

# 선박평형수 위해도 평가기술 개발연구: 서해항만

## Development of Risk Assessment Technology of Ship's ballast Water: Port in Yellow Sea



2012. 2



### 주 의

1. 이 보고서는 한국해양연구원에서 수행한 기관고유사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양연구원에서 수행한 기관고유사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.



# 선박평형수 위해도 평가기술 개발연구: 서해항만

Development of Risk Assessment Technology  
of Ship's ballast Water: Port in Yellow Sea

2012. 2



# 제 출 문

## 한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “선박평형수 위해도 평가기술 개발연구: 서해항만” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2012. 2.

총괄연구책임자 : 신경순

세부과제책임자 : 강정훈, 장민철, 최혁진

참 여 연 구 원 : 강정훈, 권오윤, 김은찬, 백승호,  
오정환, 오정희, 이승국, 이우진,  
장민철, 장풍국, 정한식, 지상훈,  
최혁진, 최현우, 황옥명, 현봉길

위탁연구기관 : 군산대학교 해양개발연구소  
박종규, 김응권, 박형준, 최현철

위탁연구기관 : 전남대학교 산학협력단  
서호영, 서민호, 황용현

위탁연구기관 : (주)인더씨코리아  
김사홍, 이종락, 김용태, 김학철



# 요 약 문

## I. 제 목

선박평형수 위해도 평가기술 개발연구: 서해항만

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 필요성

선박은 전 세계 물동량의 80% 이상을 수송하면서, 연간 수십억 톤의 선박평형수를 이송하게 되어 7,000종 이상의 미생물, 식물 및 동물들을 옮기는 것으로 알려져 있다. 더불어 선박의 크기와 이동속도가 급속도로 증가하면서 선박평형수의 이송 양과 빈도가 최근 더욱 증가하게 되었다. 항만에 배출되는 선박평형수에는 생물 지리학적 구역이 전혀 다른 생물들이 포함되어 있는 경우가 많으며, 많은 양의 평형수가 빈번하게 배출됨으로써 상대국 항만 및 인접 연안역의 해양생태계를 교란시키고 있고, 그 정도가 매우 심한 상태이다. 환경적인 측면뿐만 아니라 연안에서의 수산물 어획 및 상업적 활동 혹은 자원에 큰 영향을 미쳐 미국에서만 해마다 미화약 1,000억불 이상의 경제피해가 외래 생물종에 의해 유발되는 것으로 추정되고 있다. 이 문제를 직시한 국제해사기구(ISA)는 “선박의 선박평형수와 침전물의 통제 및 관리를 위한 국제협약을 2004년 2월에 채택하여 2009년에 강제 적용되도록 하였다. 본 협약에서는 상대국에 배출될 선박평형수 내 생물 농도 기준을 한층 강화하였다. 위 기준을 성실히 수행할 수 있도록 14개의 지침서가 포함되어 있으며, 선박평형수의 직접적 처리에 관한 내용인 지침서 [G2(선박평형수 채집 지침서), G8(선박평형수 관리시스템의 승인 지침서), G9(활성물질을 이용한 선박평형수 관리 시스템 승인 절차)]와 처리의 면제를 고려한 위해도 평가[G7(규칙 A-4를 근거로 한 위해도 평가 지침서)]가 대표적이다. 선박평형수 관리 협약은 2009년에 협약 발효와 함께 선박평형수 처리를 의무화 하며, 항만 및 선박평형수 관리 계획을 수립하여 항만 관리 시스템 구축을 하도록 규정하고 있다. 이를 토대로 항만환경 및 생태계 감시, 외래 생물종 현황 파악, 항만 간 선박평형수 처리 면제 프로그램 개발 및 적용이 이루어져야 한다.

### 2. 연구개발의 목적

본 연구개발의 목적은 항만 환경 및 생태계를 무분별한 생물유입으로부터 보호하고 IMO 가입 국가들이 따를 수 있는 생태과학적인 관리를 위한 항만 환경 위해도 평가 프로그램 개발에 있다. 이를 위해 본 연구사업인 “항만 환경위해도 평가기술 개발연구”를 통해 우리나라 주요 항만 및 인접해역에 적합한 선박평형수 관리 시스템 구축작업을 수행한다. 시스템의 운용핵심은 위해도 평가방법의 개발이며, 필요한 자료는 선박평형수의 배출 빈도와 양, 항만 및 선박평형수 탱크 내의 생물 및 환경요인의 계절적 변화 값 그리고 위해종 목록이다. 특히 생물지리적

구역이 다른 생물이 이송되어 새로운 환경에 노출되었을 경우 살아남을 수 있는 가능성에 기여하는 물리, 화학 및 생물학적 요인들이 평가프로그램의 핵심적 자료이다.

핵심자료를 얻기 위해 항만에서 필요항목에 대한 계절조사 및 선박평형수 탱크를 조사하고, 항만 별 선박평형수의 유입 및 유출량을 조사한다. 취득된 자료들은 데이터 관리시스템 하에서 지속적으로 관리되며, 웹 서버에서 유기적으로 연결되어 최종적으로 위해도 평가 프로그램에서 아국 항만에 접근하는 선박의 위해성을 파악할 수 있다. 본 기술을 개발함으로써 2009년에 강제 적용되는 협약을 성실히 이행할 수 있고, 외국 선박의 무분별한 선박평형수 배출로부터 우리나라 연안역 환경을 보호할 수 있으며, 나아가 외국생태계 교란의 원인평가 판정 시 과학적 자료를 토대로 유리하고도 명확한 입장을 취할 수 있을 것으로 기대된다.

### Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 연구기간

2011년 1월 1일 ~ 2011년 12월 31일

#### 2. 연구개발의 내용 및 범위

연구의 수행내용	구체적인 수행범위
○ 항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조사지역 : 인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항 및 주변해역</li> <li>- 계절별(2회) 조사를 수행하며, 환경요인의 채집 및 분석은 부유생물 조사와 동시에 수행               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 부유생물: 편모류(net size), 규조류, 중형동물플랑크톤, 무척추동물의 유생류</li> <li>· 환경요인: 수온, 염분, 영양염, 투명도, 용존산소, 화학적 산소요구량(COD), 총 부유물질(TSS), pH</li> </ul> </li> <li>- 식물, 동물플랑크톤 조사 및 종 목록작성</li> <li>- 항만해역의 저서무척추동물 및 외래유입종 조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대산항내 저서무척추동물 조사 및 분석</li> <li>· 저서 무척추동물 종 목록작성 및 외래유입종 파악</li> <li>· Collector Plate를 이용하여 조사</li> </ul> </li> </ul>
○ 선박 평형수 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항만에 입, 출항하는 정기항로운항 선박의 평형수 탱크 내 생물 및 환경요인 조사.</li> <li>- 선박 평형수 내 생물의 주변수에 대한 적응 능력 시험.</li> </ul>
○ 항만 환경 유사도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 황해 내 한-중 항만환경 자료 수집 및 교환(한국 4개 항, 중국 5개 항)</li> <li>- 황해 내 한-중 항만 간 항만환경 유사도 예비 평가(6가지 환경항목 이용)</li> <li>- 한·중 서해지역 항만에 대한 위해도평가 적용</li> </ul>

## IV. 연구개발결과

### 가. 항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링

#### (1) 항만과 주변해역의 환경 모니터링

항만 조사에서 여름철은 평균 23.7°C, 겨울철은 10.4°C을 나타내었고, 염분은 여름철 21.8, 겨울철은 29.5를 나타내어 수온과 염분은 뚜렷한 계절적인 차이를 나타내었다. 용존 산소는 여름철에 6.38 mg L<sup>-1</sup>, 겨울철에는 8.90 mg L<sup>-1</sup>을 나타내었으며, 여름철은 표층과 저층의 값의 범위가 큰 반면 수층 혼합이 활발한 겨울철은 변화의 폭이 적었다. 여름철 영양염과 화학적 산소 요구량이 항만 내의 정점 간 변화가 크게 나타나 여름철 담수의 유입이 중요한 요인으로 작용하는 것으로 추정되며, 겨울철도 여름철보다는 범위가 작지만 항만 간 정점 간 차이가 크게 나타났다.

2011년 8월의 TSS 농도는 군산항이 조사기간 중 가장 높은 값을 나타냈고, 목포, 인천, 평택, 대산항 순으로 낮았다. 군산항은 농도가 가장 낮은 대산항과 비교하여 16배나 높은 TSS 값을 보였다. 11월 조사에서도 군산항에서 가장 높았고, 목포, 인천, 평택, 대산항 순으로 감소하였다. 그 농도도 군산항을 제외하면 큰 변화를 보이지 않았다. 8월의 Chl-a 농도는 대산, 군산, 인천, 평택, 목포 순으로 감소하였고, 가장 높은 대산항 농도는 가장 낮은 목포항보다 4배 이상 높았다. 11월에는 군산, 대산, 평택, 인천, 목포 순으로 감소하였고, 전체적으로 값의 차이는 많지 않았다.

#### (2) 항만과 주변해역의 생물 모니터링

##### (가) 식물플랑크톤

2011년 8월 조사에서 식물플랑크톤 현존량은 군산항에서 평균 917 cells mL<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 군산항을 제외하면 전 지역 모두 250 cells mL<sup>-1</sup> 미만으로 비슷하였다. 11월에도 군산항이 544 cells mL<sup>-1</sup>로 가장 높은 현존량을 나타냈고, 대산, 목포, 평택, 인천항 순으로 감소하였다. 가장 낮은 현존량을 보인 인천항은 군산항과 3배 정도 차이를 보였다. 전체 출현종수는 167종으로 규조류 95종(56.9%), 와편모류 32종(19.2%), 녹조류 27종(16.2%), 남조류 7종(4.2%), 침편모류 2종(1.2%), 규질편모류 2종(1.2%), 은편모류와 유글레나 각 1종(0.6%)이었다. 이중 유해종은 54종으로 규조류 31종, 와편모조류 16종, 남조류 4종, 침편모류 2종, 규질편모류 1종이었다. 유해종 중에서 적조유발종은 35종, 독소발생종은 19종으로 나타났다. 유해종은 목포항에서 34종으로 가장 많았으며, 큰 차이는 없지만 평택항(33종), 인천항(33종), 군산항(30종), 대산항(28종)의 순으로 감소하였다. 독이 있는 종은 규조류 *Pseudo-nitzschia*, 와편모류 *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Karenia*, *Karlodinium*, 남조류 *Anabaena*, *Microcystis*, *Oscillatoria*가 출현하였다. 이들 중에서 기억상실성 패독을 생산하는 *Pseudo-nitzschia* 속은 모든 항에서 출현하였고, 마비성 패독을 생산하는 *Alexandrium* sp.는 평택, 군산, 목포항에서 출현하였다. 설사성 패독을 생산하는 *Dinophysis acuminata*는 대산항, *Dinophysis acuta*는 인천항에서 출



현하였다. 용혈성 어류독과 신경성 패독을 생산하는 *Karenia* 속은 평택항과 목포항에서 출현하였다. 어류독 karlotoxins를 생산하는 *Karlodinium veneficum*은 모든 항에서 출현하였다. anatoxins를 가진 남조류 *Anabaena* sp.는 대산, 군산, 목포항에서 출현하였고, microcystin을 가진 *Microcystis*는 목포항에서만 출현하였다.

#### (나) 동물플랑크톤

본 연구는 국내 주요 무역항인 인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항을 대상으로 선박군형수에 의한 외래종 도입의 가능성을 파악하기 위한 기초조사의 일환으로 이들 항에 대한 동물플랑크톤 조사를 실시하였다. 동물플랑크톤 채집은 각 항의 내항에서 외항까지 5~6개의 정점을 대상으로 원추형 네트(망구 45cm, 망목 200 $\mu$ m)를 사용하여 2011년 8월, 12월에 수직 채집하였다. 본 연구기간동안 5개 조사항만에서 출현하는 요각류는 *Acartia hongii*, *A. hudsonica*, *A. erythraea*, *A. sinjiensis*, *A. steueri*, *A. ohtsukai*, *A. pacifica*, *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, *C. tenuiremis*, *C. dorsispinatus*, *Calanopia thompsoni*, *Corycaeus affinis*, *Labidocera euchaeta*, *Paracalanus parvus* s. l., *Parvocalanus crassirostris*, *Bestiolina coreana*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *P. marinus*, *Sinocalanus tenellus*, *Temora discaudata*, *T. forcipatus*, *T. spinicaudatus*, *Oithona similis*로 *A. hongii*를 제외하면 한국, 중국, 일본 연안 및 기수지역에서 흔히 발견되는 종이였으며, 선박군형수에 의하여 도입되었을 가능성이 있는 종은 출현하지 않았다. 국내 주요항만에 출현한 주요 우점종 중 8월에는 인천항에서는 *Parvocalanus crassirostris*, 평택항에서는 *Acartia hongii*, 대산항에서는 *A. hudsonica*가 군산항과 목포항에서는 *P. parvus* s. l.이 우점 출현을 하였다. 12월에는 인천항과 평택항, 목포항에서는 *P. parvus* s. l., 대산항에서 *Parvocalanus crassirostris*, 군산항에서는 *Acartia hongii*가 우점하였다. 각 항 사이의 동물플랑크톤 군집구조 유사성을 파악하기 위해 종 수준까지 동정된 요각류 자료를 토대로 집괴분석을 실시한 결과 8월에는 유사도 지수 65%를 기준으로 4개의 정점군으로 구분되었다. A 정점군은 군산항 하구언 입구 정점으로 구분되었으며, B 정점군은 대산항, C 정점군은 인천항, 평택항으로 구분되었으며, D 정점군은 목포항과 군산항 나머지 정점으로 구분되었다. 12월에는 유사도 지수 70%를 기준으로 평택 항내 정점 2, 3을 포함하는 A 정점군과 이외의 항만 정점군을 포함하는 B정점군으로 구분되었다. 이와 같은 결과는 국내 항만의 지리적인 해양물리·화학적인 환경요인의 유사성이 각 항만의 동물플랑크톤 군집구조에 영향을 미치고 있음을 의미한다.

#### (다) 저서무척추동물

대산항 항만 안벽에 서식하는 저서무척추동물을 조사한 결과 총 65종이 확인되었다. 분류군별로 보면 해면동물 7종, 자포동물 7종, 태형동물 7종, 연체동물 12종, 환형동물 7종, 절지동물(갑각류) 12종, 완족동물 2종, 극피동물 5종, 척삭동물 6종 등으로 구성된다. 분류군별 종조성비를 보면 연체동물과 절지동물 갑각류가 18.5%로 가장 높았고, 자포동물, 환형동물, 태형동물,

해면동물이 10.8%로 다음을 차지하였다. 그 밖에 척삭동물은 9.2%, 극피동물은 7.7%였으며, 완족동물이 3.1%를 차지하였다. 이상의 종조성비는 일반적인 서해안 자연조건의 조하대 암반지대에서 나타나는 조성비와 많이 다른 결과이다. 대산항 부두안벽에 서식하는 저서무척추동물의 군집구조를 살펴보면, 항만 내벽의 수심은 약 7.5m이며, 이후부터 사석으로 이루어진 평탄지형이 이어진다. 따라서 대부분의 무척추동물은 수심 7.5m까지 형성된 직벽에 서식하고 있었다. 수면근처에는 자생종인 *Balanus albicostatus*와 *Crassostrea gigas*가 전체 군집의 90%를 차지하였으며, 고랑따개비는 수심 1m 이상에서는 관찰되지 않았다. 수면~수심 3m 범위에서는 굴이 평균피도 85%/m<sup>2</sup>로 우점하였으며 굴껍질 위로 *Schizoporella unicornis*가 도포하고 있었다. 굴과 함께 수심 1m 이내에는 *Serpula vermicularis*도 우점하였다. 수심 6~7m에는 *Terebratalia* sp.가 가장 우점하여 피도 약 20~60%/m<sup>2</sup>의 범위를 보이고 있었다. 8m 수심의 평탄지형의 사석에는 판명계류와 이동성인 극피동물이 낮은 빈도로 관찰되었다. 이상과 같이 대산항의 군집구조는 매우 단순한 경향을 나타냈다. 우점종의 피도를 보면, *Crassostrea gigas*가 전체의 약 40% 수준으로 가장 높게 나타났는데, 7월시기 평균 38.3%/m<sup>2</sup>이었고, 11월 시기에는 다소 증가하여 평균 42.5%였다. *Terebratalia* sp.는 6~8m 수심에서 우점하였으며 여름시기 평균 18.8%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였고, 11월에는 다소 감소한 15.5%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였다. *Balanus albicostatus*는 7월에 평균 12.8%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였고, 11월에 평균 10.5%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였는데 실제로는 큰 변동이 없었다. 생물량에 있어서는 피도의 결과와 유사하지만 보다 더 분명한 우점양상을 나타냈는데, *Crassostrea gigas*가 전체의 생물량의 78.5% 차지하였다. 2011년 대산항에 설치된 부착판에서는 총 6종의 무척추동물이 부착하였는데, 각각은 *Crassostrea gigas*, Sabellidae sp., *Tricellaria occidentalis*, *Balanus albicostatus*, *Megabalanus rosa* 등이다. 이와 같은 결과는 2010년에 부착판 실험에서 나타난 종들에 비해 매우 적은 종수인데, 이는 부착판 설치시기와 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타났다. 부착판에 부착된 생물 중에는 *Crassostrea gigas*가 97.5%로 우점하는 양상이었다. 2011년도와 2010년도에서 나타난 부착판 생물들 가운데 대표 우점종들의 시기별 출현 양상을 살펴보면 다음과 같다. *Schizoporella unicornis*는 이른 봄에 부착되어 다른 생물이 부착되기 전 부착판을 점유하여 급격히 증가하는 양상을 보이고 있으며, 가을 시기 이전에 대폭 감소하는 것으로 나타났다. *Crassostrea gigas*는 다른 종들보다 늦은 여름시기 이후에 가입되어 지속적으로 성장하다가 다음해 봄시기 이전에 탈락하는 것으로 나타났다. *Megabalanus rosa*도 시기적으로 늦게 부착되는 편인데, 여름시기에 부착되어 가을까지 성장하는 것으로 나타났는데, 아마도 겨울시기를 지나면서 많은 부분 탈락하는 것으로 추정된다. 대산항에서 출현한 저서무척추동물 가운데 외래유입종은 *Halichondria bowerbanki*, *Tubularia mesembryanthemum*, *Ciona intestinalis*, *Schizoporella unicornis*, *Tricellaria occidentalis*, *Balanus amphitrite* 등 6종인 것으로 나타났으며 전체 출현종의 약 9.2% 수준이었다. 이들 가운데 2010년 부착판에 나타났던 *Mytilus galloprovincialis*는 확인되지 않았다. 한편 *Watersipora subtorquata*와 *Bougainvillia ramosa*는 외래유입종일 가능성이 있는 종들로서 검토 중에 있다. 외래유입종의 부착 경향성을 보면, 빈 공간에 초기 기회적으로

우점하는 양상을 보이고 있으며, 시간이 지남에 따라 자생종에 의해 점유도가 낮아지는 것으로 나타났다. 항만 내 외래유입종과 자생종의 생물량 비율은 약 4 : 96 수준으로 자생종이 전체 생물량의 95.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 결론적으로 이와 같이 대산항에 외래유입종이 적었던 이유는 1)대산항이 완공 된지 얼마 되지 않아 대형 외국 선박의 이용률이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 2)또한 서해안은 조차가 크기 때문에 낮은 수심의 내벽이 장기간 노출되게 되며, 이로 인해 따개비등과 같은 낮은 수심의 생물들이 생존하기 어려운 환경인 것도 큰 이유 가운데 하나이다. 3)여기에 겨울시기 서해안 표층의 낮은 수온 역시 외래생물이 적응하기 어려운 이유인 것으로 판단된다.

## 나. 선박 평형수 모니터링

우리나라 서해 주요항인 대산항, 군산항, 평택항에서 선박 평형수의 환경요인과 부유생물상을 조사하였다. 총 14척의 선박을 대상으로 평형수 조사를 시도하였으나 선박 평형수의 부재와 선박의 구조적인 문제 등으로 이 가운데 17척에서 평형수 시료를 채집하였다. 조사한 선박의 종류는 Vehicle carrier, Cargo, Tanker선 이었고, 선박 평형수 취수지역은 태평양 외양수, 동중국해 외양수, 중국 칭다오 연안 등 이었다.

수온과 염분은 계절적인 영향을 잘 나타낸 반면, 다른 일반 환경 요인과 미생물은 선박마다의 차이를 보였다. 영양염은 기수역 및 연안역에서 평형수를 채수한 선박에서 높게 나타났다. 선박평형수의 수명이 가장 길었던 ASIAN SUN 호는 평형수 내의 용존 산소가 고갈되었으며, 외해에서 평형수가 채워져 영양염 및 염록소-a 농도도 낮은 값을 보였다. 수명이 짧은 평형수 내에 영양염 농도는 높았지만 식물플랑크톤의 생체량은 낮았다. 이는 가을철 수층 혼합으로 인해 수층 내의 영양염은 증가한 반면, 식물플랑크톤 성장은 빛에 의해 제한되었기 때문이다.

대산항과 군산항에서 조사되어진 3척의 선박평형수 내 식물플랑크톤 군집 구성과 함께 독성 유무와 적조 유발 가능종을 선별해서 알아보았다. 선박평형수 보유기간을 보면, STAR JUVENTAS(S. JUVENTAS)와 SUNRISE WISTERIA(S. WISTERIA) 는 각각 2일과 3일로 짧은 반면, ASIN SUN(A. SUN)은 479일로 매우 길었다. 평형수 내 식물플랑크톤 출현종수 및 현존량은 보유기간이 길었던 ASIN SUN에서 낮았고, 상대적으로 평형수 보유기간이 가장 짧았던 S. JUVENTAS 와 S. WISTERIA에서 높았다. 조사되어진 선박의 평형수내 식물플랑크톤 현존량을 확인한 결과 전반적으로 낮았는데, 이는 매우 긴 보유 기간(A. SUN : 479일)과 원양에서 평형수를 교환(S. JUVENTAS, S. WISTERIA)했기 때문으로 판단된다. A. SUN 과 S. JUVENTAS에서는 *Chaetoceros* 속 및 *Skeletonema* 속 에 속하는 종들이 우점한 반면, S. WISTERIA에서는 담수에서 출현하는 미동정 남조류 (Unidentified Cyanophyceae) 가 우점을 하였다. S. JUVENTAS와 S. WISTERIA에서 *Pseudo-nitzschia* sp., *Alexandrium* sp., *Dinophysis caudata* 와 같은 유독 조류 또한 발견되었다. 요약 정리하면, 원양에서의 평형

수 교환만으로 외래종 유입을 완벽히 차단하기는 어렵다는 사실과 함께 우리나라 항구에서 유해생물종의 대발생이 일어날 가능성을 간접적으로 보여준다고 할 수 있다.

3척의 선박 평형수 내에서 동물플랑크톤은 총 37종류가 출현하였고, 평형수 취수 지역에 따라 3~33종류로 분류군의 수에서 차이를 보였다. 조사된 선박의 평형수에서 출현한 대부분의 동물플랑크톤은 우리나라 연안이나 외해역에서도 자주 출현하는 종들이었다. 동물플랑크톤의 출현종에서 기존 문헌을 참고하여 선별한 잠재적인 위협종에는 이동능력을 보유한 요각류 *Acartia omorii*와 강한 포식능력을 가진 Hydromedusae가 출현하였다.

*Shui Shan* (2)선박평형수내 유입된 식물플랑크톤 성장은 어떤 수온 조건에서도 선박평형수 실험구에서는 성공적인 재성장은 이루어지지 않았으나, 주변수에 영양염을 첨가한 F/2 실험구와 영양염을 첨가하지 않은 주변수 실험구에서 식물플랑크톤의 생물활성능이 현저하게 나타났고, 그들은 *S. costatum* 와 *T. pseudonana* 로 구성되었다. 염분 구배실험에서 담수종은 0-5 psu에서, 기수종은 10-20 psu, 해수종은 20-30 psu에서 각각 적응하여 염분구배에 따른 우점종이 뚜렷히 구분되었다. 그중, *S.costatum*는 넓은 범위의 염분농도(10-30 psu)에 적응가능하였고, 이 생물의 종특이적인 생물활성능력은 상대국해역에서 성공적으로 정착가능하다고 판단된다.

#### 다. 항만 환경 유사도 평가

황해 내에 위치한 중국과 우리나라 항만들 간에 일 대 일로 평가 할 수 있는 환경유사도 절대평가 알고리즘과 처리 프로그램을 개발하였다(2009). 이러한 프로그램을 이용하여 중국 5개 항만(Dalian, Tianjin, Yantai, Qingdao, Lianyungang)과 한국 4개 항만(Incheon, Daesan, Gunsan, Mokpo)에 대한 6개 해양환경 항목(수온, 염분, DO, pH, DIN, DIP)의 유사도 분석을 수행하였다. 이러한 예비 평가 결과에 의하면 한-중 항만 간에 수온은 유사성이 있는 반면 다른 5가지 항목은 유사성이 없는 것으로 나타났다. 하지만 이러한 평가에 사용한 환경 자료는 한-중 항만 간 환경 관측 연도가 일치하지 않아 평가 결과의 신뢰성이 부족하였다. 따라서 한-중 항만 간 환경 관측 시기가 일치된 최근 10년 간 자료의 수집 및 교환을 통해 유사성의 재평가가 필요함을 제시하였다.

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 분류군별 출현종 리스트 작성
- 매월 조사를 통한 항만 환경요인 범위 파악
- 외래종 유입여부 판단을 위한 정보 구성
- 연안 해역의 생물다양성의 지속적 보전을 위한 지원 및 해양환경 보호
- 국가해양생물자원관리에 필요한 기본 자료 제공
- 항만 환경 분석을 위한 기초자료로 활용
- 유해생물종 및 외래도입종의 기원 추적에 활용
- 항만환경의 절대적 평가 알고리즘 및 프로그램의 국내외적인 검증
- 항만환경의 유사도 절대평가 방법의 개발을 통해 황해역에 위치한 한-중 양국간 항만들의 유사도 평가에 적용 가능함
- 황해 내 한-중 항만 간 환경 관측 시기가 일치된 최근 환경 자료의 교환을 통해 신뢰성 있는 유사도 평가가 수행될 계획임
- 정부의 G7(면제를 위한 위해도 평가) 지침서 국내 수용 지원
- 정부의 G13(전염병 등 비상시 추가조치) 지침서 국내 수용 지원
- 해운업계의 선박평형수 처리 면제 신청을 위한 위해도 평가 기술 연구 도출

# S U M M A R Y

## I. Title

Development of Risk Assessment Technology of Ship's Ballast Water : Ports in Yellow Sea

## II. Necessities and objectives of the study

### 1. Necessities of the study

Ships transport over 80% of goods worldwide, and ship ballast water is a known vector for the movement of small organisms, and larger plants, and animals beyond their biogeographical ranges. The speed and size of ships have increased rapidly, resulting in increased frequency and volume of ballast water discharges. Discharged ballast water contains many foreign, too often invasive aquatic organisms and causes harmful effects on the ecosystem in the receiving water. Ballast water also negatively affects fisheries catchment, commercial activity, and marine resources, and in the United States, it is a source of over one thousand billion dollars in economic loss. The International Maritime Organization(IMO) recognized this problem and adopted the 'International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments'(hereafter BW convention) in February 2004. The BW convention(ballast water convention) intensified ballast water performance standards that will come into force in 2009. Fourteen guidelines were established to support the successful implementation of the BW convention. Representative guidelines are: the guideline for ballast water sampling(G2), guidelines for approval of ballast water management systems(G8), procedure for approval of ballast water management(BWM)systems that make use of active substances to directly treat the ballast water(G9), and guidelines for risk assessment under regulation(G7) for the consideration of exemptions. The BW convention stresses obligatory ballast water treatment and implementation of BW management systems after it comes into force in 2009. In line with this, a program to manage ballast water should be developed on the basis of port environmental and biological monitoring, the occurrence of foreign species, and the granting of ballast water treatment exemptions to ports.

## 2. Objectives of the study

This project was designed to develop a port risk assessment program which is suitable for protection of port environmental and biological environment from introduced foreign organisms and can provide a proper scientific decision for the commercial vessels to discharge the ballast water into receiving waters or not to.

The current project, 'Development of port environmental risk assessment technology', was launched in 2007 to conduct risk assessment program at selected major ports based on the quantity of trade goods in Korea. The development of risk assessment programs that are suitable for actual ports and adjacent waters in Korea is crucial to the risk management of ballast water. The factors affecting the implementation of BWM systems are: frequency and volume of ballast water discharge, port and ballast water baseline surveys on a seasonal basis, and lists of harmful species. The data, which consist of physico-chemical and biological factors required for the establishment of foreign species, are consistently controlled through a database. Through a web-based data management system, risk assessment is available for decision-making regarding the discharge of ballast water of ships entering Korean national waters. The risk management program makes it possible for Korea to comply with the BW convention in 2009, to protect our marine environment from misguided ballast water discharge by foreign ships, and to provide scientific evidence when a ballast water conflict occurs.

## III. Contents and scope of the study

### 1. Research period

January 1, 2011 ~ December 31, 2011

### 2. Contents and scope of the study

Contents	Scopes
○ Environmental and biological monitoring in the ports and adjacent waters	- Study areas : Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, Mokpo ports and adjacent waters - Seasonal investigation of environmental parameters and plankton(August, December) · Surveyed organisms of plankton : flagellates, diatoms, mesozooplankton, invertebrates

Contents	Scopes
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Surveyed items of environmental parameters : Water temperature, Salinity, Nutrients, Transparency, Dissolved oxygen, · Chemical oxygen demand, Total suspended solids, pH, chlorophyll-<i>a</i></li> <li>- List up of phytoplankton and zooplankton species occurred in ports</li> <li>- Survey of benthic invertebrates and introduced species in ports</li> <li>· Survey and analysis benthic invertebrates in Daesan port</li> <li>· List up of benthic invertebrates occurred and understanding of introduced species in ports</li> <li>· Survey using collector plate</li> </ul>
○ Ballastwater monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analysis of the ballast water environment and its planktonic organism according to the type of ship and sea routes</li> <li>- Adaptability test of organisms in the ballast water to the surrounding environment of ship</li> </ul>
○ Port environmental similarity assessment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To collect and exchange the ports environmental data between Korea and China located in the Yellow Sea (Korea 4 ports and China 5 ports)</li> <li>- To evaluate preliminary environmental similarity between Korea and China located in the Yellow Sea using seawater temperature, salinity, DO, pH, DIN and DIP</li> <li>- Application of risk assessment between Korea and China for ports in Yellow Sea</li> </ul>

## IV. Results of the Project

### 1. Environmental and biological monitoring in the ports and adjacent waters

#### (1) Environments monitoring of the ports and adjacent waters

Temperature in the survey of the ports fluctuated seasonally from 10.4°C in December to 23.7°C in August in the South Sea. Salinity and dissolved oxygen also showed seasonal variation with low values in summer and high values in winter. In summer, the broad range of nutrients and chemical oxygen demand may be caused by the increasing inflow of freshwater due to the summer monsoon in the ports, especially the ports of Gunsan and Mokpo where it located at the estuary of river. However, these concentration also displayed wide ranges among the ports in South Sea and the stations of port in summer and in winter.



TSS concentrations were the highest at Gunsan Port and decreased in the order of Mokpo, Incheon, and Daesan Port in August, 2011. The mean concentration at Gunsan Port was 16 times higher than that at Daesan port. Also in November, Gunsan Port showed the highest mean concentration, which decreased in the order of Mokpo, incheon, and Daesan Port. Moreover, the overall level of the TSS concentrations were similar with the results in August, except in Gunsan Port. In August chl-a concentrations were distributed within the normal range of variation and decreased in the order of Daesan, Gunsan, Incheon, Pyeongtaek, and Mokpo Port. The highest Daesan Port displayed four-fold higher mean concentration than the lowest Mokpo Port. In November chl-a concentrations were similar among the ports but decreased in the order of Gunsan, Daesan, Pyeongtaek, Incheon, and Mokpo Port

## (2) Biological monitoring of the ports and adjacent waters

### A. Phytoplankton of ports in Yellow Sea

The highest cell abundances of phytoplankton were observed at Gunsan Port in August, attaining 917 cells mL<sup>-1</sup> which was about 5 times higher than those in other ports. In the other ports, except Gunsan port, cell abundances were similar carrying around 250 cells mL<sup>-1</sup>. Also in November, Gunsan Port harbored the highest cell abundances, which decreased in the order of Daesan, Mokpo, Pyeongtaek, and incheon Port. Phytoplankton abundances between the highest Gunsan Port and the lowest Incheon Port showed 3-fold differences. A total of 167 species were observed in this research of 2011; 95 diatoms (56.9%), 32 dinoflagellates (19.2%), 27 Chlorophyceae (16.2%), 7 bluegreen algae (4.2%), 2 Raphidophyceae and 2 Chrysophyceae (1.2%), and 1 Cryptophyceae and 1 Euglenophyceae (0.6%). Among them 54 species was accounted to be potentially risky species, which was composed of 31 diatoms, 16 dinoflagellates, 4 bluegreen algae, 2 Raphidophyceae and 1 Chrysophyceae. Out of 54, 35 were assigned to red-tide forming species and 19, toxic species. The potentially risky species observed at Mokpo Port was 34, 33 at Icheon and Pyeongtaek Port, 30 Gunsan Port, and 28 Daesan Port, The genera known to be toxic were diatom, *Pseudo-nitzschia*, dinoflagellates *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Karenia*, and *Karlodinium*, and bluegreen algae, *Anabaena*, *Microcystis*, and *Oscillatoria*. Several species belonging to genus *Pseudo-nitzschia* which is known to be responsible for ammesic shellfish poisoning (ASP) were observed at all ports. The dinoflagellates genus *Alexandrium* producing PSP (Paralytic Shellfish Poisoning) toxins appeared at Pyeongtaek, Gunsan and Mokpo Port. *Dinophysis acuminata* attributable to DSP (Diarrhetic Shellfish poisoning) toxification were observed at Daesan Ports. The genus *Karenia* known to be

producing hemolytic toxins and responsible for neurotoxic shellfish poisoning (NSP) were discovered at Pyeongtaek and Mokpo Port. *Karlodinium veneficum* carrying ichthyotoxic hemolysins, karlotoxins, was observed at all ports. In addition, bluegreen algae *Anabaena* sp. producing anatoxins was observed at Daesan, Gunsan, and Mokpo Ports and *Microcystis* carrying microcystin was detected only in Mokpo Port.

#### B. Zooplankton of ports in Yellow Sea

This study was done to estimate a possibility of introduction of alien zooplankton species in the major trade ports, Incheon, Pyeongtag, Daesan, Gunsan, Mokpo ports located in the Korean western regions. Zooplankton were sampled in 5~6 stations of each port using a conical net (mouth diameter 45cm; mesh size 200 $\mu$ m) by vertically towing on August and December, 2011. During this study the following species were occurred: *Acartia hongii*, *A. hudsonica*, *A. erythraea*, *A. sinjiensis*, *A. steueri*, *A. ohtsukai*, *A. pacifica*, *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, *C. tenuiremis*, *C. dorsispinatus*, *Calanopia thompsoni*, *Corycaeus affinis*, *Labidocera euchaeta*, *Paracalanus parvus* s. l., *Parvocalanus crassirostris*, *Bestiolina coreana*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *P. marinus*, *Sinocalanus tenellus*, *Temora discaudata*, *T. forcipatus*, *T. spinicaudatus*, *Oithona similis*. These species were commonly founded in the brackish/coastal waters of Korea, China and Japan except for *A. hongii* and there are no species showing a possibility introduced by a ballast water. On the other hand, on August *Parvocalanus crassirostris* were predominant in Incheon ports, *A. hongii* in Pyeongtag port, *A. hudsonica* in Daesan port, and *P. parvus* s. l. in Gunsan, Mokpo ports. On December *P. parvus* s. l. were dominantly occurred in Incheon, Pyeongtag, and Mokpo ports. *Parvocalanus crassirostris* were predominant in Daesan port and *A. hongii* in Gunsan port. Cluster analysis based on copepod species showed that on August inner stations of Gunsan port, Daesan port, Incheon-Pyeongtag ports comprised each clade and on December inner stations of Pyeongtag port, Incheon-Mokpo ports did each clade. The fact implies that zooplankton community in Korean western ports may be affected by geographical similarities of marine physiochemical environmental factors.

#### C. Benthic invertebrates of ports in Yellow Sea

A total of 65 invertebrates were found from Daesan port in this investigation. They are consist of 7 poriferans, 7 cnidarians, 7 bryozoans, 12 mollusks, 12 crustaceans, 2 brachiopods, 5 echinoderms, and 6 chordates. The most dominant benthic invertebrate was *Crassostrea gigas*, and this species commonly possessed the most part of community with a mean coverage of about 40%. Secondary dominant species were two terebratalian

brachiopods which have been reported as new to Korea in the previous report. The balanids were also dominant at upper part of pier wall. However *Ciona intestinalis*, mainly inhabiting the southern Sea of Korea, was very rare and *Mytilus galloprovincialis* was not found in this survey at Daesan port. Seasonal changes of the community structure were not observed within the dominant species. In the collector plates, only 6 species were found from Daesan port. They are *Crassostrea gigas*, Sabellidae sp., *Tricellaria occidentalis*, *Balanus albicostatus*, *Megabalanus rosa*. Of these, *Crassostrea gigas* was the most dominant species with a coverage of over 95%. The plate biomass was lower than that of the last year. The reason for low biomass was that the plates set in the late time. Settlement patterns of the plates are follows: *Crassostrea gigas* settled down in summer season and continuously increased to next winter season. *Megabalanus rosa* were observed after the summer season. Six introduced species, *Halichondria bowerbanki*, *Tubularia mesembryanthemum*, *Ciona intestinalis*, *Schizoporella unicornis*, *Tricellaria occidentalis*, *Balanus amphitrite* were discovered from the port, of which 2 species, *Balanus amphitrite*, *Ciona intestinalis* were accounted to be potential, almost harmful to native condition, risky species. *Halichondria bowerbanki* is considered to be their early stage of introduction. The biomass ratio of the native to invasive species resulted 95.8% at Daesan port.

## 2. Ballastwater monitorin

The environmental factors of ships' ballast water and planktonic organisms they contained were investigated at three major ports in Yellow Sea. These were Daesan, Kusan and Pyeongtaek Port. Ballast water samples from three ships out of twenty four were only collected as many ships' ballast tanks were empty by the time of sampling and had structural problems to take samples. A kind of ship checked up was the Vehicle carrier, Cargo, and Tanker point-level. The intake area of ship's ballast water was this including the Pacific open sea, East China open sea, and Qingdao(China) coast.

Temperature and salinity were affected by seasonal variation, but the other environment parameter and microorganism come under the influence among ships. Ships ballasted on the costal areas in China was appeared to the low salinity and high concentration of nutrients. ASIAN SUN ship ballasted on the open sea in the Pacific Ocean showed the depletion of oxygen for the old age of ballast water during one year, and low concentration of nutrients and chlorophyll-*a* due to the ballasting in the open sea. Other ships ballasted on the near shore and the southern East China Sea showed high concentration of nutrient and low concentration of chlorophyll-*a* due to the seasonal

variation. In fall, nutrient supply to the upper layer, but phytoplankton growth limited by light due to the wind mixing.

We investigated the phytoplankton community and toxic algal species introduced from the ballast water for the three international commercial ships berthed at Daesan and Gunsan ports, Korea. The voyage duration was 2 and 3 days for *STAR JUVENTAS* (*S. JUVENTAS*) and *SUNRISE WISTERIA* (*S. WISTERIA*), respectively, whereas *ASIN SUN* (*A. SUN*) had a long duration time during 479 days compared to other ships. The number of species and phytoplankton standing crops in ballast water was higher for *SUNRISE WISTERIA* and *STAR JUVENTAS* than for *ASIN SUN*. The standing crops surveyed were generally low due to the longest duration time (*A. SUN* : 479 days) and open ocean exchange (*S. JUVENTAS*, *S. WISTERIA*). Dominant species of phytoplankton in the ballast water for *A. SUN* and *S. JUVENTAS* was genus *Chaetoceros* and *Skeletonema*, whereas, Unidentified Cyanophyceae was found in the ballast water for *S. WISTERIA* which species known to be fresh water species. The genera known to be toxic algae, *Pseudo-nitzschia* sp., *Alexandrium* sp., *Dinophysis caudata* also detected in ballast water for *S. JUVENTAS* and *S. WISTERIA*. Therefore, our results suggest that open ocean exchange might not be clearly protected the phytoplankton introduction from ballast water, and toxic algal blooms might be induced in ports, Korea.

During the study periods, the number of zooplankton taxa found from ships' ballast water was 37. The number of zooplankton taxa varied from 3 to 33 depending on the loading places where the ballast water were taken. Most zooplankton identified were commonly found species in the coast and off shore of Korea as most ships' ballast water were loaded from geographically neighboring countries around Asia. Among those identified species of zooplankton, potentially risky species appeared to be 2 species and groups : *Acartia omorii* (strong transfer ability), hydromedusae (strong predator).

In the laboratory study, although phytoplankton in ballast water treatment did not survive even in optimal temperature, the in vivo fluorescence of phytoplankton viability increased under the nutrient typical of shipside water and F/2 medium at 15°C and 20°C. The diatoms species such as *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira pseudonana* in ballast water were successfully regrown. On the salinity gradient experiments for Shui Shan (2) vessel, several freshwater species, brackish and marine species were successfully adapted. Of these, *S. costatum* was able to tolerate a wide range of salinities (10 to 30 psu) and its species-specific viability was suitable for colonization.

### **3. Port environmental similarity assessment**

In 2009, a new absolute evaluation algorithm and process program were developed to evaluate the pairwise port's environmental similarity for bilateral(Korea and China) ports located in the Yellow Sea. Using this new program, ports environmental similarity evaluation analysis was performed for China 5 ports (Dalian, Tianjin, Yantai, Qingdao, Lianyungang) and Korea 4 ports (Incheon, Daesan, Gunsan, Mokpo) with 6 marine environmental items (seawater temperature, salinity, DO, pH, DIN, DIP). According to the result of preliminary evaluation, there was no similarity for the environmental items except seawater temperature between bilateral ports. However, the reliability of this evaluation result was insufficient due to the difference of environment observed year between bilateral ports. Therefore, it is needed to reevaluate the similarity through collecting and exchanging recent 10 years data with the same observed time between bilateral ports.

## V. Application plans of the results of the study

- List up of taxonomical groups occurred
- Environmental range of Busan seaport
- Information construction for decision of foreign species
- Support and environmental protection to maintain the littoral biodiversity
- Provision of basic data to manage marine organism resources
- Use of basic data to analyze port environment
- Usage of genetic biomarkers for tracing the origin of harmful species and non-indigenous species after careful reviewing
- Domestic and abroad verification of port environmental absolute assessment algorithm and program
- Development of new assessment method for the absolute environmental similarity and its application to the several bilateral(Korea and China) ports located in the Yellow Sea
- It is expected to perform reliable similarity evaluation through the exchange of recent 10 years data with the same observed time between bilateral ports environment in Yellow Sea.
- The developed risk analysis program will be applicable
  - to assist national strategy for the IMO Guidelines for Risk Assessment(G7) under the BWM Convention
  - to assist national strategy for the IMO Guidelines for Additional Measures Regarding Ballast Water Management Including Emergency Situation(G13) under the BWM Convention
  - to develop a research project on risk assessment for granting exemptions of the ballast water management from shipping companies.



# Contents

Summary .....	11
Contents .....	21
List of Figures .....	24
List of Tables .....	27
<b>Chapter I. Introduction</b> .....	<b>29</b>
1. Necessities of the study .....	31
2. Objectives and contents of the study .....	50
<b>Chapter II. States of technical development in the home and foreign countries</b> .....	<b>55</b>
1. Trend of study in Korea .....	57
2. Trend of study in foreign countries .....	60
3. Current status of study .....	65
<b>Chapter III. Result of the study</b> .....	<b>67</b>
1. Environmental and biological monitoring in the ports and adjacent waters .....	69
2. Ballastwater monitoring .....	122
3. Port environmental similarity assessment .....	144
<b>Chapter IV. Achievements of objectives and contributions to the related area</b> .....	<b>155</b>
1. Achivements of objectives .....	157
2. Contributions to the related area .....	159
<b>Chapter V. Application plans of the results of the study</b> .....	<b>161</b>
<b>Chapter VI. References</b> .....	<b>165</b>
<b>Appendix</b> .....	<b>173</b>



# 목 차

요약문 .....	3
목차 .....	23
그림목차 .....	24
표목차 .....	27
<b>제1장 서론</b> .....	29
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	31
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용 .....	50
<b>제2장 국내외 기술개발 현황</b> .....	55
제 1 절 국내 연구동향 .....	57
제 2 절 국외 연구동향 .....	60
제 3 절 현재까지의 연구개발 동향 .....	65
<b>제3장 연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	67
제 1 절 항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링 .....	69
제 2 절 선박 평형수 모니터링 .....	122
제 3 절 항만 환경 유사도 분석 .....	144
<b>제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도</b> .....	155
제 1 절 목표 달성도 .....	157
제 2 절 대외 기여도 .....	159
<b>제5장 연구개발결과의 활용계획</b> .....	161
<b>제6장 참고문헌</b> .....	165
<b>부 록</b> .....	173

# List of Figures

Fig. 1.1.1. Environmental Harmful Materials due to Ship Operating. ....	31
Fig. 1.1.2. Schematic diagram showing the guidelines of IMO ballast water convention. ....	35
Fig. 1.1.3. Experimental procedure and conditions of land-based test. ....	38
Fig. 1.1.4. Experimental procedure and conditions of shipboard test. ....	39
Fig. 1.1.5. Procedures of active substances and type-approval of ballast water management system. ....	40
Fig. 1.1.6. Procedures for exemptions of ballast water management. ....	45
Fig. 2.2.1. GIS system of sunken ships. ....	60
Fig. 2.2.2. GloBallast GIS outputs showing the location and categories of relative overall risk(ROR) of source ports identified for the Port of Dalian. ....	61
Fig. 2.2.3. GloBallast GIS outputs showing the location and frequency of destination ports, recorded as the Next Port of Call in the Port of Dalian BWRFs. ....	61
Fig. 3.1.1. Map showing the stations around and inside the five major ports. ....	70
Fig. 3.1.2. Map showing the survey station at Daesan port. ....	74
Fig. 3.1.3. Specification of a collector plate. ....	75
Fig. 3.1.4. Formation of the collector plates. ....	76
Fig. 3.1.5. Procedure of the remove and replacement of collector lines. ....	76
Fig. 3.1.6. Treatment of the collector plates. ....	77
Fig. 3.1.7. Distribution of temperature, salinity, and dissolved oxygen at ports in South Sea in August and December 2011. ....	79
Fig. 3.1.8. Distribution of silicate, phosphate, total inorganic nitrogen (TIN), and chemical oxygen demand (COD) at ports in South Sea in August and December 2011. ....	81
Fig. 3.1.9. TSS concentrations at each station of the five ports in August, 2011. ....	82
Fig. 3.1.10. TSS concentrations at each station of the five ports in November, 2011. ....	83
Fig. 3.1.11. Chl-a concentrations at each station of the five ports in August, 2011. ....	84
Fig. 3.1.12. Chl-a concentrations at each station of the five ports in November, 2011. ....	85
Fig. 3.1.13. Cell abundances of phytoplankton at each station of the five ports in August, 2011. ....	86
Fig. 3.1.14. Cell abundances of phytoplankton at each station of the five ports in November, 2011. ....	87
Fig. 3.1.15. Diversity indices at each station of the five ports in August, 2011. ....	88
Fig. 3.1.16. Diversity indices at each station of the five ports in November, 2011. ....	89

Fig. 3.1.17. Species composition of phytoplankton community observed at the five ports in 2011. ....	94
Fig. 3.1.18. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	98
Fig. 3.1.19. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area. ....	99
Fig. 3.1.20. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	99
Fig. 3.1.21. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area. ....	100
Fig. 3.1.22. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	100
Fig. 3.1.23. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area. ....	101
Fig. 3.1.24. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	101
Fig. 3.1.25. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	102
Fig. 3.1.26. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	102
Fig. 3.1.27. Composition of dominant zooplankton in study area. ....	103
Fig. 3.1.28. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	108
Fig. 3.1.29. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	108
Fig. 3.1.30. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	109
Fig. 3.1.31. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	109
Fig. 3.1.32. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	110
Fig. 3.1.33. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area. ....	111
Fig. 3.1.34. Zoogeographical distribution of the <i>Parvocalanus crassirostris</i> . ....	112
Fig. 3.1.35. Number of species in each taxon. ....	113
Fig. 3.1.36. Ratio of species composition in each taxon. ....	114
Fig. 3.1.37. Schematic community structure by dominant invertebrates at Daesan port. ....	115
Fig. 3.1.38. Biomass and coverage of the dominant species at Daesan port. ....	116
Fig. 3.1.39. Invertebrates of the collector plates in Daesan port. ....	118
Fig. 3.1.40. Settlement pattern of the dominant species in the collector plates. ....	119
Fig. 3.1.41. The biomass ratio of native and introduce species at Daesan port. ....	121
Fig. 3.2.1. The sampling port of ballast water. ....	123
Fig. 3.2.2. Change of age of ballast water, number of species, abundance and relative abundance in ship's ballast water in 2011. ....	133

Fig. 3.2.3. Relative abundance (%) of dominant species of phytoplankton occurred in ballast water of vessels in 2011. ....	134
Fig. 3.2.4. Photographs of a predominant species of phytoplankton found in ballast water of vessels in 2011(a)ASIAN SUN, b) STAR JUVENTAS, c) SUNRISE WISTERIA). ....	134
Fig. 3.2.5. List of harmful phytoplankton taxa(left) and red tide species (right) found in ballast water of vessels in 2011. ....	136
Fig. 3.2.6. The abundance of zooplankton occurred in the ballast water of vessels. ....	139
Fig. 3.2.7. Relative contribution of zooplankton major groups occurred in the ballast water of vessels. ....	139
Fig. 3.2.8. List of potentially risky species of zooplankton occurred in the ballast water of vessels. ....	140
Fig. 3.2.9. Change in growth of phytoplankton cultured in ballast water, shipside water and F/2 medium at 10, 15 and 20°C. The cells were collected from ship's ballast water (ShuiShan2) berthed at Daesan Port in Korea. Error bars indicate $\pm$ S.D. ....	142
Fig. 3.2.10. Effect of salinity on phytoplankton population growth in F/2 medium at 15°C. The incubation experiments were examined under different salinity conditions (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu) from ship's ballast water of ShuiShan(2). ....	143
Fig. 3.3.1. Target ports for environmental similarity assessment in Yellow Sea ....	145
Fig. 3.3.2. An absolute environmental similarity evaluation algorithm. ....	147
Fig. 3.3.3. The procedure of absolute environmental similarity evaluation program. ....	148
Fig. 3.3.4. Exploratory data analysis through by the boxplot of percentile (10%, 90%) for 6 environmental items in Korea four ports and China five ports. ....	149
Fig. 3.3.5. An example result of environmental similarity evaluation program ....	151
Fig. 3.3.6. Environmental similarity score matrix between Korea and China ports for six environmental factors. ....	152

## List of Tables

Table 1.1.1. Ballast water management for ships based on IMO convention. ....	32
Table 1.1.2. Ballast water performance standard. ....	33
Table 1.1.3. Ballast water exchange standard. ....	33
Table 1.1.4. Contention of Ballast water management convention. ....	34
Table 1.1.5. Guidelines of IMO Ballast water management convention. ....	35
Table 2.1.1. Prediction of ballasting and deballasting (unit : ton). ....	58
Table 3.1.1. Mean abundance and mean prevalence of dominant species observed within the five ports in August, 2011. ....	91
Table 3.1.2. Mean abundance and mean prevalence of dominant species observed within the five ports in November, 2011. ....	92
Table 3.1.3. Distribution of potentially risky species at five ports in Korea. ....	96
Table 3.1.3. Continued. ....	97
Table 3.1.4. Dominant species and dominance(%) in study area. ....	104
Table 3.1.5. Dominant species and dominance(%) in study area. ....	105
Table 3.1.6. Dominant species and dominance(%) in study area. ....	105
Table 3.1.7. Dominant species and dominance(%) in study area. ....	106
Table 3.1.8. Dominant species and dominance(%) in study area. ....	107
Table 3.1.9. Ecological indices of dominant species at Daesan port. ....	116
Table 3.1.10. Benthic invertebrates of the collector plates at Daesan port. ....	117
Table 3.1.11. Introduce species from Daesan port. ....	120
Table 3.2.1. Particulars of vessels and information of the ballast water. ....	128
Table 3.2.2. Environmental parameters in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports. ....	129
Table 3.2.3. Chemical parameters in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports. ....	130
Table 3.2.4. Chlorophyll-a and active chlorophyll-a in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports. ....	131
Table 3.2.5. The number of microorganism in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports. ....	132
Table 3.2.6. List of phytoplankton taxa occurred in ballast water of vessels in 2011. ....	135
Tabel 3.2.7. List of zooplankton taxa occurred in the ballast water of vessels. ....	138
Table 3.3.1. Port environmental data exchange results between Korea and China ....	146
Table 3.3.2. Percentile (90%, 10%) of marine environmental factors for domestic 4 ports ....	150

Table 3.3.3. Percentile (90%, 10%) of marine environmental factors for China 5 ports	150
Table 3.3.4. A grade score and similarity criteria for environmental similarity (%)	151
Table 3.3.5. A similarity mean score and final evaluation result between Korea and China for six environmental items	153
Table 3.3.6. Integrated similarity score of 6 marine environmental factors for domestic 4 ports and China 5 ports.	153



# 제1장 서론





# 제1장 서론

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 선박평형수 관리 국제협약 및 대응기술

#### 가. 서론

선박이 정상적으로 운항할 시 배출되는 환경 오염원을 보면 Fig. 1.1.1과 같다.

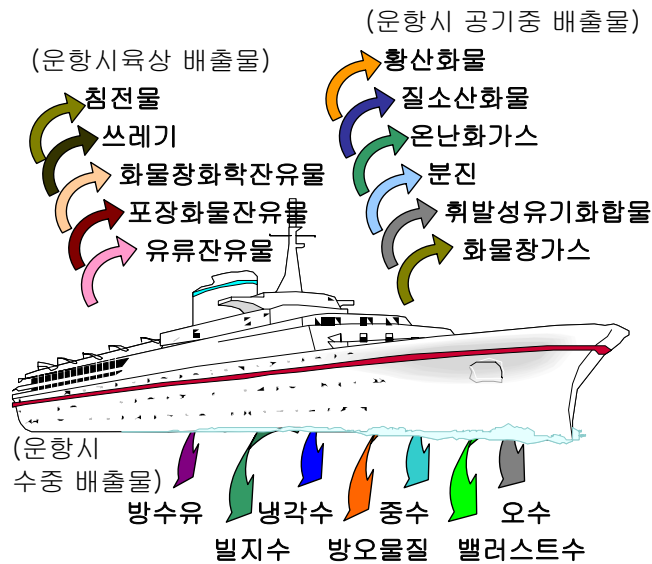


Fig. 1.1.1. Environmental Harmful Materials due to Ship Operating.

IMO(국제해사기구)에서는 선박에 의한 대기 및 수중 배출물에 대한 규제를 오래 전부터 해 오고 있는데, 근래에 이르러 선박평형수에 대한 규제를 시작하고 있다.

선박평형수는 그 안에 포함된 특정 해역의 생물 또는 병원균 등이 선박에 의해 전혀 다른 타 해역으로 이송되어 그 해역의 환경과 생태계를 교란시키는 부작용을 유발하게 된다. 선박평형수는 전 세계적으로 매년 100억 톤 이상이 이동되고 있다고 추정되는데, 생태계 교란뿐만 아니라 연안 산업이나 다른 상업적 활동 또는 자원에도 큰 피해를 주고 있다. 미국에서만 해마다 약 1,380억불 규모의 경제피해가 외래 생물종에 의해 유발되는 것으로 추정되고 있다. 그러나 국내에서 선박평형수로 인해 외래 해양생물종이 최근 출현하였다는 내용은 단편적으로 발표되고는 있으나, 정확한 연대와 그 피해 사례가 보고된 바는 없다.

IMO에서는 선박평형수 관리협약을 2004년에 채택하였다. 또한 IMO에서는 선박평형수 관

리협약의 원활한 이행을 위하여 14개의 지침서를 개발하고 있는데, 그 가운데 13개가 완성되었고, 현재 나머지 1개가 검토 중에 있다. 본고에서는 IMO 국제협약의 전체 체제와 주요 내용을 정리하였고, 지침서의 체제와 주요 내용을 정리하였으며, 이로부터 국제협약을 이행하는데 필요한 기술 내용을 도출하였다.

### 나. IMO 선박평형수 관리 협약

2004년 2월 IMO 외교회의에서는 선박 밸러스트와 침전물 관리 국제협약(International Convention for The Control and Management of Ship's Ballast water and sediment)을 채택하였다.

본 국제협약은 전문, 본문, 부속서, 부록, 지침서로 구성되어 있는데, 그 내용은 다음과 같다.

전문(Preamble) : 협약 제정의 배경, 목적 등

본문(Article) : 총 22조로 구성되어 있으며, 용어의 정의, 일반적 의무, 적용, 검사 및 증서, 점검, 발효, 개정 등 협약의 일반적인 사항

부속서(Annex) : 5개 Section으로 구성되어 협약의 기술적 사항

부록(appendix) : 협약증서 양식, 선박평형수 기록부 양식

먼저 본문의 내용을 보면 Table 1.1.1과 같다. 이 협약은 회원국 30개국 이상이 비준을 하고, 비준된 국가의 총 선복량이 35%이상 충족된 후, 12개월 후에 발효되는 것으로 되어 있다. 그러나 협약의 적용을 촉진시키기 위해 적용 시기를 “협약발효 후 ○년”으로 하지 않고, “2009년”으로 지정하였다. 2007년 7월 현재 선복량 3.42% 인 10개국이 비준을 한 상태이다.

건조시기별, 선박평형수 용량별, 적용기준을 보면 Table 1.1.2와 같다. 선박평형수 용량별로 적용시기가 다른 것은 장비 개발 난이도와 대상 선박 척수를 함께 고려하였기 때문이다. 세계 각국의 선주 및 조선소는 당장 성능기준을 적요 받지 않는다 하더라도, 2017년 이후에는 모든 현존선이 적용을 받게 되므로, 신조선에 처리장치를 설치하는 것을 고려하고 있다.

Table 1.1.1. Ballast water management for ships based on IMO convention.

☒교환기준+성능기준 적용

▨성능기준 적용

건조 시기	선박평형수 용량	'08까지	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17이후
2008년 까지	1500m <sup>3</sup> 미만		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	▨
	1500~5000m <sup>3</sup>		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
	5000m <sup>3</sup> 이상		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
2009~2011년	5000m <sup>3</sup> 미만		▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
	5000m <sup>3</sup> 이상		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	▨
2012년 이후	전체					▨	▨	▨	▨	▨	▨

Table 1.1.2. Ballast water performance standard.

배출 선박평형수 기준		내용
수중생물	최소길이 50 $\mu$ m이상	❖ 생존가능 생물 10개 m <sup>-3</sup> 만
	최소길이 10 $\mu$ m초과 50 $\mu$ m미만	❖ 생존가능 생물 10개 ml <sup>-1</sup> 미만
인간건강	독성 비브리오 콜레라	❖ 1cfu 100ml <sup>-1</sup> 미만 ❖ 1cfu 습중량1g <sup>-1</sup> 미만
	대장균	❖ 250cfu 100ml <sup>-1</sup> 미만
	분변성 대장균	❖ 100cfu 100ml <sup>-1</sup> 미만

Table 1.1.3. Ballast water exchange standard.

선박평형수 교환 기준		내용
위치	제1안	❖ 육지에서 200마일 이상, 수심 200미터 이상
	상기 조건 불가 시	❖ 육지에서 50마일 이상, 수심 200미터 이상
	상기 조건도 불가 시	❖ 항만국에서 지정한 구역
용량	용적 기준	❖ 95% 이상 교환
	Pumping-Through 방법	❖ 용적의 3배 교환

선박평형수 처리 기준은 Table 1.1.2와 같다. 처리 기준에 대해서는 오랫동안 많은 논의가 있었으나 결정을 못하고 있다가 최종 절차인 외교회의 시에 확정하였는데, 수중생물 개체수를 100개로 하자라는 주장도 적지 않았었다. 개체수가 10개로 결정됨에 따라 처리장치에 화학제품 등 잔류 성분이 있는 것을 쓰지 않을 수 없게 되었다. 선박평형수 교환 기준은 Table 1.1.3과 같다. 그러나 교환방법은 2009년부터 일부 선박에 허용되다가, 2017년부터는 사용할 수 없는 방법이다. 한편, 정기 운항 선박에 대한 협약 적용 면제를 위해, 위해성 평가 지침에 따라 선박 평형수가 해양생태계에 유해한 영향을 미치지 않는다는 것을 증명할 경우 일정항로 상의 선박에 대해 협약의 적용을 면제할 수 있도록 되어 있다

Table 1.1.4. Contention of Ballast water management convention.

구분	조/규칙	제 목	내 용
조문 (총22조)	1조	정의	용어 정의
	2조	일반의무	당사국 일반의무, 권고사항
	3조	적용	협약적용범위, 예외범위
	4조	유해수중생물의 이동 통제	협약의 효과와 방법 개발
	5조	침전물 수용시설	탱크 세정, 수리 장소에 시설설치
	6조	과학적 연구와 모니터링	관련 연구, 정보축적 촉진
	7조	검사와 증서	밸러스트 관리증서의 발급과 검사
	8조	위반	당사국 법률에 의한 처벌
	9조	선박 검열	증서비치, 기록부, 시료채취
	10조	위반 적발과 선박통제	선박검사와 시료분석결과의 당사국간 협조
	11조	통제사항의 공지	선박 국적국, 증서발급기관, 다음 기항지에 위반사항공지
	12조	선박의 부적절한 지체	부적절한 지체를 최대한 방지하고 이에 대한 보상을 규정
	13조	기술지원, 협력, 지역협력	교육, 기술지원, 협력, 반폐쇄해역 국가간 협력 강조
	14조	정보의 교환	의무, 수용처리시설의 위치가용성, 관리불이행의 이유공지
	15조	분쟁해결	당사국간 분쟁조정 의지 고취
	16조	국제법과 타협약과의 관계	UN해양법에 비추어 당사국의 권리와 의무 제한 불가
	17조	서명, 비준, 수락, 승인, 가입	2004년 6월 1일부터 2005년 5월 31일까지 서명개방 등
	18조	발효	35%이상의 상선보유 30개국 이상 가입 12개월 후에 발효
	19조	개정	1/3동의 후, 2/3 찬성시 채택, 거부국은 비당사국 대우
	20조	폐기	발효 후 2년 후부터 가능
	21조	기탁자	사무총장에 기탁
	22조	언어	아랍어, 중국어, 영어, 프랑스어, 러시아어, 스페인어
부속서 / 일반 규정	A-1	정의	용어 정의
	A-2	일반 적용	부속서 관리절차에 따른 선박평형수 배출
	A-3	예외	선박안전, 오염사고 방지, 동일한 해역에서 주입과 배출 시
	A-4	면제	위해성평가를 받은 고정항로 선박 대상
	A-5	동등 적용	길이 50m, 밸러스트 8톤 이하 연구, 수색, 구조용 선박 준수
선박관리 와 통제규정	B-1	선박평형수 관리계획	상황별 지침, 행동요령, 협의절차, 보고절차, 담당자
	B-2	선박평형수 기록부	전자기록가능, 최대 5년간 보관
	B-3	선박평형수 관리	신조선(≥2009년)/현존선(<2009년)
	B-4	선박평형수 교환	200m 수심, 200해리, 50해리(항로 이탈 금지), 항만국 지정
	B-5	침전물 관리	침전물 제거, 시료채취 가능한 선박 설계
	B-6	사관과 승무원의 직무	관리계획 숙달
일부해역 특별요건	C-1	부가적 조치	당사국은 보다 강화된 조치 시행가능, IMO의 승인 취득
	C-2	특정해역서 취수경고	유해조류, 병원균, 분노 등 배출해역
	C-3	정보 교환	C-1, C-2 관련 정보 국가간 교환
선박평형수 관리기준	D-1	선박평형수 교환기준	95%교환, 탱크 3배 용량 교환 인정
	D-2	선박평형수 성능기준	생물 크기별(50µm), 지표생물(대장균, 콜레라)별 농도기준
	D-3	관리체제 승인요구사항	활성물질 사용에 기구의 승인 취득
	D-4	선박평형수 처리 표본기술	처리기술 개발 독려
	D-5	기준 검토	발효 전 3년 이내 협약 기준 및 기술 검토
검사 및 증서	E-1	검사	총톤수 400톤 이상 선박평형수 관리 증서, 관리행위 점검
	E-2	국제증서의 발행	당사국에 의한 국제증서의 효력 인정
	E-3	증서 발행의 위임	동일한 효력 인정
	E-4	국제증서의 양식	발급국의 언어, 또는 영어, 프랑스어, 스페인어
	E-5	증서의 유효기간 및 효력	5년 유효, 갱신가능

### 다. IMO 선박평형수 지침서

IMO 선박평형수 관리 협약을 이행하기 위해서는 복잡한 기술 내용과 절차를 거쳐야 하므로, 각국이 서로 다른 기준과 방법으로 적용할 경우 혼란이 클 것으로 판단되어, IMO에서는 통일된 적용을 위한 지침서 14종을 제정하고 있다. 대부분의 지침서가 완성되었고, 현재 시료 채취 지침서(G2)만이 계속 검토 중에 있으며, 2008년에는 이 시료채취 지침서도 완성될 것으로 보인다. 지침서의 제목과 채택 현황은 Table 1.1.5와 같다.

Table 1.1.5. Guidelines of IMO Ballast water management convention.

약호	지침서명	협약 조문	MEPC 결의서	채택일 및 현황
G1	침전물수용시설 지침서	규정 B-5	152 (55)	2006. 10.13.
G2	선박평형수 시료채취 지침서	조문 제9조	57차 예정	BLG12 예정
G3	선박평형수 관리협약의 동등한 준수 지침서	규정 A-5	123 (53)	2005. 7.22.
G4	선박평형수 관리와 관리계획 개발 지침서	규정 B-1	127 (53)	2005. 7.22.
G5	선박평형수 수용시설 지침서	규정 B-3	153 (55)	2006. 10.13
G6	선박평형수 교환 지침서	규정 B-4	124 (53)	2005. 7.22.
G7	위해도 평가 지침서	규정 A-4	162 (56)	2007. 7.30.
G8	선박평형수 관리시스템 승인 지침서	규정 D-3.1	125 (53)	2005. 7.22.
G9	활성물질 시스템 승인 지침서	규정 D-3.2	126 (53)	2005. 7.22.
G10	선박평형수 처리 시제품 기술 승인 지침서	규정 D-4	140 (54)	2006. 3.24.
G11	선박평형수 교환 설계 및 구조표준 지침서	규정 B-5.2	149 (55)	2006. 10.13.
G12	선상 침전물 관리 지침서	규정 B-5	150 (55)	2006. 10.13.
G13	비상상황 등 추가조치 지침서	규정 C-1	161 (56)	2007. 7.30.
G14	선박평형수 교환해역 지정 지침서	규정 B-4.2	151 (55)	2006. 10.13.



Fig. 1.1.2. Schematic diagram showing the guidelines of IMO ballast water convention.

Fig. 1.1.2는 각종 지침서의 성격을 보여주고 있다. 정부가 직접 집행하여야 내용으로는 항만에서의 시료 채취(G2)를 비롯하여, 처리장치의 형식승인(G8), 활성물질 승인 지원(G9), 시제품 프로그램 승인(G10)이 있으며, 면제를 위한 위해도 평가(G7), 교환 지정해역 설정(G14), 비상시 추가조치(G13)를 들 수 있다. 소형선 적용(G3), 관리계획서(G4), 선박평형수 교환(G6), 교환 설계 및 설비(G11), 선박내 침전물 관리(G12)는 선주 및 조선소 입장에서 중점적으로 다루어질 내용들이다. 한편 침전물 수용시설(G1)과 선박평형수 수용시설(G5)은 수용시설을 운영하는 업체 입장에서 주로 다루어질 내용이다.

#### (1) 침전물수용시설 지침서

이 지침서는 선박의 선박평형수와 침전물의 제어와 관리에 대한 국제 협약을 참조하여 침전물 수용시설에 적용한다. 이 지침서에서 수용시설은 원활히 작동해야하며, 환경, 인체건강, 국가재산 또는 자원에 손해를 끼치지 않도록 침전물을 안전하게 배출해야 한다. 또한 각 당사국은 단체에 보고해야하고, 환경적으로 안전한 침전물을 배출하기 위하여 수용시설의 유용성과 위치 정보를 다른 당사국들이 이용할 수 있도록 만들어야 한다.

이 지침서에서는 침전물 수용시설 규정시 고려사항으로 여러 가지 조건을 제시하고 있다.

#### (2) 선박평형수 시료채취 지침서

이 지침서는 아직 완성되지 않았으나 현재 검토되고 있는 초안을 보면, 각국의 항만당국 입장에서 선박이 협약에서 정한 교환 기준과 성능기준을 만족하는가를 확인하는 지침서로서, 시료채취 위치와 방법 그리고 분석 방법 등을 제시할 것으로 보인다.

이 지침서에는 맨홀에서의 채취 방법, 측심관에서의 채취 방법, 배출구에서의 채취 방법, 시료의 양, 자료 양식, 작업시 안전 대책, 시료 채취기기, 시료 취급, 시료 분석 등의 조건을 제시할 것으로 보인다.

#### (3) 관리협약의 동등한 준수 지침서

이 지침서는 선박평형수 관리협약의 동등 준수의 대상이 되는 길이 50미터 미만이고 선박평형수 최대 용량이 8톤 이하인 레크레이션이나 경주에 사용되는 유람선, 수색 및 구조에 사용되는 소형 선박들을 대상으로 한다. 지침서의 대상이 되는 선박의 특성 상 선박의 규모가 작고 그 영향이 미미할 것으로 예상되기는 하나, 보다 완결성 있는 협약의 이행을 위하여 소규모 선박도 관리하기 위한 목적으로 개발되었다.

이 지침서에서는 특히 선박평형수의 주입과 배출 시 발생할 수 있는 유해생물의 이동을 방지하기 위하여 주입과 배출을 금지하는 몇 가지 조건을 두고 있다.

#### (4) 선박평형수 관리계획 개발 지침서

이 지침서는 외래해양생물의 유입방지와 함께 선박의 안전과 연안국의 자원과 국민보건을

지키기 위한 선박평형수 관리에 필요한 항목을 체계적으로 고려할 수 있도록 개발되었다.

이 지침서는 크게 선박평형수 관리에 관한 부분(PART A)과 선박평형수 관리계획 개발(PART B)과 관련된 두 부분으로 나뉘어져 있다. PART A인 선박평형수 관리를 위한 지침서는 주로 유해한 수중 유기체와 병원균 및 침전물의 주입을 최소화하고, 선박평형수 관리에 관한 옵션, 침전물 관리, 기록 절차, 훈련 및 교육 등을 언급하고 있다. PART B인 선박평형수 관리계획서 개발을 위한 지침서에는 관리청의 승인을 받아야 하는 선박평형수 관리계획서 작성에 포함되어야 하는 필수요건과 정보제공 차원에서 필요한 비강제적 요건으로 구성되어 있다.

#### (5) 선박평형수 수용시설 지침서

이 지침서는 선박평형수 수용시설의 규정에 대한 안내를 제공되며, 선박의 선박평형수와 침전물의 제어와 관리에 대한 국제협약을 참조하여 선박평형수 수용시설에 적용한다.

선박평형수 수용시설을 위한 일반적인 필요조건으로는 유해 수중생물과 병원균의 환경배출로 발생하는 환경, 인체건강, 재산, 자원에 위해를 일으키지 않아야 하고, 각 당사국은 단체에 보고해야 하고, 환경적으로 안전한 선박평형수 배출을 위하여 수용시설의 유용성과 위치 정보를 다른 당사국들이 이용할 수 있도록 만들어야 한다.

선박평형수 수용시설을 규정할 때 고려되어야 하는 사항을 제시하였다.

#### (6) 선박평형수 교환 지침서

이 지침서는 선박평형수 교환에 대한 책임 소재, 요구조건, 안전 대책, 교환 시스템 설계, 교육훈련, 장기간 평가 등에 대한 내용을 포함하고 있다.

지침서에 따르면 기존에 선박평형수 교환방식으로 논의되어 왔던 sequential method, flow-through method, dilution method 총 3개 방식이 제시되고 있다. 지침서에서는 교환과 관련된 안전조치를 가장 우선적으로 고려하고 있다. 특히 선박의 안정성, 선박 길이방향의 장력, 파도에 의해 발생하는 선체진동, 기상 및 해황, 선교시야, 프로펠러의 잠김정도, 선박평형수 탱크의 저압 현상 등에 특별한 주의가 요구됨을 명시하고 있다. 특히 이들 조건들은 선박평형수 관리계획 작성 시 포함되어야 하며 선박 운항 시 이에 따라 기록하고 필요한 조치를 취하도록 하고 있다.

#### (7) 위해도 평가 지침서

이 지침서는 해양 환경이 유사하다고 판단되는 타 국가의 항만간에 위해도 평가를 통해 협약의 면제를 허용하기 위한 것이다. IMO의 선박평형수 관리협약 A-4 조에 의하면, 관할 해역의 당사국은 정해진 항로를 운항하는 선박에 대해 IMO가 제정한 위해도 평가 지침에 따라 위해요소가 적다고 평가되는 경우 선박평형수의 교환 및 처리 면제를 허용할 수 있다.

지침서에서 제시하고 있는 위해도 평가 방법은 3가지인데, 이를 개별적으로 또는 병행해서 사용할 수 있으며, 각 방법에서 필요한 자료와 평가 방법은 다음과 같다.



- 환경 매칭 위해도 평가
- 생물종 · 생물지리적 위해도 평가
- 생물종별 위해도 평가

(8) 선박평형수 관리시스템 승인 지침서

이 지침서는 선박평형수 관리 시스템의 승인과 관련된 절차 및 시료분석 방법 등의 기준을 제공하고 있다. 지침서 본문에는 지침서에 대한 개략적인 소개, 배경, 정의, 기술사양, 도면승인 절차를 위한 주요 제출문서의 요건, 승인 및 증서발행 절차, 설치요건, 설치검사 및 작업절차가 명시되어 있다. 부속서(Annex)에는 시스템 승인과 관련된 세부내용을 담고 있으며, 총 4부로 나뉘어져 있다.

- 제1부 : 시스템 관련 문서에 대한 사전시험 평가에 필요한 사양
- 제2부 : 선박평형수 관리시스템 승인을 위한 시험 및 성능 사양
- 제3부 : 선박평형수 관리시스템 승인을 위한 환경시험 사양
- 제4부 : 선박평형수 내의 생물종 동정을 위한 시료 분석 방법

이 지침서에서 제시하고 있는 내용의 한 예로서, 육상시험과 선상시험의 절차와 조건은 Figs. 1.1.3, 1.1.4와 같다.

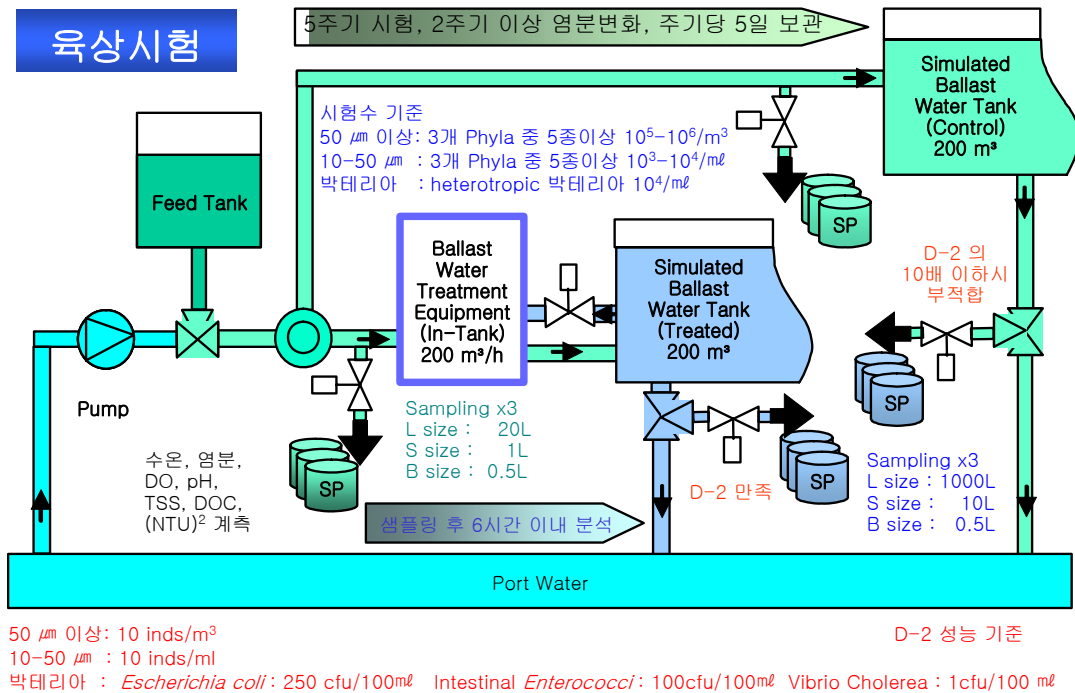


Fig. 1.1.3. Experimental procedure and conditions of land-based test.

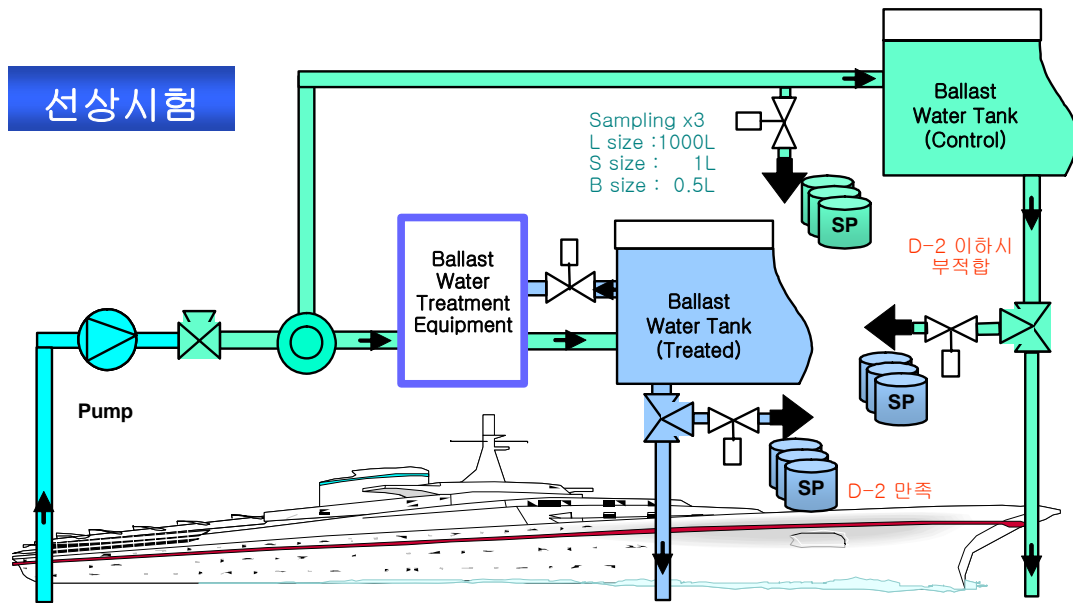


Fig. 1.1.4. Experimental procedure and conditions of shipboard test.

#### (9) 활성물질 시스템 승인 지침서

이 지침서에는 처리장치에 사용되는 활성물질의 승인에 필요한 일반요건으로 활성물질에 의한 생물독성에 관한 방대한 분야의 자료와 이를 평가하는 일반기준을 제시하고 있다. 생물독성과 관련된 분야는 개략적으로 살펴보면, 크게 수중생물, 포유동물, 호기성 및 혐기성 환경에서 물질의 최종잔류형태, 활성물질의 생산과 투여 시 물질의 물리적/화학적 특성 등에 관한 자료를 요구하고 있다. 특히 생물의 경우 수중에서의 급성독성, 만성독성, 내분비장애, 발암성, 유전 및 돌연변이 등에 관한 독성시험 결과를 요구하고 있다.

또한 이들 독성시험 자료의 제출에서 나아가 활성물질 사용의 위해도에 대한 평가를 요구하고 있어 생물잔존성, 생물농축 여부, 처리된 선박평형수의 독성 등에 대한 평가와 분석을 함께 요구하고 있다. 평가와 관련된 기준으로는 선박과 선원의 안전, 환경보호를 위한 기준 등이 일부 제시되어 있다. 활성물질의 승인은 두 단계로 구성되어 있다. 실험실 규모에서 행해진 처리기술에 대한 평가 자료를 통한 기본승인과 실제 선상기술에 대해 이루어지는 최종승인이 있다. 그 주요 절차를 형식승인 절차와 함께 Fig. 1.1.5로 나타내면 다음과 같다.

#### (10) 처리 시제품 기술 승인 지침서

이 지침서는 새로 개발되는 선박평형수 처리기술의 시장에 유입을 촉진하도록 시제품을 탑재하는 선박에 대해서 선박평형수 관리 국제협약의 적용을 5년간 최대 3척까지 유예해 주기 위한 것이다. 이 지침서에서는 시제품 탑재의 승인에 대한 요구조건, 프로그램 적용, 후보기술 기준, 제작 및 관리, 품질 보증, 축적비, 시험장치와 방법, 시험설비 요구조건, 시험 변수, 선박평형수 준비, 샘플링 분석, 성능 요소, 계측 및 보고서, 설치검사 등을 다루고 있다.

(11) 교환 설계 및 구조표준 지침서

이 지침서는 선박 선박평형수와 침전물 제어와 관리에 대한 국제 협약의 승인을 돕기 위하여 선박의 설계와 구조에 대한 것이다. 선박평형수 교환·설계와 구조에 대한 일반적인 고려사항으로는 선박평형수 교환 효율 최대화, 안전하게 선박평형수를 교환할 수 있는 해양조건의 범위 증가, 선박평형수 교환 완료시간 단축, 침전물 축적 최소화 등이 있다. 새로운 선박의 설계 시에는 선박평형수 관리 장치, 샘플링, 선박평형수 교환방법 등을 고려해야 한다. 교환 관리, 제어와 작업방법에 대한 설계 고려 시 침전물 축적 최소화, 높은 해수상자 고려하고, 평형수 탱크는 침전물 관리를 용이하게 하기 위한 디자인과 구조를 가져야 한다.

(12) 선상 침전물 관리 지침서

이 지침서는 유해수생미생물과 병원균의 유입가능성을 최소화하기 위한 선박 구조와 장치 개발에 도움을 주기 위해 제공된다. 침전물 축적 감소를 위해, 침전물 축적 회피 설계, 침전물 축적을 최소화하고 제거, 침전물 제거와 샘플을 고려하기 위한 안전 증대 제공, 각 사이드에 고율의 해수 흡입관 설치 준비, 부유물질을 제거하기 위한 장치 설치 등을 제시하고 있다.

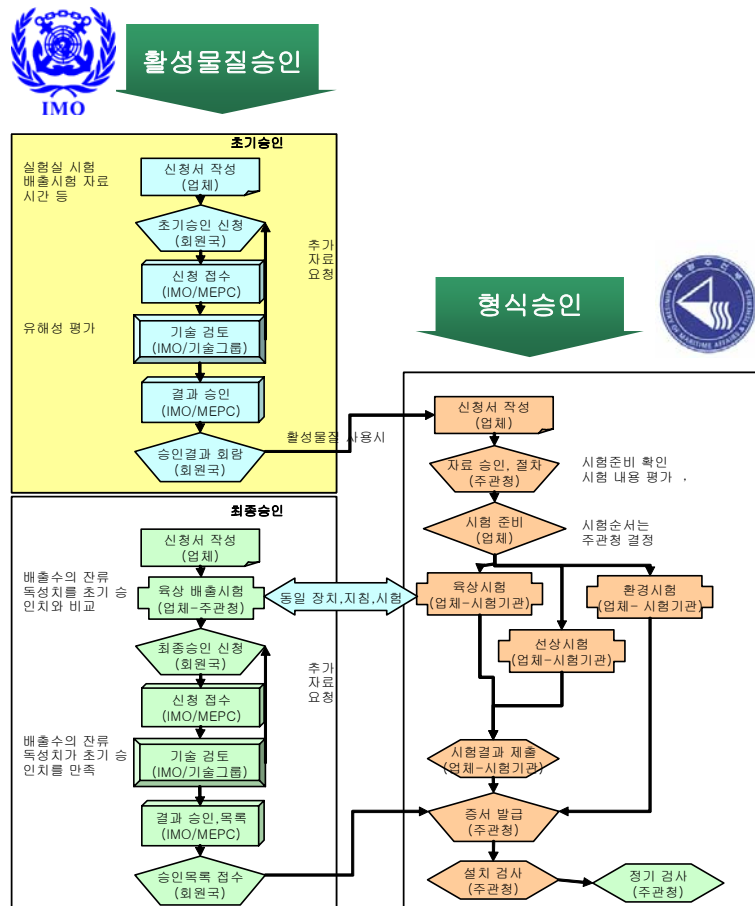


Fig. 1.1.5. Procedures of active substances and type-approval of ballast water management system.

### (13) 비상상황 등 추가조치 지침서

이 지침서는 비상사태 또는 유행성 질병 발병 시 선박평형수와 침전물로부터 유해수생미생물과 병원균의 이송을 규제하기 위한 것이다. 국가가 추가대책을 도입할 때의 도입된 추가대책을 확인하고, 제안한 대책의 도입 효과와 결과를 평가하는 방법과 추가조치 시 따라야할 절차와 정보 교환 내용을 제시하고 있다.

### (14) 교환해역 지정 지침서

이 지침서는 협약서에서 제시하고 있는 수심 200m 이상으로서, 육지에서 200해리 또는 50해리 이상 떨어진 해역이 없는 경우, 선박이 선박평형수 교환을 수행할 수 있도록 특별히 해역을 지정하기 위한 지침을 항만국에 제공하는 것이다.

선박평형수 교환을 위한 해역 지정을 위한 과정은 식별, 평가 및 지정의 3가지 내부절차로 이루어진다. 선박평형수 교환을 위한 잠재적인 해역의 식별을 위해서는 법적인 측면, 주요 자원 및 보호된 지역, 항해 통제 등을 고려하여야 한다.

식별된 해역의 지정은 위해도 평가를 거쳐 환경, 인간의 건강, 재산 또는 자원에 유해한 위협을 최소화할 것임을 보장하도록 해양학, 물리화학, 생물학, 환경적, 중요한 자원, 선박평형수 운용 등을 평가한다.

## 라. 선박평형수 관리 기술

IMO 선박평형수 관리 협약 및 지침을 이행해 나가기 위해 여러 가지 종합 기술의 기반 구축이 필요한데, 특히, 우리나라의 입장에서 새로운 개발이 필요하거나 타 기술 분야를 도입하여 적용해야하는 기술 내용을 정리하여 보았다.

### 선박평형수 시료채취 지침서(G2)

- 살아있는 생물의 개체수를 대표성 있게 구할 수 있는 시료 채취 방법
- 간편하고도 정도 높은 생사판별 및 개체수 계측 방법
- 짧은 시간 내에 생물 시험을 수행할 수 있는 체계 및 시료 보관 및 이송 기술

### 위해도 평가 지침서(G7)

- 위해도 평가 원칙 수립
- 위해도 평가 방법별 기술 개발
- 생물, 항만환경 자료 수집 및 모니터링
- 선박 운항 자료 및 선박평형수 처리량 추정
- 관련 자료 DB 구축 및 평가 전산화
- 평가 시 판단 기준 설정

#### 선박평형수 관리시스템 승인 지침서(G8)

- 육상시험 설비 설계 및 제작 기술
- 시험 절차 표준 설정
- 각종 생물별 생사판별 및 개체수 확인 방법

#### 활성물질 시스템 승인 지침서(G9)

- 수중생물, 무척추동물, 어류 등에 대한 영향 평가
- 포유동물에 대한 독성 평가
- 호기성 및 비호기성 조건하의 환경 영향 평가
- 활성물질, 조제품 및 처리된 선박평형수의 물리적 화학적 특성 평가

#### 교환 설계 및 구조표준 지침서(G11)

- 선박평형수 탱크 및 펌핑을 위한 설계 최적화
- 시료 채취를 위한 설계 최적화

#### 비상상황 등 추가조치 지침서(G13)

- 추가조치 영향 평가
- 추가조치 시 판단 기준 설정

#### 선박평형수 교환해역 지정 지침서(G14)

- 대상 해역의 해양학적, 물리학적, 생물학적, 환경적 요소 평가
- 대상 해역의 법적 제한, 주요 자원 보호, 항해 제약 평가

## 2. 위해도 평가를 통한 선박평형수 관리 면제 절차

### 가. IMO 선박평형수 관리협약 중 면제 규칙

IMO의 선박평형수 관리 협약의 규칙 A-4 에 의하면[1-1], 관할 해역의 당사국은 정해진 항로를 운항하는 선박에 대해 IMO가 제정한 위해도 평가 지침에 따라 위해요소가 적다고 평가되는 경우 선박평형수의 교환 및 처리 면제를 허용할 수 있도록 되어 있다. 즉 해양 환경이 유사하다고 판단되는 타 국가의 항만간에 위해도 평가를 통해 협약의 면제를 허용하기 위한 것이다.

면제를 위한 조건은 정해진 항구 또는 지역 간을 운항하는 하나의 항로 또는 여러 항로에서 운항하는 선박, 또는 전적으로 정해진 항구 또는 여러 항로에서 운항하는 선박이나 전적으로 정해진 항구 또는 지역 간만을 운항하는 선박에 한하며, 중간 검토를 조건으로 하여 유효기간은 5년 이하로 되어 있다. 한편 이러한 조건의 선박이 타 해역에서 선박평형수나 침전물을

혼입하지 않아야 하고, IMO에 의해 채택된 위해도 평가 지침서에 따라야 한다. 이렇게 인정된 면제 사항은 인접국 또는 타 국가의 환경, 인체 건강, 재산 및 자원을 손상시키거나 파괴해서는 안 되고, 영향을 받을 수 있다고 판단한 국가가 제시하는 우려사항을 해결하기 위해 의견을 수렴해야 한다. 그 내용을 보면 다음과 같다.

#### 제 A-4 규칙

##### 면제

1. 관할권 이내의 수역에서 당사국 또는 당사국들은 이 협약에 포함된 면제사항에 추가하여 제 B-3규칙 또는 제C-1규칙의 적용요건에 대한 면제를 인정할 수 있다. 다만, 다음과 같은 경우에 한한다.
  - 1) 정해진 항구 또는 지역 간을 운항하는 하나의 항로 또는 여러 항로에서 운항하는 선박, 또는 전적으로 정해진 항구 또는 지역 간만을 운항하는 선박의 경우;
  - 2) 중간 검토클 조건으로 유효기간은 5년 이하인 경우;
  - 3) 상기 제1.1항에서 언급한 항구 또는 지역 이외에서 평형수나 침전물을 혼입하지 않는 선박의 경우
  - 4) 기구에 의해 개발된 위해도 평가에 관한 지침에 따른 경우
2. 상기 제1항에 따라 인정된 면제는 당사국들에게 관련된 정보의 회람과 기구에 통보하기 전까지는 유효하지 않다.
3. 이 규칙에 따라 인정된 면제가 인접국 또는 타 국가의 환경, 인류의 건강, 재산 및 자원을 손상시키거나 파괴하여서는 아니 된다. 당사국이 반대로 영향을 받을 수 있다고 판단한 국가는 밝혀진 우려 사항을 해결하기 위하여 의견을 수렴하여야 한다.
4. 이 규칙에 따라 인정된 면제는 평형수 기록부에 기록되어야 한다.

#### 나. IMO 위해도평가 지침서 중 면제 부여 절차

IMO의 MEPC(해양환경보호위원회) 제56차 회의에서 결의서 MEPC.162(56)로 채택한 ‘규칙 A-4에 따른 위해도 평가를 위한 지침서’는 면제를 위한 위해도 평가에 있어서, 각 회원국이 통일된 방법과 기준으로 수행하기 위해 제정한 것이다.

지침서에서 제시하고 있는 위해도 평가 방법은 3가지인데, 이를 개별적으로 또는 병행해서 사용할 수 있으며, 각 방법에서 필요한 자료와 평가 방법은 다음과 같다.

- 환경 매칭 위해도 평가
- 생물종·생물지리적 위해도 평가
- 생물종별 위해도 평가

위해도 평가를 통한 선박평형수 관리 면제 절차에 대해서는 본 보고서 제3장 4절에 상술하였다.

선주가 항만국에 제출해야하는 면제 신청 내용 중 기본 사항은 다음과 같다.

- 일반 정보
  - 신청하고자 하는 면제 기간: 년/월부터 년/월
- 선박 정보
  - 선박명, IMO 번호, 선적항, 총톤수, 선주, 호출부호, 선박평형수 관리 방식
  - 선박의 선박평형수 관리 계획서 사본
  - 주관청에서 요구하는 경우, 선박평형수 및 침전물 관리 기록
- 항로 정보
  - 선박평형수 배출을 위해 제공항과 수용항 또는 장소로 표시한 신청 항로
  - 단일 항해인 경우: 출발 및 도착 일시
  - 복수 항해인 경우: 항해 빈도, 규칙성 및 배출될 선박평형수의 추정량
  - 면제 기간 동안 지정된 항구 외에 기타 항구로 운항할 계획이 있는 항해
  - 복수 항해인 경우 예측 총 항해수와 면제 기간 동안 배출될 선박평형수 량

면제 승인 절차를 보면 다음과 같다.

- (1) 면제를 희망하는 선주나 운항자는 위해도 평가 절차를 파악하고 정보 요건을 확인하기 위해 관련 당사국에게 연락
- (2) 선주 또는 운항자는 당사국이 제공한 신청 요건, 평가 모델, 고려해야 할 목표종, 데이터 표준 및 기타 정보에 따라 위해도 평가를 실시. 경우에 따라 당사국이 대상 항만간의 직접 위해도 평가를 직접 실시할 수도 있음.
- (3) 당사국은 위해도 평가 결과를 심의하여 면제 여부 결정. 유효기간 5년.
- (4) 심의 결과는 해당 국가, 인접국가, 동일 생물지리학적 국가와 면밀히 협의.
- (5) 면제 정보를 IMO에 제출.

상기 승인 절차를 요약하면 Fig. 1.1.6과 같다.

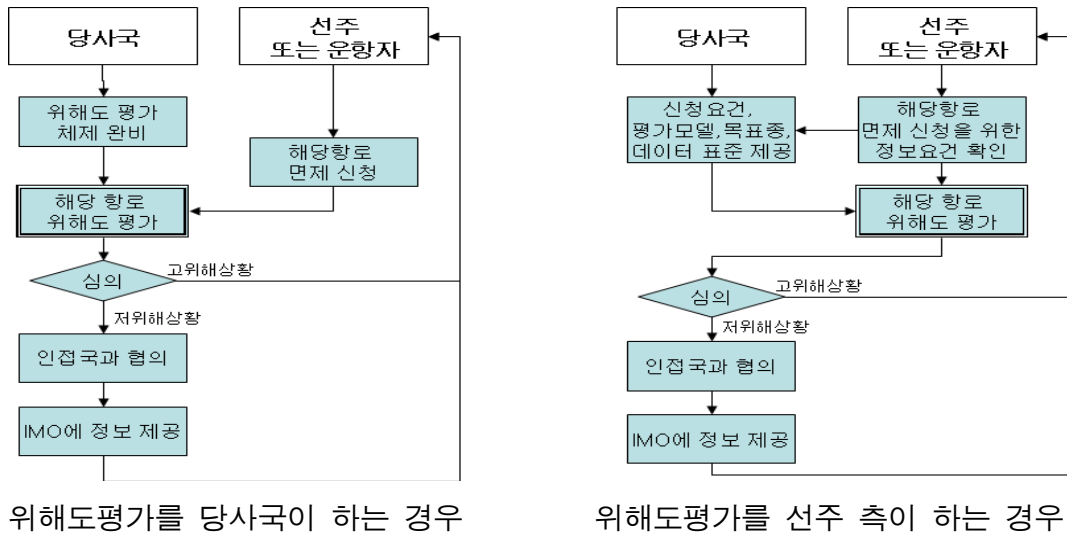


Fig. 1.1.6. Procedures for exemptions of ballast water management.

#### 다. IMO 위해도 평가 지침서 중 평가 방법

위해도 평가는 유해한 수중생물과 병원균의 진입, 정착 및 확산 등 특정사건의 가능성과 결과를 식별하는 논리적 과정이다. 지침서에서 제시하고 있는 위해도 평가 방법은 3가지이며, 각 평가 방법은 다음과 같다.

- 환경 매칭 위해도 평가(Environmental matching risk assessment)

환경매칭 위해도 평가는 서로 다른 장소간의 환경조건을 비교하는 것을 바탕으로 한다. 환경 매칭 위해도 평가는 제공 지역(혹은 항만)과 수용 지역(혹은 항만) 간의 온도나 염도 등 환경 조건을 비교한다. 이들 장소간의 유사성 정도는 생존 가능성과 이들 지역 사이를 이동하는 생물종의 정착 가능성의 지표를 제공한다. 생물종들이 한 지역 내에서 광범위하게 분포하고 있고 단일 항구에만 제한되는 경우가 드물기 때문에 원천 지역의 환경 조건을 고려해야 한다. 본 지역들은 보통 생물지리학적 지역으로 정의된다. 기존의 모든 생물지리학적 방법이 본 지침서에서 제안된 것과는 상이한 목적으로 파생되었음을 인식하고, 현재 입수가 가장 용이한 정보를 바탕으로 광역해양생태계(LME) 방법(<http://www.edc.uri.edu/lme>)을 사용하되, 필요할 경우 각 지방이나 지역에 맞춰 수정할 것을 제안한다. 제안된 생물지리학적 방법이 특정 환경에서는 적절하지 않을 수도 있으며, 이 경우에는 기타 인정된 생물지리학적 방법이 고려되어야 할 수도 있다. 따라서 환경 매칭은 제공항의 생물지리학적 지역과 수용항간의 환경 조건을 비교해서 제공항의 생물지리학적 지역에서 발견된 생물종이 여타 생물지리학적 지역에서 생존할 가능성을 판단해야 한다. 환경 매칭에서 고려하는 환경 조건에는 염분, 온도 혹은 영양염류이나 산소 등 기타 환경 조건 등이 있다. 환경 매칭 위해도 평가의 사용 시에는 유해 생물종이 새



로운 장소에서 성공적으로 정착하고 해를 끼칠 수 있는 능력이 예측되는 환경 조건을 식별하는 것과 선박평형수 배출의 위해도가 수용할 만큼 충분히 낮은가를 판단하는 어려움이 수반된다. 환경 매칭 위해도 평가는 제공항의 생물지리학적 지역과 수용항 간의 차이가 적을 경우 그 가치가 제한되는데, 이는 유사성이 높으면 정착의 성공 가능성이 높은 것을 나타내기 때문이다. 환경 매칭 위해도 평가에 필요한 자료는 다음이 포함되나 이에 국한되지는 않는다.

- 수용항에서 배출될 선박평형수의 원산지
- 제공항과 수용항의 생물지리학적 지역
- 특히 염분과 온도 등 환경 조건의 평균 및 범위

본 정보는 제공항과 수용항의 환경 유사성 정도를 판단하기 위해 사용된다. 많은 경우에 이러한 환경적 특징의 일부나 모두를 판단하기 위해 기존 자료를 사용하는 것이 가능하다.

정보를 수집할 때는 다음 사항을 고려해야 한다.

- 수용항과 항이 위치하고 있는 하구 혹은 만에서 표, 저층 수온과 염분의 계절별 변화. 표, 저층의 값은 잠재적인 침입 생물종에 유용한 전체 환경 조건 범위를 결정하기 위해 필요하다(예: 저 염분 표면수는 담수 생물종의 침입을 가능하게 한다.) 사용가능한 자료를 통해 물이 연중 잘 섞여 있음을 알 수 있는 경우 염분과 온도의 깊이별 단면도는 필요하지 않다.
- 강한 조수나 해류가 있는 수용항에서 염분의 일시적인 변화는 조석주기에 걸쳐 판단해야 한다.
- 계절적 변화나 수심의 변화가 있는 지역에서의 염분은 계절적 또는 수심 기준에 맞춰 판단해야 한다.
- 수용항과 주변 수의 염분 체계를 일시적 또는 영구적으로 변화시킬 수 있는 담수 흐름에 대한 인간이 미친 영향 여부
- 수용항의 생물지리학적 지역에 대한 연안수의 계절적 온도 변화. 표면수와 수심에 따른 온도 변화에 대해 모두 고려해야 한다.

제공 지역에서 커다란 환경적 차이에도 견뎌내는 것으로 알려진 생물종에 대해 먼저 고려한 후에 환경 조건을 분석할 것이 권장된다. 가능하다면 이러한 생물종(예, 광온, 광염성 생물, 소하성 혹은 강하성 생물)과 관련된 위해도를 평가할 수 있도록 생물종별 접근법을 사용해야 한다.

- 생물종 · 생물지리적 위해도 평가(Species, biogeographical risk assessment)

생물종, 생물지리적 위해도 평가는 자생 및 비 토착종(non-indigenous species)의 중첩을 비교해서 환경적 유사성을 평가하고 고 위험 침입종을 식별한다. 생물종, 생물지리학적 위해도

평가는 제공항과 수용항 및 생물지리학적 지역에서 현재 존재하는 비 토착 종, 원인불명종 및 유해 자생종 생물지리학적 분포를 비교한다. 제공항과 수용항 및 지역에서 중복되는 종이 있으면, 이는 해당 환경 조건이 동, 식물의 분포를 허용할 수 있을 정도로 충분히 비슷함을 바로 보여주는 것이다. 또한 생물지리학적 분석은 고 위험 침입종을 식별하기 위해 사용할 수 있다. 가령, 제공항의 생물지리학적 지역에 있는 자생종이 다른 유사한 생물지리학적 지역에 성공적으로 침입했으나, 수용항의 생물지리학적 지역에서 발견되지 않았으면, 이 자생종은 수용항 혹은 그 장소에서 고 위험 침입종으로 간주될 수 있다. 이러한 생물종이 유입된 생물지리학적 지역의 수가 많을수록 이러한 생물종이 선박평형수에 의해 유입되었을 때 수용항이나 지리생물학적 지역에서 정착될 잠재성이 더 크다. 제공항의 지리생물학적 지역이 다른 지역으로 유입의 주된 근원인 경우에서도 일반적으로 위험을 나타내는 것으로 간주된다.

생물종, 생물지리학적 위해도 평가에 필요한 자료에는 다음이 포함되나 이에 국한되지는 않는다.

- 제공/수용(항의) 생물지리학적 지역 및 항구의 유입 기록
- 제공항의 생물지리학적 지역에서 선박평형수를 통해 이동 가능한 자생 및 비 토착종들이 다른 생물지리학적 지역에 침입했던 기록과 침입을 받았던 생물지리학적 지역의 수와 성질
- 인체의 건강에 영향을 미칠 가능성이 있거나 선박평형수 이동을 통해 수용 지역으로 유입된 후 상당한 생태학적 또는 경제적 영향을 미칠 수 있는 제공 지역의 자생종의 기록

또한 생물종, 생물지리학적 위해도 평가는 수용항과 유사한 기타 생물지리학적 지역에서 침입종으로 알려졌거나 혹은 넓은 생물지리학적 또는 서식지 분포를 가진 자생종으로 알려진 것처럼 제공 지역의 잠재적 목표종을 식별하기 위해 사용될 수 있다.

• 생물종별 위해도 평가(species-specific risk assessment)

생물종별 위해도 평가는 식별된 목표종의 분포와 특징을 평가한다. 생물종별 위해도 평가는 생활사와 생리적 내성에 대한 정보를 사용해서 생물종의 생리적 범위를 정의하고 이를 통해 그 생물종이 수용 환경에서 생존하거나 생애주기를 완료할 수 있는 잠재능력을 예측한다. 즉, 개별 생물종 특징을 수용항의 환경 조건과 함께 고려해서 이동과 생존 가능성을 판단한다. 생물종별 위해도 평가를 실시하려면 환경, 인체의 건강, 재산 및 자원을 해치거나 손상을 입힐 수 있는 해당 생물종을 식별/선정해야 한다. 이들을 목표종이라고 부른다. 목표종은 특정 항구, 국가나 지리적 지역에서 선정해야 하고 영향을 받는 국가와 협의 하에 식별되고 동의되어야 한다. 잠재적으로 유해하거나 침입성인 생물종을 판단하기 위해서는 먼저 제공항과 장소에는 존재하지만 수용항에는 존재하지 않는 모든 생물종(원인불명종 포함)을 식별해야 한다. 다음으

로 침입 및 유해 가능성이 있는 생물종을 식별하는 기준을 바탕으로 목표종을 선정해야 한다. 목표종 식별 시 고려할 요소는 다음이 해당되나 이에 국한되지는 않는다.

- 과거 유입 증거
- 환경, 경제, 인체의 건강, 재산 또는 자원에 미치는 증명된 영향
- 생태학적 상호작용의 강도와 형태(예: 생태학적 엔지니어)
- 생물지리학적 지역내와 기타 생물지리학적 지역의 현재 분포
- 매개체로서의 선박평형수와의 관계

다음으로 생물종별 위해도 평가는 실제로 또는 잠재적으로 유해한 비 토착종(원인불명종 포함)을 포함한 목표종의 목록을 대상으로 실시되어야 한다. 평가 대상인 생물종의 수가 늘어나면, 저 위해상황의 수가 줄어든다. 이는 생물종 평가가 정확하다면 정당화될 수 있다. 그러나 문제는 자료의 부재로 인해 평가가 제약을 받을 때 발생한다. 하지만 분석된 생물종의 수가 적을수록 전반적인 위험 예측의 불확실성이 커진다는 점을 인식해야 한다. 그러므로 적은 수의 생물종으로 분석을 제한하는 것과 관련된 불확실성은 침입의 전반적인 위험을 평가하는 면에서 고려되어야 한다. 목표종을 사용할 때는 제약이 존재한다는 점에 주의해야 한다. 비록 일부 자료와 정보가 결정을 내리는 것을 지원하기 위해 얻어질 수 있지만, 환경, 인체의 건강, 재산 및 자원을 해치거나 손상을 입히는 생물종을 식별하는 것은 주관적인 작업이며, 이러한 접근법에는 어느 정도의 불확실성이 있게 된다. 가령 일부 환경에서 유해하다고 식별된 생물종이 다른 환경에서는 유해하지 않을 수 있고, 그 반대의 경우도 가능하다. 제공항과 수용항이 각기 다른 생물지리학적 지역에 속할 때 생물종별 위해도 분석이 실시될 경우, 제공 지역의 잠재적으로 유해한 생물종의 존재에 대한 자료의 부족으로 인해 발생하는 불확실성을 식별하고 이를 감안해야 한다. 생물종별 위해도 평가에 필요한 자료에는 다음이 포함되나 이에 국한되지는 않는다.

- 제공항 및 수용항의 생물지리학적 지역
- 목표종을 식별하기 위해 수용항에 존재하지 않으나 제공항, 항만 지역, 생물지리학적 지역에 존재하는 모든 비 토착종(원인불명종 포함) 및 자생종
- 수용항, 항만 지역, 생물지리학적 지역에 존재하는 모든 목표종
- 제공항과 수용항, 항만 지역, 생물지리학적 지역에 존재하는 목표종의 차이
- 목표종의 생활사 정보와 생리적 내성, 특히 각 생활 단계에서의 염분과 온도 정보
- 목표종별 서식지 유형과 수용항에서 유용한 서식지 형태

목표종이 수용항에 이미 존재하는 경우, 그 목표종이 활발한 통제를 받고 있지 않다면, 해당 항만에 대한 전체 위해도 평가에서 그 목표종을 제외하는 것이 합리적이다. 그러나 비 토착

종이나 원인불명종이 제공항과 수용항에서 보고되었을지라도 이러한 종이 수용항에 지속적으로 유입되는 경우 정착 및/또는 침입 개체군 밀도를 달성할 가능성이 증가함을 인식하는 것이 중요하다.

위해도 평가는 각기 다른 형식을 취할 수 있다. 목표종이 제공항에는 존재하나 수용항에서는 존재하지 않는지 여부와 선박평형수를 통해 이동될 수 있는지 여부를 판단하는 간단한 평가는 실시될 수 있다. 그러나 목표종이 아래에 제시된 각 단계별로 생존할 가능성을 평가하는 것이 적절한 것으로 고려된다.

- 취수 : 선박평형수 취수 작업 동안 선박의 선박평형수 탱크에 살아갈 수 있는 단계의 진입 가능성
- 이동 : 항해 동안 생존 가능성
- 배출 : 도착 시 선박평형수 배출을 통해 수용항에 살아갈 수 있는 단계의 진입 가능성
- 개체군 정착 : 수용항에서 자체 유지되는 개체군을 정착시킬 생물종의 가능성

수용항의 계절적 조건과 함께 제공 항 지역에서 발생하는 생활단계의 계절적 변화를 고려해서 목표종의 각기 다른 단계를 최대한 많이 평가해야 한다. 따라서 관리되지 않은 선박평형수 배출시 전반적인 위해도 평가는 이러한 모든 단계를 살아남는 모든 목표종의 평가를 바탕으로 결정되어야 한다. 어떤 생물종의 수용 항에서의 생존여부를 평가할 때는 모든 생활단계의 생리적 내성을 고려해야 한다.

- 성체의 생존능력은 수용 항과 더 넓은 주변수에서 관찰된 환경 범위 내에 속하는 온도와 염분 모두의 생리적 제한에 의해 나타난다. 확실히 하기 위해서 자생 및/또는 유입된 생물종의 범위에 대한 비교를 실시해서 예측된 내성(연구소나 현장 연구를 바탕으로)이 실제 분포를 반영하는 지를 확인할 수 있다.
- 기타 생활 단계에서는 생애 주기의 단계별 생리적 요건을 번식기 동안의 환경 조건과 비교해야 한다. 이러한 단계가 생애 주기를 완성하기 위해서 다른 서식지에 살 수도 있다는 점에 주의해야 한다(예: 연안 저서성 무척추동물의 원양 유충). 자료는 적절히 수집해야 한다.
- 기타 조건에 대한 알려진 생리적 내성에 대한 자료가 있고 관련성이 있다면 비교를 수행해야 한다.

위해도 평가방법들은 개별적으로 또는 병행해서 사용할 수 있으며, 각 접근법마다 한계가 있다는 점을 인식해야 한다. 환경 매칭 및 생물종, 생물지리적 위해도 평가는 서로 다른 생물지리적 지역 간의 평가에 가장 적절한 방법일 수 있다. 생물종별 위해도 평가는 생물지리적 지역 내의 제한된 유해 생물종을 대상으로 평가를 실시하는 상황에서 가장 적절한 방법일 수 있다.

## 제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

### 1. 연구개발의 최종목표

- 서해 항만에서 선박평형수 위해도 평가
- 서해 항만 해양환경, 생물종 DB 및 입출항 선박 평형수 조사를 통해 위해도 평가자료 확보



## 2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

년도	연구의 수행내용	구체적인 수행범위
2011	○ 항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 조사지역 : 인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항 및 주변해역</li> <li>- 계절별(2회) 조사를 수행하며, 환경요인의 채집 및 분석은 부유 생물 조사와 동시에 수행</li> <li>· 부유생물: 편모류(net size), 규조류, 중형동물플랑크톤, 무척추동물의 유생류</li> <li>· 환경요인: 수온, 염분, 영양염, 투명도, 용존산소, 화학적 산소요구량(COD), 총 부유물질(TSS), pH</li> <li>- 식물, 동물플랑크톤 조사 및 종 목록작성</li> <li>- 항만해역의 저서무척추동물 및 외래유입종 조사</li> <li>· 대산항내 저서무척추동물 조사 및 분석</li> <li>· 저서 무척추동물 종 목록작성 및 외래유입종 파악</li> <li>· Collector Plate를 이용하여 조사</li> </ul>
	○ 선박 평형수 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항만에 입, 출항하는 정기항로운항 선박의 평형수 탱크 내 생물 및 환경요인 조사.</li> <li>- 선박 평형수 내 생물의 주변수에 대한 적응 능력 시험.</li> </ul>
	○ 항만 환경 유사도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 황해 내 한-중 항만환경 자료 수집 및 교환(한국 4개 항, 중국 5개 항)</li> <li>- 황해 내 한-중 항만 간 항만환경 유사도 예비 평가(6가지 환경 항목 이용)</li> <li>- 한·중 서해지역 항만에 대한 위해도평가 적용</li> </ul>

### 3. 연구 추진계획 및 수행방법

#### 가. 연구개발 추진체계

- 기본적인 연구형태는 본 연구팀에서 단독과제 형태로 수행하되, 일부 자료 확보를 위해 기상청, 국립해양조사원과 협조체제를 구축.
- 한, 중 공동협력을 위해 추가 조사하는 항만에 대해선 산학연 합동 분석을 실시함.
- 선박 평형수 모니터링을 위한 채집 및 시료확보를 위해 국립검역소와 공동연구를 추진.
- 각 항만별 및 전국의 선박 입출항 기초 정보를 취득하기 위해 해양수산부의 항만관리정보시스템 PORTMIS 와 연계 추진.
- 황해 생태계에 속하는 항만에 대해서 한, 중 공동으로 적용 가능한 위해도평가 방법을 개발하고 환경, 생물자료 등을 교환하여 상대적인 위해도 평가를 실시함.
- 연구계획 및 과정을 국제해사기구(IMO) 등 국제기구에 의제문서로 제출하고, 관련 국가들과 국제공동 의제 개발을 추진.

#### 나. 수행방법

- 본 과제는 생물, 화학, 지질, 물리, 선박해양공학 등 모든 분야의 전문가들이 필요한 다학제적 연구 과제이므로 본, 분원 연구원의 전문 인력 활용을 극대화한다.
- 항만 모니터링은 크게 생물과 환경요인 조사로 구성되며, 5개항 (인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항)과 주변해역에서 계절적 조사를 수행한다.
- 저서무척추동물은 대산항에서 실시하며, 동시에 Collector Plate를 설치하여 부착생물 현황을 분석한다.
- 환경요인의 채집 및 분석은 부유생물 조사와 동시에 수행한다.
- 항만 환경 및 생물 모니터링 자료는 위해도 평가를 위한 지침서(G7)에 근거하여 항만 위해도 분석에 적절하도록 양과 질을 유지한다.
- 국내항만 입, 출입 선박중 정기항로를 운항하는 선박을 대상으로 평형수 생물 및 환경 모니터링을 실시하며, 가능한 평형수 전수조사를 실시하여 결과값의 대표성을 갖도록 한다.
- 평형수에 채집된 생물 중 식물플랑크톤의 생리상태를 측정하여 평형수 탱크채류시간에 대한 생물의 활성상태를 분석한다.
- 평형수에서 채집된 생물들의 현장적응성 실험을 위해, 현장조건과 생물성장에 유리한 조건에서 배양하여 성장률, 난생산력 등을 측정하여 새로운 환경에 적응가능성을 분석한다. 이러한 실험은 가능한 종별분석을 실시한다.
- 본 연구를 통해 잠재적 위해생물을 선정하고, 전 지구적 분포현황을 파악한다.
- 개발된 환경유사도 절대평가방법을 적용하여 항만간 환경유사도 분석을 실시한다.
- 당해 연도에 조사, 분석, 수집된 자료들을 기 개발된 database에 입력하고, 위해도평가에 사용한다.

- 기 개발된 위해도평가 프로토타입 시스템을 운용을 실시하고, 이를 통해 문제점 파악 및 개선연구를 수행한다.
- 향후 선박평형수 전문연구기관 선정을 위한 TFT(task force team)을 만들어 정부 해당부처에 대한 주기적 업무협의를 통해 위해도평가 방법 및 시스템 설명 및 운영에 필요한 인프라, 조사, 연구를 협의한다.





## **제2장 국내외 기술개발 현황**



## 제2장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 연구동향

#### 1. 위해도 프로그램 개발을 위한 유사도 지수 구축

부유생물 종 목록을 통한 외국항 간, 국내항 간, 선박평형수 간의 유사도 지수 자료를 2005년과 2006년의 동계 및 춘계에 인천항, 부산항, 울산항을 대상으로 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 조사 및 분석하였다.

#### 2. 생물 모니터링

국내 항만에서 수행된 부유생물 조사는 주로 식물플랑크톤과 동물플랑크톤에 국한되었고, 개개인의 연구자의 연구목적에 한정되어 조사 범위가 결정되었다. 동물플랑크톤의 군집조사는 부산항(홍 등, 1994; 장, 1996)과 광양항(서 와 서, 1993)에서 주로 수행되었고, 식물플랑크톤 군집조사는 주로 광양항(심 등, 1984)과 인천항(신과 최, 1988; 이와 변, 1991; 이 등, 1997; 강, 1998)에서 수행되었다. 한국해양연구원 남해연구소에서 선박평형수 배출규제 대응기술 개발연구의 일환으로 2006년 동계와 춘계에 울산항과 부산항 내, 외에서 식물플랑크톤, 원생동물 및 동물플랑크톤을 조사 및 분석하였다.

국내에서 외래생물종에 대한 연구가 활발한 분야는 육상 생태계 분야로서 ‘자연환경보전법’에는 황소개구리 등 모두 10종의 생태계 위해 생물종을 지정하였으나 이 가운데 해양에 유입된 외래생물종을 지정한 예는 없다. 국립환경과학원에서는 국내에 서식하고 있는 다양한 외래식물 정보를 인터넷으로 제공하는 한국의 외래식물 종합검색시스템을 운영하고 있으나 대상정보가 육상식물에 한정되어 있다. 환경부에서는 한국의 고유종, 멸종위기종, 수출입 허가대상종 등 법정관리 종에 대한 정보를 DB화하여 한국의 야생동·식물 사이트를 통하여 제공하여 있으나 잠재적 외래생물종에 대한 정보가 없으며 해양생물종에 대한 정보도 미흡한 실정이다.

올해 해양수산부에서 “해양생물다양성 보전대책 연구 용역”을 통하여 해양생물종목록 DB를 구축하고 이를 웹 서비스할 계획을 가지고 있으나 이는 우리나라 전체에 대한 해양생물종 목록 자료로서 항만별 서식종에 대한 구분이 불가능하여 항만의 생태계 위해도 평가 및 선박평형수에 의한 외래해양생물종 유입감시에 필요한 자료로 활용하기에는 한계가 있다.

연안역관리를 위해 육지에 있는 오염원에 대한 정보구축과 관리, 인문사회적 환경정보관리 등을 DB구축을 통해 수행해 왔으며, 보다 발전된 기술로 최근 GIS를 활용하고 있음. 생태환경 분야에서 습지보전을 위한 동식물상의 분포지도 제작, 어류 및 포유류의 군집 및 이동 경로 모니터링에 적용하고 있다.

### 3. 선박평형수 처리 정보

한국해양연구원은 해양수산부 과제 “선박 선박평형수 배출규제 대응기술 개발 연구”를 2003년부터 수행해 오고 있다. 이 과제는 현재 IMO에서 채택되고 적용이 준비되고 있는 선박평형수 관리 국제협약을 국내에서 수용하기 위한 대응 방안을 개발하는 것으로, 정부 당국에서 수행해야 할 기초기술을 개발하는 것이다. 본 연구 과제를 통해, 한국해양연구원은 “선박 선박평형수 배출규제 대응기술 개발 연구(2003.4.-현재, 해양수산부)”를 통해 국내 선박평형수 총 배출량과 총 흡입량을 다음과 같이 추정하였다.

이 표를 보면 우리나라 전체 항구의 선박평형수 흡입량은 연간 1억8천3백만톤이고, 배출량은 2천2백만톤으로 추정되었다. 즉 우리 항만에 들어오는 선박평형수의 양은 내보내는 선박평형수보다 8배 이상 큰 것으로 나타났다.

본 연구결과는 추정에 의한 선박평형수 처리 가능량(likelihood estimate)이므로, 보다 정확한 조사를 위해서는 전국 항만의 물류형태, 화물처리량, 선급별·품목별 화물량, 선박평형수 기록부 등 다양한 자료를 근거로 산정되어야 한다.

이 해양수산부 과제는 앞으로, 각종 형식 승인 기술, 항만 샘플링 및 통제 기술, 선박평형수 배출해역 지정 등 정부가 직접 집행하여야 할 기반기술을 개발해 나갈 것이다.

항만간 위해도 평가에 대한 국내 기술 개발 사례는 아직 발표된 것이 없다. 단지, 한국해양연구원이 해양수산부 과제로, 국내 항만 간, 그리고 국내 주요항만과 인접국 항만 간의 생물종 유사성에 대한 단편적 조사를 시도한 바 있다.

위해도 평가 기술 외에, 한국해양연구원은 공공기술연구회 과제로 “선박운항 중 환경위해물질 저감기술 개발”을 2002년부터 2005년까지 수행하여, 선박평형수 처리 및 교환을 위한 기초기술을 개발한 바 있다. 이 처리기술은 2006년 3월 IMO에서 세계 최초로 활성물질 초기승인을 받았고, 현재 형식승인 시험 중에 있다. 또한 (주)엔케이는 산업자원부 과제 “선박 내 선박평형수 처리시스템 개발”과제를 통해 선박평형수 처리장치를 개발하고 있다.

Table 2.1.1. Prediction of ballasting and deballasting (unit : ton).

구분	B.흡입량 (양하·적하·양적하)	순위	구분	B.배출량 (양하·적하·양적하)
광양항	52,741,875	1	부산항	10,616,699
인천항	29,076,667	2	인천항	2,891,779
울산항	22,679,189	3	평택항	2,380,350
부산항	18,013,746	4	광양항	1,921,858
포항항	15,263,503	5	동해항	1,420,299
평택항	10,660,922	6	대산항	1,239,569
대산항	9,419,037	7	군산항	854,481
마산항	9,148,860	8	울산항	573,389
군산항	3,544,741	9	포항항	202,269
태안항	3,450,057	10	마산항	118,771
보령항	3,372,893	11	옥계항	107,909
목포항	2,164,800	12	목포항	33,899
동해항	1,741,234	13	속초항	22,720
제주항	1,165,894	14	목호항	20,092
여수항	412,924	15	삼척항	8,164
옥계항	279,760	16	여수항	2,479
장항항	110,671	17	제주항	1,408
완도항	103,701	18	완도항	857
서귀포항	81,226	19	서귀포항	326
속초항	34,074	20	장항항	287
삼척항	8,578	21		-
목호항	3,322	22		-
합계	183,477,675		합계	22,417,602

#### 4. 정보 관리 시스템

한국해양연구원은 해난정보관리시스템을 1997년에 구축하였다. 해난정보관리시스템은 해난 발생보고서 등 8개 문서의 정보를 관리대상 데이터 요소로 선정하여 관련정보의 통계현황 검색 및 출력기능을 구현하여 해난사고에 대한 체계적인 관리가 이루어지도록 한 시스템이다. 그리고 해양수산부 중앙전산실에서 관리중인 선박(일반선박, 부선, 어선), 선원 DB와 연계하여 통합적인 정보를 얻어낼 수 있도록 하였다.

한국해양연구원은 침몰선박 DB 및 분포도시스템을 1999년~2000년에 걸쳐 구축하였다. 이 시스템으로 인해 침몰선박 특성에 적합한 정보 관리를 할 수 있게 되었으며 그 정보를 과학적이고 일관성 있게 관리 할 수 있는 체계가 마련되었다. 또한 기존 침몰선박과 향후 발생하는 침몰선박의 가시적인 위해도(해양환경 및 항해안전) 평가와 데이터베이스가 연계되어 침몰선박 분포현황을 신속·정확하게 파악하는데 활용할 수 있게 되었다. 분포도시스템은 침몰선박의 주요정보와 각종 해역 및 항해정보 등과 같은 전자해도의 기본정보를 활용하였으며 사용자 인터페이스 환경에서 전자해도 정보와 데이터베이스를 연동할 수 있는 GIS 프로그램으로 구성되었고 국제적으로 통일된 형식의 전자해도 정보를 적용함으로써 유연성과 확장성을 추구하였다.

## 제 2 절 국외 연구동향

### 1. 선박평형수 관리

GloBallast(Global Ballast Water Management Programme)는 IMO에서 지구환경기금(GEF), UN개발프로그램(UNDP), 회원국들과 선사들의 참여로 효과적인 선박평형수 관리를 위한 기술지원, 역량 및 제도를 강화하고자 전 세계를 6개의 권역으로 구분하여 사업을 진행중에 있다. 태평양-아시아 지역의 중국 대륙, 남미의 브라질, 남아시아의 인도, 중동지역의 이란, 동유럽의 우크라이나, 아프리카의 남아프리카공화국 등 6개 시범지역이 선정되었다. 현재까지 GloBallast 프로그램에서는 선박평형수 내 외래해양생물종에 의한 생태계위해도 평가, 토착종 및 유입종목록의 확보, 선박평형수 관리 수단 개발, 모니터링 실시, 지역협력의 추진과 이를 통한 실용적 관리기법의 전파, 프로그램 활동을 수행해 왔다. 아래 그림은 대련항의 타 항만간의 빈도율과 상대적 총 위해도를 보여주고 있다. 미국의 NBIC(National Ballast Information Clearinghouse)에서는 선박평형수 신고서 접수는 물론, 이에 대한 데이터베이스를 구축 운영하고 있으며, 각종 선박평형수 조사연구를 수행하고 있다. 다음과 같이 선박평형수 처리량을 온라인, 이메일 또는 팩시밀리로 NBIC(National Ballast Information Clearinghouse)에서 운영하는 전산망에서 통합 접수하고 있다.

선박평형수 신고서에 의해 데이터를 구축하여 전산망을 통해 각 데이터들을 검색할 수 있는데 다음 그림은 선박평형수 탱크에 대한 검색 예를 보여주고 있다.

NBIC에서는 이러한 데이터를 통합해 미국내 평형수 조사를 통해 결과들을 통계 분석하여 벨러스팅 패턴들을 조사하고 이를 2년마다 연방의회에 보고서로 제출하고 있다.

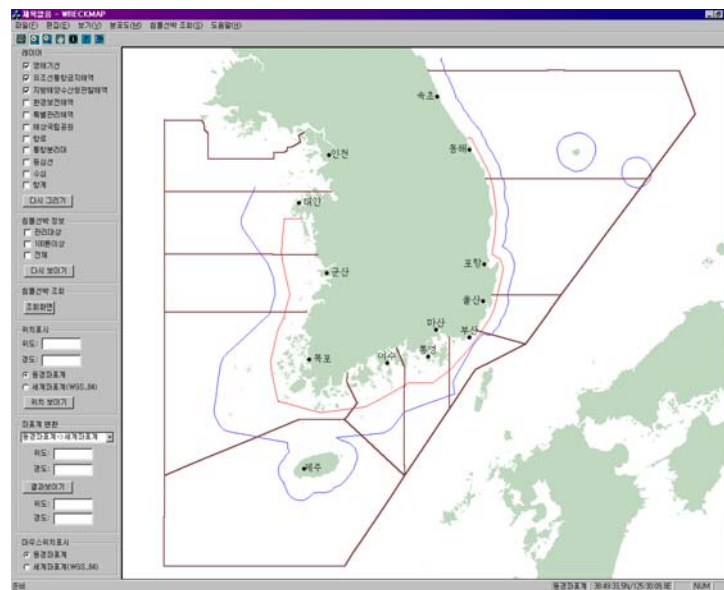


Fig. 2.2.1. GIS system of sunken ships.





Ballast Water Delivery and Management Data

Table 3 - Ballast Tank Records

Search results for: New York

Searched 7-December-2006.

State	Discharge Location	Arrival Date	Arrival Number	IMO Number	Vessel Name	Last Port	Last Country	Vessel Type	Tank Type	Source Location	Source Date	Treatment Method	Percent Exchanged	Volume Discharged [mt]	Date Discharged
NY	Albany (USA)		137689	9180865	flintereems	Saint Petersburg	Russia	general cargo							
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	No. 2 DB	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	No. 3 P	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	No. 1 S	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	No. 1 P	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	FP	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139335	9269740	Morton S. Bouchard IV	Delaware City/New York	USA	Tug/ Towing Vessel	No. 3 S	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	1 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	4 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	3 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	5 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	7 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	8 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	FP	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	2 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)		xm139354	9269726	Bno242	Delaware City	USA	Barge	6 P/S WT	Albany (USA)					
NY	Albany (USA)	2001-05-20	133906	9160334	VECHTBORG	Valivik	Sweden	GC	DB	Dordrecht	2004-05-05				
NY	Albany (USA)	2001-05-20	133906	9160334	VECHTBORG	Valivik	Sweden	GC	DB	Dordrecht	2004-05-05				
NY	Albany (USA)	2001-05-20	133906	9160334	VECHTBORG	Valivik	Sweden	GC	DB	41°07' n 02°03' w	2004-05-22				
NY	Albany (USA)	2002-07-09	70687	9197040	MT OPAL SUN	San Jose	Guatemala	CHEMICAL TANKER TYPE II AND III							
NY	Albany (USA)	2002-12-26	88627	9160346	VLISTBORG	Huelva	Spain	general cargo							
NY	Albany (USA)	2003-01-14	90591	9051741	BBC SEALAND	Fos	France	Multipurpose							
NY	Albany (USA)	2003-03-16	95871	9278973	Nordic Bulker	Ravenna	Italy	bulker	TS	Ravenna	2003-01-23	FT	300	813.26	2003-03-14
NY	Albany (USA)	2003-03-16	95871	9278973	Nordic Bulker	Ravenna	Italy	bulker	TS	Malaga	2003-01-23	FT	300	821.26	2003-03-14
NY	Albany (USA)	2003-03-16	95871	9278973	Nordic Bulker	Ravenna	Italy	bulker	TS	Ravenna	2003-01-23	FT	300	490.1	2003-03-14
NY	Albany (USA)	2003-03-16	95871	9278973	Nordic Bulker	Ravenna	Italy	bulker	DB	Malaga	2003-01-22	FT	300	721.74	2003-03-14

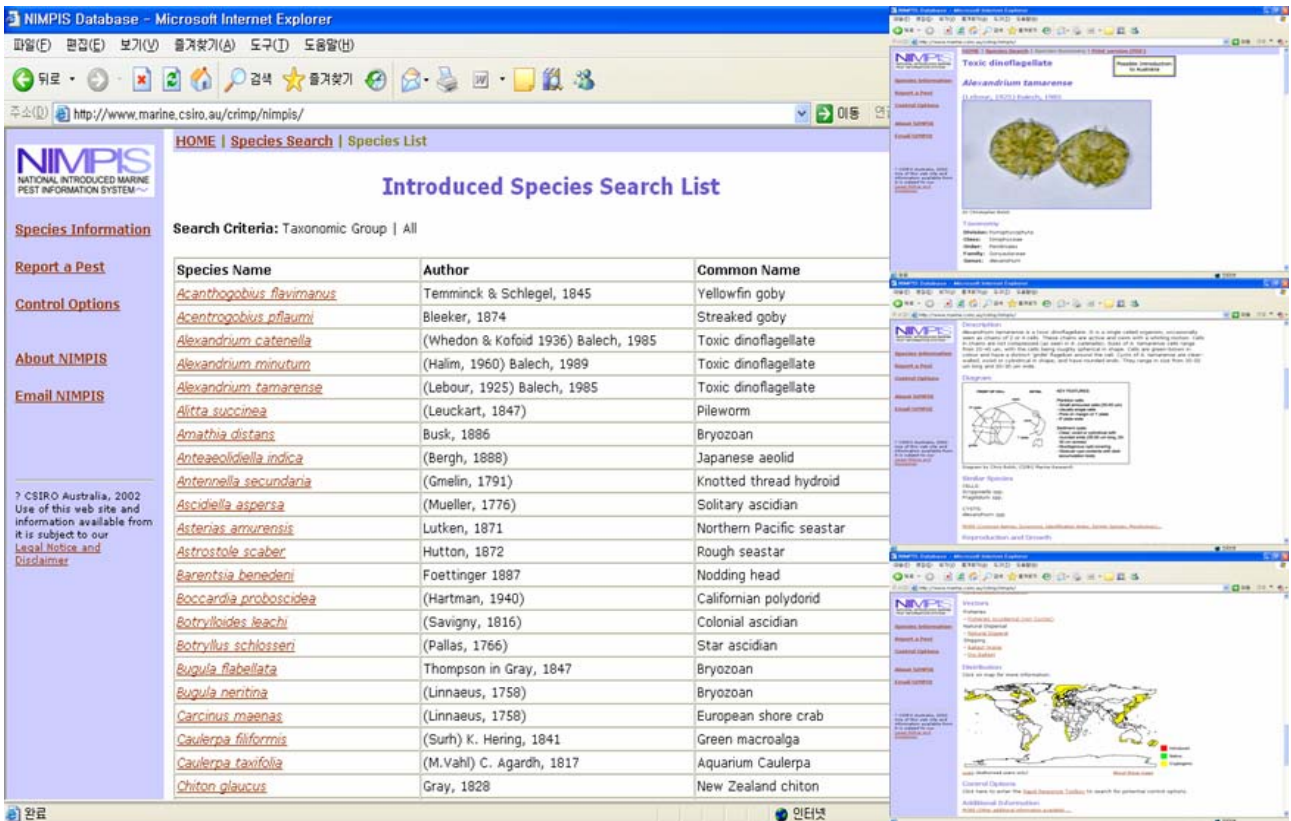
2. 생물종 모니터링 및 위해도 평가

인도(뭍바이 항), 중국(대련항), 우크라이나(오렛사 항), 남아프리카(살단하 만), 브라질(세페티바 항), 이란(카크섬 항)에서 국제해사기구(International Maritime Organization)에서 주관하는 선박평형수 위해도 평가 프로그램을 수행 중에 있다. 위 6개국 항만에서 수행된 선박평형수 위해도 평가 프로그램은 34가지의 항만 환경요인과 위해종을 선별하기 위한 항만 부유생물 및 저서생물의 모니터링을 포함하고 있다.

발트해 인접국인 총 9개국(덴마크, 에스토니아, 핀란드, 독일, 라트비아, 리투아니아, 폴란드, 러시아, 스웨덴)의 해양환경보호를 위한 5개 그룹의 프로그램을 구축 활용하고 있는데, 그 중 첫 번째 그룹이 모니터링 및 평가 그룹인데 오염원의 조사와 선박평형수 기인 외래종의 모니터링 및 항만 생물 모니터링이 포함되어 있다.

가. 각국 항만에서의 선박평형수 관리

호주에서는 검역청에서 자국 항만으로 들어오는 선박의 선박평형수의 배출여부를 국가 해양침입종정보시스템(National Introduced Marine Information System: NIMPIS)에서 획득된 정보를 통해 결정하는데, 국가해양침입종정보시스템은 위해종을 선별하기 위한 정보를 항만 및 주변해역에서의 지속적인 생물 모니터링을 통해 획득하고 나아가 위해 생물 제어방법 연구까지 영역을 확장하고 있다.



미국은 호주와 같은 통제된 시스템은 아니나 외래종의 침입을 막기 위한 행동강령 (National Invasive Species Act)에 근거한 Aquatic Nuisance Species 프로그램을 운영하고 있고, 선박평형수의 이동양상, 외래 침입종의 시, 공간 분포 양상파악 및 관리정보 구축에 집중하고 있다.

일본의 경우 항만을 중심으로 한 생물 모니터링 보다 외래종 및 위협종을 대상으로 종 목록 및 유입경로를 파악하는데 주력해왔고, 선박, 어업, 수조산업(aquarium) 중 선박에 의한 영향이 우세하였음을 증명하였다.

### 3. 선박평형수 정보 관리 시스템

각국은 자국의 생물자원을 확보하고 외래생물종의 유입을 차단하기 위하여 해양생물종정보 및 외래종정보 데이터베이스를 구축하고 이를 공유하고 있는데, IUCN의 ISSG (Invasive Species Specialist Group)은 Global Invasive Species Database 사이트를 운영하면서 외래침입종에 대한 정보를 제공하고 있으며 각국의 전문가들에 의해 지속적으로 그 자료가 업데이트되고 있다.

인터넷을 통해 지구의 생물다양성데이터를 자유롭게 공개적으로 이용할 수 있도록 하는 국제적인 프로젝트인 GBIF(세계생물다양성정보기구) 운영되고 있으며 해양 분야의 경우 해양생물종목록자료와 생태지리분포자료를 연계한 Ocean Biogeographic Information System(OBIS)이 있고, 특히 OBIS에서는 전 세계 10여 곳에 지역 노드(regional nodes; 호주, 캐나다, 중국, 유

럽, 인도양, 일본, 뉴질랜드, 남아메리카, 사하라남쪽 아프리카, 미국)가 참여하여 국가 간 생물 자원 관리에 참여하고 있다.

호주의 경우 이미 외래해양종의 침입을 막고 침입한 종들에 대한 관리를 지원하기 위하여 NIMPIS(National Introduced Marine Pest Information System)라는 생물정보 시스템을 운영하고 있음. NIMPIS는 호주 해양에서 발견된 외래해양생물 종의 생물학, 생태학, 분포뿐만 아니라 잠재적 침입종에 대한 정보까지도 제공하고 있으며 또한 새로운 침입종이 발견되었을 경우 “Report a Pest”를 통해 정보를 제출하고 이를 검증, 추가하여 지속적으로 정보가 갱신되고 있다.

연안역관리를 위해 육지에 있는 오염원에 대한 정보구축과 관리, 인문사회적 환경정보관리 등을 DB구축을 통해 수행해 왔으며, 보다 발전된 기술로 최근 GIS를 활용하고 있음. 생태환경 분야에서 습지보전을 위한 동식물상의 분포지도 제작, 어류 및 포유류의 군집 및 이동 경로 모니터링에 적용하고 있다.

### 제 3 절 현재까지의 연구개발 현황

#### 1. 현 기술의 연구개발 동향

항만 환경 위해도 평가 기술은 새로운 국제협약의 적용을 위해 필요로 하게 된 기술 분야로서, 아직 세계적으로 정립된 기술이 없는 새로운 분야이다. 각각의 요소 기술은 이미 정립되었으나, 이를 하나의 시스템으로 종합하고 평가하는 면에서는 아직 미흡한 부분이 많다고 판단된다. 현 기술의 취약성과 전망을 보면 다음과 같다.

기술 분야	취약성	전망 및 대응
위해도 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 항만에서 채집된 생물 목록은 계절 및 항만 공간 특성을 고려한 체계적 형태를 갖추지 않아 위해도 프로그램을 구축하기에 부적절한 상태이다. 이를 해결하기 위한 항만 생물 모니터링은 계절적으로 항만 특성을 대표할 수 있는 형태로 수행되어야 하고, 현재의 기술력으로 충분히 수행할 수 있는 상태임.</li> <li>- 위해도 평가를 위한 허용 한계치에 대한 객관적 기준이 세계적으로 아직 도출되지 않았음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 본 연구를 통해 위해도 평가를 위한 허용 한계치에 대한 기준을 제시하여, 우리나라 입장에서 유리한 기준을 IMO 등 국제적 기준으로 제시.</li> </ul>
항만 환경 및 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우리나라는 다양한 해양생물 자원을 소유하면서도 몇 개의 소규모 해양생물정보 DB만이 구축되어 있거나 종목록정보만을 보유하고 있어 생태지리적 생물정보의 관리 및 활용이 이루어지지 못하였음.</li> <li>- 대외교역 물량의 99% 가량을 선박을 이용하는 우리나라는 선박평형수에 의한 외래해양생물종 유입 가능성이 매우 높음에도 불구하고 이에 대한 효율적인 관리 방안을 마련하지 못하고 있음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항만의 해양생물종정보 및 생태정보의 수집과 이를 근간으로 한 데이터베이스 구축을 통해 항만생태를 관리하고, IMO 협약 대책을 마련하여 기본 인프라로서의 역할이 필요.</li> </ul>
선박 및 선박평형수 운용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국, 호주 등은 선박평형수 적재 및 배출량 신고가 의무화 되어 있어, 손쉽게 배출량 등의 통계치를 도출할 수 있으나, 우리나라는 법제화되어 있지 않으므로 선박평형수 처리량 추정이 어려움.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양수산부에서 운용하는 PORTMIS 시스템을 통해 선박 운항 통계와 화물량 통계를 도출하고, 면담조사를 통해 선종 및 화물 별 선박평형수 흡입 및 배출량 추정치의 정확도를 향상.</li> </ul>
정보화 및 DB운용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시·공간적으로 가변성 있는 자연현상의 정보를 담고 있는 해양환경자료에 대한 GIS 기술개발 및 적용은 육상정보를 다루는 육상GIS에 비해 속성자료의 이해 없인 접근하기가 어려운 분야임. 아직 해양생태환경분석 모델이 개발되지 않은 상황이며 이에 대한 연구결과도 뚜렷이 나타나고 있지 않음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제적인 추세에 따라 국가해양 GIS가 추진 중에 있고, 해양 GIS의 개념정립과 공간지리정보체계를 구축하고 있으며 조만간 해양생태환경 관리에도 GIS 기술은 핵심적인 역할을 할 것으로 전망됨.</li> </ul>

## 2. 현 기술의 앞으로의 전망

- 국제사회에서 선박평형수 배출규제에 대한 협약이 2009년부터 시작될 경우 각국은 무역항에 대한 환경, 생물, 선박입, 출항 등에 대한 정보를 DB화하고 상대국 혹은 항만에서 위해도 평가에 필요한 자료를 요청할 경우, 이에 대응할 수 있는 자료와 프로그램이 갖추어져 있어야 한다. 본 연구를 통해 구축될 DB와 위해도 평가 기술이 적극 활용될 수 있을 것이다.
- 정부는 선박평형수 관리를 위한 법령제정을 준비 중에 있으며, 이 법안에 선박평형수 관리 전문연구센터 지정이 포함되어 있다. 본 연구결과를 통해 얻은 기술력과 인프라는 향후 만들어질 관리센터를 지정받는 데 매우 유리하게 활용할 수 있다.
- 본 연구결과는 국제해사기구(IMO) 회원국들과 자료 및 프로그램이 공유될 가능성이 높기 때문에 다양한 국가들과 국제 공동연구에 활용될 수 있다.
- 본 연구 분야는 국외에서 넓은 영역에서 활발한 연구가 선행되었으므로 외국으로부터 기술도입은 가능할 것으로 예상된다. 기술료수준은 협상 조건에 따라 달라 정확한 추정은 어려우나 매우 높을 것으로 사료된다. 예로서 국제해사기구의 GloBallast programme은 개발도상국을 대상으로 낮은 가격의 기술이전 및 교육이었기에 가능하였고, 우리나라는 OECD 가입국이므로 기술료는 결코 낮지 않을 것이다. 기술료를 지불하고 개발된 기술도입 시 문제가 거의 없을 것으로 예상되나 소프트웨어 부분은 결국 많은 know-how가 중요한 역할을 할 것이므로 실효성 면에서 의문시 된다. 뿐만 아니라 기술도입을 통한 기술정착을 이루어도 결국 자체 연구개발 없이는 계속 후발주자로 남게 되며 기술의 종속성을 쉽게 벗어나기 어려울 것이다. 또한 외국 항만 조건에 맞추어 개발된 방법론을 국내에 도입하였을 때 성공여부는 국내에 맞게 기술 보완하는 것에 달려있다. 따라서 외국으로부터 기술도입은 난점이 많다고 판단된다.

## **제3장 연구개발수행 내용 및 결과**



## 제3장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링

#### 1. 서론

선박은 전 세계 물동량의 80% 이상을 수송하면서, 연간 수십억 톤의 선박평형수를 이송하게 되어 7,000종 이상의 미생물, 식물 및 동물들을 옮기는 것으로 알려져 있다. 항만에 배출되는 선박평형수에는 생물 지리학적 구역이 전혀 다른 생물들이 포함되어 있는 경우가 많으며, 많은 양의 평형수가 빈번하게 배출됨으로써 상대국 항만 및 인접 연안역의 해양생태계를 교란시키고 있고, 그 정도가 매우 심한 상태이다. 해양생물의 도입은 선박평형수(ballast water), 선박부착, 수산물의 물류 등에 의하여 일어나고 있으며, 의도적이든 비의도적이든 인간 활동이 세계적인 규모로 이루어지게 됨으로서 발생한 사회문제이다. 예를 들면 흑해에서는 북아메리카로부터 도입된 해파리류는 대량 증식하여 현지의 플랑크톤을 대량 포식함으로써 어업이 붕괴되었다(IMO 2004 : <http://globallast.imo.org/index.asp?page=problem.htm&menu=true>). 그러나 플랑크톤에 대해서는 한국의 경우 외래종의 도입은 정식으로 보고 된 적이 없다. 이에 반해 미국의 오리건 주, 캘리포니아 주 및 칠레에서는 많은 동아시아 산 요각류가 주로 선박평형수에 의해 도입되었을 가능성을 제기하고 있다(Orsi et al., 1983; Hirawaka, 1986; Fleminger and Kramer, 1988; Orsi and Ohtsuka, 1999; Bollens et al., 2002). 유해와편모조류의 수종도 동아시아로부터 유럽, 오스트렐리아에 선박평형수에 의해 도입된 것으로 추정하고 있다(Hallegraeff, 1998; Lilley et al., 2002). 현재 원재료 등을 포함한 상품의 유통은 선박을 매개로 이루어지고 있으며, 이에 따라 세계적으로 약 100~120억 톤의 해수가 선박평형수로 운반, 폐기되고 있는 것으로 알려져 있다(Ohtsuka et al., 2004). 이후 선박의 고령화, 대형화에 따라 적절한 처치가 실시되지 않으면 외래종의 도입은 지수 함수적으로 증가할 것으로 예상되고 있다(Choen and Carlton, 1998; Ruiz et al., 2000; Fofonoff et al., 2003). 본 연구에서는 이와 같은 현상을 감안하여 수출입 선박에 의한 물류량이 많은 우리나라 서해 주요 5개 무역항을 대상으로 부유생물과 무척추동물의 출현 종 실태를 조사하고 선박평형수에 의한 생물 도입의 가능성을 탐색하고자 한다.

#### 2. 재료 및 방법

항만과 주변해역의 환경 및 생물요인을 관측하기 위하여 인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항에서 각각 4~6개 정점을 선정하여 2011년 여름철(8월)과 겨울철(12월)에 현장조사를 수행하였다(Fig. 3.1.1).



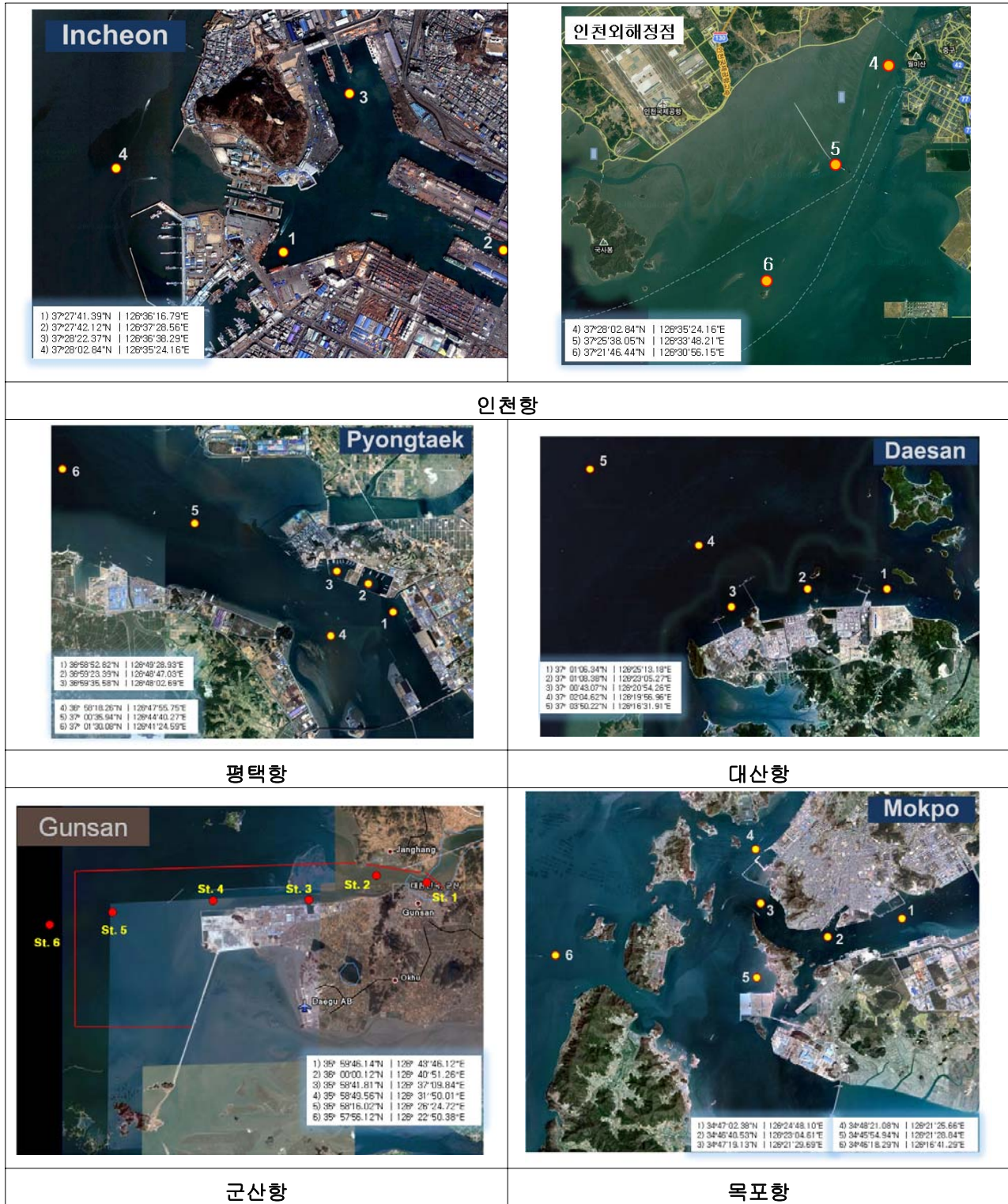


Fig. 3.1.1. Map showing the stations around and inside the five major ports.

### 가. 환경 모니터링

#### (1) 수온, 염분, 용존산소

수온, 염분, 용존 산소는 YSI-6600과 Ocean Seven 319 CTD를 이용하여 조사가 이루어졌다.

## (2) 영양염

영양염의 시료 채취는 현장에서 Watman GF/F 여과지로 거른 다음 시료의 일정량을 채취하여 500 mL의 플라스틱 vial에 넣어 냉동 보관하였다. 영양염류는 발색법(Parsons et al, 1984)을 수정 보완한 방법으로 시료를 발색시켜 발색 강도를 측정하는 방법인 FIA(Flow Injection Analyzer, Quickchem 8000, LACHAT Co.)로 분석하였다. 각각의 분석 원리는 다음과 같다.

### (가) 규산염( $\text{SiO}_3$ )

해수 시료 중의 규산염은 일차적으로 산성의 몰리브덴산 암모늄(Ammonium molybdate solution)을 가하여 노란색의 몰리브덴산 규산화합물을 만든 후 이차적으로 옥살산(Oxalic acid solution)과 스테이노우스 클로라이드 환원시약(Stannous chloride reducing solution)에 의해서 발색된 시료를 820 nm 필터로 측정하였다.

### (나) 인산염( $\text{PO}_4\text{-P}$ )

해수 시료 중의 인산염인을 산성의 몰리브덴산과 안티 모니가 첨가된 시약(Molybdate color reagent)으로 일차적으로 반응 시킨 후 아스코르빈산(Ascorbic acid)으로 환원 시켜 나타난 푸른색의 용액을 880 nm 필터로 측정하였다.

### (다) 질산염( $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ )

해수 중의 질산염을 측정하기 위하여, 금속구리를 입힌 카드뮴으로 채운 칼럼을 통과 시켜 아질산염으로 전환 시킨 후 일차적으로 슬퍼니아미드(Sulfanilamide)와 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 염화나플틸에틸렌디아민 용액( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$ )과 반응시켜 분홍색 용액으로 만들어 520nm 필터로 측정하였다.

### (라) 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )

해수 시료 중의 암모니아성 질소는 염기성인 차아염소산용액(Sodium hypochloride)과 산화 반응하여 모노클로아민을 생성한 후 페놀(Phenol)과 촉매인 니트로프러시드(Sodium nitroprusside)을 가해 푸른색의 인도 페놀을 생성시킨 후 최대 흡수 파장인 640nm에서 흡광도를 측정하였다.

## (3) 화학적 산소 요구량

화학적 산소 요구량은 해수시료를 알칼리성으로 하여 강산화제인 과망간산칼륨 일정과량을 넣은 다음 일정시간 가열 반응시키고 요오드화칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

#### (4) 총 부유물질(TSS)

총 부유물질(TSS) 측정을 위하여 실험실에서 먼저 여과지(Whatman, GF/F filter, diameter 47 mm)를 증류수로 세척하여 105 °C에서 1시간 건조시키고 제습기에서 방냉한 후 무게를 측정하였다. 선상에서는 해수 시료 500 mL를 미리 준비한 여과지로 여과한 후 냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 냉동 보관한 여과지를 105 °C에서 1시간 건조 시킨 후 제습기에서 방냉하여 무게를 측정하였다. 이때 증가한 무게를 부유물질의 양으로 하였다.

#### (5) 엽록소 a

식물플랑크톤의 엽록소 a 농도를 측정하기 위하여 Niskin 채수기로 표층과 저층에서 시료를 채집하였다. 채수한 시료 중 500 mL을 직경 45 mm GF/F 여과지로 여과하였으며 여과 압력은 200 mmHg 이하를 유지하였다. 해수를 모두 여과하기 직전에 엽록소 산화를 방지하기 위해 1% 탄산마그네슘(MgCO<sub>3</sub>) 용액을 약 1 mL 첨가하였으며, 여과 종료 후에는 여과지를 20 mL 바이알병(vial)에 담아 빛을 차단 후 냉동 보관하였다. 실험실에는 아세톤 추출법에 따라 엽록소를 추출하였다. 냉동한 여과지를 상온에서 녹인 다음, 시험관(또는 원심분리관)에 넣어 90% 아세톤 10 mL를 주입하고 교반기로 강하게 교반한 다음 냉암소(냉장)에서 20 ~ 24시간 동안 추출하였다. 추출한 엽록소는 시험관을 원심분리기에 넣고 2,000 rpm으로 10분 동안 원심 분리시켜 상등액을 1 cm cuvette에 주입한 후, 형광측정기(Web-Lab Fluorometer)로 형광량을 측정한 후, 이를 엽록소 a 값으로 환산하였다.

### 나. 생물 모니터링

#### (1) 식물플랑크톤

식물플랑크톤 정량시료는 선상에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였으며, 채수한 시료 중 500 mL를 PE 시료병에 옮겨 담았다. 시료병에 옮긴 시료는 현장에서 즉시 Lugol 용액으로 고정하였으며, iodine 광산화를 막기 위하여 Aluminium 호일로 차광하여 실험실로 운반하였다. 정성시료는 Net(mesh size 20 $\mu$ m)를 수직 예인하여 채집하였으며, 시료 채집 즉시 포르말린 용액으로 고정하였다. 실험실에서는 시료를 24시간 이상 안정된 장소에 보관하여 시료 내 식물플랑크톤을 침전시킨 다음, siphon으로 상등액을 제거하여 약 50 mL 정도로 농축하였다. 현미경 관찰을 위하여 농축시료를 100회 이상 흔들어 균질하게 혼합하였으며 그 중 1 mL를 취하여 Sedgwick-Rafter Counting Chamber에 넣고 Olympus 현미경으로 세포수를 계수한 다음, 이를 단위 mL 당 식물플랑크톤 세포수로 환산하였다(Thronsdon, 1993). 정성분석은 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 고배율인 400~1000배하에서 검경 및 동정하였다. 규조류 동정에는 심(1994), Cupp(1943), Hendey(1964), Tomas(1997), Yamaji (1984) 등을 참고하였으며, 와편모류는 Drebes(1974), Shin(1998), Dodge(1982) 등의 논문을 각각 참조하였다.

## (2) 동물플랑크톤

국내 주요항만의 조사는 항만 내에 고유 서식하는 플랑크톤의 목록을 신뢰성 있게 작성하고, 이들의 출현환경범위 및 고유 지역의 특징을 정의하기 위해 계획되었다. 동물플랑크톤 채집은 국내 주요 항만을 대상으로 서해지역의 인천항, 평택항, 대산항, 군산항, 목포항을 대상으로 2011년 8월, 12월로 2회에 걸쳐 실시하였다(Fig. 3.1.1). 동물플랑크톤 채집은 원추형 넷(망목 200  $\mu\text{m}$ , 망구 45 cm)를 이용하여 바닥 1m 위에서 표층까지 1 m/sec의 속도로 3회 반복 채집 하였다. 채집된 시료는 최종농도 5~10%가 되게 중성포르말린으로 고정하였다. 종조성 및 개체수 조사에 시료의 분할이 필요할 때는 Folsom식 부차시료기를 이용하여 고정된 시료를 1/8~1/64까지 분할한 후, Bogorov 계수판에서 해부현미경(Nikon SMZ 1000)을 사용하여 요각류는 가능한 종 수준까지 동정하였으며, 요각류를 제외한 분류군은 목(order) 수준까지 분류 계수하였다. 요각류를 대상으로 종을 동정하는 과정에 따라서 보다 세밀한 관찰이 필요한 경우는 동정에 필요한 부속지를 해부하여 고배율 광학현미경(Nikon ECLIPSE 80i) 하에서 관찰하였다. 동물플랑크톤의 정량분석을 위하여 넷 입구에 유속계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과 해수량을 산출하였다. 동물플랑크톤 개체수는 단위체적(1  $\text{m}^3$ ) 당 출현개체수(ind./ $\text{m}^3$ )로 환산하였다. 조사시기에 따른 정정별 종 조성과 그에 따른 해역별 유사도 측정을 위해 Bray-Curtis의 유사도 지수를 토대로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의하여 정점간 수지도(dendrogram)를 작성하여 군집화 하는 계보적 군집분석(Hierarchical cluster analysis)에 의해 살펴보았다. 동물플랑크톤 군집구조 분석에 필요한 자료의 과대평가를 줄이기 위해 모든 개체수 자료를 자연 Log로 변환한 자료를 사용하였다. 모든 분석은 통계프로그램인 PRIMER(version 5.0)를 사용하였다.

## (3) 저서무척추동물 및 유입종

### (가) 조사지점

대산항은 "항만 안벽의 저서무척추동물 조사"와 "부착관의 저서무척추동물 조사"에서의 조사지점이 동일하다. 조사지점의 위치와 GPS(google data)를 아래에 나타내었다(Fig. 3.1.2).



Fig. 3.1.2. Map showing the survey station at Daesan port.

(나) 항만 안벽의 저서무척추동물

항만 안벽의 저서무척추동물 종류상과 서식특성을 파악하기 위해 모두 잠수조사(SCUBA diving)를 실시하였으며, 정성조사와 정량조사를 병행하였다. 항만 안벽의 저서무척추동물 서식 구조를 파악하기 위해 10m, 5m, 2m에서 각각 방형구(50×50cm)조사를 실시하였는데, 각각의 정점에서 3개의 방형구를 디지털 카메라로 촬영하였고, 25×25cm 범위의 표본을 채집하였다. 정성조사는 안벽에 서식하는 종들 모두를 대상으로 하였으며, 별도로 종별 사진을 촬영하였다. 필요에 따라서 비디오로 수직구조를 촬영하여 군집분석에 보조 자료로 활용하였다.

생태지수 산출은 영상 및 사진자료, 현장기록장 등을 종합하여 종수, 개체수, 피도를 기본적으로 구하였다. 피도는 coverage converting program으로 산출하였으며, 생물량(biomass)은 현장에서 해당 방형구 내의 모든 저서생물을 채집하여 중량을 측정하였다. 이상의 기초 자료를 종합하여 중요도 및 종 다양도 구하였다. 현장에서 확보된 화상 자료는 크게 2가지 단계를 거쳐 수치화 하였다. 우선 촬영된 화상 자료를 컴퓨터로 다운로드하여 편집 및 분석 가능한 디지털 화면으로 전환하였는데, 디지털 카메라 촬영 데이터는 레벨 조정 후 직접 사용하고, 비디오 촬영 자료는 프리미어-프로 1.5와 같은 이미지 편집 프로그램을 이용하여 비디오 영상을 확보하였다. 확보된 디지털 화면은 image analyse soft wear(CPCe 3.3: Coral Point Count with Excel extention, PointCount' 99)를 이용하여 수치화하였는데, 먼저 종별 피도를 구하고, 개체수를 산출하였다.

(다) 부착판의 저서무척추동물

부착판(collector plate)는 지름 30cm의 원형판(두께 5mm)으로 제작하였다(Fig. 3.1.3). 재질은 아크릴의 일종이며, 표본에 광택을 제거하여 부유하는 유생이 착생하기 쉬운 조건을 마련하였다.

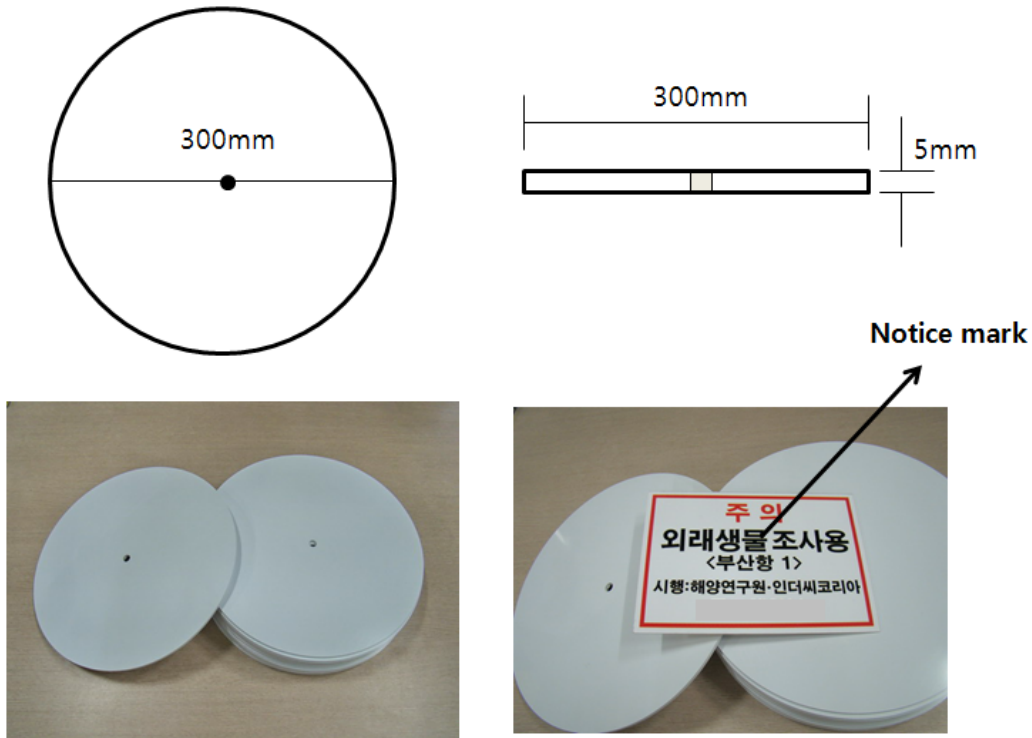


Fig. 3.1.3. Specification of a collector plate.

부착판 line은 부착판들이 항상 일정한 수심을 유지할 수 있도록 그림과 같이 구성하였다. 부이에서 첫 번째 plate까지는 대략 1m 수심을 유지하였으며, 각 plate는 2m 거리를 두었다. 따라서 첫 번째 plate는 1m, 두 번째 plate는 3m, 세 번째 plate는 5m 수심이 되게 된다. 중심추는 line을 일직선으로 유지함과 동시에 각 판이 일정한 수심에 있을 수 있도록 하기위해 부착하였으며, 추의 무게가 선을 당길 수 있을 정도의 무게로 제한하였다. 부표는 25Kg용량을 사용하였으며, 조사내용을 알리기 위한 주의판을 부이에 부착하였다. 한편 부착판은 초기에 페인트 용기의 뚜껑을 이용하였는데 이는 테두리 면이 넓고, 판 가장자리에 흠이 많아 출현 중수면에서 과대평가 될 여지가 있다. 따라서 동일 조건이 될 수 있도록 모양을 단순화 하였다.

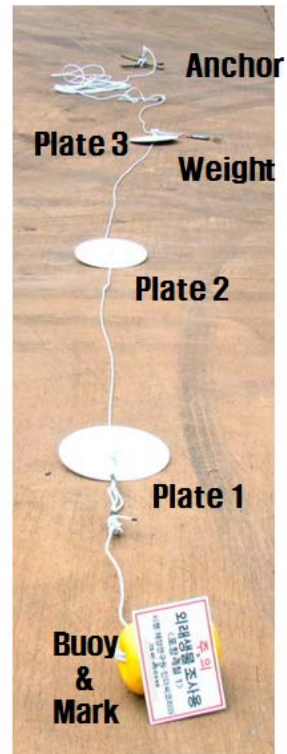
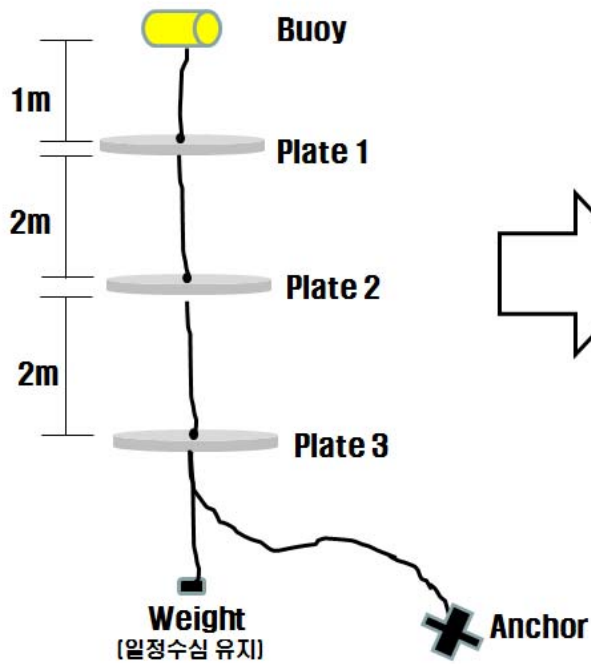


Fig. 3.1.4. Formation of the collector plates.

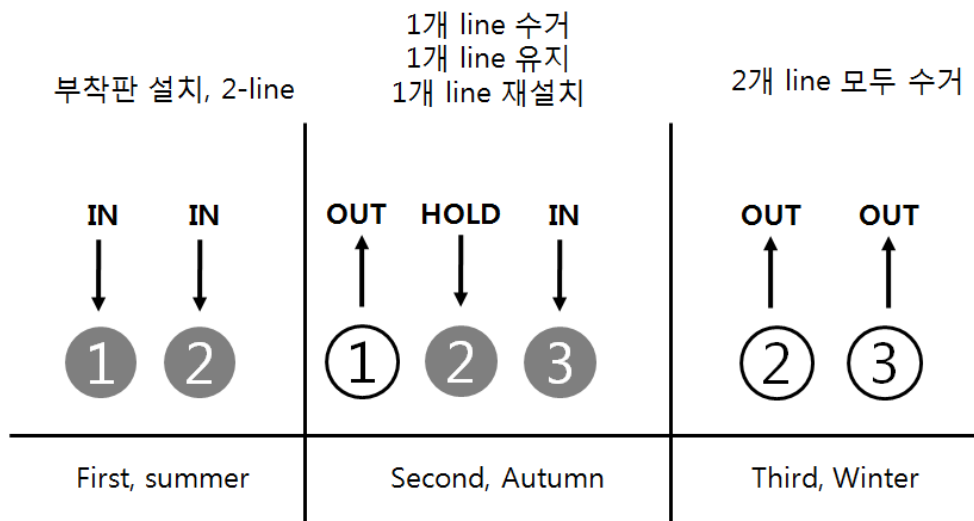


Fig. 3.1.5. Procedure of the remove and replacement of collector lines.

부착판은 1개 지점에 2개 Line을 설치하였으며, 7월에 2개 Line을 투입하였고, 11월에 투입된 2개 가운데 1개를 수거하고, 1개 Line은 유지하였으며, 1개 Line을 추가로 재 투입하였다.

2012년 1월에는 7월에 투여된 Line과 11월에 투여된 Line 모두를 수거할 계획이었으나 7월에 투여된 Line은 유실되었다. 이와 같은 절차를 둔 이유는 시기별로 부착하는 생물의 차이를 파악할 수 있다는 것과, 초기 부착한 생물들이 시간의 경과에 따라 어떤 구조로 변해 가는지를 파악할 수 있기 때문이다. 수거된 부착판은 plate별로 즉시 비닐에 넣어 생물들의 유실을 방지하였으며, 현장에서 부착판별 사진과 종별 사진을 촬영한 후 각 plate에 label을 넣어 별도로 고정하였다. 고정액은 에틸알코올(95%)을 사용하였다.



**Collector 수거**



**수심별 각 plate의 분리**



**표본처리 및 촬영**



**표본고정 및 분리보관**

Fig. 3.1.6. Treatment of the collector plates.

(라) 표본의 동정

표본의 동정은 아래의 자료를 참고 하였으며, 무척추동물 각 종에 대한 국명과 체계는 한국동물명집(한국동물분류학회, 1997)에 따랐다. 분류학적으로 미해결된 종들은 sp.로 표기하거나 목록화하지 않았다. 해면동물(Phylum Porifera)은 Rho (1977), Sim(1999), Hooper & Soet (2002) 등의 도감과 관련 논문들을 참고. 자포동물(Phylum Cnidaria) 및 태형동물(Phylum Bryozoa)은 Cha & Song(2001), Park(2000), Seo(1992, 2005), Song(2000, 2004), Fabricius & Alderslade (2000) 등의 도감과 관련 논문들을 참고. 환형동물(Phylum Annelida)은 Paik(1989)을 주로 이용. 연체동물(Phylum Mollusca)은 Choe(1992), Habe(1977), Min et al.(2004), Okutani(2000), Okutani & Habe(1990) 등의 도감과 Abott(1989) 등의 관련 논문들을 참고. 갑



각류(Superclass Crustacea) 중에서 십각류는 Kim(1973, 1977), Miyake(1983a, b), Sakai(1976), Dai & Yang(1991), Farfante & Kensley(1997), Holthuis(1993), Ng et al.(2008) 등의 도감과 관련 논문들을 참고. 따개비는 Kim(1998)의 도감을 참고. 극피동물(Phylum Echinodermata)은 Shin & Rho(1996)을 비롯한 관련문헌 참고하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 가. 환경 모니터링

##### (1) 수온, 염분 및 용존 산소의 변화

서해안 항구들의 여름철 수온 범위는 20.9 ~ 26.8°C (평균 23.7°C)의 값을 보였으며, 겨울철은 8.29 ~ 12.4 (평균 10.4)의 값의 범위를 보여 뚜렷한 계절적 차이를 보였다. 대산항은 여름철 가장 낮은 평균 수온을 나타낸 반면 겨울철에는 상대적으로 높은 평균 수온을 나타내었다. 여름철 정점별 수온은 인천, 평택, 그리고 목포에서 값의 범위가 크게 나타나고, 대산과 군산은 적은 범위를 보였다. 겨울철은 여름철과 비교해서 정점 간 수온의 편차 및 항구 간의 값의 범위가 좁게 관측되었다. 염분은 여름철 0.10 ~ 31.5 psu (평균 21.8 psu)의 넓은 값의 범위를 보였으며, 겨울철은 22.2 ~ 32.5 (평균 29.5)의 값의 범위를 나타내 여름철에 비해 값의 범위가 작았다. 이러한 현상은 여름철 강우와 연관성이 있으며, 특히 조사 지역이 강이나 하천과 인접한 지역에서 이러한 차이를 볼 수 있다. 결과적으로 군산, 목포 그리고 평택의 수온 및 염분의 구배는 담수의 유입원이 인근에 있음을 보여주고, 대산의 경우 주변에 담수의 유입이 적음을 보여준다. 이는 대산항이 다른 항에 비해서 인위적인 오염원에 의한 오염이 다른 항구에 비해 상대적으로 적음을 보여주는 결과이다.

여름철 용존 산소는 4.74~7.11 mg L<sup>-1</sup>(평균 6.38 mg L<sup>-1</sup>)의 값을 나타내며, 겨울철은 8.32 ~ 9.62 (8.90)의 값을 보였다. 여름철 표층 용존 산소의 농도는 식물플랑크톤의 광합성에 의해서 증가할 수 있기 때문에 식물플랑크톤의 생체량에 따라 결정되고, 저층은 유기물 분해에 따른 호기성 박테리아의 산소 소모량에 의해서 결정된다. 특히 여름철 수체는 밀도 약층이 강하게 형성되어 있기 때문에 표층과 저층의 용존 산소의 농도 구배가 뚜렷하게 나타난다 (Jang et al., 2011). 하지만 겨울철은 바람의 세기가 강해 수층 혼합이 강하게 일어나 표층과 저층간의 용존 산소의 구배는 적다. 각각의 항구에서의 정점간의 농도의 구배도 여름철에 비해 상대적으로 적는데 이는 상층부의 용존 산소의 농도가 식물플랑크톤의 성장보다는 낮은 수온에 의한 산소 용해도와 연관성이 크기 때문이다. 강한 수층 혼합은 식물플랑크톤이 유평층 내에 존재하는 것을 방해하기 때문에 이들의 성장이 빛에 제한을 받아 광합성에 의한 용존 산소의 증가가 제한된다. 여름철보다 겨울철에 상대적으로 용존 산소가 높은 이유는 산소 용해도에 의한 변화가 생물적인 요인에 의한 변화보다 더 크게 작용하기 때문이다.

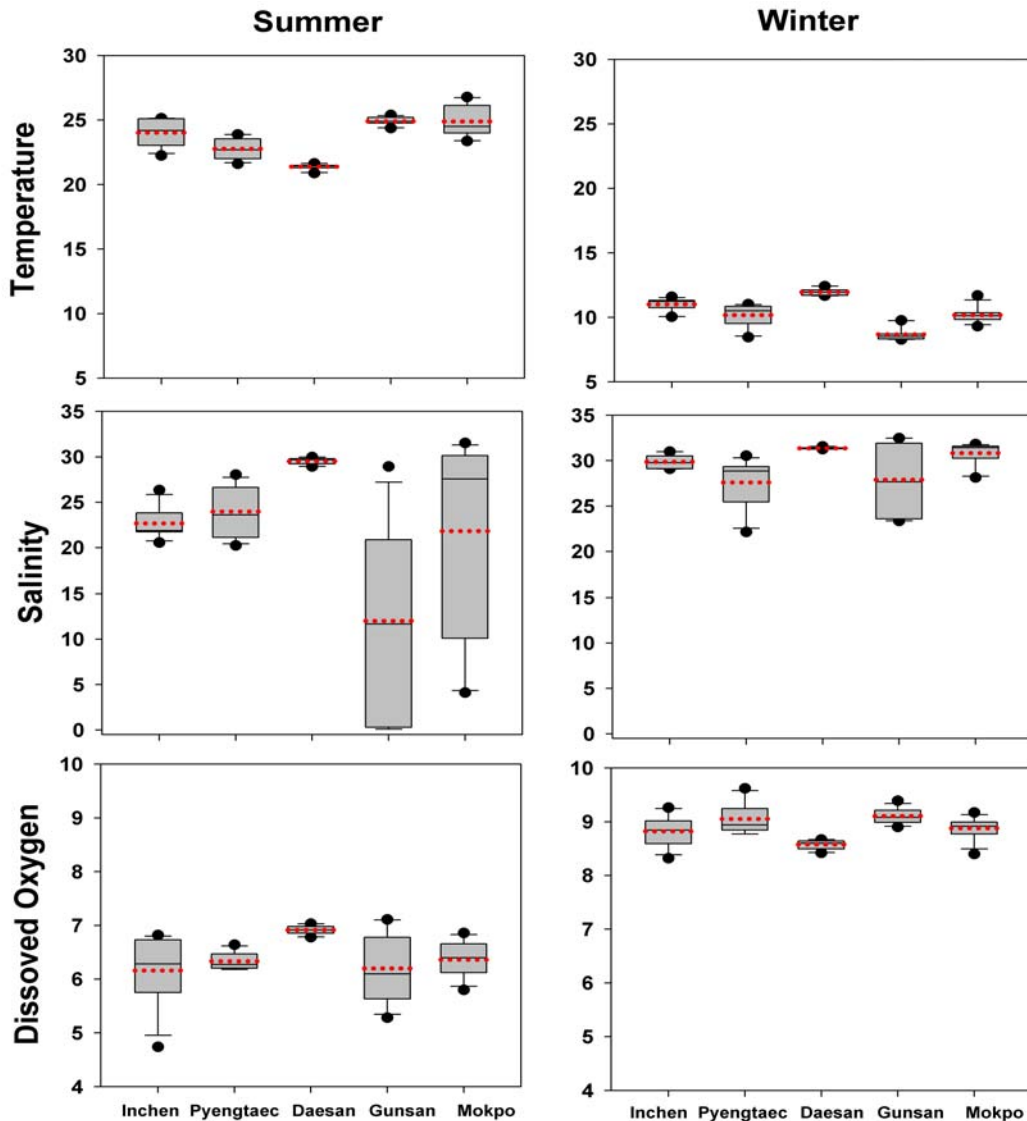


Fig. 3.1.7. Distribution of temperature, salinity, and dissolved oxygen at ports in South Sea in August and December 2011.

(2) 영양염 및 화학적 산소 요구량의 분포

서해안 항구의 여름철 규산염은 3.32 ~ 110  $\mu\text{M}$ (평균 33.6  $\mu\text{M}$ )로 조사 항구에 따라 큰 폭의 편차를 보였으며, 겨울철은 10.5 ~ 80.4 (평균 22.5)의 범위를 나타내 여름철보다는 상대적으로 항구에 따른 편차가 상대적으로 적었다. 규산염의 최대치는 여름철 군산항의 정점 1에서 나타난 반면, 최소치는 여름철 대산항 정점 6에서 나타났다. 겨울철보다 여름철에 각각의 항구에서 정점간의 편차가 큰 이유는 강우에 의한 담수의 유입에 따른 영양염의 공급이 여름철에 연안 안쪽 정점에서 높게 나타나기 때문이다. 여름철 총 무기질산염은 6.70 ~ 131  $\mu\text{M}$  (평균 43.2  $\mu\text{M}$ )의 값의 범위로 나타나 규산염과 마찬가지로 조사 항구의 정점 간의 구배가 뚜렷하게 나타났으며, 겨울철에는 9.55 ~ 184 (평균 34.6)의 범위를 나타내어 여름철과 마찬가지로 항구간의 차이를 뚜렷이 보였다. 그러나 여름철에 정점 간 가장 큰 편차를 나타낸 항이 군산항인데

반해 겨울철에는 평택항의 차이가 가장 크게 나타났다. 인산염 농도는 여름철에 0.04 ~ 1.84  $\mu$ M (평균 0.97  $\mu$ M)의 값을 보였으며, 겨울철에는 0.49 ~ 4.73 (평균 0.97)의 값을 보였다. 인산염도 담수의 유입이 적은 겨울철에 각각의 항구에서의 정점 간 차이는 여름철에 비해 적게 나타난다.

평택항을 제외한 항에서 각각의 영양염의 정점 간 편차가 여름철에 비해 겨울철이 상대적으로 적은 경향을 보였다. 이는 여름철 강우에 의한 담수의 유입이 중요한 영향을 미치고 있음을 보인다. 특히 직접적으로 금강과 영산강의 영향을 받는 군산항과 목포항의 경우 이러한 경향이 뚜렷이 나타난다. 평택항의 경우 다른 항과 내부 항에서의 영양염 농도가 상대적으로 높게 나타나고 있으며, 정점 간의 값의 편차에 있어서 계절적 경향을 뚜렷하게 보여주지 못한다. 우선 평택항 정점 1의 표층에서 영양염뿐 만 아니라 화학적 산소요구량도 다른 정점에 비해 높은 값을 보인다. 이는 정점 1의 경우 공단 지역을 지나는 하천이 조사 정점과 가까운데 위치하고 있어 점오염원에 의한 인위적인 오염이 의심된다. 그리고 겨울철 내항에서의 영양염 농도가 다른 항에 비해서 비교적 높은 값을 보이는데, 이는 각각의 정점이 소규모 방파제가 있는 부두 안에 위치하고 있어 겨울철 수층 혼합에 의한 영양염 증가 및 인위적인 오염에 의한 영양염의 증가가 외부로 빠져나가지 못해 영양염 농도가 높게 나타난 것으로 보이며, 이로 인해 상대적으로 다른 항보다 영양염의 평균값이 높게 나타난 것으로 추정된다.

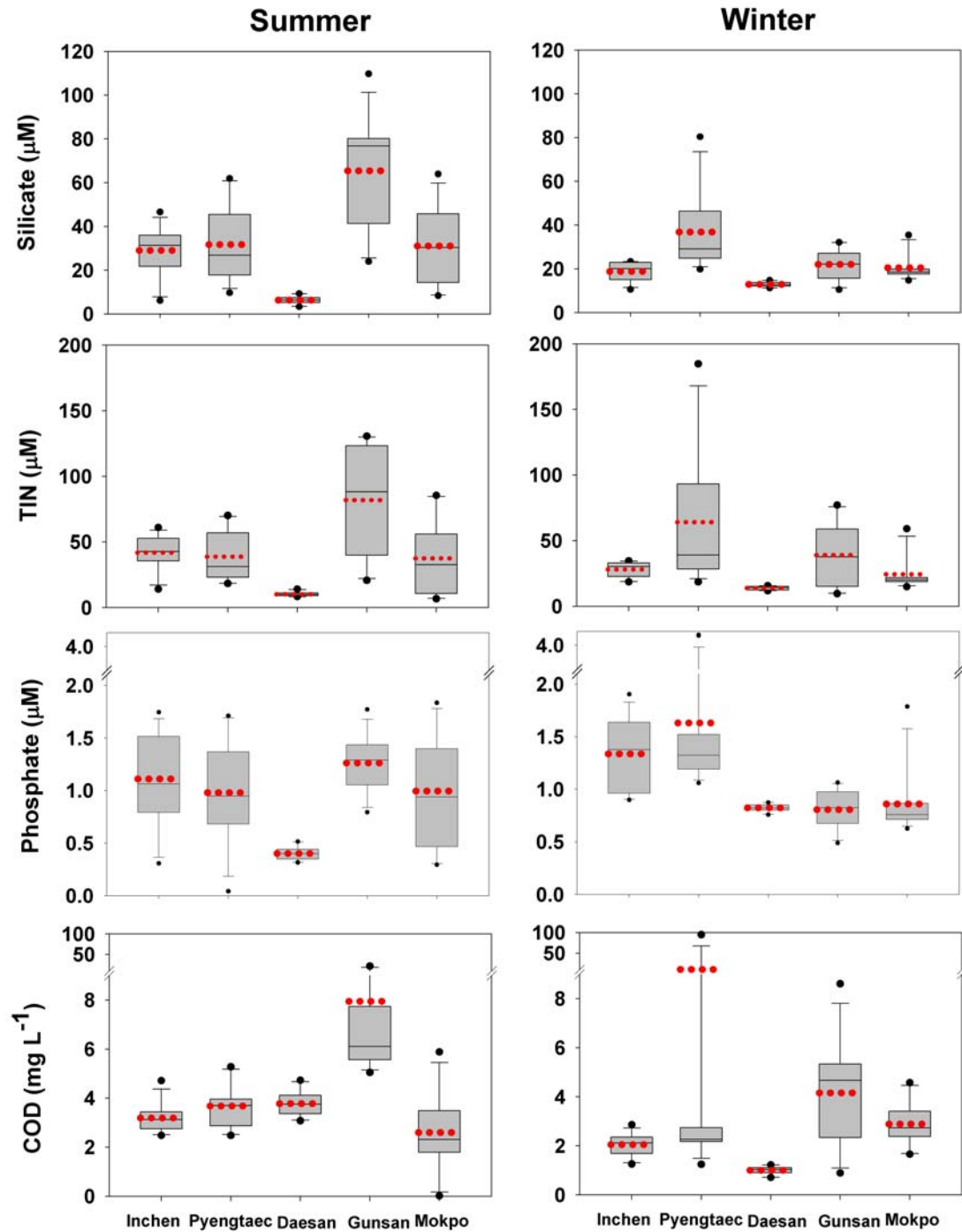


Fig. 3.1.8. Distribution of silicate, phosphate, total inorganic nitrogen (TIN), and chemical oxygen demand (COD) at ports in South Sea in August and December 2011.

### (3) 총 부유물질(TSS)

2011년 8월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 TSS 농도는 군산항(7~406 mg L<sup>-1</sup>, 평균 96 mg L<sup>-1</sup>)으로 가장 높았으며, 목포항(7~64 mg L<sup>-1</sup>, 평균 29 mg L<sup>-1</sup>), 인천항(3~61 mg L<sup>-1</sup>, 평균 21 mg L<sup>-1</sup>), 평택항(4~69 mg L<sup>-1</sup>, 평균 17 mg L<sup>-1</sup>), 대산항(2~11 mg L<sup>-1</sup>, 평균 6 mg

L<sup>-1</sup>) 순으로 감소하였다. 표층과 저층의 평균 농도는 인천항을 제외하고는 저층에서 높게 나타났다(Fig. 3.1.9).

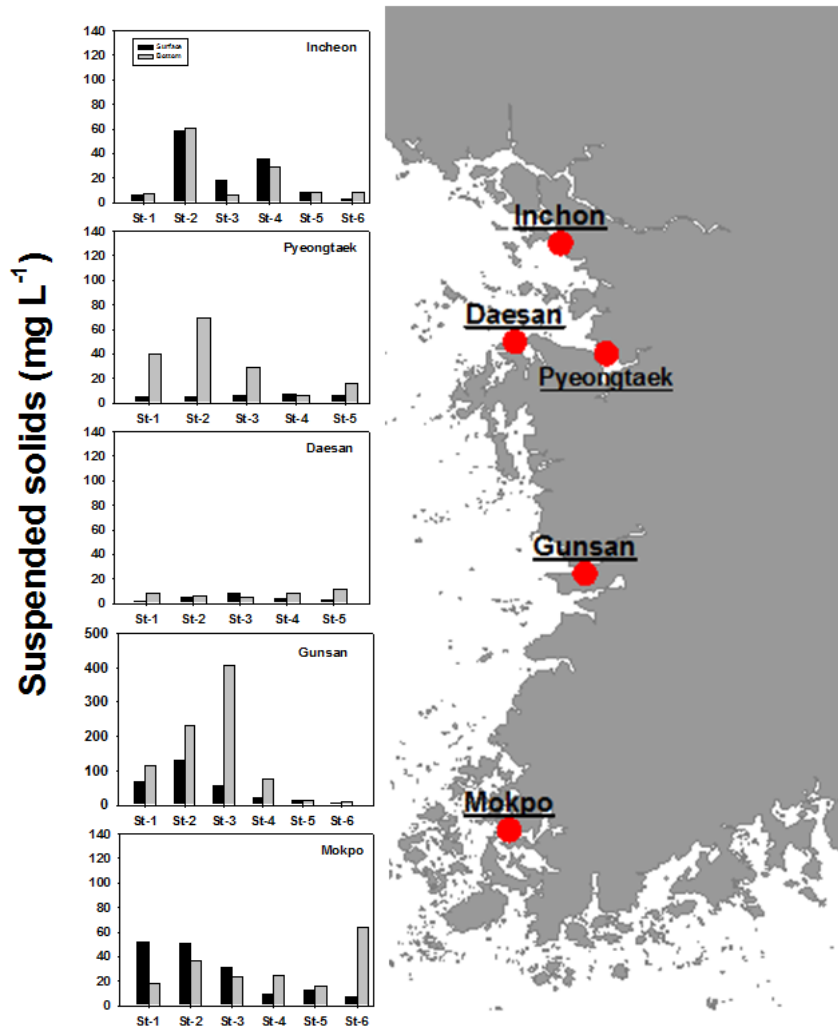


Fig. 3.1.9. TSS concentrations at each station of the five ports in August, 2011.

11월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 TSS 농도는 군산항(14~128 mg L<sup>-1</sup>, 평균 39 mg L<sup>-1</sup>)에서 가장 높았으며, 목포항(4~34 mg L<sup>-1</sup>, 평균 16 mg L<sup>-1</sup>), 인천항(2~86 mg L<sup>-1</sup>, 평균 15 mg L<sup>-1</sup>), 평택항(4~28 mg L<sup>-1</sup>, 평균 12 mg L<sup>-1</sup>), 대산항(6~16 mg L<sup>-1</sup>, 평균 10 mg L<sup>-1</sup>) 순으로 감소하였다. 이 시기에도 8월 조사결과와 마찬가지로 저층의 평균이 표층평균보다 높았다(Fig. 3.1.10).

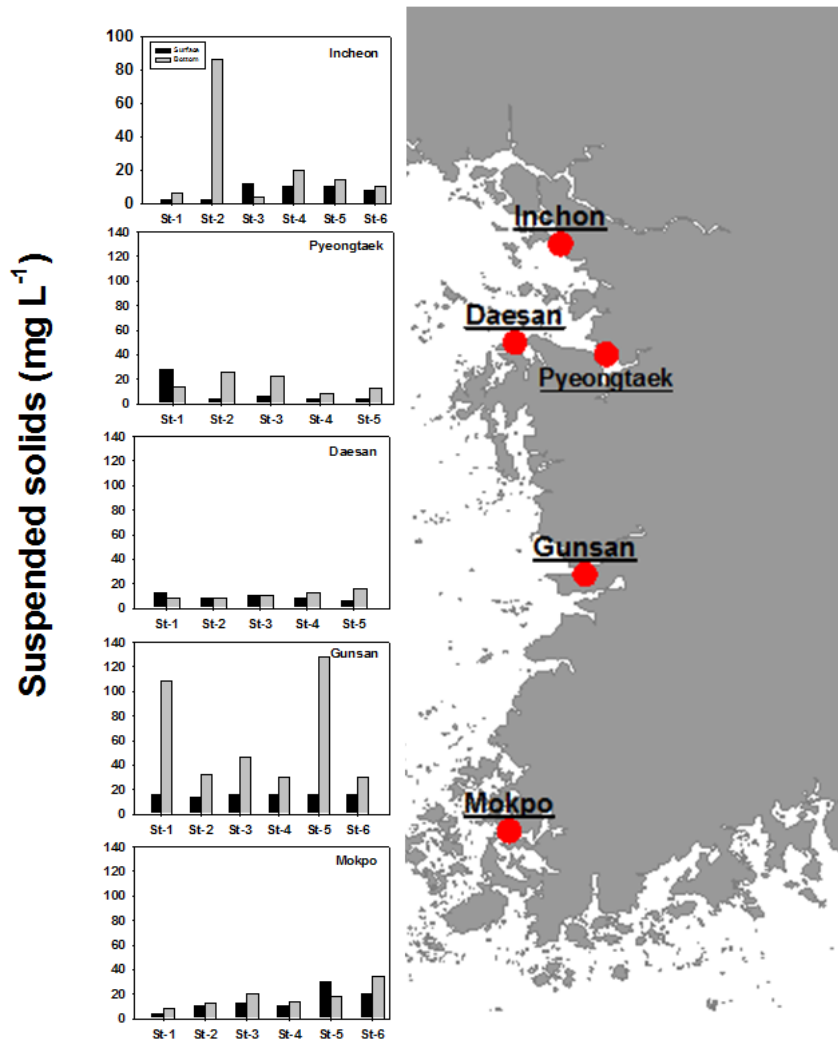


Fig. 3.1.10. TSS concentrations at each station of the five ports in November, 2011.

(4) 엽록소 *a*

2011년 8월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 엽록소 *a* 농도는 대산항(8.5~14.7  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 평균 11.2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 군산항(3.0~14.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 평균 8.2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 인천항(1.8~12.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 평균 6.2  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 평택항(0.9~5.8  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 평균 2.6  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), 목포항(0.5~5.7  $\mu\text{g L}^{-1}$ , 평균 2.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) 순으로 감소하였다(Fig. 3.1.11). 군산항을 제외하고는 표층평균 엽록소 *a* 농도가 저층평균보다 높은 값을 보였다. 인천항의 경우 항내의 정점 St-1,2,3과 항외측의 St-4,5,6의 정점의 차이를 뚜렷하게 보였다.

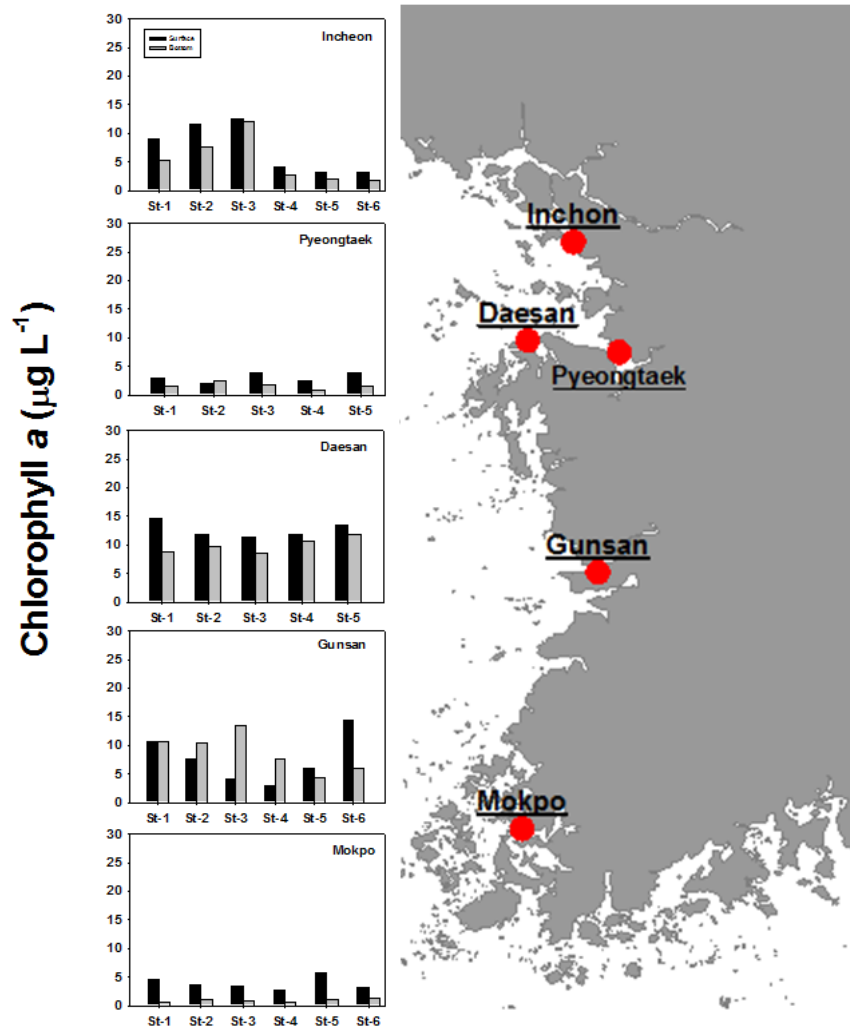


Fig. 3.1.11. Chl-*a* concentrations at each station of the five ports in August, 2011.

11월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 엽록소 *a* 농도는 군산항(3.8~9.6 µg L<sup>-1</sup>, 평균 5.0 µg L<sup>-1</sup>), 대산항(2.9~3.8 µg L<sup>-1</sup>, 평균 3.4 µg L<sup>-1</sup>), 평택항(1.7~4.1 µg L<sup>-1</sup>, 평균 2.9 µg L<sup>-1</sup>), 인천항(0.9~4.0 µg L<sup>-1</sup>, 평균 2.5 µg L<sup>-1</sup>), 목포항(1.2~3.1 µg L<sup>-1</sup>, 평균 2.0 µg L<sup>-1</sup>) 순으로 감소하였다(Fig. 3.1.12). 표층과 저층평균의 차이는 큰 차이를 보이지 않았으나, 목포항을 제외하고는 저층평균이 높았다.

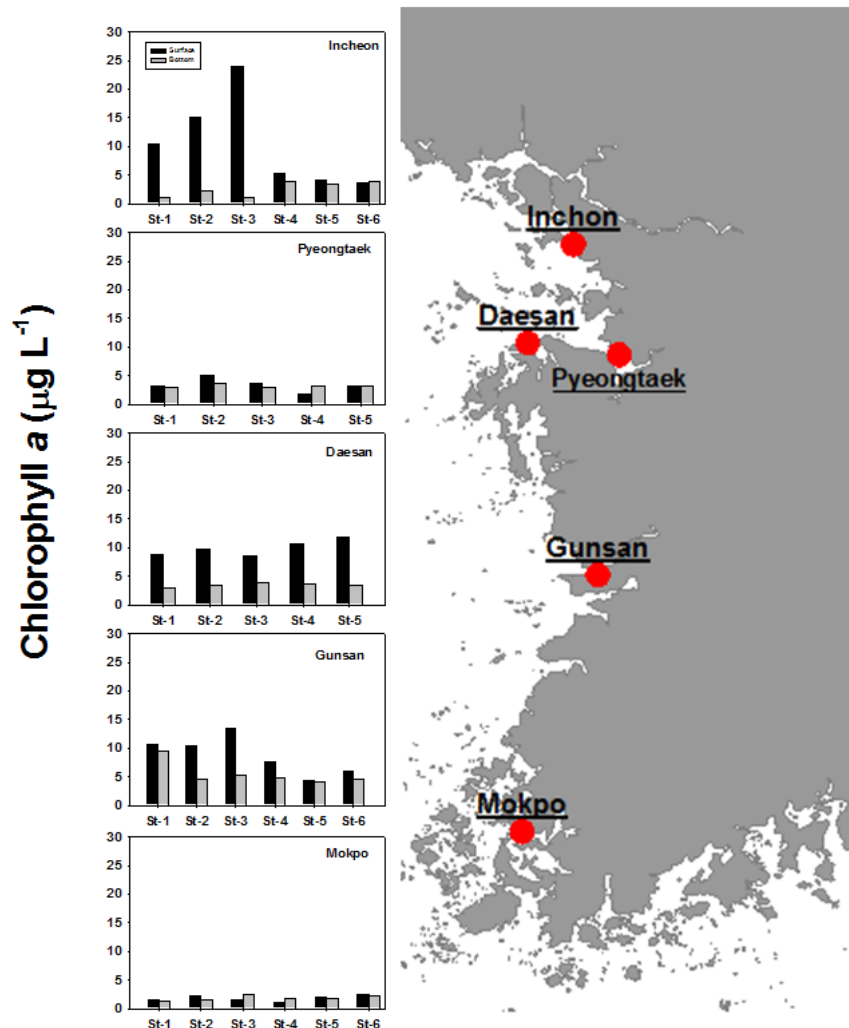


Fig. 3.1.12. Chl-a concentrations at each station of the five ports in November, 2011.

## 나. 생물 모니터링

### (1) 식물플랑크톤

#### (가) 식물플랑크톤 현존량

2011년 8월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 현존량은 군산항에서  $917 \text{ cells mL}^{-1}$  ( $146 \sim 2194 \text{ cells mL}^{-1}$ )로 가장 높았으며, 대산항( $114 \sim 323 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $223 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 인천항( $25 \sim 241 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $117 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 평택항( $56 \sim 204 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $117 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 목포항( $25 \sim 230 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $103 \text{ cells mL}^{-1}$ ) 순으로 감소하였으며, 군산항을 제외한 지역에서는 비슷한 현존량을 보였다(Fig. 3.1.13). 표층과 저층의 차이는 대산항을 제외한 모든 항에서 표층 평균이 높게 나타났다.



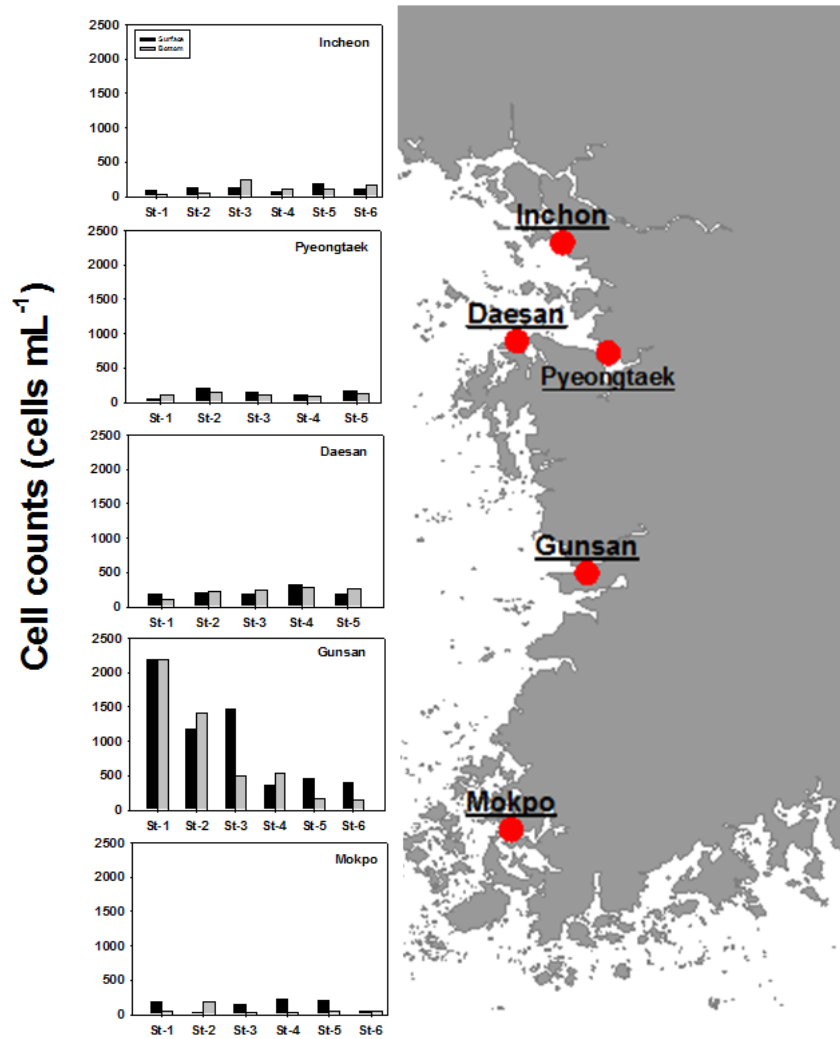


Fig. 3.1.13. Cell abundances of phytoplankton at each station of the five ports in August, 2011.

11월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 현존량은 8월과 동일하게 군산항에서  $544 \text{ cells mL}^{-1}$  ( $154 \sim 1132 \text{ cells mL}^{-1}$ )로 가장 높았으며, 대산항( $156 \sim 367 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $249 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 목포항( $81 \sim 308 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $193 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 평택항( $68 \sim 377 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $185 \text{ cells mL}^{-1}$ ), 인천항( $8 \sim 148 \text{ cells mL}^{-1}$ , 평균  $70 \text{ cells mL}^{-1}$ ) 순으로 감소하였으며, 인천항내의 정점인 ST-1,2,3에서 특히 낮은 현존량을 보였다(Fig. 3.1.14). 그리고 목포항을 제외한 조사 지역에서 저층평균이 표층보다 높게 나타났으나, 그 차이는 크지 않았다.

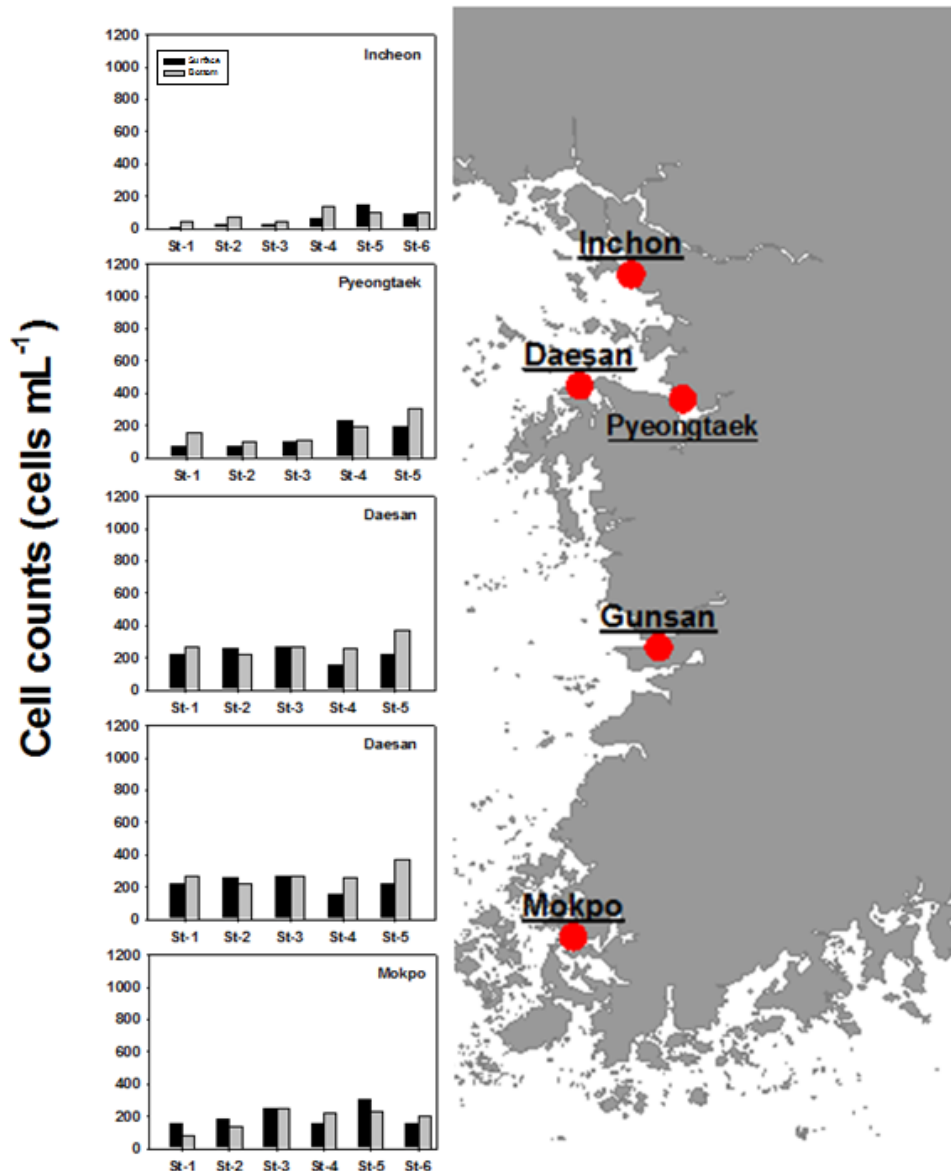


Fig. 3.1.14. Cell abundances of phytoplankton at each station of the five ports in November, 2011.

(나) 식물플랑크톤 종다양성지수

2011년 8월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 종다양성지수는 인천항(1.391~2.769, 평균 2.769), 대산항(1.547~2.300, 평균 1.927), 목포항(0.861~2.300, 평균 1.761), 군산항(0.956~2.415, 평균 1.671), 평택항(0.956~2.219, 평균 1.569) 순으로 감소하였다(Fig. 3.1.15).

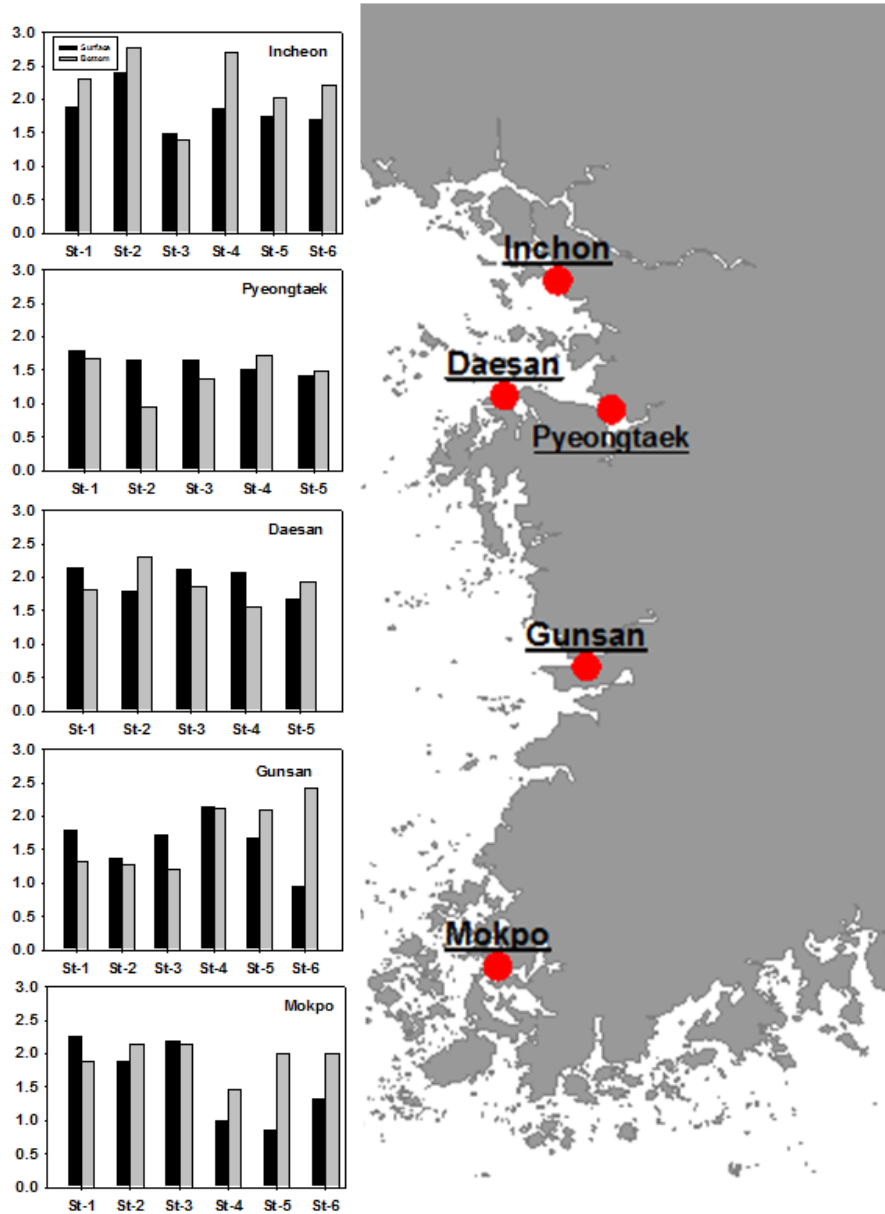


Fig. 3.1.15. Diversity indices at each station of the five ports in August, 2011.

11월 표, 저층을 포함한 모든 시료의 평균 종다양성지수는 군산항(2.155~2.663, 평균 2.369), 대산항(1.894~2.412, 평균 2.110), 목포항(1.589~2.534, 평균 2.106), 평택항(1.095~2.269, 평균 1.827), 인천항(0.760~1.775, 평균 1.356) 순으로 감소하였다(Fig. 3.1.16).

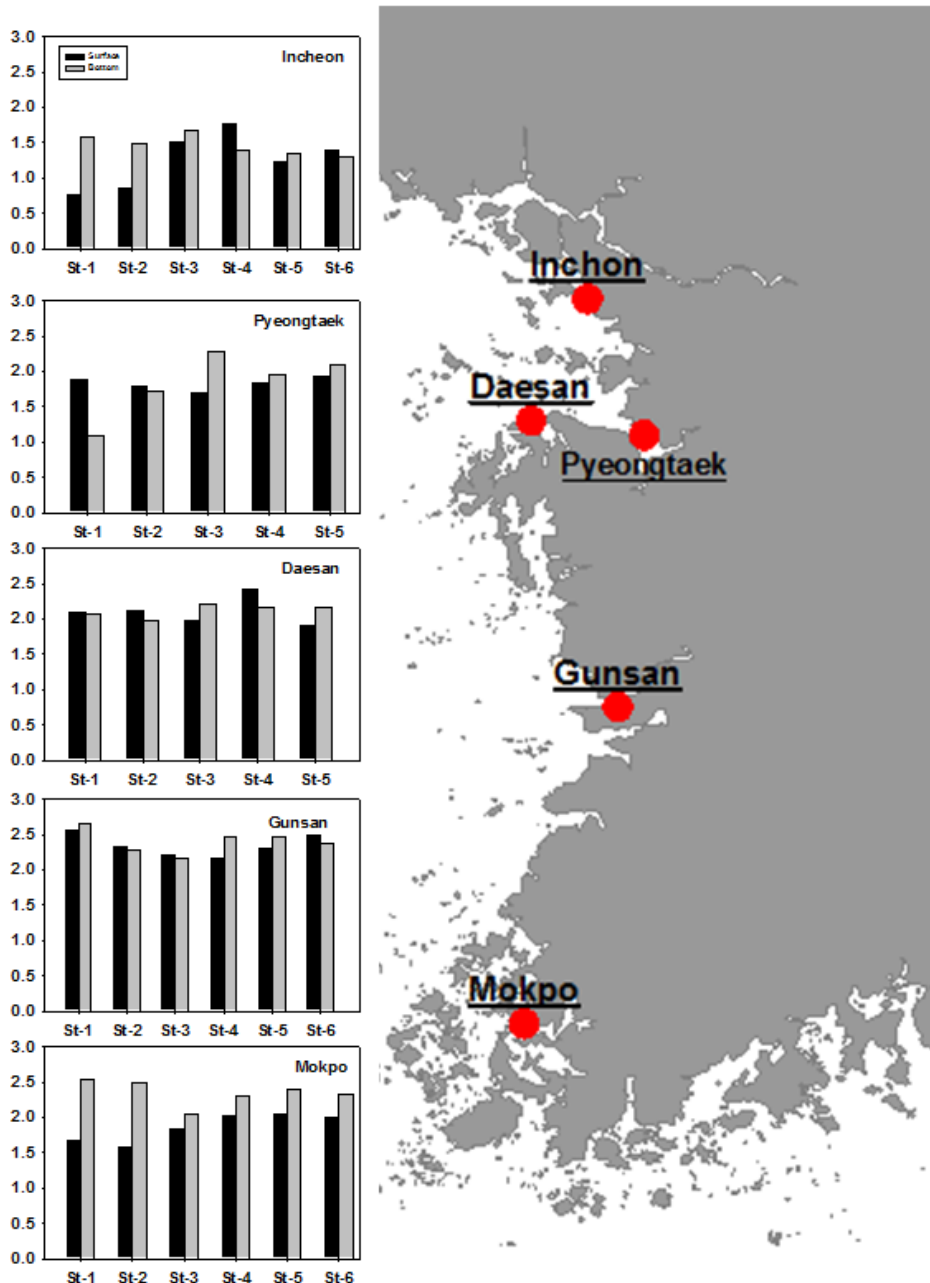


Fig. 3.1.16. Diversity indices at each station of the five ports in November, 2011.

(다) 식물플랑크톤 우점종

조사 해역에서 각 수층별 식물플랑크톤 현존량이 높은 순서대로 3종을 우점종으로 정하였고, 전 조사 정점에서 평균 점유율이 가장 높은 종을 제1 우점종이라 하였다.

2011년 8월 식물플랑크톤 군집에서 인천항의 제1 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 27.1%(평균세포수 32 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Paralia sulcata*로 평균 점유율 12.4%(평균세포수 14 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Oscillatoria* sp.로 평균 점유율 5.4%(평균세포

수 13 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 평택항에서 제1 우점종은 *Paralia sulcata*였으며, 평균 점유율 26.9% (평균세포수 31 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Skeletonema* spp.로 평균 점유율 24.2%(평균세포수 31 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 23.2%(평균세포수 26 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 대산항에서 제1 우점종은 *Skeletonema* spp.였으며, 평균 점유율 39.4%(평균세포수 93 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 10.0%(평균세포수 23 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex로 평균 점유율 10.2%(평균세포수 23 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 군산항에서 제1 우점종은 *Aulacoseira* sp.로 평균 점유율 47.0%(평균세포수 367 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Trichoidesmium* cf. *erythraeum*였으며, 평균 점유율 22.3%(평균세포수 348 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 16.5% (평균세포수 58 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 목포항에서 제1 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 21.2% (평균세포수 22 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Microcystis novacekii*였으며, 평균 점유율 6.3%(평균세포수 15 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Aulacoseira* sp.로 평균 점유율 6.5%(평균세포수 7 cells mL<sup>-1</sup>)였다(Table 3.1.1). 이 시기 전체적으로 담수조류인 녹조류와 남세균류, 대표적 *Aulacoseira* 속 등이 우점종으로 나타나 담수에 영향이 큰 것으로 보인다.

Table. 3.1.1. Mean abundance and mean prevalence of dominant species observed within the five ports in August, 2011.

Cruise	Ports	Dominant species	Mean abundances (cells mL <sup>-1</sup> )	Mean prevalence (%)
1st (Aug.)	Incheon	Cryptophyta	32	27.1
		<i>Paralia sulcata</i>	14	12.4
		<i>Oscillatoria</i> sp.	13	5.4
	Pyeongtaek	<i>Paralia sulcata</i>	31	26.9
		<i>Skeletonema</i> spp.	31	24.2
	Daesan	Cryptophyta	26	23.2
		<i>Skeletonema</i> spp.	93	39.4
		Cryptophyta	23	10.0
	Gunsan	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex	23	10.2
		<i>Trichoidesmium</i> cf. <i>erythraeum</i>	348	22.3
		<i>Aulacoseira</i> sp.	367	47.0
	Mokpo	Cryptophyta	58	16.5
		Cryptophyta	22	21.2
		<i>Microcystis novacekii</i>	15	6.3
			<i>Aulacoseira</i> sp.	7

11월 식물플랑크톤 군집에서 인천항의 제1 우점종은 *Skeletonema* spp.로 평균 점유율 36.0%(평균세포수 30 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Paralia sulcata*로 평균 점유율 18.4%(평균세포수 15 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 23.0%(평균세포수 8 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 평택항에서 제1 우점종은 *Skeletonema* spp.로 평균 점유율 33.1%(평균세포수 59 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 Cryptophyta였으며, 평균 점유율 15.6%(평균세포수 40 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Paralia sulcata*로 평균 점유율 11.6%(평균세포수 18 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 대산항에서 제1 우점종은 *Skeletonema* spp.였으며, 평균 점유율 39.4%(평균세포수 93 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 10.0%(평균세포수 23 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex로 평균 점유율 10.2%(평균세포수 23 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 군산항에서 제1 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 28.3%(평균세포수 145 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Heterosigma akashiwo*였으며, 평균 점유율 10.0%(평균세포수 62 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Paralia sulcata*로 평균 점유율 11.1%(평균세포수 46 cells mL<sup>-1</sup>)였다. 목포항에서 제1 우점종은 Cryptophyta로 평균 점유율 37.6%(평균세포수 76 cells mL<sup>-1</sup>)이었으며, 제2 우점종은 *Heterosigma akashiwo*였으며, 평균 점유율 9.7%(평균세포수 17 cells mL<sup>-1</sup>), 제3 우점종은 *Skeletonema* spp.로 평균 점유율 6.4%(평균세포수 12 cells mL<sup>-1</sup>)였다(Table 3.1.2).

Table. 3.1.2. Mean abundance and mean prevalence of dominant species observed within the five ports in November, 2011.

Cruise	Ports	Dominant species	Mean abundances (cells mL <sup>-1</sup> )	Mean prevalence (%)
2nd (Nov.)	Incheon	<i>Skeletonema</i> spp.	30	36.0
		<i>Paralia sulcata</i>	15	18.4
		Cryptophyta	8	23.0
	Pyeongtaek	Cryptophyta	40	15.6
		<i>Paralia sulcata</i>	18	11.6
		<i>Skeletonema</i> spp.	59	33.1
	Daesan	Cryptophyta	93	39.4
		<i>Paralia sulcata</i>	23	10.0
		<i>Skeletonema</i> spp.	23	10.2
	Gunsan	Cryptophyta	145	28.3
		<i>Heterosigma akashiwo</i>	62	10.0
		<i>Paralia sulcata</i>	46	11.1
Mokpo	Cryptophyta	76	37.6	
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	17	9.7	
	<i>Skeletonema</i> spp.	12	6.4	

(라) 식물플랑크톤 종조성

2011년 조사에서 식물플랑크톤은 총 167종으로 나타났다. 이 중 돌말류 95종이 출현하여, 전체 출현 종수 중 56.9%로 가장 많은 종이 출현하였으며, 와편모류는 32종(19.2%), 녹조류 27종(16.2%), 남세균류 7종(4.2%), 침편모류와 규질편모류가 각 2종(1.2%), 은편모류와, 유글레나류도 각 1종(0.6%)이 출현하였다(Fig. 3.1.17).

2011년 8월 조사에 출현한 식물플랑크톤은 총 137종으로 나타났다. 이 중 가장 다양하게 출현한 규조류는 76종이 출현하여 총 출현종수 중 55.5%를 차지하였고, 와편모류는 28종(20.4%), 녹조류는 21종(15.3%), 남세균류 7종(5.1%), 침편모류 2종(1.5%), 규질편모류, 유글레나류, 은편모류도 소수 출현하였다. 인천항에서는 규조류 42종(65.6%), 와편모류 16종(25.0%), 침편모류 2종(3.1%), 규질편모류, 남세균류, 은편모류, 유글레나류가 각 1종(2.0%) 으로 총 64종이 출현하였다. 평택항에서 규조류 35종(70.0%), 와편모류 9종(18.0%), 녹조류 3종(6.0%), 규질편모류, 은편모류, 유글레나류가 각 1종(2.0%)으로 총 50종이 출현하였다. 대산항에서 규조류 35종(68.6%), 와편모류 10종(19.6%), 침편모류, 녹조류, 규질편모류, 은편모류, 유글레나류가 각 1종(2.0%)으로 총 51종이 출현하였다. 군산항에서 규조류 33종(50.8%), 와편모류 15종(23.1%), 녹조류 10종(15.4%), 침편모류, 남세균류 각 2종(3.1%), 은편모류와 유글레나류, 규질편모류가 각 1종(1.5%)으로 총 65종으로 동일시기 중 가장 많은 종이 출현하였다. 목포항에서 규조류 22종(50.0%), 와편모류 3종(6.8%), 녹조류 11종(25.0%), 남세균류 6종(13.6%), 규질편모류와 은편모류 각 1종(2.3%)으로 총 44종이 출현하였다. 11월 조사에 출현한 식물플랑크톤은 총 111종으로 나타났다. 이 중 가장 다양하게 출현한 규조류는 74종이 출현하여 총 출현종수 중 66.7%를 차지하였고, 와편모류는 20종(18.0%), 녹조류는 10종(9.0%), 침편모류, 규질편모류 각 2종(1.8%)이었으며, 남세균류, 유글레나류, 은편모류 소수 출현하였다. 인천항에서는 규조류 34종(89.5%), 규질편모류, 녹조류, 은편모류, 유글레나류가 각 1종(2.6%) 으로 총 38종이 출현하였다. 평택항에서 규조류 37종(69.8%), 와편모류 6종(11.3%), 녹조류 5종(9.4%), 규질편모류 2종(3.8%), 침편모류, 은편모류, 유글레나류가 각 1종(1.9%)으로 총 53종이 출현하였다. 대산항에서 규조류 33종(67.3%), 와편모류 12종(24.5%), 침편모류 2종(4.1%), 규질편모류, 은편모류가 각 1종(2.0%)으로 총 49종이 출현하였다. 군산항에서 규조류 43종(67.2%), 와편모류 12종(18.8%), 녹조류 4종(6.3%), 침편모류 2종(3.1%), 은편모류와 유글레나류, 규질편모류가 각 1종(1.6%)으로 총 64종으로 8월과 마찬가지로 동일시기 중 가장 많은 종이 출현하였다. 목포항에서 규조류 32종(55.2%), 와편모류 17종(29.3%), 녹조류 3종(5.2%), 침편모류 2종(3.4%), 남세균류, 규질편모류, 은편모류가 각 1종(1.7%)으로 총 58종이 출현하였다.



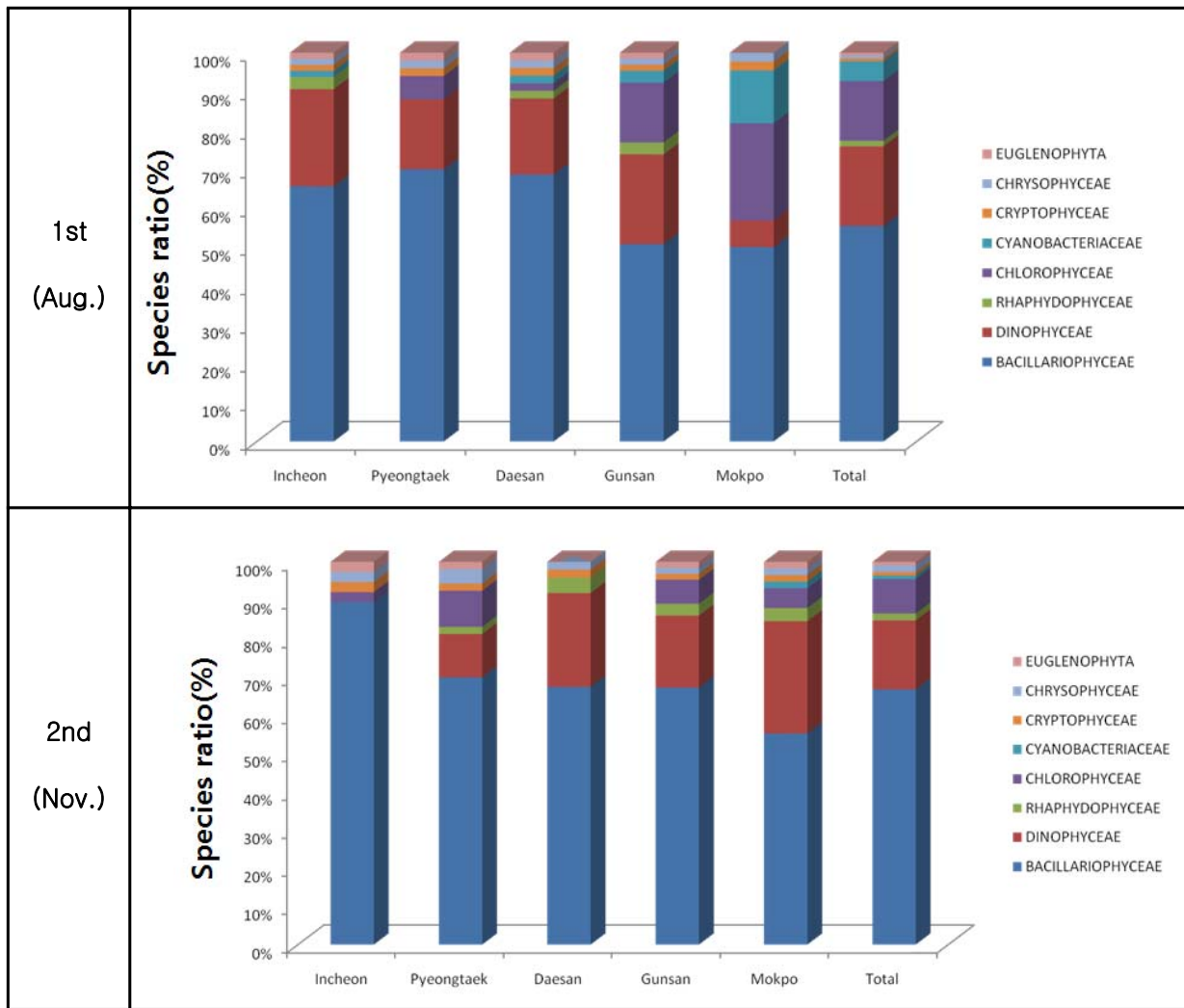


Fig. 3.1.17. Species composition of phytoplankton community observed at the five ports in 2011.

(마) 식물플랑크톤 잠재적 위해종

2011년 출현종 167종 중 잠재적 위해종은 규조류는 31종, 와편모류 16종, 침편모류 2종, 남조류 6종, 규질편모류 1종으로 총 54종이었으며, 그 중 적조발생종은 35종, 독소발생종은 모두 19종이었다(Table 3.1.3).

8월의 잠재적 위해종은 총 48종이었다. 그 중 적조발생종은 규조류로 23종이 가장 많았으며, 와편모류 7종, 규질편모류가 1종으로 총 31종이었다. 각 항별로는 인천 21종, 대산 15종, 평택 14종, 군산 12종, 목포항 7종이 출현하였다. 독소발생종은 와편모류가 7종으로 가장 많았으며, 규조류, 남조류가 각 5종, 침편모류가 2종으로 총 17종이 출현하였으며, 규조류 *Pseudo-nitzschia*속, *Navicula*속, *Nitzschia*속과 와편모류 *Alexandrium*속, *dinophysis*속, *Karlodinium*속, *Kerenia*속, *Prorocentrum minimum*이었으며, 침편모류에서 *Chatonella*속과 *Heterosigma akashiwo*가 출현하였다. 남조류에서는 anatoxin, saxitoxin, microcystins의 독소를 가지는 *Anabeana*속과 microcystins을 가지고 있는 *Microcystis*속, anatoxin을 가지는 *Ocillatoria*속 그리고 마비독소를 가지는 *Trichoidemium* 속에 속하는 종들이 출현하였다. 이러한 독소발생남조류는 대산, 군산, 목포항에서 우점종으로 출현하였다. 인천항에선 *Ocillatoria* sp.가 제3우점종으로 정점 St-3 저층에서  $155 \text{ cells mL}^{-1}$ 로 높게 출현하였으며, 목포항에서는 *Microcystis novacekii*가 제2 우점종으로 정점 St-4표층에서  $175 \text{ cells mL}^{-1}$ 이었다. 군산항에서는 *Trichoidesmium* cf. *erythraeum*가 제1 우점종으로 정점St-1,2 표·저층과  $500 \text{ cells mL}^{-1}$ 이상이었으며, 3번 저층에선  $100 \text{ cells mL}^{-1}$  이상이 출현하였다.

11월 조사 기간 중 위해종은 규조류 31종, 와편모조류 16종, 침편모류 2종, 남세균류 5종, 규질편모류 1종으로 총 55종이었으며, 각 항별로는 인천항 14종, 평택 20종, 대산 24종, 군산 26종, 목포 26종이 출현하였다. 적조발생종은 총 35종으로 규조류 21종, 와편모류규질 5종, 규질편모류 1종 이었다. 독소발생종은 총 19종으로 인천항 4종, 평택항 8종, 대산항 7종, 군산항 9종, 목포항 10종이 출현하였다. 출현한 독소발생종은 *Pseudo-nitzschia*속, *Navicula*속, *Nitzschia*속과 와편모류 *Alexandrium*속, *Karlodinium*속, *Kerenia*속 이었으며, 침편모류에서 *Chatonella*속과 *Heterosigma akashiwo*가 남세균류는 *Anabeana*속이 출현하였다. 이 시기에는 침편모류인 *Heterosigma akashiwo*가 군산과 목포에서 제2 우점종으로 출현하였다.

Table. 3.1.3. Distribution of potentially risky species at five ports in Korea.

Bacillariophyceae	Character	Inchon	Pyeongtaek	Daesan	Gunsan	Mokpo
<i>Actinopterychus senarius</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Amphora</i> spp.	Potentially Toxic species	0	0	0		0
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Red tide species	0	0	0		
<i>Asteroplanus karianus</i>	Red tide species			0		0
<i>Bacillaria paxillifer</i>	Red tide species	0	0	0		
<i>Cerataulina pelagica</i>	Red tide species	0				
<i>Chaetoceros debilis</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros didymus</i>	Red tide species	0		0	0	
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	Red tide species	0				
<i>Chaetoceros socialis</i>	Red tide species	0			0	
<i>Coscinodiscus gigas</i>	Red tide species					
<i>Coscinodiscus granii</i>	Red tide species					
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	Red tide species		0			
<i>Cyclotella striata</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Detonula pumila</i>	Red tide species					
<i>Ditylum brightwellii</i>	Red tide species		0	0	0	0
<i>Eucampia zodiacus</i>	Red tide species		0	0	0	
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Melosira nummuloides</i>	Red tide species	0				
<i>Nitzschia longissima</i>	Red tide species	0	0	0		0
<i>Nitzschia</i> spp.	Potentially Toxic species	0	0	0	0	0
<i>Odontella longicruris</i>	Red tide species	0		0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia americana</i>	Red tide and toxic species					
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex	Red tide and toxic species	0	0	0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>	Red tide and toxic species		0	0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	Red tide and toxic species	0	0	0	0	
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> complex	Red tide and toxic species					
<i>Skeletonema</i> spp.	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Stephanopyxis turris</i>	Red tide species	0				
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira angustel-ineata</i>	Red tide species					
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>curviseriata</i>	Red tide species				0	0
<i>Thalassiosira delicatula</i>	Red tide species					0
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	Red tide species	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Red tide species	0	0			
<i>Thalassiosira punctigera</i>	Red tide species	0		0		0
<i>Thalassiosira rotula</i>	Red tide species	0	0	0	0	

Table. 3.1.3. Continued.

Bacillariophyceae	Character	Inchon	Pyeongtaek	Daesan	Gunsan	Mokpo
<b>Dinophyceae</b>						
<i>Akashiwo sanguinea</i>	Red tide species	O				
<i>Alexandrium</i> sp.	Potentially Toxic species		O		O	
<i>Alexandrium tamarense</i>	Red tide and toxic species					O
<i>Dinophysis acuminata</i>	Red tide and toxic species			O		
<i>Dinophysis acuta</i>	Red tide and toxic species	O				
<i>Dinophysis</i> sp.	Potentially Toxic species					
<i>Gyrodinium spirale</i>	Red tide species	O	O	O	O	O
<i>Heterocapsa triquetra</i>	Red tide species			O	O	
<i>Karenia brevis</i>	Red tide and toxic species		O			O
<i>Karenia mikimotoi</i>	Red tide and toxic species				O	O
<i>Karlodinium veneficum</i>	Red tide and toxic species	O	O	O	O	O
<i>Neoceratium furca</i>	Red tide species				O	
<i>Neoceratium fusus</i>	Red tide species			O		
<i>Prorocentrum minimum</i>	Red tide and toxic species		O	O		O
<i>Prorocentrum triestinum</i>	Red tide species				O	O
<i>Protoperdinium bipes</i>	Red tide species					O
<i>Protoperdinium compressum</i>	Red tide species					
<i>Protoperdinium leonis</i>	Red tide species					
<i>Scrpilla trochoidea</i>	Red tide species	O	O	O	O	O
<b>Rhaphidophyceae</b>						
<i>Chattonella</i> sp.	Potentially Toxic species	O		O	O	O
<i>Heterosigma akashiwo</i>	Red tide and toxic species	O	O	O	O	O
<b>Rhaphidophyceae</b>						
<i>Anabaena</i> sp.	Potentially Toxic species			O	O	O
<i>Microcystis</i> sp.	Potentially Toxic species					O
<i>Oscillatoria</i> sp.	Potentially Toxic species	O				O
<i>Trichoidesmium</i> cf. <i>erythraeum</i>	Potentially Toxic species				O	
<i>Trichoidesmium</i> sp.	Potentially Toxic species					O
<b>Chrysophyceae</b>						
<i>Dictyocha fibula</i>	Red tide species	O	O	O	O	O
<b>Total</b>		<b>33</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>34</b>

## (2) 동물플랑크톤

### (가) 동물플랑크톤의 군집구조

8월 서해 항만에 출현한 동물플랑크톤 분류군 수는 종 동정이 가능한 요각류 20 분류군을 포함한 44 분류군이었으며, 12월 항만에 출현한 동물플랑크톤 분류군 수는 종 동정이 가능한 요각류 9 분류군을 포함한 25 분류군이 출현하였다(부록).

#### 1) 동물플랑크톤 출현개체수와 출현 비율

##### 가) 인천항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 복족류, 다모류, 이매패류 유생, 야광충, 해파리류, 개형류, 화살벌레류, 미충류의 순으로 출현하였다. 높은 출현을 보인 요각류는 91.8%(정점 6)로 항외에서 낮은 출현 비율을 보였으며, 항내 정점인 정점 1에서 98.6%의 높은 출현비율을 나타냈다. 12월 요각류, 이매패류, 다모류 유생, 야광충, 개형류, 화살벌레류, 미충류의 순으로 출현을 하였다. 높은 출현을 보인 요각류는 76.8%(정점 6)로 항외 정점에서 낮은 출현 비율을 보였으며, 항 내 정점인 정점 3에서 98.6%의 높은 출현비율을 보였다(Fig. 3.1.18).

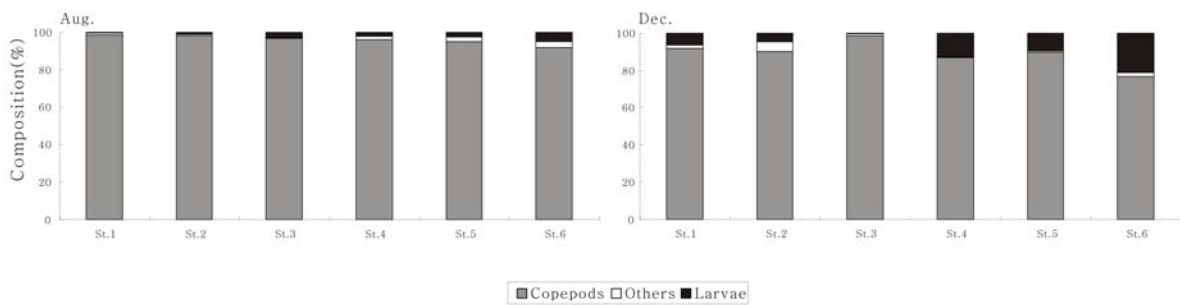


Fig. 3.1.18. Composition of dominant zooplankton in study area.

8월에 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 요각류 12종을 포함하여 총 31 분류군이 출현을 하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 2,120.9~10,157.8 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항외 정점인 정점 6에서 가장 낮은 개체수를, 항내 정점인 정점 1에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 13~20 개로 항내 정점인 정점 1, 3에서 가장 낮았으며, 정점 5에서 가장 높았다. 12월 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 요각류 6종을 포함하여 총 16 분류군이 출현을 하였다. 출현개체수는 1,476.2~2,455.3 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 정점 2에서 가장 낮은 개체수를, 정점 1에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 8~13 개로 정점 3에서 가장 낮았으며, 정점 6에서 가장 높았다(Fig. 3.1.19).

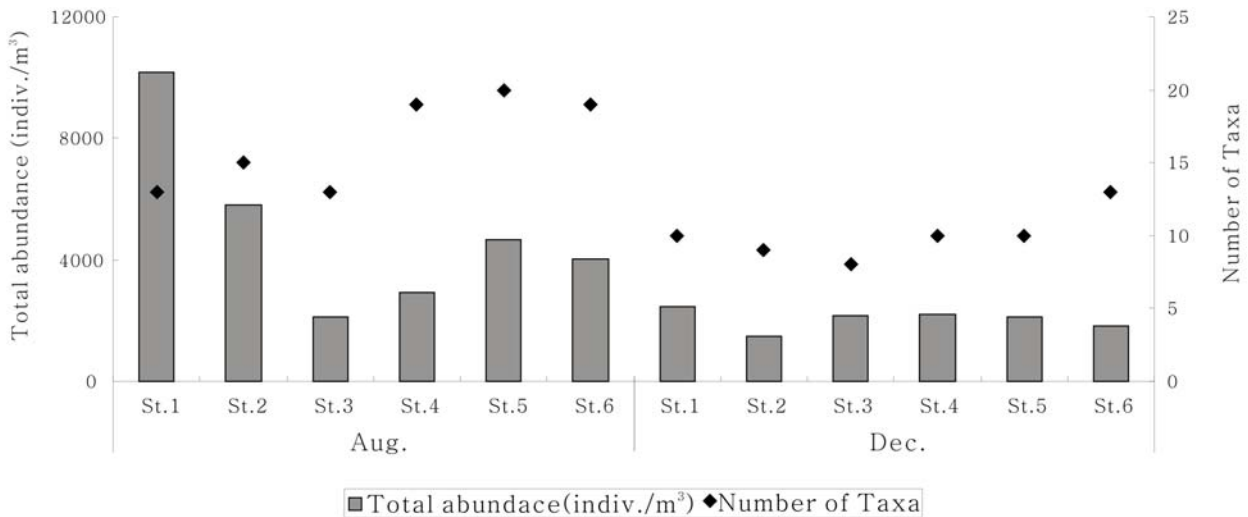


Fig. 3.1.19. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area.

나) 평택항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 이매패류, 따개비류, 십각류 유생, 복족류 유생, 불가사리류 유생, 화살벌레류, 미충류의 순으로 출현하였다. 요각류는 정점2에서 91.0%로 가장 낮은 출현 비율을 보였으며, 정점 5에서 96.5%로 가장 높은 출현비율을 나타냈다. 12월 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 이매패류, 십각류 유생, 야광충, 화살벌레류, 미충류의 순으로 출현하였으며, 높은 출현을 보인 요각류는 항 내 정점인 정점 3에서 88.4%의 낮은 출현을 보였으며, 정점 4에서 99.0%의 높은 출현을 보였다(Fig. 3.1.20).

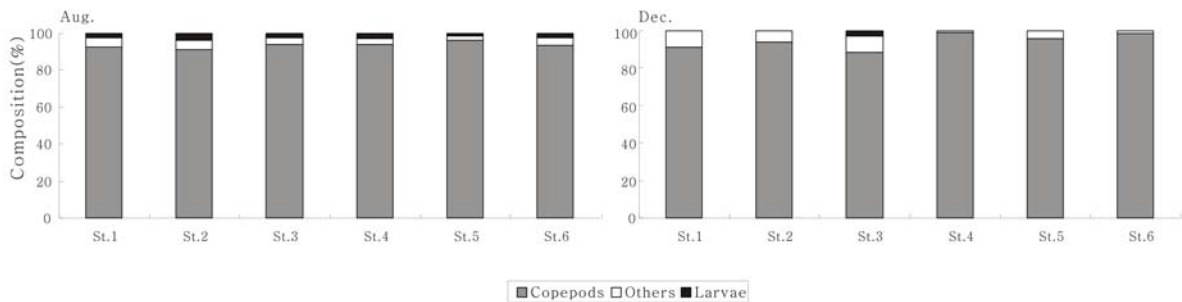


Fig. 3.1.20. Composition of dominant zooplankton in study area.

8월에 출현한 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정된 요각류 9종을 포함하여 총 24개 분류군이 출현하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 1,919.0~6,173.4 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항내 정점인 정점 1에서 가장 낮은 개체수를, 항외 정점인 정점 6에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 10~17개로 정점 5에서 가장 낮았으며, 정점 3에서 가장 높았다. 12월에 출현한 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정된 요각류 7종을 포함하여 총 15개 분류군이였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 633.7~1,090.4 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 정점 4에서 가장 낮은 개체수를, 항외 정점인 정점 6에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 5~11개로 항외 정점인 정점 6에서 가장 낮았으며, 정점 1에서 가장 높았다(Fig. 3.1.21).

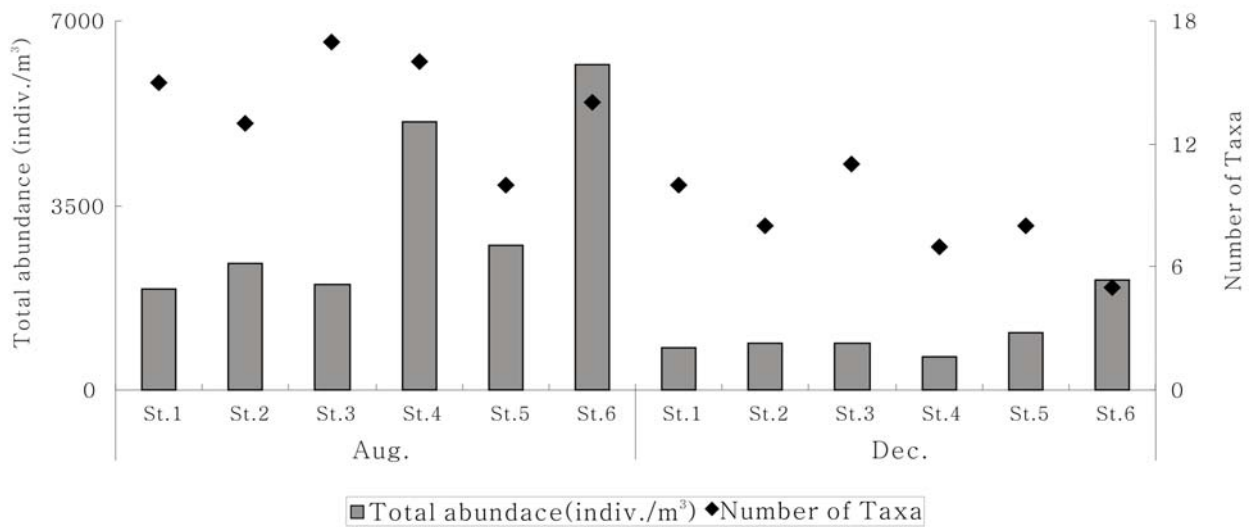


Fig. 3.1.21. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area.

#### 다) 대산항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 야광충, 개형류, 지각류, 화살벌레류, 미충류, 이매패류, 따개비류, 십각류, 복족류, 불가사리류, 다모류 유생, 자치어의 순으로 출현하였다. 요각류는 항외 정점인 정점6에서 44.6%로 낮은 출현 비율을 보인 반면, 항내 정점인 정점 4에서 53.6%로 높은 출현을 하였다. 12월 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 야광충, 개형류, 화살벌레류, 미충류, 이매패류, 다모류, 유생의 순으로 출현하였다. 요각류는 항외 정점인 정점 6에서 83.7%로 낮은 출현 비율을 보였으며, 항내 정점인 정점 1에서는 96.5%의 높은 출현비율을 나타냈다(Fig. 3.1.22).

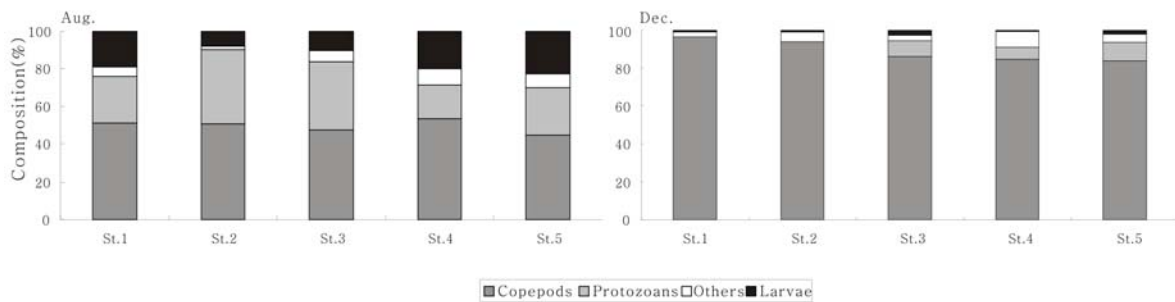


Fig. 3.1.22. Composition of dominant zooplankton in study area.

8월 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 7종을 포함하여 총 24개 분류군이 출현하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 944.1~2,910.8 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항외 정점인 정점 5에서 가장 낮은 개체수가 나타났으며, 정점 3에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 16~18 개로 항내 정점인 정점 1에서 가장 낮았으며, 정점 3에서 가장 높았다. 12월 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 7종을 포함하여 총 18개 분류군이 출현하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 964.6~2,032.5 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항내 정점인 정점 1에서 가장 낮은

개체수를, 항외 정점인 정점 5에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 8~15 개로 항내 정점인 정점 1에서 가장 낮았으며, 정점 3에서 가장 높았다(Fig. 3.1.23).

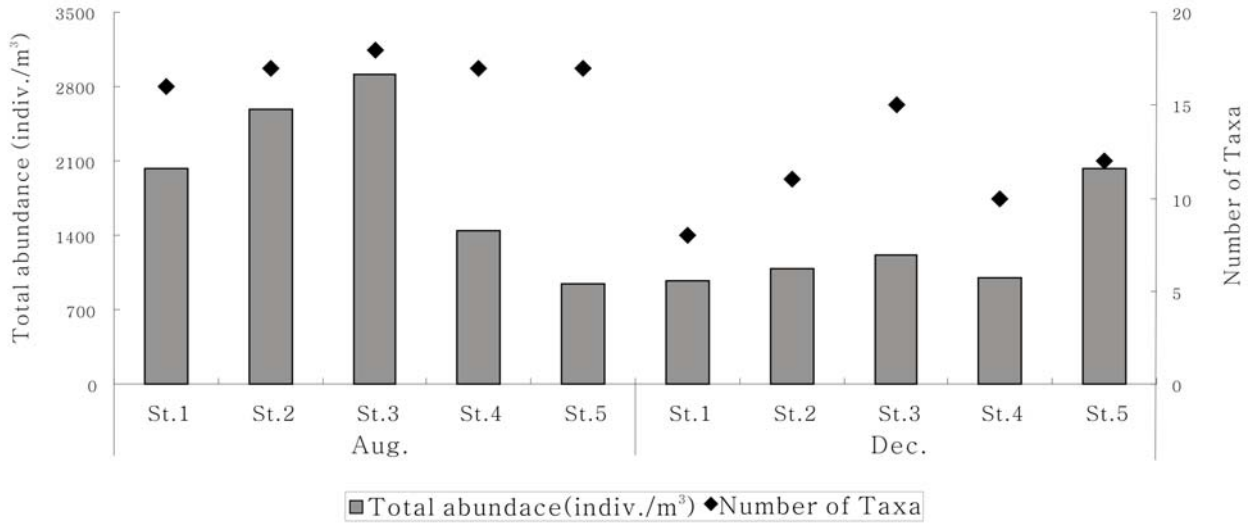


Fig. 3.1.23. Total abundance and No. of taxa of zooplankton in study area.

라) 군산항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 담수산 동물플랑크톤, 따개비, 이매패류, 복족류, 불가사리류, 다모류 유생, 해파리류, 개형류, 지각류, 화살벌레류, 미충류 순으로 출현하였다. 높은 출현을 보인 요각류는 방조제에 인접한 정점인 정점1에서 8.7%로 가장 낮은 출현 비율을 보였으며, 정점 3에서 89.9%의 가장 높은 출현비율을 나타냈다. 12월 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 따개비류, 이매패류, 십각류, 다모류 유생, 야광충, 개형류, 화살벌레류, 미충류의 순으로 출현하였다. 높은 출현을 보인 요각류는 정점2에서 80.7%로 가장 낮은 출현 비율을 보였으며, 정점 3에서 96.3%로 높은 출현을 하였다(Fig. 3.1.24).

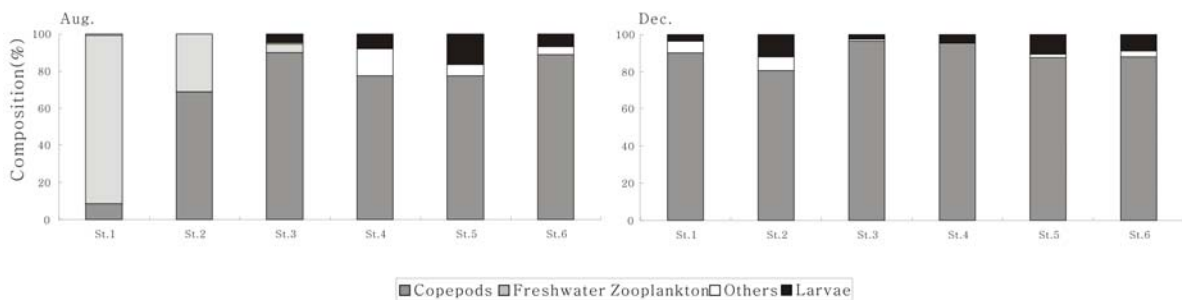


Fig. 3.1.24. Composition of dominant zooplankton in study area.

8월에 출현한 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정된 요각류 12종을 포함하여 총 30개 분류군이 출현하였다. 군산항에서는 다른 항과는 달리 여름철 강우의 영향으로 담수산 동물플랑크톤의 출현이 나타났다. 동물플랑크톤 출현개체수는 718.9~5,290.1 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항내 정점인 정점 2에서 가장 낮은 개체수를, 정점 4에서 가장 높은 출현개체수를 보였다. 출현



분류군 수는 7~24개로 항내 정점인 정점 2에서 가장 낮은 분류군 수를, 정점 4에서 가장 높은 분류군 수를 보였다. 12월에 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 요각류 6종을 포함하여 총 18개 분류군이 출현하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 680.7~3,733.3 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항내 정점인 정점 2에서 가장 낮은 개체수를, 정점 4에서 가장 높은 개체수로 나타났었다. 출현분류군 수는 9~15개로 항내 정점인 정점 4에서 낮은 분류군 수로 나타났으며, 항외 정점인 정점 6에서 높은 분류군수로 출현하였다(Fig. 3.1.25).

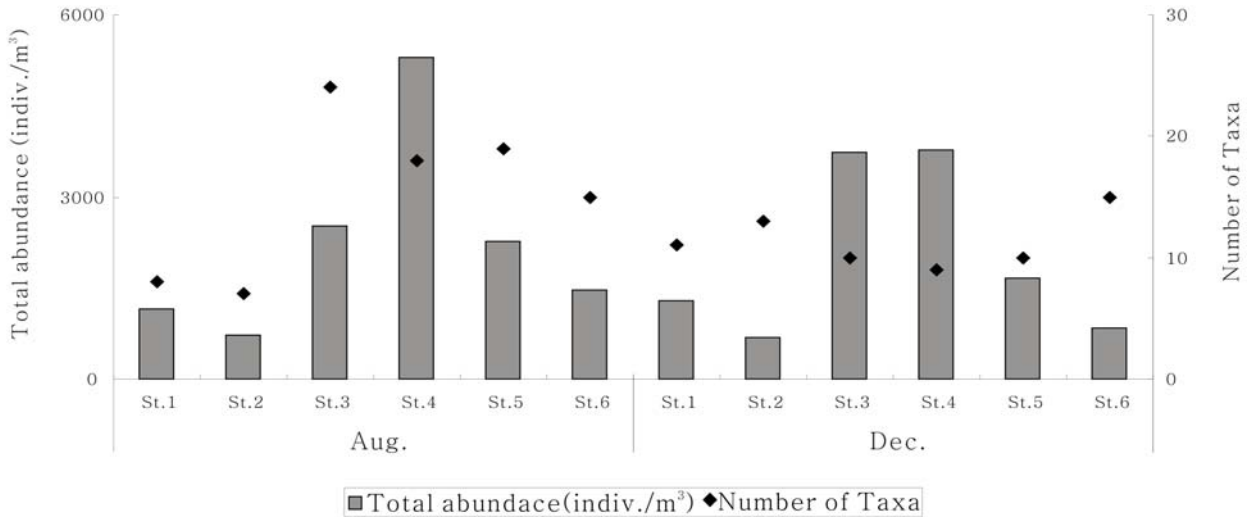


Fig. 3.1.25. Composition of dominant zooplankton in study area.

마) 목포항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 담수산 동물플랑크톤, 해파리류, 개형류, 화살벌레류, 미충류, 따개비, 이매패류, 십각류, 복족류, 불가사리류, 다모류 유생의 순으로 나타났으며, 높은 출현을 보인 요각류는 항내 정점인 정점 2에서 65.2%의 낮은 출현을 보였으며, 정점 5에서 89.2%의 높은 출현을 보였다. 12월 출현한 동물플랑크톤의 주요 분류군은 요각류, 해파리류, 개형류, 화살벌레류, 미충류, 따개비류, 이매패류, 복족류, 다모류 유생의 순으로 출현하였다. 높은 출현을 보인 요각류는 항내 정점인 정점 5에서 72.3%로 가장 낮은 출현 비율을 보였으며, 항외 정점인 정점 6에서 92.7%로 높은 출현을 하였다(Fig. 3.1.26).

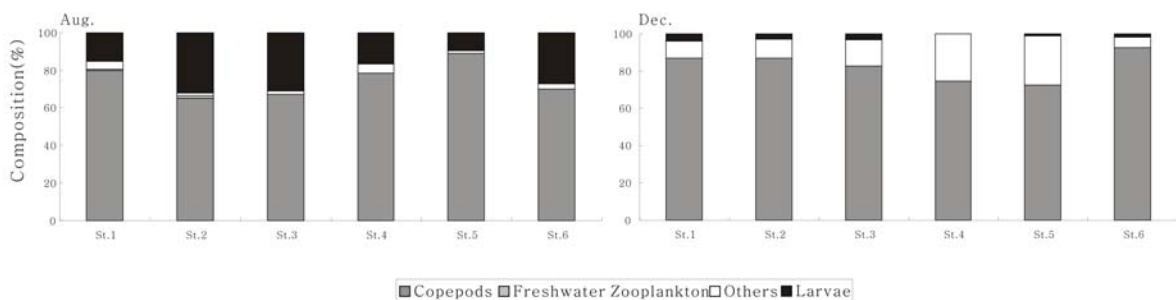


Fig. 3.1.26. Composition of dominant zooplankton in study area.

8월에 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 요각류 11종을 포함하여 총 28개 분류군이 출현하였다. 목포항은 군산항과 같이 방조제 인근 정점에서는 담수산 동물플랑크톤의 출현이 나타났다. 동물플랑크톤 출현개체수는 915.6~5,038.5 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항외 정점인 정점 6에서 가장 낮은 개체수를, 정점 2에서 가장 높은 출현개체수를 보였다. 출현분류군 수는 15~21 개로 항내 정점인 정점 3에서 가장 낮은 분류군 수를, 정점 2에서 가장 높은 분류군 수를 보였다. 12월에 출현한 동물플랑크톤은 종 수준까지 동정된 요각류 6종을 포함하여 총 17개 분류군이 출현하였다. 동물플랑크톤 출현개체수는 328.5~1,127.1 indiv./m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 항내 정점인 정점 5에서 가장 낮은 개체수를, 정점 1에서 가장 높은 개체수를 보였다. 출현분류군 수는 8~12개로 정점 4, 5에서 가장 낮은 분류군 수가 출현하였으며, 정점 1에서 가장 높은 분류군 수가 출현하였다(Fig. 3.1.27).

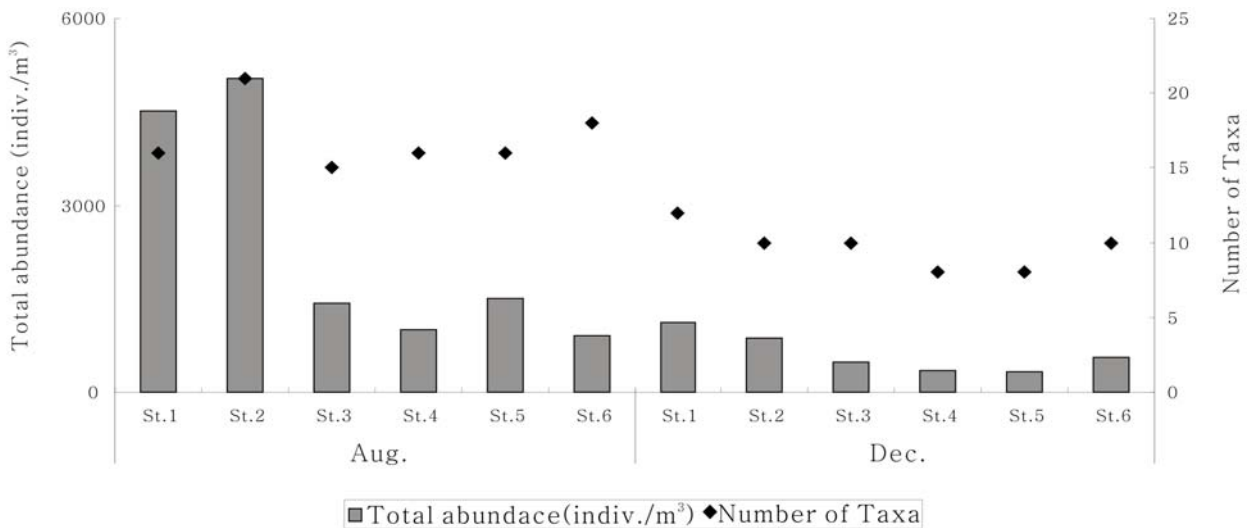


Fig. 3.1.27. Composition of dominant zooplankton in study area.

## 2) 우점종의 출현 양상

### 가) 인천항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 요각류인 *Pavocalanus crassirostris*가 40%이상으로 높은 출현을 보였으며, *Paracalanus parvus* s. 1., *Acartia hongii*, *Acartia* 후기유생이 우점 출현을 하였다. 우점종의 출현 비율은 *Pavocalanus crassirostris*가 19.4(정점 4)~57.9%(정점 1)로 항내 정점에서 높게 나타났다. *Paracalanus parvus* s. 1.는 4.1(정점 5)~25.3%(정점 2)로 항내 정점에서 높게 나타났으며, *Acartia hongii*는 4.7(정점 2)~24.5%(정점 6)으로 항외 정점에서 높게 나타났으며, *Acartia* 후기유생은 정점 3에서 29.9%로 비교적 높은 출현을 보인 반면, 정점 1에서 5.9%로 낮게 나타났다. 12월 우점하여 출현한 종은 *Paracalanus parvus* s. 1., *Acartia hongii*, *Pavocalanus crassirostris*, *Acartia* 후기유생이 우점 출현을 하였다. *Paracalanus parvus* s. 1., *Acartia hongii*는 각각 12.9(정점 2)~58.3%(정점 3),

9.1(정점 6)~43.9%(정점 2)로 나타났다. *Pavocalanus crassirostris*, *Acartia* 후기유생은 각각 1.2(정점 1)~21.1%(정점 4), 2.4(정점 6)~28.8%(정점 2)로 *Acartia hongii*와 *Acartia* 후기유생은 항외 정점에서 낮은 출현을 보였으며 그 외의 우점종들은 항내 정점에서 높은 출현을 보였다(Table. 3.1.4).

Table. 3.1.4. Dominant species and dominance(%) in study area.

Month	Dominant species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Aug.	<i>Acartia hongii</i>	6.6	4.7	5.6	41.7	22.1	24.5
	<i>Acartia copepodites</i>	5.9	15.0	29.9	20.0	18.1	10.3
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	23.9	25.3	19.5	10.0	4.1	18.1
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	57.9	46.4	33.3	19.4	43.5	33.0
Dec.	<i>Acartia hongii</i>	26.1	43.9	22.9	16.8	26.1	9.1
	<i>Acartia copepodites</i>	6.8	28.8	11.0	3.7	12.1	2.4
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	55.3	12.9	58.3	44.2	33.9	42.1
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	1.2	1.5	5.0	21.1	14.5	18.3

#### 나) 평택항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 요각류인 *Acartia hongii*, *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia* 후기유생이 우점하여 나타났다. 우점종의 출현 비율은 *A. hongii*는 19.7(정점 2)~52.7%(정점 4)로 출현하였으며, *Pavocalanus crassirostris*는 18.1(정점 4)~55.4%(정점 1)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Paracalanus parvus* s. l.는 정점 3에서 4.9%로 낮은 출현을 보인 반면, 정점 5에서 23.7%로 높게 나타났으며, *Acartia* 후기유생은 정점 2에서 3.6%의 낮은 출현을 정점 6에서 20.8%의 높은 출현을 보였다. *Acartia* 후기유생을 제외한 우점종들은 항내 정점에서 높은 출현을 보였다. 12월 우점적으로 출현한 종은 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Labidocera euchaeta*, *Acartia* 후기유생의 순으로 우점하여 나타났다. 우점 출현한 *Paracalanus parvus* s. l.는 26.6(정점2)~52.6%(정점 6)로 항외 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Pavocalanus crassirostris*는 22.4(정점 3)~44.8%(정점 5)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였다. *A. hongii*는 2.0(정점 3)~31.2%(정점 1)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Labidocera euchaeta*와 *Acartia* 후기유생은 각각 0.7(정점 5)~25.3%(정점 2), 2.7(정점 3)~10.8%(정점 4)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였다(Table. 3.1.5).

Table. 3.1.5. Dominant species and dominance(%) in study area.

Month	Dominant species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Aug.	<i>Acartia hongii</i>	20.5	19.7	34.0	52.7	28.5	28.3
	<i>Acartia copepodites</i>	6.6	3.6	12.2	7.2	10.5	20.8
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	8.6	8.1	4.9	13.7	23.7	20.8
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	55.4	57.4	38.9	18.1	32.7	18.6
Dec.	<i>Acartia hongii</i>	31.2	3.9	2.0	21.6	8.4	13.9
	<i>Acartia copepodites</i>	5.6	0.0	2.7	10.8	10.5	5.8
	<i>Labidocera euchaeta</i>	0.8	25.3	13.6	0.0	0.7	0.0
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	27.2	26.6	40.8	37.3	30.8	52.6
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	24.8	29.2	22.4	24.5	44.8	26.6

다) 대산항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 야광충, 요각류인 *Acartia hudsonica*, *Paracalanus parvus* s. l., 이매패류 유생, *Acartia* 후기유생이 우점하여 나타났다. 우점종의 출현 비율은 야광충이 17.6(정점 4)~39.7%(정점 2)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, 요각류인 *Acartia hudsonica*는 항외 정점인 정점 5에서 2.9%의 낮은 출현을 보였으며, 항내 정점인 정점 2에서 높은 출현을 보였다. *Paracalanus parvus* s. l.는 7.9(정점 2)~21.5%(정점 5)로 나타났으며, 이매패류 유생은 2.2(정점 2)~10.2%(정점 1)로 항내 정점에서 높게 나타났다. *Acartia* 후기유생은 항외 정점인 정점 5에서 0.8%의 낮은 출현을 보였으며 항내 정점인 정점 3에서 6.5%의 높은 출현을 보였다. 12월 우점적으로 출현한 종은 요각류인 *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, 야광충으로 우점하여 나타났다. 우점 출현한 요각류인 *A. hongii*와 *Acartia* 후기유생은 각각 23.7 (정점 5)~41.3%(정점 4), 9.6 (정점 4)~19.4%(정점 1)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, 야광충과 *P. parvus*는 각각 13.2 (정점 3)~25.6%(정점 5), 12.1(정점 1)~21.2%(정점 5)로 항외 정점에서 높은 출현으로 나타났다(Table. 3.1.6).

Table. 3.1.6. Dominant species and dominance(%) in study area.

Month	Dominant species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
Aug.	<i>Noctiluca scintillans</i>	24.9	39.7	36.1	17.6	25.6
	<i>Acartia hudsonica</i>	18.6	32.9	10.9	11.2	2.9
	<i>Acartia copepodites</i>	4.2	5.4	6.5	4.0	0.8
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	18.6	7.9	17.8	15.2	21.5
	Bivalve larvae	10.2	2.2	5.9	12.8	8.3
Dec.	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.0	0.0	8.4	6.5	10.0
	<i>Acartia hongii</i>	26.1	26.3	17.3	18.9	9.1
	<i>Acartia copepodites</i>	6.1	4.4	7.9	9.5	3.8
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	27.8	23.7	13.9	13.6	16.7
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	35.7	36.8	42.6	40.2	49.3

라) 군산항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 요각류인 *P. parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, 담수산 동물플랑크톤, *A. hongii*, *A. ohtsukai*, *Acartia* 후기유생이 나타났다. 우점종의 출현 비율은 *P. parvus* s. l.은 항내 정점인 정점2에서 3.0%의 낮은 출현을 보였으며, 항외 정점인 정점 6에서 66.5%의 높은 출현을 보였으며, *Pavocalanus crassirostris*는 2.2(정점 2)~24.1%(정점 3)의 출현하였으며, 담수산 동물플랑크톤은 2.2(정점 3)~67.1%(정점 1)로 항내 정점에서 출현을 하였으며, 5월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 담수산 동물플랑크톤, *A. hongii*는 5.2(정점 5)~9.4%(정점 4)의 출현을 *A. ohtsukai*, *Acartia* 후기유생은 각각 3.1(정점 3)~10.0%(정점 4), 1.5(정점 2)~7.1%(정점 4)의 출현을 보였다. 12월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점 출현한 종은 요각류인 *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *P. parvus* s. l.가 우점 출현하였으며, 우점종의 출현비율은 *A. hongii*는 12.1(정점 6)~79.0%(정점 1)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Acartia* 후기유생은 4.6(정점 6)~24.2%(정점 4)로 항외 정점에서 낮은 출현을 보였으며, *P. parvus* s. l.은 항내 정점인 정점2에서 1.4%의 낮은 출현을 보였으며 항외 정점인 정점 6에서 41.0%의 높은 출현을 보였다(Table. 3.1.7).

Table. 3.1.7. Dominant species and dominance(%) in study area.

Month	Dominant species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Aug.	<i>Acartia hongii</i>	0.0	0.0	5.3	9.4	5.2	6.3
	<i>Acartia copepodites</i>	1.7	1.5	6.3	7.1	3.6	2.9
	<i>Acartia ohtsukai</i>	0.0	0.0	3.1	10.0	4.8	0.0
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	3.5	3.0	41.6	33.9	47.0	66.5
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	0.0	2.2	24.1	11.8	10.5	7.3
Dec.	<i>Acartia hongii</i>	79.0	61.4	68.8	47.9	27.9	12.1
	<i>Acartia copepodites</i>	6.8	12.9	21.2	24.2	13.9	4.6
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	2.5	1.4	1.6	7.7	27.0	41.0

마) 목포항

8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 *P. parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, 복족류 유생으로 나타났다. 우점종의 출현 비율은 *P. parvus* s. l.은 29.2(정점 2)~52.0%(정점 3)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Pavocalanus crassirostris*는 7.9(정점 3)~23.7%(정점 1)로 나타났으며, 복족류 유생은 항내 정점인 정점 5에서 1.2%의 낮은 출현을 보였으며, 항외 정점인 정점 6에서 23.6%로 높은 출현을 보였다. 12월 출현한 동물플랑크톤 중 우점적으로 출현한 종은 요각류인 *P. parvus* s. l., *A. hongii*, 미충류인 *Oikopleura dioica*, *Pavocalanus crassirostris*, *Acartia* 후기유생이 출현을 하였으며, 우점종의 출현비율은 *P. parvus* s. l.와 *A. hongii*는 각각 14.3(정점 3)~50.9%(정점 6), 16.4(정점 6)~54.0%(정점 3)으로 나타났다. 미충류는 항외 정점인 정점 6에서 낮은 출현을 보였으며, 정점 4에서 25.6%의 높은 출현을 보였으며, *Pavocalanus crassirostris*은 2.4(정점 3)~16.4%(정점 6)

로 항외 정점에서 높은 출현을 보였으며, *Acartia* 후기유생은 3.2(정점 5)~11.1%(정점 3)로 항내 정점에서 높은 출현을 보였다(Table. 3.1.8).

Table. 3.1.8. Dominant species and dominance(%) in study area.

Month	Dominant species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
Aug.	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	44.2	29.2	52.0	34.1	50.6	32.5
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	23.7	15.7	7.9	20.6	18.1	14.4
	Gastropod larvae	10.8	24.1	18.1	4.0	1.2	23.6
Dec.	<i>Acartia hongii</i>	29.8	31.8	54.0	22.2	23.4	16.4
	<i>Acartia copepodites</i>	7.4	8.8	11.1	10.0	3.2	5.5
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	42.8	32.9	14.3	27.8	39.4	50.9
	<i>Pavocalanus crassirostris</i>	5.6	12.4	2.4	7.8	6.4	16.4
	<i>Oikopleura dioica</i>	7.4	10.0	13.5	25.6	23.4	1.8

### 3) 집괴분석

#### 가) 인천항

조사해역의 정점에서 요각류 자료에 근거하여 조사정점간의 요각류 군집의 유사성을 비교하기 위해 요각류의 개체수를 자연 log 변환한 후, Bray-Curtis similarity를 구하여 군집분석을 실시하였다. 8월 유사도 지수는 79% 수준으로 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 항내의 정점인 정점 1, 2, 3으로 이루어 졌으며, B 정점군은 정점 4, 5, 6로 나타났다. 각 정점군에 영향을 미친 요각류를 살펴보면, A 정점군에서는 *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *A. sinjiensis*가 B 정점군에서는 *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다.

12월은 유사도 지수 80% 수준에서 3개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 항내 정점인 정점 2로 *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *Paracalanus parvus* s. l.으로 이루어 졌으며, B 정점군은 정점 4, 5, 6으로 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 C 정점군은 정점 1, 3으로 *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다(Fig. 3.1.28).

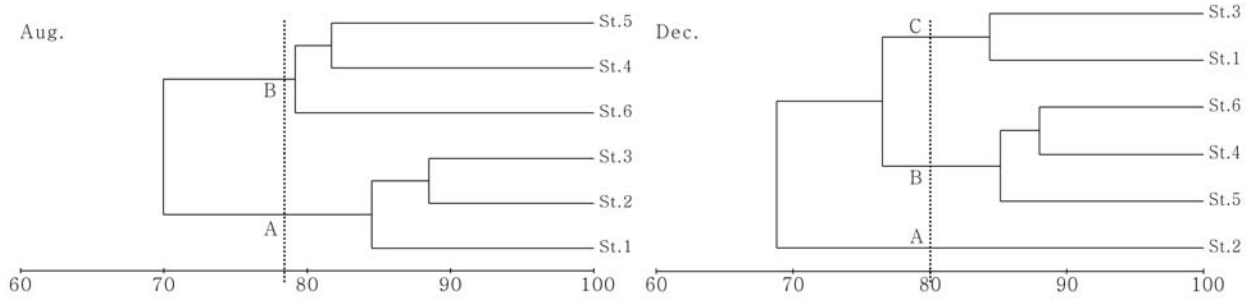


Fig. 3.1.28. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.

#### 나) 평택항

8월 유사도 지수는 84% 수준으로 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 정점 4, 5, 6으로 이루어 졌으며, B 정점군은 항내의 정점인 정점 1, 2, 3 으로 나타났다. 각 정점군에 영향을 미친 요각류를 살펴보면, A 정점군에서는 *A. hongii*, *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia* 후기유생이 B 정점군에서는 *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *Paracalanus parvus* s. l.가 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다.

12월은 유사도 지수 80% 수준에서 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 항내 정점인 정점 2, 3으로 이루어 졌으며 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *Labidocera euchaeta*, *P. marinus*가 B 정점군은 정점 1, 4, 5, 6으로 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다(Fig. 3.1.29).

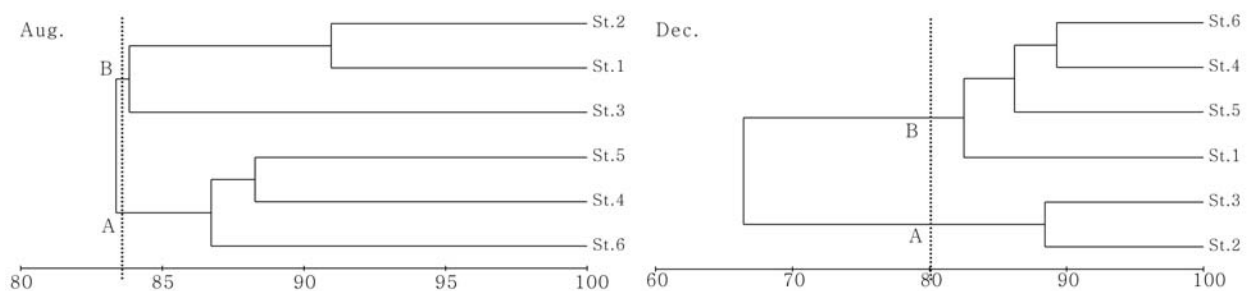


Fig. 3.1.29. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.

#### 다) 대산항

8월 유사도 지수는 80% 수준으로 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 항외 정점인 정점 6으로 이루어 졌으며, B 정점군은 정점 1, 2, 3, 4로 나타났다. 각 정점군에 영향을 미친 요각류를 살펴보면, A 정점군에서는 *Paracalanus parvus* s. l., *Corycaeus affinis*, *Oithona*

*similis*, *Acartia hudsonica*가 B 정점군에서는 *Acartia hudsonica*, *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *Acartia* 후기유생이 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다. 12월은 유사도 지수 85% 수준에서 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 정점 1, 2로 이루어 졌으며 *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia* 후기유생이 B 정점군은 정점 3, 4, 5로 *Pavocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 군집에 영향을 미치는 주요종이었다(Fig. 3.1.30).

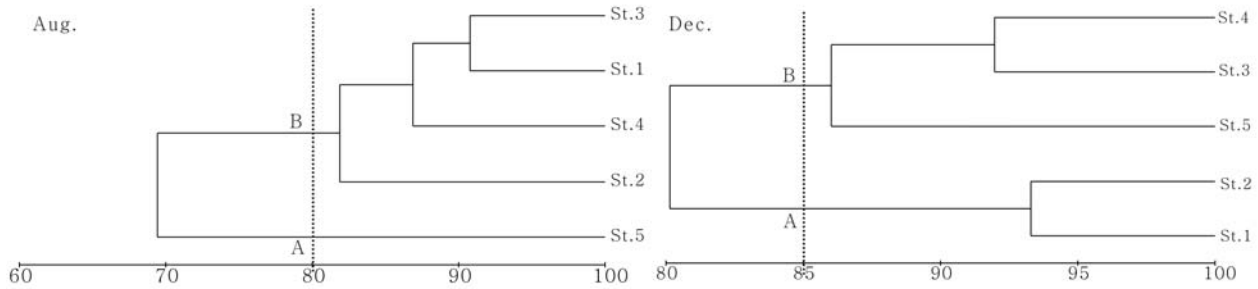


Fig. 3.1.30. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.

#### 라) 군산항

2월 유사도 지수는 62% 수준으로 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 정점 3, 4, 5, 6으로 이루어 졌으며, B 정점군은 정점 1, 2로 나타났다. 각 정점군에 영향을 미친 요각류를 살펴보면, A 정점군에서는 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *A. ohtsukai*, *Acartia* 후기유생이 B 정점군에서는 *Pseudodiaptomus inopinus*, *Pseudodiaptomus* 후기유생, *Acartia* 후기유생이 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다.

12월은 유사도 지수 70% 수준에서 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 정점 5, 6으로 나타났으며 *Paracalanus parvus* s. l., *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *Pavocalanus crassirostris*, *Corycaeus affinis*, *Oithona similis*가 B 정점군은 정점 1, 2, 3, 4로 *A. hongii*, *Acartia* 후기유생, *Pseudodiaptomus marinus*가 군집에 영향을 미치는 주요종이었다(Fig. 3.1.31).

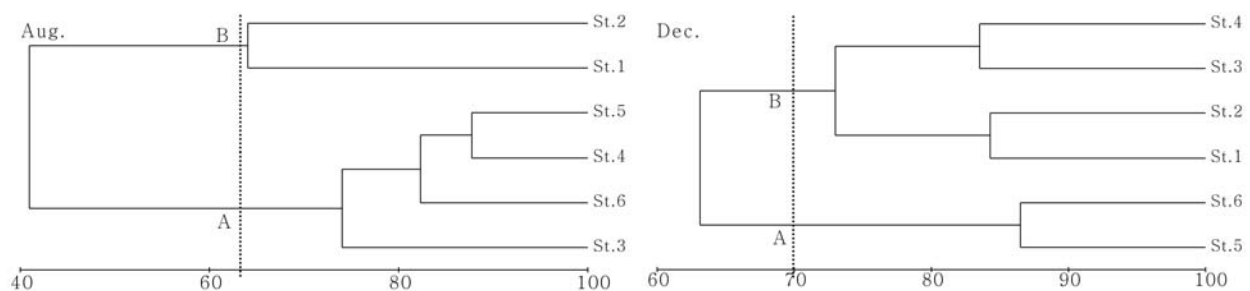


Fig. 3.1.31. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.



마) 목포항

8월 유사도 지수는 74% 수준으로 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 항내 정점인 정점 1, 2로 이루어 졌으며, B 정점군은 3, 4, 5, 6로 나타났다. 각 정점군에 영향을 미친 요각류를 살펴보면, A 정점군에서는 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *Pseudodiaptomus marinus*, *Pseudodiaptomus* 후기유생이 B 정점군에서는 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. ohtsukai*, *A. hongii*가 정점군 군집에 영향을 미치는 주요종이었다.

12월은 유사도 지수 86% 수준에서 2개의 정점군으로 나누어 졌다. A 정점군은 정점 3으로 나타났으며 *A. hongii*, *Paracalanus parvus* s. l., *Acartia* 후기유생이 B 정점군은 정점 1, 2, 4, 5, 6로 *Paracalanus parvus* s. l., *Pavocalanus crassirostris*, *A. hongii*, *Acartia* 후기유생이 군집에 영향을 미치는 주요종이었다(Fig. 3.1.32).

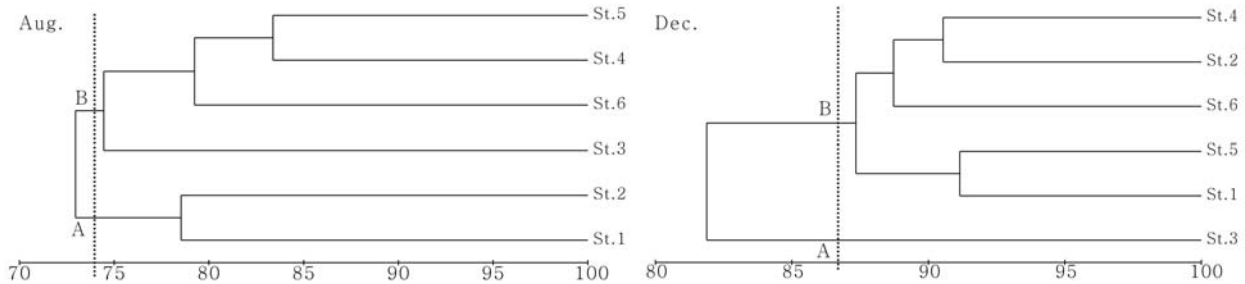


Fig. 3.1.32. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.

이상의 결과를 토대로 전체 항만의 정점을 집괴분석해보면 8월에는 유사도 지수 65%를 기준으로 4개의 정점군으로 구분되었다. A 정점군은 군산항 하구언 입구 정점으로 구분되었으며, B 정점군은 대산항, C 정점군은 인천항, 평택항으로 구분되었으며, D 정점군은 목포항과 군산항 나머지 정점으로 구분되었다. 12월에는 유사도 지수 70%를 기준으로 2개의 정점군으로 구분되었으며, A 정점군은 평택 항내 정점인 정점 2, 3으로, B 정점군은 나머지 항만 정점군으로 구분되었다. 이와 같은 결과는 국내 항만의 지리적인 해양물리·화학적인 환경요인의 유사성이 각 항만의 동물플랑크톤 군집구조에 영향을 미치고 있음을 의미한다(Fig. 3.1.33).

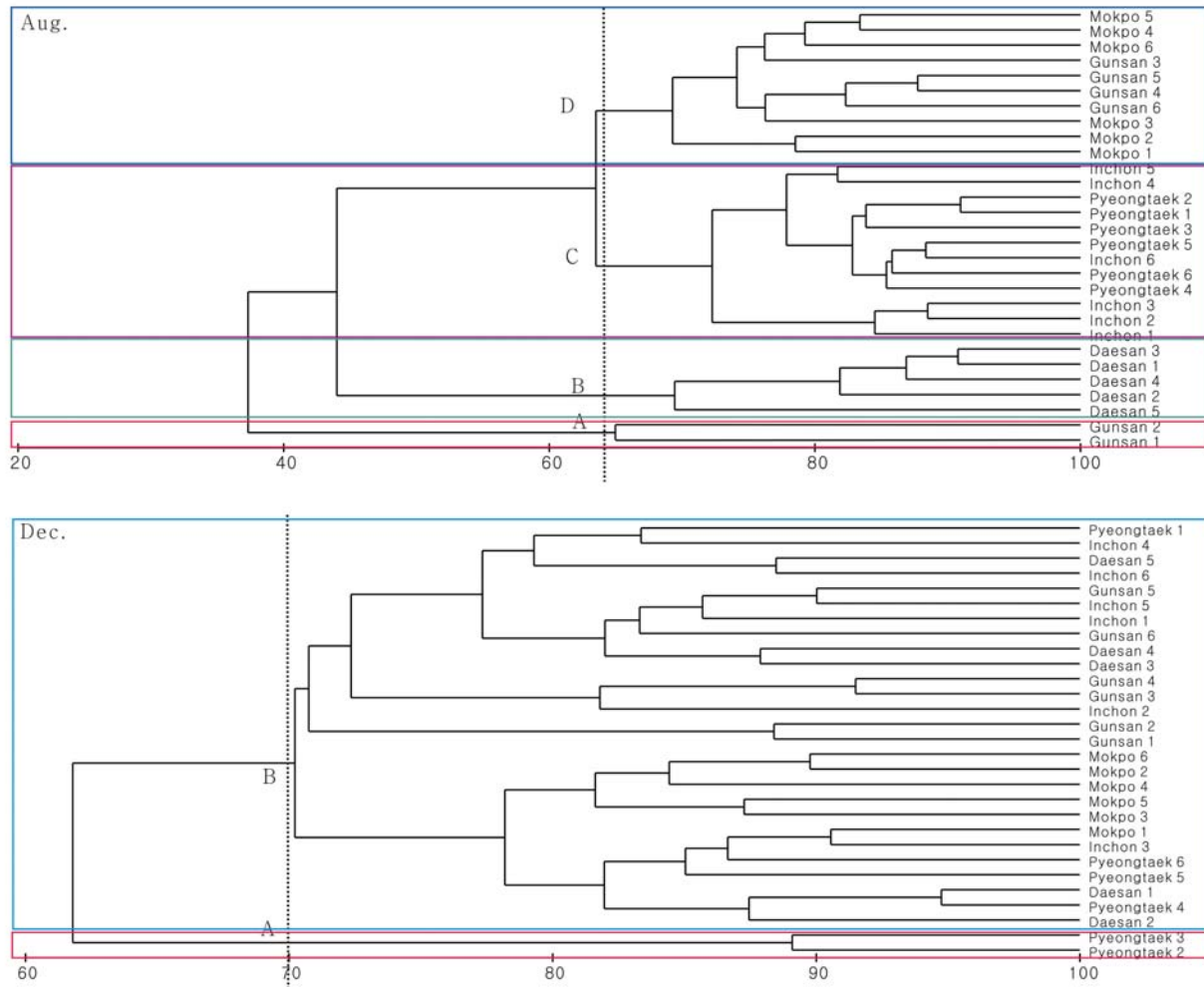


Fig. 3.1.33. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) ordination plot of sampling sites based on the abundance of zooplankton in the study area.

(나) 한국에 출현하는 주요 요각류 종의 지리분포

본 연구기간동안 한국 서해 항만에서 출현하는 요각류는 *Acartia hongii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *A. sinjiensis*, *A. pacifica*, *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, *C. tenuiremis*, *C. dorsispinatus*, *Corycaeus affinis*, *Labidocera euchaeta*, *Paracalanus parvus s. l.*, *Parvocalanus crassirostris*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Bestiolina coreana*, *P. marinus*, *S. tenellus*, *Oithona similis*, *Tortanus forcipatus*, *Tortanus spinicaudatus*, *Temora discaudata*로 *A. hongii*를 제외하면 한국, 중국, 일본 연안 및 기수지역에서 흔히 발견되는 종이 있으며, 선박균형수에 의하여 도입되었을 가능성이 있는 종은 출현하지 않았다.

본 연구지역에서 우점하여 출현하는 *Parvocalanus crassirostris* 종을 대상으로 세계적 지리 분포를 살펴보았다. 한국에서 다양한 염분 구역에서 출현하는 *Parvocalanus crassirostris*는 전 세계에서 극지를 제외한 연안 및 외양에서 출현하고 있다(Fig. 3.1.34).

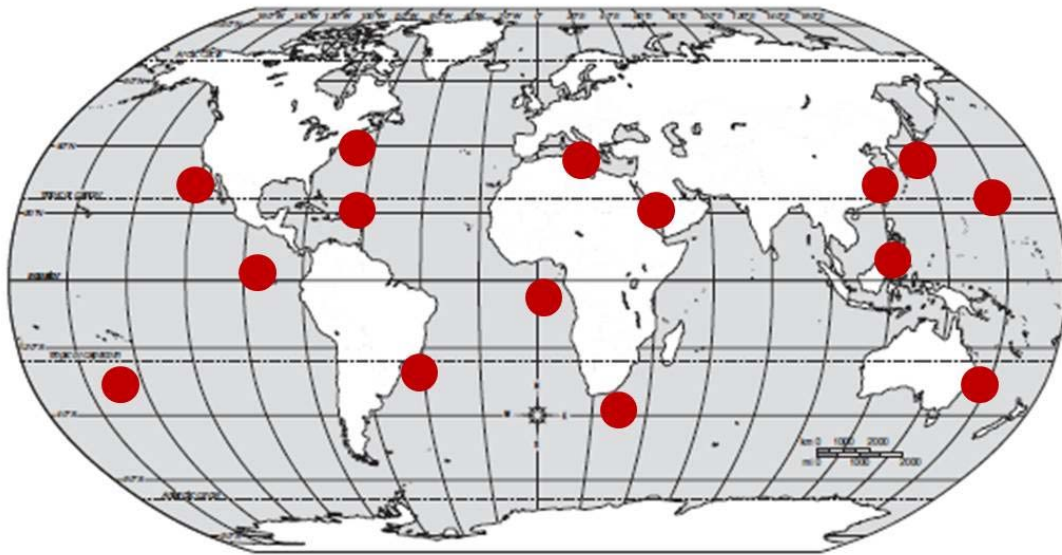


Fig. 3.1.34. Zoogeographical distribution of the *Parvocalanus crassirostris*.

(3) 저서무척추동물

(가) 항만 안벽의 저서무척추동물

1) 종조성 및 출현종 특성

대산항 항만 안벽에 서식하는 저서무척추동물을 조사한 결과 총 65종이 확인되었다. 분류군별로 보면 해면동물 7종, 자포동물 7종, 태형동물 7종, 연체동물 12종, 환형동물 7종, 절지동물(갑각류) 12종, 완족동물 2종, 극피동물 5종, 척삭동물 6종 등으로 구성된다. 이상은 2010년도 출현종수인 48종보다 18종이 많은 결과인데, 종수가 증가한 것은 조사 회수(즉 기회)가 많아지면서 발생하는 일반적인 경향인 것으로 판단된다. 1차 조사에서 59종이 출현하였고, 2차 조사에서 50종이 출현하여 두 조사 간 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 출현한 종들 가운데 외래유입종은 보어벤키해변해면(*Halichondria bowerbanki*), 관히드라(*Tubularia mesembryanthemum*), 유령멍게(*Ciona intestinalis*), 한구멍이끼벌레(*Schizoporella unicornis*), 주걱따개비(*Balanus amphitrite*), 세방가시이끼벌레(*Tricellaria occidentalis*) 등 총 6종으로 밝혀졌다. 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)는 항만 안벽조사에서 확인되지 않았으며, 유령멍게는 조사범위 내에서 5개체 이하 수준에서 확인되었다. 완족동물에서 *Terebratalia* sp와 *Terebratulida* sp. 등 2종은 2010년 조사에서 처음 밝혀진 미기록종이었으며, 2011년 1차 조사에서도 우점적으로 서식하고 있었다. 이와 같이 전반적인 무척추동물 종 출현양상에 있어서 2010년과 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

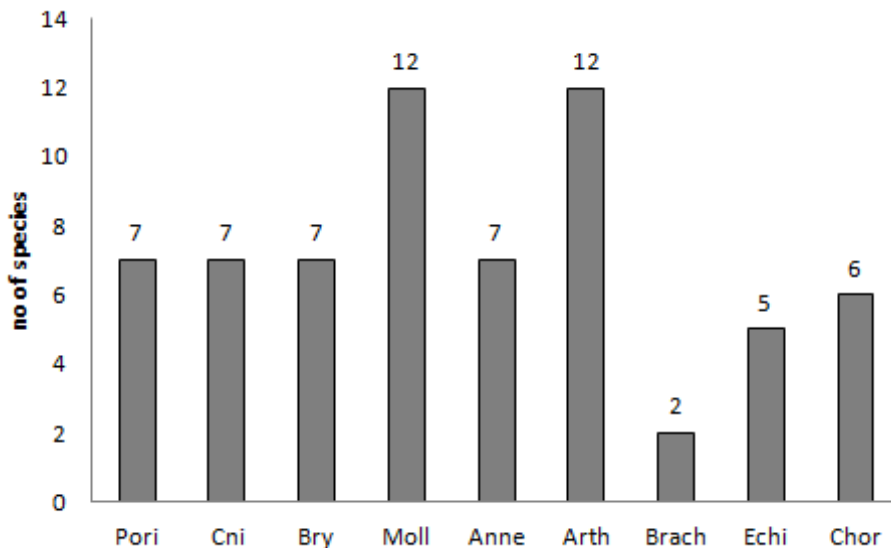


Fig. 3.1.35. Number of species in each taxon.

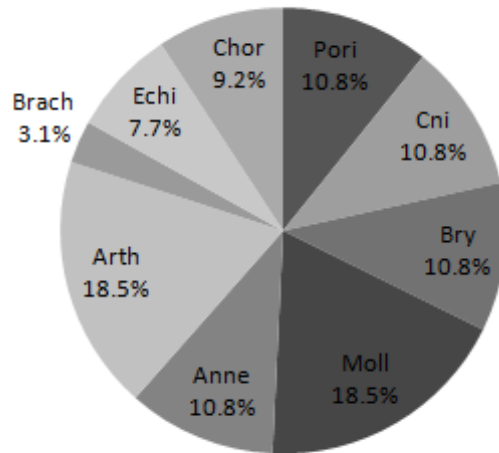


Fig. 3.1.36. Ratio of species composition in each taxon.

분류군별 종조성비를 보면 연체동물과 절지동물 갑각류가 18.5%로 가장 높았고, 자포동물, 환형동물, 태형동물, 해면동물이 10.8%로 다음을 차지하였다. 그 밖에 척삭동물은 9.2%, 극피동물은 7.7%였으며, 완족동물이 3.1%를 차지하였다. 이상의 종조성비는 일반적인 서해안 자연조건의 조하대 암반지대에서 나타나는 조성비와 많이 다른데, 자연조건에서는 연체동물이 보통 22~26%를 차지하며, 갑각류가 약 15~17% 수준을 보인다. 특히 해면동물과 척삭동물은 점유도가 보통 5~7%를 넘지 않는 것이 일반적이다. 따라서 항만조건에서의 종 출현 양상은 일반적인 경향과 차이가 있음을 알 수 있다. 우점종은 2010년과 크게 다르지 않았으며, 보어벤키해면해면(*Halichondria bowerbanki*), 조개사돈류(*Terebratalia* sp.), 굴(*Crassostrea gigas*), 군체명게류(*Botrilidae* spp.) 등이었다.

## 2) 군집구조 및 생태특성

대산항 부두안벽에 서식하는 저서무척추동물의 군집구조를 살펴보면 다음과 같다. 수직구조를 보면, 항만 내벽의 수심은 약 7.5m이며, 이후부터 사석으로 이루어진 평탄지형이 이어진다. 따라서 대부분의 무척추동물은 수심 7.5m까지 형성된 직벽에 서식하고 있었다. 수면근처에는 자생종인 고랑따개비(*Balanus albicostatus*)와 굴(*Crassostrea gigas*)이 전체 군집의 90%를 차지하였으며, 고랑따개비는 수심 1m 이상에서는 관찰되지 않았다. 수면~수심 3m 범위에서는 굴이 약 85%/m<sup>2</sup>로 우점하였으며 굴껍질 위로 한구멍이끼벌레(*Schizoporella unicornis*)가 도포하고 있었다. 굴과 함께 수심 1m 이내에는 석회관갯렁이(*erpula vermicularis*)도 우점하였다. 굴은 5m 수심까지도 관찰되지만 이 수심에서는 대부분 죽은 껍질이었으며, 살아있는 굴은 약 15% 수준이었다. 수심 3~5m 범위에서는 해변해면류와 관명게류가 우점하는 양상을 보였으며, 자주빛이끼벌레(*Watersipora subtorquata*)도 출현빈도가 비교적 높은 편이었다. 수심 6~7m에는

조개사돈류(*Terebratalia* sp.)가 가장 우점하여 피도 약 20~60%/m<sup>2</sup>의 범위를 보이고 있었다. 8m 수심의 평탄지형의 사석에는 판명게류와 이동성인 극피동물이 낮은 빈도로 관찰되었다. 이 상과 같이 나타난 대신항의 군집구조는 서해안 자연암반에서의 우점종 서식양상과 유사한 경향을 보이고 있다.

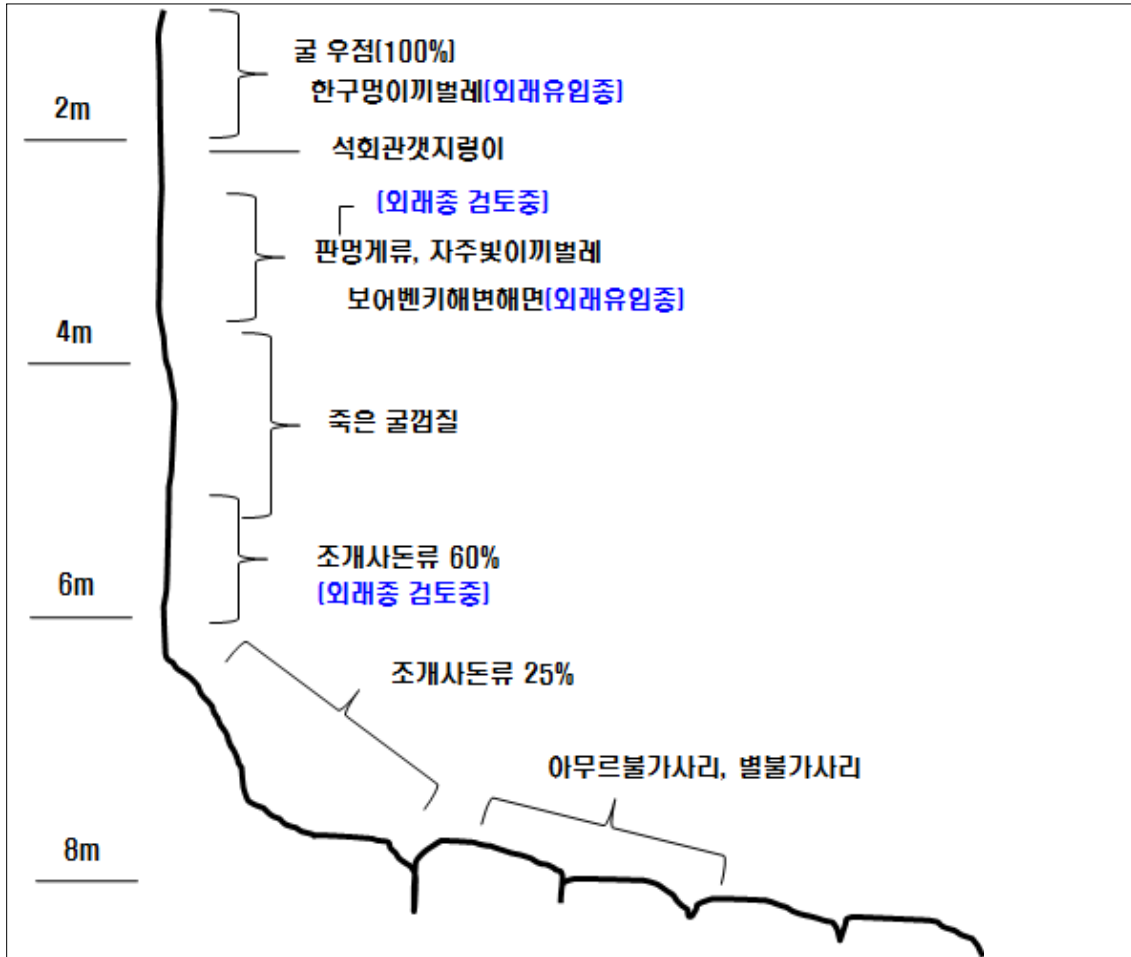


Fig 3.1.37. Schematic community structure by dominant invertebrates at Daesan port.

우점종의 피도를 보면, gigas(굴)가 전체의 약 40% 수준으로 가장 높게 나타났는데, 7월시 기 평균 38.3%/m<sup>2</sup>이었고, 11월 시기에는 다소 증가하여 평균 42.5%였다. 이는 봄에 항만벽에 달라붙었던 gigas가 11월까지 지속적으로 성장한 결과로 보여진다. 특히 정량범위 내의 평균 개체 크기가 다소 증가하였는데 이와 같은 결과로 굴이 큰 탈락 없이 지속 성장한 것으로 판단할 수 있다. *Terebratalia*(조개사돈류)는 6~8m 수심에서 우점하였으며 여름시기 평균 18.8%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였고, 11월에는 다소 감소한 15.5%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였다. 한편 전체 사진 분석결과 *Terebratalia*는 실제 큰 변동이 없었던 것으로 나타났는데, 이와 같은 차이는 단순한 표본추출 오류인 것으로 생각된다. 그 밖에 *Balanus*(고랑따개비)는 7월에 평균 12.8%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였고, 11월에 평균 10.5%/m<sup>2</sup>의 피도를 보였는데 이 역시 표본추출 오류로 판단되며 실

제는 큰 변동이 없었다. Botrilidae(관멍게류)는 실제로 11월에 서식량이 감소하였는데, 7월에는 평균 42.8%/m<sup>2</sup> 이던 피도가 11월에는 평균 22.5%/m<sup>2</sup>로 감소하였다. Serpula(석회관갯지렁이)는 반대로 7월에 평균 8.5%/m<sup>2</sup>인 피도가 11월에는 평균 11.3%/m<sup>2</sup>로 증가하였는데, 이 역시도 앞선 경우와 마찬가지로 표본추출오류인 것으로 나타났으며, 실제로 두 시기 간에 큰 변동이 없었다.

Table 3.1.9. Ecological indices of dominant species at Daesan port.

Dominant species	% cover (%/m <sup>2</sup> )		biomass (g/m <sup>2</sup> )		density (ind/m <sup>2</sup> )	
	Jul	Nov	Jul	Nov	Jul	Nov
<i>Halichondria</i> sp.	7.3	5.8	48.3	32.5	-	-
<i>Crassostrea gigas</i>	38.3	42.5	1,258.3	1,658.3	154.8	163.8
<i>Serpula vermicularis</i>	8.5	11.3	32.8	72.5	-	-
<i>Schizoporella unicornis</i>	6.8	4.3	12.5	8.7	-	-
<i>Terebratalia</i> sp.	18.8	15.5	215.8	156.5	91.3	83.8
<i>Balanus albicostatus</i>	12.8	10.5	86.3	67.3	1,945.5	1,892.3
Botrilidae sp.	7.7	3.8	42.8	22.5	-	-

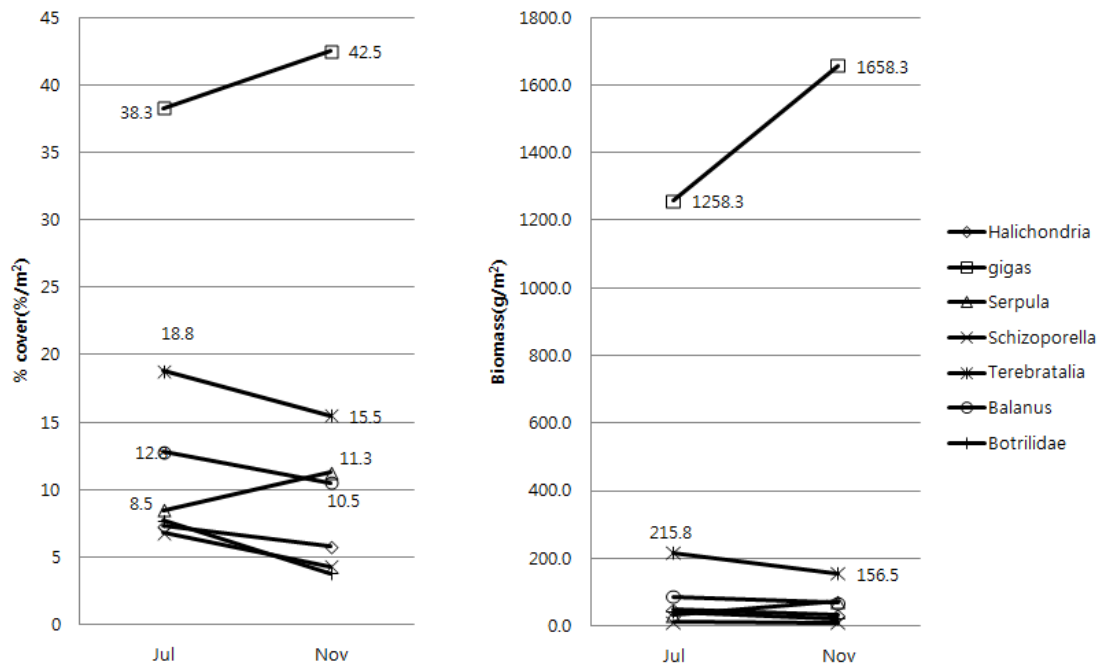


Fig. 3.1.38. Biomass and coverage of the dominant species at Daesan port.

생물량에 있어서는 피도의 결과와 유사하지만 보다 더 분명한 우점양상을 나타냈는데, *gigas*가 전체의 생물량의 78.5% 차지하였다. 7월시기 평균 1,258.3g/m<sup>2</sup>의 생물량을 보였으며, 11월 시기 1,658.3g/m<sup>2</sup>의 생물량을 보였다. 따라서 피도와 마찬가지로 전반적인 서식량이 증가한 것으로 나타났다. *Terebratalia*는 전체 생물량의 약 10.0%를 차지하였는데 7월 시기 215.8g/m<sup>2</sup>인 생물량이 다소 감소하여 156.5g/m<sup>2</sup>로 나타났다. 이 또한 피도에서 나타난 표본추출 오류, 즉 표본추출 지점의 차이로 인한 감소이며, 실제 서식량이 감소한 것은 아니다.

(나) 부착판의 저서무척추동물

1) 출현종 및 군집특성

2011년 대산항에 설치된 부착판에서는 총 6종의 무척추동물이 부착하였는데, 각각은 *Crassostrea gigas*(굴), Sabellidae sp.(꽃갯지렁이류), *Tricellaria occidentalis*(세방가시이끼벌레), *Balanus albicostatus*(고랑따개비), *Megabalanus rosa*(빨강따개비) 등이다. 2011년 7월에 투여하여 11월에 수거한 No-1 부착판에는 6종이 부착하였고, 2011년 11월에 투여하여 2012년 1월에 수거한 No-2 부착판에는 어린 고랑따개비 1종(1개체)만이 부착되었다. 2011년 7월에 투여하여 2012년 1월에 수거할 계획이었던 부착판은 유실되었다.

Table 3.1.10. Benthic invertebrates of the collector plates at Daesan port.

Invertebrate Taxa / species	No-1	No-2	No-3 (부착판유실)
<b>Phylum Mollusca</b>			
<i>Crassostrea gigas</i>	○		
<b>Phylum Bryozoa</b>			
<i>Tricellaria occidentalis</i>	○		
<b>Phylum Annelida</b>			
Sabellidae sp.	○		
<b>Phylum Arthropoda</b>			
<i>Balanus albicostatus</i>	○	○	
<i>Megabalanus rosa</i>	○		

출현한 무척추동물의 이와 같은 결과는 2010년에 부착판 실험에서 나타난 30종에 비해 매우 큰 차이를 보이고 있는데 이는 부착판 설치시기와 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타났다. 2010년에는 1차 부착판이 3월경에 투하되어 7월에 확인되었으며, 11월에 2차 확인된 반면, 2011년에는 1차 부착판이 2010년도 2차에 해당하는 7월에 투하되었다. 따라서 유생활동력이 왕성한 봄 시기를 지나 투여되었기 때문에 유생 활동기간이 긴 굴과 따개비류만이 소수 출현한 것으로 판단된다.



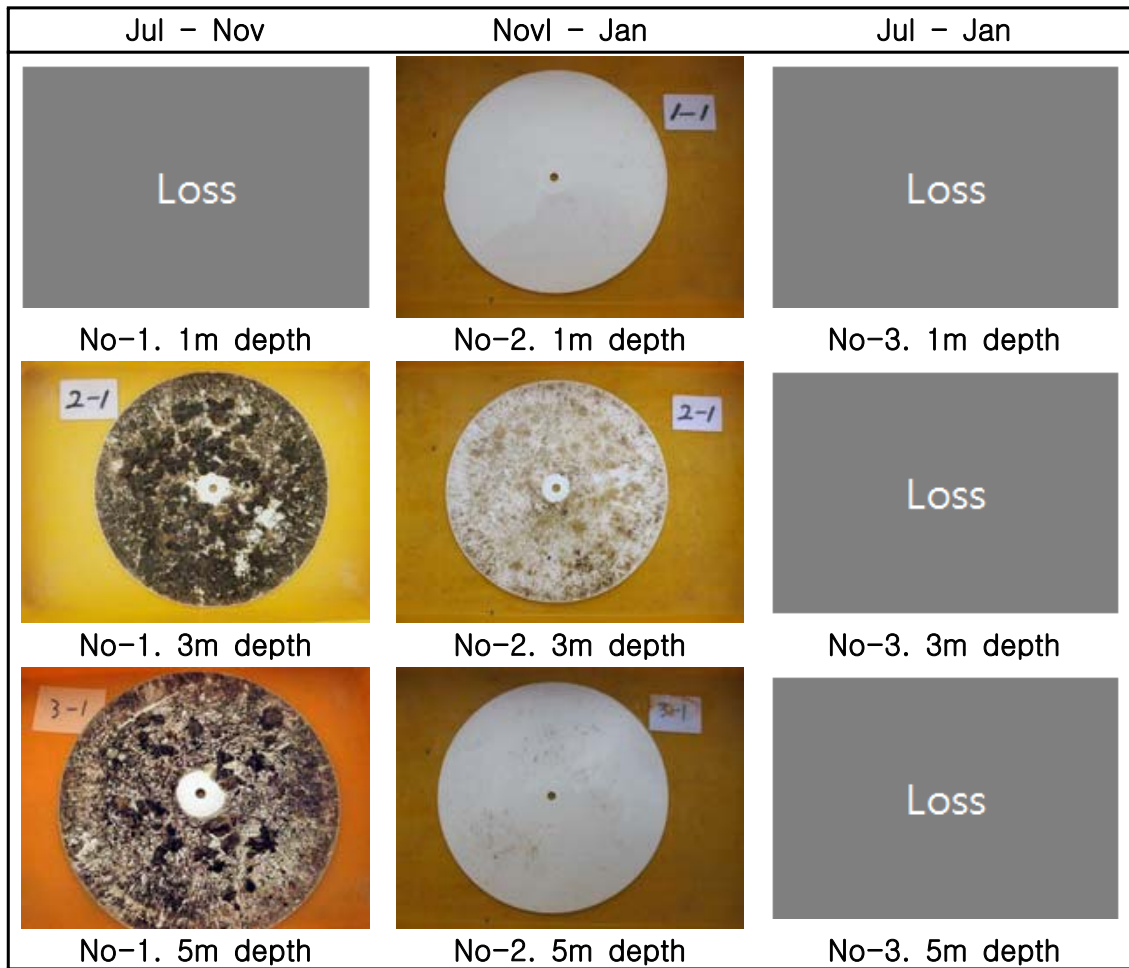


Fig. 3.1.39. Invertebrates of the collector plates in Daesan port.

부착한 생물이 매우 적기 때문에 군집구조를 언급할 수준은 아니지만 부착된 생물 중에는 *Crassostrea gigas*가 97.5%로 우점하는 양상이었다. 그러나 *Crassostrea gigas*의 크기가 1cm 길이 내외로 어린 단계로써 안벽의 굴과 비교하여 평균 크기가 매우 작았다. 한편 2010년도 부착판에서 나타난 우점종은 *Schizoporella unicornis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, *Megabalanus losa* 등으로써 *Schizoporella unicornis*는 봄에서 여름시기동안 투여된 부착판에서 42.14%로 우점도가 높았고, *Mytilus galloprovincialis*는 봄에서 가을시기동안 투여된 부착판에서 32.1%로 점유도가 높았다. *Crassostrea gigas*는 여름시기 투여되어 가을시기에 수거한 부착판에서 31.83%로 점유도가 높았고, *Megabalanus rosa*는 여름시기 투여되어 가을시기에 수거된 부착판에서 29.31%로 점유도가 높았다. 이상으로 미루어볼 때 2011년 결과의 일부가 유실되고, 부착판시기가 달라서 확정적으로 언급할 수 없으나 2011년과 2010년의 결과는 매우 유사한 것으로 볼 수 있다. 즉 우점종에 있어서 2011년도에서 부착량은 매우 적었으나 *Crassostrea gigas*와 *Megabalanus losa*가 우점하는 양상이 나타났으므로 이는 2010년도 경향과 유사한 결과이다. 한편 봄에 투여되어 여름시기와 가을시기에 각각 우점한 *Schizoporella unicornis*와 *Mytilus galloprovincialis*는 2011년에 부착판에서 전혀 출현하지 않았는데, 이는 부착판이 이들이 활동하는 시기를 지나 투여되었기 때문으로 예측된다. 따라서 대산항에서 부

착판에 달라붙은 저서무척추동물은 비교적 일정한 경향을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

## 2) 시기별 출현양상

2011년도와 2010년도에서 나타난 부착판 생물들 가운데 대표 우점종들의 시기별 출현 양상을 개념적으로 나타내면 다음과 같다.

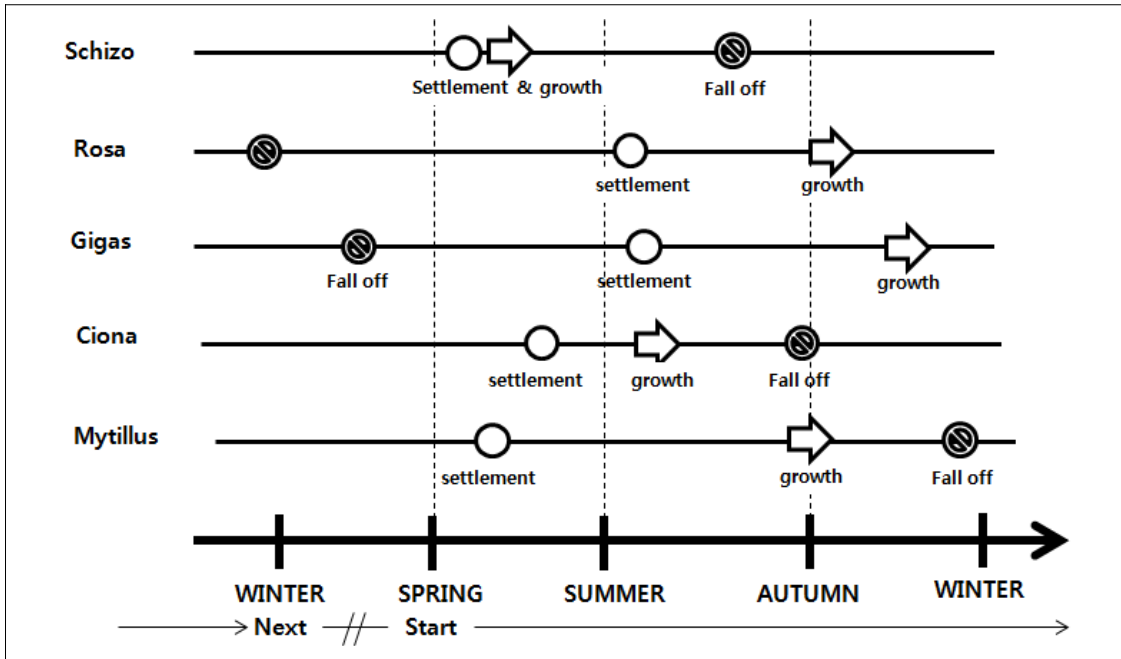


Fig. 3.1.40. Settlement pattern of the dominant species in the collector plates.

Schizo(한구멍이끼벌레)는 이른 봄에 부착되어 다른 생물이 부착되기 전 부착판을 점유하여 급격히 증가하는 양상을 보이고 있으며, 가을 시기 이전에 대폭 감소하는 것으로 나타났다. Mytillus(지중해담치)는 2011년도 대산항에서 출현하지 않았는데 이는 7월 이후 부착판이 투여되었기 때문으로 판단된다. 따라서 Mytillus는 봄시기와 여름시기 사이에 신생균이 부착되기 시작하는 것으로 보이며, 지속 성장하여 가을시기 최대를 이루다가 겨울시기부터 탈락하는 것으로 추정된다. Ciona(유령멍게)는 대산항에서 많지 않았으나 우리나라 전체에서의 전반적인 경향을 보면, 봄시기와 여름시기 사이에 부착되어 여름시기 최대 성장기를 거쳐 가을 시기 초에 급격히 감소하는 것으로 나타났다. Gigas(굴)는 다른 종들 보다 늦은 여름시기 이후에 가입되어 지속적으로 성장하다가 다음해 봄시기 이전에 탈락하는 것으로 나타났는데 굴의 경우 지역에 따라 다소 차이가 난다. Rosa(빨강따개비)도 시기적으로 늦게 부착되는 편인데, 여름시기에 부착되어 가을까지 성장하는 것으로 나타났는데, 아마도 겨울시기를 지나면서 많은 부분 탈락하는 것으로 예상된다. 한편 부착판에서 높은 기회성을 보이며 우점하는 종들은 대부분 외래유입종으로 부착 초기에 빈 공간에 기회적으로 우점하는 양상을 보이고 있으며, 시간이 지남에 따라 자생종(Gigas와 Rosa)에 의해 점유도가 낮아지는 것으로 나타났다.

3) 항만의 외래유입종

대산항에서 출현한 저서무척추동물 가운데 *Halichondria bowerbanki*, *Tubularia mesembryanthemum*, *Ciona intestinalis*, *Schizoporella unicornis*, *Tricellaria occidentlis*, *Balanus amphitrite* 등 6종이 외래유입종인 것으로 나타났으며 전체 출현종의 약 9.2% 수준이었다. 이들 가운데 2010년 부착판에 나타났던 *Mytilus galloprovincialis*는 확인되지 않았다. 한편 *Watersipora subtorquata*(자주빛이끼벌레)와 *Bougainvillia ramosa* (분지보우갯벌히드라)는 외래유입종일 가능성이 있는 종들로써 검토 중에 있다.

Table 3.1.11. Introduce species from Daesan port.

Species	Remarks
<b>Porifera</b>	
<i>Halichondria bowerbanki</i>	Data Deficient
<b>Phylum Cnidaria</b>	
<i>Tubularia mesembryanthemum</i>	Data Deficient
<b>Arthropoda</b>	
<i>Balanus amphitrite</i>	Critical
<b>Bryozoa</b>	
<i>Schizoporella unicornis</i>	Near Serious
<i>Tricellaria occidentlis</i>	Least Concern
<b>Chordata</b>	
<i>Ciona intestinalis</i>	Critical

출현종들의 서식특성을 보면, *Halichondria bowerbanki*은 수심 3~4m 지점에서 주로 발견되었고, *Schizoporella unicornis*는 2010년도에 부착판에서만 발견되었는데, 이번 조사에서 1~2m 수심의 굴껍질 위에 도포하고 있는 것이 관찰되었다. *Ciona intestinalis*는 전체에서 5개체 이하로 관찰되었다. 이와 같은 점유도는 같은 서해안의 인천항과 비교하여 매우 특이한 현상이다. 한편 2011년에는 우리나라 전체 항만에서 *Ciona intestinalis*의 대발생이 크게 일어나지 않았다. *Tricellaria occidentlis*는 수면 근처의 굴껍질 위에 부착하고 있었다.

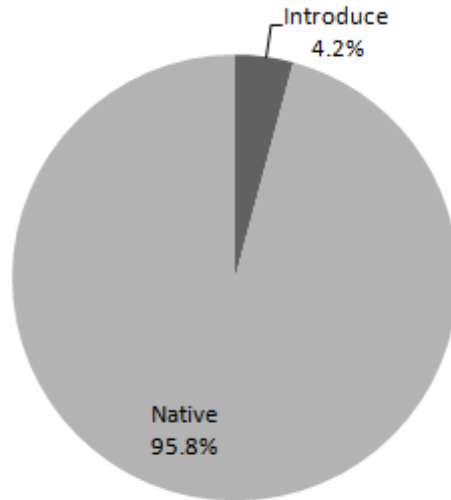


Fig. 3.1.41. The biomass ratio of native and introduce species at Daesan port.

항만 내 외래유입종과 자생종의 생물량 비율은 약 4 : 96 수준으로 자생종이 전체 생물량의 95.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같이 대산항에 외래유입종이 적었던 이유는 1)대산항이 완공 된지 얼마 되지 않아 대형 외국 선박의 이용률이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 2)또한 서해안은 조차가 크기 때문에 낮은 수심의 내벽이 장기간 노출되게 되며, 이로 인해 따개비등과 같은 낮은 수심의 생물들이 생존하기 어려운 환경인 것도 큰 이유 가운데 하나이다. 3)여기에 겨울시기 서해안 표층의 낮은 수온 역시 외래생물이 적응하기 어려운 이유로 판단된다.

## 제 2 절 선박 평형수 모니터링

### 1. 서론

인류는 오랫동안 선박을 이용하여 물자와 사람을 운반하는 수단으로 사용하여 왔다. 그러나 최근에는 선박기술의 발전으로 운항속도, 운송 화물량, 운송 빈도수 등은 과거와 비교도 안 될 만큼 증가하였다. 선박을 통해서 인간과 화물의 이동뿐만 아니라 부수적으로 해양생물도 바다를 건너 새로운 해양환경으로 이동되었다. 부유생물이나 유영생물 일부는 선박 평형수(ballast water) 탱크에 실려 도착지역을 떠나 새로운 환경에 배출된다. 새로운 환경에 유입된 생물은 도착생태계에서 자연선택 과정(서식환경, 천적, 먹이 등)을 거쳐 새로운 환경에 적응한다. 최근 평형수는 세계적으로 매년 100억 톤 이상 선박을 통해 운송되고 있으며, 이러한 평형수를 통해서만 1만종 이상의 생물체나 병원체가 이동되고 있다. 다양한 생물들은 새로운 환경으로 이동하여 비 도착 서식지에서 적응기간을 거쳐 정착하여 기존 생태계 교란을 주도한 것으로 알려져 있다. 이로 인한 피해를 경제적으로 추정하면 가히 천문학적인 숫자가 된다. 평형수내 생물종의 국가 간 이동으로 인하여 나타나는 문제는 생태계 교란뿐만 아니라 연안 산업이나 다른 상업적 활동 또는 자원에도 큰 피해를 유발시키고 있다. 미 의회 기술평가사무국(Congress/Office of Technology Assessment, 1993)에 따르면 1906년부터 1991년까지 79종의 동식물이 육상과 해양에 침입하여 총 970억 달러의 손실이 발생한 것으로 밝혀졌다. 특히 최근 침입한 15종의 외래생물에 의하여 발생할 수 있는 피해액을 산정한 결과 2050년까지 최대 1,340억 달러의 피해가 예상되고 있다(한국해양수산개발원, 2004). 이외에도 외래해양생물의 피해를 방지하는 데에도 수십억 달러의 비용을 지출하고 있다.

다양한 외래생물로 인해 생태적, 경제적 피해가 빈번히 발생함에 따라 국제사회는 생물의 비의도적 이동의 주원인으로 선박 평형수를 지목하였고, 선박에 의한 대기 및 수중 배출물에 대한 규제를 오래 전부터 수행하고 있는 IMO(국제해사기구)에서 선박 평형수에 대한 규제를 시작하고 있다. IMO에서는 선박 평형수 관리협약을 2004년에 채택하였고, 협약의 원활한 수행을 위하여 14개 지침서를 개발하였다. 이러한 지침서중의 하나가 선박 평형수 처리 면제를 위한 “위해도 평가” 분야이다. 해양 환경이 유사하다고 판단되는 타 국가의 항만 간에 위해도 평가를 통해 협약의 면제를 허용하기 위한 것이다. IMO의 선박 평형수 관리협약에 의하면, 관할해역의 당사국은 정해진 항로를 운항하는 선박에 대해 IMO가 제정한 위해도 평가 지침에 따라 위해요소가 적다고 평가되는 경우 선박 평형수의 교환 및 처리 면제를 허용할 수 있다. 지침서에서 제시하고 있는 위해도 평가 방법은 3가지인데, 이를 개별적으로 또는 병행해서 사용할 수 있다.

- 환경 매칭 위해도 평가
- 생물종·생물 지리적 위해도 평가
- 생물종별 위해도 평가

위해도 평가는 궁극적으로 위해도 관리 과정의 처음과 정기적 단계로서 고려되어야 하며, 정책결정을 위한 과학적 자료를 제공하는 데 그 목표를 두고 있다. 위해도 관리란 인체(류) 및 생태의 위해를 감소시키기 위한 조치를 만들고 분류하고 증명하고 선별하는 과정이다. 위해도 평가는 인지된 위협과 실제상황에 관련된 위협의 정량적 혹은 정성적 가치를 측정한다. 본 연구에서는 지침서가 요구하는 위해도 평가방법을 수행하기위한 각 분야의 자료수집, 현장조사를 통해 얻은 자료를 데이터베이스로 구축하고, 이러한 자료를 이용하여 위해도를 산출할 수 있는 공식을 개발하여 위해도 평가 프로그램을 구축하여 항만 간의 처리 면제 와 선박이동에 따른 항만의 환경변화를 감시에 사용할 수 있도록 한다.

## 2.. 재료 및 방법

### 가. 선박평형수 모니터링 현황

2011년 우리나라의 서해에 위치한 대산항, 군산항, 목포항 등의 3개항에서 선박 평형수의 환경요인과 부유생물상을 조사하였다(Fig. 3.2.1). 국가주요시설인 3개항의 출입과 관련해서는 사전에 지방 항만청, 항만공사 및 세관의 협조를 구하였으며, 조사에 적절한 선박 섭외와 선박 평형수 조사시에는 항만국통제관(PSCO)의 협조하에 시료를 채집함과 동시에 조사한 선박의 재원(Particular)과 평형수 관리기록지를 확보하였다.

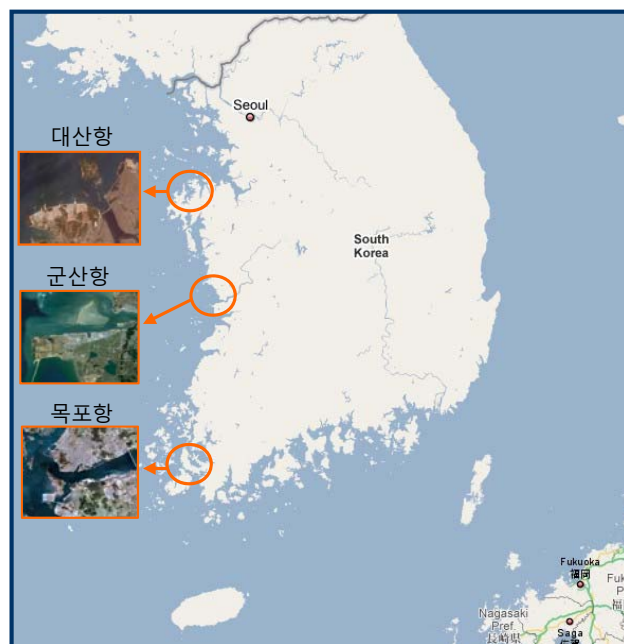


Fig. 3.2.1. The sampling port of ballast water.

## 나. 선박평형수의 환경요인

### (1) 수온, 염분, 용존산소, pH

수온, 염분 및 용존산소는 YSI CTD(Model 6600)을 사용하여 측정하였으며, Potential of hydrogen(pH)은 Orion 4 Star로 측정하였다.

### (2) 부유물질

GF/F 유리 섬유 여과지(직경 47 mm, pore size 0.7  $\mu\text{m}$ )를 20ml의 증류수로 3회 세척한 다음 105°C에서 2시간 건조 시킨 후 제습기에서 방냉하여 무게를 측정 하였다. 일정량의 시료를 무게가 측정된 여과지에 필터 한 후 냉동 보관하여 운반하였다. 분석 시 105 °C에서 2시간 건조 후 제습기에서 방냉한 후 여과지의 무게를 달아 증가한 무게를 이용해 정량화 하였다.

### (3) POC와 DOC

입자성 유기탄소(POC) 측정은 450°C에서 5시간동안 회화시킨 후 무게를 측정한 GF/F 여과지로 해수의 일정 양을 여과시켰다. 해수가 걸어진 여과지를 소량의 증류수로 탈염시킨 후, 다시 10% 염산으로 처리후 냉동 보관하여 운반하였으며, 분석은 CHN Analyser (Flash EA 1112, Thermo)를 이용하여 입자성 유기탄소를 측정하였다.

용존 유기탄소(DOC) 측정은 일정량의 해수를 25 mm GF/F 여과지로 여과시킨 후 20 ml 갈색 병에 담아 냉동 보관하였다. 해수 중에 용존되어 있는 유기물을 금속 촉매를 이용한 고온 연소장치로 완전히 산화시킨 후 발생하는 이산화탄소의 양을 비 분산형 적외선 감지기로 측정하여 정량화 하였다(Multi N/C3000, Jena).

### (4) 영양염

영양염의 시료 채취는 현장에서 Watman GF/F 여과지로 거른 다음 시료의 일정량을 채취하여 500 mL의 플라스틱 vial에 넣어 냉동 보관하였다. 영양염류는 발색법(Parsons et al, 1984)을 수정 보완한 방법으로 시료를 발색시켜 발색 강도를 측정하는 방법인 FIA(Flow Injection Analyzer, Quickchem 8000, LACHAT Co.)로 분석하였다. 각각의 분석 원리는 다음과 같다.

#### (가) 규산염( $\text{SiO}_3$ )

해수 시료 중의 규산염은 일차적으로 산성의 몰리브덴산 암모늄(Ammonium molybdate solution)을 가하여 노란색의 몰리브덴산 규산화합물을 만든 후 이차적으로 옥살산(Oxalic acid solution)과 스테이노우스 클로라이드 환원시약(Stannous chloride reducing solution)에 의해서 발색된 시료를 820 nm 필터로 측정하였다.

(나) 인산염( $\text{PO}_4\text{-P}$ )

해수 시료중의 인산염인을 산성의 몰리브덴산과 안티 모니가 첨가된 시약(Molybdate color reagent)으로 일차적으로 반응 시킨 후 아스코르빈산(Ascorbic acid)으로 환원 시켜 나타난 푸른색의 용액을 880 nm 필터로 측정하였다.

(다) 질산염( $\text{NO}_3\text{+NO}_2$ )

해수 중의 질산염을 측정하기 위하여, 금속구리를 입힌 카드뮴으로 채운 칼럼을 통과 시켜 아질산염으로 전환 시킨 후 일차적으로 슬피니아미드(Sulfanilamide)와 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 염화나플틸에틸렌디아민 용액( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$ )과 반응시켜 분홍색 용액으로 만들어 520nm 필터로 측정하였다.

(라) 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )

해수 시료중의 암모니아성 질소는 염기성인 차아염소산용액(Sodium hypochloride)과 산화 반응하여 모노크로아민을 생성한 후 페놀(Phenal)과 촉매인 니트로프러시드(Sodium nitroprusside)을 가해 푸른색의 인도 페놀을 생성시킨 후 최대 흡수 파장인 640nm에서 흡광도를 측정하였다.

(5) 엽록소-a

샘플링 된 해수의 일정량을 Phyto-Pam(Heinz Walz) 장비를 이용하여 전체 엽록소-a의 양을 측정하고, 광합성에 직접적으로 관여를 하는 활성 엽록소(active chlorophyll-a)농도를 측정하였다.

(6) 미생물 실험방법

(가) 일반세균

상업적으로 판매하는 Aerobic count plate(Petri Firm<sup>TM</sup>, 3M Co.) 필름 배지의 가운데 부분에 해수 일정량을 접종한 다음 필름을 덮고 누름판으로 30초에서 1분간 누른 후 35 °C 배양기에 넣고 24시간 배양을 한다. 배양 후 모는 눈금 안에 있는 붉은 점을 계수하였다.

(나) 대장균

상업적으로 판매하는 E. coli/coliform count plate(Petri Firm<sup>TM</sup>, 3M Co.) 필름 배지에 멸균한 증류수 1 ml을 배지에 떨어뜨린 후 필름을 받는다. 해수 일정량을 멸균된 0.45 μm Membrane 필터지로 여과한 다음 필터지를 필름을 열어 가운데 위치하게 한 다음 필름을 덮은 후 35 °C에 24시간 배양 한 후 투명하게 형성된 기포의 수를 계수하였다.



(다) 비브리오균 (추정 실험)

해수 일정량을 멸균된 0.45  $\mu\text{m}$  Membrane 필터지로 여과한 다음 필터지를 상업적으로 판매되는 TCBS agar 배지 중앙에 놓고 Petri dish을 닫은 다음 파라필름으로 봉한 후 35  $^{\circ}\text{C}$  배양기에 넣고 24시간 배양을 한다. 배양 후 노란색 덩어리를 계수한 다음 이틀 뒤 노란색이 녹색으로 변했는지 본다.

(라) 장내구균

해수 일정량을 멸균된 0.45  $\mu\text{m}$  Membrane 필터지로 여과한 다음 필터지를 상업적으로 판매되는 ME Entro agar 배지 중앙에 놓고 Petri dish을 닫은 다음 파라필름으로 봉한 후 35  $^{\circ}\text{C}$  배양기에 넣고 48시간 배양을 한다. 배양 후 검붉은 색 점을 계수하였다.

(마) 중속영양박테리아

해수 일정량을 배지 중앙에 떨어뜨린 후 알코올과 알코올램프를 이용해 소독한 삼각형 유리막대로 해수가 잘 퍼지도록 문지른 다음 Petri dish을 닫은 후 파라필름으로 봉한 후 35  $^{\circ}\text{C}$  배양기에 넣고 48시간 배양을 한다. 배양 후 하얀색 점, 퍼진 점과 노란색 균 모두를 계수하였다.

#### 다. 선박평형수 내 부유생물 모니터링

식물 및 동물플랑크톤의 채집은 주로 선박 평형수 탱크의 맨홀을 개방하여 네트로 수회 반복 수직 채집하였다. 선박 구조상의 문제로 맨홀 개방이 불가능한 경우에는 평형수 탱크와 연결된 외부관을 통해 배출되는 평형수를 네트로 여과 농축하였다. 외부연결관이 없는 경우에는 기관실에서 평형수 유입·배출 펌프의 소형 연결관을 통하여 시료를 확보하였다. 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 채집은 각각 망구 30 cm, 망목 20  $\mu\text{m}$  와 망구 30 cm, 망목 50  $\mu\text{m}$ 의 원추형 네트를 사용하였다. 정량채집을 위해 식물플랑크톤은 500 ml의 bottle에 채수하였으며, 동물플랑크톤은 네트에 유량계(Hydrobios, 438115)을 부착하거나 여과량을 이용하여 정량 분석하였다. 채집 후 식물플랑크톤 시료는 루골용액(Lugols' solution)으로 고정하였으며, 동물플랑크톤은 중성포르말린의 시료 내 농도가 5% 내외에서 고정하였다. 채집된 시료는 실험실에서 식물플랑크톤은 광학현미경(Zeiss, Axioplan II) 하에서 Sedgewick-Rafter chamber로 동정 및 계수하였으며, 부착된 디지털카메라(Zeiss, AxioCam HRC)로 촬영하여 기록 보관하였다. 동물플랑크톤의 동정은 해부현미경(Zeiss, Stemi SV 11)과 광학현미경(Zeiss, Axioskop)을 이용하여 가능한 종 수준까지 분류하였으며 종분류가 어려운 경우에는 상위 분류군으로 기록하였다. 식물플랑크톤의 동정에 이용된 문헌은 Cupp(1943), Dodge(1982), 심(1994), Tomas(1997) 이었고, 동물플랑크톤은 Kim(1985), 강(1992), Chihara and Murano(1997), Mizuno and Takahashi(2000), Conway *et al*(2003) 등의 문헌을 참고하여 동정하였다.

## 라. 식물플랑크톤 활성능력 평가

대산항에 조사한 Shui Shan (2)을 대상으로 온도, 배지조건, 염분 농도에 따른 식물플랑크톤의 생물활성능을 평가하였다. 먼저 실험실로 운반된 시료는 200- $\mu\text{m}$ 의 mesh로 여과하여 동물플랑크톤을 제거한 후 1 L 멸균 PC병에 담았다. 각각의 배지에 사용된 배양수는 선박수평형수를 0.2- $\mu\text{m}$  membrane 필터로 여과 멸균한 선박수평형수 실험구(선박수평형수 자체의 영양염농도 유지), 주변수를 0.2- $\mu\text{m}$  membrane 필터로 여과 멸균하여 F/2배지를 넣은 실험구, 영양염을 첨가하지 않은 주변수 실험구로 구분하였다. 배양은 10, 15, 20°C로 각 실험구마다 3개의 온도조건을 설정하여 온도와 배지조건(F/2배지, 주변수, 선박수평형수)에 따른 재성장특성을 파악하였다. 또한 염분구배에 따른 평가는 선박수평형수(염분 11.4 psu)를 고순도증류수와 장목만(한국해양연구원 남해연구소앞) 해수(32 psu)로 희석하여 염분농도를 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu로 조절하여 F/2배지를 넣고, 선박수평형수의 온도범위에 준하는 15°C에서 배양실험을 수행하였다. 모든 실험은 두경이 달린 70 mL의 시험관( $\phi$ 22 mm X 200 mm; PYREX®)에 50 mL 배양수를 넣고, 선박수평형수에서 채집한 시료를 일정량(0.37 FSU)을 균일하게 접종한 후 배지조건에 따른 온도의 영향은 triplicate로, 염분구배실험은 duplicate 각각 수행하였다. 온도와 배지조건이 다른 실험은 광량 60  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 광주기 12L: 12D로 조절하여, 20일간 2-3일 간격으로 Turner Designs 10-AU Fluorometer로 형광값(*in vivo* fluorescence)을 측정하였고, 염분구배에 따른 실험은 수온 15°C, 광량 60  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 광주기 12L: 12D로 조절하여, 배양시작후 9일까지는 3일 간격으로, 그 이후는 2일 간격으로 Turner Designs 10-AU Fluorometer로 형광값(*in vivo* fluorescence)을 측정하였다.

## 3. 결과 및 토의

### 가. 선박수평형수 모니터링 현황

2011년 우리나라 서해 주요 3개항(대산항, 군산항, 평택항)에 입항한 외국선박의 수평형수에 대한 환경 및 플랑크톤 조사를 실시하였다. 총 14척의 선박을 대상으로 수평형수 조사를 시도하였으나 선박수평형수의 부재와 대상 선박 승무원과의 협조 문제, 그리고 선박의 구조적인 문제 등으로 이 가운데 3척에서 수평형수 시료를 확보하였다. 3개항 가운데 군산항에서 2척에 대한 선박수평형수 조사가 되었고, 대산항에서는 1척이 조사되었다. 선박의 재원과 수평형수의 기록지를 확보하여 작성한 선박의 세부정보를 Table 3.2.1에 나타내었다.

조사한 선박의 종류는 Vehicle carrier, Cargo, Tanker선 이었고, 선박 수평형수 취수지역은 태평양 외양수, 동중국해 외양수, 중국 칭다오 연안 등 이었다. 또한 각 선박이 수평형수를 보유한 기간은 SUNRISE WISTERIA호와 STAR JUVENTAS호는 각각 2일과 3일로 비교적 짧았으나, ASIAN SUN호의 경우 479일로 긴 수평형수 보유기간을 나타냈다.

Table 3.2.1. Particulars of vessels and information of the ballast wate.

Port	Name of vessel	Tonnage (Gross)	Kind of Ship	Ballasting date	Ballasting site	Sampling date	Age of ballast water(day)
Kunsan	ASIAN SUN	44891	Vehicle carrier	14 <sup>th</sup> May 2010	Pacific open sea (36° 34.7N, 142° 36.8W)	5 <sup>th</sup> Sep.. 2011	479
	STAR JUVENTAS	32679	Cargo	15 <sup>th</sup> Oct. 2011	Qingdao, China	18 <sup>th</sup> Oct. 2011	3
Daesan	SUNRISE WISTERIA	8614	Tanker	18 <sup>th</sup> Oct. 2011	East chian open sea	20 <sup>th</sup> Oct. 2011	2

## 나. 선박평형수의 환경요인

### (1) 일반 환경

#### (가) 조사 선박평형수와 주변수의 물리적 환경 요인

선박 평형수내의 수온은 주변수보다 상대적으로 높게 나타났으며, 이 중에서 군산항에서 조사된 ASIAN SUN 호에서 가장 높게 관측되었다(Table 3.2.2). 이는 ASIAN SUN 호에 대한 조사가 8월에 이루어졌고, 다른 두 척은 10월에 이루어져 수온의 계절적인 양상이 반영된 것으로 판단된다. 평형수 내의 염분은 수온과 달리 선박의 주위 환경에 의해 변화지 않기 때문에 평형수가 채워진 환경을 설명할 수 있다. 평형수 내의 가장 높은 염분을 나타낸 ASIAN SUN 호의 평형수는 북태평양 외해 (36° 34.7N/142° 36.8W)에서 평형수를 교체였음을 보여준다. 우리나라 주변수의 염분 차이는 여름철이 가을철 보다 낮은 값을 보여 여름철 강우량 증가에 따른 염분 감소를 설명한다. 용존 산소의 경우 군산항의 ASIAN SUN 호와 STAR JUVENTAS 호에서 각각 4.22와 3.94 mg L<sup>-1</sup>로 낮은 값을 보였다. ASIAN SUN 호는 외해에서 평형수를 채웠지만 평형수가 채워지고 난 후 479일 지난 후이기 때문에 오랜 시간 동안 대기와의 접촉이 없어 용존 산소가 낮게 관측된 반면, STAR JUVENTAS 호의 경우 평형수가 채워진 시기가 3일 전이기 때문에 연안에서 용존 산소의 농도가 낮은 저층수를 선박평형수로 채운 것으로 판단된다. 수소 이온 농도는 군산항에서 조사된 STAR JUVENTAS호가 상대적으로 낮은 반면 대산항에서 조사된 SUNRISE WISTERIA 호의 농도가 높게 관측되었다.

Table 3.2.2. Environmental parameters in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports.

선박 명	군산항		군산항		대산항	
	ASIAN SUN		STAR JUVENTAS		SUNRISE WISTERIA	
	평형수	주변수	평형수	주변수	평형수	주변수
Temp.	26.33	25.99	19.45	17.61	20.00	18.31
Sal.	38.51	24.97	29.47	27.96	31.47	30.79
DO (mg L <sup>-1</sup> )	4.22	8.23	3.94	7.44	7.43	7.62
pH	7.84	8.09	7.22	7.32	8.47	8.43

(나) 조사 선박평형수와 주변수의 화학적인 환경 요인

선박평형수 내의 SS (부유물질 농도)는 STAR JUVENTAS와 SUNRISE WISTERIA 호에서 ASIAN SUN 호보다 두 배 정도의 높은 값을 보였으며(Table 3.2.3), 이는 ASIAN SUN 호는 외해에서 평형수가 채워진 반면 다른 두 척은 연근해에서 채워져 다소 높은 값을 보인 것으로 판단된다. POC (입자성 유기탄소)는 ASIAN SUN 호가 다소 높긴 하지만 큰 차이를 나타내지는 않았다. DOC (용존성 유기탄소) 농도는 군산항에서 조사된 STAR JUVENTAS 호가 다소 높게 나타났다. 주변수 내의 SS 농도는 10월에 조사된 군산항과 대산항이 8월에 조사된 군산항보다 높게 나타났으며, POC 농도는 대산항이 군산항보다 낮은 값을 보였다. DOC 농도는 항에 따라 큰 차이를 나타내지는 않았다.

선박평형수의 영양염 농도를 보면 외해에서 채워진 ASIAN SUN 호가 다른 두 선박보다 낮은 값을 보여준다. 규산염 농도는 중국 칭따오에서 채수된 STAR JUVENTAS 호에서 다소 높은 값을 보이고, 질산염은 상해의 외해에 채수된 SUNRISE WISTERIA 호에서 높게 나타났다. 주변수의 경우 규산염은 8월 군산항이 높았고, 인산염과 질산염은 대산항 그리고 암모니아는 10월 군산항이 높았다. 우리나라 주변 해역에서 규산염 농도가 식물플랑크톤의 제한하는 경우는 드물고, 일반적으로 질산염과 인산염이 성장을 제한하는 요인으로 작용하기 때문에 평형수 내의 이들의 높은 농도는 주변해 식물플랑크톤 성장에 영향을 줄 수 있다. 선박평형수 내의 인산염 농도는 주변수보다 낮게 검출된 반면, 질산염은 군산항의 STAR JUVENTAS 호에서 상대적으로 높게 나타났다. UNRISE WISTERIA 호도 높은 질산염 농도를 나타내었지만 주변수보다는 낮았다. 이는 가을철이 되면서 바람에 의한 수층 혼합으로 저층에 풍부한 영양염이 상층부로 공급되기 때문이다 (Jang et al., 2011)

Table 3.2.3. Chemical parameters in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports.

선박 명	군산항		군산항		대산항	
	ASIAN SUN		STAR JUVENTAS		SUNRISE WISTERIA	
	평형수	주변수	평형수	주변수	평형수	주변수
SS ( $\text{mgL}^{-1}$ )	26.60	27.40	57.30	76.00	54.80	55.20
POC ( $\text{mgL}^{-1}$ )	0.65	1.31	0.41	0.96	0.34	0.40
DOC ( $\text{mgL}^{-1}$ )	1.14	1.78	1.64	1.76	1.14	1.41
Silicate ( $\mu\text{M}$ )	5.06	17.20	20.75	7.45	14.03	16.21
Phosphate ( $\mu\text{M}$ )	0.12	0.78	0.42	0.52	0.32	2.02
Nitrate ( $\mu\text{M}$ )	8.46	12.32	17.01	5.43	23.48	28.10
Ammonia ( $\mu\text{M}$ )	0.01	2.88	11.94	7.46	2.68	5.69

(다) 조사 선박의 평형수와 주변수의 엽록소-a 농도

선박에 평형수가 채워지고 479일이 지난 ASIAN SUN 호에서는 엽록소-a와 활성 엽록소-a 농도가 검출되지 않아 평형수 내의 식물플랑크톤이 거의 모두 사멸한 것으로 추정된다 (Table 3.2.4). 평형수의 엽록소-a 농도는 주변수보다 낮은 값을 보인다. 이는 선박평형수가 선박 내에 있기 때문에 식물플랑크톤 성장에 중요한 빛의 제한이 일어나 성장에 방해를 받기 때문이다. 또한 선박평형수가 채워진 시점이 10월이기 때문에 해수 내의 식물플랑크톤의 생체량이 적은 시기일 수 있다. 이는 가을로 접어들면 바람에 의한 수층 혼합이 일어나 식물플랑크톤이 빛이 제한되는 수심까지 이동할 수 있어 수층 혼합으로 상층부 영양염은 증가할 수 있지만 식물플랑크톤의 생체량은 감소할 수 있다(Bouman et al., 2010). 선박평형수 내의 크기별 엽록소-a의 농도를 보면 전반적으로 크기가  $20\mu\text{m}$  이하의 엽록소-a 농도가 다소 높게 나타나는 경향을 보이며, 이는 식물플랑크톤의 종에 따른 생리적 특성의 차이가 있기 때문이다. 일반적으로 크기가 작은 식물플랑크톤은 크기가 큰 식물플랑크톤 보다 낮은 빛과 낮은 영양염 그리고 높은 수온의 환경에서 더 잘 적응하는 것으로 알려져 있다(Fu et al., 2009).

Table 3.2.4. Chlorophyll-a and active chlorophyll-a in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports.

선박 명		군산항		군산항		대산항	
		ASIAN SUN		STAR JUVENTAS		SUNRISE WISTERIA	
		평형수	주변수	평형수	주변수	평형수	주변수
Chl-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Total	0.00	10.32	0.05	2.44	0.06	0.14
	> 20	0.00	9.08	0.02	1.48	0.03	0.03
	< 20	0.00	1.24	0.03	0.96	0.03	0.11
Act. Chl-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Total	0.00	5.66	0.01	1.11	0.03	0.10
	> 20	0.00	5.11	0.00	0.82	0.00	0.03
	< 20	0.00	0.55	0.01	0.29	0.03	0.07

(라) 세균 및 박테리아

세균 및 박테리아 농도는 일반적으로 주변수가 평형수보다 높게 검출되었다. SUN RISE WISTERIA 호에서 대장균의 농도가 주변수보다 높게 검출되었다(Table 3.2.5). 이 선박의 경우 염분(31.47 psu)은 낮고 질산염의 농도도 높아 연안수의 영향이 큰 곳에서 채수가 이루어진 것으로 판단된다. 이 선박의 채수가 이루어진 곳은 상하이의 외해이며, 이곳은 장강의 하구 쪽에 위치하고 있어 장강의 방류수 영향을 받을 수 있다. 실제로 계절풍이 가을철에는 남풍 계열에서 북풍 계열로 바뀌는 시점이며, 북풍 계열의 바람이 우세한 경우 장강의 방류수는 남하하는 것으로 알려져 있다. 군산항의 경우 대산항에 비해 대장균의 수가 높아 인위적인 오염원에 의한 오염이 의심된다. 특히 대장균 농도가 가장 높았던 가을철 군산항에서 암모니아 농도도 높아 이를 뒷받침한다.

Table 3.2.5. The number of microorganism in the ballast and around water in the Gunsan and Daesan ports.

선박 명	군산항		군산항		대산항	
	ASIAN SUN		STAR JUVENTAS		SUNRISE WISTERIA	
	평형수	주변수	평형수	주변수	평형수	주변수
일반세균 ( $10^3$ cell/ml)	14,200	74,000	56,000	46,000	28,000	44,000
대장균 (CFU/100ml)	0	195	40	433	25	7
비브리오 추정 (cells/100ml)	0	0	0	0	0	0
장내구균 (cells/100ml)	0	5	4	56	0	0
중속영양 박테리아 (cell/ml)	4,000	6,000	7,000	92,000	15,000	36,000

#### 다. 선박평형수 내 부유생물 모니터링

##### (1) 식물플랑크톤

대산항과 군산항 선박평형수 조사시 각 선박별 선박평형수 보유 기간을 보면, *ASIAN SUN*(*A. SUN*)이 479일로 굉장히 긴 반면, *STAR JUVENTAS*(*S. JUVENTAS*)와 *SUNRISE WISTERIA*(*S. WISTERIA*)는 각각 3일과 2일의 짧은 보유기간을 가졌다(Fig. 3.2.2a). 선박평형수내 식물플랑크톤 개체수와 출현 종수를 보면, *S. WISTERIA*에서 가장 높았으며, 평형수 탱크내에서 짧은 보유기간을 가졌던 *S. WISTERIA*와 *S. JUVENTAS*가 보유기간이 길었던 *A. SUN* 보다 상대적으로 많은 출현종수와 높은 현존량을 보였다(Fig. 3.2.2b and c). 조사되어진 선박의 평형수내 식물플랑크톤 개체수를 확인한 결과 전반적으로 적은 개체수를 보였는데, 이는 매우 긴 보유 기간(*A. SUN* : 479일)과 원양에서 평형수를 교환(*S. JUVENTAS*, *S. WISTERIA*)했기 때문으로 판단된다. 조사 선박별 출현 종들의 기여율을 보면, *A. SUN*에서는 규조류와  $10\mu\text{m}$  이하의 식물플랑크톤이 각각 59%와 39%를 차지하며 우점하였고, *S. JUVENTAS*와 *S. WISTERIA*에서는 각각 규조류(93%)와 남조류(69%)가 우점을 하였다 (Fig. 3.2.2d).

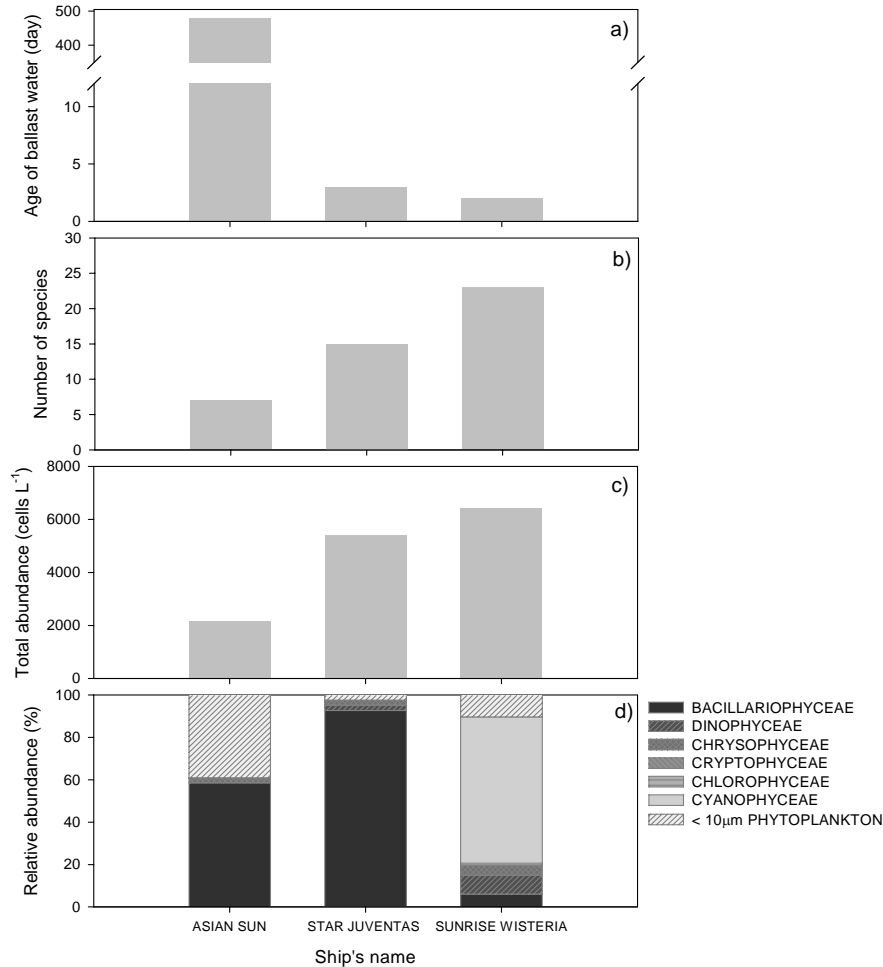


Fig. 3.2.2. Change of age of ballast water, number of species, abundance and relative abundance in ship's ballast water in 2011.

각 조사 선박별 주요 우점종을 보면, A. SUN에서는 오랜 보유 기간으로 인하여 셀의 상태가 매우 안 좋았으며, 전반적으로 규질각을 갖고 있는 *Chaetoceros* 속에 속하는 종들과 10 µm 이하의 크기가 작은 식물플랑크톤이 상대적으로 우점을 하였다(Fig. 3.2.3a and 3.2.4a). 규조류가 우점을 하였던 S. JUVENTAS에서는 중심형 규조목으로서 체인형태를 갖는 *Chaetoceros* 속 (*C. curvisetus*, *C. spp.*) 및 *Skeletonema* 속에 속하는 종들과 우상규조목으로 연쇄 군체를 이루는 *Thalassionema nitzschioides* 와 단독형인 *Cylindrotheca closterium* 이 우점하였다(Fig. 3.2.3b and 3.2.4b). S. WISTERIA에서는 담수에서 출현하는 미동정 남조류 (Unidentified Cyanophyceae)가 우점을 하였으며(Fig. 3.2.3c), 담수성 녹조류인 *Scenedesmus* sp. 또한 출현하였다(Table 3.2.6). 담수성 남조류가 우점을 하였던 S. WISTERIA에서 높은 염분(31.47psu) 농도가 관측된 점을 고려하였을 때, 담수를 평형수로 적재를 하고 한국으로 오던 S. WISTERIA 가 원양에서 평형수 교환을 하였으며, 이때 교환이 완벽하게 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 또한 우점을 하였던 미동정 남조류는 염분에 강한 내성을 갖는 것으로 사료된다(Fig. 3.2.4c).



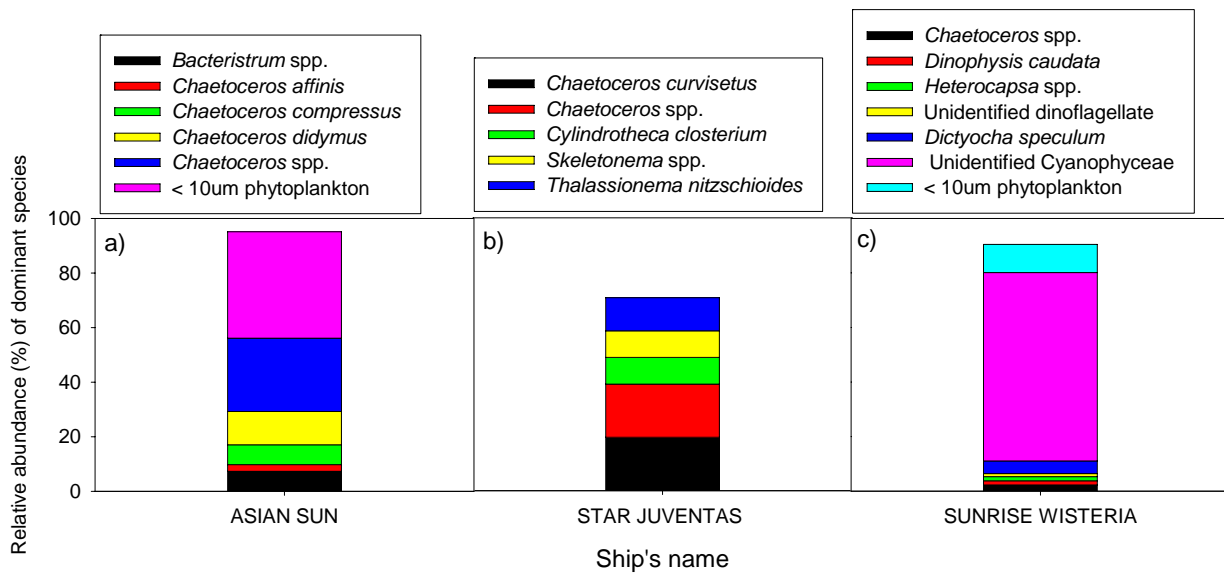


Fig. 3.2.3. Relative abundance (%) of dominant species of phytoplankton occurred in ballast water of vessels in 2011.

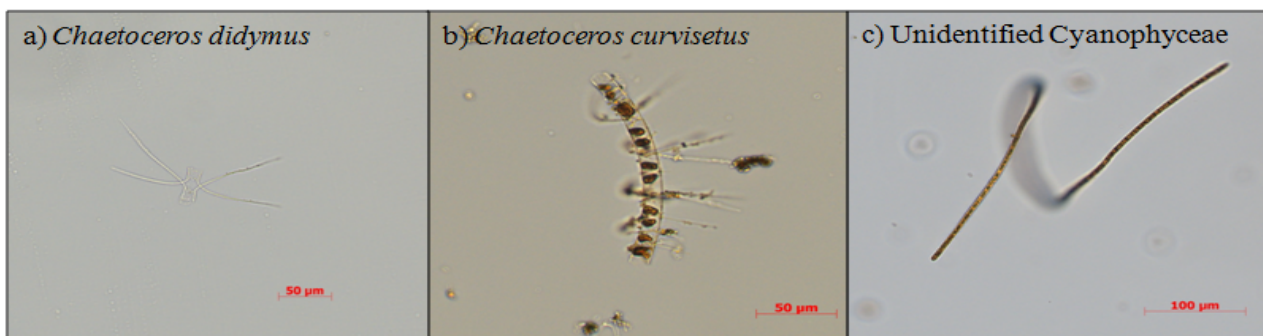


Fig. 3.2.4. Photographs of a predominant species of phytoplankton found in ballast water of vessels in 2011(a)ASIAN SUN, b) STAR JUVENTAS, c) SUNRISE WISTERIA).

선박평형수내에서 수산 생물의 폐사 및 인간의 건강에 직접으로 영향을 주는 유해 식물플랑크톤 및 적조를 발생시키는 식물플랑크톤이 발견되었으며(Fig. 3.2.5), 특히 원양에서 평형수를 교환한 S. JUVENTAS와 S. WISTERIA에서 각각 기억상실성 패독 (ASP, amnesic shellfish poisoning)을 일으키는 *Pseudo-nitzschia* sp. 와 마비성 패독을 (PSP, paralytic shellfish poisoning)을 일으키는 *Alexandrium* sp., 설사성 패독 (DSP, diarrhetic shellfish poisoning)을 일으키는 *Dinophysis caudata* 등이 발견되었다.

요약 정리하면, 원양에서 평형수를 교환한 선박에서 유해 식물플랑크톤이 발견되었으며, 이는 원양에서의 평형수 교환만으로 외래종 유입을 완벽히 차단하기는 어렵다는 사실과 함께 우리나라 항구에서 유해생물종의 대발생이 일어날 가능성을 간접적으로 보여준다고 할 수 있다.

Table 3.2.6. List of phytoplankton taxa occurred in ballast water of vessels in 2011.

PHYTOPLANKTON TAXA	Ship's name		
	ASIAN SUN	STAR JUVENTAS	SUNRISE WISTERIA
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>			
<i>Actinocyclus octonarius</i>			○
<i>Actinoptychus senarius</i>		○	
<i>Amphipora</i> sp.		○	
<i>Bacteristrum</i> spp.	○		
<i>Chaetoceros affinis</i>	○		
<i>C. compressus</i>	○	○	
<i>C. curvisetus</i>		○	
<i>C. danicus</i>			○
<i>C. didymus</i>	○	○	
<i>C. lorenzianus</i>			○
<i>C. spp.</i>	○	○	○
<i>Cylindrotheca closterium</i>		○	
<i>Ditylum brightwellii</i>		○	
<i>Planktoniella sol</i>			○
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.		○	
<i>Rhizosolenia</i> sp.			○
<i>Skeletonema</i> spp.		○	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		○	
<i>Thalassiosira</i> spp.		○	
<b>DINOPHYCEAE</b>			
<i>Alexandrium</i> spp.			○
<i>Ceratium fusus</i>			○
<i>Dinophysis caudata</i>			○
<i>Gymnodinium</i> spp.			○
<i>Gyrodinium</i> sp.			○
<i>Heterocapsa rotundata</i>			○
<i>H. spp.</i>			○
<i>Pronotiluca pelagica</i>			○
<i>Protoperdinium conicum</i>			○
<i>P. spp.</i>			○
<i>Pyrophacus steinii</i>		○	○
Unidentified dinoflagellate			○
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>			
<i>Dictyocha fibula</i>	○	○	
<i>D. speculum</i>			○
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>			
Unidentified Cryptophyceae			○
<b>CHLOROPHYCEAE</b>			
<i>Scenedesmus</i> spp.			○
<b>CYANOPHYCEAE</b>			
Unidentified Cyanophyceae			○
< 10um phytoplankton	○	○	○
Number of occurred taxa	7	15	23

Toxic or potentially harmful species			Red tide species			
Photo	Species	Known Toxins, Effects	Photo	Species	Photo	Species
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	Domoic acid, ASP		<i>Actinopychus senarius</i>		<i>Cylindrotheca closterium</i>
	<i>Alexandrium</i> sp.	Neurotoxins, PSP		<i>Chaetoceros affinis</i>		<i>Ditylum brightwellii</i>
	<i>Dinophysis caudata</i>	associated with fishkills		<i>Chaetoceros compressus</i>		<i>Skeletonema</i> spp.
				<i>Chaetoceros curvisetus</i>		<i>Thalassionema nitzschioides</i>
				<i>Chaetoceros didymus</i>		<i>Ceratium fusus</i>

Fig. 3.2.5. List of harmful phytoplankton taxa(left) and red tide species (right) found in ballast water of vessels in 2011.

## (2) 동물플랑크톤

서해 항만에 입항한 3척의 선박 평형수에서 출현한 동물플랑크톤은 총 37종이 출현하였다 (Table 3.3.2.7). 이 중 요각류가 22종으로 가장 많았고, 이외에 요각류 미성숙체가 7종류, 유생이 4종류 등이었다. 출현종의 대부분은 우리나라 연근해에도 자주 출현하는 종들로 구성되었다. 선박별로는 동중국해 외양수로 평형수 보유기간이 2일로 가장 짧았던 SUNRISE WISTERIA 호에서 33종으로 가장 많았고, STAR JUVENTAS호와 ASIAN SUN호는 각각 15종과 3종이 출현하였다. 특히, 평형수 보유기간이 479일로 가장 길었던 ASIAN SUN호에서는 생존 능력이 강한 harpacticoid 요각류가 출현하였고, 또한 이들의 유생(nauplii)이 발견되어 암조건의 평형수 탱크내에서 재생산활동을 한 것으로 판단된다. 실제로 Chu et al.(1997)은 평형수 탱크에서 시간이 경과함에 따라 calanoid 요각류는 먹이성장 제한으로 인하여 밀도는 급격히 감소하는 반면에 harpacticoid는 탱크에 존재하는 박테리아를 먹이로 지속적으로 생존·번식 할 수 있음을 보고한 바 있다.

3척의 선박 평형수에서 출현한 동물플랑크톤의 개체수는 중국 칭다오 연안의 평형수를 보유한 STAR JUVENTAS호에서 가장 높았으며(Fig. 3.2.6), 동물플랑크톤의 주요 그룹별 점유율에서는 SUNRISE WISTERIA호에서는 유생의 점유율이 높은 반면에 나머지 두척의 선박에서는 요각류의 점유율이 상대적으로 높았다(Fig. 3.2.7)

2008년부터 2010년까지 우리나라 주요항에 입항한 선박의 평형수에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성 자료에 대해 기존 문헌을 참고하여 잠재적인 위협종을 선별하였다(Fig. 3.2.8). 잠재적인 위협종에는 적조원인종이 1종(*Noctiluca scintillans*), 강한 이동능력을 보유한 2종(*Acartia clausi*, *Acartia hongii*), 강한 포식능력을 보유한 젤라틴성의 3종류(Hydromedusa, Siphonophorans, Doliolida), 그리고 국내에서는 보고된 바 없는 2종(*Pseudodiaptomus ishigakiensis*와 *Sinocalanus doerri*) 등의 8종류가 포함되어 있다. 요각류인 *A. omorii*와 *A. hongii*는 광온·광

염성의 종으로 해역 간에 이동 및 정착에 탁월한 능력이 있다. Hydromedusa와 Siphonophora는 동물플랑크톤에 대해 넓은 포식 스펙트럼을 보유한 생물로 기존 연구에 의하면, 동물플랑크톤의 개체수를 지속적으로 감소시키는(Larson 1987; Matsakis and Conover 1991) 것과 동시에 어란과 치어도 포식하는 것으로 보고된 바 있다(Purcell et al. 1987, Purcell and Grover 1990). Doliolida는 주로 소형플랑크톤에 대해 강한 포식능력이 있는 것으로 알려져 있다(Madin and Deibel, 1998). 흔히 야광충으로 언급되는 *N. scintillans*는 빠른 번식능력을 있어 적조의 원인 종으로 잘 알려져 있으며, *N. scintillans*는 잡식성(polyphagous feeding)으로 식물플랑크톤 뿐만 아니라 동물플랑크톤의 알과 유생, 원생동물, 그리고 박테리아까지 다양한 종류의 먹이를 섭식하여 먹이망을 교란하는 것으로 보고되어 있다(Kirchner et al. 1996; Elbrachter and Qi 1998; Nakamura 1998; Quevedo et al. 1999; Strom 2001). 본 서해 항만 조사에서는 이동능력을 보유한 요각류 *Acartia omorii*와 강한 포식능력을 가진 Hydromedusae가 출현했으며, 이 위협종들은 국내 유입되어 번식하여 생태계를 교란시킬 가능성이 있으므로 지속적인 항만 모니터링을 통해 정착여부를 관찰할 필요성이 있다.

Tabel 3.2.7. List of zooplankton taxa occurred in the ballast water of vessels.

Zooplankton taxa	Ship's name		
	ASIAN SUN	STAR JUVENTAS	SUNRISE WISTERIA
<b>COPEPODS</b>			
<i>Acartia danae</i>			0
<i>Acartia negligens</i>			0
<i>Acartia omorii</i>		0	
<i>Acrocalanus gibber</i>		0	0
<i>Corycaeus affinis</i>		0	0
<i>Corycaeus pacificus</i>			0
<i>Corycaeus sp.</i>			0
<i>Euterpina acutifrons</i>			0
<i>Hemicyclops japonicus</i>		0	
<i>Labidocera acutifrons</i>			0
<i>Microsetella gracilis</i>			0
<i>Microsetella norvegica</i>	0		0
<i>Microsetella rosea</i>			0
<i>Oithona atlantica</i>			0
<i>Oithona brevicornis</i>			0
<i>Oithona similis</i>		0	0
<i>Oncaea conifera</i>			0
<i>Oncaea mediterranea</i>			0
<i>Paracalanus crassirostris</i>		0	
<i>Paracalanus elegans</i>			0
<i>Paracalanus parvus</i>		0	0
Unidentified harpacticoid	0		
<b>Copepodites</b>			
<i>Acartia</i>			0
<i>Corycaeus</i>		0	0
harpacticoid		0	0
<i>Oithona</i>		0	0
<i>Oncaea</i>			0
Others		0	0
<i>Paracalanus</i>		0	0
<b>LARVAE</b>			
bivalve larvae		0	0
gastropod larvae			0
nauplius	0	0	0
polychaete larvae		0	0
<b>CHAETOGNATHS</b>			
<i>Sagitta crassa</i>			0
<i>Sagittasp.1</i>			0
<b>OTHER GROUPS</b>			
Decapods( <i>Lucifersp.</i> )			0
hydromedusae			0
<b>Number of occurred taxa</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>33</b>

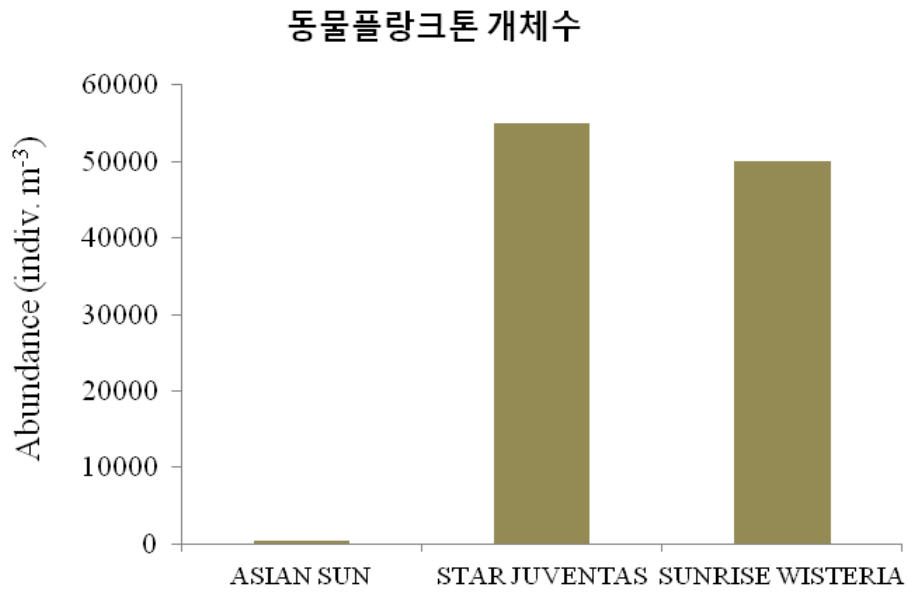


Fig. 3.2.6. The abundance of zooplankton occurred in the ballast water of vessels.

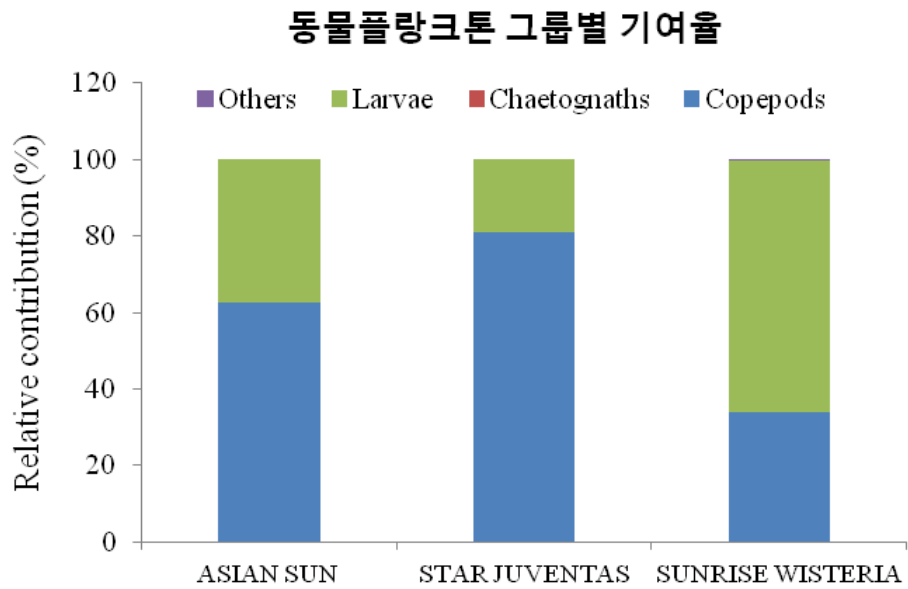


Fig. 3.2.7. Relative contribution of zooplankton major groups occurred in the ballast water of vessels.








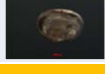
Potentially risky species		
Photo	Species	Effects
	<i>Noctiluca scintillans</i>	Red tide
	<i>Acartia omorii</i>	Strong transfer ability
	<i>Acartia hongii</i>	Strong transfer ability
	Hydromedusae	Strong predator
	Doliolida	Strong predator
	<i>Pseudodiaptomus ishigakiensis</i>	Rare species
	<i>Sinocalanus doerri</i>	Rare species
	Bivalve larvae	Strong transfer ability

Fig. 3.2.8. List of potentially risky species of zooplankton occurred in the ballast water of vessels.

#### 라. 서해 항만 유입생물의 환경 적응능력 평가

중국 기원 *Shui Shan*(2)의 선박평형수내 유입된 식물플랑크톤 성장은 어떤 수온 조건에서도 선박평형수 실험구(ballast water treatment)에서는 형광값을 관찰할 수 없었다(Fig. 3.2.9). 10°C에서는 영양염 농도가 높은 F/2배지 실험구(F/2 medium treatment)나 주변수 실험구(shipside water treatment)에서 배양 10일 후 형광값이 나타났다. F/2배지 실험구에서는 15°C부터 접종 8일 후에 형광값이 관찰되기 시작하여 기하급수적으로 증가하였고, 20°C에서도 접종 6일 후에 형광값이 높게 관찰되어, 온도증가와 더불어 생물의 초기 적응기간이 짧아졌다. 주변수에서는 15°C에서 가장 높은 형광값이 10°C와 20°C에서는 상대적으로 낮은 형광값이 관찰되었다. *Shui Shan*(2)에서 유입된 생물은 영양염이 풍부한 F/2배지와 주변수에서 각각 5종과 2종이 성공적으로 적응하였고, 그들의 우점종은 *Skeletonema costatum*와 *Thalassiosira pseudonana*와 더불어 *Chaetoceros* sp.로 관찰되었다. *Shui Shan*(2)의 초기염분 농도가 11.4 psu로 기수성 선박평형수를 취수하였고, 기수역의 식물플랑크톤이 어느 정도 광범위한 염분에 대한 적응능력을 지니고 있는지 평가하였다(Fig. 3.2.10). *Shui Shan*(2)에서 유입된 독립영양성 식물플랑크톤은 광범위한 염분에 적응하여 현저한 활성을 나타내었다. *Shui Shan*(2)에서는 염분구배에 따라서 우점하는 종이 뚜렷히 구분되었다(Table 7). 염분이 0-5 psu에서는 담수종 2-3  $\mu\text{m}$  Cyanobacteria와 더불어 *Cyclotella*, *Melosira*, *Tetraedron*, *Oocystis*, *Scenedesmus*속이 성공

적으로 적응하였고, 그 중 Cyanobacteria 가 우점하였다. 10-20 psu기수성 염분조건에서는 *S. costatum*, *T. pseudonana*, 극우점하였다. 25-30psu 해수조건에서는 *S. costatum*와 더불어 *Chaetoceros* sp. 높은 개체수 밀도를 유지했다. 그 중 *S. costatum*는 광범위한 염분조건에서 성공적으로 적응하였다. 선박평형수에 유입되는 식물플랑크톤과 그들의 적응능력을 평가하는 것은 선박평형수에 의하여 유입되는 외래종의 적응능력을 과학적으로 평가할 수 있다. 본 결과는 각 항만에서 식물플랑크톤이 서식할 수 있는 적응능력을 평가하는 중요한 자료로 활용될 것으로 판단된다.



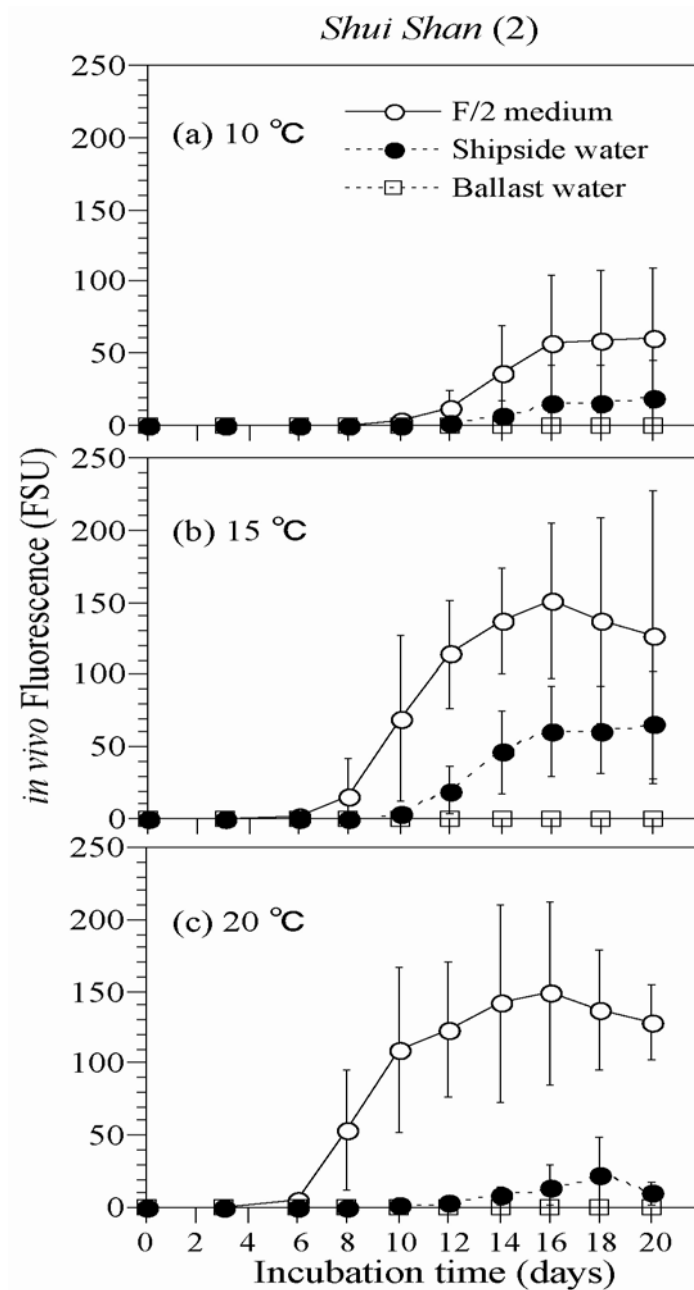


Fig. 3.2.9. Change in growth of phytoplankton cultured in ballast water, shipside water and F/2 medium at 10, 15 and 20°C. The cells were collected from ship's ballast water (*ShuiShan2*) berthed at Daesan Port in Korea. Error bars indicate  $\pm$  S.D.

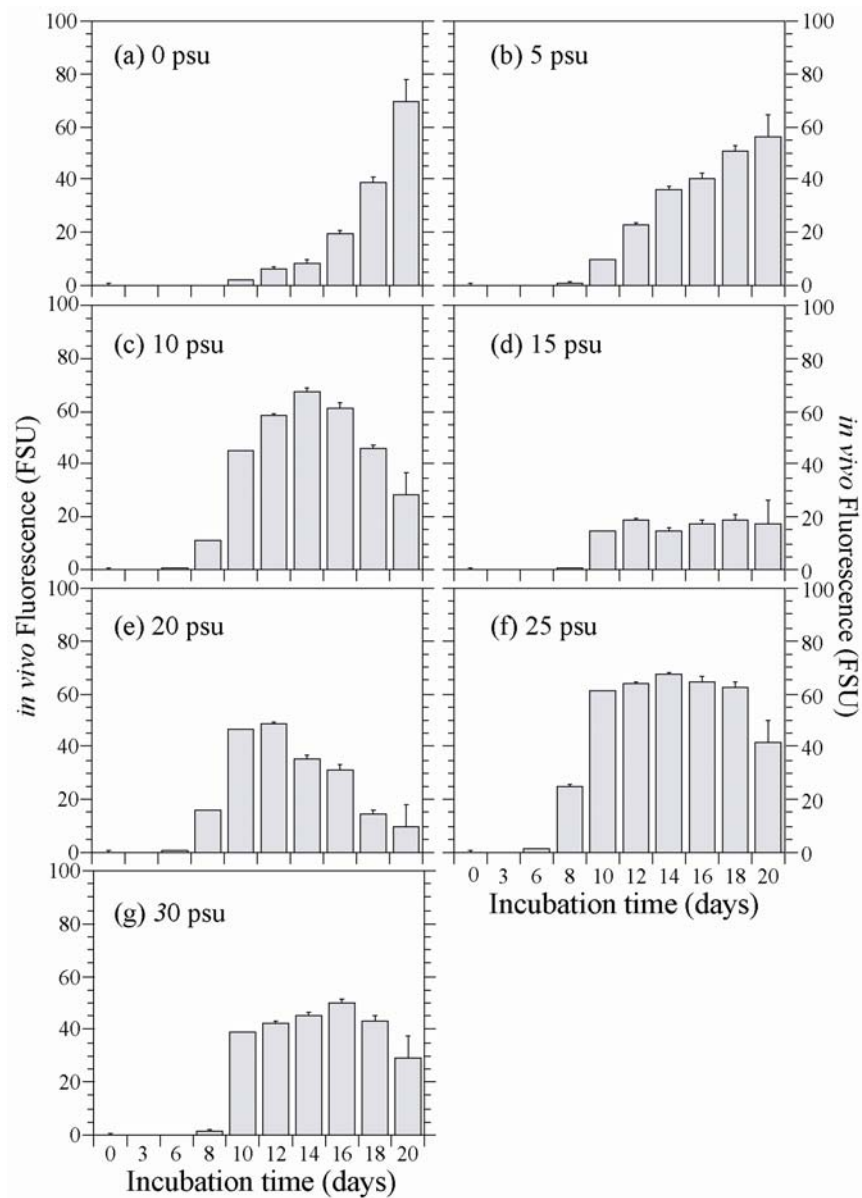


Fig. 3.2.10. Effect of salinity on phytoplankton population growth in F/2 medium at 15°C. The incubation experiments were examined under different salinity conditions (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu) from ship's ballast water of *ShuiShan*(2).

## 제 3 절 항만 환경 유사도 분석

### 1. 서론

국제해사기구(IMO)의 Globallast 프로그램(2005)에서 제안한 항만환경 유사도지수는 전 세계 항만의 환경을 상대적으로 평가하는 방법으로 우리나라 항만들과의 유사성 또는 중국과 우리나라의 항만들과의 환경 유사성 평가에는 적용이 되지 않는 방법이다. 따라서 항만 간에 일대일로 평가 할 수 기법이 요구되어 환경 유사도 절대평가 알고리즘과 처리 프로그램을 개발하였다(2009). 이러한 평가프로그램을 이용하여 한-중 간 황해지역 내에 위치한 중국 5개 항만과 우리나라 4개 항만을 대상으로 6개 해양환경 항목(seawater temperature, salinity, DO, pH, DIN, DIP)의 항만 환경 유사도 평가를 수행하였다. 지금까지 한-중 간 항만 환경 유사도 평가를 수행하기 위한 일련의 과정을 정리하면 다음과 같다.

- 2008년: 전 세계 무역항 대상의 상대적 평가기법 (IMO GloBallast 프로그램)을 적용하여 한-중-일 21개 항만 간 상대적인 환경유사도 평가를 수행 함
- 2009년: 항만 간 환경유사도 절대평가를 위한 절대평가 알고리즘과 자동 처리 프로그램을 개발 함
- 2010년: 국내 서해에 위한 4개항에 대한 8개 환경항목을 이용하여 환경유사도 절대평가를 시험 적용하고 한-중간 평가에 적절한 환경인자 6개를 선정 함
- 2011년: 6개 환경인자를 사용하여 황해 내 한-중 항만에 대한 환경유사도 절대 평가를 수행 함

### 2. 자료 및 방법

#### 가. 유사도 평가 대상 항만

한-중 간 항만 환경 유사도 평가 대상은 Fig. 3.3.1과 같이 황해 내 위치한 중국 5개 항만(Dalian, Tianjin, Yantai, Qingdao, Lianyungang)과 한국 4개 항만(Incheon, Daesan, Gunsan, Mokpo)으로 선정하였다.



Fig. 3.3.1. Target ports for environmental similarity assessment in Yellow Sea

#### 나. 유사도 평가 용 환경자료

2010년 8월 21일 중국 다롄에서 열린 제3차 한-중 선박평형수관리 정부 간 실무회의에서 양국 간 황해내 항만의 해양환경 유사도 평가를 위한 자료교환 합의가 합의서 부록 3(Appendix III. Notion of Environmental Parameters for Absolute Environmental Matching Evaluation)에 다음과 같은 내용으로 이루어졌다.

“Korea suggests 7 items to evaluate marine environmental similarity of bilateral ports. Each item has two parameters respectively. These parameters are minimum and maximum values with the statistical percentile 10% and 90% using each item’s collected data at each port except tide item. The port environmental items are as follows;

- (1) Seawater temperature (degree C)
  - Daily mean data for one year in 2009: more than 200 days data
- (2) Seawater salinity (psu)
  - Daily mean data for one year in 2009: more than 200 days data
- (3) pH
  - Mean data of wettest season and driest season for each 5 years: 10 data
- (4) DO (mg/L)
  - Mean data of wettest season and driest season for each 5 years: 10 data
- (5) DIN (mg/L)

- Yearly mean data for each 10 years: 10 data

(6) DIP (mg/L)

- Yearly mean data for each 10 years: 10 data

(7) Tide (m)

- Tidal range data of spring tide and neap tide: 2 data”

이에 따른 양국 간 자료 교환을 2011년 1월에 수행한 결과는 Table 3.3.1과 같다. 수온과 염분은 2009년도 일 년 동안의 일일 관측 자료를 수집하였다. 수온과 염분 자료 중 뚜렷한 오류로 보이는 수온은 1월 초 20일간, 염분은 연초 약 100일간의 자료는 제외한 후 일일 평균치를 구해 유사도 분석을 위한 기초자료로 사용하였다. 그 외 DO, pH, DIN, DIP는 연 중 대표 자료를 각각 교환하였다. 하지만 한국은 황해 4개 항에 대해 1997년부터 최근 10년 자료를 수집, 정리하였지만, 중국은 황해 5개 항에 대해 자료 항목별로 수집 시기가 각기 상이하였다. 중국은 70년대부터 2009년까지 시기적으로도 일관성이 없을 뿐 아니라, 중국내 항만들 간의 관측 시기도 달라 한국의 항만들과의 비교도 어렵게 하였다. 또한, 조석자료는 대조기 평균 조차(mean spring tidal range)가 한국의 4개항이 377 ~ 798cm 이고 중국의 5개항은 271 ~ 537cm 이었다. 하지만 소조기 평균 조차(mean neap tidal range)가 한국의 4개항이 187 ~ 347cm 이지만 중국의 5개항은 4 ~ 48cm로 소조기 평균조차의 값이 전혀 현실을 반영하지 못해 유사도 분석 대상에서 제외시켰다.

Table 3.3.1. Port environmental data exchange results between Korea and China

Items	Country	'70	'80	'90	2000									
					'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09
Temp.	KOR													●
	CHN													●
Sal.	KOR													●
	CHN													●
DO	KOR					○	○	○	○	○	○	●	●	
	CHN	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
pH	KOR					○	○	○	○	○	○	●	●	
	CHN		○	○	○	○	○	○	○		○	○		○
DIN	KOR			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	CHN		○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○
DIP	KOR			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	CHN		○	○	●	●	●	●	○	●	●	●	○	○

○ 각국 항만별 자료 시기 불일치 ● 각국 항만별 자료 시기 일치

### 다. 유사도 절대 평가 방법

자카드 계수(Jaccard's Coefficient)의 개념을 응용하여 항만 간 일 대 일로 항만환경요소에 대해 상호 최소, 최대값의 중복율을 계산하는 유사도평가 알고리즘은 Fig. 3.3.2와 같다. 두 항만(A와 B)에 대해 환경 파라미터의 최소, 최대값이 있을 때, 파라미터의 중복율 계산 방법은 3가지 경우가 있게 된다. 중복이 있는 경우와 어느 한 항만의 파라미터의 최소, 최대 범위가 다른 항만의 파라미터 범위에 포함될 경우, 그리고 중복되지 않는 경우 등 3가지로 구분된다. 두 파라미터 값의 중복이 있을 경우 중첩 범위가 클수록 두 요소 간의 유사성이 크게 된다.

이러한 알고리즘을 기반으로 항만 간 환경 파라미터를 이용하여 환경의 유사도를 절대 평가할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램의 장점은 비교 대상 항만의 수가 바뀌더라도 각 항만 간의 유사도는 변하지 않게 된다는 점이다. 본 프로그램의 기술적 특징은 다음과 같다.

- 항만별 환경파라미터들의 최소, 최대치를 이용한 중복율을 계산 함
- 항만 간 환경의 일 대 일 절대평가가 가능 함
- 파라미터별 항만 간 유사도(%)를 매트릭스 형태로 출력이 가능 함

절대평가를 위한 항만별 환경 파라미터의 최소, 최대 값은 관측치의 이상치(outlier)를 배제하고자 통계처리를 통한 백분위수 중 10%와 90%에 해당하는 값을 평가프로그램의 최소, 최대치로 사용하였다.

평가 처리 프로그램의 처리 과정은 Fig. 3.3.3과 같다. 각 항만 별 환경 파라미터의 최대와 최소 값을 텍스트 파일로 저장하여 프로그램의 입력 자료를 제작하였다. 입력 자료 파일을 불러오는 프로그램을 실행하여, 실행 화면상에서 요구하는 비교 대상 항만의 수와 사용할 환경 파라미터의 수를 입력하면 각 항만 간의 유사도(%)를 절대 비교할 수 있는 매트릭스를 출력하게 된다.

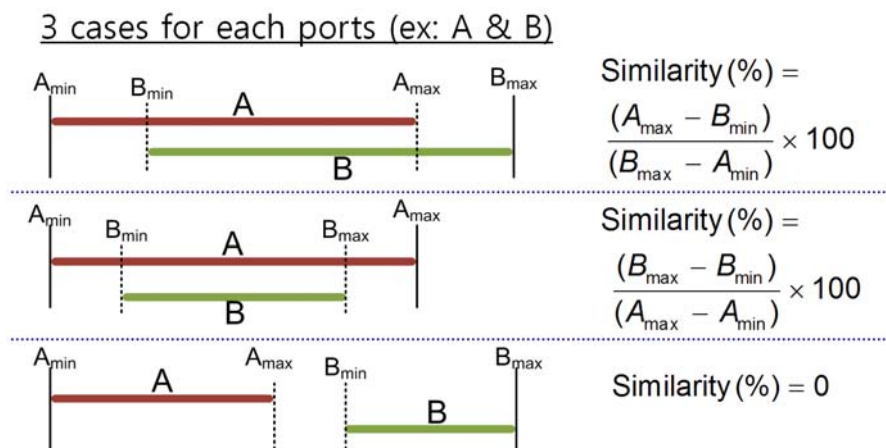


Fig.3.3.2. An absolute environmental similarity evaluation algorithm.

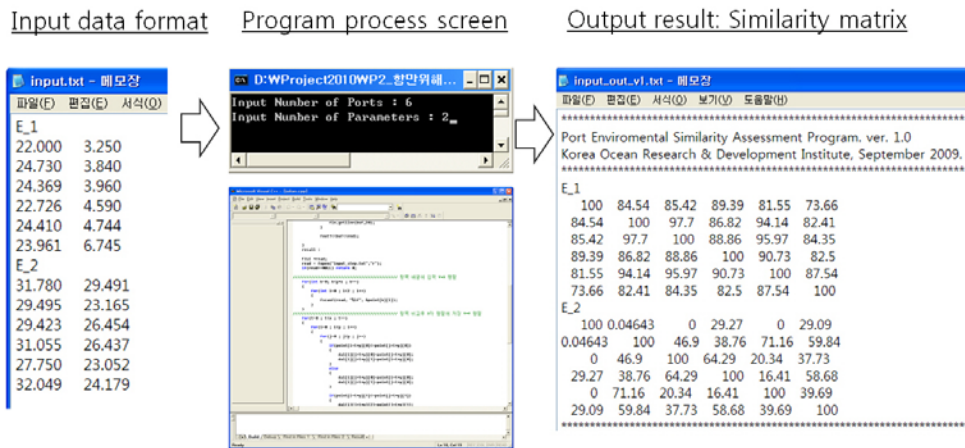


Fig.3.3.3. The procedure of absolute environmental similarity evaluation program.

### 3. 한-중 항만 환경 유사도 평가 결과

#### 가. 항만 환경 관측자료 통계처리

한-중 간의 항만 환경자료의 관측 시기가 상이하어 객관적인 분석에는 한계가 있지만, 한-중 간 어느 정도의 유사성을 가지는지 실험적으로 분석하고자 하였다.

유사도 절대평가를 위한 프로그램의 입력 자료를 제작하기 위해 6개의 환경 항목에 대한 통계 처리를 거쳐 한-중 9개 항만의 박스플롯을 제작한 결과는 Fig. 3.3.4와 같다. 이러한 탐색적 분석 결과에 따르면 수온은 한-중 9개 항만 모두 10%와 90% 값 간의 중복율이 커 유사도가 높음을 알 수 있지만, 염분은 9개 항만 간 중복율이 매우 작음을 알 수 있다. 수질 항목 중 DO와 pH는 한-중 각 국가의 자국 항만들과는 중복율이 크지만, 국가 간 항만들과의 중복율이 작게 나타났다. 하지만 DIN과 DIP는 자국 내 항만들 뿐 아니라, 국가 간 항만들과의 중복율도 매우 낮게 나타났다.

유사도 평가 프로그램에 입력한 양국가의 항만 별, 환경 항목 별 백분위수 통계치(90%와 10%)는 Table 3.3.2 및 Table 3.3.3과 같다.

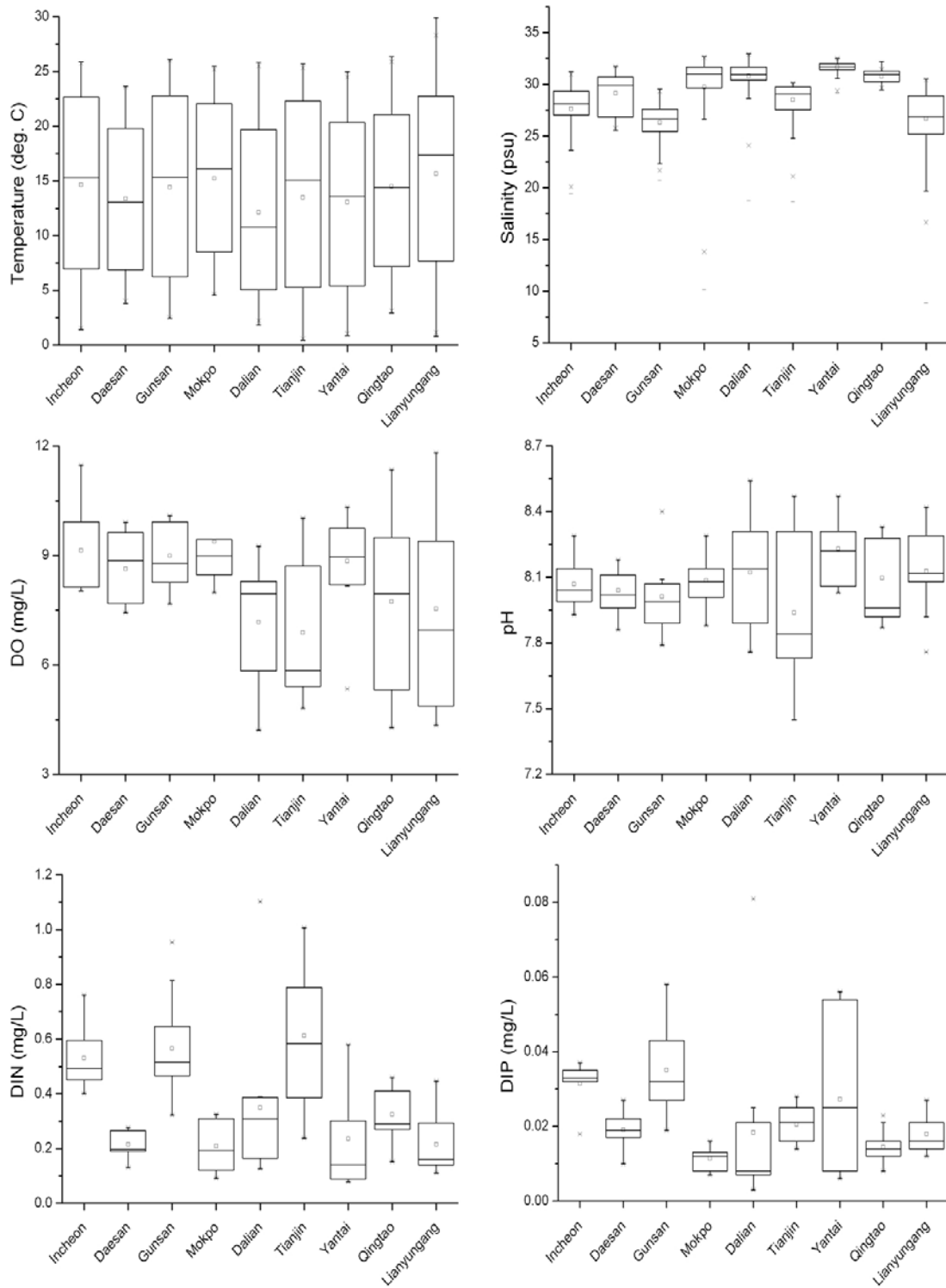


Fig. 3.3.4. Exploratory data analysis through by the boxplot of percentile (10%, 90%) for 6 environmental items in Korea four ports and China five ports.



Table 3.3.2. Percentile (90%, 10%) of marine environmental factors for domestic 4 ports

	Incheon		Daesan		Gunsan		Mokpo	
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Temperature	24.71	3.72	22.70	4.59	24.37	4.32	23.89	6.60
Salinity	30.25	23.39	31.06	26.46	28.08	23.46	31.94	26.22
DO	10.27	8.03	9.63	7.43	10.07	7.68	11.25	7.98
pH	8.14	7.93	8.13	7.86	8.09	7.79	8.22	7.88
DIN	0.631	0.401	0.275	0.130	0.814	0.323	0.322	0.108
DIP	0.036	0.018	0.024	0.010	0.048	0.019	0.016	0.007

Table 3.3.3. Percentile (90%, 10%) of marine environmental factors for China 5 ports

	Dalian		Tianjin		Yantai		Qingdao		Lianyungang	
	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%	90%	10%
Temperature	21.80	3.10	24.27	1.47	23.52	1.77	24.59	4.09	26.32	3.57
Salinity	32.00	29.73	29.91	26.43	32.36	31.16	31.34	29.88	29.70	23.88
DO	8.42	4.21	9.03	4.81	10.25	5.34	9.58	4.28	10.67	4.35
pH	8.35	7.76	8.46	6.82	8.46	8.03	8.31	7.87	8.32	7.76
DIN	0.391	0.126	0.993	0.238	0.426	0.079	0.420	0.152	0.405	0.111
DIP	0.025	0.003	0.026	0.014	0.055	0.006	0.021	0.008	0.023	0.012

#### 나. 유사도 분석 결과

양국가의 항만 별, 환경 항목 별 백분위수 통계치(90%와 10%)를 최대, 최소 값으로 입력하여 실행한 유사도 평가 프로그램 결과는 각 항목에 대하여 9개 항만의 환경 유사도(%)가 행렬표 형식으로 출력된다(Fig. 3.3.5).

이러한 6개 환경 항목의 유사도를 종합하기 위해 유사도를 점수로 각각 변환하였다. 점수로 변환하는 방법은 Table 3.3.4와 같이 유사도가 70% 이상은 1점, 50~70%는 2점, 30~50%는 3점, 30% 이하는 4점으로 각각 구분하였으며, 점수가 1점과 2점을 유사성이 있는 것으로 정의하였다. 이와 같은 방법을 이용하여 한-중 9개 항만 간 6개 환경 항목의 유사도를 점수화 시킨 쌍대 점수(pair-wise score) 유사도 점수 행렬은 Fig. 3.3.6과 같다.

환경 항목 별로 한-중 9개 항만 간의 환경 유사도를 알아보기 위해 항목 별 유사도 점수 (20개)를 평균한 결과는 Table 3.3.5와 같다. 이 결과에 따르면 수온은 평균 점수가 4.00으로 9 개 항만 간 유사성이 모두 있는 반면, 다른 5개 환경 항목의 유사도 점수가 1.55 ~ 2.00으로 모두 유사성이 없는 것으로 나타났다. 이들 6개 항목을 모두 평균한 점수도 2.16으로 종합적인 측면에서 한-중 항만 간의 환경 유사성은 없는 것으로 확인되었다. 평균 점수에 의한 유사성 판단 여부는 2.5를 기준으로 정의하였다. 아울러 각 항만 간 6개 항목의 평균 점수를 쌍대 행렬로 정리한 결과는 Table 3.3.6과 같다. 한국 4개 항만과 중국 5개 항만과의 유사도 점수는 모두 20가지로 이들 중 점수가 2.5 이상인 경우는 6개으로써 유사성의 빈도(frequency)에 근거한 유사 확률은 30%로 나타났다. 또한 이들 20가지 점수를 평균한 점수도 2.16으로 종합적으로 한-중 항만 간 유사성은 없는 것으로 판단되었다.

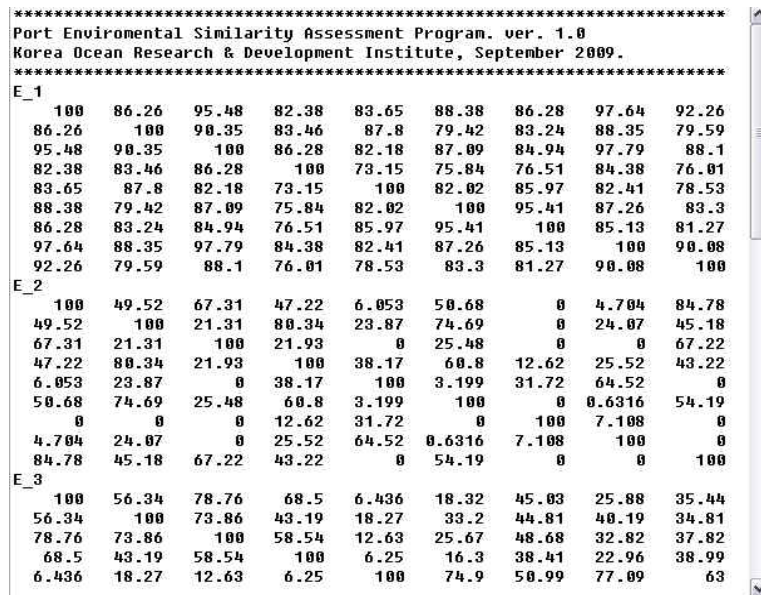


Fig. 3.3.5. An example result of environmental similarity evaluation program

Table 3.3.4. A grade score and similarity criteria for environmental similarity (%)

similarity (%)	< 30	30 - 50	50 - 70	> 70
score	1	2	3	4
evaluation	dissimilar		similar	

1) Seawater temperature (degree C)

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	4	4							
Gunsan	4	4	4						
Mokpo	4	4	4	4					
Dalian	4	4	4	4	4				
Tianjin	4	4	4	4	4	4			
Yantai	4	4	4	4	4	4	4		
Qingdao	4	4	4	4	4	4	4	4	
Lianyungang	4	4	4	4	4	4	4	4	4

2) Seawater salinity (psu)

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	2	4							
Gunsan	3	1	4						
Mokpo	2	4	1	4					
Dalian	1	1	1	2	4				
Tianjin	3	4	1	3	1	4			
Yantai	1	1	1	1	2	1	4		
Qingdao	1	1	1	1	3	1	1	4	
Lianyungang	4	2	3	2	1	3	1	1	4

3) DO (mg/L)

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	3	4							
Gunsan	4	4	4						
Mokpo	3	2	3	4					
Dalian	1	1	1	1	4				
Tianjin	1	2	1	1	4	4			
Yantai	2	2	2	2	3	3	4		
Qingdao	1	2	2	1	4	4	4	4	
Lianyungang	2	2	2	2	3	3	4	4	4

4) pH

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	4	4							
Gunsan	2	3	4						
Mokpo	3	3	2	4					
Dalian	2	2	3	3	4				
Tianjin	1	1	1	1	2	4			
Yantai	1	1	1	2	2	1	4		
Qingdao	2	3	2	4	4	1	2	4	
Lianyungang	2	2	3	3	4	2	2	4	4

5) DIN (mg/L)

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	1	4							
Gunsan	2	1	4						
Mokpo	1	3	1	4					
Dalian	1	3	1	3	4				
Tianjin	2	1	3	1	1	4			
Yantai	1	2	1	3	4	1	4		
Qingdao	1	2	1	3	4	1	4	4	
Lianyungang	1	2	1	4	4	1	4	4	4

6) DIP (mg/L)

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4								
Daesan	1	4							
Gunsan	3	1	4						
Mokpo	1	2	1	4					
Dalian	1	3	1	2	4				
Tianjin	2	3	1	1	2	4			
Yantai	2	1	3	1	2	1	4		
Qingdao	1	3	1	3	3	2	1	4	
Lianyungang	1	4	1	1	2	3	1	3	4

Fig. 3.3.6. Environmental similarity score matrix between Korea and China ports for six environmental factors.

Table 3.3.5. A similarity mean score and final evaluation result between Korea and China for six environmental items

Item	Mean score	Evaluation
Temperature	4.00	similar
Salinity	1.75	dissimilar
DO	1.55	dissimilar
pH	2.00	dissimilar
DIN	1.85	dissimilar
DIP	1.80	dissimilar
Mean	2.16	dissimilar

Table 3.3.6. Integrated similarity score of 6 marine environmental factors for domestic 4 ports and China 5 ports.

	Inch	Daes	Guns	Mokp	Dali	Tian	Yant	Qing	Lian
Incheon	4.0								
Daesan	<b>2.5</b>	4.0							
Gunsan	<b>3.0</b>	2.3	4.0						
Mokpo	2.3	<b>3.0</b>	2.0	4.0					
Dalian	1.7	2.3	1.8	<b>2.5</b>	4.0				
Tianjin	2.2	<b>2.5</b>	1.8	1.8	2.3	4.0			
Yantai	1.8	1.8	2.0	2.2	<b>2.8</b>	1.8	4.0		
Qingdao	1.7	<b>2.5</b>	1.8	<b>2.7</b>	<b>3.7</b>	2.2	<b>2.7</b>	4.0	
Lianyungang	2.3	<b>2.7</b>	2.3	<b>2.7</b>	<b>3.0</b>	<b>2.7</b>	<b>2.7</b>	<b>3.3</b>	4.0

#### 4. 토의

한-중 항만의 환경 자료 교환(2011. 1)을 통해 실험적으로 항만 간 환경 유사도 평가를 수행하였다. 하지만 과학적인 유사성 평가를 위해서는 본적인 문제점을 내포하고 있다. 즉, 한-중 항만환경 자료 교환 결과 수온과 염분을 제외한, 4가지 환경 요인의 관측 시기가 양국 간 서로 일치하지 않을 뿐 아니라 중국의 자국 항만 간의 환경자료 관측 시기도 일치하지 않았다.

따라서 제4차 한-중 정부 간 실무회의('11. 9/한국, 서울)를 통해 최근(1998년 이후)의 환경 자료로 갱신하여 재 교환한 후 유사도를 재 평가하기로 합의 하였다. 또한, 6개 환경 항목 외에도 생물에 영향을 미칠 수 있는 SS(suspended solid) 자료 항목도 추가로 교환 대상에 포함시켰다.

향후 중국 5개 항만에서 관측한 최근 10년의 해양환경 자료가 수집되면 우리나라 4개 항만을 포함한 9개 항만 간의 유사도 평가를 수행하여 선박평형수 관리를 위한 자료로 이용될 것으로 기대한다.

## **제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도**



## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 목표 달성도

#### 1. 본 연구기간 내 연구내용 대비 달성율(%)

년차	달성내용		년차별 계획대비 연구실적 달성율	총연구기간 대비 연구진척율 (* )
2011	항만과 주변해역의 환경, 생물 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 서해 주요 5개 국제무역항에 대한 환경 및 부유생물의 계절(8월, 12월)조사</li> <li>○ 서해 항만해역의 저서무척추동물 및 외래유입종 조사</li> <li>○ 서해 항만의 잠재적 위협종 목록 작성</li> </ul>	100%	100%
	선박평형수 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 서해 주요항만에 입, 출항하는 선종별로 벨리스트 수 탱크 내의 생물과 환경요인 조사</li> <li>○ 선박 평형수 내 생물의 주변수에 대한 적응능력 시험.</li> </ul>	100%	100%
	항만 환경 유사도 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항만환경 절대적 평가기법을 적용한 한-중 항만 간 환경유사도 사전 평가 수행</li> <li>○ 한-중 항만 간 환경유사도 평가에 사용한 환경자료의 관측 시기 매칭에 관한 문제점 도출 및 개선 방향에 대한 정부 간 실무 협의 수행</li> </ul>	100%	100%



## 2. 목표 달성도

구 분		당해연도 목표	당해연도 실적
논문 게재	SCI		1
	기타 국외학술지		
	국내 학술지	2	2
학회 발표	국외	1	
	국내	3	2
특허	국외	출원	
		등록	
	국내	출원	
		등록	
기타 지적 재산권		1(프로그램등록)	1(프로그램 등록)
기타			-IMO 국제회의(MEPC, BLG) 의제문서 제출 및 기술자문 -선박평형수 협약 대응기술 및 지역별 위해도 평가를 위한 한, 중 실무자 회의 개최 및 공동보고서 작성

## 제 2 절 대외 기여도

### 1. 기술적 측면

- 항만 위해도 평가를 위한 관리체계 기술 확립
- 생물다양성의 지속적 보전을 위한 환경 기술적 기반 자료 확보
- 항만시설 내 부유 및 저서생물의 체계적인 채집 및 보관을 통해 분자계통분류학 발전
- 해양생물 및 생태정보 연계, 활용기술 개발 및 항만환경 보호기술 개발 촉진.
- 다양한 생물군의 종류를 파악하고 이를 통한 생물군과 종 목록 작성
- 생물·환경요인분석 결과를 통한 항만별, 계절별 공간분포패턴의 정량화 기술 정립
- 외래해양생물종 기원 탐색 기술의 확보로 유해생물 추적의 새로운 접근법 제시
- 황해 역 내 한-중 항만 간 환경 유사도 평가를 위한 평가기법의 주도적 개발
- G7 (면제를 위한 위해도 평가) 지침서를 위한 항만간 위해도 평가 기술 확립
- G13 (전염병 등 비상시 추가조치) 지침서를 위한 항만간 위해도 평가 기술 확립

### 2. 경제 산업적 측면

- 항만 해양생물정보 시스템을 통한 외래해양생물종 유입감시로 국가 생물자원을 보호
- 항만환경에서 발생할 수 있는 생물들의 이상증식 예보 등을 통해 연안 환경에 미치는 피해 최소화
- 해양생물자원을 보전, 관리할 수 있는 인프라 기능을 확립
- 생산된 정보 재사용 및 활용성을 증진을 통해 관련정보의 생산비용을 절감
- 해운업계의 평형수 처리 면제 신청을 위한 위해도 평가 기술 지원
- 해양 및 육상에서 지역 간 환경의 유사성 절대평가 기법의 개발
- 다양한 위해도 평가DB구축을 통해 항만 물류흐름의 신속성을 구축하여 동북아허브항기지 구축에 기여
- 신뢰성 높은 위해도 평가를 통해 정부의 과잉 규제 지양 및 산업계 보호



## **제5장 연구개발결과의 활용계획**



## 제5장 연구개발결과의 활용계획

- 국내 항만 입출항 선박 및 평형수 입배출 정보 DB를 완성함으로써, 위해도 평가 기반자료 확보
- 항만 위해도 평가 통합 관리체계를 구축하고 GloBallast 방법의 위해도 평가 시스템을 구축함으로써, 인접국 항만 간 선박평형수 관리 면제를 위한 위해도 평가 시스템 확보
- 해운사가 필요로 하는 위해도 평가 기반기술 및 인접국 정부 간 선박평형수 관리 면제를 위해 필요로 하는 기반 기술 확보
- 항만환경의 절대적 평가 알고리즘 및 프로그램의 국내외적인 검증
- 항만환경의 절대적 평가기법을 이용하여 황해역에 포함된 한-중간 항만들의 유사도 평가에 확대 적용
- 항만 내 다양한 생물 종 및 환경요인의 모니터링 결과는
  - 항만 특성에 적합한 데이터베이스 구축
  - 계절 및 항만 공간 특성을 고려한 것으로서 체계적 형태를 갖춘 위해도 프로그램 구축
  - 향후 선박 밸러스트수에 의한 외래종의 유입 및 정착 여부를 판단할 수 있게 해주는 근간
  - 향후 GloBallast program을 근간으로 항만 간 비교접근 방법을 현실화
  - 국가적 종 다양성 관리 유지 프로그램 및 연안역 통합관리 프로그램의 기본 자료로 활용
  - 기후변동과 같은 지구 온난화와 관련된 연안역 생태계 건강성 평가 시에도 기본 자료로 활용
- 연안 해역의 생물다양성의 지속적 보전을 위한 지원 및 해양환경 보호
- 국가해양생물자원관리에 필요한 기본 자료 제공
- 항만 환경 분석을 위한 기초자료로 활용
- GIS 기반의 항만 환경, 생물 관리를 통해 가시적이고 분석적인 의사결정지원 모델개발에 활용
- 항만 위해도 평가를 위한 관리체계 기술은 추후 밸러스트수 연구센터의 주요 기능
- 정부의 G7(면제를 위한 위해도 평가) 지침서 국내 수용 지원
- 정부의 G13(전염병 등 비상시 추가조치) 지침서 국내 수용 지원
- 해운업계의 밸러스트수 처리 면제 신청을 위한 위해도 평가 기술 연구 도출



## 제6장 참고문헌





## 제6장 참고문헌

- Abott, R. T. and K. J. Boss, 1989. A classification of living Mollusca. American Malacologists, Inc., Melbourne. 195 pp.
- Bollens, S. M., J. R. Cordell, S. Avent & R. Hooff., 2002. Zooplankton invasions: a brief review, plus two case studies from the northeast Pacific Ocean. *Hydrobiologia*. 480: 87-110.
- Bouman H.A., Nakata, T., Oka, K., Nakata, K., Kurita, K. 2010. Environmental controls on phytoplankton production in coastal ecosystems: A case study from Tokyo Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-10.
- Cha, H. R. and J. I. Song, 2001. Taxonomy of two subtribes, Mesomyaria and Acontiarina (Anthozoa, Actiniaria) in Korea. *Kor. J. Syst. Zool.*, 17(1): 91-113.
- Chihara, M and Murano, M. 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai University Press.
- Choe, B. L., 1992. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea Vol. 33 Mollusca (II). Ministry of Education, Seoul, 860 pp. 126 pls.
- Choen, A. N. & J. T. Carlton., 1998. Accelerating invasion rate in a highly invade estuary. *Science.*, 279, 555-558.
- Chu K.H., Tam P.F., Fung C.H., and Chen Q.C. 1997. A biological. survey of ballast water in container ships entering Hong Kong. *Hydrobiologia* 352: 201 - 206.
- Cohen, A.N. and J.T.Carlton. 1998. Accelerating invasion rate in a highly invaded estuary. *Science*, 279, 555~558.
- Conway, D.V.P., Whire R.G., Hugues-Dit-Ciles J., Gallienne C.P., Robins D.B., 2003. Guide to the coastal and surface zooplankton of the South-Western Indian Ocean Occasional Publication of the Marine Biological Association of The United Kingdom, No15 Plym
- Cupp, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. California*, 5:1-237.
- Dai, A. and S. Yang, 1991. Crabs of the China Sea. Springer-Verlag, 682 pp.
- Dodge, J.D., 1982. Marine Dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Stationery Office, London, 303 pp.
- Drebes, G. 1974. Marines Phytoplankton. Eine Auswahl der Helgolaender Planktonalgen (Diatomeen, Peridineen), pp.186, Georg Thieme Verlag Stuttgart, Germany.

- Elbrachter, M., Qi, Z.Y., 1998. Aspect of Noctiluca (Dinophyceae) population dynamics. In Anderson DM, Cembella AD and Hallegraeff MG (eds), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. NATO ASI Series, Vol. G 41. Springer-Verlag, Berlin, pp 315-335.
- Fabricius, K. & P. Alderslade, 2000. *Soft corals and sea fans: A comprehensive guide to the tropical shallow-water genera of the Central-West Pacific, the Indian Ocean and the Red Sea*. Australian Institute of Marine Science. 264pp.
- Farfante, I. P. and B. Kensly, 1997. *Penaeoid and sergestioid shrimps and prawns of the world, keys and diagnoses for the families and genera*. Mem. Mus. Nat. Hist. Nat., 233 pp.
- Fleminger, A. & S. H. Kramer., 1988. Recent introduction of an Asian estuarine copepod, *Pseudodiaptomus marinus* (Copepoda: Calanoida), into southern California embayments. *Mar. Biol.* 98: 535-541.
- Fofonoff, P. W., G. M. Ruiz, B. Stevens & J. T. Carlton., 2003. In ships or on ships. Mechanisms of transfer and invasion for nonnative species to the coasts of North America, pp. 152-182. In *Invasive Species: Vectors and Management Strategies* (eds. Ruiz, G. M. & J. T. Carlton). Inland Press, Washington.
- Fu, M., Wang, Z., Li, Y., Li, R., Sun, P., Wei, X., Lin, X., Guo, J. 2009. Phytoplankton biomass size structure and its regulation in the southern Yellow Sea (China): seasonal variability. *Continental Shelf Research* 29, 2178-2194.
- Habe, T., 1977. *Systematics of Mollusca in Japan. Bivalvia and Scaphopoda*. Zukan-no-Hokuryukan Co., Tokyo, Japan. 372 pp.
- Hallegraeff, G. M., 1998. Transport of toxic dinoflagellate via ship's ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 168: 297-309.
- Hendey, N.I. 1964. *An introductory account of the small algae of British coastal waters. part V: Bacillariophyceae (Diatoms)*. Her Majesty's Stationery Office, London, 362 pp.
- Hirawaka, K., 1986. A new record of the planktonic copepods *Centropages abdominalis* (Copepoda, Calanoida) from Patagonian waters, southern Chile. *Crustaceana* 51; 296-299.
- Holthuis, L. B., 1993. The recent genera of the caridean and stenopodidean shrimps (Crustacea, Decapoda), with an appendix of the Order Amphiodacea. *Nat. Natuurhist. Mus.*, 328 pp.
- Hooper, J. N. A. & R. W. M. Soest, 2002. *Systema Porifera. A guide to the classification*

- of sponges. Vol. I & II. Kluwer Academy, Plenum Publisher. 1706 pp.
- IMO., 2004: <http://globallast.imo.org/index.asp?page=problem.htm&menu=t>
- Jang, P.G., Shin, K., Chang, M., Kim, D. 2011. Spatial and temporal trends in water quality in response to sewage discharge in Masan and Hangam Bays, Korea. *Journal of Coastal Research*, 27(6a) 144–155.
- Kim, D.Y., 1985. Taxonomical study in calanoid copepod(Crustacea:Copepoda) in Korean water. Ph.D. Thesis. Hanyang Univ.
- Kim, H. S., 1973. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 14, Anomura · Brachyura. Samhwa Publ. Co. Korea, 694 pp.
- Kim, H. S., 1977. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 19, Macrura. Samhwa Publ. Co. Korea, 414 pp.
- Kim, I. H., 1998. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 38, Cirripedia, symbiotic Copepoda, Pycnogonida. Ministry of Education, 1038 pp.
- Kirchner, M., Sahling, G., Uhlig, G., Gunkel, W., Klings, K.W., 1996. Does the red tide-forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria?. *Sarsia* 81: 45–55.
- Larson, R.J., 1987. Trophic ecology of planktonic gelatinous predators in Saanich Inlet, British Columbia: Diets and prey selection. *J. Plankton Res.* 9: 811–820.
- Lilley, E. L., D. M. Kulis, P. Genticien & D. M. Anderson., 2002. Paralytic shellfish poisoning toxins in France linked to a human-introduced strain of *Alexandrium catenella* from the Western Pacific: evidence from DNA and toxin analysis. *J. Plankton Res.* 24: 443–452.
- Madin, L.P., Deibel, D., 1998. Feeding and energetics of Thaliacea. In *The biology of pelagic tunicates* (ed. Q. Bone), pp. 81–103. Oxford: Oxford University Press.
- Matsakis, S., Conover, R.J., 1991. Abundance and feeding of medusae and their potential impact as predators on other zooplankton in Bedford Basin (Nova Scotia, Canada) during spring. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 1419–1430.
- Min D. K, J. S. Lee, D. B. Koh & J. K. Je, 2004. Mollusks in Korea. Min Molluscan Research Institute. 566pp.
- Miyake, S., 1983a. Japanese crustacean decapods and stomatopods in color. Vol. I, Macrura, Anomura and Stomatopoda. Hoikusha Publishing Co., Ltd., 261 pp.
- Miyake, S., 1983b. Japanese crustacean decapods and stomatopods in color. Vol. II, Brachyura. Hoikusha Publishing Co., Ltd., 277 pp.
- Mizuno, T. & Takahashi, E.. 2000. *An Illustrated Guide to Freshwater Zooplankton in Japan*, Tokai University Press.
- Nakamura, Y., 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto

- Inland Sea, Japan. *J. Plankton Res.* 20: 2213–2222.
- 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.* 18: 1–286pp.
- Ohtsuka S., T. Horiguchi, R.M. Lopes, K.-H. Choi, and K. Iwasaki., 2004. Plankton introduction via ship ballast water: A review. *Bull. Plankton Soc. Japan* 51(2): 101–118.
- Okutani, T. and T. Habe, 1990. *The mollusks of Japan. Gakken illustrated nature encyclopedia.* Gakken Pub. Co., Tokyo. 301 pp. (in Japanese).
- Okutani, T., 2000. *Marine Mollusks in Japan.* Takai University Press. 1089pp.
- Orsi, J. J. & Ohtsuka., 1999. Introduction of the Asian copepods *Acartiella sinensis*, *Tortanus dextrilobatus* (Copepoda: Calanoida), and *Limnoithona teraspina* (Copepoda: Cyclopoida) to the San Francisco estuary, California, USA. *Plankton Biol. Ecol.* 46: 128–131.
- Orsi, J. J., T.E. Bowman, D.E. Marelli & A. Hutchinson., 1983. Recent introduction of the planktonic calanoid copepod *Sinocalanus doerri* (Centropagidae) from mainland China to the Sacramento–San Joaquin Estuary of California. *J. Plankton Res.* 5: 357–375.
- Paik, E. I., 1989. *Illustrated encyclopedia of flora & fauna of Korea. Vol. 31. Polychaeta.* Ministry of Education, 764 pp.
- Park, J. H., 2000. *Cnidaria 1 Hydrozoa (Atheceata, Thecatae), Animals of Korea series 4.* Korea research institute of bioscience and biotechnology (KRIBB), Korea, 251 pp.
- Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis.* Pergamon Press, New York. 173p.
- Purcell, J.E., and Grover. J.J., 1990. Predation and food limitation as causes of mortality in larval herring at a spawning ground in British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59: 55–61.
- Purcell, J.E., Silferd, T.D., Marliave J.B., 1987. Vulnerability of larval herring (*Clupea harengus pallasi*) to capture by the jellyfish *Aequorea victoria*. *Mar. Biol.* 94: 157–162.
- Quevedo, M., Gonzales–Quiros, R., Anadon, R., 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs of the central Cantabrian coast. *Oceanologica Acta* 22, 127–131.
- Rho, B. J., 1977. *Illustrated flora & fauna of Korea. Vol. 20. Porifera, Hydrozoa & Ascidiacea.* Ministry of Education, 470 pp.

- Ruiz, G. M., P. W. Fofonoff, J. T. Carlton, M. J. Wonham & A. H. Hines., 2000. Invasion of coastal marine communities in North America: apparent patterns, processes, and biases. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 31, 481-531.
- Sakai, T., 1976. *Crabs of Japan and the adjacent seas*. Kodansha. Ltd., 773 pp.
- Seo, J. E., 1992. A systematic study on the bryozoans from the South Sea in Korea 1. Cheilostomata. *Kor. J. Syst. Zool.*, 8(1): 141-160.
- Seo, J. E., 2005. *Illustrated encyclopedia of flora & fauna of Korea*. Vol. 40. Bryozoa. Ministry of Education & Human Resources Development. 596 pp.
- Shin, E.-Y. 1998. A Taxonomical study on the thecate dinoflagellates of Korean coastal waters. PhD thesis. Seoul National University. 241 pp.
- Shin, S. & B. J. Rho, 1996. *Illustrated encyclopedia of flora & fauna of Korea*. Vol. 36. Echinodermata. Ministry of Education, 780 pp.
- Sim, C. J., 1999. Sponges, order Hadromerida, Halichondrida, Haplosclerida, Poecilosclerida, Animals of Korea series 2. Korea research institute of bioscience and biotechnology (KRIBB), Korea, 175 pp.
- Song, J. I., 2000. Cnidaria 2 Anthozoa, Animals of Korea series 5. Korea research institute of bioscience and biotechnology (KRIBB), Korea, 332 pp.
- Song, J. I., 2004. *Illustrated encyclopedia of flora & fauna of Korea*. Vol. 39. Anthozoa. Ministry of Education & Human Resources Development. 643 pp.
- Strom, S.L., 2001. Light-aided digestion, grazing and growth in herbivorous protists. *Aquat Microb Ecol* 23: 253-261.
- Thronsen J., 1993. The Planktonic Marine Flagellates. In: *Marine Phytoplankton, A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophorids*, edited by Tomas C.R., Academic Press, San Diego. pp.7-145.
- Tomas C.R., 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, San Diego, 858pp.
- Yamaji, I., 1984. *Illustrations of the marine plankton of Japan*, Hoikusha Pub. 537p.
- 강영실, 1992. 한국근해 난류 외양성 Calanoid Copepods의 분류 및 분포. 이학박사 학위 논문, 부산수산대학교.
- 강정훈, 1998. 해수중 인공기질표면에 대한 미세조류의 부착과 성장에 관한 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 137p.
- 서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. *Korean J. Environ. Biol.*, 11(1): 26-34.
- 신동휘, 최중기, 1988. 인천부두 식물플랑크톤 군집의 조석에 따른 시간적 변화연구. *Yellow Sea Research*, 1: 11-31.
- 심재형, 1994. 한국동식물도감-식물편(해양식물플랑크톤). 교육부, 34: 1-487.

- 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 19(2): 172-186.
- 이진환, 변정신, 1991. 인천항 선거내의 식물플랑크톤 구조류의 주년동태에 대하여. *The Korean Journal of Phycology*, 6(1): 69-82.
- 이진환, 송현숙, 이은호, 1997. 인천항 선거내의 식물플랑크톤 돌말류의 적조. *Korean J. Environ. Biol.*, 15(2): 119-129.
- 장민철, 1996. 부산 및 진해 연근해에 출현하는 동물플랑크톤 오염지표종 개발에 대한 연구. 석사학위논문, 한국해양대학교, 112p.
- 한국해양수산개발원, 2004. 국제해사기구(IMO)의 해양환경 오염규제 대응방안 연구. 기본연구 2004-06, 153p.
- 한국동물분류학회, 1997. 한국동물명집.
- 홍성윤, 마채우, 강영실, 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. *The Journal of the Korean Society of Oceanography*, 29(2): 132-144.

부

부





Appendices 1-1. Phytoplankton species observed within surface water of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in August, 2011

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																																					
<i>Achnanthes brevipes</i>	+	+	+		+																																4
<i>Actinocyclus octonarius</i>				+									+																								1
<i>Actinopychus senarius</i>				+									+																								3
<i>Amphora</i> spp.										+																											2
<i>Asterionellopsis glacialis</i>													+																								4
<i>Aulacoseira</i> sp.																																					9
<i>Bacillaria paxillifer</i>						+																															1
<i>Cerataulina bicornis</i>				+																																	3
<i>Cerataulina pelagica</i>				+																																	1
<i>Chaetoceros compressus</i>																																					2
<i>Chaetoceros curvisetus</i>																																					2
<i>Chaetoceros costatus</i>																																					2
<i>Chaetoceros danicus</i>																																					1
<i>Chaetoceros debilis</i>																																					2
<i>Chaetoceros didymus</i>											+																										8
<i>Chaetoceros lonengianus</i>																																					1
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>																																					1
<i>Chaetoceros wighamii</i>																																					1
<i>Chaetoceros</i> sp.																																					2
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>						+																															1
<i>Coscinodiscus centralis</i>																																					2
<i>Coscinodiscus concinnus</i>																																					1
<i>Coscinodiscus wailesii</i>																																					1
<i>Coscinodiscus</i> sp.																																					1
<i>Cyclotella striata</i>																																					1
<i>Cyclotella</i> sp.																																					17
<i>Cylindrotheca closterium</i>																																					16
<i>Cymbella</i> sp.																																					1
<i>Dietylum brightwellii</i>																																					1
<i>Eucampia zodiacus</i>																																					5
<i>Fragilaria crotonensis</i>																																					2

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
<i>Günardia delicatula</i>							+						+						+																		5
<i>Günardia flaccida</i>																																					1
<i>Gyrosigma fasciola</i>							+						+																								3
<i>Gyrosigma</i> sp.							+																														1
<i>Leptocylindrus danicus</i>																																					3
<i>Manguinea</i> sp.																																					1
<i>Navicula</i> spp.													+																								10
<i>Nitzschia sigma</i>																																					2
<i>Nitzschia sigmaidea</i>																																					2
<i>Nitzschia</i> spp.																																					10
<i>Odonella longicruris</i>																																					1
<i>Paralia sulcata</i>							+																														15
<i>Pleurosigma angulatum</i>																																					1
<i>Pleurosigma</i> sp.																																					2
<i>Podosira stelligera</i>																																					1
<i>Pseudogünardia recta</i>																																					1
<i>Pseudo-nitzschia delticatissima</i> complex																																					1
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>																																					12
<i>Pseudo-nitzschia setigera</i>																																					3
<i>Rhizosolenia setigera</i>																																					1
<i>Skeletonema</i> spp.																																					15
<i>Stephanopyxis turris</i>																																					1
<i>Synedra ulna</i>																																					1
<i>Synedra</i> sp.																																					7
<i>Susurlera</i> sp.																																					1
<i>Thalassionema nitzschioides</i>																																					5
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>																																					1
<i>Thalassiosira eccentrica</i>																																					10
<i>Thalassiosira rotula</i>																																					1
<i>Thalassiosira</i> spp.																																					5
<b>DINOPHYCEAE</b>																																					
<i>Akashiwo sanguinea</i>																																					1
<i>Alexandrium</i> sp.																																					1

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
<i>Dinophysis acuminata</i>																																					3
<i>Dinophysis acuta</i>					+																																1
<i>Gymnodinium aureolum</i>					+																																3
<i>Gymnodinium spp.</i>					+																																2
<i>Gyrodinium spirale</i>					+																																3
<i>Gyrodinium spp.</i>					+																																3
<i>Heterocapsa rotundata</i>					+																																6
<i>Heterocapsa sp.</i>					+																																5
<i>Karlodinium veneficum</i>					+																																5
<i>Neoceratium furca</i>					+																																1
<i>Neoceratium fusus</i>					+																																2
<i>Neoceratium kofoidii</i>					+																																1
<i>Neoceratium lineatum</i>					+																																3
<i>Prorocentrum triestinum</i>					+																																2
<i>Prorocentrum minimum</i>					+																																5
<i>Prorocentrum sp.</i>					+																																1
<i>Protoperidinium sp.</i>					+																																6
<i>Scrpella trochoidea</i>					+																																6
<i>Scrpella sp.</i>					+																																4
<i>Centric form</i>					+																																12
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																																					
<i>Actinastrum fluviatile</i>																																					1
<i>Actinastrum hantzschii</i>																																					1
<i>Actinastrum sp.</i>																																					5
<i>Ankistrodesmus cf. fusiformis</i>																																					1
<i>Closteriopsis longissima</i>																																					2
<i>Coelastrum sp.</i>																																					2
<i>Eudorina sp.</i>																																					1
<i>Eutetramorus cf. erythraeum</i>																																					2
<i>Monoraphidium tortile</i>																																					2
<i>Monoraphidium sp.</i>																																					1
<i>Periastrum duplex</i>																																					4



Appendices 1-2. Phytoplankton species observed within bottom water of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in August, 2011.

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																																					
<i>Achnanthes</i> sp.						+																															1
<i>Actinocyclus octonarius</i>						+																															4
<i>Actinopychus senarius</i>						+																															8
<i>Amphora</i> spp.						+																															9
<i>Asterionellopsis glacialis</i>						+																															4
<i>Aulacoseira</i> sp.						+																															10
<i>Bacillaria paxillifer</i>						+																															2
<i>Cerataulina bicornis</i>						+																															2
<i>Cerataulina pelagica</i>						+																															1
<i>Chaetoceros affinis</i>						+																															1
<i>Chaetoceros compressus</i>						+																															1
<i>Chaetoceros danicus</i>						+																															5
<i>Chaetoceros debilis</i>						+																															6
<i>Chaetoceros furcellatus</i>						+																															1
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>						+																															1
<i>Chaetoceros wighamii</i>						+																															1
<i>Chaetoceros</i> sp.						+																															2
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>						+																															2
<i>Coscinodiscus centralis</i>						+																															2
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>						+																															1
<i>Coscinodiscus radiatus</i>						+																															1
<i>Coscinodiscus</i> sp.						+																															3
<i>Cyclotella striata</i>						+																															3
<i>Cyclotella</i> sp.						+																															15
<i>Cylindrotheca closterium</i>						+																															18
<i>Cymbella</i> sp.						+																															2
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>						+																															1
<i>Diploneis</i> sp.						+																															2
<i>Ditylum brightwellii</i>						+																															5
<i>Eucampia zodiacus</i>						+																															10
<i>Fragilaria crotonensis</i>						+																															4

– continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3			4		5		6	
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
<i>Guinardia delicatula</i>							+						+						+						+										6		
<i>Guinardia flaccida</i>																																			1		
<i>Guinardia striata</i>																																			1		
<i>Gyrosigma fasciola</i>																																			1		
<i>Gyrosigma strigilis</i>																																			1		
<i>Leptocylindrus danicus</i>																																			4		
<i>Licmophora</i> sp.																																			1		
<i>Manguinea</i> sp.																																			2		
<i>Melosira nummuloides</i>																																			2		
<i>Navicula</i> spp.																																			13		
<i>Nitzschia longissima</i>																																			3		
<i>Nitzschia sigma</i>																																			4		
<i>Nitzschia sigmoidea</i>																																			1		
<i>Nitzschia</i> spp.																																			15		
<i>Odontella longicirris</i>																																			2		
<i>Paralia sulcata</i>																																			23		
<i>Pleurosigma</i> sp.																																			5		
<i>Podosira stelligera</i>																																			2		
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex																																			12		
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>																																			5		
<i>Rhizosolenia setigera</i>																																			3		
<i>Skeletonema</i> spp.																																			15		
<i>Synedra ulna</i>																																			3		
<i>Synedra</i> sp.																																			5		
<i>Susurrillera</i> sp.																																			3		
<i>Thalassionema nitzschoides</i>																																			1		
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>curviseriata</i>																																			1		
<i>Thalassiosira eccentrica</i>																																			13		
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>																																			1		
<i>Thalassiosira punctigera</i>																																			1		
<i>Thalassiosira rotula</i>																																			1		
<i>Thalassiosira</i> spp.																																			5		







Appendices 1-3. Phytoplankton species observed within surface water of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in December, 2011.

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations												
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6													
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																																											
<i>Achnanthes</i> sp.																																											
<i>Actinocyclus octonarius</i>																																											
<i>Actinopychus senarius</i>																																											
<i>Amphora</i> spp.																																											
<i>Asterionellopsis glacialis</i>																																											
<i>Asteroplanus karianus</i>																																											
<i>Aulacoseira</i> sp.																																											
<i>Bacillaria paxillifer</i>																																											
<i>Biddulphia biddulphia</i>																																											
<i>Biddulphia</i> sp.																																											
<i>Chaetoceros curvisetus</i>																																											
<i>Chaetoceros costatus</i>																																											
<i>Chaetoceros danicus</i>																																											
<i>Chaetoceros debilis</i>																																											
<i>Chaetoceros socialis</i>																																											
<i>Chaetoceros</i> sp.																																											
<i>Cyclotella striata</i>																																											
<i>Cyclotella</i> sp.																																											
<i>Cylindrotheca closterium</i>																																											
<i>Cymbella</i> sp.																																											
<i>Diploneis</i> sp.																																											
<i>Diploneis splendida</i>																																											
<i>Eucampia zodiacus</i>																																											
<i>Epithemis cf. reicheltii</i>																																											
<i>Grannatophora</i> sp.																																											
<i>Günardia flaccida</i>																																											
<i>Gyrosigma fasciola</i>																																											
<i>Gyrosigma</i> sp.																																											
<i>Leptocylindrus danicus</i>																																											
<i>Manguinea</i> sp.																																											
<i>Navicula</i> spp.																																											









- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
<i>Alexandrium tamarise</i>																																					1
<i>Cochlodinium caenatum</i>																																					1
<i>Gymnodinium aureolum</i>																																					16
<i>Gymnodinium spp.</i>																																					7
<i>Gyrodinium spirale</i>																																					7
<i>Gyrodinium spp.</i>																																					2
<i>Heterocapsa triquetra</i>																																					1
<i>Heterocapsa rotundata</i>																																					12
<i>Heterocapsa sp.</i>																																					9
<i>Karlodinium veneficum</i>																																					10
<i>Karenia brevis</i>																																					1
<i>Karenia mikimotoi</i>																																					1
<i>Prorocentrum sp.</i>																																					3
<i>Protoperidinium bipes</i>																																					1
<i>Protoperidinium sp.</i>																																					1
<i>Scrpella trochoidea</i>																																					6
<i>Scrpella sp.</i>																																					1
Centric form																																					14
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																																					
<i>Actinastrum sp.</i>																																					3
<i>Cosmarium sp.</i>																																					1
<i>Eutereanorus globosus</i>																																					1
<i>Scenedesmus maximus</i>																																					1
<b>RHAPHYDOPHYCEAE</b>																																					
<i>Chattonella sp.</i>																																					2
<i>Heterosigma akashiwo</i>																																					20
<b>EUGLENOPHYTA</b>																																					
<i>Euglena spp.</i>																																					20
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>																																					
<i>Cryptophyta spp.</i>																																					26
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>																																					
<i>Dityrocha fibura</i>																																					4

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo						No. of observed stations						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6							
CYANOBACTERIA CEAE <i>Anabaena</i> sp.																																					1



Appendices 1-5. Cell counts of phytoplankton species observed within surface waters of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in August, 2011.

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																																				
<i>Achnanthes brevipes</i>	1	4	3		5																															
<i>Actinocyclus octonarius</i>				2	4																															
<i>Actinopychus senarius</i>																																				
<i>Amphora</i> spp.											4																									
<i>Asterionellopsis glacialis</i>																																				
<i>Aulacoseira</i> sp.																																				
<i>Bacillaria paxillifer</i>																																				
<i>Cerataulina bicornis</i>	8	7	8			2																														
<i>Cerataulina pelagica</i>																																				
<i>Chaetoceros compressus</i>																																				
<i>Chaetoceros curvisetus</i>																																				
<i>Chaetoceros costatus</i>																																				
<i>Chaetoceros danicus</i>																																				
<i>Chaetoceros debilis</i>																																				
<i>Chaetoceros didymus</i>																																				
<i>Chaetoceros lonengianus</i>																																				
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>																																				
<i>Chaetoceros wighamii</i>																																				
<i>Chaetoceros</i> sp.																																				
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>																																				
<i>Coscinodiscus centralis</i>																																				
<i>Coscinodiscus concinnus</i>																																				
<i>Coscinodiscus waillesii</i>																																				
<i>Coscinodiscus</i> sp.																																				
<i>Cyclotella striata</i>																																				
<i>Cyclotella</i> sp.	1	3	2	5	4																															
<i>Cylindrotheca closterium</i>	1	22		1																																
<i>Cymbella</i> sp.																																				
<i>Ditylum brightwellii</i>																																				
<i>Eucampia zodiacus</i>																																				
<i>Fragilaria crotonensis</i>																																				

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek							Daesan							Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
<i>Guinardia delicatula</i>							4						12	4	7				5													
<i>Guinardia flaccida</i>													7						3													
<i>Gyrosigma fasciola</i>								1					3																			
<i>Gyrosigma</i> sp.								1																								
<i>Leptocylindrus danicus</i>		2				1	2																									
<i>Manguinea</i> sp.																																
<i>Navicula</i> spp.		16	2										2	2					12	4	24	13	4							1		
<i>Nitzschia sigma</i>																			12	4												
<i>Nitzschia sigmoidea</i>		3																														
<i>Nitzschia</i> spp.		1		1															12	4												
<i>Odontella longicirrus</i>																																
<i>Paralia sulcata</i>	9			21	7	19	13	38	7				2	8	58	36					73				13	3				7		
<i>Pleurosigma angulatum</i>																																
<i>Pleurosigma</i> sp.																																
<i>Podosira stelligera</i>																			5													
<i>Pseudoguinardia recta</i>																			1													
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex																																
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>																																
<i>Rhizosolenia setigera</i>																																
<i>Skeletonema</i> spp.																																
<i>Stephanopyxis turris</i>																																
<i>Synedra ulna</i>																																
<i>Synedra</i> sp.																																
<i>Susutilleria</i> sp.																																
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		1				1																										
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>																																
<i>Thalassiosira eccentrica</i>					2																											
<i>Thalassiosira rotula</i>																																
<i>Thalassiosira</i> spp.																																
<b>DINOPHYCEAE</b>																																
<i>Akashiwo sanguinea</i>																																
<i>Alexandrium</i> sp.	1																															

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
<i>Dinophysis acuminata</i>													1																							
<i>Dinophysis acuta</i>					1																															
<i>Gymnodinium aureolum</i>				4																															5	
<i>Gymnodinium</i> spp.				4	1																															
<i>Gyrodinium spirale</i>				2	1				1																											
<i>Gyrodinium</i> spp.																																				
<i>Heterocapsa rotundata</i>			1		4	5			1			3																								
<i>Heterocapsa</i> sp.					5	2					1																									
<i>Karlodinium veneficum</i>			1								2																									
<i>Neoceratium furca</i>																																				
<i>Neoceratium fuscus</i>																																				
<i>Neoceratium kofoidii</i>																																				
<i>Neoceratium lineatum</i>																																				
<i>Prorocentrum triestinum</i>																																				
<i>Prorocentrum minimum</i>	44	25	51																																	
<i>Prorocentrum</i> sp.																																				
<i>Protoperidinium</i> sp.																																				
<i>Scrpella trochoidea</i>																																				
<i>Scrpella</i> sp.																																				
Centric form	3		5	2	4	1																														
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																																				
<i>Actinastrum fluviatile</i>																																				
<i>Actinastrum hantzschii</i>																																				
<i>Actinastrum</i> sp.																																				
<i>Ankistrodesmus</i> cf. <i>fusiformis</i>																																				
<i>Closteriopsis longissima</i>																																				
<i>Coelastrum</i> sp.																																				
<i>Eudorina</i> sp.																																				
<i>Eutetramorus</i> cf. <i>erythraeum</i>																																				
<i>Monoraphidium tortile</i>																																				
<i>Monoraphidium</i> sp.																																				
<i>Periastrum duplex</i>																																				
																								</												

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
	<i>Periastrum simplex</i>							9	5	5	5	5																				12				
<i>Scenedesmus ecornis</i>																															27					2
<i>Scenedesmus ellipsoides</i>																															13					6
<i>Scenedesmus maximus</i>																																				4
<i>Scenedesmus quadricauda</i>																																				
<i>Schroederia stfigera</i>																																				
<i>Tetraedron trigonum</i>																																				
<b>RHAPHYDOPHYCEAE</b>																																				
<i>Chattonella</i> sp.	4		3																																	
<i>Heterosigma akashiwo</i>		3	2	7	11	1																														
<b>EUGLENOPHYTA</b>																																				
<i>Euglena</i> spp.	2	3	2	2	16	10																														
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>																																				
<i>Cryptophyta</i> spp.	12	28	54	15	100	57	14	39	33	52	92	35																								
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>																																				
<i>Dityocha fibura</i>																																				
<b>CYANOBACTERIACEAE</b>																																				
<i>Anabaena</i> sp.																																				
<i>Microcystis novacekii</i>																																				
<i>Oscillatoria</i> sp.																																				
<i>Trichodesmium</i> cf. <i>erythraeum</i>																																				
<i>Trichodesmium</i> sp.																																				
<b>Total</b>	94	134	133	62	175	114	56	204	153	115	163	67	184	202	192	323	194	2188	1176	1476	361	454	395	175	34	149	230	198	55	24						

Appendices 1-6. Cell counts of phytoplankton species observed within bottom waters of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in August, 2011.

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																													
<i>Achnanthes</i> sp.					1		2						1	2	2															
<i>Actinocyclus octonarius</i>				1	3		3	3					2	3	2				6	2										
<i>Actinopychus senarius</i>							3	1	3	3	6		1	2											3					1
<i>Amphora</i> spp.							1						2	2	2															
<i>Asterionellopsis glacialis</i>							4	4					2	2	2				535	566	1762	168			7	9				
<i>Aulacoseira</i> sp.																														
<i>Bacillaria paxillifer</i>											2							17												
<i>Cerataulina bicornis</i>	2	2																												
<i>Cerataulina pelagica</i>	1																													
<i>Chaetoceros affinis</i>												2																		
<i>Chaetoceros compressus</i>																														
<i>Chaetoceros danicus</i>									1				2	2																12
<i>Chaetoceros debilis</i>	2											2	6	18															10	7
<i>Chaetoceros furcellatus</i>																														4
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>																														
<i>Chaetoceros wighamii</i>																		9												
<i>Chaetoceros</i> sp.																														3
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>													1																	
<i>Coscinodiscus centralis</i>																														
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>																														
<i>Coscinodiscus radiatus</i>																														
<i>Coscinodiscus</i> sp.							1																							
<i>Cyclotella striata</i>	2	6	3				3																							
<i>Cyclotella</i> sp.	1		5	6	4																									
<i>Cylindrotheca closterium</i>	3	3	4	1	6	7	1						10	17	4	6	5													
<i>Cymbella</i> sp.																														
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>																														
<i>Diploneis</i> sp.																														
<i>Ditylum brightwellii</i>																														
<i>Eucampia zodiacus</i>																														
<i>Fragilaria crotonensis</i>																														

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<i>Guinardia delicatula</i>							5					9												1					
<i>Guinardia flaccida</i>												3	11	5																
<i>Guinardia striata</i>												3																		
<i>Gyrosigma fasciola</i>																														
<i>Gyrosigma strigilis</i>																														
<i>Leptocylindrus danicus</i>																														
<i>Licmophora</i> sp.																														
<i>Manguinea</i> sp.																														
<i>Melosira nummuloides</i>																														
<i>Navicula</i> spp.																														
<i>Nitzschia longissima</i>																														
<i>Nitzschia sigma</i>																														
<i>Nitzschia sigmoidea</i>																														
<i>Nitzschia</i> spp.																														
<i>Odontella longicruris</i>																														
<i>Paralia sulcata</i>																														
<i>Pleurosigma</i> sp.																														
<i>Podosira stelligera</i>																														
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex																														
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>																														
<i>Rhizosolenia setigera</i>																														
<i>Skeletonema</i> spp.																														
<i>Synedra ulna</i>																														
<i>Synedra</i> sp.																														
<i>Susurrillera</i> sp.																														
<i>Thalassionema nitzschioides</i>																														
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>curviseriata</i>																														
<i>Thalassiosira eccentrica</i>																														
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>																														
<i>Thalassiosira punctigera</i>																														
<i>Thalassiosira rotula</i>																														
<i>Thalassiosira</i> spp.																														

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<b>DINOPHYCEAE</b>																													
<i>Cochlodinium caenatum</i>																														
<i>Cochlodinium</i> sp.						4																								
<i>Dinophysis acuminata</i>																														
<i>Gymnodinium aureolum</i>					1																									
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>lohmanni</i>																														
<i>Gymnodinium</i> spp.					5	2																								
<i>Gyrodinium spirale</i>					3																									
<i>Gyrodinium</i> spp.					1	2																								
<i>Heterocapsa triquetra</i>																														
<i>Heterocapsa rotundata</i>					7	1																								
<i>Heterocapsa</i> sp.					1	3																								
<i>Karlodinium veneficum</i>					2	1																								
<i>Neoceratium candelabrum</i>																														
<i>Neoceratium fuscus</i>																														
<i>Neoceratium lineatum</i>					8	1																								
<i>Peridinium</i> sp.					1																									
<i>Prorocentrum minimum</i>																														
<i>Protoperidinium</i> sp.																														
<i>Serpicilla trochoidea</i>					4	1																								
<i>Serpicilla</i> sp.																														
Centric form					4	2																								
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																														
<i>Actinastrum</i> sp.					1	4																								
<i>Closteriopsis longissima</i>					4	2																								
<i>Coelastrum</i> sp.					4	8																								
<i>Dityosphaerium pulchellum</i>																														
<i>Gloeocystis</i> sp.																														
<i>Monoraphidium tortile</i>																														
<i>Periastrum duplex</i>																														
<i>Scenedesmus eornis</i>																														
<i>Scenedesmus quadricauda</i>																														

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
	<i>Staurastium tauphorn</i>																																			
<b>RHAPHYDOPHYCEAE</b>																																				
<i>Chattonella</i> sp.						1							4	2																						
<i>Heterosigma akashiwo</i>						3																														
<b>EUGLENOPHYTA</b>																																				
<i>Euglena</i> spp.						10																														
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>																																				
<i>Cryptophyta</i> spp.						31																														
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>																																				
<i>Dictyocha fibura</i>						3																														
<b>CYANOBACTERIACEAE</b>																																				
<i>Anabaena</i> sp.																																				
<i>Microcystis</i> sp.																																				
<i>Oscillatoria</i> sp.																																				
<i>Pseudoanabena limmerica</i>																																				
<i>Trichodesmium</i> cf. <i>erythraeum</i>																																				
<b>Total</b>	25	47	241	111	114	157	104	140	112	90	136	66	114	220	241	291	271	2194	1404	2510	535	171	146	1285	608	54	190	25	30	42	50					



Appendices 1-7. Cell counts of phytoplankton species observed within surface waters of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in December, 2011.

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo															
	1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6					
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																																								
<i>Achnanthes</i> sp.		2										1																												4
<i>Actinocyclus octonarius</i>		1																																						2
<i>Actinopychus senarius</i>				1																																				
<i>Amphora</i> spp.				1																																				
<i>Asterionellopsis glacialis</i>																																								
<i>Asteroplanus karianus</i>																																								
<i>Aulacoseira</i> sp.																																								
<i>Bacillaria paxillifer</i>						16																																		
<i>Biddulphia biddulphia</i>																																								8
<i>Biddulphia</i> sp.																																								
<i>Chaetoceros curvisetus</i>					4																																			2
<i>Chaetoceros costatus</i>					2																																			
<i>Chaetoceros danicus</i>											7																													
<i>Chaetoceros debilis</i>																																								
<i>Chaetoceros socialis</i>																																								
<i>Chaetoceros</i> sp.																																								
<i>Cyclotella striata</i>						1																																		
<i>Cyclotella</i> sp.					2																																			
<i>Cylindrotheca closterium</i>	1	1	2	1	10	4																																		
<i>Cymbella</i> sp.											2																													
<i>Diploneis</i> sp.																																								
<i>Diploneis splendida</i>																																								
<i>Eucampia zodiacus</i>																																								
<i>Epithemis cf. reicheltii</i>																																								
<i>Grannatophora</i> sp.						2																																		
<i>Günardia flaccida</i>					2																																			
<i>Gyrodinium fasciola</i>					1																																			
<i>Gyrodinium</i> sp.																																								
<i>Leptocylindrus danicus</i>											14																													
<i>Mangueira</i> sp.																																								
<i>Navicula</i> spp.	1				2																																			

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<i>Nitzschia longissima</i>				1									2	2															
<i>Nitzschia sigma</i>	1			1									2																	
<i>Nitzschia sigmoidea</i>																														
<i>Nitzschia</i> spp.				1			3												7											
<i>Paralia sulcata</i>				15	45					7	35		4	35	58	33	49													
<i>Pleurosigma angulatum</i>																														
<i>Pleurosigma elongatum</i>						1																								
<i>Pleurosigma</i> sp.												3																		
<i>Podosira stelligera</i>																														
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex																														
<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>																														
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>																														
<i>Rhizosolenia setigera</i>																														
<i>Rhizosolenia setigera</i>						2																								
<i>Skeletonema</i> spp.																														
<i>Synedra</i> sp.																														
<i>Susurillera</i> sp.																														
<i>Thalassionema nitzschioides</i>																														
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>curviseriata</i>																														
<i>Thalassiosira delicatula</i>																														
<i>Thalassiosira eccentrica</i>																														
<i>Thalassiosira punctigera</i>																														
<i>Thalassiosira rotula</i>																														
<i>Thalassiosira oestrupii</i>																														
<i>Thalassiosira</i> spp.																														
<b>DINOPHYCEAE</b>																														
<i>Alexandrium</i> sp.																														
<i>Cochlodinium catenatum</i>																														
<i>Gymnodinium aureolum</i>																														
<i>Gymnodinium</i> spp.																														
<i>Gyrodinium spirale</i>																														
<i>Gyrodinium</i> spp.																														
<i>Heterocapsa rotundata</i>																														

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<i>Heterocapsa</i> sp.							2						4	2	3	2			4	7					2				
<i>Karlodinium veneficum</i>													2	2	2				2	7	14		10	6	2	4				
<i>Karenia brevis</i>													4						7											
<i>Prorocentrum triestinum</i>													2						18	22										
<i>Prorocentrum</i> sp.													3						9						6					
<i>Scrpella trochoidea</i>																			31	44	10	18	6		7	11	15	3	8	8
Centric form																														
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																														
<i>Actinastrum</i> sp.						3					15																			
<i>Coelastrum astroideum</i>											78																			
<i>Eudorina</i> sp.																			9											
<i>Lobocystis planctonica</i>																														
<i>Monoraphidium contortum</i>																														
<i>Scenedesmus ecoris</i>								5	3										4											
<i>Scenedesmus armatus</i> var. <i>spinosus</i>																														
<i>Scenedesmus maximus</i>								13																						
<b>RHAPHYDOPHYCEAE</b>																														
<i>Chattonella</i> sp.																			4	7										
<i>Heterosigma akashiwo</i>																			4	182	57	40	19	17	13	15	17	20	14	21
<b>EUGLENOPHYTA</b>																														
<i>Euglena</i> spp.						1		2											43	58	61	36	13	15	11	13	5	5	8	12
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>																														
<i>Cryptophyta</i> spp.	6	16	12	3	10								3	7	45	67	120	91	100	89	44	80	67	75	109	133	66	144	67	
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>																														
<i>Dictyocha fibura</i>						1													2											
<i>Octactis octonaria</i>																														
<b>Total</b>	8	25	22	59	148	89	68	71	97	231	192	377	217	256	269	156	221	473	910	473	634	325	210	155	187	252	152	308	155	

Appendices 1-8. Cell counts of phytoplankton species observed within surface waters of the five ports, Incheon, Pyeongtaek, Daesan, Gunsan, and Mokpo in December, 2011

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>																													
<i>Achnanthes</i> sp.																														
<i>Actinocyclus octonarius</i>																														
<i>Actinopychus senarius</i>																														
<i>Amphora dilatata</i>																														
<i>Amphora</i> spp.																														
<i>Asterionellopsis glacialis</i>																														
<i>Asteroplanus karianus</i>																														
<i>Aulacoseira</i> sp.																														
<i>Auliscus caelatus</i>																														
<i>Bacillaria paxillifer</i>																														
<i>Chaetoceros danicus</i>																														
<i>Chaetoceros debilis</i>																														
<i>Chaetoceros decipiens</i>																														
<i>Chaetoceros didymus</i>																														
<i>Chaetoceros furcellatus</i>																														
<i>Chaetoceros socialis</i>																														
<i>Chaetoceros</i> sp.																														
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>																														
<i>Coscinodiscus radiatus</i>																														
<i>Coscinodiscus</i> sp.																														
<i>Cyclotella striata</i>																														
<i>Cyclotella</i> sp.																														
<i>Cylindrotheca closterium</i>																														
<i>Cymbella</i> sp.																														
<i>Diploneis</i> sp.																														
<i>Ditylum brightwellii</i>																														
<i>Guinardia delicatula</i>																														
<i>Guinardia flaccida</i>																														
<i>Gyrosigma fasciola</i>																														
<i>Gyrosigma baticum</i>																														
<i>Gyrosigma</i> sp.																														

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
	<i>Leptocylindrus danicus</i>							6												83	93															
<i>Manguinea</i> sp.												4												16												1
<i>Melosira juergensi</i>						3													113																	
<i>Navicula</i> spp.	2	1			3		1	1	1	4	14	9	5	9	19	7	8	8							9	16	9	9	9	9	3	11	7	7	7	9
<i>Nitzschia longissima</i>	1																														1					
<i>Nitzschia sigma</i>	1	2			1																				5											
<i>Nitzschia sigmaidea</i>																																				
<i>Nitzschia</i> spp.	1						6						5	15											12	11					1					3
<i>Odontella longicirrus</i>																																				
<i>Paralia sulcata</i>	13	34	4	62	11		66	29	24	47	9	103	68	47	91	91	103	25	112	84	92	23		15	9	39	37			15	9	39	37		9	
<i>Planktoniella sol</i>							2						2																							
<i>Pleurosigma angulatum</i>																																				
<i>Pleurosigma elongatum</i>																																				
<i>Pleurosigma normanii</i>						1	1	1	1																											
<i>Pleurosigma</i> sp.																																				
<i>Podosira stelligera</i>							2	2	2																											
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> complex																																				
<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>												4																								
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>							4																													
<i>Rhizosolenia imbricata</i>																																				
<i>Rhizosolenia setigera</i>	1	1																																		
<i>Skeletonema</i> spp.	13	5	17	54	61	57	77	43	31	50	67	110	5	10	26	19	55	106	128	51	21	39	5	7	11	15	37	3	25	7	11	15	37	3	25	
<i>Synedra ulna</i>																																				
<i>Thalassionema nitzschioides</i>												2																								
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>																																				
<i>Thalassiosira</i> cf. <i>curviseriata</i>																																				
<i>Thalassiosira eccentrica</i>																																				
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>																																				
<i>Thalassiosira punctigera</i>	1						5						2																							
<i>Thalassiosira rotula</i>																																				
<i>Thalassiosira</i> spp.																																				
<b>DINOPHYCEAE</b>																																				

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo																
	1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3		1		2		3		4		5		6						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6					
<i>Alexandrium tamarense</i>																																									
<i>Cochlodinium catenatum</i>																																									
<i>Gymnodinium aureolum</i>																																									
<i>Gymnodinium</i> spp.																																									
<i>Gyrodinium spirale</i>																																									
<i>Gyrodinium</i> spp.																																									
<i>Heterocapsa triquetra</i>																																									
<i>Heterocapsa rotundata</i>																																									
<i>Heterocapsa</i> sp.																																									
<i>Karlodinium veneficum</i>																																									
<i>Karenia brevis</i>																																									
<i>Karenia mikimotoi</i>																																									
<i>Prorocentrum</i> sp.																																									
<i>Protoperidinium bipes</i>																																									
<i>Protoperidinium</i> sp.																																									
<i>Serpicilla trochoidea</i>																																									
<i>Serpicilla</i> sp.																																									
Centric form																																									
<b>CHLOROPHYCEAE</b>																																									
<i>Actinastrum</i> sp.																																									
<i>Cosmarium</i> sp.																																									
<i>Euterecomorus globosus</i>																																									
<i>Scenedesmus maximus</i>																																									
<b>RHAPHYDOPHYCEAE</b>																																									
<i>Chattonella</i> sp.																																									
<i>Heterosigma akashiwo</i>																																									
<b>EUGLENOPHYTA</b>																																									
<i>Euglena</i> spp.																																									
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>																																									
<i>Cryptophyta</i> spp.																																									
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>																																									
<i>Dietyocha fibura</i>																																									

- continued

Phylum/ St.	Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
CYANOBACTERIA CEAE																														
<i>Anabaena</i> sp.																														
<b>Total</b>	41	71	39	139	102	94	156	96	106	194	308	320	262	224	264	259	367	1132	834	576	442	360	154	81	131	245	218	226	202	

Appendices 2-1. Zooplankton species observed within the major ports Korea in August, 2011.

Species	Staton						Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Noctiluca scintillans</i>					+																															
Unidentified trachymedusae	+	+		+	+	+																														
Unidentified ostracods				+																																
<i>Evadne tergestina</i>																																				
<i>Acartia hudsonica</i>																																				
<i>Acartia hongii</i>																																				
<i>Acartia copepodites</i>																																				
<i>Acartia sinjiensis</i>																																				
<i>Acartia ohsumkai</i>																																				
<i>Acartia pacifica</i>																																				
<i>Calanus sinicus</i>																																				
<i>Calanus copepodites</i>																																				
<i>Sinocalanus tenellus</i>																																				
<i>Centropages dorsispinatus</i>																																				
<i>Centropages tenuiremis</i>																																				
<i>Centropages copepodites</i>																																				
<i>Calanopia thompsoni</i>																																				
<i>Labidocera rotunda</i>																																				
<i>Labidocera copepodites</i>																																				
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.																																				
<i>Pavocalanus crassirostris</i>																																				
<i>Bestiolina coreana</i>																																				



- continued

Species	Staton						Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>			+		+	+						+			+																					
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>																																				
<i>Pseudodiaptomus copepodites</i>			+									+																								
<i>Temora discaudata</i>																																				
<i>Tortanus forcipatus</i>	+	+		+	+							+																								
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	+			+	+	+						+																								
<i>Tortanus copepodites</i>			+		+	+						+																								
<i>Corycaeus affinis</i>					+	+						+																								
<i>Oithona similis</i>			+			+						+																								
<i>Oncaea</i> sp.							+																													
Unidentified harpacticoids												+																								
<i>Sagitta crassa</i>	+		+		+	+						+																								
<i>Okopleura dioica</i>					+	+						+																								
Cirriped larvae	+			+								+																								
Bivalve larvae		+		+	+	+						+																								
Decapod larvae	+			+	+	+						+																								
Gastropod larvae				+	+	+						+																								
Ophiopluteus larvae				+	+	+						+																								
Polychaeta larvae			+									+																								
Fish egg												+																								
Freshwater cladocera												+																								
Freshwater copepoda												+																								

Appendices 2-1. Zooplankton species observed within the major ports Korea in August, 2011.

Species	Staton						Incheon						Pyeongtaek						Daesan						Gunsan						Mokpo					
	1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6		1		2		3		4		5		6	
<i>Noctiluca scintillans</i>																																				
Unidentified trachymedusae																																				
Unidentified ostracods																																				
<i>Evadne tergestina</i>																																				
<i>Acartia hudsonica</i>																																				
<i>Acartia hongii</i>																																				
<i>Acartia copepodites</i>																																				
<i>Acartia sinjiensis</i>																																				
<i>Acartia ohshukai</i>																																				
<i>Acartia pacifica</i>																																				
<i>Calanus sinicus</i>																																				
<i>Calanus copepodites</i>																																				
<i>Sinocalanus tenellus</i>																																				
<i>Centropages davisipinnatus</i>																																				
<i>Centropages teniremis</i>																																				
<i>Centropages copepodites</i>																																				
<i>Calanopia thompsoni</i>																																				
<i>Labidocera rotunda</i>																																				
<i>Labidocera copepodites</i>																																				
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.																																				
<i>Pavocalanus crassirostris</i>																																				
<i>Besetolus coreana</i>																																				
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>																																				
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>																																				
<i>Pseudodiaptomus copepodites</i>																																				
<i>Temora discaudata</i>																																				
<i>Tortanus forcipatus</i>																																				
<i>Tortanus spinicaudatus</i>																																				
<i>Tortanus copepodites</i>																																				
<i>Corycaeus affinis</i>																																				
<i>Oithona similis</i>																																				
<i>Oithona sp.</i>																																				
Unidentified harpacticoids																																				
<i>Sagitta crassa</i>																																				
<i>Okapia doroica</i>																																				
Cirriped larvae																																				
Bivalve larvae																																				
Decapod larvae																																				
Gastropod larvae																																				
Ophiopluteus larvae																																				
Polychaeta larvae																																				
Fish eggs																																				
Freshwater cladocera																																				
Freshwater copepoda																																				

Appendices 2-2. Zooplankton species observed within the major ports Korea in December, 2011.

Species	Station						Incheon						Pyongyang						Daesan						Gunsan						Mokpo											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
<i>Noctiluca scintillans</i>	+																																									
Unidentified siphonophora																																										
Unidentified ostracods																																										
<i>Acartia hongii</i>																																										
<i>Acartia copepodites</i>																																										
<i>Calanus sinicus</i>																																										
<i>Calanus copepodites</i>																																										
<i>Centropages abdominalis</i>																																										
<i>Centropages copepoditeis</i>																																										
<i>Labidocera euhaeta</i>																																										
<i>Labidocera copepodites</i>																																										
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.																																										
<i>Pavocalanus crassirostris</i>																																										
<i>Besetina coreana</i>																																										
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>																																										
<i>Corycaeus affinis</i>																																										
<i>Oithona similis</i>																																										
Unidentified harpacticoids																																										
<i>Sagitta crassa</i>																																										
<i>Okkopleura dioica</i>																																										
Cirriped larvae																																										
Bivalve larvae																																										
Decapod larvae																																										
Gastropod larvae																																										
Polychaeta larvae																																										

Appendices 3–1. List of benthic invertebrates occurred in pier wall and collector plates of ports, 2011.

Invertebrate Taxa / species	Pier Wall		Collector Plate		
	07	11	1st	2nd	2010
<b>Phylum Porifera</b>					
<i>Halichondria panicea</i>	○				
<i>Halichondria bowerbanki</i>	○	○			
<i>Halichondria</i> sp.1	○	○			
<i>Hymeniacion sinapium</i>	○	○			
<i>Haliclona</i> sp.	○	○			
Demospongia sp. 1	○				
Demospongia sp. 2		○			
<b>Phylum Cnidaria</b>					
<i>Bougainvillia ramosa</i>	○				○
<i>Tubularia mesembryanthemum</i>	○				○
<i>Eudendrium</i> sp.	○	○			
<i>Sertularella miurensis</i>	○				
<i>Haliplanella lucia</i>	○	○			
<i>Anthopleura</i> sp.	○	○			
Actiniidae sp.	○	○			
<b>Phylum Bryozoa</b>					
<i>Membranipora</i> sp.	○	○			
<i>Caberea boryi</i>		○			
<i>Bugula californica</i>					○
<i>Tricellaria occidentalis</i>		○	○		○
<i>Watersipora subtorquata</i>	○				○
<i>Schizoporella unicornis</i>	○				○
<i>Codonellina montferrandii</i>		○			
Phidoloporidae sp.	○				
<b>Phylum Mollusca</b>					
<i>Lepidozona coreanica</i>	○	○			
<i>Mopalia schrencki</i>	○	○			
<i>Tugali decussata</i>	○				
<i>Tristichotrochus multiliratum</i>	○	○			
<i>Omphalius rusticus</i>	○	○			
<i>Sulcerato callosa</i>					○
<i>Rapana venosa</i>	○	○			○
<i>Reishia clavigera</i>	○	○			
<i>Mitrella bicincta</i>	○	○			○
<i>Arca boucardi</i>	○	○			
<i>Mytilus galloprovincialis</i>					○
<i>Musculus cupreus</i>	○	○			○
<i>Crassostrea gigas</i>	○	○	○		○
<i>Chlamys irregularis</i>	○	○			
<i>Hiatella orientalis</i>					○
<b>Phylum Annelida</b>					
<i>Eunice</i> sp.	○	○			
<i>Halosydna brevisetosa</i>	○	○			○
<i>Perolepoids stylolepis</i>	○				

– continued

Invertebrate Taxa / species	Pier Wall		Collector Plate		
	07	11	1st	2nd	2010
<i>Harmotheö limbricata</i>	○	○			
<i>Amphitrite</i> sp.	○	○			
Sabellidae sp.	○		○		
<i>Serpula vermicularis</i>	○	○			○
<b>Phylum Arthropoda</b>					
<i>Lepas anatifera</i>	○				
<i>Balanus albicostatus</i>	○	○	○		○
<i>Balanus reticulatus</i>					○
<i>Balanus amphitrite</i>		○			
<i>Balanus kondakovi</i>	○	○			○
<i>Balanus trigonus</i>	○	○			○
<i>Megabalanus rosa</i>			○		○
<i>Pisidia serratifrons</i>	○	○			○
<i>Pugettia intermedia</i>	○	○			○
<i>Pilumnus minutus</i>	○	○			○
<i>Sphaerozius nitidus</i>	○	○			○
<i>Charybdis japonica</i>	○	○			
<i>Charybdis bimaculatus</i>					○
<i>Hemigrapsus pebicillatus</i>	○	○			
<i>Humigrapsus sinensis</i>	○	○			
<i>Pinnotheres cyclinus</i>					○
<b>Phylum Brachiopoda</b>					
<i>Terebratalia</i> sp.	○	○			
<i>Terebratulida</i> sp.	○	○			
<b>Phylum Echinodermata</b>					
<i>Asteriana pectinifera</i>	○	○			
<i>Asterias amurensis</i>	○	○			
<i>Aphelasterias japonica</i>	○	○			
<i>Ophiothrix exigua</i>	○	○			
<i>Temnopleurus hadwickii</i>	○	○			
<b>Phylum Chordata</b>					
<i>Didemnum moseleyi</i>	○				
<i>Didemnum</i> sp.	○	○			○
<i>Botrylloides</i> sp.	○	○		○	○
<i>Ciona intestinalis</i>	○				○
<i>Styela clava</i>		○			○
<i>Styela plivata</i>	○				