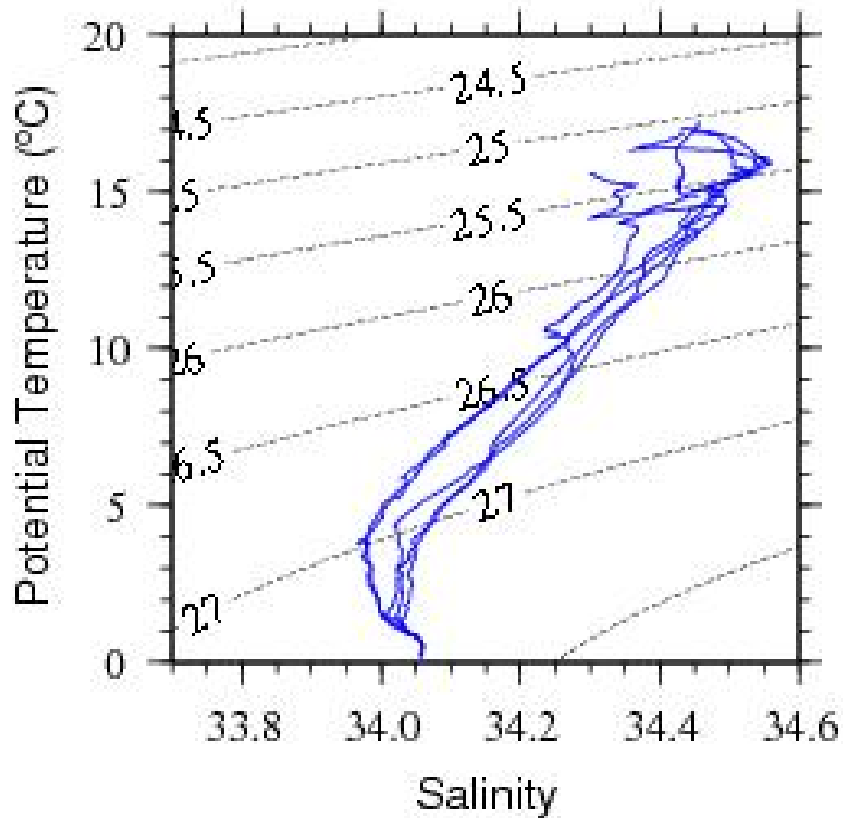


그림 2-1-4. 2014년 5월의 T-S diagram

나. 후포뱅크 수괴변동 특성

2013년 2월부터 2014년 8월까지 후포뱅크 1개 단면(36° 42.6' N)의 7개 정점에서 약 격월 간격으로 CTD 관측을 수행하였다(그림 2-1-5). 관측은 2013년 2월 21일, 3월 27일, 4월 17일, 5월 23일, 6월 2일, 6월 20일, 7월 4일, 7월 23일, 8월 24일, 9월 27일, 10월 18일, 11월 21일, 12월 23일, 2014년 2월 25일, 4월 15일, 5월 25일, 8월 13일 수행하였다. 단, 2013년 12월 23일 염분자료의 경우 CTD 센서의 문제가 있었다.

표층은 여름철로 줄어들수록 수온이 상승하는 반면에, 염분은 대마난류 표층수의 영향으로 6월~10월까지 33 미만의 저염을 보이며, 이러한 저염수는 10월에 약 50m의 두께를 보였다. 여름철에 대마난류 표층수 아래로는 주로 C5~C7 정점 등 외해 중심으로 34.3 이상의 염분을 갖는 대마난류 중층수가 보였다. C6과 C7 정점의 경우, 34.3 이상의 염분은 4~8월, 11월에 관측되었다.

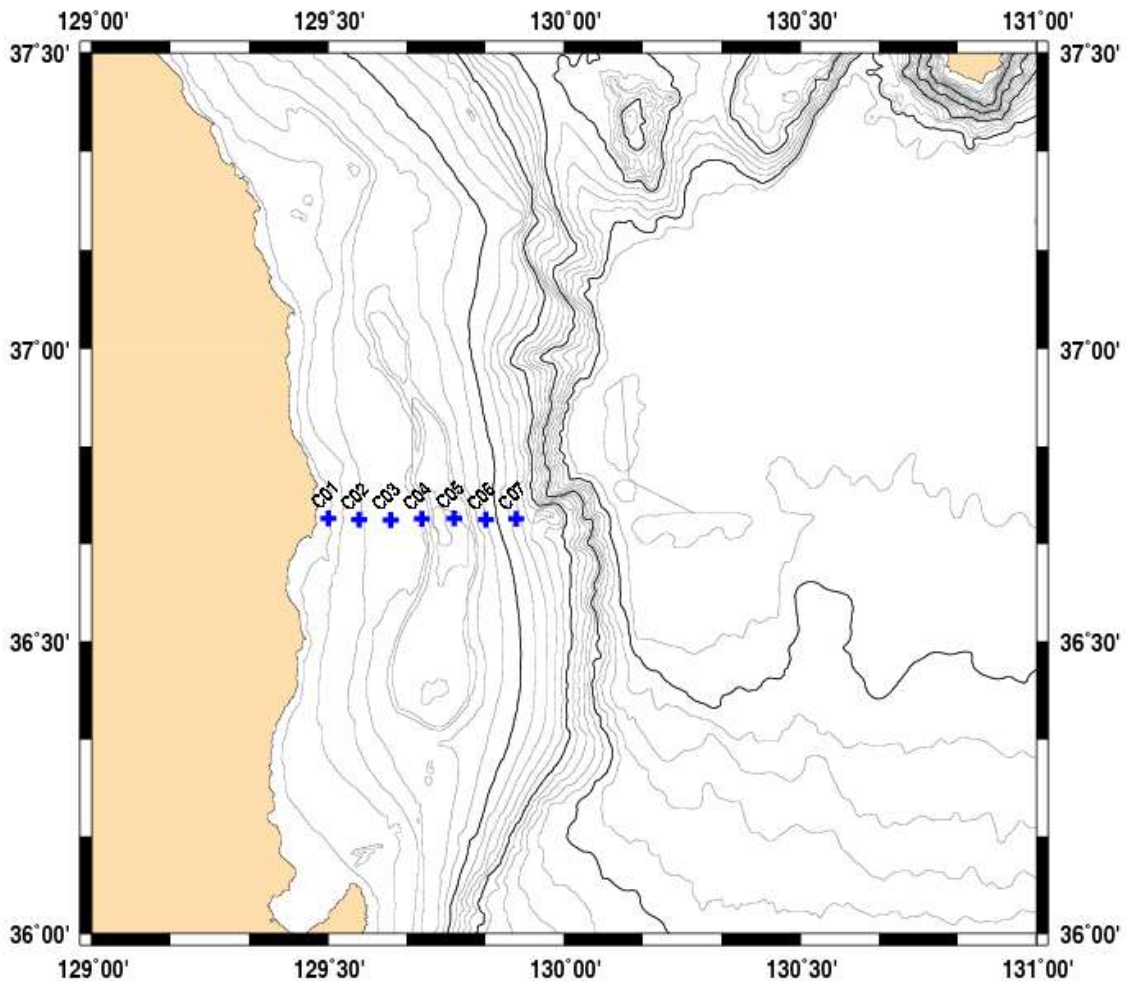


그림 2-1-5. 후포뱅크 관측정점도

대마난류 중층수 아래로는 염분 최소, 용존산소량 최대를 특성으로 하는 동해 중층수 혹은 북한한류수가 관측된 것으로 사료됨. 흔히 동해 중층수는 수온 1~5°C의 수온 범위를 가지므로 5°C 등온선의 수심을 통해 동해 중층수의 분포 특성을 파악하였음. 수심이 85m로 비교적 얕은 C5 정점을 제외하고 모든 정점에 걸쳐 5°C 수온이 관측됨. 이러한 수온은 후포뱅크의 연안쪽 정점의(C1~C4) 5~8월 사이에 80m 미만부터 주로 관측됨. 반면에 외해에서는 100m 이상의 수심대부터 나타나기 시작함(그림 2-1-6).

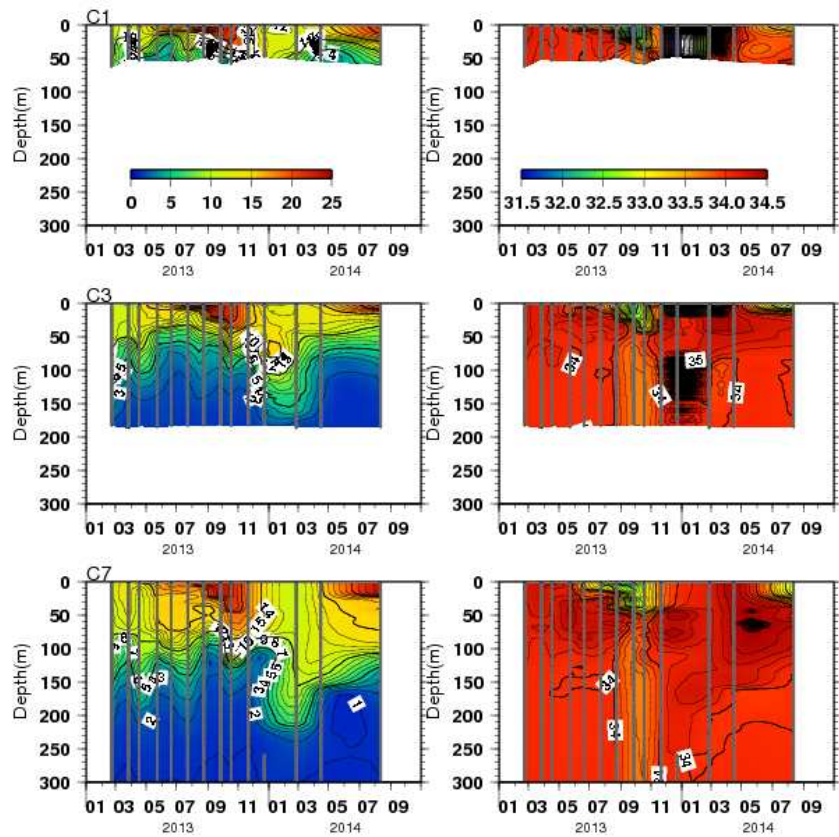


그림 2-1-6. 2013년 2월 - 2014년 8월까지의 C1,C3,C7정점의 수심별 수온(좌), 염분(우)

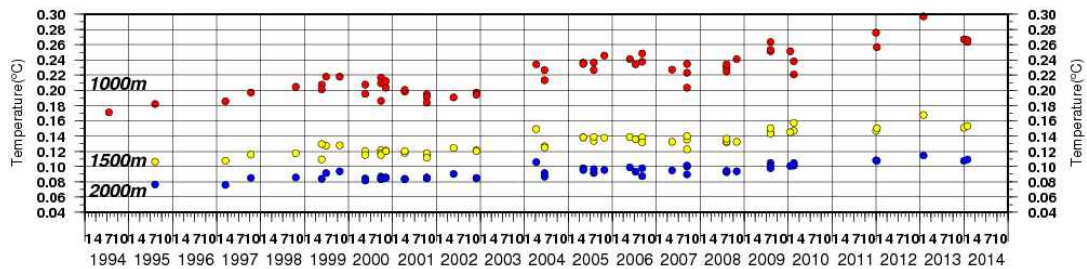


그림 2-1-7. 울릉도-독도사이 해역에서 1994~2014년 동안의 층별 수온 분포

다. 울릉분지 심층 수온의 변동 규모 분석

동해에서 심층 관측이 시작된 1994년부터 2014년 까지 울릉도-독도사이 해역에서 수심별(1000, 1500, 2000m) 장기 수온 변동 경향을 분석하였다. 1000m 에서는 0.0048°C/년, 1500m에서는 0.0026°C/년, 2000m에서는 0.0017°C/년 비율로 상승하고 있는 것으로 나타났다(그림 2-1-7).

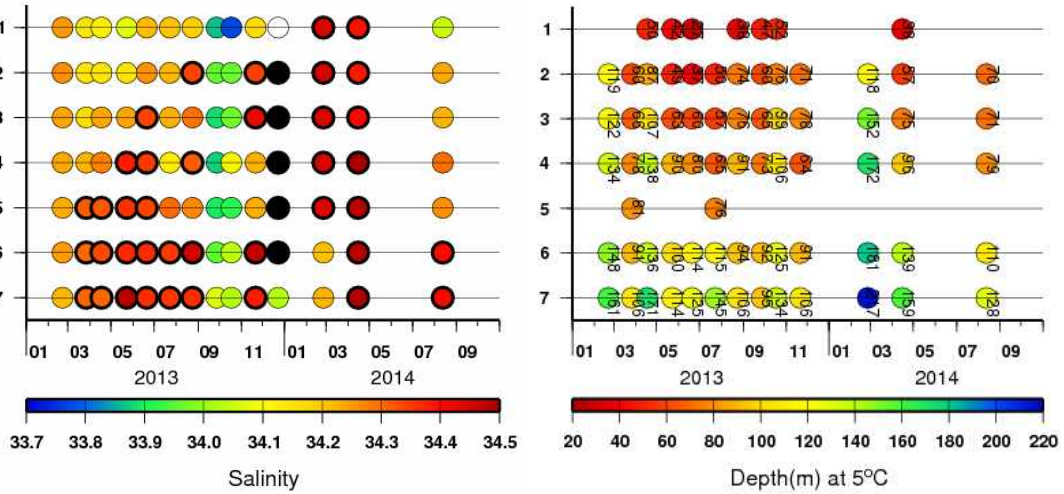


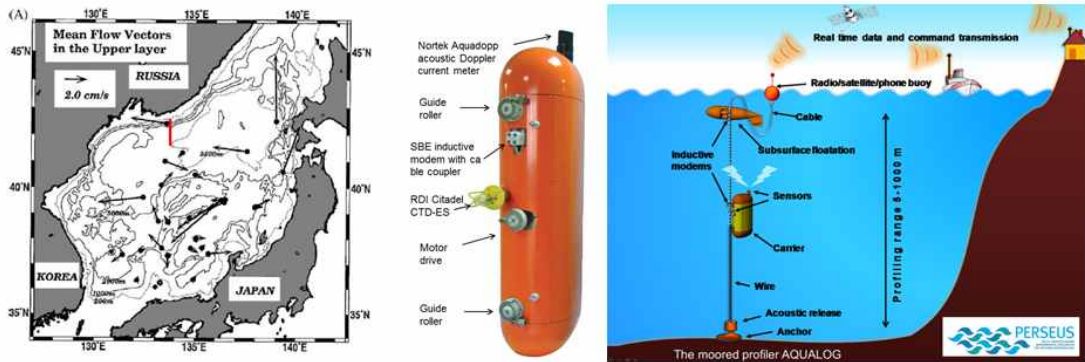
그림 2-1-8. 2013년 2월 - 2014년 8월까지의 정점별 최대염분(좌) 및 5°C 등온면의 수심(m)(우). 염분분포에서 진한 원은 34.3 이상의 염분을 의미함.

라. 동해 북부 해역 심층순환

동해 울릉분지로 유입되는 심층수의 형성과정을 살펴보기 위하여 러시아와 공동으로 동해북부해역의 심층순환 연구를 아래와 같이 추진하였다.

- 목적 : 동해북부해역 심층순환연구 : 러시아 영해 관측을 위한 국제공동연구
- 협력기관 : P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (IO RAS))
- 러시아측 연구책임자: Alexander Ostrovskii
- Aqualog profiler 1기 투입
 - 계류해역 : 40° 05.9´ N, 133 ° 50.3´ E
 - 수온, 염분, 유속, DO, Turbidimeter 센서 장착
 - 6시간 간격 연직프로파일 관측 (10-210 미터), 6일 간격 Deep 프로파일 관측 (10-600 미터)
- 추진경과
 - 2013년 10월 21일 profiler 계류계 투입
 - 2014년 4월 21-22일 profiler 회수 및 장비훼손 확인 / 신규계류 (2013년 10월 21일부터 28일까지 관측이 실시 되었으나 원인을 알 수 없는 장비훼손 발생하였음)

- 2014년 10월 18일 회수 및 재계류 예정이었으나 장비를 찾지 못하였고, 10월 24일 두 번째 회수 시도 중 당초 투입정점에서 동쪽으로 약 3 km 떨어진 곳에서 Acoustic release가 반응하였으나 나빠진 일기와 ship time부족으로 철수함.



한라공동조사 계류위치 및 계류장비(Ocean sensors integrated at the Aqualog profiler)

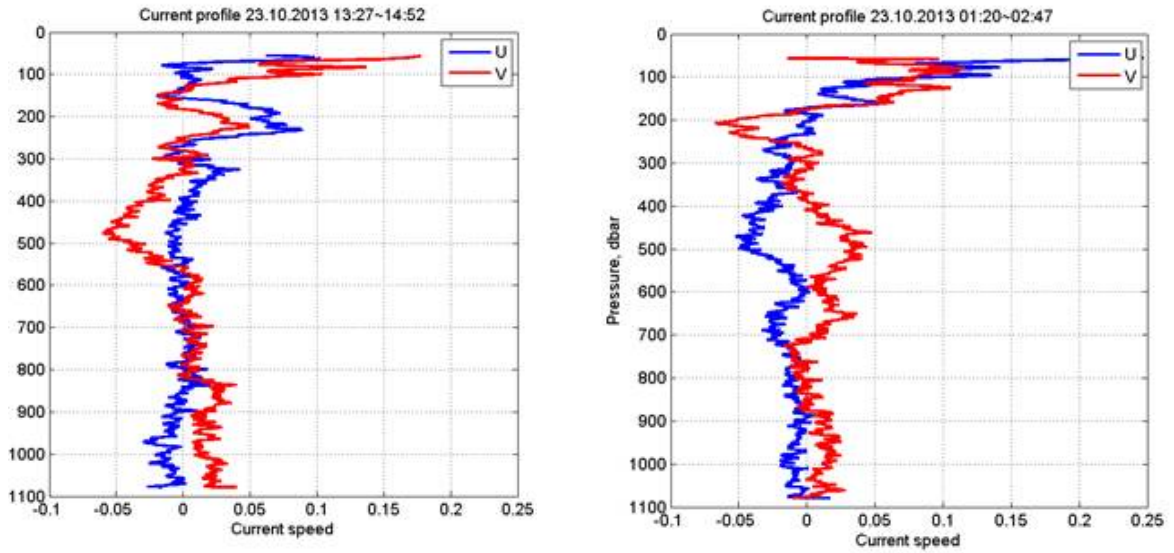


그림 2-1-9. Aqualog profiler에서 관측한 유속의 연직분포 (2013년 10월 23일)

제 3 장

동해 올릉분지 심해 물질 순환

제 1 절 울릉분지 표층생물생산력 변화 조사

1. 천리안 위성자료 이용 울릉분지 표층생물생산 변화 조사

울릉분지 표층생물생산력 변화와 침강입자 Flux 변화와의 관계를 살펴보기 위하여 울릉분지 전체 평균값과 Sediment Trap 계류정점(EC-01)을 대상으로 천리안 해양관측 위성자료를 이용하여 2010년~2014년 동안 Sediment Trap 계류기간별(7~8일 간격) 표층 일차생산력을 계산하였다.

- 자료 분석 기간

- 1차시기: 2011.04.09.~06.08.
- 2차시기: 2011.07.04.~2012.01.28.
- 3차시기: 2012.03.12.~11.01.
- 4차시기: 2012.12.01.~2013.06.27.
- 5차시기: 2014.06.01.~12.07.

- 조사정점 : 침강입자포집기(Sediment Trap)계류 정점 37° 38.1' N, 131° 20.6' E, 울릉분지 전체



그림 3-1-1. 위성자료 이용 표층 일차생산력 조사 해역 범위

- 조사방법: 한국해양과학기술원에서 제공하는 천리안해양관측위성자료와 NASA에서 제공하는 SST자료와 PAR 자료를 이용하였으며, Sediment Trap 계류 정점은 GDPS 프로그램을 이용하였고, 율릉분지는 MATLAB을 이용하여 산출.

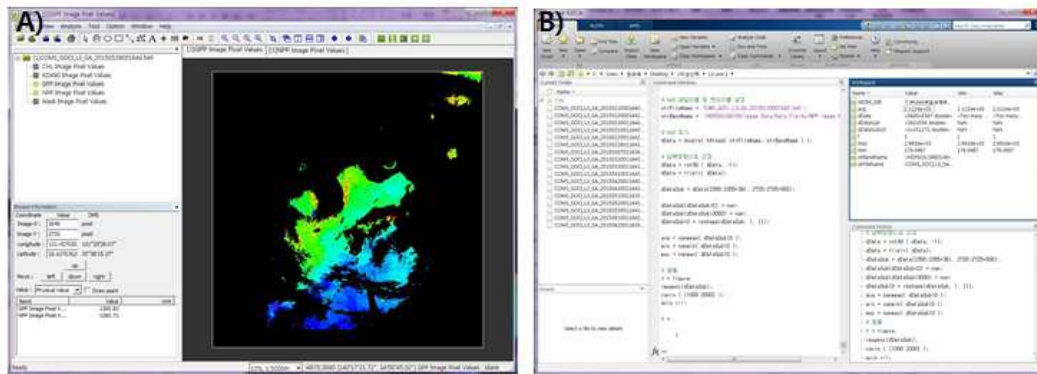


그림 3-1-2. 일차생산력 산출 프로그램 A) GDPS, B) MATLAB

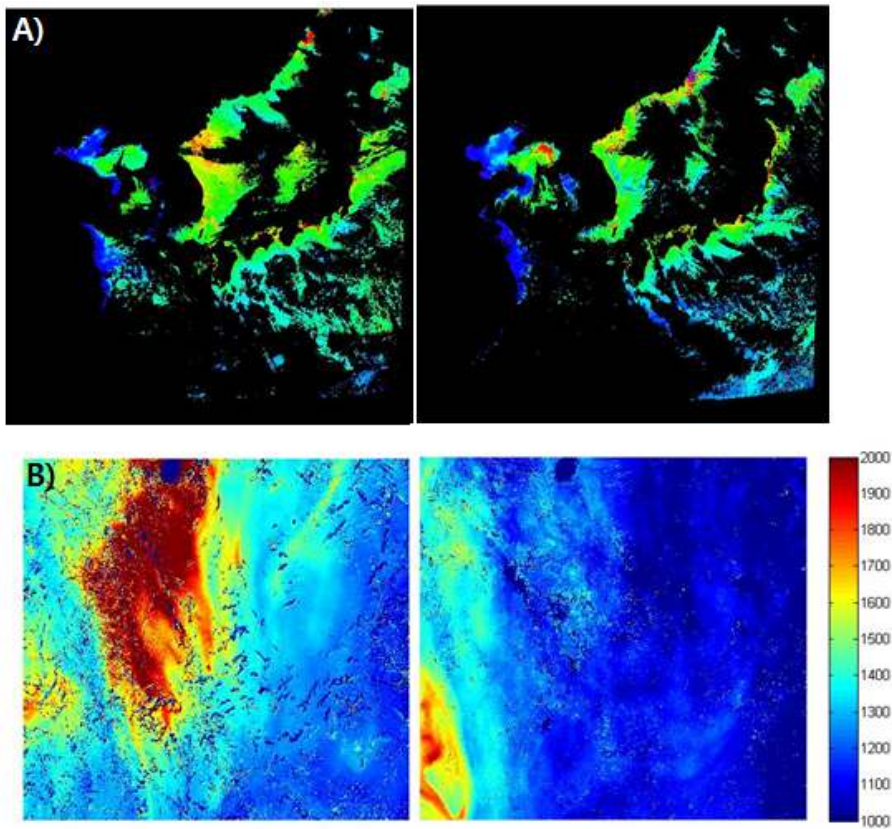


그림 3-1-3. 프로그램을 이용한 일차생산력 결과 분석 A) GDPS, B) MATLAB

울릉분지 전체 평균 일차생산력은 0.58~1.42 (평균 1.05) gC/m²/day의 범위이었고, Sediment Trap 계류정점인 EC-1의 일차생산력은 0.58~2.55 (평균 1.18) gC/m²/day의 범위 이었고, 봄철과 가을철의 Bloom 시기에 표층의 일차생산력도 높게 나타났다. 그리고 시간에 따른 변화 양상은 유사하였으나 변동폭은 Sediment Trap 계류 정점에서 울릉분지 전체 평균한 것 보다 크게 나타났다.

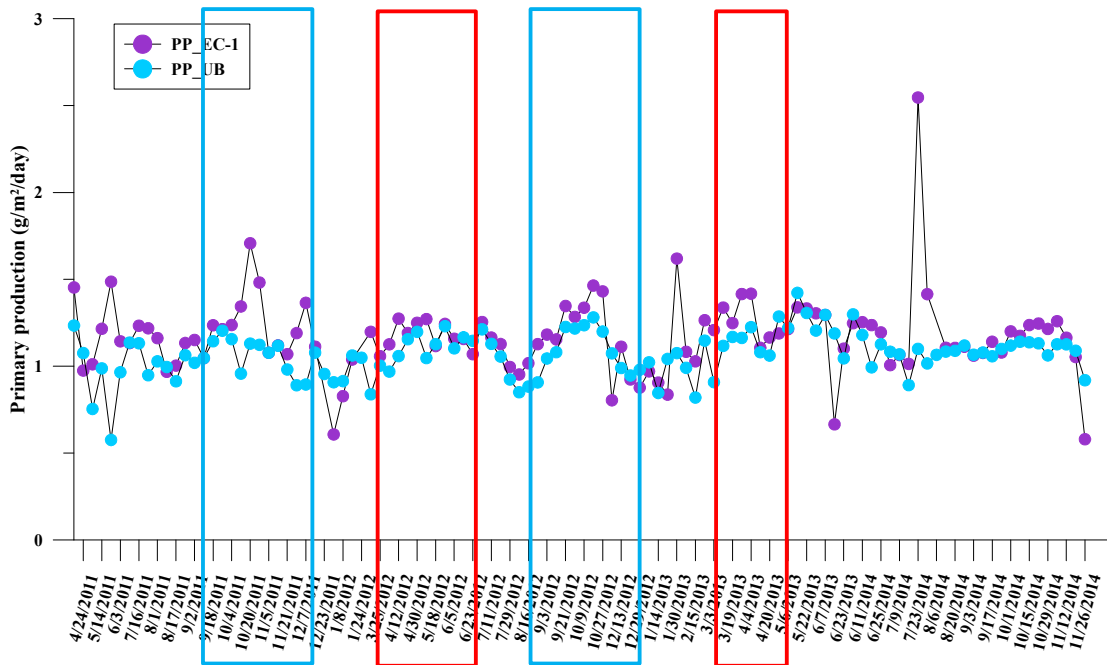


그림 3-1-4. 울릉분지 및 EC-1 표층 일차생산력 변화

2. MODIS Aqua 위성자료 이용 울릉분지 표층생물생산 변화 조사

천리안 위성자료로부터 계산한 울릉분지 표층의 평균 생물생산력 자료와 함께 Oregon 주립대의 Ocean Productivity (<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/index.php>)에서 제공하는 MODIS Aqua 위성 자료 기반의 VGPM (Vertically Generalized Production Model) 계산자료도 이용하여 울릉분지 표층의 생물생산력을 계산하였다(그림 3-1-5). 표층생물생산력 값은 위경도 5분 간격의 1개 픽셀에서 계산된 값의 8일간의 평균을 계산하여 각각 4, 9, 25, 49, 169 Pixel의 범위에 대해 자료를 정리하였다(표 3-1-1 및 그림 3-1-6).

표 3-1-1 울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 Pixel별 범위

Pixel 수	Pixel 범위	
169 pixel	좌측상단 38도 10분, 130도 50분	우측하단 37도 10분, 131도 50분
49 pixel	좌측상단 37도 55분, 131도 05분	우측하단 37도 25분, 131도 35분
25 pixel	좌측상단 37도 50분, 131도 10분	우측하단 37도 30분, 131도 30분
9 pixel	좌측상단 37도 45분, 131도 15분	우측하단 37도 35분, 131도 25분
4 pixel	좌측상단 37도 40분, 131도 20분	우측하단 37도 35분, 131도 25분

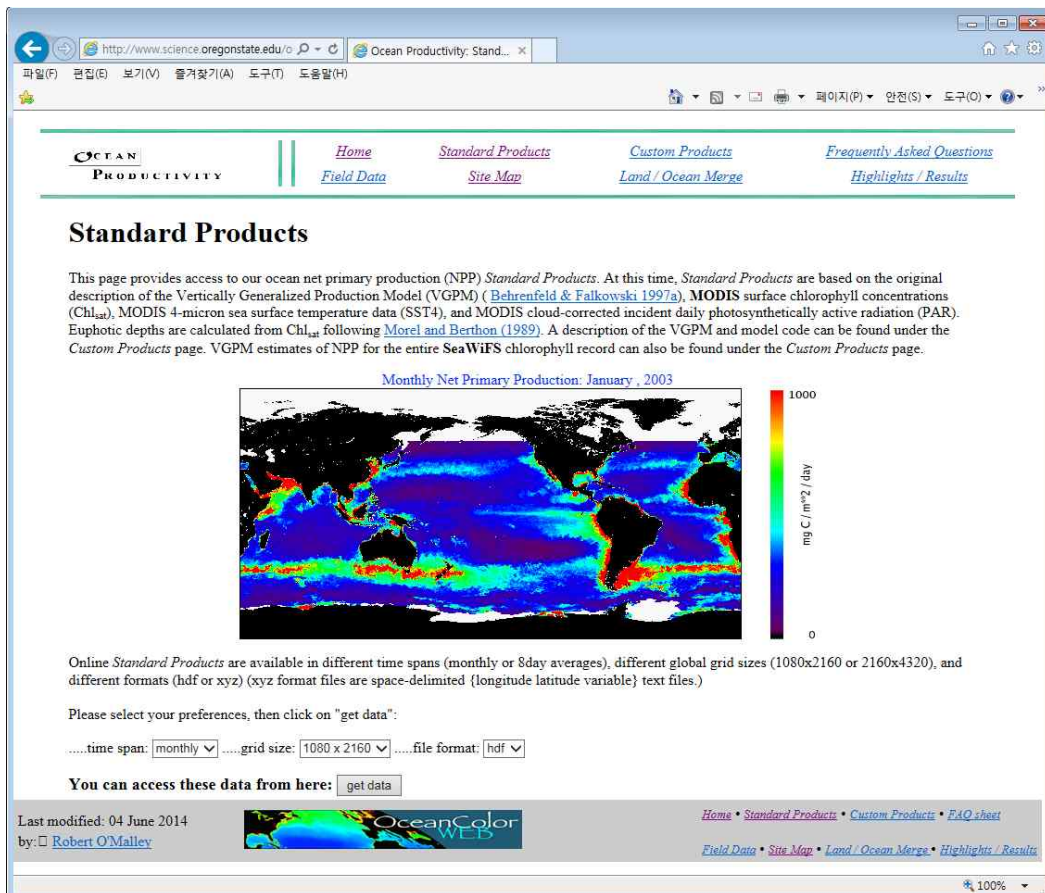


그림 3-1-5. Ocean Productivity Website

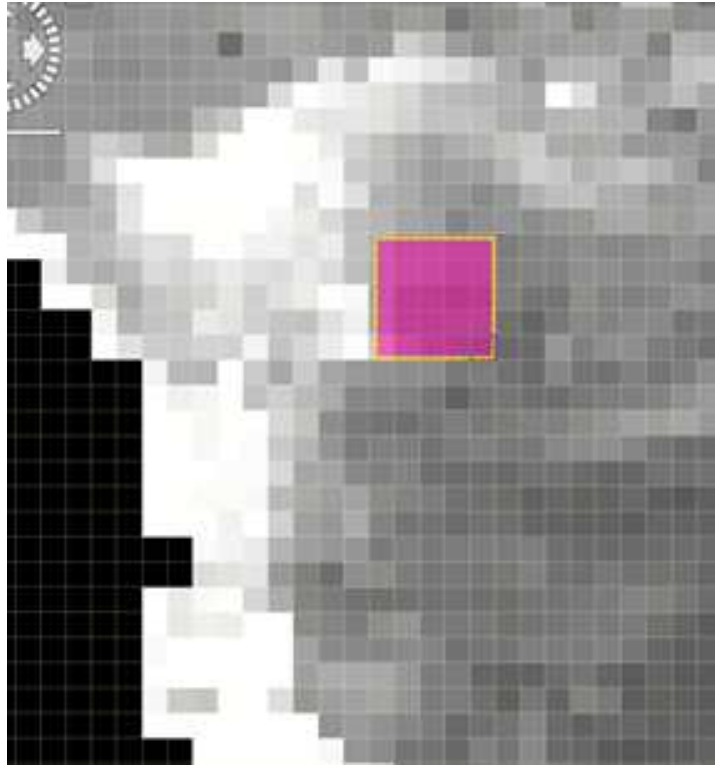


그림 3-1-6. 울릉분지 표층생물생산력 계산에 사용된 픽셀

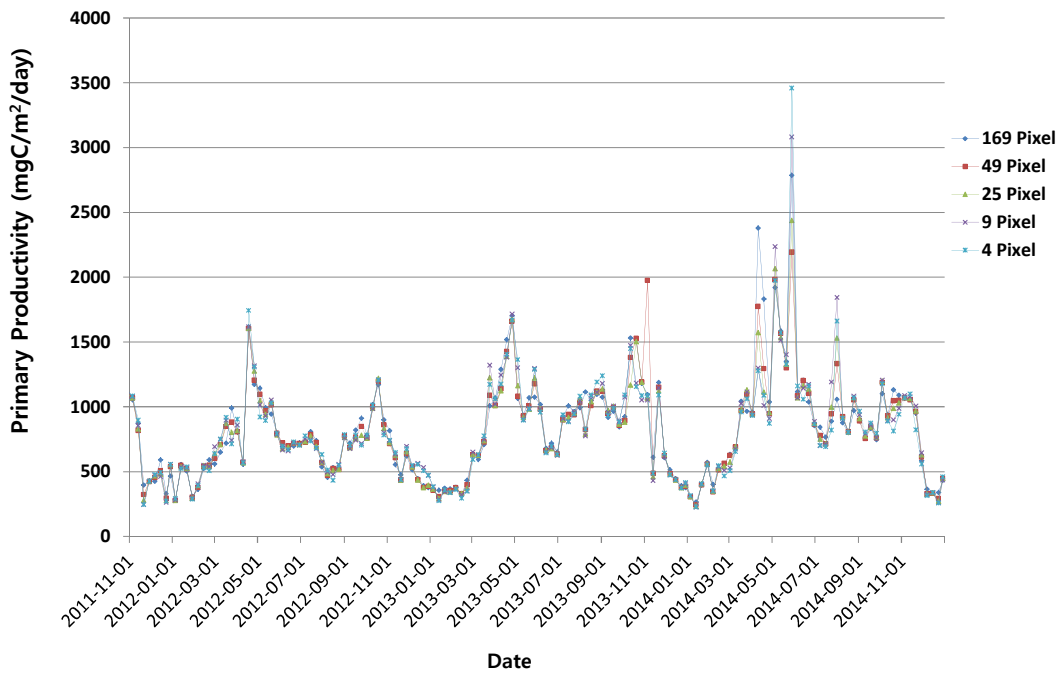


그림 3-1-7. 울릉분지 표층생물생산력의 시간 변화

2011년 11월부터 2014년 12월까지 표층생물생산력은 226~3,624 mgC/m²/day (평균 1,452 mgC/m²/day)의 범위로 계절에 따라 1자리수 이상 차이를 나타내고 있었다(그림 3-1-7). 계산된 픽셀의 범위에 따른 계산값의 차이는 크지 않고, 변화양상도 잘 일치하며, 봄과 가을의 Bloom시기에 높은 값은 나타내고 있었지만 천리안 위성자료로부터 계산된 값(580~1420 mgC/m²/day) 보다 범위가 넓고 변화가 크게 나타났다.

제 2 절 울릉분지 심해 유입물질 특성 및 플럭스 변화 조사

1. 침강입자 포집기(Sediment Trap) 계류 현황

울릉분지 심해로 유입되는 물질을 포집하기 위하여 2010년 11월부터 매년 2회씩 7~10일 간격의 고해상도로 울릉분지 북부 해역의 고정관측점(수심 2250m)에서 500m, 1000m, 2000m의 3개 수층에 Sediment Trap 및 500m와 2000m에 해류계를 계류하여 심해 유입 물질의 특성과 플럭스의 변화를 관측하였다(그림 1-2-1).

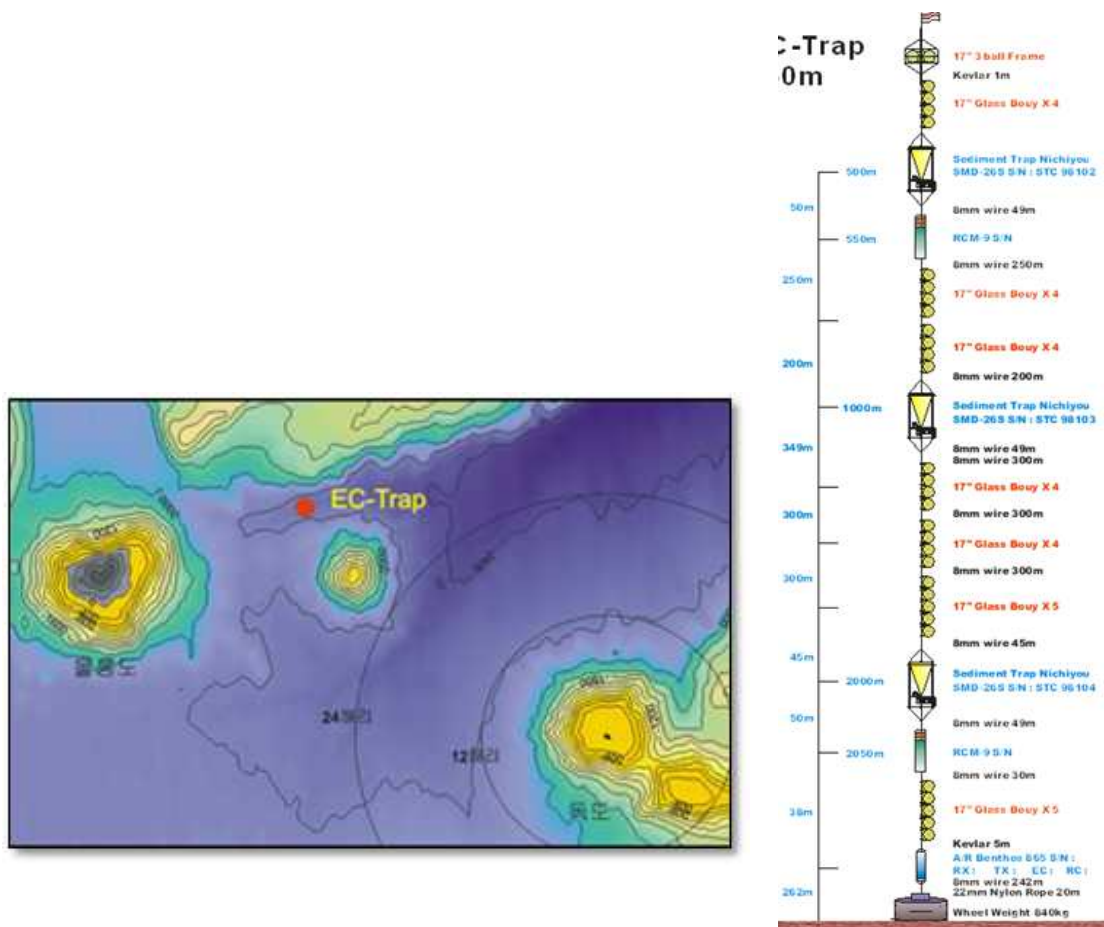


그림 3-2-1. Sediment Trap 계류 위치 및 계류라인 설계도

Sediment Trap 계류의 상세한 내용은 아래와 같다.

- 계류위치 : 울릉분지의 북쪽 수심 2,357m 해역(37° 38.057' N, 131° 20. 619' E)
- 계류기간 : 2010년 11월 ~2016년 9월회
- 장착 장비 : Sediment Trap(NGK SMD-26S Type) : 3개 수층(500m, 1,000m, 2,000m)
Current Meter(RCM DW Type) : 2개 수층 (550m, 2,050m)

본 연구기간 중에 울릉분지에서 수행한 Sediment Trap의 계류현황을 표 3-2-1에 정리하여 나타내었다.

표 3-1-2. 울릉분지에서 수행된 Sediment Trap실험 현황표

Sediment Trap 계류 현황												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2010												1차계류 완료 1000m 시료채취 성공
2011												
	1차계류 완료 (ES1106) 1000m 시료채취 성공 플럭스계산, 주요성분 분석완료						2차계류 완료 (ES1203) 500m, 1000m, 2000m 시료채취 성공 (500m는 12기간/26기간만 성공) 플럭스계산, 주요성분 분석완료					
2012												
			3차계류 완료 (ES1211) 500m, 1000m, 2000m 1000m 14기간/26기간만 시료채취성공 플럭스계산, 주요성분 분석완료				Sampling Bottle은 정상적으로 회전하였으나 Trap 콘의 배출구가 막혀 시료채취 실패					
2013												
	4차계류 완료 (ES1306) 500m, 1000m, 2000m 시료채취 성공 플럭스계산, 주요성분 분석완료							5차계류 완료 (ES1405) Trap 콘의 배출구가 막혀 시료채취 실패				
2014												
	5차계류 완료 (ES1405) Trap 콘의 배출구가 막혀 시료채취 실패					6차계류 완료 (ES1503) 500m, 1000m, 2000m 일부 시료채취 성공 (10기간/26기간) 플럭스계산 완료, 주요성분 분석 완료						
2015												
	7차계류 완료 (ES1509) 500m (16/26), 1000m (12/26), 2000m (25/26) 플럭스 계산 중, 주요성분 분석 중									8차계류 완료 (ES1603) - 플럭스 계산완료, 주요성분 분석중 2000m 실패		
2016												
	8차계류 완료 (ES1603)			9차 계류 완료 (전처리 중)						10차계류 중		

2. 울릉분지의 총입자 플럭스 변화 특성

2011년~2016년 기간동안 Total massflux는 수심 500m에서 0.12~1.59 g/m²/day (평균 0.47 g/m²/day), 1000m에서 0.05~1.61 g/m²/day (평균 0.42 g/m²/day), 2000m 0.13~1.43 g/m²/day (평균 0.45 g/m²/day)로 시기에 따라 10배 이상 차이가 났으며, 특히 춘계 및 추계 Bloom 시기에 2배 이상 많은 입자플럭스가 관측되었다. 또한 1월 및 2월의 동계 시기에 특이하게 높은 플럭스가 관측되었다(그림 3-2-2). 2013년의 춘계의 Bloom은 규모가 작고 뚜렷하지 않았다. 울릉분지의 Total massflux는 동해 북부해역 (T. Nakanishi & M. Minagawa, 2003)에 비해 최대 10배 큰 Flux를 나타내고 있었다.

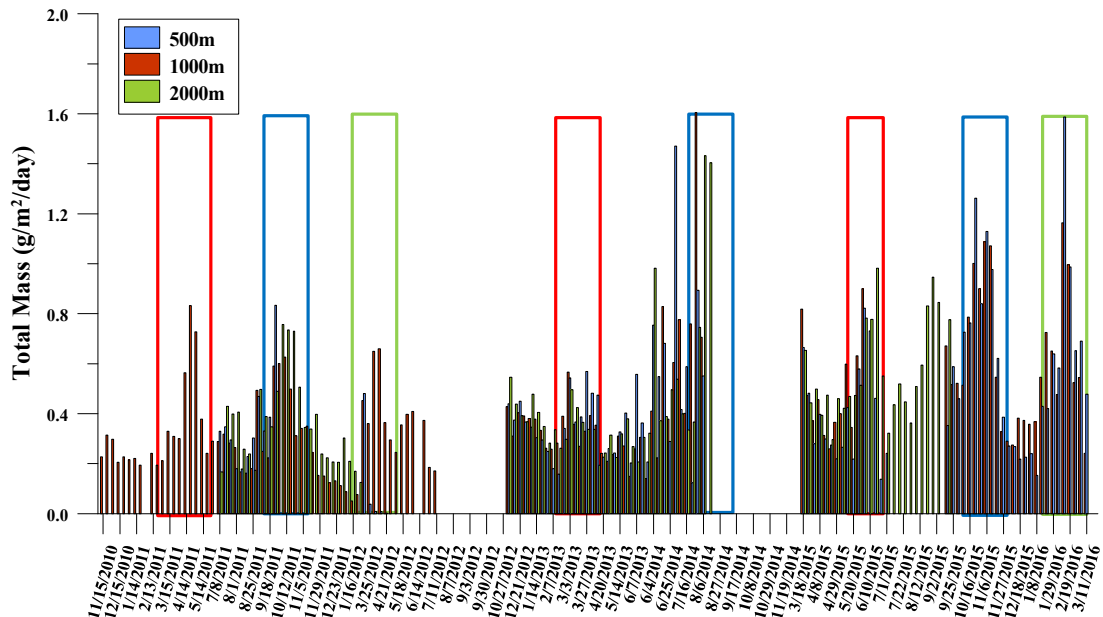


그림 3-2-2. 동해 울릉분지의 Total Massflux 시간변화

수심별 플럭스 차이를 살펴보면 500m, 1000m, 2000m에서 플럭스의 시간에 따른 변화양상 및 플럭스의 크기가 유사하며, 수심에 따른 플럭스 피크의 시간 차이가 나타나지 않는 것 등으로부터 울릉분지는 표층에서 생물생산에 의해 생성된 입자가 빠르게 해저퇴적물로 유입되는 것으로 사료된다(그림 3-2-3).

1999년의 동일한 해역에서 실시된 수심 1000m의 Sediment Trap 실험의 자료와 함께 비교해 보면 지난 15년간 울릉분지 북부해역의 Total Massflux의 규모는 차이가 없는 것으로 보인다(그림 3-2-4).

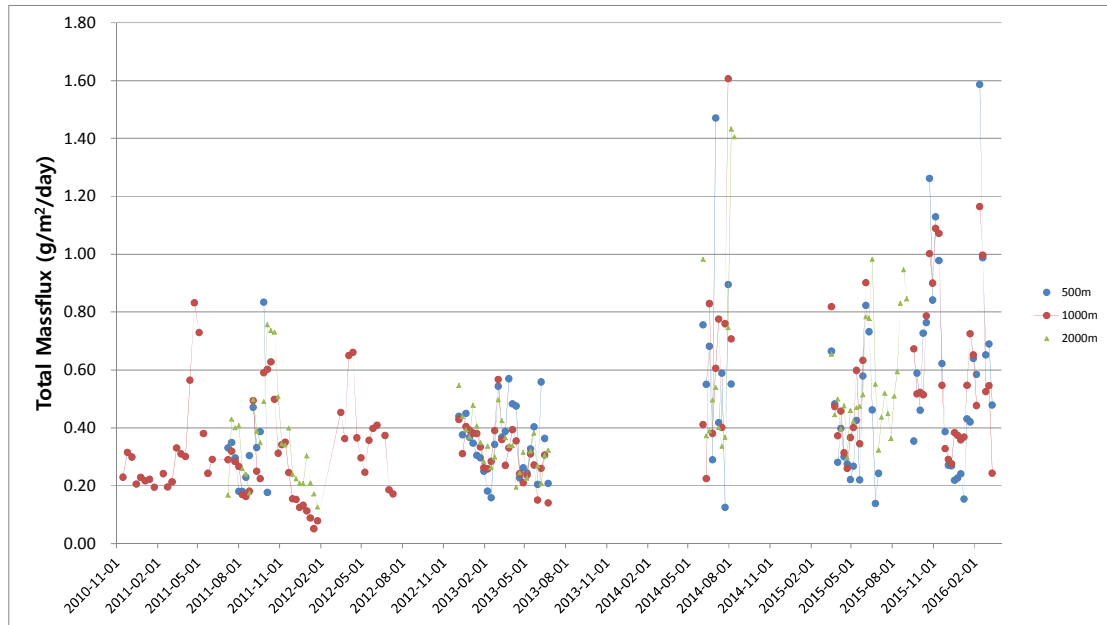


그림 3-2-3. 동해 울릉분지의 수심별 Total Massflux 시간변화

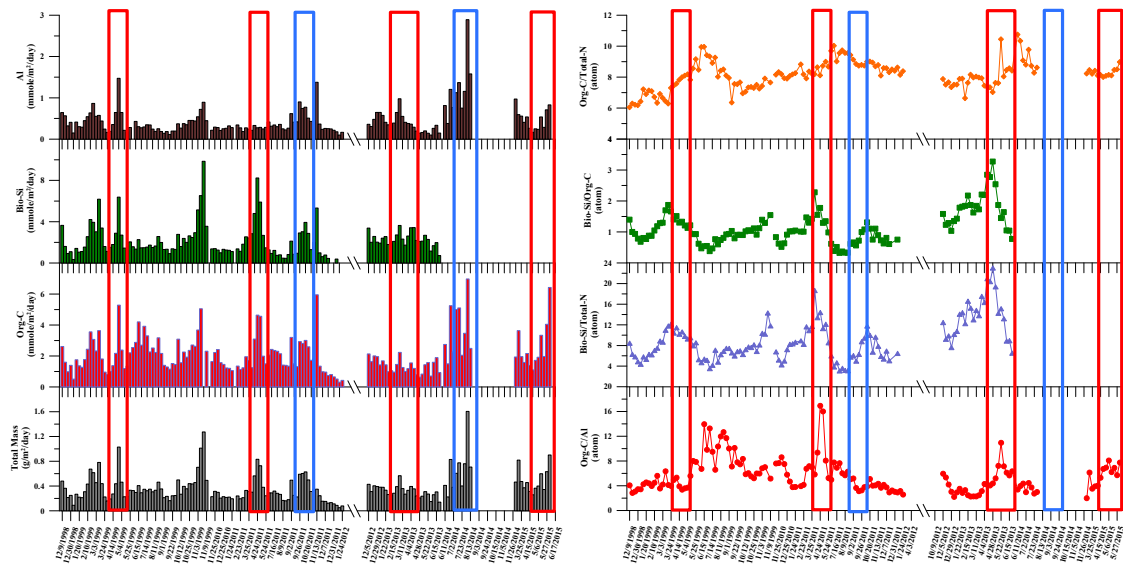


그림 3-2-4. 동해 울릉분지의 Total Massflux, Bio-Si, Al의 시간변화

침강입자 중의 주요성분 농도 및 플럭스의 변화를 살펴보면 춘계 Bloom 시기에 높은 Massflux와 함께, 유기탄소 및 생물기원 규소의 Flux도 높았다. 그리고 1999년 춘계 Bloom 시기에 황사기원의 높은 Al Flux를 나타냈지만 2010년 이후에는 춘계 Bloom 시기에는 뚜렷한 황사가 없어, Al Flux도 작았지만 춘계 Bloom 시기에 큰 Al Flux가 나타났고, 이는 수평이동에 의해 유입된 것으로

추정된다. Bloom 시기에 유기탄소 및 총질소에 대한 생물기원 규소의 비 값이 높은 것은 동해의 춘계 Bloom은 대부분 규조류에 의한 것임을 시사한다.

따라서 동해 울릉분지의 봄철 Bloom은 황사 등에 의한 육상기원 영양염류 보다는 동해 자체의 계절변화에 따른 생물학적 과정이 더 중요한 것으로 사료되며, 가을과 겨울철의 높은 플럭스는 수평이동에 의해 유입된 플럭스가 큰 역할을 하는 것으로 사료된다.

3. 표층생물생산력 변화와 심해유입물질 플럭스와의 관계

울릉분지 표층의 생물생산력 변화가 심해로 유입되는 물질 플럭스에 미치는 영향을 살펴보기 위해 2010년 11월부터 2014년 9월까지 Sediment Trap에서 포집된 Total Massflux 및 Organic Carbon flux와 MODIS Aqua위성 자료기반의 VGPM으로 계산된 표층의 생물생산력 자료와 비교하여 상관성 분석하였다 (그림 3-2-5).

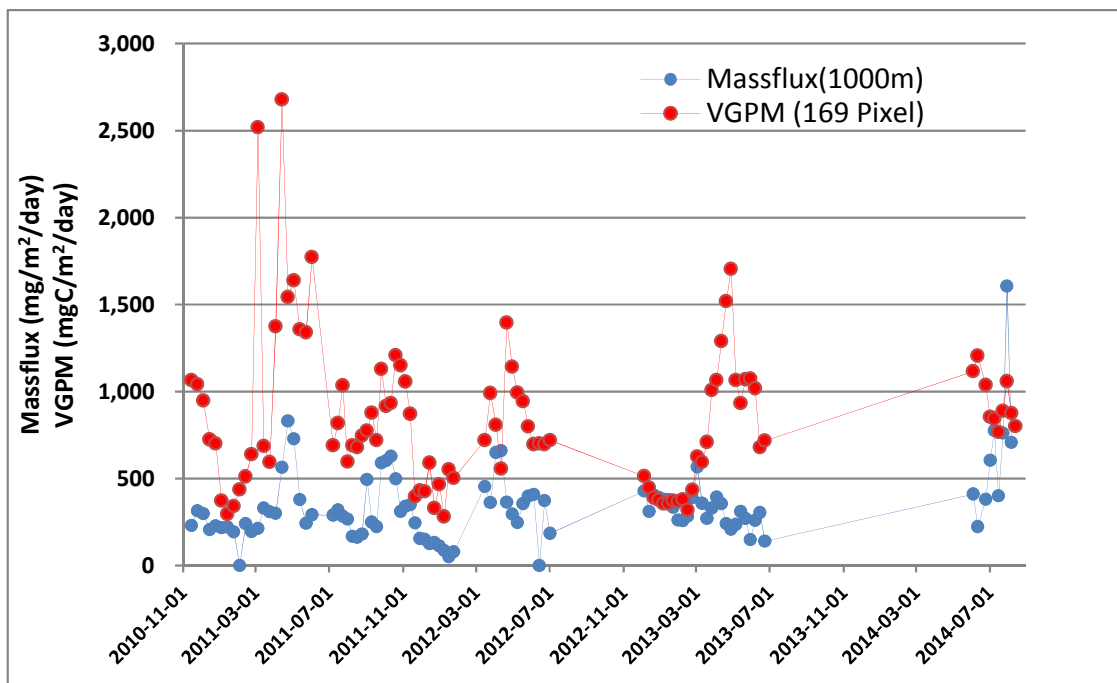


그림 3-2-5. Total Massflux 및 VGPM 값의 시간변화

시간에 따른 Total Massflux와 VGPM 값의 변화양상은 춘계와 추계 Bloom 시기에 함께 높아지는 등 유사한 패턴을 나타내지만, 상관관계는 분산이 크고 상관계수 $R^2=0.05$ 정도로 낮았다(그림 3-2-5 및 그림 3-2-6). 가장 자료수가 많은 수심 1000m의 Sediment Trap의 Organic Carbon Flux와의 상관관계 역시 분산이 크고 상관계수 $R^2=0.05$ 정도로 낮았다.

VGPM값에 대한 Total Massflux와 Organic Carbon Flux의 사이에 상관관계가 낮은 것은 표층에서 생산된 입자물질이 유광층 내에서 소비되고, 재순환 되는 과정 후에 Export Flux로 유출된 입자물질이 Sediment Trap에 포집된 것으로 Total Massflux가 표층의 생물생산력의 변화를 그대로 반영하지 않음을 시사한다. 향후 유광층 내에 Sediment Trap을 계류하여 보다 상세한 상관성 분석 실험이 필요할 것으로 생각된다.

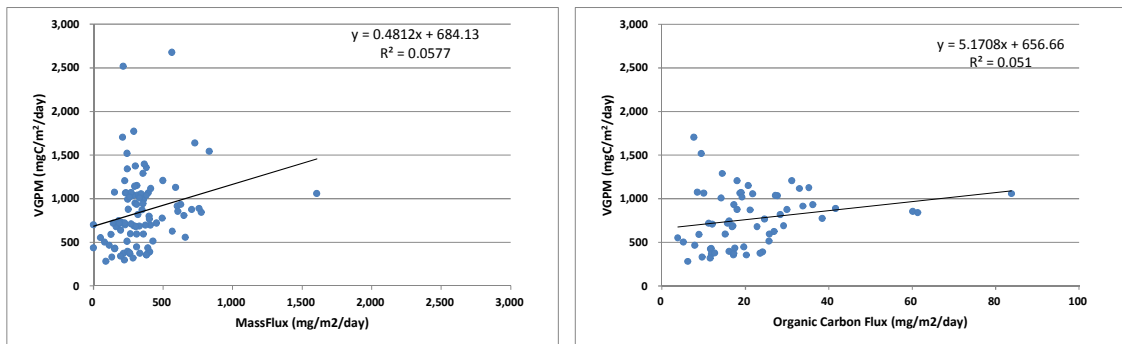
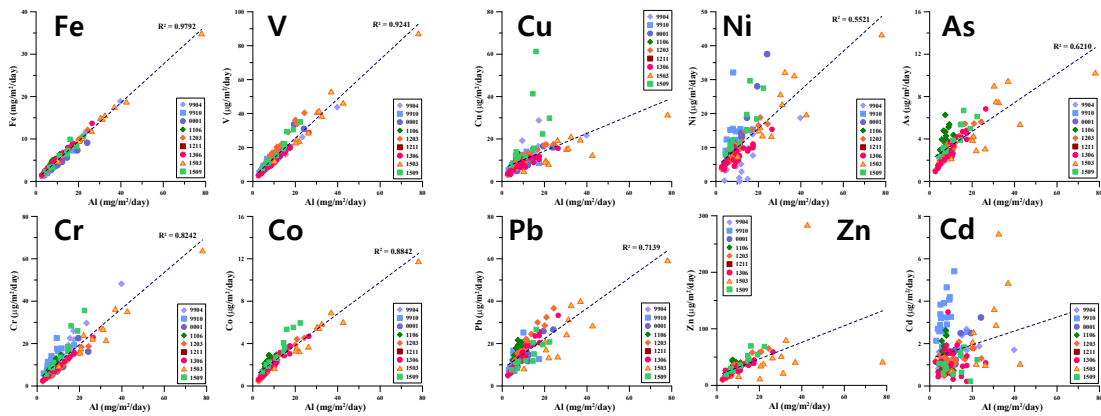


그림 3-2-6. Total Massflux 및 Organic Carbon Flux에 대한 VGPM 값의 상관관계

4. 울릉분지 심해 유입물질 특성

울릉분지로 심해로 유입되는 물질의 특성을 파악하기 위하여 침강입자 중의 주요 금속성분을 분석하고, 기원을 파악하기 위하여 Al 농도와 각 금속성분의 상관관계를 구하고, 농축계수를 계산하였다(그림 3-2-7).

침강입자 형태로 심해로 유입되는 금속성분 중 Fe, V, Cr, Co 등은 모두 상관계수가 0.8 이상으로 대기를 통해 육상으로부터 유입된 육상지각 기원의 것으로 사료되며, Cu, Ni, As, Pb, Zn, Cd 등은 육상의 인간활동 등에 의해 방출된 오염물질 기원의 것이 많이 포함되어 있는 것으로 추정된다.



알루미늄플럭스와 금속원소 플럭스와의 상관관계

	Fe	V	Cr	Co	Cu	Ni	As	Pb	Zn	Cd
R ²	0.98	0.92	0.82	0.88	0.30	0.55	0.62	0.71	0.25	-

미량금속의 농축계수(Enrichment Factor : EF)

	EF_V	EF_Cr	EF_Co	EF_Ni	EF_Cu	EF_Zn	EF_As	EF_Cd	EF_Pb
Min	0.7	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	1.5	8.1	1.9
Max	1.3	1.2	1.4	2.4	8.4	9.4	10.9	297	10.7

그림 3-2-7. 침강입자의 금속성분의 Al에 대한 상관관계 및 농축계수

5. 울릉분지 입자성유기탄소(POC) 수치 계산

울릉분지 해저퇴적물에 존재하는 유기탄소 중 표층에서 일차생산에 의해 생산된 유기탄소의 기여율을 파악하고자 단순 박스모델을 이용하여 POC 수치를 계산하였다(그림 3-2-8).

- 계산에 사용된 각 요소별 자료

- Primary Productivity : 천리안위성 자료로부터 계산된 일차생산력
- Particle Export Flux : MODIS Aqua 위성자료 및 ²³⁴Th/²³⁸U
- Arrival Flux at Bottom : Sediment Trap에서 포집된 침강입자중 POC Flux 평균
- Sediment Burial Flux : 기 보고자료(Lee et al., 2008),
- Atmospheric Input of ²¹⁰Pb : 50 dpm/m²/day(Tokieda et al., 1996)
- Sediment accumulation rate : 98 dpm/m²/day(2013년 EC-1 자료),
- Arrival Flux at Bottom of ²¹⁰Pb : 43 dpm/m²/day(1999년 Sediment Trap 자료)

표층유광대에서 생산된 탄소는 280.2~382.4 gC/m²/yr의 범위로 이 중 Particle Export Flux로써 유광층 아래로 유출되는 양은 50~100 gC/m²/yr로 표층 생산력의 13 ~ 35%에 해당되었다.

Sediment Trap에서 포집된 POC 플럭스는 500m에서 2.5~68.1 gC/m²/y, 1000m에서 gC/m²/y, 2000m에서 gC/m²/y로 유광층 아래의 수심에서는 유사한 양이며, 해저퇴적물로 매몰되는 유기탄소의 플럭스는 5.6~34.2 gC/m²/y로 침강 입자의 POC 플럭스와 유사한 범위내에 존재하는 것으로부터 Sediment Trap에 포집된 POC가 그대로 해저 표층퇴적물로 유입되는 것으로 사료되며 표층에서 생산된 탄소의 2.4 ~ 9.6%가 해저퇴적물로 도달하는 것으로 계산되었다.

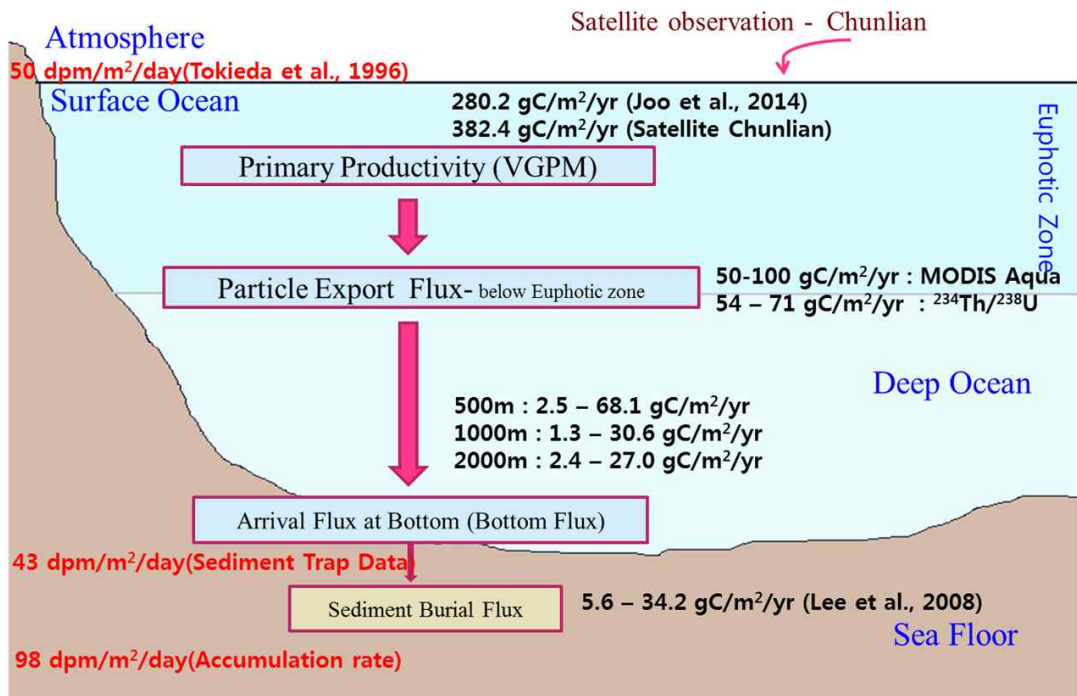


그림 3-2-8. 동해 울릉분지의 POC 수치

해저퇴적물로 유입되는 물질은 해양표층에서 생산된 것 외에도 수평이동에 의해 유입된 것도 존재하기 때문에 수평이동되어 유입된 양을 파악하기 위하여 대기, 침강입자, 해저퇴적물의 천연방사성 핵종인 ²¹⁰Pb 플럭스 계산하여 비교하였다.

대기에서 울릉분지의 해수면으로 유입되는 ^{210}Pb 의 유입량은 $50 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 이며, 입자에 흡착되어 해저로 침강하는 ^{210}Pb 의 제거량은 $43 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 로 대기로부터 유입되는 양과 유사하였다. 그러나 해저퇴적물로 매몰되는 ^{210}Pb accumulation rate는 $78 \text{ dpm/m}^2/\text{day}$ 로 대기 및 수층을 침강한 양의 약 2배를 나타내었다. 따라서 울릉분지로 퇴적되는 퇴적물의 약 절반은 사면등에서부터 수평이동 되어온 것을 시사하며, 이러한 수평이동은 가을 및 겨울철의 Sediment Trap에 포집된 큰 플럭스와 관계가 있는 것으로 추정된다. 향후 상세한 계절별 침강입자 특성 파악 및 물질기원 파악 연구가 필요하다고 생각된다.

제 4 장

동해 올콩분지 심해 서식지 환경 특성

제 1 절 후포뱅크 해역 해수환경 특성 조사

1. 2014년 조사 결과

울릉분지 심해로 이어지는 후포뱅크 사면의 서식지 환경특성 파악을 위해 해수환경 조사는 2, 4, 8, 10월의 4계절 조사로 계획되었고, 2월 25일 동계조사, 4월 15일 춘계조사, 8월 13일 하계조사, 10월 24일 추계조사를 실시하였다(그림 4-1-1)

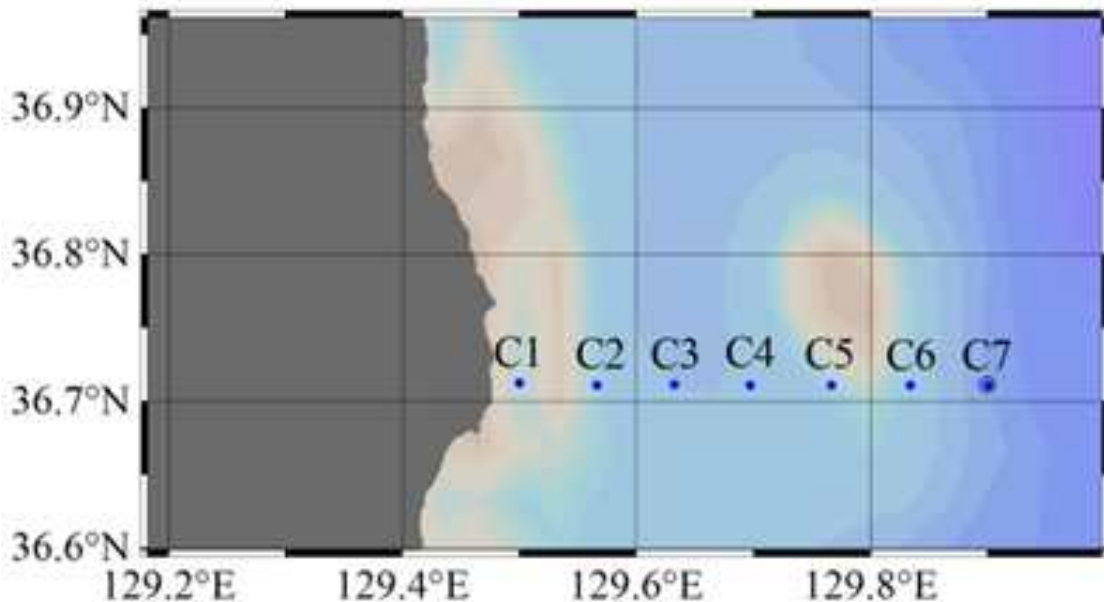


그림 4-1-1. 후포 뱅크 조사 정점도

CTD에서 측정된 수온과 염분 분포를 살펴보면, 2월의 표층 수온은 11~13°C의 분포를 보였으며, 염분 분포도에서 연안 쪽 표층에 고온, 고염의 대마난류수가 분포하고 있는 것을 볼 수 있고, 4월에는 대마난류수가 외해역 쪽으로 이동하여 2월 보다 넓게 깊게 분포하고 있는 것을 알 수 있었다(그림 4-1-2)

4월의 표층 수온은 2월보다 약간 상승하여 14~15°C의 분포를 나타내었다. 특히, 연안 쪽은 10m, 외해 쪽은 100m 아래의 수온이 2월보다 4월에 더 낮아지는데,

이는 용승 및 해류 분포 변화와 같은 물리적 요인에 의해 심해 해수가 연안 쪽으로 올라왔기 때문으로 생각된다.

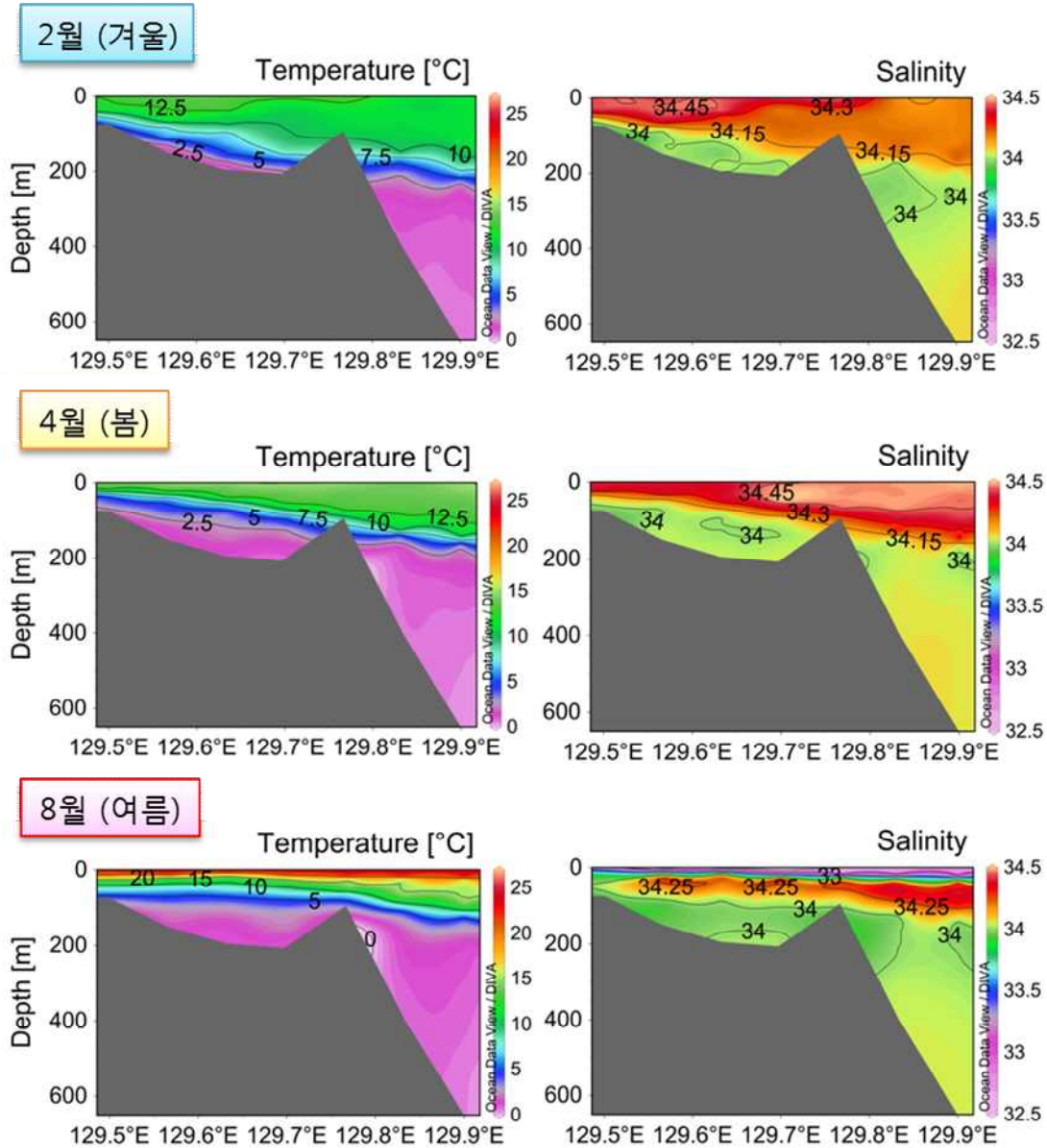


그림 4-1-2. 2014년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 수온과 염분 수직 분포도

8월의 경우에는 표층 수온은 평균 23°C로 4월에 비해 크게 상승하였고, 표층에는 저염수가 5~20m의 두께로 분포하고 있는데, 이는 대마난류 표층수로 생각된다. 강우와 양쯔강 하천수 유입에 의해 동중국해 및 황해에서 형성된

해수로, 대한해협을 통과하면서 남해 연안수까지 섞여 올라온 것으로 고온, 저염이 특징이고, 그 아래에는 수심 50m를 중심으로 고온, 고염의 대마난류 중층수가 분포하고 있고, 이는 초여름에서 초가을까지 동해 남부 연안에서 관찰되는 전형적인 수괴 패턴이다.

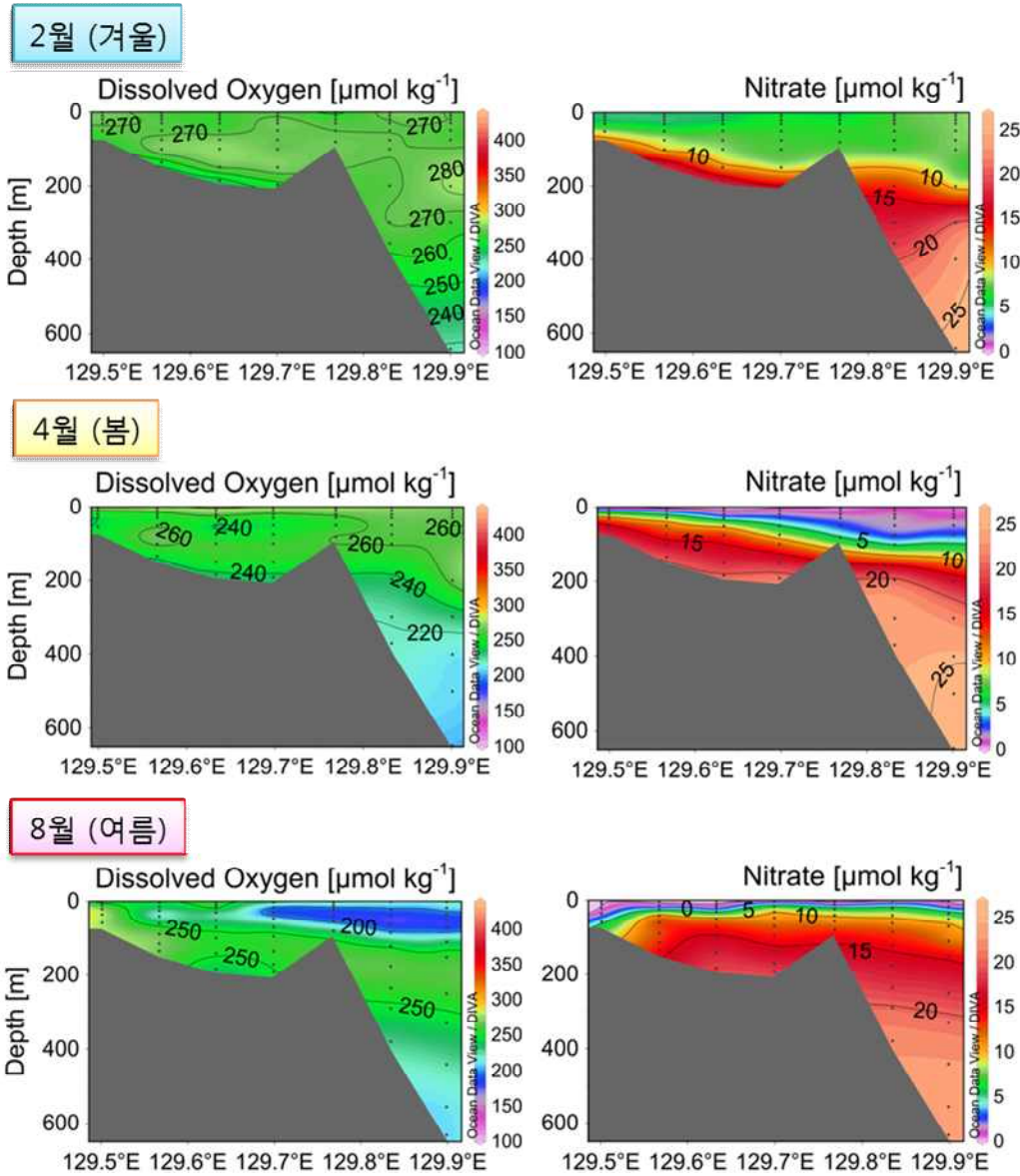


그림 4-1-3. 2014년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 용존 산소와 질산염 수직 분포도

2월은 수온이 13°C 이하로 낮아 표층 식물 생산성이 낮았으며, 표층의 영양염 농도도 높은 편이었고, 수온 상승과 함께 4월 표층 영양염 농도는 외해역 정점부터

고갈되기 시작하여, 표층 식물 생산성이 크게 증가하였다(그림 4-1-3).

8월의 경우 적조에 의한 와편모조류의 번식으로 식물 생산성이 매우 높았으며, 조사 당시 육안으로 확인이 가능한 정도였음. 바로 아래 고염의 대마난류 중층수가 분포하는 층의 용존산소 농도가 상대적으로 매우 낮았다($150\sim 200 \mu\text{mol kg}^{-1}$). 낮은 산소 농도는 대마난류 중층수의 특징이며, 표층 식물 생산성이 높아 유기물이 아표층에서 재생산되는 과정에서 산소를 더 소모할 수 있지만, 영양염 농도 분포나 아래의 총 용존 무기탄소 농도 분포를 살펴보았을 때 유기물 재생산에 의한 영향은 적은 것으로 생각된다.

총 용존 무기탄소 농도 또한 2월 보다 4월의 경우 아표층에서 증가하였으며, 후포뱅크 안쪽 사면을 따라 올라오는 형태를 보였다. 표층 식물 생산성 증가로 인해 8월 표층의 총 용존 무기탄소 농도는 $1950 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 이하로 낮았고, 조사 구역 내에서의 가장 높은 총 용존 무기탄소 농도는 4월에 정점 6과 정점 7의 바닥 부근에서 나타났으며, $2230\sim 2250 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 의 농도 분포 범위를 나타내었다. 이는 물리적 요인에 의해 후포 뱅크 사면을 따라 탄소 농도가 높은 심해해수가 올라왔기 때문으로 생각된다.

후포 지역 계절 조사를 통해서 이 지역 표층의 화학 인자들은 대마난류수 유입과 식물 생산성 증감에 의해 영향을 받는 것으로 생각되며, 표층 아래에서는 계절적 용승과 같은 물리적 요인에 의한 농도 변화가 지배적인 것으로 생각된다..

2. 2015년 조사 결과

2015년도에도 2014년도와 동일하게 후포뱅크의 물리적, 화학적 특성 및 그 변화를 파악하기 위한 해수환경 조사를 2, 4, 8, 10월의 4계절 조사로 계획하였고, 2월 25일 동계조사, 4월 22일 춘계조사, 8월 22일 하계조사, 10월 29일 추계조사를 실시하였다.

CTD에서 측정된 수온과 염분 분포를 살펴보면, 2월의 표층 수온은 $10\sim 11^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보였으며, 염분 분포도에서는 표층 전반에 걸쳐 고온, 고염의 대마난류수가 분포하고 있는 것을 볼 수 있었으며, 4월에는 대마난류수가 외해역 쪽으로

이동하였고, 정점 C2~C4 표층에 상대적으로 저염의 해수가 관찰되었다(그림 4-1-4).

4월의 표층 수온은 2월보다 약간 상승하여 13~14°C의 분포를 보임. 특히, 연안 쪽은 40m, 외해 쪽은 100m 아래의 수온이 2월보다 4월에 더 낮아짐. 2월에는 연안 쪽에 보이지 않던 5°C 온도라인이 4월에는 연안 40m까지 상승하였다. 이는 용승 및 해류 분포 변화와 같은 물리적 요인에 의해 심해 해수가 연안 쪽으로 올라왔기 때문으로 생각된다.

2월은 수온이 11°C 이하로 낮아 표층 식물 생산성이 낮았으며, 표층의 영양염 농도도 다른 계절에 비해 상대적으로 높은 편이었다(그림 4-1-5).

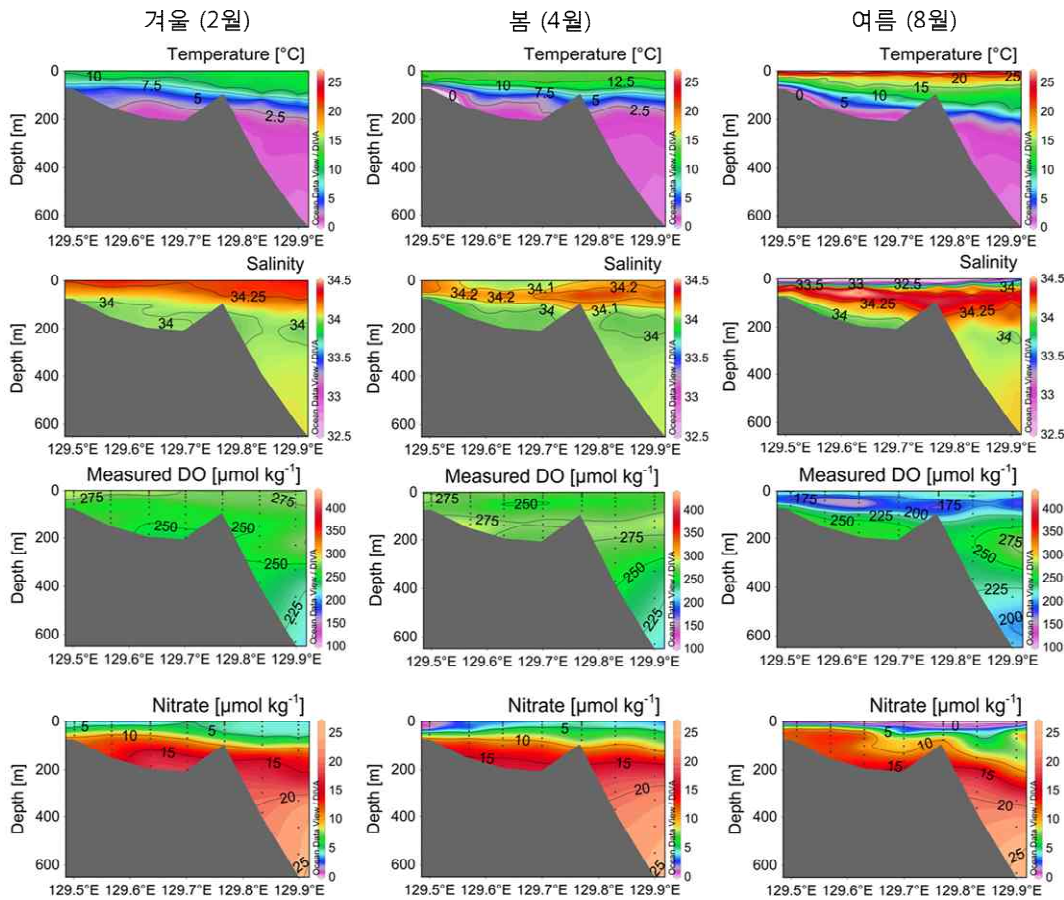


그림 4-1-4. 2015년 겨울(2월), 봄(4월), 여름(8월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도

8월의 경우 표층 수온은 평균 25°C로 4월에 비해 크게 상승하였고, 표층에는 저염수가 5~20m의 두께로 분포하고 있는데, 이는 대마난류 표층수임. 강우와 양쯔강 하천수 유입에 의해 동중국해 및 황해에서 형성된 해수로, 대한해협을

통과하면서 남해 연안수까지 섞여 올라온 것으로 고온, 저염이 특징이다. 그 아래에는 연안은 수심 50m, 외해역 쪽은 수심 100m를 중심으로 고온, 고염의 대마난류 중층수가 분포하고 있으며, 이는 초여름에서 초가을까지 동해 남부 연안에서 관찰되는 전형적인 수괴 패턴이다.

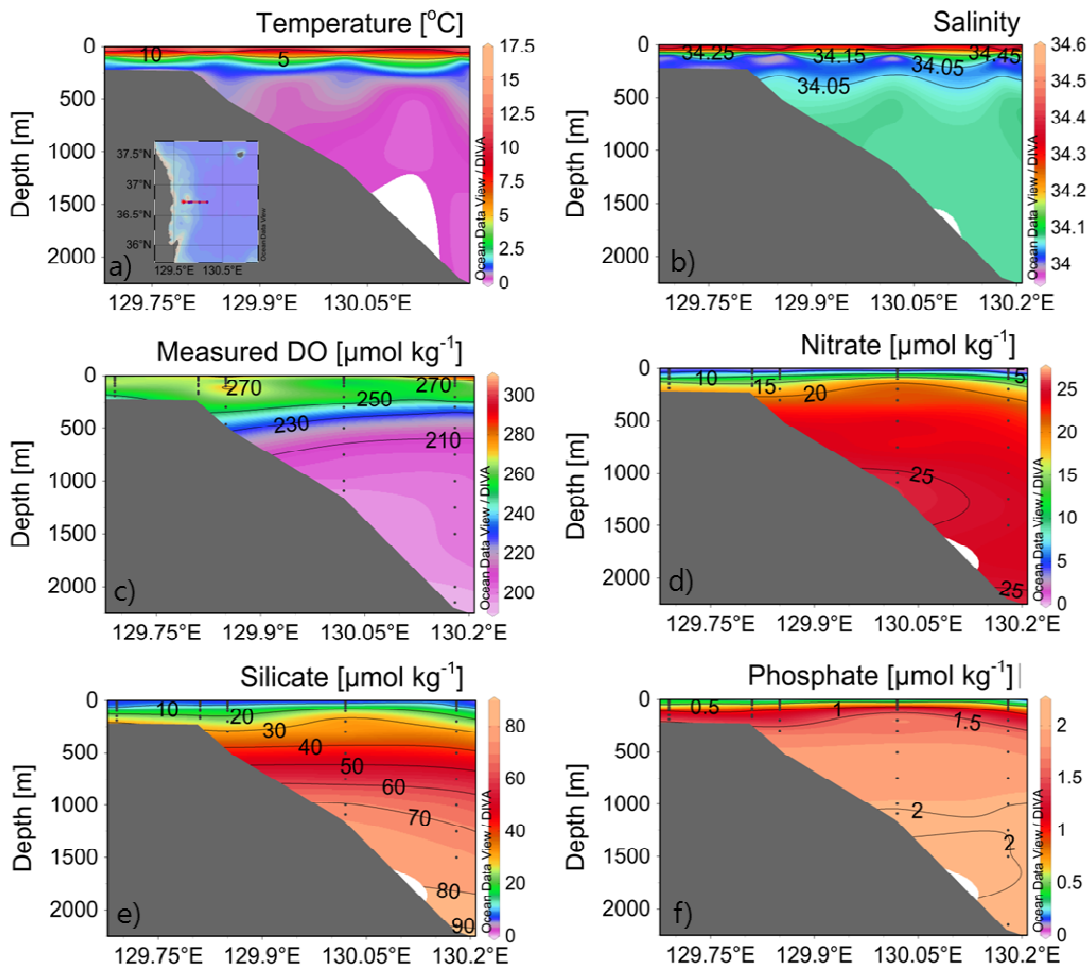


그림 4-1-5. 2015년 a)수온, b)염분, c)용존산소, d)질산염, e)규산염, f)인산염 수직 분포도

수온 상승과 함께 4월 표층 영양염 농도는 전년도와는 달리 연안쪽 정점부터 고갈되기 시작하여, 표층 식물 생산성이 크게 증가함. 8월의 경우 적조에 의한 와편모조류의 번식으로 식물 생산성이 매우 높았으며, 조사 당시 육안으로 확인이 가능한 정도이었다. 바로 아래 고염의 대마난류 중층수가 분포하는 층의 용존산소 농도가 상대적으로 매우 낮았고(150~200 $\mu\text{mol kg}^{-1}$) 낮은 산소 농도는 대마난류 중층수의 특징이지만, 표층 식물 생산성이 높아 유기물이 아표층에서 재생산되는 과정에서 산소를 더 소모할 수 있다.

영양염 농도 분포는 산소 농도처럼 뚜렷이 구별되지는 않지만, 같은 깊이의 다른 지역에 비해 영양염 농도가 높게 나타나지만 유기물 재생산에 의한 영향의 크기를 평가하기에는 자료가 부족하며, 이를 위해서는 추가 집중 조사 및 생물 조사가 병행되어야 할 것으로 생각된다.

3월 31일부터 4월 2일까지 계절 후포조사보다 외해로 탐사가 진행되었고, sediment trap이 설치되어있는 EC-01 정점에서 환경 조사가 진행되었다(그림 4-1-6).

표층 수온은 11~13°C의 분포를 보였으며, 고온, 고염의 대마난류수가 표층에 분포하고 있으며, 수심 150~350m에 상대적으로 저염수가 출현하였다. 용존산소 농도 분포로 볼 때 식물생산량은 외해쪽 표층이 가장 높았으며, 이와 동일하게 영양염 농도도 외해쪽이 상대적으로 낮았다.

Sediment trap이 설치된 EC-1정점에서 관측 인자들의 수직 변화를 살펴보면, 표층 수온은 평균 11°C이고 표층 염분은 34.2로 100m까지 일정한 분포를 보였다. 수심 200m에서 300m로 될 때, 수온과 염분이 급격히 감소하고, 산소 농도는 표층 보다 높게 나타났다. 특히 염분은 전층과 비교하였을 때 가장 낮게 나타났으며 상대적으로 저염의 산소농도가 높은 물이 이 수심으로 유입된 것으로 보인다. 영양염 농도에서는 큰 차이가 나타나지 않았고, 심해에서 질소와 인의 비율은 알려진 것과 같이 13:1로 Redfield ratio보다 낮았음(그림 4-1-7).

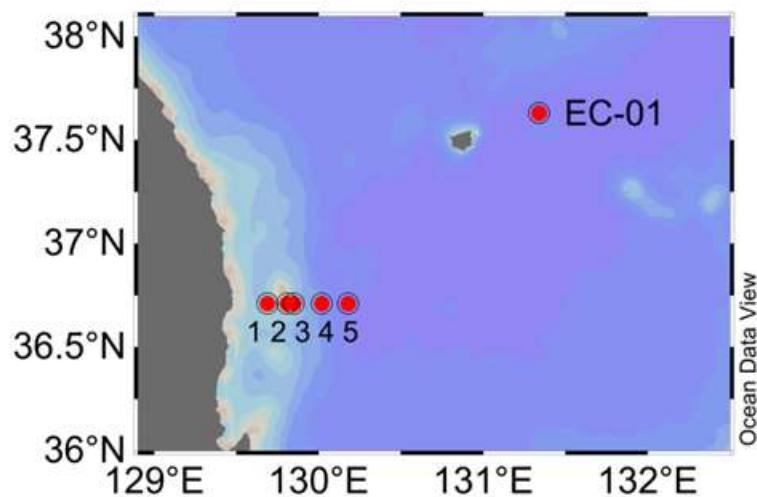


그림 4-1-6. 2015년 외해쪽 후포뱅크 조사 정점

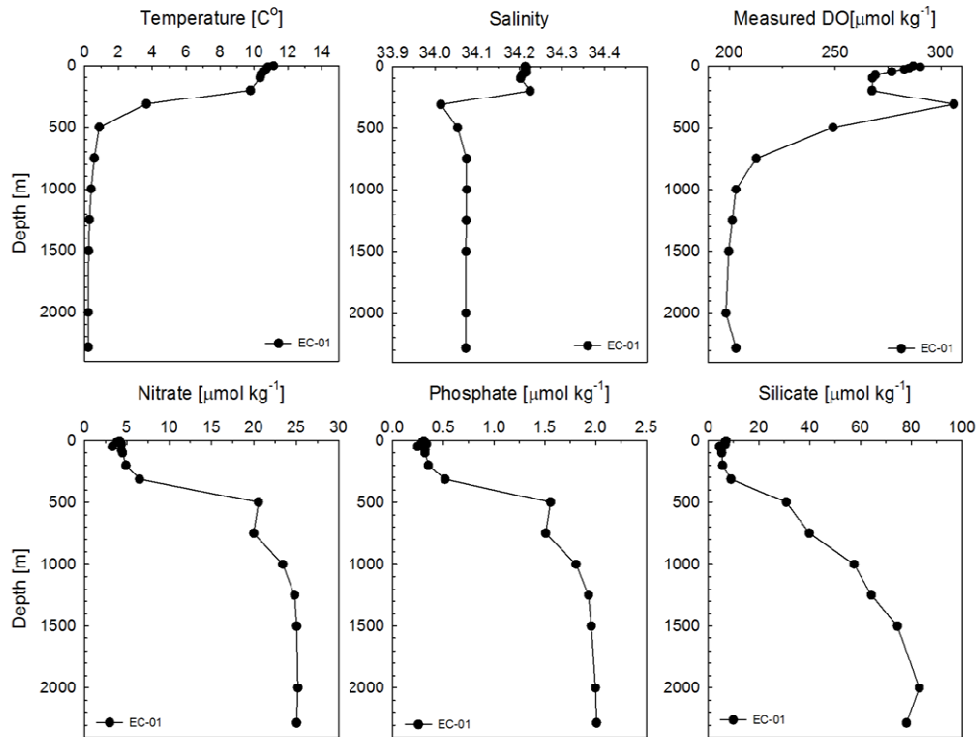


그림 4-1-7. 2015년 EC-01 정점에서의 수온, 염분, 용존산소, 질산염, 인산염, 규산염 농도의 수직변화

3. 2016년 조사

2014년 2015년과 동일하게 후포뱅크의 물리적, 화학적 특성 및 그 변화를 파악하기 위해 2, 4, 8, 10월의 4계절 조사를 계획하고, 2월 23일 동계, 4월 20일 춘계, 8월 25일 하계조사를 실시하였고, 10월에 계획되었던 추계조사는 계속된 기상악화로 11월 18일에 진행되었다.

측정된 수온과 염분 분포를 살펴보면, 2월의 표층 수온은 10.5~11.5°C의 분포를 보이며, 염분 분포도에서는 표층에 고염, 고염의 대마난류수가 과거와 달리 연안 쪽에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이는 대마난류수의 외해 이동 시기가 과거 보다 늦어 졌음을 의미한다(그림 4-1-8).

4월에는 대마난류수가 외해쪽으로 이동하였고, 4월 표층 수온은 2월보다 약간 상승하여 11~15.5°C의 분포를 보였고, 과거 같은 시기 측정치에 비해 내해와 외해 정점의 온도 구배가 크게 나타났다. 연안 쪽은 15m 아래의 수온이

2월 보다 4월이 더 낮았고, 이는 용승이나 해류 분포 변화와 같은 물리적 요인에 의해 심해 해수가 연안 쪽을 올라왔기 때문으로 생각된다.

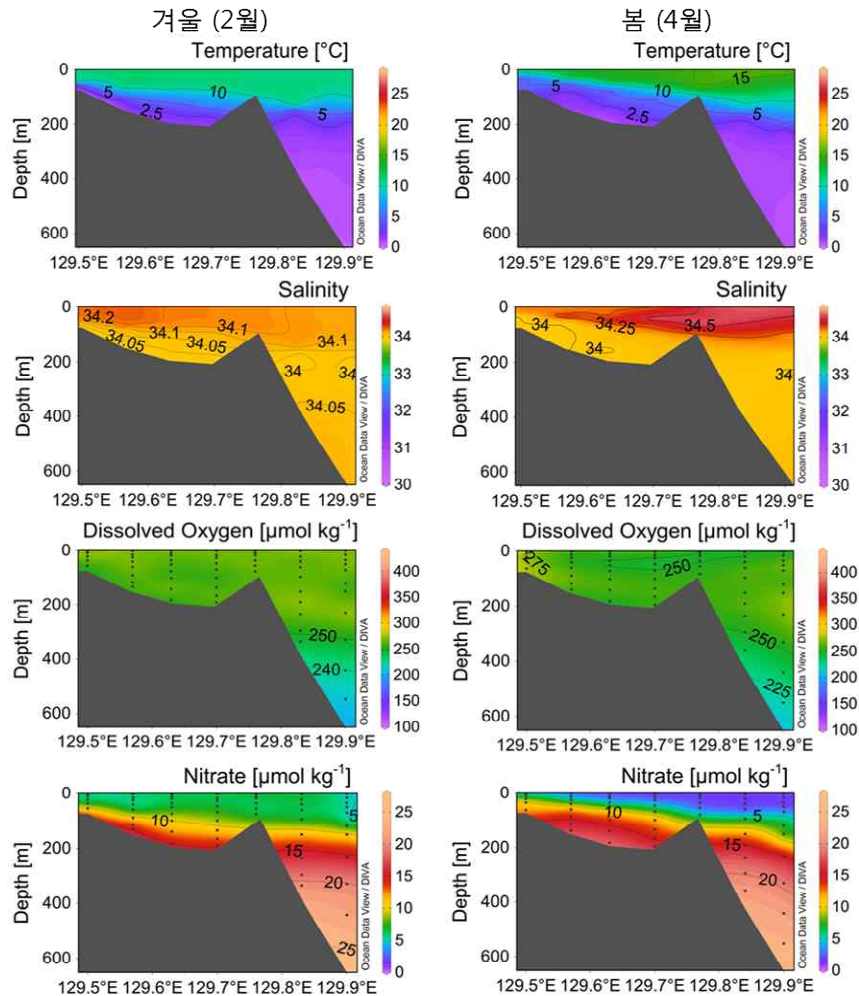


그림 4-1-8. 2016년 겨울 (2월)과 봄 (4월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도

8월의 경우 표층 수온은 평균 28.6°C로 4월에 비해 크게 상승하였고, 과거와 비교했을 때도 온도가 월등히 높았다. 표층에는 저염수가 10~20m 두께로 분포하고 있으며, 이는 대마난류 표층수로써 강우와 양쯔강 하천수 유입에 의해 동중국해 및 황해에서 형성된 해수로 대한해협을 통과하면서 남해 연안수까지 섞여 올라온 것으로 고온, 저염이 특징이다. 그 아래에는 정점 C1을 제외하고 수심 50m를 중심으로 고온, 고염의 대마난류 중층수가 분포하고

있고, 이는 초여름에서 초가을까지 동해 남부 연안에서 관찰되는 전형적인 수괴 패턴이나 연변동을 보인다.

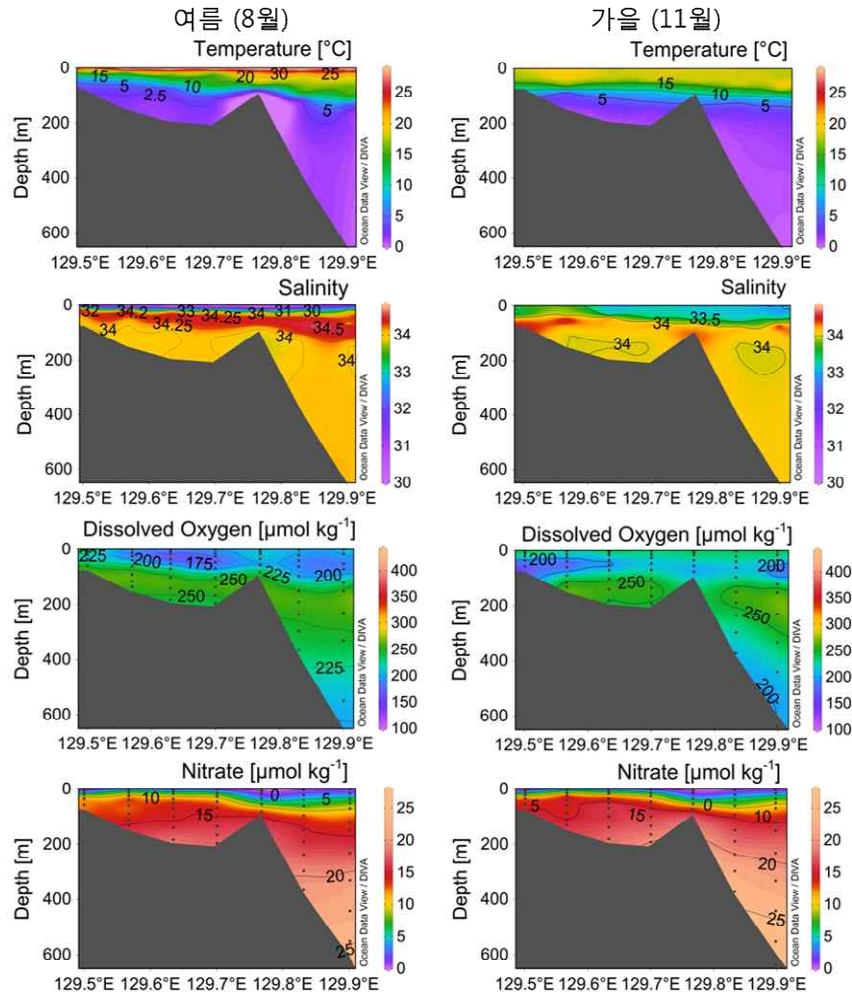


그림 4-1-9. 2016년 여름 (8월)과 가을 (11월)의 수온, 염분, 용존산소, 질산염 수직 분포도

11월 표층 평균 수온은 18.3°C였으며, 수심 ~40m까지 수직 혼합층이 잘 형성되어 있었다. 수심 100m 보다 깊은 곳의 수온은 8월에 비해 11월이 높았고, 표층 외해 쪽에 염분이 상대적으로 낮은 해수가 분포하며 여름철 표층 아래에서 관찰되었던 고염수는 더 이상 두꺼운 층을 이루지 못하고 연안 쪽과 바깥 외해 정점 아표층에서 소규모로 관측되었다.

2월은 수온이 낮아 표층 식물 생산성이 낮았고, 표층 영양염 농도 또한

다른 계절에 비해 상대적으로 높았다. 연안의 경우 4월에도 수온이 낮아 과거에 비해 식물생산성이 높지 않았고, 상대적으로 수온이 높았던 외해에서 높은 식물 생산성이 나타났다. 영양염 농도도 외해로 갈수록 낮아지고, 과거 8월의 경우 적조의 영향으로 표층 식물 생산성이 높았으나, 2016년에는 연안 정점을 제외하고는 식물 생산성이 높지 않았다. 영양염은 표층에서 고갈되었으나 조사 시기 이전에 이미 고갈된 것으로 생각되었다. 용존 산소 농도의 경우 연안 정점 C1을 제외하고 아표층에서 농도가 낮은 물이 관측되었고, 이는 대마난류 중층수로 용존산소 농도가 낮은 것이 특징이다. 특히 정점 C2~4의 아표층에서 용존 산소 농도가 주위에 비해 상대적으로 매우 낮은 것을 볼 수 있고, 이와 동시에 영양염 농도도 높은 것으로 볼 때 이는 유기물 산화에 의해 야기된 것으로 생각된다.

11월의 경우 약간의 고염수가 남아 있는 연안쪽 정점과 외해 바깥 정점을 중심으로 아표층에서 상대적으로 낮은 산소 농도가 발견되었다. 영양염 농도는 질산염과 인산염은 표층에서 고갈되었으며, 규산염은 $4\sim 7\ \mu\text{mol L}^{-1}$ 의 농도로 존재하였다. 식물생산성 역시 클로로필 농도와 걸보기 산소 소모량을 보았을 때, 가장 안쪽 연안 정점인 C1을 제외하고는 표층에 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 수직혼합 등에 의해 표층으로 공급된 영양염이 조사 이전에 고갈되었거나, 8월부터 표층으로 영양염 공급이 제대로 이루어지지 않았음을 시사한다.

4. 울릉분지 심해 이산화탄소 흡수율 계산

해양은 대기 이산화탄소의 주요한 흡수원이기 때문에 해양이 흡수하는 이산화탄소량 및 그 변화를 정확히 아는 것은 기후변화 및 예측 연구에 있어서 매우 중요하다. 본 연구에서는 1999년과 2012년에 비슷한 지역에서 측정된 이산화탄소 인자 (총 용존 무기탄소 및 총 알칼리도) 자료 비교를 통해서 13년 동안 동해 심해로의 이산화탄소 흡수량을 추정하였다(그림 4-1-10).

그 결과 13년 동안 흡수된 대기 이산화탄소가 약 1,700m 까지 녹아들어난 것으로 보이며, 흡수율은 $0.51\pm 0.38\ \text{molCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 로 추정되었다.

본 연구에서 추정된 흡수율은 북대서양의 최근 20년 동안(1981-2003)의 평균 흡수율 ($0.63\pm 0.16\ \text{molCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$)과 유사하였다.

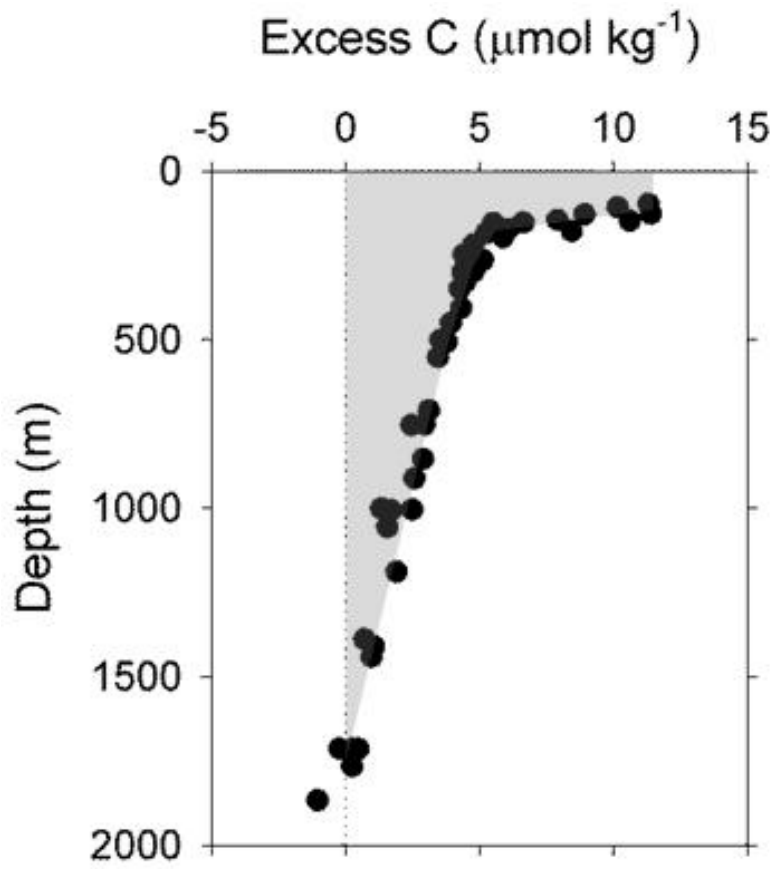


그림 4-1-10. 13년 (1999-2012) 동안 흡수된 대기 이산화탄소의 수직분포도

제 2 절 후포뱅크 주변 심해 서식지 퇴적물 환경 조사

1. 후포뱅크 사면 측선 해저지형 조사

2014년 4월(Line-1, Line-2)과 2014년 9월(Line-3)에 후포뱅크 사면의 정밀 지형을 파악하기 위하여 장목 2호에 장착되어 있는 단빔 음향측심기(EA400)를 이용하여 후포뱅크 심해 측선의 해저지형조사를 실시하였다. 또한 2014년 10월 이어도호에 장착되어있는 멀티빔 음향측심기(EM710)를 이용하여 수심 500m~900m사이의 지역에 정밀해저지형조사를 실시하였다(그림 4-2-1).

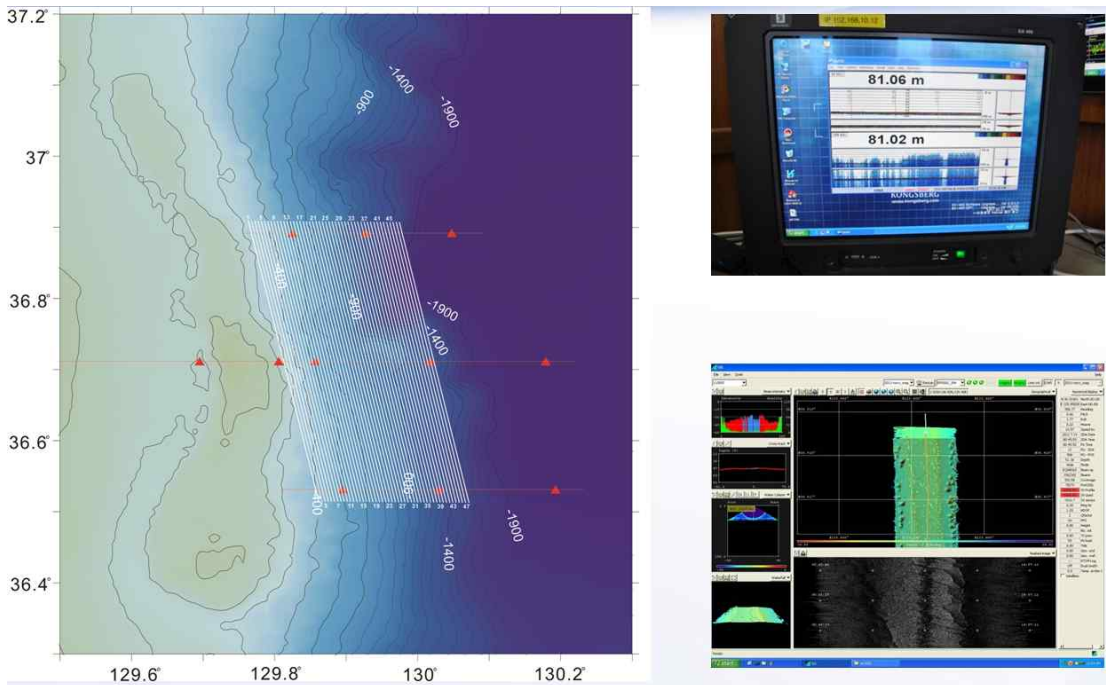


그림 4-2-1. 단빔(정점연결측선 4월, 9월)과 멀티빔(500~900m 10월)을 이용한 해저지형조사

Line-1의 지형은 수심 약 300 m부터 수심 약 1000m까지 완만한 기울기를 가지며 깊어지고 수심 1000m~2100m까지는 급격한 수심변화를 보인다. 수심 2100m이상에서는 평탄한 지형의 형태를 나타냈다(그림 4-2-2).

Line-2의 지형은 후포뱅크를 기준으로 서쪽은 수심 약 200 m 이내의 분지 해저지형을 보이고 동쪽으로는 대륙사면으로 가면서 약 2100m까지 수심이 급격히 깊어지고 약 2100m에서는 평탄한 지형의 형태를 나타냈다(그림 4-2-3).

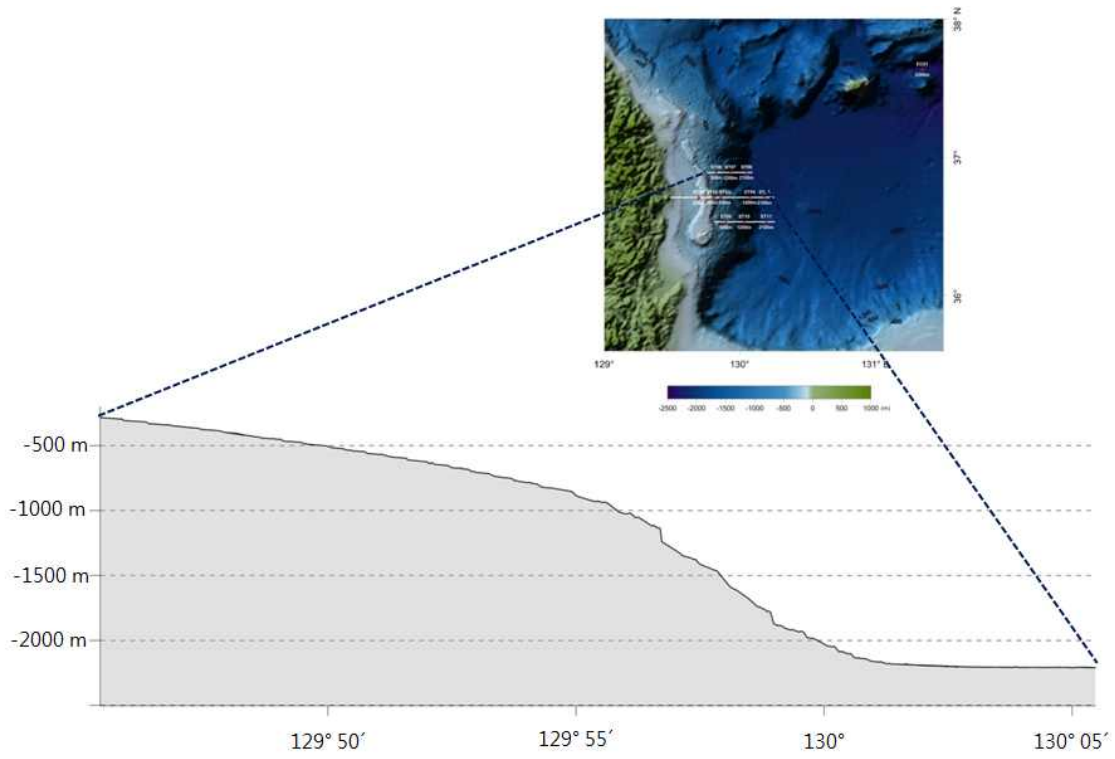


그림 4-2-2. Line-1의 해저지형 단면

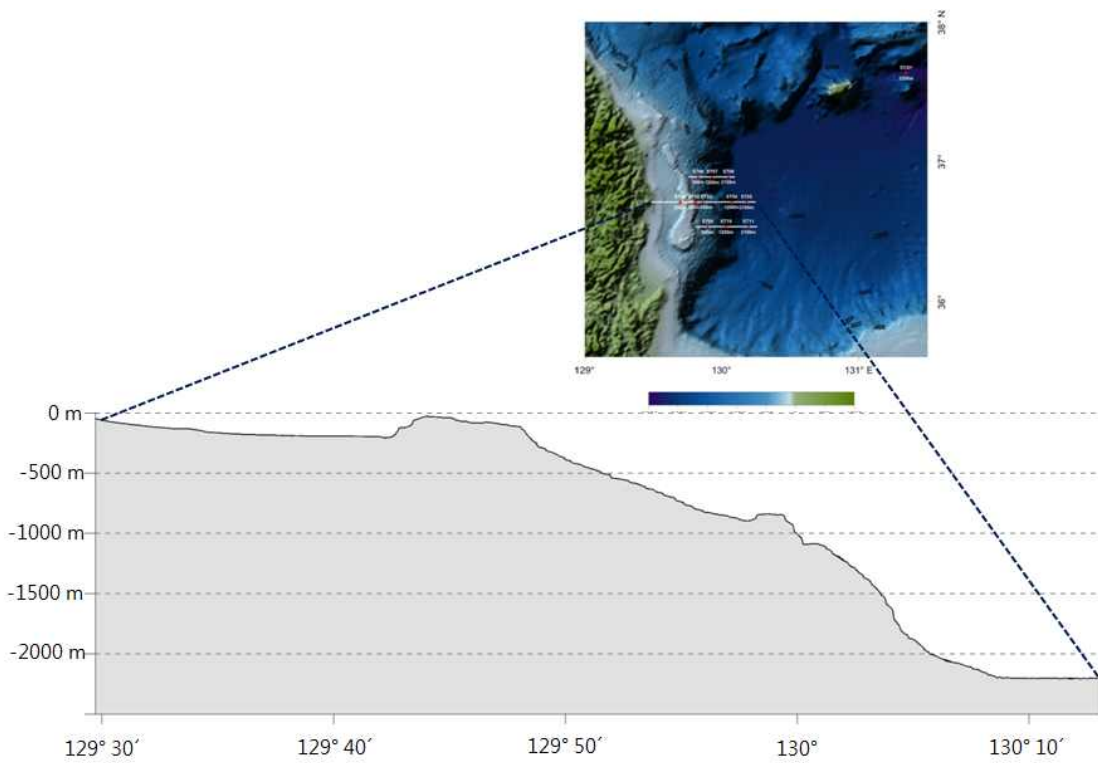


그림 4-2-3. Line-2의 해저지형 단면

Line-3의 지형은 수심 약 300 m부터 수심 약 1000m까지 완만한 수심 변화를 보이고, 이에 비하여 약 1000m ~ 2100m까지는 급격한 수심변화가 나타나고, 수심 약 2100m이상에서는 평탄한 지형의 형태를 보였다(그림 4-2-4).

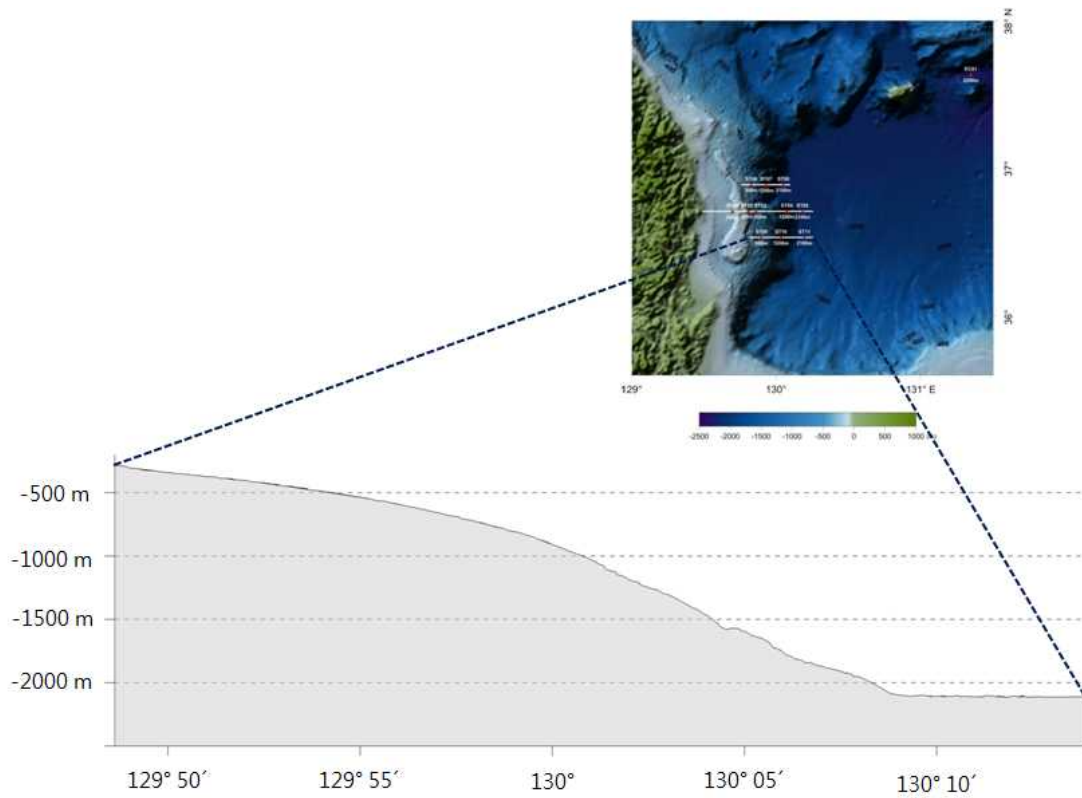


그림 4-2-4. Line-3의 해저지형 단면

2. 후포뱅크 사면 표층퇴적물 특성 조사

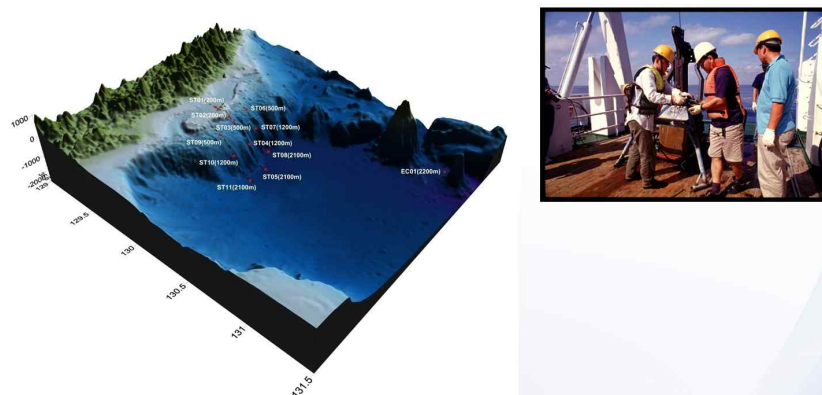


그림 4-2-5. 박스코어를 이용하여 퇴적물 채취(5월, 10월)

후포뱅크 심해저는 대부분이 실트로 구성되어 있으며 소량의 사질과 이질을 함유하였고, 후포뱅크 및 독도 주변 심해저 퇴적물은 실트의 퇴적상으로 구분될 수 있다(그림 4-2-6~8).

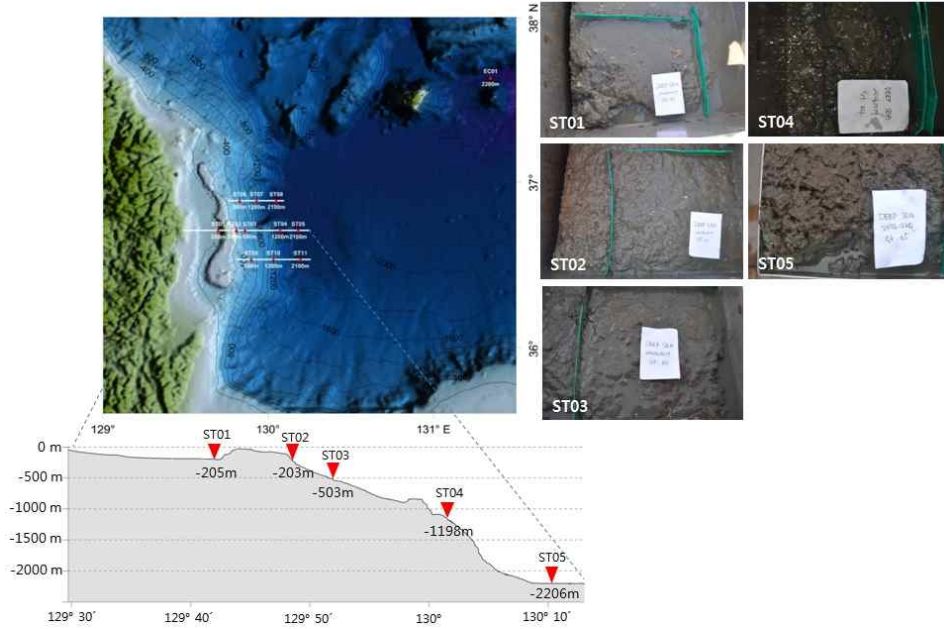


그림 4-2-6. ST01~ST05의 퇴적물 위치와 사진

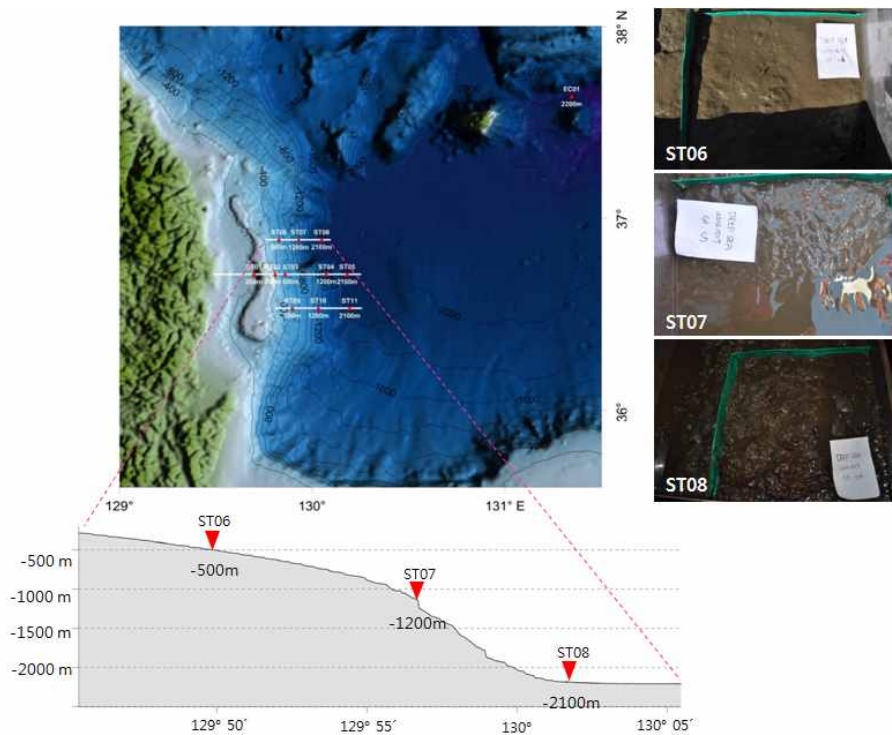


그림 4-2-7. ST06~ST08의 퇴적물 위치와 사진

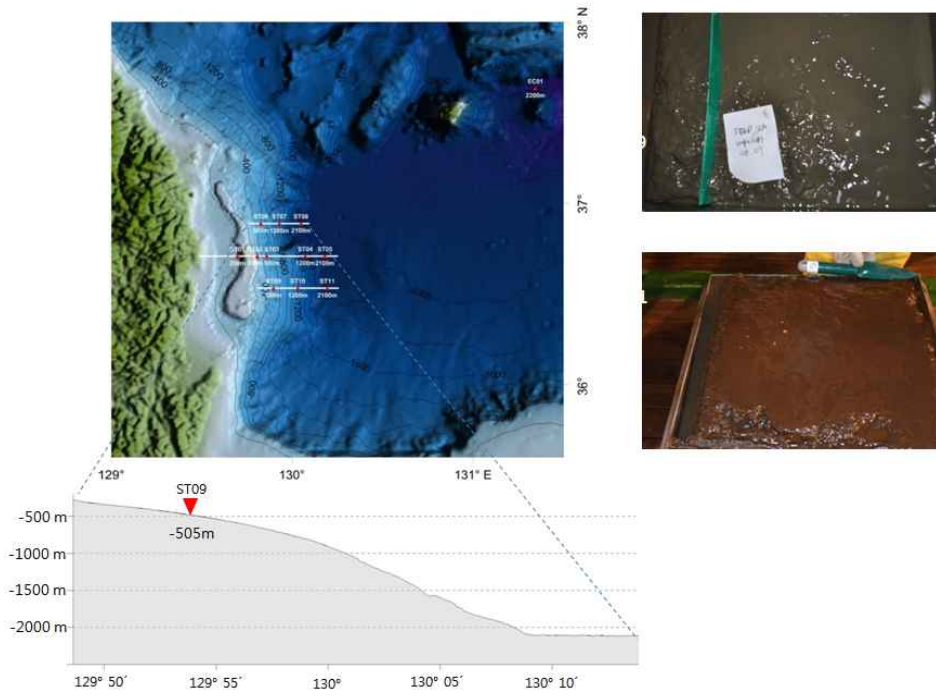


그림 4-2-8. ST09과 EC01의 퇴적물 위치와 사진

표층 퇴적물의 입도분석결과를 살펴보면 대부분 시료는 실트 퇴적상에 해당되었다. 그리고 입도분도분포곡선은 단봉분포를 보이므로 후포뱅크와 독도 주변 심해저 퇴적물은 각 단일 기원지를 갖는 것으로 판단됨(그림 4-2-9~10).

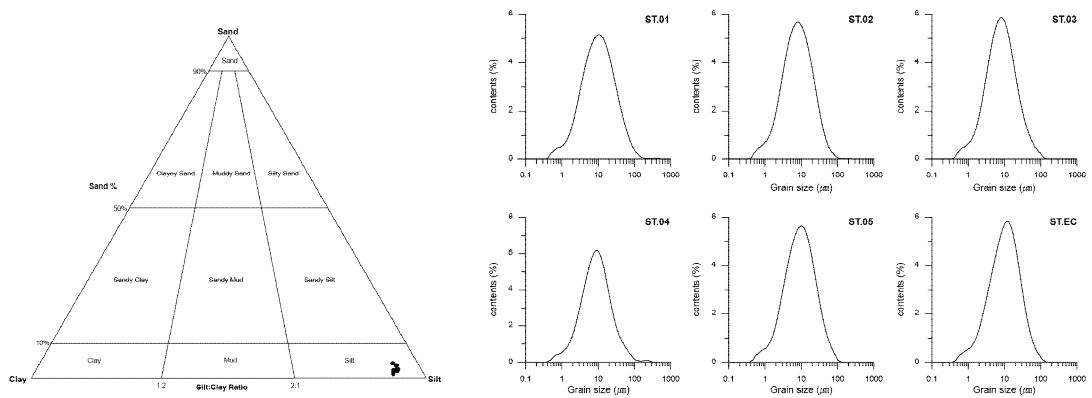


그림 4-2-9. 표층 퇴적물의 삼각다이아그램(좌)과 입도분석(우)

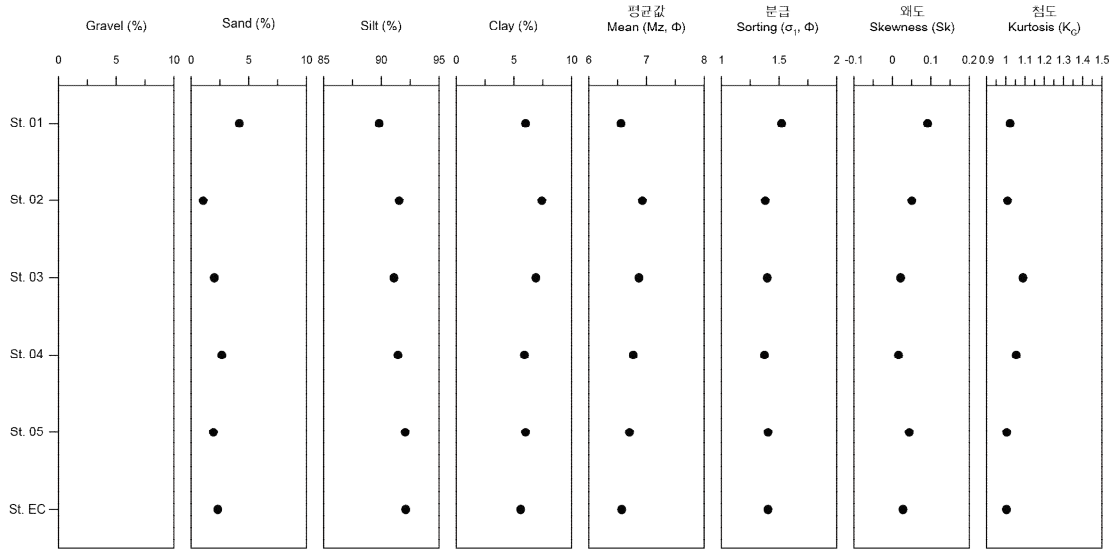


그림 4-2-10. 표층 퇴적물의 입도분포와 매개변수

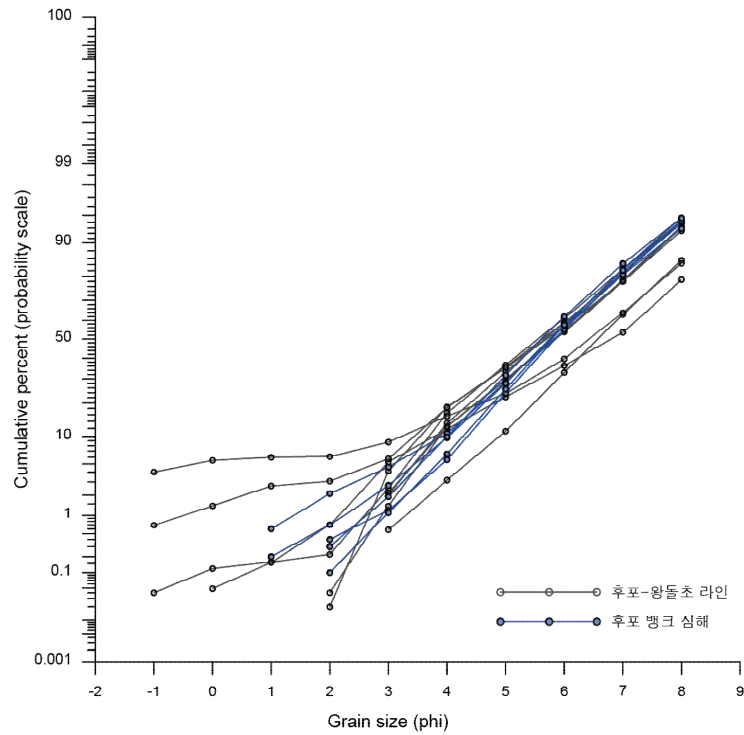


그림 4-2-11. 표층퇴적물의 입도 누적 분포에 의한 표층 퇴적물의 퇴적 기작

입도 누적 빈도 분포의 분석 결과를 살펴보면 후포-뱅크 심해 퇴적물은 튄짐과 뜯짐으로 퇴적되며, 후포-왕돌초 라인의 퇴적물(2013년 수행된)과 유사한 양상을 보였다. 그리고 4ϕ 를 기준으로 튄짐과 뜯짐의 퇴적기작이 구분되며,

대부분의 퇴적물은 뜬짐의 기작에 의해 퇴적되는 것으로 생각된다(그림 4-2-10~11).

비응집성 실트의 함량 비교를 통해 후포-왕돌초 라인과 후포 뱅크 심해 퇴적물의 저층수의 유속을 비교하면 후포뱅크 심해저는 후포-왕돌초 라인에 비해 낮은 유속의 환경에서 퇴적된 것으로 판단되며 후포뱅크 심해저 퇴적물간의 비응집성 실트의 함량은 미세한 차이를 보이며, 이러한 차이는 평균입도의 분포 경향 및 입도 누적 빈도 분포 곡선의 결과와 일치한다(그림 4-2-13).

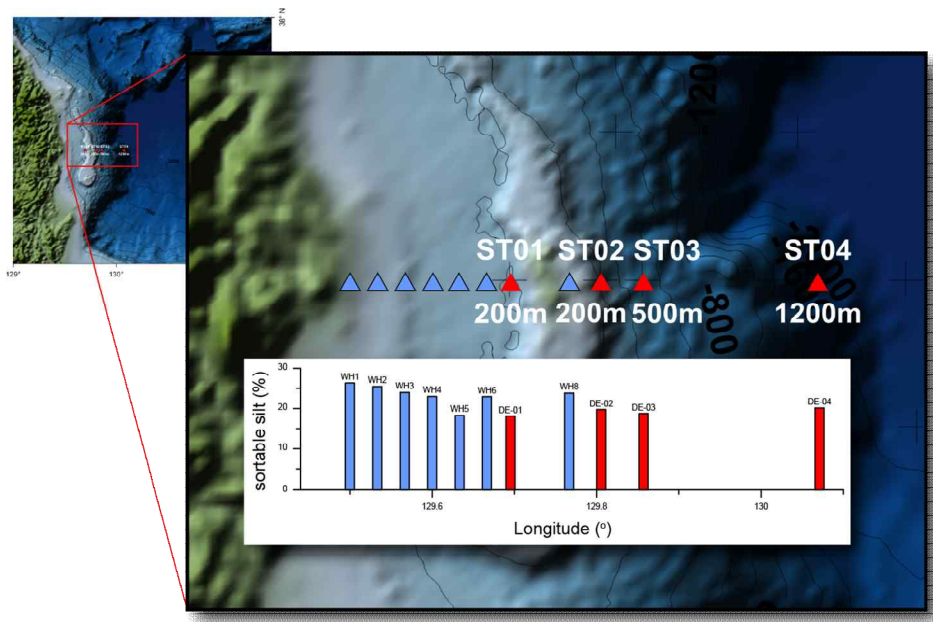


그림 4-2-12. 후포뱅크 심해저 퇴적물간의 비응집성 실트의 함량

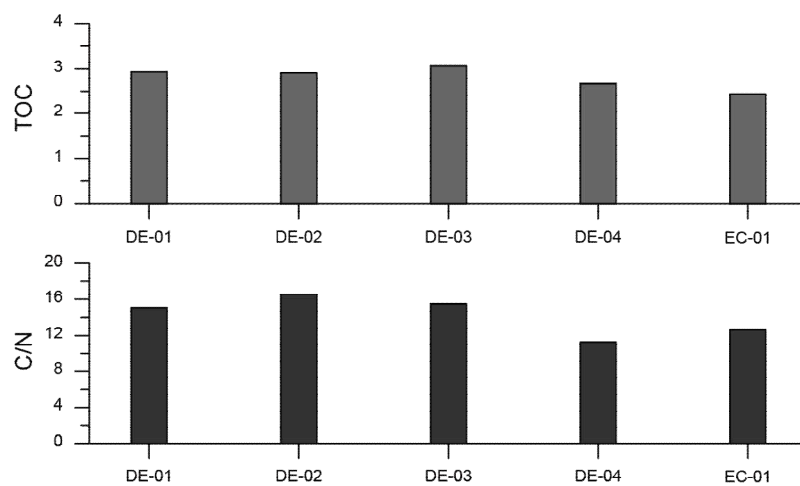


그림 4-2-13. 후포뱅크 심해 각 정점의 표층퇴적물 유기탄소 분포

일반적인 해양 퇴적물의 유기탄소 함량은 연안에서는 2%, 심해에서는 0.5%의 값을 가지는 것으로 알려져 있다. 후포 뱅크 및 독도 인근 심해 퇴적물은 약 3% 정도의 높은 값을 가지며 이는 후포 뱅크지역의 생물 생산력이 높다는 것을 시사하고 있다. 11~15의 C/N 값을 가지며, 이 값은 해양 및 육성 기원의 유기물이 혼합되었음을 의미한다(그림 4-2-13).

3. 후포뱅크 사면 연직 퇴적물 특성 조사

주상 퇴적물을 채취하여 퇴적물 깊이별 공극수와 퇴적물 중의 총유기탄소 함량과 C/N 및 금소원소 농도 분포도 조사하였다. 주상 퇴적물의 경우 일정 간격으로 sub-sampling을 실시하였고, 동결건조 후 중금속을 분석하였다. 이와 함께 퇴적물 공극수 시료도 1cm 간격으로 채취하였고, 공극수에 포함된 영양염 농도 및 중금속 농도를 분석하였다.

총 유기탄소 (Total Organic Carbon, TOC) 함량의 수직분포는 DE-01과 DE-02에서는 최근에 퇴적된 퇴적물의 총 유기탄소 함량이 감소하였으며, 사면 시작부분에 위치한 정점 DE-03은 표층에서 8cm 깊이까지 2.4% 가량으로 거의 일정하였으며 이는 빠른 퇴적속도로 인해 유기물이 잘 보존된 것으로 생각된다. 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 표층에서 총 유기탄소 함량이 2.5%로 가장 높았으며 사면을 따라 퇴적물의 공급이 빠르게 진행되기 때문인 것으로 생각된다. 울릉분지에 위치한 정점 EC-01은 심해임에도 불구하고 표층에 2.0% 이상의 높은 총 유기탄소 함량을 나타내고 있으며 이는 저층으로 유입되는 유기물 플럭스가 높기 때문인 것으로 판단된다(그림 4-2-14).

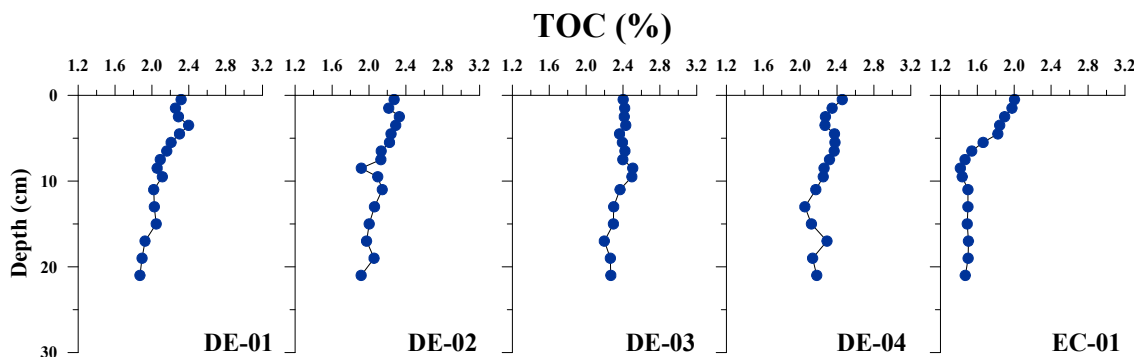


그림 4-2-14. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 총 유기탄소 함량 분포

퇴적물 내 유기탄소 함량과 질소 함량의 비(mol비)를 살펴보면 후포 뱅크와 사면에 위치한 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서는 C : N 비가 7.6 ~8.7의 범위로 육상기원과 해양기원의 유기물이 혼합되어 있는 것으로 보이며, 울릉분지 정점인 EC-01은 6.5~7.4의 범위로 Redfield 비와 유사하게 나타나는 것으로 보아 육상기원물질의 유입이 작고 해양기원유기물의 유입이 우세한 것으로 판단된다(그림 4-2-15).

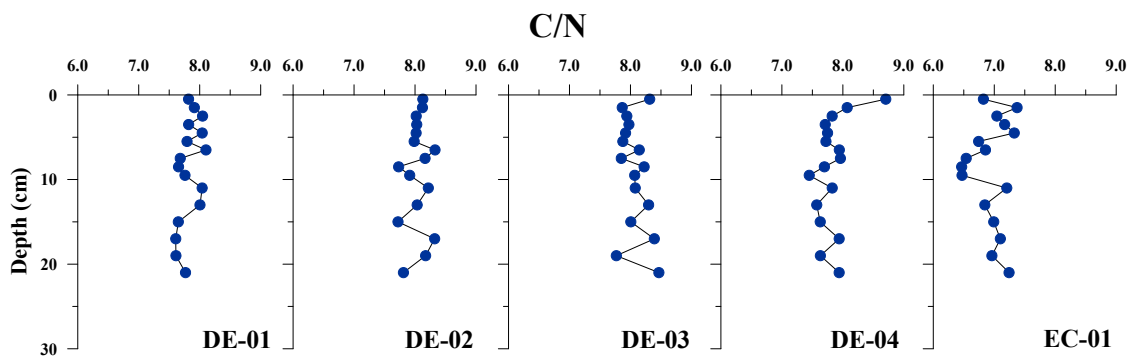


그림 4-2-15. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 유기탄소와 질소의 비

퇴적물 내 알루미늄 함량을 살펴보면 후포뱅크 앞 정점 DE-01은 최근에 저층으로 과거보다 상대적으로 입자가 큰 퇴적물이 유입되고 있는 것으로 생각되며, 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 유입되는 퇴적물 입자의 크기 변동이 심한 것으로 나타났다. 울릉분지에 위치한 정점 EC-01에서는 상대적으로 세립한 입자 퇴적물이 저층으로 유입되고 있음을 나타냈다.

퇴적물 내 철과 티타늄의 함량을 살펴보면 알루미늄의 함량 분포와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 철의 경우 후포뱅크와 후포뱅크 사면의 정점보다 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서 상대적으로 농도가 높는데 이는 유기물이 철산화물에 의해 활발히 분해되며 천천히 퇴적되어 환원된 철 이온이 재침전 되기 때문인 것으로 사료된다(그림 4-2-16).

퇴적물 내 망간의 함량을 살펴보면 후포 뱅크와 사면의 시작에 위치한 정점 DE-01, DE-02, DE-03에서는 알루미늄의 함량 분포와 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 앞에 언급된 정점 보다 퇴적 속도가 상대적으로 느려 표층 퇴적물에 망간이온의 재침전으로 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서는 표층퇴적물의 망간

함량이 $40,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 가량으로 높은 농도를 보이고 있는데 이는 다른 심해보다 상대적으로 높은 유기물이 망간산화물에 의해 활발히 분해되며, 느린 퇴적속도로 인해 망간산화물의 환원에 의해 생성된 망간이온이 이동하여 재침전되어 축적되기 때문인 것으로 생각됨.(그림 4-2-16).

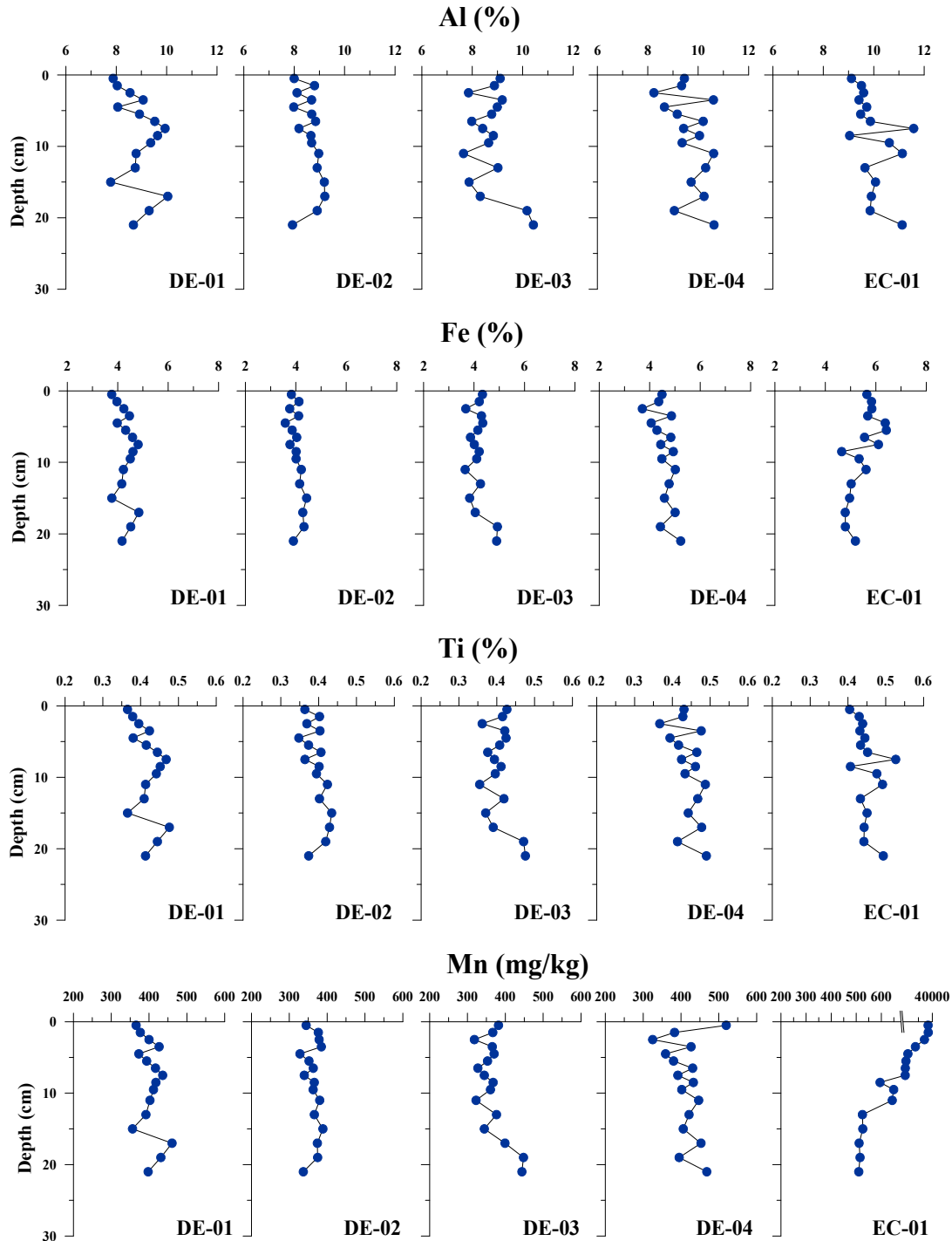


그림 4-2-16. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 금속원소 함량 분포

주상 퇴적물 내 금속원소의 분포를 살펴보기 위해 보존적인 원소 알루미늄을 이용하여 금속원소의 농도를 표준화(normalization)하였다. 후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 바나듐이 자연적인 유입원 외에 다른 경로를 통한 유입이 있었음이 나타났으며, 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서도 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음이 나타남(그림 4-2-17).

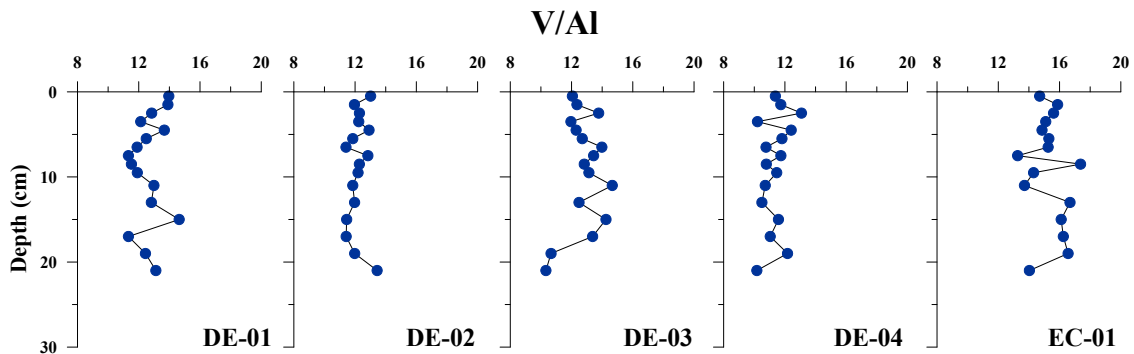


그림 4-2-17. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 바나듐과 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 크롬이 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서도 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있다. 특히 정점 DE-01에서는 표층에 크롬이 퇴적물에 축적되는 양상을 보였다(그림 4-2-18).

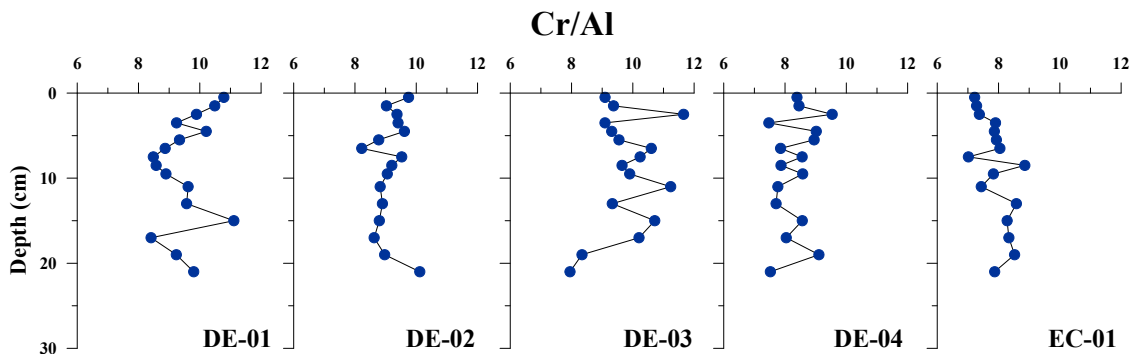


그림 4-2-18. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 크롬과 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 니켈은 자연적인 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서는 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있었다. 특히 정점 EC-01에서는 표층에 니켈이 퇴적물에 축적되는 양상을 보였다(그림 4-2-19).

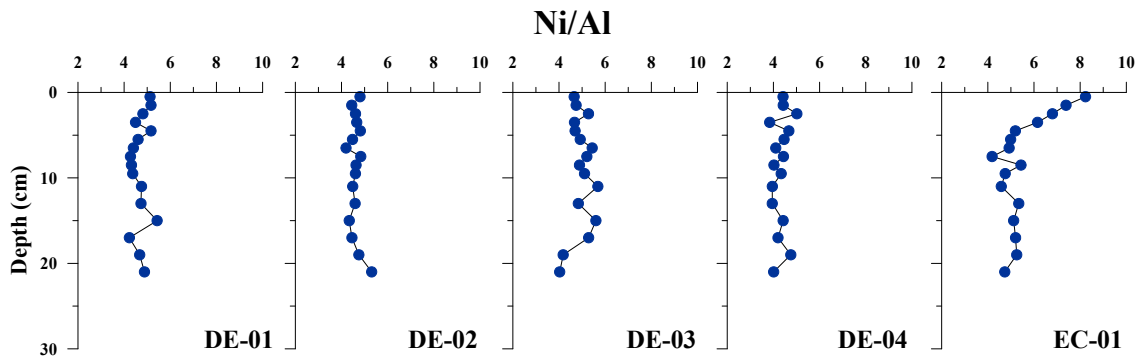


그림 4-2-19. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 니켈과 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 구리는 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서도 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있었고, 특히 정점 DE-01, DE-02에서는 구리가 퇴적물에 축적되는 양상을 보였다(그림 4-2-20).

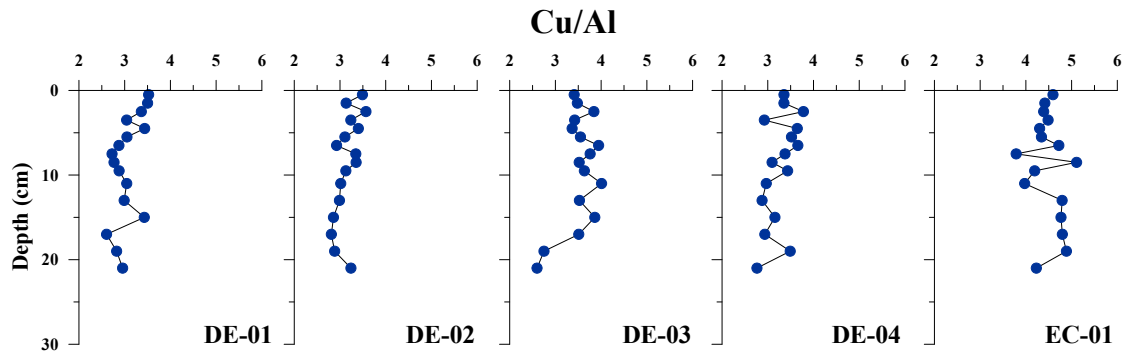


그림 4-2-20. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 구리와 알루미늄의 비

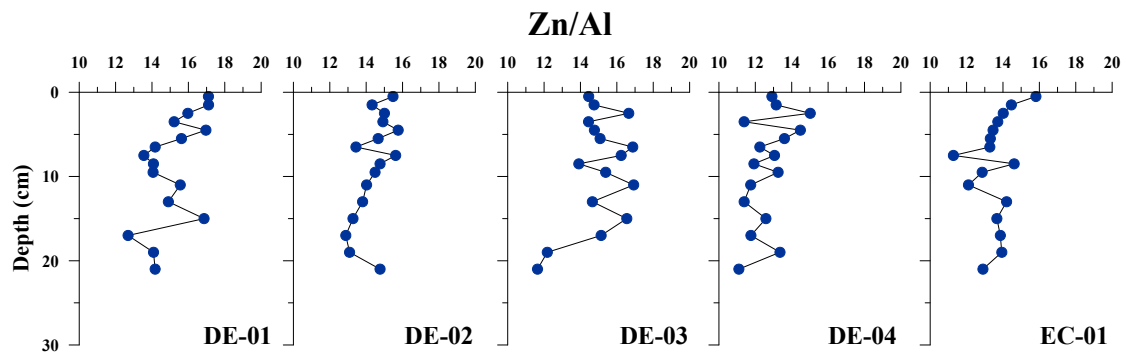


그림 4-2-21. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 아연과 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 아연이 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서도 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있었다. 특히 정점 DE-01, DE-02, EC-01에서는 표층에 아연이 퇴적물에 축적되는 양상을 보인다(그림 4-2-21).

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 비소는 자연적인 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서는 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있다. 특히 정점 EC-01에서는 비소가 표층부터 5cm 깊이의 퇴적물에 축적되는 양상을 보인다(그림 4-2-22).

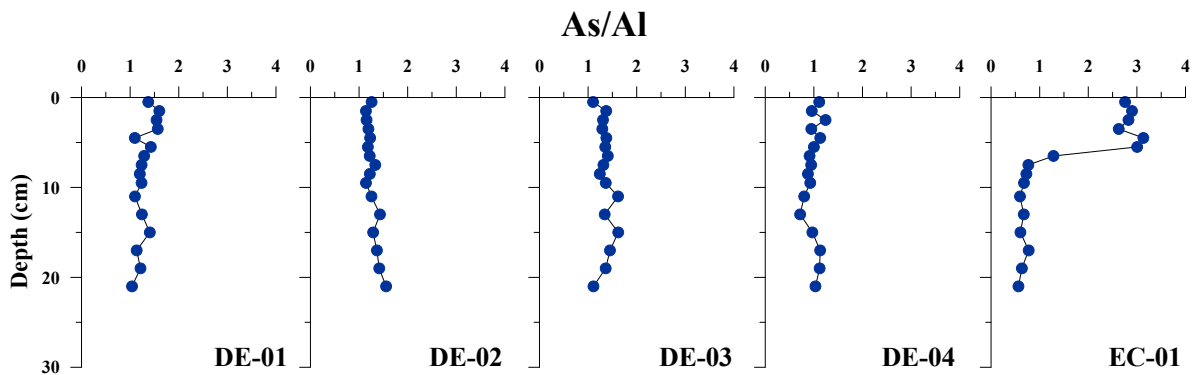


그림 4-2-22. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 비소와 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 카드뮴은 자연적인 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서는 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있음. 특히 정점 EC-01에서는 표층에서 카드뮴 함량이 가장 높게 나타남(그림 4-2-23).

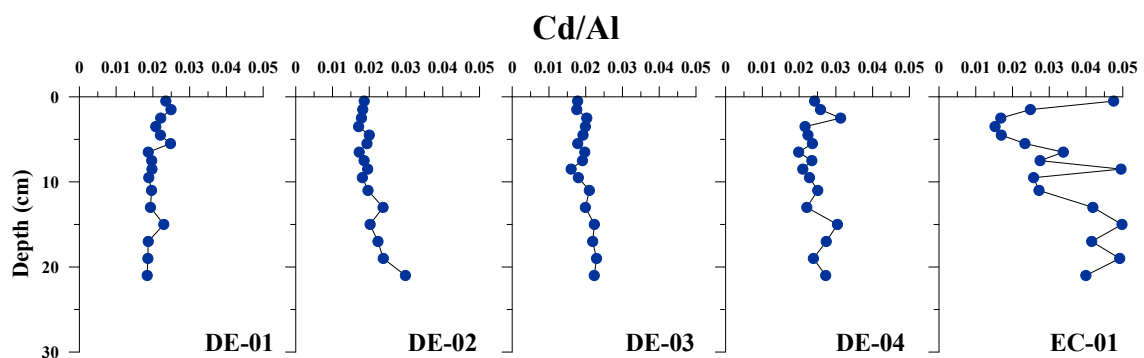


그림 4-2-23. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 카드뮴과 알루미늄의 비

후포 뱅크와 사면의 정점 DE-01, DE-02, DE-03, DE-04에서 남은 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 보이고 있으며 울릉분지 사면의 정점 EC-01에서도 자연적인 유입원 외에 다른 경로의 유입이 있었음을 나타내고 있었다. 특히 정점 EC-01에서는 납이 표층부터 8cm 깊이의 퇴적물에 축적되는 양상을 보인다(그림 4-2-24).

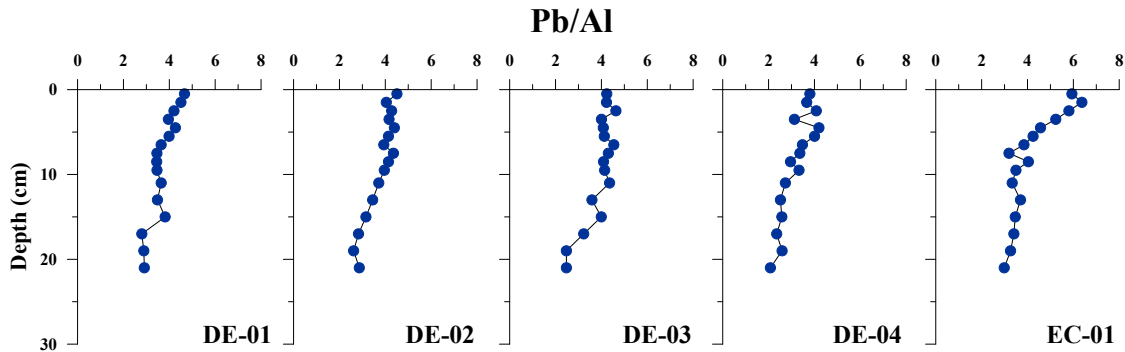


그림 4-2-24. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 내 납과 알루미늄의 비

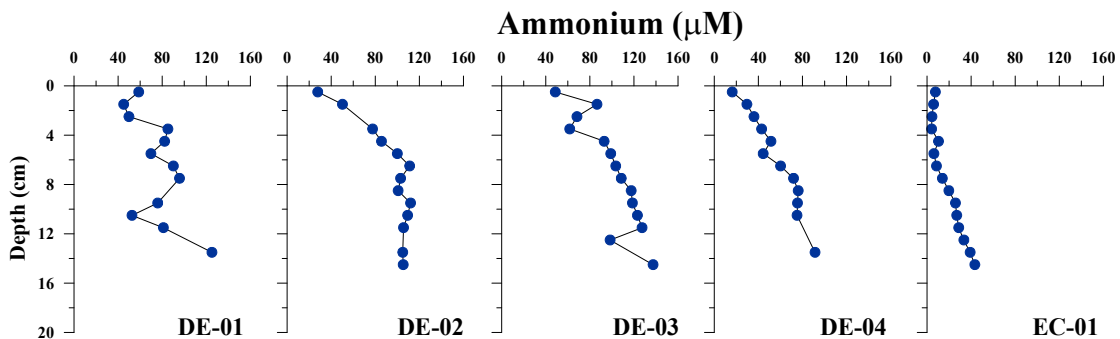


그림 4-2-25. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 암모늄 분포

후포 뱅크 사면과 울릉분지 퇴적물의 지화학적인 환경을 살펴보기 위해 주상퇴적물 내 공극수의 영양염을 분석하였다. 암모늄은 후포뱅크 앞 정점 DE-01에서는 깊이에 따라 증가와 감소를 반복하고 10cm 이후에서 급격한 증가를 나타내고 있는데, 이는 퇴적환경의 변화가 심하기 때문으로 생각된다. 후포뱅크 뒤 정점 DE-02는 4cm 깊이에서, 사면 시작부분에 위치한 정점 DE-03과 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 2~4cm 깊이에서 환원환경이 시작되고 있다. 울릉분지에 위치한 정점 EC-01은 8cm 이후에서 급격한 증가 양상을 보이고 있는데, 이는 유기물의 산화가 충분히 일어난 후 저층으로

유입되어서 암모늄의 농도가 상대적으로 낮고 환원환경이 시작되는 깊이도 깊은 것으로 생각됨(그림 4-2-25).

아질산염 및 질산염의 농도 분포는 정점 DE-01에서 2cm 깊이에서, 정점 DE-02는 4cm 깊이에서, 정점 DE-03과 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 2cm 깊이에서 급격한 감소경향을 나타내고 있어 표층부터 4cm 깊이에서 탈질소화반응이 일어나고 있음을 나타냄. 울릉분지에 위치한 정점 EC-01은 10cm 이후에서 아질산염이 급격한 감소양상을 보이고 있어 표층부터 10cm 깊이에서 탈질소화반응이 일어나고 있고, 질산염의 농도가 증가와 감소를 반복하는 것으로 보아 산화망간 환원작용과 산화 철 환원과정, 질산염 환원과정 등이 일어나고 있는 것으로 생각됨(그림 4-2-26~27).

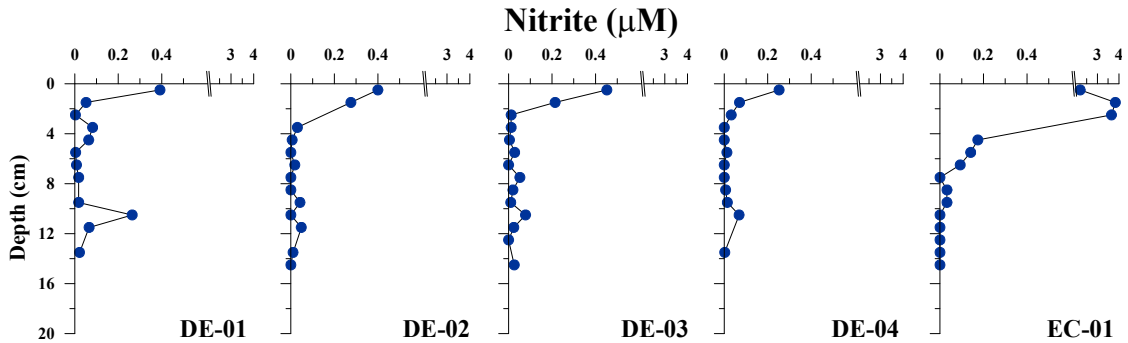


그림 4-2-26. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 질산염 분포

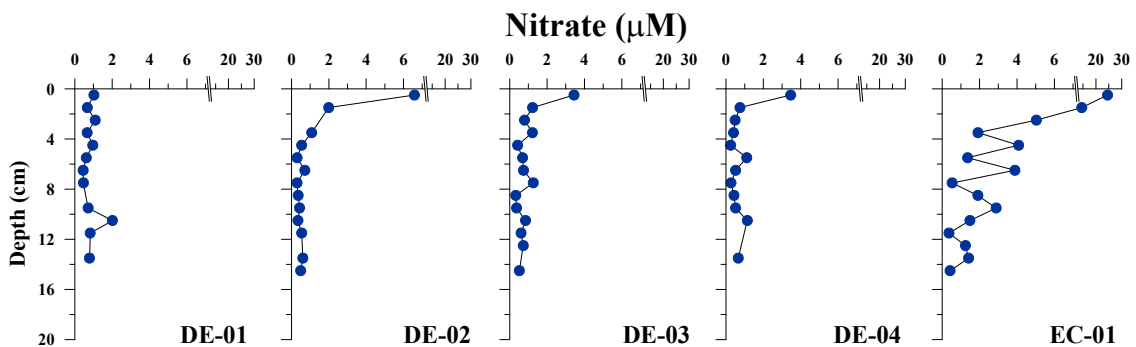


그림 4-2-27. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 질산염 분포

인산염의 농도 분포는 정점 DE-01에서 깊이에 따라 증가와 감소를 반복하고 10cm 이후에서 급격한 증가를 나타내고 있고, 정점 DE-02는 퇴적물 깊이에 따라 완만히 증가했다. 정점 DE-03과 사면의 끝부분에 위치한 정점 DE-04는 깊이에 따라 증가하는 양상을 보이고 있었다. 이는 울릉분지에 비해

상대적으로 산화층이 얇게 형성되어 있기 때문으로 생각된다. 울릉분지에 위치한 정점 EC-01은 인산염의 농도가 상대적으로 낮는데 이는 표층퇴적물에서 산화층이 두껍게 형성되어 인산염이 철산화물에 흡착하여 퇴적물에 존재하게 되어 공극수 내 인산염 농도가 낮게 유지되는 것으로 생각된다(그림 4-2-28).

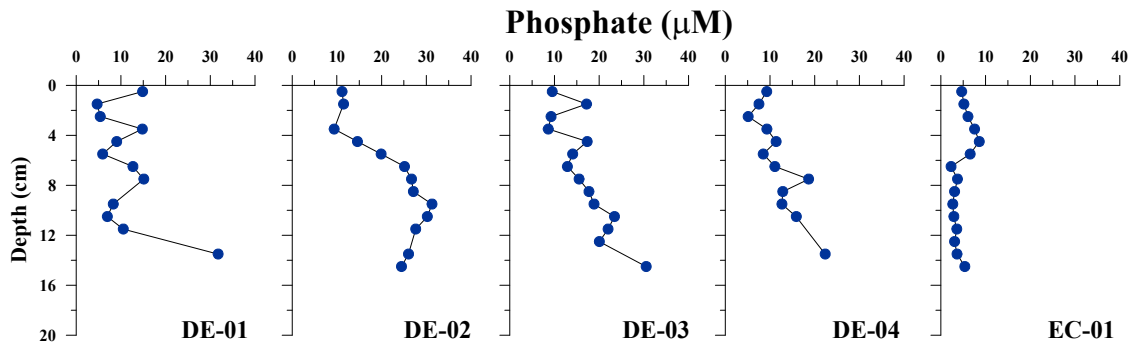


그림 4-2-28. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 인산염 분포

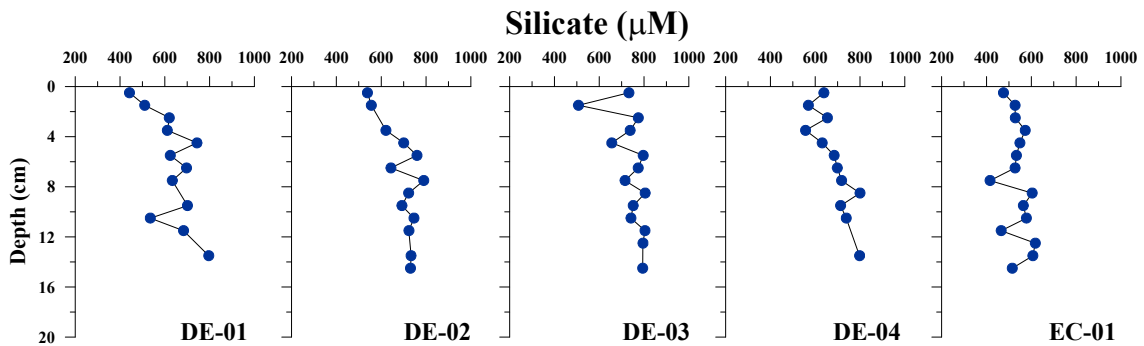


그림 4-2-29. 후포 뱅크 사면과 울릉분지 주상퇴적물 공극수 내 규산염 분포

규산염의 농도 분포는 모든 정점에서 깊이에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있는데 이는 규조류의 분해에서 기인되는 것으로 생각된다. (그림 4-2-29).

제 5 장

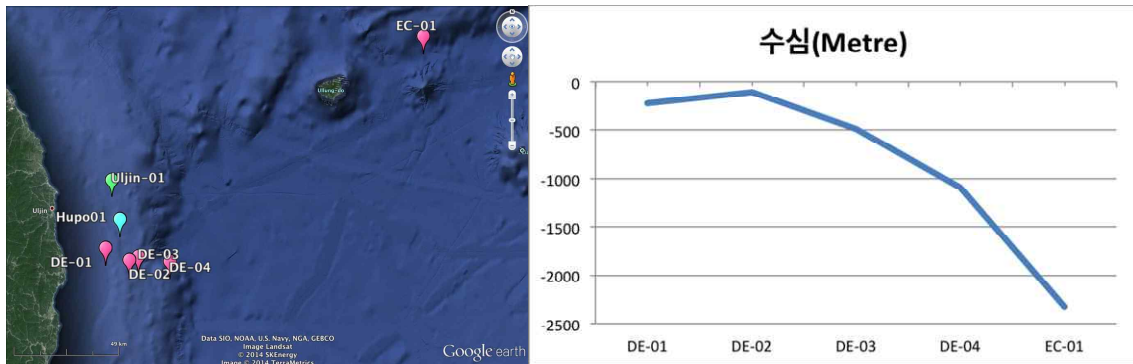
동해 올릉분지 심해 서식생물 특성

제 1 절 심해생물 다양성 및 군집 조사

1. 심해 서식생물 특성 조사

가. 대형 및 초대형 저서생물

울릉분지 심해에 서식하는 대형/초대형 저서 생물군집 특성을 파악하기 위하여 2014년 4월, 5월 9월에 걸쳐 Box core 및 저인망으로 심해 저서동물을 채집하였다(그림 5-1-1)



[조사 정점 GPS 좌표와 수심 정보]

조사 정점	GPS	수심 (미터)	조사일자
DE-01	36° 45.655 N 129° 41.139 E	221	2014.05.26
DE-02	36° 42.728 N 129° 48.647 E	193	2014.05.27
DE-03	36° 43.636 N 129° 51.464 E	488	2014.05.27
DE-04	36° 42.527 N 130° 1.322 E	1089	2014.05.29
EC-01	37° 38.886 N 131° 21.020 E	2327	2014.05.29
Hupo-01 (HP)	36° 52.80 N 129° 45.52 E	250	2014.04.22
Uljin-01 (UJ)	37° 2.72 N 129° 42.81 E	300	2014.09.16

그림 5-1-1. 대형/초대형 저서 생물 군집 특성 조사 정점 및 각 정점당 수심

DE-1~4, EC-01은 Dredge 와 Box corer를 이용하여 조사를 실시하였고, Hupo-01과 Uljin-01은 민간어선을 이용, 저인망을 이용하여 조사를 진행함. 따라서 현장조사는 총 3회에 걸쳐 7정점을 실시함.

[조사정점 출현 종 리스트]

종명	개체수	채집장소	분류군
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	925	DE-01 DE-02 DE-03 Uljin-01 Hupo-01	십각류
<i>Chionoecetes japonicus</i> (Rathbun, 1932) 홍게	9	DE-03	십각류
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788) 대게	81	DE-01 DE-02 Uljin-01 Hupo-01	십각류
<i>Eualus middendorffi</i> Brashnikov, 1907 북방갯가꼬마새우	44	DE-01 DE-03	십각류
<i>Lebbeus groenlandicus</i> (Fabricius, 1775) 가시배새우	1	DE-01	십각류
<i>Nectocrangon hazawai</i> Yokoya, 1939 흑진흙새우	5	DE-02 DE-03	십각류
<i>Pagurus anomalus</i> (Balss, 1913) 작은배참집게	13	DE-02 DE-03	십각류
<i>Pagurus trionocheirus</i> (Stimpson, 1858) 세모손참집게	52	Uljin-01 Hupo-01	십각류
<i>Pandalopsis japonica</i> Balss, 1914 물렁가시붉은새우	137	Uljin-01 Hupo-01	십각류
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774) 석모자주새우	5	DE-01 DE-02	십각류
<i>Spirontocaris spinus</i> (Sowerby, 1805) 톱등큰꼬마새우	10	DE-01 Hupo-01	십각류
<i>Crossaster japonicus</i> (Fisher, 1911) 왜주름불가사리	38	Uljin-01	불가사리류
<i>Ophiura leptoctenia</i> Clark, 1911 가는빛살거미불가사리	3	DE-01	불가사리류
<i>Ophiura sarsi</i> Lütken, 1854 살시빛살거미불가사리	10038	DE-01 DE-02 DE-03 Hupo-01 Uljin-01	불가사리류
<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805) 빛살판불가사리	292	DE-01 DE-03 Uljin-01 Hupo-01	불가사리류
<i>Leptychaster arcticus</i> (Sars, 1851) 작은불가사리	13	DE-02 DE-03	불가사리류
<i>Crossaster</i> sp. 주름불가사리 류	2	Hupo-01	불가사리류
<i>Heliometra glacialis</i> (Owen, 1833)	4	Hupo-01	불가사리류
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	1	Hupo-01	불가사리류
<i>Boleometra clio</i> (A. H. Clak, 1907) 요정채찍갯고사리	82	Uljin-01	바다나리류
<i>Echinocardium</i> sp. 엽통성게류	1	DE-03	성게류
<i>Aphrodita aculeata</i> Linnaeus, 1761 가시고슴도치갯지렁이	34	DE-02	다모류
<i>Admete couthouyi</i> (Jay, 1838) 얇은입술감생이	3	DE-02	복족류
<i>Aforia circinata</i> (Dall, 1873) 고리언청이고둥	4	Hupo-01	복족류
<i>Antiplanes kawamurai</i> (Habe, 1958) 굵은북방언청이고둥	8	DE-03 Hupo-01	복족류
<i>Buccinum kushiroensis</i> Habe & Ito, 1976 깊은골동근물레고둥	9	DE-03	복족류
<i>Cryptonatica ranzii</i> (Kuroda, 1961) 흐린띠구슬우렁이	9	DE-01 Hupo-01	복족류
<i>Curtitoma becklemishevi</i> Bogdanov, 1989 가는꼬리언청이고둥	1	DE-01	복족류
Family Pyramidellidae 회오리고둥류	2	DE-02	복족류
<i>Glossaulax</i> sp. 구슬우렁이류	7	DE-03	복족류

종명	개체수	채집장소	분류군
<i>Habevoltopsius hirasei</i> (Pilsbry, 1907) 좁은입물레고둥	12	Hupo-01	복족류
<i>Lussivoltopsius furukawai</i> (Oyama, 1951) 무명실타래물레고둥	1	DE-03	복족류
<i>Neptunea ocnsticta</i> (Dall, 1907) 명주매물고둥	1	Hupo-01	복족류
<i>Retimohnia frielei</i> Dall, 1891 입비뚫이주름고둥	5	DE-01 DE-03 Hupo-01	복족류
<i>Acila divaricata</i> (Hinds, 1843) 호두조개	6	DE-01	이매패류
<i>Acila</i> sp. 호두조개류	4	DE-01 DE-02	이매패류
<i>Axinopsida subquadrata</i> (A. Adams, 1862) 꼬마말발조개	1	DE-01	이매패류
<i>Cardiomya behringgenis behringgenis</i> (Leche, 1883) 코쟁이국자조개	4	DE-02 DE-03	이매패류
<i>Dermatomya tenuiconcha</i> 부리볼록조개	1	Uljin-01	이매패류
<i>Ennucula niponica</i> (E.A. Smith, 1885) 애호두조개	1	DE-02	이매패류
<i>Limopsis belcheri</i> (Adams &Reeve, 1850) 큰흰바탕무늬조개	45	DE-02	이매패류
<i>Lucinoma yoshidai</i> Habe, 1958 요시다꽃앞조개	1	DE-04	이매패류
<i>Modiolus comptus</i> Sowerby III, 1915 수염담치	5	DE-02	이매패류
<i>Nuculana pernula sadoensis</i> (Yokoyama, 1926) 달빛맵시조개	6	DE-01	이매패류
<i>Nuculana yokoyamai yokoyamai</i> Kuroda, 1934 버선맵시조개	2	DE-02	이매패류
<i>Portlandia japonica</i> (Adams &Reeve, 1850) 얇은반달조개	3	DE-01	이매패류
<i>Portlandia lischkei</i> (Smith, 1885) 큰볼록반달조개	10	DE-01	이매패류
<i>Thyasira hexangulata</i> 말발조개류	4	EC-01	이매패류
<i>Thyasira tokunagai</i> Kuroda &Habe, 1951 말발조개	2	DE-03	이매패류
<i>Tridonta</i> sp. 등줄조개 류	1	Hupo-01	이매패류
<i>Yoldia similis</i> Kuroda &Habe, 1961 긴반달조개	25	DE-03	이매패류
<i>Yoldiella philippiana</i> (Nyst, 1844) 꼬마반달조개	9	DE-01 DE-02 DE-04	이매패류
<i>Rossia pacifica</i> 귀꼴뚜기류	26	Hupo-01	두족류
<i>Sepiola birostrata</i> Sasaki, 1918 좀귀꼴뚜기	1	DE-02	두족류
<i>Watasenia scintillans</i> (Berry, 1991) 매오징어	1	Hupo-01	두족류
<i>Antalis</i> sp. 뿔조개류	4	DE-02	굴족강
<i>Antalis tibanum</i> Nomura, 1940 반질이뿔조개	3	DE-01 DE-02	굴족류
<i>Antalis weinkauffi</i> 뿔조개	2	DE-03	굴족강
말미잘류	2	Uljin-01	말미잘류
총 개체수	12021		

조사 정점 조사 결과 총 7개 분류군, 59종 12021개체가 조사됨.

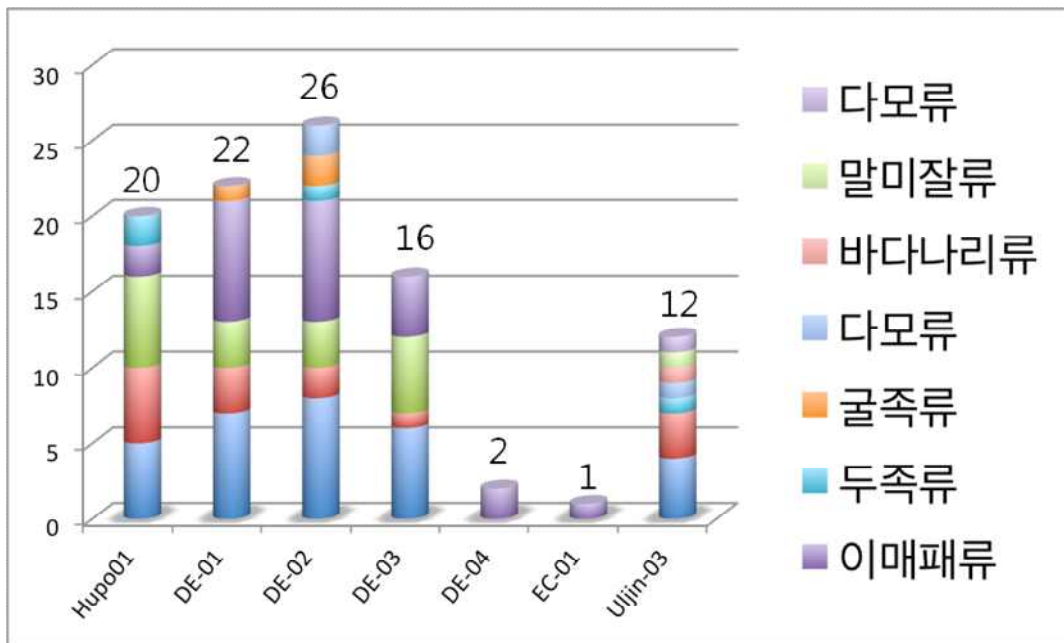


그림 5-1-2. 각 정점당 출현 분류군 및 종수

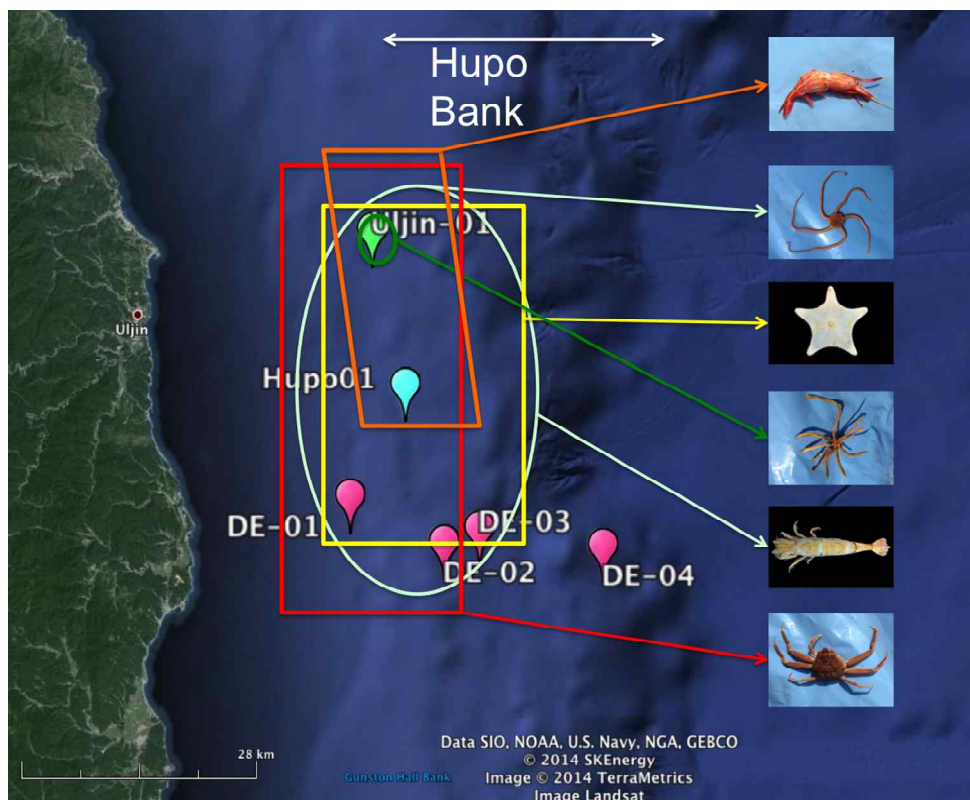


그림 5-1-3. 조사지역내 우점생물종 분포도. (위에서부터 순서대로 물렁가시 분홍새우, 살시뱃살거미불가사리, 빗살판불가사리, 요정채찍갯고사리, 진흙새우, 대게)

조사 기간 동안 채집된 생물 중 6종이 우점하고 있으며 그림과 같이 분포하고 있으며, 그 6종은 물렁가시분홍새우, 살시빛살거미불가사리, 빛살판불가사리, 요정채직갯고사리, 진흙새우, 대게이며 137개체, 10038개체, 292개체, 82개체, 925개체, 81개체가 채집되었다(그림 5-1-2). 그 결과 DE-01, DE-02, DE-03이 DE-04, EC-01보다 높은 종다양성을 보이고, Uljin-01에서는 9종이 조사되었으나 생물량에서 살시빛살거미불가사리가 94%이상을 차지하였다(그림 5-1-3).

[DE-01 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	33	십각류
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774) 석모자주새우	1	십각류
<i>Eualus middendorffi</i> Brashnikov, 1907 북방갯가꼬마새우	15	십각류
<i>Lebbeus groenlandicus</i> (Fabricius, 1775) 가시배새우	1	십각류
<i>Spirontocaris spinus</i> (Sowerby, 1805) 톱등큰꼬마새우	5	십각류
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788) 대게	2	십각류
<i>Ophiura sarsi</i> Lütken, 1854 살시빛살거미불가사리	4	불가사리류
<i>Ophiura leptoctenia</i> Clark, 1911 가는빛살거미불가사리	3	불가사리류
<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805) 빛살판불가사리	27	불가사리류
<i>Curtitoma becklemishevi</i> Bogdanov, 1989 가는꼬리언칭이고둥	1	복족류
<i>Retimohnia frielei</i> Dall, 1891 입비뿔이주름고둥	1	복족류
<i>Cryptonatica ranzii</i> (Kuroda, 1961) 흐린띠구슬우렁이	6	복족류
<i>Acila divaricata</i> (Hinds, 1843) 호두조개	6	이매패류
<i>Yoldiella philippiana</i> (Nyst, 1844) 꼬마반달조개	6	이매패류
<i>Axinopsida subquadrata</i> (A. Adams, 1862) 꼬마말발조개	1	이매패류
<i>Acila</i> sp. 호두조개류	2	이매패류
<i>Portlandia japonica</i> (Adams & Reeve, 1850) 얇은반달조개	3	이매패류
<i>Nuculana pernula sadoensis</i> (Yokoyama, 1926) 달빛매패시조개	6	이매패류
<i>Portlandia lischkei</i> (Smith, 1885) 큰볼록반달조개	10	이매패류
<i>Antalis tibanum</i> Nomura, 1940 반질이뿔조개	1	굴족류
총	134	

DE-01 정점에서는 20종 134개체가 채집되었으며, 십각류 6종, 극피류 3종, 복족류 3종, 이매패류 7종, 굴족류 1종으로 이매패류와 십각류의 종다양성이 높게 나타났으며, 진흙새우와 빗살판불가사리가 우점하고 있음을 알 수 있었다.

[DE-02 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774) 석모자주새우	3	십각류
<i>Nectocrangon hazawai</i> Yokoya, 1939 흑진흙새우	4	십각류
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	11	십각류
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774) 석모자주새우	1	십각류
<i>Pagurus anomalus</i> (Balss, 1913) 작은배참집게	5	십각류
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788) 대게	5	십각류
<i>Leptychaster arcticus</i> (Sars, 1851) 작은불가사리	10	불가사리류
<i>Ophiura sarsi</i> Lütken, 1854 살시빗살거미불가사리	76	불가사리류
<i>Aphrodita aculeata</i> Linnaeus, 1761 가시고슴도치갯지렁이	24	다모류
<i>Admete couthouyi</i> (Jay, 1838) 얇은입술감생이	3	복족류
Family Pyramidellidae 회오리고둥류	2	복족류
<i>Yoldiella philippiana</i> (Nyst, 1844) 꼬마반달조개	1	이매패류
<i>Cardiomya behringensis</i> behringensis (Leche, 1883) 코쟁이국자조개	2	이매패류
<i>Acila</i> sp. 호두조개류	2	이매패류
<i>Ennucula niponica</i> (E.A. Smith, 1885) 애호두조개	1	이매패류
<i>Nuculana yokoyamai</i> yokoyamai Kuroda, 1934 버선맵시조개	2	이매패류
<i>Modiolus comptus</i> Sowerby III, 1915 수염담치	5	이매패류
<i>Limopsis belcheri</i> (Adams &Reeve, 1850) 큰흰바탕무늬조개	45	이매패류
<i>Antalis tibanum</i> Nomura, 1940 반질이뿔조개	2	굴족류
<i>Antalis</i> sp. 뿔조개류	4	굴족류
<i>Sepiola birostrata</i> Sasaki, 1918 좀귀꼴뚜기	1	두족류
총	209	

DE-02 정점에서는 총 21종 209개체가 채집되었으며, 십각류 6종, 극피류 2종, 복족류 2종, 이매패류 7종, 굴족류 2, 두족류 1종이었으며, DE-01과

마찬가지로 이매패류와 십각류의 종다양성이 높게 나타났으며, 살시빗살거미 불가사리, 큰흰바탕무늬조개, 가시고슴도치갯지렁이가 우점하고 있음을 알 수 있었다.

[DE-03 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	39	십각류
<i>Eualus middendorffi</i> Brashnikov, 1907 북방갯가꼬마새우	29	십각류
<i>Nectocrangon hazawai</i> Yokoya, 1939 흑진흙새우	1	십각류
<i>Chinoecetes japonicus</i> (Rathbun, 1932) 홍게	9	십각류
<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805) 빗살판불가사리	125	불가사리류
<i>Ophiura sarsi</i> Lütken, 1854 살시빗살거미불가사리	6	불가사리류
<i>Leptychaster arcticus</i> (Sars, 1851) 작은불가사리	3	불가사리류
<i>Echinocardium</i> sp. 엽통성게류	1	성게류
<i>Pagurus anomalus</i> (Balss, 1913) 작은배참집게	8	성게류
<i>Antalis weinkauffi</i> 별조개	2	성게류
<i>Retimohnia frielei</i> Dall, 1891 입비뿔이주름고둥	1	복족류
<i>Glossaulax</i> sp. 구슬우렁이류	7	복족류
<i>Antiplanes kawamurai</i> (Habe, 1958) 굵은북방언청이고둥	3	복족류
<i>Buccinum kushiroensis</i> Habe &Ito, 1976 깊은골동근물레고둥	9	복족류
<i>Lussivoltopsius furukawai</i> (Oyama, 1951) 무명실타래물레고둥	1	복족류
<i>Yoldia similis</i> Kuroda &Habe, 1961 긴반달조개	1	이매패류
<i>Thyasira tokunagai</i> Kuroda &Habe, 1951 말발조개	2	이매패류
<i>Cardiomya behringensis</i> behringensis (Leche, 1883) 코쟁이국자조개	1	이매패류
<i>Yoldia similis</i> Kuroda &Habe, 1961 긴반달조개	24	이매패류
총	272	

DE-03 정점에서는 총 19종 272개체가 채집되었으며, 십각류 4종, 불가사리류 3종, 성게류 3종, 복족류 5종, 이매패류 4종이었으며, 수심이 200미터 전후인 DE-01, DE-02와 다르게 DE-03은 십각류의 종 다양성이 낮아졌으며, 극피류의 종다양성은 높아졌다. 빗살판불가사리, 진흙새우, 북방갯가꼬마새우가 우점하고 있음을 알 수 있었다.

[DE-04 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Yoldiella philippiana</i> (Nyst, 1844) 꼬마반달조개	2	이매패류
<i>Lucinoma yoshidai</i> Habe, 1958 요시다꽃잎조개	1	이매패류
총	3	

수심이 약 1,100미터인 DE-04 정점은 이매패류인 꼬마반달조개와 요시다꽃잎조개 2종 3개체만이 채집되었으며, 수심이 얕은 DE-01, 02, 03 정점과는 다르게 종 다양도가 확연히 떨어졌다.

[EC-01 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Thyasira hexangulata</i> 말발조개류	4	이매패류
총	4	

수심이 약 2,300 미터인 EC-01 정점은 오직 말발조개류 1종 4개체만이 채집되었으며, 수심이 깊은 DE-04 정점과 마찬가지로 종 다양도가 확실히 낮았다.

Hupo-01 정점은 트롤에 의해 조사가 이뤄진 지역으로 총 19종 820개체가 채집되었으며, 드렛지나 박스코어에 의해 채집된 지역보다 개체수가 높게 나온 것을 알 수 있음. Hupo-01 정점의 경우, 십각류 5종, 불가사리류 4종, 복족류 6종, 이매패류와 두족류가 각각 2종으로 나타났으며, 이중 십각류인 진흙새우가 다른 종에 비해 월등히 우점하고 있음을 알 수 있었으며, 다음으로 같은 십각류인 물렁가시붉은새우가 우점하고 있었다. 그리고 조사 기간은 4월로써

울진지역의 대게 축제 이후여서 대게가 채집되지 않는 것도 하나의 영향으로 볼 수 있다.

[Hupo-01 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Spirontocaris spinus</i> (Sowerby, 1805) 톱등큰꼬마새우	5	십각류
<i>Pandalopsis japonica</i> Balss, 1914 물렁가시붉은새우	35	십각류
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	703	십각류
<i>Pagurus trionocheirus</i> (Stimpson, 1858) 세모손참집게	2	십각류
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788) 대게	16	십각류
<i>Crossaster</i> sp. 주름불가사리 류	2	불가사리류
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	1	불가사리류
<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805) 빗살판불가사리	4	불가사리류
<i>Heliometra glacialis</i> (Owen, 1833)	4	불가사리류
<i>Neptunea ocnsticta</i> (Dall, 1907) 명주매물고둥	1	복족류
<i>Habevoluptosius hirasei</i> (Pilsbry, 1907) 좁은입물레고둥	12	복족류
<i>Aforia circinata</i> (Dall, 1873) 고리언청이고둥	4	복족류
<i>Antiplanes kawamurai</i> (Habe, 1958) 굵은복방언청이고둥	5	복족류
<i>Retimohnia frielei</i> Dall, 1891 입비뚫이주름고둥	3	복족류
<i>Cryptonatica ranzii</i> (Kuroda, 1961) 흐린띠구슬우렁이	3	복족류
<i>Cardiomya behringgenis behringgenis</i> (Leche, 1883) 코쟁이국자조개	1	이매패류
<i>Tridonta</i> sp. 등줄조개 류	1	이매패류
<i>Rossia pacifica</i> 귀꼴뚜기류	17	두족류
<i>Watasenia scintillans</i> (Berry, 1991) 매퇴징어	1	두족류
총	820	

울진 정점은 후포 정점과 마찬가지로 트롤에 의해 조사가 이뤄진 지역으로 총 12종 10,579개체가 채집되어, 이번 조사 정점 중 가장 높은 채집 개체수를 보였다. 울진 정점의 경우, 십각류 4종, 불가사리류 3종, 바다나리류, 말미잘류, 다모류, 이매패류 및 두족류 등이 각각 1종 씩 총 7개의 분류군으로 나눌 수 있었다. 울진 정점에서는 불가사리류에 속하는 살시빚살거미불가사리가 전체 채집 개체수 중 94%인 9,952개체가 채집되어 가장 우점하고 있는 것을 확인할 수 있었고, 다음으로 같은 분류군에 속하는 빗살판불가사리와 십각류인 진흙새우 등이 우점종으로 나타났다(그림 5-1-4).

[Uljin-01 정점의 채집 종 리스트]

종명	개체수	분류군
<i>Pagurus trigonocheirus</i> (Stimpson, 1858) 세모손참집게	50	십각류
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788) 대게	58	십각류
<i>Pandalopsis japonica</i> Balss, 1914 물렁가시붉은새우	102	십각류
<i>Argis lar</i> (Owen, 1839) 진흙새우	139	십각류
<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805) 빗살판불가사리	136	불가사리류
<i>Ophiura sarsi</i> Lütken, 1854 살시빗살거미불가사리	9952	불가사리류
<i>Crossaster japonicus</i> (Fisher, 1911) 왜주름불가사리	38	불가사리류
<i>Boleometra clio</i> (A. H. Clak, 1907) 요정채찍갯고사리	82	바다나리류
말미잘류	2	말미잘류
<i>Aphrodita aculeata</i> Linnaeus, 1761 가시고슴도치갯지렁이	10	다모류
<i>Dermatomya tenuiconcha</i> 부리볼록조개	1	이매패류
<i>Rossia pacifica</i> 귀꿀뚜기류	9	두족류
10579		



그림 5-1-4. 정점 조사 결과 생물량이 높은 종

조사기간은 9월로써 대게의 금어기 기간이어서 포란하고 있는 대게가 채집되었다. 또한 빗살판불가사리가 섭취한 내용물을 단순한 압력으로 꺼낼 수 있었다. 토사물은 모두 고운 펄로 이루어진 것을 볼 때 조사지역의 바닥이 바위나 암석지대가 아닌 펄지역임을 알 수 있다.

수심이 비슷한 DE-01, 02와 Hupo-01, Uijin-01정점에서는 진흙새우와 살시빗살거미불가사리, 빗살판불가사리가 대체적으로 발견됨. 이는 후포뱅크를 기점으로 안쪽으로는 이 3종이 우점한다는 것과, Uijin-01의 종다양도의 자료를 보면 12종인데 그 중 살시빗살거미불가사리가 94%를 차지할 정도로 한 종에게 유리한 서식처가 될 수 있음을 유추할 수 있다.

결과적으로 후포퇴의 안쪽과 상부지역이 종 다양성이 높고, 후포퇴에서 외해쪽으로 수심이 깊어질수록 종 다양성이 현저히 낮아짐을 알 수 있었다.

나. 중형저서 동물

후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 저서생물의 종다양성 및 현존량의 분포 특성을 고찰하기 위해, 저층생태계에서 1차 소비자로서 대형 수산생물의 먹이생물로 중요한 중형저서생물을 대상으로 채집 및 분석하였다



그림 5-1-5. 2014년 5월 후포뱅크 및 울릉분지 각 조사정점의 심해 중형저서 동물 서식밀도 및 생체량 분포 특성 비교

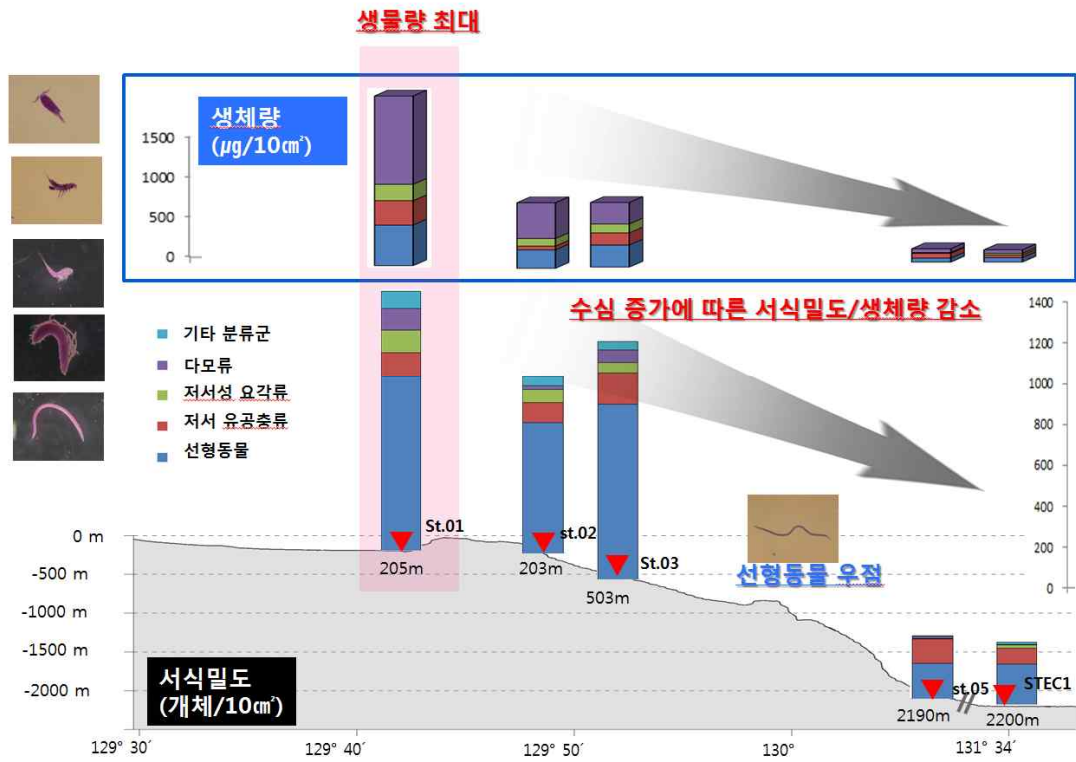


그림 5-1-6. 2015년 4월 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 간극생물의 현존량 비교

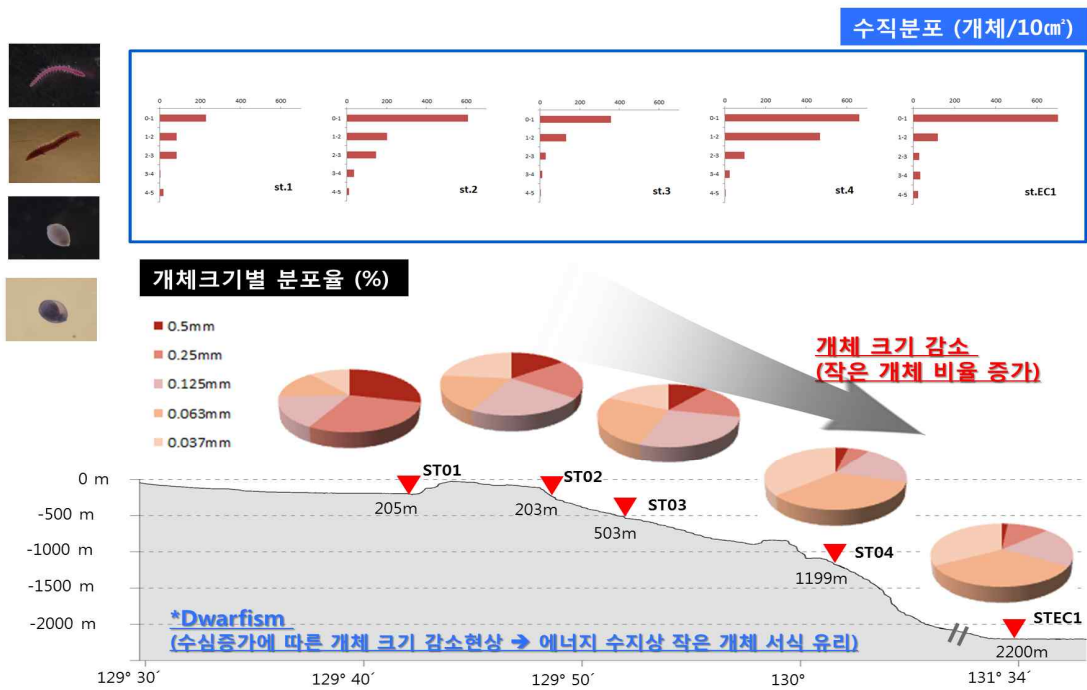


그림 5-1-7. 2014년 5월 후포뱅크 및 울릉분지 각 조사점의 심해 중형저서생물 군집의 수직분포 특성 및 개체 크기별 분포 특성 비교

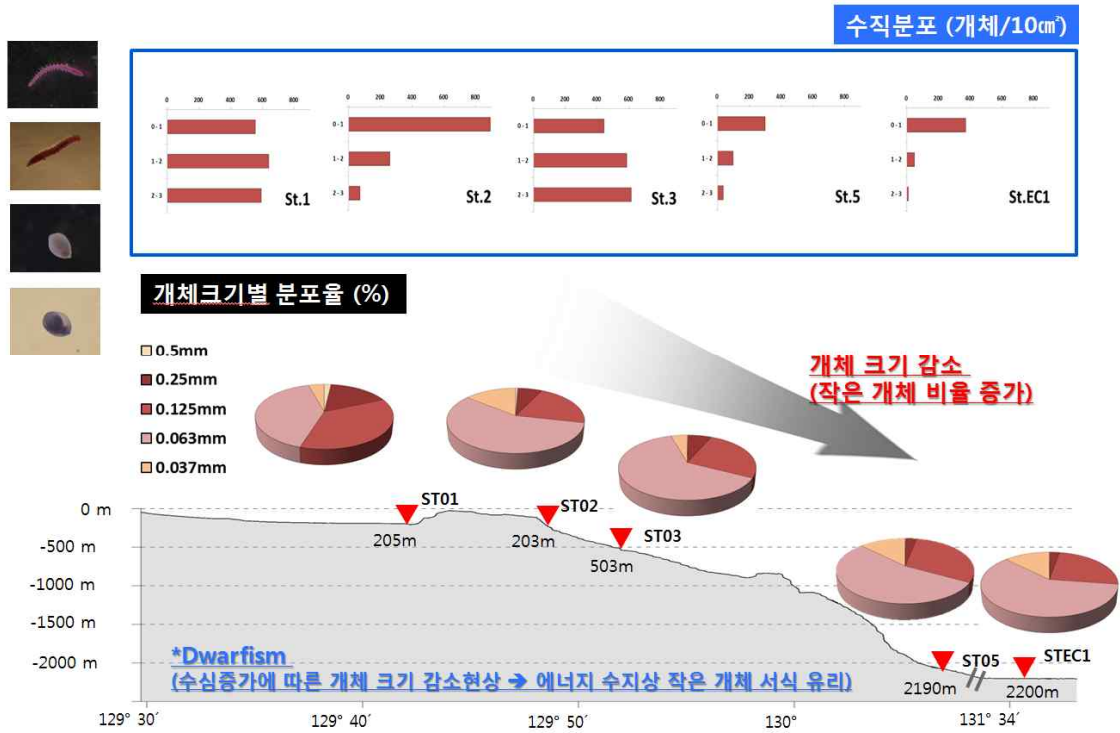


그림 5-1-8. 2015년 4월 조사해역의 중형저서생물의 수직분포 및 개체크기별 분포특성

2014년 및 2015년 조사의 후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 현존량을 정점별로 비교한 결과, 선형동물이 가장 우점하였으며, 후포퇴 후면 정점 1과 2에서 최대 생물량을 나타내었다(그림 5-1-5~6).

후포뱅크 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서생물의 퇴적물 내 수직 분포 분석한 결과, 대부분의 정점에서 표층 0-2cm 깊이에 대부분의 개체들이 서식하였고, 개체 크기별 분포 특성을 분석한 결과 수심 증가에 따른 개체 크기 감소현상인 심해생물의 Dwarfism 이 뚜렷하게 나타났다(그림 5-1-7~8). (Dwarfism : 수심증가에 따른 개체 크기 감소현상으로 에너지 수지상 작은 개체 서식 유리하다는 이론)

2015년 9월 조사에서도 4월과 마찬가지로 선형동물이 가장 우점하였으며, 후포퇴 전면 st.1에서 최대 생물량을 나타내었다. 서식밀도는 정점별 평균 447~1105 개체/10cm³를 나타냈는데, 4월의 428~1786 개체/10cm³에 비하여 다소 낮은 값을 보였다(그림 5-1-9~10).

2015년 조사해역의 심해간극생물 출현분류군별 각 수심대의 현존량 및 분포 특성

정점	2015년 4월					2015년 9월					
	St.1	St.2	St.3	St.5	St.EC1	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.EC1
Nematodes	1198	902	1206	243	278	875	458	470	348	235	368
Sarcomastigophorans	169	135	223	167	107	56	27	61	290	214	66
Harpacticoids	153	91	68	3	25	93	87	11	12	2	13
Polychaetes	149	25	88	11	4	69	28	35	6	6	
Nauplius	54	43	35	5	14	2	1	1			1
Kinorhynchs	41	10	13	1	1	7		1	2		
Ostracods	10	8	4	1							
Bivalves	10	4	2				1				
Turbellarians	1	2	3			1					
Platipulids	2	1									
Cnidarians			1	1					1	2	
Gastrotrichs								2			
Tanaidaceans	1										
Amphipods		1									
Isopods		1									
Echinoderms	1										
Platipulids							2				
others			1								
총서식밀도	1786	1222	1643	431	428	1105	601	580	659	459	447
출현분류군 수	12	12	11	8	6	8	6	7	6	5	4
생체량 (µg/10cm²)											
nematodes	384.1	174.6	209.2	37.3	42.0	321.9	163.5	185.0	122.8	73.9	69.2
rhizopods	231.1	35.9	115.2	45.1	25.4	98.0	232.6	17.6	20.1	14.0	10.5
copepods	154.1	71.6	84.2	6.6	15.4	62.4	27.7	51.3	32.0	54.6	13.5
others	836.9	339.1	204.1	35.4	33.9	395.1	235.0	218.3	15.6	23.5	1.0
total	1606.3	621.3	612.7	124.3	116.8	877.4	658.8	472.2	190.5	166.1	94.2
체(sieve) 크기별 개체수 (개체/10cm²)											
0.5mm	32	7	3	1	1	26	12	15	8	1	1
0.25mm	297	82	106	13	11	157	99	102	35	41	13
0.125mm	652	259	426	129	105	419	228	193	146	173	129
0.063mm	729	700	1036	234	257	438	232	255	405	201	269
0.037mm	77	174	73	54	54	66	29	15	65	43	36
퇴적물 내 깊이별 서식밀도 (개체/10cm²)											
0-1cm	554.3	891.6	443.4	299.4	370.3	433.6	354.0	196.5	262.3	285.8	336.2
1-2cm	639.9	259.3	585.7	96.9	48.2	408.4	143.7	225.7	189.2	147.8	82.0
2-3cm	592.2	70.9	614.4	34.6	9.2	263.1	103.1	157.5	207.9	25.2	29.2

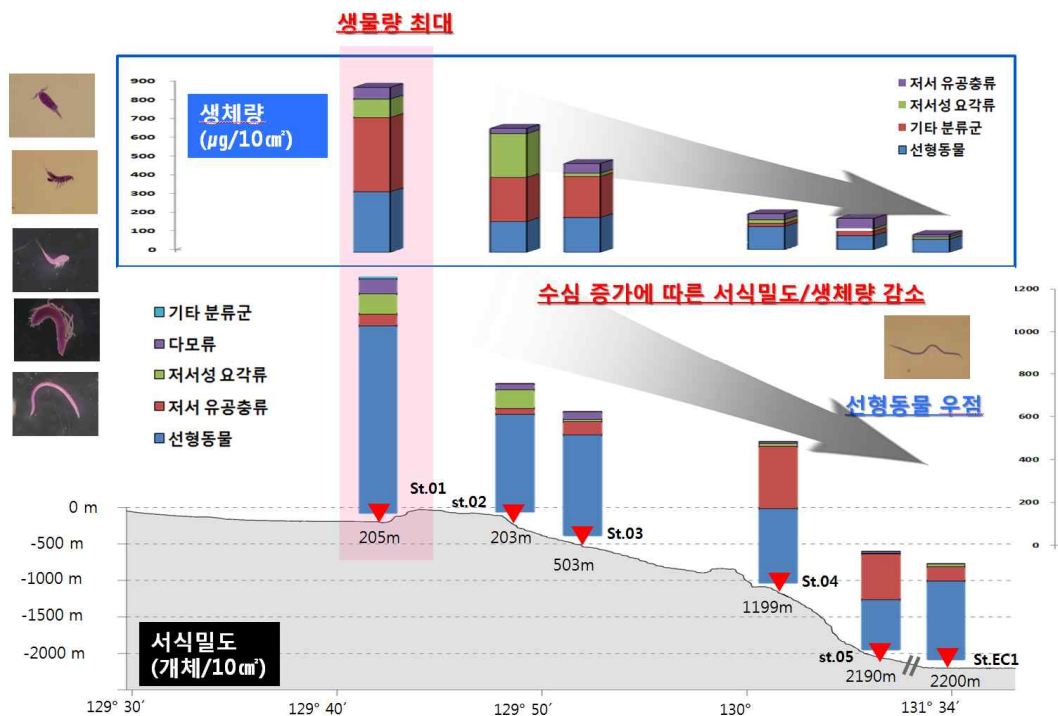


그림 5-1-9. 2015년 9월 수심별 조사지선의 심해 퇴적물에 서식하는 간극생물의 현존량 비교

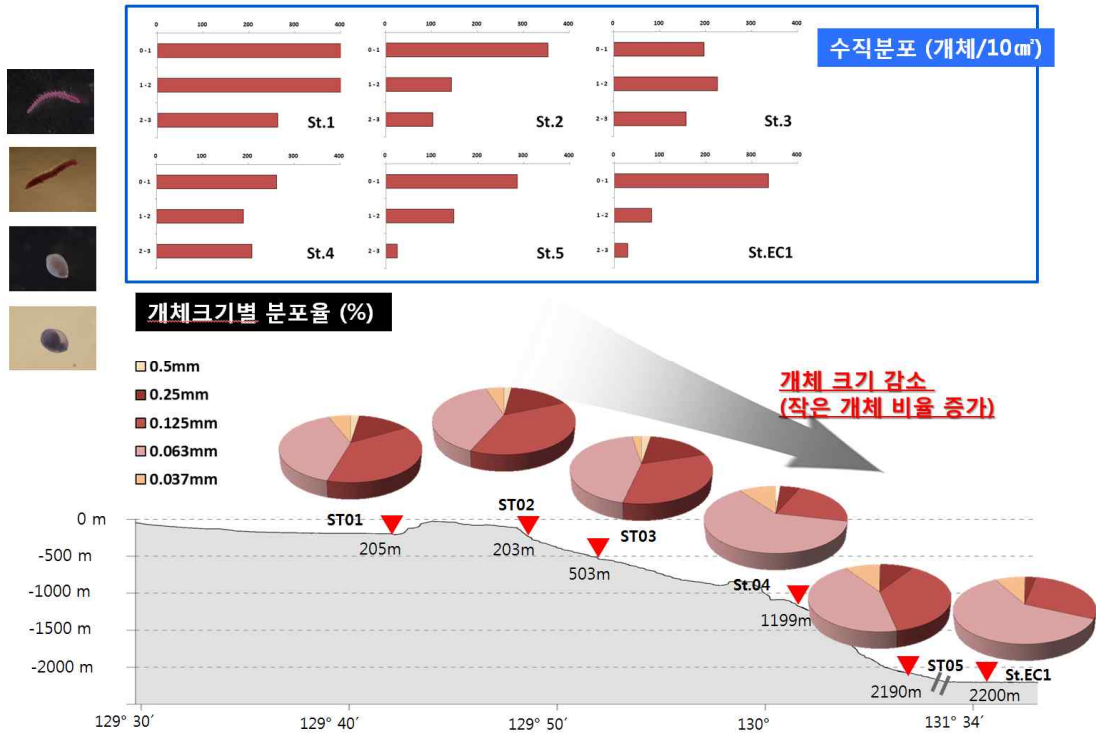


그림 5-1-10. 2015년 9월 조사해역의 중형저서생물의 수직분포 및 개체크기별 분포특성

제 2 절 심해생물과 표영생물간 상호관계

1. 표영생태계 식물플랑크톤 현존량 조사

가. 후포뱅크

동해 심해 미소생물 생태계 이해를 위하여 후포뱅크 5개 정점에서 수심에 따른 식물플랑크톤의 현존량을 분석하였다(그림 5-2-1).

2014년 5월 후포뱅크 ST01의 수심별 식물플랑크톤 현존량은 1m에서 3.62×10^5 cells L⁻¹로 가장 높은 현존량을 보였으며, 10m와 20m에서는 각각 9.67×10^4 cells L⁻¹, 9.20×10^4 cells L⁻¹로 현존량이 유사하게 나타남. 30m에서 9.70×10^3 cells L⁻¹로 현존량이 급감하기 시작하여, 150m까지 7.00×10^3 cells L⁻¹로 감소하였다. 한편, B.D.에서는 1.35×10^4 cells L⁻¹로 100, 150m 보다 현존량이 높았다.

ST02의 식물플랑크톤 현존량은 1m(2.18×10^5 cells L⁻¹)와 10m(2.49×10^5 cells L⁻¹)에서는 비교적 유사한 경향을 보이고, 20m에서는 1.43×10^5 cells L⁻¹로 감소하기 시작하여 30m에서는 3.30×10^4 cells L⁻¹로 현존량이 급감해 100m에서는 1.75×10^4 cells L⁻¹로 나타났다. 150m와 B.D.에서는 각각 1.85×10^4 cells L⁻¹, 1.70×10^4 cells L⁻¹로 현존량이 유사하게 나타났다.

ST03의 식물플랑크톤 현존량은 1m에서 4.01×10^5 cells L⁻¹로 가장 높게 나타났고, 10m에서는 3.58×10^5 cells L⁻¹, 20m에서는 2.34×10^5 cells L⁻¹로 ST01과 ST02에 비해 비교적 현존량이 높음. 30m에서는 5.75×10^4 cells L⁻¹, 75m에서 8.00×10^3 cells L⁻¹로 급감하였다. 그러나, 100m에서 1.6×10^4 cells L⁻¹로 증가했다가 200m에서 6.00×10^3 cells L⁻¹로 낮아지기 시작하였다. 그리고 B.D.에서는 1.25×10^4 cells L⁻¹로 현존량이 높게 나타났다..

ST04는 후포뱅크 대륙사면 정점으로 조사정점 중 가장 높은 현존량을 보였다. 1m에서는 6.46×10^5 cells L⁻¹였고, 10m에서 7.24×10^5 cells L⁻¹, 20m에서 7.20×10^5 cells L⁻¹로 수심 1m보다 높은 현존량을 보임. 30m에서는 3.82×10^5

cells L⁻¹으로 감소하기 시작해 100m에서는 1.0x10⁴ cells L⁻¹, 1000m에서 2.75x10³ cells L⁻¹로 낮은 현존량이 유지되었다. B.D.에서는 8.50x10³ cells L⁻¹로 200m 아래 수심의 정점들 중 비교적 현존량이 높았다.

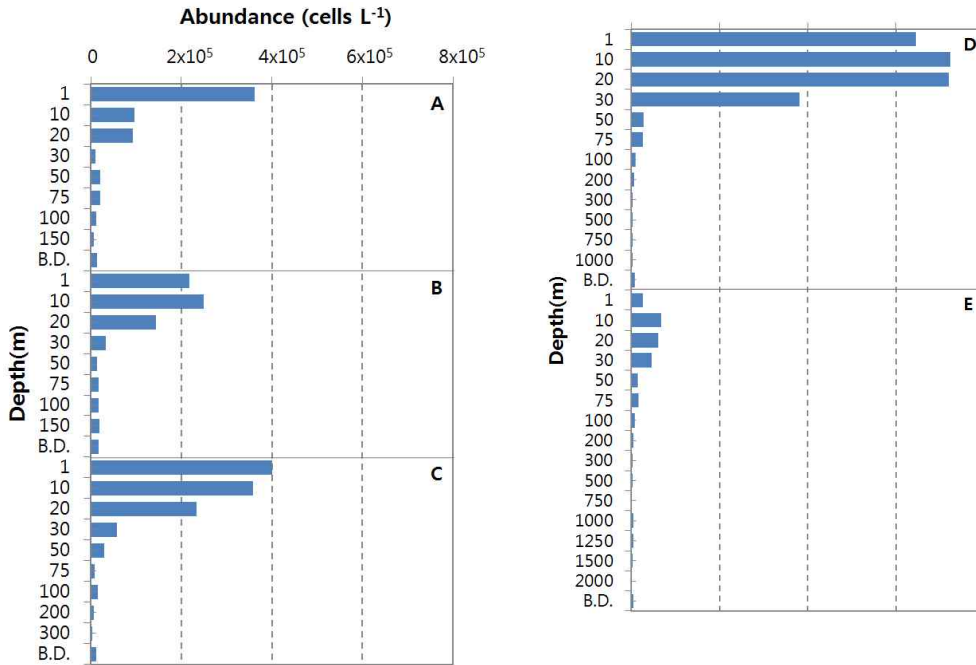


그림 5-2-1. 5월 후포뱅크 식물플랑크톤 현존량; A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) ST05

ST05에서의 수심별 식물플랑크톤 현존량은 1m에서 2.55x10⁴ cells L⁻¹였고, 10m에서는 6.80x10⁴ cells L⁻¹로 1m 보다 높게 나타났고, 30m에서 현존량이 급감하는 다른 정점들과는 다르게 20m에서 6.05x10⁴ cells L⁻¹, 30m에서 4.60x10⁴ cells L⁻¹로 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 50m에서 1.45x10⁴ cells L⁻¹, 75m에서 1.65x10⁴ cells L⁻¹, 100m에서는 8.5x10³ cells L⁻¹로 낮은 현존량을 유지함. 200m(4.50x10³ cells L⁻¹)에서 부터 1500m(3.50x10³ cells L⁻¹)까지 현존량이 낮게 나타났다. 2000m에서는 5.00x10² cells L⁻¹로 가장 낮았고, B.D.에서는 4.00x10³ cells L⁻¹로 200~1500m에서의 현존량과 유사했다.

후포뱅크의 5개 정점 중 ST04의 수심 1~30m에서의 식물플랑크톤 현존량이 다른 정점에 비해 상대적으로 높게 나타난 반면 ST05에서의 현존량은 전체 수심에서 낮은 현존량을 보였다. 전체적으로 수심이 깊어지면서 식물플랑크톤의 현존량이 감소하였고, ST05를 제외한 모든 정점에서 20m에서 30m로 내려가면서 현존량이 1.9~9.5배로 급감하는 경향을 보였다.

나. 울릉분지

EC-trap의 식물플랑크톤 현존량은 1m에서 1.76×10^5 cells L^{-1} 로 나타났고, 10m(4.10×10^5 cells L^{-1})와 20m(3.72×10^5 cells L^{-1})에서 1m보다 높은 현존량을 보였다. 30m에서 1.34×10^5 cells L^{-1} 로 감소하기 시작하여 50m에서는 5.0×10^4 cells L^{-1} , 75m에서 2.1×10^4 cells L^{-1} , 100m에서 1.3×10^4 cells L^{-1} 로 수심이 깊어질 때마다 현존량이 감소한다. 200m에서는 6.0×10^3 cells L^{-1} , 300m에서 9.0×10^3 cells L^{-1} , 500m에서 9.5×10^3 cells L^{-1} , 750m에서 4.5×10^3 cells L^{-1} , 1000m에서 5.0×10^3 cells L^{-1} , 1250m에서 4.0×10^3 cells L^{-1} , 1500m에서 2.0×10^3 cells L^{-1} , 2000m에서 3.0×10^3 cells L^{-1} , B.D.에서는 1.0×10^3 cells L^{-1} 로 200m 이상의 수심에서는 10^3 cells L^{-1} 범위의 낮은 현존량이 유지되는 경향을 보였다 (그림 5-2-2).

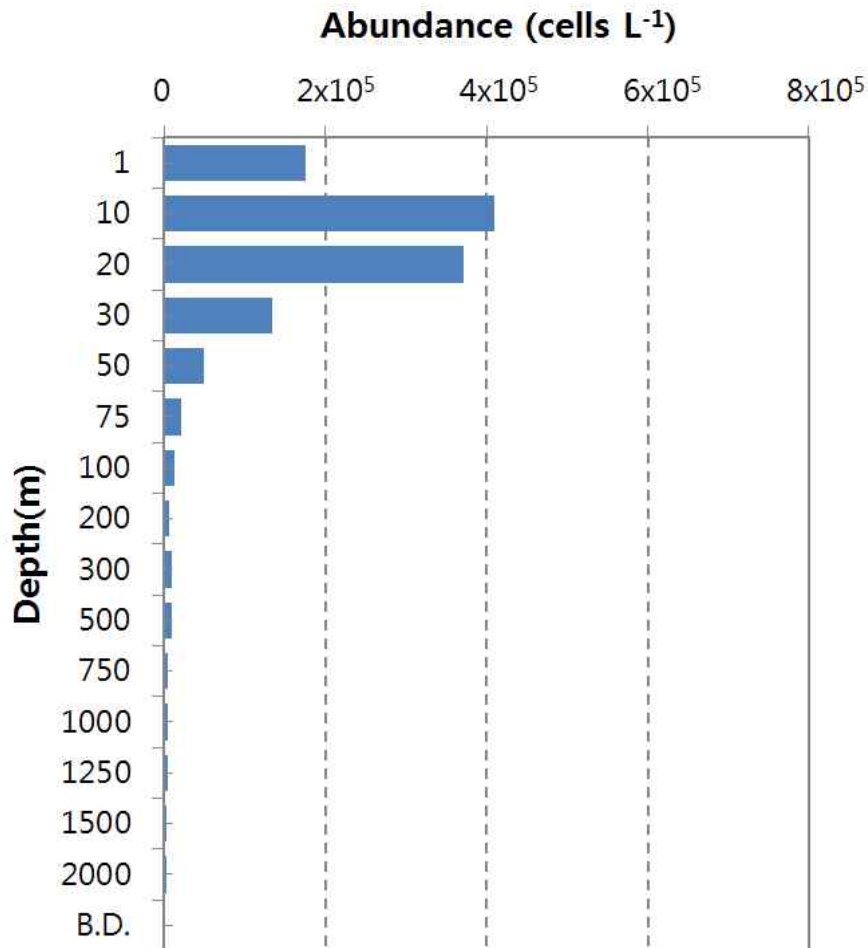


그림 5-2-2. 5월 울릉분지 식물플랑크톤 현존량(B.D.: Bottom Depth)

후포뱅크의 5개 정점과 울릉분지 EC-trap 정점의 수심 1~100m에서 식물플랑크톤 현존량을 비교할 때, EC-trap 수심 1m에서의 현존량은 ST05를 제외한 정점들보다 낮았고, 10~30m에서는 ST04를 제외한 정점들보다 높았다. 20m에서 30m로 내려가면서 현존량이 큰 폭으로 감소하는 경향은 후포뱅크의 정점들과 유사하였다. ST03~05와 EC-trap 정점의 200m 이상의 수심에서 10^3 cells L⁻¹ 범위의 현존량이 나타났다. 후포뱅크의 ST02를 제외한 4개 정점에서 B.D.의 현존량은 직전 조사수심의 1.92~8배 증가하였지만, ST02와 EC-trap 정점에서는 감소하였다.

2. 표영생태계 식물플랑크톤 군집구조 조사

가. 후포뱅크

동해 심해 미소생물 생태계 이해를 위하여 후포뱅크 5개 정점에서 수심에 따른 식물플랑크톤의 군집구조를 분석하였다.

2014년 5월 후포뱅크 ST01의 수심별 식물플랑크톤의 출현종은 8~27 종으로 확인되었다. 표층에서 20m까지와 100m에서 제1 우점종은 *Leptocylindrus danicus*로 나타났으며, 30m와 50m에서는 *Cryptophyta*가 제1 우점종으로 나타났다. 75m에서는 *Chaetoceros debilis*, 150m에서는 *Nitzschia* sp., B.D.에서는 *Heterosigma akashiwo*가 제1 우점종으로 나타났다.

ST02에서 수심별 식물플랑크톤의 출현종은 9~25 종으로 나타났다. 모든 수심에서 제1 우점종은 *H. akashiwo*로 확인되었고, 10~30m에서는 *Prorocentrum dentatum*이 제2 우점종으로 출현하였다.

ST03에서는 식물플랑크톤의 출현종이 5~21 종으로 확인됨. 75m와 B.D.를 제외한 수심에서 제1 우점종은 *H. akashiwo*로 나타났다. 제2 우점종으로는 1~20m에서 *P. dentatum*, 30~300m에서는 *Cryptophyta*가 출현하였다.

ST04에서는 식물플랑크톤 출현종이 5~35 종으로 조사정점 중 가장 많은 출현종이 나타난 것을 확인할 수 있고 ST02, ST03 정점과 같은 양상으로 제1 우점종은 *H. akashiwo*로 나타났고, 1~20m에서 제2 우점종으로 *P. dentatum*이 나타났다.

[후포뱅크 식물플랑크톤 우점종]

Station	Depth	1st	%	2st	%	3st	%
ST01	1m	<i>Leptocylindrus danicus</i>	26.5%	Cryptophyta	19.9%	<i>Thalassiosira</i> sp.	14.4%
	10m	<i>Leptocylindrus danicus</i>	23.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	17.2%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	10.3%
	20m	<i>Leptocylindrus danicus</i>	17.4%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	14.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	9.8%
	30m	Cryptophyta	24.1%	<i>Chaetoceros</i> sp.	13.8%	<i>Nitzschia</i> sp.	10.3%
	50m	Cryptophyta	10.9%	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	9.7%	<i>Gymnodinium</i> sp.	8.5%
	75m	<i>Chaetoceros debilis</i>	35.0%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	25.0%	<i>Thalassiosira</i> sp. <i>Gyrodinium</i> sp.	10.0% 10.0%
	100m	<i>Leptocylindrus danicus</i>	16.0%	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cryptophyta	12.0% 12.0%	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	8.0% 8.0% 8.0% 8.0%
	150m	<i>Nitzschia</i> sp.	13.5%	<i>Chaetoceros pseudocrinatus</i> <i>Chaetoceros</i> sp.	10.8% 10.8%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	8.1%
	B.D.	<i>Heterosigma akashiwo</i>	33.3%	<i>Proboscia alata</i>	18.5%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	11.1%
	ST02	1m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	44.0%	<i>Chaetoceros socialis</i>	9.6%	Cryptophyta
10m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	46.2%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	17.3%	Cryptophyta	7.2%
20m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	46.2%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	22.4%	Cryptophyta	11.2%
30m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	48.5%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	10.6%	<i>Katodinium glaucum</i> <i>Oxyphysis</i> sp. Cryptophyta	6.1% 6.1% 6.1%
50m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	28.6%	<i>Katodinium glaucum</i> Cryptophyta	10.7% 10.7%	<i>Amphidinium</i> sp. <i>Gymnodinium</i> sp.	7.1% 7.1%
75m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	29.4%	Unidentified	23.5%	Cryptophyta	11.8%
100m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	11.4%	<i>Chaetoceros holsaticus</i> Cryptophyta	8.6% 8.6%	<i>Asterionella glacialis</i> <i>Chaetoceros</i> sp. <i>Fragilaria cylindrus</i> <i>Heterocapsa triquetra</i> <i>Katodinium glaucum</i> <i>Scrippsiella trochoidea</i>	5.7% 5.7% 5.7% 5.7% 5.7%
150m		<i>Heterosigma akashiwo</i>	24.3%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	21.6%	<i>Cerataulina daemon</i> <i>Chaetoceros</i> sp.	10.8% 10.8%
B.D.		<i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Paralia sulcata</i>	17.6% 17.6%	<i>Chaetoceros</i> sp.	14.7%	<i>Nitzschia</i> sp.	11.8%
ST03		1m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	63.6%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	14.0%	Cryptophyta
	10m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	54.2%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	20.7%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	5.0%
	20m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	54.7%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	17.5%	Cryptophyta	7.7%
	30m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	64.3%	Cryptophyta	6.1%	<i>Katodinium glaucum</i>	5.2%
	50m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	71.1%	Cryptophyta	6.7%	<i>Thalassiosira</i> sp. <i>Gymnodinium</i> sp.	3.3% 3.3%
	75m	<i>Paralia sulcata</i>	43.5%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	32.6%	Unidentified diatom	4.3%
	100m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	51.5%	Cryptophyta	12.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	6.1%
	200m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	33.3%	Cryptophyta	16.7%	<i>Gyrodinium</i> sp.	11.1%
	300m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	35.3%	Cryptophyta	17.6%	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp.	11.8% 11.8%
	B.D.	<i>Thalassiosira oestrupii</i>	28.0%	<i>Nitzschia</i> sp.	24.0%	<i>Chaetoceros costatus</i>	20.0%

[후포뱅크 식물플랑크톤 우점종]

Station	Depth	1st	%	2st	%	3st	%
ST04	1m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	50.8%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	12.1%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	8.0%
	10m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	54.1%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	12.1%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	9.7%
	20m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	42.8%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	21.7%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	5.6%
	30m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	34.7%	<i>Leptocylindrus minimum</i>	11.0%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	10.0%
	50m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	57.4%	Cryptophyta	9.3%	<i>Katodinium glaucum</i>	7.4%
	75m	Cryptophyta	30.8%	<i>Chaetoceros debilis</i>	23.1%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	11.5%
	100m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	35.0%	<i>Gymnodinium</i> sp. <i>Katodinium glaucum</i> <i>Oxyphysis</i> sp. Cryptophyta	10.0% 10.0% 10.0% 10.0%	<i>Chattonella</i> sp. <i>Eucampia zodiacus</i> <i>Gyrodinium</i> sp.	5.0% 5.0% 5.0%
	200m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	40.5%	<i>Thalassiosira</i> sp. Cryptophyta Unidentified	8.1% 8.1% 8.1%	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Katodinium</i> sp.	5.4% 5.4%
	300m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	33.3%	<i>Gyrodinium</i> sp.	22.2%	<i>Dictyocha speculum</i> <i>Navicula</i> sp. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp.	11.1% 11.1% 11.1% 11.1%
	500m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	41.7%	<i>Thalassiosira</i> sp.	25.0%	Cryptophyta	16.7%
	750m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	32.0%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	12.0%	<i>Katodinium</i> sp. <i>Nitzschia</i> sp.	8.0% 8.0%
	1000m	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Fragilaria cylindrus</i> <i>Heterosigma akashiwo</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	18.2% 18.2% 18.2% 18.2%	<i>Cymbella</i> sp. Unidentified diatom <i>Pronoctiluca pelagica</i>	9.1% 9.1% 9.1%	-	
	B.D.	Unidentified diatom	23.5%	<i>Nitzschia</i> sp.	17.6%	<i>Fragilaria cylindrus</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Thalassiosira</i> sp. <i>Gyrodinium spirale</i>	11.8% 11.8% 11.8% 11.8%
ST05	1m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	27.3%	Cryptophyta	18.2%	<i>Proboscia alata</i>	9.1%
	10m	Cryptophyta	29.4%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	25.7%	<i>Proboscia alata</i>	19.1%
	20m	<i>Proboscia alata</i>	30.4%	Cryptophyta	17.6%	<i>Proboscia alata</i>	10.1%
	30m	Cryptophyta	23.5%	<i>Proboscia alata</i>	21.4%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	14.3%
	50m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	13.7%	Cryptophyta	9.8%	<i>Prorocentrum dentatum</i>	7.8%
	75m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	27%	<i>Cryptomonas</i> sp.	15%	<i>Thalassiosira</i> sp.	12%
	100m	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.9%	<i>Proboscia alata</i>	10.8%	<i>Katodinium glaucum</i> <i>Coscinodiscus</i> sp.	8.1% 8.1%
	200m	<i>Chaetoceros</i> sp.	22%	<i>Asterionella glacialis</i> <i>Guinardia delicatula</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Thalassiosira</i> sp. <i>Alexandrium</i> sp. Unidentified Unidentified diatom	11% 11% 11% 11% 11% 11% 11%	-	
	300m	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Fragilaria cylindrus</i>	40% 40%	<i>Heterosigma akashiwo</i>	20%	-	
	500m	<i>Paralia sulcata</i>	20%	<i>Dictyocha speculum</i> <i>Gymnodinium</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp.	13.3% 13.3% 13.3%	<i>Cryptomonas</i> sp. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Katodinium</i> sp. <i>Prorocentrum dentatum</i> <i>Prorocentrum minimum</i> Unidentified	6.6% 6.6% 6.6% 6.6% 6.6% 6.6%
	750m	<i>Gymnodinium</i> sp.	42.9%	<i>Dictyocha speculum</i> <i>Fragilaria</i> sp. Unidentified dinoflagellate	14.2% 14.2% 14.2%	-	
	1000m	Unidentified dinoflagellate	44%	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Cryptomonas</i> sp.	22% 22%	<i>Thalassiosira</i> sp.	11%
	1250m	Unidentified dinoflagellate	33%	<i>Cryptomonas</i> sp.	22%	<i>Amphora lineolata</i> <i>Chattonella</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp. <i>Prorocentrum triestinum</i>	11% 11% 11% 11%
	1500m	Unidentified dinoflagellate	71%	<i>Prorocentrum minimum</i> <i>Cryptomonas</i> sp.	14% 14%	-	
	2000m	Unidentified dinoflagellate	100%	-		-	
B.D.	Unidentified	38%	Unidentified dinoflagellate	25%	<i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Thalassiosira</i> sp. Unidentified diatom	13% 13% 13%	

ST05는 식물플랑크톤 출현종이 11~19 종으로 확인되고, 제1 우점종이 수심에 따라 *H. akashiwo*, Cryptophyta, *Proboscia alata*, *Thalassiosira* sp.로 다양하게 나타나며 *P. alata*는 1~200m에서 3.9~30.4%로 다른 정점에 비해 높은 우점율을 나타낸다.

나. 울릉분지

2014년 5월 울릉분지 EC-trap 정점의 수심별 식물플랑크톤 군집구조를 분석하였다. 300m, 200m, B.D.를 제외한 모든 수심에서 *Heterosigma akashiwo*가 33.6~57.6%의 분포로 제1 우점종으로 나타났다.

가장 깊은 수심인 B.D.에서 *Dictyocha speculum*와 *Prorocentrum triestinum*가 각각 50.0%로 분포하고 있었다.

[5월 울릉분지 식물플랑크톤 우점종]

Depth	1st	%	2nd	%	3rd	%
1m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	47.7%	<i>Leptocylindrus danicus</i>	11.4%	Cryptophyta	8.0%
10m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	57.6%	Cryptophyta	12.7%	<i>Prorocentrum minimum</i>	7.3%
20m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	42.5%	Cryptophyta	12.9%	<i>Prorocentrum minimum</i>	11.3%
30m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	48.3%	Cryptophyta	7.9%	<i>Leptocylindrus danicus</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	4.9% 4.9%
50m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	66.1%	Cryptophyta	6.7%	<i>Proboscia alata</i> <i>Fragilaria</i> sp.	4.0% 6.5%
75m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	34.6%	<i>Prorocentrum minimum</i>	7.5%	<i>Thalassiosira</i> sp. <i>Katodinium glaucum</i>	6.5% 6.5%
100m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	33.6%	<i>Thalassiosira</i> sp.	11.6%	<i>Katodinium glaucum</i>	6.8%
200m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	37.9%	<i>Katodinium glaucum</i>	7.6%	<i>Chaetoceros</i> sp.	5.3%
300m	Not clear					
500m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	47.4%	Not clear			
750m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	44.4%	Not clear			
1000m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	70.0%	Not clear			
1250m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	37.5%	<i>Thalassiosira</i> sp. <i>Gymnodinium</i> sp. <i>Heterocapsa triquetra</i>	12.5% 12.5% 12.5%	Not clear	
1500m	<i>Heterosigma akashiwo</i>	75.0%	Not clear			
2000m	Not clear					
B.D.	<i>Dictyocha speculum</i> <i>Prorocentrum triestinum</i>	50.0% 50.0%	Not clear			

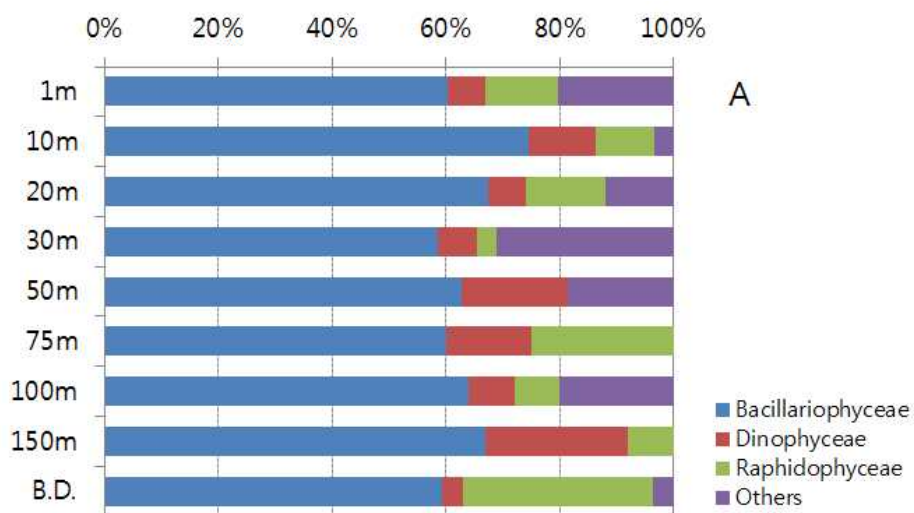
3. 후포뱅크-울릉분지 수심별 식물플랑크톤 군집구조 비교

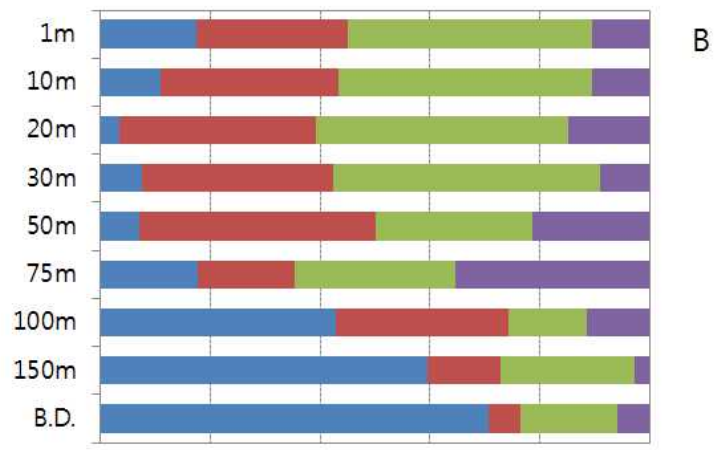
동해 표영생태계와 심해생태계의 연계성을 파악하기 위해 식물플랑크톤을 규조강(Bacillariophyceae), 와편모조강(Dinophyceae), 침편모조강(Raphidophyceae), Others (Cryptophyceae, Dictyochophyceae, Prasinophyceae 등) 4개 그룹으로 나누어 수심별로 이들의 군집구조를 비교하였다(그림 5-2-3).

후포뱅크인 ST01의 군집구조를 살펴보면, 규조강은 50.0~74.5%로 모든 수심에서 비슷한 경향을 나타냈으며, 와편모조강은 모든 수심에서 3.7~25.0%로 비슷한 분포를 나타내고, 침편모조강은 B.D.에서 33.3%로 나타났고, 수심에 따라 분포 비율의 변동이 크게 나타났다.

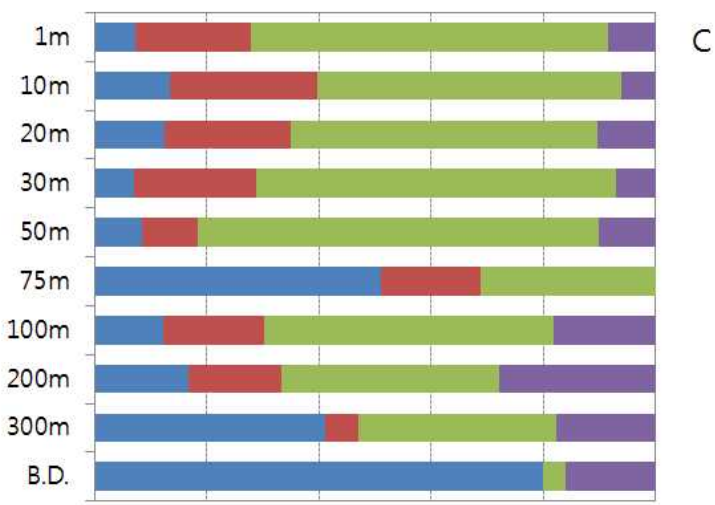
ST02에서 규조강은 100m~B.D.에서 42.9~70.6%로 높은 비율을 나타냈다. 와편모조강은 50m에서 42.9%로 가장 높은 비율을 나타냈고, B.D.에서는 5.9%로 나타났다. 침편모조강은 표층에서 수심 75m까지 28.4~48.5%로 높은 비율로 분포하였으나 100m이상의 수심에서 비교적 낮은 분포를 나타내어 규조강과 대비되었다.

ST03에서 규조강은 표층에서 50m까지 7.0~13.4%로 낮게 분포하였고, B.D.에서는 80.0%로 높게 나타났고, 와편모조강은 5.9~26.3%의 분포로 나타났으며, B.D.에서는 출현하지 않았다. 침편모조강은 31.1~71.7%의 분포로 나타났으며, B.D.에서는 4.0%로 가장 낮게 나타났다.

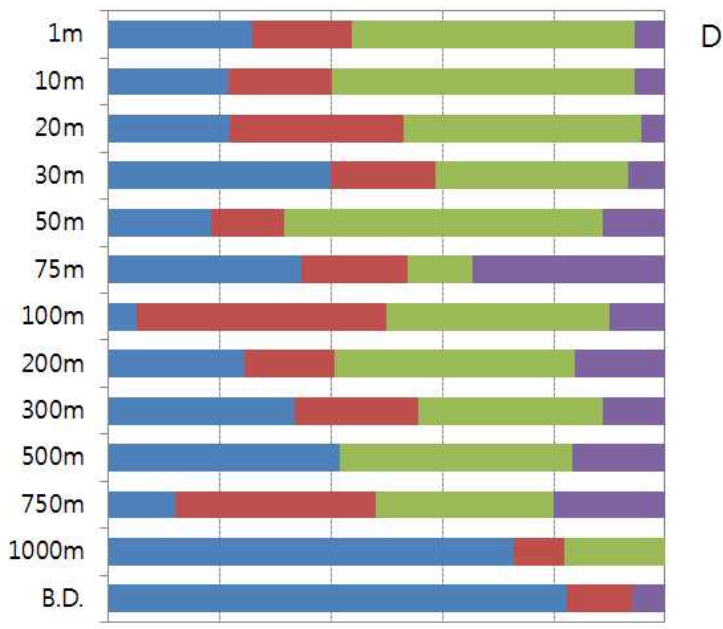




B



C



D

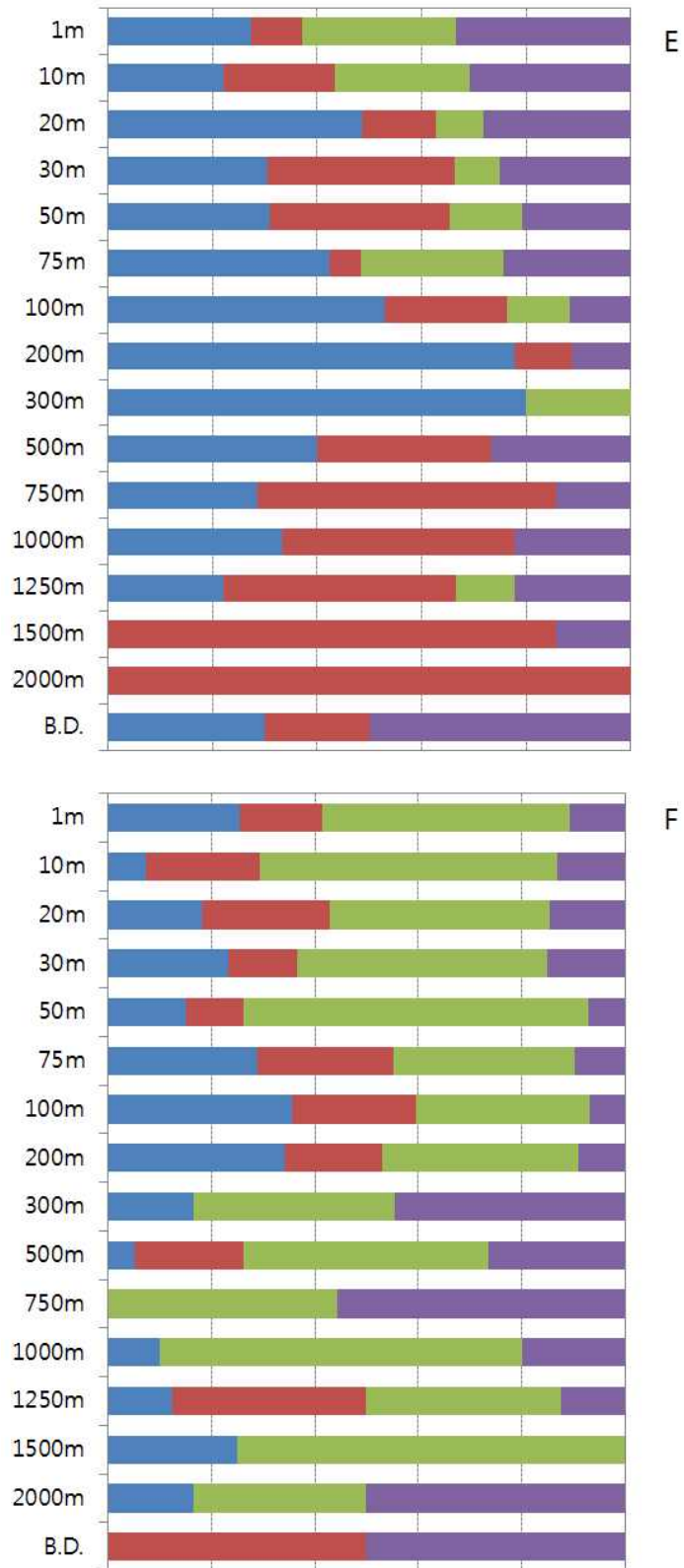


그림 5-2-3. 수심별 식물플랑크톤 군집구조 비교; A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) ST05, F) EC-trap]

ST04에서 규조강은 100m에서 5.0%로 가장 낮은 분포를 보였고, 1000m, B.D.에서 각각 72.7, 82.4%로 높게 나타났고, 와편모조강은 100m에서 45.0%의 높은 분포로 나타났다. 침편모조강은 B.D.를 제외한 전체 수심에서 11.5~57.4%의 분포를 보였다.

ST05에서 규조강은 200, 300m에서 각각 77.8, 80.0%로 높은 분포를 나타내고, 와편모조강은 표층에서 200m까지에서 6.1~35.9%의 분포를 보였으며, 500m 이상의 수심에서는 25.0~100%의 분포로 나타났다. 침편모조강은 표층에서 100m까지 8.7~29.4%로 낮은 비율로 분포하였고, 300m와 1250m에서 각각 20.0, 11.0%로 나타났다.

울릉분지인 EC-trap의 군집구조를 살펴보면, 규조강은 전체 수심에서 0.0~35.6%의 분포를 보였고 100m에서 가장 높게 나타남. 와편모조강은 표층에서 200m까지 11.2~26.2%의 분포를 나타냈고, 500m, 1250m, B.D.에서 각각 21.1%, 37.5%, 50.0%로 관찰됨. 침편모조강은 100m와 2000m 이상의 수심을 제외한 정점에서 35.0~75.0%로 가장 높은 비율을 나타냈다..

ST02, ST03, ST04, ST05, EC-trap은 ST01과는 다른 분포를 보였다. 후포뱅크 내쪽의 ST01은 모든 수심에서 규조강이 50.0% 이상의 분포를 보였지만, 후포뱅크 외쪽 정점들은 규조강, 와편모조강, 침편모조강, Others가 고른 분포를 나타냈다.

4. 퇴적물내 식물플랑크톤 군집 조사

동해 심해 표영생태계와 심해생태계의 연계성을 이해하기 위하여 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 현존량을 분석하였다. 후포뱅크 4개 정점과 울릉분지 1개 정점을 대표정점으로 선정하여 1~5cm로 나누어 정량분석을 하였다. 이들의 현존량은 퇴적물 습중량(g)당 세포수로 표현함(그림 5-2-4).

ST01에서는 1cm에서 2.55×10^5 cells g^{-1} , 2cm에서는 1.68×10^5 cells g^{-1} , 3cm에서는 1.33×10^5 cells g^{-1} 의 분포로 감소하다가 4cm에서는 1.40×10^5 cells g^{-1} , 5cm에서는 2.90×10^5 cells g^{-1} 의 분포로 증가하는 경향을 보였다.

ST02에서는 1cm에서는 2.54×10^5 cells g^{-1} , 2cm에서는 2.36×10^5 cells g^{-1} ,

3cm에서는 1.04×10^5 cells g^{-1} 로 가장 낮은 분포를 보였고, 4cm에서는 1.60×10^5 cells g^{-1} , 5cm에서는 3.44×10^5 cells g^{-1} 로 가장 높은 분포를 보였다.

ST03에서는 1cm에서는 3.02×10^5 cells g^{-1} , 2cm에서는 3.20×10^5 cells g^{-1} , 3cm에서는 5.43×10^5 cells g^{-1} , 4cm에서는 2.28×10^5 cells g^{-1} , 5cm에서는 3.57×10^5 cells g^{-1} 의 분포를 보였다.

ST04에서는 1cm에서는 5.16×10^5 cells g^{-1} , 2cm에서는 8.19×10^5 cells g^{-1} , 3cm에서는 2.22×10^5 cells g^{-1} , 4cm에서는 1.28×10^5 cells g^{-1} , 5cm에서는 8.33×10^5 cells g^{-1} 의 분포를 보였다.

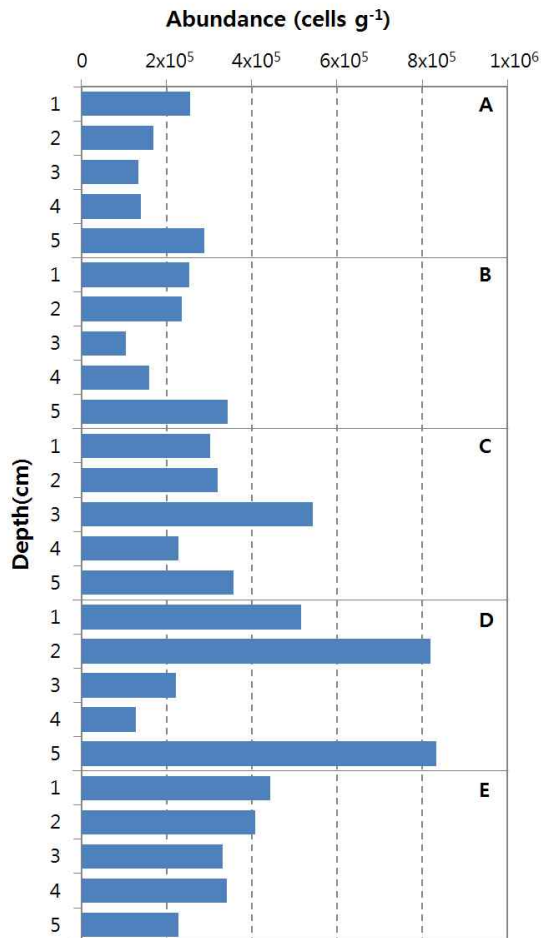


그림 5-2-4. 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 현존량; A) ST01, B) ST02, C) ST03, D) ST04, E) EC-trap]

울릉분지인 EC-trap에서는 1cm에서는 4.42×10^5 cells g^{-1} , 2cm에서는 4.09×10^5 cells g^{-1} , 3cm에서는 3.32×10^5 cells g^{-1} , 4cm에서는 3.42×10^5 cells g^{-1} , 5cm에서는 2.28×10^5 cells g^{-1} 의 분포를 보였고, 표층인 1cm에서 가장 많은 현존량을 보였고, 가장 깊은 5cm에서 가장 적은 현존량을 보였다.

표영생태계와 퇴적물 내 식물플랑크톤의 현존량을 비교하면, ST04에서 표영생태계·퇴적물에서 모두 높은 현존량을 나타낸 것으로 확인되었다.

2014년 5월 후포뱅크 ST01의 깊이별 식물플랑크톤 출현종은 16~19 종으로 확인되었고, 5cm를 제외한 모든 깊이에서 제1 우점종은 *Paralia sulcata*로 나타났으며, 5cm에서는 *Fragilaria cylindrus*가 제1 우점종으로 나타났음.

ST02의 깊이별 식물플랑크톤 출현종은 13~19 종으로 확인됨. 1cm에서는 *Fragilaria cylindrus*가 제1 우점종으로 나타났으며, 2cm, 3cm, 5cm에서는 *Paralia sulcata*가 제1 우점종으로 나타났으며, 4cm에서는 *Thalassiosira* sp.가 제 1 우점종으로 나타났다.

ST03에서의 깊이별 식물플랑크톤 출현종은 14~18 종으로 확인되고, 각 깊이별 제1 우점종을 살펴보면, 1cm, 3cm, 4cm에서는 *Paralia sulcata*로 분석되었으며, 2cm에서는 *Thalassiosira* sp., 5cm에서는 *Fragilaria cylindrus*로 분석되었다.

ST04의 깊이별 식물플랑크톤 출현종은 16~20 종으로 확인되었다. 1~5cm 모든 깊이에서 제 1 우점종은 *Fragilaria cylindrus*으로 나타났음.

울릉분지인 EC-trap에서의 깊이별 식물플랑크톤 출현종은 8~18 종으로 확인되었다. 3cm를 제외한 모든 깊이에서 *Thalassiosira* sp.가 제 1 우점종으로 나타났으며, 3cm에서는 *Fragilaria cylindrus*가 제1 우점종으로 나타났다.

모든 정점의 퇴적물 내 식물플랑크톤은 규조강으로 나타났고, 그 중에서 ST01~03의 제1 우점종으로 출현한 *Paralia sulcata*는 저서성이며 수괴의 혼합으로 부유하는 종으로 낮은 광도, 수온, 염분에 대한 내성이 강한종으로 알려져 있다(Werner 1977). ST01 5cm, ST02 1cm, ST03 5cm, ST04의 전체 깊이, EC-trap 3cm에서 제1 우점종으로 나타난 *Fragilaria cylindrus*는 Taylor 등 (1997)의 퇴적물 내 규조류 분포 연구에 따르면, 세포가 작고 규조각이 약하지만 표영생태계에서 현존량이 높아 퇴적물 내에서 역시 현존량이 높은 것으로 보고되었다.

[5월 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 식물플랑크톤 우점종]

Station	Depth	1st	%	2st	%	3st	%
ST01	1cm	<i>Paralia sulcata</i>	29.5%	Unidentified (pennate)	15.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	11.6%
	2cm	<i>Paralia sulcata</i>	40.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	15.8%	Unidentified (round)	9.9%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	39.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.8%	Unidentified (round)	9.7%
	4cm	<i>Paralia sulcata</i>	24.6%	Unidentified (round)	18.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	17.5%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	23.5%	<i>Paralia sulcata</i>	21.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.8%
ST02	1cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	18.6%	<i>Thalassiosira</i> sp.	16.9%	<i>Paralia sulcata</i>	11.9%
	2cm	<i>Paralia sulcata</i>	17.8%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	13.9%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	25.3%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.1%
	4cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	32.6%	<i>Paralia sulcata</i>	22.5%	<i>Fragilaria</i> sp.	12.3%
	5cm	<i>Paralia sulcata</i>	18.8%	<i>Thalassiosira</i> sp.	17.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.9%
ST03	1cm	<i>Paralia sulcata</i>	21.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	17.5%
	2cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	20.0%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	11.1%	<i>Fragilaria</i> sp.	11.1%
	3cm	<i>Paralia sulcata</i>	34.6%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	16.2%	<i>Thalassiosira</i> sp.	13.1%
	4cm	<i>Paralia sulcata</i>	30.5%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	22.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.9%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	25.6%	<i>Paralia sulcata</i>	20.9%	<i>Thalassiosira</i> sp.	16.3%
ST04	1cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	41.4%	<i>Paralia sulcata</i>	18.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	10.3%
	2cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	47.5%	<i>Thalassiosira</i> sp.	8.5%	<i>Dictyocha fibula</i>	5.1%
	3cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	28.9%	<i>Thalassiosira</i> sp.	22.1%	<i>Paralia sulcata</i>	9.4%
	4cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	32.1%	<i>Thalassiosira</i> sp.	24.7%	<i>Paralia sulcata</i>	14.2%
	5cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	20.4%	<i>Thalassiosira</i> sp.	18.3%	Unidentified (round)	10.8%
EC01	1cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.6%	Unidentified (round)	14.1%
	2cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	21.1%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	15.8%	<i>Paralia sulcata</i>	15.8%
	3cm	<i>Fragilaria cylindrus</i>	29.7%	<i>Dictyocha fibula</i>	13.5%	<i>Nitzschia</i> sp1	13.5%
	4cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	23.3%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	18.3%	<i>Paralia sulcata</i>	16.7%
	5cm	<i>Thalassiosira</i> sp.	36.4%	<i>Fragilaria cylindrus</i>	21.2%	<i>Tabularia fasciculata</i>	15.2%

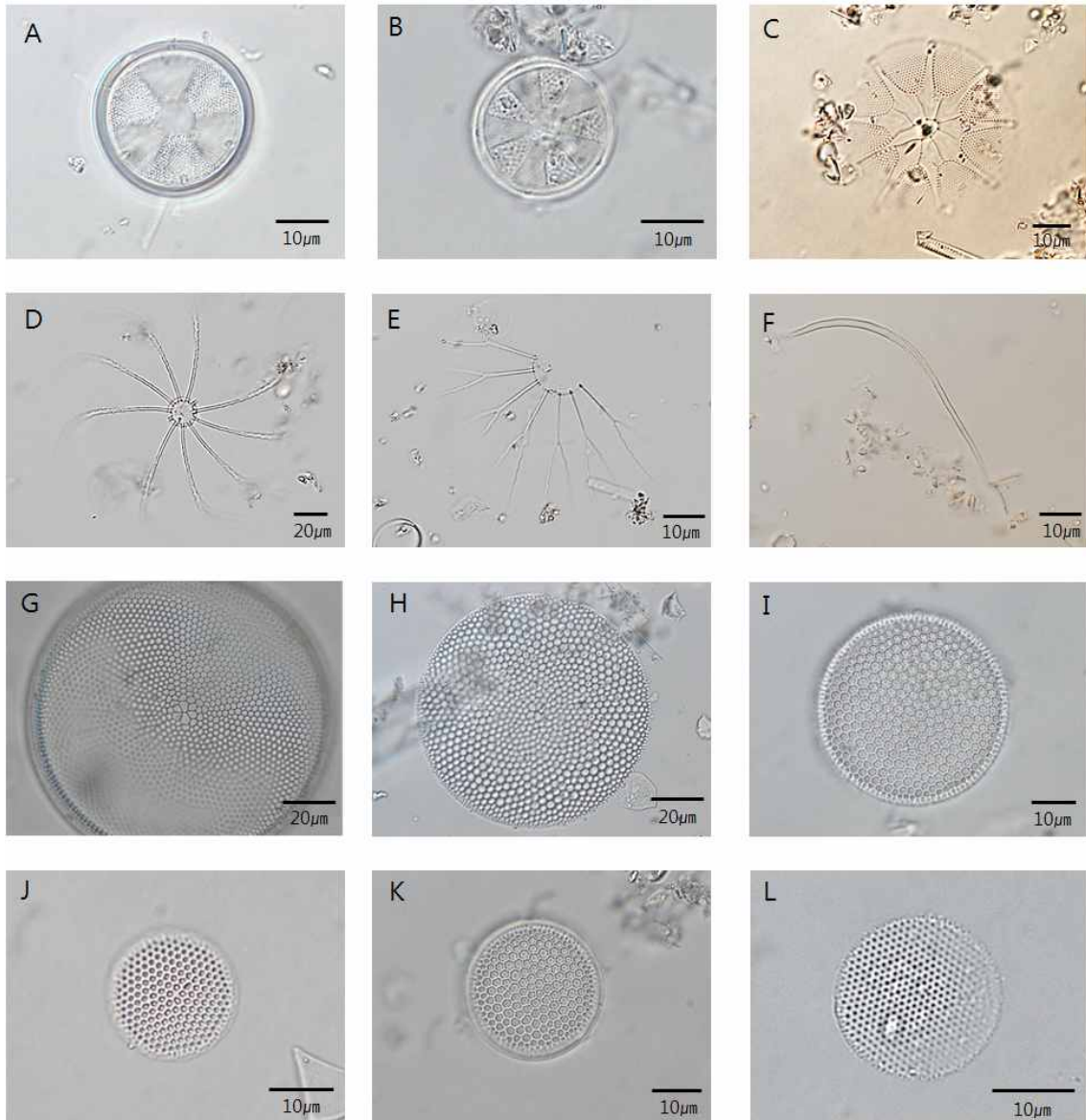


그림 5-2-5. 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 중심규조류1; A) *Actynoptychus senarius*, B) *A. splendens*, C) *Asteromphalus flabellatus*, D) *Bacteriasturm elegans*, E) *B. hyalinum*, F) *Chaetoceros affinis*, G) *Coscinodiscus centralis*, H) *C. antiquus*, I) *C. decrescens*, L) *C. lineatus*

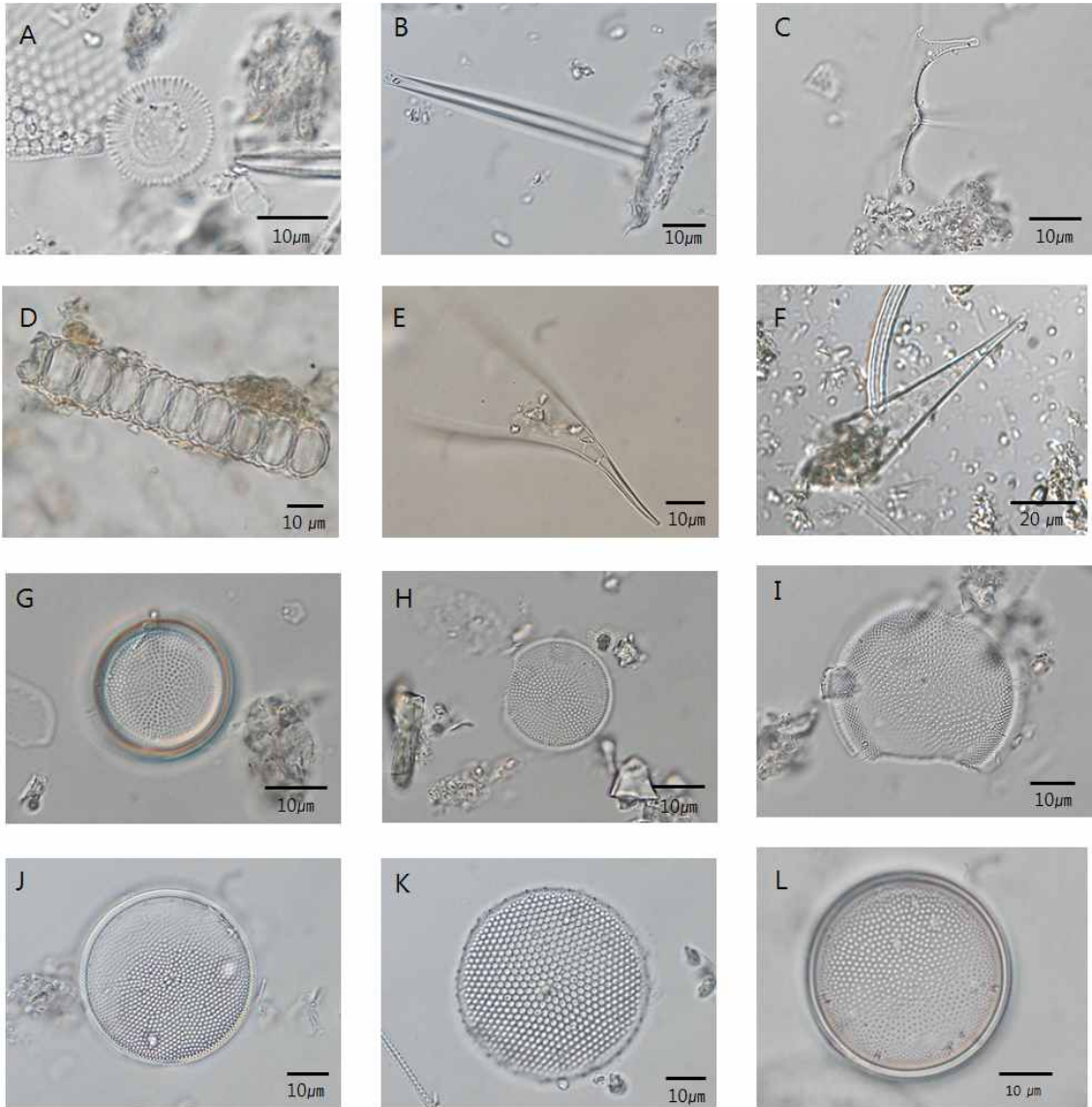


그림 5-2-6. 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 중심규조류2; A) *Cyclotella* sp., B) *Dictylum* sp. C) *Odontella* sp., D) *Paralia sulcata*, E) *Rhizosolenia calcar-avis*, F) *Rh. styliformis*, G, H, I, J, K, L) *Thalassiosira* spp.]

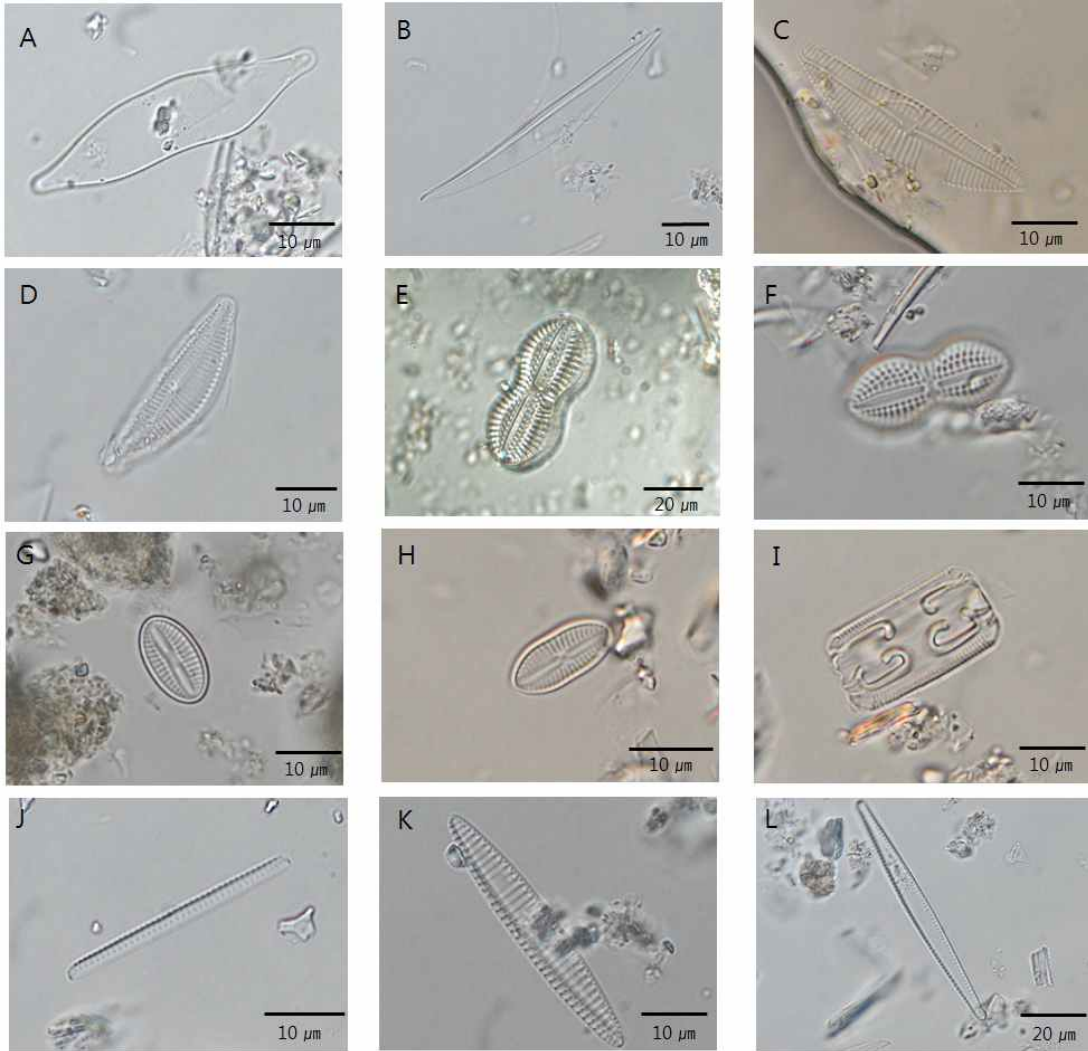


그림 5-2-7. 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 우상규조류; A) *Achnanthes coarctata*, B) *Amphora holsatica*, C) *Cymbella minuta*, D) *C. entricosa*, E) *Diploneis rouhialensis*, F) *D. bombus*, G) *Diploneis sp1*, H) *Diploneis sp2*, I) *Grammatophora angulosa*, J) *Fragilaria cylindrus*, K) *Nitzschia solgensis*, L) *N. intermedia*]

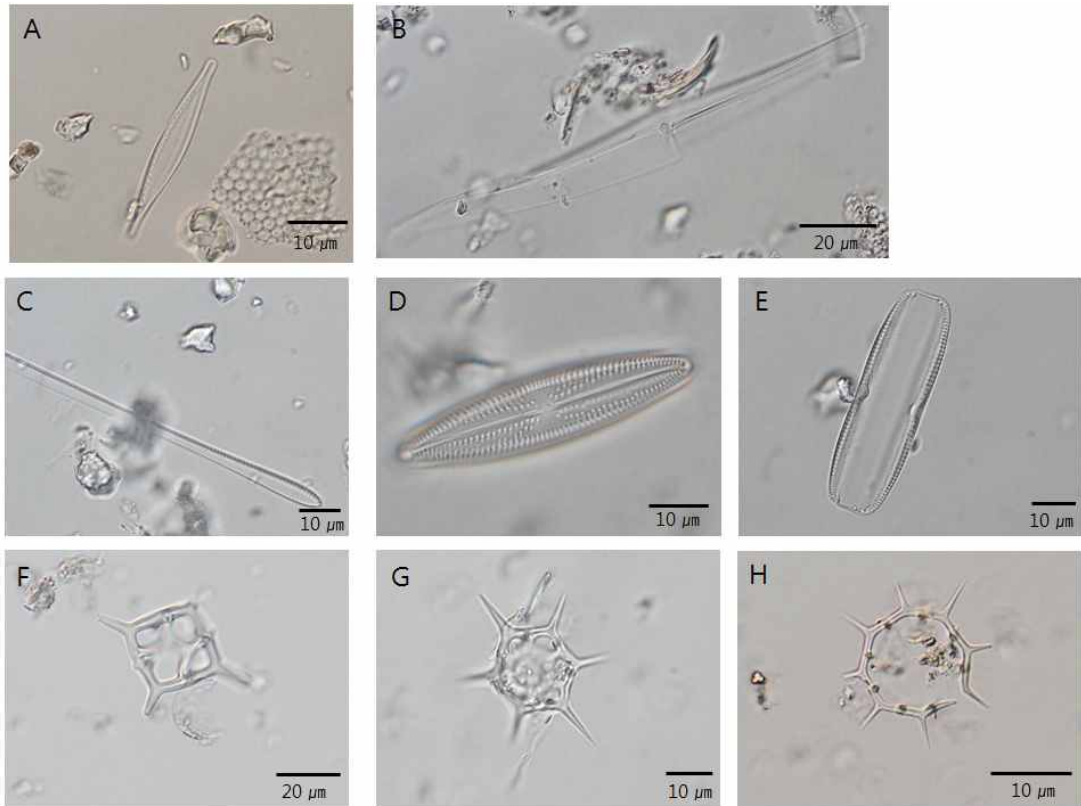


그림 5-2-8. 후포뱅크-울릉분지 퇴적물 내 우상규조류 및 규질편모류; A) *Nitzschia lanceolata*, B) *Pleurosigma* sp., C) *Synedra* sp., D, E) *Trachyneis aspera*, F) *Dictyocha fibula*, G) *D. speculum*, H) *D. speculum* var. *octonarium*

2014년 5월 후포뱅크 ST01, ST02, ST03, ST04 정점과 울릉분지 EC-trap 정점의 퇴적물을 채집하여 정성분석을 실시하였으며, 대부분의 정점에서 규조강(Bacillariophyceae)이 주로 출현하는 것을 확인할 수 있다(그림 5-2-5~8).

출현종은 중심규조류인 *Actinocyclus senarius*, *A. splendens*, *Asteromphalus flabellatus*, *Bacteriastrium elegans*, *Coscinodiscus centralis*, *C. antiquus*, *C. lineatus*, *Paralia sulcata* 등이 나타나며 우상규조류는 *Achnanthes coarctata*, *Amphora holsatica*, *Trachyneis aspera* 등이 출현하였고, 규질편모조류인 *Dictyocha fibula*, *D. speculum*, *D. speculum* var. *octonarium*가 출현하였다.

5. 심해 어란 및 자치어 조사

동해 심해에서 어란 및 자치어의 군집구조 조사를 위해, 후포뱅크와 울릉분지에 4개의 정선(정점 DE01~11, 정점 EC-01~05)을 설정하였다. 이 중에서 2014년 5월 27~31일에 후포뱅크 5개 정점(DE-01, DE-02, DE-03, DE-04, DE-05), 울릉분지 1개 정점(EC-01)에서 조사를 하였다.

채집은 망구 150cm net(망목 440 μ m, 길이 10m)를 이용하여 경사채집 하였고, 예망은 1.5~2 knot로 정점별로 10~15분 동안 이루어졌다. 채집된 시료는 현장에서 99% 알콜로 고정하여 실험실에서 sorting 및 동정하였다.

조사기간 동안 출현한 어란은 멸치(*Engraulis japonicus*), 앨통이(*Maurolicus muelleri*)와 기타 어란으로 구분되며 멸치와 앨통이 어란 모두 전 조사정점에서 출현하였다. 출현비율은 멸치가 전체 출현량의 93.4%를 차지하여 우점하였고, 앨통이는 6.6%였으며, 기타 어란은 0.1% 미만이며 출현량 범위는 105.8~1613.7 개체/1,000m³였으며, 정점 DE-03에서 가장 높았고, DE-04에서 가장 낮게 나타났다.

[후포뱅크 및 울릉분지 해역에서 출현한 어란 및 자치어의 종조성(ind./1,000m³)]

Species	Korean name	Station						Total
		DE-01	DE-02	DE-03	DE-04	DE-05	EC-01	
Eggs								
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	1235.3	566.8	1548.4	88.3	1239.4	109.1	4,787.4
<i>Maurolicus muelleri</i>	앨통이	64.5	102.5	65.3	17.5	81.7	4.0	335.5
Others		0.4						0.4
egg total		1300.3	669.2	1613.7	105.8	1321.1	113.1	5123.3
Larvae								
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	0.4	9.2	12.7	19.9	121.8	3.5	167.5
<i>Maurolicus muelleri</i>	앨통이	1.3	10.0	9.6	19.2	23.1	0.3	63.5
Gobiidae sp.	망둑어류	0.9						0.9
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	기름가자미	0.4						0.4
Callionymidae sp.	돛양태류	0.4						0.4
<i>Glossanodon semifasciatus</i>	삿멸		0.2					0.2
Unidentified sp.			0.2					0.2
larvae total		3.5	19.6	22.3	39.1	144.9	3.9	233.3

조사기간 동안 출현한 자치어는 6개 분류군으로 동정되었고, 1종은 미동정되었다. 출현비율은 어란과 마찬가지로 멸치가 71.8%를 차지하여 우점하였고 다음으로 앨통이가 27.2%였으며, 이 두 종은 전 조사정점에서 출현하였다.

나머지 종은 망둑어류(Gobiidae sp.), 기름가자미(Glyptocephalus stelleri), 돛양태류(Callionymidae sp.), 샛멸(Glossanodon semifasciatus) 등이었으며, 모두 1.0% 미만이었다. 출현종 수는 정점 DE-01에서 5종으로 가장 많았고, 다음으로 정점 DE-02에서 4종이었으며, 나머지 정점에서는 모두 2종씩 출현하였다. 출현량 범위는 3.5~144.9 ind./1,000m³으로 정점 DE-05에서 가장 높고, 정점 DE-01에서 가장 낮게 나타났다(그림 5-2-9).

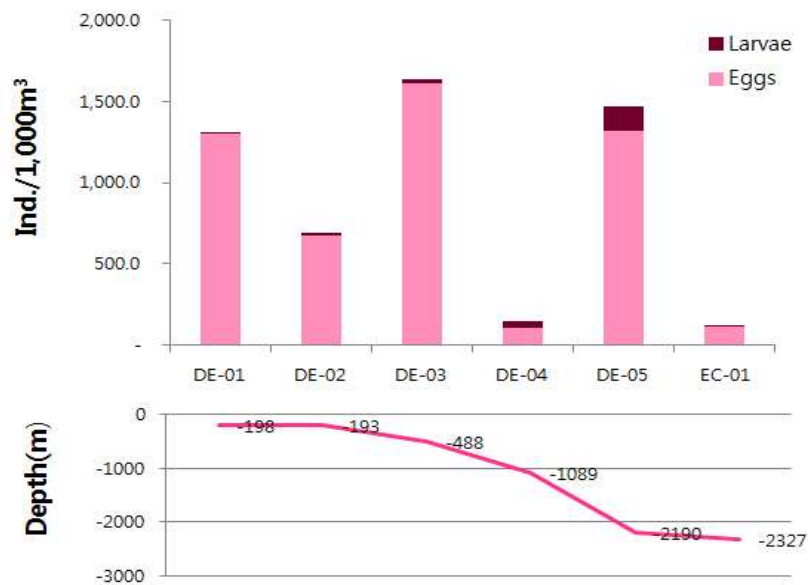


그림 5-2-9. 후포뱅크 및 울릉분지에서 출현한 어란 및 자치어의 정점별 출현량

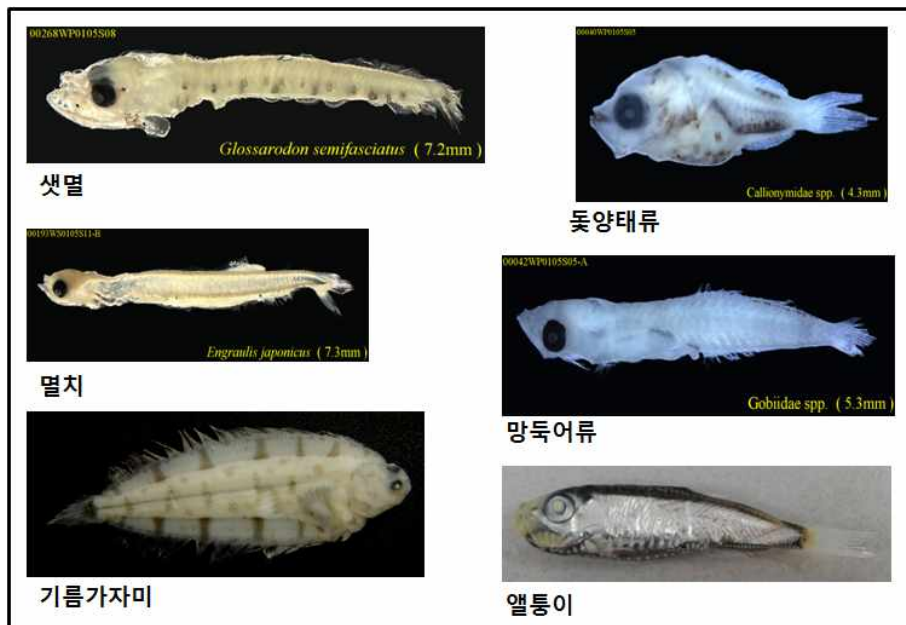


그림 5-2-10. 후포뱅크 및 울릉분지에서 출현한 자치어

2014년 5월 동해의 후포뱅크와 울릉분지에서 실시한 어란 및 자치어 조사 결과 회유성 어종인 멸치가 우점하였고, 그 다음으로 중층성 어류인 앨통이가 높은 출현량을 나타냈다.

[동해연안 및 독도 인근에서 5월에 출현한 자치어(1995~2014)]

Species	Korean name	'95	'96	'98	'00	'01	'10	'12	'13	'14
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Maurolicus muelleri</i>	앨통이				*		*			*
Callionymidae sp.	돛양태류		*			*		*		*
<i>Lepidopsetta bilineata</i>	까지가자미							*		
<i>Sebastes pachycephalus</i>	개볼락		*			*		*		
<i>Sebastes thompsoni</i>	볼락							*		
<i>Sebastes inermis</i>	볼락			*	*	*				
<i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락		*		*	*				
<i>Sebastes owstoni</i>	황볼락				*					
<i>Sebastes</i> sp.	볼락류				*	*				
<i>Liparis</i> sp.	꼼치류								*	
Gobiidae sp.	망둑어류		*		*				*	*
<i>Limanda yokohamae</i>	문치가자미								*	
<i>Pictiblennius yatabei</i>	청베도라치								*	
<i>Omobranchus</i> sp.	청베도라치류					*				
<i>Trachurus japonicus</i>	전갱이					*				
<i>Gasterosteus</i> sp.	큰가시고기류					*				
<i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치								*	
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	기름가자미						*			*
<i>Glossanodon semifasciatus</i>	셋멸				*					*
<i>Icelus</i> sp.	독중개류					*				
Pleuronectidae sp.	가자미류				*	*				
<i>Petroscirtes</i> sp.	청베도라치류					*				
Pomacentridae sp.	자리돔류					*				
<i>Repomucenus</i> sp.	돛양태류				*	*				
<i>Luciogobius grandis</i>	큰미끈망둑					*				
<i>Luciogobius</i> sp.	망둑어류		*							
<i>Konosirus punctatus</i>	전어		*							
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	점넙치				*					
<i>Apogon</i> sp.	동갈돔류				*					
<i>Cololabis saira</i>	꽁치				*					
<i>Lepidotrigla</i> sp.	성대류				*					
<i>Evmnis cardinalis</i>	녹줄돔				*					
<i>Lophius litulon</i>	황아귀				*					
<i>Crossias</i> sp.				*						
Number of species	35	1	7	3	16	15	3	5	6	6

본 조사와의 비교를 위해 1995년~2014년 사이에 동해연안 및 독도 인근에서 5월에 출현한 자치어 목록을 위에 나타냈다. 모두 35종이 출현하였고, 이 중에서 멸치는 가장 높은 출현빈도를 나타냄. 다음으로 앨통이, 돛양태류, 개볼락(*Sebastes pachycephalus*), 볼락(*Sebastes inermis*), 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 망둑어류 등이 높은 출현빈도를 보였다.

2000년과 2001년 출현종수가 15~16종으로 높게 나타난 것은 조사횟수가 많았기 때문이다. 이들 중, 2014년 4, 5, 9월에 실시한 저인망에서 채집된 심해 어류의 자치어는 기름가자미와 황아귀(*Lophius litulon*) 두 종이었고, 본 조사에서는 기름가자미 한 종만 출현하였다. 이와 같은 결과로 보아, 심해 서식어류의 자치어 종조성 구명을 위해서는 IKMT net와 같은 층별 채집기기를 사용하여 저층의 채집강도를 높여야 할 것으로 생각된다. 또한 동해 심해서식 저서어류 종 다양성 및 군집특성을 밝히기 위해, 자치어 채집과 함께 저인망을 이용한 저서어류 조사를 동시에 실시하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

6. 심해저서 생물 반응 조사

동해 심해 저서생태계의 환경변화에 대한 반응을 이해하기 위해 표영생태계의 주요 생물요소 및 저층 서식환경 요인과 저서생물량과의 상관 관계를 분석하였다(그림 5-2-11~12).

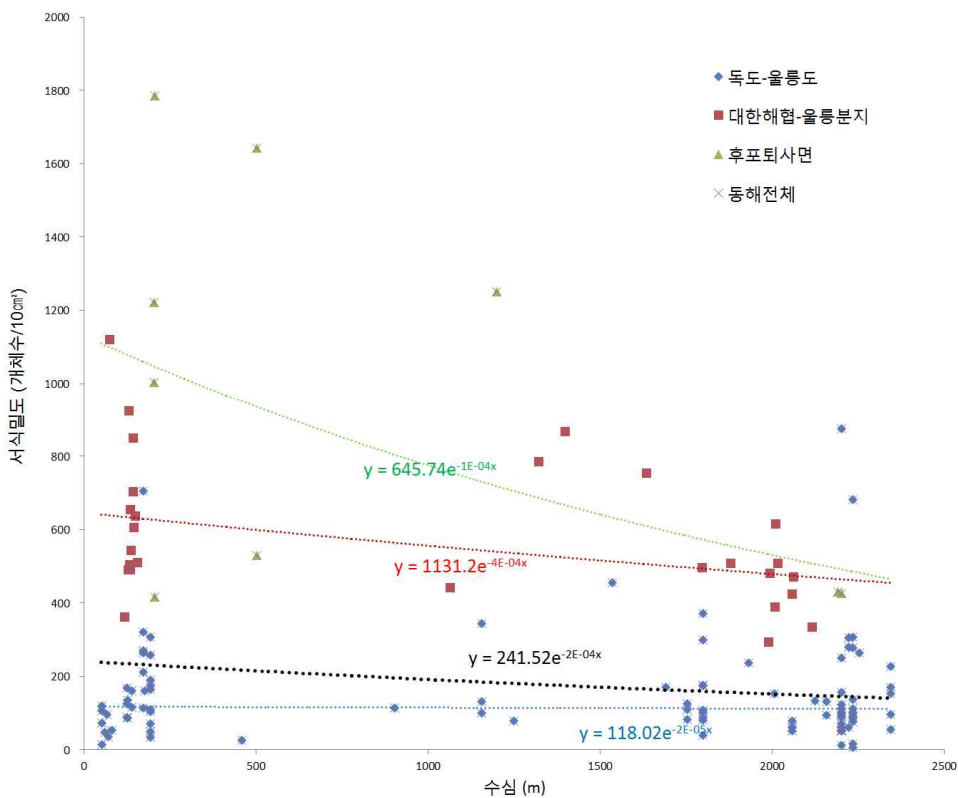


그림 5-2-11. 동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 서식밀도 감소율 비교

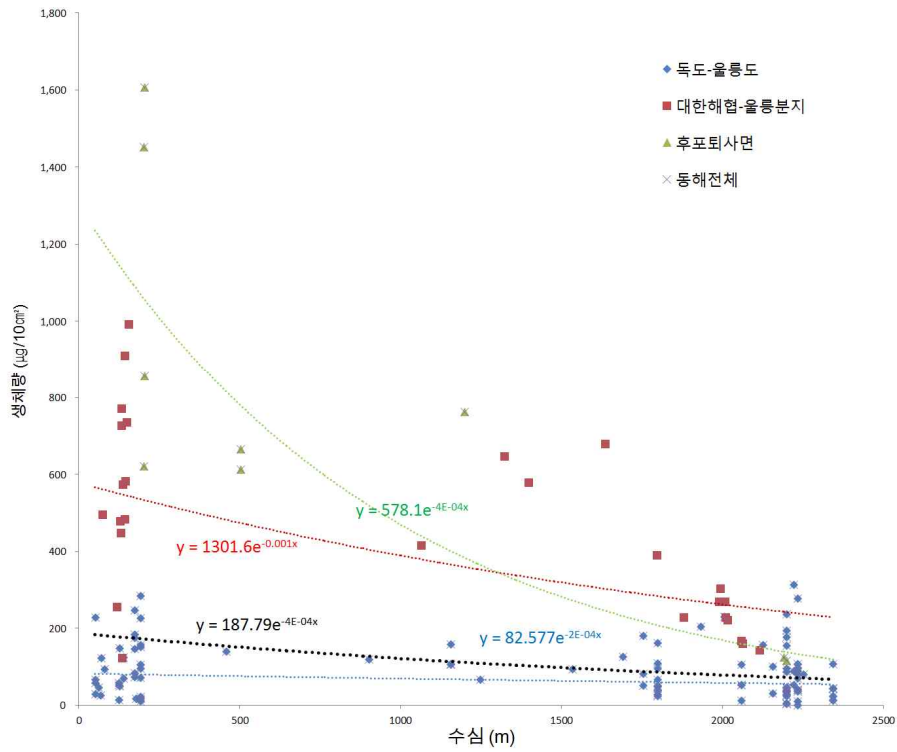


그림 5-2-12. 동해 주요 심해역의 수심증가에 따른 간극생물 생체량 감소율 비교

수심 증가에 따른 간극생물 서식밀도, 생체량 감소율 비교 (독도-울릉도 지선, 대한해협-울릉분지, 후포퇴사면, 동해전체) 결과, 후포퇴 사면의 감소율이 가장 크게 나타났고, 서식밀도와 생체량은 후포뱅크-울릉분지 경사면에서 가장 높았다. 수심증가에 따른 서식밀도/생체량 감소율은 후포퇴>대한해협-울릉분지>독도-울릉도 순이었다.

제 3 절 심해저서 생물 먹이망 조사

동해 울릉분지 심해 저서생태계 유지의 기반이 되는 유기물의 기원 파악과 에너지 흐름을 이해하기 위하여, 울릉분지 표층의 부유입자, 식물플랑크톤, 침강입자, 표층퇴적물, 먹생물이 되는 중형저서생물, 대형저서생물, 그리고 대표적인 심해 유용수산자원인 대게류의 위내용물 분석과 체내 동위원소 분석을 통한 심해 생물 먹이망 구조 분석하였다.



그림 5-3-1. 죽변 주변해역에서 채집한 대게(*Chionoecetes opilio*) 개체 및 분리된 위 사진

1. 심해 저서생물 먹이 특성 분석

3해역 (울릉분지, 강원, 경북)의 총 108개체의 대게, 홍게, 털게 시료 수집 (당일 공판장에 들어온 수산물 구입, 강원 시료는 속초에서 경북시료는 죽변과 영덕에서 울릉분지 시료는 해미래 동해탐사에서 채집된 시료 사용)하여, 습식 무게, 각장, 각고, 집게팔 두께 측정 및 사진 촬영 후 동위원소 분석을 위한 집게팔 근육조직 분리하고, 내용물 쏟아지지 않도록 각 개체의 위 절제 후 무게 측정하여 위내용물 분석(실체현미경 사용) 하였다. 그리고 절제되어 냉동

보관된 근육시료로 각 시료중 3개체 선별하여 탄소, 질소 안정동위원소 비를 분석하였다(그림 5-3-1~8).



그림 5-3-2. 죽변에서 수집한 대게(*Chionoecetes opilio*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-3. 속초에서 수집한 대게(*Chionoecetes opilio*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-4. 속초에서 수집한 붉은대게(*Chionoecetes japonicus*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-5. 영덕에서 수집한 붉은대게(*Chionoecetes japonicus*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-6. 속초에서 수집한 붉은대게(*Chionoecetes japonicus*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-7. 울릉분지에서 무인잠수정 해미래로 채집한 붉은대게(*Chionoecetes japonicus*) 개체 및 분리된 위 사진



그림 5-3-8. 속초에서 수집한 털게(*Erimacrus isenbecki*) 개체 및 분리된 위 사진

각 개체별 위 내용물 분석 결과, 전 개체에서 식별가능한 먹이는 발견되지 않았는데, 심해 대게류의 경우 먹이가 위에 머무르는 시간이 3시간 정도로 매우 짧아 어업에 의해 포획된 개체의 경우 위 안에 소화가 안된 먹이를 발견하기 어려웠던 것으로 생각된다.

그리고 대게 및 홍게류와 함께 동해 심해 저서생태계 특성 이해를 위해 후포퇴-울릉분지 조사해역에서 채집된 초대형 심해저서생물 (대게류의 잠재적 먹이원) 6종(귀꼴뚜기류, 물레고둥류, 집게류, 심해말미잘류, 빛살판불가사리, 살시빛살거미불가사리) 및 수산시장에서 구입한 동해산 심해새우류 (가시배새우, 물렁가시붉은새우, 도화새우류) 3종 75개체 선별하여 습식무게, 각장, 각고, 측정 및 사진 촬영 후 동위원소 분석을 위한 근육조직 분리하고, 절제되어 냉동보관된 근육시료로 각 시료중 3개체 선별하여 탄소, 질소 안정동위원소비 분석하였다(그림 5-3-10).

[채집된 유용수산 자원인 대게, 홍게, 털게 각 개체 정보 및 위 내용물]

		무게(g)	CL(mm)	CW(mm)	CH(mm)	채집날짜	위 무게(g)	위 내용물
HJ (해미래홍게)	HJ01	57.09	59.67	60.74	6.66	2015.06.23	0.76	
	HJ02	81.83	67.01	65.90	6.83	2015.06.23	0.87	
	HJ03	87.69	67.90	67.03	7.04	2015.06.24	0.87	
	HJ04	98.50	69.15	68.20	6.33	2015.06.24	0.99	
	HJ05	259.06	95.63	95.45	18.81	2015.06.24	1.99	
	HJ06	196.93	87.09	84.70	13.66	2015.06.25	1.64	
	HJ07	234.90	92.61	90.71	12.89	2015.06.25	2.97	
	HJ08	322.15	103.55	103.51	15.74	2015.06.25	3.81	
SJ (속초홍게)	SJ01	689.2	127.60	129.96	28.40	2015.03.25	3.82	
	SJ02	740.9	128.97	128.63	30.21	2015.03.25	3.87	
	SJ03	718.2	129.41	126.86	30.13	2015.03.25	4.88	
	SJ04	611.0	125.60	121.43	30.56	2015.03.25	3.89	
	SJ05	677.4	126.34	124.44	29.32	2015.03.25	4.16	절지동물의 껍데기 조각
	SJ06	558.0	115.89	111.34	28.02	2015.03.25	3.25	
	SJ07	662.1	125.72	127.65	27.82	2015.03.25	3.15	
	SJ08	545.8	119.14	118.66	27.17	2015.03.25	3.39	
	SJ09	684.4	124.24	122.88	27.31	2015.03.25	4.14	
	SJ10	563.8	117.42	117.42	25.32	2015.03.25	3.26	
YJ (영덕홍게)	YJ01	352.0	101.01	101.64	19.60	2015.05.08	2.76	
	YJ02	389.8	107.92	106.32	23.19	2015.05.08	3.08	
	YJ03	384.5	103.97	103.00	20.97	2015.05.08	2.82	
	YJ04	322.5	100.44	97.45	19.29	2015.05.08	2.32	
	YJ05	427.9	104.31	104.95	23.41	2015.05.08	3.40	
	YJ06	352.6	102.91	102.14	20.61	2015.05.08	3.47	
	YJ07	410.8	105.96	109.13	21.68	2015.05.08	2.63	
	YJ08	364.6	101.03	101.28	18.87	2015.05.08	2.22	
	YJ09	400.1	102.17	106.76	20.80	2015.05.08	2.80	
	YJ10	291.6	96.74	94.09	18.47	2015.05.08	2.79	
SO (속초대게)	SO01	286.3	91.72	94.82	21.32	2015.05.07	2.07	
	SO02	409.2	104.50	104.58	20.33	2015.05.07	2.77	
	SO03	294.9	91.52	95.16	18.69	2015.05.07	1.92	
	SO04	320.3	95.06	100.96	15.96	2015.05.07	2.47	원형구슬
	SO05	331.8	95.00	98.33	22.98	2015.05.07	2.29	작은 성게, 그물조각
	SO06	527.4	103.29	114.25	23.98	2015.05.07	4.16	그물조각
	SO07	585.4	115.78	117.56	25.61	2015.05.07	3.51	그물조각
	SO08	328.5	100.58	101.58	15.85	2015.05.07	2.94	
	SO09	328.9	94.91	97.82	18.81	2015.05.07	2.15	
	SO10	277.3	89.72	92.17	17.36	2015.05.07	1.70	
	SOR11	371.6	102.53	102.53	19.92	2015.05.07	2.41	
	SOR12	442.2	102.43	109.53	22.81	2015.05.07	2.82	
JO (죽변대게)	JO01	993.4	137.85	140.96	31.64	2015.03.13	2.88	
	JO02	371.5	95.18	103.64	20.99	2015.03.13	2.41	그물조각
	JO03	317.4	90.94	96.44	20.85	2015.03.13	1.69	
	JO04	272.2	95.25	98.76	16.98	2015.03.13	2.48	
	JO05	327.2	95.92	102.14	18.59	2015.03.13	2.14	
	JO06	359.4	99.46	105.24	19.40	2015.03.13	2.10	
	JO07	339.4	99.84	104.62	15.58	2015.03.13	2.21	
	JO08	284.2	88.21	93.20	16.57	2015.03.13	1.96	
	JO09	399.3	100.28	105.35	21.28	2015.03.13	2.33	
	JO10	328.8	93.26	96.55	20.95	2015.03.13	2.12	그물조각

		무게(g)	CL(mm)	CW(mm)	CH(mm)	채집날짜	위 무게(g)	위 내용물
SI (속초털게)	SI01	343.9	93.50	89.41	23.23	2015.05.07	1.77	
	SI02	311.4	86.88	79.99	25.41	2015.05.07	2.03	
	SI03	222.9	82.48	75.84	20.31	2015.05.07	1.11	
	SI04	289.7	86.72	78.36	23.62	2015.05.07	1.73	
	SI05	202.0	75.31	68.25	21.61	2015.05.07	1.40	
	SI06	314.7	98.10	85.50	23.24	2015.06.12	1.86	
	SI07	445.3	94.54	85.27	26.73	2015.06.12	1.51	
	SI08	314.6	86.34	83.51	23.33	2015.06.12	1.91	
	SI09	288.9	81.70	76.39	24.07	2015.06.12	1.05	
	SI10	307.0	86.89	81.62	23.76	2015.06.12	1.47	
JO-1 (죽변대게-1)	JO-1 01	90.25	64.18	63.73	8.46	2014	0.44	
	JO-1 02	148.90	78.32	80.51	9.47	2014	1.32	
	JO-1 03	163.14	79.77	82.81	10.52	2014	1.39	
	JO-1 04	82.47	61.63	65.75	8.43	2014	0.95	
	JO-1 05	94.67	67.50	68.40	8.93	2014	0.98	
	JO-1 06	110.25	68.31	69.39	9.05	2014	0.57	
	JO-1 07	94.92	68.52	70.12	9.41	2014	1.22	
	JO-1 08	126.88	75.63	77.66	10.20	2014	1.35	
	JO-1 09	127.53	76.34	79.00	9.65	2014	1.82	
	JO-1 10	139.82	75.45	75.78	9.55	2014	1.30	
	JO-1 11	155.25	84.84	87.51	10.62	2014	1.83	
	JO-1 12	186.11	83.31	87.58	11.45	2014	1.70	
	JO-1 13	148.59	77.68	80.50	9.90	2014	1.27	
	JO-1 14	120.52	73.27	78.06	9.89	2014	1.36	
	JO-1 15	147.51	76.58	80.38	9.13	2014	0.94	
	JO-1 16	161.85	80.50	84.15	10.93	2014	1.69	
	JO-1 17	167.06	82.02	83.81	10.72	2014	1.95	
	JO-1 18	107.51	75.50	76.89	9.76	2014	1.77	
	JO-1 19	82.27	61.41	65.40	8.55	2014	1.15	
	JO-1 20	113.26	72.32	74.76	9.59	2014	1.37	
	JO-1 21	114.08	72.17	73.61	9.07	2014	1.11	
	JO-1 22	161.60	81.16	84.05	11.19	2014	2.01	
	JO-1 23	150.02	77.11	79.01	10.33	2014	1.34	
	JO-1 24	155.39	75.87	80.69	10.36	2014	1.80	
	JO-1 25	134.65	71.61	75.12	9.75	2014	0.99	
	JO-1 26	158.70	79.96	84.58	11.27	2014	1.42	
	JO-1 27	158.20	77.18	81.30	10.17	2014	2.62	
	JO-1 28	156.56	81.19	84.56	11.47	2014	2.16	
	JO-1 29	125.36	76.10	80.25	10.69	2014	1.53	

각 개체별 무게와 크기 요소를 종류별로 비교한 결과, 속초에서 채집된 홍게가 가장 무게가 많이 나갔으며, 죽변에서 실험용으로 채집된 대게 (주로 암컷)가 가장 가벼웠다(그림 5-39-)

홍게와 대게는 각 장, 각 폭, 집게발의 두께 역시 무게와 같은 구배를 보여서 죽변에서 실험용으로 채집된 대게가 가장 크기가 작았으며, 속초에서 구입한 홍게가 가장 큰 값을 보였다.

위 무게역시 같은 이유로 위 내용물 분석 결과, 전 개체에서 식별가능한 먹이는 발견되지 않았다.

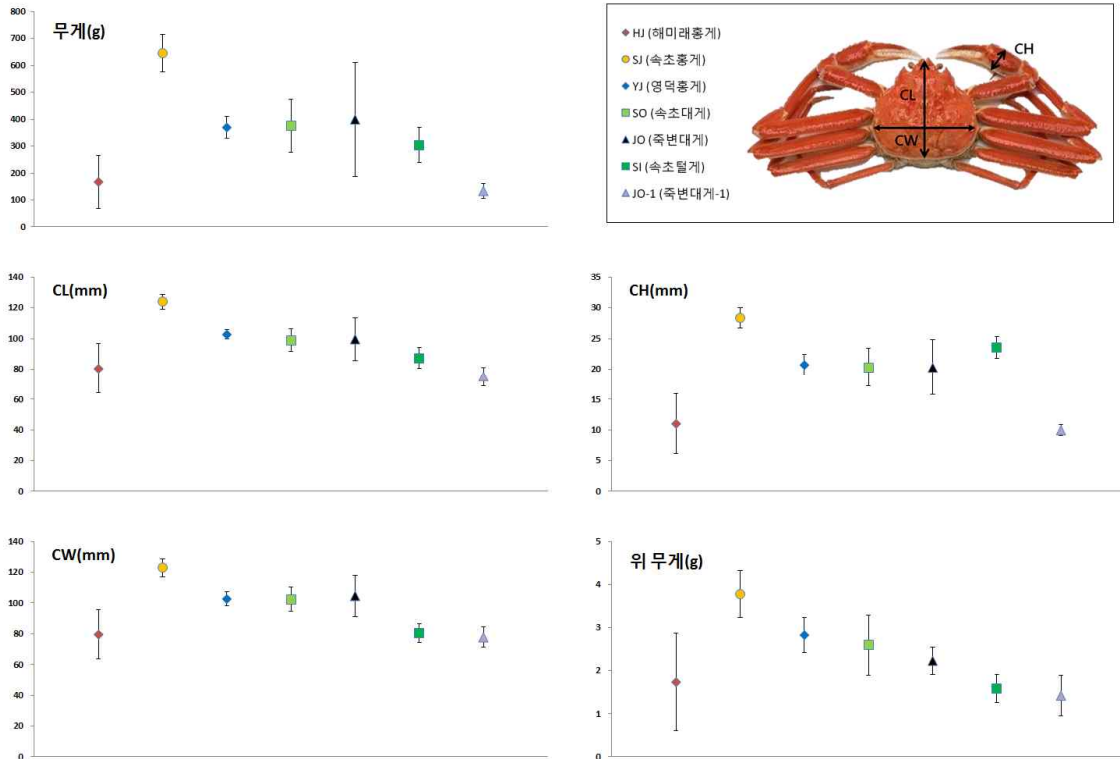


그림 5-3-9. 채집된 유용수산 자원인 대게, 홍게, 털게의 무게 및 크기 비교

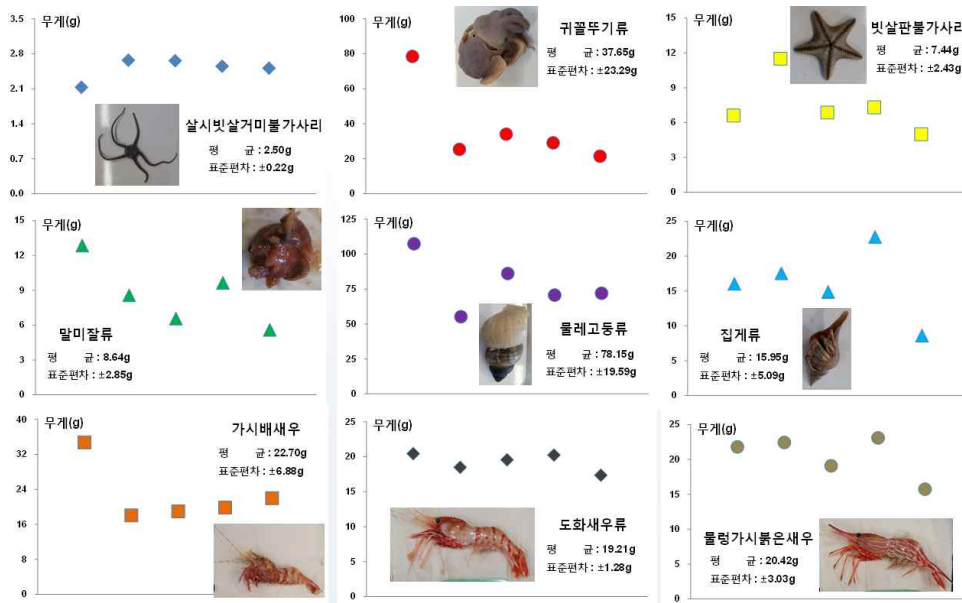


그림 5-3-10. 분석에 사용된 유용수산자원의 잠재적 먹이원인 대형저서생물의 각 개체별 무게 비교

2. 안정동위원소 이용 울릉분지 심해 저서먹이망 분석

울릉분지 심해 저서 주요 수산생물인 붉은대게와 대게의 어업생산량 유지요인을 파악하기 위한 안정동위원소 비를 활용하여 유기물 공급 및 경로 파악 및 먹이연쇄를 분석하였다(그림 5-3-11).

- 퇴적물 : 동해 후포뱅크 주변에 채집된 표층퇴적물
- 식물플랑크톤 (CPOM) : 동해 후포뱅크 주변에 채집된 식물플랑크톤 (>20 μ m)
- 부유입자 (FPOM) : 동해 후포뱅크 주변 해수 중 부유입자 (<20 μ m)
- 침강입자 : 울릉분지 사면 및 EC-01의 Sediment Trap 시료
- 중형저서생물 : 울릉분지 심해 퇴적물 서식 중형저서동물 (선충류, 저서성요각류)
- 대형저서생물 : 울릉분지 서식 대형저서동물 (귀꿀뚜기류, 물레고둥류, 집게류, 심해말미잘류, 빛살판불가사리, 살시빛살거미불가사리, 가시배새우, 물렁가시붉은새우, 도화새우류)
- 수산심해생물 : 울릉분지 서식 중형저서동물, 홍게, 대게, 털게

표층해수의 CPOM(식물플랑크톤)과 FPOM(부유입자)의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 각각 $-21.18 (\pm 0.48)$ 와 $5.00 (\pm 0.46)$, $-21.63 (\pm 0.54)$ 와 $3.06 (\pm 0.54)$ 이었다.

침강유기입자물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 수심 700m, 800m, 1000m, 2000m에서 각각 $-20.84 (\pm 1.20)$ 와 $6.90 (\pm 1.05)$, $-20.40 (\pm 0.61)$ 와 $6.52 (\pm 1.25)$, $-19.33 (\pm 0.48)$ 와 $4.92 (\pm 0.96)$ 그리고 $-19.19 (\pm 1.23)$ 와 $5.15 (\pm 1.06)$ 이었다.

퇴적물내 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 -21.67 , 3.56 으로 부유입자의 동위원소 값과 거의 같은 값을 나타냈다.

표층에서 채집된 입자유기물질과 침강하는 입자유기물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 유사한 것으로 미루어, 표층에서 생산된 유기물이 비교적 보존된 상태로 저층까지 전달되는 것으로 판단된다.

영덕, 죽변, 그리고 속초에서 채집된 홍게, 대게, 털게의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 범위는 각각 -19.28% ~ -16.98% (평균 \pm 편차= -18.10 ± 0.65) 11.95% ~ 14.76% (평균 \pm 편차= 13.18 ± 0.83)으로 먹이망내 최상위에 위치하고 있었다.

일반적으로 영양단계를 통하여 안정동위원소비 값의 분별효과가 나타나는데

보통 한 영양단계 당 탄소안정동위원소 비값은 약 +1‰ 내외, 질소안정동위원소 비값은 약 +2~5‰ 정도의 분별효과가 나타난다.

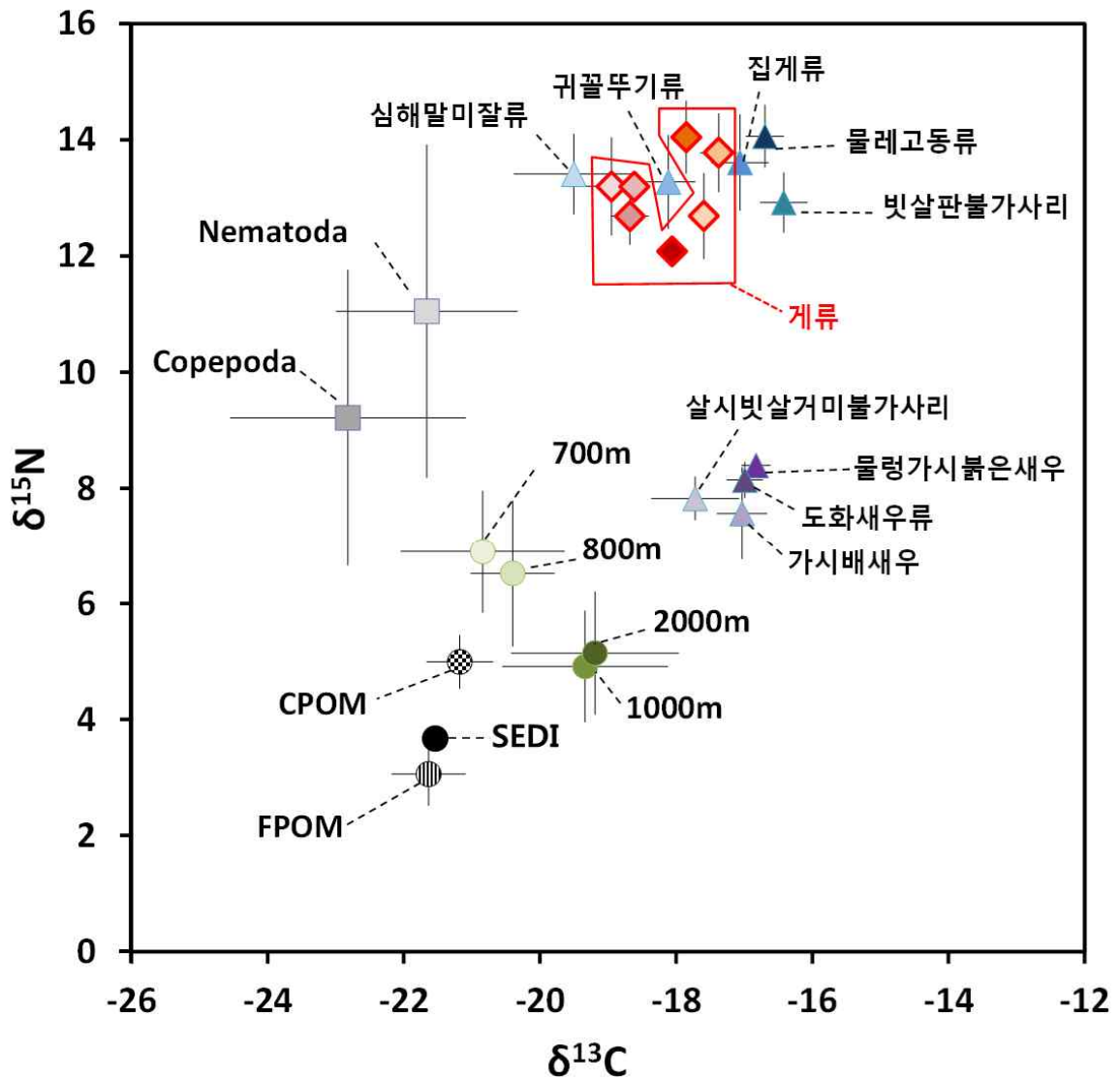


그림 5-3-11. 조사해역에서 채집한 소비자 동물들과 잠재 기원유기물의 $\delta^{13}\text{C}$ 및 $\delta^{15}\text{N}$ 값 분포. [퇴적물 (SEDI), 침강입자(후포뱅크 700 m 그리고 800 m; EC-trap 1000 m 그리고 2000 m), 중형저서생물 Ne(nematoda), Co(copepoda), 대형저서생물 (생물명 직접표시), JO(죽변대계, 2015), JO'(죽변대계, 2014), SO(속초대계), HJ(해미래 홍계), YJ(영덕홍계), SJ(속초홍계), SI(속초털계)]

동위원소 분별효과를 고려했을 때, 저층에 서식하는 계류는 식물플랑크톤에서 유래된 침강유기입자물질을 1~2 영양단계를 거쳐 섭이하는 것으로 보인다.

중형저서동물의 $\delta^{15}\text{N}$ 값의 평균은 이들이 침강유기입자물질과 상위 영양 단계인 계류를 이어주는 먹이연쇄상 중간 단계인 것으로 판단되지만 넓은 범위의 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 계류까지 이어지는 먹이연쇄에 또 다른 요소가 있을 가능성을 시사한다.

울릉분지에 서식하는 심해 대형저서생물의 동위원소값이 새우류를 포함한 일부그룹을 제외하고 대계류와 거의 같은 생태적 지위를 나타내서, 대계의 주요 먹이원은 주로 이보다 크기가 작은 갯지렁이 혹은 유영성 심해생물의 사체일 가능성이 높다.

제 6 장

동해 올콩분지 심해 생물자원
활용체계 마련

제 1 절 심해 생물 종별 기초정보 생산

1. 심해생물 종별 기초정보 생산

가. 생물종별 이미지 기록 및 개체 장기보관

후포뱅크 주변 심해환경에 서식하는 생물의 활용 가능한 정보 생산하기 위하여 생물종별 개체(들)에 대한 디지털 기록(사진 또는 영상)을 체계화하여 기록하고 개체 장기 보관을 시도하였다. 그러나 본 연구분야는 1차년도 연차평가 결과 연구분야의 축소에 의해 1차년도에만 수행되어 시작단계의 소량의 일부 이미지 기록만이 수행되었고, 개체 장기보관은 표본 제작중에 중단되었다. 본 보고서에서는 중단되기 전까지의 수행내용을 기록으로 남겨 두었다(그림 6-1-1).

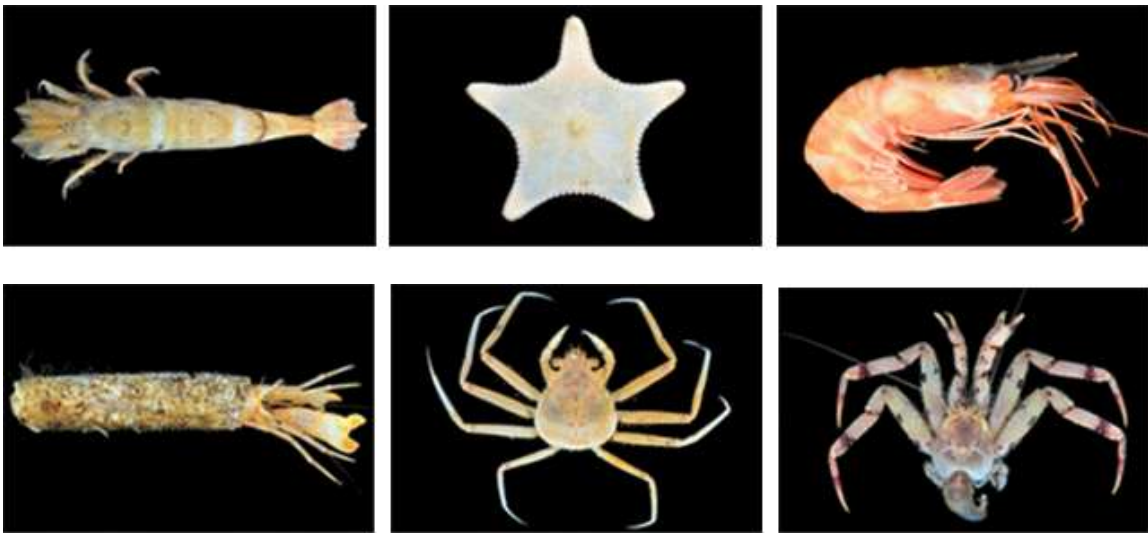


그림 6-1-1. 현장조사에서 채집된 심해 대형/초대형 우점종 (진흙새우, 빗살판 불가사리, 북방갯가꼬마새우, 빨조개집게, 대게, 작은배참집게)

대게, 작은배참집게 및 진흙새우 3종은 건조표본으로 제작중 이었으며, 절지동물류인 대게, 작은배참집게, 진흙새우, 빨조개집게, 극피동물류인 빗살판 불가사리 및 연체동물류인 북방명주매물고둥 등 6종은 액침표본 제작중에 중단되었다(그림 6-1-2~3).



그림 6-1-2. 건조표본 제작중 심해 대형/초대형 우점종(대게:위, 작은배참집게:아래 좌, 진흙새우:아래 우)



그림 6-1-3. 액침표본 제작 중 심해 대형/초대형 우점종(빛살판불가사리, 진흙새우, 북방명주매물고둥, 대게, 빨조개집게 및 작은배참집게)

나. 안정적 배양/사육 기술개발

심해 유용 생물자원을 인위적으로 배양/사육하기 위하여 안정적인 배양/사육 기술개발을 시도하였으나, 1차년도 연차평가 결과 연구분야의 축소에 의해 1차년도에만 수행되어, 기술개발 검토 도중에 중단되어 본 보고서에서는 그 동안의 실험과정들을 기록으로 남겨두었다.

1차 심해 조사에서 채집된 개체 중 우점종 만을 선별하여 4℃로 유지되는

순환사육 수조로 옮겨 관찰하였다. 1차 조사에서는 빗살판불가사리, 대게, 작은배참집게, 빨조개집게, 진흙새우 등이 우점하고 있는 것으로 조사되었다. 먹이는 EP사료, 홍합 건조 파우더, 고등류 등을 제공하였다. 빗살판불가사리의 경우, 채집부터 수조로 옮겨 순치하며 관찰할 때까지 약 3주 정도 생존한 것으로 판단되었다. 그 후 먹이 섭취 흔적이 없는 것으로 보아 영양 공급 부족으로 사망한 것으로 사료되며, 먹이 공급만 이루어진다면 장기 사육이 가능할 것으로 판단되었다.

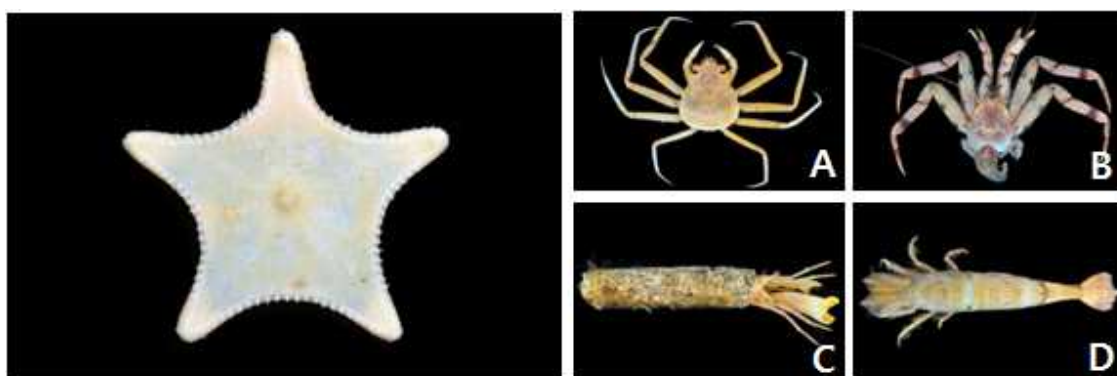


그림 6-1-4. 실내 사육 실험에 사용된 빗살판불가사리(좌) 및 절지동물류인 대게(A), 작은배참집게(B), 빨조개집게(C), 진흙새우(D)

또한, 1차조사 우점종 중 절지동물류인 대게, 작은배참집게, 빨조개집게, 진흙새우 등도 4℃로 유지되는 순환사육 수조에 사육을 실시하였다. 이들 절지동물의 경우에는 홍합 파우더 및 고등류 등의 먹이를 섭취한 흔적이 발견되었고 장기 사육이 가능할 것으로 판단되었다. 2차 심해조사(10월 18일)에서 채집된 말미잘류와 이매패류 등을 4℃ 수온의 수조에 보관하며 관찰중에 중단하였다.

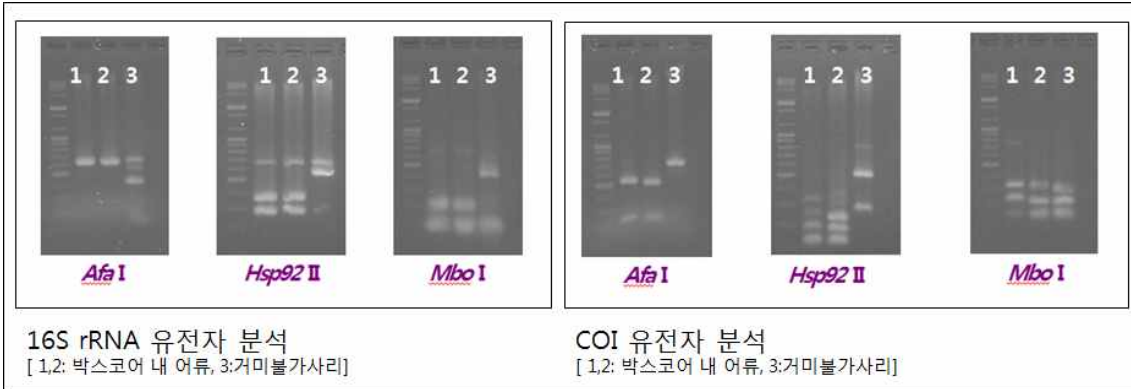
1차년도에의 경우, 채집 생물종을 한 수조에 넣고 사육을 실시해 어떤 종이 먹이를 섭취했는지 정확히 판단하기 어려웠다. 그러나 1차년도 성과로 심해 채집 대형/초대형 저서생물의 사육이 가능함을 확인할 수 있었고, 각 생물군 별로 장기 사육 방법(수온, 저질 특성 및 먹이) 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

다. 유전정보 생산

심해 생물의 기본적인 유전정보 생산을 시도하였으나 마찬가지로 1차년도 연차평가 결과 연구내용 축소에 의해 중단되어 1차년도에 생산된 유전정보만 본 보고서에 기록하였다

[2014년 5월 27일 조사 시료 분석]

빔트롤 및 박스코어 내에서 확보한 시료의 genomic DNA typing은 PCR-RFLP 기법을 이용하였음. 미토콘드리아 DNA의 16S rRNA 유전자 및 COI 유전자 영역을 증폭하여 제한효소로 절단하여 패턴을 확인하였음.



[빔트롤 및 박스코어 내 시료의 PCR-RFLP 분석]

빔트롤 및 박스코어 내에서 확보한 시료의 유전정보를 조사하였음. 박스코어 내 어류 시료는 청자갈치였으며, 청가갈치와 거미불가사리의 미토콘드리아 DNA의 유전정보 일부를 조사하였음.

DE-03	3	AAACATGCGCTCTGCAAACTAATAAATAGAGTCCGCGCTGCGCTGTGACTATTAGT	62	DE-03	22	ATTGGCAOCTTATCTAGTATTTTGTCTTGGCGGAAATAGTGGCACAGCTTAAG	81
B. hollandi	1	AAACATGCGCTCTGCAAACTAATAAATAGAGTCCGCGCTGCGCTGTGACTATTAGT	60	B. hollandi	4	ATTGGCAOCTTATCTAGTATTTTGTCTTGGCGGAAATAGTGGCACAGCTTAAG	62
DE-03	63	TTAAGCGCGCGGATTTTGAOCCGTGGAAGGTAGCGCAATCACTTGTCTTTAAATGAA	122	DE-03	82	TCTACTCATTGGACAGCTAAGCCAAACCGCGCCCTCTTGGGGGACGACAAATTA	141
B. hollandi	61	TTAAGCGCGCGGATTTTGAOCCGTGGAAGGTAGCGCAATCACTTGTCTTTAAATGAA	120	B. hollandi	63	TCTACTCATTGGACAGCTAAGCCAAACCGCGCCCTCTTGGGGGACGACAAATTA	122
DE-03	123	GACCTGTATGAATGSCATAACGAGGCTTAGCTGTCTCTTTTTCAGTCAATGAATG	182	DE-03	142	CAATGTCTTGTTCAGCGCATGCGTTCGTAATAATTTTCTTATAGTAATCAATAT	201
B. hollandi	121	GACCTGTATGAATGSCATAACGAGGCTTAGCTGTCTCTTTTTCAGTCAATGAATG	180	B. hollandi	123	CAATGTCTTGTTCAGCGCATGCGTTCGTAATAATTTTCTTATAGTAATCAATAT	182
DE-03	183	ATCTTCCGCTGCGAGAGCGGAATACAAACATAAGACGAGGACCCATGAAGCTTTAG	242	DE-03	202	GATCGGGGGTTGGGAAGTCACTTGTGCTTAAATAATCGGGGCCCGGACATAGATT	261
B. hollandi	181	ATCTTCCGCTGCGAGAGCGGAATACAAACATAAGACGAGGACCCATGAAGCTTTAG	240	B. hollandi	183	GATCGGGGGTTGGGAAGTCACTTGTGCTTAAATAATCGGGGCCCGGACATAGATT	242
DE-03	243	AOSCACAAGGCGATCATCTTTAATAACCCAAATAAGGCTTAAACCAATGAAACCGCC	302	DE-03	262	TCCCGAATAAACACATGAGCTTTTGACTCTTCCCGCGCTTTCTTCTCTCTTGC	321
B. hollandi	241	AOSCACAAGGCGATCATCTTTAATAACCCAAATAAGGCTTAAACCAATGAAACCGCC	300	B. hollandi	243	TCCCGAATAAACACATGAGCTTTTGACTCTTCCCGCGCTTTCTTCTCTCTTGC	302
DE-03	303	CGAATGTCTTGGTTGGGGCGACCGCGGGCATTGAAAAACCCCACTGAGGTGGAGC	362	DE-03	322	CTCTCCGGGTAGAAAGCGCGCTGGGACGGGTGAAAGTTTACCCCGCTCTCCGG	381
B. hollandi	301	CGAATGTCTTGGTTGGGGCGACCGCGGGCATTGAAAAACCCCACTGAGGTGGAGC	360	B. hollandi	303	CTCTCCGGGTAGAAAGCGCGCTGGGACGGGTGAAAGTTTACCCCGCTCTCCGG	362
DE-03	363	ACCCTCTCTACACTAAGAGCCAGCTCTAGAAAACAGAAATCTGACAAACAGATCC	422	DE-03	382	TAACCTTAGCCATGCGGGGCTCGTGTGTTAACAATCTTCCCTCTACTAGCAG	441
B. hollandi	361	ACCCTCTCTACACTAAGAGCCAGCTCTAGAAAACAGAAATCTGACAAACAGATCC	420	B. hollandi	363	TAACCTTAGCCATGCGGGGCTCGTGTGTTAACAATCTTCCCTCTACTAGCAG	422
DE-03	423	GGCAATGCCGATCAACGAGCGAGTTAOCCTAGGGTAACAGCGCAATCTCTTTAGAG	482	DE-03	442	GGTCTCTCAATCTCGGGCAATTAAGTATTAGAGCAATCAATACAGAGAGCC	501
B. hollandi	421	GGCAATGCCGATCAACGAGCGAGTTAOCCTAGGGTAACAGCGCAATCTCTTTAGAG	480	B. hollandi	423	GGTCTCTCAATCTCGGGCAATTAAGTATTAGAGCAATCAATACAGAGAGCC	482
DE-03	483	CCATATGACAGAGGGGTTTACGACTGATGTTGGATCAGGACATCTAATGTCGAG	542	DE-03	502	TGGATCTCTCAGTACAGCACCCCTCTGCTGTGTGCTGCTTATACAGCAGTCT	561
B. hollandi	481	CCATATGACAGAGGGGTTTACGACTGATGTTGGATCAGGACATCTAATGTCGAG	540	B. hollandi	483	TGGATCTCTCAGTACAGCACCCCTCTGCTGTGTGCTGCTTATACAGCAGTCT	542
DE-03	543	CCGCTATTAAGGTTCTGTTGTTCAACAGTTAAGTCTAAGTGTCTG	591	DE-03	562	ACTCTCTTCTCTCCCGCTCTTGCAGCGGATTAACATCTCTCTGACAGATGAA	621
B. hollandi	541	CCGCTATTAAGGTTCTGTTGTTCAACAGTTAAGTCTAAGTGTCTG	589	B. hollandi	543	ACTCTCTTCTCTCCCGCTCTTGCAGCGGATTAACATCTCTCTGACAGATGAA	602
				DE-03	622	CCTTAATACCACTCTTGGACCCCGGAGGAGGAGACCACTCTACCAAGCACT	681
				B. hollandi	603	CCTTAATACCACTCTTGGACCCCGGAGGAGGAGACCACTCTACCAAGCACT	662
				DE-03	682	ATTCTGATCTTGG	696
				B. hollandi	663	ATTCTGATCTTGG	677

[박스코어 내 시료 DE-03의 16S rRNA 유전자 염기서열]

[박스코어 내 시료 DE-03의 COI 유전자 염기서열]

[2014년 9월 16일 조사 시료 분석]

동해 후포뱅크 인근 심해역에서 어류시료 11종(기름가자미, 도루묵, 뚝지, 멍길치, 벌레문치, 빨간대구, 얼룩수배기, 우렁성치, 청자갈치, 칠성갈치, 황아귀) 83개체를 확보하였음. 11종 시료의 미토콘드리아 DNA를 분석하였으며, 16S rRNA 유전자와 COI 유전자 염기서열을 분석함.

0916-2	56	AAACACATGCGCTGTGCATAACACAGATATAGAGGTCCCGCTGCCAGTGAACAT	115
G. zachirus	1	AAACACATGCGCTGTGCATAACACAGATATAGAGGTCCCGCTGCCAGTGAACAT	60
0916-2	116	AGTTCACAGCGCAGCGGATTTTGCCTGCACAAAGGTAGCGTAATCACTCTTTAAAT	175
G. zachirus	61	AGTTCACAGCGCAGCGGATTTTGCCTGCACAAAGGTAGCGTAATCACTCTTTAAAT	120
0916-2	176	GAGACCTGTATGATAGGCATACAGAGGCTTAACCTGCTCTCCCGGTCATGAAA	235
G. zachirus	121	GAGACCTGTATGATAGGCATACAGAGGCTTAACCTGCTCTCCCGGTCATGAAA	180
0916-2	236	TGATCTCCCGCTGCACAGCGGGAATTAACATAGAGCAGAGACCACTATGAGACT	295
G. zachirus	181	TGATCTCCCGCTGCACAGCGGGAATTAACATAGAGCAGAGACCACTATGAGACT	240
0916-2	296	TAGACACAGAGTGCACATGTCAGTACCCCGGCTAGGGGCTGACCTAATGAGAAC	355
G. zachirus	241	TAGACACAGAGTGCACATGTCAGTACCCCGGCTAGGGGCTGACCTAATGAGAAC	300
0916-2	356	TGCTTGTATCTTCCGCTGCGGACCAATGAGGATACAAACCCCGCTGAGGAAAGG	415
G. zachirus	301	TGCTTGTATCTTCCGCTGCGGACCAATGAGGATACAAACCCCGCTGAGGAAAGG	360
0916-2	416	AGACACCCCTAAGTACTTCTTCCCGCAGACGACACAGCTCTAACACAGAA	475
G. zachirus	361	AGACACCCCTAAGTACTTCTTCCCGCAGACGACACAGCTCTAACACAGAA	420
0916-2	476	ATTGACACAACTGACCGGTAACAGATCAAGACAGCAAGTAACTGAGGATACAA	535
G. zachirus	421	ATTGACACAACTGACCGGTAACAGATCAAGACAGCAAGTAACTGAGGATACAA	480
0916-2	536	CGCCAAATCCCTTTTACGCCCATATGACAGAGGGGTTACAGCTCGATGTTGATCA	595
G. zachirus	481	CGCCAAATCCCTTTTACGCCCATATGACAGAGGGGTTACAGCTCGATGTTGATCA	540
0916-2	596	GGACATCCTAATGCTGACCGCCTATTAAGGGTCTGTTTCCAGCAATTAAGTCTAC	655
G. zachirus	541	GGACATCCTAATGCTGACCGCCTATTAAGGGTCTGTTTCCAGCAATTAAGTCTAC	600
0916-2	656	TGGA 659	
G. zachirus	601	TGGA 604	

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 기름가자미 16S rRNA 유전자 염기서열]

0916-2	32	CCCTATCTGCTATTTGCTGCTGAGCGGAAATGTCGGGACAGGCTGCTCTAT	91
G. stelleri	1	CCCTATCTGCTATTTGCTGCTGAGCGGAAATGTCGGGACAGGCTGCTCTAT	60
0916-2	92	TGACGACGACTAAGCAAGCCCGGCTCTCTGGGGGAGGACAAATTTAATGCTAAT	151
G. stelleri	61	TGACGACGACTAAGCAAGCCCGGCTCTCTGGGGGAGGACAAATTTAATGCTAAT	120
0916-2	152	CGTCAACGACAGCGCTTTGTAATAATCTTTTATGTAATGCAATTAATGCGGGG	211
G. stelleri	121	CGTCAACGACAGCGCTTTGTAATAATCTTTTATGTAATGCAATTAATGCGGGG	180
0916-2	212	TTTGGAAACTGACTTATCCCTTAATAATTGAGGCGCTGACATGATTTCCCGAAT	271
G. stelleri	181	TTTGGAAACTGACTTATCCCTTAATAATTGAGGCGCTGACATGATTTCCCGAAT	240
0916-2	272	AAATAATATGAGTTTCTGACTCTCCCTCCCTCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	331
G. stelleri	241	AAATAATATGAGTTTCTGACTCTCCCTCCCTCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	300
0916-2	332	TGTTGAGCGCGGCTGACTGCGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	391
G. stelleri	301	TGTTGAGCGCGGCTGACTGCGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	360
0916-2	392	GCAGCGCGGACATCCGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	451
G. stelleri	361	GCAGCGCGGACATCCGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	420
0916-2	452	AATTCAGGGGCTAATTAATCTTATCACTACCACTCACTCACTCACTCACTCACT	511
G. stelleri	421	AATTCAGGGGCTAATTAATCTTATCACTACCACTCACTCACTCACTCACTCACT	480
0916-2	512	TATGACCAATCCATATTTTGTGGGCGTACTAATCACTGCTGCTCTCTCTCTCT	571
G. stelleri	481	TATGACCAATCCATATTTTGTGGGCGTACTAATCACTGCTGCTCTCTCTCTCTCT	540
0916-2	572	ATCACTGCTGCTTATGAGCGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	631
G. stelleri	541	ATCACTGCTGCTTATGAGCGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCTCCCT	600
0916-2	632	AACTCTTTGAGCCTGCGGAGGAGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCT	693
G. stelleri	601	AACTCTTTGAGCCTGCGGAGGAGGTAAGCAAGTAACTCCCTCCCTCCCTCCCT	662

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 기름가자미 COI 유전자 염기서열]

0916-52	1	TGCGCTTTTTCACAAACATGCGCTCTTCCAAAACCAAAATAAGAGTCCCGCTGCC	60
A. ventriosus	2005	TGCGCTTTTTCACAAACATGCGCTCTTCCAAAACCAAAATAAGAGTCCCGCTGCC	2064
0916-52	61	CTGAGACTATATGTTAAAGCGCGGATTTTGAAGTGCACAGTAAAGCAATCACT	120
A. ventriosus	2065	CTGAGACTATATGTTAAAGCGCGGATTTTGAAGTGCACAGTAAAGCAATCACT	1184
0916-52	121	TGCTTTTAAATGAGACCGGATGATGATGACATAAGAGGCTTAACCTGCTCTCTCT	184
A. ventriosus	2125	TGCTTTTAAATGAGACCGGATGATGATGACATAAGAGGCTTAACCTGCTCTCTCT	2184
0916-52	181	AGTCAATGAAATGATCTTCCCGTGCAGAGCGGATTTAAACATAAGACGAGAGAC	240
A. ventriosus	2185	AGTCAATGAAATGATCTTCCCGTGCAGAGCGGATTTAAACATAAGACGAGAGAC	2244
0916-52	241	CGTATGAGCTTTAGACACCAAGCGACTTACGTTAGCAGCCCGGATTAAGAGCTAAAC	300
A. ventriosus	2245	CGTATGAGCTTTAGACACCAAGCGACTTACGTTAGCAGCCCGGATTAAGAGCTAAAC	2304
0916-52	301	CAATGAACTGCGCTATGCTTTGTTGGGCGGACCGCGGAGACTAAATAACCGCC	360
A. ventriosus	2305	CAATGAACTGCGCTATGCTTTGTTGGGCGGACCGCGGAGACTAAATAACCGCC	2364
0916-52	361	AGTGGAAAGCGGAGAGCCCGCTTACAGCTAAGAGCTTACAGCTTATGTAACGAAAT	420
A. ventriosus	2365	AGTGGAAAGCGGAGAGCCCGCTTACAGCTAAGAGCTTACAGCTTATGTAACGAAAT	2424
0916-52	421	CTGACCAATAGATCCCGCAATCCGATCAAGCGGACCAAGTAACTTACGAGGATACAGCG	480
A. ventriosus	2425	CTGACCAATAGATCCCGCAATCCGATCAAGCGGACCAAGTAACTTACGAGGATACAGCG	2484
0916-52	481	CAATCTCTTTTACAGCCCATATGCAAGGGGTTTACAGCTGATGTTGATGACAGAA	540
A. ventriosus	2485	CAATCTCTTTTACAGCCCATATGCAAGGGGTTTACAGCTGATGTTGATGACAGAA	2544
0916-52	541	CATCTAAATGCTGACCGCCTAATAAGGGTCTGTTTTCACAGATTAAGTCTAAGT	600
A. ventriosus	2545	CATCTAAATGCTGACCGCCTAATAAGGGTCTGTTTTCACAGATTAAGTCTAAGT	2604
0916-52	601	ATCTGA 606	
A. ventriosus	2605	ATCTGA 2610	

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 뚝지 16S rRNA 유전자 염기서열]

0916-52	59	AGCAACCCGGGCGCTCTTGGGCGAGGACCAATTTAATGTAATGTTACAGCACAT	118
A. ventriosus	1	AGCAACCCGGGCGCTCTTGGGCGAGGACCAATTTAATGTAATGTTACAGCACAT	60
0916-52	119	GCTTGTGATGTAATTTCTTTATGTAATACCACTAATGAGGCTCGGAAACTGA	178
A. ventriosus	61	GCTTGTGATGTAATTTCTTTATGTAATACCACTAATGAGGCTCGGAAACTGA	120
0916-52	179	CTCAATCCCTTATGATGCGGCGCCCGGATATAGCACTCCGATGAAACACATGAGC	238
A. ventriosus	121	CTCAATCCCTTATGATGCGGCGCCCGGATATAGCACTCCGATGAAACACATGAGC	180
0916-52	239	TTTTGACTTCTCCCGCTCTTCTGCTGTTACTTCTGCTCTTCCAGGCTGAGAGG	298
A. ventriosus	181	TTTTGACTTCTCCCGCTCTTCTGCTGTTACTTCTGCTCTTCCAGGCTGAGAGG	240
0916-52	299	CGCGGACCGGATGAGCGCTTACCGCCCTTACAGCGCACTGACAGCAGCGGAGCC	358
A. ventriosus	241	CGCGGACCGGATGAGCGCTTACCGCCCTTACAGCGCACTGACAGCAGCGGAGCC	300
0916-52	359	TCTGTTGACTTACCACTTTTCTTACATGACAGGATCTTCAATCTCGGAGCA	418
A. ventriosus	301	TCTGTTGACTTACCACTTTTCTTACATGACAGGATCTTCAATCTCGGAGCA	360
0916-52	419	ATTAATTCATCAACCACTATCAACATAAGCCCGCTGCTATATCTCAATACCAACC	478
A. ventriosus	361	ATTAATTCATCAACCACTATCAACATAAGCCCGCTGCTATATCTCAATACCAACC	420
0916-52	479	CCCTTTTCTGCTGATCGCTACTCACTTACGCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	538
A. ventriosus	421	CCCTTTTCTGCTGATCGCTACTCACTTACGCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	480
0916-52	539	CTGCTGCGGACATCACAATGCTCTTAAACAGCCCAATCTTAAAC 583	
A. ventriosus	481	CTGCTGCGGACATCACAATGCTCTTAAACAGCCCAATCTTAAAC 525	

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 뚝지 COI 유전자 염기서열]

0916-17	17	CAAAAACATGCGCTTTCGAACTTAATAAATAGAGGTCCCGCTGCCCTGTGACTATT	76
L. toyamensis	1	CAAAAACATGCGCTTTCGAACTTAATAAATAGAGGTCCCGCTGCCCTGTGACTATT	60
0916-17	77	AGTTTAAAGCGCGGGTATTTTACCGTGCAGAGTACGCAATCACTGTCTTTAAAT	136
L. toyamensis	61	AGTTTAAAGCGCGGGTATTTTACCGTGCAGAGTACGCAATCACTGTCTTTAAAT	120
0916-17	137	GAAGACTGTATGAATGGCAAAAGGCGCTTAAGTGTCTCTTTCAGGCCAATGAAG	196
L. toyamensis	121	GAAGACTGTATGAATGGCAAAAGGCGCTTAAGTGTCTCTTTCAGGCCAATGAAG	180
0916-17	197	TTGATCTCCCGTGCAGAGCGGGAATACAAACATAAGAGCGAAGACCOCTATGAGCTT	256
L. toyamensis	181	TTGATCTCCCGTGCAGAGCGGGAATACAAACATAAGAGCGAAGACCOCTATGAGCTT	240
0916-17	257	TAGACACCAAGCAGATCATGTAAATACCCGATTAAGGCTTAAACCAAGTGGAACT	316
L. toyamensis	241	TAGACACCAAGCAGATCATGTAAATACCCGATTAAGGCTTAAACCAAGTGGAACT	300
0916-17	317	GCCCGAATGCTTTGGTTGGGCGAAGCGGGGCTTGAAGAAACCCCGAAGTGGG	376
L. toyamensis	301	GCCCGAATGCTTTGGTTGGGCGAAGCGGGGCTTGAAGAAACCCCGAAGTGGG	360
0916-17	377	AGCAACCCCTCAGCACTAAGAGCCAGCTCTAGTAACAGAAATCTGACAGCAAGA	436
L. toyamensis	361	AGCAACCCCTCAGCACTAAGAGCCAGCTCTAGTAACAGAAATCTGACAGCAAGA	420
0916-17	437	TCGGCAATGCGCATCAAGCGAGGATTAACCTAGGATACAGCGCAATCTCTTTA	496
L. toyamensis	421	TCGGCAATGCGCATCAAGCGAGGATTAACCTAGGATACAGCGCAATCTCTTTA	480
0916-17	497	GAGCCCATATGCAAGCGGGGTTAAGACCTGATGTGGATCAGGACATCTAATGGT	556
L. toyamensis	481	GAGCCCATATGCAAGCGGGGTTAAGACCTGATGTGGATCAGGACATCTAATGGT	540
0916-17	557	CAGCCGCTAATAAGGGTCTTGGTCAACGATTAAGGCTCAAGTCT	607
L. toyamensis	541	CAGCCGCTAATAAGGGTCTTGGTCAACGATTAAGGCTCAAGTCT	591

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 먹갈치 16S rRNA 유전자 염기서열]

0916-17	39	TAGTATTGGTGTCTGAGCGGAATAGTGGSCACAGCCCTAAGCTCTCTACGAGGG	98
L. toyamensis	1	TAGTATTGGTGTCTGAGCGGAATAGTGGSCACAGCCCTAAGCTCTCTACGAGGG	60
0916-17	99	AGCTAAGCCACCGCGCGCTTGGGGGACGACCAATTTATATGCTCTTTACAG	158
L. toyamensis	61	AGCTAAGCCACCGCGCGCTTGGGGGACGACCAATTTATATGCTCTTTACAG	120
0916-17	159	CGCATGCGTGTGTAATATTTCTTTATAGTAATACCAATATGATGGGGCTCGGAA	218
L. toyamensis	121	CGCATGCGTGTGTAATATTTCTTTATAGTAATACCAATATGATGGGGCTCGGAA	180
0916-17	219	ACTGCGTGTGCCCTAATAATCGGGGCGCAGACATGCTTCCCGAATAAACAACA	278
L. toyamensis	181	ACTGCGTGTGCCCTAATAATCGGGGCGCAGACATGCTTCCCGAATAAACAACA	240
0916-17	279	TGAGCTTTTGAAGCTTCCCGCATCTTCTCTCTCTGCTCTCTGGGTAGAG	338
L. toyamensis	241	TGAGCTTTTGAAGCTTCCCGCATCTTCTCTCTCTGCTCTCTGGGTAGAG	300
0916-17	339	CGGTCGAGGAGCGGGTGGAGAGTTAACCCCTCTTTCTGSCAACCTGGCCACA	396
L. toyamensis	301	CGGTCGAGGAGCGGGTGGAGAGTTAACCCCTCTTTCTGSCAACCTGGCCACA	360
0916-17	399	GGGCTCGGTTGATTAACAATCTTCTCCCTCAGCAGGAGTTCTCAATCTG	458
L. toyamensis	361	GGGCTCGGTTGATTAACAATCTTCTCCCTCAGCAGGAGTTCTCAATCTG	420
0916-17	459	GGGCAATTAATCTCAATACACATCAACAATGAGGCTCTGGGCTCTCAGTACC	518
L. toyamensis	421	GGGCAATTAATCTCAATACACATCAACAATGAGGCTCTGGGCTCTCAGTACC	480
0916-17	519	AGACACCCCTCTGCTGATGGTCTTATCAAGGCGGCTGATCTCTCTCTCTCT	578
L. toyamensis	481	AGACACCCCTCTGCTGATGGTCTTATCAAGGCGGCTGATCTCTCTCTCTCT	540
0916-17	579	CGCTCTGAGCTGTATCAACCTCTCTCAAGAGATGATCAACAGGCTCTCT	638
L. toyamensis	541	CGCTCTGAGCTGTATCAACCTCTCTCAAGAGATGATCAACAGGCTCTCT	600
0916-17	639	TGAGCCCTGCGGGGAGGGGAGCCAACTCTTCAACCAAGCTGCTGATCTCTGG	696
L. toyamensis	601	TGAGCCCTGCGGGGAGGGGAGCCAACTCTTCAACCAAGCTGCTGATCTCTGG	658

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 먹갈치 COI 유전자 염기서열]

0916-4	17	CAAAAACATGCGCTTTCGAACTTAATAAATAGAGGTCCCGCTGCCCTGTGACTATT	76
L. tanakae	1	CAAAAACATGCGCTTTCGAACTTAATAAATAGAGGTCCCGCTGCCCTGTGACTATT	60
0916-4	77	AGTTTAAAGCGCGGGTATTTTACCGTGCAGAGTACGCAATCACTGTCTTTAAAT	136
L. tanakae	61	AGTTTAAAGCGCGGGTATTTTACCGTGCAGAGTACGCAATCACTGTCTTTAAAT	120
0916-4	137	GAAGACTGTATGAATGGCAAAAGGCGCTTAAGTGTCTCTTTCAGGCCAATGAAG	196
L. tanakae	121	GAAGACTGTATGAATGGCAAAAGGCGCTTAAGTGTCTCTTTCAGGCCAATGAAG	180
0916-4	197	TTGATCTCCCGTGCAGAGCGGGAATACAAACATAAGAGCGAAGACCOCTATGAGCTT	256
L. tanakae	181	TTGATCTCCCGTGCAGAGCGGGAATACAAACATAAGAGCGAAGACCOCTATGAGCTT	240
0916-4	257	TAGACACCAAGCAGATCATGTAAATACCCGATTAAGGCTTAAACCAAGTGGAACT	316
L. tanakae	241	TAGACACCAAGCAGATCATGTAAATACCCGATTAAGGCTTAAACCAAGTGGAACT	300
0916-4	317	GCCCGAATGCTTTGGTTGGGCGAAGCGGGGCTTGAAGAAACCCCGAAGTGGG	376
L. tanakae	301	GCCCGAATGCTTTGGTTGGGCGAAGCGGGGCTTGAAGAAACCCCGAAGTGGG	360
0916-4	377	AGCAACCCCTCAGCACTAAGAGCCAGCTCTAGTAACAGAAATCTGACACCAAGA	436
L. tanakae	361	AGCAACCCCTCAGCACTAAGAGCCAGCTCTAGTAACAGAAATCTGACACCAAGA	420
0916-4	437	TCGGCAATGCGCATCAAGCGAGGATTAACCTAGGATACAGCGCAATCTCTTTA	496
L. tanakae	421	TCGGCAATGCGCATCAAGCGAGGATTAACCTAGGATACAGCGCAATCTCTTTA	480
0916-4	497	GAGCCCATATGCAAGCGGGGTTAAGACCTGATGTGGATCAGGACATCTAATGGT	556
L. tanakae	481	GAGCCCATATGCAAGCGGGGTTAAGACCTGATGTGGATCAGGACATCTAATGGT	540
0916-4	557	CAGCCGCTAATAAGGGTCTTGGTCAACGATTAAGGCTCAAGTCT	605
L. tanakae	541	CAGCCGCTAATAAGGGTCTTGGTCAACGATTAAGGCTCAAGTCT	589

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 벌레문치 16S rRNA 유전자 염기서열]

0916-4	7	TTTA-CTAGCTA-TTGGTG-CTGAGCGG-ATACTAGCAGCAGCTCAAGCTACTCATT	62
L. tanakae	19	TTTATCTAG-TATTGGTGTCTGAGCGGGAATAGTGGSCACAGCTCAAGCTACTCATT	72
0916-4	63	CGAGCGAGCTAAGCCACCGCGCGCTCTGCGGGACGACCAATTTACAAATCTCT	122
L. tanakae	78	CGAGCGAGCTAAGCCACCGCGCGCTCTGCGGGACGACCAATTTACAAATCTCT	137
0916-4	123	GTAGAGGCGCATGCGTGTGTAATATTTCTTTATAGTAATACCAATATGATGGGGT	182
L. tanakae	138	GTAGAGGCGCATGCGTGTGTAATATTTCTTTATAGTAATACCAATATGATGGGGT	197
0916-4	183	TTTGGAACTGCGTGTGCCCTAATAATGGGGCGCAGATGCGATTCGCCGGAATA	242
L. tanakae	198	TTTGGAACTGCGTGTGCCCTAATAATGGGGCGCAGATGCGATTCGCCGGAATA	257
0916-4	243	AACAACATGAGCTTTTGAAGCTTCCCGCATCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	302
L. tanakae	258	AACAACATGAGCTTTTGAAGCTTCCCGCATCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	317
0916-4	303	GTAGAGGCGGCTGCGGGACAGGATGAGCAATTAACCCCTCTCTCTGTAACCTAACC	362
L. tanakae	318	GTAGAGGCGGCTGCGGGACAGGATGAGCAATTAACCCCTCTCTCTGTAACCTAACC	377
0916-4	363	CATGCAAGGGGCTCGGTTGATTTAACAATTTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	422
L. tanakae	378	CATGCAAGGGGCTCGGTTGATTTAACAATTTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	437
0916-4	423	ATCTCTGGGCAATTAATTTTATAGCAATCATTACATGAGGCCCTCGCATCTCT	482
L. tanakae	438	ATCTCTGGGCAATTAATTTTATAGCAATCATTACATGAGGCCCTCGCATCTCT	497
0916-4	483	CAGTACAGAGCGCCCTCTCTCTGCGGCTGCTCAATGAGCGGCTCTCTCTCTCT	542
L. tanakae	498	CAGTACAGAGCGCCCTCTCTCTGCGGCTGCTCAATGAGCGGCTCTCTCTCTCT	557
0916-4	543	TCTCTCCCGTCTGCGAGGGAATACACTGCTCTGCGAGATGCTAACTTAATACC	602
L. tanakae	558	TCTCTCCCGTCTGCGAGGGAATACACTGCTCTGCGAGATGCTAACTTAATACC	617
0916-4	603	ACCTCTCTGAGCCCGCGAGGAGGAGCCACTCTTTATGACATCTGTTGTAATC	662
L. tanakae	618	ACCTCTCTGAGCCCGCGAGGAGGAGCCACTCTTTATGACATCTGTTGTAATC	677
0916-4	663	TTGCG 667	
L. tanakae	678	TTGCG 682	

[후포뱅크 인근 심해역에서 채집한 벌레문치 COI 유전자 염기서열]

0916-3	19	AAACATGCGCTTGTGCAAACTTAATAAAGAGGTCGCCGCTGTGACTATTG	76
L. toyamensis	2192	AAACATGCGCTTGTGCAAACTTAATAAAGAGGTCGCCGCTGTGACTATTG	2251
0916-3	79	TTTAAAGCGCGCGGATTTTGAACCGTGGAGGTAGGCAATCACTGTCTTTAAATGA	138
L. toyamensis	2252	TTTAAAGCGCGCGGATTTTGAACCGTGGAGGTAGGCAATCACTGTCTTTAAATGA	2311
0916-3	139	AGACTGTATGATGGCATACAGAGGCTTAACTGTCTCTCTTTCAGCCAAATGAAT	196
L. toyamensis	2312	AGACTGTATGATGGCATACAGAGGCTTAACTGTCTCTCTTTCAGCCAAATGAAT	2371
0916-3	199	GATCTTCCGTCGACAGCGGGAATACAACAATAAGAGGAAAGCCATGAAAGCTTTA	256
L. toyamensis	2372	GATCTTCCGTCGACAGCGGGAATACAACAATAAGAGGAAAGCCATGAAAGCTTTA	2431
0916-3	259	GACACCAAGGCGATCATCTTTAATACCCCTGATATAAGGCTTAAACCACTGGACCTGC	318
L. toyamensis	2432	GACACCAAGGCGATCATCTTTAATACCCCTGATATAAGGCTTAAACCACTGGACCTGC	2491
0916-3	319	CGAATGCTTTGGTGGGCGACCGCGGCGATTGAAAACCCCACTGGAAATGGAG	376
L. toyamensis	2492	CGAATGCTTTGGTGGGCGACCGCGGCGATTGAAAACCCCACTGGAAATGGAG	2551
0916-3	379	CAACCTCTACAACTAAGGCGCAAGCTCTAGTAAACAAGAAATCTGACCAAGATC	438
L. toyamensis	2552	CAACCTCTACAACTAAGGCGCAAGCTCTAGTAAACAAGAAATCTGACCAAGATC	2611
0916-3	439	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	496
L. toyamensis	2612	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	2671
0916-3	499	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	556
L. toyamensis	2672	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	2731
0916-3	559	GCCGCTAATAGGGTGGTGTGTCAGAGTAAAGTCTAGCTGATGAGT	611
L. toyamensis	2732	GCCGCTAATAGGGTGGTGTGTCAGAGTAAAGTCTAGCTGATGAGT	2784

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 칠성갈치 16S rRNA
유전자 염기서열]

0916-3	10	ATTGGCACTTTACTAGTATTGGTCTGAGCGGGAATAGGGCAAGCCCTAAGC	69
L. toyamensis	5688	ATTGGCACTTTACTAGTATTGGTCTGAGCGGGAATAGGGCAAGCCCTAAGC	5747
0916-3	70	CTCTCATCGAGCGGAGCTAAGCCAAACCGCGCCCTCTGGGGGACGACCAATTTAT	129
L. toyamensis	5748	CTCTCATCGAGCGGAGCTAAGCCAAACCGCGCCCTCTGGGGGACGACCAATTTAT	5807
0916-3	130	AATGCTCTGTACAGCGCATGGCTGTATAATTTCTTTATAGTAAACCAATTATG	189
L. toyamensis	5808	AATGCTCTGTACAGCGCATGGCTGTATAATTTCTTTATAGTAAACCAATTATG	5867
0916-3	190	ATCGGGGCTTGGAACTGCTTGTGCTTAAATATCGGGGCGCCAGACATGCTTT	249
L. toyamensis	5868	ATCGGGGCTTGGAACTGCTTGTGCTTAAATATCGGGGCGCCAGACATGCTTT	5927
0916-3	250	CCCGGAATAACAATGAGCTTTGACTCTCCCGCACTTTTCTCTCTCTCTGCT	309
L. toyamensis	5928	CCCGGAATAACAATGAGCTTTGACTCTCCCGCACTTTTCTCTCTCTCTGCT	5987
0916-3	310	TCTTCTGGGTTAGAGCGGCTGACAGGACCGGTTGACATTTACCCCTCTTCTGGC	369
L. toyamensis	5988	TCTTCTGGGTTAGAGCGGCTGACAGGACCGGTTGACATTTACCCCTCTTCTGGC	6047
0916-3	370	AACTTGGCCACGCGAGGCGCTGCTGATTTAAACAATCTTCTCTCTCTCTCTGCT	429
L. toyamensis	6048	AACTTGGCCACGCGAGGCGCTGCTGATTTAAACAATCTTCTCTCTCTCTGCT	6107
0916-3	430	ATTTCTGACTCTTGGGCAATTAACCTTCAACACATCATCAACAGGAGCTCTCT	489
L. toyamensis	6108	ATTTCTGACTCTTGGGCAATTAACCTTCAACACATCATCAACAGGAGCTCTCT	6167
0916-3	490	GGATCTCTCAATACAGACAGCCCTCTGCTGTATGATGATGATGATGATGATGAT	549
L. toyamensis	6168	GGATCTCTCAATACAGACAGCCCTCTGCTGTATGATGATGATGATGATGATGAT	6227
0916-3	550	CT	609
L. toyamensis	6228	CT	6287
0916-3	610	CTTAAACCACT	669
L. toyamensis	6288	CTTAAACCACT	6347
0916-3	670	TTCTGATTTTGGGCAAC	688
L. toyamensis	6348	TTCTGATTTTGGGCAAC	6366

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 칠성갈치 COI 유전자
염기서열]

0916-25	19	AAACATGCGCTTGTGCAAACTTAATAAAGAGGTCGCCGCTGTGACTATTG	76
A. japonicus	2023	AAACATGCGCTTGTGCAAACTTAATAAAGAGGTCGCCGCTGTGACTATTG	2082
0916-25	79	TTTAAAGCGCGCGGATTTTGAACCGTGGAGGTAGGCAATCACTGTCTTTAAATGA	138
A. japonicus	2083	TTTAAAGCGCGCGGATTTTGAACCGTGGAGGTAGGCAATCACTGTCTTTAAATGA	2142
0916-25	139	AGACCGTATGATGGCATACAGAGGCTTAACTGTCTCTCTTCTCTCTCTCTCTCT	196
A. japonicus	2143	AGACCGTATGATGGCATACAGAGGCTTAACTGTCTCTCTTCTCTCTCTCTCTCT	2202
0916-25	199	GATCTTCCGTCGACAGCGGGAATACAACAATAAGAGGAAAGCCATGAAAGCTTTA	256
A. japonicus	2203	GATCTTCCGTCGACAGCGGGAATACAACAATAAGAGGAAAGCCATGAAAGCTTTA	2262
0916-25	259	GACACCAAGGCGATCATCTTTAATACCCCTGATATAAGGCTTAAACCACTGGACCTGC	318
A. japonicus	2263	GACACCAAGGCGATCATCTTTAATACCCCTGATATAAGGCTTAAACCACTGGACCTGC	2322
0916-25	319	CGAATGCTTTGGTGGGCGACCGCGGCGATTGAAAACCCCACTGGAAATGGAG	378
A. japonicus	2323	CGAATGCTTTGGTGGGCGACCGCGGCGATTGAAAACCCCACTGGAAATGGAG	2382
0916-25	379	CAACCTCTACAACTAAGGCGCAAGCTCTAGTAAACAAGAAATCTGACCAAGATC	438
A. japonicus	2383	CAACCTCTACAACTAAGGCGCAAGCTCTAGTAAACAAGAAATCTGACCAAGATC	2442
0916-25	439	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	496
A. japonicus	2443	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	2502
0916-25	499	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	556
A. japonicus	2503	CGCAATGCGATCAACGACCGGATTAACCTAGGGAATACAGGCAATCTCTTTTGA	2562
0916-25	559	GCCGCTAATAGGGTGGTGTGTCAGAGTAAAGTCTAGCTGATGAGT	610
A. japonicus	2563	GCCGCTAATAGGGTGGTGTGTCAGAGTAAAGTCTAGCTGATGAGT	2614

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 도루묵 16S rRNA 유전자
염기서열]

0916-25	4	AAGTATTGGCACTTTACTAGTATTGGTCTGAGCGGGAATAGGGCAAGCCCTAAGC	63
A. japonicus	5513	AAGTATTGGCACTTTACTAGTATTGGTCTGAGCGGGAATAGGGCAAGCCCTAAGC	5572
0916-25	64	TAGGCTCTTAATGACGACGATGAGCAACCGCGCCCTCTGGGGGACGACCAATTTAT	123
A. japonicus	5573	TAGGCTCTTAATGACGACGATGAGCAACCGCGCCCTCTGGGGGACGACCAATTTAT	5632
0916-25	124	TTTACAAATGATTTGTTAAGGCGCATGCTTGGTGTATGATGATGATGATGATGAT	183
A. japonicus	5633	TTTACAAATGATTTGTTAAGGCGCATGCTTGGTGTATGATGATGATGATGATGAT	5692
0916-25	184	TGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGAT	243
A. japonicus	5693	TGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGATGAT	5752
0916-25	244	CATTCCTCGAATAAATATAGAGCTTTGACTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	303
A. japonicus	5753	CATTCCTCGAATAAATATAGAGCTTTGACTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT	5812
0916-25	304	TAGGCTCTTCCGCGTGAAGGCTGAGCTGATGAGGATGAGGATGAGGATGAGGAT	363
A. japonicus	5813	TAGGCTCTTCCGCGTGAAGGCTGAGCTGATGAGGATGAGGATGAGGATGAGGAT	5872
0916-25	364	CTGCAACTGCGACAGCCTGGGCGCTCTGTTGACTACAGATCTTTCTTTCGACTGG	423
A. japonicus	5873	CTGCAACTGCGACAGCCTGGGCGCTCTGTTGACTACAGATCTTTCTTTCGACTGG	5932
0916-25	424	CAGGATCTCTCAATTTAAGGCGCAATTAATTTTACACACTATCATTACCAATGAAAC	483
A. japonicus	5933	CAGGATCTCTCAATTTAAGGCGCAATTAATTTTACACACTATCATTACCAATGAAAC	543
0916-25	484	CTCCGCTATCTCCAGTACAGAGCCCTCTTCTGCTGATGATGATGATGATGATGATGAT	543
A. japonicus	5993	CTCCGCTATCTCCAGTACAGAGCCCTCTTCTGCTGATGATGATGATGATGATGATGAT	6052
0916-25	544	TTTACT	603
A. japonicus	6053	TTTACT	6112
0916-25	604	GCACCTCAACCACTCTCTGACCCAGCGGGGCGGAGGAGCCCTTTTACCAAC	663
A. japonicus	6113	GCACCTCAACCACTCTCTGACCCAGCGGGGCGGAGGAGCCCTTTTACCAAC	6172
0916-25	664	ACCTCTCTGATCTTGGGCAAC	688
A. japonicus	6173	ACCTCTCTGATCTTGGGCAAC	6197

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 도루묵 COI 유전자
염기서열]

0916-32	16	AAAAACATGCGCTCTTCTCCAAAATAAAGAGGTCOCOCCTGCCTGTGACTATAAGT	75
G. macrocephalus	1950	AAAAACATGCGCTCTTCTCCAAAATAAAGAGGTCOCOCCTGCCTGTGACTATAAGT	2009
0916-32	76	TTAOCGOCOCGGGTATTTAAOCOTGCGAAGGTAGOTAACTGTCTTTAAATGAA	135
G. macrocephalus	2010	TTAOCGOCOCGGGTATTTAAOCOTGCGAAGGTAGOTAACTGTCTTTAAATGAA	2069
0916-32	136	GAACCTATGAAATGSCATCAGAGGCTTAGCTGTCTCCATCTCCAGTCAATGAAATG	195
G. macrocephalus	2070	GAACCTATGAAATGSCATCAGAGGCTTAGCTGTCTCCATCTCCAGTCAATGAAATG	2129
0916-32	196	ACCTCCOCCTGCGAGGCGGGGATGATTACATAAGACGAGAGAACCTATGGAGCTTAG	255
G. macrocephalus	2130	ACCTCCOCCTGCGAGGCGGGGATGATTACATAAGACGAGAGAACCTATGGAGCTTAG	2189
0916-32	256	ACCTAAATGAGTCACTTAACTGCTGTGATAACGATAAACTTACTGATATTACT	315
G. macrocephalus	2190	ACCTAAATGAGTCACTTAACTGCTGTGATAACGATAAACTTACTGATATTACT	2249
0916-32	316	GAAGTGTCTTTGGTTGGGGGACCGGGGTAACCAACAACCCCATGTGGAOCGGGAT	375
G. macrocephalus	2250	GAAGTGTCTTTGGTTGGGGGACCGGGGTAACCAACAACCCCATGTGGAOCGGGAT	2309
0916-32	376	ATTATCCCTAATATCAGAGGCT-CT-ACCTCAAGTACAGAAATTCGAC-TTTCTGA	432
G. macrocephalus	2310	ATTATCCCTAATATCAGAGGCT-CT-ACCTCAAGTACAGAAATTCGAC-TTTCTGA	2369
0916-32	433	TCCGGTATAACGATCAACGAAACCGAGTACCCATAGGATAACAGGCAATCCCTCTCA	492
G. macrocephalus	2370	TCCGGTATAACGATCAACGAAACCGAGTACCCATAGGATAACAGGCAATCCCTCTCA	2429
0916-32	493	GAACCCATATGAGAGGGGTTTAAAGTCTGATGTTGGATCAGGATCACTTAAGTGTG	552
G. macrocephalus	2430	GAACCCATATGAGAGGGGTTTAAAGTCTGATGTTGGATCAGGATCACTTAAGTGTG	2489
0916-32	553	CAGCCGCTATTAAAGGTTGGTTGTTCAACGATTAAGTCTAAGTGTGATGAG	606
G. macrocephalus	2490	CAGCCGCTATTAAAGGTTGGTTGTTCAACGATTAAGTCTAAGTGTGATGAG	2543

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 빨간대구 16S rRNA
유전자 염기서열]

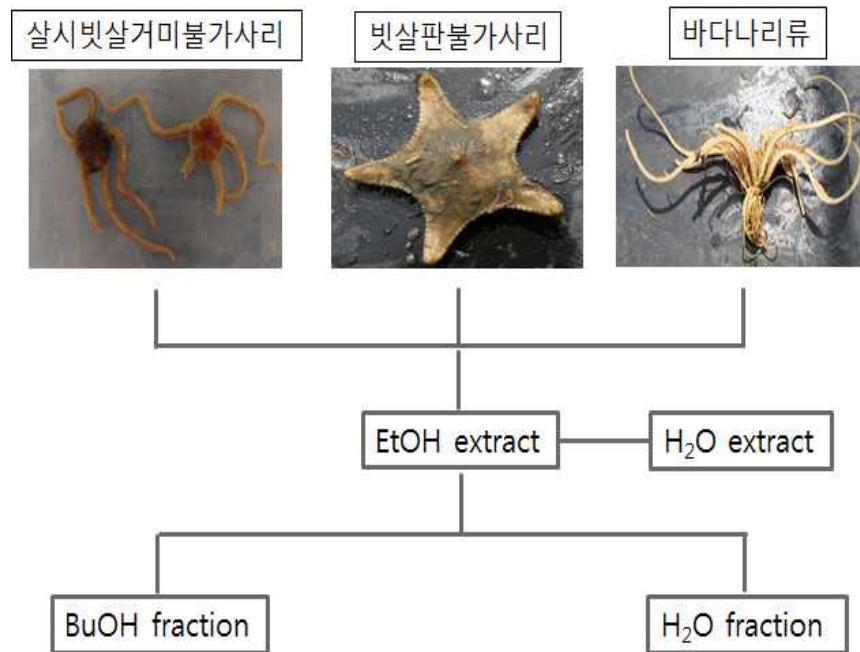
0916-32	10	ATTGGCACCTTTATCTOSTATTGGTGGGAGGOCATAGTGGAAACAGGCTAAGC	69
G. macrocephalus	5442	ATTGGCACCTTTATCTOSTATTGGTGGGAGGOCATAGTGGAAACAGGCTAAGC	5501
0916-32	70	CTACTCATGAGAGGAGCTAAGTCAACTGGTGGACCTCTAGGTGATCAAAATTAAT	129
G. macrocephalus	5502	CTACTCATGAGAGGAGCTAAGTCAACTGGTGGACCTCTAGGTGATCAAAATTAAT	5561
0916-32	130	AATGTGATCGTACAGGOCACCTTCTGATAAATTTTATTATAGTAAACCACTAATA	189
G. macrocephalus	5562	AATGTGATCGTACAGGOCACCTTCTGATAAATTTTATTATAGTAAACCACTAATA	5621
0916-32	190	ATTGGAGGCTTTGGGAACTGACTCTCTAATGATGGTGGCCGATATAGCTTC	249
G. macrocephalus	5622	ATTGGAGGCTTTGGGAACTGACTCTCTAATGATGGTGGCCGATATAGCTTC	5681
0916-32	250	OCTGGATAAATACATAAGCTCTGACTCTCCCTCACTCTTCTGCTCTTTAAGCA	309
G. macrocephalus	5682	OCTGGATAAATACATAAGCTCTGACTCTCCCTCACTCTTCTGCTCTTTAAGCA	5741
0916-32	310	TCCTCTGGTGTAGAGCTGGAGCTGGAACAGGCTGACTGTCTACCCACCTTAAACCGA	369
G. macrocephalus	5742	TCCTCTGGTGTAGAGCTGGAGCTGGAACAGGCTGACTGTCTACCCACCTTAAACCGA	5801
0916-32	370	AACTGCTCATGCTGGGGGACCTGTTGATCTCAGTATTTTCTCTCATCTAGCAGG	429
G. macrocephalus	5802	AACTGCTCATGCTGGGGGACCTGTTGATCTCAGTATTTTCTCTCATCTAGCAGG	5861
0916-32	430	ATTTCATCAATTTGGGGCAATTAATTTATTAGCAAAATTAATGAAACTGCA	489
G. macrocephalus	5862	ATTTCATCAATTTGGGGCAATTAATTTATTAGCAAAATTAATGAAACTGCA	5921
0916-32	490	GCAATTCACAGTACCAACAGCCCTCTTGGTGGAGGAGTCAATACAGCTGTGCTT	549
G. macrocephalus	5922	GCAATTCACAGTACCAACAGCCCTCTTGGTGGAGGAGTCAATACAGCTGTGCTT	5981
0916-32	550	CTACTATATCTCCOCCTCTTAGCAGCTGGATCAAGATCTCTAAGTCAAGCTAAT	609
G. macrocephalus	5982	CTACTATATCTCCOCCTCTTAGCAGCTGGATCAAGATCTCTAAGTCAAGCTAAT	6041
0916-32	610	CTTAAAGCTTTCTTTGACCCCTGAGAGGGGATGATCCATCTATATCAACACTTA	669
G. macrocephalus	6042	CTTAAAGCTTTCTTTGACCCCTGAGAGGGGATGATCCATCTATATCAACACTTA	6101
0916-32	670	TTCTGATCTCTGGCCA	686
G. macrocephalus	6102	TTCTGATCTCTGGCCA	6118

[후포뱅크 인근 심해역에서
채집한 빨간대구 COI 유전자
염기서열]

2. 상업적 활용 가능 정보 탐색

심해서식 생물 중 상업적으로 활용가능한 신물질을 탐색하기 위하여 시도되었으나 1차년도 연차평가 결과 연구분야 축소로 인하여 중단되었으며 본 보고서에는 1차년도에 실험한 결과만 기록으로 남겨두겠다

4월 22일 어선을 이용한 현장조사 결과, 살시빗살거미불가사리 8.4kg, 빗살판불가사리 1.25kg, 바다나리류 1.7kg을 획득하여 각 시료를 1kg씩 ethanol을 이용하여 추출 후, 추출물을 제조한 결과 살시빗살거미불가사리는 19.06g, 빗살판불가사리는 42.5g, 바다나리류는 27.76g의 에탄올 추출물을 획득하였다.



[동해 심해 해양생물로부터 추출된 다양한 추출물의 수율]

	EtOH extracts (g)	EtOH-BuOH fraction (g)	EtOH-H ₂ O fraction (g)	H ₂ O extracts (g)
살시빗살거미 불가사리	19.06	8.41	8.65	31.80
빗살판불가사리	42.50	21.42	21.08	22.95
바다나리	27.76	13.52	14.24	18.75

그림 6-1-5. 동해 심해 해양생물로부터 EtOH 추출물, 용매분획물, 물 추출물 제조 과정 및 추출물의 수율

각 시료에 함유되어 있는 극성 및 비극성 화합물을 분획하기 위하여 BuOH와 H₂O를 이용하여 용매분획을 시도한 결과 살시빗살거미불가사리는 총 8.41g의 EtOH-BuOH fraction, 8.65g의 EtOH-H₂O fraction을 획득함. 빗살판불가사리는 21.42g의 EtOH-BuOH fraction과 21.08g의 EtOH-H₂O fraction을 획득하였고, 바다나리류는 13.52g의 EtOH-BuOH fraction과 14.24g의 EtOH-H₂O fraction을 획득하였다.

또한, 각 시료를 열수 추출을 이용하여 H₂O extracts을 획득함. 살시빗살거미불가사리는 31.80g, 빗살판불가사리 22.95g, 바다나리류 18.75g의 열수 추출물을 획득하였다.

각 추출물에 함유된 대사산물을 확인하기 위하여 proton NMR spectrum을 이용하여 screening 하였다(그림 6-1-6~8) .

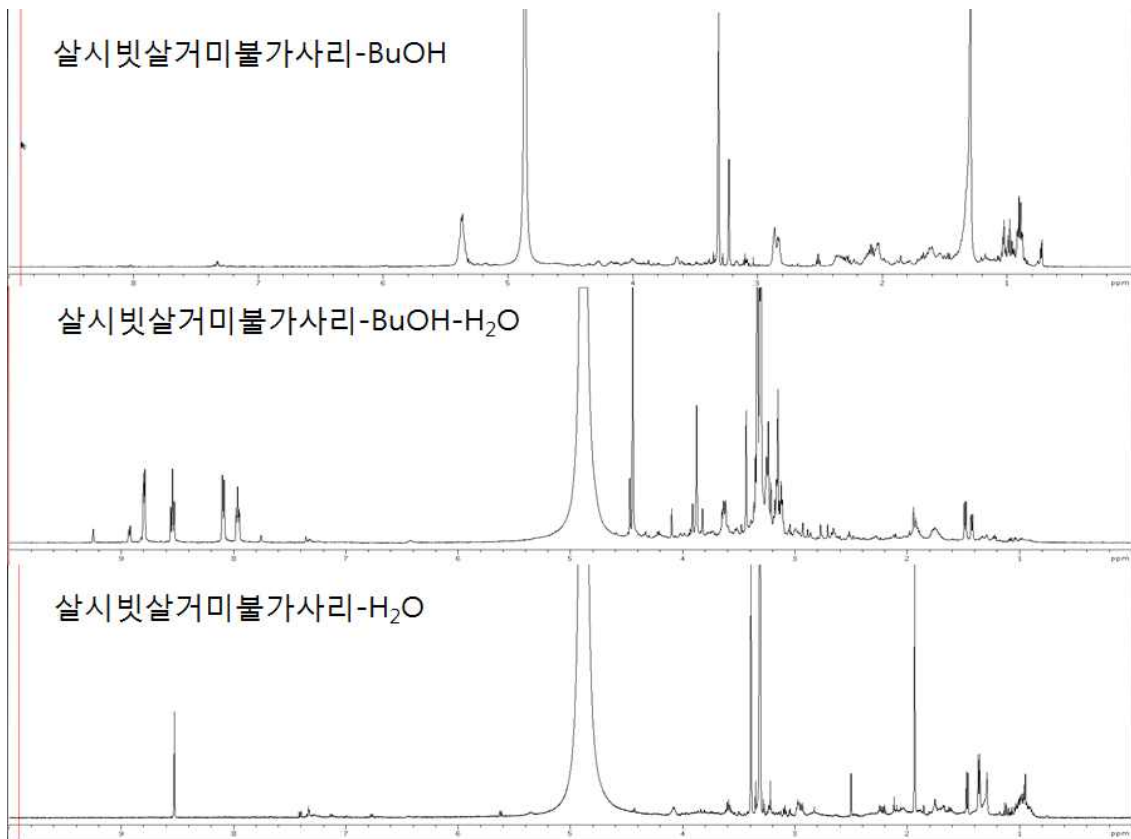


그림 6-1-6. 살시빗살거미불가사리 용매 분획물 및 H₂O 추출물의 NMR spectrum

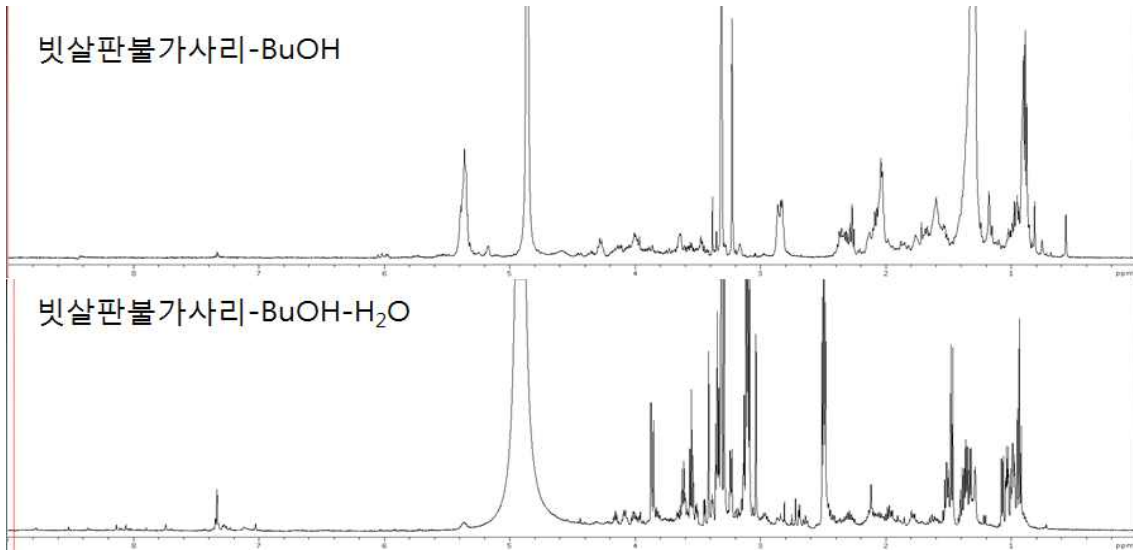


그림 6-1-7. 빗살판불가사리 용매 분획물의 NMR spectrum

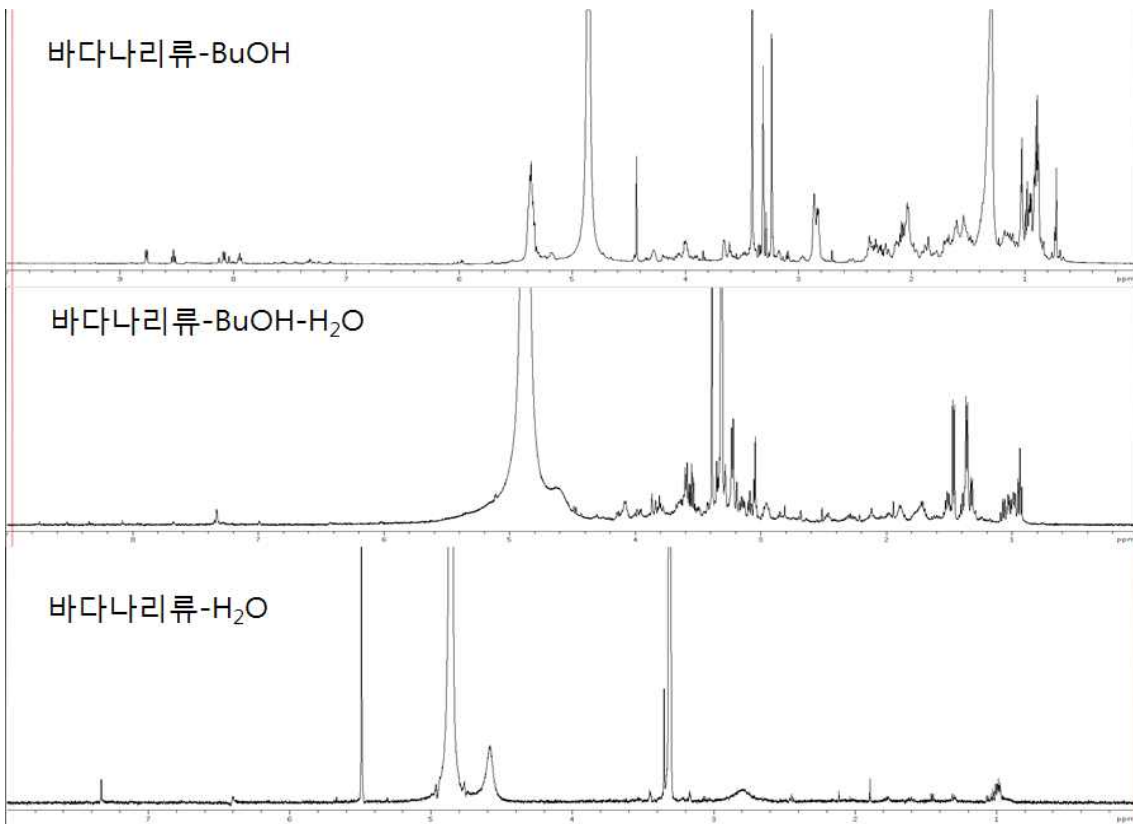


그림 6-1-8. 바다나리류 용매 분획물 및 H₂O 추출물의 NMR spectrum

살시뱃살거미불가사리의 proton NMR spectrum에서는 BuOH 용매 분획물 보다는 BuOH-H₂O 용매 분획물에서 다양한 대사산물이 함유되어 있는 것으로 예상되며 특히 BuOH-H₂O 분획물의 7.8-8.2 ppm에 보이는 peak와 8.4-8.8 ppm에 보이는 peak는 furan 구조의 화합물이 함유되어 있을 것으로 예상된다.

빗살판불가사리의 proton NMR spectrum 분석결과 역시 BuOH 용매 분획물 보다는 BuOH-H₂O 용매 분획물에서 다양한 대사산물이 함유되어 있는 것으로 예상되며 특히 2.5-4 ppm 사이에 보이는 peak는 다양한 phenolic compounds가 함유되어 있을 것으로 예상된다.

바다나리의 proton NMR spectrum 분석결과 BuOH 분획물이 BuOH-H₂O 분획물보다 다양한 화합물이 함유되어 있을 것으로 예상되며 2.5-3.6 ppm 사이에 있는 peak는 OCH₃를 함유한 화합물이 존재 할 것으로 예상되며, 0.8 ppm에 있는 peak는 CH₃의 말단기를 갖고 있는 화합물이 존재 할 것으로 예상된다.

HEPG2 세포에 대한 동해 심해 해양생물 유래 EtOH 추출물은 바다나리 EtOH 추출물이 12.5 ug/mL 농도에서 약 35%의 항암활성을 보이면서 가장 높은 활성을 나타내지만 50 ug/mL 이상의 농도에서는 빗살판불가사리 EtOH 추출물이 약 95%의 항암활성을 보이면서 가장 높게 나타남. 살시뱃살거미불가사리 EtOH 추출물은 100 ug/mL에서도 약 60%의 낮은 항암활성을 보였다.

한편, 동해 심해 해양생물 유래 H₂O 추출물은 EtOH 추출물보다 낮은 항암활성을 보였으며, 빗살판불가사리 H₂O 추출물은 200 ug/mL 농도에서도 10%이하의 낮은 항암활성을 나타내었다.

HELa 세포에 대한 동해 심해 해양생물 유래 EtOH 추출물은 HEPG2 세포와는 달리 200 ug/mL 농도에서 약 5% 이하의 낮은 항암활성을 보였다. 그러나, 동해 심해 해양생물 유래 H₂O 추출물은 살시뱃살거미불가사리 H₂O 추출물이 50 ug/mL에서 약 85% 이상의 높은 항암활성을 보였지만 바다나리 H₂O 추출물과 빗살판불가사리 H₂O 추출물은 100 ug/mL 농도에서 약 60% 이하의 낮은 항암활성을 보였다.

따라서, 향후 연구는 항암활성이 가장 높은 바다나리 EtOH 추출물 및 빗살판불가사리 EtOH 추출물을 이용하여 주요 항암활성 화합물을 분리, 정제할 필요가 있다.

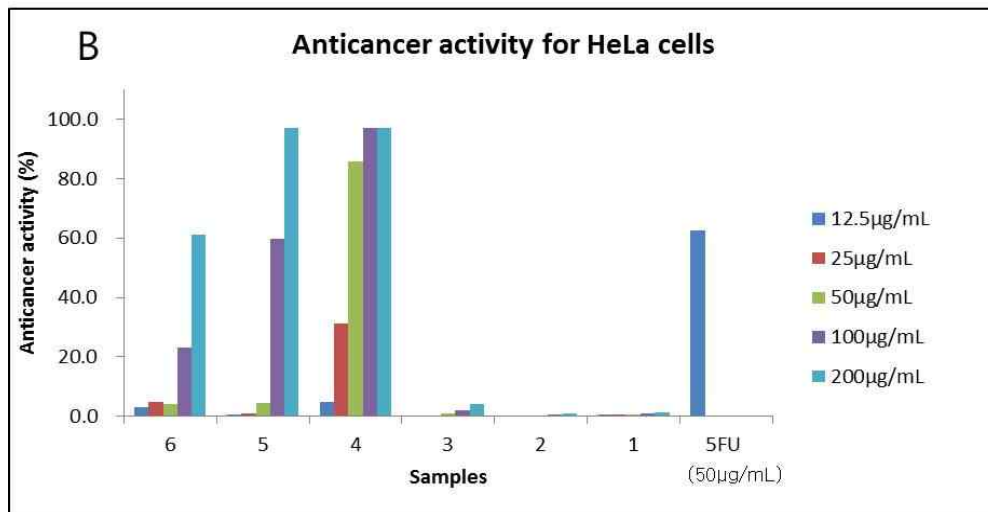
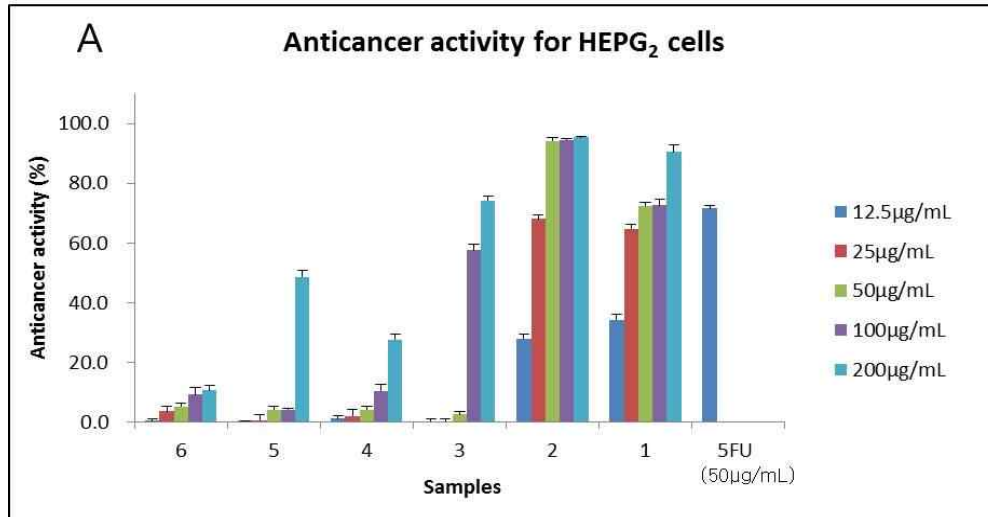


그림 6-1-9. 동해 심해 해양생물 유래 EtOH 및 H₂O 추출물의 항암활성 (A: HEPG₂ 세포에 대한 항암활성, B: HeLa 세포에 대한 항암활성 [1: 바다나리 EtOH 추출물, 2: 빗살판불가사리 EtOH 추출물, 3: 살시빚살거미 불가사리 EtOH 추출물 4: 살시빚살거미불가사리 H₂O 추출물, 5: 바다나리 H₂O 추출물, 6: 빗살판불가사리 H₂O 추출물])

3. 심해 해양생물 자원 बैं크 구축

동해 심해 해양생물자원 बैं크를 구축하기 위하여 자료관리 설계 및 GIS 기반 데이터 모델 및 심해환경 및 생물을 DB화를 시도하였으나 1차년도 평가 결과 연구내용 축소로 중단되어 본 보고서에는 1차년도에 개발한 것까지만 기록하여 남겨두었다

가. 동해 심해 자료관리 기본 설계

[자료관리 항목 선정 및 기초관리 설계]

동해 심해 해양자료 관리항목으로 해수환경정보, 서식생물정보, 해저환경정보 기본해양지리정보로 분류하고 각 항목별 속성정보를 아래와 같이 선정하였다.

[연구해역 자료관리 항목]

구분	항목	속성
해수환경정보	물리 및 화학적 요소	해류, 수온, 염분, 밀도, Par, 엽록소, 용존산소, 영양염, TCO ₂ , 금속성분, 유기물
서식생물정보	저서·간극·부유생물	출현종, 개체수
해저환경정보	해저지형, 퇴적물	DGPS, 수심, 입도, 영양염, 금속성분
공통정보	조사정점도	위도, 경도
기본해양지리정보	해안선, 등심선	공간정보, 수심

GIS 기반에 동해 심해 해양자료를 관리하기 위한 데이터 모델을 설계하는 방안으로 다음표와 같이 자료표준화 설계, 관리 모델 설계, 분석 모델 설계, 테이블 설계, 레이어 설계를 수행하였다.

[GIS 기반 데이터 모델 설계]

구분	내용
자료표준화 설계	조사자료의 수집·분류를 통하여 구조화를 위한 자료의 표준화 설계
관리 모델 설계	위치정보 기반의 속성정보 연계를 위한 데이터 모델 설계
분석 모델 설계	다양한 주제별 분석 및 평가를 위한 데이터 모델 설계
테이블 설계	자료저장을 위한 필드항목 및 규격, 관계성 등 설계
레이어 설계	GIS 데이터 특성을 갖는 데이터셋과 피쳐클래스의 설계

동해 심해 해양자료는 ArcGIS의 Common Marine Data Model을 적용하여 연구해역에서 조사된 데이터의 유형에 따라 그림 6-1-10와 같이 데이터 모델을 설계하고, 각 속성은 데이터셋 별로 GIS 피쳐 유형인 점(point), 선(line), 면(polygon), 래스트(raster)로 객체 클래스(feature classes)로 정의함.

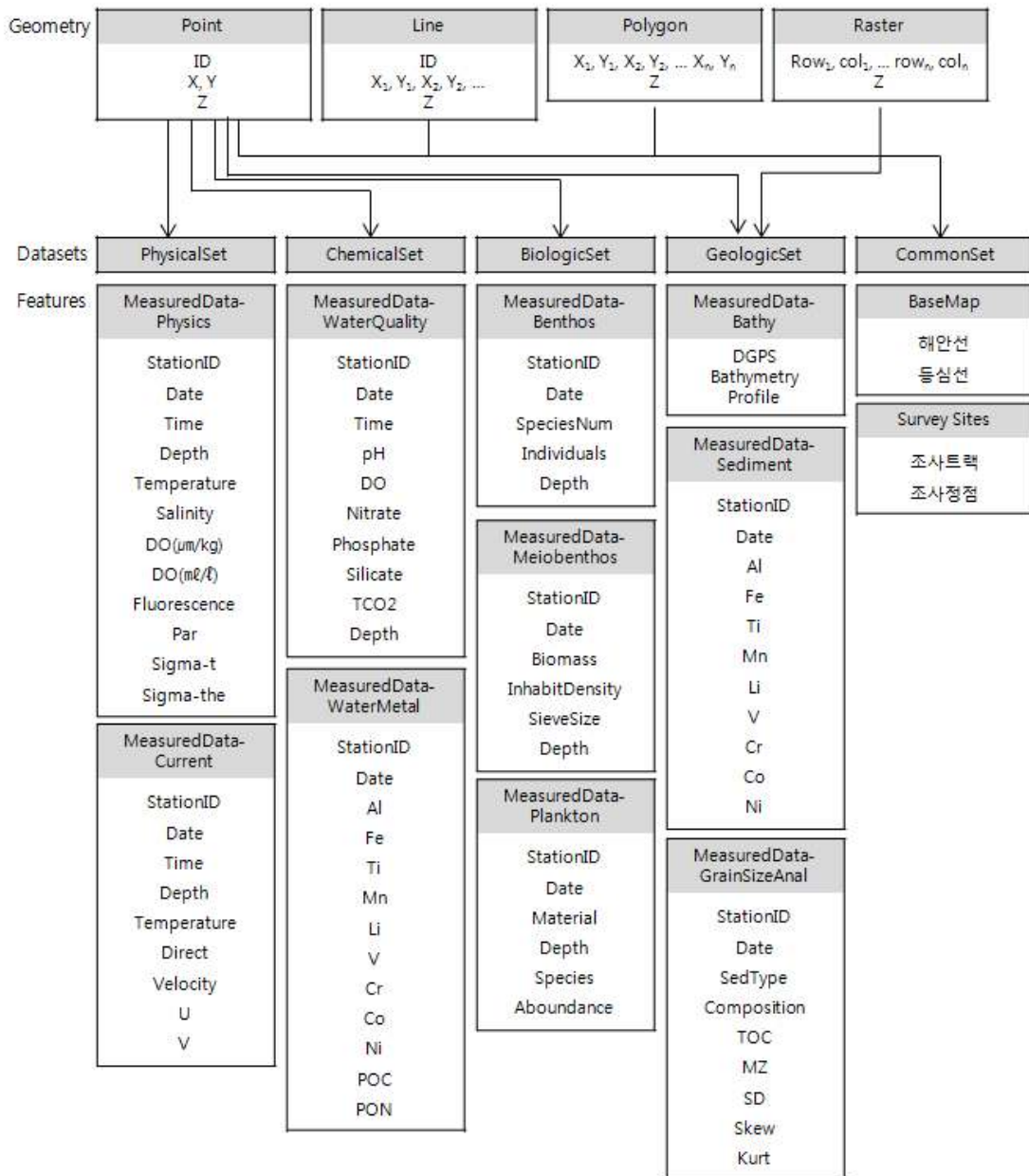


그림 6-1-10. 동해 심해 해양자료 데이터 모델

나. 심해 환경/생물정보 DB화

동해 심해환경 및 생물자료의 DB는 설계한 데이터 모델을 기반으로 물리환경, 해수화학환경, 대형저서생물, 중형저서생물, 부유생물, 해저지형, 퇴적물 데이터셋을 정의하였고, 각각의 데이터셋에는 관리항목에서 선정한 속성정보를 객체클래스로 생성하여 ArcGIS의 Personal Geodatabase로 구축하였다(그림 6-1-11).

해수환경-물리/화학

ObjectID	StationID	Date	Time	Depth	Temperature	POTemp	Salinity	DO_Mm	DO_Ml	FIECO	Par	Xmis	Sigma-T	Sigma-Th	Shape
1	DE01	2014.5.26	23:51	7	15.588	15.697	34.3	344.735	5.618	1.749	0.672	999.999	25.3	25.3	Point

저서생물 개체수/출현종수/출현종 목록

ObjectID	StationID	Decapoda	Echinoderm	Gastropoda	Bivalvia	Cephalopod	Scaphopoda	Polychaeta	Total	Shape
1	Hupo01	761	11	28	2	18	0	0	820	Point

간극생물 생태량/서식밀도/채크기별 개체수

ObjectID	StationID	Nematodes	Copepods	Benthic_Foraminiferans	Others	Shape
1	ST01	618.1675	26.65634	2.40352	210.1718	Point

식물플랑크톤 원환경/출현종(해수)/원환경/출현종(퇴적물)

ObjectID	StationID	Date	Depth	Total_Cell_Num	Shape
1	ST01	2014.5.27	1	862,000	Point

퇴적물 광구수/금속성분/염량/입도분석

ObjectID	StationID	Depth(cm)	Ammonium	Nitrite	Nitrate	Phosphate	Silicate	Shape
1	DE01	0	55.7	0.392	1.023	14.9	442	Point

그림 6-1-11. 동해 심해 해양자료의 데이터셋과 테이블

동해 심해 해양자료의 DB 구축을 위해 기존 울릉분지 및 심해연구에 대한 문헌조사를 수행하고, 문헌조사를 통한 동해 울릉분지 또는 심해에 대한 연구 사례가 부족한 실정이었으며, 수행된 연구분야로는 지질/지구물리, 해양물리, 해양화학 분야 순으로 나타났다.

문헌조사로 울릉분지 또는 심해 대한 관측 데이터를 취득하기는 어려움이

있었으나, 동해 울릉분지 주변에 수행된 조사현황을 파악할 수 있는 조사 정점도를 디지털화하여 DB로 구축하였다(그림 6-1-12).

[문헌조사 요약]

연구분야	연구내용
지질/지구물리	<ul style="list-style-type: none"> - turbidites-debrites identified from Chirp - 울릉분지 가스하이드레이트 지질, 지화학 및 안정성 연구 - 울릉도와 독도 주변 지체구조 - 울릉분지 고환경과 화산활동 연구, 한려 조사단의 탄성파, 중력, 코어링 - 제4기 퇴적물 유기물 기원, 지화학 - 돌고래 시추공, 층서, 지질, 고퇴적환경, 지구조 - 망간산화물, 철산화물의 유기물 분해 기여율 - 울릉분지 지구조 및 성인, 중력, 자력이상, 탄성파 - 가스하이드레이트 함유 퇴적물 - 울릉분지 남서부 단층구조 분포 - 제4기 탄성파 층서 및 퇴적역사 - 동해남부해역과 울릉분지 퇴적상, 주상퇴적물, 표층퇴적물 - 가스하이드레이트 탐사
생물	<ul style="list-style-type: none"> - 동해 독도 주변 대형저서동물 군집 연구 - 물리, 화학적 외압에 의한 플랑크톤 군집 반응, CTD, 영양염, 플랑크톤 조사
물리	<ul style="list-style-type: none"> - 울릉분지 물리적 특성, 동해 중층수 - ARGO자료를 이용한 울릉분지 및 독도 주변 해황 변동성 - 울릉분지 해저경계면 용존산소 - 동해 중남부 수괴분포 및 화학적 특성 연구를 위한 CTD, 무기영양염 조사 - 와류가 영양염, 엽록소에 미치는 영향, CTD, 영양염, 엽록소 관찰
화학	<ul style="list-style-type: none"> - 이산화탄소 저장 탐색

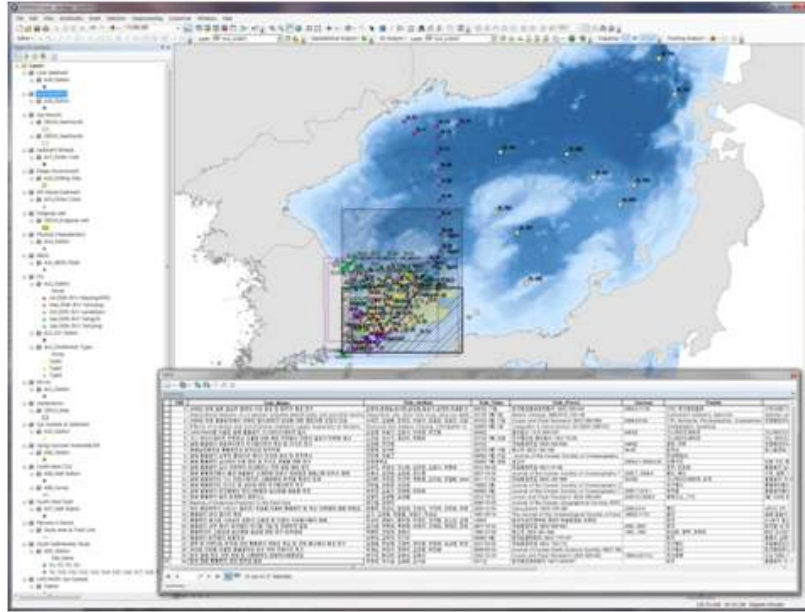


그림 6-1-12. 문헌조사를 통한 동해 울릉분지 주변 조사정점도

참 고 문 헌

- 김성용. 2004. “전지구적 지구관측시스템들의 시스템(GEOSS)” 구축을 통한 지구환경변화 대비 및 지속가능 발전 동향. 한국지구시스템공학회지, vol 41(5), p418-423.
- 김원 · 김사홍 · 송성준, 1996. 울릉도 · 독도의 해산 십각류. 자연실태종합보고서, 10: 413-437.
- 김한준, 주형태, 유해수, 김광희, 유이선, 2011, 신기 지구조운동의 해석을 위한 한반도 근해 천부지질의 고해상 탄성과 탐사: 울진 주변해역, 지구물리와 물리탐사, Vol. 14, No. 2, 127~132 pp.
- 김훈수 · 최병래, 1981. 울릉도 및 독도의 해양 무척추동물상. 한국 자연보호 협회 조사 보고서, 19: 193-198.
- 서해립, 김성수, 고유봉, 남기완, 윤성규, 윤양호, 조수근, 홍재상, 1995. 영일만 표영군집 내의 ^{210}Po 축적. 한국수산학회지. 28권 2호, 219-226.
- 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 농도분포 특성. 한국수산학회지, 29권, 2호, 238-245.
- 이재호. 2007. 유비쿼터스 세상 구현을 위한 또 하나의 인프라 IP-USN. 한국정보사회진흥원.
- 이태희, 김동선, 김부근, 최동립. 2010. 동해 울릉분지 퇴적물에서 유기탄소 순환. Ocean and Polar Research 32(2) : 145-156.
- 이행필, 양한섭, 김기현, 1996. 춘계 동해남부 연안해역에서 해수 중 ^{210}Po 와 ^{234}Th 의 제거. 한국수산학회지, 29권 3호. 332-344.
- 정희동. 1999. 동북아해양관측시스템 제4차 조정위원회 보고서. 해양수산부 국립수산진흥원.
- 최재선. 2009. 해양산업 동향 제6호. 한국해양수산개발원.

한국해양연구소. 1996. 동해종합연구기획.

한국해양연구원 (2004). 동해 기후변동과 생태계 반응 역학과 예측 연구사업 수행을 위한 기획 연구. BSPE88000-1643-1

한국해양연구원 동해연구소. 2009. 동해·독도 기초과학연구. 교육과학기술부. 환경부, 1996, 해양투기장 해역의 환경모니터링 기술

Anderson RF, Fleer AP. 1982. Determination of natural actinides and plutonium in marine particulate matter. *Analytical Chemistry*, pp. 1142-1147.

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.

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.

Boucot, A.J., 1981. *Principles of Benthic Marine Palaeoecology*. Academic Press, San Diego, CA, 463 pp.

C. H. Kim, J. W. Park, M. H. Lee and C. H. Park, 2013. Detailed bathymetry and submarine terraces in the coastal area of the Dokdo volcano in the Ulleung Basin, the East Sea (Sea of Japan). *Journal of Coastal Research*, No. 65, 523-528 pp.

- Cermeno, P., Dutkiewicz, S., Harris, R.P., Follows, M., Schofield, O. and Falkowski, G., 2008. The role of nutricline depth in regulating the ocean carbon cycle. *PNAS*, v. 105, 20344-20349 pp.
- Chace, F. A., Jr., 1951. The number of decapod and stomatopod Crustacea. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 41(11): 369- 372.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjornsdottir, A. E., Jouzel, J. and Bond, G., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record, *Nature*, vol. 364, 218-220 pp.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. pp.303. Her majesty's stationery office.
- Fisher N. S., Burns K. A., Cherry R. D. and Heyraud M., 1983. Accumulation and cellular distribution of ^{241}Am , ^{210}Pb and ^{210}Po in two marine algae. *Marine Ecology Progress Series*, 11, 233-237.
- Flesch, L. M., Holt, W.E., and Haines, A. J., 2001. Dynamics of the India-Asia collision zone, *Journal of Geophysical Research*, vol. 106, 16435-16460 pp.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, 3-26 pp.
- G. H. Lee, H. J. Kim, S. J. Han, and D. C. Kim, 2001. Seismic stratigraphy of the deep Ulleung Basin in the East Sea (Japan Sea) back-arc basin, *Marine and Petroleum Geology*, vol. 18, 615-634 pp.
- Gao, S., 1996. A Fortran program for grain-size trend analysis to denfine net sediment transport pathways. *Computers and Geosciences*, 22, 449-452 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.
- H. J Kim, H. T. Jou, G. H. Lee, D. L. Choi, B. Y. Yi, L. S. Yoo, S. H. Lee, K. H. Kim and H. S. Yoo, 2011. High-resolution Seismic Imaging of Geologic Deformation, offshore East Coast of Korea at 37N: Implications for Assessments of Seismic Activity, *Disaster Advances*, 4, 40-46 pp.
- H. J. Kim, K .H. Lee, H. T. Jou, H. M. Cho, H. S. Yoo, G. T. P. and J. J. Kim, 2007. Evolution of the eastern margin of Korea: Constraints on the opening of the East Sea (Japan Sea), *Tectonophysics*, 436, 37-55 pp.
- H. J. Kim, S. J. Han, W. H. Lee, S. Huh, 1998. Seismic study of the Ulleung Basin crust and its implications for the opening of the East Sea (Japan Sea). *Mar. Geophys. Res.* 20, 219-237 pp.
- Hampton MA, H. J. Lee and Locat J, 1996. Submarine landslides. *Rev Geophys* 34: 33-59 pp.
- Harris, P.T., Patiaratchi, C.B., Keene, J.B. and Cole, A., 1990. Modelling the evolution of a linear sandbank field, Moreton Bay, Queensland. Report of Results Obtained During the Cruise of A.M. Brolga in July, 1989, v. 41. Ocean Sciences Institute, University of Sydney.
- Hirose, N., and Ostrovskii, A. G. (2000). Ouasi-biennial variability in the Japan Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105,14011-.14027.
- Holloway, G., Sou, T., and Eby, M. (1995). Dynamics of circulation of the Japan Sea. *Journal of Marine Research*, 53, 539-.569.
- 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., 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.
- 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.
- J. J. Bahk, S. J. Han, B. K. Khim, 2004. Variations of terrigenous sediment supply to the southern slope of the Ulleung Basin, East/Japan Sea since the Last Glacial Maximum. *Geosci J* 8: 381-390 pp.
- J. J. Bahk, S. K. Chough and S.-J. Han, 2000. Origin of laminated muds and its paleoceanographic significance in the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), *Marine Geology*, vol. 162, 459-477 pp.
- Jolivet, L., Tamaki, K. & Fournier, M., 1994. Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis, *J. Geophys. Res.*, 99, 22,237-222,259 pp.
- Jolivet, L., P. Huchon, X. Lepichon, N. Chamot-Rooke, and J. C. Thomas, 1991. Arc Deformation and Marginal Basin Opening: Japan Sea as a Case Study, *J. Geophys. Res.*, v. 96(B3), 4367-4384 pp.
- Jolivet, L., Tamaki K., 1992. Neogene Kinematics in the Japan Sea Region & Volcanic Activity of the Northeast Japan Arc, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Result*, 127/128(part 2), 1311-1331 pp.
- K. H. Kim, Y. Park, 2010. The January 2007 ML 4.8 Odaesan Earthquake and Its Implications for Regional Tectonics in Korea, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 100, 1395-1495 pp.
- Kadko D., 1993. Excess ²¹⁰Po and nutrient cycling within the California coastal transition zone. *Journal of Geophysical Research*, 98, 857-864.

- Kamita, T., 1941. Studies on the decapod Crustaceans of Chosen. Par I. Crabs. (in Japanese, with English summary). Fisher. Soc. Chose, pp. 1-289, pls. 1-2.
- Kang, T.-S. & Shin, J.S., 2006. The offshore Uljin, Korea, earthquake sequence of April 2006: seismogenesis in the western margin of the Ulleung Basin, *Geosciences Journal*, 10, 159-164 pp.
- 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.
- Kido, Y., Minami, I., Tada, R., Fujine, K., Irino, T., Ikehara, K. and Chun, J., 2007. Orbital-scale stratigraphy and high-resolution analysis of biogenic components and deep-water oxygenation conditions in the Japan Sea during the last 640 kyr, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 247, 32-49 pp.
- Kim, H. S., 1973. Anomura · Brachyura. In: *Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea*. Vol. 14. Seoul, 649 pp.
- Kim, K.-R., Kim, G., Kim, K., Lobanov, V., Ponomarev, V., and Salyuk, A. (2002). A sudden bottom-water formation during the severe winter 2000-2001: The case of the East/Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, 29, 1234, doi:10.1029/2001GL014498.
- Krumbein, W.C., 1934. Size frequency distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 4, 65-77 pp.
- Lallemand, S., and L. Jolivet, 1986, Japan Sea: a pull-apart basin?, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 76, 375-389 pp.
- Lamarche, G., 2000, Constraining fault growth rates and fault evolution in New Zealand, *EOS*, vol. 81, 481 pp.

- 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.
- 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.
- Lee, K. H. & H. S. Ko, 2008. First records of three crabs (Crustacea: Decapoda) from Korea. *Korean J. Syst. Zool.*, 24(1): 17-24.
- Lee, S. (1999). Self-excited variability of the East Korea Warm Current: A quasi-geostrophic model study. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 34, 1-21.
- Lee, S. H., K. H. Lee, & H. S. Ko, 2011, First records of two pilumnid crabs (Crustacea: Decapoda) collected from Jeju Island, Southern Korea. *Korean J. Syst. Zool.*, 27(2): 191- 196.
- Lee, S. -k., M. -H. Shin, T. S. Park, & W. Kim. 2012. New Report of Three Xanthid Crabs (Crustacea: Decapoda: Xanthidae) from Korea. *Animal Systematics, Evolution and Diverstiy*, 28:117-125.
- Lee, S.-k, 2013. Systematic study on the Korean pilumnoids and xanthoids (Crustacea: Decapoda: Brachyura) based on morphology and molecular data. Seoul National University, Seoul. Dissertation for Ph. D. degree
- 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.
- Locat J, H. J. Lee, 2002. Submarine landslides: advances and challenges. *Can Geotech J* 39: 193-212 pp.
- Lyu, S. J., and Kim, K. (2003). Absolute transport from the sea level difference across the Korea Strait. *Geophysical Research Letters*, 30,1285, doi:10.1029/2002GL016233.

- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore Jr., T. C. and Shackleton, N. J., 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy, *Quaternary Research*, vol. 27, 1-29 pp.
- McCave, I.N., 1978. Grain size trends and transport along beaches: and example from eastern England. *Marine Geology*, v. 28, 43-51 pp.
- McKee B. A., 1986. The fate of particle-reactive radionuclides in the Amazon and Yangtze Continental shelves. Ph. D. Dissertation, North Carolina State University.
- Menuir, A., 2005. *Clays*, Springer-Verlag, Berlin, 472 pp.
- Miers, E. J., 1879. On Crustacea from Korean and Japanese Seas. *Zool. Sco.* London, pp. 18- 60.
- Miita, T., & Ogawa, Y. (1984). Tsushima currents measured with current meters and drifters. In T. Ichiye (Ed.), *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas* (pp. 67-76). Amsterdam: Elsevier.
- Minobe, S., Sako, A., and Nakamura, M. (2004). Interannual to Interdecadal Variability in the Japan Sea Based on a New Gridded Upper Water Temperature Dataset. *Journal of Physical Oceanography*. 34, 2282-2397.
- Mitchell, D. A., Watts, D. R., Wimbush, M., Tracey, K. L., Teague, W. J., Book, J.W., Chang, K. -I., Suk, M.-S., and Yoon, J. -H. (2005a). Upper circulation patterns in the Ulleung Basin. *Deep-Sea Research II* .52. 1617-1638.
- Mitchell, D. A., Teague, W. J., Wimbush, M., Watts, D. R., and Sutyrin G. G. (2005b). Dok Cold Eddy. *Journal of Physical Oceanography*. 35. 273-287.
- Moore H. E., Poet S. E. and Martell E. A., 1973. ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po profiles and aerosol residence times versus altitude. *Journal of Geophysical Research*, 78, 7065-7075.

- Mothersill, J., 1969. A grain size analysis of longshore bars and troughs, Lake Superior, Ontario. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39, 1317-1324 pp.
- Mulder T, Cochonat P, 1996. Classification of offshore mass movements. *J Sediment Res* 66: 43-57 pp.
- Ng, P.K.L., D. Guinot & P.J.F. Davie, 2008. *Systema Brachyurorum: Part I. An annotated checklist of extant brachyuran crabs of the world*. The Raffles Bulletin of Zoology, Supplement 17, 286pp.
- Nof, D. (2000). Why much of the Atlantic circulation enters the Caribbean Sea and very little of the Pacific circulation enters the Sea of Japan. *Progress in Oceanography*, 45, 39-67.
- 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.
- Otsuki, K., 1992. Oblique subduction, collision of microcontinents and subduction of oceanic ridge: their implications on Cretaceous tectonics of Japan. *Isl. Arc* 1, 51-63 pp.
- Park, T.K., 1964. On the crabs in the eastern sea of Korea. *The Korean Journal of Systematic Zoology*, 7(1): 15-19, fig. 1. (In Korean.)
- Parke M and J Dixon. 1968. Check list of British marine algae-Second revision. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 45 : 537-557.
- Passega, R., 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 34, 830-847 pp.

- Peirson D. H., Cambray R. S. and Spicer G. S., 1966. Lead-210 and polonium-210 in the atmosphere. *Tellus*, 18, 427-433.
- Petit, C., and Fournier, M., 2005. Present-day velocity and stress fields of the Amurian Plate from thin-shell finite-element modeling, *Geophysical J. International*, vol. 160, 357-369 pp.
- Pettijohn, F.G., Potter, P.D. and Siever, R., 1972. *Sand and Sandstone*. Springer, New York, NY.
- Piper DJW, Farre JA, Shor A ,1985. Late Quaternary slumps and debris flows on the Scotian slope. *Bull Geol Soc Am* 96: 1508-1517 pp.
- Romankevich, E.A., 1990. Biogeochemical problems of living matter of the present-day biosphere, in *Facets of Modern Biogeochemistry: Festschrift for E.T. Degens* (eds Ittekkot, V., Kempe, S., Michaelis, W. and Spitzzy, A.), Springer-Verlag, Berlin, 39-51 pp.
- Schrader HJ. 1971. Fecal pellets: role in sedimentation of pelagic diatoms. *Science* 174 : 55.
- S. H. Lee, J. J. Bahk and S. K. Chough, 2004. Late Quaternary sedimentation in the eastern continental margin of the Korean Peninsula. In: Clift P, KuhntW,Wang P, Hayes D (eds) *Continentocean interactions within east Asian marginal seas*, vol 149, *Geophysical monograph*. American Geophysical Union, Washington, DC, 205-233 pp.
- S. H. Lee, J. J. Bahk, H. J. Kim, K. E. Lee, H. T. Jou and B. C. Suk, 2010. Changes in the frequency, scale, and failing areas of latest Quaternary (<29.4 cal. ka B.P.) slope failures along the SW Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea), inferred from depositional characters of densely dated turbidite successions, *Marine and Geo-Marine Lett.*, vol. 30, 133-142 pp.

- S. H. Lee, S. K. Chough, G. C. Back, Y. B. Kim, B. S. Sung, 1999. Gradual downslope change in high-resolution acoustic characters and geometry of large-scale submarine debris lobes in Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), Korea. *Geo-Mar Lett* 19: 254-261 pp.
- S. H. Yoon, and S. K. Chough, 1995. Regional strike slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), *Geol. Soc. Am. Bull.*, 107, 83-97 pp.
- Simonsen R. 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2 : 9-71.
- S. K. Chough, H. J. Lee and S. H. Yoon, 2000. Marine geology of Korean seas. Elsevier, Amsterdam
- S. K. Chough, K. S. Jeong and Honza E., 1985. Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) basin, East Sea (Sea of Japan). *Mar. Geol.*, vol. 65, 113-125 pp.
- S. K. Chough, S. H. Lee, J. W. Kim, S. C. Park, D. G. Yoo, H. S. Han, H. S. Yoon, S. B. Oh, Y. B. Kim and G. G. Back, 1997. Chirp (2-7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geosci J* 1: 143-153 pp.
- Sakai, T. 1939. *Ibid.* IV. Brachygnatha, Brachyrhyncha. *Ibid.*, pp. 365- 741, pls. 42- 111.
- 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.
- Self, R.P., 1977. Longshore variation in beach sands, Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 47, 1437-1443 pp.

- Senjyu, T., M. Matsuyama, and N. Matsubara, 1999: Interannual and decadal sea-level variations along the Japanese coast. *Journal of Oceanography*, 55, 619--633.
- Seung, Y. H. (2003). Significance of shallow bottom friction in the dynamics of the Tsushima Current. *Journal of Oceanography*, 59, 113-118.
- 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.
- Tada R, Irino T, Koizumi I, 1999. Land-ocean linkages over orbital and millenia timescales recorder in late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography* 14: 236-247 pp.
- Tamaki, K., K. Suyehiro, J. Allan, J. C. Ingle, and K. A. Pisciotto, 1992. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Result*, 127/128(part 2), 1333-1348 pp.
- Tanaka N., Takeda Y. and Tsunogai S., 1983. Biological effect on removal of ^{234}Th , ^{210}Po from surface water in Funka Bay. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 1783-1790.
- Taylor F, A McMinn and D Franklin. 1997. Distribution of diatoms in surface sediments of Prydz Bay, Antarctica. *Marine Micropaleontology* 32 : 209-229.
- 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.
- Tyson, R.V., 1995. *Sedimentary Organic Matter*. Chapman & Hall, London, 615 pp.
- Visher, G.S., 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 39, 1074-1106 pp.

- 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.
- Weiss RF. 1970, The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research* 17, 721-735.
- Werner D. 1977. *The Biology of Diatoms*. pp.498. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Yeakel, L.S., 1962. Tuscarora, Juintina and Bald Eagle paleocurrents and paleogeography in the central Appalachians. *Geological Society of American Bulletin*. v. 73, 1515-1540 pp.
- Yun, J. -Y., Magaard, L., Kim, K., Shin, C.-W., Kim, C., and Byun, S. -K. (2004). Spatial and temporal variability of the North Korean Cold Water leading to the near-bottom cold water intrusion in Korea Strait. *Progress in Oceanography*. 60, 99-131.