

**유비쿼터스 해양 유용/유해 생물 관리 기술개발**

Development of ubiquitous management technologies  
for marine useful/harmful organisms

2013. 2. 28

**한 국 해 양 과 학 기 술 원**



# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “유비쿼터스 해양 유용/유해 생물 관리기술 개발”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2013년 2월 28일

총괄연구책임자 : 김 성(4~5차년도), 이운호(1~3차년도)

참 여 연 구 원 : 강경미, 강돈혁, 강미혜, 강태욱, 강형구, 김고은,  
김 신, 김동성, 김명희, 김미라, 김민석, 김봉채,  
김선영, 김성대, 김수암, 김완수, 김준수, 김지선,  
김진주, 김충곤, 김하나, 김혜리, 노현수, 류태권,  
명정구, 민원기, 박미례, 박서윤, 박수영, 박용주,  
박혁민, 배세진, 백상유, 백상호, 송정민, 신아영,  
신현옥, 안혜령, 오제혁, 오지나, 유옥환, 이건설,  
이광희, 이순길, 이영옥, 이유헌, 이재학, 이창원,  
이택건, 이형곤, 이형빈, 이희갑, 장보미, 장요순,  
정길아, 정다금, 조성호, 조혜경, 최복경, 최상화,  
최은지, 최현우, 최해영, 하비브, 황보규, 황진익

위탁연구기관명 : 한양대학교

위탁연구책임자 : 최지웅

참 여 연 구 원 : 나정열, 김은혜, 최종수, 김대욱, 김정훈, 손수욱,  
김선효, 윤영글

위탁연구기관명 : LIG넥스원

위탁연구책임자 : 도재원

참 여 연 구 원 : 임선호, 박현수

위탁연구기관명 : 전남대학교

위탁연구책임자 : 윤양호

참 여 연 구 원 : 박종식, 노일현, 김동영, 지형석, 안영규, 김승현

위탁연구기관명 : 한양대학교

위탁연구책임자 : 이찬길

참 여 연 구 원 : 배상언, 전구양, 이철현, 임규혁

위탁연구기관명 : (주) 지노책

위탁연구책임자 : 황승용

참 여 연 구 원 : 정진욱, 정인혁, 김지훈, 김예림, 노미영



## 보고서 초록

과제관리번호	PE98753	해당단계 연구기간	2008.1.1-2012.12.31	단계 구분	1단계 5년
연구사업명	일반연구사업				
연구과제명	유비쿼터스 해양 유용/유해 생물 관리기술 개발				
연구책임자	김 성	해당단계 참여연구원수	총 : 98명 내부 : 24명 외부 : 74명	해당단계 연구비	계 : 5,184,988천원 정부: 5,184,988천원 기업: 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양생태계연구부	참여기업명			
국제공동연구	상대국명 : 상대국연구기관명 :				
위탁연구	연구기관명 : 한양대학교, LIG넥스원, 전남대학교, 한양대학교, (주)지노텍 연구책임자 : 최지웅, 도재원, 윤양호, 이찬길, 황승용				
요약				보고서 면수	377
<p>■ 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별 기술 개발 및 현장 적용과 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한국해역에 서식하는 주요 해양생물 1050종의 DNA바코드를 확보(어류 317종, 연체동물 210종, 절지동물 147종, 극피동물 373).</li> <li>- 적조발생의 원인이 되는 미세조류 및 해파리 종목록을 작성 후 적조의 원인이 되는 식물플랑크톤 27종을 배양 유지하고, COI 염기서열을 분석.</li> <li>- 주요 간극생물 중 선충류 40종, 저서성 요각류 5종의 18S rDNA 바코드 확보.</li> <li>- 분자마커를 활용한 760여종의 종판별용 종 특이적 프로브/프라이머를 설계 및 21종은 Realtime PCR을 통해 종판별 프로브/프라이머의 정확성 검증.</li> <li>- 해양주요 생물 종판별을 위한 DNA칩(어류 45종, 무척추생물 41종, 해양 미세조류 36종, 해파리 8종)의 종 특이적 프로브 제작 및 성능 평가.</li> <li>- 차세대 유전자분석 기술을 적용하여 각 해역의 어란, 무척추동물 유생, 동물플랑크톤의 종조성 분석.</li> <li>- 어류의 산란기와 자치어의 총 출현량 자료를 확보 및 어란을 이용한 산란장 탐지에 이용될 DNA칩 제작을 위해 미토콘드리아 DNA 16S와 CO1 유전자 염기서열 분석.</li> <li>- 생물다양성 연구에 매우 중요한 해양 간극생물의 e-boucher 확보 및 슬라이드 표본 제작.</li> <li>- 현장분석용 DNA칩 분석시스템 장비 제작에 필요한 각 컴포넌트 기기들의 장단점을 분석하고, 가상의 장비 모형을 제시.</li> </ul> <p>■ 유해생물 음향탐지 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 초음파의 후방 산란특성 이론을 기반으로 적조 피해 유발 종인 <i>Cochlodinium polykrikoides</i>의 탐지를 위한 통합 음향시스템 개발. 시스템은 실시간 적조생물 탐지를 위한 음향 탐지부와 제어 및 운용을 위한 원격 제어부로 구성. 유선/무선네트워크를 통해 육상 기지국으로 음향자료를 실시간 전송. 또한 원격 운용과 현장 운용이 가능한 형태로 개발하여 부이를 이용한 장기 관측 및 선박을 이용한 공간 분포의 파악이 가능한 형태로 구성.</li> <li>- 제작된 적조 음향탐지시스템은 실험실 및 실험해역 조건에서 반복적인 성능 평가를 통해 안정성 및 실효성을 검증. 본 연구를 통해서 남해안 적조 발생을 실시간으로 탐지할 수 있는 성능 및 현장 운용 가능성 제시.</li> </ul> <p>■ 유용/유해 생물 유비쿼터스 정보서비스시스템 구축 및 국제 네트워크화</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 총 208개 참고문헌을 조사 하여 총 69,319건의 출현정보를 발굴, 수집하였으며 수집 자료를 분석하여 DB를 설계. 이를 근거로 Oracle 11g 기반의 DB를 구축하고 웹상으로 정보를 제공할 수 있는 시스템을 구축.</li> <li>- 기 수집·정리된 자료를 기반으로 종별, 공간별, 시·공간적 분포패턴을 정량화하고 분석패턴을 통계 처리하여 GIS 기반의 출현정보 비교/분석 기능을 구현하였으며 과거 수온/염분자료를 통계 처리하여 해양물리 환경정보 DB를 구축.</li> <li>- 무선통신환경에서 스마트폰을 통해 해양생물지리정보 및 통계처리정보를 검색, 참조할 수 있는 모바일 웹사이트와 모바일 앱 개발. 현장정보입력기능 구현을 통해 음향탐지분석정보를 실시간으로 수집하여 제공하는 유비쿼터스 정보서비스 구현.</li> <li>- 국제 OBIS에 연계하기 위해, 기 구축한 DB에서 활용 가능한 자료를 추출하였으며, OBIS용 국내 DB 설계하고 자료를 이용하여 MS Jet Engine 기반의 DB를 구축하여 약 3,100 건의 KOBIS DB의 자료를 국제 OBIS 포털을 통해 검색 가능하도록 함. 국제 OBIS의 지역노드(Regional OBIS Node)인 KOBIS의 웹사이트(<a href="http://kobis.kiost.ac">http://kobis.kiost.ac</a>)를 구축.</li> </ul>					
색인어	한글	유용/유해생물, 분자마커, 차세대유전자분석, DNA 칩, 현장분석기기, 유해적조생물, FISH방법, 음향탐지 시스템, 생물지리 정보시스템			
	영어	useful/harmful organism, molecular marker, NGS, DNA chip, portable analysis system, FISH method, Realtime-PCR, harmful algal blooms, real-time acoustic detection system, biogeographic information system			



# 요 약 문

## I. 제 목

유비쿼터스 해양 유용/유해 생물 관리기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 필요성

- 해양생태계 그 자체는 지속적 이용 가능한 자원으로 신 가치 창출을 위한 원천 재료이다. 유용/유해 생물의 효율적 관리는 해양생태계의 부가 가치를 더욱 상승시킬 수 있다. 이를 위해서는 해양의 현장에서 실시간에 근접한 빠른 속도로 생물의 양을 측정하고 분석할 수 있는 생명공학기술(BT)과 해양과학기술(MT)의 융합, 실험실에서 대량의 표본 분석을 위한 분석 기술의 표준화를 위한 생명공학기술(BT)과 정보통신기술(ICT)의 융합, 생태자료의 체계적인 분석과 관리를 위한 정보통신기술(ICT)의 적극적인 도입이 필요하다. 뿐만 아니라 실물표본은행이나 유전자은행구축은 생물다양성 연구의 주도적인 위치를 선점 할 수 있고 국제적 위상도 높일 수 있다.
- 해양생태계 연구에 다양한 종류의 BT기술을 적용할 수 있다. 적용 가능한 대표적인 기술에는 분자마커를 이용한 DNA칩, 현장 종판별에 이용 가능한 FISH방법과 real-time PCR, 대량의 표본 분석이 가능한 차세대 유전자 분석기술(NGS) 등이 있다. 이러한 분자마커 기반의 다양한 분석기술은 형태형질을 활용한 생물종 분석의 많은 문제점들을 극복하거나 보완할 수 있다. 예를 들어 형태형질로 분석이 어려운 어류와 무척추 동물의 알도 분자마커 기술로 종 수준으로 분석은 물론 종 분석의 병목 현상도 해결이 가능하다. 이러한 종 분석 정보는 산란시기와 산란장 분석은 물론 효율적인 생물자원의 관리에 필요한 핵심 자료이다.
- MT와 ICT 기술이 융합된 수중음향기술은 해양생물의 양과 분포를 실시간으로 측정이 가능하다. 해양생물 중에서 수중음향 특성이 가장 잘 연구된 생물군은 어류이다. 하지만 경제적 손실을 일으키는 적조와 같은 유해생물도 수중음향 특성에 대한 연구가 필요하다.
- ICT 기술로 축적된 해양생태와 유전자 정보는 다양하게 분석되고 유무선 네트워크를 통해 널리 공급되고 있다. 생물지리정보와 생명정보 DB가 전형적인 연구사례 일 것이다.
- 현재 다양한 종류의 MT-BT-ICT 기술이 개발되어 있지만 이들 기술을 해양의 유용/유해 생물 관리의 현장에서 바로 활용하기는 어렵다. 해양의 유용/유해 생물의 관리에 적용하기 위해서는 분석 방법의 보완과 개발은 물론, reference 자료의 확보와 다양한 기술의 융합을 통한 분석 방법의 최적화가 필요하기 때문이다.

## 2. 연구개발의 목적

- 해양생물의 종별 산란시기 분석을 위한 난자치어 및 무척추동물 유생의 종조성 분석과 대량의 혼합 해양시료의 종 분석 기술의 적용
- DNA 바코딩 기술 기반 COI 유전자를 이용한 적조유발 미세조류 및 해파리 종 동정 검출 기법의 개발
- 종 다양성이 매우 높은 간극생물의 형태적 종 구별이 어려운 단점을 DNA 분석을 통하여 종 판별 기술을 개발하고자 함.
- 재해 유발 생물의 음향 특성 파악 및 음향탐지 시스템 설계를 통해 음향탐지시스템을 제작하고 이를 실해역에 적용하여 해양에 분포하는 유해 생물의 연속적, 실시간 변동 조사 기술 개발.
- 해양유해생물을 조기에 실시간으로 탐지할 수 있는 유비쿼터스 무선센서네트워크를 개발하여 자연 재해로부터 수산자원 및 국가 기간시설을 보호하고, 어민 삶의 질의 향상을 도모.
- 유용/유해생물의 유비쿼터스-GIS 기반 정보 분석 시스템 개발 및 서비스 실현

## Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

### 1. 연구기간

2008. 1. 1 ~ 2012. 12. 31

### 2. 연구개발의 내용 및 범위

#### 가. 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별 기술 개발 및 현장 적용과 평가

##### (1) 무척추동물

- 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계
- 연성저질 서식 유용 저서생물의 시료 확보 및 DNA 바코드 분석
- NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석
- 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실해역 시료의 검증 완료
- 무척추동물의 종판별을 위한 DNA chip 개발

## (2) 어류 및 난자치어

- 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계
- 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험역 시료의 검증 완료
- 난자치어 표본 수집 및 종별 산란시기 조사
- 단일 어란의 유전자 증폭 기술 정립
- 대량의 혼합 어란을 분석하기 위한 NGS 기술의 적용
- 어류 종판별을 위한 DNA chip 개발

## (3) 미세조류 및 해파리

- 해파리의 종판별을 위한 DNA chip 개발
  - 해파리에 대한 COI 유전자 검색 및 확보
  - COI 유전자를 이용하여 프로브를 선별하고 DNA chip을 개발함
- 미세조류 종판별을 위한 DNA chip 개발
  - 미세조류에 대한 COI 유전자 검색 및 확보
  - COI 유전자를 이용하여 프로브를 선별하고 DNA chip을 개발함
- PCR 기법을 이용한 미세조류 종판별 기술 개발 및 현장 적용
  - 통영 바다목장 연안의 미세조류를 채집
  - SEM을 통한 미세조류의 종 분류 수행 및 바코드 분석
  - 미세조류에 대한 종 특이적 프라이머 제작 과 현장샘플로 종판별 검증을 수행하려함
- FISH method에 의한 미세조류 종판별 기술 자동화 기반연구
  - FISH method를 기반으로 한 미세조류 종판별 자동화 기술 검토
  - 종 특이적 probe의 디자인 및 적용가능성 검토를 통한 기반 연구결과 확보

## 나. 유해생물 음향탐지 분야

- 재해유발생물(적조, 해파리)의 음향 특성 파악
- 재해유해생물 탐지를 위한 통합 음향탐지시스템 설계 및 제작
  - 음향탐지시스템 설계
  - 음향탐지시스템 시험 제작 및 현장테스트
  - 음향자료 전송용 네트워크 접속장치 설계 및 제작
- 실시간 음향탐지시스템 운용 및 관리 시스템의 실험역 적용 및 평가
  - 제작한 음향탐지시스템 성능평가

- 제작한 음향자료 전송 네트워크 성능평가
- 유해생물 실시간 음향탐지시스템 구축과 실험역 운영
- 부이형/선박탐재형 음향탐지시스템 실험역 운영을 통한 안정성 평가
- 음향자료와 환경자료와의 비교를 통한 효용성 평가
- 실시간 모니터링 자료전송 네트워크 운영

## 다. 유용/유해 생물 유비쿼터스 정보서비스시스템 구축 및 국제 네트워크화

- 문헌조사를 통한 주요 유용/유해생물 지리정보 발굴, DB 설계 및 구축
- 종별, 시·공간별 GIS 기반의 출현정보 비교/분석 기능 구현 및 해양물리 환경정보 DB를 구축
- 주요 유용/유해 생물 지리정보 유무선 웹서비스 시스템 구축 및 모바일 앱 개발
- 현장정보입력기능 및 음향탐지분석정보 실시간 수집/제공 서비스 구현
- 국제 생물다양성 정보기구(GBIF) 및 OBIS 연계 및 콘소시엄 참여를 통한 국제 네트워크 활성화

## IV. 연구개발 결과

### 1. 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별 기술 개발 및 현장 적용과 평가

#### 가. 무척추동물

- 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data로 총 730종에 대한 분자마커 정보를 확보하였으며 이 자료를 기반으로 500여종의 종 특이적인 프로브/프라이머 세트 설계하였음.
- NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석하여 통영에서는 민꽃게, 요각류 등을 포함하는 절지동물 23종, 염주발갯지렁이를 포함하는 환형동물 1종, 이끼벌레류 2종, 연체동물 4종, 극피동물 2종 해파리 및 바다술통불이 외에 멸치, 놀래기 등을 포함한 어류 6종 등 총 42종이상의 다양한 생물이 서식하는 것을 확인하였음. 이어도에서는 환형동물 1종, 절지동물 4종, 연체동물 1종, 자포동물 1종, 모악동물문 1종 외에 , 어류 3종, 규조류 및 프로테오박테리아등 총 26종이상이 서식하고 있음을 확인하였으며 가거초에서 채집한 시료에는 다모류 6종, 절지동물 2종, 모악동물 1종으로 총 9종이 출현함을 확인하였음.
- 종특이적 프로브 및 프라이머를 제작하여 실험역 시료에 적용하여 총 11종에 대한 종판별 검증을 완료하였음.
- 남/서해안의 연성저질에 서식하는 주요 유용성 무척추동물 86종 선정 및 확보함. 대형무척추동물

의 먹이생물로 이용되고, 종 다양성이 매우 높아 생물다양성 연구에 중요한 생물인 간극생물의 시료 확보 및 18S rDNA 기반 유전자 분석을 하여 DNA 바코드화를 통한 DB를 구축함.

- 통영, 이어도, 가거초, 제주도 등에서 채집한 현장시료의 대용량유전자분석기술(NGS) 분석결과와 종 특이적인 프로브/프라이머를 이용한 종판별로 상호검증을 하였음
- 무척추동물 41종의 종판별 DNA칩을 개발하여 종특이적 프로브를 제작완료하고 평가를 수행함.

## 나. 어류 및 난자치어

- 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보(317종) 및 프로브/프라이머 세트 설계(230종) 하였으며 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증을 완료 (10종)
- NGS sequencing으로 대량의 혼합시료 종조성 분석하여 통영에서는 멸치, 놀래기 등을 포함한 어류 6종, 이어도에서는 어류 3종의 출현을 확인하였으며 가거초에서는 출현 어종을 확인하지 못하였음.
- 형태형질을 이용하여 분석한 어란은 멸치 한 종, 자치어는 30 종 이상으로 주 출현시기는 6월이었고, 어란과 자치어 모두 멸치가 우점하였음. 멸치를 비롯한 주둥치 등 주요 어종의 산란패턴은 2008년에는 한 번, 2009년에는 두 번으로 이는 1주 또는 2주 간격의 수집 간격의 차이 때문임.
- 대량 혼합 어란의 종조성 분석을 위해 표본수(어란) 300개 이상의 유전자를 추출하여 정점당 염기서열이 300개 이상이 나오도록 pyrosequencing 조건을 조절하는 것이 좋음. 이미 구성을 알고 있는 혼합 어란의 NGS 결과를 비교분석하여 소량의 어종도 탐지 할 수 있음을 검증한 것임. NGS 결과 어란은 18개 분류군이 동정되었다. 어란의 종동정으로 같은 해역을 산란장으로 사용하는 어종들의 산란시기가 차이가 있었고, 종에 따라 산란장을 넓게 또는 좁게 사용함을 밝힘.
- 휴대용 DNA추출 장비를 개발하여 현장에서 적용하였으며 활용성을 검증하였음.
- 어류 45종의 종판별 DNA칩을 개발하여 종특이적 프로브를 제작완료하고 평가를 수행함.

## 다. 미세조류 및 해파리

- 한국 연안에서 채집된 6종의 해파리와 25종의 미세조류 DNA 바코드 분석하여 각 종에 해당하는 종판별 프로브를 개발하였으며, DNA 칩 분석을 통해 종 조성 확인 실험 완료 하였음.
- Species-specific primer를 활용한 미세조류 종판별 기술을 개발하여 현장 적용을 진행하였으며 통영 연안에서 17종의 미세조류를 채집하여 SEM을 통한 미세조류의 종 분류 수행 및 바코드 분석하고 17종의 미세조류에 대한 종 특이적 프라이머 제작하여 10개월간의 현장샘플로 종판별 검증하였음.
- FISH method를 기반으로 하여 *Heterocapsa circularisquama* 의 종 동정 실험 수행하여 미세조류 종판별 자동화 기술을 확립하고 시도하였음.

## 2. 유해 생물 탐지 음향시스템 구축과 운용 기술

- 해파리의 음향 반사강도를 측정하기 위한 실험은 2008-2009년에 남해 연안에서 채집된 보름달물 해파리(*Aurelia aurita*), 유령해파리(*Cyanea nozakii*) 및 커튼원양해파리(*Dactylometra quinquecirrha*), 노무라입깃해파리(*Nemopilema nomurai*)를 대상으로 실시함. 해파리의 음향특성 분석 결과, 어류와 동물 플랑크톤과 구분되는 음향특성을 보여 해파리의 음향 탐지를 가능성을 확인.
- 2008-2009년 우리나라 주요 유해 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* (식물 플랑크톤, 편모조류)의 음향학적 산란특성 파악 및 적조 생물의 밀도와 후방 산란신호와의 상관관계를 실험실 내의 안정된 환경 하에서 확인.
- 초음파를 이용한 유해적조 음향탐지시스템을 자체적으로 개발. 실시간 음향 탐지를 위한 하드웨어 부분의 탐지부(detection part)와 신호의 전송과 제어를 위한 소프트웨어 부분인 원격 제어부(remote control & monitoring part)로 구성. 통합 시스템은 원격 운용과 현장 운용이 가능한 형태로 개발되었으며, 부이를 이용한 장기 관측 및 선박을 이용한 이동형 관측이 가능한 구조로 구성.
- 개발된 음향탐지시스템을 2010-2012년 실해역에서 운용을 통한 안정성 평가 및 검증. 무적조인 정상 상태의 음향 기준 조건, 적조 발생의 진행 조건(적조주의보), 대규모 적조 발생의 비정상 조건(적조 경보)에서 탐지한 음향 자료는 채수, 목시 관측, 선박 예찰 결과와 높은 상관성을 보여 적조 탐지가 가능함을 보임.
- 적조 발생을 실시간으로 탐지할 수 있는 성능 및 현장 운용 가능성을 제시. 음향탐지 시스템 개발은 국내 음향탐지 시스템 개발의 노하우 축적과 개발된 시스템 성능 향상을 통한 남해안 유해적조 탐지 체계 구축으로 활용이 가능할 것으로 판단.

## 3. 유용/유해 생물 유비쿼터스 정보서비스시스템 구축 및 국제 네트워크화

### 가. 유비쿼터스 정보서비스시스템 구축

- 한국해양학회지, 한국수산학회지, Ocean and Polar Research, 각 종 보고서 등, 총 208개 참고 문헌을 조사 하여 총 69,319건의 출현정보를 발굴, 수집
- 수집 자료를 분석하여 종 목록정보 및 분류체계정보, 종 상세정보 등을 연계한 DataBase를 설계하고 이를 근거로 Oracle 11g 기반의 DataBase를 구축하였음
- 기 수집, 정리된 자료를 기반으로 종별, 공간별 시,공간적 분포패턴을 통계 처리하여 GIS 기반의 출현정보 비교/분석 기능을 구현하였으며 과거 수온/염분자료를 통계 처리하여 해양물리 환경정보 DB를 구축하였음.

- 유비쿼터스 통신환경에서의 정보서비스를 구현하기 위하여 해양생물지리정보 및 통계처리정보를 검색, 참조할 수 있는 유/무선 웹사이트와 스마트폰과 태블릿 PC에서 활용할 수 있는 모바일 앱을 개발하였음.
- 현장에서 실험결과 판별된 생물의 종 정보 및 관련 정보를 조회하고 입력할 수 있는 현장정보 검색/입력기능을 개발하고 현장에서 관측된 음향탐지분석정보를 실시간으로 수집, DB에 저장하여 서비스하는 시스템을 구축하였음.

#### 나. 국제 네트워크화 : 국제 해양생물지리정보시스템(OBIS) 연계

- 구축한 DB를 OBIS DB와 연결하기 위하여 GBIF의 DiGIR SW package를 설치하였으며, DB간의 구체적인 연계방법을 정의하는 Resource와 Provider 정보를 XML로 작성하여 연계된 KOBIS DB의 자료를 국제 OBIS 포털을 통해 검색할 수 있도록 하였음.
- 국제 OBIS의 지역노드 (Regional OBIS Node)인 KOBIS의 웹사이트(<http://kobis.kordi.re.kr>)를 구축하였으며, KOBIS 소개, OBIS 소개, KOBIS DB에 대한 자료검색 기능을 포함하고 있음.

### V. 연구개발 결과의 활용 계획

- DNA를 이용하여 대량의 혼합시료를 종동정하는 기술을 확보하여 정확한 어종 파악은 물론, 실시간 모니터링 및 보전을 통한 합리적인 관리시스템 구축에 필수적인 자료를 제공함.
- 어란 및 동물플랑크톤 유생의 출현정보를 토대로 해양생물의 종별 산란시기와 산란장 분석이 가능해짐
- 이 기술을 적용하면 다양한 해양생물의 산란시기 변동을 모니터링할 수 있어 환경변화에 따른 생태계 구조 변동을 파악할 수 있음
- 형태 형질로 동정이 어려운 어란, 유생, 미세조류, 중형저서동물 등의 종 판별이 실시간으로 가능해 짐.
- 종 다양성이 매우 높은 간극생물의 염기서열 확보를 통해 대상해역에 서식하는 간극생물의 생물 다양성 연구에 활용.
- 간극생물의 DNA 바코드화를 통해 대상해역에 서식하는 간극생물의 DNA DB화
- 해양 유해 생물(적조, 해파리)의 음향 특성은 수중 음향을 이용한 수산자원 탐사분야에 기초적인 자료를 제공할 뿐 아니라 관련 연구 분야에 활용.
- 제작 시스템을 활용하여 해양 유해 생물(적조 및 해파리)에 대한 조기 경보 시스템에 이용.
- 유해생물 군집에 대한 후방산란 신호들을 분석하는 시스템을 개발, 선박이나 부이를 통해서 데이터를 수집하면 실시간으로 현장에서 탐지가 가능. 나아가 예측하고 예보하는 것도 가능함.

- 개발한 통합 시스템은 향후 장기 운용 및 축적된 자료를 기반으로 일부 기능 및 성능개선이 필요하나 순수 국내 기술을 이용하여 개발된 시스템이므로 성능 향상 및 운용성에 장점
- 우리나라 연안의 유용/유해생물에 대한 유비쿼터스-GIS기반 정보 DB는 전문가뿐만 아니라 국민의 삶의 질 향상에 직결되는 정보서비스를 제공하게 됨
- 해양생물분야의 국제 정보네트워크 참여를 통해 국가 경쟁력을 높여 국제사회에서 우리나라 해양 생물자원에 대한 주권 확보할 수 있음

# SUMMARY

## I . Title

Development of ubiquitous management technologies for marine useful/harmful organisms

## II . Necessarys and Objectives of the Study

### 1. Necessarys the study

- Marine ecosystems itself is continuously available resources and source materials for the creation of new value. The marine useful/harmful organisms can be increased even more added value by the effective management. For the effective management of marine useful/harmful organisms various fusion technologies are to be introduced into on the study of marine ecosystem such as the high speed species identification in the field survey with BT (bio technology) and MT (marine technology), the massive sample analysis in the laboratory based on the BT, the systematic analysis of the ecological information using ICT (Information and communication technology). Constructing the gene banks and sample banks can be preempted leading position for the biodiversity study and also can increase the international status.
- Various types of BT can be applied to marine ecosystem research. Applicable representative technology for species identification using molecular markers are DNA chip, FISH (Fluorescence in situ hybridization) methods, real-time PCR, Next Generation Sequencing (NGS) for massive bulk sample analysis and the like. These variety technologies based on the molecular markers can complement or overcome many problems when using the morphological characteristics for species identification. For example, although morphological characteristics are difficult to analyze the eggs of fish and invertebrate into the species level, molecular marker technology is useful to identify the specimens into the species level and solve the bottlenecks of species identification. This kind of information is a core material for the spawning and nursery grounds analysis as well as for the effective management of biological resources.
- Underwater acoustic technology fused with MT and ICT skills can measure the amount

and biomass of marine organisms in real time. The fishes on the underwater acoustic properties is the most well-studied group among marine organisms.

- The marine ecological information accumulated in the ICT skills are widely used in the analysis and available through a wired or wireless network. The typical example will be the database systems for the biogeography and bioinformatics.
- In the present, although a variety of MT-BT-ICT technologies have been developed, these technology is difficult to utilize in the field for the marine useful/harmful organisms managements. In order to manage the marine useful/harmful organisms, there are required for the reference data obtaining, the fusion of various technologies, and the optimization of analytical methods.

## **2. Objectives of the study**

- Application of species identification method to massive mixed fish eggs and analysis of species composition of fish larvae in order to analyze the species specific spawning time of fish
- To develop species identification of jellyfish and harmful algae technique using DNA barcode.
- Meiobenthic species diversity is very high in the interstitial environment. However, the taxonomy of these species are so difficult to identify using the morphological characters. The purpose of the study is to develop a molecular identification system based on DNA barcoding construction.
- To make acoustic detection system using Acoustic characteristic of harmful organisms and Acoustic detection system planning, and to reduce ocean harmful organisms damage using early and real-time detection
- To protect the marine resources and infrastructures from the natural disasters, improve the life quality of fishermen, and develop the fusion technology, it is necessary that ubiquitous sensor network for the early and real-time detection of ocean harmful organism is to be developed and that is the goal of this study.
- To development an ubiquitous-GIS information analysis system for useful/harmful marine organisms.

### III. Contents and scopes of the study

#### 1. Research period

January 1, 2008 - December 31, 2012

#### 2. Contents and scopes of the study

##### A. DNA barcode analysis of major marine organism and the development of species identification technique and in-situ analysis and assessment.

###### (1) Invertebrate

- Acquisition of reference data for design of species specific primer and design of species specific probe/primer set
- Collection of useful benthic organisms inhabiting the soft-bottom environment and analysis of DNA barcoding.
- Analysis of species composition among mixed samples through NGS(Next generation sequencing)
- Synthesis of species specific probe/primer set and validation of species identification in the field
- Development of DNAchip for species identification of invertebrates

###### (2) Fishes (eggs, larvae, adults)

- Acquisition of reference data for design of species specific primer and design of species specific probe/primer set
- Synthesis of species specific probe/primer set and validation of species identification in the field
- Collection of fish eggs and larvae
- investigation of spawning time
- DNA extraction and amplification from single egg
- NGS application to analyze the massive mixed fish eggs

### (3) Microalgae and jellyfish

- Development of DNA chip for jellyfish species isolation
  - Search and obtaining of the jellyfish COI gene
  - Development of probe and DNA chip for jellyfish species isolation
- Development of DNA chip for microalgae species isolation
  - Search and obtaining of the microalgae COI gene
  - Development of probe and DNA chip for microalgae species isolation
- Field application and development of microalgae species isolation technology using PCR method
  - Harvesting of microalgae in tongyeong
  - The barcoding analysis and microalgae species isolation by SEM
  - Manufacture of species specific primer and field application
- Automatic species isolation study by FISH method
  - Identification of microalgae automatic technology by FISH method
  - Design of species specific probe and feasibility identification

### **B. Studies on acoustical characteristics of harmful organism**

- Acoustical characteristics HABs (Harmful Algal Blooms) and jellyfish.
- Developed from acoustic detection system for rapid HABs detection
- Performance evaluations of the system were carried out from laboratory and field test
- Developed with two modes; remotely operation with buoy system and field operation with monitoring ship-type system
- Build transmission networks for acoustic data
- To monitor the occurrence of early HABs in coastal regions

### **C. Establishment of an biogeographic information system for useful/harmful marine organisms and participation in the international OBIS network**

- To collect biogeographic informations from papers and reports.
- To develop an ocean biogeographic DB and internet data providing system.
- To establish a KOBIS (Korea Biogeographic Information System) DB and link it with the international OBIS network.
- To develop a ubiquitous information service system for providing KOBIS status and the data of the KOBIS DB.

## IV. Result

### A. DNA barcode analysis of major marine organism and the development of species identification technique and in-situ analysis and assessment.

#### (1) Invertebrate

- Total 730 molecular markers, as the reference data for the design of species specific primer set were obtained and about 500 species specific probe/primer sets were designed.
- As a result of NGS(next generation sequencing) of mixed netted sample, there are comprised total above 42 species including arthropoda 32 sp., mollusca 4 sp., echinoderm 2sp., etc. in tongyeong. In leodo, including Annelida 1sp, arthropoda 4sp, mollusca 1sp, cnidaria 1sp, chaetognatha 1sp, etc. total above 26 species are inhabited. In Gageocho, polychaete 6sp., arthropoda 2sp., chaetognatha 1sp, etc. total 9 species are inhabited.
- Species specific probe/primer sets were synthesized and total 11 probe/primer sets were validated for the species identification in the field.
- The major useful invertebrates (86 species) inhabiting soft-bottom of the southern and western coast of Korea were selected and collected during research period. Marine nematodes and benthic harpacticoids were analysed based on the 18S rRNA gene sequences to distinguish closely related species among them. Also, DNA sequences and digital images were obtained for constructing the database on the meiobenthic animals.
- Cross validation was performed between results from the NGS and the Real-time PCR(species specific primer) using the mixed sample in Tongyeong, leodo, Gageocho and Jeju sites.
- Forty-one species specific DNACHIPS of invertebrates were developed and validated.

#### (2) Fishes (eggs, larvae, and adults)

- Total 317 molecular markers, as the reference data for the design of species specific primer set were obtained and about 230 species specific probe/primer sets were designed.
- Species specific probe/primer sets were synthesized and total 10 probe/primer sets

- were validated for the species identification in the field.
- As a result of NGS(next generation sequencing) of mixed netted sample, there are comprised total above 6 species including a wrasse and an anchovy. In Jeodo, 3 species were inhabited and In Gageocho, there's no report.
  - Using morphological identification, fish eggs were identified to one species, *Engraulis japonicus*. and fish larvae were classified more than 30 species. The main spawning time were on July. The fish eggs and larvae of *E. japonicus* were dominated. The pattern of spawning time of major species such as *E. japonicus* and *Leiognathus nuchalis* was one peak in 2008 and two peaks in 2009. This was due to the difference of collection period, each week(2009) and two weeks(2008).
  - In order to analyze the species composition of massive mixed fish eggs, the condition of NGS method was required to analyze 300 specimens and to obtain more than 300 sequences each sample(station) reads. Detection of small amount of DNA in NGS method was testified by comparing the species composition from NGS to those from Sanger library consisted of known species composition. By NGS, fish eggs were identified to 18 taxa. From the information of species distribution of fish eggs, it was elucidated that fishes spawned having the time difference within same spawning area and used spawning areas widely or narrowly depending on species, although their spawning time was similar.
  - Portable DNA analysis tool kit was developed and applied in the field.
  - Forty-five species specific DNA chips of invertebrates were developed and validated.

### (3) Microalgae and jellyfish

- Development of DNA chip for jellyfish species isolation
  - DNA barcoding analysis of 6 species of jellyfish in Korea
  - Selection of jellyfish probe and species isolation thus DNA chip
- Development of DNA chip for microalgae species isolation
  - DNA barcoding analysis of 25 species of microalgae in Korea
  - Selection of microalgae probe and species isolation thus DNA chip
- Field application and development of microalgae species isolation technology using PCR method
  - Obtained samples of 17 microalgae in Tongyeong

- The barcoding analysis and microalgae species isolation by SEM
- Manufacture of species specific primer and field application
- Automatic species isolation study by FISH method
  - Detection of *Heterocapsa circularisquama* by FISH method
  - Establishment of automatic species isolation technology

## **B. Studies on acoustical characteristics of harmful organism**

- Acoustic target-strength (TS) measurements are presented for *Aurelia aurita*, *Nemopilema nomurai*, *Cyanea nozakii*, *Dactylometra quinquecirrha* and *Dactylometra quinquecirrha* in the coast of the Southern sea, Korea, 2008-2009. using active acoustic system in cage. As a result of studies, Acoustical target-strength (TS) of the jellyfish is distinct from the fishes and zooplanktons.
- The volume backscattering strength from the cultured media with *Cochlodinium polykrikoides* was calculated from the acoustic signals, and the interrelation between the number of cells and the acoustic signals was studied in the laboratory.
- Real-time acoustic system was developed to detect HABs, based on the backscattering properties of the biological target from the ultrasonic sound. For the purpose, integrated acoustic system was developed through technical evaluation of the each component, and performance evaluations of the system were carried out from laboratory and field test.
- The developed acoustic system was well worked with aspect of the function and performance under the independent and integrated condition. The integrated acoustic system was developed with two modes; remotely operation with buoy system and field operation with monitoring ship-type system.
- Confirmed to detect HABs. Additionally, comparing with the research equipment, the developed system has a considerably good performance, henceforth, can be modified or improved for specific purpose at any time.
- Although the developed acoustic system from this study must be technical modified, totally the system was proposed with to real-time detect HABs in the field condition. In the future, the system could be applied to make system implementation for monitoring HABs at coastal waters around Southern Sea, Korea.

### **C. Establishment of an biogeographic information system for useful/harmful marine organisms and participation in the international OBIS network**

- Total 69,319 informations were collected from the journal of the Korea Society of Oceanography, the journal of the Korean Fisheries Society, Ocean and Polar Research and the reporters of the ocean projects.
- New Database system which can manage species list, taxonomy information, geographic information of marine organisms was designed and established using Oracle 11g.
- An ubiquitous information providing system which can search and retrieve biogeographic information from the database system was established.
- An acoustic detection data service system that collected in real time was established.
- A Field data insert module for tablet PC was developed.
- Data for KOBIS DB were retrieved from the Korea Marine Biodiversity Information System and quality controlled.
- New KOBIS DB system was developed and informations were inputted to it.
- The DiGIR software package was installed to link the KOBIS DB with the OBIS network and KOBIS data can be retrieved from the international OBIS portal.
- New KOBIS web-site was set up to provide KOBIS status and the data of the KOBIS DB.

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

- Using molecular markers, fish eggs are identified exactly.
- Offering the basic and essential information to manage and to real-time monitor marine organisms
- Analysis of spawning time and area of marine organism depending on species
- Detecting the change of marine ecosystem structure according to the environmental changes
- Morphological identification of the meiobenthic animals is very difficult, so diagnosis and recognition of species is easily achieved by using the appropriate molecular markers.
- Meiobenthos species diversity is very high, secured through the nucleotide sequences

that inhabit the study area for utilized in the study of biodiversity.

- Database construction of meiobenthos in study area by DNA barcoding.
- Acoustical characteristics of harmful organisms offered fundamental findings and application of relationship research in fisheries resources investigation division using underwater acoustics.
- To make acoustic detection system is possible to real time detection for harmful organisms using research vessels and buoy.
- Acoustical detection system is possible to extend detection of the other harmful organisms.
- Acoustical detection system extended to the application area of ocean environment monitoring besides the acoustic detection system, it can be employed to the acoustic communication systems.
- Be applied to make system implementation for monitoring HABs at coastal waters.
- The ubiquitous-GIS information analysis system for useful/harmful marine organisms can provide the information to the researcher as well as the public for their own data usage.
- Participation in the international OBIS network can improve competition power in the international society related to conservation and use of marine organisms.

# 목 차

요 약 문 .....	i
목 차 .....	xviii
표 목 차 .....	xx
그림목차 .....	xxiii
제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구개발의 필요성 .....	3
제 2 절 연구개발 목표 및 내용 .....	6
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	15
제 1 절 국내 연구동향 .....	17
제 2 절 해외 연구동향 .....	18
제 3 절 현재까지의 연구개발 현황 .....	19
제 4 절 연구 수행 내용 및 방법 .....	21
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	27
제 1 절 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별 기술 개발 및 현장 적용과 평가 .....	29
제 2 절 유해 생물 탐지 음향시스템 구축과 운용 기술 .....	185
제 3 절 주요 유용/유해생물 지리정보 DB구축, 국제 네트워크화 .....	322
제 4 장 목표 달성도 및 대외 기여도 .....	341
제 1 절 목표 달성도 .....	343
제 2 절 대외 기여도 .....	345
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획 .....	347
제 6 장 참고문헌 .....	351
제 7 장 부 록 .....	361

# C O N T E N T S

Summary .....	ix
Contents .....	xix
List of Tables .....	xx
List of Figures .....	xxiii
Chapter I Outline of the study .....	1
Section 1 Necessity of the study .....	3
Section 2 Objectives and contents of the study .....	6
Chapter II States of technical development in the home and foreign countries .....	15
Section 1 Trends of study in Korea .....	17
Section 2 Trends of study in foreign countries .....	18
Section 3 Current status of study .....	19
Section 4 Future Prospects .....	21
Chapter III Results of the study .....	27
Section 1 DNA barcode analysis of major marine organism and the development of species identification technique and in-situ analysis and assessment .....	29
Section 2 Studies on acoustical characteristics of harmful organism .....	185
Section 3 Establishment of an biogeographic information system for useful/ harmful marine organisms and participation in the international OBIS network .....	322
Chapter IV Achievements of objectives and contributions to the related area .....	341
Section 1 Achievements of objectives .....	343
Section 2 Contributions to the related area .....	345
Chapter V Application plans of the results of the study .....	347
Chapter VI References .....	351
Chapter VII Appendix .....	361

## List of Tables

Table 3.1.1. Position of sampling station in study area .....	31
Table 3.1.2. Primer sequence list used in PCR .....	32
Table 3.1.3. Species list of DNChip for species identification .....	34
Table 3.1.4. Designed species-specific probe/primer set for 11 invertebrate species identification .....	36
Table 3.1.5. The useful invertebrates construction in study area .....	37
Table 3.1.6. Collection of the useful invertebrates in study area(2009) .....	41
Table 3.1.7. Collection of the useful invertebrates in study area(2010) .....	43
Table 3.1.8. Collection of the useful invertebrates in study area(2011) .....	46
Table 3.1.9. Collection of the useful invertebrates in study area(2012) .....	52
Table 3.1.10. Abundance of meiofaunal taxa at each sampling period in Gamak Bay(Unit: ind./10cm <sup>2</sup> ) .....	60
Table 3.1.11. The density of dominant taxa in proportion to the total density in Gamak Bay .....	63
Table 3.1.12. Population genetic analysis of the Korean <i>Atrina pectinata</i> collected from three different populations .....	71
Table 3.1.13. Summary of invertebrate sequence analyzed .....	80
Table 3.1.14. Result of Blast search .....	80
Table 3.1.15. Species composition of fish eggs, larvae of invertebrates, zooplankton in Tongyeong by Next generation Sequencing analysis .....	82
Table 3.1.16. 317 fish species DNA barcode reference data for designing species -specific probe/primer .....	100
Table 3.1.17. List of species-specific primer and probe sequences .....	120
Table 3.1.18. The comparison of known fish egg composition obtained from single specimens to unknown fish egg composition obtained from massive mixed fish egg specimens .....	130
Table 3.1.19. The species composition of fish eggs and larvae identified morphologically from sea area near Yeosu in May to August, 2008~ 2009 (unit: inds./1,000m <sup>3</sup> ) .....	131
Table 3.1.20. The species composition of fish eggs and larvae collected in the study area on May to August, 2008 (inds./1,000m <sup>3</sup> ) .....	132
Table 3.1.21. The species composition of fish eggs and larvae collected in the study area on May to August, 2009 (inds./1,000m <sup>3</sup> ) .....	134
Table 3.1.22. The occurrence duration of fish eggs identified by pyrosequencing and collected from sea area near Yeosu in 2008 .....	144
Table 3.1.23. The check list of fish eggs identified by pyrosequencing and collected from sea area near Yeosu in 2008 .....	145
Table 3.1.24. The check list of fish eggs and larvae distributed through sea area near Yeosu in May to August, 2008 .....	146
Table 3.1.25. Nucleotide identities (%) of jellyfish species .....	163
Table 3.1.26. Probe selection for Microarray analysis .....	164
Table 3.1.27. Nucleotide identities (upper) and divergence (lower) of microalgal species .....	167
Table 3.1.28. Probe selection for microarray analysis .....	169
Table 3.1.29. Construction of species specific primers in jellyfish .....	172
Table 3.1.30. Construction of specific primers in microalgae .....	176
Table 3.2.1. Species, total number of jellyfish and method of sampling .....	188

Table 3.2.2. Acoustic parameter of experimental facilities .....	191
Table 3.2.3. Example of $\Delta$ MVBS from diameter of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ) .....	210
Table 3.2.4. Values of density ratio (g) and sound speed ratio (h) for phytoplanktons .....	224
Table 3.2.5. Comparison with cell size son the osmotic pressure .....	227
Table 3.2.6. Temperature change at 2 m water depth on July and August, 2008 near the Gumo Islands .....	236
Table 3.2.7. Salinity change at 2 m water depth on July and August, 2008 near the Gumo Islands .....	238
Table 3.2.8. Species composition of phytoplankton on July and August, 2008 near the Gumo Islands .....	240
Table 3.2.9. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on July and August, 2008 near the Gumo Islands .....	241
Table 3.2.10. Water Temperature change at 2 m water depth on May and August, 2009 near the Gumo Islands .....	242
Table 3.2.11. Salinity change at 2 m water depth on May and August, 2009 near the Gumo Islands .....	243
Table 3.2.12 Species composition of phytoplankton on May and August, 2009 near the Gumo Islands .....	244
Table 3.2.13. Dominant species and Dominant ratio of phytoplankton on May and August, 2009 near the Gumo Islands .....	247
Table 3.2.14. Water temperature at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong .....	247
Table 3.2.15. Salinity at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong .....	248
Table 3.2.16. Water temperature, salinity and sigma-t at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Yeosu .....	248
Table 3.2.17. Species composition of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong .....	249
Table 3.2.18. Species composition of phytoplankton on August, 2010 near coastal area of the Yeosu .....	250
Table 3.2.19. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong. ....	251
Table 3.2.20. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Yeosu .....	252
Table 3.2.21. Water temperature, salinity and sigma-a on May, 2011 near the Gumo Islands .....	252
Table 3.2.22. Water temperature, salinity and sigma-a on July, 2011 near the Gumo Islands .....	253
Table 3.2.23. Species composition of phytoplankton on May and July, 2010 near the Gumo Islands .....	255
Table 3.2.24. Species composition of phytoplankton on August and October, 2010 .....	255
Table 3.2.25. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on May and July, 2010 near the Gumo Islands .....	256
Table 3.2.26. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and October, 2010 .....	257
Table 3.2.27. Environmental survey in 2012 .....	258

Table 3.2.28. Species composition of phytoplankton on June, 2012 near the Shihwaho .....	258
Table 3.2.29. Species composition of phytoplankton on June, 2012 near the Cheonsuman .....	259
Table 3.2.30. Species composition of phytoplankton on August, 2012 near the Dolsan islands .....	259
Table 3.2.31. Species composition of phytoplankton on September, 2012 near the Cheonsuman .....	260
Table 3.2.32. Species composition of phytoplankton on October, 2012 near coastal area of the Yeosu .....	260
Table 3.2.33. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on June, 2012 near the Shihwaho .....	261
Table 3.2.34. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on June, 2012 near the Cheonsuman .....	261
Table 3.2.35. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August, 2012 near coastal area of the Yeosu .....	262
Table 3.2.36. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on September, 2012 near the Cheonsuman .....	263
Table 3.2.37. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on October, 2012 near coastal area of the Yeosu .....	264
Table 3.2.38. Comparison of active/passive filter in integration system .....	272
Table 3.2.39. WM-800 External Modem Specification .....	279
Table 3.2.40. Specification of transducers (3.5 MHz: A381S, 5.0 MHz: A308S) .....	285
Table 3.2.41. External capacitor capacity from envelope detector .....	291
Table 3.2.42. Major specification of acoustic detection system .....	301
Table 3.2.43. Performance evaluation using integrated acoustic system .....	304
Table 3.2.44. Phytoplankton abundance and environmental data for comparing acoustic data in 2010 .....	307
Table 3.2.45. Phytoplankton abundance and environmental data for comparing acoustic data in 2012 .....	317

## List of Figures

Fig. 3.1.1. Location of sampling station in the study area. ....	31
Fig. 3.1.2. The sequence for design of probes using for DNA chip. ....	33
Fig. 3.1.3. The preview of DNA chip manufacture process. ....	33
Fig. 3.1.4. The PCR result of invertebrate COI region for proving probes spotting in DNA chip. ....	34
Fig. 3.1.5. An Acquisition of reproducibility and precise analysis of massive samples using EP1 machine. ....	35
Fig. 3.1.6. A kit development for DNA extraction and analysis in the field ....	35
Fig. 3.1.7. Distributed map of useful invertebrate around Yeosu. ....	38
Fig. 3.1.8. <i>Atrina pectinata</i> (left) and <i>Urechis unicinctus</i> (right) to be consignmented sale at Yeosu fishing market. ....	39
Fig. 3.1.9. Abundance graph of meiofauna at each station and period in Gamak Bay. ....	61
Fig. 3.1.10. Abundance graph of nematodes at each station and period in Gamak Bay. ....	61
Fig. 3.1.11. Abundance graph of harpacticoides at each station and period in Gamak Bay. ....	62
Fig. 3.1.12. Abundance graph of taxon number at each station and period in Gamak Bay. ....	62
Fig. 3.1.13. Comparison of COI gene of <i>Atrina pectinata</i> of Yeosu (South Sea), Oecheon (Yellow Sea) and Japan. ....	65
Fig. 3.1.14. Dendrogram of COI sequence to be caught <i>Atrina pectinata</i> at Deukrang bay, Yeosu, Oecheon, and Japan. ....	66
Fig. 3.1.15. The interspecific identity between <i>Urechis</i> COI gene sequence. ....	68
Fig. 3.1.16. The target species for DNA sequencing analysis in study area. ....	69
Fig. 3.1.17. The result of target species chromatograph by DNA sequencing analysis. ....	70
Fig. 3.1.18. Database information of target species and DNA sequencing analysis. .....	71
Fig. 3.1.19. The haplotype network on the three Korean population of <i>Atrina pectinata</i> based on the COI gene sequences (red: Ocheon; black: Deukryang Bay; Yellow: Yeosu; empty circle: Japanese specimens). ....	72
Fig. 3.1.20. The target species for DNA sequencing analysis in study area. ....	73
Fig. 3.1.21. The result of target species chromatograph by DNA sequencing analysis. ....	74
Fig. 3.1.22. Database information of target species and DNA sequencing analysis. .....	75
Fig. 3.1.23. A map denoting the sampling locations (A) and a haplotype network diagram (B). In the network diagram, size of the circles denotes the number of individuals that contain the haplotype. The proportions of individual sequences belonging to sampling locations are represented in the pie chart. ....	75
Fig. 3.1.24. Four different Korean <i>Prochaetosoma</i> species collected from the interstitial environment to analyse the genetic distances based on the 18S rRNA gene. ....	76
Fig. 3.1.25. Molecular operational taxonomic units of the various marine nematodes measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences. ....	77

Fig. 3.1.26. Molecular operational taxonomic units of the various marine nematodes collected from southern and western coastal region of Korea measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences. ....	78
Fig. 3.1.27. Molecular operational taxonomic units of the various marine benthic harpacticoids collected from southern and western coastal region of Korea measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences. ....	79
Fig. 3.1.28. Distribution of massive sequence length. ....	81
Fig. 3.1.29. Diagram of BLAST search. ....	81
Fig. 3.1.30. Species specific probe test for <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> and <i>Strongylocentrotus nudus</i> . ....	83
Fig. 3.1.31. Species specific probe test for <i>Halocynthia roretzi</i> and <i>Asterias amurensis</i> . ....	83
Fig. 3.1.32. Species specific probe test for <i>Asterias amurensis</i> . ....	84
Fig. 3.1.33. Species specific probe test for <i>Mytilus coruscus</i> and <i>Turbo cornutus</i> . ....	84
Fig. 3.1.34. Species specific probe test for <i>Crassostrea gigas</i> . ....	85
Fig. 3.1.35. Species specific probe test for <i>Tetraclita japonica</i> . ....	85
Fig. 3.1.36. Species specific probe test for <i>Exopalaemon orientis</i> . ....	85
Fig. 3.1.37. Species specific probe test for <i>Fenneropenaeus chinensis</i> . ....	86
Fig. 3.1.38. Species specific probe test for <i>Upogevia major</i> . ....	86
Fig. 3.1.39. The image of invertebrate DNA chip. ....	87
Fig. 3.1.40. <i>Strongylocentrotus nudus</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , and <i>Atrina pectinata</i> DNA chip test. ....	87
Fig. 3.1.41. <i>Charybdis japonica</i> , Echinoidea, and Pentagonal sea cucumber DNA chip test. ....	88
Fig. 3.1.42. Crinoids, <i>Fusinus longicaudus</i> , <i>Halimede fragifera</i> DNA chip test. ....	88
Fig. 3.1.43. <i>Patelloida saccharina</i> , <i>Cellana toreuma</i> , and <i>Heminerita japonica</i> DNA chip test. ....	89
Fig. 3.1.44. <i>Monodonta labio confusa</i> , <i>Cantharus cecillii</i> , and <i>Placiphorella stimpsoni</i> DNA chip test. ....	89
Fig. 3.1.45. <i>Rapana venosa</i> , <i>Aplysia kurodai</i> , and <i>Plocamopherus tilesii</i> DNA chip test. ....	90
Fig. 3.1.46. <i>Acanthopluera japonica</i> , <i>Ischnochiton comptus</i> , and <i>Acmaea pallida</i> DNA chip test. ....	90
Fig. 3.1.47. <i>Lithophaga curta</i> , <i>Reishia bronni</i> , and <i>Omphalius pfeifferi</i> DNA chip test. ....	91
Fig. 3.1.48. <i>Crepidula onyx</i> , <i>Medaeops granulosis</i> , and <i>Paphia undulata</i> DNA chip test. ....	91
Fig. 3.1.49. <i>Platylambrus validus</i> , <i>Telmesus acutidens</i> , and <i>Tetraclita japonica</i> DNA chip test. ....	92
Fig. 3.1.50. <i>Batillus cornutus</i> , <i>Asterina pectinifera</i> , and <i>Mytilus coruscus</i> DNA chip test. ....	92
Fig. 3.1.51. <i>Styela clava clava</i> , <i>Pollicipes mitella</i> , and <i>Tegillarca granosa</i> DNA chip test. ....	93
Fig. 3.1.52. Flowchart showing species-specific probe/primer design. ....	94
Fig. 3.1.53. TaqMan probe design using AlleleID program for fish species specific probe selection. ....	95
Fig. 3.1.54. Species-specific Probe selection using the nested PCR method. ....	95

Fig. 3.1.55. Flowchart showing assessment of species identification using realtime PCR. ....	96
Fig. 3.1.56. Map showing the sampling stations on May to August, 2008 and 2009. ....	97
Fig. 3.1.57. The PCR result of fish COI region for proving probes spotting in DNA chip. ....	99
Fig. 3.1.58. An Acquisition of reproducibility and precise analysis of massive samples using EP1 machine. ....	99
Fig. 3.1.59. Species detection of a red seabream ( <i>Pagrus major</i> ) in the mixed eggs using species-specific probe for the red seabream by Realtime PCR. ...	125
Fig. 3.1.60. Species specific probe test for <i>Pagrus major</i> identification. ....	125
Fig. 3.1.61. Species specific probe test for <i>Oplegnathus fasciatus</i> identification. ...	126
Fig. 3.1.62. Species specific probe test for <i>Setipinna tenuifilis</i> identification. ....	126
Fig. 3.1.63. Species specific probe test for <i>Zebrias fasciatus</i> identification. ....	126
Fig. 3.1.64. Species specific probe test for <i>Engraulis japonicus</i> identification. ....	127
Fig. 3.1.65. Species specific probe test for <i>Engraulis japonicus</i> identification. ....	127
Fig. 3.1.66. Rarefaction curve on species number per one sample to number of sequence read obtained from NGS. Most curves except for A and B were saturated when the effective number of sequence read was about 300. ....	128
Fig. 3.1.67. Rarefaction curve on number of species to number of sample of fish eggs. ....	129
Fig. 3.1.68. Weekly variation of abundances in fish eggs (A), larvae (B), and number of larval taxa (C) in the study area on May to August, 2008. ....	137
Fig. 3.1.69. Weekly variation of total abundances in fish eggs (A), larvae (B), and number of larval taxa (C) in the study area on May to August, 2009. ...	138
Fig. 3.1.70. Seasonal variation of anchovy eggs and larvae occurred in the study area on May to August, 2008~2009 (eggs were collected in 2008~2010). My, May; Jn, June; Jl, July; Ag, August. ....	139
Fig. 3.1.71. Seasonal variation of major fish eggs occurred in the study area on May to August, 2008~2009. My, May; Jn, June; Jl, July; Ag, August. ....	140
Fig. 3.1.72. Fish egg composition by a morphology-based identification (up), and a pyrosequencing-based identification (down) during May to August in 2008 from sea area near Yeosu. ....	143
Fig. 3.1.73. Photos of gel electrophoresis of 16SrDNA PCR products obtained from the single egg specimens collected in June, 2008. A1, Engraulidae sp.1; A2, Engraulidae sp.2; B*, <i>Engraulis japonicus</i> ; C, <i>Sardinella zunasi</i> ; D*, <i>Inimicus</i> sp.; E2*, <i>Acanthopagrus schlegeli</i> . ....	147
Fig. 3.1.74. COI PCR products of <i>Repomucenus</i> eggs (A1-B4) whose DNAs were extracted using Chelex. M, 100 bp DNA ladder; N, control DNA; A1-A4, use of 1 µl DNA as template for amplification; B1-B4, use of 1µl DNA diluted to 1/10 as a template DNA for amplification. ....	148
Fig. 3.1.75. The image of fish DNA chip. ....	154
Fig. 3.1.76. <i>Trichiurus japonicus</i> , <i>Acanthopagrus schlegeli</i> , and <i>Cynoglossus robustus</i> DNA chip test. ....	155
Fig. 3.1.77. <i>Muraenesox cinereus</i> , <i>Hapalogenys mucronatus</i> , and <i>Zebrias fasciatus</i> DNA chip test. ....	155
Fig. 3.1.78. <i>Hexagrammos sp.</i> , <i>Zeus faber</i> , and <i>Repomucenus sp.</i> DNA chip test. ....	156
Fig. 3.1.79. <i>Ditrema temmincki</i> , <i>Engraulis japonicus</i> , and <i>Pholis nebulosa</i> DNA chip test. ....	156

Fig. 3.1.80. <i>Pampus argenteus</i> , <i>Pennahia argentata</i> , and <i>Sillago sihama</i> DNA chip test. ....	157
Fig. 3.1.81. <i>Takifugu niphobles</i> , <i>Conger myriaster</i> , and <i>Scomberomorus</i> <i>niphonius</i> DNA chip test. ....	157
Fig. 3.1.82. <i>Psenopsis anomala</i> , <i>Chelidonichthys spinosus</i> , and <i>Mugil</i> <i>cephalus</i> DNA chip test. ....	158
Fig. 3.1.83. <i>Omobranchus elegans</i> , <i>Acanthopagrus schlegeli</i> , and <i>Platycephalus sp.</i> DNA chip test. ....	158
Fig. 3.1.84. <i>Halichoeres poecilopterus</i> , <i>Trachurus japonicus</i> , and <i>Konosirus</i> <i>punctatus</i> DNA chip test. ....	159
Fig. 3.1.85. <i>Sebastes schlegelii</i> , <i>Hexagrammos octogrammus</i> , and <i>Hexagrammos</i> <i>otakii</i> DNA chip test. ....	159
Fig. 3.1.86. <i>Pagrus major</i> , <i>Cynoglossus joyneri</i> , and <i>Parablennius yatabei</i> DNA chip test. ....	160
Fig. 3.1.87. <i>Lophius litulon</i> , <i>Paraplagusia japonica</i> , and <i>Sphyraena pinguis</i> DNA chip test. ....	160
Fig. 3.1.88. Result of species specific probe test for <i>Sphyraena pinguis</i> , <i>Hexagrammos agrammus</i> , and <i>Pagrus major</i> using TaqMan Probe by EP1 application. ....	161
Fig. 3.1.89. Jellyfish target gene (COI) amplification. ....	162
Fig. 3.1.90. Sequence alignment of mt COI genes from 6 jellyfish species. ....	163
Fig. 3.1.91. Topologies obtained via phylogenetic analysis of jellyfish COI gene. ..	164
Fig. 3.1.92. Layout of DNA microarrays for jellyfish species identification. ....	165
Fig. 3.1.93. Sequence alignment of mtCOI genes from 25 microalgal species. ....	166
Fig. 3.1.94. Topologies obtained via phylogenetic analysis of microalgal COI gene. ....	168
Fig. 3.1.95. Layout of DNA chip for microalgal species identification. ....	170
Fig. 3.1.96. COI amplification by PCR in jellyfish. ....	171
Fig. 3.1.97. Sequencing analysis of jellyfish. ....	171
Fig. 3.1.98. SEM image for microalgae species isolation. ....	172
Fig. 3.1.99. COI amplification by PCR in microalgae. ....	173
Fig. 3.1.100. Sequencing analysis of microalgae. ....	174
Fig. 3.1.101. Probe design method for FISH analysis. ....	177
Fig. 3.1.102. Diagram of FISH method. ....	177
Fig. 3.1.103. Design for Probe test. ....	178
Fig. 3.1.104. DNA chip analysis using species-specific probes (jellyfish). ....	179
Fig. 3.1.105. DNA chip analysis using species-specific probes (microalgae). ....	180
Fig. 3.1.106. DNA chip test by mixed samples (two species). ....	180
Fig. 3.1.107. DNA chip test by mixed samples (2, 3 and 4 species). ....	181
Fig. 3.1.108. Identification of jellyfishes isolation by PCR method. ....	182
Fig. 3.1.109. Identification of microalgae by PCR method. ....	182
Fig. 3.1.110. Confirmation of microalgae using on site samples. ....	183
Fig. 3.1.111. Probe test for detecting <i>Heterocapsa circularisquama</i> . ....	184
Fig. 3.2.1. Image of jellyfish and method of sampling. (a) <i>Aurelia aurita</i> , (b) <i>Dactylometra quinquecirrha</i> , and (c) <i>Cyanea nozakii</i> . (d) method of diving (e) method of bucket. ....	187
Fig. 3.2.2. Measurement of jellyfish umbrella diameter in water (a) and in air (b). ....	189
Fig. 3.2.3. Experimental facilities (a) acoustic transducers and (b) experimental diagram. ....	190

Fig. 3.2.4. Photographic image using under water camera (a) three <i>Aurelia aurita</i> and (b) two <i>Aurelia aurita</i> . .....	192
Fig. 3.2.5. Scheme for measurement of the sound speed (a) and the density (b) contrast of jellyfish. ....	193
Fig. 3.2.6. Geometric shape of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ) using acoustic model (Expansion of the umbrella (left), Contraction of the umbrella (right)). ....	194
Fig. 3.2.7. Photographic image of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ) under water camera (Bell diameter: 32 cm, expansion and contraction of the umbrella). ....	195
Fig. 3.2.8. Shape of jellyfish symbiosis (left), shape of shrimp using acoustic model (right). ....	196
Fig. 3.2.9. Schematic of acoustic experiment of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> , side-aspect). ....	197
Fig. 3.2.10. Example of acoustic signal (side-aspect jellyfish, diameter: 79 cm [38 kHz], diameter: 67 cm [420 kHz]). ....	198
Fig. 3.2.11. Acoustic transect for detecting jellyfish. ....	199
Fig. 3.2.12. Survey area in 2002 and 2006. ....	199
Fig. 3.2.13. Method for measuring the acoustical characteristics of jellyfish. ....	200
Fig. 3.2.14. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish ( <i>Aurelia aurita</i> ). ....	202
Fig. 3.2.15. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish ( <i>Cyanea nozakii</i> ). ....	202
Fig. 3.2.16. Method for measuring the acoustical characteristics of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ). ....	202
Fig. 3.2.17. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ). ....	203
Fig. 3.2.18. Acoustic characteristics of jellyfish ( <i>Aurelia aurita</i> ). ....	204
Fig. 3.2.19. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an jellyfish ( <i>Aurelia aurita</i> ). ....	205
Fig. 3.2.20. Acoustic characteristics of jellyfish ( <i>Cyanea nozakii</i> ). ....	206
Fig. 3.2.21. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an jellyfish ( <i>Cyanea nozakii</i> ) and comparison between other scatterers of acoustic target strength of the jellyfish ( <i>Cyanea nozakii</i> ). ....	207
Fig. 3.2.22. Downward-aspect target strength (TS) frequency for jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> , diameter: 65 cm). ....	208
Fig. 3.2.23. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an downward-aspect jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ). ....	208
Fig. 3.2.24. Reduce target strength (RTS) as $ka$ for jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ) using acoustic model. ....	209
Fig. 3.2.25. Target strength (TS) as number of krill affected TS of jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> , diameter: 21 cm). ....	210
Fig. 3.2.26. Side-aspect target strength (TS) frequency for jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> , Bell diameter: 18 cm). ....	211
Fig. 3.2.27. Relationship between bell diameter and side-aspect averaged target strength of an jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ). ....	212
Fig. 3.2.28. Relationship between downward-aspect (red) and side-aspect (green) averaged target strength of an jellyfish ( <i>Nemopilema nomurai</i> ). ....	213
Fig. 3.2.29. Acoustic characteristics of jellyfish in the southwest of Jeju island, 2002. ....	215

Fig. 3.2.30. Comparison between other scatterers of acoustic target strength of the jellyfish. ....	216
Fig. 3.2.31. Occurrences of major red tide in southern sea from 2005 to 2007. ..	217
Fig. 3.2.32. Occurrences of major red tide in western sea from 2008 to 2010. ....	218
Fig. 3.2.33. Comparison of sphere scattering using acoustic model. ....	222
Fig. 3.2.34. Shape of red tide ( <i>Chattonella</i> sp.) and Result of acoustic model. ....	222
Fig. 3.2.35. Comparison of backscattering of red tide using acoustic model. ....	223
Fig. 3.2.36. Equivalent spherical radius from types of chain-forming red tide ( <i>C. polykrikoides</i> ). ....	224
Fig. 3.2.37. Backscattering cross section, $\sigma_v$ , Harmful algae vs. equivalent sphere radius $a$ ( $\mu\text{m}$ ), and Frequency ( $f=5.0$ MHz), Density and sound speed contrasts are $g=1.06$ and $h=0.99$ , respectively. ....	225
Fig. 3.2.38. Size of red tide organism ( <i>C. polykrikoides</i> and <i>Chattonella antiqua</i> ). ....	225
Fig. 3.2.39. Size variation of red tide organism caused by osmotic pressure. ....	227
Fig. 3.2.40. Experimental set up for density of red tide. ....	227
Fig. 3.2.41. Experimental set up for sound speed of red tide. ....	228
Fig. 3.2.42. Experimental set up for beam patterns of transducers. ....	229
Fig. 3.2.43. Beam patterns of transducers with 5.0 MHz. ....	230
Fig. 3.2.44. Different chains of <i>C. polykrikoides</i> . ....	231
Fig. 3.2.45. Schematic diagram at the experimental set up in laboratory. ....	232
Fig. 3.2.46. Colony formation by the growth of red tide organism in laboratory. ....	233
Fig. 3.2.47. Theoretical volume backscattering strength(dB). ....	233
Fig. 3.2.48. Backscattering signals from the <i>C. polykrikoides</i> . ....	234
Fig. 3.2.49 Volume back scattering strength per each number of cells. ....	234
Fig. 3.2.50 Vertical distribution of water temperature on July, 2008 near the Gumo Islands. ....	237
Fig. 3.2.51. Vertical distribution of water temperature on August, 2008 near the Gumo Islands. ....	237
Fig. 3.2.52. Vertical distribution of salinity on July, 2008 near the Gumo Islands. ....	238
Fig. 3.2.53. Vertical distribution of salinity on August, 2008 near the Gumo Islands. ....	239
Fig. 3.2.54. Percentage composition of phytoplankton on July(a) and August(b), 2008 near the Gumo Islands. ....	240
Fig. 3.2.55. Horizontal distribution of phytoplankton on July(a) and August(b), 2008 near the Gumo Islands. ....	241
Fig. 3.2.56. Vertical distribution of water temperature on May and August, 2009 near the Gumo Islands. ....	242
Fig. 3.2.57. Vertical distribution of salinity on May and August, 2009 near the Gumo Islands. ....	243
Fig. 3.2.58. Percentage composition of phytoplankton on May(a) and August(b), 2009 near the Gumo Islands. ....	245
Fig. 3.2.59. Horizontal distribution of Phytoplankton on May (a) and August(b), 2009 near the Gumo Islands. ....	246
Fig. 3.2.60. Percentage composition of phytoplankton on August(a) and September(b), 2010 near coastal area of the Tongyeong. ....	249
Fig. 3.5.61. Percentage composition of phytoplankton on August, 2010 near coastal area of the Yeosu. ....	250

Fig. 3.2.62. Vertical distribution of water temperature, salinity and sigma-a on May, 2011 near the Gumo Islands. ....	253
Fig. 3.2.63. Vertical distribution of water temperature, salinity and sigma-a on July, 2011 near the Gumo Islands. ....	254
Fig. 3.2.64. Diagram of harmful red tide acoustic detection system. ....	265
Fig. 3.2.65. Fluid-sphere acoustic backscattering model. ....	267
Fig. 3.2.66. Optimal ultrasonic sensor frequency selection. ....	267
Fig. 3.2.67. Major components of ultrasonic acoustic transducer. ....	269
Fig. 3.2.68. Characteristics of ultrasonic response from driven spike pulse. ....	269
Fig. 3.2.69. Block diagram of pulse drive circuit in integration system. ....	270
Fig. 3.2.70. Spike pulse driver circuit in integration system. ....	271
Fig. 3.2.71. Effect on filter circuit by acoustic signal. ....	273
Fig. 3.2.72. Insonified area from <i>C. polykrikoides</i> patch. ....	274
Fig. 3.2.73. Beam pattern from 5.0 MHz transducer. ....	275
Fig. 3.2.74. Average receiving voltage from ultrasonic transducer. ....	276
Fig. 3.2.75. Acoustic backscattering signal for time series and moving average. ....	276
Fig. 3.2.76. Flow-chart of acoustic signal processing algorithm. ....	278
Fig. 3.2.77. TCP/IP and SMS services integrated network. ....	280
Fig. 3.2.78. Network configuration of acoustic detection system. ....	281
Fig. 3.2.79. Block diagram of acoustic detection system. ....	282
Fig. 3.2.80. Configuration of acoustic detection system, buoy type (a) and shipboard type (b). ....	283
Fig. 3.2.81. Schematic diagram of real-time acoustic detection system. ....	284
Fig. 3.2.82. Block diagram of transmitting/receiving operation. ....	285
Fig. 3.2.83. Block diagram of sensor-driven/receiving board operation. ....	286
Fig. 3.2.84. Simulation of pulse generating control signals. ....	287
Fig. 3.2.85. Design of wave pulse circuit. ....	288
Fig. 3.2.86. Sensor-driven/signal receiving board. ....	289
Fig. 3.2.87. Pulse driver signal (5.0 MHz). ....	290
Fig. 3.2.88. Flow chart of envelope detector signal processing. ....	292
Fig. 3.2.89. Shape of signal processing/AD board. ....	293
Fig. 3.2.90. Signal from A/D conversion board. ....	294
Fig. 3.2.91. Signal analysis/system control board. ....	295
Fig. 3.2.92. Diagram of acoustic detection system control. ....	295
Fig. 3.2.93. Power distribution board. ....	297
Fig. 3.2.94. Graphic user interface (GUI) program. ....	298
Fig. 3.2.95. Performance evaluation from acoustic detection system in laboratory. ....	302
Fig. 3.2.96. Difference of backscattering strength from <i>C. polykrikoides</i> as number of cells at 3.5 and 5.0 MHz in laboratory. ....	303
Fig. 3.2.97. Location for field evaluation of developed HAB's acoustic detection system (1st trial: station S1 and S2, August 2010, 2nd trail: station S3-S6, September 2010). ....	305
Fig. 3.2.98. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of no red-tide event. ....	306
Fig. 3.2.99. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of red-tide event. ....	307
Fig. 3.2.100. Location of acoustic detection system from buoy-type near the Gumo Islands, 2011. ....	308

Fig. 3.2.101. Performance evaluation using integrated acoustic system from buoy-type. ....	309
Fig. 3.2.102. Variation of the difference of backscattering strength using 3.5 MHz (a) and 5.0 MHz(b), temperature and salinity(c), tile angle from buoy-type system. ....	310
Fig. 3.2.103. Location for buoy-type acoustic detection system (Tongyeong and Yeosu). ....	311
Fig. 3.2.104. Photography of acoustic detection system from buoy-type. ....	312
Fig. 3.2.105. Variation of the difference of backscattering strength from buoy-type system near coastal of the Yeosu. ....	313
Fig. 3.2.106. Variation of the difference of backscattering strength from buoy-type system near coastal of the Tongyeong. ....	313
Fig. 3.2.107. Red tide forecasting information from NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). ....	314
Fig. 3.2.108. Diel variation of the difference of backscattering strength near Tongyeong and Yeosu. ....	315
Fig. 3.2.109. Location for field evaluation of developed HABs acoustic detection system in 2012. ....	316
Fig. 3.2.110. Variation of the difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of red-tide event (abnormal seawater) in 2012. ....	318
Fig. 3.2.111. Relationship between number of <i>Gynodinium sp.</i> cells and $DSI_{freq}$ . ....	318
Fig. 3.3.1. Geographic data mining. ....	323
Fig. 3.3.2. Observation data (date, method, and species) mining. ....	323
Fig. 3.3.3. ERD of marine organisms geographic information DataBase. ....	324
Fig. 3.3.4. A scene of creating tables at Oracle Enterprise Manager Console. ....	325
Fig. 3.3.5. Reconstruction of collected data and data input. ....	326
Fig. 3.3.6. Monthly salinity data of 1/4° grid. ....	326
Fig. 3.3.7. Korea Ocean Biogeographic Service System web site. ....	327
Fig. 3.3.8. Occurrence information search by geography. ....	328
Fig. 3.3.9. Species information search by scientific name. ....	328
Fig. 3.3.10. A scene of species information service. ....	328
Fig. 3.3.11. Sea surface temperature data of August. ....	329
Fig. 3.3.12. A program of calculating occurrence frequency data by grid. ....	329
Fig. 3.3.13. Monthly occurrence frequency by grid. ....	330
Fig. 3.3.14. Occurrence frequency at specific temperature by grid. ....	330
Fig. 3.3.15. Mobile web site of Korea Ocean Biogeographic Service System. ....	331
Fig. 3.3.16. Application of KOBIS for i-phone. ....	331
Fig. 3.3.17. Application of KOBIS for Android. ....	332
Fig. 3.3.18. Data service application for tablet PC. ....	333
Fig. 3.3.19. Insert module of field data. ....	333
Fig. 3.3.20. Acoustic detection data service. ....	334
Fig. 3.3.21. Diagram of ubiquitous biogeographic information system for useful/harmful marine organisms. ....	335
Fig. 3.3.22. Data processes of the DiGIR software package. ....	336
Fig. 3.3.23. Structure of the KOBIS DB. ....	337
Fig. 3.3.24. Quality control of KOBIS data. ....	338
Fig. 3.3.25. DB table for the Korea OBIS. ....	338
Fig. 3.3.26. Installation of DiGIR software package. ....	339

Fig. 3.3.27. Configuration setup of KOBIS DiGIR. ....	339
Fig. 3.3.28. KOBIS data retrieved through international OBIS portal. ....	340



# 제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

제 2 절 연구개발 목표 및 내용



# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 필요성

### 1. 연구의 경제·사회 기술적 필요성

#### 가. 기술적 측면

- 연안생태계는 다양한 생물의 서식지이자 주요 산란지로서 어류의 난자치어, 무척추동물의 유생, 적조생물 등 미세조류는 해양생태계 먹이사슬을 이어주는 중요 연결고리의 역할을 담당함.
- 산란시기 조사 방법 중 어란의 종별 분포 특성 조사가 편리하지만 대부분 종수준의 동정이 불가능하여 종동정 기술 개발이 필요하다.
- 난자치어는 시기에 따라 출현량 변동이 심하므로 실시간에 준하는 분석이 필요하며 이에 따라 실시간 종조성 분석 기술 개발이 필요하다.
- 중형저서동물은 서식밀도와 종다양성이 높아 저서생태계의 중요한 위치에 있으며, 저서생태계의 환경 변화를 평가하는데 유효한 생물임에도 불구하고 미소한 크기로 형태학적 분류 연구가 매우 미진할 뿐 만 아니라 현장에서의 종 동정에 한계가 있다.
- 이러한 형태형질 기반의 생물종 분석의 난점들을 분자마커기술을 이용, 보완하여 현장에서 신속하고 정확히 분석할 필요가 있다.
- DNA칩 개발 및 휴대용분석장비 개발은 해양 현장에서 실시간으로 출현하는 생물의 종을 판별할 수 있는 새로운 기술이다.
- 분자 마커를 이용한 종 동정 기술은 크기가 작고 형태형질 구분이 어려운 어란, 자치어, 유생, 중형저서동물, 미세조류 및 해파리 등을 정확히 동정할 수 있는 유일한 기술이다.
- 수중음향 기술은 해양생물 개체군 변동을 현장에서 탐지할 수 있는 방법으로서, 노르웨이, 일본, 미국 등 해양 선진국에서는 연안 생태계 구조 파악의 방법으로 활발히 사용중이다.
- 우리나라 연안 생태계 구조 변동에 대한 음향학적 접근은 최근에 시작하였으며 특히 시스템의 기술 성숙도 측면에서 기술 격차를 줄이는 것이 필요하다.
- 현재 재해생물 모니터링은 채수(유해 적조 생물) 혹은 어구(해파리)를 이용한 현장 방법, 선박 및 육상 예찰 방법을 주로 이용하고 있으나 경제적 비용, 시간이 많이 드는 단점이 있으며, 항공기 및 위성 방법은 분해능의 한계점으로 인해 실제 현상을 규명하기에는 미흡하다.

- 2012년 현재 한국해양과학기술원은 유해적조 음향 탐지를 위한 개체에 대한 음향 특성 파악 및 시스템 개발을 시작하여 실험역 검증을 실시하였으나 활용 측면에서 해상 운용기술이 필요하다.
- 유용/재해유발 생물의 관리기술 개발을 위해서는, 일차적으로 기존 연구를 통해 축적된 정보들의 DB화가 필요하며, 최근에 많이 사용하는 지리정보기술을 활용하면 출현위치 정보와 연계한 정보서비스가 가능하다.
- 유무선 인터넷 통신망을 이용하는 유비쿼터스 지리정보 분석시스템은 유용/재해유발 생물의 효율적인 관리를 위한 기반기술로, 해양생물의 보호, 이용을 촉진시키고 새로운 해양생물에 대한 관리능력을 배가 시킬 수 있다.
- 정보통신 기술이 발달한 우리나라는 GIS 기반의 해양생물 지리정보 데이터베이스를 구축하고 이를 수중음향 탐지 시스템, 현장종 판별 시스템과 유무선 네트워크를 통해 연결하여 운용하면 세계 최고 수준의 해양 유용/유해생물 변동의 유비쿼터스 관리 기술을 확보하고 선점할 수 있다.

#### 나. 경제.산업적 측면

- 실시간에 근접한 신속한 부유성 어란의 종동정으로 어류의 종별 산란시기와 산란장에 대한 정확한 자료를 제공하여 관리 효율성을 높인다.
- 우리나라 주변해역에 출현하는 난류 외양성 어종들의 산란 유무 조사를 통한 난류 어종들의 어장의 형성 가능성 및 수산자원 구조 분석에 기여한다.
- 해양무척추동물 유생의 식별은 이들의 발달생태 및 먹이사슬을 고려하여 미래 수산자원으로 유입을 예측할 수 있는 중요 기술임. 채묘 등 수산양식의 효율성 증대에도 필수적임.
- 연안역에서 생태적 기능과 수산 자원의 먹이 생물로서 매우 중요한 역할을 하는 중형저서동물의 군집구조, 분포 특성 및 다양성 정보 체계를 구축하는 연구는 연안역의 생물자원을 효과적으로 평가하고 관리하는 경제.산업적 측면에서 큰 의미를 가진다.
- 연안 생태계 생물 가운데 국민 실생활과 밀접한 연안 유해생물 (적조, 해파리)은 매년 수백억원의 직접적인 피해 발생 이외에 생태계 구조 변동에도 영향을 주고 있어 빠른 탐지 시스템의 개발 및 현장 운용이 필요하다.
- 특히, 연안의 원자력.화력.가스 발전소의 취수구로 유입하는 생물 개체군의 실시간 조기 탐지는 국가기간산업 시설의 안정적인 운영을 위해 기술 확립이 필요하다.
- 유용/재해유발 생물 지리정보 시스템의 구축은 경제.산업적으로 가치 있는 해양 생물자원을 보전, 관리하고 재해유발 생물로부터 경제.산업적 피해를 방지할 수 있는 인프라의 역할을 담당할 것이며 나아가 국가 생물 자원권 행사의 기반이 될 것임.
- 해양생물정보 생산에는 많은 비용이 소요되나, 정보의 전달과 유통방안 미비로 재사용과 공동 활용이 매우 부족한 상황임. 기 생산된 해양생물정보의 발굴 및 관리시스템 구축을 통해 기존 정보의 유통을 촉진시키고 활용성을 증대시켜 중복 투자를 방지하여 해양생물자원 정보 생산비용을 절감할 수 있음.

#### 다. 사회.문화적 측면

- 수산자원의 구조 변화는 사람들의 식생활에 변화를 야기 할 수 있어 국민적 관심이 증가하고 있으며, 이에 대한 대국민 정보제공은 지적욕구 충족과 함께 해양활동에 많은 편익을 제공하고 삶의 질 향상에 기여한다.
- 수산자원의 구조변화를 분석함으로써 한반도 주변해역에서 어획량이 감소하는 어류자원의 대체어종 발굴 연구에 기여한다.
- 국제적 핫 이슈인 생물자원을 개발하여 실물표본은행이나 유전자은행 등으로 생물자원을 축적, 활용함으로써 생물다양성 연구의 주도적인 위치를 선점하여 국제적 위상을 높일 수 있다.
- 환경에 대한 관심이 증가하면서 해양생물자원에 대한 관심이 증가하였다. 연안 해양 생태계의 실시간 구조 변동 파악 및 정보시스템을 통한 대국민 정보제공은 지적욕구 해소와 함께 생물자원관리에 대한 관심유발에 기여할 것이다.
- 원자력 발전소 같은 거대 국가 기간산업 시설의 재해생물에 대한 실시간 조기탐지를 통하여 전기 공급에 문제 등의 국가 과학 정책에 대한 심리적 불신감을 감소시킬 수 있다.
- 환경에 대한 관심이 증가하면서 해양생물자원에 대한 관심이 증가하였으며 특히 유용/재해 유발생물은 일반 국민의 생활과 밀접하게 관련되어 있어 그 관심의 정도가 다른 해양 생물보다 높음. 유용/재해유발 생물 정보시스템을 통한 대국민 정보제공은 지적욕구 해소와 함께 생물자원관리에 대한 관심유발에 기여할 것이다.

## 제 2 절 연구개발 목표 및 내용

### 1. 연구개발의 목표

본 연구의 최종목표는 해양의 유용/유해생물 변동에 대한 연속적, 실시간 조사 기술 개발 및 유용/유해생물의 유비쿼터스 정보 시스템 개발 및 서비스를 실현하는데 있다. 최종목표를 달성하기 위한 연차별 목표는 다음과 같다.

#### 가. 1차년도(2008)

- 주요 해양생물 종(어류, 암반생물, 저서동물, 유해생물) 선정과 DNA바코드 분석
- 주요 해양생물 종의 DNA칩 제작
- 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황연구
- 유용무척추동물 대상종 선정 및 DNA 분석
- 현장분석용 DNA칩 분석기기 시스템 설계
- 유해(재해유발) 생물의 음향특성 파악 및 음향탐지 시스템 설계
- 주요 유용/유해생물 지리정보 DB구축 및 국제 DB시스템 분석

#### 나. 2차년도(2009)

- 주요 해양생물(어류, 암반생물, 저서동물, 유해생물) DNA바코드 적용 및 염기서열 은행 구축
- 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원연구
- 유용무척추동물 대상종 선정 및 DNA 분석(남해안 유용성 무척추동물 11종)
- 주요 종 DNA칩 제작과 평가
- 유해(재해유발) 생물 탐지를 위한 prototype 음향시스템 시험 제작과 평가
- 무선 센서 네트워크 구축
- GIS 기반 시공간적 분석 시스템 구축 및 국제 DB 시스템 연계

#### 다. 3차년도(2010)

- 주요 해양생물 종(어류, 암반생물, 저서동물, 유해생물) 선정과 DNA바코드 분석 및 종 판별 프로브 설계
- 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원연구
- 유용무척추동물 대상종 선정 및 DNA 분석(남해안 유용성 무척추동물 15종)
- DNA칩 현장 분석기기 시범 제작
- 유해(재해유발) 생물 탐지를 위한 실험역 적용 평가
- 유해(재해유발) 생물의 실시간 음향탐지 및 관리시스템의 실험역 적용 및 평가
- 주요 유용/유해생물 지리정보 유무선 웹서비스 구축 및 국제 네트워크 활성화

#### 라. 4차년도(2011)

- 주요 유용/유해생물 DNA바코드 분석과 확보 및 해양생물 종판별 DNA프로브 설계
- 분자마커 활용기술(Realtime PCR, Fish method) 현장 적용과 평가
- 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원연구
- 유용무척추동물 대상종 선정 및 채집(서해안 유용성 무척추동물 30종)
- 생물 다양성 연구를 위한 서해안 주요 간극생물 30종 선정 및 채집
- 주요 간극생물 DNA 바코드 분석
- 유해(재해유발) 생물 탐지를 위한 실험역 적용 평가
- 유해(재해유발) 생물의 실시간 음향탐지 및 관리시스템의 실험역 적용 및 평가
- 서해 생물지리정보 추가 수집 및 유용/ 유해 생물 모바일 정보 서비스 구축

#### 마. 5차년도(2012)

- 주요 유용/유해생물 DNA바코드 분석과 확보 및 해양생물 종판별 DNA프로브 설계
- 분자마커 활용기술(Realtime PCR, Fish method) 현장 적용과 평가
- NGS 기술을 이용한 대량의 혼합 시료(난자치어 및 무척추동물 유생) 종 분석
- 대량의 혼성 어란 분석 방법 정립과 어류의 산란시기 분석
- 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원연구
- 유용무척추동물 대상종 선정 및 채집(서해안 유용성 무척추동물 30종)
- 생물 다양성 연구를 위한 서해안 주요 간극생물 25종 선정 및 채집
- 주요 간극생물 DNA 바코드 분석
- 서해 반폐쇄성 해역의 유해 생물 음향 특성 파악 및 현장 관측
- 유비쿼터스 현장정보 연계 시스템 개발

## 2. 연차별 연구개발 세부목표 및 내용

### 가. 1차년도(2008)

구 분	세 부 목 표	세 부 내 용 및 범 위
1차년도 (2008)	·주요 해양생물 종(어류, 암반생물, 저서동물, 유해생물) 선정과 DNA바코드 분석 및 DNA 칩 설계 ·연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원 연구 ·유용무척추동물 대상종 선정 (자원적/생태적 가치 평가) ·대상종 DNA 분석 ·단일 어란의 유전자 분석 ·현장분석용 DNA칩 분석기기 시스템 설계	·DNA 바코드 정보 분석과 주요 해양 생물 50종의 DNA 칩 설계 및 제작 ·문헌 조사, 계절별 현지 답사 ·실해역 채집 (간극동물, 여수해역의 5정점에서 정량, 정성 분석) ·문헌조사, 현지답사(생산량 및 자원적 가치의 중요도 분석) ·자원의 유전적 특성 (유전적 다양성 분석) ·어류의 종별 난 수집 ·성어 표본 수집 ·어란의 종별 형태 형질 분석 ·단일 어란의 DNA 추출 방법 정립 ·DNA 추출 및 칩 검사를 위한 장비로 구성된 현장 분석용 DNA 칩 분석기기 시스템 구성 설계
	·재해유발 생물의 음향특성 파악 및 음향탐지시스템 설계	·재해유발 생물(해파리, 적조)의 음향 특성 분석 ·재해유발 생물의 음향 탐지를 위한 prototype 시스템 설계
	·주요 유용/유해생물 지리정보 DB구축, 국제 네트워크화	·주요 유용/유해 생물 지리정보 수집 및 DB 구축, 국제 네트워크화

### 나. 2차년도(2009)

구 분	세 부 목 표	세 부 내 용 및 범 위
2차년도 (2009)	·추가적인 주요 해양생물(어류, 암반생물, 저서동물, 유해생물) DNA바코드 적용 및 염기서열 은행 구축 ·주요 종 DNA칩 제작과 평가 ·현장분석용 DNA칩 분석기기 시스템 설계	·주요 해양 생물 종의 DNA칩 추가 제작과 평가 ·대상 연구해역 서식종 목록 작성 및 유해생물 DNA 바코드 추가 분석 ·현장에서 사용 가능한 DNA칩 분석기기 시스템 구축
	·유해(재해유발) 생물 탐지를 위한 prototype 음향시스템 시험 제작과 평가 ·무선 센서 네트워크 구축	·재해유발 생물의 음향 탐지를 위한 prototype 음향 탐지 시스템 시험 제작 및 현장 테스트 ·재해유발 생물의 음향 특성 분석 ·음향 자료 무선 전송용 네트워크 접속장치 구축
	·GIS 기반 시공간적 분석 시스템 구축	·시·공간적 변동에 따른 GIS기반 해양생물정보 제공 기능 구축 및 국제 DB(OBIS)와 연계

다. 3차년도(2010)

구 분	세 부 목 표	세 부 내 용 및 범 위
3차년도 (2010)	·남해안 주요 해양생물의 DNA바코드 추가 분석 ·휴대용 DNA칩 추출장비 시제품 제작 ·DNA칩 현장 분석기기 시범 제작	·유용/유해 생물 DNA바코드 추가 분석 ·간극동물 실험역 채집(정량/정성 분석) ·2008년과 2009년 현장조사를 통해 채집된 난자치어의 종조성을 분석 ·휴대용 DNA추출 분석 장비 시제품 제작 및 현장 적용 평가 ·미세기포를 이용한 어란과 동물플랑크톤의 분리 기술 개발 ·미세조류 DNA칩 실험실내 테스트 및 현장 적용 ·해파리 DNA칩 제작 및 테스트 ·혼합시료를 이용한 DNA칩 평가 ·DNA 현장 추출기 개선 및 현장적용 ·혼합시료 분석을 위한 새로운 DNA칩 분석기기 EP-1 도입과 검정
	·재해유발 생물의 실시간 음향 탐지 및 관리 시스템의 실 해역 적용 및 평가	·Embedded prototype 음향탐지시스템 integration과 성능 평가 ·Embedded prototype 음향탐지시스템의 실험역 적용과 평가 ·음향자료 전송 네트워크 구축
	·주요 유용/유해생물 지리 정보 유무선 웹서비스 구축	·주요 유용/유해 생물 지리정보 유무선 웹서비스 시스템 구축 ·국제 컨소시엄의 참여 및 국제 네트워크 활성화

라.4차년도(2011)

구 분	세 부 목 표	세 부 내 용 및 범 위
4차년도 (2011)	·서해서식 미세조류 및 해파리 DNA 바코드 정보 분석 ·서해안 해역 주요 저서무척추동물 (유용/유해생물) 선정과 DNA 바코드 분석 ·서해서식 어류의 DNA 바코드 정보 분석 ·서해 주요 해양생물의 DNA칩 제작 및 평가 ·분자마커를 활용한 현장 종판별 분석방법 정립	·서해서식 적조원인종과 해파리 목록 작성 및 생물종 확보, DNA 분자마커 분석 ·서해 암반 및 연성저질에 서식하는 유용 무척추동물 선정 및 대상종 채집과 DNA 바코드 분석 ·서해 서식 어류의 DNA바코드 분석 ·간극생물 다양성 DB화 ·어란 농축기술의 안정화 ·현장 종판별 종 특이적 분자마커 분석 ·현장 종 판별에 적합한 혼합시료에서 종특이적 분자마커로 어란과 미세조류의 목표종 탐색
	·여수해역 재해유발 생물의 실시간 음향 탐지 시스템 구축 및 운영 ·서해 유해생물 음향 특성 파악 및 시스템 구성	·음향탐지시스템 상용화 ·음향탐지시스템의 여수 해역 실험역 운영 ·유해생물의 음향탐지를 위한 부이형/선박 탑재형 시스템 운영 ·서해 해역 유해생물 음향특성과 background 음향 파악 ·유비쿼터스 정보서비스 체계 구축과 시범 운영
	·생물지리정보 추가수집과 모바일 정보서비스 체계 구축	·서해 생물지리정보 수집 ·유비쿼터스 정보 서비스를 위한 모바일 앱 개발

### 마. 5차년도(2012)

구 분	세 부 목 표	세 부 내 용 및 범 위
5차년도 (2012)	·분자마커 기술을 활용 현장에서 (준)실시간으로 주요 해양 유용/유해 생물(미세조류, 무척추동물, 어류)의 종판별 ·현장에서 서해/남해(여수) 해역 주요 해양 유용/유해 생물의 종 특이적 프라이머 제작과 검증 ·남/서해 주요 유용/유해생물의 분자마커 분석과 DB 구축	·남해(여수)/서해 주요 해양 유용/유해 생물 300종(어류, 100종; 미세조류, 100종; 무척추동물, 100종)의 종 특이적 프라이머 제작 ·종 특이적 프라이머의 현장 적용과 종판별 ·현장 종판별 결과의 정확성 검증은 PCR 및 pyrosequencing을 통해 수행하고, 분석된 현장표본의 종판별 결과로 DB 구축함 ·남/서해 해역 미세조류, 해파리, 어류(난자치어) 현장 샘플링 수행과 주요 유용/유해생물의 DNA 바코드 분석 ·서해안 해역 주요 유용/유해 저서 무척추 동물의 DNA 추가 분석(대형저서동물 30종, 간극생물 25종) 및 DB화
	·서해 반폐쇄성 해역의 유해생물 음향 특성 파악 및 현장 관측	·서해 반폐쇄성 해역의 유해생물 음향 특성 파악과 시스템 운용
	·유비쿼터스 정보서비스 현장정보 연계 시스템 개발	·현장판별정보 연계 모듈 개발 ·음향탐지 분석정보 실시간 서비스 구현 ·해양물리 환경정보 DB 구축

## 3. 연구 추진계획 및 수행 방법

### 가. 1차년도

- 국제 표준 DNA 바코드 지표를 채택, 주요생물 종의 판별 마커 확립.
- 부유성 어류의 난은 산란시기를 중심으로 월 2회의 수집, 사진촬영 및 DNA염기서열 분석.
- 한국해양연구원 남해연구소는 유해식물플랑크톤 은행을 보유하고 있으며, 약 25속 36종 58 strains을 배양 유지하고 있어, 이를 DNA 바코드 정보 분석의 기반으로 할 것임.
- 국내에서 발견되는 것으로 알려진 15종의 해파리는 보고된 자료를 참고로 하여 수시로 채집하게 되며, 채집지에서 동정을 위한 촬영, 기초자료 작성, DNA 추출을 위한 기본 처리 후 실험실에서 DNA 바코딩을 수행함.
- 유용/유해생물 종의 DNA 바코드 염기서열에 기반한 DNA 프로브 제작과 칩 설계.
- 연구기관의 DNA 분석팀과 바이오벤처기업의 DNA칩 설계 팀의 공동 연구.
- 소형 DNA 추출 장치, DNA칩 스캐너 등을 모듈로 하는 현장 분석용 DNA칩 분석기기 시스템 구성 설계 : DNA칩 형식과 DNA칩 분석기기 시스템의 호환성 고려.
- 재해 유발 생물(해파리, 적조)의 주파수별 음향 반사 강도 정보 측정 : 실험실과 현장 분석 자료 비교.

- 해파리의 음향 특성 정보로부터 설계되는 음향 탐지 시스템 설치를 위한 해파리 주된 발생 지역 파악(해파리의 주된 유입 경로를 중심으로 파악).
- 현장 음향 탐지를 위한 prototype 시스템의 알고리즘 구축 및 설계 : 초소형, 경량의 시스템 설계.
- 실시간 음향 자료 전송을 위한 센서 노드 및 해상 무선 네트워크 설계: IT와 BT 기술의 접목.
- 문헌조사를 통한 주요 유용/유해 생물의 출현정보 수집 및 지리정보 DB 구축.
- DB의 국제 네트워크화 : 국제 해양생물지리정보시스템(OBIS) 컨소시엄 참여와 DB 공유.

## 나. 2차년도

- 대상해역 중요 유용성 무척추동물 자원 채집 및 DNA 정보 분석.
- 국제 표준 DNA 바코드 지표를 이용한 소형 무척추동물 신종 발굴 및 분석방법 연구.
- 확보된 어란의 유전자 정보는 DNA 칩 개발팀에 정보 제공.
- 국제 표준 DNA 바코드 지표를 이용한 추가적인 DNA 바코드 정보 분석 및 대상생물과 환경생물의 시그널/노이즈 수준 비교, DNA 칩 제작과 평가 : 산학연 공동 연구.
- 소형 DNA 추출장치, PCR 장치, DNA 칩 스캐너, 컴퓨터, 피펫 등을 모두 포함하는 현장 분석용 DNA 칩 분석기기 시스템 구축.
- 재해유발 생물(해파리, 적조)의 음향 관측 자료 현장 평가.
- 규조류, 황토 등 비적조 음향 산란체의 음향 특성 규명.
- 재해유발 생물의 음향 탐지를 위한 prototype 음향 탐지 시스템 제작.
- Prototype 음향 탐지 시스템의 실내 및 현장 테스트.
- Prototype 음향 탐지 시스템 설치 운용을 위한 현장 설치용 및 선박 설치형 시스템 구성.
- 실시간 음향 자료 전송을 위해 해상-육상 사이의 무선 네트워크 접속장치 구축.
- 천적 생물을 이용한 시화호의 보름달물해파리 억제 방안 연구.
- 유용/유해생물 관련정보 추가 수집.
- GIS 기술을 이용 해양생물 통계 분석, 시간 변동성 분석 기술 개발.
- 국제 생물다양성 정보기구(GBIF), 해양생물다양성 지리정보시스템(OBIS)과 DB 상호 연결.

## 다. 3차년도

- 유용/유해생물 시료 추가 채집 및 DNA바코드 추가 분석
- 간극동물 실험역 채집(기존 10정점-정량/정성 분석) : 생태특성 및 생물다양성 연구
- 국제 표준 DNA 바코드 지표를 채택, 어란의 종 판별 마커 확립
- 2008년과 2009년 현장조사를 통해 채집된 난자치어의 종조성을 분석
- 난자치어 표본의 사진촬영과 DNA 염기서열 분석
- 미세기포를 이용한 어란과 동물플랑크톤의 분리 실험
- COI으로 검출되지 않는 미세조류를 대상으로 다른 분자마커(*rbcL*, *matK*, rDNA 등) 분석
- 미세조류 DNA칩 실험실내 테스트 및 현장 적용
- 해파리 DNA칩 제작 및 테스트
- 혼합시료를 이용한 DNA칩 평가
- DNA 현장 추출기 개선 및 현장 적용
- 혼합시료 분석을 위해 도입한 새로운 DNA칩 분석기기 EP-1 검정
- 동물 플랑크톤 내 저서생물 유생 분리 실험
- 동물 플랑크톤 생태특성 및 생물다양성 연구
- 재해유발 생물(해파리, 적조)의 음향 탐지를 위한 선박 탑재형 및 고정형 임베디드 음향 탐지 시스템 integration 및 성능 평가.
- Prototype 음향 탐지 시스템의 실험역 적용 및 평가.
- 현장 적용에 따른 음향탐지 시스템의 개선점 파악 및 디버그.
- 음향 자료 전송 네트워크 구축 및 가시화.
- 유무선 통신 사업자와 협력을 통한 유·무선 웹서비스 시스템 구축.
- 해양생물 정보 관련 국제 컨소시엄의 참여와 국제 네트워크 활성화.
- 수집된 자료를 바탕으로 데이터의 통일화, 연계화를 통해 관계형 DB를 설계, 구축.
- 기 수집·정리된 자료와 생산된 분석 자료의 활용을 위하여 Internet 및 유비쿼터스 정보 서비스 기술을 활용하여 쉽고 빠른 User Interface 구현.

## 라. 4차년도

- 서해안 유용/유해생물 종의 DNA 바코드 염기서열에 기반한 DNA 프로브 설계 및 테스트
- 서해안 암반무척추생물의 현황 및 자원 연구.
- 서해안 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원 연구.
- 유용무척추동물 대상종 선정(자원적/생태적 가치 평가).
- 대상종 DNA 분석 및 자원의 유전적 특성 (유전적 다양성) 분석.
- 국제 표준 DNA 바코드 지표를 채택, 어란의 종 판별 마커 확립
- 산란시기를 중심으로 난자치어 3~4회 표본 수집
- 난자치어 표본의 사진촬영과 DNA 염기서열 분석
- 미세 기포를 이용한 어란과 동물플랑크톤의 분리 기술 안정화
- NGS를 이용한 대량의 혼성 어란의 종조성 분석
- 해양 유용/유해생물 관리 기술 실험역 적용시스템 시범 운영
- 서해(동해) 서식 미세조류 및 해파리 종 목록 작성
- 유해 생물종 확보, 배양 및 DNA 바코드 정보 분석
- 주요 서해안 해양생물에 대한 DNA 칩 추가 제작
- 휴대용 DNA추출 분석기기의 현장 적용 및 안정화 설계
- 현장에서 분석된 DNA 칩의 결과와 구축된 데이터베이스와의 연계방법에 대한 설계
- 음향 시스템 현장 운용 문제점 극복을 통한 유해생물 음향탐지 시스템 제품화
- 여수해역 유해생물 음향 탐지를 위한 발생 시기에 집중적으로 음향 시스템 운용(선박 탑재형 혹은 부이 시스템 활용)
- 서해 연안에서의 유해생물 음향 실험을 통한 음향 산란 특성 파악 및 배경 음향 준위 특성 파악.
- 서해안 대상 해역의 환경에 맞는 음향 탐지 시스템 구성
- 서해 주요 유용/재해유발 생물의 출현정보 추가 수집을 위한 문헌조사, 자료수집
- 유비쿼터스 정보 서비스를 위한 모바일 앱 개발

## 마. 5차년도

- 분자마커 기술을 활용 현장에서 (준)실시간으로 주요 해양 유용/유해 생물(미세조류, 무척추동물, 해파리, 어류)의 종판별
- 남/서해 해역 주요 해양 유용/유해 생물의 gDNA 추출 및 COI 유전자를 이용한 종 특이적 프라이머 제작
- 남해(여수)/서해 주요 해양 유용/유해 생물의 종 특이적 프라이머 제작
- 현장적용을 위한 실험실내 종 특이적 프라이머의 검증 실험
- 정밀도와 정확성 향상이 필요한 분류군은 복수의 종특이적 분자마커 활용
- 현장에서 종 특이적 프라이머를 활용한 혼합시료의 종판별
- 현장 측정 결과의 실시간 전송 테스트
- 종특이적 프라이머를 활용한 현장 종판별 결과의 검증: 동일 한 표본을 PCR 후 pyrosequencing 결과와 비교
- 종특이적 분자마커를 활용한 현장 생물종 종판별 실험방법의 표준화
- 종특이적 분자마커의 정밀도 향상을 위해 위해성 유발 소지가 있는 종을 포함남/서해 주요 유용/유해생물의 표본 수집, 분자마커 분석 및 정보 수집, DB 구축
- 유해생물 음향탐지 시스템과 연계하여 남해 현장 샘플 획득
- 음향탐지 시스템과 연계하여 현장 샘플 종판별 결과에 대해 DB화하여 유비쿼터스 시스템 구축
- 부이형 음향 탐지 네트워크 혹은 선박 탑재형을 이용하여 생물 음향탐지 시스템 시범 운용
- 시화호 혹은 새만금 인근 해역과 같이 반폐쇄성 인근 해역의 유해생물 음향 특성 파악
- 반폐쇄성 인근 해역에서의 생물 음향탐지 시스템 활용
- 현장 분석을 통해 생산된 자료를 기 구축된 정보와 연계할 수 있는 유비쿼터스 연계 서비스 모듈 개발
- 음향 탐지 분석 정보를 유비쿼터스 환경에서 실시간으로 서비스 할 수 있는 시스템 구현
- 한반도 해역의 국내외 해양물리 환경자료 수집, 가공 및 생물지리정보 연계용 DB 구축
- 생물 유전자 정보만을 구축, 제공하고 있는 타 시스템과 달리 본 시스템은, 유전자 정보와 생물지리정보(출현정보), 그리고 물리 환경정보와 연계하여 현장분석결과를 과거 수집 자료와 비교 분석이 가능하도록 구현하고자 함

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구 동향

제 2 절 국외 연구 동향

제 3 절 현재까지의 연구개발 현황

제 4 절 연구 수행 내용 및 방법



## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 연구 동향

- 국내에서는 분자동정을 이용한 신 개념의 연구방법이 국내 몇몇 대학의 연구자들에 의해 소 규모의 수준으로 산발적으로 이루어지고 있는 초보적인 연구단계에 있음.
- 형태적으로 구분은 어렵지만 생식적으로 격리된 종들을 sister species(자매종) 혹은 cryptic species라고 하는데, 이들을 통틀어 복합군(complex)이라 부른다. 최근 요각류인 Eucyclops serrulatus 그룹내 복합군을 분자적 형질을 이용, 4종의 복합군들이 있음을 밝혀내고 이들의 분자마커를 개발하였음.(장과 민, 2004)
- 유전자 특성을 이용한 단일 개체의 어란 동정 기술을 확보하여 어류의 종분석을 위한 유전자 정보를 수집함.
- 종판별에 이용되는 NGS(Next generation sequencing) 기법이 최근에 활용되고 있으나 해양에서 얻은 현장시료의 적용은 없었음.
- 2012년 한국해양과학기술원에서 수행한 “유비쿼터스 해양 유용/유해생물 관리기술 개발” 연구를 통해 유해적조 음향 탐지를 위한 개체에 대한 음향 특성 파악 및 시스템 개발을 시작하여 실험역 검증 실시하였음.
- 유해적조 음향탐지시스템은 실용화를 고려하여 (주)LIG Nex1과 공동개발. 시스템은 계측장비 제어 및 계측결과 모니터링을 수행하는 ‘원격제어기’와 시스템 내의 송·수신 데이터 중계 및 저장을 수행하는 ‘중계기’, 그리고 유해 생물을 탐지하는 ‘계측기’로 구성됨.
- 본 시스템은 해양 유해생물을 실시간으로 탐지하며, 효율적인 탐지를 위해서 부이형 및 선박 탑재형으로 운용됨.
- 무선 네트워크 기반 시스템 구축으로 원격제어기, 중계기, 계측기를 하나의 유·무선 네트워크로 통합.
- 실시간 적조탐지 원격제어 관리시스템 구축과 운용을 위해서 사용자의 편의를 고려한 원격 관리프로그램을 설계 및 적용하였고, 해상의 복수부이에 대해서 실시간 원격 제어 및 신호 모니터링 가능.
- 현재 기술 수준은 유비쿼터스 개념을 도입하여 실시간으로 음향 자료를 수신할 수 있는 기술력을 확보하였으며 현장 적용을 위한 전 단계에까지 도달하였음.
- 주요 생물다양성 정보 관리 시스템으로 한반도 생물자원 포털(<http://www.nibr.go.kr/species>), 국가 자연사 연구종합시스템(<http://www.naris.go.kr>), 국가생명연구자원통합정보시스템(<http://www.kobis.re.kr>), 국가생물종지식정보시스템(<http://www.nature.go.kr>), BRIS 생명자원정보서비스(<http://www.bris.go.kr>) 등이 있으나 대부분이 육상생물 중심의 표본정보 관리에 초점을 맞추고 있어 해양생물종에 대한 정보가 상대적으로 매우 적고 생태학적 관점의 출현정보가 부족하며 특히 생명자원정보와 종 정보, 출현 정보 간의 유기적 결합이 아직 미흡한 상태임.

## 제 2 절 국외 연구 동향

- 한.중.일 3개국의 해파리 관련 연구나 한.일.간 적조 관련 연구는 대부분 생태계 측면을 강조하는 연구 중심으로 구성되어 있다.
- 단일 어란의 종동정 기술이 개발되었다. (Aranish, 2006)
- 포르말린 또는 알콜 고정 표본의 어란의 유전자 분석을 통한 종동정 기술 개발
- 어류의 종분석을 위한 700여종의 유전자 정보가 수집되었으며 어류의 산란장과 산란시기 규명에 필요한 정보를 얻기 위해 어란을 분자마커로 종수준으로 분석한 연구가 있음 (Saitoh et al., 2009; Kawagami, 2010).
- 난자치어 유전자 형질 분석을 통한 난자치어 종별 분류 및 분포 특성을 연구한바 있다. (남 아프리카)
- NGS를 이용하여 어류의 유전자를 추출해서 대규모의 염기서열 분석이 이루어지고 있다. (덴마크, 프랑스, 스페인, 미국).
- 중형저서동물(대표적인 선충류, 요각류, 동문류, 패충류 등)들은 해양 저서 환경 변화에 따라 이들의 군집구조가 변화함으로써 저서생태계를 모니터링 할 수 있는 생물학적 지표 또는 환경 변화의 경보종으로 유용함이 국내외적으로 보고되어 있음(Bongers and Ferris, 1999; Mazzola et al., 1999; Kim et al., 2000; kim et al., 2002; Riera et al., 2011).
- 이러한 중형저서동물들의 DNA 정보를 분석, 분자마커를 개발하여 환경변화에 따른 저서생태계 변화를 파악하는데 적용 및 활용에 유의함(Fonseca et al., 2010; Bhadury and Annapurna, 2011).
- 현재, 국제적인 생물 DNA 바코드 DB를 축적하는 대표적인 컨소시엄인 CBOL(Consortium for the Barcode of Life)에는 6대륙, 50국가가 가입되어 활발한 연구를 진행하고 있으나 한국은 가입되어 있지 않으며, 해양 저서동물들에 대한 DNA 서열분석 및 바코드 연구가 시급함.
- 국외에서 통합형 음향탐지 시스템을 활용하여 실시간으로 생물의 분포 및 이동을 음향 탐지한 후 위성을 통해 실시간으로 육상 기지국에서 모니터링 하는 기술 수준까지 이르고 있음 (Gandilhon et al. 2010).
- 생물 특성상 대상 연안에 서식하는 종에 대한 음향 특성이 파악되어야 하나 우리나라 주변 해역의 생물 음향 특성에 대한 규명은 최근에서야 이루어지고 있으며, 시스템 개발은 시작 단계를 거쳐 현재는 기술 안정화 및 해양 적용 단계로 진행하고 있음.
- 해양선진국들은 생물 관련 정보를 표준화하고 효율적으로 보존.이용하는 체계적인 자료관리 방안에 관심을 가지고 다양한 생물정보시스템을 운영하고 있다.
- 최근에는 국가수준의 자료 관리를 넘어서 GBIF (Global Biodiversity Information Facility), Species 2000, OBIS (Ocean Biogeographic Information System), CBOL (Consortium for the Barcode of Life) 등 다양한 국제 모임을 통하여 자료의 공유.유통을 도모하고 있다.

- 해양 선진국에서는 자료 수집과 DB 구축을 통해 효율적인 해양생물 자료의 관리를 수행하고 있으며, 보다 발전된 기술로 GIS를 활용하고 있음. 특히 NOAA의 경우 National Coastal Data Development Center (NCDDC)에서는 Harmful Algal BloomS Observing System (HABSOS), Coastal Ecosystem Maps을 통하여 해양생태계 변동과 유해생물발생을 모니터링하는 시스템을 운영하고 있음.
- 세계 각국은 지구 기후변화에 따른 해양생물자원 변동을 분석하고자 해양생물지리정보시스템(Ocean Biogeographic Information Network)을 구축하여 유용/유해생물의 과거와 현재분포 상황을 비교 분석하고, 미래 분포를 예측하려고 시도하고 있다.
- 미국과 캐나다는 국제 컨소시엄인 해양생물센서스(Census of Marine Life), 해양생물지리정보시스템(Ocean Biogeographic Information System), 생물DNA바코드컨소시엄(Consortium for the Barcode of Life)등을 주도하면서 IT기술과 BT기술을 해양생물자원 관리에 접목시켜 전 세계 해양생물의 관리체계 기술 개발을 선도하고 있음. 특히 캐나다는 2012년까지 전 세계 생물 50만종의 DNA바코드 DB를 축적하는 국제컨소시엄을 주도하고 있다.

### 제 3 절 현재까지의 연구개발 현황

- DNA칩 기술은 암 진단이나 바이러스와 세균의 진단 등 의약 산업에 주로 쓰이고 있으며 해양생물에는 종판별 수준에서 개발되고 있음.
- 일본이 연어 계군 분석용 칩을 개발한 바 있으며, 우리나라에서는 한국해양과학기술원과 한양대학교가 어류, 무척추동물의 종판별 유전자칩을 개발한 바 있으며 해양생물의 종판별 DNA칩 분야에서는 세계 기술을 선도하고 있음.
- DNA칩 이용 이동식 분석장비 개발은 국제적으로 활발한 연구가 수행되면서 10-20cm 크기의 hybridization unit, 원심분리기, DNA추출 및 PCR machine, DNA칩 reader기 개발이 이루어지고 있음.
- 국내 연구는 소형 PCR machine, DNA칩 reader기 개발 쪽에 집중되고 있으며, 이러한 소형 기기들을 통합한 종합시스템의 개발이 곧 이루어질 것으로 보인다.
- 플랑크톤의 분포 및 생물량을 추정하는 연구는 동물플랑크톤에 한정되어 있음. 상대적으로 크기가 작은 식물플랑크톤의 연구는 거의 미비한 실정이며 적조생물 대상의 연구는 없는 상황임.
- 2009~2010년 동안 주요 무척추동물 86종을 채집하고 그 중 26종에 대한 DNA 염기서열(COI) 분석 및 확보하였음.
- 단일 개체의 어란 종동정 기술 개발되었다.(한국해양연구원, 제주대).
- 어류의 유전자 정보를 수집하고 있음(한국해양연구원, 국립수산과학원, 제주대 등).
- 엘통이, 전어, 감성돔, 참돔양태, 황아귀 등의 어란과 성어의 유전자 형질 비교 분석을 통한 어란의 종동정 기술을 확립하였음(한국해양연구원, 제주대).

- 지금까지 알려지지 않은 고등어와 만새기 등의 산란이 황해의 중동부해역에서 처음으로 확인하였음(한국수자원공사, 2009).
- 분자마커로 분석된 어란의 분포를 통해 뱀장어와 무태장어의 산란장을 규명하였음(KORDI, 2011).
- 음향탐지 기법은 주로 자원조사 분야에서 활발히 활용되고 있음.
- 2000년 이후 해파리에 대한 음향탐지 연구가 활발히 진행되어 자국에 피해를 유발하는 해파리에 대한 특성들을 파악하고 있으나 주로 해양에서의 조사에 치우치고 있음.
- 플랑크톤의 분포 및 생물량을 추정하는 연구는 동물플랑크톤에 한정되어 있음. 상대적으로 크기가 작은 식물플랑크톤의 연구는 거의 미비한 실정이며 적조생물 대상의 연구는 없는 상황임.
- 유해생물 음향탐지는 적조의 경우 음향특성 파악이 일부 시도되었고, 해파리에 대한 음향특성 파악은 이루어지지 않고 있음. 특히, 음향시스템 구성까지의 연구는 전혀 이루어지지 않아 해상 무선 전송까지 고려한 통합 시스템 개발이 필요한 상황임.
- 본 연구를 통해 유해적조 음향 탐지를 위한 개체에 대한 음향 특성 파악 및 시스템 개발을 시작하여 실험역 검증을 실시하였음.
- 현재 기술 수준은 유비쿼터스 개념을 도입하여 실시간으로 음향 자료를 수신할 수 있는 기술력을 확보하였으며 현장 적용을 위한 전 단계에까지 도달하였음.
- 한국 해양생물다양성정보시스템 (KOMBIS)에서 우리나라 해양생물의 종 목록 및 출현정보를 수집하여 자료특성에 맞는 DB화 작업을 수행하여 해양생물정보 DB 구축기술을 축적하였음.
- 해양극한생물 분자유전체 연구단의 해양극한생물자원뱅크에서 해양극한생물자원 관리를 위한 DB 시스템을 구축하여 생물종정보와 분자마커정보를 연계한 DB 시스템 구축 기술을 축적하였음.

## 제 4 절 연구 수행 내용 및 방법

### 1. 1차년도(2008년)

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
1차년도 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·주요 해양생물 종 선정, 시료 확보와 DNA 바코드 분석</li> <li>·DNA칩 프로브 디자인과 DNA 칩 시험제작</li> <li>·현장분석용 DNA칩 분석기기 시스템 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무척추 동물</li> <li>·문헌조사, 연구 해역 생물시료 채집</li> <li>·DNA칩 프로브 제작을 위한 CO1 염기서열 분석</li> <li>·간극동물 실 해역 채집 후 정량, 정성 분석</li> <li>·자원의 유전적 특성 (유전적 다양성 분석)</li> <li>○어류, 난자치어</li> <li>·2주 간격의 어란 출현량 분석</li> <li>·단일 어란의 DNA 분석 방법 조사 및 실험</li> <li>·어란의 종별 형태 형질 분석</li> <li>·단일 어란의 DNA 추출 방법 정립</li> <li>·어란, 자치어 및 성어의 DNA바코드 정보 분석</li> <li>·어란의 사진촬영</li> <li>○미세조류 및 해파리</li> <li>·미세조류 및 해파리 목록 작성</li> <li>·종 확보 및 배양: 14종의 CO1 염기서열 분석</li> <li>○DNA칩 프로브 디자인과 DNA칩 시험제작</li> <li>·DNA바코드에 기반한 25mer 정도의 프로브 디자인</li> <li>·프로브 합성과 pin spotting 방법 이용 DNA칩 제작</li> <li>○휴대용 DNA칩 분석기기 설계</li> <li>·DNA칩 현장분석용 장비 설계 및 제작</li> <li>·기존 장비에 대한 분석 및 조사 진행</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·유해생물의 음향특성 파악</li> <li>·유해생물 음향 탐지를 위한 prototype 시스템 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유해생물의 음향특성 파악 분야</li> <li>·유해 해파리의 음향특성 파악</li> <li>·다중주파수 센서를 이용한 해파리의 음향특성 측정</li> <li>·연구 지역에서의 현장 음향 탐사 및 자료 분석</li> <li>·음향모델 적용을 위한 해파리의 물리 특성 파악(음속비, 밀도비)</li> <li>·과거 음향 자료로부터 해파리 음향특성 분석 및 파악</li> <li>·종별, 크기별, 주파수별 해파리의 음향특성 파악</li> <li>·어류, 동물플랑크톤 등 기타 생물체와 신호 분리 가능성 파악</li> <li>·유해 적조 생물의 음향특성 파악</li> <li>·주파수, 송신압, focal zone 등 초음파 파라미터의 변화에 의한 적조 생물 음파 산란 패턴 파악</li> <li>·적조 생물에 의한 음파 산란이 가장 잘 발생하는 최적의 초음파 파라미터 도출</li> <li>·적조주의보와 경보에 해당하는 적조 밀도에 대한 음향특성 파악</li> <li>·적조 발생 전·후의 음향 산란 특성 비교 분석</li> <li>·적조 채집 자료와 음향 자료와의 상관성 분석</li> <li>·적조 이외의 생물에 의한 음향 산란 영향 파악</li> <li>○유해생물 음향탐지를 위한 prototype 시스템 설계</li> <li>·적조 및 해파리용 센서 특성 분석에 의한 송수신부 구조 설계</li> <li>·Backscattering 추출 알고리즘 분석에 의한 플랫폼 구조 설계</li> <li>·신호처리용 컨트롤러 보드, A/D 변환기 및 인벨로프 검출기, 임베디드 OS 플랫폼 설계</li> <li>·Pulse 및 CW 방식의 트랜스듀서 송수신기 설계</li> <li>·GPS 인터페이스 및 Cellular 망 접속을 위한 인터페이스 설계</li> <li>·PC 인터페이스를 위한 셀룰러 모뎀/UART 게이트웨이 설계</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·생물지리정보 DB구축</li> <li>·국제 DB시스템 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○주요 유용/재해유발 생물 지리정보 수집 및 DB 구축</li> <li>○해양생물지리정보시스템(OBIS) DB 시스템 분석</li> </ul>

## 2. 2차년도(2009년)

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
2차년도 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·유용/유해생물의 DNA바코드 추가 분석</li> <li>·DNA칩 프로브 디자인</li> <li>·DNA칩 추가 제작 (100종 이상)</li> <li>·현장분석용 DNA칩 분석장비 구성모듈 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무척추동물</li> <li>·시료 추가 채집 및 DNA바코드 38종 추가 분석</li> <li>·DB 구축을 위한 시퀀스 자료 정리 및 전달</li> <li>·간극동물 실험역 채집(10정점에서 정량/정성 분석)</li> <li>○어류, 난자치어</li> <li>·1주 간격의 난자치어 출현량 분석</li> <li>·난자치어의 DNA 바코드 분석</li> <li>·단일 어란을 사용하여 DNA를 증폭, 분석</li> <li>·주변 해역의 성어 35종 DNA바코드 추가 분석</li> <li>·어란과 성어의 유전자형질 비교를 통한 형태형질로 분석된 어란의 종동정 정확성 검증</li> <li>○적조 원인종 및 해파리</li> <li>·적조 원인종과 미세조류 36종의 CO1 염기서열 확보</li> <li>·해파리 채집 및 8종의 CO1 유전자 염기서열 확보</li> <li>○DNA칩 프로브 디자인과 DNA칩 시험제작</li> <li>·DNA칩 프로브 디자인과 프로브 검증</li> <li>·프로브 합성과 pin spotting 방법 이용 DNA칩 제작: 어류, 무척추동물, 미세조류, 해파리 100종 이상</li> <li>·혼합시료를 이용한 DNA칩 평가</li> <li>○휴대용 DNA칩 분석기기 개발</li> <li>·DNA칩 분석기기 구성 모듈의 소형화</li> <li>·현장에서 사용가능한 소형 모듈의 구입어의 DNA 증폭, 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·유해생물의 음향관측 자료 현장평가 (계속)</li> <li>·유해생물의 음향탐지를 위한 prototype 음향탐지 시스템 제작 및 현장 테스트</li> <li>·실시간 음향 자료 전송을 위해 무선 시스템 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○연구 지역에서 유해생물의 음향 관측 자료 현장 평가 (계속)</li> <li>·유해 해파리</li> <li>-1차년도에 미채집된 해파리에 대한 음향특성 파악</li> <li>-해파리 신호 분리의 정확도 증가를 위한 실험 자료 축적 분석</li> <li>-해파리의 음향산란강도와 크기/습중량 관계 함수화</li> <li>-해파리 탐지를 위한 적정 주파수 선정</li> <li>-축적된 음향 자료로부터 해파리 탐지를 위한 탐지 알고리즘 구축 및 함수화</li> <li>·유해 적조</li> <li>-적조 생물의 현장 음향 자료 평가 (계속)</li> <li>-적조에 의한 수신신호의 실시간 해석 기법 구축</li> <li>-신호 정확도 검증을 위한 현장 채집 및 비교 검증</li> <li>-어선 이동 속도와 센서 수심에 대한 음향신호 변동성 파악</li> <li>-음향 자료로부터 적조 탐지를 위한 탐지 알고리즘 구축 및 함수화</li> <li>○prototype 음향탐지 시스템 제작 및 현장 테스트</li> <li>·전력 예산 예측 및 배터리 용량 분석</li> <li>·전원부/센서노드 프로토타입 설계 및 제작</li> <li>·접속장치 프로토타입 제작 및 성능 평가</li> <li>·해파리/적조용 프로토타입 시스템 제작</li> <li>·현장에서 해파리/적조용 프로토타입 시스템 테스트</li> <li>·현장 채집 자료와의 비교 분석을 통한 시스템 수정 사항 체크</li> <li>○실시간 음향 자료 전송을 위해 무선 시스템 구축</li> <li>·네트워크 통합 성능측정 시험 (실험실 위주)</li> <li>·성능 분석 및 평가</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·GIS 기반 시공간적 분석 시스템 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○시.공간적 변동에 따른 GIS기반 해양생물정보 제공 기능 구축</li> <li>○국제 생물다양성 정보기구(GBIF) 및 OBIS 연계</li> </ul>

### 3. 3차년도(2010년)

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
3차년도 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·남해안 주요 해양생물의 DNA 바코드 추가 분석</li> <li>·DNA칩 프로브 검증</li> <li>·휴대용 DNA칩 추출장비 시제품 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유용/유해생물 DNA바코드 추가 분석</li> <li>·235종의 COI염기서열 분석 (1단계 합, 445종)</li> <li>○무척추동물</li> <li>·간극동물 실해역 채집(정량/정성 분석)</li> <li>○어류, 난자치어</li> <li>·1주 간격의 난자치어 출현량 분석</li> <li>·단일 어란의 DNA 분석</li> <li>·대량의 동플랑크톤에서 어란 분리 기술 개발</li> <li>·어류 종판별 DNA칩을 이용한 어란의 종별 최소 개체수 반응 실험</li> <li>·혼성어란의 종 판별 DNA칩의 정밀도 검증</li> <li>○미세조류 및 해파리</li> <li>·COI으로 검출되지 않는 미세조류를 대상으로 다른 분자마커 (<i>rbcL</i>, <i>matK</i>, rDNA 등) 분석</li> <li>○DNA칩 적용</li> <li>·미세조류 DNA 칩 실험실내 테스트 및 현장 적용</li> <li>·해파리 DNA 칩 제작 및 테스트</li> <li>어류, 무척추동물, 미세조류, 해파리 100종 이상</li> <li>·혼합시료를 이용한 DNA칩 평가</li> <li>○휴대용 DNA 추출기기 개발</li> <li>·DNA 현장 추출기 개선</li> <li>·DNA 현장 추출기 현장 적용</li> <li>○DNA칩 시스템 개선</li> <li>·혼합시료 분석을 위하여 새로운 DNA칩 분석기기 EP-1 도입과 검정</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·유해생물 탐지를 위한 음향 시스템의 실해역 적용 및 평가</li> <li>·유해생물의 실시간 관리 시스템의 실해역 적용 및 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○유해생물 탐지 시스템의 실해역 적용 및 평가&gt;</li> <li>·해파리 음향 탐지를 위한 고정형 시스템</li> <li>·적조 음향탐지를 위한 선박 탑재형/고정형 시스템 구축</li> <li>○유해생물의 실시간 관리 시스템 실해역 적용 및 평가&gt;</li> <li>·Embedded prototype 음향탐지시스템 안정성 및 성능테스트</li> <li>·Embedded prototype 음향탐지시스템 실해역 적용 및 평가 (해상실험)</li> <li>·Buoy 설계 및 제작</li> <li>·운영 S/W 개발</li> <li>·네트워크 신뢰성 평가</li> <li>·무선 네트워크 설계</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·주요 유용/유해생물 지리 정보 유무선 웹서비스</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○주요 유용/유해 생물 지리정보 유무선 웹서비스 시스템 구축</li> <li>·기 구축 DB 재정비</li> <li>·웹서비스 prototype 재정비</li> <li>·유무선 웹서비스 본격화</li> <li>○국제 컨소시엄의 참여 및 국제 네트워크 활성화</li> </ul>

#### 4. 4차년도(2011년)

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
4차년도 (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·서해 주요 유용/유해생물 DNA바코드 분석</li> <li>·분자마커 활용 종판별 프로브 설계</li> <li>·분자마커 활용 종판별 기술 현장 적용과 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무척추 동물</li> <li>·대상해역 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 30종 선정 및 대상종 채집               <ul style="list-style-type: none"> <li>-문헌 조사, 시기별 현지 답사, 채집 및 구입</li> <li>-서해안 해역의 유용성 무척추동물 29종 채집 및 구입(향후 추가 1종 채집 예정)</li> </ul> </li> <li>·주요 간극동물인 해양선형동물 30종에 대한 시료 확보 및 종 동정</li> <li>·우점하는 해양선형동물 24종에 대한 종 동정</li> <li>·해양선형동물 24종에 대한 현미경 슬라이드 표본 확보 및 각 종에 대한 DIC 영상정보 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요 해양선형동물에 대한 18S rDNA 염기서열 확보</li> </ul> </li> <li>·해양선형동물 우점종 18종에 대한 18S rDNA 염기서열 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>-주요 해양선형동물 대상 18S rDNA 염기서열 기반 DNA 바코드 적용</li> </ul> </li> <li>·해양선형동물 18종에 대한 염기서열 분석을 통한 18S DNA 바코드 적용</li> <li>○어류, 난자치어</li> <li>·서해 어류 12종 DNA바코드 분석 및 DB작성</li> <li>·정점별 혼성 어란의 DNA추출</li> <li>·어란의 종별 형태형질 분석</li> <li>·NGS 기술을 이용한 대량의 혼성 어란의 종 분석</li> <li>·어류의 산란시기 분석</li> <li>○미세조류 및 해파리의 DNA 바코드 분석 분야</li> <li>·남·서해 우점 미세조류 선정 분자마커 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>-미세조류 17종의 COI 분자마커 분석</li> <li>-미세조류 17종의 COI 분자마커 확보 및 현장 검증 수행</li> </ul> </li> <li>·해파리 분자 마커 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>-해파리 4종의 COI 분자마커 분석 및 확보</li> </ul> </li> <li>·자동화 시스템 개발을 위한 FISH method 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>-미세조류 <i>Heterocapsa circularisquama</i> 의 28S DNA를 이용하여 프로브를 제작</li> <li>-FISH method에 의한 <i>Heterocapsa circularisquama</i>의 종 판별 기술 확보</li> </ul> </li> <li>○분자마커활용 종판별 프로브 설계</li> <li>·수집된 해양생물 분자마커를 이용 분류군별 종 특이적 프로브 설계 (경골어류 106종, 미세조류 21종)</li> <li>○분자마커 활용 종판별 기술 현장 적용과 평가</li> <li>·혼성어란에서 참돔 종 특이적인 프로브 적용</li> <li>·미세조류 4종의 종 특이적인 프라이머 적용</li> <li>·EP1기기 이용 대량시료 종판별 가능성 확인</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·여수해역 재해유발 생물의 실시간 음향탐지시스템 구축과 운영</li> <li>·서해 유해생물 음향 특성 파악 및 시스템 구성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○여수해역 재해유발 생물의 실시간 음향탐지시스템 구축과 운영</li> <li>·음향탐지시스템 제품화 개발 여부</li> <li>·여수해역에서 유해생물 음향탐지를 위한 부이형 혹은 선박 탑재형 시스템 운영 여부</li> <li>○서해 유해생물 음향특성 파악 및 시스템 구성&gt;</li> <li>·서해 해역 유해생물 음향특성 및 background 음향 특성 파악 여부</li> <li>·서해 대상 해역에 적합한 시스템 구성 여부</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·생물지리정보 추가수집과 모바일 정보서비스 체계 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○서해 생물지리정보 수집</li> <li>·서해지역 주요 유용/유해생물 출현정보 추가수집</li> <li>·수집 자료 가공 및 DB 입력</li> <li>○유비쿼터스 정보 제공을 위한 모바일 앱 개발</li> <li>·주요 유용/유해 생물 모바일 정보 서비스 시스템 구축</li> </ul>

## 5. 5차년도(2012년)

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
5차년도 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·분자마커 기술을 활용 현장에서 (준)실시간으로 주요 해양 유용/유해 생물(미세조류, 무척추동물, 어류)의 종판별 및 표본 수집</li> <li>·남/서해안 주요 대형 무척추동물 및 간극동물 채집과 DNA 바코드 분석</li> <li>·주요 해양 유용/유해 생물의 종특이적 프라이머 제작과 검증</li> <li>·남/서해 주요 유용/유해생물의 분자마커 분석과 DB 구축</li> <li>·현장에서 해양생물 종판별과 현존량 측정과 결과 전송</li> <li>·미세조류 및 해파리 DNA 바코드 분석</li> <li>·자동화 시스템 개발을 위한 FISH method의 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무척추동물</li> <li>·종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data확보(730종) 및 프로브/프라이머 세트 설계(500종)</li> <li>·NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석</li> <li>·종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증 완료 (11종)</li> <li>·연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 30종의 표본 수집 및 DNA 바코드 분석</li> <li>·간극동물 27종의 표본 수집, 현미경 슬라이드 제작, DIC 디지털 영상정보 확보, 18S rDNA 염기서열 분석</li> <li>○어류, 난자치어</li> <li>·종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data확보(317종) 및 프로브/프라이머 세트 설계(230종)</li> <li>·종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증 완료 (10종)</li> <li>·NGS sequencing으로 대량의 혼합시료 종조성 분석</li> <li>·최소 표본수 추정 및 정량 가능성 분석</li> <li>·어류의 종별 산란시기 분석</li> <li>○미세조류 및 해파리의 DNA 바코드 분석 분야</li> <li>·남·서해 우점 미세조류 선정 분자마커 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>-미세조류 17종의 CO1 분자마커 확보 및 현장검증 수행</li> </ul> </li> <li>·해파리 분자 마커 확보               <ul style="list-style-type: none"> <li>-해파리 4종의 COI 분자마커 분석 및 확보</li> </ul> </li> <li>·자동화 시스템 개발을 위한 FISH method 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>-미세조류 <i>Heterocapsa circularisquama</i> 의 28S DNA를 이용하여 프로브를 제작</li> <li>-FISH method에 의한 <i>Heterocapsa circularisquama</i>의 종 판별 기술 확보</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·여수해역 음향 탐지 시스템 운영</li> <li>·서해 반폐쇄성 해역의 유해 생물 음향 특성 파악 및 현장 관측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○여수해역 음향 탐지 시스템 운영 (계속)</li> <li>○서해 반폐쇄성 해역의 유해 생물 음향 특성 파악 및 현장 관측</li> <li>·서해 반폐쇄성 해역 유해생물 음향 특성</li> <li>·서해 반폐쇄성 해역 음향 시스템 운용</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>·유비쿼터스 정보서비스 현장 적용 및 정보연계 서비스 구축 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○현장판별정보 연계 모듈 개발</li> <li>·현장에서 실험결과 판별된 종의 검색 및 관련 정보를 제공할 수 있는 tab 기반의 application 개발</li> <li>·휴대용 태블릿기반 구글 맵을 이용한 생물지리정보 표출 기능 구현</li> <li>○음향탐지 분석정보 실시간 제공 서비스 구현</li> <li>·현장에서 관측된 음향탐지정보 실시간 수집, DB 저장</li> <li>·관측 음향정보 실시간 서비스 시스템 구축</li> <li>○해양물리 환경정보 DB 구축</li> <li>·환경정보와의 연계를 위한 연안의 해양물리 정보 수집</li> <li>·해양물리 정보 격자화 및 DB 구축, 서비스</li> </ul>



### 3 장. 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절. 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별  
기술 개발 및 현장 적용과 평가

제 2 절. 유해 생물 탐지 음향시스템 구축과 운용 기술

제 3 절. 주요 유용/유해생물 지리정보 DB구축, 국제  
네트워크화

### 3 장. 연구개발 수행 내용 및 결과

#### 제 1 절. 주요 해양생물 DNA바코드 분석과 분자마커 활용 종판별 기술 개발 및 현장 적용과 평가

##### 1. 무척추동물

##### 가. 연구개발 수행 방법

###### (1) 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계

본 사업에서 구축한 우리나라 해양생물지리정보시스템(KOBIS)의 데이터베이스를 기준으로 한국 해역에 분포하는 것으로 보고된 무척추동물의 종 정보를 파악하여 시료를 채집하였으며 해당 종의 COI 유전자의 5' 방향의 약 650 bp 부분의 DNA바코드를 분석하였다. 한국 연근해에 서식하되 시료를 확보하지 못한 종의 경우, NCBI와 BOLD의 자료를 통해 확보하였다.

###### (2) 연성저질 서식 유용 저서생물의 시료 확보 및 DNA바코드 분석

###### (가) 대형저서동물

대상해역인 남/서해안의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추 동물의 현황 및 분포 특성을 분석하기 위해 기존에 보고된 문헌조사 및 현지답사를 통해 수시로 채집 및 구입하였다. 1차년도(2008년)에는 대상해역의 유용성 해양 무척추동물 자원의 유전적 특성을 유추하기 위해 간성, 고성, 주문진, 속초, 포항, 사천, 여수, 벌교, 격포, 오천, 태안 등 전국의 주요 산지 및 주요 항구의 잠수기 어판장을 대상으로 시료를 수집하고 현황 조사를 실시하였다. 2차, 3차년도(2009, 2010년)에는 남해안의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 시료 확보를 위하여 실향역 채집 및 대표적인 어판장을 대상으로 시료를 구입하였다. 4차, 5차년도(2011, 2012년)에는 대상해역을 서해안으로 옮겨 서해안의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물을 대상으로 실향역 채집 및 대표적인 서해안의 어판장에서 시료를 구입하였다. 채집된 시료는 디지털 카메라로 외형을 사진 촬영하고, 시료의 일부를 소독된 실험용 가위와 해부칼로 절단하여 알코올에 고정 후, 연구실로 이동하여 분석을 실시하였으며, 나머지 시료는 급속 냉동하여 냉동고에 보관하였다.

한국의 남해안과 서해안에 서식하는 대형저서동물종의 식별 또는 종의 객관적인 구분을 목적으로 미토콘드리아 유전체의 COI 유전자를 활용하여 DNA 바코딩 분석을 시도하였다. COI 유전자 전체 중에서 범용 프라이머로 알려진 부분을 증폭하여 각 생물종의 유전적 변이 정도를 측정하였다. 이 부위는 COI 유전자의 앞쪽 600여 염기서열에 해당한다. 각 종에서 3~30 개체씩을 선별하여 각 개체별로 DNA를 추출한 후 PCR 증폭과 COI 유전자 염기서열 결정을 수행하여 염기서열을 획득하였다. DNA의 추출은 SolGent gDNA prep kit(solution type)과, SolGent animal tissue kit(sgd64-S120/SGP3301)을 사용하였으며, PCR은 Template로 추출된 DNA의 농도에 따라 1/70 dilution 혹은 원액을 7 $\mu$ l 사용하여, Primer (HCO2198 [5'-TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AAT CA-3'] + LCO1490[5'-GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG G-3'])를 첨가한 Mixture를 만든 후, 95°C:15min, 95°C:20sec, 58°C:40sec, 68°C: 1min, 68°C:3min, 8°C:ever 조건으로 PCR을 실시하였다. 전기영동 된 PCR산물은 (주)Solgent에 분석을 의뢰하여 자동염기서열 분석기를 이용해 염기서열을 획득하였다. 얻어진 염기서열은 multialignment algorithm으로 정렬하고, 결정된 COI 유전자의 염기서열에서 MEGA2 program의 neighbor-joining(NJ) 방법을 사용하여 계통분석 및 계통도를 구하였다. 또한, 통계적 유의성을 가지기 위해서 bootstrap을 1000회 수행하였다.

###### (나) 중형저서동물

수생태환경 모니터링으로 유용한 생물학적 평가방법 개발 및 소형무척추동물 다양성 분석을 위한 목적으로 해당 해역인 여수 해역(가막만)에서 조사를 실시하였다. 조사기간은 2008 ~ 2010년까지였으며, 2008년에 5개 정점, 2009 ~ 2010년에는 10개 정점에서 조사를 실시하였다. 계절별로 2008년에 5월과 8월, 2009 ~ 2010년에는 2월, 6월, 8월에 걸쳐 정량, 정성 조사 및 분석 실시하였다. 정점은 여수해역인 가막만의 서식지 환경 특성별 구분을 위해 St.1 하수처리장 배출구 앞, St.2 꼬막 양식장, St.3 가두리 양식장, St.6, 7 어항단지 및 하천유입 지역, St.10 여수 시내 앞 지역, St.4, 5 청정 일반 해역으로 선정하였으며, 현장조사시 소형선박을 임차하여 각 정점에서 조사를 실시하였다(Fig. 3.1.1, Table 3.1.1). 시료의 채집은 Smith-McIntyre grab과 소형 van Veen grab을 이용하여 저층퇴적물을 선상에 올린 후, 정량분석을 위한 시료는 현장에서 직접 직경 2.6 cm의 밀단이 절단된 플라스틱 주사기를 사용하여 퇴적물의 표층에서 5 cm 깊이까지 채집한 후, 로즈벵갈(Rose Bengal) 단백질 염색제를 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다. 종 분석 및 DNA 추출을 위한 정성분석 시료는 채집된 표층퇴적물 시료를 현장에서 일부는 5% 포르말린으로 고정하고, 일부는 드라이아이스를 이용하여 급속 냉동하여 연구실로 운반하였다. 연구실로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1 mm, 500  $\mu$ m, 250  $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 63  $\mu$ m, 37  $\mu$ m)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수하였다. 생체량 분석은 Shirayama(1983)의 중형저서동물의 주요 분류군별 개체 크기별 ash free dry weight ( $\mu$ g) 환산 값을 사용하였다.

한국의 남해안과 서해안의 간극수 환경에 서식하는 중형저서동물종의 식별 또는 종의 객관적인 구분을 목적으로 핵 DNA인 rRNA 유전자 부위 중에서 18S rRNA 유전자의 염기서열 변이를 활용하여 DNA 바코딩 분석을 시도 하였다. 18S rRNA 유전자 전체 염기서열을 결정하여 이 중에서 범용 프라이머로 알려진 부분을 증폭하여 각 생물종의 유전적 변이 정도를 측정하였다. 이 부위는 18S rRNA 유전자의 앞쪽 400여 염기서열에 해당한다. 각각의 종에 대해서 3개체씩을 분석하여 종내의 유전적 변이와 종간의 유전적 변이를 측정하였다.

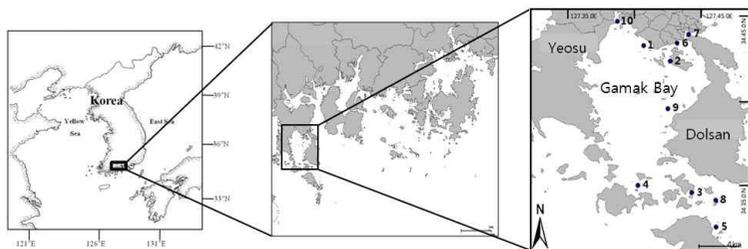


Fig. 3.1.1. Location of sampling station in the study area.

Table 3.1.1. Position of sampling station in study area

	Latitude	Longitude
st.1	N 34° 42' 93"	E 127° 41' 41"
st.2	N 34° 42' 22"	E 127° 42' 99"
st.3	N 34° 34' 27"	E 127° 44' 34"
st.4	N 34° 34' 66"	E 127° 41' 38"
st.5	N 34° 32' 38"	E 127° 45' 53"
st.6	N 34° 43' 70"	E 127° 43' 64"
st.7	N 34° 44' 22"	E 127° 44' 05"
st.8	N 34° 34' 43"	E 127° 45' 52"
st.9	N 34° 39' 59"	E 127° 42' 74"
st.10	N 34° 44' 10"	E 127° 40' 54"

### (3) NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석

통영 MRC 주변 해역에서 2012년08월06일 동물플랑크톤 네트(망목 300um, 망구 60cm)를 이용하여 표본을 수집하였다. 수집된 시료는 500, 300, 200, 60um의 거름체로 단계적으로 여과하였다. 시료는 수집한 즉시 Lysis buffer에 보관하였으며 Qiagen tissue&blood extraction kit를 이용하여 total DNA 추출하였다. 무척추동물의 universal primer(Table 3.1.2)를 이용하여 COI barcode region 증폭하였으며 1% agarose gel에서 전기영동하여 증폭 여부 확인하였다. RBC gel/PCR purification kit를 이용하여 정제후 GS FLX 454 pyrosequencing을 이용 NGS 분석을 하였다. 데이터 분석은 Geneious 6.0.3을 이용하여 Assembly를 실행하여 유사도에 근거한 contig 제작하여 contigs를 e-20의 기준으로 NCBI nrDB에 BLAST search를 수행하였다.

Table. 3.1.2. Primer sequence list used in PCR

Primer name	fusion primer	MID	primer	fusion primer sequence(5'-3')
A_TY_101_LCO	Uni-A	MID-101	LCO	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_HCO	Uni-B		HCO	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG
A_TY_102_HCO	Uni-A	MID-102	HCO	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_LCO	Uni-B		LCO	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG
A_TY_103_MaxF	Uni-A	MID-103	MaxilloF	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_MaxR	Uni-B		MaxilloR	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG
A_TY_104_MaxR	Uni-A	MID-104	MaxilloR	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_MaxF	Uni-B		MaxilloF	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG
A_TY_105_AsF	Uni-A	MID-105	AsF	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_ASR	Uni-B		AsR	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG
A_TY_106_AsR	Uni-A	MID-106	AsR	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAG
B_ASF	Uni-B		AsF	CCTATCCCCTGTGTGCCTTGGCAGTCTCAG

### (4) 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증 완료

제작한 종 특이적 프로브 및 프라이머를 검증하고자 실험 시료를 이용하였다. 표본수집을 위하여 난자치어 네트, 동물 플랑크톤 네트를 이용하여 시료를 채집하였으며 휴대장비를 이용하여 DNA 를 추출하여 Realtime PCR을 이용하여 종 판별을 시도하였다.

채집지는 통영MRC로 2012년 5월 8일부터 10일까지 8월 6일부터 7일까지 한 정점에서 두 번 진행하였으며 이어도및 가거초는 2012년 7월 9일부터 14일까지 총 6정점에서 이루어졌다. 정점별 동물 플랑크톤 네트(망목크기 300um)를 수평 채집하여 얻은 시료를 각 500um, 300um, 200um, 60um 거름체를 이용, 여과하여 분석 진행하였다.

(5) 무척추동물의 종판별을 위한 DNA chip 개발

COI 염기서열이 분석된 생물종을 대상(41종 112개체)으로 DNA칩용 프로브를 설계하고 COI의 염기서열이 분석된 생물종에 대해서는 DNA칩을 제작하여 평가를 시도하였다. Probe 생성프로그램(지노체)으로 예상 probe 위치 및 probe를 선정하였으며 무척추동물 종판별용으로 80개가 선정되었다. (Fig. 3.1.2)

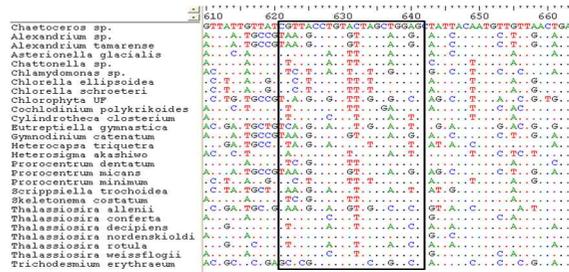


Fig. 3.1.2. The sequence for design of probes using for DNA chip.

선정된 후보 프로브는 염기서열 분석된 시료들의 유전자 증폭 및 예비 제작된 종판별 DNA chip에 hybridization 과정을 통해 검증작업을 진행하여 종판별을 위한 probe를 선별하는 과정을 진행하였다.(Fig. 3.1.3, Fig. 3.1.4) 무척추생물 41종 종 특이적 프로브를 제작완료하였으며 평가를 수행하였다. (Table 3.1.3)



Fig. 3.1.3. The preview of DNA chip manufacture process.

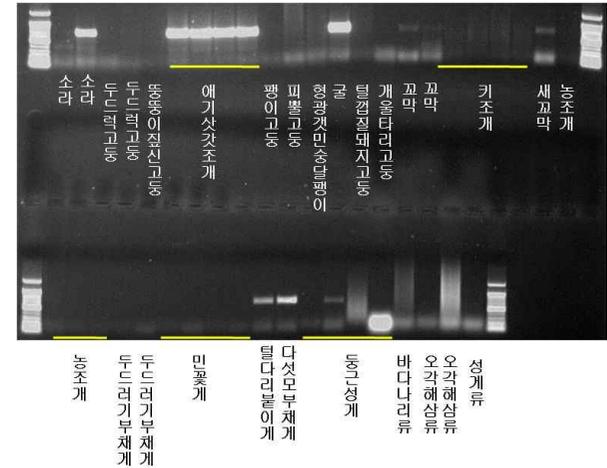


Fig. 3.1.4. The PCR result of invertebrate COI region for proving probes spotting in DNA chip.

Table 3.1.3. Species list of DNACHIP for species identification

무척추생물종(41종)				
등근성게	검은큰따개비	애기돌맞조개	개울타리고둥	농조개
별불가사리	따가리	애기삿갓조개	세꼬막	꼬리긴뿔고둥
멍게	군부	태두리고둥	성게류	두드러기부채개
지중해담치	연두군부	팽이고둥	오각해삼류	자게
미더덕	거복손	피뿔고둥	바다나리류	민꽃개
갈고둥	군소	형광갯민숭달팽이	왕밤송이개	털다리개붙이
철검질돼지고둥	소라	흰삿갓조개	꼬막	다섯모부채개
똥통이집신고둥	두드러고둥	굴	키조개	개불
홍합				

생물 혼합시료의 종 판별을 위한 새로운 DNA칩 분석시스템(EP-1)을 도입하여 검증(Fig. 3.1.5)을 진행하였다. 현장에서 DNA추출을 진행하고자 현장 분석 장비를 개발하였으며 Realtime PCR을 도입하였다(Fig. 3.1.6).



Fig. 3.1.5. An Acquisition of reproducibility and precise analysis of massive samples using EP1 machine.

<p>휴대용 DNachip분석장비 개발 =&gt; 휴대용 DNA분석 장비 시제품 개발</p>	
	<p>실험실에서 사용하던 기존 Realtime PCR 기기보다 가벼우며(무게: 24kg-&gt;5kg) 구동 시간이 1/8로 줄어든 현장 분석용 기기 도입(구동시간: 1.8-2시간 -&gt; 15-30분).</p>
<p>실험실용 Realtime PCR 기기 =&gt; 현장 분석용 Realtime PCR 장비</p>	

Fig. 3.1.6. A kit development for DNA extraction and analysis in the field.

## 나. 결과 및 고찰

### (1) 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계

제작된 무척추동물의 종판별 프로브/프라이머는 극피동물 3종, 연체동물 3종, 절지동물 4종, 척삭 동물 1종으로 등근성계와 말뚝성계는 Taqman probe로 제작하였으며 그 외는 SYBR green용으로 제작하였다. 종판별 프로브/프라이머 리스트는 다음과 같다.

Table 3.1.4. Designed species-specific probe/primer set for 11 invertebrate species identification

분류군	국명	학명	Forward Primer	Reverse Primer	Probe
극피동물	아무르 불가사리	<i>Asterias amurensis</i>	CCCTCTTTTCTACTC CTTCTAGCTTCC	GCCAAATGCAAAGAAA AGATAGCAAGATC	
	등근성계	<i>Stromgyo centrotusnudus</i>	CGGCTCTTCTAAAA GATGACCAAATC	AGCCATATCTGGTCT CCAATCATT	TCGTTACCGCACATGC ACTGGTCAT
	말뚝성계	<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	TCTGAGCCCACCATAT GTTTACTGTG	TGCAGATTAGACCCCTT GGAGTGTG	TTGATACACGAGCAT ACTTACCCTGCTGC
연체동물	홍합	<i>Mytilus coruscus</i>	CCTCTATCTGTGTACC CCTATCATAGAG	ACTGGTATGTCTTAT TTGTGCTAGCAAA	
	굴	<i>Crassostrea gigas</i>	GCCAGGGTCTTTTAT CTTATGCTTATG	GCAAGGTCTATACAAA CTCCATGATAAGAG	
	소라	<i>Turbo cornutus</i>	CTGTGATTAACATACG ATGACAGGGGATA	GCACCAGCTAAAACCTG GAAGAGATAAAAAG	
절지동물	흰새우	<i>Exopalaemon orientis</i>	GGAGTGTCTTCCATTT TAGGAGCAGTA	GACTGGGAGAGATAGA AGTAGTAGAATTGC	
	대하	<i>Fenneropenaeus chinensis</i>	GCTGGAATAGTAGGTA CCGCTTTAG	CGTGGGCTGTAACCTAC AACATTGTAAA	
	속	<i>Upogebiamajor</i>	AGCAGAATTAGGTCA ACCTGGAAGA	GGTACTAGTCAATTTTC CAAAACCTCCG	
	검은큰따개비	<i>Tetraclita japonica</i>	CGTCTTCCCTTATTGG TTTGAAGAGTTTTC	GGATGTATTAAGGTTT CGGTCTGTCAAG	
척삭동물	우렁쟁이	<i>Halocynthia roretzi</i>	TGCTCCTGCGTTATT TATGCTATTG	GCCCAAGTAGCTAA ATTCTTGATAA	

(2) 연성저질 서식 유용 저서생물의 시료 확보 및 DNA바코드 분석

(가) 대상해역의 대형저서동물 현황 및 중형저서동물의 군집 구조

① 대상해역의 연성저질에 서식하는 대형저서동물 현황

Table 3.1.5. The useful invertebrates construction in study area

대상해역의 유용무척추동물 어종 현황	조사기간	주요 무척추동물 채집 현황
남해 ·전라남도: 잠수기어업의 주요 어종은 개조개, 바지락, 키조개, 새조개 등으로 나타남. ·경상남도: 잠수기어업의 주요 어종은 개조개, 키조개, 바지락, 왕우럭조개 등으로 나타남. ·부산광역시: 잠수기어업의 주요 어종은 키조개, 개조개, 해삼 등으로 나타남.	2008년 (1차년도)	키조개, 개불 총 2종 채집 및 구입
	2009년 (2차년도)	왕밤송이개, 꼬막, 키조개, 새꼬막, 농조개, 꼬리긴 피르고둥, 두드러기부채개, 자개, 민꽃개, 털다리게불이, 다뫼모부채개 총 11종 채집 및 구입
	2010년 (3차년도)	개조개, 살조개, 새조개, 왕우럭조개, 우럭조개, 피조개, 바지락, 깨다시꽃개, 민꽃개, 갯가재, 가시발새우, 홍색민꽃개, 보리새우, 갈색띠매물고둥, 대수리 총 15종 채집 및 구입
서해 ·경기도: 잠수기어업의 주요 어종은 키조개, 개조개, 성게 등으로 나타남. ·충남: 잠수기어업의 주요 어종은 키조개, 해삼, 소라, 개조개, 조개류 등으로 나타남. ·전북: 잠수기어업의 주요 어종은 키조개, 해삼, 소라, 개조개 등으로 나타남.	2011년 (4차년도)	꽃개, 동죽, 백합, 주꾸미, 낙지, 피르고둥, 갈맛조개, 큰구슬우렁이, 개맛, 갯고둥, 민챙이, 개랑조개, 명주개랑조개, 가리맛조개, 대하, 가무락조개, 흰새우, 맛조개, 대맛조개, 넓적원손집게, 비단고둥, 흰반점민챙이아재비, 새조개, 떡조개, 꼬막, 칠게, 썩, 개불, 미동정 새우 총 30종 채집 및 구입
	2012년 (5차년도)	문어, 방게, 방게, 수동방게, 엽낭게, 풀게, 농게, 애기참게, 검은띠불가사리, 아무르불가사리, 별불가사리, 땡가리, 보리무럭, 긴발가락참집게, 빛조개, 말미잘, 가시땃해삼, 상어껍질별벌레, 해삼, 가는버들갯지렁이, 참갯지렁이, 갯가재, 광동줄새우, 긴발딱총새우, 꼬마자주새우, 등근두대기새우, 큰손딱총새우, 홑발딱총새우, 엽통성게 총 30종 채집 및 구입

Fig. 3.1.7. Distributed map of useful invertebrate around Yeosu.

개조개(*Saxidomus purpurata*)의 경우, 우리나라에 서식하는 이매패류 중에서 대형 종에 속하며 두꺼운 패각을 가졌음에도 불구하고 식용 가능한 육질부가 커서 고가의 자원대상이 되고 있다. 본 종은 '돌산도' 남측과 북측의 니사질 바닥 수심 30 m 전후에 주로 분포하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 전체적으로 분포해역의 면적도 다른 종들에 비해 작은 것으로 나타났다(해양수산부, 2006). 어획시기는 별도의 시기가 없이 년 중 어획되고 있다.

키조개(*Atrina pectinata*)는 대형패류로서, 각장이 36 cm까지 이르는 것도 있으나, 보통 각장이 22 cm, 각고가 14.5 cm, 정도가 일반적인 대형 패류이다. 조사해역의 경우, '안도' 북서쪽 해역을 포함한 '금오도' 주변 전 해역의 사니질 바닥 수심 30 m 전후에 주로 분포하고 있으며 극히 일부분은 화정면 백야도 인근에도 분포하고 있는 것으로 보고되었다(해양수산부, 2006). 보통 패각근만을 식용하는 키조개 역시 대형의 고가 식용종으로 별도의 시기 없이 년 중 어획되고 있지만 보통 7-9월은 어획되는 경우가 드물다. 이 시기에는 여수해역과 서해안의 보령 오천의 경우, 금어기로 묶여있어, 채취가 금지되고 있었다. 이 종은 주요수출전략 품종으로 경제적 가치가 매우 높은 종이였지만, 최근 들어 생산량 감소(1990년 15,299톤 -> 2003년 3,226톤)하는 추세에 있으며, 현재는 국내 수요증가로 중국산이 급증하고 있어 특별한 관리가 필요한 실정이다. 특히 여수해역에서는 남해도 사이에서 발견된 시가 약 200억 원 어치의 키조개발으로 인해 2004년에 키조개 어장 분쟁이 있었기 때문에 키조개는 본 연구해역에서 매우 중요한 유용성 수산자원으로 판단된다. 보통 자연산치패를 이용한 부분적 양식을 하나 해황의 변동에 따라 생산량의 변화폭이 크다.



Fig. 3.1.8. *Atrina pectinata* (left) and *Urechis unicinctus* (right) to be consigned for sale at Yeosu fishing market.

키조개의 분류학적 위치는 Phylum : Mollusca, Class : Pelecypoda 또는 Bivalvia, Subclass : Pteriomorpha, Order : Mytiloidea, Family : Pinnidae, Genus : *Atrina pinnata* (*Atrina pectinata*)이며, 전 세계적으로 *Atrina*, *Pinna* 두 Genus 만 존재한다. 주로 조하대나 조간대의 사니질(sandy mud) 또는 자갈밭 등에 서식하며, byssus(족사)로 저질속의 자갈이나 패각과 같은 기질에 부착한다. 우리나라 남해안에서는 만의 내측에 분포하며 수심은 조간대에서 40 m 조하대 까지 분포하는 것으로 알려져 있다. 기수성 패류로서 방란 방정이 일어나는 시기는 6월부터 9월까지이며 산란의 절정기는 6월 하순 부터 8월 상순까지이다. 이매패류 중 가장 큰 유생을 가지며, 부착직전 각장의 길이는 0.6 mm 정도이다. 성숙개체는 착생으로 부터 약 2년 후에 나타나며 산란기에는 암컷의 경우 적갈색을 띠며, 수컷의 경우 연한 황백색을 띤다.

개불(*Urechis unicinctus*)은 연구해역의 '안도'와 '금오도' 주변 해역 수심 18-20 m의 사니질 바닥에 주로 분포하고 있으며, 년 중 주로 가을-겨울시기에 어획되지만 특히 9-11월 사이에 집중적으로 어획되고 있다(Fig. 3.1.8). 본 종은 살아 있는 상태로 판매되어 고가의 횡감으로 식용되고 있으며 현재까지 본격적인 양식이 불가능하기 때문에 식용되는 물량의 대부분은 자연산에 의존하고 있다(해양수산부, 2006). 개불은 의충동물문에 속하며, 세계적으로 100종 정도가 알려져 있으며, 우리나라에는 4종이 보고되어있다(동물분류학회, 2003). 의충동물문은 과거에는 환형동물의 한 강(綱)으로 취급하였으나 외관상 체질이 없으므로 하나의 독립된 의충동물문으로 분리되었다. 개불은 의충동물문, 개불강, 개불목, 개불과에 속하는데, 몸이 유연하고 몸길이가 10~30cm에 달하며, 몸 빛깔은 붉은색을 띤 유백색을 띤다. 조간대 또는 조하대 사니질에 U자 구멍을 파고 살고, 수온이 낮아지는 겨울철에는 퇴적물 깊은 곳으로 이동하고, 수온이 높아지면 수심이 얕고 깊이가 얕은 곳으로 이동하

는 것으로 알려져 있다. 남해안에 많으며, 서해안과, 동해 연안에서도 서식한다. 개불의 산란은 11~4월이며, 주산란은 12월에서 1월 사이로 알려져 있다. 생식소 속도지수(GSI)의 연중 변화를 종합해 볼 때 한국산 개불은 연 2회 산란한 것으로 보고되었다. 섭식 특성은 점액질이 많은 주둥이를 구멍 밖으로 올려 플랑크톤이나 유기질 부니를 붙여서 섭식하며, 저질에 U자형의 굴을 뚫어 해수를 순환하게 함으로써 유기성분을 변화시켜 저질을 정화시키기도 하는 등 연안 생태계에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 개불은 현재 도미류의 낚시 미끼로서 수요가 많고, 우리나라에서는 날 것 또는 건조시켜서 식용으로 이용한다. 현재까지는 자연산을 채취하여 생산량이 감소하고 있는 추세로, 인공 종묘를 생산하여 방류하는 사업을 추진 중이다. 현재 식용으로 사용되는 개불은 대부분의 횡집에서 값이 싼 중국산을 사용하고 있으며, 동해산 개불은 참개불이라고 일부 지방에서 명명하기도 하여, 형태 분석 및 유전자 분석을 통한 명확한 종 구분이 요구된다.

새꼬막(*Scapharca subcrenata*)은 주로 화양면과 돌산도 사이의 중간 수역 수심 약 20 m의 저서에서 년 중 12월부터 4월 사이의 동계에 대부분이 어획되고 있다. 본 종은 단단하고 두꺼운 패각을 가진 중형의 이매패류로서 본 종 역시 주요 식용조개류이다. 개조개(*Saxidomus purpurata*)나 키조개(*Atrina pectinata*) 및 개불(*Urechis unicinctus*)보다는 상대적으로 가격이 낮지만 주요 식용 대상 종이다.

1차년도 연구에서는 조사해역에서 주로 이용되는 이들 주요 상업적 유용성 저서동물 중 고가이면서 주로 자연산에 의존하는 수산자원인 키조개와 개불을 선택하여 그 유전적 특성을 분석하였다. 이들은 모두 값싼 중국산 자원의 수입으로 인해 국내에서 생산 및 유통 관리가 필요한 종으로서 경제적인 면에서 연구의 가치가 높고, 정확한 종 구분에 있어서도 확인이 필요한 종으로서 그 분석 가치가 높게 평가된다.

#### ㄴ. 2차년도(2009년)

2차년도의 조사대상 해역인 여수해역에서 조업 중인 잠수기어업의 현황은 다음과 같다. 여수해역이 속한 전라남도의 잠수기 어업의 1일 패류의 채취량을 120kg으로 자율규제하고 있다. 주요 어장은 여수, 고흥, 남해군 연안이며 수심은 10~40 m에서 작업이 이루어지며, 주요 어종은 전복, 소라, 해삼, 우렁쟁이, 문어, 키조개, 개조개, 개불, 홍합 등으로 다양하게 채집이 이루어지고 있다. 2009~2010년까지 월별 어종별 어획량을 보면 개조개는 0.5~2.5 톤 수준에서 어획되고, 새조개는 3~4월에 주로 생산되며, 바지락은 6~7월에 약 12톤 어획되어 가장 많은 어획량을 나타냈다. 전라남도에서 잠수기어업을 통해 어획되는 양은 2009년 1,299톤이며, 2004년 대비 약 40% 감소하였다(국립수산과학원, 2010).

2차년도의 조사대상 해역인 여수해역에서 실효역 조사를 통해 채집하거나 수시로 현지답사를 통해 주요항구 및 어판장에서 시료를 채집 및 구입하였다. 실효역 채집은 어선을 임차하여 저인망 드레지를 활용하여 채집하였다. 채집된 시료는 농조개, 다섯모부채개, 민꽃개, 자개, 털다리개불이를 채집하였다. 주요항구와 어판장에서 구입한 시료는 꼬리긴빨고둥, 꼬막, 두드러기부채개, 새꼬막, 양밤송이개, 키조개를 구입하였다(Table 3.1.6).

Table 3.1.6. Collection of the useful invertebrates in study area(2009)

2009년 (2차년도)	종 명	채집지역 및 시기
1	 포리긴황고둥 ( <i>Fusinus longicaudus</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
2	 포막 ( <i>Tegillarca granosa</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
3	 농조개 ( <i>Paphia undalata</i> )	전남 여수 가막만 채집 2009년 8월
4	 다섯모부채게 ( <i>Halimede fragifer</i> )	전남 여수 가막만 채집 2009년 8월
5	 두드러기부채게 ( <i>Medaeops granulosis</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
6	 민꽃게 ( <i>Charybdis japonica</i> )	전남 여수 가막만 채집 2009년 8월

Table 3.1.6. Continued

7	 새꼬막 ( <i>Scapharca subcrenata</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
8	 왕밤송이게 ( <i>Telmessus acutidens</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
9	 자게 ( <i>Parthenope validus</i> )	전남 여수 가막만 채집 2009년 8월
10	 키조개 ( <i>Atrina pectinata</i> )	전남 여수 어시장 구입 2009년 2월
11	 털다리개불이 ( <i>Raphidopus ciliatus</i> )	전남 여수 가막만 채집 2009년 8월

㉔. 3차년도(2010년)

3차년도의 조사대상 해역을 중심으로 남해안 일대에서 조업 중인 잠수기어업의 현황을 크게 전라남도, 경상남도, 부산광역시로 나누어 보면 다음과 같다. 경상남도의 잠수기어업은 1일 패류의 채취량을 자율규제하고 있다. 주요 어장은 경남 근해이며 수심은 10~40 m에서 작업이 이루어지고 있다. 주요 어종은 해삼, 전복, 우렁쟁이, 소라, 홍합, 문어, 성게 등으로 다양하게 채집이 이루어지고 있다. 잠수기어업 중 개조개가 전체 어획물의 68%로 가장 많았고, 다음으로 키조개가 18%였으며, 그리고 바지락 등도 소량 차지하였다(국립수산과학원, 2010).

3차년도의 조사대상 해역인 남해안 해역에서 수시로 현지답사를 통해 주요항구 및 어판장에서 시료를 구입하였다. 시료의 구입은 경남 사천, 창원, 통영, 전남 여수에서 주로 구입하였으며, 구입한 시료는 개조개, 갯자개, 깨다시꽃게, 민꽃게, 바지락, 살조개, 새조개, 왕우럭조개, 우럭조개, 피조개, 대수리, 갈색띠매물고둥, 보리새우, 홍색민꽃게, 가시발새우를 구입하였다(Table 3.1.7).

이처럼 구입한 시료는 연성저질에 서식하는 유용무척추동물의 DNA 염기서열을 분석하기 위해 실험실로 냉동 운반하여 DNA 분석을 실시하였다.

Table 3.1.7. Collection of the useful invertebrates in study area(2010)

2010년 (3차년도)	종 명	채집지역 및 시기
1	 개조개 ( <i>Saxidomus purpuratus</i> )	경남 사천 삼천포항 구입 2010년 2월
2	 갯가재 ( <i>Oratosquilla oratoria</i> )	경남 창원 마산항 구입 2010년 6월
3	 깨다시꽃게 ( <i>Ovalipes punctatus</i> )	경남 통영 어시장 2010년 2월

Table 3.1.7. Continued

4	 민꽃게 ( <i>Charybdis japonica</i> )	경남 사천 삼천포항 구입 2010년 2월
5	 바지락 ( <i>Tapes philippinarum</i> )	경남 통영 어시장 2010년 2월
6	 살조개 ( <i>Protothaca jedoensis</i> )	경남 통영 어시장 2010년 2월
7	 새조개 ( <i>Fulvia mutica</i> )	전남 여수 여수항 2010년 2월
8	 왕우럭조개 ( <i>Tresus keenae</i> )	경남 사천 삼천포항 구입 2010년 2월
9	 우럭조개 ( <i>Mya arenaria oonoga</i> )	경남 통영 어시장 2010년 2월

Table 3.1.7. Continued

10	 피조개 ( <i>Scapharca broughtonii</i> )	경남 사천 삼천포항 구입 2010년 2월
11	 대수리 ( <i>Thais clavigera</i> )	경남 통영 어시장 2010년 10월
12	 갈색띠매물고둥 ( <i>Neptunea arthritica cumingi</i> )	경남 통영 어시장 2010년 10월
13	 보리새우 ( <i>Marsupenaeus japonicus</i> )	전남 여수 여수항 2010년 10월
14	 홍색민꽃게 ( <i>Charybdis acuta</i> )	경남 통영 어시장 2010년 10월
15	 가시발새우 ( <i>Metanephrops thomsoni</i> )	경남 통영 어시장 2010년 10월

르. 4차년도(2011년)

4차년도에는 조사대상 해역을 서해안 해역으로 옮겨 조사를 실시하였다. 서해안 일대에서 조업 중인 잠수기어업의 현황은 다음과 같다. 서해안 해역에 속한 경기도의 잠수기 어업의 어기는 1~12월로 주로 펄, 모래, 자갈 등의 저질에서 채집이 이루어지며, 수심은 10~50 m에서 이루어지고 있다. 주요 어종은 키조개, 개조개, 성게 등이며, 어장은 서해안 일대이다. 충남의 잠수기어업의 어획량은 2004~2006년 1,920~3,395톤으로 꾸준히 증가세를 나타냈으나, 이후 2007년 2,860톤으로 소폭 하락한 후 2008년 3,765톤으로 증가했다. 그리고 2009년 4,647톤을 나타내어 제일 높은 어획량을 나타내었다. 어기는 4~5월에는 키조개, 해삼, 소라 등이며, 7~8월엔 개조개로 나타났다. 주로 10 m 수심에서는 해삼을 채집하며, 25~35 m 수심에서는 조개류를 채집하는 것으로 나타났다. 주요 어종은 조개류, 해삼, 소라 등으로 나타났다. 전북의 잠수기어업의 어획량은 2004년 835톤, 2005년 1,277톤, 2006년 662톤으로 가장 적은 어획량을 나타내었고, 2007년 2,918톤으로 가장 많은 어획량을 나타냈다. 주요 어기는 충남과 비슷하게 나타났으며, 주요 어종 또한 조개류, 해삼, 소라 등으로 비슷한 어종으로 나타났다(국립수산과학원, 2010).

4차년도의 조사대상 해역인 서해안 해역의 조간대 갯벌에서 수시로 채집하거나 현지답사를 통해 주요항구 및 어판장에서 시료를 채집 및 구입하였다. 시료의 채집은 충남 태안, 대전, 인천 강화도 갯벌, 전북 부안의 조간대 갯벌에서 채집하였으며, 시료의 구입은 인천 소래포구, 충남 보령, 서천, 태안, 전북 부안, 전남 무안 등의 주요 어시장에서 주로 구입하였다. 채집 및 구입한 시료는 꽃게, 동죽, 백합, 주꾸미, 낙지, 피랴고둥, 갈맛조개, 큰구슬우렁이, 개맛, 갯고둥, 민챙이, 개랑조개, 명주개랑조개, 가리맛조개, 대하, 가무락조개, 흰새우, 맛조개, 대맛조개, 넓적원손집게, 비단고둥, 흰반점민챙이아재비, 새조개, 떡조개, 꼬막, 칠게, 썩, 개불 등을 채집 및 구입하였다(Table 3.1.8).

Table 3.1.8. Collection of the useful invertebrates in study area(2011)

2011년 (4차년도)	종 명	채집지역 및 시기
1	 꽃게 ( <i>Portunus trituberculatus</i> )	전북 부안 격포항 구입 2011년 5월
2	 동죽 ( <i>Mactra veneriformis</i> )	전북 부안 격포항 구입 2011년 5월

Table 3.1.8. Continued

3	 백합 ( <i>Meretrix meretrix</i> )	전북 부안 격포항 구입 2011년 5월
4	 주꾸미 ( <i>Octopus ocellatus</i> )	전북 부안 격포항 구입 2011년 5월
5	 낙지 ( <i>Octopus minor</i> )	전남 목포 어시장 구입 2011년 5월
6	 피황고둥 ( <i>Purple whelk</i> )	충남 보령 대천항 구입 2011년 5월
7	 갈맛조개 ( <i>Solecortus divaricatus</i> )	충남 보령 대천항 구입 2011년 5월
8	 큰구슬우렁이 ( <i>Glossaulax didyma didyma</i> )	충남 보령 대천항 구입 2011년 5월

Table 3.1.8. Continued

9	 개맛 ( <i>Lingula unguis</i> )	전북 부안 격포해수욕장 채집 2011년 5월
10	 갯고둥 ( <i>Batillaria multiformis</i> )	전북 부안 격포해수욕장 채집 2011년 5월
11	 민챙이 ( <i>Bullacta exarata</i> )	전북 부안 격포해수욕장 채집 2011년 5월
12	 개랑조개 ( <i>Mactra chinensis Philippi</i> )	충남 보령 대천해수욕장 채집 2011년 8월
13	 명주개랑조개 ( <i>Coelomactra antiquata</i> )	충남 보령 대천항 구입 2011년 8월
14	 가리맛조개 ( <i>Sinonovacula constricta</i> )	충남 서산 어시장 구입 2011년 9월

Table 3.1.8. Continued

15		충남 서산 어시장 구입 2011년 9월
	대하 ( <i>Fenneropenaeus chinensis</i> )	
16		충남 서산 어시장 구 2011년 9월
	가무락조개 ( <i>Cyclina sinensis</i> )	
17		충남 서천 어시장 구입 2011년 9월
	흰새우 ( <i>Exopalaemon orientis Holthuis</i> )	
18		충남 서천 어시장 구입 2011년 9월
	맛조개 ( <i>Solen corneus Lamarck</i> )	
19		충남 서천 어시장 구입 2011년 9월
	대맛조개 ( <i>Solen grandis Dunker</i> )	
20		충남 태안 만리포해수욕장 채집 2011년 9월
	넓적원손집게 ( <i>Diogenes edwardsii</i> )	

Table 3.1.8. Continued

21		충남 태안 만리포해수욕장 채집 2011년 9월
	비단고둥 ( <i>Umbonium costatum</i> )	
22		충남 태안 만리포해수욕장 채집 2011년 9월
	흰반점민챙이아재비 ( <i>Philinopsis giglioli</i> )	
23		충남 태안 안면도 어시장 구입 2011년 9월
	새조개 ( <i>Fulvia mutica</i> )	
24		인천 소래포구 어시장 구입 2011년 10월
	떡조개 ( <i>Phacosoma japonica</i> )	
25		인천 소래포구 어시장 구입 2011년 10월
	포막 ( <i>Tegillarca granosa</i> )	
26		인천 소래포구 어시장 구입 2011년 10월
	미동정	

Table 3.1.8. Continued

27	 철게 ( <i>Macrophthalmus japonicus</i> )	인천 강화 동막해수욕장 채집 2011년 10월
28	 속 ( <i>Upogebia major</i> )	충남 태안 의항리 채집 2011년 7월
29	 미동정	인천 소래포구 어시장 구입 2011년 10월
30	 개불 ( <i>Urechis unicinctus</i> )	충남 태안 대천항 구입 2011년 10월

□. 5차년도(2012년)

5차년도 조사는 4차년도와 동일한 서해안 해역에서 조사를 실시하였다. 조간대 갯벌에서 수시로 채집하거나 현지답사를 통해 주요항구 및 어판장에서 시료를 채집 및 구입하였다. 시료의 채집은 충남 태안, 전북 군산의 조간대 갯벌에서 채집하였으며, 시료의 구입은 전북 군산, 전남 무안 등의 주요 어시장에서 주로 구입하였다. 시료로 문어, 방게, 방게, 수동방게, 엽낭게, 풀게, 농게, 애기참게, 검은띠불가사리, 아무르불가사리, 별불가사리, 땡가리, 보리무늬, 긴발가락참집게, 빛조개, 말미잘, 가시돗해삼, 상어껍질벌벌레, 해삼, 가는버들갯지렁이, 참갯지렁이, 갯가재, 광동줄새우, 긴발딱총새우, 꼬마자주새우, 등근돗대기새우, 큰손딱총새우, 흙발딱총새우, 염통성게 등을 채집 및 구입하였다 (Table 3.1.9).

Table 3.1.9. Collection of the useful invertebrates in study area(2012)

2012년 (5차년도)	종 명	채집지역 및 시기
1	 문어 ( <i>Enteroctopus dofleini</i> )	전남 무안 수산시장 구입 2012년 5월
2	 방게 ( <i>Philyra pisum</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월
3	 방게 ( <i>Helice tridens</i> )	충남 태안 드르니항 채집 2012년 6월
4	 수동방게 ( <i>Helicana japonica</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월
5	 엽낭게 ( <i>Scopimera globosa</i> )	충남 태안 드르니항 채집 2012년 6월
6	 풀게 ( <i>Hemigrapsus penicillatus</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월

Table 3.1.9. Continued

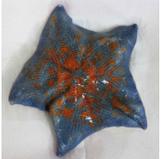
7	 농게 ( <i>Uca arcuata</i> )	전북 군산 장항항 채집 2012년 6월
8	 애기참게( <i>Eriocheir leptognathus</i> )	인천 강화 동막 해수욕장 채집 2012년 10월
9	 검은띠불가사리 ( <i>Luidia quinaria</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 6월
10	 아무르불가사리 ( <i>Asterias amurensis</i> )	충남 태안 만리포 해수욕장 채집 2012년 6월
11	 별불가사리 ( <i>Asterina pectinifera</i> )	충남 태안 만리포 해수욕장 채집 2012년 6월
12	 땡가리 ( <i>Batillaria cumingii</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월

Table 3.1.9. Continued

13	 보리무룩 ( <i>Mitrella bicincta</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월
14	 긴발가락참집게 ( <i>Pagurus minutus</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월
15	 빛조개 ( <i>Nuttallia japonica</i> )	충남 태안 바람아래 해수욕장 채집 2012년 6월
16	 말미잘 (Actiniaria)	충남 태안 몽산포 해수욕장 채집 2012년 6월
17	 가시닷해삼 ( <i>Protankyra bidentata</i> )	충남 태안 신두리 해수욕장 채집 2012년 10월
18	 상어껍질벌벌레 ( <i>Phascolosoma scolops</i> )	충남 태안 드르니항 채집 2012년 6월

Table 3.1.9. Continued

19	 해삼 1 (Holothuroidea)	전북 군산 수산물특화시장 구입 2012년 6월
20	 해삼 2 (Holothuroidea)	전북 군산 수산물특화시장 구입 2012년 6월
21	 가는버들갯지렁이 ( <i>Notomastus latericeus</i> )	충남 태안 드르니항 채집 2012년 6월
22	 참갯지렁이 ( <i>Neanthes japonica</i> )	충남 태안 드르니항 채집 2012년 6월
23	 갯가재 ( <i>Oratosquilla oratoria</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월
24	 광동줄새우 ( <i>Palaemon guangdongensis</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월

Table 3.1.9. Continued

25	 긴발딱총새우 ( <i>Alpheus japonicus</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월
26	 꼬마자주새우 ( <i>Crangon urita</i> )	충남 태안 의항리 채집 2012년 10월
27	 둥근돛대기새우 ( <i>Leptochela sydniensis</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월
28	 큰손딱총새우 ( <i>Alpheus digitalis</i> )	충남 태안 의항리 채집 2012년 10월
29	 홉발딱총새우 ( <i>Alpheus bisincisus</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월
30	 엄통성게 ( <i>Schizaster lacunosus</i> )	충남 태안 연포 해수욕장 채집 2012년 10월

② 대상해역의 연성저질에 서식하는 중형저서동물의 군집구조

1mm 이하의 망목의 체를 통과하는 크기를 가지는 중형저서동물은 매우 다양한 분류군으로 구성되어 있는데, 전체 40개의 동물문에서 22개의 동물문이 속하며, 이들 중 대표적인 동물문은 후생동물계(Metazoa)에서는 선형동물(Nematoda), 저서성 요각류가 포함되어 있는 절지동물문(Arthropoda), 동문동물(Kinorhyncha), 복모동물(Gastrotricha), 동갑동물(Loricifera), 편형동물(Tubellaria) 등이며, 원생동물계(Protozoa)에서는 육질충류(Sarcomastigophora)와 섬모충류(Ciliophora)를 들 수가 있다. 이들 중형저서생물은 대단히 크기가 작음에도 불구하고 다양성이 풍부한 그룹이며, 이들의 서식밀도는 연안역에서 1평방미터당 1,000,000~10,000,000 개체로 매우 높게 나타난다(McIntyre, 1969). 서식밀도는 주로 유기물의 양, 저질 간극 및 간극수 내의 산소량에 의존한다. 적절한 양의 먹이가 공급되고, 산소 조건이 양호하며 또한 퇴적물의 분급이 좋아 공간이 많은 퇴적물에는 1평방미터당 1억 개체에 달하는 다수의 중형저서생물을 볼 수 있다(Coull, 1999). 1980년대 이후 해양저서환경을 평가함에 있어서 중형저서생물의 유효성에 대한 관심이 높아지고 있는데, 중형저서생물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 비교적 안정된 환경을 요구하며, 세대 기간이 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에도 군집의 변화를 보이기 때문이다(Sandulli & De Nicola, 1990). 이들 중형저서생물 그룹 중 특히 저서성 요각류는 빈산소환경에 민감하고 환경의 악화, 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소하며, 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 내성이 높은 것 뿐 아니라, 일부 그룹들은 빈산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다(Raffaelli & Mason, 1981).

본 연구는 이러한 연성저질에 매우 높은 서식밀도로 서식하여, 주된 수산자원의 먹이생물이 되고, 환경적으로 유용하게 활용될 수 있는 중형저서동물 군집을 대상으로 가막만을 중심으로한 여수해역에서의 분포특성을 환경특성별로 분석하고 고찰하였다.

연구대상 해역인 가막만은 전라남도 여수에 위치해 있고, 내만이 잘 발달한 곳으로서 돌산도와 육지로 둘러싸여 있으며 타원형의 내만으로 평균 수심 약 6.3 m인 천해이다(이, 1993). 조사기간 동안 정점의 위치는 보다 정확성을 기하기 위하여 garmin사의 GPS를 이용하여 기록하였으며, 각 정점에서의 채집은 대부분 반경 10 m 내에서 위치하도록 하였다(Table 3.1.1).

2008년 5월과 8월 두 시기에 채집된 여수해역의 퇴적물을 분석한 결과, 모두 12 종류의 중형저서동물 군집이 출현하였다. 가장 우점한 중형저서동물 분류군은 선충류로 정점별로 13~562 개체/10cm<sup>2</sup>의 서식밀도로 출현하였으며, 5월의 꼬막양식장 하부의 정점 2에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈다(Fig.3.1.10). 정점 2를 제외하고는 만의 안쪽에서 입구쪽으로 갈수록 선충류의 서식밀도가 증가하는 경향을 보였다. 그 다음은 저서성 요각류로 0~54 개체/10cm<sup>2</sup>의 서식밀도를 보였다. 선충류와 마찬가지로 저서성 요각류 역시 만 안쪽에서 입구쪽으로 갈수록 서식밀도가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3.1.11). 저서성 요각류도 5월의 서식밀도가 8월의 서식밀도에 비하여 높게 나타났으나, 8월에는 전체 정점에서 저서성 요각류의 서식이 나타난 반면에 서식밀도가 높았던 5월에는 정점 1과 3에서는 저서성 요각류가 출현하지 않았다. 이 두 분류군이 대부분의 정점에서 전체 출현 개체수의 80% 이상을 차지하였다(Table 3.1.11). 이외에는 갑각류의 유생, 저서 유공충류, 다모류(환형동물), 패충류, 이매패류, 단각류, 쿠마류, 동문동물, 잔물응애류 등이 출현하였는데, 대부분 만 입구의 정점

4와 5에서 출현하였다.

2009~2010년에 출현한 중형저서동물은 총 23개의 분류군이 출현하였다(Table 3.1.10). 이러한 분류군 수는 김 등 (2000)에 의해 1998년 가막만에서 조사 된 총 20개 분류군이 출현한 것과 비교하여 다소 높은 출현분류군수를 보였다(김 등, 2000). 2009년에 총 16개 분류군이 출현하였고, 2010년에 21개 분류군이 출현하여 2009년에 비해 상대적으로 증가하여 나타났다. 계절별 출현분류군수는 2009년 2월에 12개, 6월에 11개 분류군이 출현하여 큰 차이를 보이지 않았지만 10월에 8개 분류군이 출현하여 조사기간 중 가장 낮은 출현분류군수를 나타냈다. 2010년은 계절별로 출현분류군수가 큰 차이를 보이지 않았으며, 10월에 조사기간 중 가장 높은 16개 분류군이 출현하였다. 2009년 10월에 비하여 2010년 10월에 출현분류군수가 크게 증가하여 나타난 결과는 출현분류군 중 갑각류(Crustacea)의 출현과 관련이 깊다. 전 계절 중 가장 낮은 출현분류군수를 나타낸 2009년 10월에 갑각류 중 저서성 요각류(Harpacticoida)의 서식밀도가 가장 낮은 출현을 나타냈고, 단각류(Amphipoda), 요각류(Copepoda)가 출현하지 않았다.

우점분류군은 선충류(Nematodes), 저서성 요각류(Harpacticoids), 다모류(Polychaetes), 유공충(Sarcomastigophorans), 갑각류 유생(Nauplius), 동문동물(Kinorhynch) 순으로 나타났고, 전 계절에서 선충류(Nematodes)가 가장 우점하는 경향을 보였다. 선충류(Nematodes)의 서식밀도가 전체 서식밀도의 80% 이상을 차지하였고(Table 3.1.11), 그 다음으로 저서성 요각류(Harpacticoids)의 서식밀도가 높게 나타났다. 이러한 분류군 조성비는 김 등(2000)에 의해 이루어진 가막만의 중형저서동물 조성비와 일치하는 경향을 보였다(김 등, 2000). 최우점 분류군인 선충류(Nematodes)의 계절별 평균 서식밀도는 2010년 6월에 가장 높은 837 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였고, 2010년 2월에 가장 낮은 563 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였다. 두 번째 우점분류군인 저서성 요각류(Harpacticoids)의 계절별 평균 서식밀도는 2009년 2월에 가장 높은 67 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였고, 2009년 10월에 가장 낮은 5 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였다. 세 번째 우점분류군인 다모류(Polychaetes)는 2009년 6월에 가장 높은 17 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였고, 2010년 6월 가장 낮은 4 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였다. 네번째 우점분류군인 유공충(Sarcomastigophorans)은 2009년 2월에 출현한 후 6월과 10월에 출현하지 않았고, 2010년에 다시 출현하였다. 유공충(Sarcomastigophorans)의 계절별 평균 서식밀도는 2010년 2월에 가장 높은 22 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였고, 2009년 2월에 가장 낮은 5 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였다. 다섯 번째 우점분류군인 동문동물은 환경 오염에 저서성 요각류보다 더욱 민감하다고 알려져 있다(Higgins and Fleeger, 1980). 이러한 생태적 특성을 갖고 있는 동문동물의 계절별 평균 서식밀도는 2009년 2월과 2010년 10월에 가장 높은 5 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였고, 2009년 6월과 10월에 가장 낮은 1 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하였다. 계절적으로 2009년 2월에서 6월로 계절이 변화됨에 따라 개체수가 감소하여 10월에 같은 서식밀도를 보였고, 2010년 2월에 증가하여 10월에 가장 높은 출현을 나타냈다(Table 3.1.10).

2009~2010년에 가막만에서 출현한 중형저서동물의 서식밀도를 보면 정점별로 33 개체/10 cm<sup>2</sup>에서 2037 개체/10 cm<sup>2</sup> 사이의 값을 나타냈다(Fig. 3.1.9). 연도별 서식밀도는 2009년에는 2월 정점 7에서 33 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮았으며, 정점 10에서 1732 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 2010년에는 2월 정점 8에서 198 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮았으며, 6월 정점 2에서 2037 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하여 가

장 높았다. 서식밀도의 공간적인 분포를 보면 2009년에는 전 계절에서 만 내 쪽인 정점 1, 2, 6, 7, 10에서 만 입구 쪽 인 정점 3, 4, 5, 8, 9로 갈수록 서식밀도가 감소하는 경향을 보였다. 2010년도 전 계절에서 만 내 쪽에서 만 입구 쪽으로 갈수록 서식밀도가 감소하는 경향을 보였다. 계절별로 보면 2009년과 2010년 6월에 만 내 쪽과 만 입구 쪽의 평균 서식밀도가 큰 차이를 보였는데 2009년 6월에는 만 내 쪽에서 804 개체/10 cm<sup>2</sup>, 만 입구 쪽에서 417 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하여 약 두 배 차이를 보였다. 2010년도 6월에 만 내 쪽에서 1196 개체/10 cm<sup>2</sup>, 만 입구 쪽에서 575 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하여 약 두 배 이상 차이를 보였다(Fig. 3.1.9).

정점별로 계절의 변동 양상을 보면 만 입구 쪽인 정점 5, 8이 계절적인 감소폭이 가장 작게 나타나고, 만 내 쪽 지역에서는 정점 10이 계절적인 감소폭이 적게 나타났다. 정점별 평균 서식밀도는 만 입구 쪽인 정점 8에서 323 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하여 가장 낮았으며, 만 내 쪽인 정점 10에서 1239 개체/10 cm<sup>2</sup>가 출현하여 가장 높게 나타나 중형저서동물 그룹이 서식하기에 유리한 조건이라 생각된다(Fig. 3.1.9).

2009~2010년 가막만에서 출현한 중형저서동물 그룹 중 총 서식밀도의 80% 이상을 차지하여 가장 높은 우점 분류군인 선충류(Nematodes)의 서식밀도를 보면 정점별로 평균 31 개체/10 cm<sup>2</sup>에서 2027 개체/10 cm<sup>2</sup> 사이의 값을 나타냈다(Fig. 3.1.10). 연도별 서식밀도는 2009년에는 2월 정점 7에서 32 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮았으며, 같은 달 정점 7에서 1415 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 2010년에는 6월 정점 8에서 187 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮았으며, 6월에 정점 2에서 2027 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 정점별 평균 서식밀도는 만 입구 쪽인 정점 8에서 280 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 낮았으며, 만 내 쪽인 정점 10에서 1128 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 이런 결과는 정점별·시기별로 차이는 있지만 김 등(2000)에 의해 가막만에서 유사한 시기와 정점에서 조사된 결과와는 일치하지 않았다. 김 등(2000)에 의하면 가막만의 만내 쪽 정점이 가장 낮은 서식밀도를 보이고, 만 입구 쪽 정점에서 높은 서식밀도를 보였다(김 등, 2000).

선충류(Nematodes) 다음으로 높은 서식밀도를 보인 저서성 요각류(Harpacticoids)의 서식밀도를 보면 정점별로 평균 6 개체/10 cm<sup>2</sup>에서 45 개체/10 cm<sup>2</sup> 사이의 값을 나타냈다(Fig. 3.1.6). 연도별 서식밀도는 2009년에는 2월 정점 3, 6월 정점 10, 10월 정점 7에서 출현하지 않았고, 2월에 252 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 2010년에는 10월 정점 7, 10에서 출현하지 않았고, 같은 달인 10월에 정점 3에서 77 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높았다. 정점별 평균 서식밀도는 만 내 쪽인 정점 10에서 45 개체/10 cm<sup>2</sup>로 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 선충류(Nematodes)의 서식밀도와 유사하게 나타났으며, 김 등(2000)에 의해 가막만에서 유사한 시기와 정점에서 조사된 결과와는 일치하지 않았다. 김 등(2000)에 의하면 가막만의 만 내 쪽 정점이 가장 낮은 서식밀도를 보이고, 만 입구 쪽 정점에서 높은 서식밀도를 보였다(김 등, 2000). 저서성 요각류(Harpacticoids)는 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소(Raffaelli and Mason, 1981; Warwick, 1981)하는 특징을 갖고 있는데, 만 내 쪽인 정점10에서 높은 서식밀도를 보임으로써, 저서환경이 1998년보다 상대적으로 중형저서동물이 서식하기에 유리한 서식환경조건으로 생각된다(Fig. 3.1.11).

Table 3.1.10. Abundance of meiofaunal taxa at each sampling period in Gamak Bay(Unit: ind./10cm<sup>2</sup>)

	2008		2009			2010		
	May	Aug.	Feb.	Jun.	Oct.	Feb.	Jun.	Oct.
Nematodes	589	132	687±187	564±77	584±59	563±162	837±227	618±180
Harpacticoids	20	5	67±23	26±7	5±2	13±9	18±11	27±12
Polychaetes	6		8±8	17±12	11±8	8±5	4±2	9±4
Sarcomastigophorans		7	5±5			22±13	18±11	11±8
Nauplius		5	16±12	1±1		1±1	6±6	16±13
Kinorhynchs		1	5±5	1±1	1±1	2±1	2±1	5±2
Bivalves	1		1±1	1±1	1±1	1±1	4±2	2±2
Amphipods			1±1	1±1		1±1	1±1	3±3
Copepods				1±1		4±3	1±1	1±1
Tanaidaceans			1±1	1±1	1±1	1±1		1±1
Cumaceans			1±1		1±1	1±1	1±1	1±1
Isopods				1±1			1±1	3±1
Tardigrades						1±1	2±1	1±1
Turbellarians						1±1	3±3	
Echinoderms			1±1					2±2
Halacaloideans	1			1±1	1±1	1±1		1±1
Ostracods							1±1	1±1
Ciliophorans			1±1					
Gastrotrichs			1±1					
Gnathostomulids		1						
Insects				1±1				
Nemertines						1±1		
Rotiferans						1±1		
Cnidarians								1±1
Loriciferans								1±1
Others						16±16	3±1	6±6
Total	617	151	795±189	616±162	605±205	638±136	902±215	709±145

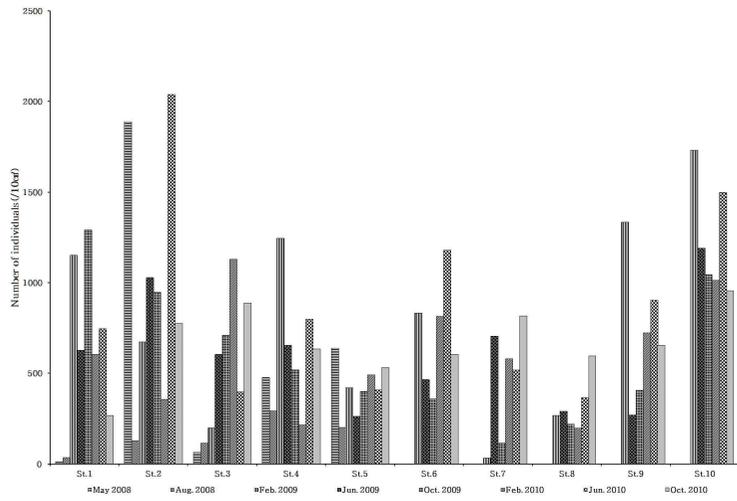


Fig. 3.1.9. Abundance graph of meiofauna at each station and period in Gamak Bay.

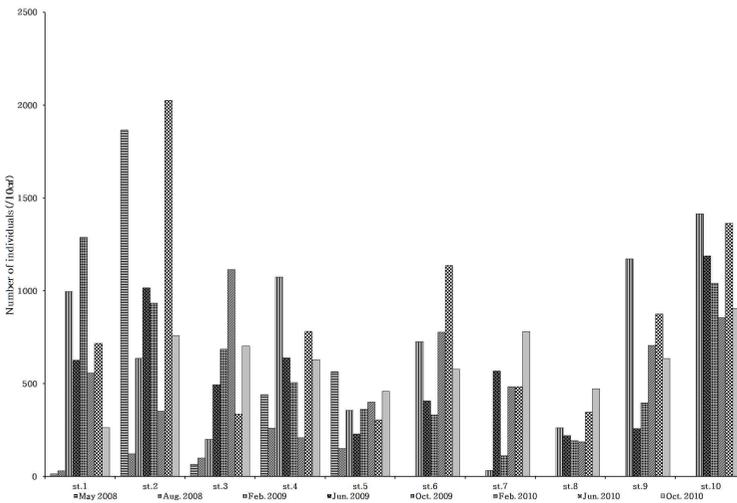


Fig. 3.1.10. Abundance graph of nematodes at each station and period in Gamak Bay.

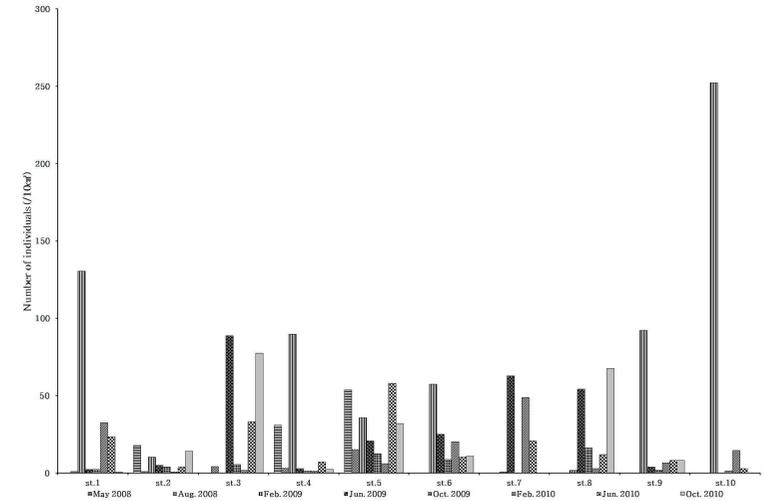


Fig. 3.1.11. Abundance graph of harpacticoides at each station and period in Gamak Bay.

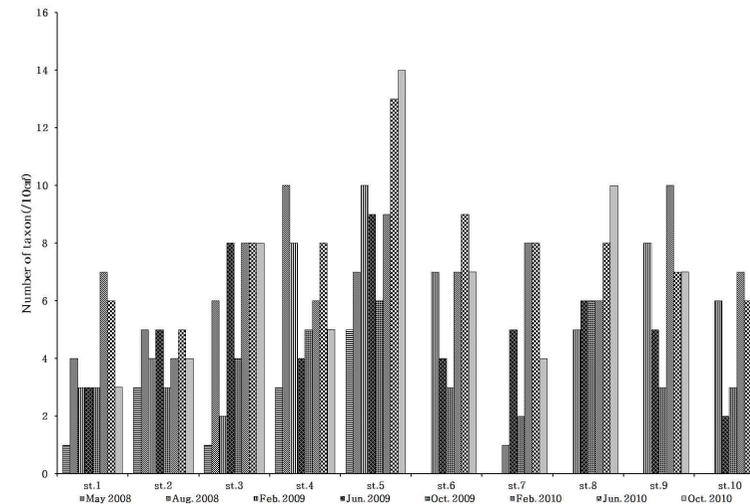


Fig. 3.1.12. Abundance graph of taxon number at each station and period in Gamak Bay.

Table 3.1.11. The density of dominant taxa in proportion to the total density in Gamak Bay

	2008		2009			2010		
	May	Aug.	Feb.	June	Oct.	Feb.	June	Oct.
Mean abundance(ind./10cm <sup>2</sup> )	617	151	795±189	616±162	605±205	638±136	902±215	709±145
Mean abundance of nematodes (ind./10cm <sup>2</sup> )(%)	589 (95)	131 (87)	687±187 (86)	564±77 (92)	584±59 (97)	563±162 (88)	837±227 (93)	618±180 (87)
Mean abundance of harpacticoids (ind./10cm <sup>2</sup> )(%)	21 (3)	5 (3)	67±23 (8)	26±7 (4)	5±2 (1)	13±9 (2)	18±11 (2)	27±12 (4)

(나) DNA 분석

① 대상해역의 연성저질에 서식하는 대형저서동물의 DNA 분석

ㄱ. 1차년도(2008년)

A. 키조개(*Atrina pectinata*)에 대한 분자유전학적 연구

기존에 일본에서는 Ohmi Bay의 키조개를 대상으로 키조개(*Atrina pectinata*)를 대상으로 "A comparison between two types of *Atrina pectinata*"의 제목으로 연구를 수행하였다. 그 이후에 GenBank에서 4개의 미토콘드리아 COI 염기서열을 보고하였고, Discrimination between two types of *Atrina pectinata* in Ariake Bay(2001년) 제목으로 연구를 수행하였으나 아직 논문으로 는 출판되지 않은 상태이다.

또한 대만의 연구자들에 의해 2004년에 Journal of Shellfisheries Research - Xiangyong Yu, Yong Mao, Meifang Wang, Li Zhou and Jianfang Gui "Genetic heterogeneity analysis and RAPD marker detection among four forms of *Atrina pectinata* Linnaeus" 연구 결과를 출판하였고, *Atrina pectinata*에 최소 2종이 존재할 가능성이 있음을 결론 내렸다.

한국에서는 국립수산물연구원서 키조개 *Atrina pectinata*를 대상으로 마이크로새플라이트 분석을 실시하였고 GenBank 상에 이들의 데이터를 2007년도에 22개를 보고하였다. 상업성이 높은 키조개의 유전적 다양성과 집단 분석을 위한 연구를 진행 중에 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 상업적으로 중요한 해양 연체동물인 키조개를 대상으로 한국 서해안 오천에서 채집한 5개체, 남해안 여수에서 채집한 3개체, 득량만에서 채집한 형태적으로 차이를 보이는 두 타입의 키조개 개체군 중에서 23개체를 대상으로 미토콘드리아 COI 유전자 부위에서 염기서열을 결정하여 비교분석하였다(Fig. 3.1.13, 3.1.14).

한국의 세 지역에서 채집된 키조개의 미토콘드리아 COI 유전자의 염기서열을 비교분석 결과 지금까지의 결과로는 한국에는 한 종의 키조개가 서식하고 있음을 확인할 수 있었다. 종내의 COI 유전자의 염기서열의 분화정도는 1% 미만의 수치를 보였다. 키조개류 종의 다양성 확인 문제는 연속적인 연구가 필요하다고 생각된다. 상기한 한국과 인접한 일본과 대만의 연구 사례에서 볼 수 있는 바와 같이 한국에도 형태적으로 매우 유사한 다른 키조개류가 서식하고 있을 가능성을 배제할 수는 없을 것으로 보인다. 2차년도의 연속적인 연구를 통하여 종 다양성의 문제는 지속적으로 연구하고자 한다. 다양한 종의 서식은 현재의 급변하는 지구변화에 있어 고부가가치 유용해양생물의 멸종과도 직접적으로 연관이 있다고 설명할 수 있다. 형태적으로 유사한 종이 동소적으로 서식할 경우 이들 종들은 멸종의 운명에서 단 한 종만이 서식하는 환경보다는 훨씬 더 유리한 입장에서 대처가 가능하기 때문이다.

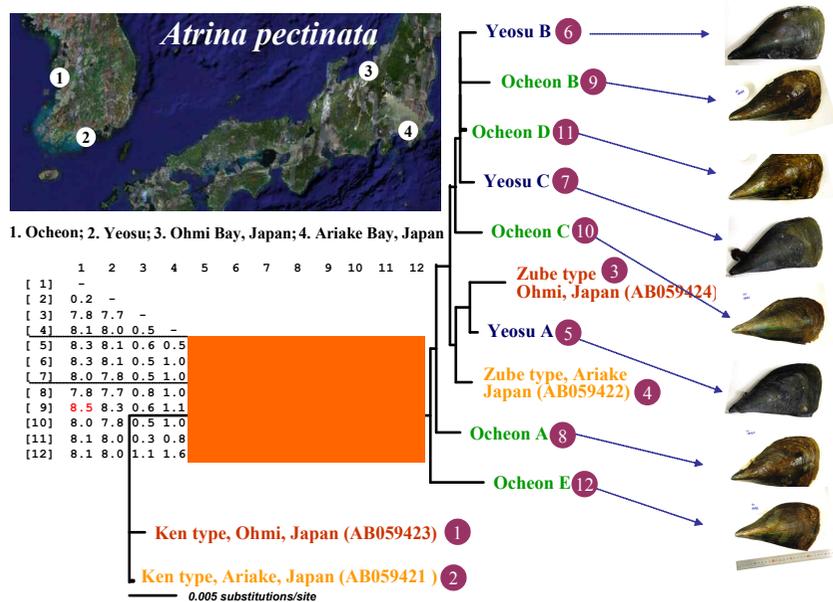


Fig. 3.1.13. Comparison of COI gene of *Atrina pectinata* of Yeosu (South Sea), Ocheon (Yellow Sea) and Japan.

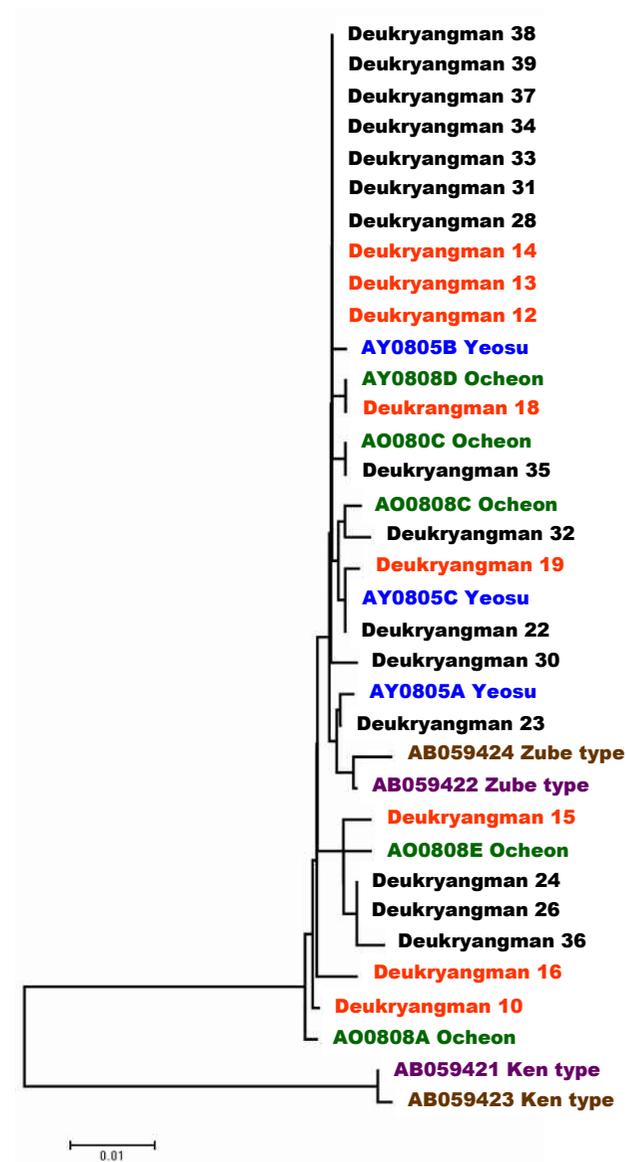


Fig. 3.1.14. Dendrogram of COI sequence to be caught *Atrina pectinata* at Deukrang bay, Yeosu, Ocheon, and Japan.

B. 한국산과 일본산의 미토콘드리아 COI 유전자 염기서열 비교 분석

GenBank에서 일본의 두 지역에서(Ohmi Bay, Ariake Bay 2 지역) 두 type (Ken type 2개체, Zube type 2개체)의 키조개류가 서식하고 있음을 확인 할 수 있었다. 미토콘드리아 COI 유전자 염기서열분석 결과 일본에는 두 지역(Ohmi Bay, Ariake Bay) 각각에 COI 유전자의 유전적 차이가 8% 가량의 두 종으로 판단되는 종이 동소적(sympatric)으로 분포하고 있었다. 동소적으로 분포하는 두 종이 별종임을 강하게 지지해준다

한국의 세 지역에서 채집된 개체들은 일본의 Zube type 이라고 명명된 그룹과 같은 종으로 판단된다. 유전적 차이는 최대 1.6%를 보였다. 역시 한 종내의 개체변이로 판단된다. 한국에 서식하는 종들과 일본의 Zube type은 미토콘드리아 COI 유전자의 염기서열 분화정도로(1% 미만) 보아 한 종내의 다른 개체군으로 판단되며, 이들과 일본의 Ken type과는 8% 이상의 미토콘드리아 COI 유전자 염기서열 분화정도를 보였다. 8% 이상의 분화 정도로 보아 키조개는 형태적으로 매우 유사한 자매종(sibling species)을 이루고 있을 가능성이 매우 높다고 판단되면 2차년도에 지속적인 연구를 통해 이를 확인할 예정이다. 즉 일본에 서식하는 키조개 종과 개체군을 대상으로도 역시 분자유전학적 연구를 확대할 계획이다.

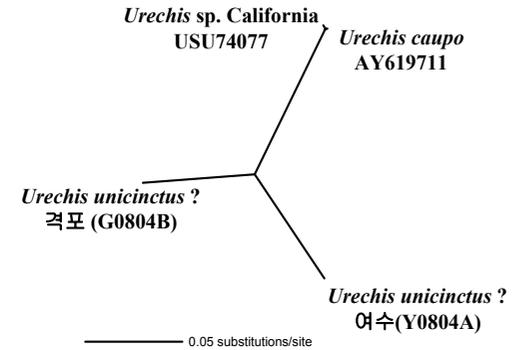
키조개류를 대상으로 한 1차년도의 연구결과 매우 흥미로운 점을 확일 할 수 있었다. 한 종으로 생각되어 오던 키조개가 자매종을 이루고 있을 가능성이 높음을 확일 할 수 있었다. 이러한 1차년도의 연구결과는 한국의 다양한 지역의 개체군들을 대상으로 하는 확인 연구가 절실히 지속적으로 필요하며, 또한 일본에 서식하는 다수의 개체군 확보를 통해 이를 정확히 재확인할 필요성이 또한 높다. 본 연구의 중요한 의의는 급변하는 지구 변화에 대비하여 분자집단유전학적 연구를 통하여 주요 유용해양자원인 키조개류 자원의 정확한 정보를 산출함으로써 지속적인 관리와 보존을 가능케 하기 위해서 시급히 이루어져야 한다고 판단된다.

C. 개불(*Urechis unicinctus*)에 대한 분자유전학적 연구

한국에는 지금까지 개불(*Urechis unicinctus*) 한 종이 서식하고 있는 것으로 알려져 왔다. 하지만 개불류를 대상으로 하는 의충동물에 대한 전반적인 생물다양성 연구가 이루어진 바는 없는 것으로 알고 있다.

본 연구에서는 유용수산자원인 개불을 대상으로 미토콘드리아 COI 유전자에 의거한 유전자다양성을 확인하고자 하였다. 1차년도의 연구결과 모두 2지역(여수, 격포)에서 각각 1개체씩의 개불을 대상으로 미토콘드리아 COI 유전자 염기서열을 결정하였다. 결정된 염기서열과 GenBank에 등재되어 있던 *Urechis caupo* (AY619711)와 *Urechis* sp.(USU74077)의 COI 유전자 염기서열을 상호 비교하였다. 비교결과 한국산 개불은 한 종이 아닌 것으로 판단되었다.

한국산 2지역의 2개체 사이에는 12%의 유전자 염기서열 분화를 보였다. 한국의 여수에서 채집된 개체는 *Urechis caupo* 및 *Urechis* sp.와는 14%의 분화정도를 그리고 격포에서 채집된 개체는 *Urechis caupo* 및 *Urechis* sp.와는 15%의 분화정도를 보여주었다. 4개체 모두 다른 개불류라고 판단된다(Fig. 3.1.15). 본 연구를 통해서 2차년도에는 한국의 최대한 많은 지역의 개체들을 대상으로 유용해양생물인 개불류의 한국산 종들에 대한 생물다양성 연구가 체계적으로 이루어질 필요가 있음을 강하게 시사해 주었다.



	1	2	3	4
1. 여수(Y0804A)	-			
2. 격포(Y0804A)	0.12	-		
3. <i>Urechis</i> sp. California USU74077	0.14	0.15	-	
4. <i>Urechis caupo</i> AY619711	0.14	0.15	0.003	-

Fig. 3.1.15. The interspecific identity between *Urechis* CO1 gene sequence.

ㄴ. 2차년도(2009년)

A. 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용 무척추동물의 DNA 분석

대상해역의 연성저질에 서식하는 유용 무척추동물의 DNA 분석을 위하여 11종의 대형저서동물의 시료를 채집 및 구입하였다(Fig. 3.1.16). 대상종은 꼬리긴뿔고둥, 꼬막, 농조개, 다섯모부채개, 두드러기부채개, 민꽃개, 새꼬막, 왕밤송이게를 선정하였다. 선정된 대상종은 형질 형태분석을 통해 종을 구분하였고, 미토콘드리아 COI 유전자 분석을 통해 염기서열을 결정하였다(Fig. 3.1.17). 결정된 염기서열과 GenBank에 등재되어 있는 염기서열을 상호 비교하였다.

확보된 염기서열의 정보와 대상종의 채집 지역 및 채집 일 등을 DB화하여 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물의 현황을 파악하였다(Fig. 3.1.18)



Fig. 3.1.16. The target species for DNA sequencing analysis in study area.

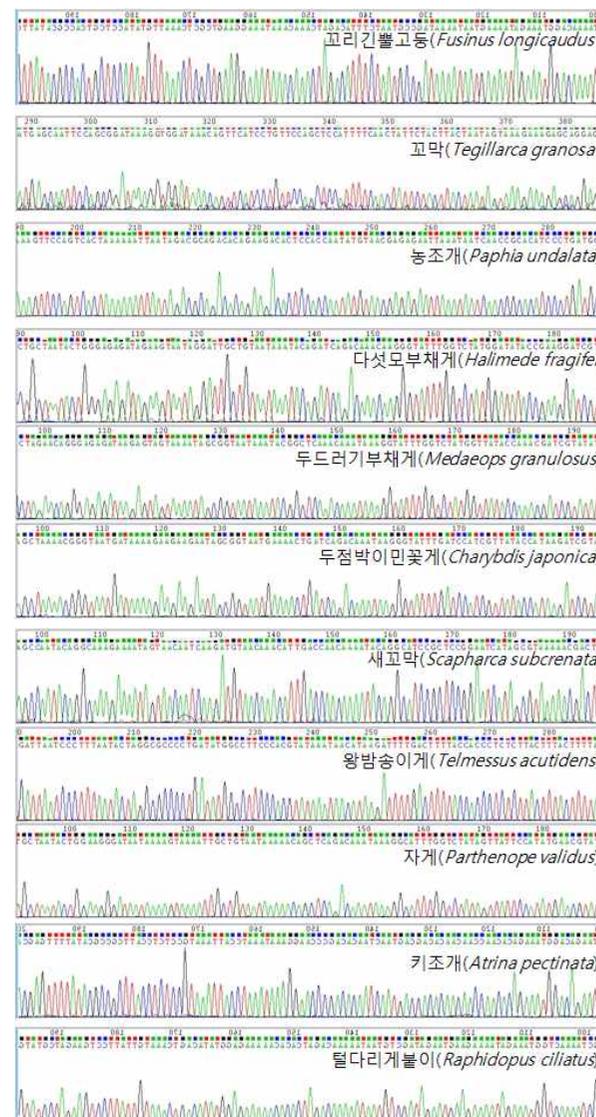


Fig. 3.1.17. The result of target species chromatograph by DNA sequencing analysis.

종 정보					채집정보									
학명	한글명	종 성명	종 성명 출처			채집시점	채집번호	위치정보		채집방법	개체수	개체수범위	성차	생태정보
			계시명	지자	출판사			출판년도	LATITUDE					
<i>Pellissieria aculeata</i>	둥굴레가래	남양주=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2009	20090219	20090219					시상	구입
<i>Pellissieria granaea</i>	고사	남양주=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2007	20090219	20090219					시상	구입
<i>Atrina pectinata</i>	키조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090219	20090219					시상	구입
<i>Scapharca subrostrata</i>	바다조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090219	20090219					시상	구입
<i>Raphia undulata</i>	바다조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2007	20090810	20090810	34°40'	127°40'	기뢰판		트랩	150 cm x 30 cm, 입물 1 cm
<i>Ramus longicaudus</i>	장꼬리문패조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090219	20090219					시상	구입
<i>Melampus granulosus</i>	망초조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090219	20090219					시상	구입
<i>Penthesopus validus</i>	가래	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090810	20090810	34°40'	127°40'	기뢰판		트랩	150 cm x 30 cm, 입물 1 cm
<i>Chelydota japonica</i>	도막가래	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090810	20090810	34°40'	127°40'	기뢰판		트랩	150 cm x 30 cm, 입물 1 cm
<i>Raphidopus chilensis</i>	바다조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090810	20090810	34°40'	127°40'	기뢰판		트랩	150 cm x 30 cm, 입물 1 cm
<i>Haliotis fragilis</i>	다소굴조개	충청남도=충청남도	한국동물목록위원회	국립생물자원관	이원익	2008	20090810	20090810	34°40'	127°40'	기뢰판		트랩	150 cm x 30 cm, 입물 1 cm

Sequence	Sequence LENGTH	Gene Type	Read Direction	PCR Primers				Sequencing Primers				CHROMATOGRAM	
				Forward		Reverse		Forward		Reverse			Internal
				Name	Sequence	Name	Sequence	Name	Sequence	Name	Sequence		
ACTTTATATT	570	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
AACTTATATT	575	COI	Reverse	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
AAACCTTTAC	580	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
AAACCTTTAT	584	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
GTGGTATAT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
AACTTATATT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
TACACTATAT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
TACTCTATAT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
TACTCTATAT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도
TACTCTATAT	590	COI	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Forward	HCO2168 (5' GTTAAACTTCAGGGT9AC)	Reverse	LCO1490 (3' GGTCAACAATCATAAAGATATTGG)	Internal		오천=충청남도

Fig. 3.1.18. Database information of target species and DNA sequencing analysis.

B. 키조개(*Atrina pectinata*)에 대한 집단유전학적 연구

한국산 키조개 집단의 집단유전학적 연구를 진행하기 위하여 한국의 오천, 득량만, 여수 해역에서 키조개류 집단을 확보하였다. 오천에서는 19개체, 득량만에서는 38개체, 여수에서는 13개체를 확보하였다.

Table 3.1.12는 한국의 3 집단에 획득한 각 집단의 유전적 변이에 대한 기술을 보여준다. 분석 결과 한국의 3집단 중에서 오천 해역에서 획득한 키조개 집단에서 유전적 다양도가 전반적으로 높음을 확인할 수 있었다.

Table 3.1.12. Population genetic analysis of the Korean *Atrina pectinata* collected from three different populations

Location	No. Individuals	No. Haplotypes	Gene Diversity	Nucleotide Diversity	$\theta_{HOM}$	$\theta_s$	$\theta_{\pi}$
오천 (Ocheon)	19	11	5.941520 ± 2.965918	0.009113 ± 0.005084	7.239039 ± 4.856242	5.150055 ± 2.088031	5.941520 ± 3.314489
득량만 (Deukryang)	38	18	4.321970 ± 2.193941	0.006629 ± 0.003742	4.431798 ± 2.274822	5.667125 ± 2.034249	4.321970 ± 2.439858
여수 (Yeosu)	13	8	2.794872 ± 1.577781	0.004287 ± 0.002720	7.473517 ± 5.941710	3.866963 ± 1.778289	2.794872 ± 1.773536
Total	65	29	4.480769 ± 2.235685	0.006872 ± 0.003802	5.422122 ± 2.012696	6.956315 ± 2.152788	4.480769 ± 2.478816

집단유전학적 분석 결과 haplotype들이 어떻게 연관관계가 있는지 살펴보기 위해 haplotype network를 작성하였다(Fig. 3.1.19). 한국에서 가장 높은 빈도로 출현하는 haplotype 주위로 작은 빈도의 haplotype들이 별처럼 모여 있는 것으로 분석되었는데 이것은 한국의 집단이 비교적 최근에 그 개체수가 증가했다는 것을 보여주는 것을 보여준다. 한국의 3 지역의 집단에서 지역 색깔들이 haplotype 곳곳에 균등하게 퍼져있는 것을 볼 수 있는데 이것은 지역과 계통유연관계 사이에는 특별한 연관성이 없는 것을 보여준다.

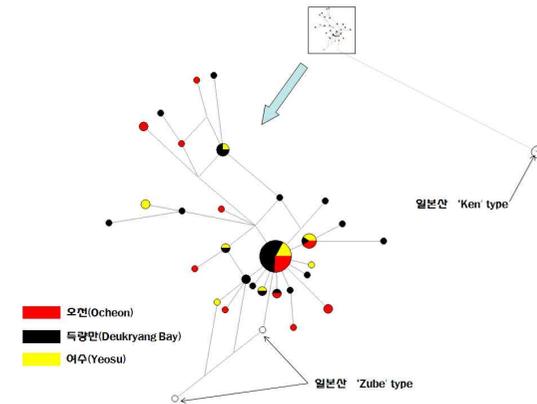


Fig. 3.1.19. The haplotype network on the three Korean population of *Atrina pectinata* based on the COI gene sequences (red: Ocheon; black: Deukryang Bay; Yellow: Yeosu; empty circle: Japanese specimens).

ㄷ. 3차년도(2010년)

대상해역의 연성저질에 서식하는 유용 무척추동물의 DNA 분석을 위하여 15종의 대형저서동물의 시료를 채집 및 구입하였다(Fig. 3.1.20). 대상종은 개조개, 갯가재, 깨다시꽃게, 민꽃게, 바지락, 살조개, 새조개, 왕우럭조개, 우럭조개, 피조개, 대수리, 갈색띠매물고둥, 보리새우, 홍색민꽃게, 가시발새우를 선정하였다. 선정된 대상종은 형질 형태분석을 통해 종을 구분하였고, 미토콘드리아 COI 유전자 분석을 통해 염기서열을 결정하였다(Fig. 3.1.21). 결정된 염기서열과 GenBank에 등재되어 있는 염기서열을 상호 비교하였다.



Fig. 3.1.20. The target species for DNA sequencing analysis in study area.

확보된 염기서열의 정보와 대상종의 채집 지역 및 채집 일 등을 DB화하여 대상해역의 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물의 현황을 파악하였다(Fig. 3.1.22).

한국산 남해와 서해 해역에서 3 지역(오천, 득량만, 여수)의 키조개 집단과 일본의 동남부 해역의 3지역에서 확보한 3 집단의 키조개류를 대상으로 집단유전학적 연구를 수행하였다. 일본 동부의 이세만에서는 본 연구자들이 직접 방문하여 키조개 집단 표본을 확보하였고, 다른 2지역에서의 키조개류 유전정보는 Genbank에서 염기서열 정보를 확보하였다(Ken type가 Zube type).

집단유전학적 분석결과 일본에서 확보한 3집단 중에서 한 집단인 Ken type은 일본에서 보고된 다른 형인 Zube type과는 종 수준에서 분명히 다른 것으로 해석되었다. 또한 일본에서 우점하는 Zube type은 한국에 서식하는 키조개와 상당히 유사한 유전적 거리를 보여 주었다. 한국산 키조개와 일본산 대표 키조개의 집단유전학적 연구에 대한 결과는 Fig. 3.1.23에 나타나 있다.

Fig. 3.1.21. The result of target species chromatograph by DNA sequencing analysis.

학명	한글명	종정보			지역	채집일
		중 설명 출처				
		저서명	저자	출판사		
<i>Saxidomus purpuratus</i>	가조개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	경남 사천 삼천포항	2010년2월
<i>Protothaca jiddensis</i>	살조개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	통영	2010년2월
<i>Fulvia mutica</i>	살조개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	여수항	2010년2월
<i>Tresus keenae</i>	황후조개	원색한국과학기술도감	류종상	일지사	경남 사천 삼천포항	2010년2월
<i>Mya arenaria oonogai</i>	우럭조개	원색한국과학기술도감	류종상	일지사	통영	2010년2월
<i>Scapharca broughtonii</i>	피조개	원색한국과학기술도감	류종상	일지사	경남 사천 삼천포항	2010년2월
<i>Tapes philippinarum</i>	바지락	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	통영	2010년2월
<i>Ovulipes punctatus</i>	귀디시굴개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	통영	2010년2월
<i>Charybdis japonica</i>	민꽃개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	경남 사천 삼천포항	2010년2월
<i>Oratosquilla oratoria</i>	갯가재	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	마산항	2010년6월
<i>Metanephrops thomsoni</i>	가시발새우	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	통영	2010년10월
<i>Charybdis acuta</i>	홍색민꽃개	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	통영	2010년10월
<i>Marsupenaeus japonicus</i>	보리새우	한국해양유척추동물도감	대표저자 홍성운	도서출판아카데미서적	마산항	2010년10월
<i>Neopanopeus arthritica cumingii</i>	갈색띠대물고둥	원색한국과학기술도감	류종상	일지사	통영	2010년10월
<i>Thais clavigera</i>	대수리	원색한국과학기술도감	류종상	일지사	통영	2010년10월

Sequencing Primers									
Sequence	GENE Type	Read Direction	Forward				Reverse		
			Sequence	Name	Sequence	Name	Sequence		
GA4CTGGR	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GGTATTCTA	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GGGTTACTT	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
ATTGGGCG	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GGGCGAGT	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
CTGGGCAAG	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
TGTATTATT	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GATAGTAG	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GATCAATT	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
AGTAGGAA	COI	Forward	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG				
GATATAGG	COI	Forward/Reverse	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC GGR TGG CCR AAR AAY CA		
ATATAGGT	COI	Forward/Reverse	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC ACY AAY CAY AAR GAY ATY GG	COI-F	TTC GGR TGG CCR AAR AAY CA		
TGATCGGA	COI	Forward/Reverse	TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AATCA	COI-F	TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AATCA	COI-F	TTC GGR TGG CCR AAR AAY CA	TTGG	
GGATATGAT	COI	Forward/Reverse	TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AATCA	HCO2198(26mer)	TAA ACT TCA GGG TGA CCA AAA AATCA	LC01480(26mer)	GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTGG		

Fig. 3.1.22. Database information of target species and DNA sequencing analysis.

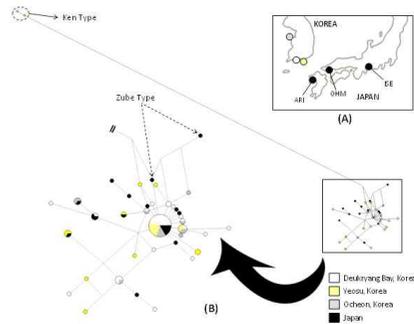


Fig. 3.1.23. A map denoting the sampling locations (A) and a haplotype network diagram (B). In the network diagram, size of the circles denotes the number of individuals that contain the haplotype. The proportions of individual sequences belonging to sampling locations are represented in the pie chart.

(나) 대상해역의 연성저질에 서식하는 중형저서동물의 DNA 분석

① 4차년도(2011년)

해양의 간극수 환경에 서식하는 주요 해양선형동물을 대상으로 형태적으로 매우 유사한 근연종의 종 구분을 수행하기 위하여 18S rDNA 염기서열 비교 기반 DNA 바코드 분석을 수행하였다.

긴털용선충속(*Prochaetosoma*; Fig 3.1.24)의 근연종 4종에 대한 18S 바코드 분석 결과 각 종 내의 유전적 변이는 없었고, 4종 사이에는 0.3 ~ 1.1%의 유전적변이를 보였다. 긴털용선충속의 4종 모두에서 18S 유전자가 보여 준 종내 변이의 없음과 종간에서의 변이가 있음의 정도는 18S 유전자는 해양선충류의 종간 구분에 있어서 변별력이 있을 수 있음을 보여 준다고 할 수 있을 것이다.

형태적으로 종 동정이 어려운 해양선형동물을 대상으로 18S rRNA 유전자의 DNA 염기서열을 상호 비교하여 종들을 신속히 객관적으로 동정하는 생물다양성 조사방법(DNA Sequence-based Biodiversity Survey)을 적용하였다(Fig. 3.1.25). 기존 NCBI 데이터베이스에 밝혀져 있던 해양선형동물과 당해년도 연구를 통해 확보된 해양선형동물 염기서열 유사성에 근거한 분자생태모니터링 기법을 이용하여 해양선형동물의 생물다양성을 객관적으로 추론하고 동정함에 있어 18S rDNA 유전자 염기서열 DNA 바코드 분석이 유용함을 확인할 수 있었다.

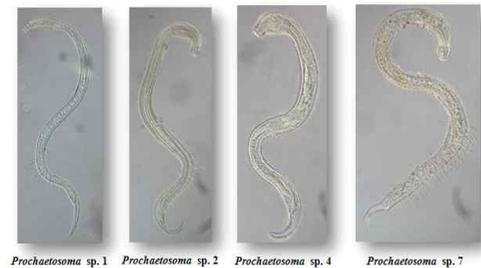


Fig. 3.1.24. Four different Korean *Prochaetosoma* species collected from the interstitial environment to analyse the genetic distances based on the 18S rRNA gene.

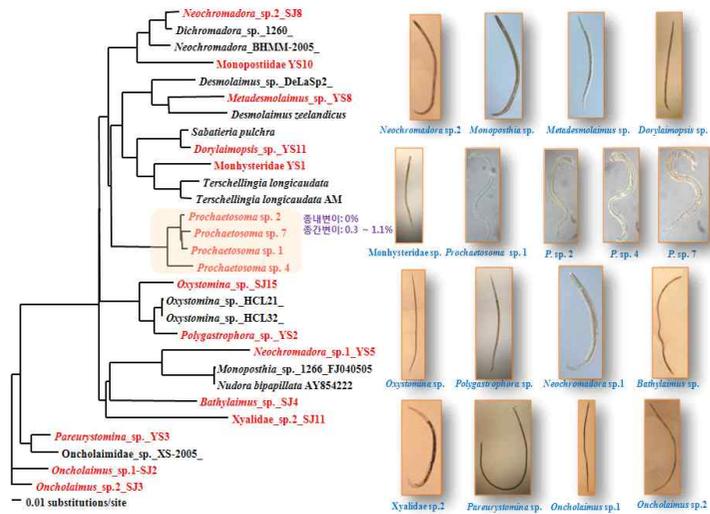


Fig. 3.1.25. Molecular operational taxonomic units of the various marine nematodes measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences.

② 5차년도(2012년)

남해안과 서해안의 간극수 환경에 서식하는 해양선형동물을 대상으로 20종을 선발하여 총 동정 후에 18S rRNA 유전자 염기서열의 분화정도를 분석하여 종 구분을 시도 하였다(Fig. 3.1.26). NCBI에서 선별한 유사 인근 분류군을 같이 분석하여 종 동정의 정도 또한 확인 하였다. 분석결과 18S 유전자는 해양선형동물의 종 구분에 있어 매우 유용한 것으로 판단되었다. 18S 유전자의 총 길이는 1800여개 정도로 구성되어 있는데, 이들의 일차배열을 근간으로 하여 다양한 분류군 사이의 유전적 변이 정도를 분석한 결과 앞쪽 400여 염기서열의 분석만으로도 종 간의 구분에 매우 유용한 것으로 확인되었다. 18S 유전자의 전체 배열에는 다양한 구간의 변이 정도가 확인 되는데 앞서 언급한 바와 같이 최초 앞쪽의 400여 염기서열의 분석만으로도 해양선형동물에 있어서는 충분한 종 구분에 유용한 유전적변이를 포함하고 있음을 확인하였다.

한국산 저서 간극생물 중에서 해양선형동물 다음으로 저서 간극환경에서 우점하는 생물군인 저서성 요각류를 대상으로 18S 유전자 염기서열을 기반으로 한 종 구분을 시도하였다(Fig. 3.1.27). 아래 그림에서 보는 바와 같이 저서성 요각류 또한 해양선형동물 종 구분용 18S 유전자 염기서열 분석과 같은 결과를 보여 주었다. 저서성 요각류는 많은 부속지를 가지는 형태적으로 분화된 해양 갑각류로 형태학적 형질을 기반으로 한 종 동정에 있어 매우 전문가가 전 세계적으로도 부족한 현실이다. 하지만 저서 환경에서의 생태학적 중요성으로 인해 종 구分的 필요성이 매우 높은 분류군으로 알려져 있다. 본 연구에서의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 18S 유전자와 타 유전자의 조합과 같은 분자마커를 이용한 분자동정 또는 DNA 바코딩 개발은 높은 생물다양성을 보이면서 생태학적으로 매우 중요한 해양선형동물과 저서 요각류의 지속적인 모니터링과 생물다양성 연구에 있어 중요한 수단으로 활용될 것으로 생각된다.



Fig. 3.1.26. Molecular operational taxonomic units of the various marine nematodes collected from southern and western coastal region of Korea measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences.

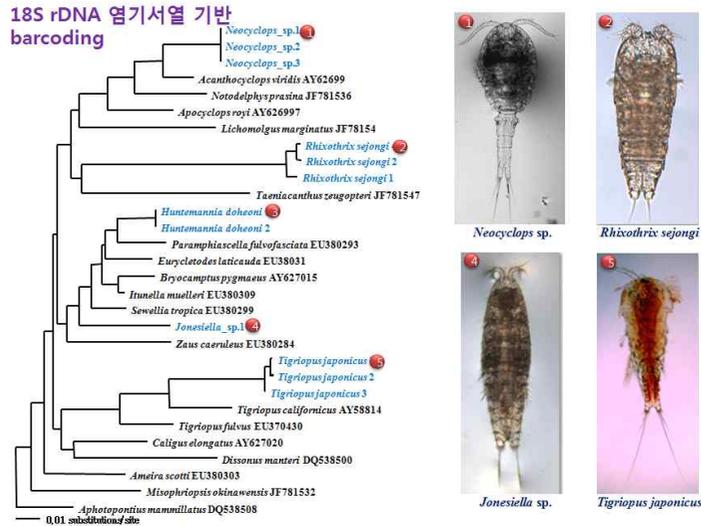


Fig. 3.1.27. Molecular operational taxonomic units of the various marine benthic harpacticoids collected from southern and western coastal region of Korea measured by the analysis of genetic distances of 18S rRNA gene sequences.

(3) NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석

차세대 유전자분석기술을 적용하여 통영 MRC 주변 해역에서 채집한 혼합시료의 종조성은 다음과 같다. 분석된 Forward reads와 Reverse reads의 수 및 contige 수가 유사하다. 읽힌 염기서열 길이는 500bp-600bp 사이에 많이 분포하며 Blast 검색 결과 적지동물이 가장 많이 분석된 것을 알 수 있다(Table 3.1.13-14, Fig. 3.1.28-29).

차세대 유전자분석 기술을 적용하여 통영바다목장에서 2012년 8월 6일 채집한 네트 혼합시료의 종 조성 분석결과 7문, 17목에 속하는 44종이 분석되었다(Table 3.1.15). 해양생태계를 구성하는 종 조성 파악으로 유생 출현시기 및 산란장 검토 등, 추후 생태계의 구조 변동을 살펴볼 수 있으리라 본다.

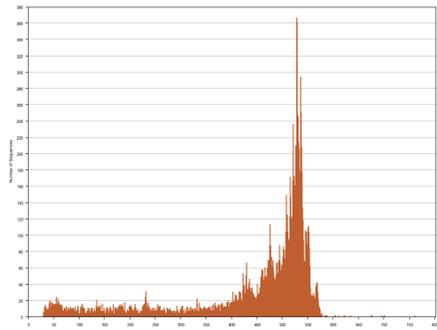
Table 3.1.13. Summary of invertebrate sequence analyzed

	Forward	Reverse
number of reads	16,059	16,434
number of cotings	539	536
contig>100	512	485
used reads	14,443	14,188
unused reads	1,616	2,246
unused reads>100	1,137	1,442

Table 3.1.14. Result of Blast search

		BLAST 결과		종수	
Annelida	Citellata			1	
	Polychaeta			9	
Arthropoda	Chelicerata	Buthida		1	
		Cladocera		2	
	Thoracica			13	
		Copepoda		12	
	Amphipoda			3	
	Decapoda			25	
	Malacostraca			1	
	Insecta			10	
	Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida		2
			Flustrellidridae		1
Chaetognatha	Aphragmophora	Sagittidae		2	
Chordata	Craniata	Vertebrata	Actinopterygii	14	
		Thaliacea	Doliolidae	1	
		Ascidiacea	Styelidae	1	
Cnidaria	Anthozoa			2	
	Hydrozoa			5	
Ctenophora	Typhlocoela	Cydippida	Pleurobrachiidae	1	
Echinodermata	Eleutherozoa	Asterozoa		4	
		Echinozoa		4	
		Crinoidea		2	
Mollusca	Pelmatozoa	Bivalvia	Pteriomorpha	Ostreoida	1
		Cephalopoda	Coleoidea	Neocoleoidea	1
	Gastropoda		Caenogastropoda	Hypsogastropoda	9
		unclassified			1
Nemertea	unclassified			1	
Onychophora	Peripatopsidae	Peripatopsis		1	
Rotifera	Monogononta	Ploimida	Synchaetidae	2	
Viridiplantae				3	
Stramenopiles				7	
Rhodophyta				2	
Amoebozoa				1	
Fungi				1	
Metazoa environmental samples				1	
Total				146	

(A) Forward



(B) Reverse

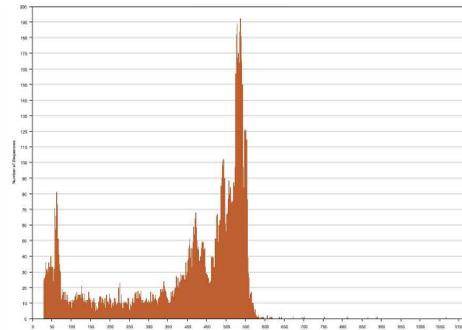


Fig. 3.1.28. Distribution of massive sequence length.

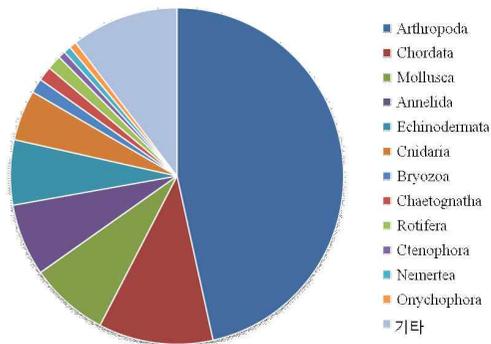


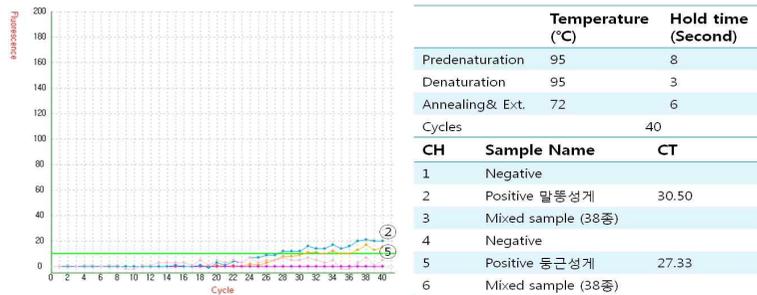
Fig. 3.1.29. Diagram of BLAST search.

Table 3.1.15. Species composition of fish eggs, larvae of invertebrates, zooplankton in Tongyeong by Next generation Sequencing analysis

Query	Assession number	Organism	국명	Sequence Length	% Pairwise Identity	phyllum	Class	order
ContigF 269	AB040676	Engraulis japonicus	멸치	520	98.80%	Chordata	Actinopterygii	Clupeiformes
ContigF 19	EU082205	Halichoeres tenuispinis	농래기	562	99.20%	Chordata	Actinopterygii	Perciformes
ContigF 28	HM180593	Parajulis poecilopterus	용치농래기	535	99.90%	Chordata	Actinopterygii	Perciformes
ContigR 200	HM180768	Parapercis multifasciata	열쌍둥이리	550	98.80%	Chordata	Actinopterygii	Perciformes
ContigR 318	HM180882	Sillago japonica	청브리멸	556	99.00%	Chordata	Actinopterygii	Perciformes
ContigR 91	HM180799	Psenopsis anomala	새돔	518	99.80%	Chordata	Actinopterygii	Perciformes
ContigF 399	AB176541	Doliolum nationalis	바다술통불이	567	98.50%	Chordata	Thaliacea	Doliolida
ContigF 169	JQ716067	Liriope tetraphylla	네알백집해파리	501	99.50%	Cnidaria	Hydrozoa	Trachylina
ContigF 353	HM053522	Pleurobrachia globosa	중선해파리목	504	98.60%	Ctenophora	Typhlocoela	Cydidipoda
ContigF 50	EU675923	Penilia avirostris	긴꼬리물벼룩과	500	99.70%	Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca
ContigR 30	EU675911	Pseudevadne tergestina	양각목	546	100.00%	Arthropoda	Branchiopoda	Diplostraca
ContigF 361	HM180610	Hemigrapsus penicillatus	풍게	513	99.20%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigR 196	HM180786	Pilumnus minutus	해기털보부채게	501	99.60%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigF 69	EU586120	Charybdis japonica	민꽃게	552	99.10%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigR 146	EU284142	Charybdis variegata	꽃게과	548	99.20%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigF 316	JX502946	Thalamita sima	두갈래민꽃게	503	99.10%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigF 260	HM180433	Alpheus brevicristatus	떡총새우	502	99.80%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigR 35	JX502984	Palaemon pacificus	태평총새우	512	99.20%	Arthropoda	Malacostraca	Decapoda
ContigF 320	AY830437	Eurythenes gryllus	긴팔열새우과	510	98.20%	Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda
ContigF 288	AB167462	Capitulum mitella	거북손	551	98.50%	Arthropoda	Maxillopoda	Pedunculata
ContigF 204	AY514042	Pollicipes mitella	거북손	539	98.70%	Arthropoda	Maxillopoda	Pedunculata
ContigF 147	AB126701	Tetradita japonica	김은큰따개비	524	99.20%	Arthropoda	Maxillopoda	Sessilia
ContigF 271	HM045356	Acartia pacifica	오조카작은노벌레	524	99.00%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigF 332	HQ619237	Calanus sinicus	중국노벌레	547	99.10%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigF 43	HM045362	Candacia curta	짧은장발노벌레	515	98.30%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigR 173	EU599546	Paracalanus parvus	갈노벌레과	532	99.30%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigF 290	AY145428	Labidocera rotunda	두깃결실황노벌레	489	99.10%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigF 318	AF536519	Pseudodiaptomus nihonkaiensis	노벌레과	500	98.10%	Arthropoda	Maxillopoda	Calanoida
ContigF 217	AJ639907	Paraster doederleini	구열열충성게과	417	98.30%	Echinodermata	Echinoidea	Spatangoida
ContigF 435	JQ341155	Temnopleurus hardwickii	허드윅문지성게	493	98.10%	Echinodermata	Echinoidea	Temnopleuroidea
ContigF 238	GQ856189	Myrionida convoluta	열주발갯지렁이과	512	99.20%	Annelida	Polychaeta	Phyllodocea
ContigR 409	JF957859	Membranipora grandicella	막이끼벌레과	526	99.30%	Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida
ContigF 279	AY690838	Bugula neritina	큰다발이끼벌레	507	99.00%	Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida
ContigF 234	HQ718598	Cassostrea gigas	굴, 창굴	551	99.80%	Mollusca	Bivalvia	Ostreida
ContigR 195	AB158364	Todarodes pacificus	삼오징어	520	99.40%	Mollusca	Cephalopoda	Teuthida
ContigF 409	HM180820	Reishia clavigera	대수리, 강달소라	531	98.40%	Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda
ContigF 242	HM180827	Thais luteostoma	물두드럭고동, 물강달소라	566	99.00%	Mollusca	Gastropoda	Neogastropoda
ContigR 413	FJ859351	Micromonas sp.	녹조식물	513	99.40%	Eukaryota	Viridiplantae	Chlorophyta

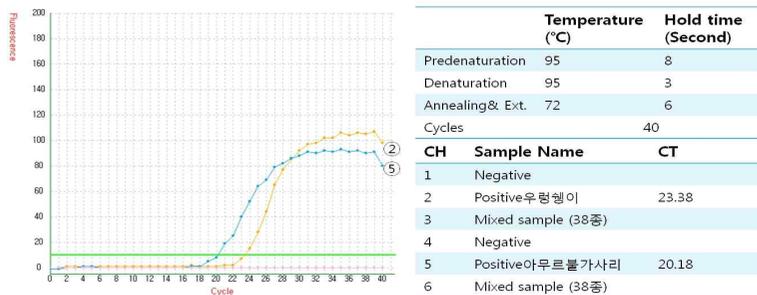
(4) 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험역 시료의 검증 완료

제작한 종 특이적인 프로브/프라이머를 적용하여 RealtimePCR을 진행하였으며 해당시료가 포함된 샘플에서 증폭곡선을 확인하였고 해당종을 포함하지 않은 혼합 시료에서는 증폭곡선을 보이지 않았다. 이를 적용하면 해당 종의 유생 출현장 탐색 및 출현시기를 확인할 수 있을 것으로 보인다 (Fig. 3.1.30-38).



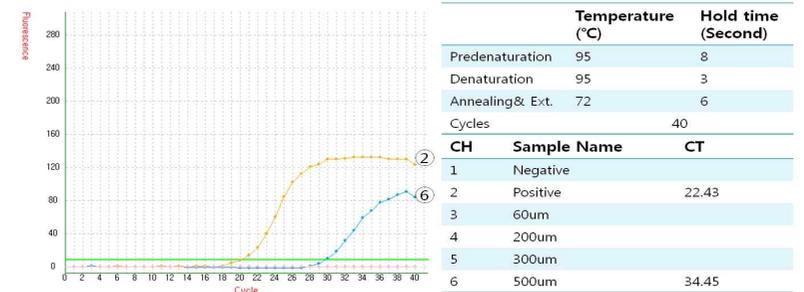
- 각 종마다 Positive control에서 증폭, 해당 종이 없는 혼합시료에서 비 증폭 확인

Fig. 3.1.30. Species specific probe test for *Hemicentrotus pulcherrimus*, *Strongylocentrotus nudus*.



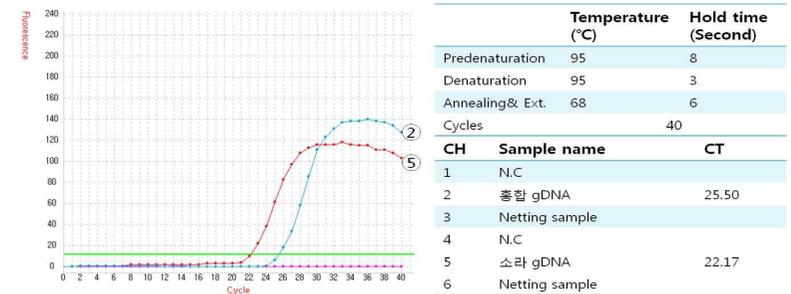
- 각 종마다 Positive control에서 증폭, 해당 종이 없는 혼합시료에서 비 증폭 확인

Fig. 3.1.31. Species specific probe test for *Halocynthia roretzi*, *Asterias amurensis*.



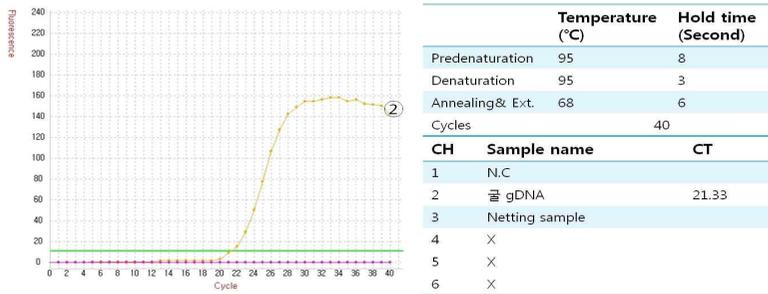
- Positive control 및 통영 MRC의 네트(300um 망목 크기) 시료의 500um 여과 시료에서 아무르불가사리 증폭을 확인함. 이로 통영 MRC 주변에 아무르불가사리 유생 출현의 가능성을 확인함.

Fig. 3.1.32. Species specific probe test for *Asterias amurensis*.



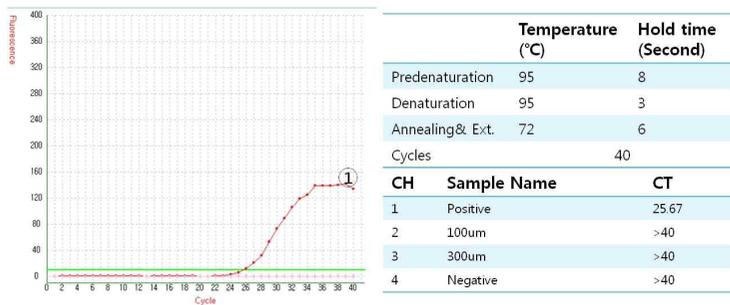
- 각 종마다 Positive control에서 증폭 확인

Fig. 3.1.33. Species specific probe test for *Mytilus coruscus* and *Turbo cornutus*.



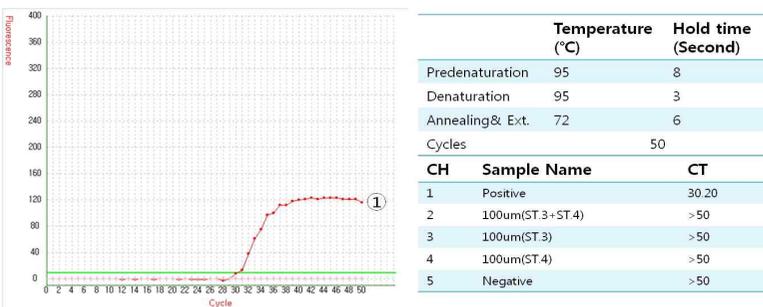
- Positive control에서 굴 증폭 확인

Fig. 3.1.34. Species specific probe test for *Crassostrea gigas*.



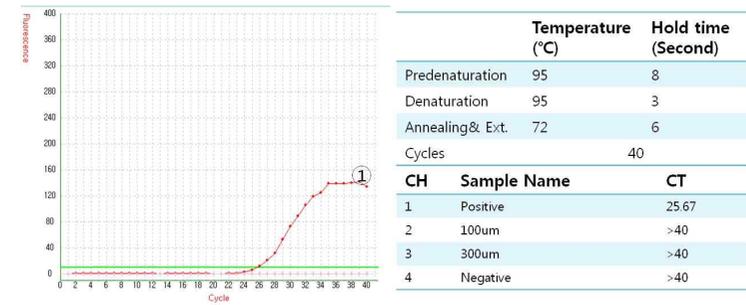
- Positive control에서 검은큰따개비 증폭 확인

Fig. 3.1.35. Species specific probe test for *Tetraclita japonica*.



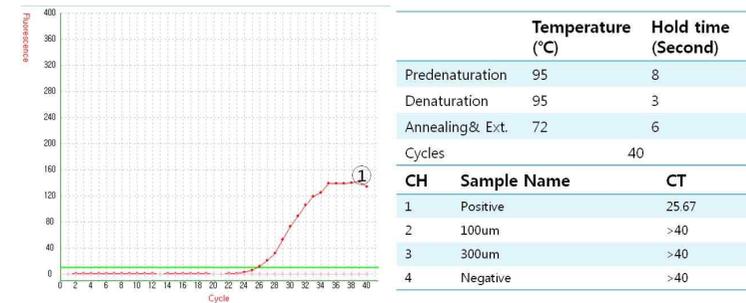
- Positive control에서 흰새우 증폭 확인

Fig. 3.1.36. Species specific probe test for *Exopalaemon orientis*.



- Positive control에서 대하 증폭 확인

Fig. 3.1.37. Species specific probe test for *Fenneropenaeus chinensis*.



- Positive control에서 썩 증폭 확인

Fig. 3.1.38. Species specific probe test for *Upogevia major*.

(5) 무척추동물의 종판별을 위한 DNA chip 개발

개발한 무척추동물의 종판별을 위한 DNachip 의 Layout이다.

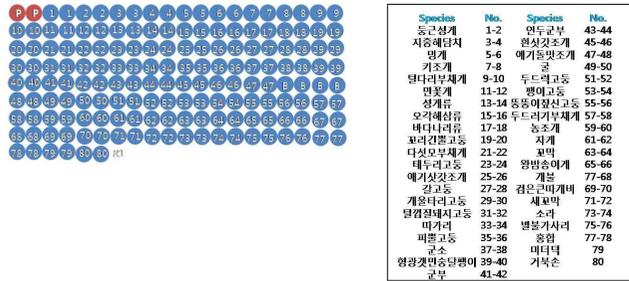


Fig. 3.1.39. The image of invertebrate DNA chip.

무척추동물 종판별용 DNA chip 실험결과는 다음과 같다(Fig. 3.1.40-51).

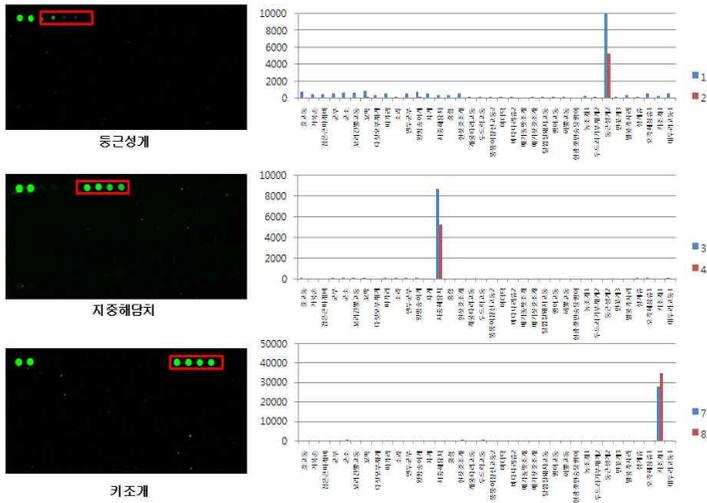


Fig. 3.1.40. *Strongylocentrotus nudus*, *Mytilus galloprovincialis*, and *Atrina pectinata* DNA chip test.

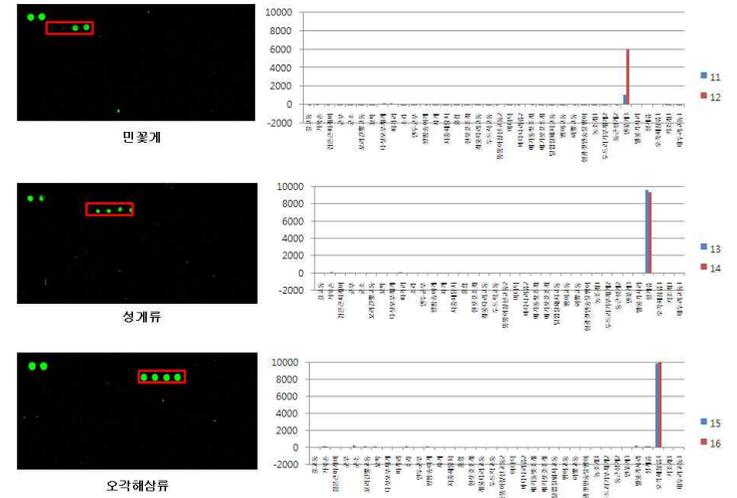


Fig. 3.1.41. *Charybdis japonica*, Echinoidea, and Pentagonal sea cucumber DNA chip test.

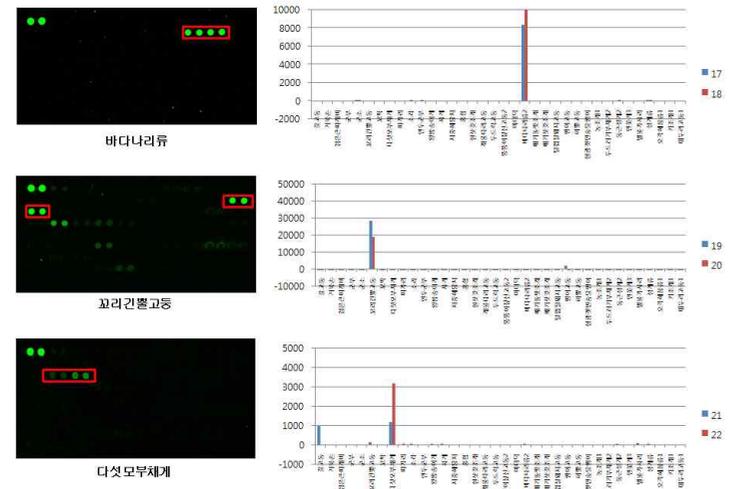


Fig. 3.1.42. Crinoids, *Fusinus longicaudus*, and *Halimede fragifera* DNA chip test.

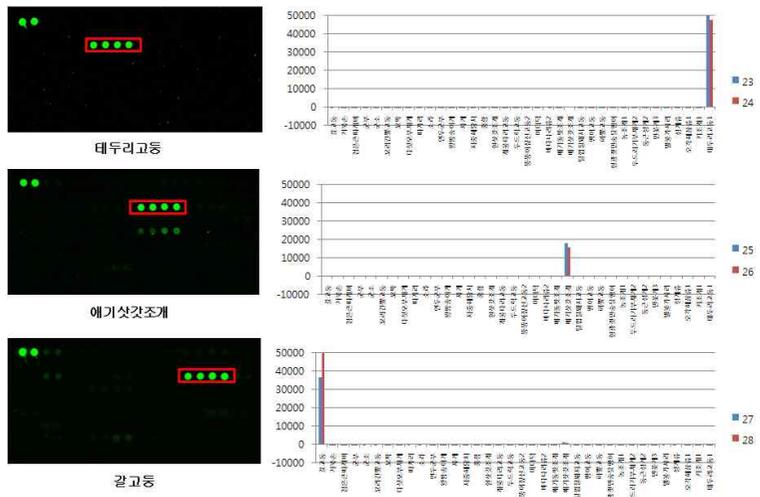


Fig. 3.1.43. *Patelloida saccharina*, *Cellana toreuma*, and *Heminerita japonica* DNA chip test.

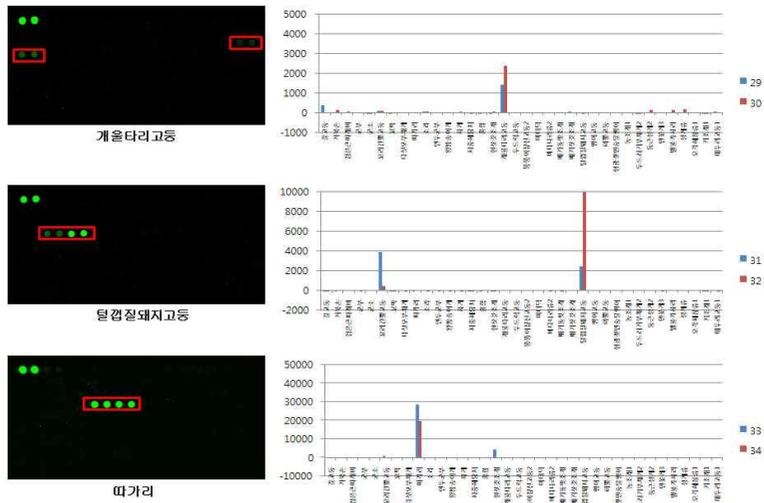


Fig. 3.1.44. *Monodonta labio confusa*, *Cantharus cecillii*, and *Placiphorella simpsoni* DNA chip test.

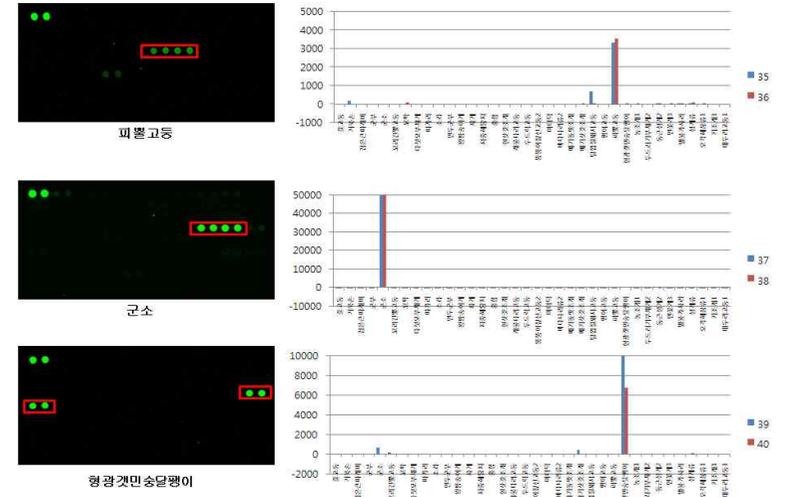


Fig. 3.1.45. *Rapana venosa*, *Aplysia kurodai*, and *Plocamopherus tilesii* DNA chip test.

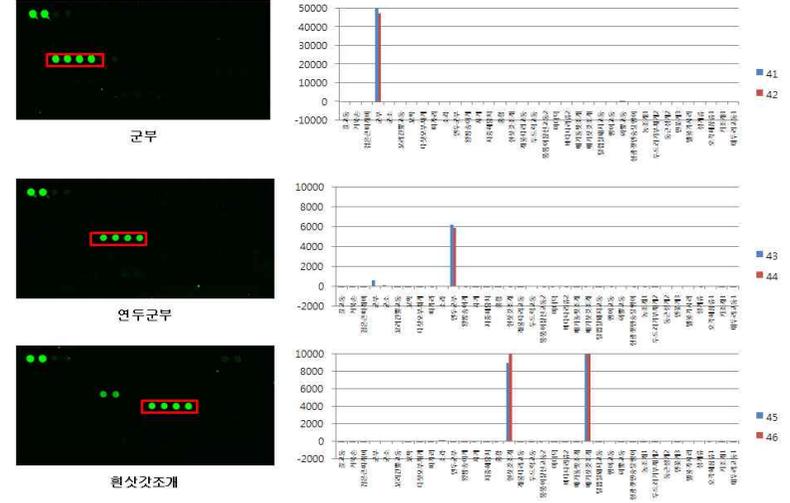


Fig. 3.1.46. *Acanthopluera japonica*, *Ischnochiton comptus*, and *Acmaea pallida* DNA chip test.

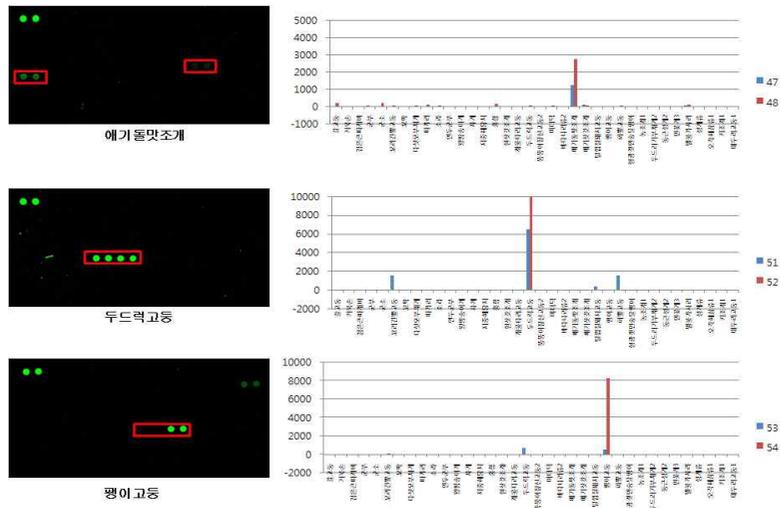


Fig. 3.1.47. *Lithophaga curta*, *Reishia bronni*, and *Omphalius pfeifferi* DNA chip test.

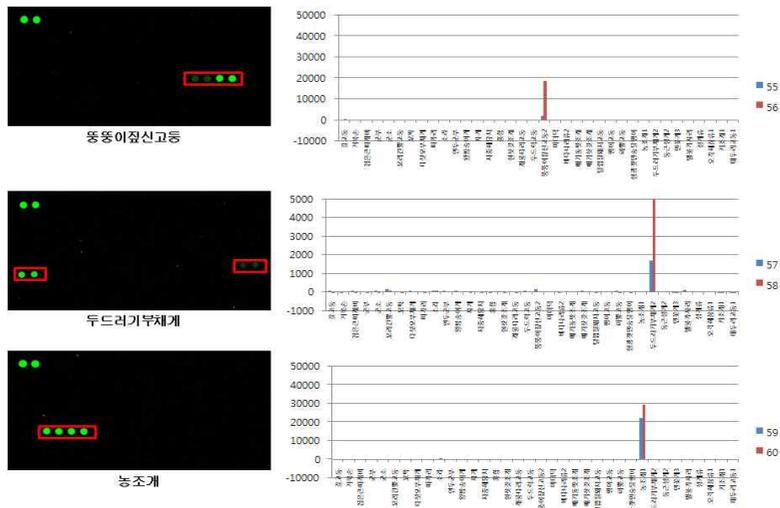


Fig. 3.1.48. *Crepidula onyx*, *Medaeops granulosus*, and *Paphia undulata* DNA chip test.

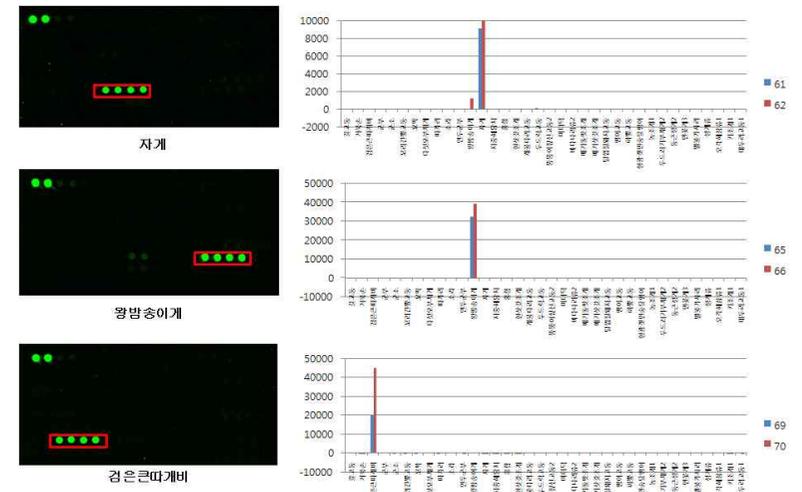


Fig. 3.1.49. *Platylambrus validus*, *Telmesus acutidens*, and *Tetracitla japonica* DNA chip test.

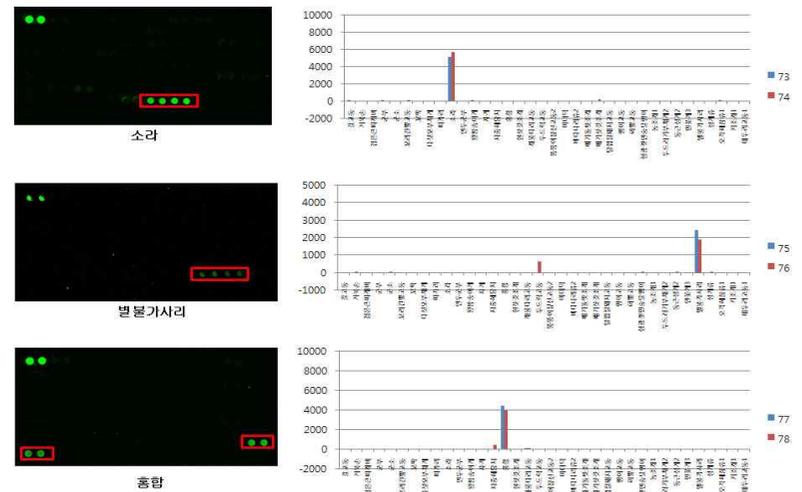


Fig. 3.1.50. *Batillus cornutus*, *Asterina pectinifera*, and *Mytilus coruscus* DNA chip test.

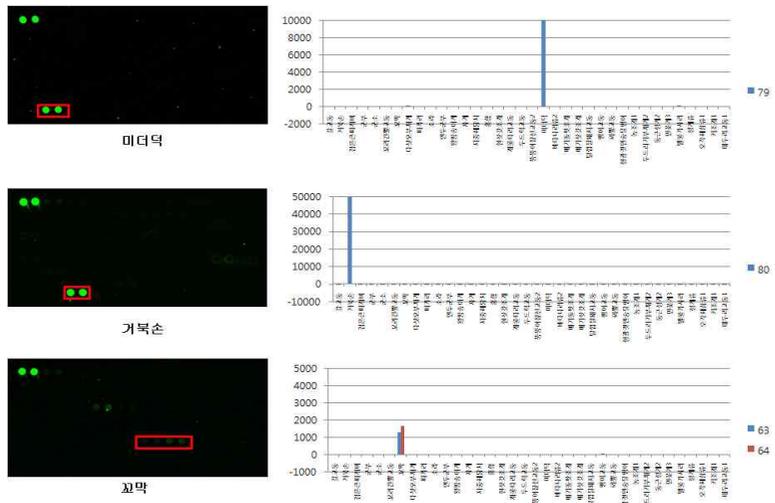


Fig. 3.1.51. *Styela clava clava*, *Pollicipes mitella*, and *Tegillarca granosa* DNA chip test.

## 2. 어류 및 난자치어

### 가. 재료 및 방법

#### (1) 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계

NCBI, BOLD systems의 데이터베이스 및 실험실에서 직접 분석한 DNA바코드의 자료 수집하여 KOBIS(Korea Ocean Biogeographic Information System)에 나타난 한반도 주변해역 서식 종을 남겨두고 데이터베이스 필터링(<http://kobis.kiost.ac>)을 하였다. Geneious 프로그램을 통해 선별된 염기서열을 종을 기준으로 하나의 일치된 염기서열로 만들고 AlleleID 7 프로그램으로 종별 대표 염기서열을 검색하여 종 특이적인 염기서열 위치를 검색하여 총 어류 106종에 대한 프라이머/프로브를 제작하였다. 제작된 프라이머/프로브로 조건 실험(양성반응, 음성반응)을 진행하여 종판별 검증을 하였다. 실험과정은 아래와 같다.(Fig. 3.1.52).

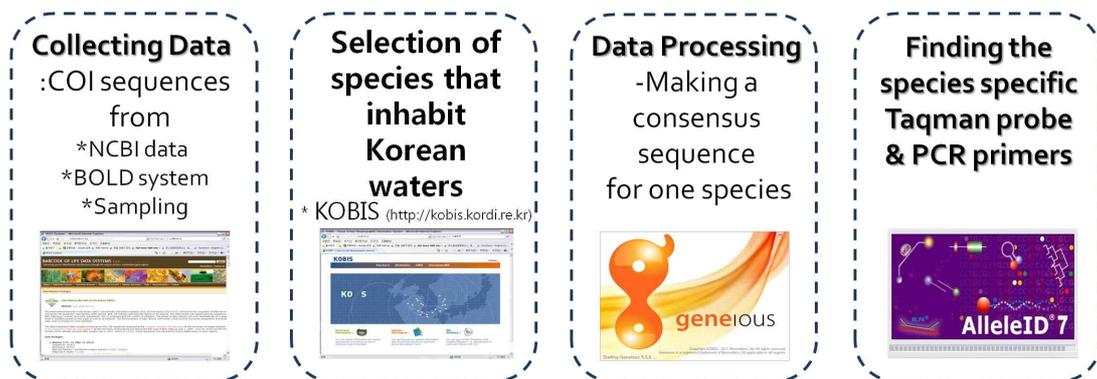


Fig. 3.1.52. Flowchart showing species-specific probe/primer design.

Taqman프로브 검증을 위한 실험으로 NestedPCR을 진행하였다. 참돔을 포함한 혼합종에서 참돔의 증폭을 확인하였으며 참돔이 포함되지 않은 혼합종에서 비특이적인 다수의 증폭을 확인하여 이를 토대로 참돔 종 특이적인 Taqman프로브를 제작하였다.

(Fig. 3.1.53).

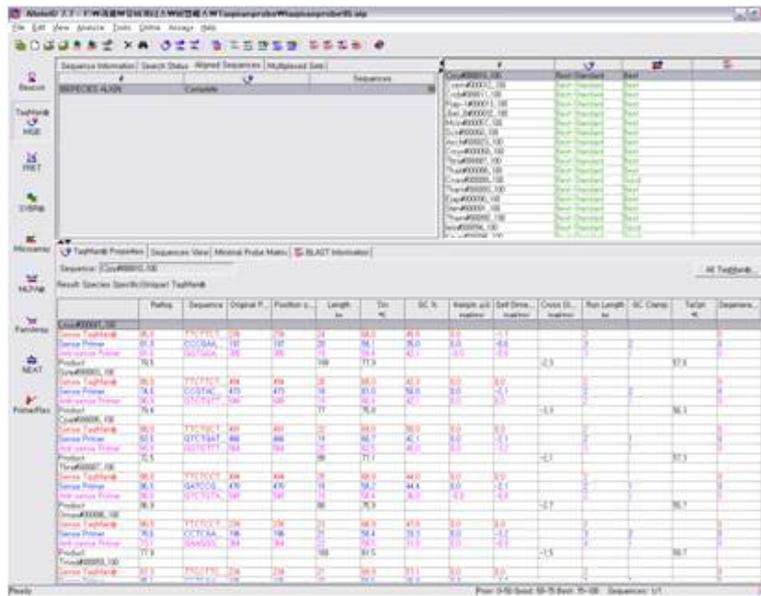


Fig. 3.1.53. TaqMan probe design using AlleleID program for fish species specific probe selection.

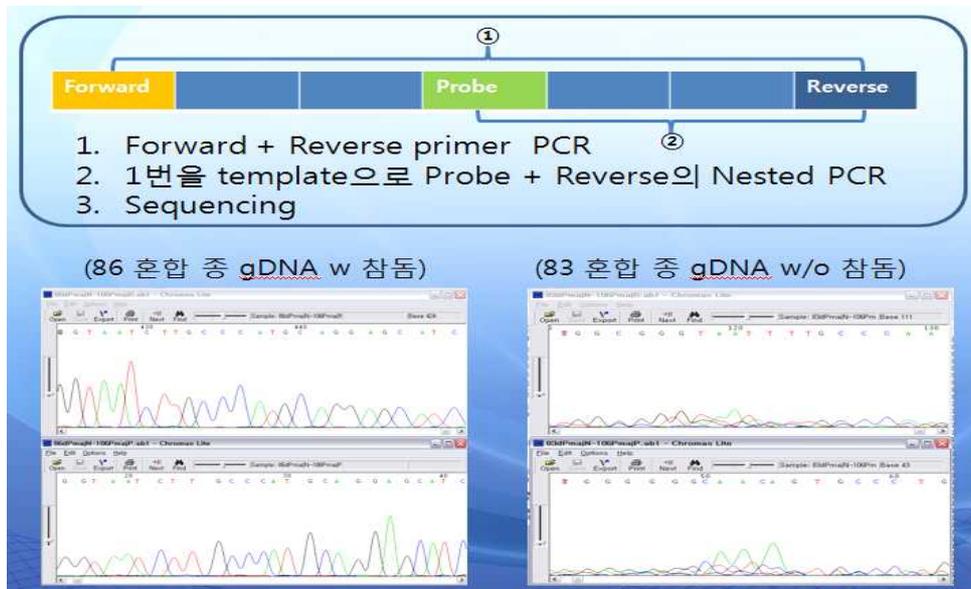


Fig. 3.1.54. Species-specific Probe selection using the nested PCR method.

## (2) 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험역 시료의 검증 완료

제작한 종 특이적 프로브 및 프라이머를 검증하고자 실험역 시료를 이용하였다. 표본수집을 위하여 난자치어 네트, 동물 플랑크톤 네트를 이용하여 시료를 채집하였으며 휴대장비를 이용하여 DNA를 추출하여 Realtime PCR을 이용하여 종판별을 시도하였다.

채집지는 통영MRC로 2012년 5월 8일부터 10일까지 8월 6일부터 7일까지 한 정점에서 두 번 진행하였으며 이어도 및 가거초는 2012년 7월 9일부터 14일까지 총 6정점에서 이루어졌다. 정점별 동물 플랑크톤 네트(망목크기 300um)를 수평 채집하여 얻은 시료를 각 500um, 300um, 200um, 60um 거름체를 이용, 여과하여 분석 진행하였다(Fig. 3.1.55.).



Fig. 3.1.55. Flowchart showing assessment of species identification using Realtime PCR.

## (3) 대량 혼합 어란의 출현정보 분석을 위한 NGS 기술 적용

NGS를 대량의 혼합 어란 분석에 적용하기 위하여 유전자 추출에 사용할 혼합 어란의 최소 표본수와 pyrosequencing에서 확보할 유전자 염기서열의 개수를 탐색하였다. 분석에 사용된 표본은 2008년~2009년 5월~8월에 가막만과 여자만 입구 주변에서 수집된 어란들이다. 탐색에 rarefaction curve를 사용하여 표본수와 염기서열의 개수를 추정하였다. 종조성을 알고 있는 표본을 혼합 어란 표본과 섞어 pyrosequencing 하여 분석 방법의 정확성을 검증하였다. 분석에 사용된 표본은 2012년 통영에서 수집하였다. 종조성을 알고 있는 18개 어란의 DNA와 종조성을 모르는 175개의 혼합 어란의 DNA에서 16SrDNA를 pyrosequencing 하여 종조성을 비교 분석하였다. 종 구성비는 각각 개체수와 염기서열 숫자의 백분율로 환산하였다.

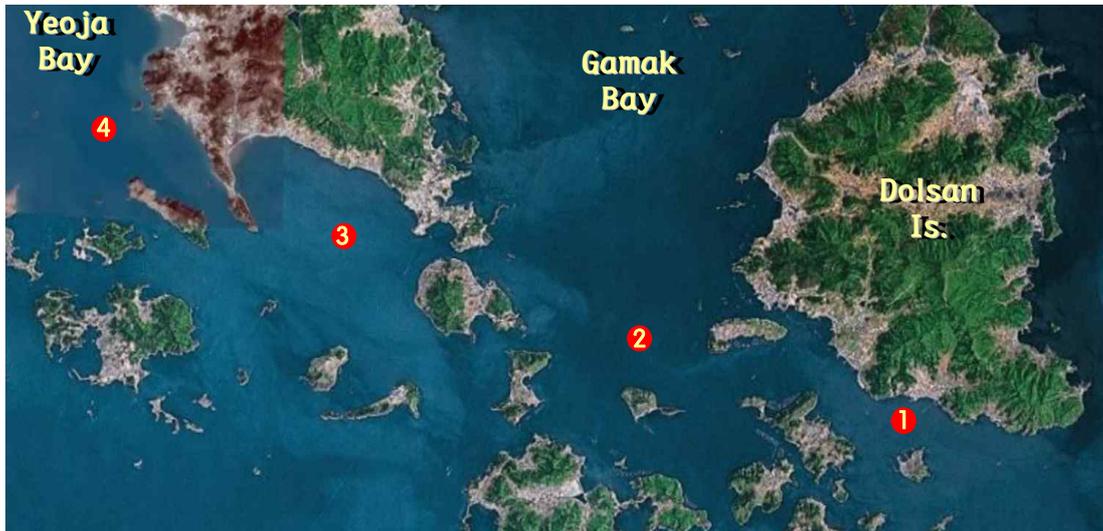


Fig. 3.1.56. Map showing the sampling stations on May to August, 2008 and 2009.

#### (4) 난자치어 표본 수집 및 종별 산란시기 조사

##### (가) 형태기반의 난자치어 출현정보를 이용한 산란시기 특성 분석

난자치어의 종조성 분석을 위한 현장 조사는 2008년과 2009년 5월부터 8월 사이에 가막만과 여자만 입구 주변해역에서 실시되었다(Fig. 3.1.56). 총 4개 정점에서 2008년은 2주 간격으로 총 7회, 2009년은 1주 간격으로 총 14회에 걸쳐 표본을 수집하였다. 표본을 수집하기 위해 자치어네트(망구 직경 60 cm, 망목 300  $\mu$ m)로 약 1 m/sec의 속도로 표층에서 5분간 예망하였다. 네트를 통과한 유량은 네트 입구에 부착된 유량계를 이용하여 측정하였다. 수집된 표본을 현장에서 95% 에탄올로 보관하여 실험실로 운반한 후 현미경을 이용하여 난자치어와 동물플랑크톤을 분리하였다. 형태적 특징을 이용하여 난자치어를 동정하였다. 어란 중에서 형태적 특징이 뚜렷한 멀치 한 종만 종수준으로 동정되었고, 자치어들은 대부분 종, 속, 또는 과 수준까지 동정되었다. 종 동정은 Okiyama et al.(1988)의 참고문헌을 이용하였다. 각 분류군별 출현량을 해수 1,000 m<sup>3</sup>당 채집된 개체수로 표준화하였다.

##### (나) NGS를 통하여 얻은 어란의 출현정보를 이용한 어류의 산란시기 분석

대량의 혼합 어란에서 DNA를 분석하기 위하여 GS FLX 454 (Roche)를 이용하여 염기서열을 얻었다. 분석에 사용된 표본은 2008년 5월 30일에서 8월 7일까지 2주 간격으로 채집된 어란을 정점당 임의로 100개씩 골라내어 pyrosequencing 방법으로 분석하였다. DNA 추출에 Qiagen DNeasy blood & Tissue를 사용하였다. 종동정에 사용된 분자마커는 16SrDNA였다. pyrosequencing으로 얻어진 염기서열을 mothur를 이용하여 분석하여 종을 동정하였다.

## (5) DNA를 이용한 단일 어란과 자치어의 종동정

어란을 종동정하기 위하여 가막만과 여자만 입구 주변해역에서 2008년 6월 30일에 수집한 어란 중 7 (A1, A2, B, C, D, E1, E2)개와 자치어 6마리의 유전자를 분석하였다. 유전자 분석 전에 단일 어란의 외부형태를 촬영하였다. 유전자 추출과 증폭에는 소량의 표본에서 DNA를 추출할 수 있는 REDExtract-N-Amp™ Tissue PCR Kit(SIGMA)를 사용하였다. Extraction Solution과 Tissue Preparation Solution을 4:1의 비율로 혼합하여 125 µl를 넣고 실온에서 10분 처리하였다. 95°C에서 3분 동안 처리한 후 Neutralization Solution 100 µl를 넣어 유전자 증폭에 사용하였다. 유전자 증폭에 사용된 mtDNA는 16SrDNA와 COI이었다. COI 유전자의 증폭률을 높이기 위해 DNA의 회수율이 높은 chelex를 이용한 열추출법으로 단일 어란의 DNA를 추출하였다. 10% Chelex와 proteinase K 혼합 용액에 어란 한 개체 (A3)를 넣고 65°C 10분, 95°C에서 10분, 5,000 rpm으로 원심분리하였다. 증폭된 산물을 전기영동으로 확인하였다. 얻어진 염기서열을 NCBI의 public data와 비교하여 종을 동정하였다.

## (6) 어류 종판별을 위한 DNAchip 개발

COI 염기서열이 분석된 생물종을 대상 (45종 181개체)으로 DNA칩용 프로브를 설계하고 COI의 염기서열이 분석된 생물종에 대해서는 DNA칩을 제작하여 평가를 시도하였다. Probe 생성프로그램(지노텍)으로 예상 probe 위치 및 probe를 선정하였으며 어류 종판별용으로 87개가 선정되었다. 선정된 후보 프로브는 염기서열 분석된 시료들의 유전자 증폭 및 예비 제작된 종판별 DNA chip에 hybridization 과정을 통해 검증작업을 진행하여 종판별을 위한 probe를 선별하는 과정을 진행하였다.(표 6) 무척추생물 41종 종 특이적 프로브를 제작완료하였으며 평가를 수행하였다. DNAchip 검증을 위한 시료의 유전자 증폭 가정 결과는 다음과 같다.(Fig. 3.1.57)

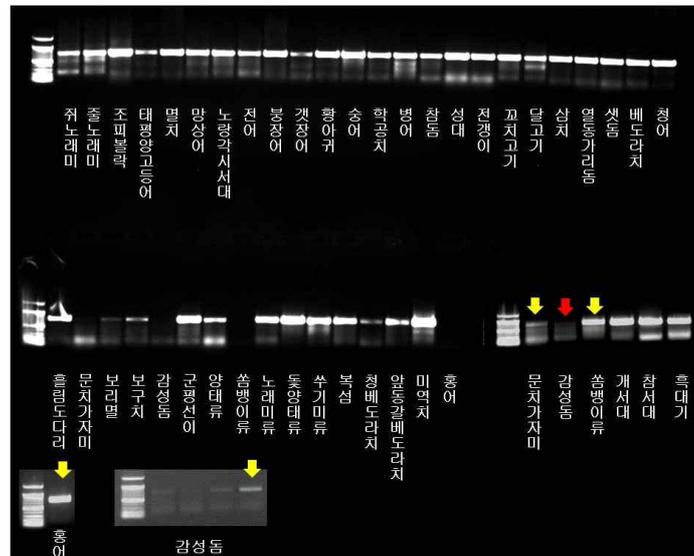


Fig. 3.1.57. The PCR result of fish COI region for proving probes spotting in DNA chip.

생물 혼합시료의 종판별을 위한 새로운 DNA칩 분석시스템(EP-1)을 도입하여 검증 (Fig. 3.1.58)을 진행하였으며 현장에서 DNA추출을 진행하고자 장비를 개발하였다.



Fig. 3.1.58. An Acquisition of reproducibility and precise analysis of massive samples using EP1 machine.

## 나. 결과 및 고찰

### (1) 종판별 프라이머 제작을 위한 Reference Data 확보 및 프로브/프라이머 설계

한국해역 주요 서식하는 어류 317종에서 확보한 DNA바코드는 다음과 같다.

Table 3.1.16. 317 fish species DNA barcode reference data for designing species-specific probe/primer

No.	species name	korean name	sequence
1	<i>Abalistes stellaris</i>	가는꼬리쥐치	CCTTTACCTAATTTTGGTGCCTTGAGCTGGGATAGTAGGACAGCTTTAAGCTTGCCTAATCCGAGCAGAAATTAAGCCAACCCGGCTCTCTTAGGGGACGATCAAAATTTTAAATGGTATCGTACAGCACAAGCTTTCTGTAAATTTTCTTTATAGTAATACCAATATATGATGGAGGCTTTGGAAATGATTAATYCCAATTAATGATGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
2	<i>Ablennes hians</i>	물동갈치	CCTTTATCTKGTATTYGGTGCCTTGAGCTGGAAATAGTAGGCACTGCCTTAAGCCTCTYATTCGAGCRGAACCTAAGCCAACTGGCTCCCTTTAGGTGATGATCAAAATTTAATAGTTATCGTYACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAWATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
3	<i>Acanthogobius hasta</i>	폴망둑	CCTCTATCTGTATTGGTGCCTTGAGCAGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
4	<i>Acanthopagrus schlegelii</i>	감성돔	GGAAACCCCTTAAGTGTGCTCATTCAGCCGAAATTAAGCCAACCTGGGCTCTCTAGGAGATGATCAAAATTAATGTAATTTGATACAGCACATGCTTTGTAATAATTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
5	<i>Acipenser dabryanus</i>	칼상어	CCTGTATTAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
6	<i>Acipenser medirostris</i>	용상어	CCTGTATTAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
7	<i>Acropoma hanedai</i>	반딧불게리치과속	CCTCTATATAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
8	<i>Acropoma japonicum</i>	반딧불게리치	CCTCTATATAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
9	<i>Alcichthys alcicornis</i>	빨간횃대	GGCAGCCCTTAAGCTCTTAATTCAGCTGAGCTAAGCAGCCAGCCCTTTAGGGGATGACAGATTTAATGTAATTTGATACAGCTCATGCTTTGTAATAATTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
10	<i>Anguilla bicolor</i>	인도장어	CCTATATCTAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
11	<i>Anguilla japonica</i>	뱀장어	CCTATATCTAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC
12	<i>Anguilla luzonensis</i>	뱀장어과속	CCTATATCTAGTATTGGTGCCTTGAGCAGGCAATAGTAGGCAAGCTTAAGCCTTTAATTCGGGCTGAACCTGAGCCAGCCCTGGSGCTCTTTAGGGGATGACAGATTTWACAATGCTCATCGTACAGCACAAGCTTTGTAAATTTTCTTTATAGTAAATACCAATATAATGGAGGCTTTGGAAACTGRTTGTACCAATTAATAATYGGAGCCCTGAYATAGCATTCCCCGAAATRAAAYAACATAAGCTTTGACTCTTACCYCCCTCACTCTCTYCTACTGCTTCTTCAAGCGTAGARGCCGGGGGAAGCTGGTGAACAGGTATYCCCTCTCTGGYAAATYTAGCCATGCGAGGGCTCCGCTAGACCTACTACTTTTCTCTTCACTAGCAGGWAITTCGTCAATCTYGGAGCAATTAATTTATACAAATTAATAATGAACCCCTGCACTCCCAAGTATCAGACACCATAATGCTGAGGAGCTTAATCAGCCGCTTCTCCCTTCTCCCTTCTGCTAGCCGCCGGAATYACGATATYACTTACCCAGCAAAATTAATAACCAATTTTGGACCCYGCAGGAGTGGAGCCGATCC









80	<i>Ditrema temminckii</i>	망상어	GGCACTGGCCCTAAGCCGTCTAAITCKAGAGAACTAAGCCAAACCGGCGCCCTTCGGGAGACGACCAAAITTCACATGTAAITGTAAACGCCACGCCCTTCGTAATAATTTTCCTTTATAGTAATACCAGTAAITTTGGAGGTTTGGAAACTGTAGCTGTAGCCGTAAITGTGTCGCCGACAGCTTTCCACGAAATAAATAAAAGCTTTTGGACCTCTCCCTCACTTCCTCTTCTCCCTAGGACTCTTCTGGGCTGGGACCCGAGTACACTGTCTCCCTTTTCGCAATCTGCGCCAGCGGCGTTCAGTAGACTTAACTATCTCTCCCTCACTCTCGAGAACTCCCTCAATTCAGGCGCAATTAACCTTTACAACTATTTAATAAATAAACCTCCTATCTGTTTCACAAACCAAACTCCACTCTCGATAGGCTGTCTTATACAGCCGCTTCTCTCTTTCTCGCCAGTTCCTGCCGTGGAAITACTATGCTTTTGACTGCCAGCAACCTAAATACCTCTTTGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
81	<i>Doederleinia berycoides</i>	눈볼대	CCTCTATAGTATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
82	<i>Eleginus gracilis</i>	빨간대구	CCTCTATCGTATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
83	<i>Elops hawaiiensis</i>	당멸치	CCTATACCTAATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
84	<i>Elops sp.</i>	당멸치과어류	CCTATACCTAATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
85	<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	CCTATACCTAATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
86	<i>Enophras diceraus</i>	빨횃대	CCTATACCTAATTTGGTGCCTGAAGCTGGCAGTAGTGGGACGGCCCTAAAGCCTACTTATCCGCGGGAATCAGTCAACAGCGGCCCTGCTTGGAGACGCCAAATTTACAAAGCTAATGTAAACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTCTTTATAGTAATACCAATAATGATCGGAGGTTGGAAATGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
87	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	물가자미	GGGACAGCCGTAKTGTGCTATTTCAGCAGAACTAAGCCAAAMYGRRGTCTCTGGRRGACGATCAAAATTTAAGCTAATGCTGCAGCCAGCCGCTTGTAAATAATCCTTTATAGTAATACCCTAATGATCGGAGCAGCAGACATGGCCATTCCTCCCAAGATAAATAAGTTTCGTGCTTTTACCCCCGCCTTCCTCTCTCTTAGCCCTCTCAGGGGTTGAAGCCGGGACAGTACGGGCTGAACCCTAGCCCGCCTGGCAATCTTGGCCAGCAGTGGCAGACTTTACAAAGCTCCTTTAGCCCGCAGAGGGAGACCTTATTC
89	<i>Epinephelus akaara</i>	북바리	GGCCCTCAGCCCTCATTCGACCTGACTGAGCCGACTAGCCGGCCCTACTGGCGATGATGACATCTATAATGTAAATTTGACAGCAGATGCTTCTGTAATAATTTTCCTTTATAGTAATGCAATAGTGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
89	<i>Epinephelus awoara</i>	도도바리	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTAAGCCAGGAGCCCTACTAGGCGAGCAGCCAGCTTATAGTAATGTTTACAGCACATGCTTTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
90	<i>Epinephelus chlorostigma</i>	구실우럭	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTGGCAGCAGTCAAAATCTTATAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATGCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTAGCCCGCCTAGTCTGCGCGCTATTAAGTCTGAGCCGGTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
91	<i>Epinephelus epistictus</i>	점줄우럭	GGCCCGGCAAGTAGGAAACGCCCTTAAGCCTGTAATTCGAGTGGTGAAGTGGGACCCAGGAGCCCTACTAGGAGCAGTACAGATCTATAAGTAATTTGACAGCACATGGCTTCTGTAATAATTTTCCTTTATAGTAATACCCTAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
92	<i>Epinephelus fario</i>	별우럭	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTGGCAGCAGTCAAAATCTTATAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
93	<i>Epinephelus fasciatomiculatus</i>	바리과어류1	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTAGGAGCAGTACAGATCTATAAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
94	<i>Epinephelus fasciatus</i>	홍바리	CCTCTACTTTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTGGCAGCAGCAGCAGCAGCAGCAGTAAAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
95	<i>Epinephelus latifasciatus</i>	종대우럭	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTGGCAGCAGTACAGATCTATAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTCCGCGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC
96	<i>Epinephelus moara</i>	자바리	CCTTTATCTGTATTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGAAACGCCCTTAGCCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAGCCAGCCAGGAGCCCTACTAGGAGCAGTACAGATCTATAGTAATGTTTACAGCACATGGCTTCTGTAAATCTTTTATAGTAATACCAATAATGATGGTGGCTTGGAAACTGACTTTACCCACTAAATTTGGTGGCCAGACATAGCCCTCCCTCGAAATAAAACATAAGCTCTGACCTCTCCGCCCTTCCTTCCTTCTCGCTCTCGCTGGAAGTAGAGCCGGTGCAGCCGGCTGGACGGTTTACCCCCTTTAGCCGGTAATTTAGCCCGCAGGAGACTCGGTTGATTGACTATCTCTCTTACATTTAGCAGGTATTTCCTCAATCTTGGAGCCAAATAATTTATACACTATTAATAAAGAACTCCTGCCAATTTCCCAATAAATAAACCCCACTATTTGTGTAGCCGCTAGTGGTACTGCCCTCTACTCTCTCTCCTCCCGCCGCTTGGCAGGATCAAGTCTTAAACAGATCGAAACCTTAAACCACTTTTGGACCCGGCAGAGGGAGACCTTATTC



113	<i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기	GGCACAGCTCTTAGCCTCTTATTTGAGCTGAACGTAGCCAACTGGCGCACTCTGAGGGAGCATGAGTGTACAAATGTGATGTCACAGGCCCAATGCCTTCGTAAATATTT TCTTATAGTAATACCAATAATGATTTGGAGGATTTGGAAACTGACGTATCCGCCAAATGATTTGGAGCCCTGATATGACCTTCCGCCGAAATAATGATGAGCTTTGAGCT TTACCCCTTCTTCTACTACTCTTCTTCTGCTCTTACAGGCTTTGAAGCAGGAGCTGGCAGCCGAGTGAAAGCCGTGTACCCTCCCTGACCCGGGAACTGGCCACCGCGGCA TCTGTGACACTACTATCTTTTCTACTACACTTAGCCGGTAAATCTATTTTTAGTGGCAATTAATTTTATACAACAATGTGTAACATAAAACCCCAACGCAATTTCAACAT ACAGACCCCTCTATTTGGTTGAGCTGTCTAAITACAGCAAGTWTGCTCTCTCTCACGTCTGTCTGCTGGGATATCACTGTCTTACAGCAACCCCAATC CACAACTTCTCGACTCTGAGGAGGAGGCCAATTC
114	<i>Halichoeres tenuispinis</i>	놀래기	CCCATGCTTTCTAATAATTTCTTATAGTAATGCCATAAATCGCGGATTTGGAACTGGGATGATCCCCCTAATGATCGGGGACCAGACATGGCTTCCCTCGAAT AAATAACATGAGTTTGTACTTCTCCCCCTCAATTTCTTCTCTCCCTCATCAAGGAGTAGAGGAGGCTGGGACCGGACCGGTGAACAGATTTACCCCTCCTGCGGGA AACCCTGGCCAGCCGGGCGCTCCGTGAACCTAACTATVTCTGCCTTCTACTAGCCGATTTCTCTTCTACTGAGTGCATCAACTTTAATACAACTCATTTAAATGATGA AACCCCAAGCAATTACAAATACCAAAACCCCTCTTTGTTGAGCTGTACTAATTACCAGACTACTACTTCTTCTCCCTGCGGCTGTACTGCGGAAATACAAATGCT CCTTACAGATCGAAATCAAAACCACCCTCTTTGACCCTGGAGGGGGGGACCCCAATTC
115	<i>Hapalogenys mucronatus</i>	군평선이	GGTACGCCCTTAGCCTGATTTCCGAGCGGAACTCGGCAAGCCCGGTTATTTTGGAAATGATCACTTTTACAATGTGATCGTTTACAACACATGCAATTCGTAATATCT TTTTTATAGTATACCAATCATGATTTGGGATTTGGAAATGAGCTATGCCCTCATGATGGGCGCCCGACATGGCTTCCAGAAATAAACAACAATAAGCTTGTGATCTGCT TCTCCCCTCCTCTCTCTTCTTCTTACTCTCTCAAGGTTAGAGACTGGGGCAGGAACGTGATGGACTGTTPCCACCCTCTAGCAGGAACCTCGGCCACCGACTGCA TCAAATGAAATAGTAAATTTTTCCCCCTCACTGAGCAGGGGACTCCCTCAATCTTGGAGCAATTAACATTTTTCACCAATGCGCAACATAAAACCCCTGGAATAACAAAT ACCAACACCCTTATGATGGCTGTTAGTACCGCTCTCTCTACTACTACTACTGATCGCTTCTGCTGGCATTACRAATGCTTCTGACAGACCGCAACCTAAAT TACAACT
116	<i>Hapalogenys nigripinnis</i>	꼭새돔	GCCTAAGCCCTTATCCGAGCAGACTCAGCCAACTGGCGCTCTACTGGCGAGCAGCATGATAATGTAATCGTTACAGCCCAGCAATTTGTAATAATCTTTTTTA TAGTATACCAATCAATCGAGGCTTTGGAAACTGACTCAATCCCTCATGATGGAGCCCTGGATAAGCTTCCAGCAATGAACTAACTTGTGATCTACTT CCCCCTCCTCTCTACTTCAAGCCTCGTCAAGAGTAGAAGCAGGAGCTGGAACTGGGTGAACGGTATATACCACTCAGCAGGTAACCTCGCAGATCGGGGGCATCTGT AGACTAACTATTTTTGAGCTGTACTAGGCTCAATTTTGGAGCTCAATTTATACMACTATTAATACAACTAAACCCCTGCCATCTCAATAACCA GACCCCTTCTGTTTGGAGGCTAATTAAGCTGTCTCTCTCTCTCTCTACTCTCACTCTTCCGAGCTTCTGCGGGGATTAACAATACTTTTAAACAGACGTAAATCAATATCA ACCTTCTTGGACTTGGAGGAGGGGGACCCCAATTC
117	<i>Hemilepidotus gilberti</i>	동갈횃대	GGCAGAGCCTTAGCCTCTAATTCGAGCAGAGCTGAGCCAACTGGGGGCTTTTTGGAGCAGCAAAATTTATAATGTAATGTTACGCGCCATGCTTTGTAATAAT TTTTTATAGTAAATGCAATCGAGGCTTTGGAAACTGACTATCCCTCATGATGGGCGCCCGACATGGCTTCCAGCAATAAACAACAATAAGCTTGTGATCTGCT TTCTCTCCCTCTTCTACTGCTTCTGCGCTCAAGGAGTAGAAGCAGGGGCCGAAACGGGGTGAACAGTTTACCCCTCTCCCTGGAATTTGCTCAGCGCGCCGCT CTGTGTAGCTTAACAATTTTCCCTCAATTTGGAGGAACTCCTCTCAATTTCTGGGGCAATAATTTTTACAAACACTATCAAAACCAACTATCAACTACCAACTCTCAG TACCAGAGCCCTTCTGCTGTATGCTGTTTATACGCGGCTCTACTCTCTCTCTCCCTGCGGCTTGTGCTGCGGATCAACAATGCTTCTTACAGACCGCAATCTTA ACACACC
118	<i>Hemitripterus villosus</i>	삼세기	CCTCTAGTAGTATTTGGTCTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGCCCTGAGCCTCTAATTTGGAGCTGAGCTGAGCAACCCGGAGCCCTTTTAGTGTAGCACCAAAATTT AAGTAAATTTACGGGCTCAGCTCTGATAAATAATTTCTTATAGTATGATAAATAATAATGGGGGCTTGGAAACGTACTCTTCCGTAATGATGGGCGCCGGGATA TGGAATCCCTCGGAATAAACAATAAGCTTTGACTCGCCCTCCTCTCTGCTACTCCGCTCTTTCAGGCTGGAGCAGGGGGGGGAGGAGGGTAAGGAGGAACTGTTA CCCCCTCTTCCGCGCAACTCGCACTAGCAGGGGCTGCTGTGTAATTAACAATACTTTTCTTACATTTTGGCAGGAGTCTTCTCAATTTAGGGGAATCAACTCTATCA ACCACTACAATAAATAAACCCCGGCCTCTCTCAGTACCAACCCCTCTTTTCTGATGGTCTGTCTTATACAGACCGTCACTTCTTCTTCTCCCTCTCTGCTGT CTGGACTCACAATGCTTTAAAGAGTGTAACTTAAACCACTCTCTCGACCAGCGGGGGGGAGATGCCATTC
119	<i>Heteromycteris japonica</i>	납서대	CCTGTATCTTGTATTCGAGCTTGAGCTGGAATAGTAGGCACAGGCTCTGAGCTACTCATTTGAGCTGACTAAAGCAACCCGGAGCCCTGCTAGGTGATGATCAAAATTT AAGTTATGCTTACCCAGCACTCTTGTGATAAATTTCTCTATAGTAAATAAATAATAATGGGGGCTTTGGAAACGTACTCTTCCGTAATGATGGGCGCCGGGATA TGCCCTTCCGCGCAATAAATAAGCAATAAGCTTTGCGCTCTTCCACCCTCTCTTCTCTACTATTTAGCCTCTTACTATGAGCTTGAAGCCGGGCGAGCAAGCTGTCTA CGCCCTTTAGAGGCAACTGCACTAGCAGGAGTCAAGTCATTAACAATACTTCTCCCTCCTTACTGCTTGTGATTTCTCAACTGGGGCAATAATTTATATAC ACCAATTAATAAATAAACGCAACTGATGATAATACCAATGCAACTTGTATGATGCTGCTGCTCAACTTGTAGTACGCTGACTACTCTCTTACTACTACGCTTGTACGC GCCGGAATGACATCTTCTACGATGCAAACTCAAAACGGCCCTTGTGACCCCGGGGAGGAGGAGCCCAATTC
120	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	뿔돔과어류	GCTTAAAGCTGCTGATTTGGGCGAACTGAGCCAACTCGGCGCCCTTAGGGGAGCAGCAATTTGATAATGATTTGTACAGCAACTGATTTGTAATAATTTCTT TAGTAAGTCAATTTAGTCGAGGATTCGGAAATTTGACTTATCCCACTAATGATCGGAGCCCGGCAATGGCACTTTCCAGCAATGAACTAACTAACTGAGCTGTGACTCT CTCTCTTACTTCTCTCTTCTCTCTGCTCCTCCGGAGTAGAAGCCGGGTCAGGAAGAAGATGGACAGTTTACCCCACTTTAGCCGGGAAGCTCCTGCTACCGTCCGGGCTCGT TGACTCACCATTTTTCTCTCACCTAGCTGGTTTCTCTCCACTTAGGGGCCAATAACTTACTTACAACAATAAACAATGAAACTTTCCGGCCTCTCAATAATCCAA ACCCACTATTTGTTGAGCGCTCTAATCAGCTGCTCTCTACTTACTTCCCTCCCAAGTCTCGCCGAGGAGTACAAATGCTCTCTCAACGACCCGAACTTAATACTA CCTTCTGACCCCTGCGAGGGGGGAGCCGATTC
121	<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미	CCTTANCTAGTATTTGGTCTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGCTCTGAGCCTCTAATTTGAGCCAGCTAAGCAACCCGGAGCCCTTGGGGAGTACGACGATT NAATGTAATTTGACAGCAACCTTTGTGATAAATTTCTTATAGTAATGGCAATCAATAATGGGGGTTTGGAAACGTACTCTTCCGTAATGATGGGCGCCGGGATA ATGGATTCTCCCGAATAAATAAGTATGAGTTTTTGAAGCTTCTACCCCTCTCTCTCTCTCTTCTCTGCTTCTCTGAGGAGTGGGGAGCCGGGGGAACTGCTG NCCCCCTCTRTCTGGTAAATGGACACAGCAGGGGCTGTTGACTTAAACAATCTTCCCTTCACTTTGACAGGATAATGATCTTAGTGGTCACTAATTTATCA GACCAATTAATAAATAAACCCCGCCATTTCTGACTACAGGCCCTTGTGTTGTGATCTGTAATACAGCTGACTTCTCTCTCTCTCACTACAGCTCTGCTGCT GGGGCAATTAAGTTTACAGGACCAACTTAAACCAACTTCTGACCCCGGCTGGTGTGGTGGCCCTTC
122	<i>Hexagrammos octogrammus</i>	줄노래미	GGTACAGCTTGAGCCCTCTAATTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGGCTCTGAGGAGCAGCAAAATTTATAATGTAATTTGTACAGCAACTGCTTTGTAATAATTT TCTTTATAGTAATGCCAAATCAATAATGCGGGTTCGSAAMCTGACTCATTGCCCTAATGATTTGGGGGCCGAGATGAGCGGTTCCCGGAAATGAAATGATGAGTTTGTAG TCTTGCCTCTTCTCTCTCTGCTCTCTGGGGTAGAAGCCGGGGCCGAAACCGGGTGAAGCTTAAACCCCTGTTGATGACTGTGACTGTGCGGAGG CTCTGTTGACTTAAACAATTTCTCCTACATCTTGGAGGATTTCACTCATTTTGGTGCTAATAATTTATGAGCACAATTAATAATGAAACCCCGCCCACTTCTCGA TACCAAACTGGTTTGTGAGTGTGACTTAACTGTGCTGCTCTGCTCTCTTCACTACCACTGCTGCGGGGCAATGCTTCTTTTAAACGAGCGCAATACTCA ACACCATA
123	<i>Hippoglossoides dubius</i>	홍가자미	CCTCTACTCGTATTTGGTCTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGGCTCTGAGGCTCTAATTTGAGCCAGCTAAGCAACCCGGAGCCCTTGGGGAGTACGACGATT AACGTAATGTTTACGACACAGCCTTGTGATAAATCTTTTATAGTAATGCAAAATTAATGATCGGGGTTTGGAAACGTACTCTTCCCGTAAATAATGATGGGCGCCCGGATA TGGCTTCCCTGGAATAAATAAGCTTGTGACTTCTGAGCTTCTGCCCCAATCTTCTCTCTCTCTCTTCTCTCTCTTCTCTGAGGTTGAGAGCCGGGAGTGAACCGGCTA TCTTCCCTCTGGAAATTTGAGCAGCAGCCGAGGCTCGGTGAGYCTCAGAAATTTCTCTTCTCACTTGGCGAAATTTCACTCAATCTGGGGAATCAACTTTATCA CACTACATAACAATAAACCCTCGCCATTTGACTATATACCAAAATCCCACTATTTGTTGAGGCTGACTAATTTGAGGCGGCTTCTCTGCTTCTCTGCTTCTAGCS GTGGCATACRATGCTATTAACAGACCMMAMCTAACAACACTTTTGTGACCTGCCGGAGGGGTBWYCCATTC
124	<i>Histiopertus typus</i>	항줄돔	CGSCCTAAAGCCTACTCAITGCGGCAACTTAGCCAGCCCGGGCCCTTGGGGGACAGCAAGATTTAATAGTATTTGTACAGCACAATGCTTTGTAATAATTTCTT TATAGTAAATCAAAATGATGGAGGATTTGGAAACTGACTTCTCTCCCTAAATAATCGCCGCGCACATGACTTCTCCCGGAAATRAAATAAGTAACTGACTTCTG CCCCCTCAATTTCTCTCTCTGCTTTCTCTCTGAGGTCAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCTGAGCCT TTGACCTCAAAATTTTTCT AGACCCCTCTTTGTGGGGGGTTAAATACTGCGCT CACCTTCTTTGAACCCCGAGGGGAGCCCMATTC
125	<i>Histrio histrio</i>	노랑흰벙이	CCTATCTTGTATTTGGCGCATGAGCCGCAATAGTAGGCACAGCCCTGAGCCTGCTAATTTGCGYAGAGTAAAGTCAACAGGCGCACTTTTAGYGTAGTACAAATTT AATGTTATGCTACAGCCAGCCTTCTGTAATAATCTTTTATAGTATGACCAATAAATAATGGGGAATTCGCAATGACTAATCCCTTAATAATTTGGGCGCCAGCAGCA TGGCTTCTCCGGAATAAATAAGCTTGTGACTTCTGAGCTTCTACCCCAATCTTCTCTCTCTTATAGTATCACTGGGAGTAGAGCTGGGGCAGTACGAGGAGTGAACGCTA CCRCCTCTGAGGCAACCTGGCCAGCCGAGCACTCCGTTGATCTAACTATTTCTCAGTCACTCCGCAAGGATATATCACTAATTTAGGGGCTAATAATTTATACAA ACTATTAATAAATAAACCCCGCCCTTCAACAATAAACAACCACTAATTTGATGCTGTGTGTTGTTGAGGCTGTACTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT AGGAATCAGAATGCTACTGACCGATCGAACTTRAATACGAGCTTTTGTGCTCACTAGCAGGGGAGCCCATTC
126	<i>Hoplobrotula armata</i>	붉은메기	GGCTTGAAGTAAATTTGGCGAGACTAAGTCCAGCCGGAGCCCTCTGGGAGCAGTAAATAAATAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGT TAGTAATAACCAATGATGGAGGTTTTTGGAAACTGATTAATYCCCTTAATAATTTGGTCCCGCAGATGGCTTTCCCGGAAATAAATAAGTAAACTGACTTTGACTGCTG CCGCTCACTTCTTCTCTGACTTCTTCTGGGAGTAGAAGCCGCTCCGCGCACTGGCTAAGCTTCACTCCGCTTCTGAGGAGTAACTGAGCAGCCTGACAGTCACTA GACCTCAGATCTTCTCTGCTTCTGAGTGGTCTTCACTCCTCTGGGGCACTAACTTACAGCAATAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAA ACACCCCTCTTTGATGGCGAGTCTAAATACCGCAGTACTTCT CGTTCTGTCAACCCGCGGGGAGCCCMATTC
127	<i>Hypoatherina tsurugae</i>	은줄멸	CCTCTACTAGTATTTGGTCTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGGCTCTGAGCCTCTTCACTCCGGGCAAGCTGAGCAACCCGGGCTCTCTCTGAGGAGCAGCAAAATTT AATGCTACGTTTACAGCAGCAGCCTTGTGATAAATAATTTCTTATAGTAAATGCAAAATTAATGATGGGAGCTTTGGAAATGACTTATTCCTTCAATGATGAGGCGCCGAC TGGCTTCCCTCGAAATAAATAAGCTTGTGACTTCTGAGCTTCTACCCCTTCTCTCTCTCTTCTCTCTCTTCTTCACTTCTGAGGAGTAGAGCTGGGGCAGGTGAACGCTA CCCTCAGCTGGAAACTTAGCCAGCGAGGTGATCCGGTGAATCACTAATTTCTCTCTCTCACTGAGCAGTGTATCACTCAATTTAGGGGCTAATAATTTATACAA ACCAATTAATAAATAAACCCCGCCCTTCAACAATAAACAACCACTAATTTGATGCTGTGTGTTGTTGAGGCTGTACTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT AGGAATCAGAATGCTACTGACCGATCGAACTTRAATACGAGCTTTTGTGCTCACTAGCAGGGGAGCCCATTC
128	<i>Hypoatherina valencienae</i>	색줄멸	CCTTATCTAGTATTTGGTCTTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGCCTTAAAGCTTCT GCGCTTGAAGTAAATTTGGCGAGACTAAGTCCAGCCGGAGCCCTCTGGGAGCAGTAAATAAATAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGTAAAGT TAGTAATAACCAATGATGGAGGTTTTTGGAAACTGATTAATYCCCTTAATAATTTGGTCCCGCAGATGGCTTTCCCGGAAATAAATAAGTAAACTGACTTTGACTGCTG CCGCTCACTTCTTCTCTGACTTCTTCTGGGAGTAGAAGCCGCTCCGCGCACTGGCTAAGCTTCACTCCGCTTCTGAGGAGTAACTGAGCAGCCTGACAGTCACTA GACCTCAGATCTTCTCTGCTTCTGAGTGGTCTTCACTCCTCTGGGGCACTAACTTACAGCAATAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAAATAA ACACCCCTCTTTGATGGCGAGTCTAAATACCGCAGTACTTCT CGTTCTGTCAACCCGCGGGGAGCCCMATTC



Table with 5 columns: Index, Species Name, Common Name, and DNA Sequence. Rows include species like Lagocephalus lunaris, Lagocephalus sceleratus, Larimichthys crocea, etc., with their respective sequences.



















307	<i>Uraspis helvola</i>	민전갱이	CTACCTAGTATTTGGTGCTTGAAGCCGGAAATAGTGGGCACAGCTTTAAGCCCTACTCATTGAGCAGAACTAAGCCAACTGGCGCCCTCTTGGGGATGACCAAAATTTATAA CGTAAATGTTACGGCCACCGCCTTTGTAATAATTTCTTTATAGTAATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATYCCCTAATGATCGGGCCCTGACATG GCATTTCCYCGAAATAAYAACTAGAGCTTCTGACTTTACCCCCCTYTTCTCTACTACTAGCTTTCAGGTTCGAAGTGAAGCTGGAGCAGGAACTGGCGTGAACGGTTATC CTCCGCTGCTGAAACCTCGCTCAGCGGGAGGCTCAGTGTAACTATTTTTYCTCTTCACTTGCCTGGGGTCTCAATCAATCTAGGGGCCATTAATTTATACCAAC AATTTAATACATGAAACCTCCTGCAGTATCAATATACCAAAATCCCCCTATTTGTTGAGCGTTCATAATACAGCGCTCCCTCTCTCATCTCYVACGCTCAGCTGCT GGTATYACAATATCTTACAGACAGCAAACTAAACACTGCATNCTTCGACCCGCGAGGAGGAGACCCATATC 308 <i>Uroconger lepturus</i> 풀해마 CTTATACCTAGTATTCGGAGCCTGAGCCGGAATAGTAGGCACCGCTTTGAGCTTGCTTATCCGAGCTGAATTAAGCAACCCGGGCCCTCTGGGGACGACCAAGTCTAT AACGTCAATGTTACGGCAGACATGCTGTGATAAATTTCTTTATAGTAATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATACCCTAATAATTTGGAGCCCGACACA TGGCAATTCACCGAATAAACTAACTAAGCTTCTGACTACTCCACCCCTATTTCTCTCTATTTGGCACTTCCTGGGGTTGAGCGGAGCCGGAACAGGTTGACCCGCTCA CCCACCCCTGGTCAAGAACTAGCTCATCGGGAGCTCTGTAGACCTAACAACTCTTCCCTTCACTAGCCGGAGTCTCAATCACTAGGGCAATTAACCTTTATACA ACAATTAATAAACCACCAATYACACAATATCAAAACCACTATTTGTTGATCTGTCTAGTAAACAGCTTCTCTACTTATACCTTACCACTGCTTGTGCT GCAGGAATTAACATGCTCTAACAGACCGAACTTAACACAACTGCTTTCGACCCGCGAGGGAGGAGACCCCTATC 309 <i>Vellitor centropomus</i> 창치 GGCAGGCTTGGAGCTTCTGATTCGAGCTGAATTAAGCCAGCCCGGCGCCCTTTAGGGGACGACCAAAATTAACAATGTAATTTGTTACAGCCCATGCTCTGTAATGATCT TCTTTATAGTAATGCCAATAAATTTGGAGGTTTCGGAACTGACTACTCCCTTAATGATCGGGGCCCGGACATGACTTCTCGCATGAACAACATGAGCTTCTGACT GCTCCCTCCCTTTCCTGCTACTCTCGCTTTCAGGGGTAGAGCAGGGGCTGGAACCGGGTGAACAGCTACCCGCCCCCTGACGGAAACCTGGCTACCGCCGGGCT TCTGTGACCTAACCAATCTCTCTCCACTGGCGGGAATCTCCCTCACTCGGAGCAATCAACTTTATTAACAATAATTAACAATGAAAGCCCTGCTGCTCCCAAT ACCAGACCCCTTTTCGTCTGTCTGCTTATCACGGCAGTACTCTCTCTCTTCCTGCGGCTCTCGCTGCTGGCATCAAAATGCTTAAACAGACGAAACCTCAA CACCGCT 310 <i>Verasper moseri</i> 노랑가자미 CCTCATCTCGTATTTGGTGCTGAGCCGGAATAGTGGGCACAGCCCTAAGTCTACTCATTGAGCAGAACTAAGCAACCCGGGGCTCTCTGGGGACGACCAAAATTTAT AACGTAACTGTCAGCCAGCACAGCCCTTTGTAATAACTCTTTATAGTATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATCCCTTAATAATTTGGAGCCCGACAGATGG TGGCTTCCCCTGAATGAATAAATAAGCTTCTGACTCTTCCCCCTCATTTCTTCTACTCTAGCTCTTCAAGGTGTGAGCTGGGGAGGACAGGGGTGAGCCGTGTTA TCCCTCACTAGCTGGCAATTTAGCCCAAGCCGGGGCTCCGTAGACTAACAACTTTTCACTTCACTTCAAGTGTGAGCTGGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAG ACTATCAACAATAAAACTAGCAGAGTAATCATATACCAAAATTTGTTGAGCGGATCAATAACAGCCGCTTACTTCTCTTCCCTTCCGCTTAAAGCCG CAGTATTACAATACTAACAAGACCGAACTTAAACAACTTCTTGGCCCGCGGAGGGGGTGAACCCCTATC 311 <i>Verasper variegatus</i> 범가자미 CTATCTGTAATTTGGTGCTGAGCCGGAATAGTGGGCACAGCCCTAAGTCTACTTATTCGAGCAGAACTAAGCCAAACCCGGGGCTCTCTGGGGACGACCAAGATTTA GTAATGTCAGCCAGCACGCTTTGTAATAACTCTTTATAGTATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATCCCTAATAATTTGGAGCCCGACAGATGG CCTTCCCTGAAATGAATAAATAAGCTTCTGACTCTTCCCCCTCATTTCTTCTACTTACGCTCTTCAAGGTGTGAGCTGGGGAGGACAGGGGTGAGCCGTGTTA TCCCTCACTAGCTGGCAATTTAGCCCAAGCCGGGGCTCCGTAGACTAACAACTTTTCACTTCACTTCAAGTGTGAGCTGGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAG ATCATCAACAATAAAACTAGCAGAGTAATCATATACCAAAATTTGTTGAGCGGATCAATAACAGCCGCTTACTTCTCTTCCCTTCCGCTTAAAGCCG GAAATTAACAATGCTACTGAGCGGAGCAACCTTAAACAGAC 312 <i>Zebrias fasciatus</i> 노랑각시서대 CCTCATCTGTAATTTGGTGCTGAGCCGGAATAGTGGGCACAGCCCTAAGTCTACTTATTCGAGCAGAACTAAGCCAAACCCGGGGCTCTCTGGGGACGACCAAAATTTAT AAGTAACTGTCAGCCAGCACAGCCCTTTGTAATAACTCTTTATAGTATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATCCCTAATAATTTGGAGCCCGACAGATGG TAGCCCTTCCCCTGAATGAATAAATAAGCTTCTGACTCTTCCCCCTCATTTCTTCTACTTACGCTCTTCAAGGTGTGAGCTGGGGAGGACAGGGGTGAGCCGTGTTA CCCCTTATCAAGCAAACTGAGCCAGCCGGGGAGTCCGTAGACTAACAACTTTTCACTTCACTTCAAGTGTGAGCTGGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAGGAG AACCATCATCAACAATAAAACTAGCAGAGTAATCATATACCAAAATTTGTTGAGCGGATCAATAACAGCCGCTTACTTCTCTTCCCTTCCGCTTAAAGCCG GCAGGATCACTACTTACTGACCGAACCTGGAACAACCTTTTGAACCCCGCGGAGGGAGACCAATTC 313 <i>Zenopsis nebulosus</i> 민달고기 CCTTTATAGTAATTCGGTGCTGAGCCGGAATAGTGGGCACAGCCCTAAGTCTACTTATTCGAGCAGAACTAAGCCAAACCCGGGGCTCTCTGGGGACGACCAAAATTTAT AACGTAACTGTCAGCCAGCACAGCCCTTTGTAATAACTCTTTATAGTATACCAATATAGATCGGAGGTTTCGGAACTGACTTATCCCTAATAATTTGGAGCCCGACAGATGG TGGCTTCCCCTGAATGAATAAATAAGCTTTCGACTCTTCCCCCTCATTTCTTCTACTTACGCTCTTCAAGGTGTGAGCTGGGGAGGACAGGGGTGAGCCGTGTTA TCCCTCACTAGCGGAATTCGGCTATGCAAGGAGCCCTCCGTAGACTGACTACTTTCCTCACTTATAGCGGAAATTCATCTATTTAGGGCAATTAATTTATAC ACCATTTAATAAACCACCTGCTATTTCAACAATCAAACTCCCTGTTGTAAGGGAGTCTTATACAGCACTTCTGCTGCTTCTACTGCTTCCCTTCCGCTTCAAGCAG CTGGAAATTAACAATACTTACTGACCGAATTTAAATACCTTCTTCTGACTCTGCTGGAGGGGAGATCCCATCT 314 <i>Zeus faber</i> 달고기 GGAACAGCCCTAAGCTCTTATTCGAGCTGAACCTAGTAAACCAAGGGGCTCTGAGAGCAGTCAAAATTTAATGTATCGTYACAGCTCACGCTTTGTTATAACT TTTTATAGTATACCAATAAATAAGTGGGCTTTGGRAACTGACTAATYCCACTTATAAATCGGGGCCCTGACTAGCCCTTTCYCCCGCATAAATAAATGAGCTTTGACT CTCCCCCTTCTTTACTTCTGCTYGGCTTTCGGGAGTGTGARGCCGAGCTGGGAGAGTGAACAGCTACCCCTTTAGCAGGCAATTAAGCCCTTACCCCATGCGGGGCT TCCGTAGACTCAACTATTTTTCCCTCACTTACGAGGATTTCACTACTTCTGGGCGCAATTAATTTAATACCACTATTTAACAATAAAACCCCTGCAATTTACART ACCAGACCCCTYATTTGTTGGTCACTCTATTACAGCAGCTCTACTGCTTTATCACTACCACTACTAGCGGCTGGAATTAACAATACTTCTACTGACCGAACTTAA ACCTCTTCTTGAATCTGCGAGCGGAGGACCCCTATT 315 <i>Johnius belangerii</i> 민태 gctttagctttagctgagcagaacttagtcagccgggtcttacttgggaatgacagatttcaatglaattgtacagcccatgogtltgcatgattttttatagttatgcccacca tgatcggtggtttgggaactggttggccgttagtggctggcgccgatataagcttcccgcaataaataatagacttggcttcccgcttccctgcttctttagcttcttc agcagttgaagtggggctggtacgggatgaacagttatcaaccttggcagtaacttggctcaatggggggttgggtttagctttagcttcttcttctcactgagatttcttctt ttagggcaatcaactttactactattataatagaagctccggctgttttatacagacaccttatttggctgacccgttttaatacagcggttggcttcttcttccagtt tagctgctggttacttagttagttagcagatgaacttaatacaacatltttgaccagcggggggtggtgactcctttagcagactattttagtttttggtaacc GGTGCATGGGCAGGATGGTAGGACTGCTTACCTCTAATCCGTGCTGAACCTGAGCCAAACAGGGGCCCTCTGGGGGAGCAGCAGATCTATAAGCTAATGTTTACCG CACAGCCTTGTATAAATTTCTTATAGTAAATACCAATCATGATTTGGCGGATTTGAAACTGGCTAATCCCTCATAAATGGTCCCGGACATGGGCTTTCCCGGAT GAACAACATGAGCTTTGACTCTTCCCTTCCCTTCTACTACTTGGCTTCCCTCCGGGTTGAGGCGCGGGCTGGGAGCCGGATGAAGGTCTACCCACCCCTAGCAGC AATCTGGCCATGCGGGGACCTGTGATCTAATCTTTGCTGACTTGGCAGGATCTCCTCTACTCTGGGGGCACTAACTTTATACCACAATTTGTAACATGA AACCCCGCTATTTCGAGTACCAAAACCCACTGTTGTCTGAGCAGTCTAATACCGCGCTTCTCTTCTCTCACTAGCAGGTGCTCTCACTAATTTAGGGGCTAATAATTTACT TCTTACAGCAGGAACTCAACTACTTCTGACCCCTGAGGAGGGGAGATCCAATTTTATCAACTTGTCTGATTCTCGGTCACTCTGAAGT 316 <i>Inimicus sinensis</i> 쭈기미류 CCTTTACTAGTATTTGGTGCTGAGCCGGAATAGTGGGCACAGCCCTAAGTCTACTTATTCGAGCAGAACTAAGCCAAACCCGGGGCTCTCTGGGGACGACCAAAATTTAT AACGTAAATGTTACGGCCACCGCCTTTGTAATAACTCTTTATAGTAAATGTAATGAGTGGGGTTCGGAACTGACTTATCCCTAATAATTTGGAGCCCGACAGATGG TGGCTTCCCCTGAATGAATAAATAAGCTTTCGACTCTTCCCCCTCATTTCTTCTACTTACGCTCTTCAAGGTGTGAGCTGGGGAGGACAGGGGTGAGCCGTGTTA TCCCTCACTAGCGGAATTCGGCTATGCAAGGAGCCCTCCGTAGACTGACTACTTTCCTCACTTATAGCGGAAATTCATCTATTTAGGGCAATTAATTTATAC ACCATTTAATAAACCACCTGCTATTTCAACAATCAAACTCCCTGTTGTAAGGGAGTCTTATACAGCACTTCTGCTGCTTCTACTGCTTCCCTTCCGCTTCAAGCAG CTGGAAATTAACAATACTTACTGACCGAATTTAAATACCTTCTTCTGACTCTGCTGGAGGGGAGATCCCATCT 317 <i>Decapterus maruadsi</i> 가라지 gctttagctttagctgagcagaacttagtcagccgggtcttacttgggaatgacagatttcaatglaattgtacagcccatgogtltgcatgattttttatagttatgcccacca tgatcggtggtttgggaactggttggccgttagtggctggcgccgatataagcttcccgcaataaataatagacttggcttcccgcttccctgcttctttagcttcttc agcagttgaagtggggctggtacgggatgaacagttatcaaccttggcagtaacttggctcaatggggggttgggtttagctttagcttcttcttctcactgagatttcttctt ttagggcaatcaactttactactattataatagaagctccggctgttttatacagacaccttatttggctgacccgttttaatacagcggttggcttcttcttccagtt tagctgctggttacttagttagttagcagatgaacttaatacaacatltttgaccagcggggggtggtgactcctttagcagactattttagtttttggtaacc GGTGCATGGGCAGGATGGTAGGACTGCTTACCTCTAATCCGTGCTGAACCTGAGCCAAACAGGGGCCCTCTGGGGGAGCAGCAGATCTATAAGCTAATGTTTACCG CACAGCCTTGTATAAATTTCTTATAGTAAATACCAATCATGATTTGGCGGATTTGAAACTGGCTAATCCCTCATAAATGGTCCCGGACATGGGCTTTCCCGGAT GAACAACATGAGCTTTGACTCTTCCCTTCCCTTCTACTACTTGGCTTCCCTCCGGGTTGAGGCGCGGGCTGGGAGCCGGATGAAGGTCTACCCACCCCTAGCAGC AATCTGGCCATGCGGGGACCTGTGATCTAATCTTTTGGCTGACTTGGCAGGATCTCCTCTACTCTGGGGGCACTAACTTTATACCACAATTTGTAACATGA AACCCCGCTATTTCGAGTACCAAAACCCACTGTTGTCTGAGCAGTCTAATACCGCGCTTCTCTTCTCTCACTAGCAGGTGCTCTCACTAATTTAGGGGCTAATAATTTACT TCTTACAGCAGGAACTCAACTACTTCTGACCCCTGAGGAGGGGAGATCCAATTTTATCAACTTGTCTGATTCTCGGTCACTCTGAAGT
-----	------------------------	------	--

Table 3.1.17. List of species-specific primer and probe sequences

No.	korean name	scientific name	Probe (P) / Foward Primer (F) / Reverse Primer (R)
1	가송어	<i>Chelon haematocheilus</i>	P: CTTATCCGAGCAGAATAAGCCAGCCTG; F: CCTCTATCTAATCTTCGGTGCCTGAG;; R: GCGGTGTGCTGTAACGATTACATTATAG
2	가시복	<i>Diodon holocanthus</i>	P: CGGCACAGGATGAACAGTATACCCACCAC; F: CTCCTCTCTCCTCTTGCTTCTCA; R: GGTGAAGAGAGAAAATAGTCAGGTCTACG
3	가시쥐치	<i>Chaetodermis penicilligera</i>	P: CCCGAGGCATCACAATACTCTAAGTCA; F: CTGTGTAATTAACAGCAGTCTCTCT; R: GGTGGAAGAAGGTTGTATTCAAGTTTC
4	가시횃대	<i>Gymnocanthus intermedius</i>	P: TCGGAGGTTTCGGAACTGACTAATCC; F: GCTCACGCTTCGTAATAATTTTCTTTA; R: GGAAGAGAGTCAAAAGCTTATGTTGTTA
5	가자미과어류	<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	P: TGAGCCGTTCTAATACCCCGGTACTTCT; F: CCCACAACAGTACTATGTACCAAAATCC; R: GGTCGTGTAGTAGCATGTAAATCCCTG
6	갈퀴치	<i>Sufflamen fraenatum</i>	P: TCTTATCCCTCCCTGCTTACAGCCG; F: CACCATTATTGTTGTAGCGGTTCTGATTA; R: GTGGTATTAGATTTCGGTCTGTAAGGAG
7	감성돔	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	P: TGCTGTCTACTCTCTGTGCTCC; F: CGCCAGCTATCTCACAATATCAAACA; R: GTGGTATTAGATTTCGGTCTGTAAGGAG
8	강담돔	<i>Oplegnathus punctatus</i>	P: ACCTCCTGCATTTCCTCAATATCAAACCC; F: CGGAGCAATCAACTTTATTACAACATCA; R: GAGAGGAGAGTAAAGACAGCAGTGA
9	강담복	<i>Chilomycterus reticulatus</i>	P: ATGGCCCTTCTCGAATGAACAACATGAGC; F: CTGACTAATCCACTAATAATCGGTGCC; R: CTGAGGAGGCAAGTGAAGAAGGAA
10	개복치과어류	<i>Ranzania laevis</i>	P: TCTTCTCTCTACTCCCTCCAGTTCTTGC; F: CCCTCTATTGTCTGAGCAGTTCTCATT; R: GTCGAAGAAGTGGTGTATTAGATTTCGG
11	갯농어	<i>Chanos chanos</i>	P: CGAGCAGACTTAGCCAACCCAGGATC; F: CTGGAATGGTTGGAACAGCACTAAG; R: CGCTGTGACGATGACGTTATAGATTTCG
12	갯장어	<i>Muraenesox cinereus</i>	P: CACTGTCTCTCTGTCTTCTTCCCTG; F: CGCAATTAATCAATATCATACGCCCTA; R: GCGATAGTAATTCGGCAGCAAG
13	검봉장어	<i>Conger japonicus</i>	P: ACAGGATGAACAGATATCCGCCACTTGCT; F: CCTATTCTTCTACTGCTAGCTTCTCT; R: GCAAGGTGAAGGAAAAGATTGTTAGG
14	구실우럭	<i>Epinephelus chlorostigma</i>	P: AGGAGCCCTACTGGCGACGATCAAAAT; F: GCCTACTTATTCGAGCTGAGCTGAG; R: CCACCGATCATGATTGGCATTACTATAAG
15	균평선이	<i>Haplogenyus mucronatus</i>	P: CTCGGCCACGCAACTGCATCAATG; F: GGATGGACTGTTTACCACCTCTAG; R: GGGGTTTTATGTTGGCAATGGTTGA
16	그물코쥐치	<i>Rudarius ercodes</i>	P: ACCGAGTTCTCTACTATTATCCCTCCCA; F: ACCCTGTTTGTGTAGCTGTCTTA; R: TGGTGTAAAGTTTCGATCCGAGAGA
17	금눈돔	<i>Beryx decadactylus</i>	P: TGCTGATTACGGCTGTCTCTCTTCTTCT; F: CCCAGCCATTCCACAATACCAAAACA; R: GGTGTTTAGGTTGCGATCTGTTAGTAGTA
18	까치가자미	<i>Lepidopsetta bilineata</i>	P: ACCATCATCAACATGAAACCGACAGCAGTC; F: CGGAATTCATCAATTCTAGGAGCAATCAA; R: CGGTGATTAGTACGGCTCAGACAAA
19	까치횃대	<i>Blepsias bilobus</i>	P: CTTACTACTCTTCTCCCTCCAGTCTTGC; F: CACTCTCGTGTGGTCTGTCTTATCA; R: TGGTGTGAGGTTTCGATCTGTTAGA
20	꺼정어	<i>Trachidermus fasciatus</i>	P: TTGCTGTGGTCCGTTCTCATCACTG; F: CAACATTATTAACATGAAACCTCCTGCC; R: GCGATCTGTTAAGAGCATGGTGATACC
21	꼬리민태	<i>Caelorinchus japonicus</i>	P: TCTTCTCTTCTAGCATCTCAGGTGTGTA; F: CCTGATATAGCTTCCCTCGAATAAAACAAC; R: CCTGTAGTGGAGGATATACAGTTCTATC
22	꼬리치	<i>Ateleopus japonicus</i>	P: CCCAGCCGTCTCACAATATCAAACCTCTTT; F: CTCCTCTATCTTGGGTGCCATTAATTTCT; R: ACAGCTGTAATAAGTACAGATCAGACAAA
23	꼬치고기	<i>Sphyrna pinguis</i>	P: TTGGAGGCTTCGGTAACTGACTATCC; F: GCCTCTCGTGATAATCTTCTCATAGTC; R: GAAGGAAAGAGGTTGGTAAAGATCA
24	꼭갈치	<i>Malthopsis lutea</i>	P: TCTAATCACTGCTGTTCTCCTCTTCTG; F: GTCCCAATACCAAAACCCGCTATTCT; R: CGGTGGTAAAGCAGTATTGTAATGC
25	꼭새돔	<i>Haplogenyus nigripinnis</i>	P: CTCTACTCCTCTCACTTCCAGTTCTTGC; F: CTCACAATACCAGACACCCCTATTCTG; R: CGCAGGGTCAAAGAAGGTTGTATTAG
26	꽁치	<i>Cololabis saira</i>	P: TGCTCTTATACAGCAGTCTCACTCTCTCT; F: CCACCTGTAATTCACAATACCAAAACAC; R: CGATCTGTTAGAAGTATAGTAATCCAGCA
27	꽁치아재비	<i>Tylosurus crocodilus</i>	P: TTACTGCGCTCTTCTCTCTCTCTCC; F: GCCAATTCACAATACCAAACTCCTCTCT; R: AGCAGGGTCAAAGAAGGTTAGTGTTTA
28	꽃동멸	<i>Synodus variegatus</i>	P: CCCGACATGGCTTCCCTCGAATAAA; F: GGAGGTTTGGAACTGGCTTAATC; R: CCCAGAAGATGCTAAGAGTGAAGAATAAG
29	꽃자리	<i>Caprodon longimanus</i>	P: ACTTCCCTTCTGTCTTGTGCTGCTG; F: GACACCTCTCTCTGATGAGCAGTA; R: GAAGTTGTGTTAAGGTTCCGATCTG
30	날개줄고기	<i>Podothecus sachi</i>	P: TCTTGTCTCTCTGCTCTCCAGT; F: GCCATTTCTCAATACCAGACCCCTCT; R: TGGTGTAAAGTTACGATCTGTTAATAGCA
31	날개횃대	<i>Blepsias cirrhosus</i>	P: CTCCTTCCCTTCCAGTCTTGTGCTG; F: GTCTGTCTTATCAGACCGCTCTTA; R: GAAGGTTGGTGTGAGGTTACGATCTG
32	날바리	<i>Triso dermatopterus</i>	P: ACAGATGCTCCTGCATGTGCCAAGT; F: CCTCTTCTCTTCTTCTTCTGATCTCT; R: CCTGCTAAATGAAGGAGAAAATAGTAAGG
33	날빙어	<i>Hypomesus japonicus</i>	P: ATTGTCAAATCTACGGAAGTCCCGATGG; F: CCTTCTACTTCTTCTGGCCTCTCT; R: AGAGGAAATCTCGAAGATGAAGTGA
34	납서대	<i>Heteromycteris japonicus</i>	P: CGCAGGAAGTGGCTGAAGTGTCTACC; F: TCCTCTACTATTAGCCTCTCTCAGG; R: AGCCAGATGAAGGAGAAAATGTTAAATC
35	넙치	<i>Paralichthys olivaceus</i>	P: AATTACGGTGTCTGCTGCTCTCT; F: CCCACAACGTGACAATATACCAAAATTC; R: AGGGTCAAAGAATGTTGTTAAGGTTTCG
36	노랑가자미	<i>Verasper moseri</i>	P: CCGTCTACTTCTTCTTCCCTCCCGTC; F: CCTACGACAGTAATATACCAAAATTCCA; R: GGTGTTGTTAAGGTTTCGGTCTGTTAG
37	노랑각시서대	<i>Zebrias fasciatus</i>	P: AGCAGCATCACTACTCTTAACTGACCG; F: CCGTGTAAATACAGCTGTCTCTCTA; R: GGGTCAAAGAAGTTGTTGTTCCAGG
38	노래미	<i>Hexagrammos agrammus</i>	P: TGCTCTCTCACTACCAGTCTCTGC; F: CCTGTGTTGTGATCTGTAATACAG; R: GGGTCAAAGAATGTTGTTAAGATTTTC
39	놀래기	<i>Halichoeres tenuispinis</i>	P: ACTACTTCTTCTTCCCTGCCCTCTCT; F: CCCTTGTGTGAGCTGTACTACTATA; R: GAAGGTGTTGTTAGATTTCGATCTGTAAG
40	농어	<i>Lateolabrax japonicus</i>	P: TTCTCTCCCTCTTCTGCTGCTG; F: CTCTGTTGTGTGAGCCGCTTAATTAC; R: GTGGAAGAAGTGGTGTGAGGTTTC
41	눈가자미	<i>Dexistes rikuzenius</i>	P: CTCTCTCTTAGCCTCTTCAAGTGTG; F: GGCTTCCACGAATAAACAACATGA; R: GGGAGGATAAACGGTTCATCCAGTC
42	눈볼대	<i>Doederleinia berycoides</i>	P: CTGGTCACTGCGTTTCTACTCTTCTCT; F: ACCTCTGCAATTTCCAAATATCAAAC; R: AGGTGTTAATGAGTTTCGATCTGTTAGAA
43	단기임연수어	<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	P: CCGTGTAAATCACTGCTGCTACTCTCT; F: CGCTATTTCCCAATACCAAACTCCTCT; R: GGTGTTGAGATTTCGGTCTGTAGAA
44	달고기	<i>Zeus faber</i>	P: CATGCCGGCCCTCCGTAGATCTAA; F: GAGCTGGACAGGATGAACAGTCTA; R: GCCCAAGATAGTAAATCCCTGCTAA
45	닷줄바리	<i>Epinephelus poecilonotus</i>	P: TGCCGCGGTATCACAATGCTATTAACAG; F: GCCGTATTAATACCAGCTCTCTCT; R: GCTGGTCAAAGAAGTGGTATTAAAGATTA
46	대구	<i>Gadus macrocephalus</i>	P: CAGGTGAAGTGTCTACCCACCTTTAG; F: CTCCTTTTAGCATCTCTGGTGTAGAA; R: CCCAAGAATTGATGAAATCCCTGCTAG
47	대전어	<i>Nematalosa japonica</i>	P: TAATATGAACCCGCGCAATCTCGCAG; F: CCTAGCAGGATATCTGTAATCTCTAG; R: CTCACACAACAGAGGTTCTGGTA
48	대치과어류	<i>Fistularia sp.</i>	P: CTGTCTCTTACCCTGTGCTTCTCTA; F: GTACCACACACCTCTTTTCGTCTGA; R: TCGGTCCTTAAAGCATGGTAATG

49	대황어	<i>Tribolodon brandtii</i>	P: CCGTCCTCTCCTTCTATCGCTACCAGTTC; F: CCATCTCCCAATACCAAAACACCCCTTA; R: CAGGTACGGTCTGTAAGAAGCATTG
50	도다리	<i>Pleuronichthys cornutus</i>	P: CGCTGGCATCACAATGCTACTAACAGATCG; F: CGTACTAATTACAGCTGTCTACTCCTTC; R: AGGGTCAAAGAAAGTTGTGTGAGG
51	도도바리	<i>Epinephelus awoara</i>	P: CCTCTGCTACCTCTCAATACCAAAACCTT; F: GCGCAATCAACTTTATCACAACCATC; R: ACTGCTGTAATCAATCTGCTCACAC
52	도루묵	<i>Arctoscopus japonicus</i>	P: TGGGGCCTCTGTGACCTAACGATCT; F: GCTGGTACGGGATGAACAGTTTATC; R: GCCCCTAAAATTGAGGAGATTCTTG
53	도치	<i>Eumicrotremus orbis</i>	P: TGGCATCACAATACTACTGACAGACCACA; F: GTGTGATCTGTACTTATTACTGCCGTTCTC; R: GGGGTCAAAGAAAGGTAGTGTGAGA
54	도화돔	<i>Ostichthys japonicus</i>	P: TTCTGCTTCTTCTTCTCTCCCGTCCCTT; F: CCTGTTGTATGGGCTGTCTAATCAC; R: CCAGATGGGTCAAAGAAAGGTAGTGTGTTA
55	돌가자미	<i>Kareius bicoloratus</i>	P: TACCGCGTCTTCTTCTCTCTCC; F: GTACCAATCCCGCTATTGTTTGGG; R: AGGGTCAAAGAAAGGTGTGTTAAGTTG
56	돌대구	<i>Physiculus japonicus</i>	P: TTCTGCTCCCGTCTTCTACTCTCGA; F: CCCAGACATAGCTTCCCCTCGTATA; R: CTGCTAAAGGAGGTAAACAGTTTCT
57	돌돔	<i>Oplegnathus fasciatus</i>	P: ACTGCTGTTCTACTTCTCTTCTCCCTCC; F: CCCTGCCATTTCCCAATATCAAACC; R: GTGGTATTAGGTTTCGGTCTGTAGGA
58	돌박망둑	<i>Pseudoblennius percoides</i>	P: TACAGCCATAATCGGAGGCTCGGA; F: CAGCCATGCCTCGTAATAATCTTC; R: GGGGAGAGTCAAGCTCATGTTG
59	동갈메기	<i>Siremo imberbis</i>	P: CTCTCACTCCTGTACTAGCAGCCGGA; F: GTGCTAATTACCGAGTGTACTAC; R: GGGGGGTCAAAGAAATGTAGTATTTAAG
60	동갈횃대	<i>Hemilepidotus gilberti</i>	P: CCGTCTTACTCCTTCTCTCCCTGCCG; F: CCCTTTTCGTGTGATCCGTTCTTATC; R: GGTGTTAAGATTGCGGCTGTGTAGAA
61	돛물뱀	<i>Pisodonophis zophistius</i>	P: ACCAGTCTCGCCGAGGAATTACA; F: CAGTCTAGTAACAGCAGTCTTCTGTG; R: TGGGTCAAAGAAATGTTGATTTAGGTTCTG
62	독중개과어류	<i>Icelus sp.</i>	P: AGCAGGCATTTCTCAATCCTCGGG; F: GGCCTGTGTGATTTAAACAATCTTCTCC; R: CAGAGGGGTCTGGTACTGAGAAATG
63	드렁허리	<i>Monopterus albus</i>	P: TCACAGCCATTCTCTCTTCTATCGCTCC; F: CCTCCCGCAATTTCTCAGTATCAAAC; R: AGGGTCAAAGAAAGTTGTGTTAAGGTTTC
64	등점은눈돔	<i>Polymixia japonica</i>	P: CTGTCTTCTACTACTCTCCCTGCCG; F: CCAGCTATTCCAGTACCAAAACAC; R: TCGGCTGTGTAGTACATGTTAATCC
65	등줄송어	<i>Liza carinata</i>	P: CTGCTGTTCTTCTTCTCTGTCTCTGCCG; F: TCCCGCAATTTCCCAATATCAAACC; R: TTGCTGTGTAGGAGCATAGTAAATCC
66	뚝지	<i>Aptocyclus ventricosus</i>	P: TCCGTACTATTACTGCGGCTTCTCTCTT; F: CCCTGCTATATCTCAATACCAAAACC; R: GGTAGTGTAAAGATTGCGGCTGTGTTAAG
67	말쥐치	<i>Thamnaconus modestus</i>	P: AAACCTCCCGCCATTCCCAATACCAAA; F: GCAGGTATTCTTCAATTTCTGGTGCAA; R: GGAGAGAAGAAGAAGTACGGCTGTAA
68	망상어	<i>Ditrema temminckii</i>	P: TGTGCTATTACAGCCGCTCTCTCTCTT; F: CCTCCATCTGTTTACAATACCAAAACT; R: GCATGGGCTGAATGATTGTATTAATAAGC
69	먹장어	<i>Eptatretus burgeri</i>	P: TCGAACAGAACTAAAGCAACAGGACC; F: CGGAATAATCGGAACAGCTTTAAGTGTA; R: GCATGGGCTGAATGATTGTATTAATAAGC
70	멘토황날치	<i>Parexocoetus mento</i>	P: CTCTCTTCTCGCTACCCGCTCTGTC; F: CCATATTGCTGAGCCGTTCTTATTACA; R: TCGGTTCAAAGAAATGTTGTGTTG
71	멸치과어류2	<i>Thyrssa baelama</i>	P: ACTTCTATCCCTTCCAGTCTCGCAGT; F: CTCTCAGTATCAAACCCCTTATTGTGCTG; R: TCGGTTCAAAGAAAGTGTGTTGTTG
72	무늬쥐치	<i>Canthidermis maculata</i>	P: ACTAATCCGAGCAGAATAAGCAACCTGG; F: CTTGCGTCTGAGCTGGAATAGTA; R: GAGCTATAAATTTGGTCTACGCCCAA
73	무태장어	<i>Anguilla marmorata</i>	P: CCTATCCCTACCAGTCTAGCTGCAGG; F: GCTGTTTTAGTACCAGCTGTCTACTA; R: GGTCAAAGAAAGTTGTTAATTAAGTTCCGG
74	물가자미	<i>Eopsetta grigorjewi</i>	P: TGATCGGAGCACCGACATGGCATT; F: GGAGGGTTCGGGAACGACTATTCT; R: CCTGAAGAGGCTAAGAGAAGAAGGAAG
75	물각쥐치	<i>Pseudalutarius nasicornis</i>	P: CATGGTGATGCTCGCCGTAACACA; F: CCCTATTGCTGTGAGCTGTCTCATTAC; R: TCTCGCCGGGTCAAAGAAATGTAAGTA
76	물개복치	<i>Masturus lanceolatus</i>	P: TCTCTCTCTCTCTCTCTCTTCTCAGGC; F: CCCCAGTGAACAATATGAGCTTTTG; R: GTGGGCTAAATTTCCGGCTAAAGGA
77	물봉장어	<i>Oxyconger leptognathus</i>	P: AGGAATTACGATGCTCTCACAGACCAGAA; F: CTGTAACAGCAGTCTTCTACTCCTATC; R: CCGGTCAAAAGAAATGTTGTGTTCAA
78	물수배기	<i>Psychrolutes paradoxus</i>	P: CTAGCGGCATCTTCTCAATCTGGG; F: GCTTCTGTGATCTAAACAATCTTCTCTTG; R: GGGTTGACTGAGAAATAGCAGGG
79	미늘전갱이	<i>Carangoides dinema</i>	P: CACGCGGAGCATCGGTTGACTTAA; F: GAGCAGGAACTGGCTGAACAGTATA; R: CCTAGAAATCGATGAGACACCTGCTAG
80	미울비늘치	<i>Neoscopelus microchir</i>	P: CCGCCATCTCCCAATACCAAAACC; F: CGTCGATTTAGGAGCAATCAACTTCA; R: CTGTGATGATGACAGCTCACAAAATAAG
81	민달고기	<i>Zenopsis nebulosus</i>	P: CCACTATCAGCAATCTGGCTATGCGAG; F: CTGGACAGGATGAACAGTGTATCC; R: GCCTAAAATAGATGAAATTCGGCTAAA
82	민밀복	<i>Lagocephalus inermis</i>	P: CCGCGTCTACTTACTATCGTACCTG; F: CGTTGTGCTGTGAGCTGTTCTAATC; R: GGTGTTTAGATTACGATCTGTGAGGAGTA
83	민어	<i>Miichthys miiuy</i>	P: TTCGAAACCTCCGATATAACGGGCATTA; F: TGGGGACGCAAAATCTTAATGTAATG; R: GCGATCATTAAAGGTACAAGTCAG
84	밀복	<i>Lagocephalus lunaris</i>	P: CTCCATCTCGAGGTTCTCATCAATCC; F: GGACCTCCGTCGACCTTACTATTTTC; R: GCGGGAGGTTTCTATGTTGATAATAG
85	바다동자개	<i>Arius maculatus</i>	P: TCCACCTAGCAGGAGTCTCATCAATCTCGG; F: CCTCCGTAGACCTTACCATCTCTC; R: GGTGTTGTTGATTGTGAGATAGTGG
86	바다빙어과어류	<i>Hypomesus nipponensis</i>	P: TCTCTCTCTCTCTCCCTCCAGTCT; F: CCCTTATTCGTTGGGCTGTTCTCATT; R: GGGTCAAAGAAAGGTGGTGTAAAGTTTC
87	바리과어류1	<i>Epinephelus fasciatomiculosus</i>	P: CTCTATCCCTTCTGTTCTTCTGCGCC; F: ACCTCTCAATATCAAACACCTTGTGTTGTA; R: GCTGGGTCAAAGAAAGTGTGTTAAGG
88	바리밴댕이	<i>Sardinella lemuru</i>	P: CCGGAGCACTTCTGGAGACGATCAA; F: CCCTAAGTCTACTAATTCGGGCAGAA; R: CCTCCGATCAGGATGGCATTACTA
89	박대	<i>Cynoglossus semilaevis</i>	P: TTTACTCTCTCCCTGCTGTCTTAGC; F: CCAAGTACCCTTATTGCTGTGAGCA; R: CGATCTGTGAGAAGTATAGTAAATCTGCA
90	반딧불게르치	<i>Acropoma japonicum</i>	P: TCTCTCTGGGCGACGCAAAATTTACA; F: GAGCCTGCTAATTCGAGCAGAACT; R: CCAGTTTCCGAAACCTCCAATCATA
91	반딧불게르치과속	<i>Acropoma hanedai</i>	P: TCTCTCTACTCCTCGCTCTCTCTG; F: GCCTTCCCCGAATGAACAATATGAG; R: CTGGGGTAAAATTACTAGCCAGAGG
92	반지	<i>Setipinna tenuifilis</i>	P: CCAACCAGGAGCACTACTAGGAGATGACC; F: AAGCCTTTAATCCGAGCAGAACTC; R: CCGATGAGGATGGGCATTACTATAAAGA
93	방어	<i>Seriola quinqueradiata</i>	P: TCTGTCTCTGCTACTCCAGTTCT; F: CCCTATTGCTGTGAGCTGTTCTAATCA; R: GCAGTATTAAAGTTTCGGTCTGTGAGAA
94	배주름쥐치	<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	P: AACACATGAGCTTCTGACTTCTACCCGCT; F: CGGAAACTGACTAATCCCATTAATGATCG; R: GAGGAGGCAAGAAGAAGTAGAAGTGA
95	밴댕이	<i>Sardinella zunasi</i>	P: TCTAGCTGCTGGAATACCATGCTCTCT; F: CCTGTTGCTGTGAGCTGTTCTGTAAC; R: GATCGAAAGAAAGTGTGTTGAGTTTC
96	뱀장어	<i>Anguilla japonica</i>	P: ACCACATCAATCTTCTCTCTGCTGGC; F: CCAGACATAGCAATTTCCCGAATAAAC; R: CAGCTAGAGGAGGATACGGTTCAAC
97	뱀장어과속	<i>Anguilla luzonensis</i>	P: CCAGCTAGAGGGGATATACAGTTCAACC; F: CCATCATTTCTTCTTACTAGCCTCTCTC; R: GTGAGAAAATTTGTCAGGTCAACAGATGC

98	뱅어	<i>Salangichthys microdon</i>	P: TGCCATCTCTCAGTACCAAAACGCCAC: F: TAGGGCCATCAATTTTATTACGACTATCA: R: AGCAGAGGACGACAGTAATCAGAA
99	범가자미	<i>Verasper variegatus</i>	P: TGAGCCGTAATAATACAGCCGTCTACTT: F: CGACAGTAATACTGTACCAAATCCCGTTA: R: GGTCGCTCAGTAGCATTGTAATTC
100	범돔	<i>Microcanthus strigatus</i>	P: TGCTAACTACTGCGCTCCTTCTCTCT: F: CCCTGCTATTCCCAATACAAACGC: R: GGTGTTAAGGTTTCGGTCTGTAGTA
101	벵에돔	<i>Girella punctata</i>	P: TGTACTAGCCGACAGCATTACCACTTCT: F: GCAGTACTAATACCAGCTGTCTCTCA: R: GGGTCAAGAAAGTAGTATTAAAGTCCGA
102	별넙치	<i>Pseudorhombus cinnamomeus</i>	P: TCACCGCACACGCCTTCGTATAAT: F: CGGCAGACCAAATTTATAACGTAATC: R: AAGGGGAATTAGTCAATTTCCAAAACCC
103	별복	<i>Arothron firmamentum</i>	P: AGCAGGTGTCTCATCAATCCTCGGC: F: GAGCATCCGTCGATCTTACCATTTTC: R: CACGAATAGGGGTGTTGGTACTGA
104	별우럭	<i>Epinephelus fario</i>	P: TCTTCTGTCTCGCTGCCGTTATA: F: CCTCTATTGATGAGCCGCTCTAA: R: GGGTCAAGAAAGGTGGTGTAAAGTTAC
105	볼락	<i>Sebastes inermis</i>	P: CCGCCATCTCTCAGTACCAACACC: F: CCTTGGGGCAATTAATTTTATCACCACAA: R: GGGAAGAAGCAGCGTAAATAGGACA
106	부세	<i>Larimichthys crocea</i>	P: CGTCCCTCTGCTCTCACTACCT: F: GCATCACCCAATATCAACACCTCTG: R: CGGTCAGTCAAAAAGCATTGTGATG
107	분홍쥐치	<i>Triacanthodes anomalus</i>	P: TCAACAGAGGCTCCAGCATGTGCAA: F: CTCTCTACTTCTCTGTCTTCTCTGG: R: CTGCTAGGTGAAGGAAAGATGGTTA
108	볼돔복	<i>Triodon macropterus</i>	P: CGCGCTTGTCTCTCTGTCTCTTC: F: ACCCCTATTGTTTGGAGCCGTTTAAATC: R: AGTGGTGTGAGATTTCGGTCTGTTA
109	볼룩복	<i>Sphoeroides pachygaster</i>	P: AAITTCGGAAGCCAAATCATGTGGGT: F: CACTCTTAGGTGACGACCAGATTTATAATG: R: GGGGCTCCGATTATAAGTGAATTAATC
110	볼볼락	<i>Sebastes thompsoni</i>	P: TATGAACCTCCGGCATTCTCAATACCA: F: CCTTGGGCAATTAATTTTATCACCACAA: R: GAAGGAAGAAGCAGCGGTAATAG
111	붉바리	<i>Epinephelus akaara</i>	P: TCCTAATACAGCGGTGCTACTGCTCTG: F: CTCTCAGTATCAGACCCCTGTGTTGTA: R: GGTCAAAAGAAAGTGTGTTGAGTTACG
112	붉은메기	<i>Hoplobrotula armata</i>	P: CTGGCAGGTGTCTCTCAATCCTCG: F: CCTCTGTAGACCTCAGATCTTTTCTC: R: CTGGAGGTTTTATGTTAATAATTTGGTGT
113	붉은쏨뱅이	<i>Sebastes tertius</i>	P: ACCGCTGTCTCTCTCTCTCTCTCTG: F: CCATCTCTCAATACCAAACTCCCCCTA: R: GGTCCGTTAGAAAGCATCGTATACC
114	붕장어	<i>Conger myriaster</i>	P: TCAACCTGGAGCTCTCCTTGGAGATGAC: F: GAAACCGCTTAAAGTCTGCTAATTCGA: R: AAGGCATGTGCTGTACGATAACATATAG
115	붕장어속어류	<i>Conger sp.</i>	P: CCCAGCCATCACACAATACCAACACC: F: CATCCATCTTGGGGCAATTAACCTTTA: R: AGGACTGGAGGGATAGAAAGTAGAA
116	빨간대구	<i>Eleginus gracilis</i>	P: ACTTCTGCCACCCTCTCTCTCTCTCT: F: GCCTTCCCTCGGATAAATAACATAAGTTTC: R: CTGCTAGAGGAGGGTATACGGTTCA
117	빨간싹뱅이	<i>Antennarius striatus</i>	P: TCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: ATGGCTGTATTAGTCACTGCTGTA: R: GGGTCAAGAAAGTGTATTAAAGTTTCGA
118	빨간횃대	<i>Alcichthys alcicornis</i>	P: CAGTACTCGCTGCCGGATCACAAT: F: CCCTTTTCGCTGGTCTGTCTCTCATT: R: GTGGTATTAGATTTTCGGTCTGTAAAAGC
119	빨가자미	<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	P: CTGGGCATCCGTAGACCTCACAATCTT: F: CCCATTAGCTGGAAACCTAGCACAC: R: GATGGTAGTAATGAAGTTGATTGCCCTA
120	빨돔과어류	<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	P: CCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CTCGAATGAACAACATGAGCTTCTGAC: R: GGGTAAACTGTCCATCTCTGTTCCCTG
121	빨복	<i>Lactoria cornuta</i>	P: CTCTTATCACTCCAGTCTCTGCAGCCG: F: GAGCAGTCTTAATTACCCTGTCTCTA: R: CGGGATCAAGAAATGTGGTATTAAAGTTTC
122	빨줄고기	<i>Hypsagonus quadricornis</i>	P: CATCTAGCAGGAATCTCTCAATCTCTGG: F: CGCCTCTGTTGACTTAACGATCTCT: R: CGAGGTGGTTTTATGTTAATAATGGTTGTG
123	빨횃대	<i>Enophrys diceraus</i>	P: CACGCGGGTCTCTGTGTACTTCTAC: F: GAGGAACCTGGGTGAACAGTTTATCC: R: GGTGTAAATAAAATTAATGTCCGAGGA
124	살걱걱이	<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	P: CGGGAGCCTCCGTGACCTCACAAT: F: GGTGTAAATAAAATTAATGTCCGAGGA: R: GGTCTAAATAAAATGATTGTCCGAGAA
125	삼세기	<i>Hemitripteris villosus</i>	P: CGGTCTCTGCTCTGGCATCACAATG: F: GTCTGTTCTTATCAGACCCGCTCTATTAC: R: GAAGGTGGTGTAAAGATTACGATCCGTTA
126	삼치	<i>Scomberomorus niphonius</i>	P: TTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CGACATAGCATTCCCTCGAATGAATAAC: R: CAAGGGGAGGATAGACTGTCTCAACC
127	상날치	<i>Exocoetus volitans</i>	P: TTCGAGCAGAACTGAGCCAACCAGG: F: CAGGAATAGTAGGGACTGCCCTAAG: R: GCGGTGTCTGTAAACAATACGTTA
128	새줄멸	<i>Hypoatherina valenciennei</i>	P: CCTCTGCCATCTCACAATATCAAAACACC: F: TCCTCGAGCCATTAATTTTATAACAACA: R: ACTGGAAGAGAAAGTAGAAAGTACGG
129	셋돔	<i>Psenopsis anomala</i>	P: AGCCGTGCTACTTCTATTGTCTTTACCCTG: F: TTCCAATACCAAAACACCCTATTTCG: R: GTCAGTAGTATTGTAATTCAGCAGCAAG
130	송어(강해형)	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	P: CCCATCTTTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CCCCAGACATAGCATTCTCTCGAATA: R: GGGATAAAGTGTCCATCCAGTACCA
131	수염참치	<i>Brotula multibarata</i>	P: TCTATGAGCCGCTCTAATACCAGT: F: CCTCCAGCTATCTCACAATACCAAAAC: R: AGGTCAGAAAGAAAGTGTGTTCAAG
132	수조기	<i>Nibeia albiflora</i>	P: CCTGCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: GCCTGTTGTTGATGAGCTGTCTCTA: R: GGTGTTGATTAGGTGTCCGCTCTGTAAAAG
133	송어	<i>Mugil cephalus</i>	P: AGCTGTGGCATTACCACTCTCAACAGA: F: AGCTGTCTAATACCAGCTGTACTTCT: R: TGCAGGGTCAAGAAGGAAGTATTAG
134	실비늘치	<i>Aulichthys japonicus</i>	P: CTGTCTAATCACTCGCGTCTCTCTCT: F: CCAGCAATCTCACAATACAAACACCTC: R: GCATGGTAATACCTGTGCAAGAAC
135	실양태	<i>Repomucenus valencieneii</i>	P: TACGGCTGTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CC2AACACAGTACCAAAACACCTTTATTTC: R: GGTGCGGTCTGTAAGGAGTATAGTAA
136	쏨뱅이	<i>Sebastes marmoratus</i>	P: CGCTTACACCAGGAAAGGGAAGC: F: ATCGGAGCCAGATATAGCATTTTC: R: CGGGATACTGTCTCATCCGTTTC
137	쏨뱅이목어류	<i>Rhamphocottus richardsoni</i>	P: TCTTGTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CTCTCAATACCAGACCCCTCTTTTCG: R: AGGTGGTATTAAAGATTACGATCGGTTAGTA
138	썩감펍	<i>Scorpaenopsis cirrhosa</i>	P: CCTTCTGGGCGACCAAAATCTACAATG: F: CTGCTTATTCGAGCAGAGCTAAGTCAA: R: CCCAAATCTCCTCAATATTGATTGGCATTAC
139	아귀	<i>Lophiomus setigerus</i>	P: TGCTACTTCTTCTCTTACCCTACTTGTG: F: ACACCCCTATTGATGAGCTGTCTTA: R: GTTCCGGTCTGTGCAAGTATTGTTG
140	아홉동가리	<i>Goniistius zonatus</i>	P: TTACTGCGCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: TGGAGCCATTAACCTTTATCACCACGATTA: R: GGACTGGAAGGAAAGGAAAGAAAG
141	악어양태	<i>Inegocia guttata</i>	P: TCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CCCTGATATAGCATTTCCTCCGAATAAAC: R: CAAAGGGGTGGATAAACAGTTCTATC
142	앞동갈베도라치	<i>Nibeia albiflora</i>	P: TGTGTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CCCAGCCATCTCTCAATACAAACA: R: TCGTGTATTAGATTTCGGTCTGTAAAAGTA
143	엘통이	<i>Maurolucus japonicus</i>	P: CCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CCAGATATGGCCCTTCTCTGAATAAAC: R: GGAGGATAAACGGTCTCATCTCTGTT
144	양미리	<i>Hypoptychus dybowskii</i>	P: TCAGTTGCGAAGCCTCCGATCATG: F: GGCAGCAGCAGATTTACAATGTTATC: R: GGGCCCCGATTATAAGGGGATAAG
145	양볼락과어류	<i>Dendrochirus brachypterus</i>	P: AGCACCAGACATAGCATTCCACGCA: F: GGAGGTTTTGGAACTGACTCATTTC: R: CCTGATGAGGCGAAGAAGAAGAA
146	양태	<i>Platycephalus indicus</i>	P: ATACCAATTTATGATCGCGCTTCCGG: F: GTCACAGCTCATGCTTTGTAATAATCTTC: R: TGGAGGTAGGAGTCAAGAAGCTTATGTTA
147	어렁놀래기	<i>Pteragogus flagellifer</i>	P: TGCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CTCTGTTGTGTGGGCTGTCTCAATTAC: R: GGTGTGTTCAAGTTCCGGTCTGTTA

148	어름돔	<i>Plectorhinchus cinctus</i>	P: CTGATTACTGCCGTTCTCCTACTCCTCTCC: F: CCCAGTATTTCACAATAACAGACC: R: GCGATCTGTGAGGAGCATTTGTAATTC
149	얼개돔과어류	<i>Myripristis berndti</i>	P: CTCTAGCAGGAAACTTAGCCACGCAG: F: CTGGAACAGGATGAACGTGTCTACCC: R: AGGAGATACCAGCTAGATGAAGTGAGA
150	열기	<i>Salvelinus malma</i>	P: CGTAATCGTAACAGCCCATGCCTTCGT: F: GCTCTTCTAGGGATGACCAGATCTATA: R: AGAGGGTAAATCAGTTTCCAAGCC
151	열동가리돔	<i>Apogon lineatus</i>	P: CCCTCTTCTCCTACTGCTACTTGCCTGTC: F: GCCCTGATATAGCATTTCCTCGAA: R: GGGTAAACCGTTCATCCTGTCTCTG
152	열쌍둥가리	<i>Parapercis multifasciata</i>	P: CAGTTCCTCCTCCTCCTCCTCCTCC: F: CCCCTATTGTGTGAGCAGTCTTA: R: GTTCCGGTCTGTAAAGACATTGTAA
153	영지썩뱅이	<i>Antennarius pictus</i>	P: CCCGACCTGCTTCTACTCCTGATGAA: F: TCCCTCGCATAAATAATAGCTTCTGAC: R: GCAAGAGCCGATAAACTGTTCATC
154	왕눈줄고기	<i>Podothecus veterus</i>	P: AGCTCCCGACATGGCATTCCCACGAATAA: F: GGGTTTCGGAACCTGACTTATCCCTCTAA: R: CCCTGAAAGCGGAGGAGAAAGTAGA
155	용상어	<i>Acipenser medirostris</i>	P: AGCCGTACTTCTCCTACTGTCCTGTC: F: TCCCAATATCAGACACCTTATTGTATGA: R: AGGAGTATTGTAATTTCCCGCAGTA
156	용서대	<i>Cynoglossus abbreviatus</i>	P: CCTGCTTGGCGACGACAGATCTATAATG: F: CCTACTAATTCGAGCAGAACTAAGCCA: R: GGGATTAATCAATTTACAAAGCCTCCAA
157	용아귀	<i>Lophiodes insidiator</i>	P: TCTCTCTCTACTCCCTACCAGTGTCTGC: F: TGAGCTGTACTAATACGGCAGTCC: R: CTGAGGTCAAAGAAAGTGGTTTAAAG
158	은피복	<i>Lagocephalus scleratus</i>	P: ATCACTGCCGTTCTCCTTCTCCTCCTCC: F: CCCTGCAACTTCAACAATACCAACC: R: CCGGTGCAAGAAATGTTGTGTTTAAAG
159	은민밀복	<i>Lagocephalus laevigatus</i>	P: TACCCCGCTACTACTCCTACTCCTACTCC: F: CTCCCGCTATTTCCEAATACCAACC: R: CGAAGAAAGTAGTATTAAAGTTGGGGTCTG
160	은줄멸	<i>Hypoatherina tsurugae</i>	P: TCTCCCTTCACTTAGCAGGCGTTTCAATCA: F: GCAGGTGCATCCGTGTACTAATA: R: TAGGGGTCTTGGTATTGGGAAATTTG
161	이와치	<i>Sardinella jussieu</i>	P: AACCTCCAGCAATCTCACAGTACCAGACA: F: CAGGTATTTCATCAATTTCTGGGGCAA: R: GGGTGGTAGGGAAGAGGAGAAAG
162	인상어	<i>Neoditrema ransonnetii</i>	P: CCCAGCAGGAGCTTCAGTAGACTTAACT: F: GTGCTGGAACGGGATGAACCTGTATA: R: CCTAGAAATGAAGAGATTCTCCGAAAGATG
163	일곱등갈망둑	<i>Pterogobius elapoides</i>	P: CCGTGCTAACTCACTGTCTCTCCTGTC: F: CCCTGCCATCTACAATATCAAAACAC: R: CCGGTCAAAGAAATGTTGTATTAAAGTTCC
164	일지말락솔치	<i>Minous monodactylus</i>	P: CGTCATCGTACTGACATGCCTTCGT: F: GGGCCCTATTAGGAGATGATCAAACTTA: R: CCGATCATTAAGGGGATAAGTCAGTTTCC
165	임연수어	<i>Pleurogrammus azonus</i>	P: TGCTGTCTTACTTACTCCTTTTCGCTCCCA: F: CCCTCTGTTTGTGTGATCCGTAATA: R: TGGTGTGAGGTTTCGGTCTGTATA
166	자리돔	<i>Chromis notata</i>	P: TGCACTTAGCAGGTATCTCCTCTATCCTGG: F: CCTCCGTAGACCTAACCATCTTCTC: R: GAGAGGGGTTTGATACTGGGAGATAG
167	자바리	<i>Epinephelus moara</i>	P: TAGCGGTCTTAAATCACAGCAGTACTCTG: F: GCCATCTCTCAATACCAACACCTTTA: R: CAGGTGCAAGAAAGTGGTGTAAAG
168	젯방어	<i>Seriola dumerili</i>	P: CAGGTGGACAGTACCAGCCTCTG: F: CCTCTTCTACTTCTACTCTAGC: R: CCAAGTAAAGTGAAGGAGAAATTTGTAAG
169	전갱이	<i>Trachurus japonicus</i>	P: ACGGCCACGCTTTCGTAATAATTTCTTT: F: CCTTCTAGGGGATGACCAAAATTTACAAC: R: TAGCGGAATCAGTCAGTTTCCAAG
170	점감펍	<i>Scorpaena onaria</i>	P: ACTGGCCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT: F: CCCTGCAATTTCCAATATCAGACA: R: TAGCGGTAAGAAAGTATTGTAATTTCCG
171	점넙치	<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	P: TGCTTCTCCTCTCGCTCCCAAGTTCT: F: CCGTATTATTGTCTGGGCTGTCTTATC: R: GGTAGTATTTCAGGTTACGGTCTGTGA
172	점농어	<i>Lateolabrax maculatus</i>	P: AGCGTTCCTCCGGTGAACAACATAAGCT: F: GGGTTTGGAACTGATAATTTCCCTAATG: R: TCGCAGAAAGGAGAGGAGGAGAAAG
173	점썩뱅이	<i>Chaunax abei</i>	P: TAGCAGGGTCTCATCAATTTCTGGAGCCA: F: TGCAGGAGCATCTGTGATTAAACAATC: R: GGTCTGATTTGCGAGATAGTGGG
174	점줄우럭	<i>Epinephelus epistictus</i>	P: CCCTGCCATCTCCAGTATCAAAACACC: F: TCTCGTCAATCTAGGGCAATTAACCTTA: R: AGGAGTAGAAGCACCGCAGTAATTAATAC
175	좁볼락	<i>Sebastes minor</i>	P: TCTCTTACCAGTCTCGTCCCGG: F: ACCCTATTGTGTGAGCTGTCTTA: R: AGGTGGTATTAAAGATTTCGGTCCGTTAA
176	종대우럭	<i>Epinephelus latifasciatus</i>	P: TGCTTCTACTCCTCTCTTTGCCCGTCT: F: GCCATCTCTCAGTACCAAAACCTTTA: R: CTGGATCAAAGAAAGTGGTGTAAAG
177	주둥치	<i>Nuchequula nuchalis</i>	P: TCTTCTCTTCTAGCATCTCCGGCATTTGA: F: TGGCATTCCCGGAATAAACAATAAGCC: R: GGTGGATAAAACTGTTCATCTGTATC
178	줄가자미	<i>Clidoderma asperrimum</i>	P: CACTGCCGTTCTTCTCCTCTGTCACTA: F: AACCAGCAACAGTCACTATGTACCA: R: GGTGTGTTAAGATTGCGATCTGTAGTAG
179	줄노래미	<i>Hexagrammos octogrammus</i>	P: TTTCACTACCAGTCTTCTGCTGCGGG: F: GTGTGATCTGTACTAATTACTGCTGTCC: R: TGGTGTGAGATTTCGGTCTGTAAAAG
180	줄도화돔	<i>Apogon semilineatus</i>	P: CTACTGTCTTCCCTCCGGTGTAGAGGCT: F: CCCTCGGATGAACAATATGAGCTTTTG: R: GGGGATAAACAGTTCATCCTGTCC
181	줄동갈돔	<i>Apogon endekataenia</i>	P: TCTTCTTCCCTTCCGTTCTAGCAGCC: F: CCTGTTGTCTGAGCAGCTCAATTAAC: R: GCTGGGTCAAAGAAAGTTGTGTTAA
182	줄비늘치	<i>Caelorinchus multispinulosus</i>	P: AGCCGTCTAATCACAGCAGTCTTCT: F: CCATCACACAATACCAGACACCTTTATTG: R: GGGTGTGAGGTTACGGTCTGTAAGA
183	줄썩뱅이	<i>Antennarius hispidus</i>	P: TGTTGGTCACTGCTGTACTTCTCCTCT: F: CCAGCCCTTACAATACCAAAACAC: R: GAAGGTCTATTAAAGTTTCGGTCAAGTA
184	쥐치	<i>Stephanolepis cirrifer</i>	P: TGCTGTCTCCTACTTCTTTCATACCCGT: F: GATGCCCTATTGTATGAGCTGTTC: R: AGGTGGTGTAAATTTGATCTGTAAAGA
185	쭈굴감펍	<i>Scorpaena miostoma</i>	P: ACTGGCCTCTCCTTCTCTCCTCCTCT: F: GTACCAAAACCCGCTATTCTGTATGG: R: TTCGGTCTGTAAGGAGTATTGTAATCCC
186	참가자미	<i>Pseudopleuronectes herzensteini</i>	P: CCGGAGCATCCGTAGACCTCACCAT: F: CCCACTAGCTGGAATCTAGCACAC: R: GTGACTGCTGTGGTTTCATATTGATGA
187	참돔	<i>Pagrus major</i>	P: TGCTCTGCATGGGCAAGATTACC: F: TGGGTGAACAGTTTATCCACCAGT: R: CACCAAGAATTGATGAAATACCCGCTAAG
188	참돛양태	<i>Repomucenus koreanus</i>	P: CGGCTGCTACTACTCCTGTCTCTGCC: F: CCCTTACACAGTACCAAAACCTTTATTG: R: ACGGTCTGTAAGGAGTATAGTAATGCC
189	참서대	<i>Cynoglossus joyneri</i>	P: AACCTGTACCAGCTCCGGCTCTAC: F: GCTTCTGACTTCTCCTCTCTTCTT: R: CTGCAAGAGGTGGTAAACAGTTC
190	참조기	<i>Larimichthys polyactis</i>	P: ATCCGTTCTGATTACAGCAGTCTCCTCT: F: ACCCAATACCAAAACCCCTGTGTTG: R: TCGGGTCTGTTAAAGCAATTGTGATG
191	창치	<i>Vellitor centropomus</i>	P: CCGTCTCGCTGCTGGCATCAAA: F: CCCTTTTCTGCTGGTCTGTCTTATC: R: GGGTGTGAGTTTCGGTCTGTGTAAG
192	철갑등어	<i>Monocentris japonicus</i>	P: AACCTCCGCCATTTCCAATACCAG: F: CGGTATTCTCTCTATTATTAGGGGTATCA: R: GGAGGAGAAGGACTGCTGTAAATAAAAC
193	첨문파랑눈매통이	<i>Chlorophthalmus acutifrons</i>	P: TATGAGCGCTTCTAATACCAGCCTCT: F: CCCGCTATTACCAGTATCAGACAC: R: TCCGGTCCGTAAGAAAGCAATTGTAATG
194	청멸	<i>Thryssa kamalensis</i>	P: CACCTGGCAGGAATTTCACTCAATCTGGG: F: GGCATCCGTAGACCTACTATCTTTTCA: R: TGCAGAAATGCAAGGTGGTTTATGTTA
195	청밀복	<i>Lagocephalus lagocephalus</i>	P: CCGAGGATTGATGACACACCCGCAA: F: GGCATCCGTAGATCTAATATCTTCTCC: R: GGAGGCTTCATGTTAATAATTGTGGTGATA
196	청복	<i>Canthigaster rivulata</i>	P: ACCGAGGACATCTGTTGACCTCACAA: F: GAGCTGGTACAGGCTGAACAGTCTA: R: AGCACCTAGAATTGATGAGACACCTG
197	첼로복	<i>Chelonodon patoca</i>	P: CCGTCTCGCAGCAGGCAATTACAAT: F: CTCTCTGATGAGGCGGTTCTAATC: R: TGGTGTGAGGTTTCGGTCCGTAAG
198	철서대	<i>Cynoglossus interruptus</i>	P: TCATCCCAAGTAAAGCTTCCCGGTTG: F: CTGGAATAGTCGGCACAGCTTTAAG:

199	칼상어	<i>Acipenser dabryanus</i>	R: CGTGAGCGGTAACAATGACATTGTAG P: TGCTTCTCCTGCTGCTACTGCCAGT; F: GCAGTATCCCAATACCAGACACCTC; R: GGTCAAAAGAAGGTGGTGTAAATTTCTGA
200	털수배기	<i>Eurymen gyrinus</i>	P: CCTGTATGATCGGAGCCCTGATATAGCA; F: ATGCCAATCATAATCGGAGGTTTCG; R: TCCTGAAGAGGCTAGGAGCAGTAAA
201	파랑눈매둥이	<i>Chlorophthalmus albatrossis</i>	P: TGTTCCTATTACCCTGCTCTCTTCTCTCT; F: TACCCAGTATCAAACCCCTCTGTTTC; R: GGTCGTGTTAAGTTTCGGTCTGTTAG
202	파랑쥐치	<i>Balistooides conspicillum</i>	P: ACTCTACTCTCTATCCCTCCGGTACTAGC; F: ACCTCTATTTGTTTGAGCCGCTCTA; R: TGTGTTTTAAGTTTCGGTCTAGTAAGTAGTA
203	풀넙치	<i>Citharoides macrolepis</i>	P: TCATCACAGCCGTTCTCTCTCTCT; F: CCGCAGCTATGACTATGTACCATCTC; R: GGTGGTGTAAAGTTTCGGTCTGTAAAG
204	풀망둑	<i>Acanthogobius hasta</i>	P: CCCAGCAATTTCTCAATACCAGACGCC; F: CCATCCTAGGTGCTATCAATTTTATTACCA; R: CACGGCTGTAATAGTACTGCTCATAC
205	풀반지	<i>Thyrssa hamiltonii</i>	P: CACGCAGGAGCCCTCAGTAGACCTAACT; F: GGCAGGAACTGGATGAACAGTTTATC; R: CCGGAAATAGATGAAATACCAGCTAAGTG
206	풀잉어	<i>Megalops cyprinoides</i>	P: CTGAACCTAAGCCAACCCGGAGCACTAC; F: GGGATAGTTGGAACAGCACTAAGTTTG; R: TGCCGTGACGATAACATTATAGATTGG
207	플해마	<i>Uroconger lepturus</i>	P: TGGCTTTGGCAACTGACTTGTACCACT; F: TACGGCACATGCCTTCGTAATAATTTTC; R: GGGTGGGAGTAGTCAAGAGCTTATG
208	학공치	<i>Hyporhamphus sajori</i>	P: ACTGCTGTCTACTCTTCTCTCTCTCTCT; F: ACCAGCATTCCCAATATCAAACC; R: TTCCGTCCGTAAGGAGTATTGTAAATCC
209	흑돔	<i>Semicossyphus reticulatus</i>	P: CCTTGGCCGTGGTATTACAATGCTCTCT; F: CGTCTTAATTACAGCGGTACTTCTCTTG; R: GGGTCAAGAAGTGGTATTAAAGTTTCG
210	홍바리	<i>Epinephelus fasciatus</i>	P: CACTGGCTGAACAGCTACCCACCTCTG; F: CCCACCATCTTCTCTCTCTCTCTCT; R: ATCCCTGCTAAGTGTAGTGAGAAAGATG
211	홍살치	<i>Sebastes macrochir</i>	P: GTCCTAATACCAGCCGTACTTCTCTCTCT; F: CCCAGTATTCTCAGTACCAGACA; R: CCGGGATCAAGAAGTGGTGTAA
212	홍옥치	<i>Priacanthus hamrur</i>	P: CTTCTGACTTCTTCCACCTCTTCTCTCTCT; F: CCCTAATGATTGGAGCACCTGCACATA; R: GCTTCTACTGCTGAAGAAGTTAGCA
213	홍치	<i>Priacanthus macracanthus</i>	P: CCGCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT; F: GCACCTGATATAGCATTCCCCGAATA; R: GGACAGTGGAGGTAACCTGTTAC
214	홍투라치	<i>Trachipterus trachipterus</i>	P: CCTCTGCCATCTCCCAATACCAAACG; F: AGGGGTATCCTCTATTTTAGGAGCTATCA; R: AGGAGAAGAAGAACAGCAGTAATAAGCA
215	황강달이류	<i>Collichthys sp.</i>	P: TGGCTCGTCCCTTAATAATCGGCG; F: CCGTTATGATTGGAGGTTTCGGGAA; R: GAGGTAGGAGCAGGAGGAAAGAA
216	황돔	<i>Dentex tumifrons</i>	P: GCGCCCTGATATAGCAATTTCCCGAA; F: GGAGCCTTTGGAAATTGACTTATCCCC; R: AGGAGGCAAGTAGAAGAAGGAATGAG
217	황록쥐치	<i>Pseudobalistes flavimarginatus</i>	P: ATGAGCTCTGACTCCTACCTCCATCGC; F: CTGACTCGTCTCTAATAATTGGAGCC; R: TAGCTTGTAGGAGCAAGTAAAGAA
218	황매둥이	<i>Trachinocephalus myops</i>	P: TGCTGAGCCGCTTGATTACTGCGGTA; F: CCTTCGATTACTCAGTATCAGACTCCCTTTG; R: CGGTGGTTAGAAGCATAGTGATTTC
219	황아귀	<i>Lophius litulon</i>	P: TATTACTCTGCTCCCTACCCGTGCTTG; F: CCGATACCAGACGCCTTATTTCGTA; R: GTGGTGTAAAGTTTCGGTCTGTAAAG
220	황어	<i>Tribolodon hakonensis</i>	P: TCGTAACAGCCGCTCTCTCTCTCTCT; F: TCCCAGTACCAAACCCCTTATTGTGA; R: TACGGTCTGTAAGGAGCATTGTAATTTCC
221	황줄감정이과어류	<i>Girella sp.</i>	P: AACCTCCAGCCATTTACAGTATCAAACCC; F: CAGGTATTTCTCAATTCTAGGGGCAATC; R: GAAGGGATAGTAGTAATAAGAACAGCGGTA
222	황줄바리	<i>Aulacocephalus temminckii</i>	P: TTCTACTACTCTCGCTCTCTCTCTCT; F: CCGTATGAACAATAGAGCTTCTGACTC; R: GGGGAGGATAAACTGTTCACTCTGTA
223	흑대기	<i>Paraplagusia japonica</i>	P: CCTTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCTCT; F: GCACCTGATATAGCTTTCCCTCGAATA; R: CTGCAAGGGGAGGATATACTGTGTTCA
224	흑백쥐치	<i>Cantherhines dumerilii</i>	P: CCGCTACTCTCCAGTACCAAACCCCTTTA; F: TCTCTCTATTCTCGGTGCAATCAAC; R: CTGGCAGGGAGAGAAGAAGATGAC
225	흑점꺼끌복	<i>Arothron nigropunctatus</i>	P: CCGAGCATCTCTCAATACCAAACACCC; F: GCCATTAACCTCATACCACAATCATCA; R: CTGGCAGGGATAACAAGAGAAGGAC
226	흙무굴치	<i>Synagrops japonicus</i>	P: CCTGGCCGGTATCTCTCAATTTCTG; F: CTCCGTGCGACTTAACAATTTCTCTCTCTC; R: TTGGGAGATAGCTGGAGGTTTCATA
227	흰베도라치	<i>Pholis fangi</i>	P: CCCAGACATGGCATTTCGCCGTAT; F: ACTGGCTTATCCCCTAATGATCGG; R: CAAGGAGAAGAAGGAAAGAAGGAGGAA
228	흰점꺼끌복	<i>Arothron hispidus</i>	P: AGCAGGTGTCTCATCAATCTCTGGCG; F: TCGACCTTACCATTTCTCCCTTCA; R: GCAGTAATTAACGCGCCATACGAATA
229	흰줄망둑	<i>Pterogobius zonoleucus</i>	P: CCGCATCTCACAATATCAAACACCTCTC; F: AGGAGCCATTAATTTATCACAACAATCC; R: AGCAGAAGAAGCGAGTATTAGTA
230	히메치	<i>Auloopus japonicus</i>	P: CGATTTCTCAGTACCAGACGCCCTT; F: TCCTCAATCCTAGGTGCAATCAACTTTA; R: GCCGTATTAGAAGCAGCTCAACTAG

## (2) 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증 완료

제작한 참돔 종 특이적인 Taqman프로브를 적용하여 RealtimePCR을 진행하였으며 참돔을 포함한 혼성어란에서 증폭곡선을 확인하였고 참돔을 포함하지 않은 혼성어란 시료에서는 증폭곡선을 보이지 않았다(Fig. 3.1.59). 이는 Pyrosequencing 실험 결과와 일치하는 것으로 현장에서 채집한 혼성어란 시료에서 참돔 검출이 가능함을 나타낸다. 이를 적용하면 참돔 어류의 산란장 탐색 및 산란시기를 확인할 수 있을 것으로 보인다.

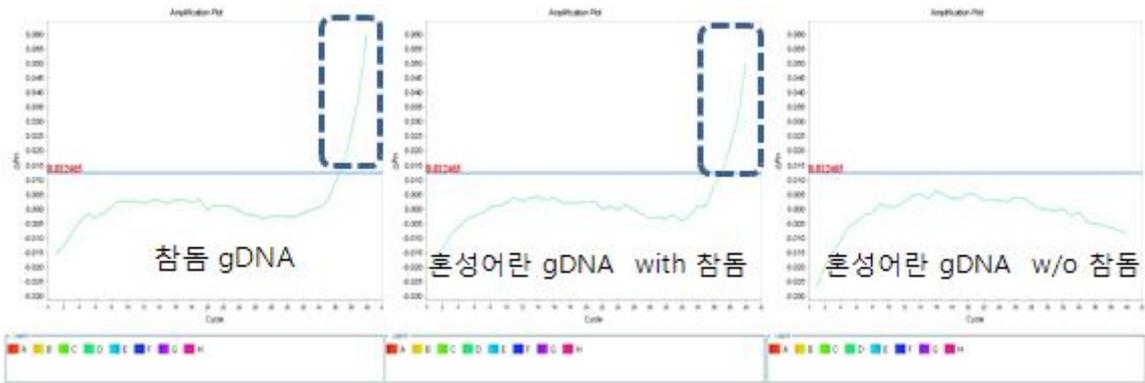


Fig. 3.1.59. Species detection of a red seabream (*Pagrus major*) in the mixed eggs using species-specific probe for the red seabream by Realtime PCR.

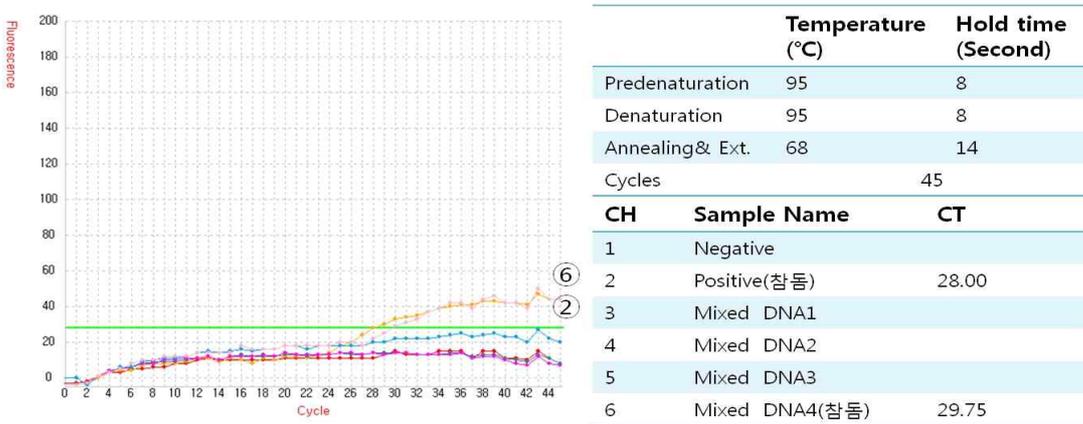
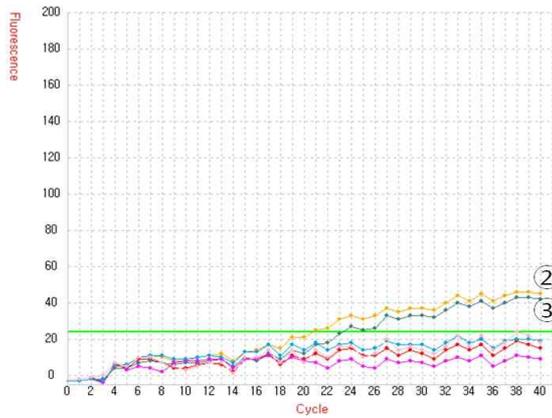


Fig. 3.1.60. Species specific probe test for *Pagrus major* identification.

그 외 제작한 돌돔, 반지, 노랑각시서대, 멸치 등의 종 특이적 프라이머/프로브를 적용하여 RealtimePCR을 진행하였으며 각 종을 포함한 시료에서 증폭곡선을 확인하였고 해당종을 포함하지 않은 혼성어란 시료에서는 증폭곡선을 보이지 않았다(Fig. 3.1.61-63). 이는 현장에서 채집한 혼성어란 시료에서 각 종의 검출이 가능함을 나타낸다. 이를 적용하면 종별 어류의 산란장 탐색 및 산란시기를 확인할 수 있을 것으로 보인다.



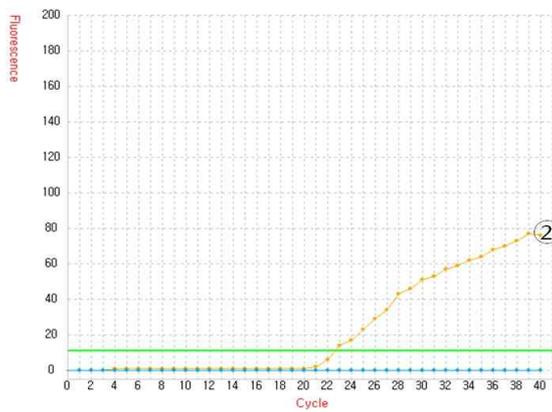
	Temperature (°C)	Hold time (Second)
Predenaturation	95	8
Denaturation	95	8
Annealing& Ext.	68	14
Cycles	40	

CH	Sample Name	CT
1	Negative	
2	Positive 돌돔	20.75
3	Mixed DNA1(돌돔)	23.25
4	Mixed DNA2	
5	Mixed DNA3	
6	Mixed DNA4	

- Positive control과 돌돔이 포함된 혼합시료에서 증폭 확인

Fig. 3.1.61. Species specific probe test for *Oplegnathus fasciatus* identification.



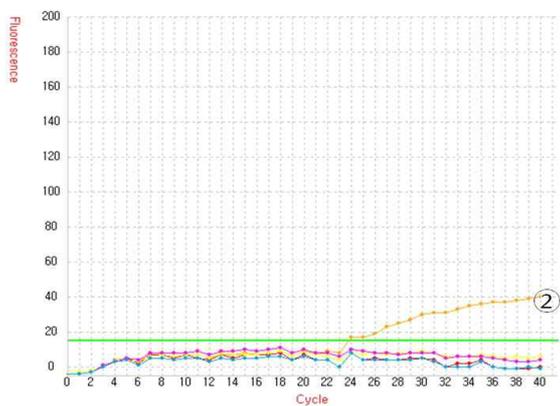
	Temperature (°C)	Hold time (Second)
Predenaturation	95	8
Denaturation	95	3
Annealing& Ext.	64	6
Cycles	40	

CH	Sample name	CT
1	Negative	
2	Positive 반지	22.63
3	maxwell 300um	
4	manual 300um	
5	20fish mixed gDNA (NC)	
6	X	

- Positive control에서 증폭 확인, 반지 시료가 없는 혼합시료에서 비 증폭 확인

Fig. 3.1.62. Species specific probe test for *Setipinna tenuifilis* identification.



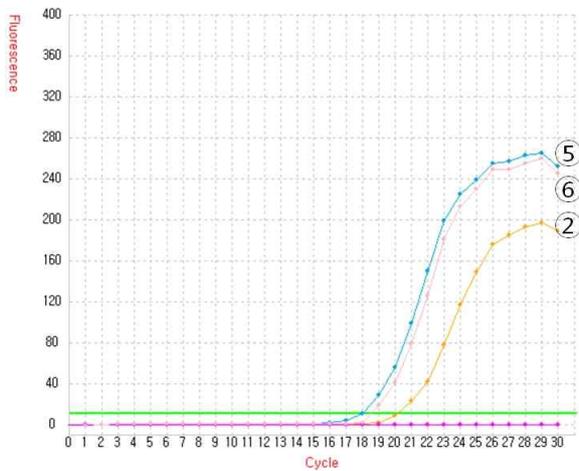
	Temperature (°C)	Hold time (Second)
Predenaturation	95	8
Denaturation	95	8
Annealing& Ext.	70	14
Cycles	40	

CH	Sample Name	CT
1	Negative	
2	Positive 노랑각시서대	23.78
3	maxwell 300um	
4	manual 300um	
5	20fish mixed gDNA (NC)	
6	X	

- Positive control에서 증폭, 노랑각시서대 시료가 없는 혼합시료에서 비 증폭 확인

Fig. 3.1.63. Species specific probe test for *Zebrias fasciatus* identification.



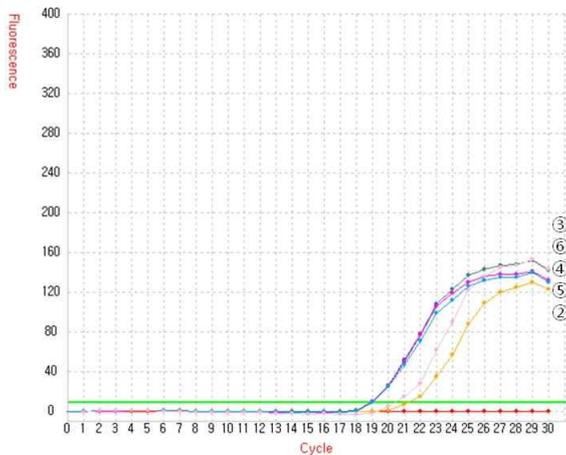
	Temperature (°C)	Hold time (Second)
Pre-denaturation	95	8
Denaturation	95	3
Annealing& Ext.	68	6
Cycles		30

CH	Sample name	CT
1	N.C	
2	F0907001_08(멸치)	20.14
3	5-16	
4	9-25	
5	10-26 (mixed egg:47)	18.00
6	11-28 (mixed egg:32)	18.53

- Positive control 및 CUFES 시료(10-26, 11-28)에서 멸치 증폭을 확인함. 이로 이어도 가거초 주변에 멸치 어란 출현을 분자동정으로 확인함.

Fig. 3.1.64. Species specific probe test for *Engraulis japonicus* identification.



	Temperature (°C)	Hold time (Second)
Pre-denaturation	95	8
Denaturation	95	3
Annealing& Ext.	68	6
Cycles		30

CH	Sample name	CT
1	Negative	>30
2	Positive(멸치)	21.25
3	500um-1	18.89
4	500um-2	18.90
5	500um-3	19.00
6	300um-1	20.40

- Positive control 및 통영 MRC의 네트(300um 망목 크기) 시료의 모든 500um 여과 시료에서 멸치 증폭을 확인함. 이로 통영 MRC 주변에 멸치 어란 출현의 가능성을 확인함.

Fig. 3.1.65. Species specific probe test for *Engraulis japonicus* identification.

### (3) 대량 혼합 어란의 출현정보 분석을 위한 NGS 기술 적용

Pyrosequencing 기술을 어란 종조성 분석에 적용하기 위하여 염기서열의 숫자에 대한 종수의 rarefaction curve를 분석한 결과 최소 필요 염기서열 숫자를 300개로 추정하였다(Fig. 3.1.66). 분석에 사용된 염기서열은 136,189개로 정점마다 약 300개에서 3,000개 정도의 염기서열을 얻었다. 염기서열 숫자 약300개 정도부터 종수가 늘어나지 않았다. A와 B는 곡선이 점근선에 가까워지지 않고 증가하는 것을 볼 수 있다. 극우점하는 종이 있어 종 다양성이 낮은 경우 곡선이 점근선에 가까워지지 않고 증가 하는 경우가 있다. pyrosequencing을 이용하여 어란의 종조성을 분석하기 위해서는 적어도 정점당 300개 이상의 염기서열을 얻도록 실험조건을 정해야한다.

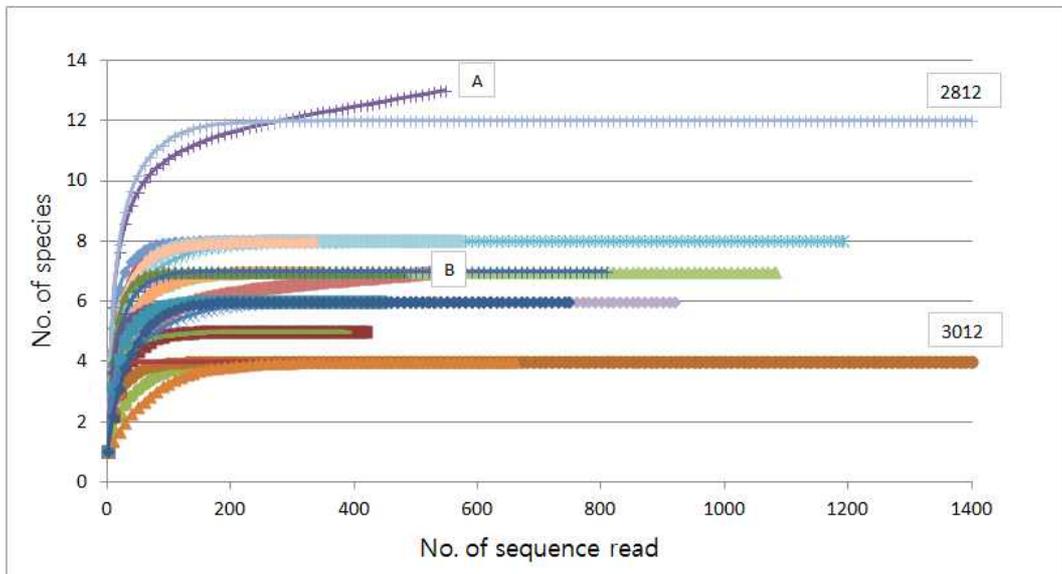


Fig. 3.1.66. Rarefaction curve on species number per one sample to number of sequence read obtained from NGS. Most curves except for A and B were saturated when the effective number of sequence read was about 300.

혼합 어란의 분석 개체수(100개)가 전체 출현종이 나오기에 충분한지 파악하기 위하여 표본수(어란개체수)에 대한 출현종수의 rarefaction curve를 분석하였다. 어란 100개를 분석하면 전체 출현종수의 약 83%를 분석할 수 있었다. curve 분석결과 출현종수의 90% 이상 분석하기 위해 필요한 표본수가 300개임을 추정하였다(Fig. 3.1.67).

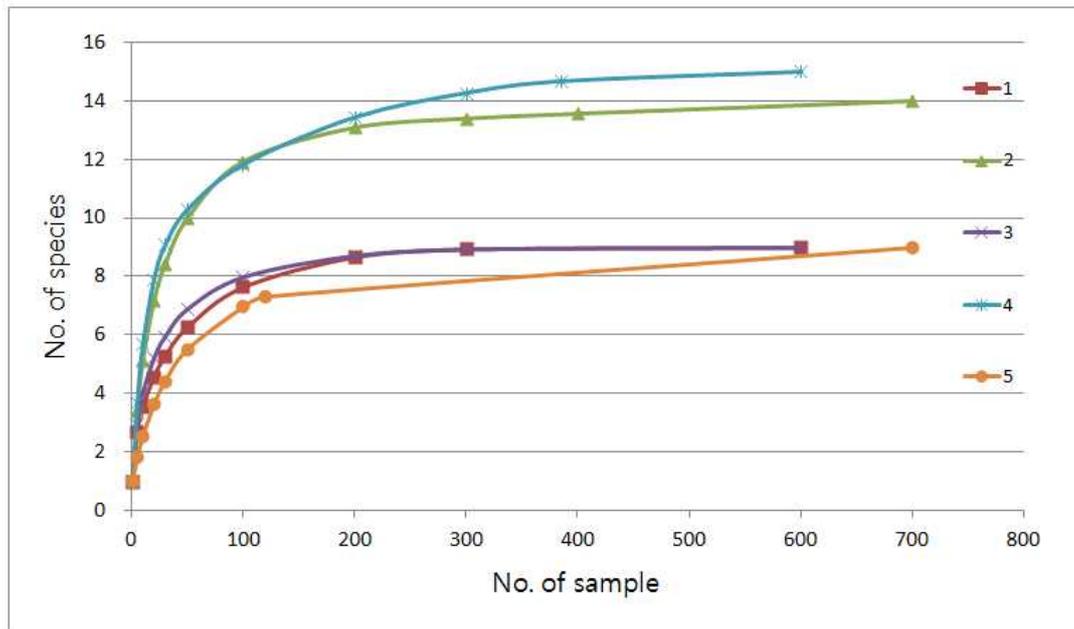


Fig. 3.1.67. Rarefaction curve on number of species to number of sample of fish eggs.

이미 알려진 종조성의 어란과 함께 혼합 어란의 종조성을 NGS를 적용하여 분석한 결과 소량의 어란도 탐지할 수 있었다(Table 3.1.18). 개서대처럼 개체수가 한 개인 것을 탐지하였다. NGS는 PCR하면서 염기서열을 읽기 때문에 종별 증폭률 차이로 NGS로 얻어진 염기서열 숫자의 백분율을 정확하게 개체수로 직접 환산하기 어렵다. 따라서, NGS는 정량분석은 어렵지만 대량의 혼합 어란의 종동정이 가능하여 어류의 산란생태 정보를 분석하는데 좋은 기술이다.

Table 3.1.18. The comparison of known fish egg composition obtained from single specimens to unknown fish egg composition obtained from massive mixed fish egg specimens

Species name	Sanger method		NGS
	n=18(①)	n=175(②)	n=193(①+②)
Aploactinidae sp.	55.5	87.1	79.5
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치	5.6	7.9	11.7
	(n=1)	(n=13, 7.2%*)	(n=14, 7.3%*)
<i>Halichoeres tenuispinis</i> 놀래기		3.3	3.7
<i>Platycephalus</i> sp.    양태류	11.1	0.1	2.0
<i>Parajulis poecilepterus</i> 용치놀래기	22.2	0.2	1.5
<i>Seriola dumerili</i> 잿방어		1.2	1.1
<i>Cynoglossus robustus</i> 개서대	5.6		0.2
<i>Tarphops elegans</i> 쯤넙치		0.1	0.2
	100	100	100

n, no. of specimens: ① and \*, percent of no. of individuals: ② and ①+②, percent of no. of sequences

#### (4) 난자치어 표본 수집 및 종별 산란시기 조사

##### (가) 형태기반의 난자치어 출현정보를 이용한 산란시기 특성 분석

2008년과 2009년의 5월~8월에 가막만과 여자만 입구 주변해역에서 수집한 난자치어들을 형태형질을 이용하여 어란은 멸치 한 종, 자치어는 30종 이상 종을 동정하였다(Table 3.1.19.-21). 어란의 평균출현량은 2008년과 2009년 큰 차이가 없었으나 자치어의 평균출현량은 2008년보다 2009년이 훨씬 많았다. 이는 2009년에 1주 간격의 채집으로 부화한지 얼마 안 된 전기자어를 채집하여 자치어의 개체수가 증가했기 때문이다. 2008년에는 2주 간격으로 채집했기 때문에 전기자어보다 성장한 후기자어들이 더 많이 채집되었다. 시기별 난자치어의 우점종은 어란과 자치어 모두 멸치였다. 자치어는 2008년에 청보리멸(*Silago japonica*), 2009년에는 망둑류(Gobiidae spp.)가 그 다음으로 많았다. 전체 평균출현량의 1% 이상 차하는 종은 멸치, 망둑류, 민어과, 주둥치, 청보리멸, 돛양태류, 청베도라치, 서대류 등이었다. 자치어의 출현종수는 2008년에 20종, 2009년에 23종이었다. 출현종 가운데 멸치, 감성돔, 주둥치, 청베도라치 등을 포함한 14종은 두 시기 모두 출현하였고, 전어, 밴댕이 등 6종은 2008년에 미역치, 가라지 등 9종은 2009년에 각각 출현하였다.

Table 3.1.19. The species composition of fish eggs and larvae identified morphologically from sea area near Yeosu in May to August, 2008~2009 (unit: inds./1,000m<sup>3</sup>)

Species name	2008				2009				Total	(%)
	f	Average N	SE	(%)	f	Average N	SE	(%)		
<i>Engraulis japonicus</i>	7	99,566	43,570.6	58.4	14	108,768	29,959.3	60.8	208,334	59.6
Unidentified spp.	7	70,987	27,437.2	41.6	14	70,077	23,690.2	39.2	141,064	40.4
Total eggs	7	170,553	65,408.2	100.0	14	178,845	53,649.5	100.0	349,398	100.0
<i>Engraulis japonicus</i>	5	831	465.1	29.8	14	10,885	3,815.5	50.6	11,716	48.3
Gobiidae sp.	7	300	123.0	10.8	14	5,390	1,418.1	25.1	5,690	23.4
Sciaenidae sp.	4	94	57.1	3.4	8	1,884	941.8	8.8	1,978	8.1
<i>Leiognathus nuchalis</i>	4	84	43.0	3.0	7	1,430	628.3	6.7	1,514	6.2
<i>Sillago japonicus</i>	4	684	346.5	24.6	6	120	48.6	0.6	804	3.3
<i>Repomucenus</i> spp.	6	45	26.0	1.6	13	654	221.7	3.0	699	2.9
<i>Parablennius yatabei</i>	4	145	61.7	5.2	9	154	45.0	0.7	299	1.2
<i>Cynoglossus</i> sp.	4	49	27.0	1.8	8	210	124.5	1.0	259	1.1
<i>Omobranchus elegans</i>	6	130	60.7	4.7	5	12	4.6	0.1	142	0.6
Sparidae sp.					5	75	48.5	0.3	75	0.3
<i>Platycephalus indicus</i>	3	33	26.0	1.2	6	37	18.3	0.2	70	0.3
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	2	30	21.9	1.1	3	18	10.1	0.1	48	0.2
<i>Omobranchus loxozonas</i>	2	14	10.2	0.5					14	0.1
Blennidae sp.					2	13	11.8	0.1	13	0.1
Clupeidae sp.					1	9	8.8	-	9	-
<i>Sardinella zunasi</i>	2	8	6.3	0.3					8	-
<i>Hyporamphus sajori</i>	2	6	4.2	0.2	1	2	1.9	-	8	-
<i>Syngnathus schlegeli</i>	2	2	1.4	0.1	3	6	3.2	-	8	-
<i>Sebastes</i> sp.					3	8	5.0	-	8	-
Pleuronectidae sp.					2	6	4.3	-	6	-
Scorpaenidae sp.	2	3	1.8	0.1					3	-
<i>Limanda</i> sp.					1	3	3.1	-	3	-
<i>Takifugu</i> sp.	2	2	1.3	0.1					2	-
<i>Decapterus maruadsi</i>					1	2	2.3	-	2	-
<i>Lucigobius</i> sp.					1	2	1.9	-	2	-
<i>Takifugu niphobles</i>					1	2	1.7	-	2	-
<i>Hippocampus japonicus</i>	1	1	1.4	0.1					1	-
<i>Konosirus punctatus</i>	1	1	1.1	-					1	-
Pleuronectidae sp.	1	1	1.1	-					1	-
<i>Hypodytes rubripinnis</i>					1	1	1.4	-	1	-
Unidentified spp.	7	320	186	11.5	14	572	359.4	2.7	892	3.7
Total larvae	7	2,784	967.8	100.0	14	21,494	7,729.9	100.0	24,278	100

f, frequency of occurrence; SE, standard error

Table 3.1.20. The species composition of fish eggs and larvae collected in the study area on May to August, 2008 (inds./1,000m<sup>3</sup>)

Species name	20080515		20080530		20080613		20080630	
	N	SE	N	SE	N	SE	N	SE
<i>Engraulis japonicus</i>	15,932	15,183.2	4,150	2,341.9	1,479	889.1	73,248	15,200.9
Unidentified spp.	2,453	1,155.6	3,778	523.2	6,810	2,704.5	52,149	6,811.8
Total eggs	18,385	14,527.4	7,928	2,729.1	8,289	3,570.4	125,396	21,430.3
<i>Engraulis japonicus</i>			1	1.3			237	192.1
<i>Sillago japonicus</i>							117	89.0
Gobiidae sp.	5	3.1	20	7.6	7	4.7	120	45.8
<i>Parablennius yatabei</i>							19	12.6
<i>Omobranchus elegans</i>			49	31.5	30	16.7	115	100.6
Sciaenidae sp.							28	17.9
<i>Leiognathus nuchalis</i>							20	13.5
<i>Cynoglossus</i> sp.							21	7.7
<i>Repomucenus</i> spp.	3	3.3	4	2.1			49	49.0
<i>Platycephalus indicus</i>			1	1.3				
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>			14	7.8			38	33.4
<i>Omobranchus loxozonas</i>								
<i>Sardinella zunasi</i>								
<i>Hyporamphus sajori</i>	6	2.3	6	2.1				
Scorpaenidae sp.							2	2.0
<i>Syngnathus schlegeli</i>					2	1.5		
<i>Takifugu</i> sp.			2	1.5			2	2.0
<i>Hippocampus japonicus</i>								
<i>Konosirus punctatus</i>							2	2.0
Pleuronectidae sp.								
Unidentified spp.	6	2.9	17	6.6	21	14.1	348	207.8
Total larvae*	20	10.2	111	45.3	60	14.0	1,117	423.6

N, average number of specimen from 4 stations each time; SE, standard error.

Table 3.1.20. Continued

Species name	20080711		20080729		20080807		Total	%
	N	SE	N	SE	N	SE		
<i>Engraulis japonicus</i>	58,881	54,335.0	11,649	11,306.7	8,902	5,435.4	174,241	58.4
Unidentified spp.	14,595	4,932.5	32,070	24,123.2	12,373	4,813.8	124,227	41.6
Total eggs	73,476	53,818.0	43,720	22,465.8	21,274	4,991.5	298,468	100.0
<i>Engraulis japonicus</i>	841	530.4	323	189.0	53	18.2	1,454	29.8
<i>Sillago japonicus</i>	166	66.1	284	148.7	631	383.6	1,198	24.6
Gobiidae sp.	227	82.5	42	24.3	107	78.0	525	10.8
<i>Parablennius yatabei</i>	64	36.7	95	65.6	76	35.5	254	5.2
<i>Omobranchus elegans</i>	10	7.6	2	1.8	23	11.7	228	4.7
Sciaenidae sp.	106	84.1	15	14.8	16	9.6	165	3.4
<i>Leiognathus nuchalis</i>	70	65.0	51	27.5	6	3.6	147	3.0
<i>Cynoglossus</i> sp.	48	20.5	2	1.8	15	10.1	85	1.8
<i>Repomucenus</i> spp.	14	8.1	6	3.7	4	3.5	79	1.6
<i>Platycephalus indicus</i>	10	7.6	46	28.4			58	1.2
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>							52	1.1
<i>Omobranchus loxozonas</i>			18	12.7	8	7.5	25	0.5
<i>Sardinella zunasi</i>	2	2.0	11	11.3			13	0.3
<i>Hyporamphus sajori</i>							11	0.2
Scorpaenidae sp.	3	2.8					5	0.1
<i>Syngnathus schlegeli</i>			2	2.3			4	0.1
<i>Takifugu</i> sp.							4	0.1
<i>Hippocampus japonicus</i>					3	2.5	3	0.1
<i>Konosirus punctatus</i>							2	0.0
Pleuronectidae sp.	2	2.0					2	0.0
Unidentified spp.	110	72.6	36	27.1	22	22.0	560	11.5
Total larvae*	1,671	743.2	931	337.4	961	511.9	4,871	100.0

Table 3.1.21. The species composition of fish eggs and larvae collected in the study area on May to August, 2009 (inds./1,000 m<sup>3</sup>)

Species name	20090507		20090514		20090520		20090528		20090604		20090612	
	N	SE	N	SE	N	SE	N	SE	N	SE	N	SE
<i>Engraulis japonicus</i>	1,117	188.2	2,412	889.6	6,334	3,774.9	6,111	2,350.9	79,133	41,355.3	38,688	10,968.1
Unidentified spp.	3,145	2,853.5	1,559	529.8	1,742	358.1	5,494	2,172.7	7,602	1,901.9	7,442	975.6
Total eggs	4,262	2,697.5	3,971	605.1	8,076	3,938.2	11,605	2,359.5	86,735	41,305.2	46,129	10,723.9
<i>Engraulis japonicus</i>	13	7.7	204	173.5	554	161.9	2,459	1,314.5	7,683	2,229.4	11,837	1,079.6
Gobiidae spp.	46	25.4	173	108.7	1,305	710.1	3,133	2,792.8	1,302	866.3	2,513	1,814.2
Sciaenidae spp.							61	61.4	296	258.4	2,661	2,248.0
<i>Leiognathus nuchalis</i>												
<i>Repomucenus</i> sp.	27	27.3	76	21.2	97	43.4	258	196.3	197	44.3	817	511.0
<i>Cynoglossus</i> spp.			5	4.8			18	17.5			21	21.0
<i>Parablennius yatabei</i>							104	83.8	9	6.3	44	44.4
<i>Sillago jaonicus</i>												
Sparidae sp.			5	4.8	14	13.9	164	115.8	66	66.0	13	12.7
<i>Platycephalus indicus</i>							24	24.0	63	47.2		
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>									13	13.2		
Blennidae sp.												
<i>Omobranchus elegans</i>												
Clupeidae sp.												
<i>Sebastes</i> sp.	6	5.9	16	5.5			7	6.9				
Pleuronectidae sp.					7	7.2	14	13.7				
<i>Syngnathus schlegeli</i>							9	8.8			6	6.3
<i>Limanda</i> sp.			11	10.8								
<i>Decapterus maruadsi</i>												
<i>Lucigobius</i> sp.	7	6.8										
<i>Hyporamphus sajori</i>	7	6.6										
<i>Takifugu niphobles</i>												
<i>Hypodytes rubripinnis</i>												
Unidentified spp.	27	15.5	43	42.9	14	8.4	24	24.0	17	17.2	1,294	1,101.3
Total larvae	133	43.4	532	338.5	1,992	596.2	6,274	4,488.7	9,646	2,723.7	19,206	3,620.4

N, average number of specimen from 4 stations each time; SE, standard error.

Table 3.1.21. Continued

Species name	20090618		20090625		20090702		20090709		20090716		20090724	
	N	SE										
<i>Engraulis japonicus</i>	64,718	46,228.8	33,761	22,456.2	3,858	2,107.7	9,019	3,828.3	40,040	27,978.4	73,651	51,917.3
Unidentified spp.	12,318	2,167.6	75,791	65,087.5	17,017	11,745.0	20,217	10,606.8	54,789	41,626.7	32,333	8,118.6
Total eggs	77,036	46,152.3	109,553	57,715.4	20,875	10,902.0	29,236	7,728.1	94,829	36,467.3	105,984	52,085.2
<i>Engraulis japonicus</i>	2,020	860.6	2,110	959.1	214	83.5	1,669	349.2	6,814	4,413.0	2,668	472.9
Gobiidae spp.	89	83.0	2,838	2,378.3	69	33.5	5,206	2,800.2	1,549	836.8	1,731	556.1
Sciaenidae spp.	47	26.5	1,190	627.6	0	0.0	56	38.2	2,139	1,258.4	157	51.0
<i>Leiognathus nuchalis</i>	271	271.2	1,535	1,345.0	30	22.8	627	375.7	1,405	1,320.3	1,286	723.4
<i>Repomucenus</i> sp.	59	45.0	172	58.3	45	26.9	175	42.0	282	137.1	113	33.3
<i>Cynoglossus</i> spp.			262	232.0			35	22.6	380	223.2	15	15.1
<i>Parablennius yatabei</i>	111	74.9	84	32.3			86	45.5	29	17.7	81	68.2
<i>Sillago jaonicus</i>			43	42.5	32	18.9	101	88.1	99	57.3	143	120.3
Sparidae sp.												
<i>Platycephalus indicus</i>			11	10.6					13	7.7	11	11.1
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	30	29.7					26	14.9				
Blennidae sp.			4	4.5			55	55.3				
<i>Omobranchus elegans</i>			9	9.0			9	9.2	7	7.3	12	11.8
Clupeidae sp.												
<i>Sebastes</i> sp.												
Pleuronectidae sp.												
<i>Syngnathus schlegeli</i>			6	5.7								
<i>Limanda</i> sp.												
<i>Decapterus maruadsi</i>												
<i>Lucigobius</i> sp.												
<i>Hyporamphus sajori</i>												
<i>Takifugu niphobles</i>					6	5.9						
<i>Hypodytes rubripinnis</i>							6	6.5				
Unidentified spp.	69	51.2	44	26.7	7	6.7	155	154.8	67	49.3	225	201.6
Total larvae	2,694	1,269.4	8,307	3,246.3	403	109.8	6,155	3,598.0	12,784	4,019.5	6,442	1,978.5

Table 3.1.21. Continued

Species name	20090731		20090805		Total	%
	N	SE	N	SE		
<i>Engraulis japonicus</i>	14,420	12,361.9	9,683	9,143.9	382,943	60.5
Unidentified spp.	5,749	2,049.2	5,124	1,538.7	250,323	39.5
Total eggs	20,169	13,395.6	14,807	8,173.1	633,266	100.0
<i>Engraulis japonicus</i>	216	148.7	54	45.6	38,513	49.8
Gobiidae spp.	50	32.6	163	118.4	20,166	26.1
Sciaenidae spp.					6,607	8.5
<i>Leiognathus nucahlis</i>			8	7.9	5,161	6.7
<i>Repomucenus</i> sp.			13	7.7	2,332	3.0
<i>Cynoglossus</i> spp.			7	7.1	743	1.0
<i>Parablennius yatabei</i>			13	13.3	561	0.7
<i>Sillago jaonicus</i>			27	10.2	445	0.6
Sparidae sp.					261	0.3
<i>Platycephalus indicus</i>	8	7.5			129	0.2
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>					69	0.1
Blennidae sp.					60	0.1
<i>Omobranchus elegans</i>			7	6.7	44	0.1
Clupeidae sp.			31	30.8	31	-
<i>Sebastes</i> sp.					29	-
Pleuronectidae sp.					21	-
<i>Syngnathus schlegeli</i>					21	-
<i>Limanda</i> sp.					11	-
<i>Decapterus maruadsi</i>			8	7.9	8	-
<i>Lucigobius</i> sp.					7	-
<i>Hyporamphus sajori</i>					7	-
<i>Takifugu niphobles</i>					6	-
<i>Hypodytes rubripinnis</i>					6	-
Unidentified spp.	27	15.9	28	16.0	2,041	2.6
Total larvae	301	187.1	359	106.8	77,279	100.0

조사해역에서 2008년은 2주 간격으로, 2009년은 1주 간격으로 수집된 난자치어의 주 출현 시기는 6월과 7월이었다(Fig. 3.1.68-69). 2008년에 어란은 6월 30일, 자치어는 7월11일에 출현량이 가장 많았고, 자치어의 출현종수는 6월 30일~7월 30일에 13종으로 가장 많았다. 2009년에 어란은 6월 25일에, 자치어는 6월 12일에 출현량이 가장 많았다. 자치어의 출현종수는 6월25일과 7월 9일에 12종으로 가장 많았다.

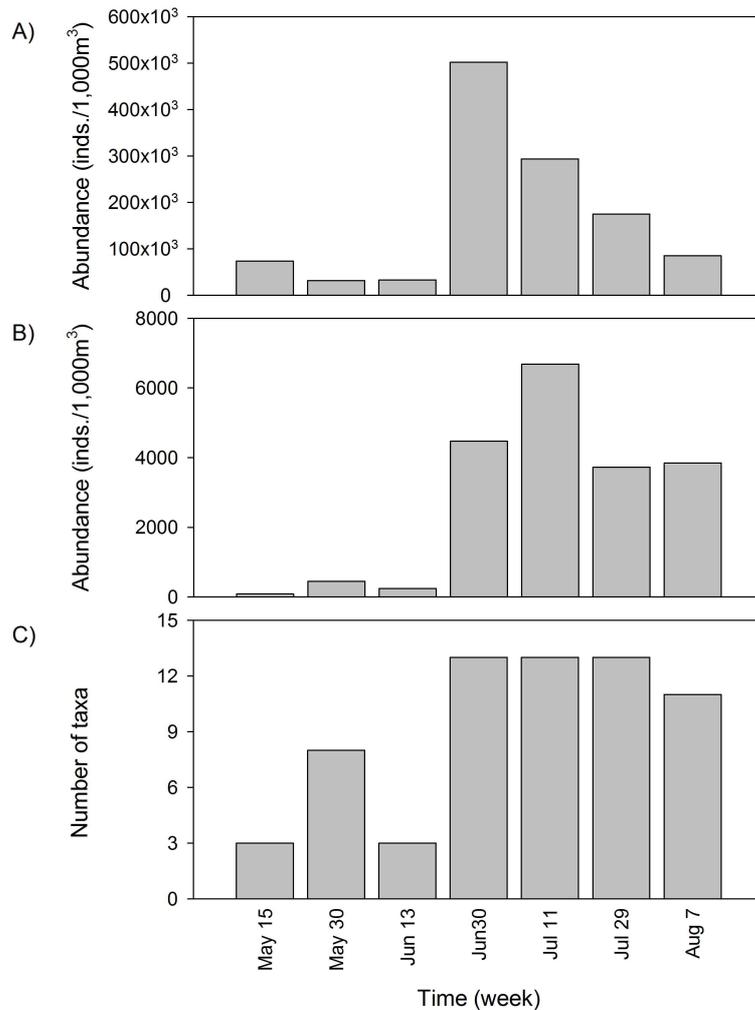


Fig. 3.1.68. Weekly variation of abundances in fish eggs (A), larvae (B), and number of larval taxa (C) in the study area on May to August, 2008.

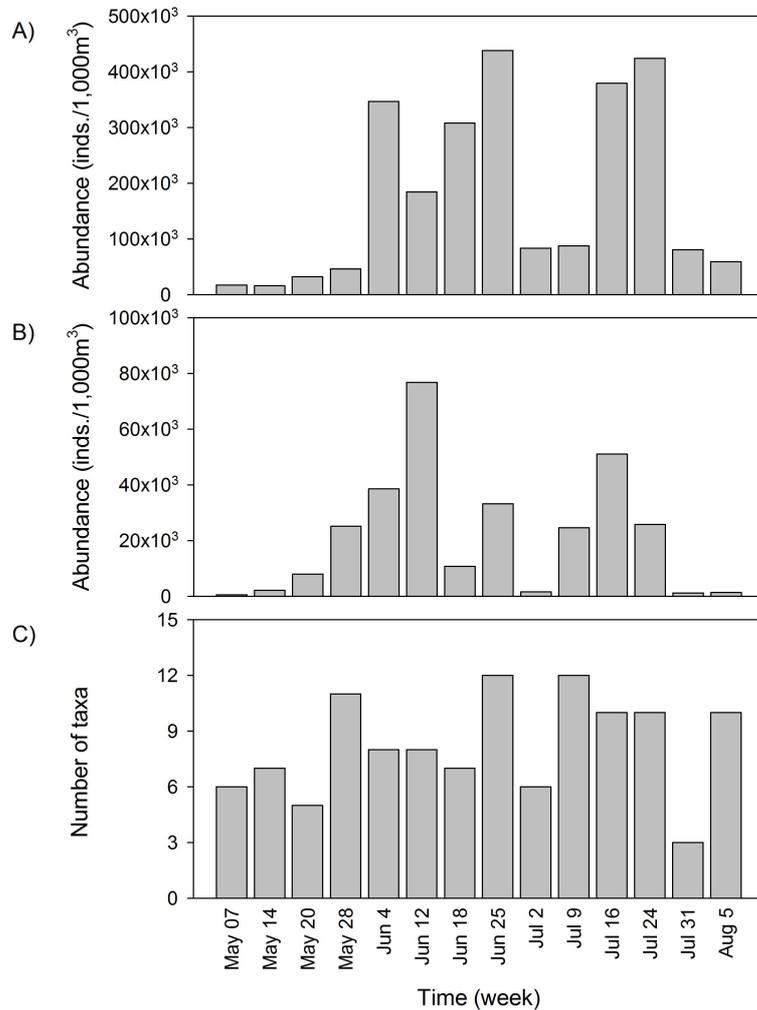


Fig. 3.1.69. Weekly variation of total abundances in fish eggs (A), larvae (B), and number of larval taxa (C) in the study area on May to August, 2009.

자치어의 출현정보를 기반으로 2008-2009년 가막만과 여자만 입구 주변해역 자치어 주요 종의 산란시기를 추정하였다(Fig. 3.1.70-71). 멸치는 형태형질로 어란이 구분되기 때문에 난자치어의 출현정보를 토대로 분석하였다. 멸치는 난과 자치어 모두 조사 기간 동안 두 번의 산란피크를 보였으나 그 크기는 차이가 있었다. 피크의 간격은 약 한달 열흘 정도의 기간으로 비슷하였다. 난자치어의 출현정보로 멸치는 해마다 5월에서 8월 사이 2번 산란하는 패턴을 보이나 산란시기는 해마다 차이가 있음을 추정할 수 있다. 멸치를 제외한 주요 10종의 출현정보를 토대로 한 산란시기는 6월과 7월이었다. 2008년에는 산란피크가 주로 한번이었고, 2009년에는 두 번 이상이었다. 망둑류(Gobiidae spp.), 서대류(*Cynoglossus* spp.)등 종 수준까지 동정되지 못한 분류군의 경우 여러 종이 섞여 있어 뚜렷한 산란패턴을 파악할 수 없다. 어류의 산란패턴을 분석하기 위해서는 2주 간격(2008년)보다 1주 간격(2009년)으로 채집하는 것이 좋고, 자치어의 종수준으로의 정확한 종동정이 이루어져야 한다(Fig. 3.1.71).

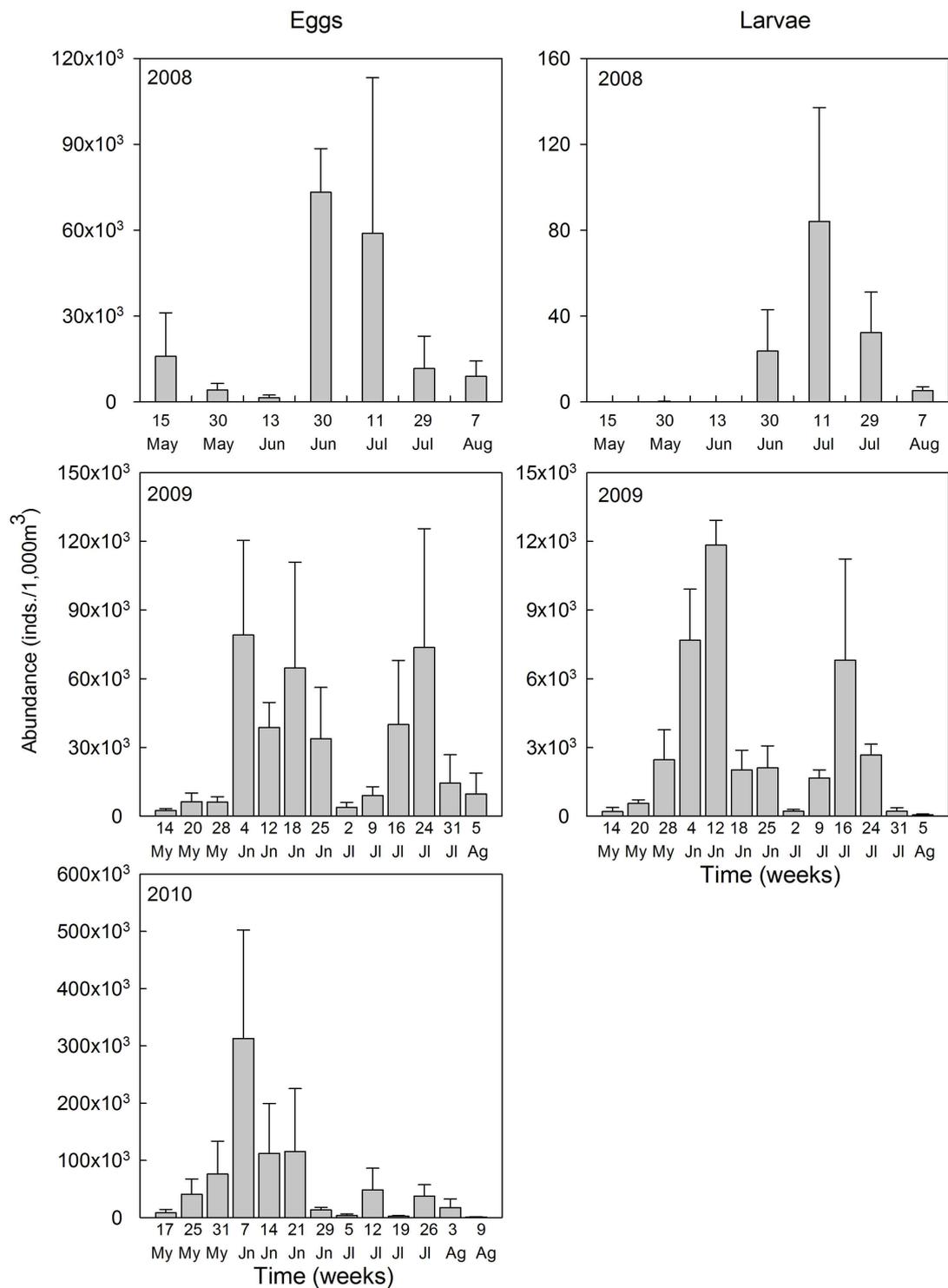


Fig. 3.1.70. Seasonal variation of anchovy eggs and larvae occurred in the study area on May to August, 2008~2009 (eggs were collected in 2008~2010). My, May; Jn, June; Jl, July; Ag, August.

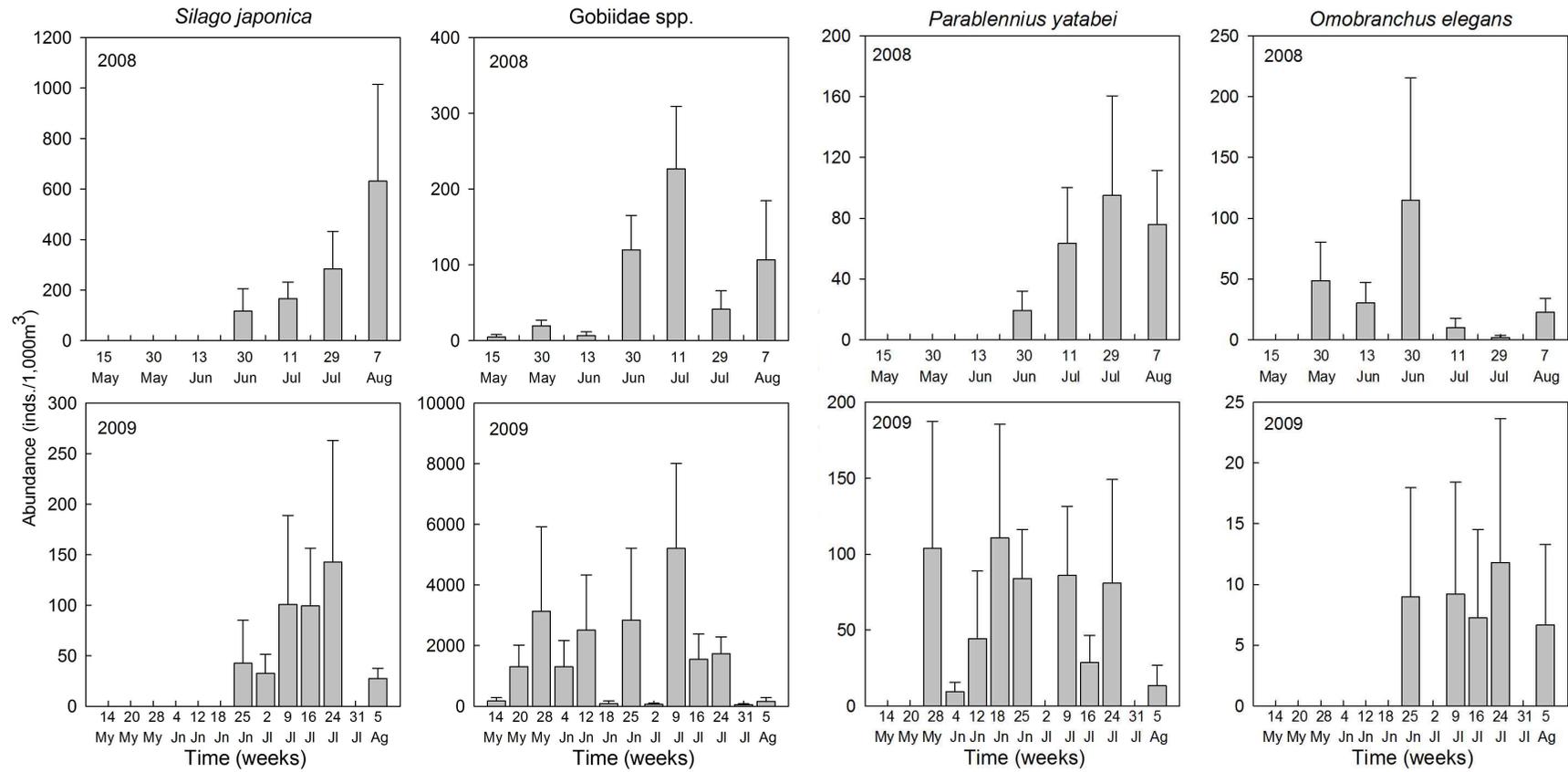


Fig. 3.1.71. Seasonal variation of major fish eggs occurred in the study area on May to August, 2008~2009. My, May; Jn, June; Jl, July; Ag, August.

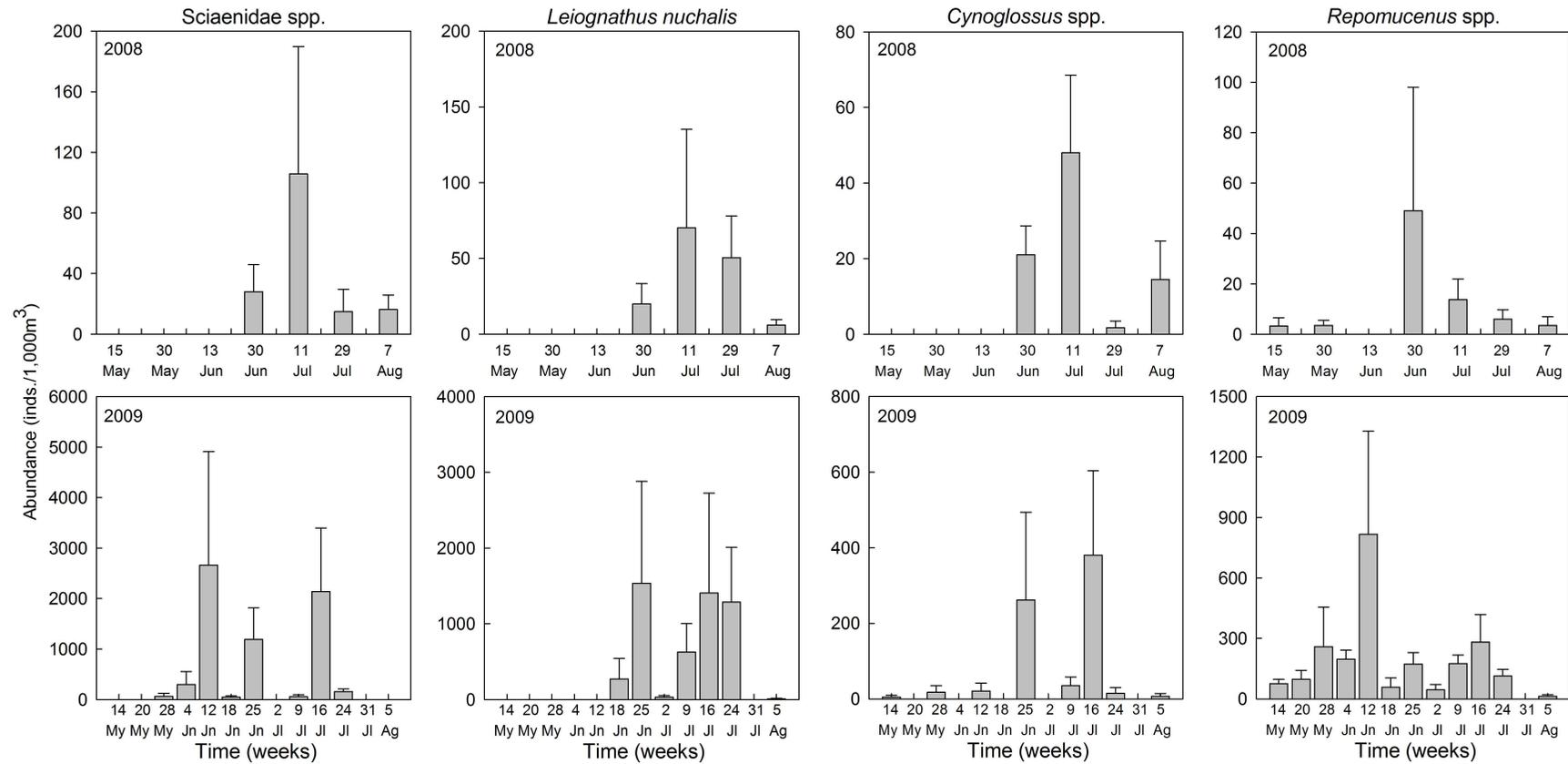


Fig. 3.1.71. Continued.

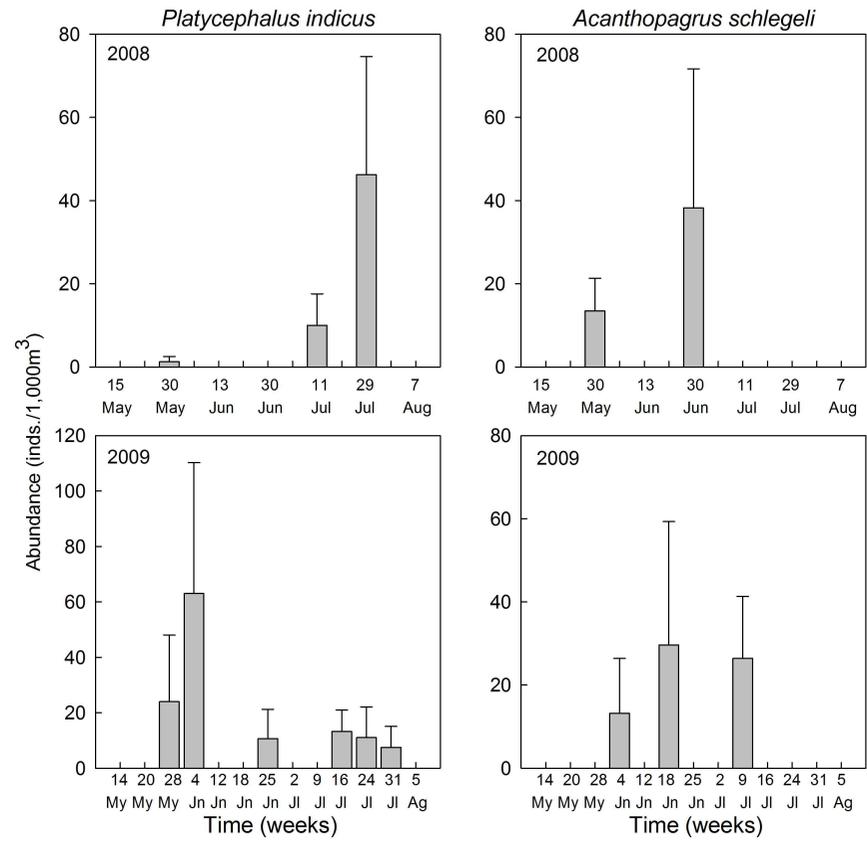


Fig. 3.1.71. Continued.

(나) NGS를 통하여 얻은 어란의 출현정보를 이용한 어류의 산란시기 분석

2008년에 수집된 어란을 pyrosequencing 기반으로 종동정하여 멸치를 제외한 기타 어란들의 산란시기를 파악할 수 있었다(Fig. 3.1.72). 동정된 분류군은 주둥치, 민태, 보구치 등 19개였다. pyrosequencing으로도 종 수준까지 동정되지 못한 분류군들은 성체의 유전자 정보에 기반을 둔 DB 자료의 부족 때문이었다. 기타 어란은 6월 30일과 7월 29일에 출현량이 많았고 이 때 주로 주둥치가 출현하였고, 이 시기가 주둥치의 주 산란시기임을 추정할 수 있었다.

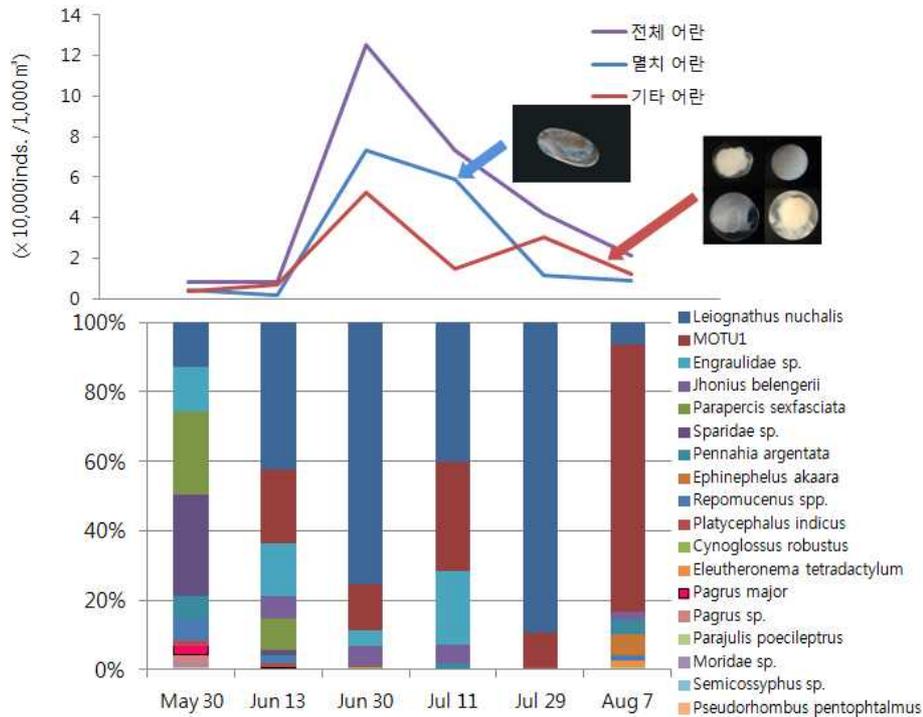


Fig. 3.1.72. Fish egg composition by a morphology-based identification (up), and a pyrosequencing-based identification (down) during May to August in 2008 from sea area near Yeosu.

2008년 5월~8월에 산란하는 어종들은 가막만과 여자만 입구 주변 해역을 시간차를 두고 사용하였다(Table 3.1.22). 어란의 출현 종 수를 기준으로 산란에 참여한 어류는 시기별로 5 - 20종 이었다. 멸치와 주둥치 2종은 5월부터 8월까지 조사기간 모두 출현하였다. 다음으로 출현기간이 길었던 종 중에서 멸치과와 양태류 어란은 5월에서 7월, MOTU1과 민태 어란은 6월에서 8월까지 출현하였다. 보구치의 경우 5월을 제외하고 매월 초중순에만 출현하였다. 나머지 종들은 출현시기가 한 번 또는 두 번으로 그 기간이 짧았다.

Table 3.1.22. The occurrence duration of fish eggs identified by pyrosequencing and collected from sea area near Yeosu in 2008

Species name	f	May 30	Jun. 13	Jun. 30	Jul. 11	Jul. 29	Aug. 07
<i>Engraulis japonicus</i> *	멸치*	6	o	o	o	o	o
<i>Leiognathus nuchalis</i>	주둥치	6	o	o	o	o	o
Engraulidae sp.	멸치과	4	o	o	o		
<i>Platycephalus</i> sp.	양태류	4	o	o	o	o	
Sparidae sp.	청돔과	3	o	o	o		
<i>Pennahia argentata</i>	보구치	4	o	o	o		o
<i>Repomucenus</i> spp.	돛양태류	3	o	o			o
<i>Pagrus major</i>	참돔	2	o	o			
<i>Parapercis sexfasciata</i>	쌍동가리	2	o	o			
<i>Pagrus</i> sp.	참돔류	1	o				
Moridae sp.	돌대구과	1	o				
<i>Pseudorhombus pentophtalmus</i>	점넙치	1	o				
MOTU 1		5		o	o	o	o
<i>Jhonijs belengerii</i>	민태	4		o	o	o	o
<i>Semicossyphus</i> sp.	흑돔류	1		o			
<i>Parajulis poecilepterus</i>	용치놀래기	1					o
<i>Cynoglossus robustus</i>	개서대	1			o		
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대	2				o	o
<i>Ephinephelus akaara</i>	붉바리	2			o		o
<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	네날가지	1					o
Numbers of taxa		20	12	12	8	7	5

\*, morphological identification

2008년 5월~8월에 비슷한 시기에 산란하는 어종은 종에 따라서 산란장을 넓거나 좁게 사용한다(Table 3.1.23). 가막만과 여자만 입구 주변해역에서 출현한 어란은 정점별로 9종~15종이었다. 주둥치, MOTU1, 민태 등 7종은 조사 해역 전체를 산란장으로 사용하였다. 붉바리 등은 정점1과 정점2(가막만 입구)에서만, 참돔, 용치놀래기 등 5종은 한 곳에서만 산란하였다.

2008년 가막만과 여자만 입구 주변 해역에서 출현한 난자치어의 출현종 목록은 많은 차이가 있었다(Table 3.1.24). 각각의 출현 종수는 어란 19종, 자치어 21종 이상이었다. 어란과 자치어 모두 출현한 종은 멸치, 주둥치, 돛양태류 3종 뿐이었다. 어란의 경우 부유성 어란을 대상으로 분석했기 때문에 망둑류, 베도라치류, 볼락류처럼 부유성 난을 낳지 않는 것들의 출현 여부는 알 수 없었다. 또한 민어류(Sciaenidae spp.), 참서대류(*Cynoglossus* spp.) 등의 자치어를 종 수준까지 동정하지 못했기 때문에 어란과 자치어의 출현종에 차이가 있었다.

Table 3.1.23. The check list of fish eggs identified by pyrosequencing and collected from sea area near Yeosu in 2008

Species name		St.1	St.2	St.3	St.4
<i>Leiognathus nuchalis</i>	주동치	○	○	○	○
MOTU1		○	○	○	○
<i>Jhonijs belengerii</i>	민태	○	○	○	○
Sparidae sp.	청돔과	○	○	○	○
<i>Repomucenus</i> spp.	돛양태류	○	○	○	○
<i>Pennahia argentata</i>	보구치	○	○	○	○
<i>Cynoglossus robustus</i>	개서대	○	○	○	○
<i>Parapercis sexfasciata</i>	쌍동가리	○	○	○	
<i>Platycephalus</i> sp.	양태류	○	○		○
<i>Ephinephelus akaara</i>	불바리	○	○		
<i>Semicossyphus</i> sp.	흑돔류	○	○		
Moridae sp.	돌대구과	○	○		
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대	○	○		
<i>Pagrus major</i>	참돔	○			
<i>Parajulis poecileprus</i>	용치놀래기	○			
Engraulidae sp.	멸치과		○		○
<i>Pseudorhombus pentoptalmus</i>	점넘치		○		
<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	네날가지			○	
<i>Pagrus</i> sp.	참돔류			○	
		15	15	10	9

Table 3.1.24. The check list of fish eggs and larvae distributed through sea area near Yeosu in May to August, 2008

Species name	Eggs	Larvae
<i>Cynoglossus robustus</i>	○	
<i>Eleutheronema tetradactylum</i>	○	
Engraulidae sp.	○	
<i>Engraulis japonicus</i>	○	○
<i>Ephinephelus akaara</i>	○	
<i>Jhonius belengerii</i>	○	
<i>Leiognathus nuchalis</i>	○	○
Moridae sp.	○	
MOTU1	○	
<i>Pagrus major</i>	○	
<i>Pagrus</i> sp.	○	
<i>Parajulis poecilepterus</i>	○	
<i>Parapercis sexfasciata</i>	○	
<i>Pennahia argentata</i>	○	
<i>Platycephalus</i> sp.	○	
<i>Pseudorhombus pentophtalmus</i>	○	
<i>Repomucenus</i> sp.	○	○
<i>Semicossyphus</i> sp.	○	
Sparidae sp.	○	
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>		○
<i>Cynoglossus</i> sp.		○
Gobiidae sp.*		○
<i>Hippocampus japonicus</i> *		○
<i>Hyporamphus sajori</i>		○
<i>Konosirus punctatus</i>		○
<i>Omobranchus elegans</i>		○
<i>Omobranchus loxozonas</i>		○
<i>Omobranchus</i> sp.		○
<i>Parablennius yatabei</i>		○
<i>Platycephalus indicus</i>		○
Pleuronectidae sp.		○
<i>Sardinella zunasi</i>		○
Sciaenidae sp.		○
Scorpaenidae sp.		○
<i>Sillago</i> sp.		○
<i>Syngnathus schlegeli</i>		○
<i>Takifugu</i> sp.		○
Others		○
No. of taxa	19	21+

### (5) DNA를 이용한 단일 어란과 자치어의 종동정

단일 어란에서 DNA를 추출하고 mtDNA 유전자를 증폭하기 위해 여러 방법들을 적용하여 분석하였다. REDExtract-N-Amp™ Tissue PCR Kit를 이용하여 2008년 6월 30일에 수집한 단일 어란의 유전자를 증폭한 결과 16SrDNA는 7개체 모두 증폭되었고, COI은 B, D, E2 등 3개만 증폭되었다(Fig. 3.1.73). COI은 16SrDNA보다 종동정의 해상력이 높아 어류 종동정에 많이 사용된다. 그러나 어란과 같이 소량의 DNA에서 증폭할 때는 universal primer 부분의 변이가 16SrDNA의 것보다 크기 때문에 증폭 성공률이 떨어진다. COI 유전자의 증폭률을 높이기 위해서는 specific primer를 제작하거나 DNA의 회수율을 높여야 한다. DNA의 회수율을 높이기 위하여 chelex를 사용하여 DNA를 추출하고, COI 유전자를 증폭하였다. Chelex가 수용액이 되면 어란의 대부분을 구성하고 있는 난막의 지질과 난황의 단백질 등의 극성물질과 착화합물을 만들어 침전하는 성질을 이용하여 한 것이다. Chelex는 컬럼을 이용하여 DNA를 추출하는 방법보다 DNA의 손실을 최소화 하면서 DNA만 분리해 낼 수 있는 장점이 있다. 유전자 증폭에 사용한 DNA의 양에 따른 COI 유전자의 증폭성공률은 DNA를 희석하여 사용한 것보다 원액 그대로(1 $\mu$ l) 사용한 것이 성공률이 높았다(Fig. 3.1.74). Aranishi (2006)의 연구결과를 보면 chelex를 이용하여 추출한 단일 어란의 DNA를 희석하여 사용했을 때 유전자가 증폭되었다. 이러한 차이는 본 연구에서 알콜 고정 표본을 사용한 것과 달리 냉동 표본의 어란을 사용했고, 다른 유전자(Cytb)를 분석했기 때문이라 생각한다. 따라서 chelex를 사용하여 DNA를 추출하는 방법은 단일 어란에서 COI 유전자를 추출하고 증폭하기에 적절한 방법이다.

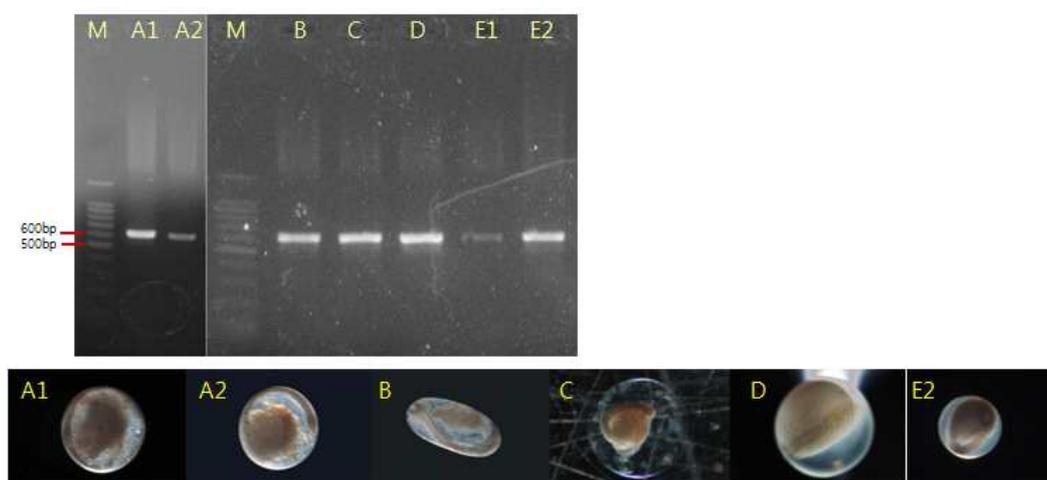


Fig. 3.1.73. Photos of gel electrophoresis of 16SrDNA PCR products obtained from the single egg specimens collected in June, 2008. A1, *Engraulidae* sp. 1; A2, *Engraulidae* sp. 2; B\*, *Engraulis japonicus*; C, *Sardinella zunasi*; D\*, *Inimicus* sp.; E2\*, *Acanthopagrus schlegeli*.

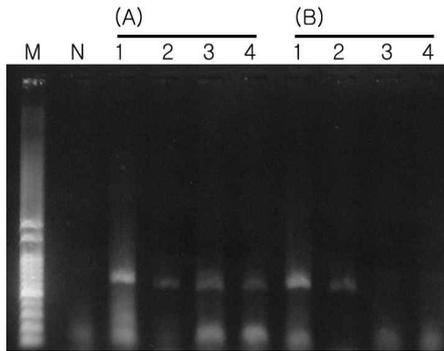


Fig. 3.1.74. COI PCR products of *Repomucenus* eggs (A1-B4) whose DNAs were extracted using Chelex. M, 100 bp DNA ladder; N, control DNA; A1-A4, use of 1 µl DNA as template for amplification; B1-B4, use of 1µl DNA diluted to 1/10 as a template DNA for amplification.

DNA를 이용하여 분석된 난자치어는 어란 6종, 자치어 3종이었다. 16SrDNA의 염기서열은 약 560bp로 멸치과(Engraulidae sp.) 2종, 멸치(*Engraulis japonicus*), 밴댕이(*Sardinella zunasi*), 쭈기미류(*Inimicus* sp.), 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*) 등 6종이 분석되었다. 이 중 멸치, 쭈기미류, 감성돔은 COI 유전자도 분석되었다. 추가적으로 chelex를 이용하여 DNA를 추출한 어란의 COI 염기서열을 분석하여 참돛양태(*Repomucenus koreanus*)로 동정하였다. 자치어는 모두 COI 유전자를 분석하였다. 청베도라치(*Parablennius yatabei*) 4개체, 앞동갈베도라치(*Omobranchus elegans*) 1개체, 복섬(*Takifugu niphobles*) 1개체 등이었다. 이들의 염기서열은 아래와 같다.

>어란 A1, 멸치과 (Engraulidae sp.), 16S gene

```
AGGTCCCACCTGCCCTGTGACTAATAGTTTAAACGGCCGCGGTATCCTAACCGTGCGAAGGTA
GCGCAATCAATTGCCTTTTAAATGAAGGCCTGTATGAATGGTATAACGAGGGTTTGACTGTC
TCTTTTTTCTAGTCAGTTAACTGATCTGTCCGTGCAGAAGCGGACATAATAATACAAGACG
AGAAGACCCTATGGAGCTTTAGATATTAACCAATTATAATAAGCGGCTTAACTTAATCGA
GTCCTAACACCCGTAAAACCTGGCATAAAAATCTTAGGTTGGGGCGACCACGGGAGAAAACA
AAGCTCCCGAGCAGAAAGGGATAAACCTGAAACCAAGAGTTACAACCTAAGTCACAAAAT
TTTTGACTGAAATGATCCGGCCCATAGCCGATTAACGAACCAAGTTACCCTAGGGATAACA
GCGCAATCCCCTCCCAGAGTCCTTATCGACAAGGGGGTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGG
ACATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGG
```

>어란 A2, 멸치과 (Engraulidae sp.), 16S gene

```
AGGTCCCACCTGCCCTGTGACCAAAAAGTTTAAACGGCCGCGGTATCCTAACCGTGCGAAGGT
AGCGCAATCAATTGCCTTTTAAATGAAGGCCTGTATGAATGGTATAACGAGGGTTTGACTGT
CTCTTTTTTCCAGTCAGTGAACTGATCTGTCCGTGCAGAAGCGGACATAACCCTACAAGAC
GAGAAGACCCTATGGAGCTTTAGACACCAACCAACCATGAGAAGCAATTCAAGCCAACATG
CCCCAAACCCCATGGAACCTGGAATAATAGTCTTAGGTTGGGGCGACCACGGGAGAAAGAA
AAGCTCCCGAGCAGATCAGGGCTACCCTGAAACTAAGAGTTACAACCTAAGTCACAAAAA
TTTTGACTGAAATGATCCGGTCACAACCGATCAACGGAACAAGTTACCCTAGGGATAACAG
CGCAATCCCCTCCCAGAGTCCATATCGACAAGGGGGTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGGA
CATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGGTTCGT
```

>어란 B, 멸치(*Engraulis japonicus*), 16S gene

CGCCTCTTGCATTCCAAAGTATAAGAGGTCCCACCTGCCCTGTGACTCTAAGTTAACGGCC  
GCGGTATTCTAACCGTGCGAAGGTAGCGCAATCAATTGCCTTTTAAATGAAGGCCTGTATGA  
ATGGTATAACGAGGGTCTAGCTGTCTCTTTTTTCTAGTCAGTTAAACTGATCTGTCCGTGCA  
GAAGCGGACATTAATATAACAAGACGAGAAGACCCTATGGAGCTTTAGACACTAGCCAACTG  
TGAATAAGCGACTGAACTGAGCGAGTCCTAAATACCCGCAGCCTTATGGTAATGTAGTCTT  
AGGTTGGGGCGACCACGGGAGAAAGTAAAGCTCCCAAGCAGACCGGGAAAACCCTTAAGCC  
GAGAGTTGCAACTCTAAGCCGCAAAATTTTTGACTGAAATGATCCGGTTGAAAAACCGATT  
AACGAACCAAGTTACCCTAGGGATAACAGCGCAATCCTCTCCCAGAGTCCCTATCGACGAG  
GGGTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGGACATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGGTTC  
GTTTGTTC AACGATTAAAGTCCTACGTGATCTGAGT

>어란 C, 밴댕이(*Sardinella zunasi*), 16S gene

CGCCTCTGCCCTAATTATATAGGAGGTCCCGCCTGCCCTGTGACCAAAGTTAACGGCC  
GCGGTATCATAACCGTGCAAAGGTAGCGCAATCAATTGTCTTTTAAATGGGGACCTGTATGA  
ATGGCATAACGAGGGTCTAGCTGTCTCTTTTTTCTGGTCAATGAAACTGATCTGCCCCTGCA  
GAAGCGGGCATGCTAACACAAGACGAGAAGACCCTATGGAGCTTTAGACGCCACCAACCG  
CGAGCAGCGCTCCCCTTAACGGGGGCCAAACAACGCGGCCCTGGTATAAACGTCTTAGGT  
TGGGGCGACCGCAGGGGAGAACAAAGCCCCTGAGAGGGTTGGGAACGGCCCTAAAACCTGAG  
AGCTACAGCTCCAAGTCGAAAACGTTTGACCGATAATGATCCGGCTTACTGCCGATCAAC  
GGACCAAGTTACCCTAGGGATAACAGCGCAATCCTCTCCCAGAGCCCATATCGACGAGGGG  
GTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGGACATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGGTTCGTT  
TGTTCAACGATTAAAGTCCTACGTGATCTGA

>어란 D, 쭈기미류(*Inimicus* sp.), 16S gene

CGCCTCTTGTAAACTATAAAATAAGAGGTCCCGCCTGCCCTGTGACATTAGTTAACGGCCG  
CGGTATTTTGACCGTGCGAAGGTAGCGCAATCACTTGTCTATTAATGTAGACCTGTATGAA  
TGGCAAGACGAGGGCTTAAGTGTCTCCTTTCTCAAGTCAATGAAATTGATCTCCCCGTGCAG  
AAGCGGGGATCTAACATAAGACGAGAAGACCCTATGGAGCTTTAGATGACAGAATAGCCC  
ATGTTAAAATCCCCTAAATAAAGGCCTGAACATAGTGGACCCTATCCTTATATCTTTGGTTG  
GGGCGACCGCGGAGAAATAAATAACCTCCACGTGGAATAGTAACACAGTTATTTACCCAA  
GAGCTGCAGCTCTAGTTAACAGAATTTCTGACCATAAGATCCGGCAACGCCGATCAACGGA  
CCGAGTTACCCTAGGGATAACAGCGCAATCCCCTTTTAGAGCCCATATCGACAAGGGGGTTT  
ACGACCTCGATGTTGGATCAGGACATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGGTTCGTTTGT  
CAACGATTAAAGTCCTACGTGATCT

>어란 E2, 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*), 16S gene

CGCCTCTTGCAAATAAATGAATAAGAGGTCCCGCCTGCCCTGTGACTATAAGTTAACGGCC  
GCGGTATTTTGACCGTGCGAAGGTAGCGCAATCACTTGTCTTTTAAATGAAGACCTGTATGA  
ATGGCACCACGAGGGCTTAGCTGTCTCCCTCTCCCAGTCAATGAAATTGATTTCCCCGTGCA  
GAAGCGGGGATAAAAACATAAGACGAGAAGACCCTATGGAGCTTAAGACGCCAGGACAGCT  
CATGTTAAACACTCCAAGATAAAGGAAATAAACTAAATGAAACCCTGCCCTAGTGTCTTTG  
GTTGGGGCGACCACGGGGAAAACTTAACCCCATGTGGAATAGGAATACTATTTTCCCAG  
ACTCAAGAGCTCCCGCTCTAATAAACAGAACTTCTGACCAAAGGATCCGGCAATGCCGAT  
CAACGGACCGAGTTACCCTAGGGATAACAGCGCAATCCTCTTAAAGAGTCCCTATCGACAA  
GAGGGTTTACGACCTCGATGTTGGATCAGGACATCCTAATGGTGCAGCCGCTATTAAGGGTT  
CGTTTGTTC AACGATTAAAGTCCTACGTGATCTGAGTT

>어란 B, 멸치(*Engraulis japonicus*), COI gene

ACTAAGCCAACCAGGAGCACTTCTGGGGGACGATCAAATTTATAACGTAATCGTTACTGCT  
CACGCATTCGTAATAATCTTTTTTATGGTAATGCCCATCCTAATCGGTGGGTTTCGGGAATTG  
ACTGGTTCCTCTTATACTAGGGGCCCCAGACATGGCATTCCCCCGAATGAACAATATGAGCT  
TTGACTCCTTCCCCCTTCTTTCCTTCTCCTCTTAGCATCATCTGGTGTGAAGCAGGAGCC  
GGGACAGGATGAACAGTCTACCCCCCTCTAGCAGGAAACCTTGCCCACGCCGGAGCGTCAG  
TAGATTTAACAATCTTCTCTCTCCACCTGGCAGGGATTTTCATCAATCCTAGGTGCCATTAAT  
TTCATTACTACCATCATTAATATGAAACCACCTGCTATTTTACAATACCAGACACCTCTATT  
TGTCTGAGCTGTATTAATCACGGCAGTACTTTTACTTCTTTTCACTACCCGTTCTAGCTGCTG  
GGATTACTATGCTTCTCACAGACCGAAACCTAAATACTACTTTTCTTCGACCCAGCAGGGGG  
AGGAGACCCAATTCTTTATCAACACCTATTCTGATTCTTTGG

>어란 D, 쭈기미류 (*Inimicus* sp.), COI gene

CCCTGAGCCTTCTTATCCGAGCAGAACTTAGCCAACCTGGGGCTCTCTTAGGAGACGACCAG  
ATTTATAATGTTATTGTTACCGCACATGCCTTTGTAATAATCTTCTTCATAGTAATACCAAT  
TATGATTGGGGGCTTTGGAAATTGACTAATTCCTTTAATAATTGGAGCACCAGATATAGCAT  
TCCCCCGAATAAACAACATGAGCTTTTGACTTCTACCTCCCTCTTTTCTACTTCTGCTTGCA  
TCTTCAGGAGTCGAGGCTGGAGCAGGGACTGGATGAACAGTTTACCCCCATTGGCCGGTAA  
TCTCGCCCATGCAGGGGCATCCGTAGATTTAACAATTTTCTCCCTACATCTAGCAGGTATTT  
CATCAATTTTAGGTGCTATTAATTTTATTACAACAATTATTAACATAAAAACCTCCTGCTATT  
TCACAATACCAAACCCCTCTATTTCGTATGAGCTGTATTAATTACAGCCGTACTACTTCTTCT  
TTCTCTCCCTGTTCTTGCTGCTGGCATTACAATACTTCTTACAGACCGTAACTTAAACACCA  
CCTTCTTTGACCCAGCAGGGGGAGGAGATCCAATTCTCTACCAACATCTATTTTGATTCTTT  
GG

>어란 E2, 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*), COI gene

TTTGGTGCTTGAGCTGGAATAGTAGGAACCGCCTTAAGTCTGCTCATTTCGAGCCGAATTAAG  
CCAACCTGGCGCTCTCCTAGGAGATGATCAAATTTATAATGTAATTGTTACAGCACATGCGT  
TTGTAATAATTTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGGGGCTTTGGAAATTGATTAGTA  
CCACTTATGATTGGTGCCCCTGACATAGCATTCCCCGTATAAACAACATAAGCTTCTGACT  
TCTTCCTCCATCATTCCCTCCTGCTGCTAGCTTCTTCTGGTGTCGAAGCTGGGGCCGGTACCG  
GGTGGACAGTTTACCCCCACTGGCAGGAAACCTCGCCACGCAGGTGCATCAGTTGACTTA  
ACCATCTTTTCTCTTCACCTAGCCGGAATTTTCATCTATTCTTGGGGCCATCAATTTTATTAC  
CACTATTATCAATATGAAACCGCCAGCTATCTACAATATCAAACACCCCTATTTGTGTGG  
GCCGTTTTAATTACTGCTGTCCTACTCCTTGTCCCTCCCAGTTCTTGCTGCCGGAATTAC  
AATACTCCTTACAGACCGAAATCTAAATACCACCTTCTTTGACCCAGCTGGAGGAGGAGAC  
CCTATTCTCTATCAACACCTATTCTGATTCTTTGGCCACAAA

>A3\_egg (*Repomucenus koreanus*, 참돛양태), COI gene

AACCACAAAGACATTGGCACCCCTCTACCTAATTTTGGTGCTTGAGCCGGCATGGTAGGCAC  
TGCCCTAAGTCTTCTGATTTCGGGCGGAGCTAAACCAACCGGGAGCTCTTCTTGGCGACGACC  
AGATTTATAATGTTATTGTTACTGCACATGCATTTGTAATAATTTTCTTTATGGTTATGCCT  
ATCATAATCGGAGGCTTCGGGAAGTACTGACTTATCCCTATAATGATTGGGGCGCCAGATATAGC  
CTTCCCACGAATAAACAACATGAGCTTTTGACTCCTGCCCCCTCTTTCCTTCTCCTGTTAG  
CATCTTCAGGTGTAGAGGCTGGGGCAGGGACAGGGTGAACAGTATACCCTCCTCTCTCAAGC  
AACCTCGCACACGCCGGAGCCTCCGTTGACCTGACAATTTTTCCTTGCATCTAGCAGGGAT  
TTCATCTATTCTCGGGGCTATTAACCTTTATTACCACTATTACTAATATGAAACCCCTGCC  
TTACACAGTACCAAACACCTTTATTTGTTGAGCTGTCTTAATTACGGCTGTCTACTACTC  
CTGTCTCTTCCCCTGCTTGCTGCCGGCATTACTATACTCCTTACAGACCGTAACCTAAATAC  
TACTTTTTTTGACCCCGCTGGAGGAGGTGACCCCATCCTTTACC

>10014V2-COI (*Parablennius yatabei*, 청베도라치)

TGAGTCAACCAGGAGCTCTTCTTGGGGATGACCAGATTTACAATGTAATTGTTACCGCTCAC  
GCCTTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGGGGTTTCGGAAATTGACT  
CATCCCCCTAATGATCGGAGCACCAGACATGGCCTTCCCACGTATGAACAATATGAGCTTC  
TGACTCCTTCCTCCTTCTTTCCCTCCTACTCTTAGCTTCATCTGGGGTTGAAGCTGGTGCTGG  
GACAGGTTGAACTGTTTACCCCCCTCTATCAGGCAACCTCGCTCATGCAGGGGCTCGGTAG  
ATCTAACCATCTTTCCCTCCATCTAGCAGGTGTCTCATCAATTCTTGGGGCTATTAATTTT  
ATTACAACCATTATCAATATGAAACCCCTGCCATCTCTCAATACCAAACCTCCCCTGTTTCG  
TCTGAGCTGTACTAATTACAGCCGTGCTTCTTCTCCTTTCTCTTCCAGTACTGGCGGCAGGG  
ATCACAATACTCCTTACAGATCGAAACCTTAATACAACA

>10014V5-COI (*Parablennius yatabei*, 청베도라치)

TGAGTCAACCAGGAGCTCTTCTTGGGGATGACCATATTTACAATGTAATTGTTACCGCTCAC  
GCCTTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGGGGTTTCGGAAATTGACT  
CATCCCTCTAATGATCGGAGCACCAGACATGGCCTTCCCACGTATGAACAATATGAGCTTCT  
GACTCCTTCCTCCTTCTTTCCCTCCTACTCTTAGCTTCATCTGGGGTTGAAGCTGGTGCTGGG  
ACAGGTTGAACTGTTTACCCCCCTCTATCAGGCAACCTCGCTCATGCAGGGGCCTCGGTAGA  
TCTAACCATCTTTTCCCTCCATCTAGCAGGTGTCTCATCAATTCTTGGGGCTATTAATTTTA  
TTACAACCATTATCAATATGAAACCCCTGCCATCTCTCAATACCAAACCTCCCCTGTTTCGTC  
TGAGCTGTACTAATTACAGCCGTGCTTCTTCTCCTCTCTCTTCCAGTACTGGCGGCAGGGAT  
TACAATACTCCTTACAGATCGAAACCTTAATACAACA

>10092V2-COI (*Parablennius yatabei*, 청베도라치)

TGAGTCAACCAGGAGCTCTTCTTGGGGATGACCAGATTTACAATGTAATTGTTACCGCTCAC  
GCCTTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGGGGTTTCGGAAATTGACT  
TATTTCCCCTAATGATCGGAGCACCAGACATGGCCTTCCCACGTATGAACAATATGAGCTTCT  
GACTCCTTCCTCCTTCTTTCCCTCCTACTCTTAGCTTCATCTGGGGTTGAAGCTGGTGCTGGG  
ACAGGTTGAACTGTTTACCCCCCTCTATCAGGTAACCTCGCCCATGCAGGGGCCTCGGTAGA  
TCTAACCATCTTTTCCCTCCATCTAGCAGGTGTCTCATCAATTCTTGGGGCTATTAATTTTA  
TTACAACCATTATCAATATGAAACCCCTGCCATCTCTCAATACCAAACCTCCCCTGTTTCGTC  
TGAGCTGTACTAATTACAGCCGTGCTTCTTCTCCTCTCTCTTCCAGTACTGGCGGCAGGAAT  
TACAATACTCCTTACAGATCGAAACCTTAATACAACA

>10092V5-COI (*Parablennius yatabei*, 청베도라치)

TGAGTCAACCAGGAGCTCTTCTTGGGGATGACCAGATTTACAATGTAATTGTTACCGCTCAC  
GCCTTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGGGGTTTCGGAAATTGACT  
CATCCCTCTAATGATCGGAGCACCAGACATGGCCTTCCCACGTATGAACAATATGAGCTTCT  
GACTCCTTCCTCCTTCTTTCCCTCCTACTCTTAGCTTCATCTGGGGTTGAAGCTGGTGCTGGG  
ACAGGTTGAACTGTTTACCCCCCTCTATCAGGCAACCTCGCTCATGCAGGGGCCTCGGTAGA  
TCTAACCATCTTTTCCCTCCATCTAGCAGGTGTCTCATCAATTCTTGGGGCTATTAATTTTA  
TTACAACCATTATCAATATGAAACCCCTGCCATCTCTCAATACCAAACCTCCCCTGTTTCGTC  
TGAGCTGTACTAATTACAGCCGTGCTTCTTCTCCTCTCTCTTCCAGTACTGGCGGCAGGGAT  
TACAATACTCCTTACAGATCGAAACCTTAATACAACA

>10092V1-COI (*Omobranchus elegans*, 앞동갈베도라치)

CTTTTCAACTAACCACAAAGACATCGGCACCCTTTATCTAGTATTTGGTGCTTGAGCCGGGA  
TAGTAGGTACAGCCTTAAGCCTTCTAATTCGAGCTGAATTAAGCCAGCCTGGTGCCCTCCTT  
GGGGACGATCAAATTTATAATGTTATCGTCACTGCNCACGCCTTCGTAATAATTTTCTTCAT  
GGTTATACCAATCATGATTGGAGGCTTTGGCAATTGATTAATCCCCTAATGATCGGNGCC  
CTGACATAGCATTNCCCCGGATAAAACAACATGAGTTTTTGACTTCTCCCCCTTCATTTCTT  
CTCCTCTTAGCCTCTTCCGGTGTAGAAGCAGGGCCGGGACAGGGTGGACTGTTTACCCCC  
TCTTTCAGGTAACCTGGCACACGCTGGGGCCTCCGTAGATTTAACAATCTTTTCCCTACATT  
TAGCGGGTATCTCATCAATTTTAGGAGCTATTAATTTTATTACTACCATTATTAACATGAAG  
CCCCAGCCATCTCTCAATATCAAACACCTCTATTTGTTTGAGCGGTATTAATTACTGCTGT  
TCTTCTTCTCCTTTCTCTCCCTGTCTTAGCCGCCGGTATTACAATACTTTTAACAGACCGAA  
ATCTAAACACGACTTT

>10115V1-COI (*Takifugu niphobles*, 복섬)

GTGGCAATCACACGCTGATTTTTCTCAACCAATCACAAAGATATCGGCACCCTATACCTAG  
TTTTTGGTGCCTGAGCCGGAATAGTAGGCACAGCACTAAGTCTTCTTATTCGGGCCGAACTC  
AGTCAACCCGGTGCCTCTTGGGCGATGACCAGATCTACAATGTAATCGTTACAGCCCATGC  
ATTCGTAATGATTTTCTTTATAGTAATACCAATCATGATTGGAGGCTTTGGGAACTGATTAA  
TTCCCCTTATAATCGGAGCCCCAGACATGGCCTTCCCCCGAATAAACAACATAAGCTTCTG  
ACTGCTTCCCCCATCCTTCCTCCTTCTGCTCGCATCCTCTGGAGTAGAAGCCGGAGCGGGTA  
CAGGCTGAACCGTTTACCCACCCCTAGCAGGAAATCTTGCCACGCAGGAGCTTCTGTAGA  
CCTTACCATCTTCTCTTTCATCTTGCAGGGGTCTCCTCTATTCTAGGGGCAATCAACTTCA  
TCACAACATCATTAACATGAAACCCCCAGCAATCTCACAATACCAAACACCTCTTTTCGT  
ATGAGCCGTTTTAATTACTGCTGTACTTCTCCTGCTCTCCCTTCCTGTCCTTGCAGCAGGAA  
TTACAATGCTTCTCACTGACCGAAACTTAAATACAACCTTCTTTGACCCAGCAGGAGGAGG  
AGACCCCATCCTGTACCA

(6) 어류 종판별을 위한 DNAchip 개발

어류 종판별용 DNAchip에 심어진 종 특이적인 올리고뉴클레오티드의 위치 및 실험 결과는 다음과 같다(Fig. 3.1.75-.87). 실험 반응에서 살펴보고자하는 종의 종 특이적인 올리고뉴클레오티드가 심어진 슬라이드에서 녹색의 형광발현이 관찰되었다. 형광 발현도는 각각 차이가 있으나 이는 종 특이적인 올리고뉴클레오티드와 시료의 종 특이적인 서열의 hybridization을 통해 나타나는 것으로 종 특이적인 발현을 나타낸다. 혼합종 실험 결과 DNAchip은 한 종에 대한 종판별에 용이하나 혼합시료에 대한 종판별에는 적합하지 않다.

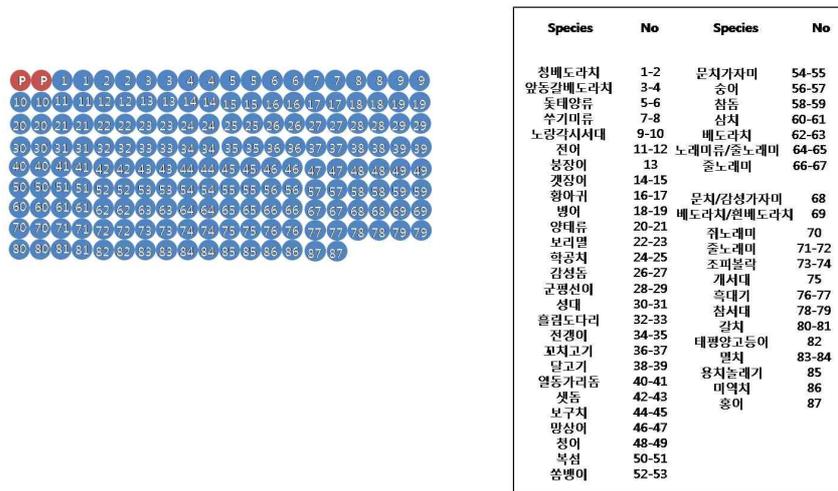
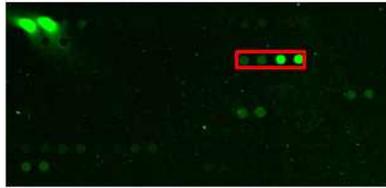


Fig. 3.1.75. The image of fish DNA chip.



갈치



감성돔



개서대

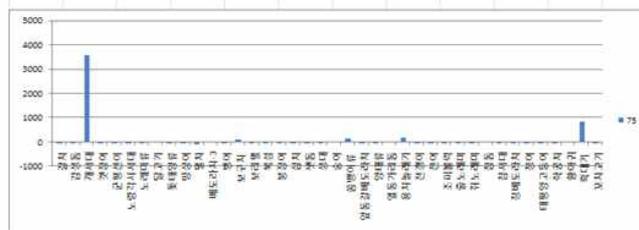
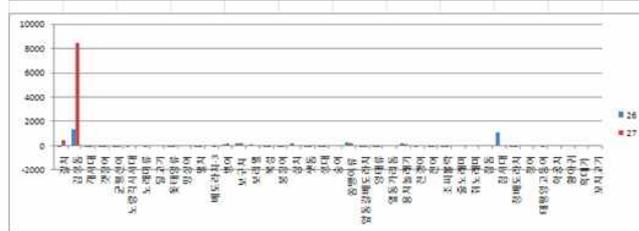
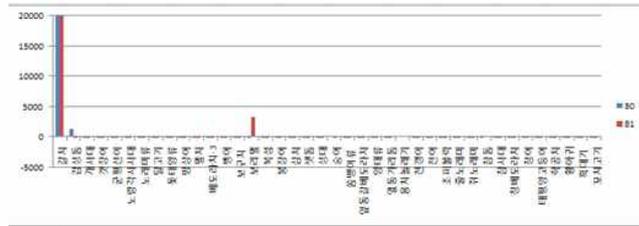
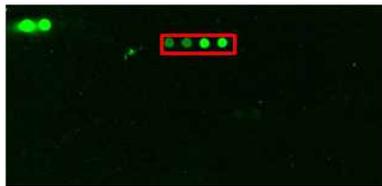


Fig. 3.1.76. *Trichiurus japonicus*, *Acanthopagrus schlegeli*, and *Cynoglossus robustus* DNA chip test.



갯장어



군평선이



노랑각시서대

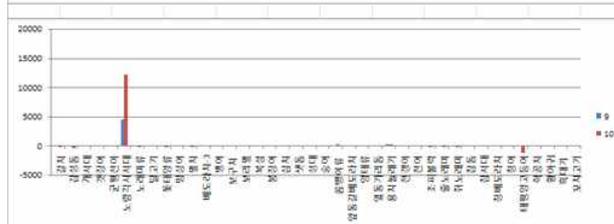
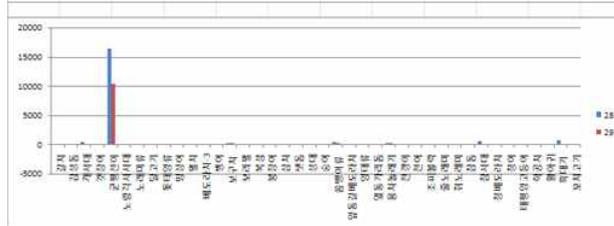
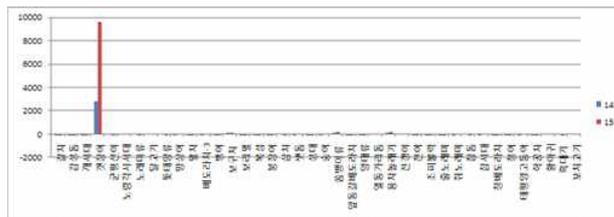
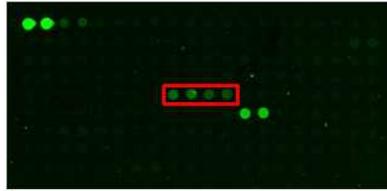


Fig. 3.1.77. *Muraenesox cinereus*, *Hapalogenys mucronatus*, and *Zebrias fasciatus* DNA chip test.





병어



보구치



보리멸

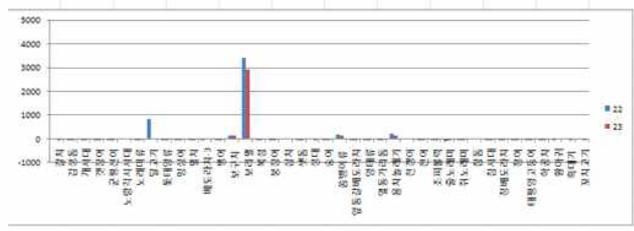
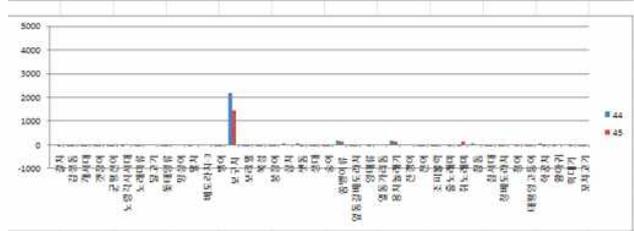
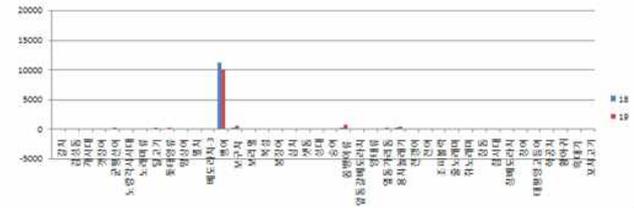
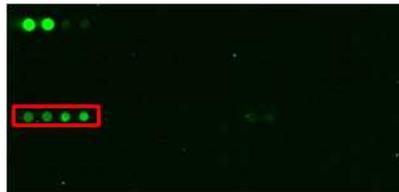
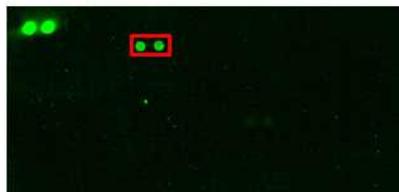


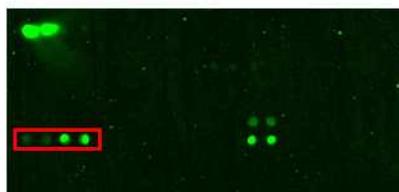
Fig. 3.1.80. *Pampus argenteus*, *Pennahia argentata*, and *Sillago sihama* DNA chip test.



복섬



붕장어



삼치

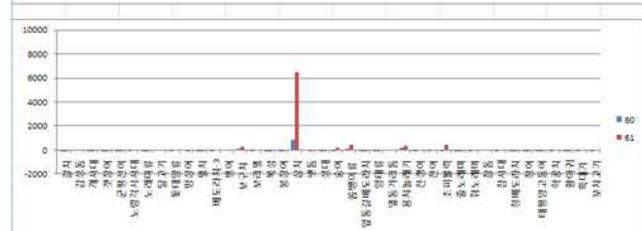
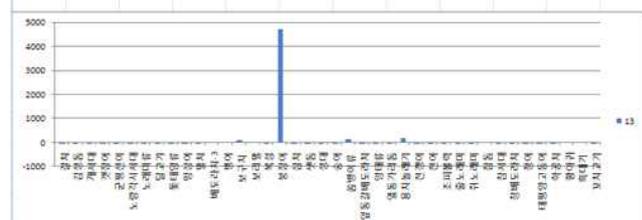
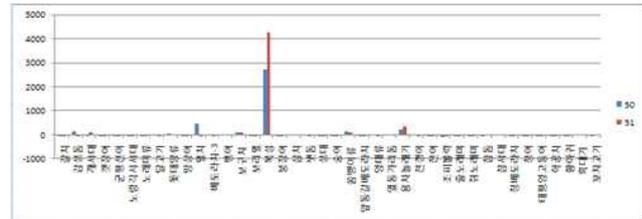
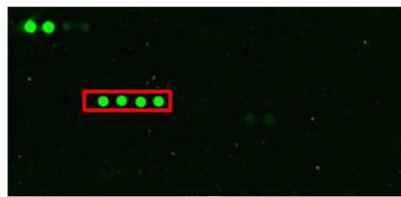


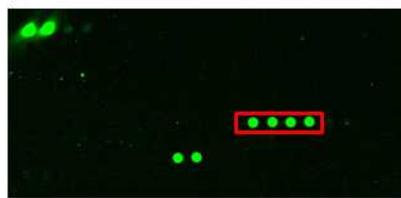
Fig. 3.1.81. *Takifugu niphobles*, *Conger myriaster*, and *Scomberomorus niphonius* DNA chip test.



셋돔



성대



송어

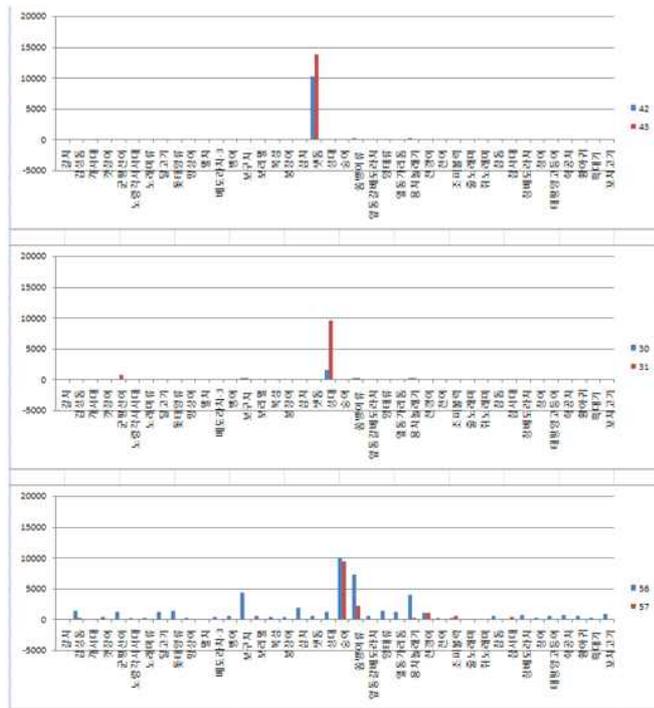
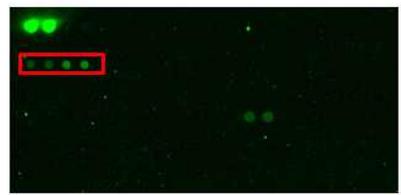


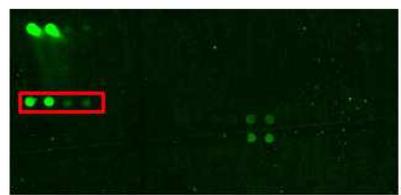
Fig. 3.1.82. *Psenopsis anomala*, *Chelidonichthys spinosus*, and *Mugil cephalus* DNA chip test.



앞동갈베도라치



양태류



열동가리돔

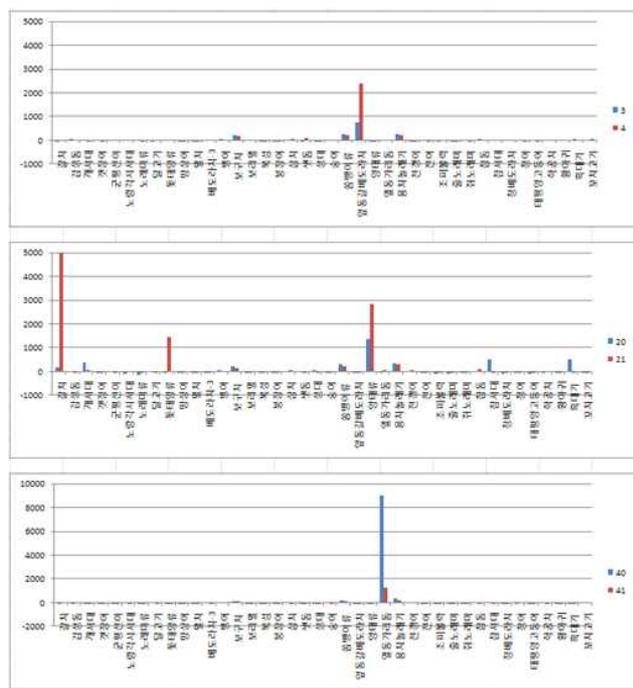
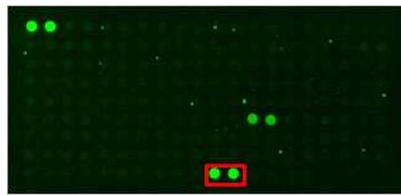
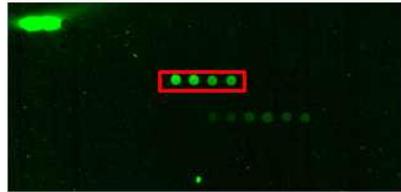


Fig. 3.1.83. *Omobranchus elegans*, *Acanthopagrus schlegeli*, and *Platycephalus sp.* DNA chip test.



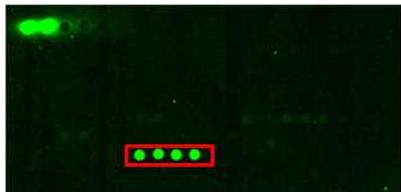
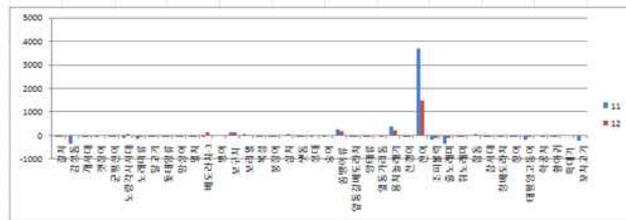
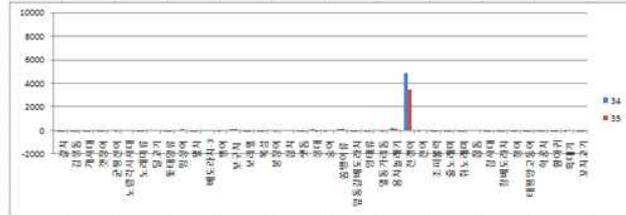
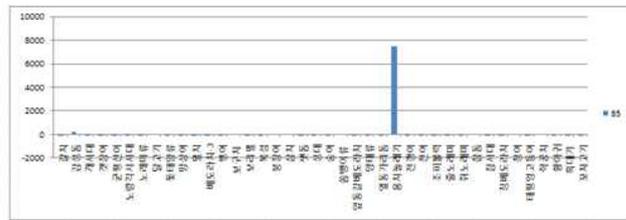
용치놀래기



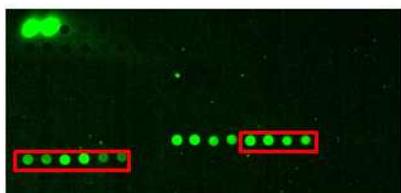
전갱이



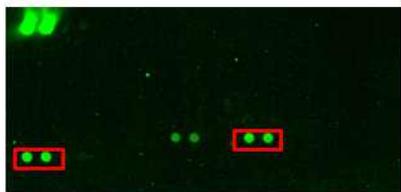
전어



조피볼락



줄노래미



쥐노래미

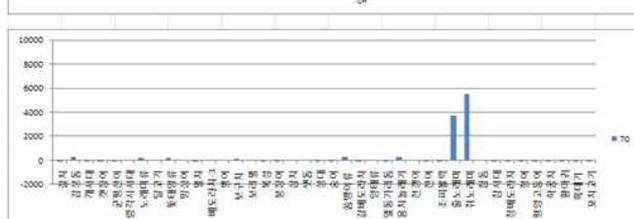
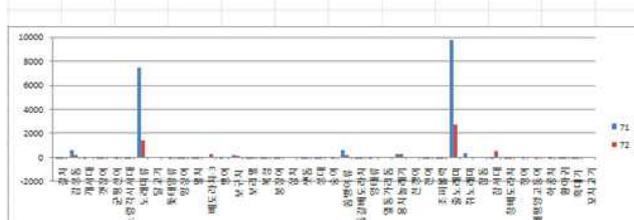
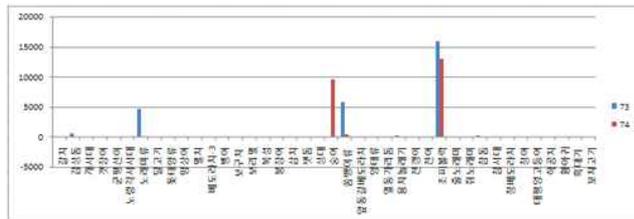


Fig. 3.1.85. *Sebastes schlegelii*, *Hexagrammos octogrammus*, and *Hexagrammos otakii* DNA chip test.

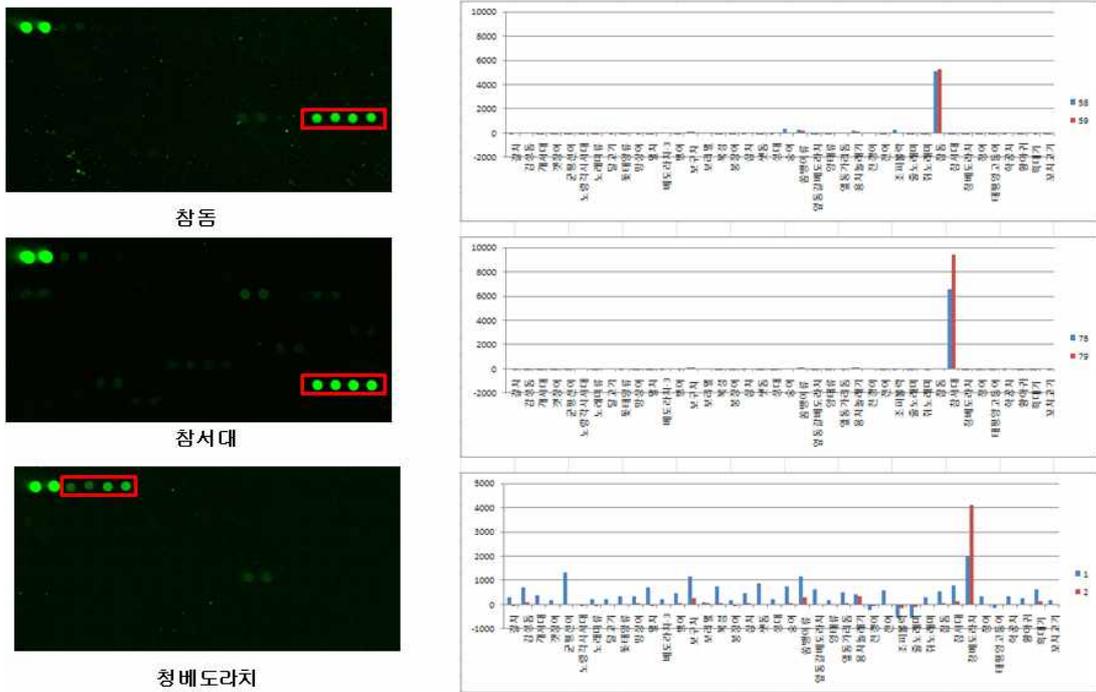


Fig. 3.1.86. *Pagrus major*, *Cynoglossus joyneri*, *Parablennius yatabei* DNA chip test.

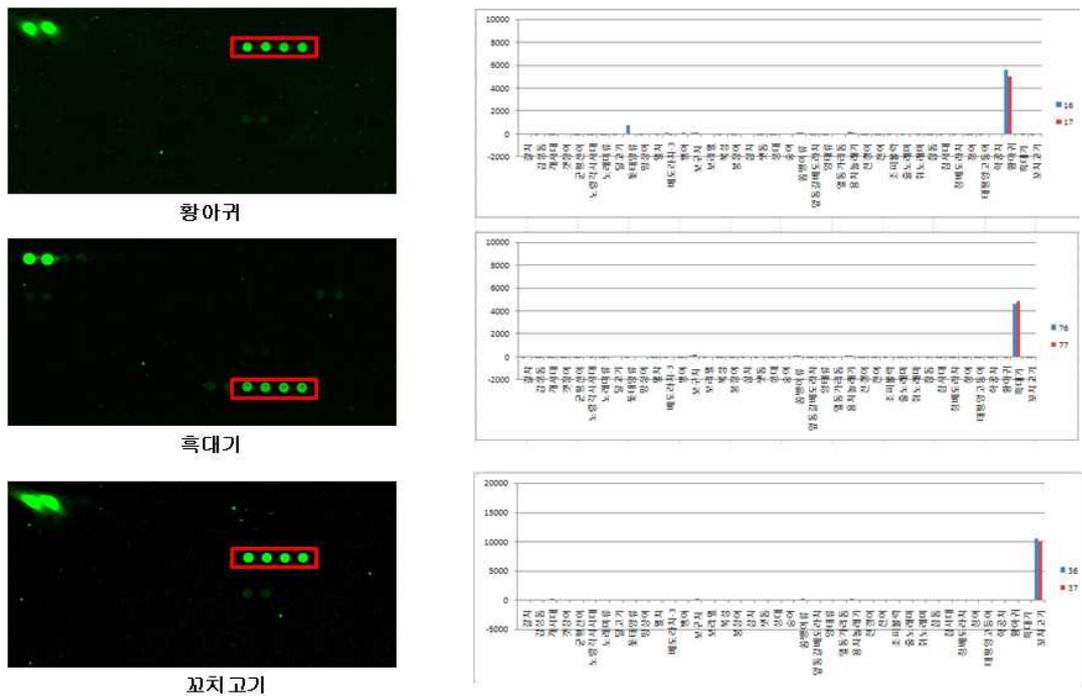


Fig. 3.1.87. *Lophius litulon*, *Paraplagusia japonica*, and *Sphyræna pinguis* DNA chip test.

EP1 기기를 이용한 대량시료의 정밀한 분석 및 재현성을 확보하고자 3종 Taqman 프로브 제작하여(꼬치고기, 노래미, 참돔) 테스트를 완료(Fig. 3.1.88)하였다. 기존 DNACHIP 실험에서 검증이 불가능했던 혼합시료의 종판별이 가능한 것을 확인 하였다.

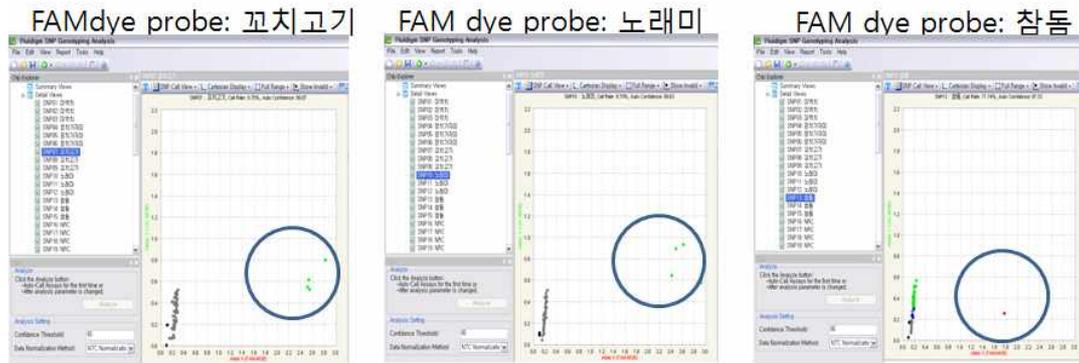


Fig. 3.1.88. Result of species specific probe test for *Sphyaena pinguis*, *Hexagrammos agrammus* and *Pagrus major* using Taqman Probe by EP1 application.

### 3. 미세조류 및 해파리

#### 가. 연구개발 수행 방법

##### (1) 해파리의 종판별을 위한 DNA chip 개발

###### (가) 해파리의 채집 및 유전자의 증폭

종판별을 위해 사용된 해파리 6종(*Aequorea coerulescens*, *Aurelia aurita*, *Bolinopsis sp.*, *Cyanea nozakii*, *Dactylometra quinquecirrha*, *Nemopilema nomurai*)을 거제 장목만에 서 채집하였다. 채집된 해파리로부터 G-spin™ Genomic DNA extraction kit(Intron, Korea)을 이용하여 gDNA를 분리하였다. Universal primer(COI forward primer 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATGTTGG-3' 및 reverse primer 5'-TAAACTTCAGGGTG ACCAAAAAATCA-3')를 이용하여 칩의 probe로 사용될 COI 유전자를 증폭하였다(Fig. 3.1.89). 증폭을 위한 PCR 조건은 전체 볼륨을 20 µL로 하였으며, 2.5 unit/µL Taq DNA polymerase, 4 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.4 mM dNTP를 혼합하였고, 각각의 프라이머 1 µL씩 사용하였다. 또한 90°C-30초, 49°C-30초 및 72°C-1분의 사이클로 40사이클을 수행하였고, PCR 증폭된 각종의 COI 유전자들은 MEGA 프로그램을 통하여 align을 수행하였다(Fig. 3.1.90).

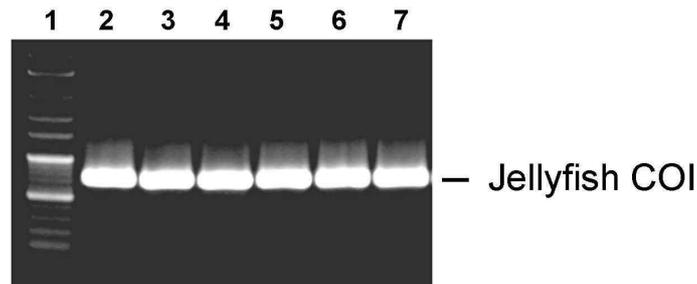


Fig. 3.1.89. jellyfish target gene (COI) amplification. Lane 1: 100 bp DNA ladder, Lane 2: *A. coerulescens*, Lane 3: *A. aurita*, Lane 4: *Bolinopsis sp.*, Lane 5: *C. nozakii*, Lane 6: *D. quinquecirrha*, Lane 7: *N. nomurai*.

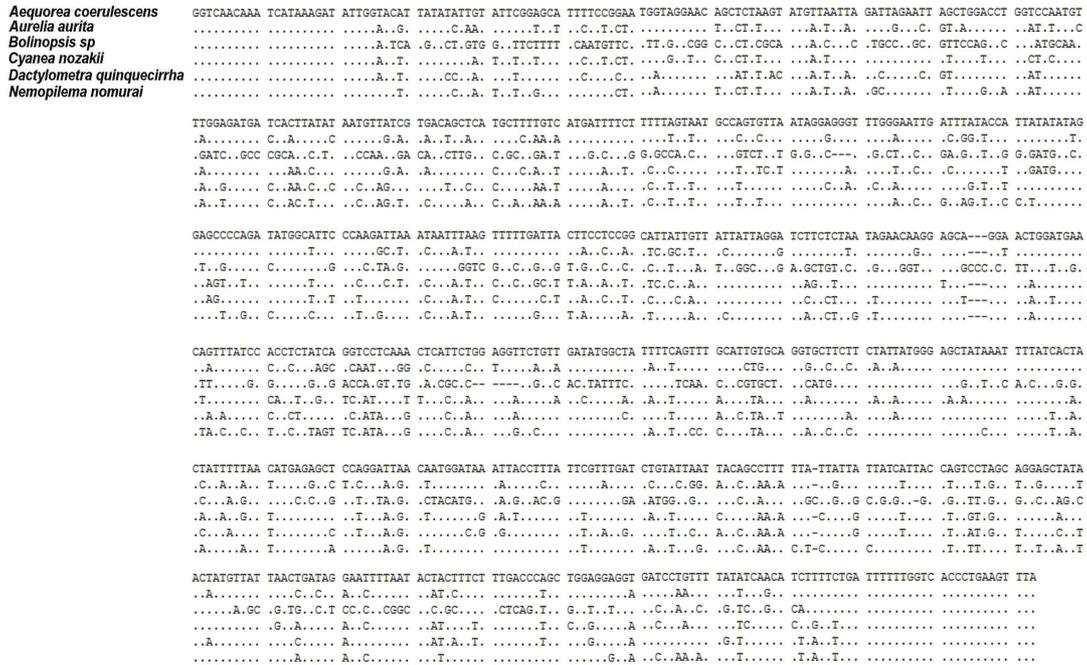


Fig. 3.1.90. Sequence alignment of mt COI genes from 6 jellyfish species.

(나) 한국에서 채집된 해파리의 유사성 확인 및 가계도 분석

Mitochondria 유전자인 COI의 각 종별 차이를 알아보기 위하여 해파리 6종의 identity를 확인하였다(Table 3.1.25.). *A. coerulescens*는 다른 5종과 약 34.3-79.8%의 identity를 볼 수 있었으며, *A. aurita*는 35.4-81.7%, *Bolinopsis sp.*는 34.3-35.8%, *Cyanea nozakii*는 35.7-82.5%, *D. quinquecirrha*는 35.8-82.8% 그리고 *N. nomurai*는 34.9-82.8%의 identity를 나타내었다. 전체적으로 83% 이상의 identity가 있었으며, phylogenetic analysis 분석 결과 identity 비교와 유사한 종 간의 차이가 확인되었다(Fig. 3.1.90.). 따라서, 해파리 종 판별에 있어서 mitochondrial COI 유전자의 사용은 유용한 것으로 판단된다.

Table 3.1.25. Nucleotide identities (%) of jellyfish species

Identity (%)	<i>Aequorea coerulescens</i>	<i>Aurelia aurita</i>	<i>Bolinopsis sp.</i>	<i>Cyanea nozakil</i>	<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	<i>Nemopilema nomurai</i>
<i>Aequorea coerulescens</i>	100	79.8	34.3	78.6	79.8	78.8
<i>Aurelia aurita</i>	79.8	100	35.4	79.3	81.7	80.7
<i>Bolinopsis sp.</i>	34.3	35.4	100	35.7	35.8	34.9
<i>Cyanea nozakii</i>	78.6	79.3	35.7	100	82.5	81.2
<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	79.8	81.7	35.8	82.5	100	82.8
<i>Nemopilema nomurai</i>	78.8	80.7	34.9	81.2	82.8	100

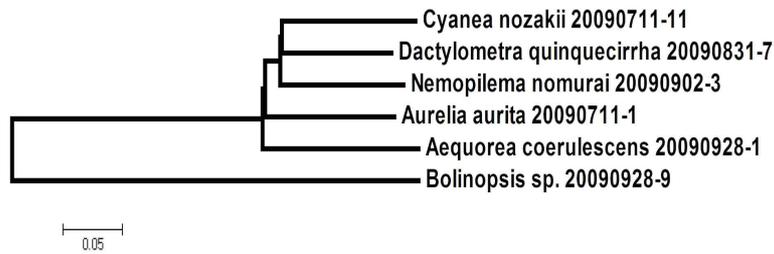


Fig. 3.1.91. Topologies obtained via phylogenetic analysis of jellyfish COI gene.

(다) 프로브의 선별

해파리 6종의 sequence alignment 결과를 이용하여, 종 확인을 위한 specific probes 디자인하였다(Table 3.1.26). 각 종마다 conserved site(336/713 base)가 아닌 variation이 확실한 서열(373/713 base)을 선별하였으며, 그 중 가장 효율이 좋은 세 가지의 probe를 선정하였다 (*A. coerulescens*: A\_coe\_1, A\_coe\_2, A\_coe\_3; *A. aurita*: A\_aur\_1, A\_aur\_2, A\_aur\_3; *Bolinopsis sp.*: B\_sp\_1, B\_sp\_2, B\_sp\_3; *C. nozakii*: C\_noz\_1, C\_noz\_2, C\_noz\_3; *D. quinquecirrha*: D\_qui\_1, D\_qui\_2, D\_qui\_3; *N. nomurai*: N\_nom\_1, N\_nom\_2, N\_nom\_3). Optimal signal density를 획득하기 위해 각 probe는 15 base로 제작되었으며, labeling 효율을 높이기 위해 양쪽 말단 (5' and 3')에 4 base의 sequence를 추가하였다. 제작된 종 특이 probe는 DNA chip 위에 spot 하였다(Fig. 3.1.92).

Table 3.1.26. Probe selection for Microarray analysis

Species	Name	RefSeq	Start	End	Full_seq	Tm
<i>Aequorea coerulescens</i>	A_coe_1	AGGAGGTGATCCTGT	654	669	CTGGAGGAGGTGATCCTGTTTTA	55.27391
	A_coe_2	AGCAGGAGCTATAAC	588	603	TCCTAGCAGGAGCTATAACTATG	53.49131
	A_coe_3	TCCAGGATTAACAAT	500	515	GAGCTCCAGGATTAACAATGGAT	53.49131
<i>Aurelia aurita</i>	A_aur_1	AGGAGGAGATCCAAT	654	669	CTGGAGGAGGAGATCCAATTTTTA	53.49131
	A_aur_2	ATCCTTCTTTGACCC	633	648	ATACATCCTTCTTTGACCCTGCT	53.49131
	A_aur_3	GCTGGGGCTATTACA	589	604	CTTGGCTGGGGCTATTACAATGT	55.27391
<i>Bolinopsis sp</i>	B_sp_1	CTTGTTCCAGCACAT	669	684	CAGTCTTGTTCCAGCACATTTTC	53.49131
	B_sp_2	GGCACCAGCTTCTTC	628	643	CTTCGGCACCAGCTTCTTCTCAG	58.83913
	B_sp_3	CACTATGATGCTGAT	600	615	CAGTCACTATGATGCTGATGGAC	55.27391
<i>Cyanea nozakii</i>	C_noz_1	CCCTATTTTATTCCA	663	678	GAGACCCTATTTTATTCCAACAC	51.7087
	C_noz_2	GGCAGGAGCAATAAC	588	603	TGTTGGCAGGAGCAATAACTATG	53.49131
	C_noz_3	TCCTGGAATGACTAT	500	515	GAGCTCCTGGAATGACTATGGAT	55.27391
<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	D_qui_1	GGAGATCCTGTTTTG	658	673	GGGAGGAGATCCTGTTTTGTTTC	55.27391
	D_qui_2	GGAGCCATTACAATG	592	607	GGCTGGAGCCATTACAATGTTAT	53.49131
	D_qui_3	TGTTTTTCATAACCGC	542	557	GGTCTGTTTTTCATAACCGCAATA	51.7087
<i>Nemopilema nomurai</i>	N_nom_1	GACCCAATATTATTT	661	676	GGGAGACCCAATATTATTCAAC	51.7087
	N_nom_2	CATTACCTGTTTTAG	575	590	CTATCATTACCTGTTTTAGCTGG	51.7087
	N_nom_3	GATCAGTTTTAGTTA	538	553	GTTTGATCAGTTTTAGTTACCGC	51.7087

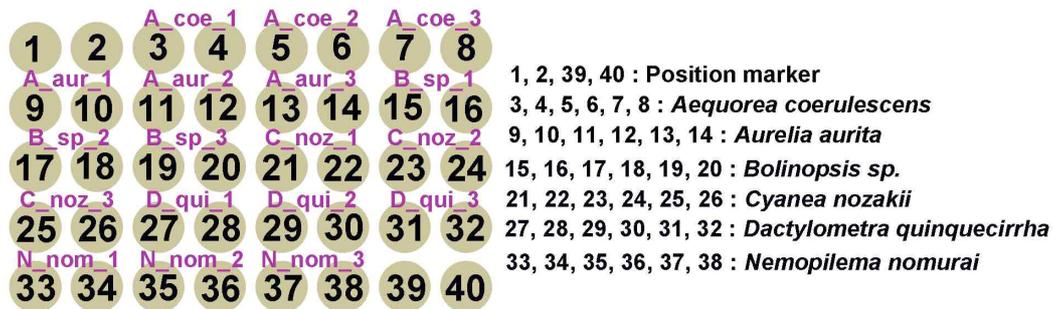


Fig. 3.1.92. Layout of DNA microarrays for jellyfish species identification.

## (2) 미세조류 종판별을 위한 DNAchip 개발 및 종조성 확인 연구

### (가) 미세조류 COI 유전자 염기서열 분석 및 가계도 분석

부경대학교 미세조류 은행과 한국해양과학기술원으로 부터 분양받은 총 25종의 미세조류(*Achnanthes longipes*, *Amphora* sp., *Asterionella glacialis*, *Chaetoceros atlanticus*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros septentrionalis*, *Chaetoceros vistulae*, *Chlorella ellipsoidea*, *Chlorophyta* UF, *Coscinodiscus perforates*, *Cylindrotheca closterium*, *Cylindrotheca fusiformis*, *Cymatosira lorenziana*, *Ditylum brightwellii*, *Gloeocystis gigas*, *Gyrodinium impudicum*, *Heterosigma akashiwo*, *Melosira nummuloides*, *Navicula* sp., *Nitzschia pungens*, *Nitzschia subpacifica*, *Prorocentrum minimum*, *Skeletonema costatum*, *Stephanopyxis turris*, *Thalassiosira allenii*)로부터 COI 유전자를 클로닝하고, 염기서열을 분석하였다(Fig. 3.1.93). 749 bp의 nucleotide composition 분석 결과 평균적으로 A(25%), T(38.7%), G(19.2%), C(17.1%)로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 또한 conserved sites는 269/749(35.9%), variable sites는 480/749(64.1%), singleton sites는 60/749(8%)로 분석되었다. 종간의 identity와 diversity의 결과에서도 대부분의 종과 종간의 차이가 85.9% 이하의 identity를 나타내었다. *A. longipes*와 *P. minimum*에서는 98.5%의 identity를 보였고, diversity 에서도 10.5%의 작은 차이가 있었다. Phylogenetic analysis에서도 또한 identity 비교와 같은 종 간의 차이가 나타났다(Fig. 3.1.94). 따라서, 미세조류 종 판별에 있어서 mitochondrial COI 유전자의 적용은 유용한 것으로 판단된다.

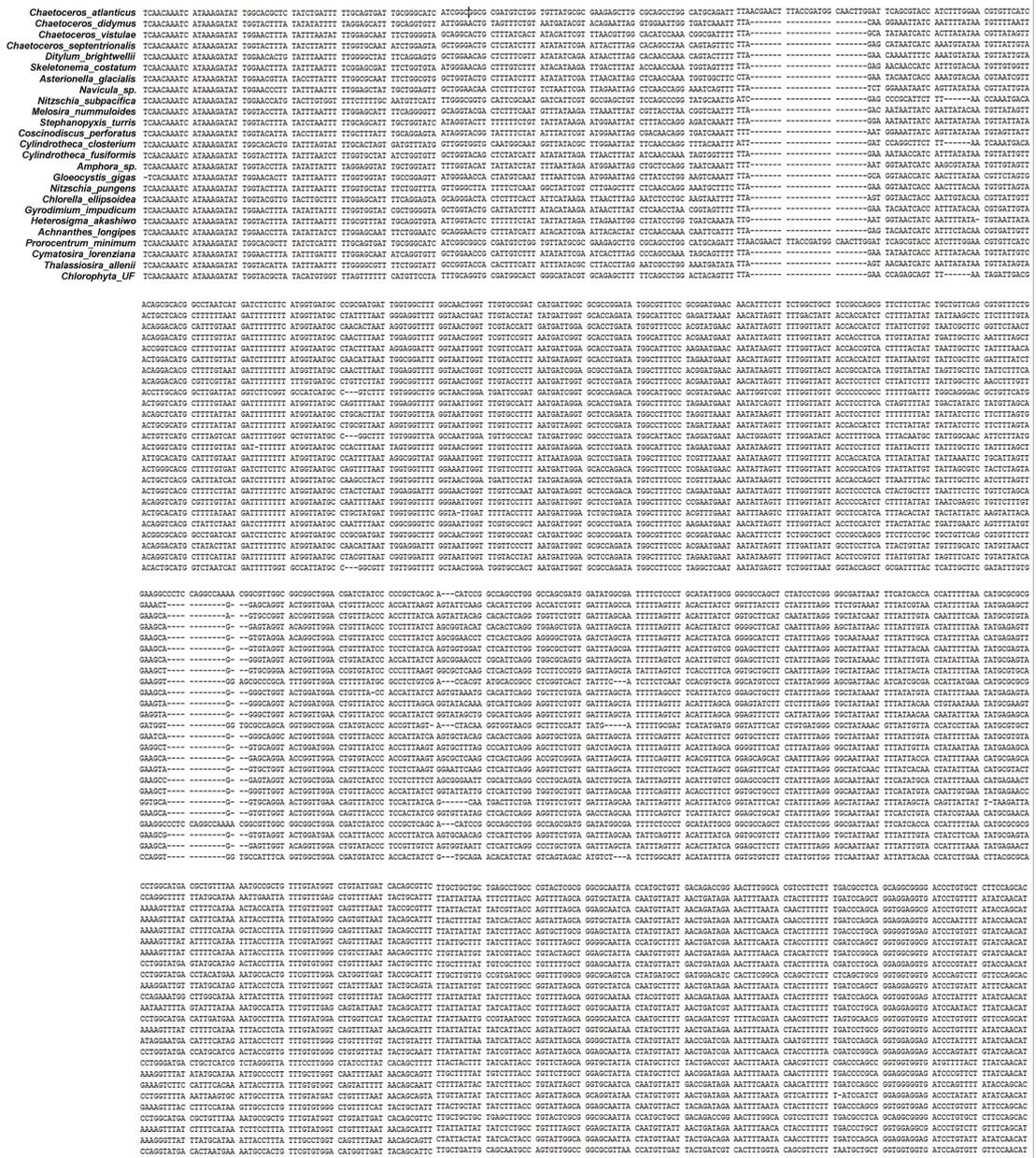


Fig. 3.1.93. Sequence alignment of mtCOI genes from 25 microalgal species.

Table 3.1.27. Nucleotide identities (upper) and divergence (lower) of microalgal species

%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	-	60.8	61.4	60.8	60.8	60.7	62.8	64.4	62.8	60.9	61.8	61.8	62.2	59.7	59.4	65.2	62.2	61.8	61.1	59.5	63.4	98.5	62.7	61.7	64.0
2	57.1	-	74.4	75.8	74.5	74.5	73.7	75.5	54.1	78.3	79.9	80.3	61.6	75.8	78.7	75.9	72.0	72.5	74.2	75.9	71.4	60.5	73.9	75.8	59.6
3	55.0	31.4	-	83.1	80.7	81.8	81.4	76.2	55.4	79.4	75.6	75.1	60.1	83.1	74.6	75.5	72.7	74.4	80.1	72.0	79.7	61.4	82.0	77.3	58.3
4	56.3	29.3	19.2	-	85.1	82.5	85.1	76.3	55.5	80.3	75.6	76.3	60.3	85.9	77.0	76.9	72.0	77.9	82.0	73.6	79.3	60.3	83.1	81.1	60.0
5	56.6	31.2	22.3	16.7	-	80.7	83.4	76.2	54.7	79.4	75.8	75.1	60.3	83.5	74.4	76.4	69.7	79.4	77.3	71.1	77.9	60.8	81.7	79.7	59.0
6	56.6	31.2	20.9	19.9	22.3	-	82.0	75.5	55.3	78.8	77.9	77.0	61.7	85.6	75.4	75.5	72.3	76.3	80.0	73.0	78.3	61.1	82.3	78.7	59.4
7	52.0	32.5	21.5	16.7	18.9	20.7	-	75.6	55.5	80.4	75.5	76.1	61.0	83.5	74.9	74.8	71.8	76.8	80.3	73.3	78.5	62.5	81.7	77.6	60.1
8	49.1	29.7	28.7	28.4	28.6	29.8	29.5	-	57.7	76.9	76.5	75.1	63.2	77.5	75.1	80.8	72.1	74.2	74.4	72.9	73.5	64.5	75.4	75.2	61.2
9	51.5	72.4	68.4	67.8	70.0	68.2	67.6	62.4	-	53.9	55.3	55.7	68.4	55.3	53.1	58.1	57.1	55.0	55.5	54.2	56.1	62.8	56.4	53.8	67.9
10	56.0	25.6	24.1	22.9	24.1	24.9	22.8	27.7	72.3	-	79.4	77.2	62.2	83.2	77.0	76.0	70.9	79.0	77.7	75.1	78.0	60.6	79.5	81.0	59.1
11	54.8	23.5	29.5	29.5	29.3	26.2	29.7	28.3	69.2	24.1	-	82.8	64.0	79.5	80.3	75.7	75.1	73.5	75.5	77.7	74.1	61.4	75.5	78.3	60.1
12	54.8	22.9	30.4	28.5	30.4	27.4	28.9	30.3	67.8	27.3	19.5	-	61.1	77.4	79.7	75.6	73.2	73.5	74.9	77.0	71.4	61.7	74.8	76.5	60.7
13	53.4	54.1	57.0	56.7	56.7	53.6	55.3	50.8	41.6	52.6	49.1	55.0	-	62.9	61.8	60.2	62.0	55.8	59.7	61.1	60.4	62.0	61.0	59.7	68.5
14	58.8	29.2	19.2	15.6	18.7	16.0	18.7	26.7	68.6	19.1	23.9	26.9	51.2	-	77.5	76.9	73.2	77.8	82.5	74.6	79.5	60.0	84.3	81.1	60.5
15	59.6	25.0	31.0	27.4	31.4	29.9	30.6	30.4	74.3	27.5	22.9	23.6	53.3	26.7	-	77.9	73.9	71.0	75.1	75.7	73.0	59.3	73.5	75.2	58.3
16	47.7	29.2	29.8	27.7	28.3	29.7	30.9	22.2	61.6	29.0	29.4	29.5	56.9	27.5	26.3	-	72.8	73.3	74.3	72.2	73.2	65.3	74.5	76.3	60.5
17	52.7	35.1	34.1	35.1	38.9	34.9	35.4	34.9	63.9	36.8	30.3	33.1	53.3	33.3	32.1	33.9	-	68.3	69.4	67.7	71.4	62.5	68.9	71.0	61.2
18	54.1	34.2	31.4	26.3	24.2	28.6	27.9	31.6	68.9	24.8	32.8	32.8	66.9	26.4	36.7	33.0	41.2	-	74.8	70.4	74.4	62.2	75.8	81.3	57.8
19	55.7	31.6	23.1	20.7	27.0	23.3	23.0	31.4	67.6	26.5	29.7	30.6	57.9	20.0	30.3	31.5	39.3	30.8	-	72.4	81.4	61.0	79.3	77.6	59.1
20	60.0	29.2	35.1	32.6	36.5	33.5	33.1	33.8	71.2	30.3	26.5	27.5	54.9	30.9	29.4	34.7	42.3	37.6	34.4	-	68.7	59.5	72.6	73.6	57.5
21	50.8	36.1	23.9	24.3	26.4	25.8	25.6	32.8	66.3	26.2	31.9	36.1	56.4	24.0	33.6	33.5	36.0	31.5	21.4	40.7	-	63.4	79.9	76.5	59.4
22	10.5	57.7	55.0	57.8	56.5	55.6	52.6	48.8	51.5	56.6	55.7	55.2	53.6	58.2	60.1	47.3	52.1	53.0	56.2	59.8	50.9	-	62.0	61.1	63.2
23	52.6	32.1	20.7	19.2	21.0	20.3	21.1	30.0	65.8	23.9	29.8	30.8	55.2	17.6	32.7	31.2	40.3	29.4	24.3	34.2	23.6	54.2	-	78.5	59.6
24	54.7	29.3	27.1	21.8	23.7	25.1	26.8	30.1	72.1	22.1	25.6	28.2	57.9	21.8	30.1	28.5	36.7	21.7	26.7	32.6	28.3	56.0	25.4	-	58.8
25	49.3	58.4	61.2	57.3	59.5	58.5	57.1	54.7	42.1	59.3	56.9	55.7	41.0	56.3	61.0	56.4	54.9	61.9	59.2	62.8	58.5	51.0	58.1	59.9	-

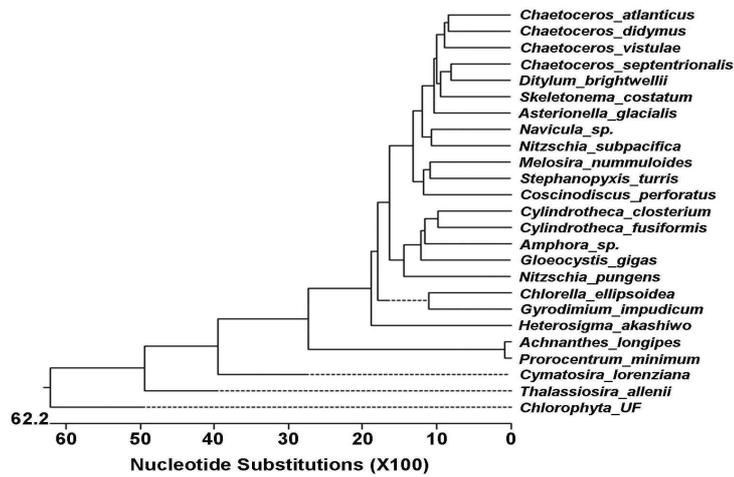


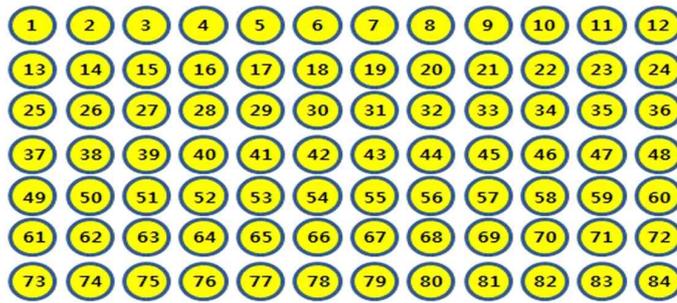
Fig. 3.1.94. Topologies obtained via phylogenetic analysis of microalgal COI gene.

(나) 프로브의 선별

미세조류간의 종 분류를 위해 mitochondria COI 유전자를 이용하여 species-specific probe를 선별하였다(Table 3.1.28), 각 종간 variation site에 기초하여 21-23 bp의 길이로 2 base 이상 차이가 있는 probe를 제작하였다. *A. longipes*, *Ch. septentrionalis*, *Cy. fusiformis*, *D. brightwellii*, *G. gigas*, *Gy. impudicum*, *H. akashiwo*, *N. subpacificca*, *P. minimum*, *S. turris* 는 1개의 probe로 2개의 position, *Amphora sp.*, *A. glacialis*, *Ch. atlanticus*, *Ch. didymus*, *Ch. vistulae*, *C. ellipsoidea*, *Ch. UF*, *C. perforates*, *Cy. closterium*, *Cy. lorenziana*, *Navicula sp.*, *N. pungens*, *S. costatum*, *Th. allenii*는 2개의 probe로 4개의 position, *M. nummuloides*는 3개의 probe로 6개의 position에 spot 하였다 (Fig. 3.1.95).

Table 3.1.28. Probe selection for microarray analysis

Species	Position	RefSeq	Start	End
<i>Achnanthes longipes</i>	3,4	CACTGCAAAAATCAGATAGAGCG	26	49
<i>Amphora sp.</i>	5,6	GCTCCAGGCTTTTTATGCATAA	544	567
	7,8	GAAACTACAGTTCCAATAACACC	55	78
<i>Asterionella glacialis</i>	9,10	GATCCTGTCTTATACCAGCATTT	706	729
	11,12	CTGGTGCTTCATCAATATTAGGT	485	508
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	13,14	AAAGATAGAGCAGTCCCAGCTAC	58	81
	15,16	CTACTCCAGATATTGCACCAAAA	39	62
<i>Chaetoceros didymus</i>	17,18	TTTTTGACCCTGCAGGGGGTGA	638	706
	19,20	CCAGTGCTTGCGGGAGCTATTAC	625	648
<i>Chaetoceros septentrionalis</i>	21,22	GGCAATTACCATGCTTTAACTG	639	662
<i>Chaetoceros vistulae</i>	23,24	GGCTGTCTTAATAACAGCTTTCT	585	608
	25,26	TGGCGCAGTGGATTAGCTATTT	447	470
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	27,28	GATCCCGTATTGTACCAACATTT	706	729
	29,30	GTATGAGATGCATAGACTACCT	551	574
<i>Chlorophyta UF</i>	31,32	CCCAGTCTTGTCCAGCACAT	709	730
	33,34	TGCTGATGGACATCCACTTCG	654	675
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	35,36	CAGGTGCTATCACAATGCTTTTA	635	658
	37,38	TATCGGGAGCTGCTTCTATTTTA	482	505
<i>Cylindrotheca closterium</i>	39,40	CCAGAAATGGCTTGGCATAAATT	547	570
	41,42	AAATATGCGAAGTCCAGAAATGG	534	557
<i>Cylindrotheca fusiformis</i>	43,44	GGAGGTGATCCAATACTTTATCA	700	723
<i>Cymatosira lorenziana</i>	45,46	CTTTAGTGCAACGGTGGTGGTG	684	704
	47,48	GCTTTTGACAGATCGTTTTTACG	651	674
<i>Ditylum brightwellii</i>	49,50	CATCTTTCTGGTCTTCTCTAT	478	501
<i>Gloeocystis gigas</i>	51,52	GAGAGCAATAGGAATGACATTTT	540	563
<i>Gyrodinium impudicum</i>	53,54	CTACCTTTTACGATCCGGCAGGA	677	700
<i>Heterosigma akashiwo</i>	55,56	TCCTTGGGCTATCCTTATCAC	580	601
	57,58	GATCCCGTCTTTATCAACATCT	707	729
<i>Melosira nummuloides</i>	59,60	TTTTTTTGACCCGCAGGAGGCG	681	704
	61,62	CTGTTCTTGCTGGAGCTATTACT	626	649
<i>Navicula sp.</i>	63,64	GATCCAGTTTTATACCAGCACTT	706	729
	65,66	GTGTGGTCAGTATTTTAAACAGC	580	603
<i>Nitzschia pungens</i>	67,68	GGAGGAGACCCTATATTATATCA	100	723
	69,70	GCAGCAGGTATAACTATGTTGTT	634	657
<i>Nitzschia subpacificae</i>	71,72	CTGTGTTATCCAGCACTTATTC	710	733
<i>Prorocentrum minimum</i>	73,74	CAAAAATGAGATAAAGCGTGCCA	21	44
<i>Skeletonema costatum</i>	75,76	GTCTTGTTCAGCATCTTTTCTG	712	734
	77,78	CTGTTTTAGCTGGAGCTATTACA	626	649
<i>Stephanopyxis turris</i>	79,80	CCTTTATTTGCCTGGTCAGTTT	571	594
<i>Thalassiosira allenii</i>	81,82	CAGCGTCTTTAATGCTGCTG	678	699
	83,84	GTTGATTACTGATCGTCACTTG	651	674



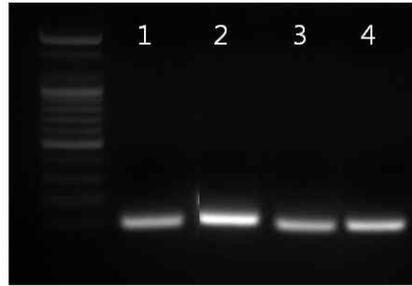
- |  |  |
|--|--|
| 1, 2 : Position marker                           | 45, 46, 47, 48 : <i>Cymatosira lorenziana</i>        |
| 3, 4 : <i>Achnanthes longipes</i>                | 49, 50 : <i>Ditylum brightwellii</i>                 |
| 5, 6, 7, 8 : <i>Amphora sp</i>                   | 51, 52 : <i>Gloeocystis gigas</i>                    |
| 9, 10, 11, 12 : <i>Asterionella glacialis</i>    | 53, 54 : <i>Gyrodinium impudicum</i>                 |
| 13, 14, 15, 16 : <i>Chaetoceros atlanticus</i>   | 55, 56 : <i>Heterosigma akashiwo</i>                 |
| 17, 18, 19, 20 : <i>Chaetoceros didymus</i>      | 57, 58, 59, 60, 61, 62 : <i>Melosira nummuloides</i> |
| 21, 22 : <i>Chaetoceros septentrionalis</i>      | 63, 64, 65, 66 : <i>Navicula sp.</i>                 |
| 23, 24, 25, 26 : <i>Chaetoceros vistulae</i>     | 67, 68, 69, 70 : <i>Nitzschia pungens</i>            |
| 27, 28, 29, 30 : <i>Chlorella ellipsoidea</i>    | 71, 72 : <i>Nitzschia subpacificca</i>               |
| 31, 32, 33, 34 : <i>Chlorophyta UF</i>           | 73, 74 : <i>Prorocentrum minimum</i>                 |
| 35, 36, 37, 38 : <i>Coscinodiscus perforatus</i> | 75, 76, 77, 78 : <i>Skeletonema costatum</i>         |
| 39, 40, 41, 42 : <i>Cylindrotheca closterium</i> | 79, 80 : <i>Stephanopyxis turris</i>                 |
| 43, 44 : <i>Cylindrotheca fusiformis</i>         | 81, 82, 83, 84 : <i>Thalassiosira allenii</i>        |

Fig. 3.1.95. Layout of DNA chip for microalgal species identification.

### (3) PCR기법을 이용한 종판별 기술 개발 및 현장 적용

#### (가) 해파리 유전자의 탐색 및 분자 마커 클로닝

거제 장목 및 통영 앞바다에서 채집한 해파리 4종을 이용하여 PCR을 통한 종 조성 확인 연구를 수행하였다. Consensus한 COI 검출 primer(LCO1490: GGTC AACAAATCATA AAGATATTGG, HCO2198: TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA)를 이용하여 분자 마커 유전자를 증폭하였으며, 증폭조건은 annealing 온도를 50°C로 하여 40사이클을 수행하였다. 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)는 109 bp, 유령해파리(*Cyanea nozakii*) 120 bp, 커튼원양해파리(*Dactylometra quinquecirrha*) 100 bp, 노무라잎깃해파리(*Nemopilema nomurai*)는 112 bp의 밴드를 얻었다(Fig. 3.1.96). 증폭된 유전자를 클로닝하고, 염기서열을 분석하였다(Fig. 3.1.97). 종 특이적인 프라이머는 AlleleID 7이라는 프로그램을 통하여 다른 종에는 결합이 불가능한 서열을 획득하였으며, 그 서열을 바탕으로 프라이머를 제작하였다(Table 3.1.29).



번호	종	Size (bp)
1	<i>Aurelia aurita</i>	109 bp
2	<i>Cyanea nozakii</i>	120 bp
3	<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	100 bp
4	<i>Nemopilema nomurai</i>	112 bp

Fig. 3.1.96. COI amplification by PCR in jellyfish.

```

Aurelia_aurita      GGT CAA CAA ATC ATA AAG ATA TTG GAA CRT TAT ATC TAA TAT TCG GTG CTT TCT CTG CTA TGG TAG GAA CTG CCT ITA
Cyanea_nozakii     ... .. .T. ... R.A .T. .T. .T. ... .A. ... .. .G. .T. .C. ... ..
Dactylometra_quinquecirrha ... .. .C. .T. ... .C. .T. ... .A. .A. ... .. .A. .A. ... ..
Nemopilema_nomurai ... .. .T. .Y. ... .. .K. .T. .T. .G. .A. .T. .C. ... .. .A. ... ..

GTA TGA TTA TAA GAT TGG AAC TGT CAG GAC CTG GAY CTA TGC TAG GAG ATG ACC AAT TAT ACA ATG TTG TAG TAA CTG
... .. .T. ... .A. .T .A. .Y. .T. ... .CT .C. .T ... .. .T. .A .C. .T. ... .. .A.
RC. ... .. .C .A. ... .. .T. ... .. .T .A. ... .. .T .A. ... .. .T .A. ... .. .G. ... .. .C .A. .C. .G. ... ..
... .. .GC .A. .T .A. .T .G. .A. .T .A. .T ... .. .T .A. ... .. .T .A. ... .. .T .A. ... .. .C .TY .T .C .A. .T .C .A.

CAC ATG CTC TAA TAA TGA TTT TCT TTT TTG TTA TGC CCG TCT TAA TAG GGG GGT TTG GAA ATT GAC TGG TTC CAT TAT
.T. .C. ... .. .G .T. ... .A. .T .C. .C. .A. ... .T. .TC .T. ... .A. .A. ... .T. .C. ... .TA .A. .T. .GA
.C. .C. .T ... .T. ... .A. .Y. .C. ... .. .T .A. ... .. .T .G. ... .. .C .A. .C. ... .. .T .T. ... .T .A. ...
... .. .C .AT ... .. .A. .T .C. ... .. .T .T. ... .. .A. ... .. .C .GT .A. ... .CC .T.

ATA TTG GAG CCC CAG ATA TGG CTT TCC CAA GGC TTA ACA ATA TTA GTT TTT GAT TAC TAC CCC CAG CTC TGC TTT TAC
TG. .A. .A .G. .T. ... .. .C .A. ... .. .Y. .C. .GC .TT ... .A. .T. ... .CT .A. .T
... .. .A .G. ... .. .T .A. ... .. .T .AT .A. ... .. .C. ... .RC .T. ... .T .CT .A. .A. .T
... .. .T .G. .C. ... .CY ... .T .T .A. ... .. .R ... .. .Y. .G. .T ... .T. ... .T .AT .A. ...

TAT TAG GGT CTT CTC TTA TAG AAC AGG GAG CAG GTA CTG GAT GAA CAR TTT ATC CCC CCC TAA GCG CAA TTC AGS CCC
... .. .A .AG .T .A. ... .. .A. .T. ... .R. .A. ... .. .TG .Y ... .. .A .TT .G CAT .T. ... .AT TT.
... .. .A .C. .CY .A. .T. ... .. .A. ... .. .T .A. .A. .T. ... .. .A .A. ... .. .TA .C. .C. .T. ... .T .TT .T .A. .A. .T.
... .. .A .A. .CT .AG .T .R. .A. ... .. .A .A. ... .. .TA .C. .C. .T. ... .T .TT .T .A. .A. .T.

ATT CCG GTG GTT CAG TAG ATA TGG CTA TAT TTA GTT TGC ATC TRG CAG GGG CCT CCT CAA TAA TGG GAG CTA TAA ATT
.C. .A. .A .A. .T. ... .C. ... .. .A. ... .. .A. ... .. .T .A. ... .. .A .T. ... .. .G .A. .T. ... .. .A .A. ... ..
.C. .A. .A .A. .T. .T. ... .. .Y. .T. ... .. .A. .CT .A. .T. .T. .T. .A. .T. ... .. .T .T. ... .. .C .A. ... ..
.C. .A. .A .G. .C. .T. ... .. .CC .C. .T .A. ... .. .A. ... .. .T .T. ... .. .C .A. ... ..

TTA TCA CTA CCA TAT TAA ATA TGA GGG CCY CCG GAR TGA CTA TGG ATA AAA TAC CTC TAT TYG TAT GAY CCG TAC TGG
... .. .A .A. ... .. .G. ... .. .A. .TC .T. .A. ... .. .G. ... .. .T. .T. ... .T .T. ... .T .A. .TT .AA
... .. .T .A. ... .TA .T. ... .. .A. .C .T. .A. ... .. .A. ... .. .C .G .G ... .. .T ... .T. ... .GT .T. .TT .CA
... .. .T .A. .A .T. ... .. .A. .AC .A. .A. ... .. .T ... .. .T ... .T. .T. ... .T .T. ... .T .A. .TT .A.

TAA CCG CAA TAT TAT TGT TAT TAT CTT TAC CTG TCT TGG CTG GGG CTA TTA CAA TGT TAT TAA CCG ACA GAA ACT TTA
.C. .A. ... .. .C .A. .G. ... .. .GY ... .. .A. .A. .A .AR .T. ... .. .G .A. .T. ... .. .A .A. ... ..
... .. .A .G. .Y ... .. .A. ... .. .A. ... .. .A .C. ... .. .T. ... .. .T .T. ... .. .T .T. ... .. .R
.T. ... .. .TC .TC .A. .C ... .. .A. ... .. .T .A. ... .. .T .A. ... .. .T. ... .. .A .T. ... ..

ATA CAT CCT TCT TTG ACC CTG CTG GAG GAG GAG ATC CAA TTT TAT TTC AGC ATC TTT TCT GAT TTT TTG GTC ACC CTG
... .. .T .T. ... .. .C .G. ... .. .C .T. ... .. .C .A. .C .R. .T. ... .. .A .A. ... .. .A .A. ... ..
... .. .A .T. ... .. .G. ... .. .TR ... .. .R. ... .. .A .T .A. .T. ... .. .A .A. ... .. .A .A. ... ..
... .. .T .T. ... .. .A. ... .. .G. ... .. .C. ... .. .A. ... .. .A .T .A. .T. ... .. .A .A. ... ..

AAG TTT A
... .. .
... .. .
... .. .

```

Fig. 3.1.97. Sequence analysis of jellyfish.

Table 3.1.29. Construction of species specific primers in jellyfish

번호	종명	Primer 서열	
		5'	3'
1	<i>Aurelia aurita</i>	5'	CCGTAAGGTAACCGCAATAT
		3'	GCAGGGTCAAAGAAGGATGTAT
2	<i>Cyanea nozakii</i>	5'	TCTGGAGGTTCTGTTGATATGG
		3'	CCTGCTAGGACTGGTAATGATA
3	<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	5'	GCTATGTTAGGTGACGATCAGA
		3'	ACAAGGCAGGAGGTAATAATCA
4	<i>Nemopilema nomurai</i>	5'	GGCTTGGCTAACTGGATGATTC
		3'	CTGGTGCCGAAGTGGATGT

(나) 적조 원인종 탐색을 위한 분자 마커 클로닝

남해에서 적조에 관련된 미세조류를 확보하기 위하여 거제 장목 앞바다에서의 샘플링을 통해 미세조류를 순수 분리하였으며, 순수분리를 통하여 획득 불가능한 종은 부경대학교 미세조류 은행을 통해 배양을 하였다. 각 종에 대한 전자현미경(SEM) 사진을 확보하였다 (Fig. 3.1.98).

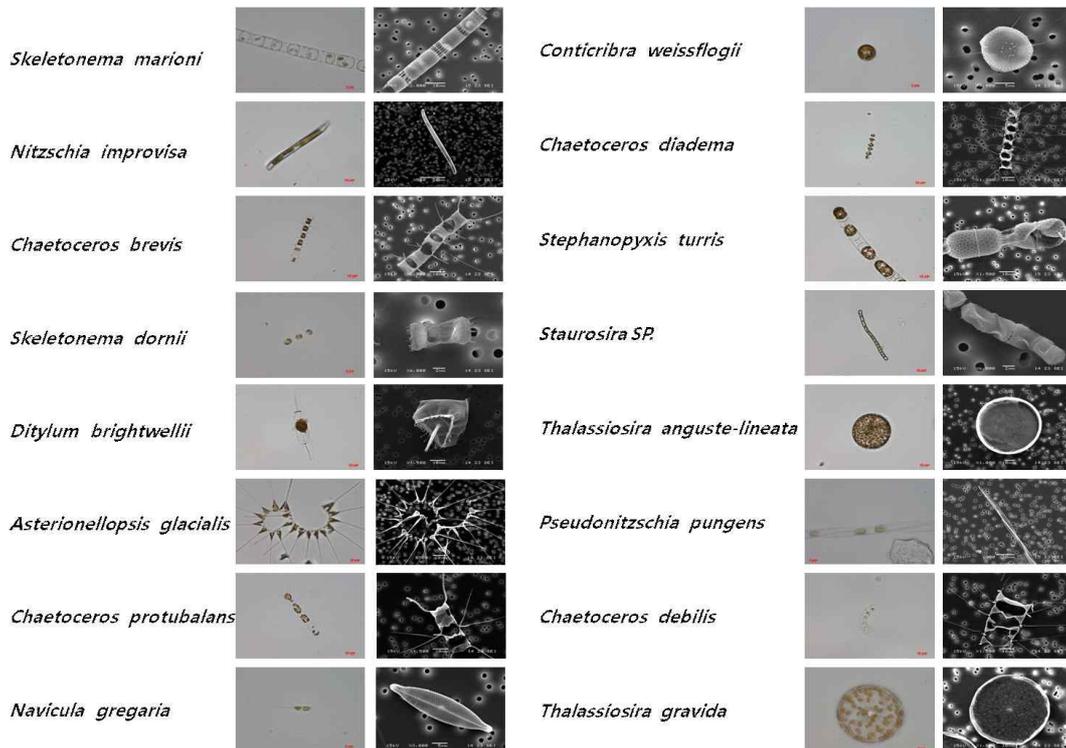
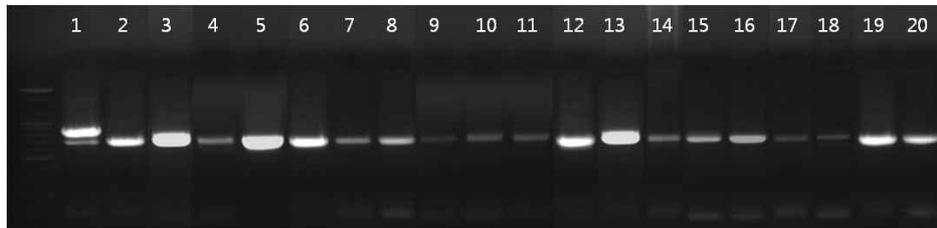


Fig. 3.1.98. SEM image for microalgae species isolation.

F<sub>2</sub> 배지를 이용하여 20°C에서 미세조류를 배양하였으며 배양된 미세조류를 이용하여 consensus한 COI 검출 primer(LCO1490: GGTC AACAAATCATAAAGATATTGG, HCO2198: TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAA TCA)를 이용하여 분자 마커 유전자의 증폭하였다(Fig. 3.1.99). 샘플링된 모든 종에서 약 700 bp 이상의 COI 유전자가 증폭되었으며, pGEMT-easy 벡터를 이용하여 클로닝하였다. 클로닝된 유전자는 T7 프라이머와 SP6 프라이머를 통해 서열정보를 분석하였다(Fig. 3.1.100).



번호	종	번호	종
1	<i>Skeletonema marioni</i>	11	<i>Conticribra weissflogii</i>
2	<i>Nitzschia improvisa</i>	12	<i>Chaetoceros diadema</i>
3	<i>Chaetoceros brevis</i>	13	<i>Stephanopyxis turris</i>
4	<i>Heterocapsa triquetra</i>	14	<i>Prorocentrum minimum</i>
5	<i>Skeletonema dornii</i>	15	<i>Akashiwo sanguinea</i>
6	<i>Ditylum brightwellii</i>	16	<i>Staurosira SP.</i>
7	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	17	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>
8	<i>Chaetoceros protubalans</i>	18	<i>Pseudonitzschia pungens</i>
9	<i>Navicula gregaria</i>	19	<i>Chaetoceros debilis</i>
10	<i>Heterosigma akashiwo</i>	20	<i>Thalassiosira gravida</i>

Fig. 3.1.99. COI amplification by PCR in microalgae.



(다) 적조 원인 미세조류의 종 특이적 프라이머 개발 및 PCR을 통한 종 확인

종 특이적인 프라이머는 AlleleID 7이라는 프로그램을 통하여 다른 종에는 결합이 불가능한 서열을 획득하였으며, 그 서열을 바탕으로 프라이머를 제작하였다(Table 3.1.30.). 각 미세조류는 intron kit을 이용하여 genomic DNA prep과 PCR을 수행하였다. PCR을 위한 template의 양은 각 샘플당 3 ng/ $\mu$ L로 하여 total volume을 1  $\mu$ L부터 3  $\mu$ L까지 조건을 변화시켰으며, 최종적으로 2  $\mu$ L를 넣었을 경우 즉 각 미세조류 샘플당 6 ng을 넣었을 때 가장 좋은 결과를 얻었다. Annealing 온도의 변화는 55°C에서 65°C까지의 변화를 주었으며, 결과적으로는 61°C 조건에서 가장 확실한 밴드를 얻었다. 사용한 Taq은 Takara에서 제품화한 EX Taq을 사용하여 실험을 수행하였으며, 0.2  $\mu$ L부터 0.5  $\mu$ L까지 사용하였을 때 0.2  $\mu$ L를 사용한 경우 밴드가 거의 생성되지 않은 반면에 0.5  $\mu$ L의 경우 거의 대부분의 종에서도 비특이적인 밴드가 생성되었다. 최종적으로 0.3  $\mu$ L를 사용한 조건에서 만족할 만한 결과를 얻었다. 결론적으로 template의 농도는 각 샘플당 최소 6 ng, annealing 온도는 61°C, taq의 볼륨은 0.3  $\mu$ L 사용하여 PCR을 수행하였을 경우 최적의 결과를 얻을 있는 것으로 판단된다.

위의 조건을 토대로 하여 PCR을 통해 각 미세조류의 종 동정이 가능한지에 대해 실험을 수행하였다. 각 종에 대한 특이적 프라이머를 이용하여 positive(only 프라이머에 맞는 미세조류)와 negative(프라이머에 맞지 않는 다른 종의 mixture) 그리고 total 샘플(순수분리하여 gDNA를 준비한 모든 미세조류의 mixture)로 나누어 PCR을 수행하였다. P는 positive, N은 negative 그리고 T는 total 샘플을 나타내며 각 번호는 그 종의 임의적인 숫자로 라벨링하여 사용하였다.

(라) 미세조류 종 특이적 프라이머의 현장 적용

종 특이적 프라이머의 현장 적용 가능성을 파악하기 위하여 남해의 통영 바다 목장에서 매달 미세조류를 채집하였으며 gDNA를 추출하였다. 1월부터 6월까지의 샘플을 이용하여 현장 적용 가능성을 분석하였다. Template의 양은 100 ng/ $\mu$ L로 하여 1  $\mu$ L를 사용하였으며 다른 조건은 앞서 확인된 종 특이적 프라이머 조건과 동일한 조건으로 실험을 수행하였다.

Table 3.1.30. Construction of specific primers in microalgae

번호	종명	Primer 서열	
		5'	3'
1	<i>Skeletonema marioni</i>	5'	GCTGGAACCGCATTGTCTT
		3'	TGTCCTGTGACGATAACATTGT
2	<i>Nitzschia improvisa</i>	5'	TGAGAATTAGCAGGTCCAGGTA
		3'	AAACGAGGGAAAGCCATATCAG
3	<i>Chaetoceros brevis</i>	5'	AACTTAGCACAAACCGAACAGTA
		3'	TACAGTCCAACCAGTACCTACA
4	<i>Heterocapsa triquetra</i>	5'	GCGATGCCACGAATGAATAA
		3'	TTGAAGAACCAGCGGAGGAT
5	<i>Skeletonema dornii</i>	5'	GGCGGTGGACATGGCAAT
		3'	GCAATGAGAGCAACAGCAAGA
6	<i>Ditylum brightwellii</i>	5'	GCTATATCTGGTGTTCGTGGTA
		3'	ACCTCCTGAGTGTGCTGTAG
7	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	5'	AATCGCTTCGGTTCTAACTGAA
		3'	ACATTGTGATTGCTCCTGCTAA
8	<i>Chaetoceros protubalans</i>	5'	GGGCTCCTGACATGGCTTT
		3'	CAGTACCTGCTCCAGACTCTAC
9	<i>Navicula gregaria</i>	5'	GTCATTACAGGAGTTCTGTTGA
		3'	GCCATTTCTGGACTTCGCATA
10	<i>Heterosigma akashiwo</i>	5'	GGTAGAAGCAGGAGCAGGAA
		3'	ATAAACACAGCCCACACAAACA
11	<i>Cotricibra weissflogii</i>	5'	ATCAAGTGCAACAGCTCATCT
		3'	ACAACATTGTGATCGCTCCAG
12	<i>Chaetoceros diadema</i>	5'	TGGTGCTGTGTCTGGTGT
		3'	CCTGTTCTACTCCTGCTTCT
13	<i>Stephanopyxis turris</i>	5'	CTTACCTTAGAATCGCCTGGAA
		3'	CTGTACCAACTCCTGCTTCTG
14	<i>Prorocentrum minimum</i>	5'	GTCCTGGTATATCCGCCTTGA
		3'	CGACATCAGCAACAGCACAA
15	<i>Akashiwo sanguinea</i>	5'	CTGACATGGCTTTCCTCGTTTA
		3'	CCAGTACCAGCTCCTCCTTC
19	<i>Chaetoceros debilis</i>	5'	AGGACATGCGTTTCGTTATGATT
		3'	CCCACACCTGCTTCTGCTA
20	<i>Thalassiosira gravida</i>	5'	CAACGGTCACCTGTGGAATG
		3'	CGAGAGCGGCGGATAGAG

#### (4) 적조 원인종 종 조성 분석을 위한 자동화 시스템의 개발

자동화 시스템을 개발하기 위하여 RNA 서열의 상동화를 이용하여 형광 검색을 수행할 수 있는 방법인 FISH method를 이용하였다. *Heterocapsa circularisquama* 28S DNA 시퀀싱 결과를 이용하여 NCBI web site에서 blast 분석을 수행하였으며, 유전자 서열이 비슷한 약 20개 종의 미세조류를 확인하였다. 확인된 미세조류와 유전자 서열 분석을 통해 1 base 또는 2 base 차이가 있는 28S DNA 부분을 선별하였으며, 그 부위를 이용하여 5개의 probe를 제작하였고 각각의 probe의 5' 방향에 FAM dye로 labelling을 수행하였다(Fig. 3.1.101).

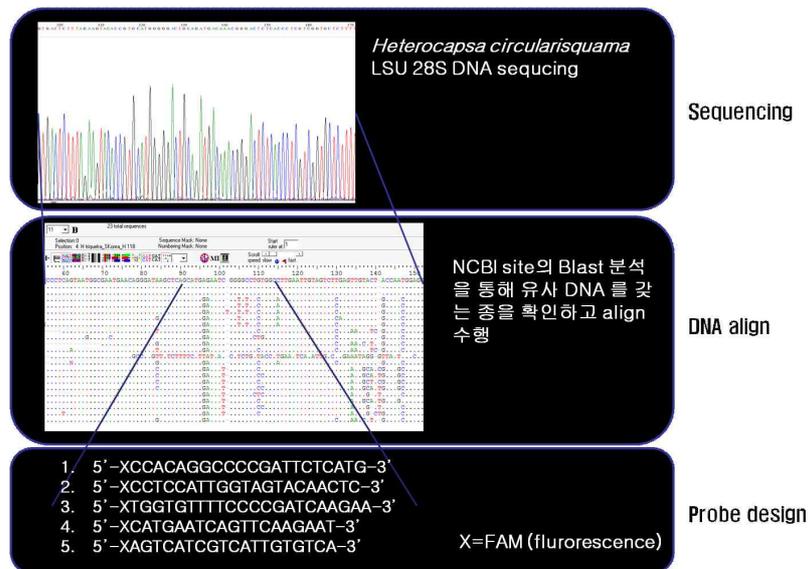


Fig. 3.1.101. Probe design method for FISH analysis.

FISH method의 전체적인 과정은 Fig. 3.1.102과 같다.

- ① SET buffer 및 10% IGE PAL과 같은 FISH과정에 사용된 solution 제조
- ② Filter set 장착
- ③ Saline과 formalin 으로 미세조류를 고정
- ④ 고정된 미세조류를 filter를 통해 membrane 에 부착
- ⑤ 만들어진 Probe로 부착된 미세조류를 염색
- ⑥ 42도씨에서 30분간 반응함으로써 미세조류 세포내로 probe가 들어가 염색이 완료
- ⑦ probe를 washing 단계를 통해 제거
- ⑧ slide glass에 membrane을 옮기고 형광 현미경을 통해서 관찰

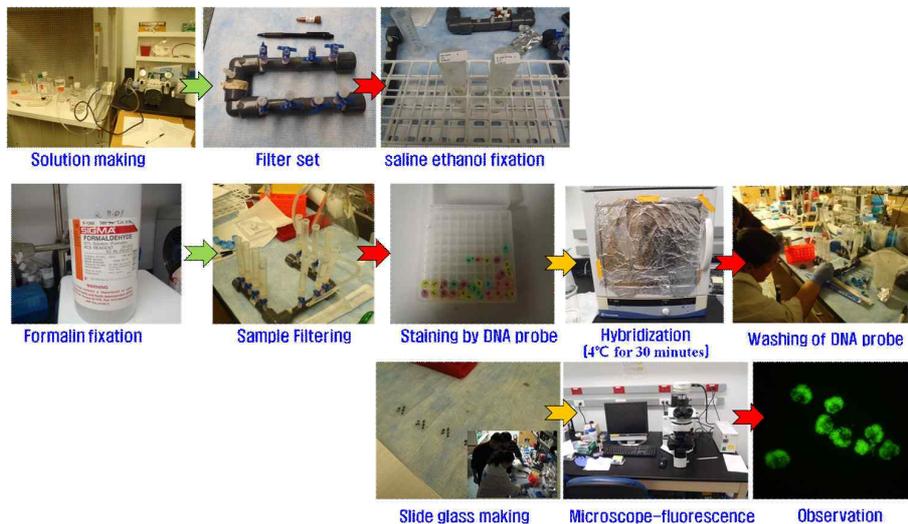


Fig. 3.1.102. Diagram of FISH method.

10개의 샘플을 나누어 실험을 수행하였으며, 1 번과 9번은 positive probe를 2번과 10 번은 negative probe를 이용하여 실험을 수행하였다. 3번부터 8번 까지는 probe design 시 제작된 5개의 probe를 이용하여 각각의 probe가 염색이 되는지 확인하기 위한 sample로 실험을 도안하였다(Fig. 3.1.103).

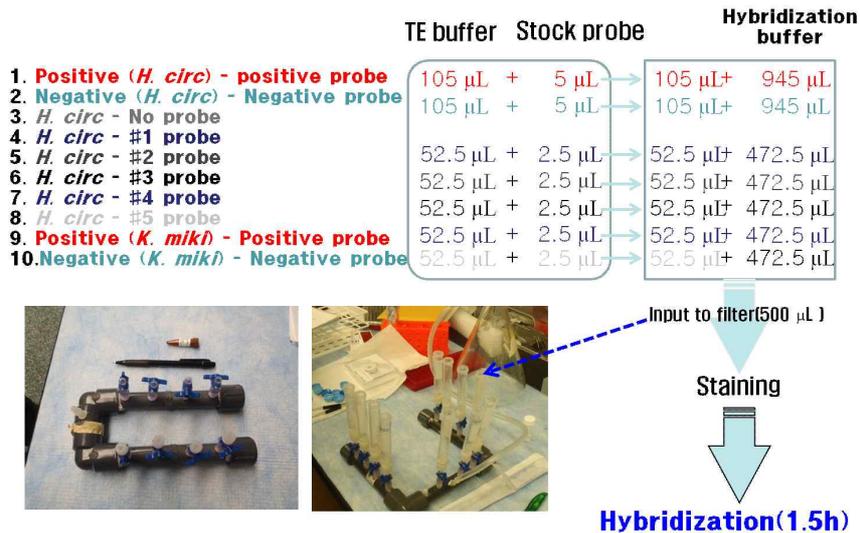


Fig. 3.1.103. Design for Probe test.

## 나. 결과 및 고찰

### (1) DNA chip 분석에 의한 해파리의 종판별 결과

Chip에 올려진 probe와 각 종의 Cy3로 labelling된 product는 hybridization 되었다. 모든 종의 sample이 각기 특이적인 probe에서 형광 signal이 나타났다(Fig. 3.1.104). *A. coerulescens*는 각 3종의 probe에서 약 7,000-20,000 까지의 signal intensity를 나타냈으며, *A. aurita*는 17,000-24,000, *Bolinopsis sp.*는 26,000-50,000, *C. nozakii*는 12,000-30,000, *D. quinquecirrha*는 7,500-25,000 그리고 *N. nomurai*는 15,000-19,000 까지의 signal이 확인되었고, 다른 종에서는 각각 signal이 1,000 이하로 나타났다. 한국연안에서 서식하는 대표적 해파리 6종을 이용하여 mitochondria 유전자인 COI으로 종판별이 가능한지 확인하였을 때, 각 종간 sequence의 variation site가 약 52.5% 이상 존재함으로써 종 확인을 하는데 문제가 없는 것을 확인하였으며, 형광 측정에서도 각 종의 spot이 specific하게 발현되었다.

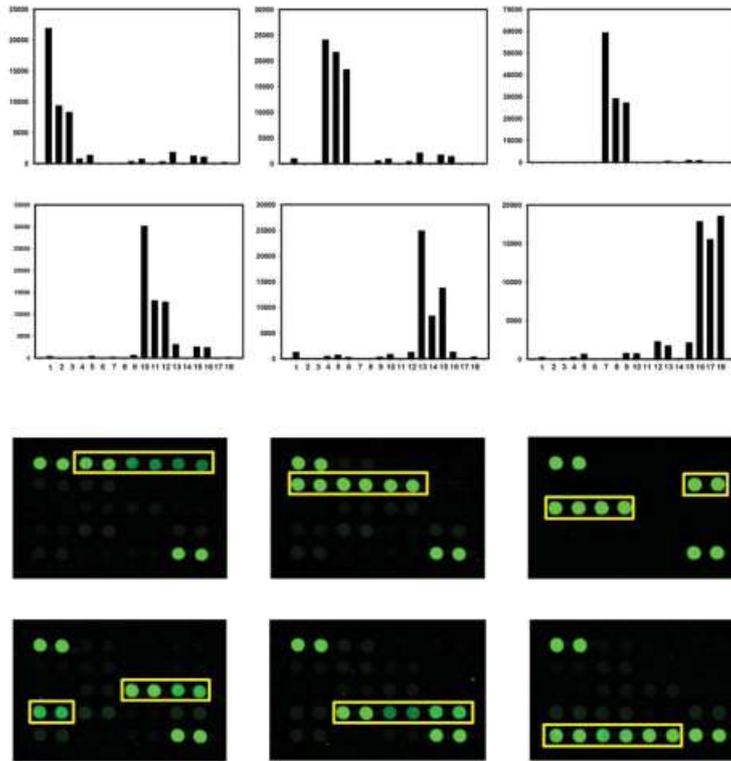


Fig. 3.1.104. DNA chip analysis using species-specific probes (jellyfish).

## (2) DNA chip 분석에 의한 미세조류의 종판별결과

Chip에 올려진 probe와 각 종의 Cy3로 labelling된 product는 hybridization 되었다. 모든 종의 sample이 각기 특이적인 probe에서 형광 signal이 나타났다(Fig. 3.1.105). 25종의 미세조류 target position에서의 signal intensity는 12,000-65,000로 높은 형광 값을 보였다. 대조적으로 Non-target position의 경우는 1,500 이하의 낮은 signal intensity를 보였다. 그러나 *P. minimum*의 경우 non-target position인 3,4 position(*A. longipes* probe)에서 다른 종에 비해 높은 signal intensity를 보였다. 앞선 sequence analysis 결과에서 보여준 것처럼 *P. minimum*과 *A. longipes* 사이의 identity가 상대적으로 높아 발생한 현상으로 판단된다.

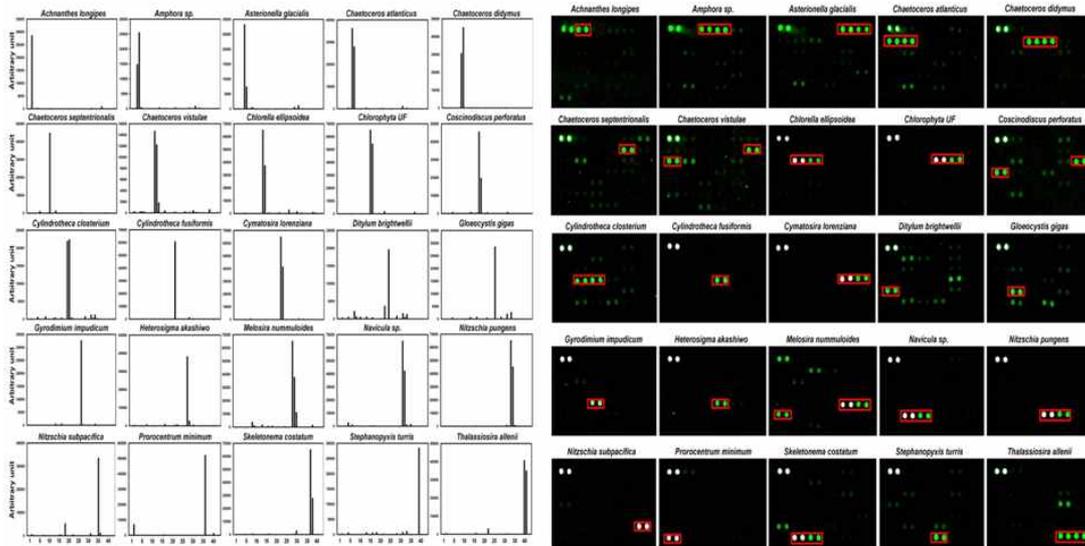


Fig. 3.1.105. DNA chip analysis using species-specific probes (microalgae).

(가) 혼합 샘플을 이용한 종 조성 분석

Chip 분석을 이용한 종판별은 단일종의 경우 가능하지만 여러 종이 섞여 있는 경우 염기서열 분석 자체가 불가능한 단점이 있었다. 미세조류 2종 *Heterosigma akashiwo*와 *Thalassiosira allenii*의 혼합시료를 이용하여 제작된 DNA 칩을 테스트해 본 결과 섞여 있는 두 종이 각각 판별되었다(Fig. 3.1.106).

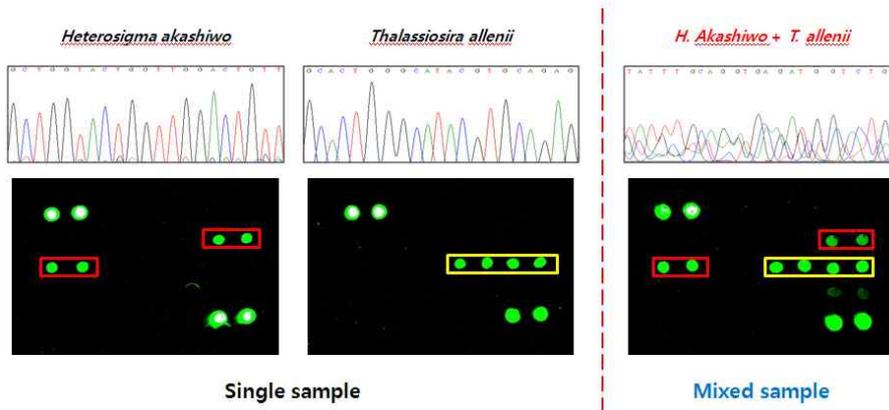


Fig. 3.1.106. DNA chip test by mixed samples (two species).

현장에서의 활용도를 검증하기 위하여서는 두종 이상의 혼합된 미세조류 시료에서도 성공적인 종판별이 되어야 하기 때문에 미세조류를 2종, 3종 및 4종으로 증가시켜 DNA chip 반응시켰을 하였다. 연구결과 종판별이 가능하였으나 정확성에서 문제점이 있었다(Fig. 3.1.107). Chip 분석의 경우 단일종에 대한 종 조성 확인의 경우 정확한 확인이 가능하였으나, 함께 섞은 혼합 샘플의 경우 정확성이 많이 떨어지는 결과를 보였으며, 확인종이 늘어

남에 따라 계속하여 Chip의 제작을 수행해야 하는 문제점이 있음이 나타났다. 따라서 DNA chip 방식에서 벗어나 일반적인 PCR 방법에 의한 종 조성을 확인하는 방법으로 전환하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

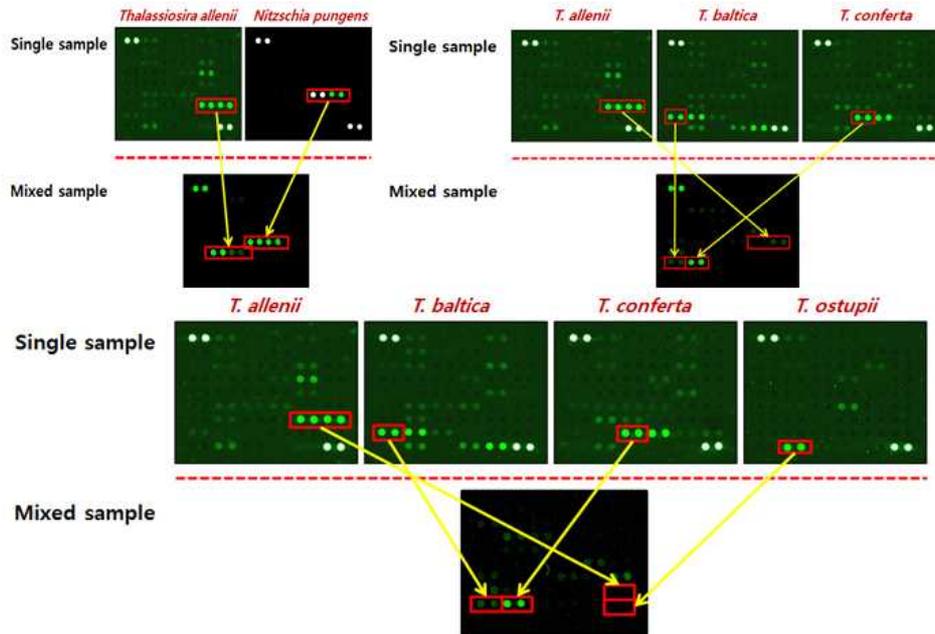
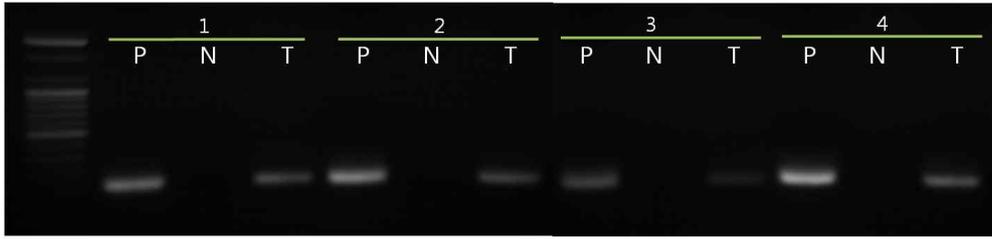


Fig. 3.1.107. DNA chip test by mixed samples (2, 3 and 4 species).

### (3) PCR기법을 이용한 해파리 및 미세조류 종 조성 확인 연구 및 현장적용

#### (가) 종 특이적 프라이머를 이용한 해파리의 종 조성 확인

각 종에 대한 특이적 프라이머를 이용하여 positive(only 프라이머에 맞는 해파리)와 negative(프라이머에 맞지 않는 다른 종의 mixture), 그리고 total 샘플(순수분리하여 gDNA를 준비한 모든 해파리의 mixture)로 나누어 PCR을 수행하였다. PCR 조건은 3 ng/ $\mu$ L인 각 genomic DNA를 각 샘플당 2  $\mu$ L씩 사용하였으며 annealing 온도의 경우 50°C에서 수행하였고, 40사이클을 수행하였다. Positive 샘플의 경우 각 사이즈에 맞는 밴드가 나타났으며, negative 샘플의 경우 밴드가 발생하지 않았고 전체 샘플을 혼합한 샘플에서는 positive와 동일한 밴드가 확인됨으로써 결과적으로 각기 종에 맞는 특이적 프라이머임이 확인되었다(Fig. 3.1.108).

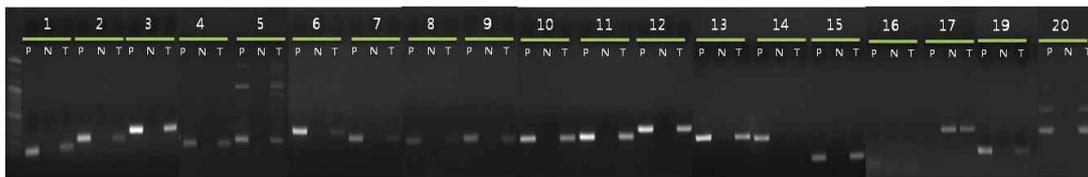


번호	P-Positive	N-Negative	T-mix positive
Template	해당 gDNA	해당 gDNA 제외한 mix	모든 gDNA mix
Template Volume	1 $\mu$ l	2 $\mu$ l	2 $\mu$ l
concentration	약 30ng/ $\mu$ l	각 sample당 약 >3ng/ $\mu$ l	각 sample당 약 3ng/ $\mu$ l
Annealing	50 °C		
Taq	0.3 $\mu$ l		
Cycle	40 Cycle		

Fig. 3.1.108. Identification of jellyfishes isolation by PCR method.

(나) 종 특이적 프라이머를 이용한 적조 원인 미세조류 종 확인

결과적으로 총 17종의 미세조류가 본 연구팀에서 보유한 프라이머를 이용하여 판별가능 하였다(Fig. 3.1.109).



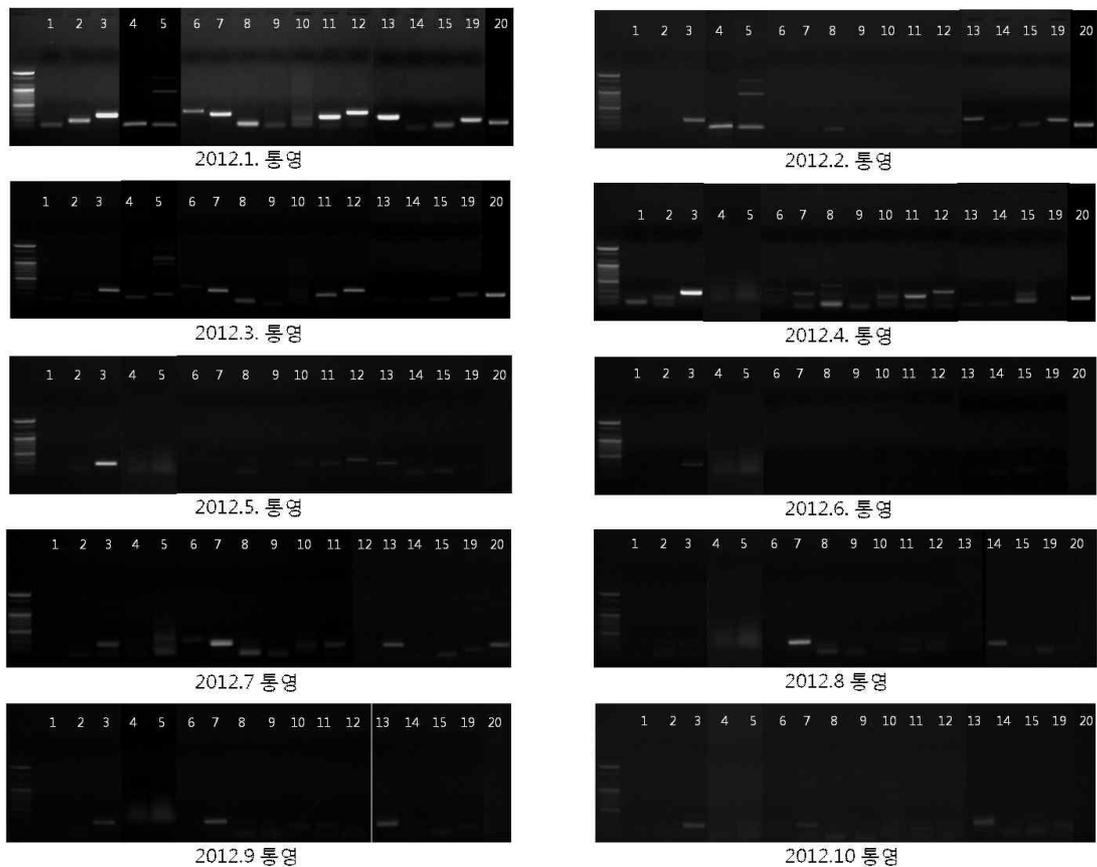
	P-Positive	N-Negative	T-mix positive
Template	해당 gDNA	해당gDNA 제외한 mix	모든 gDNA mix
Template Volume	1 $\mu$ l	2 $\mu$ l	2 $\mu$ l
concentration	약 30ng/ $\mu$ l	각 sample당 약 >3ng/ $\mu$ l	각 sample당 약 3ng/ $\mu$ l
Annealing	61°C		
Taq	0.3 $\mu$ l		
Cycle	30 Cycle		

Fig. 3.1.109. Identification of microalgae by PCR method.

(다) 종 특이적 프라이머 현장 적용(미세조류)

1월의 경우 *Skeletonema marioni*, *Nitzschia improvisa*, *Chaetoceros brevis*, *Heterocapsa triquetra*, *Skeletonema dornii*, *Ditylum brightwellii*, *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros protubalans*, *Heterosigma akashiwo*, *Conticribra weissflogii*, *Chaetoceros diadema*, *Stephanopyxis turris*, *Akashiwo sanguinea*, *Chaetoceros debilis*, *Thalassiosira gravida* 종이 확인되었으며, 2월의 경우 *S. marioni*, *N. improvisa*, *Ch. brevis*, *H. triquetra*, *S. dornii*, *Ch. protubalans*, *C. weissflogii*, *Ch. diadema*, *S. turris*, *A. sanguinea*, *Ch. debilis*, *T. gravida* 종이 확인되었다. 3월의 경우 *S. marioni*, *N. improvisa*, *Cha. brevis*, *D. brightwellii*, *A. glacialis*, *Ch. protubalans*, *C. weissflogii*, *Ch. diadema*,

*A. sanguinea*, *Ch. debilis*, *T. gravida* 4월의 경우 *S. marioni*, *N. improvisa*, *Ch. brevis*, *D. brightwellii*, *A. glacialis*, *Ch. protubalans*, *C. weissflogii*, *Ch. diadema*, *A. sanguinea*, *T. gravida* 5월의 경우 *N. improvisa*, *Ch. brevis*, *Ch. protubalans*, *C. weissflogii*, *Ch. diadema*, *A. sanguinea*, *S. turris*, *Ch. debilis* 6월은 *Ch. brevis*, *A. sanguinea* 7월의 경우 *Ch. brevis*, *A. glicials*, *Ch. protubalans*, *C. weissflogii*, *S. turris*, *Ch. debilis*, *T. gravida* 종이 확인되었다. 8월의 경우 *A. glicials*, *Ch. protubalans*, *P. minimum*이 확인되었으며, 9월과 10월은 동일하게 *Ch. brevis*, *A. glicials*, *S. turris*가 확인되었다(Fig. 3.1.110.).



번호	종	Size(bp)	번호	종	Size(bp)
1	<i>Skeletonema marioni</i>	104	10	<i>Heterosigma akashiwo</i>	219
2	<i>Nitzschia improvisa</i>	182	11	<i>Conticribra weissflogii</i>	233
3	<i>Chaetoceros brevis</i>	273	12	<i>Chaetoceros diadema</i>	315
4	<i>Heterocapsa triquetra</i>	132	13	<i>Stephanopyxis turris</i>	265
5	<i>Skeletonema dornii</i>	176	14	<i>Prorocentrum minimum</i>	250
6	<i>Ditylum brightwellii</i>	360	15	<i>Akashiwo sanguinea</i>	105
7	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	290	19	<i>Chaetoceros debilis</i>	192
8	<i>Chaetoceros protubalans</i>	111	20	<i>Thalassiosira gravida</i>	268
9	<i>Navicula gregaria</i>	121			

Fig. 3.1.110. Confirmation of microalgae using on site samples.

(4) 적조 원인종 종 조성 분석을 위한 자동화 시스템의 개발

FISH method에 의한 실험을 통하여 probe 1번, 2번, 3번에서 *Heterocapsa* 세포에 형광으로 염색이 되었으며, probe가 working이 좋은 것으로 판단되었다(Fig. 3.1.111). FISH method 장점은 유전자 하나 내지 두 개 정도로의 차이에 따라 특이적인 probe를 만들 수 있다는 장점이 있으며, 또한 과정이 복잡하지 않아 자동화 시스템을 확립하기에 적합한 방법으로 판단된다.

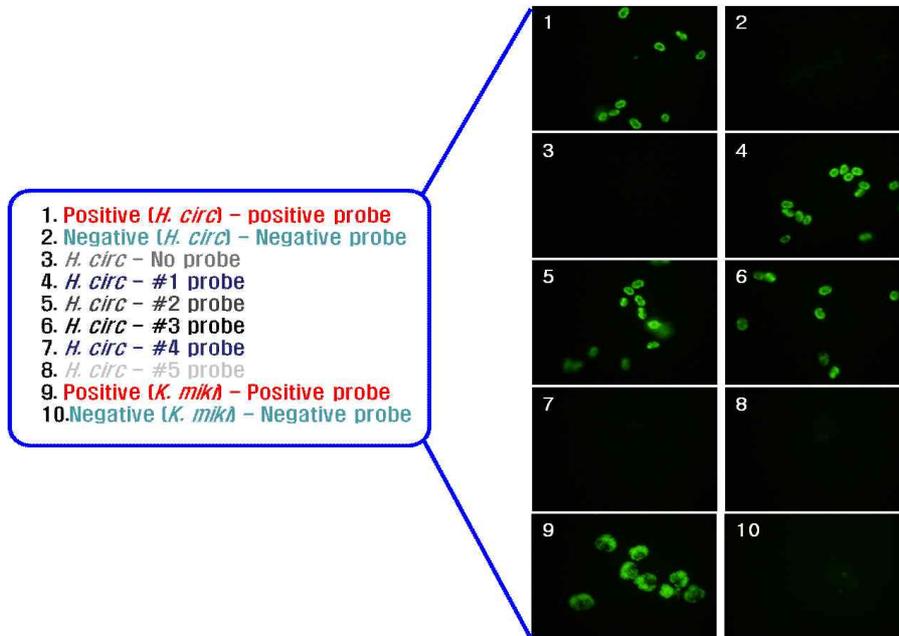


Fig. 3.1.111. Probe test for detecting *Heterocapsa circularisquama*.

## 제 2 절. 유해 생물 탐지 음향시스템 구축과 운용 기술

### 1. 유해 해파리의 음향 특성 연구

#### 가. 연구개발 수행 방법

최근 전 세계적으로 해파리 대발생이 일어나고 있으며 이로 인해 어획량이 줄어들고, 양식장의 어망이 파괴되고, 발전소의 취수구가 막히는 등 다양한 피해를 입고 있다(1970년대 이후로 아프리카의 남미비안에서는 *Chrysaora hysoscella* 와 *Aequorea aequorea* 해파리종이 번식하기 시작하여 생태계의 먹이사슬을 파괴되고 이로 인해 어획량이 줄어들고 있으며 일본에서는 2003, 2004년에 노무라입깃 해파리 (*Nemopilema nomurai*)의 대발생으로 수산업에 큰 피해를 입었고 2007년에는 그 피해액이 백만엔에 달하였다. 전세계의 수산업에 5 %에 달하는 큰 생산량을 가지는 알래스카 서쪽에 위치한 베링해에서도 *Chrysaora*, *Cyanea*, *Aequorea* 해파리종이 번식하여 생태계를 변화시키고 있다. 우리나라에서는 1996년부터 2003년 까지 원자력발전소의 취수구에 해파리가 유입되어 발전 정지 및 감발을 일으켜 수백억의 피해를 일으켰고 일본에서도 1962년부터 현재까지 해파리의 취수구 유입으로 인한 발전소의 피해가 늘고 있다).

따라서 이러한 피해를 줄이기 위해 해파리의 탐지, 분포 및 생체량을 추정하는 연구가 진행 중이다. 현재까지 많이 이용되는 전통적인 방법으로는 어구어법을 이용한 방법과 수중다이버의 목시적 관측법 또는 수중카메라를 이용한 관측법이 있다. 이는 채집면적 및 채집 수층의 제한성이 있어 정량적인 자료 도출에 오차를 만들 가능성이 크고 노동 집약적인 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해서 최근 수산음향을 이용한 해파리 조사방법이 이용되고 있다.

수산음향을 이용한 생물 조사는 넓은 지역을 빠른 시간에 조사 할 수 있을 뿐만 아니라 수 층 전체에 대한 자료를 얻을 수 있다. 또한 어구어법에 비해 노동력이 적게 들고, 저장된 음향 자료는 언제든지 재활용이 가능하고 후처리 과정을 통하여 효과적인 자료를 도출할 수 있는 장점이 있다.

수산음향을 이용한 해파리 탐지를 위해서는 해파리 개체에 대한 음향 특성연구가 선행되어야 하는데 현재까지 연구된 내용은 다음과 같다.

(1) 1996년 터키에서 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)의 TS (Target strength)를 38, 120, 200 kHz의 듀얼빔 센서를 이용하여 측정, (2) 1998년 미국에서 200, 420, 1000 kHz의 음향센서를 이용하여 *Aequorea victoria*와 *Pleurobrachia bacher*에 대해서 개체 TS를 측정, (3) 2001년, 2004년, 2005년 아프리카의 남미비안에서 18, 38, 120, 200 kHz의 주파수 대역을 가지는 음향센서를 이용하여 *Chrysaora hysoscella*와 *Aequorea aequorea* 해파리 종에 대하여 각 개체의 TS를 측정하고 개체수 예측 (4) 2003년 노르웨이에서 음향(38 kHz)센서와 수중카메라를 무인잠수정에 설치하여 *Periphylla periphylla* 개체의 생체량 추정.(5) 2008년 미국에서 120 kHz의 음향센서를 이용하여 *Aurelia*속 해파리에 대한 생체량을 추정. (6) 2009년 일본에서는 듀얼 주파수 식별소나를 이용하여 보름달물 해파리를 탐지. (7) 2009년 일본에서 38, 120, 200 kHz의 센서를 이용하여 노무라입깃해

파리, 유령 해파리(*Cyanea nozakii*), 보름달물 해파리에 대해서 개체 TS를 측정. (8) 2009년 노르웨이에서 수산음향(38 kHz)기법과 수중카메라 그리고 어망을 동시에 이용하여 *Periphylla periphylla* 개체 TS 측정하였고 수직분포도와 행동특성을 연구.

재해 유발생물인 해파리의 음향탐지에 의한 다양한 특성을 파악하기 위해 해파리들이 집중적으로 출현하는 2008년과 2009년 하계-추계시기(8월-11월)에 채집과 함께 개체 음향 반사강도(TS, target strength) 측정, 군체 음향 반사강도 측정 및 현장 음향탐사를 실시하였다. 또한 실측만으로 만족시킬 수 없는 생물의 다양한 움직임과 수중 자세각 및 생태학적 특성을 고려한 음향 모델로서 음향 특성을 추정하기 위한 음향 모델 입력인자를 측정하였다. 군체 음향 반사강도는 체적 후방 산란강도(Sv: volume backscattering strength)를 의미하며 일정 체적 내 존재하는 산란체의 양을 나타낸다.

본 연구의 2008년에는 우리나라 근처에 발생하여 피해를 주는 보름달물해파리, 유령 해파리, 커튼원양 해파리(*Dactylometra quinquecirrha*)에 대한 음향 특성 실험이 실시되었고, 2009년에는 1차년도에 출현하지 않은 노무라입깃해파리를 대상으로 실험을 실시하였다. 노무라입깃해파리는 해파리 중에서 대형종에 속하며 우리나라 수산업 및 레크리에이션산업에 큰 피해를 주고 있는 종으로 노무라입깃 해파리의 음향특성을 파악하는 것이 중요하다. 실험은 음향 신호의 발사 방향을 기준으로 downward-aspect와 side-aspect로 분리하여 측정하였다.

#### (1) 시료 채집

2008년과 2009년 8-11월까지 한국 남해 통영 가두리 주변에 출몰한 보름달물해파리, 유령해파리, 노무라입깃해파리를 채집하였다. 커튼원양해파리의 경우 해파리 시료 채집과 출몰 현황을 위한 현장 조사 중 마산만에서 다수 출몰하고 출현 빈도도 증가하고 있기 때문에 음향 특성 파악을 위해 채집하였다. 해파리를 이용한 음향 특성 파악은 음향 주파수에 따른 개체 음향 반사강도(TS)의 측정을 기본으로 하여 군체의 음향 반사강도(Sv)를 구하는 것이 주된 목적이다. 그 이유는 주파수별 음향 반사강도(TS)의 측정은 다른 어류나 생물체와의 반사강도(TS)와 그 크기를 비교하여 해파리만의 음향 반사강도(TS)를 찾기 위함이다. 또한 해파리의 음향 반사강도(TS)는 추후 해파리의 크기 분포에 대한 자료를 연구하여 조사 해역에 분포하는 해파리의 개체수를 역산할 수 있는 기본 자료이기 때문이다.

해파리를 이용한 또 다른 음향 특성 파악은 이들의 밀도와 음속을 측정하는 것이다. 수중에서의 음향 반사강도(TS)는 기본적으로 음파가 입사되어지는 물체와 주변 해수와의 밀도 및 음속차이에 의해서 반사계수(reflection coefficient)가 결정된다. 음향 반사강도 모델에서 반사계수는 음향 반사강도(TS)와 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 반사계수를 결정짓는 밀도비와 음속비의 측정을 통해 해파리의 음향 반사강도(TS)를 추정할 수 있다.

음향 특성 파악을 위한 해파리 시료 채집은 남해 연안역에서 실시하였다. 해파리는 물과 매우 비슷한 물성을 갖고 있는 것으로 보고되어져 있어 예상되어지는 음향 반사강도(TS)는 크지 않기 때문에 채집 시 매우 조심스럽게 채집하여 공기 중에 해파리가 노출되지 않도록 하였다. 그 이유는 공기 방울은 해수에 비해 밀도는 1000배나 작고 음속은 약 5배 정도 작아 음향 반사강도(TS)가 크기 때문이다. 따라서 해파리에 공기방울이 부착되어졌을 경우, 해파리에 입사되어진 음파는 매우 강한 음향 반사강도(TS)로 나타나 해파리만의 음향 반사강도(TS)를 정확하게 구할 수 없게 되기 때문에 공기와의 접촉이 최소화 되도록 주의 깊게 채집하였다.

채집 방법으로는 2가지 방법을 사용하였다. 수중 다이버를 이용한 방법과 플라스틱 버킷을 이용한 방법이다(Fig. 3.2.1).

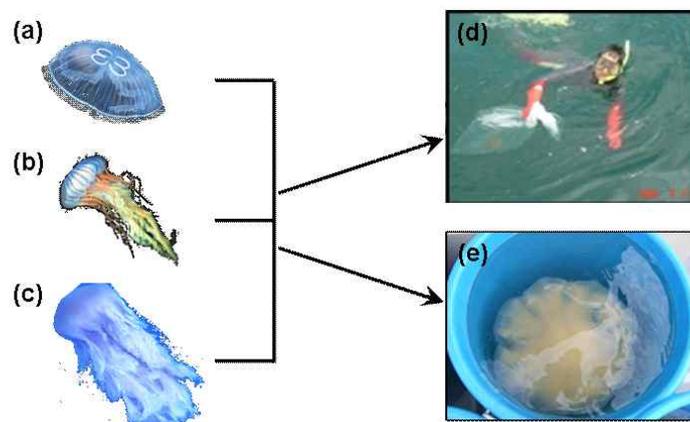


Fig. 3.2.1. Image of jellyfish and method of sampling. (a) *Aurelia aurita*, (b) *Dactylometra quinquecirrha*, and (c) *Cyanea nozakii*. (d) method of diving (e) method of bucket.

수중 다이버를 이용한 방법의 경우 해파리가 공기 중에 노출되어지는 것을 방지하기 위해 커다란 비닐을 이용하여 위아래가 뚫린 원통형으로 만든 후, 이를 현장 해수 중에 넣어 실린더 모양 비닐에 붙은 공기방울들을 제거하였다. 그런 후 채집을 위한 해파리를 수중에서 원통형 비닐 안에 위치시킨 후 뚫린 위쪽과 아래쪽을 각각 수중에서 묶어 공기 중에 노출되지 않도록 하였다. 플라스틱 버킷을 이용한 방법의 경우 해파리가 공기 중에 노출되어지는 것을 방지하기 위해 입구 지름 60 cm 크기의 40 L 플라스틱 버킷을 사용하였다. 해수면과 높이차가 낮은 소형 선박을 이용하여 표층 근처에 출현한 해파리를 플라스틱 버킷으로 주변 해수와 함께 담아 이를 소형 선박위로 올려 해파리를 채집하였다.

수중 다이버를 이용한 방법의 경우 소형 해파리인 보름달물해파리와 커튼원양해파리에 대해서는 유효하지만 유령해파리와 같이 우산 직경(bell diameter)이 30-50 cm 정도 되는 중형 해파리의 경우 플라스틱 버킷을 이용한 방법이 유효하였다. 또한 플라스틱 버킷을 이용하여 소형 해파리를 채집하는 것도 수중 다이버를 이용한 방법보다는 여러 가지 면에서 유리하여 플라스틱 버킷을 이용한 채집을 대부분 활용하였다.

2008년 8월에는 수중 다이버를 이용하여 마산만 및 거제도과 통영사이 해역에서 보름달물해파리와 커튼원양해파리를 채집하였다. 2008년 9월에는 보름달물해파리를 채집하였고 10월에는 보름달물해파리와 유령해파리를 채집하였다. 2009년 8월 4일부터 15일까지 한국 남해 통영 가두리 주변에 출몰한 노무라입깃해파리를 채집하였다. 채집된 노무라입깃해파리는 샛돔, 매끈등 꼬마새우와 같은 공생생물을 포함하고 있었으나 자연 상태의 조건과 동일한 조건에서 TS를 측정하기 위하여 공생어류를 인위적으로 제거하지 않았다. 시료 채집방법과 채집 개체수, 채집 해파리 종 및 채집 지역은 Table 3.2.1과 같다. 채집되어진 해파리들은 선박을 이용하여 음향 실험을 위한 통영 가두리로 운반하였고 통영 가두리 내 설치되어 있는 3 m 깊이의 어망 내에 채집한 해파리를 방류시켜 보관하였다.

Table 3.2.1. Species, total number of jellyfish and method of Sampling

Species	No. of jellyfish	Sampling		
		date	area	method
<i>Aureila aurita</i>	12	2008. 08. 14	Tongyong	diving
<i>Dactylometra quinquecirrha</i>	3	2008. 08. 14	Tongyong	diving
<i>Aurelia aurita</i>	30	2008. 09. 04	Tongyong	plastic bucket
<i>Cyanea nozakii</i>	26	2008. 10. 08	Tongyong	plastic bucket
<i>Cyanea nozakii</i>	4	2008. 11. 04	Tongyong	plastic bucket
<i>Nemopilema nomurai</i>	31	2009. 08. 04, 2009. 08. 05	Tongyong	diving & plastic bucket

## (2) 채집된 해파리의 우산 직경(bell diameter)과 습중량(wet weight) 측정

채집된 해파리의 음향 특성 파악을 위해 필요한 지표로서 우산 직경(bell diameter)과 습중량(wet weight)을 측정하였다. 우산 직경을 지표로 하여 측정된 해파리의 분류와 다른 크기간의 비교가 가능하다. 일반적으로 파장에 비해 음향 산란체의 반경이 작은 경우 geometrical scatter라고 하고 음향 산란체의 크기가 크고, 주파수가 증가 할수록 개체 음향 반사강도(TS)는 크게 나타나는 것으로 알려져 있다. 따라서 동일한 종류의 해파리에 대해 우산 직경에 따른 개체 음향 반사강도(TS)의 변화를 알아보기 위해서는 실험에 사용된 해파리의 우산 직경 측정이 필요하다. 해파리의 우산 직경은 2가지 방법으로 측정하였다. 우선, 바닥에 1 cm 간격으로 수평, 수직선 긋고 물을 채운 투명수조 내에 해파리를 넣고 일반적인 유영 상태에서의 우산 직경을 측정하였다(Fig. 3.2.2(a)). 해파리의 우산(umbrella)은 해파리의 생리적인 상태에 따라서 수축과 팽창을 반복하는 주기가 다른 것으로 관찰되었고 이러한 우산 직경 변화 중 관찰 시간 동안 가장 높은 빈도를 갖는 크기의 우산 직경을 수중 우산 직경으로 하였다. 다른 방법으로는 개체 음향 반사강도 실험이 끝난 해파리를 공기 중으로 꺼낸 후 눈금자를 이용하여 공기 중 우산 직경을 측정하였다(Fig. 3.2.2(b)). 일반적으로

후자의 방법을 많이 사용하는데, 이는 정확한 크기를 측정하기 위함으로 본 과제 성격상 후자 보다는 전자의 방법이 보다 효율적이다. 그 이유로 본 과제는 수중에서 유영 중인 해파리를 대상으로 하여 음향을 이용한 탐지가 목적이기 때문에, 공기 중 우산 직경을 추후 개체수 및 생체량 추정에 이용하는 것은 실제 수중에서 자유 유영하고 있는 해파리의 우산 직경을 고려한 것이 아니기 때문에 개체수 및 생체량을 추정하였을 때 그 오차가 커지게 된다. 반면, 전자의 경우 수중에서 수축과 팽창을 반복하는 우산 직경 중 주요한 우산 직경을 측정함으로써 이러한 오차를 최소화할 수 있기 때문이다.

수중 우산 직경의 경우 개체 음향 반사강도(TS) 실험 실시 전에 측정하였고, 공기 중 우산 직경의 측정은 개체 음향 반사강도(TS) 실험이 끝난 후 측정하여 해파리가 개체 음향 반사강도(TS) 실험 이전에 공기에 노출되지 않게 하기 위해서이다. 이 과정에서 일부 해파리의 우산이 개체 음향 반사강도(TS) 측정 실험 시 사용했던 가느다란 줄에 의해 우산이 찢어지는 일이 발생하여 정확한 공기 중 우산 직경을 측정하지 못한 경우가 있었다. 이러한 경우 측정된 공기 중 우산 직경과 수중 우산 직경에 의한 직선 회귀 분석을 통해 얻어진 1차 관계식을 이용하여 공기 중 우산 직경을 추정하였다.

우산 직경 측정이 끝난 해파리는 습중량을 측정하였다. 습중량은 해파리 표면에 묻어 있는 수분을 제거한 후 해파리에 묻어 있는 물이 더 이상 떨어지지 않을 때까지 건조 후 측정하였다.

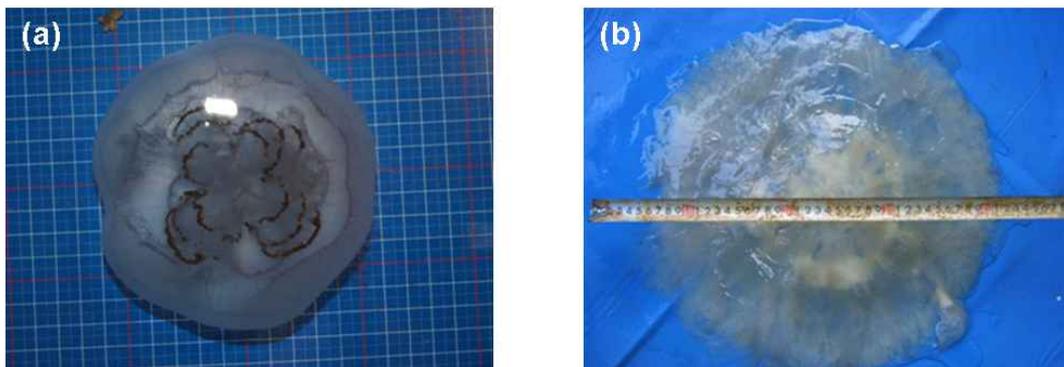


Fig. 3.2.2. Measurement of jellyfish umbrella diameter in water (a) and in air (b).

### (3) 개체 음향 반사강도(TS) 및 군체 음향 반사강도(Sv) 측정

해파리 개체의 음향 반사강도(TS) 측정은 2008년 8월-11월 사이 통영에 위치한 바다목장 가두리에서 실시하였다. 해파리의 음향 특성 분석을 위한 기본적인면서 가장 중요한 개체 음향 반사강도(TS) 측정을 위해 사용된 음향 시스템은 38, 120, 200, 420 kHz 음향 센서를 장착한 과학어군탐지기(scientific echosounder, BioSonics, Inc, DT-X)이다. 4개의 음향 센서는 수중에서 수직적으로 해파리 개체 음향 반사강도(TS) 측정을 위해 제작된 장치에 부착하여 동시에 측정하였다(Fig. 3.2.3).

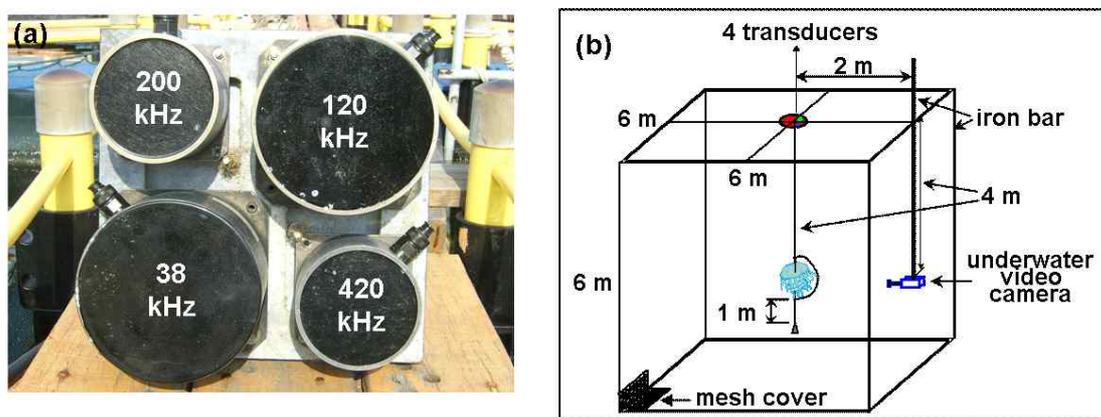


Fig. 3.2.3. Experimental facilities (a) acoustic transducers and (b) experimental 해 파 diagram.

리는 물성이 주변 해수와 매우 유사하여 개체 음향 반사강도(TS)가 크지 않기 때문에 가로 6 m, 세로 6 m, 높이 6 m 크기의 어망을 제작해 어망 안에서 실험하였다. 이는 주변에 존재하는 다른 음향 산란체들이 어망 내부로 들어오지 못하도록 하여 이들로 부터의 간섭을 최소화하기 위한 것으로 해파리만의 개체 음향 반사강도(TS)를 구하기 위함이다(Fig. 3.2.3(b)).

채집된 해파리는 수중 우산 직경(bell diameter)과 습중량(wet weight)를 측정한 후 가느다란 실이 달린 바늘을 이용해 해파리 우산(umbrella) 정중앙에서 입다리(oral lobe) 방향으로 관통해 해파리가 가느다란 실에 매달리도록 하였다. 또한 실험 현장에 존재하는 조류와 해파리의 유영으로 음향 센서의 빔축(beam axis)에서 해파리가 벗어나는 것을 방지하고 가느다란 실이 팽팽하게 펴지도록 무게추(weight)를 설치하였다. 무게추는 해파리로부터 약 1.0-1.5 m 아래에 설치하였다. 이러한 일련의 실을 관통시키는 등의 작업은 모두 수중에서 실시하여 해파리 체내 또는 표면에 공기 방울이 부착되지 않도록 하였다. 가느다란 실에 매달려 해파리는 실을 타고 수직적인 움직임이 가능하다. 따라서 해파리가 상승하여 센서에 가깝게 붙거나, 하강하여 무게 추에 걸치지 않고, 일정한 수심을 유지할 수 있도록 별도의 가느다란 실 1개를 이용해 해파리 우산(umbrella) 위쪽에서 부터 입다리(oral lobe) 아래쪽까지 매듭 하였다.

준비된 해파리 시료는 어망 내에서 음향 센서면으로부터 3.5-4.2 m 사이에 떨어진 수심에 해파리가 위치하도록 하였다. 38, 120, 200 및 420 kHz 4개의 음향 주파수별로 초당 5펄스씩 15-30 분 정도 음향 신호를 수신하였다. 해파리의 개체 음향 반사강도(TS) 측정을 위한 음향 파라미터는 Table 3.2.2와 같다.

Table 3.2.2. Acoustic parameter of experimental facilities

Parameter	38 kHz	120 kHz	200 kHz	420 kHz
Source level (dB// $\mu$ Pa)	217.8	221.6	221.5	218.5
Pulse width (ms)	0.2	0.2	0.2	0.2
Beam width (degree)	10.4	7.5	6.6	6.8
Ping rate (pings/sec)	5	5	5	5
Absorption coefficient (dB/m)	0.006	0.041	0.074	0.132
Collection range (m)	15	15	15	15

이러한 음향 파라미터와 지금까지의 실험 방법으로 해파리의 개체 음향 반사강도(TS) 측정 시 고려되어야 할 중요한 사항은 유영 자세각이다. 일반적으로 어류의 경우 수중에서 자유롭게 헤엄치는 유영각도가 있고, 외부로부터의 위협이 존재하지 않는 한 유영각도의 범위는 크게 변하지 않는다. 개체 음향 반사강도(TS) 실험은 음향만을 이용한 실험이기 때문에 이러한 해파리의 유영각도 정보는 알 수 없다. 따라서 해파리의 유영각도에 따른 음향 반사강도(TS) 크기 변화를 파악하기 위해 수중 비디오카메라를 설치하여 해파리의 유영각도를 관찰하였다. 수중 비디오카메라는 해파리로부터 약 2 m 떨어진 측면에 설치하였고 연속적으로 영상을 저장하여 추후 해파리 개체 음향 반사강도(TS) 자료와 비교하도록 하였다.

해파리의 개체 음향 반사강도(TS)와는 달리 군체 음향 반사강도(Sv)는 음향으로 탐지된 목표물로부터 관측되어진 신호를 시간과 수심의 함수로서 적분한 것이다. 개체 음향 반사강도(TS)의 경우 일정 간격으로 탐지된 목표물의 음향 신호 중 그 간격 내에 존재하는 가장 큰 신호를 나타낸 것인 반면, 군체 음향 반사강도(Sv)는 사용자에게 의해 정의된 수심과 시간 간격에 따라 탐지된 음향 신호를 적분함으로써 그 수심과 시간 사이에 존재하는 음향 신호의 크기를 나타낸 것이다. 따라서 군체 음향 반사강도(Sv)의 경우 많은 양의 개체수가 분포하거나, 크기가 큰 개체가 존재할 경우 상대적으로 큰 값으로 나타나 생물의 자원량을 추정하는데 사용되어진다. 따라서 해파리의 군체 음향 반사강도(Sv) 측정을 위해 2개체에서 9개체까지의 보름달물해파리를 수평 또는 수직으로, 2, 4개체의 유령해파리를 수직으로 매달아 실험하였다(Fig. 3.2.4). 방법은 개체 음향 반사강도(TS) 측정과 동일한 방법을 사용하였다.

해파리의 평균 음향산란강도 계산은 후방산란 cross-section ( $\sigma_{bs} = 10^{TS/10}$ )을 이용하여 구할 수 있고 계산식은 다음과 같다.

$$\overline{\sigma_{bs}} = \frac{1}{n} \sum_i^n \sigma_{bsi}, \quad TS_{mean} = 10 \log_{10}(\overline{\sigma_{bs}}) \quad (1)$$

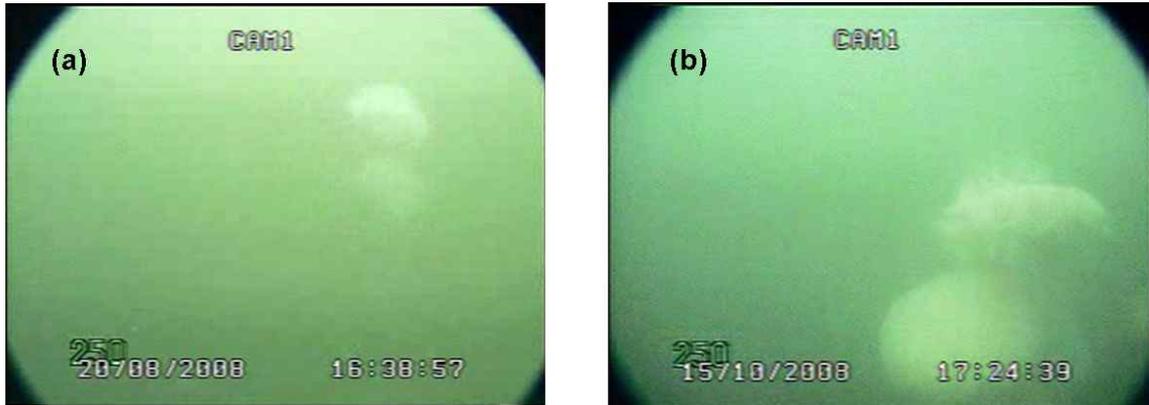


Fig. 3.2.4. Photographic image using under water camera (a) three *Aurelia aurita* and (b) two *Aurelia aurita*.

#### (4) 해파리 체내의 물리특성 파악

생물을 이용한 개체 음향 반사강도(TS) 측정 실험은 생물을 대상으로 하는 실험이기 때문에 개체 음향 반사강도(TS)의 편차를 결정짓는 많은 요소들이 있다. 우선 생물의 실험 당시 상태, 생리적인 특성, 유영 자세각 및 크기에 대한 고려가 필요하다. 따라서 개체 음향 반사강도(TS) 측정은 다수의 크기와 형태를 갖는 개체수를 이용하여 실험이 이루어야 한다. 그러나 해파리의 경우 음향 실험을 위한 시료를 확보할 수 있는 시기가 국한되어 있고 또한 시료를 산 채로 장기간 보존하기가 쉽지 않아 개체 음향 반사강도(TS)의 측정이 용이치 않다. 더욱이 모든 해파리의 생리적인 특성과 유영 자세각 및 크기에 대해 실험하는 것은 불가능하다. 따라서 음향 반사강도 추정을 위한 모델을 사용하여 기존에 연구되어진 실험 자료와의 연계성을 통해 이러한 부족한 점을 보완하게 된다. 해파리 음향 반사강도 추정을 위한 모델은 현재까지 정립된 것이 없다. 게다가 해파리의 경우 우산 직경(bell diameter)의 수축과 팽창으로 크기가 변하기 때문에 모델을 이용한 예측이 용이하지 않다. 그러나 해파리 체내의 물리적인 특성을 파악함으로써 해파리에 의한 개체 음향 반사강도 추정이 가능한 모델이 개발된 것이 있다. 그러나 아직 미완성 된 것으로 추가적인 보완과 검증이 필요하다. 이러한 해파리 개체 음향 반사강도(TS) 추정 모델의 입력 자료는 유영 자세각, 크기, 수중 우산 직경(bell diameter)의 변화 및 해파리 체내의 물리적인 특성인 음속비와 밀도비가 사용된다. 크기는 시료를 확보해서 직접적인 측정이 가능한 반면, 유영 자세각과 수중 우산 직경(bell diameter)의 측정은 수중 카메라를 이용해 간접적으로 분석하는 방법이 사용되어진다. 하지만 해파리 체내 음속비와

밀도비의 경우 해파리가 주변 해수의 물성과 매우 유사하기 때문에 측정이 어렵지만 모델 입력 자료 중 가장 중요한 입력 자료이다. 따라서 추후 모델을 이용한 해파리의 음향 반사강도(TS) 추정을 위해 해파리 체내 음속과 밀도를 측정하였고, 모델 입력 자료로 사용하기 위해 주변 해수와의 비로써 구하였다.

해파리 밀도비와 음속비를 구하기 위한 시료는 개체 음향 반사강도(TS) 측정 실험과 마찬가지로 방법으로 채집하였다. 우선 음속비의 경우 두 개의 음향센서를 이용하여 음향센서 사이에 해파리가 있을 때와 없을 때의 시간차를 이용해 해파리의 음속을 구하는 방법인 time-of-flight method를 사용하였다(Fig. 3.2.5(a)).

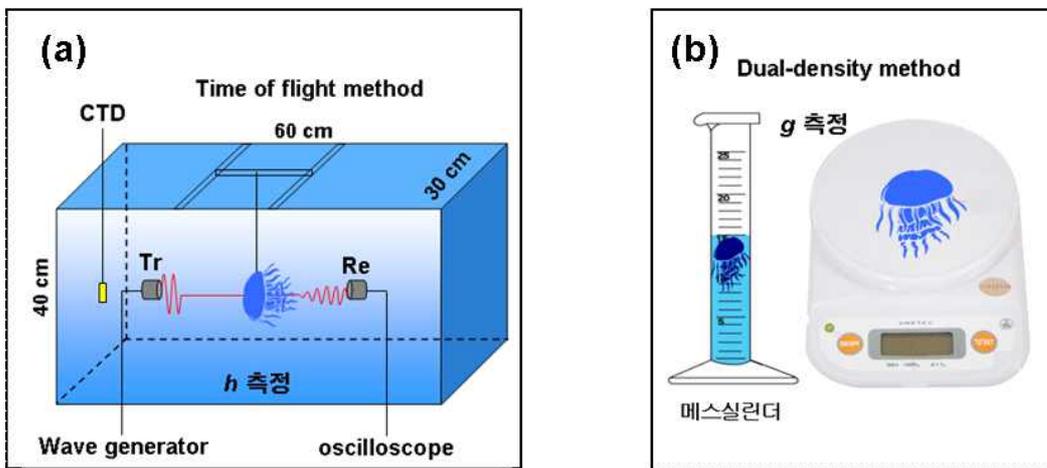


Fig. 3.2.5. Scheme for measurement of the sound speed (a) and the density (b) contrast of jellyfish.

밀도비의 경우 간단한 질량과 부피와의 관계식을 이용해 구할 수 있지만, 해파리의 물성이 물과 매우 비슷하기 때문에 이러한 단순한 방법을 사용해 구할 경우 오차가 매우 크게 된다. 따라서 dual-density method를 이용해 해파리의 밀도비를 측정하였다. 이 방법은 이미 알고 있는 서로 다른 밀도를 갖고 있는 2개의 액체와 시료를 섞어 일정 부피를 만든 후, 무게와 혼합 액체의 밀도를 측정함으로써 시료의 부피와 밀도를 구하는 방법이다(Fig. 3.2.5(b)). 이 방법의 장점은 해파리로부터 물기를 제거해야 할 필요가 없고, 해파리의 부피를 직접적으로 측정하지 않아 오차를 줄일 수 있어 동물플랑크톤과 같은 소형 개체의 밀도를 측정하는데 사용되어지고 있다.

이러한 방법을 이용하여 보름달물해파리와 유령해파리에 대한 밀도비와 음속비를 측정하였다. 그러나 보름달물해파리나 유령해파리의 크기가 수 cm-수십 cm 에 이르기 때문에 1개체를 전부 사용해서 측정하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 해파리의 부분별 물성이 모두 같다는 가정하에 측정에 유리한 우산(umbrella)을 이용하여 밀도비와 음속비를 측정하였다. 보름달물해파리의 경우 우산(umbrella)을 “+”자 모양으로 4 등분하여 음속비와 밀도비를 측정하였고, 유령해파리의 경우 밀도비 측정을 위한 메스실린더 내에 들어갈 수 있는 크기로 잘라서 하였으며, 음속비 측정은 이보다 큰 크기로 잘라서 측정하였다.

(5) 해파리 음향 모델

(가) 노무라입깃 해파리의 음향모델

음향모델은 1993년 Stanton의 음선기반모델을, 1998년 Mongel이 해파리의 반구형 형상을 적용하여 수정하였다. 해파리 모델의 기하학적 형상을 Fig. 3.2.6에 나타내었다. 노무라입깃 해파리의 음향산란강도 모델링시 해파리의 우산만을 고려하였고 해파리가 수중에서 자유 수형할 때 해파리 우산의 수축과 팽창을 고려하여 모델링 하였다.

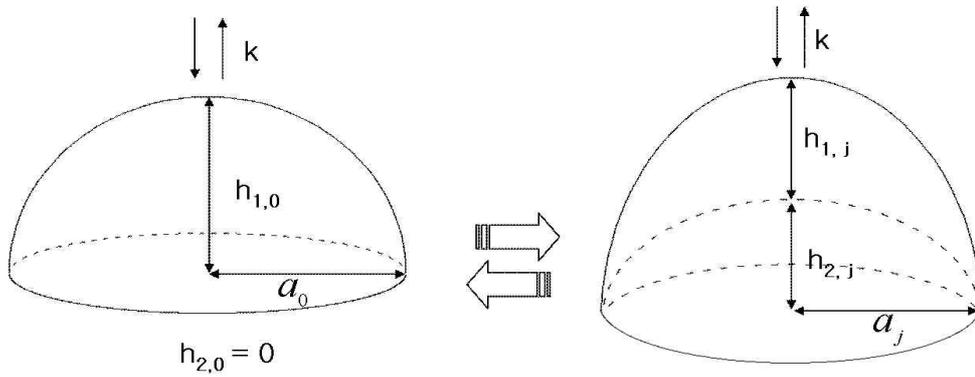


Fig. 3.2.6. Geometric shape of jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using acoustic model (Expansion of the umbrella (left), Contraction of the umbrella (right)).

모델에 사용된 식은 다음과 같다.

$$\sigma_{bs} = |f|^2, \quad f = \frac{aR_{12}}{2}(e^{-i2ka\rho_1} - T_{12}T_{21}e^{-i2ka\rho_2}e^{i\mu(ka)}) \quad (3.5.1)$$

$$\mu(ka) = -\frac{\pi}{2} \frac{ka}{(ka+0.4)} \quad (3.5.2)$$

$$f_{norm} = \frac{a_j R_{12}}{2a_0 \sqrt{\pi}}(e^{-i2ka_0\rho_{1,j}} - T_{12}T_{21}e^{-i2ka_0\rho_{2,j}}e^{i\mu(ka_j)}) \quad (3.5.3)$$

$$\overline{|f_{norm}|^2} = \frac{1}{200} \sum_1^{200} |f_{norm}| \quad (3.5.4)$$

$$\overline{RTS} = 10 \text{Log}(\overline{|f_{norm}|^2}) \quad (3.5.5)$$

여기서  $a$ 는 해파리 우산의 반지름,  $R_{12}$ 는 수중에서 해파리 우산으로 진행되는 파의 반사계수,  $k$ 는 파수,  $\rho_1$ 는  $h_{1,j}/a_j$ ,  $T_{12}$ 는 수중에서 해파리 우산으로 진행되는 파의 투과계수,  $T_{21}$ 는 해파리우산 내부에서 수중으로 진행되는 파의 투과계수,  $\rho_2$ 는  $h_{2,j}/a_j$ 을 나타낸다. 모델의 반사계수 계산 시 해파리의 밀도비와 음속비는 Hirose(2009)의 논문에서 최대값(음속비: 1.0098, 밀도비: 1.019)을 인용하였다.

해파리는 수중에서 자유수영하기 때문에 우산의 수축과 팽창을 반복하게 된다. 따라서 이를 음향 산란강도에 적용하기 위해서 측정된 최대 우산직경에서 70 %의 크기까지 linear interpolation을 이용하여 총 200개의 우산직경을 얻고 계산한 값을 평균하였다(식 3.5.5). 여기서 70 %의 우산직경을 고려한 이유는 총 10마리의 노무라입깃 해파리의 수중카메라에서 얻은 영상을 이용하여 최대, 최소의 비를 구한결과 0.7을 나타냈기 때문이다. Fig. 3.2.7은 해파리 우산직경의 최대, 최소비를 구하기 위해 영상을 캡처하여 길이를 구한 것으로 이때 길이는 해파리의 우산의 최대 최소비를 구하기 위한 상대값을 나타낸 것이다.

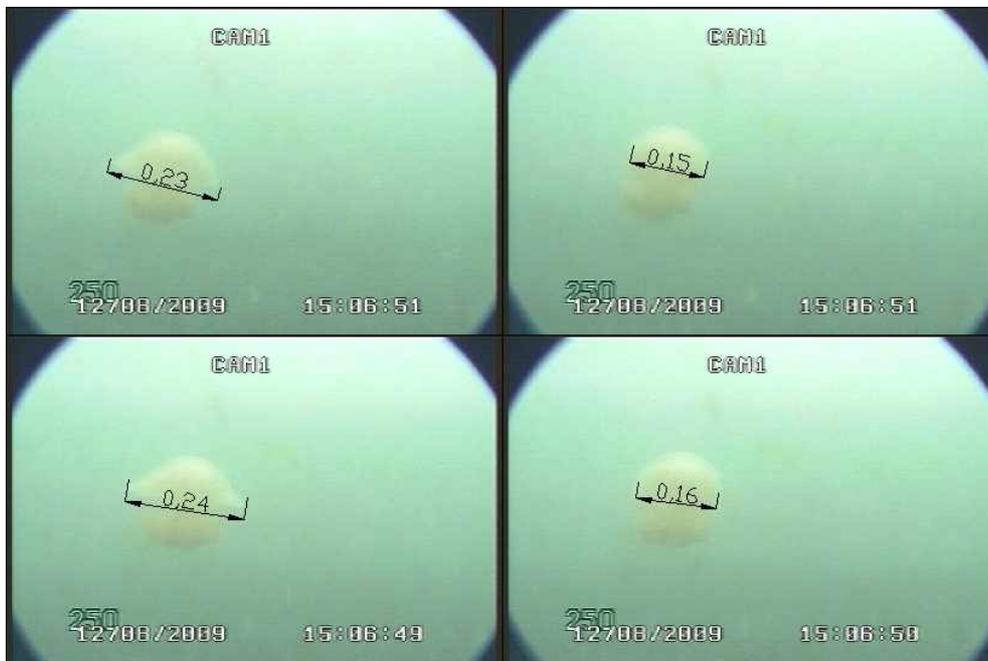


Fig. 3.2.7. Photographic image of jellyfish (*Nemopilema nomurai*) under water camera (bell diameter: 32 cm, expansion and contraction of the umbrella).

#### (나) 크릴새우의 음향모델

해파리의 음향산란강도 측정시 공생생물인 꼬마새우를 고려하기 위하여 음향모델을 적용하였다. 꼬마 새우의 밀도비와 음속비는 측정되거나 발표된 것이 없기 때문에 동해 크릴새우(*Euphausia pacifica*)의 밀도비와 음속비를 이용하여 모델링 하였다(Medwin, 1998). 사용한 음향 모델은 Bent cylinder acoustic model로 새우의 형상(Fig. 3.2.8)을 고려할 때 사용된다.

모델 식은 다음과 같다.

$$\sigma_{bs} = |f|^2, \quad f = -i \frac{L_{cbc}}{2\sqrt{\pi}} [(ka)]^{1/2} \frac{\sin \Delta}{\Delta} R_{wb} \times e^{-i2ka} [1 - T_{wb} T_{bw} e^{-i4k_b a + i\mu_b}] \quad (3.5.6)$$

$$\Delta = k_b L \sin \chi \quad (3.5.7)$$

$$\mu(ka) = -\frac{\pi}{2} \frac{k_b a}{(k_b a + 0.4)} \quad (3.5.8)$$

$$L_{cbc} = \left( \frac{\pi}{4k\beta} \right)^{1/2} [C(\xi) + iS(\xi)] \quad (3.5.9)$$

$$C(\xi) = \int_0^\xi \cos\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi, \quad S(\xi) = \int_0^\xi \sin\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi \quad (3.5.10)$$

$$\xi = 2L\sqrt{k\beta/\pi} \quad (3.5.11)$$

여기서  $k$ 는 수중에서의 음파의 파수,  $a$ 는 새우의 반지름,  $R_{wb}$ 는 수중에서 새우몸체로 진행되는 파의 반사계수,  $T_{wb}$ 는 수중에서 새우몸체로 진행되는 파의 투과계수,  $T_{bw}$  새우몸체 내부에서 수중으로 진행되는 파의 투과계수,  $k_b$ 는 새우몸체 내부에서의 음파의 파수,  $\chi$ 는 산란각을 나타낸다. 식 3.5.10은 Fresnel integral로 Abramowitz and Stegun(1964, sec.7.3)의 정규식을 이용하여 구할 수 있다.

새우의 음향산란 모델시 채집된 새우의 체장과 반지름을 고려하여 새우의 반지름은 3 mm, 체장은 3 cm로 설정하였다.

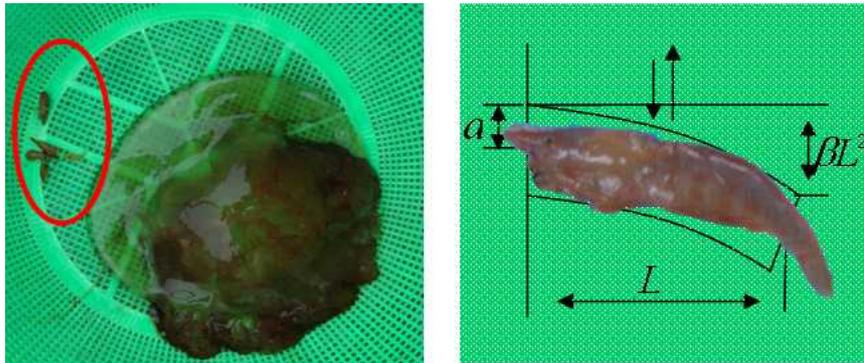


Fig. 3.2.8. Shape of jellyfish symbiosis (left), shape of shrimp using acoustic model (right).

(다) 노무라입깃해파리의 음향 특성

Downward-aspect 음향 특성 파악은 선박 혹은 해상 부이에서의 음향 탐지에 활용이 가능하나 음향 시스템을 특정 구조물에 설치하여 운용할 때는 측면에서 수신되는 음향 신호를 고려해야 하므로 side-aspect 음향 특성 실험을 실시하였다.

① 해파리 채집

해파리 채집은 2009년 8월 18일부터 9월 12일까지 시행되었고 Downward-aspect의 경우와 같은 방법을 사용하였다. 총 21마리의 노무라입깃해파리를 채집하여 실험하였고 채집된 해파리의 우산 직경은 18-79 cm, 습중량은 500-2,400 g 이었다.

② 실험장치 set up

Side-aspect 음향실험 장소와 사용된 음향센서는 Downward-aspect의 실험과 동일하고 음향센서, 수중카메라 그리고 해파리의 위치가 수정되었다.

음향센서는 어망 (6 m × 6 m × 6 m) 내 수심 3.5 m 지점에 수평으로 빔을 방사할 수 있도록 설치하였고 해파리는 센서와 같은 수심에 3.5 m 거리를 유지하도록 하였다. 카메라는 해파리와 동일 수심에 2 m의 거리를 두고 설치하였다(Fig. 3.2.9).

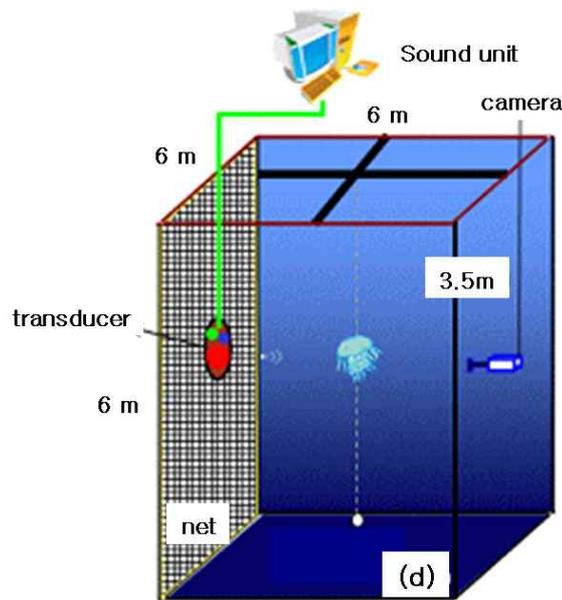


Fig. 3.2.9. Schematic of acoustic experiment of jellyfish (*Nemopilema nomurai*, side-aspect).

### ③ 음향산란강도 측정

Fig. 3.2.10은 Echoview program을 이용하여 우산직경 79, 67 cm의 해파리에 대한 38 kHz, 420 kHz의 음향신호를 나타낸 것이다. 측면 센서로부터 약 3.5 m 떨어진 음향 신호에서 노무라입 깃해파리의 음향 신호는 해수중의 미소 산란체들과의 음향 산란강도 차이가 뚜렷하여 음향 탐지의 가능성을 보여주고 있다.

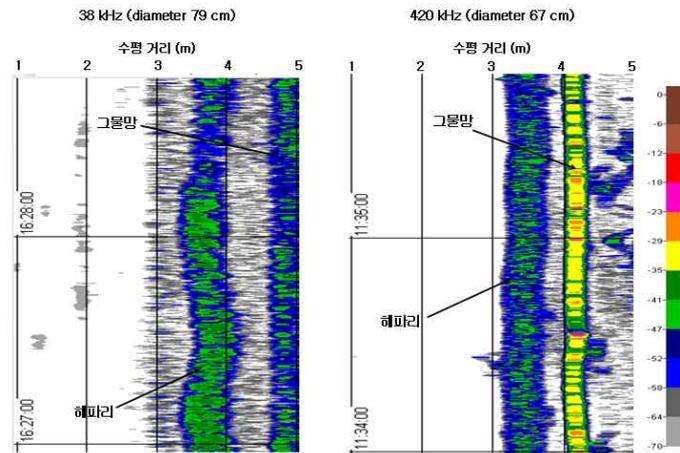


Fig. 3.2.10. Example of acoustic signal (side-aspect jellyfish, diameter: 79 cm [38 kHz], diameter: 67 cm [420 kHz]).

### (6) 해양에서의 해파리 음향 신호 특성

해파리의 개체(TS) 및 군체 음향 반사강도(Sv) 실험을 통해 보름달물해파리, 커튼원양해파리 및 유령해파리의 음향 특성을 분석하였고, 이러한 신호 특성과 현장 해파리 음향 신호 비교 분석을 위한 해양에서의 해파리 음향 신호 특성 조사로 연구 대상해역인 남해 여수 지역을 조사하였다. 조사 시기는 2008년 9월에 하였고 조사 해역은 광양만 지역부터 여수 금오도 남단의 동-서 해역까지였다. 조사에 사용되어진 음향 시스템은 200 kHz 음향 센서를 장착한 예인체를 소형 어선으로 예인하며 조사하였다(Fig. 3.2.11). 또한 음향 시스템으로 탐지된 신호와 해파리 분포 여부의 비교를 위해 저인망 트롤을 이용해 샘플링하였다.

또한 현장 음향 자료에서 해파리의 음향 특성을 알아보기 위하여 이전 실험 자료인 2002년 동중국해, 2004-2006년 일본 서부 연안에서 얻어진 해파리 음향 자료를 이용하여 비교하였다(Fig. 3.2.12).

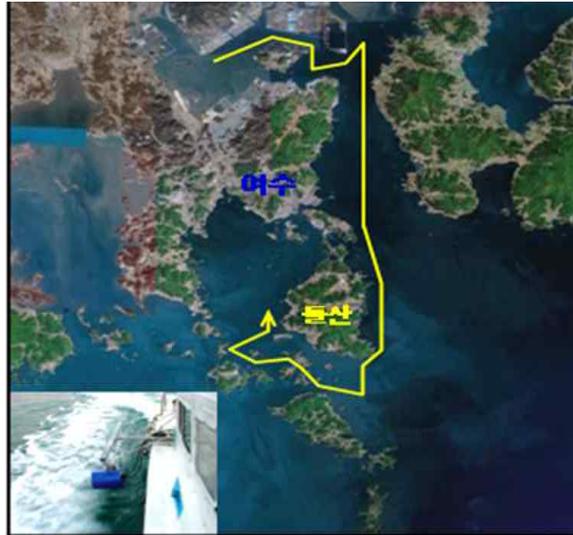


Fig. 3.2.11. Acoustic transect for detecting jellyfish.



Fig. 3.2.12. Survey area in 2002, 2006.

## 나. 연구개발 수행 결과 및 토의

본 과제에서는 우리나라 남해로 대량 유입되는 해파리의 탐색을 위해 음향 기법을 적용하고자 하였으며, 첫 번째 연구 과정으로 생물체 음향 탐지의 핵심이 되는 해파리의 음향 특성을 파악하였다.

해파리의 음향 특성 파악을 위한 실험은 2008년과 2009년 남해 연안에서 채집된 해파리를 대상으로 실시하였다. Fig. 3.2.13은 해파리 음향 특성 파악 실험의 순서 및 방법을 순차적으로 나타낸 것이다.

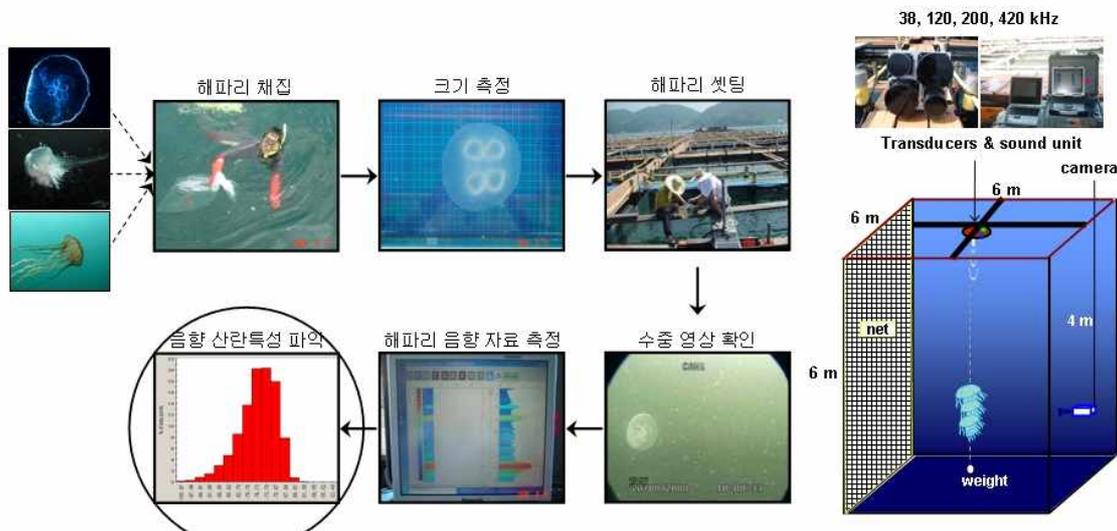


Fig. 3.2.13. Method for measuring the acoustical characteristics of jellyfish.

### (1) 해파리 우산 직경과 습중량과의 관계

해파리 개체 음향 반사강도(TS)와 군체 음향 반사강도(Sv) 및 밀도비와 음속비를 측정하기 위해 사용한 해파리의 수중 및 공기 중 우산 직경(bell diameter)과 습중량(wet weight)을 측정하였다. 수중 우산 직경은 수축과 팽창을 반복하는 해파리의 수중 가장 높은 빈도를 나타내는 우산 직경을 의미하고 공기 중 우산 직경은 공기 중에서 해파리를 바닥에 최대한으로 넓게 펼친 후 눈금자를 이용해 측정한 것이다.

보름달물해파리의 경우 총 39개체를 이용하여 우산 직경과 습중량을 측정하였다. Fig. 3.2.14(a)는 수중 우산 직경과 공기 중 우산 직경의 직선 회귀 분석법으로 나타낸 것으로 직접 측정이 이루어진 19개체에 대한 것이고, Fig. 3.2.14(b)의 경우 Fig. 3.2.14(a)에 의해 얻어진 1차 관계식을 이용하여 수중 우산 직경과 공기 중 우산 직경을 표현한 것이다. 보름달물해파리의 경우 수중 우산 직경은 8-20 cm (n=39)의 분포를 보였다. 공기 중 우산 직경은 10-22 cm의 분포를 보였다. 습중량은 75-416 g의 분포를 보였으며 우산 직경에 비례하여 습중량이 증가하였다.

수중 우산 직경의 크기와 공기 중 우산 직경의 크기와는 매우 유의한 상관관계가 있는 것으로 조사되었다. 보름달물해파리의 수중 우산 직경이 10 cm 인 경우와 14 cm 인 경우 공기 중 우산 직경은 각각 11-13 cm, 15-18 cm 인 것으로 나타났는데, 이는 보름달물해파리의 형태적인 차이나 생리적인 요인, 주변 환경요인 및 우산 직경을 측정하는 주관적인 관찰 등에 의해 다르게 나타날 수 있으나 그 오차는 크지 않다. 실제로 채집한 보름달물해파리 중 우산의 형태적인 특징이 다르나 공기 중 우산 직경의 크기는 동일한 개체를 찾아볼 수 있었다. Fig. 3.2.14(c)는 수중 우산 직경과 습중량의 관계를 나타낸 것이다. 총 39 개체에 대해 측정하였고 수중 우산 직경과 습중량은 비례관계를 갖고 있었으나, 몇몇 수중 우산 직경의 크기가 비슷한 개체의 경우 습중량의 차이가 큰 편차를 갖고 있었다.

20개체의 유령해파리를 이용해 수중 우산 직경과 공기 중 우산 직경과 습중량을 측정하였다. 유령해파리의 수중 우산 직경은 18.5-44.0 cm의 분포를 보였고, 공기 중 우산 직경은 19-46 m를 보였으며, 수중 우산 직경과 공기 중 우산 직경은 유의한 관계를 보였다(Fig. 3.2.15(a)). 특히, 유령해파리는 공기 중 우산 직경과 수중 최대 우산 직경은 거의 비슷한 크기를 갖는 것으로 나타났다(Fig. 3.2.15(b)). 이는 유령해파리의 근조직이 다른 해파리에 비해 발달하였기 때문에 수중에서 우산을 공기 중 우산 직경 크기와 유사할 정도로 크게 팽창 시킬 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 수중 우산 직경과 습중량은 비례관계를 보였으며, 690-8,765 g의 분포를 보였다. 유령해파리의 습중량이 무거워 체내에 붙어 있는 수분에 의한 오차가 상대적으로 작아, 보름달물해파리에 비해 유의성이 높게 나타났다(Fig. 3.2.15(c)).

노무라입깃해파리의 음향특성을 측정하기 위해 통영 가두리 양식장내에서 음향실험을 실시하였다. Fig. 3.2.16은 전체적인 실험 순서를 나타낸다. 장비 세팅시 센서가 설치된 위치에 따라 Downward-aspect와 Side-aspect로 나누어 실험하였다.

음향특성을 분석하기 전에 채집된 노무라입깃해파리의 습중량(W, g)과 우산직경(D, cm)의 관계에 대해서 알아보았다. Downward-aspect와 Side-aspect 음향실험시 채집된 노무라입깃 해파리는 총 52개체로 우산직경과 습중량의 회귀방정식은  $W = 0.14 D^{2.78}$ , 상관계수는 0.99를 나타내었다(Fig. 3.2.17).

그러나 해파리의 습중량을 구하는 방법에 있어서 나타난 문제점으로 연구 항목에 따른 습중량의 측정방법이 다르다는 것이다. 본 과제에서는 수중에 존재하는 해파리의 자연 상태에서의 측정이 대상이기 때문에 습중량의 측정은 기존의 방법을 사용하지 않고 해파리에서 더 이상 물기가 떨어지지 않을 때까지 습기를 건조시킨 후 습중량을 측정하는 방법을 사용하였다. 또한 대상이 생물이기 때문에 생리적인 현상과 주변 환경적인 요인으로 동일한 우산 직경(bell diameter)을 갖더라도 습중량의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 많은 개체수를 대상으로 우산 직경과 습중량과의 관계를 구하게 되면 이와 같은 편차를 최소화할 수 있으므로 추후 지속적인 측정이 필요하다.

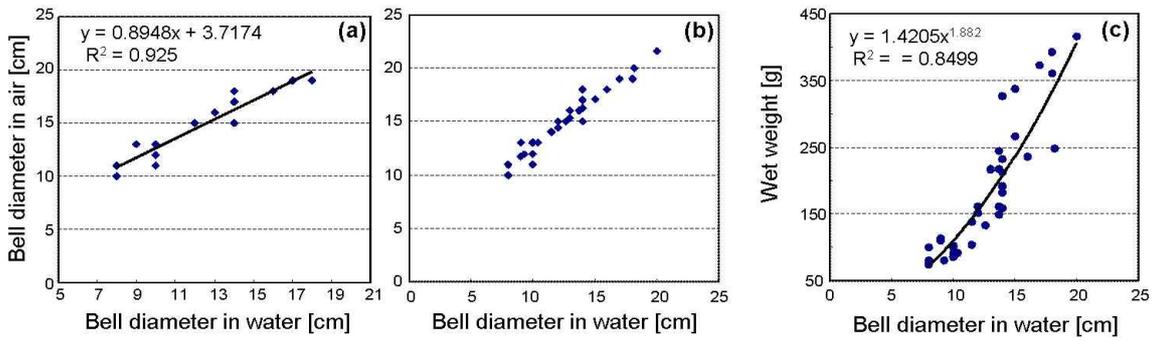


Fig. 3.2.14. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish (*Aurelia aurita*).

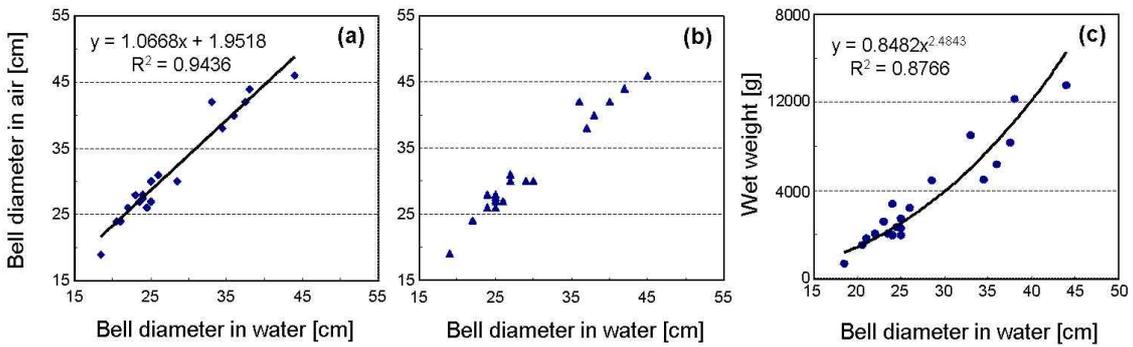


Fig. 3.2.15. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish (*Cyanea nozakii*).

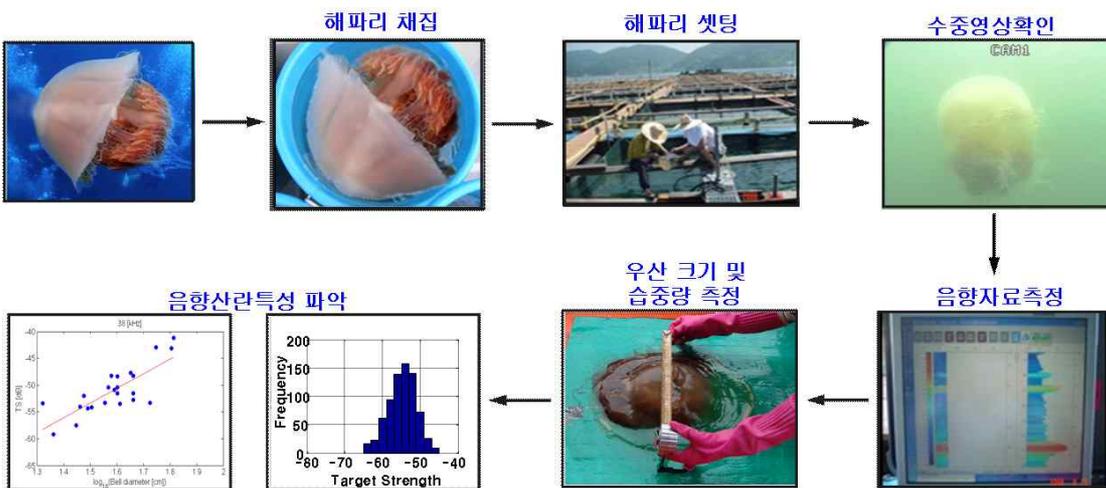


Fig. 3.2.16. Method for measuring the acoustical characteristics of jellyfish (*Nemopilema nomurai*).

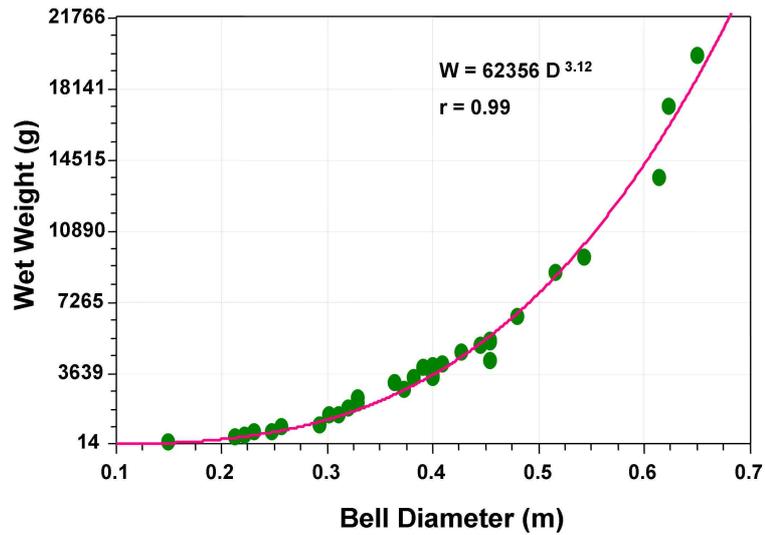


Fig. 3.2.17. Relationship between bell diameter in water and bell diameter in air of an jellyfish (*Nemopilema nomurai*).

(2) 개체 음향 반사강도(TS) 및 군체 음향 반사강도(Sv)

Fig. 3.2.18은 해파리의 음향 특성의 한 결과로 우산 길이 19.5 cm, 사용 주파수 200 kHz에 대한 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)의 음향 특성을 보여주고 있다. 수심 3.8 m에 설치된 보름달물해파리에 의한 음향 반사강도(target strength, TS, dB)는 평균 -67 dB 부근에서 일정한 레벨의 음향 강도를 유지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 수심 3 m 상층부의 미소 신호는 -80 dB 이하로 해수 중에 존재하는 미세입자(동물플랑크톤 등)에 의한 영향으로 보름달물해파리의 신호와 뚜렷이 구분되어진다.

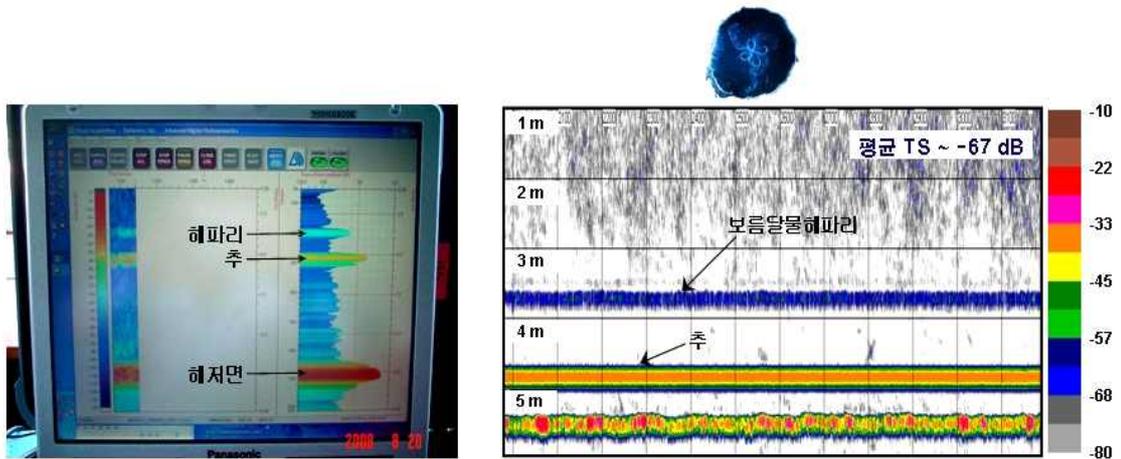


Fig. 3.2.18. Acoustic characteristics of jellyfish (*Aurelia aurita*).

군체 보름달물해파리의 음향 반사강도는 군체를 구성하는 해파리 개체 가운데 최대 우산 길이를 가진 해파리의 음향 특성을 보여주고 있었다. 이러한 군체 해파리는 개개 해파리에 비해 체적산란강도(volume backscattering strength, dB)가 증가하는 경향을 보여 실제 해양에서 해파리 탐지를 통한 자원량 추정에 유용하게 쓰일 것이다.

Fig. 3.2.19에 보름달물해파리의 우산 직경(bell diameter)이 다양한 단일 개체에 대한 음향 특성을 요약하여 200, 420 kHz에 대해 나타냈다. 전체적으로 보름달물해파리의 음향 반사강도는 -63 ~ -72 dB의 범위 내에 존재하는 것으로 나타났으며, 평균 음향 반사강도는 120 kHz의 경우 -68 dB, 200과 420 kHz는 -66 dB 였다. 38 kHz는 상대적으로 낮은 음향 강도를 나타내 해수 중에 존재하는 미소 생물체에 의한 신호와 구분하기 어려워 제외시켰다. 신호의 안정성이 상대적으로 양호하게 나타나고 있는 200, 420 kHz의 두 주파수간 신호 강도 차이는 크지 않은 것으로 나타나 보름달물해파리의 음향 탐지를 위한 주파수 선정은 고주파일수록 양호함을 알 수 있었다.

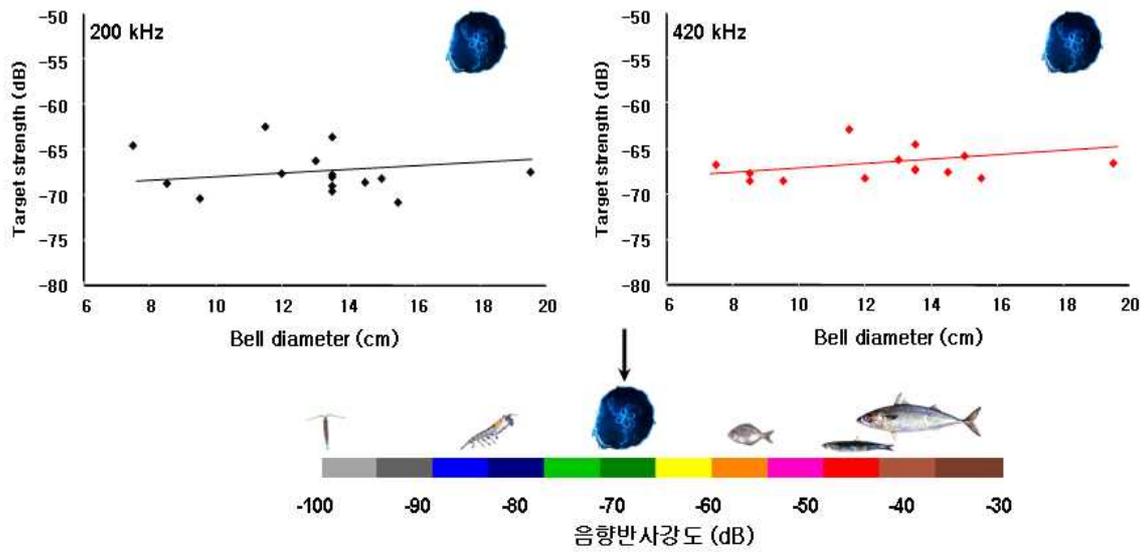


Fig. 3.2.19. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an jellyfish (*Aurelia aurita*).

이러한 보름달물해파리의 음향 반사강도 특성과 실제 해양에 존재하는 성어, 치어, 동물플랑크톤 등 다른 생물체와 어떤 차이를 보이는가를 알아보기 위하여 각 음향 산란체들과 평균 음향 반사강도 레벨을 비교하였다. 비교 결과, 치어를 포함한 어류들의 높은 음향 반사강도는 평균적으로 -45 dB 이상으로 보름달물해파리와 뚜렷이 구분되어지며, 낮은 레벨 범위에 포함되는 *Euphausia pacifica* 등은 -80 ~ -85 dB, 요각류 등은 -100 dB 이하의 분포로 보름달물해파리와 뚜렷이 구분되어짐을 보여주고 있다.

유령해파리(*Cyanea nozakii*)는 보름달물해파리와는 크기와 체내 밀도 차이에 의해 다른 음향 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 보름달물해파리와 달리 유령해파리, 노무라입깃해파리 (*Nemopilema nomurai*)는 샛돔 치어와 같은 공생 어류들과 함께 자연 상태에 존재함으로 음향 특성이 다를 것이다. 공생 어류가 포함되어 있는 개체 유령해파리의 음향 반사강도와 공생어류가 포함되지 않은 군체 유령해파리의 음향 반사강도 특성은 Fig. 3.2.20에서 보여주고 있다. 우산 직경(bell diameter) 26 cm의 유령해파리 음향 반사강도는 -52 dB로 높게 나타나 공생 어류의 영향이 음향 반사강도에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

공생 해파리의 음향 반사강도는 평균 -56 dB로 이러한 생물체들이 해파리와 공존하는 자연 상태에서는 음향 반사강도가 낮지 않음을 보여주고 있다. 공생 어류가 포함되어 있는 유령해파리의 음향 반사강도는 38 kHz의 낮은 주파수 대역에서 가장 강하게 나타났으며, 나머지 120, 200, 420 kHz에서는 유사한 음향 특성을 보이고 있었다. 4개체의 군체를 형성한 유령해파리의 음향 반사강도는 평균 -57 dB로 공생 어류가 포함된 개체 유령 해파리보다 낮은 강도를 보이는 것으로 나타났다.

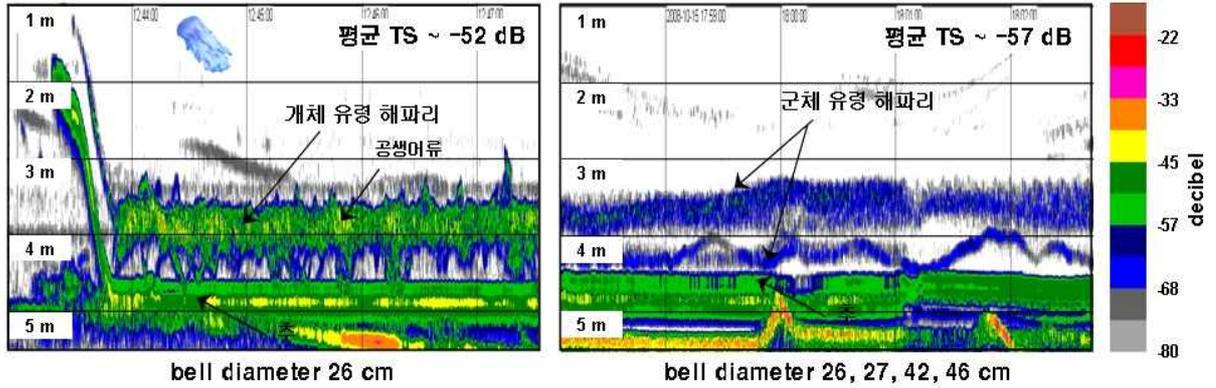


Fig. 3.2.20. Acoustic characteristics of jellyfish (*Cyanea nozakii*).

Fig. 3.2.21에 유령해파리의 우산 길이가 다양한 단일 개체에 대한 음향 특성을 요약하여 38, 200 kHz에 대해 나타냈다. 전체적으로 유령해파리의 음향 반사강도는 -49 ~ -54 dB의 범위 내에 존재하는 것으로 나타났으며, 평균 음향 반사강도는 38 kHz의 경우 -49 dB, 120, 200 kHz는 -53 dB, 420 kHz는 -54 dB 였다. 신호의 강도 측면에서는 38 kHz에서 가장 강하게 나타나고 있으나 실제 해양에 존재하는 작은 치어들이 38 kHz에서 이와 비슷한 음향 반사 특성을 가지고 있으므로 실제 음향 탐사에서는 종 분리성 측면에서 38 kHz 보다는 신호 분리가 양호한 120 kHz 이상의 고 주파 대역이 유리함을 알 수 있다.

이러한 유령해파리의 음향 반사강도 특성과 실제 해양에 존재하는 성어, 치어, 보름달물해파리, 동물플랑크톤 등 다른 생물체와 어떤 차이를 보이는가를 알아보기 위하여 각 음향 산란체들과 평균 음향 반사강도 레벨을 비교하였다. 비교 결과, 유령 해파리는 치어를 포함한 어류들에 비해 음향 반사강도가 낮고, 낮은 레벨 범위에 포함되는 *Euphausia pacifica*, 요각류 등에 비해서는 높게 나타났으며, 보름달물해파리와의 구분되어짐을 보여주고 있다.

한편, 커튼원양해파리 (*Dactylometra quinquecirrha*)의 음향 반사강도는 -63 ~ -66 dB 범위에 분포하는 것으로 나타났으나 개체수가 작아 전체적인 경향으로 판단하기에는 어려워 차년도에 연속적으로 음향 특성을 파악할 예정이다.

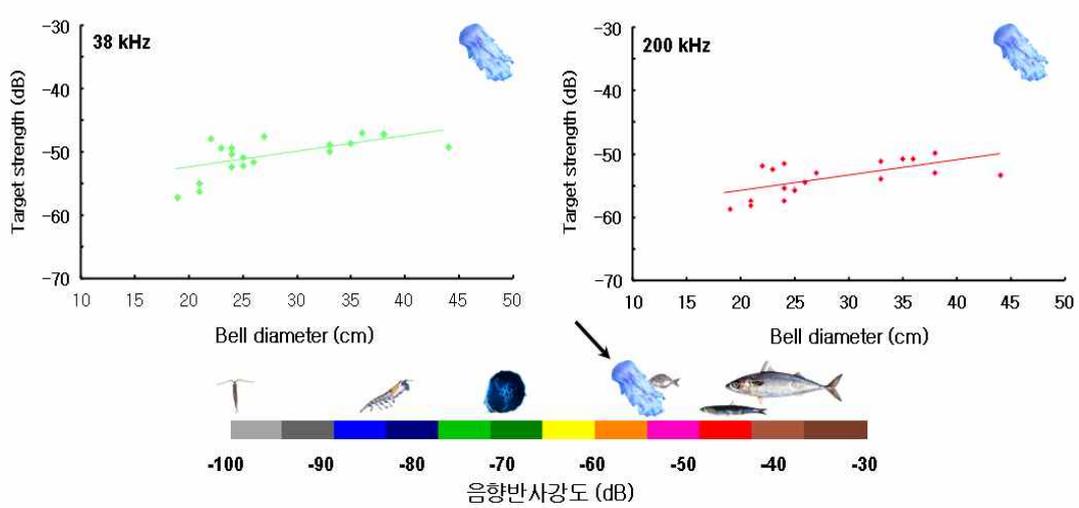


Fig. 3.2.21. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an jellyfish (*Cyanea nozakii*) and comparison between other scatterers of acoustic target strength of the jellyfish (*Cyanea nozakii*).

노무라입깃 해파리에 대한 downward 음향산란강도는 대부분 Gaussian 분포를 가지며 평균적인 산란강도 특성을 나타내고 있다. Gaussian 분포에서 최대 및 최소 산란강도 범위의 변동 요인은 (1) 해파리 우산의 주기적인 수축 및 팽창 운동으로 인한 음향 산란단면적의 변동 가능성, (2) 살아 있는 해파리의 유영 자세각 변동을 고려할 수 있다. Fig. 3.2.22의 예는 우산 직경이 65 cm인 노무라입깃 해파리의 주파수별 음향 산란강도 분포로 38 kHz, 200 kHz에서 크게 나타났으며, 120 kHz, 420 kHz에서는 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

Downward-aspect 노무라입깃해파리의 주파수별 평균 음향산란 강도를 계산하였다. 각각의 주파수에 대한 우산 직경 변화에 대한 평균 음향산란 강도를 이용하여 함수화 하였으며 이때 회귀 함수에 대한 상관 계수( $r$ )는 38, 120, 200, 420 kHz에서 각각 0.79, 0.81, 0.87, 0.72를 나타내었다 (Fig. 3.2.23).

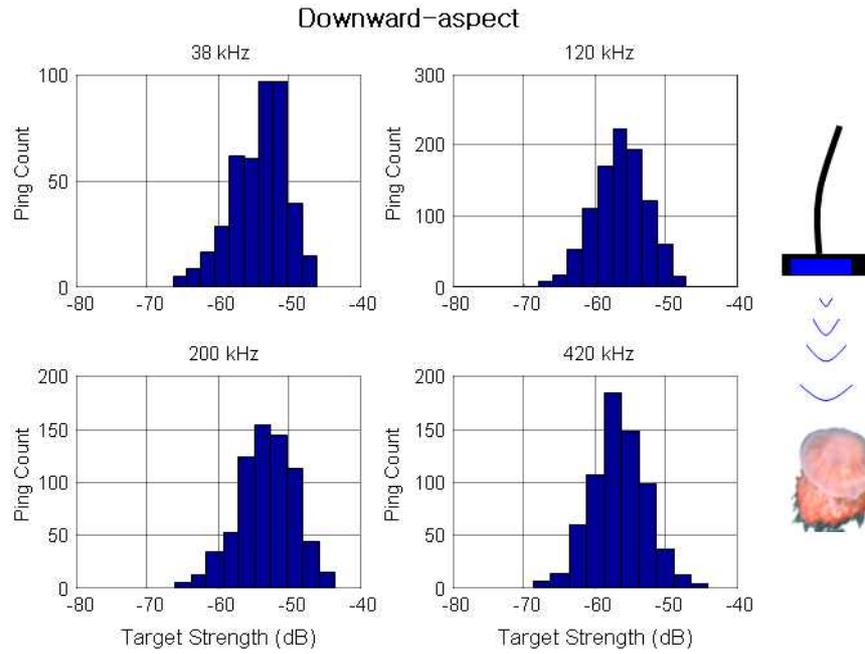


Fig. 3.2.22. Downward-aspect target strength (TS) frequency for jellyfish (*Nemopilema nomurai*, diameter: 65 cm).

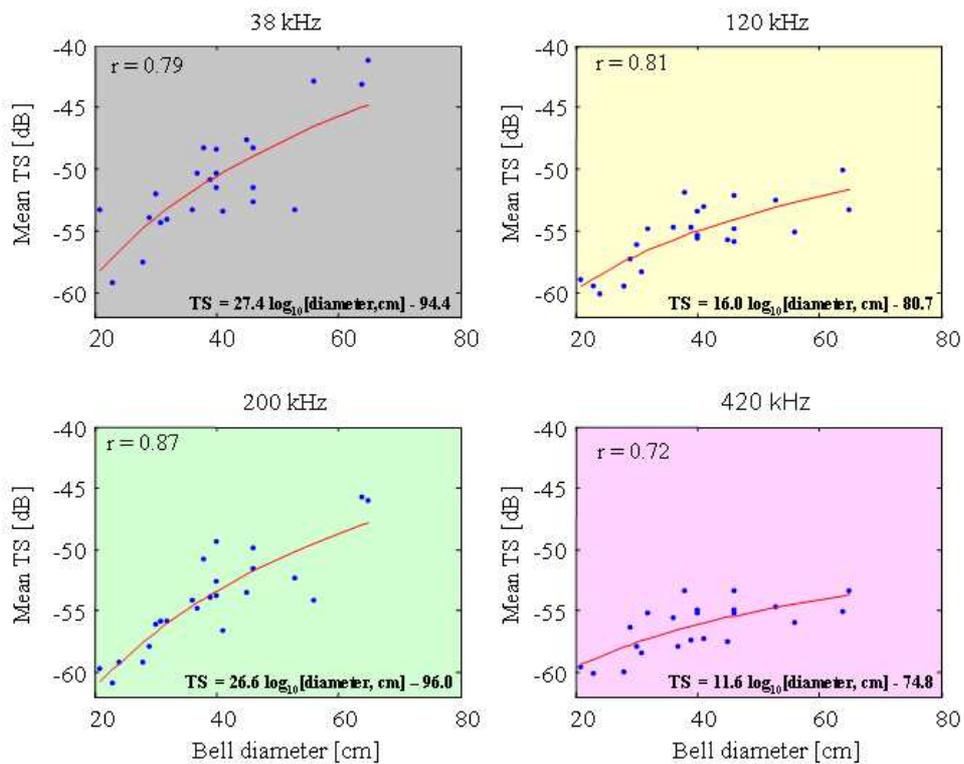


Fig. 3.2.23. Relationship between bell diameter and averaged target strength of an downward-aspect jellyfish (*Nemopilema nomurai*).

노무라입깃 해파리의 음향모델을 이용하여 음향산란강도를 계산한 결과 해파리 최대우산직경과 70%의 우산직경과의 차이는 3 dB 정도를 나타냈고(Fig. 3.2.24, 좌측) 우산이 최대직경에서 70%까지 감소할 때의 크기를 200개로 나누어 평균을 구한 결과(Fig. 3.2.24, 우측) Reduced Target Strength (RTS)가  $ka$ 가 작을 때는 약 -47 dB에서 진동하다가  $ka$ 가 커질수록 수렴하는 것을 볼 수 있다. 측정된 값과 모델링한 결과를 비교해본 결과 상대적으로 120 kHz에서 측정된 결과가 가장 유사한 결과를 얻을 수 있었고 38 kHz에서 가장 큰 차이를 보였다. 모델결과와 실험값과의 오차 요인은 (1) 해파리의 형태에서 우산만을 고려한 점 (2) 해파리의 자세각 변동 (3) 공생생물의 영향을 고려할 수 있다. 하지만 적용된 해파리 우산의 반사계수를 이용한 모델계산 결과와 측정치의 비교를 통하여 Hirose가 제안한 평균 밀도비와 음속비를 이용한 결과보다 최대값을 적용한 결과가 실측값에 더 합당한 것을 알 수 있었다.

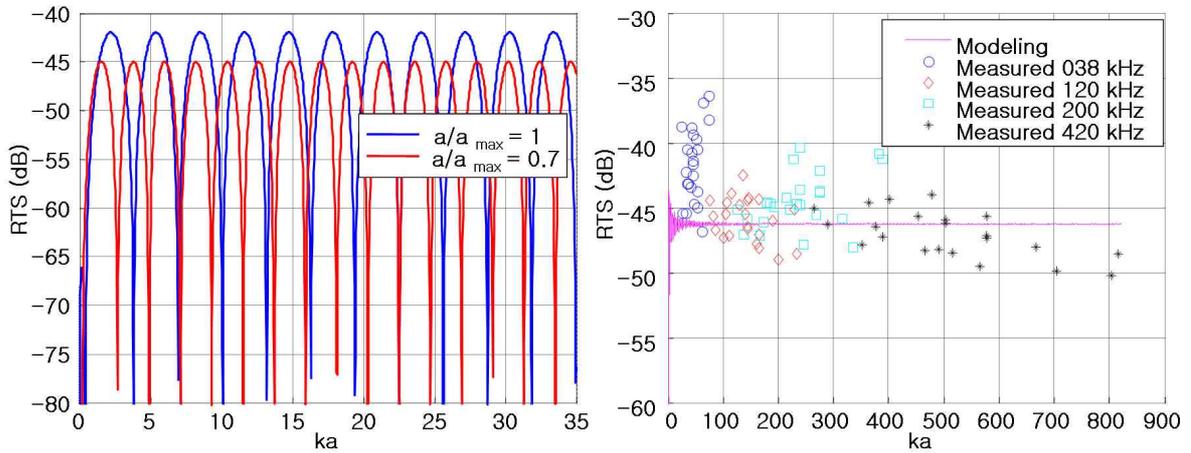


Fig. 3.2.24. Reduce Target strength (RTS) as  $ka$  for jellyfish (*Nemopilema nomurai*) using acoustic model.

공생생물인 새우를 Bent cylinder 음향모델을 적용하여 계산한 결과 1개체일 경우 -76.9 ~ -75.2 dB를 나타내었고 10개체가 있다고 가정했을 경우 -66.9 ~ -65.2 dB, 50개체일 때 -60.0 ~ -58.2 dB를 나타냈다(Fig. 3.2.25). 개체수가 1개체일 때는 해파리의 TS에 큰 영향을 주지 못하고 50개체 이상이 되었을 때 TS에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

우산 직경 12-68 cm 범위에서 노무라입깃해파리의 평균 음향 산란강도는 38 kHz에서 -59.2 ~ -41.2 dB, 120 kHz에서 -60.1 ~ -50.1 dB, 200 kHz에서 -59.2 ~ -45.8 dB, 420 kHz에서 -60.1 ~ -53.4 dB의 범위를 나타내는데 이러한 높은 산란강도의 원인은 해파리와 공생하는 생물과 해파리 자체의 음향 신호의 합에 의한 영향으로 생각된다.

측정된 노무라입깃 해파리의 음향 산란강도는 난바다곤쟁이 및 요각류 등 동물성플랑크톤의 음향산란강도 (-70 dB 이하)와 성체 어류의 일반적인 산란강도 (-40 dB 이상)와 비교했을 때 구분 가능한 범위 내에서 분포하고 있는데 음향 산란강도가 일부 겹칠 가능성이 있는 소형 어류의 경우 어류와 해파리의 평균적인 이동 속도 및 유영 자세각의 차이에 의한 음향 자료의 시변동성( $\gamma$ ) 기준으로 해파리와 어류의 신호를 분리할 수 있다.

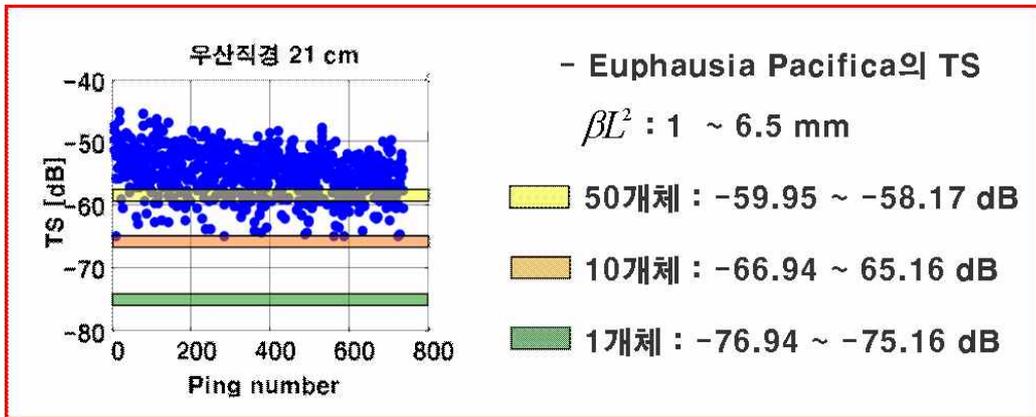


Fig. 3.2.25. Target strength (TS) as number of krill affected TS of jellyfish (*Nemopilema nomurai*, diameter: 21 cm).

음향 신호를 이용한 종식별 방법에서 많이 사용되는 주파수별 체적산란강도 차이 ( $\Delta MVBS_{F1-F2}$ )를 Table 3.2.3에 나타내었다. 이러한  $\Delta MVBS$  값의 범위는 어류 신호와는 차이가 있으므로 수신 신호로부터 어류와 해파리의 종 식별에 활용될 수 있다.

Table 3.2.3. Example of  $\Delta MVBS$  from diameter of jellyfish (*Nemopilema nomurai*)

Bell diameter (cm)	$\Delta MVBS_{F1-F2}$ (dB)				Comment
	(38kHz-38kHz)	(38kHz-120kHz)	(38kHz-200kHz)	(38kHz-420kHz)	
28	0.0	3.1	0.6	1.8	Ref. 38 kHz, $\Delta t = 30s$ , $\Delta z = 0.5m$
46	0.0	0.2	0.1	0.6	
64	0.0	4.8	0.1	6.3	

Downward-aspect 음향 산란강도와 유사하게 side-aspect 음향 산란강도 또한 정규 Gaussian 분포를 가지며 평균적인 음향 산란강도 특성을 보여주고 있다. Fig. 3.2.26은 우산 직경이 18 cm인 노무라입깃해파리의 음향 산란강도를 나타낸 것으로 38 kHz와 200 kHz에서 비슷한 크기의 음향 산란강도를 나타내며 다른 주파수(120 kHz, 420 kHz) 보다 큰 값을 보이는 특성을 나타낸다.

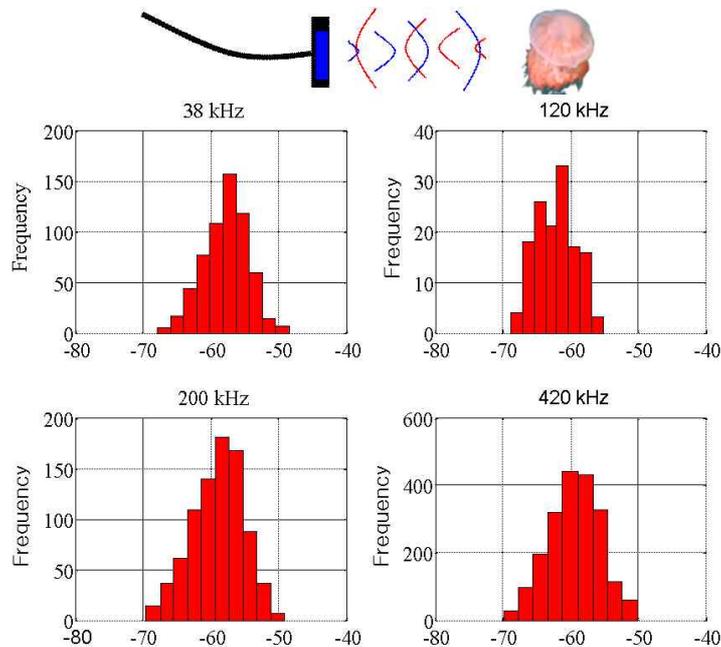


Fig. 3.2.26. Side-aspect target strength (TS) frequency for jellyfish (*Nemopilema nomurai*, bell diameter: 18 cm).

Side-aspect 노무라이깃 해파리의 주파수별 평균 음향산란 강도를 계산하였으며 각각의 주파수에 대한 우산 직경 변화에 대한 평균 음향산란 강도를 이용하여 함수화 하였다(Fig. 3.2.27). 이때 회귀 함수에 대한 상관 계수( $r$ )는 38, 120, 200, 420 kHz에서 각각 0.79, 0.72, 0.79, 0.72 나타내었다.

우산 직경 18-79 cm범위의 Side-aspect 평균 음향산란강도는 38 kHz에서 -60.1 ~ -37.6 dB, 120 kHz에서 -63.0 ~ -39.3 dB, 200 kHz에서 -61.0 ~ -40.2 dB, 420 kHz에서 -57.6 ~ -40.6 dB의 범위를 가졌고 이러한 높은 산란강도의 원인은 해파리와 공생하는 생물과 해파리 자체의 음향 신호의 합에 의한 영향으로 생각된다.

측정된 side-aspect 음향 산란강도는 downward-aspect와 동일하게 난바다곤쟁이 및 요각류 등 동물성플랑크톤의 음향 산란강도 (-70 dB 이하)와 성체 어류의 일반적인 산란강도 (-40 dB 이상)와 비교했을 때 구분 가능한 범위 내에서 분포하고 있다.

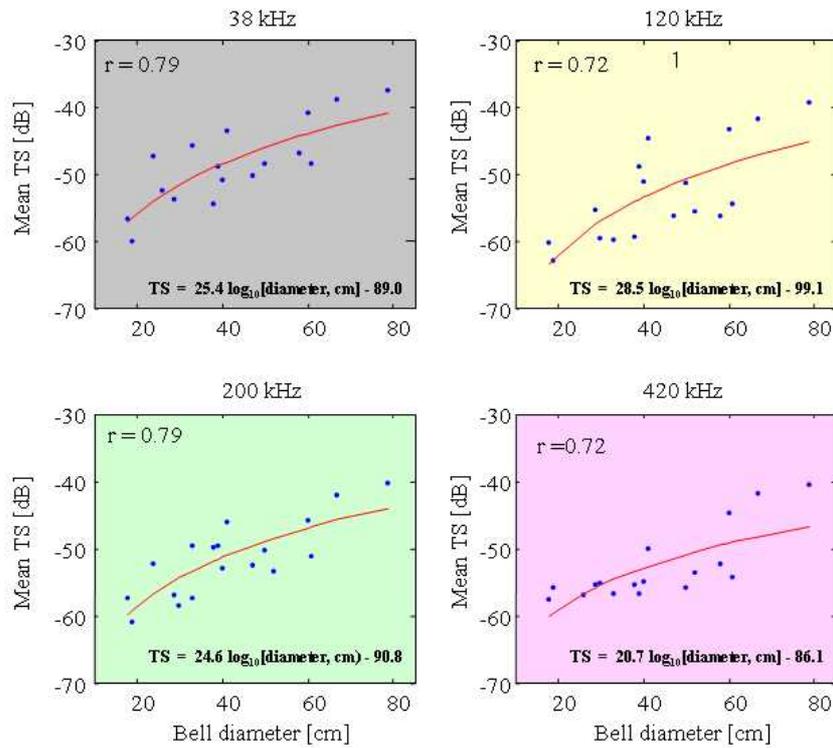


Fig. 3.2.27. Relationship between bell diameter and side-aspect averaged target strength of an jellyfish (*Nemopilema nomurai*).

Downward-aspect와 side-aspect 음향 산란강도를 비교하였을 때, 전체적으로 side-aspect 음향 산란강도 값 분포가 높은 것으로 나타났으며 이러한 요인은 side-aspect에서의 음향 산란단면적이 더 큰 것에 직접적인 원인이 있다(Fig. 3.2.28).

노무라입깃 해파리에 대한 음향특성을 측정한 결과 Downward-aspect 음향 측정 시 평균 음향 산란강도는 38 kHz에서 -59.2 ~ -41.2 dB, 120 kHz에서 -60.1 ~ -50.1 dB, 200 kHz에서 -59.2 ~ -45.8 dB, 420 kHz에서 -60.1 ~ -53.4 dB의 범위를 나타내었다. Side-aspect 평균 음향 산란강도는 38 kHz에서 -60.1 ~ -37.6 dB, 120 kHz에서 -63.0 ~ -39.3 dB, 200 kHz에서 -61.0 ~ -40.2 dB, 420 kHz에서 -57.6 ~ -40.6 dB의 범위를 나타내었고 음향산란단면적의 차이로 인하여 Downward-aspect 평균 음향산란강도 보다 평균 TS 가 크게 나타났다.

계산된 음향산란강도를 이용하여 해파리 우산직경별, 습중량별 TS를 함수화 하였다. 또한 노무라입깃해파리 모델과 Downward-aspect 음향 측정값을 비교하였는데 그 결과 적용된 반사계수의 적합성을 판단 할 수 있었다. 공생생물의 영향을 알아보기 위해서 Bent cylinder 음향모델을 이용하여 크릴새우의 TS를 계산한 결과 1개체의 크릴새우는 해파리의 TS에 큰 영향을 주지 않지만 개체수가 50개체 이상이 되면 TS 변동량에 영향을 미치는 것을 확인 하였다.

측정된 노무라입깃 해파리의 음향 산란강도는 난바다곤쟁이 및 요각류 등 동물성플랑크톤의 음향산란강도 (-70 dB 이하)와 성체 어류의 일반적인 산란강도 (-40 dB 이상)와 비교했을 때 구분 가능한 범위 내에서 분포하고 있는데 음향 산란강도가 일부 겹칠 가능성이 있는 소형 어류의 경우 어류와 해파리의 평균적인 이동 속도 및 유영 자세각의 차이에 의한 음향 자료의 시변동성( $\gamma$ ) 기준으로 해파리와 어류의 신호를 분리할 수 있다. 또한 음향 신호를 이용한 종 식별 방법에서 많이 사용되는 주파수별 체적산란강도 차이 ( $\Delta MVBS_{f_2-f_1}$ )를 노무라입깃해파리의 경우에 대하여 계산하여 이를 활용할 수 있게 하였다.

이상의 자료는 prototype 탐지 시스템의 수신된 자료로부터 해파리 분포 특성 및 밀도 추정에 직접적으로 적용할 수 있으며, 기타 생물들의 종 분류에 사용될 것이다. 또한 연안의 산업시설에 대량 유입되는 해파리의 탐지를 위한 측면 음향 탐지 시스템 운용 과정에서도 중요 자료로 활용될 수 있다

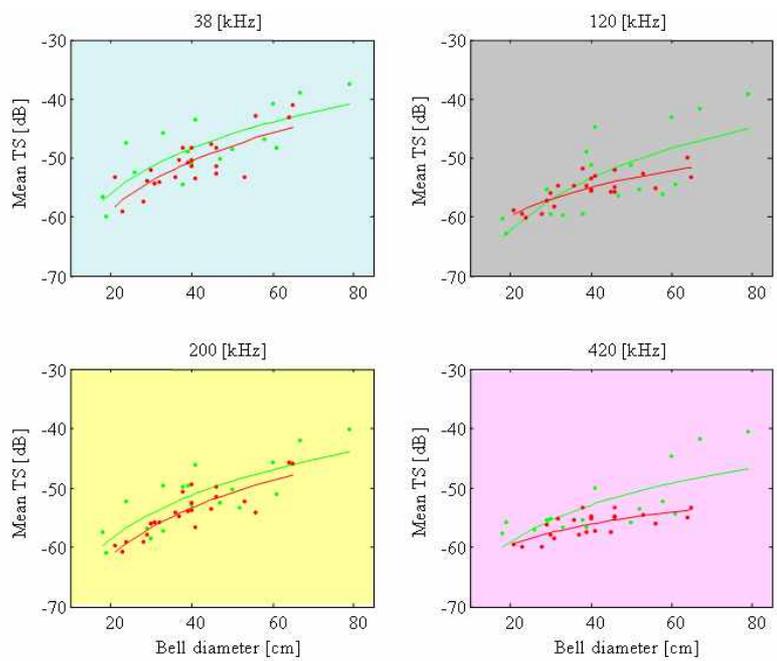


Fig. 3.2.28. Relationship between downward-aspect (red) and side-aspect (green) averaged target strength of an jellyfish (*Nemopilema nomurai*).

### (3) 해파리 체내의 물리특성 파악

대상 생물에 대한 음향 반사강도 측정을 위해 모든 길이 및 주파수에 대한 현장 실험을 수행하기에는 한계가 있어 음향 산란 모델을 이용하는 경우가 많다. 이러한 음향 산란 모델을 적용하려면 핵심이 되는 변수로 대상 생물의 물리적 특성인 생체 구성 물질에 대한 음속비(sound speed ratio,  $h$ )와 밀도비(density ratio,  $g$ )를 측정해야 한다. 본 연구 과제의 대상 생물인 해파리의 음향 반사강도 특성의 활용 폭을 증가시키기 위해 해파리의 음속비와 밀도비를 측정하였다.

보름달물해파리의 음속비와 밀도비 범위는 각각 0.9981-1.0014, 0.953-0.999로 나타났다. 이러한 음속비 및 밀도비는 해양에 존재하는 어류를 구성하는 fish flesh에 비해 낮은 값으로 음향 반사강도 또한 낮게 나타남을 보여주고 있다. 유령해파리의 음속비는 0.9984-1.0110의 범위로 보름달물해파리보다는 높은 음속비를 보이고 있어 이로 인해 상대적으로 높은 음향 반사강도 특성을 예측할 수 있다. 유령해파리의 밀도비는 1.270-1.497로 매우 높게 측정되었으나 다른 해양 생물체의 밀도비 자료와 비교했을 때 값 자체가 너무 높아 추가 정밀 실험을 통하여 확인을 할 예정이다.

### (4) 해양에서의 해파리 음향 신호 특성

가두리 내에서 측정한 해파리 음향 특성 자료를 현장 조사 자료와 비교하기 위하여 2008년 10월에 연구 지역 인근 해역에서 음향 조사 및 트롤 조사를 실시하였다. 그러나 2008년 시기에 남해안에 대규모 해파리 유입이 발생하지 않아 해파리에 의한 현장 음향 신호를 취득하지 못하였다. 그 대안으로 2002년 7월과 2006년 10월에 실시한 해파리 음향 조사의 과거 자료를 이용하였다.

Fig. 3.2.29는 2002년 하계시기에 제주도 남서 해역에서 취득한 음향 자료의 예를 보여주고 있다. 현장 조사 당시 노무라입깃해파리가 대량으로 트롤 어구에 잡혀 어획량 선별이 어려울 정도였다. 음향 자료 결과 수심 20-40 m 수층과 60 m 부근에서 서로 다른 음향 신호가 수신되었다. 이들 신호를 음향 반사강도로 표시한 결과, 20-40 m 수층의 음향 반사강도는 -60 ~ -70 dB, 60 m 부근에서는 -40 ~ -60 dB의 서로 다른 음향 반사강도 영역을 보여주고 있다. 따라서 중층에서 탐지된 음향 자료는 노무라입깃해파리에 의한 음향 자료임을 보여주고 있다. 이러한 음향 반사강도 분포 강도는 2006년 10월에 조사된 일본 서부 연안의 해파리 신호에서도 보여주고 있어 노무라입깃해파리의 음향 반사강도 특성이 어류, 동물플랑크톤과 구별됨을 알 수 있다.

본 연구 기간 동안 노무라입깃해파리의 시료 확보 문제로 실험을 통한 음향 특성을 파악하지 못해 차년도의 계속되는 연구 항목으로 실시할 예정이다.

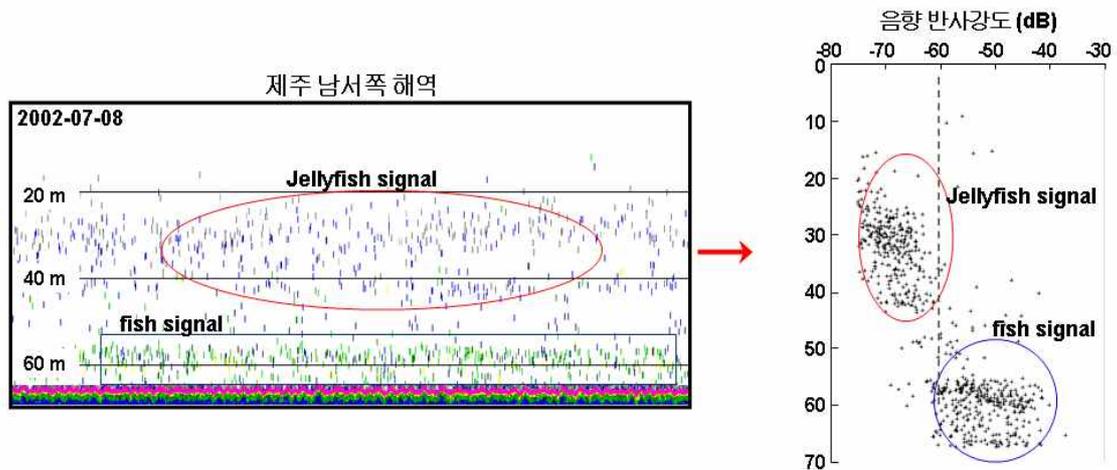


Fig. 3.2.29. Acoustic characteristics of jellyfish in the southwest of Jeju island, 2002.

#### (5) 연구 지역에서 해파리의 주된 발생 지역

여수 금오도 인근 해역의 구획망 어업 대상자들을 대상으로 2005, 2006, 2007년 시기에 해파리가 대량 유입되는 지점을 조사한 결과, 금오도 남단-외나로도를 잇는 지점인 금오도 서쪽 해역에서 주로 대량의 해파리가 발생하였다. 따라서 이들 해파리는 완도 남단-청산도 쪽으로부터 유입되어 외나로도 남쪽을 거쳐 여수 쪽으로 유입되는 것으로 판단된다. 금오도 일대에는 정치망 3건, 낭장망 94건, 각망 51건이 설치되어 있으며 이외에 새우 조망 어업이 실시되고 있다. 따라서 차년도 해파리 현장 조사 및 음향 시스템 테스트 지역은 금오도 서쪽 해역에서 실시할 예정이다.

#### (6) 요약

해파리 음향 탐지의 가능성과 음향 시스템 구성을 위한 핵심 연구 항목으로 2008년 남해안에 유입되는 해파리를 대상으로 음향 특성 파악을 위하여 살아있는 해파리를 대상으로 다양한 주파수에 대해 음향 반사강도 측정을 하였으며, 실험을 실시하지 못하는 종에 대해서는 과거 자료로부터 음향 특성을 파악하였다. Fig. 3.2.30은 해파리의 음향 특성을 요약하여 보여주고 있다.

해파리는 음향 반사 특성이 없을 것이라는 일반적인 생각과는 달리 각각의 해파리는 음향 반사 특성을 가지고 있었으며, 특히 멸치, 고등어를 비롯한 어류와 난바다곤쟁이류, 요각류 등과 같은 동물플랑크톤과 구분되는 음향 특성을 보여주고 있어 음향 탐지의 가능성을 보여주고 있다. 이러한 음향 특성의 차이는 차년도에 실시될 음향 특성 파악의 연속 관측 자료를 통해 확인할 것이며, 음향 탐지 시스템 설계 및 향후 자료처리 과정에서 해파리와 기타 생물들의 종 분류에 사용될 것이다.

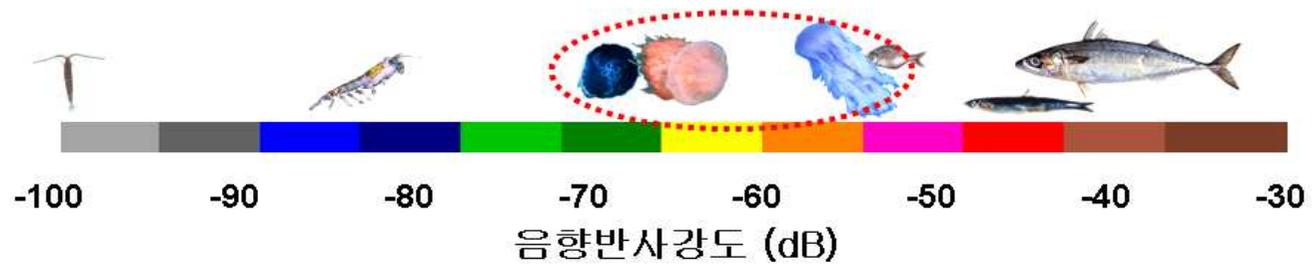


Fig. 3.2.30. Comparison between other scatterers of acoustic target strength of the jellyfish.

## 2. 유해 적조의 음향 특성 연구

### 가. 우리나라의 적조 발생 현황

#### (1) 남해안의 적조 발생 현황

수중음향을 이용한 유해적조생물의 조기탐지를 위해서 적조발생의 피해가 많은 남해 연안을 중심으로 적조 발생현황에 대해 조사하였다. 2005년부터 2007년까지 우리나라 전 해역에 걸쳐 총 108건의 적조가 발생하였으며, 이 중 남해 연안에서 2005-2007년 각각 26건, 20건, 16건이 발생하였다. 대부분이 편모조류에 의한 적조 발생하였으며, *Cochlodinium* 종에 의한 발생이 가장 많았다 (Fig. 3.2.31).

*Cochlodinium* 적조종은 우리나라에서는 주로 8-9월의 고수온기 동안 적조를 일으키면서, 단독 개체보다는 4-16개의 군체를 형성한다. 우리나라에서는 1989년 최초로 수산 피해가 발생한 이후, 그 추세가 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 *Cochlodinium* 종을 남해안의 주요 피해 대상으로 선정하여 초음파를 이용한 적조탐지 연구를 수행하였다.

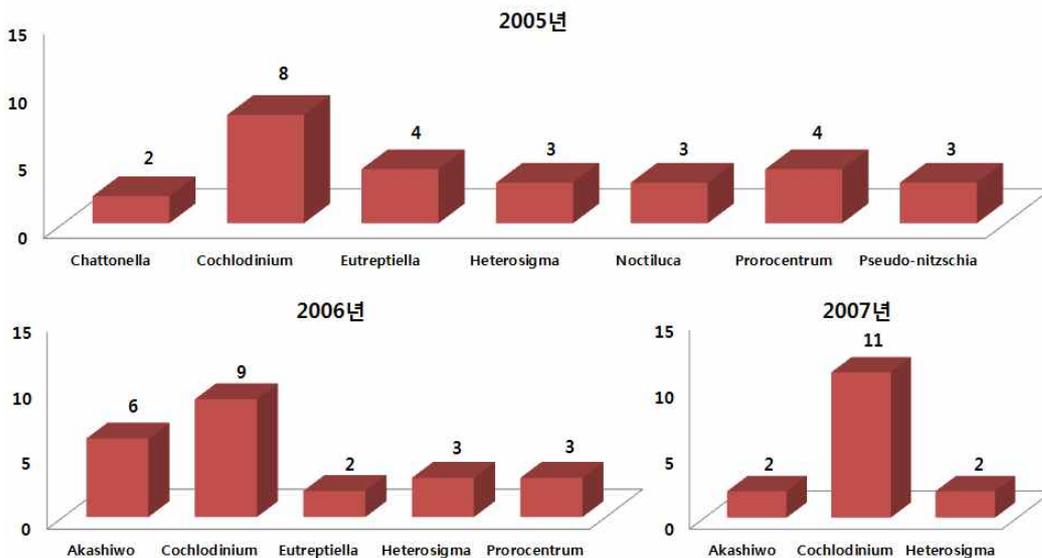


Fig. 3.2.31. Occurrences of major red tide in southern sea from 2005 to 2007.

## (2) 서해안의 적조 발생 현황

서해안의 경우 2008년부터 2010년까지 전해역에 걸쳐 103건의 적조가 발생하였으며, 서해 연안에서의 발생횟수는 2008년 4건, 2009년 9건, 2010년에는 4건이 보고되었다. 그 중 *Chattonella* 가 가장 많이 발생하였으며, 남해 연안과는 주요 적조 종이 다른 양상을 보이고 있다(Fig. 3.2.32).

*Chattonella* 종은 일본 연안에서는 빈번히 적조를 일으켜 양식생물을 대량으로 치사시키는 종으로 국내 연안에는 1983년 최초로 발생하였다. 본 연구에서는 *Chattonella* 종을 서해의 주용 적조종으로 선정하였다.

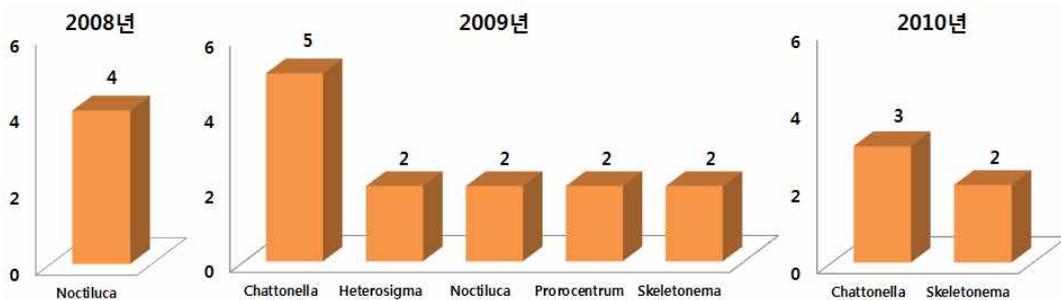


Fig. 3.2.32. Occurrences of major red tide in western sea from 2008 to 2010.

## 나. 음향을 이용한 적조 탐지 방법

### (1) 체적산란 (Volume scattering)

음향을 이용한 적조 탐지 방법은 적조를 포함하는 체적으로부터 산란된 음의 세기 측정에 기초를 두고 있다. 체적 산란 강도( $S_v$ )는 입사된 음의 세기와 산란된 음의 세기 비의 로그값으로 아래와 같이 정의된다.

$$S_v = 10 \log \left( \frac{I_s}{I_i} \right) \quad (3.5.12)$$

$I_s$  : 산란체가 포함된 단위 체적으로부터 산란된 음의 세기

$I_i$  : 단위 체적에 입사된 음의 세기

$S_v$  : 체적 산란강도(dB)

또한 체적 산란 단면적( $\sigma_v$ )은 아래와 같이 정의된다.

$$\sigma_v = \left( \frac{I_s R_{1m}^2}{I_i} \right) \quad (3.5.13)$$

여기서  $R_{1m}$  는 단위거리로 1 m 이다. 따라서 체적산란강도는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$S_v = 10\log(\sigma_v) \quad (3.5.14)$$

한 종이 우점한 적조 발생을 가정하여, 그 종의 반지름  $a$ 를 알고 있을 때 한 개체의 플랑크톤의 후방산란 단면적을  $\sigma$ , 단위 체적내에 존재하는 플랑크톤의 개체수를  $N$ 이라 하면 이 두 개의 곱은 체적 후방산란 단면적( $\sigma_v$ )과 같다.

$$\sigma_v \approx N\sigma \quad (3.5.15)$$

$f$  : 측정주파수

$N$  : 플랑크톤의 밀도 (단위체적 내의 개체수)

식 3.14를 식 3.15에 대입하면 아래 식과 같은 체적 산란강도로 환산 할 수 있다.

$$S_v = 10\log(\sigma_v) = 10\log(N\sigma) \quad (3.5.16)$$

식 3.16의 후방산란 단면적( $\sigma$ )는 산란 모델로 예측가능하다.

적조가 포함된 매질에서 측정된 후방산란 신호로부터 체적 후방산란 강도는 아래의 식으로 평가 될 수 있다.

$$S_v = RL - SL + 2TL - 10\log_{10} V \quad (3.5.17)$$

$RL$  : 센서에서 수신된 음압 세기 레벨 (dB ref  $1\mu Pa$ )

$TL$  : 산란체에서 센서까지 또는 센서에서 산란체까지의 전달손실 (dB)

$SL$  : 센서에서 방사한 음을 1 m 거리에서 측정한 음압 세기 레벨 (dB ref  $1\mu Pa$ )

$V$  : 음이 입사된 체적

그러나 일반적인  $SL$ (source level)은 음원으로부터 1m 거리에서 음압을 측정한 것으로 적조 탐지에 이용되는 초음파의 경우 주파수가 높아 신호 감쇄가 크게 발생하고 측정 시스템의 제한상 1m의 음압 세기를 구하는데 문제가 있어 식 3.5.17을 식 3.5.18로 변환하였다(Kim et al., 2010)

$$S_v = RL - SPL_n + 2TL - 10\log_{10} V \quad (3.5.18)$$

여기서  $SPL$ 은  $SL$ 에서  $TL$  (센서 방사면에서 산란 체적까지의 전달손실)을 보정하지 않은 신호로 실험을 통해 직접 측정하였으며,  $TL$ 는 산란체에서 센서면까지의 전달손실이며  $20\log r + \alpha r$ 이다. 여기서  $r$ 은 산란체와 센서면 사이의 거리이고,  $\alpha$ 는 감쇄계수이다.

### (2) 플랑크톤 산란모델(Scattering model)

적조를 유발하는 코클로디눔은 구에 가까운 타원형으로 적조 플랑크톤에 의한 후방산란 이론은 구는 fluid sphere scattering model (Johnson, 1977)를 이용하여 계산하였다. 산란 모델은 Anderson(1950)에 의해 제안된 fluid sphere model을 단순화 한 것이다. 이 모델은 적조생물의 평균 구형반경  $a$ , 적조생물의 밀도비  $g$  및 음속비  $h$ , 입사파의 주파수  $f$ 의 4가지 함수로 구성되어 있다.

$$\sigma_v(f, a) = (ka)^4 \left[ \frac{e-1}{3e} + \frac{g-1}{2g+1} \right]^2 a^2 \quad \text{for } ka \ll 1 \quad (3.5.19)$$

$k = 2\pi/\lambda$ : wave number in the surrounding medium

$g = \rho_1/\rho_0$ : ratio of density of sphere to that of the medium

$\rho_0$ : density of medium,  $\rho_1$ : density of scatterer

$h = c_1/c_0$ : ratio of sound speed in sphere to that of the medium

$c_0$ : sound speed of medium,  $c_1$ : sound speed of scatterer

$\sigma_v$ : 후방산란 단면적

산란 모델은 주파수와 산란체 반지름의 함수이다. 후방산란 단면적의 함수적 의존성은 각각의 변수에 의한 영향이 구분된다.

### (3) 추정방법

적조 플랑크톤 개체 수에 의한 후방 산란강도는 적조 플랑크톤의 밀도, 크기분포, 사용주파수의 함수이다. 크기분포와 주파수는 적조플랑크톤의 산란 모델이 알려져 있고 산란강도가 밀도와 직접적으로 비례하므로 산란강도를 예측 가능하게 한다. 적조가 발생하면 한 종이 우점하며 그 크기  $a_0$ 를 알고 있을 때 체적 후방산란 단면적이 같기 때문에 개개의 후방산란 단면적을 더한 값이 평균이 된다.

$$\langle \sigma_v(f, z) \rangle \approx N(z)\sigma(f, a_0) \quad (3.5.20)$$

$f$ : 측정주파수

$N(z)$ : 플랑크톤의 밀도 (단위체적 내의 개체수)

$\langle \rangle$ : mean square average values

식 3.5.19에서 측정  $\langle \sigma_v \rangle$ 와 이론적 추정  $\sigma$ 에 의해 생체량  $N(z)$ 가 구해진다. 기본적으로 어느 주파수에서 후방 산란의 측정은  $N(z)$ 를 평가하는데 사용한다. 여기서 단일 크기의 균집이라는 가정은 엄격히 적용된다. 확실히 한 개체의 균집이 된 상태에서 단일 주파수에 의한 추정방법은 여러 크기의 개체군에 적용하기는 한계가 있다.

크기  $a_0$ 인 산란체로 음파가 입사 될 때의 음파 산란이  $\sigma(f, a_0)$ , 적조생물의 단위 체적 내 개체군 밀도(cells/ml)가  $N$  일 때, 체적에 존재하는 적조산란체에 의한 후방 산란의 총 합은  $\langle \sigma_v(f, z) \rangle$ 와 같다. 식 3.5.20을 식 3.5.19에 대입하면 체적 산란강도로 환산 할 수 있다.

$$S_v = 10 \log \left( \frac{\langle \sigma_v(f, z) \rangle}{4\pi} \right) = 10 \log \left( \frac{N(z)\sigma(f, a_0)}{4\pi} \right) \quad (3.5.21)$$

DWBA model 은 산란체를 단순한 구로 가정하지 않고, 산란체를 원기둥 형태로 잘게 나누어 산란체에 입사되는 방향( $0 \sim 359$ )에 따라 산란 단면적을 계산하는 것으로 fluid sphere scattering model 과는 달리 산란체의 형태를 고려할 수 있다.

$$\sigma = |f_{bs}|^2 \quad (3.5.22)$$

$$f_{bs} = \int_{r_{pos}} \frac{k_1^2 a}{4k_2} (\gamma_\kappa - \gamma_\rho) e^{2ik_2 \cdot r_{pos}} \frac{J_1(2k_2 a \cos \beta_{tilt})}{\cos \beta_{tilt}} |dr_{pos}| \quad (3.5.23)$$

$$\gamma_\kappa = \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{\kappa_1} \quad (3.5.24)$$

$$\gamma_\rho = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} \quad (3.5.25)$$

$k = 2\pi/\lambda$  : 파수(wave number),  $a$  : 원기둥 단면의 반지름(cross-sectional radius)

$r_{pos}$  : 산란체의 자세(position),  $J_1$  : 1차 베셀 함수

$\beta_{tilt}$  : 원기둥과 입사파 사이의 각도,  $\kappa = (\rho c^2)^{-1}$  : 압축률,  $\rho$  : 밀도

적조 종의 형태를 구(sphere)로 하여 한 개체에 대해 DWBA model과 fluid sphere scattering 을 모델링한 결과 1 dB 미만의 차이를 보였고 유사한 증가 형태를 보였다.

두 모델의 연산 결과가 유사함을 검증하였고 이를 *Chattonella sp.*에 적용하였다. 적용 전 전자 현미경을 이용하여 *Chattonella sp.*를 촬영후 Auto CAD를 이용, digitizing하여 DWBA model을 통해서 입사각에 따른 산란강도를 계산하였다(Fig. 3.2.33).

적조생물(산란체)의 자세각은 골고루 분포 되어있다고 가정하여 각도별 결과를 평균하였으며, fluid sphere scattering model은 측정된 *Chattonella sp.*의 부피를 이용하여 등가 구형 반경을 계산하였다(Fig. 3.2.34). *Chattonella sp.*의 경우 타원형의 형태를 가지고 있으므로 구 형태를 가정하여 구형 등가 반경을 적용한 fluid sphere model과 DWBA model 사이에 차이가 있을 것으로 생각되었으나 결과는 1 dB 이내의 차이로 경향이 동일함을 확인하였다(Fig. 3.2.35).

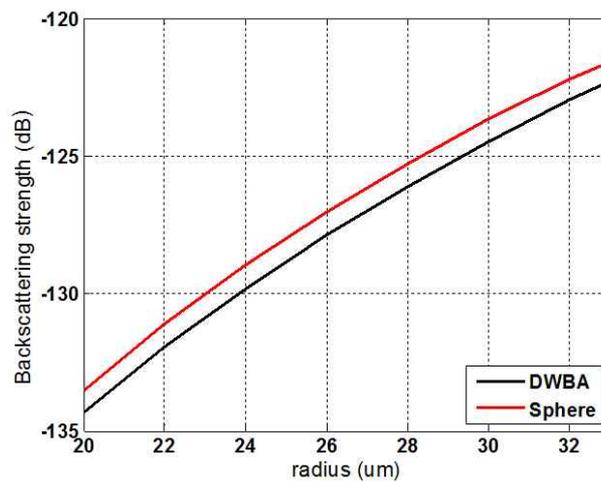


Fig. 3.2.33. Comparison of sphere scattering using acoustic model.

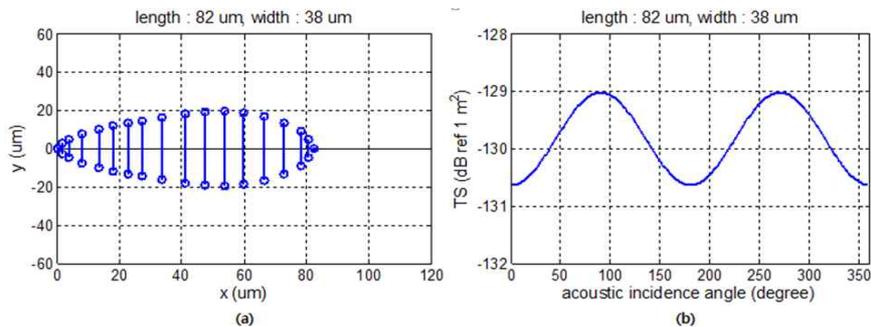


Fig. 3.2.34. Shape of red tide (*Chattonella sp.*) and Result of acoustic model.

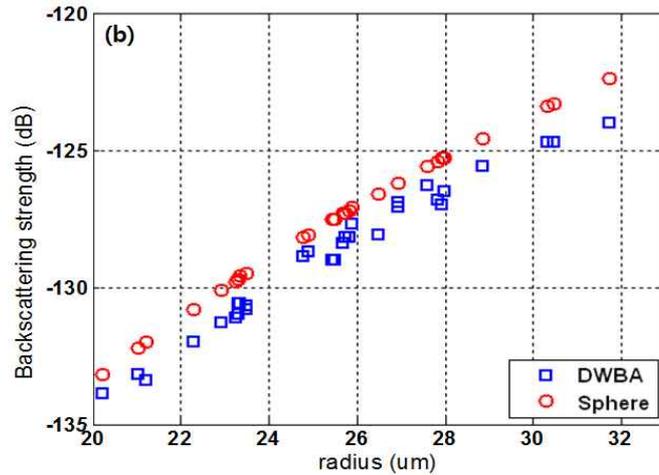


Fig. 3.2.35. Comparison of backscattering of red tide using acoustic model.

#### (4) 적조 플랑크톤의 물리적 특징

해양에서 적조를 일으키는 식물성 플랑크톤의 크기는 직경 1 mm 이상의 대형 종에서부터 5 μm 내외의 소형종에 이르기까지 크기가 다양하다. 그 중 우리나라 연안의 피해를 주는 주요 적조 종은 남해 연안은 *C. polykrikoides* 서해 연안은 *Chattonella* 이다. *C. polykrikoides* 의 경우 크기는 길이 30-40 μm, 폭 20-30 μm 로 형태는 구형에 가까운 타원형이며, *Chattonella antiqua* 의 경우 길이 50-130 μm, 폭 30-50 μm 로 형태는 타원 또는 장타원형이다.

*Chattonella*는 군체를 형성하지 않지만 *C. polykrikoides* 은 단독 혹은 군체를 이루어 산란체의 등가 구형 반경의 변동성이 크다. 해양에서는 최대 16개체까지 형성되는데 음향실험을 위해 배양된 적조 산란체는 최대 8개체까지 군체를 형성하는 것으로 관찰 되었으며, 1-8개까지 군체를 형성시 등가 구형 반경을 계산하면 약 12-24 μm 였다(Fig. 3.2.36). 적조 산란체의 크기는 8개체의 군체가 되어도  $ka < 1$  때문에 레일리 산란체로 가정 할 수 있다.

적조 산란체의 크기는 8개체의 군체가 되어도 5.0 MHz 주파수의 파장에 비해 작기 때문에 레일리 산란체(Rayleigh scatterer,  $ka < 1$ , 여기서  $k$ 는 파수,  $a$ 는 산란체의 반경)로 가정 할 수 있다 (Medwin, 1997). 이 경우 후방 산란 단면적은 주파수의 4제곱과 반지름의 6제곱에 비례하고 산란체와 해수와의 밀도비와 음속비의 함수이다. 밀도비와 음속비는 정확한 값을 얻을 수는 없지만 *C. Polykrikoides*과 강(class)이 동일하여 형질이 유사한 와편모조류(*Dinoflagellate*) *Peridinium sp.* 의 밀도비와 *Gymnodinium sp.*의 음속비를 알고 있기 때문에 오차범위를 고려하여 각각 1.06, 0.99로 가정하여 이론적인 후방 산란강도를 계산을 하였다(Table 3.2.4).

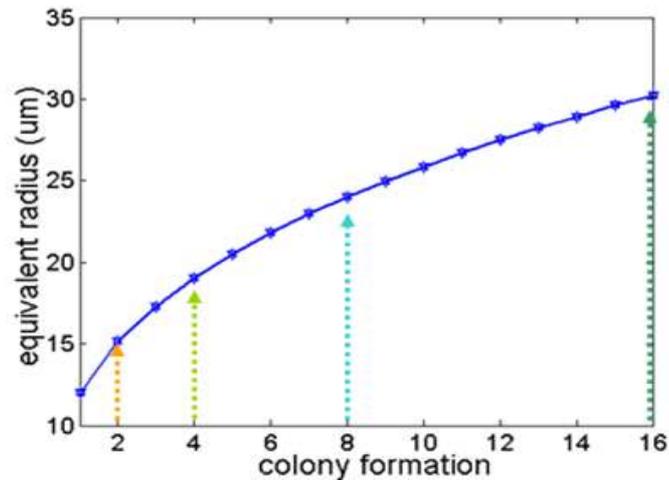


Fig. 3.2.36. Equivalent spherical radius from types of chain-forming red tide (*C. polykrikoides*).

Table 3.2.4. Values of density ratio (g) and sound speed ratio (h) for phytoplanktons

Organism			
Class	Species	g	h
Diatom	<i>Biddulphia aurita</i>	1.18-1.23 <sup>(1)</sup>	
	<i>Ditylum brightwellii</i>	1.07-1.13 <sup>(1)</sup>	
	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	1.04-1.09 <sup>(1)</sup>	
	<i>Thalassiosira rotula</i>	1.05-1.10 <sup>(1)</sup>	
	<i>Skeletonema costatum</i>	1.12-1.17 <sup>(2)</sup>	1.12±0.02 <sup>(2,4)</sup>
Dinoflagellate	<i>Peridinium sp</i>	1.03-1.06 <sup>(1)</sup>	
	<i>Gymnodinium sp.</i>		0.97±0.02 <sup>(3,4)</sup>
(1) Silvia Blanc <i>et al.</i> (2000)			
(2) E.T Van Lerland <i>et al.</i> (1984)			
(3) Silvia Blanc <i>et al.</i> (2004)			
(4) D. chu and P.H. Wiebe (2005)			

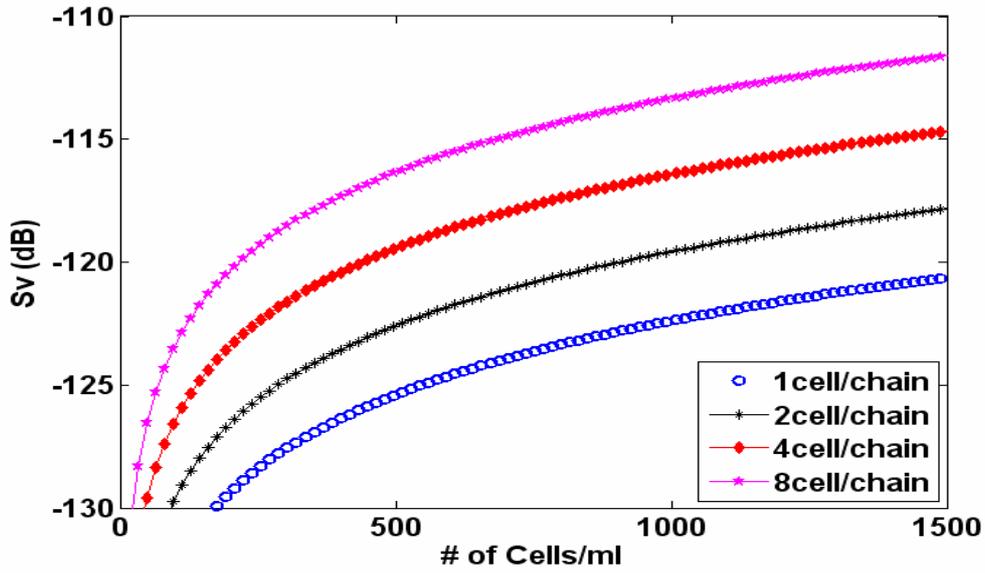


Fig. 3.2.37. Backscattering cross section,  $\sigma_v$ , Harmful algae vs. equivalent sphere radius  $a$  ( $\mu\text{m}$ ).

Fig. 3.2.37은 식 3.5.19를 이용하여 계산한 후방 산란 단면적(Backscattering cross section)이 주파수  $f$ 와 산란체의 등가구형 반경  $a$ 에 따라 변화하는 양상을 나타낸 것이다. 등가구형 반경  $a$ 의 변화는 적조생물의 군체의 변화에 의한 등가 구형 반경의 증가에 의한 것이며 주파수  $f$ 는 실험에 사용한 주파수 대역이다. 또한 fluid sphere scattering model 을 이용하여 후방산란 강도를 구하기 위해서는 적조 생물의 구형반경, 밀도비, 음속비가 필요하다.



Fig. 3.2.38. Size of red tide organism (*C. polykrikoides* and *Chattonella antiqua*).

밀도비와 음속비의 경우 정확한 값을 얻을 수 없어 기존에 연구된 다른 종의 플랑크톤 밀도비를 조사하였다. Van Ierland E. T. and Peperzak L.(1984)은 *C. polykrikoides*과 강(class)이 동일하여 형질이 유사한 와편모조류(*Dinoflagellate*), *Peridinium sp.* 의 밀도를 1.08-1.12 g/cm<sup>3</sup>로 보고하였으며, Kamykowski 등(1992)은 6종의 와편모조류의 밀도를 1.06-1.09 g/cm<sup>3</sup> 로 보고하였다. 플랑크톤의 음속비는 Medwin and Clay(1998), Blanc 등(2000), Mukai 등(2004)이 1.00-1.07 로 보고하였다.

*Chattonella sp.*의 경우, 밀도비와 음속비의 정확한 값을 얻기 위해 연구실에서 직접 측정 하였다(Fig. 3.2.38).이때의 *Chattonella sp.*의 배양액의 염분 농도는 31 ‰, 온도는 23 °C 이고, 빛의 노출주기를 12시간으로 설정하였다.

밀도 측정은 등밀도 원심분리법(density gradient method)을 이용하였다. 세포 또는 고분자 등을 분리하는데 이용되는 Percoll(Sigma Co., Ltd, with a density of 1.13 g/ml) 용액에 1.5M 염화나트륨 용액과 증류수를 혼합하여 원하는 삼투압과 밀도를 만들고, 적조 생물을 투입하여 원심분리하게 되면 적조 생물의 고유 밀도층으로 이동한다. 다음과 같은 식으로 삼투압 및 농도를 조절할 수 있다.

$$V_0 = \frac{V(\rho - R\rho_{10} - (1 - R))}{\rho_0 - 1} \quad (3.5.26)$$

$$R = \frac{V_c}{V_p + V_c}, \quad (3.5.27)$$

$$V_p = V_c \frac{O_c - O_f}{O_f - O_p} \quad (3.5.28)$$

$V_0$  : Percoll 원액의 부피,  $V$  : 만들고자하는 밀도를 갖는 용액의 부피

$\rho$  : 만들고자하는 용액의 밀도,  $\rho_0$  : Percoll 원액의 밀도,  $\rho_{10}$  : 염화나트륨의 밀도

$O_c$  : 염화나트륨의 삼투압,  $O_f$  : 만들고자하는 삼투압,  $O_p$  : Percoll 원액의 삼투압

$V_c$  : 염화나트륨의 부피

삼투압은 밀도를 고정시킨 후 일반 포유류 세포의 320 mOsm(삼투압의 단위) 부터 해수의 농도인 약 1100 mOsm까지 다양하게 실험을 하였다. 플랑크톤의 경우 520 mOsm 이하에서는 삼투압이 낮아 세포가 터진 것을 확인하였으며(Fig. 3.2.39(a)), 범위를 좁혀 *Chattonella sp.* 와 해수 및 900, 1000, 1100 mOsm의 용액을 넣은 후 원심분리기로 380 RPM으로 30분간 원심분리 하였을 때 1000 mOsm에서 해수의 상태와 가장 비슷한 것을 확인하였다(Fig. 3.2.40). 삼투압에 의한 크기의 변화는 전자현미경으로 촬영하여 Auto CAD를 이용하여 각 삼투압마다 100 cells의 길이 및 폭을 측정하였다(Fig. 3.2.39(b)). *Chattonella sp.* 는 원심분리전의 영향으로 크기가 조금씩 감소하였다(Table 3.2.5).

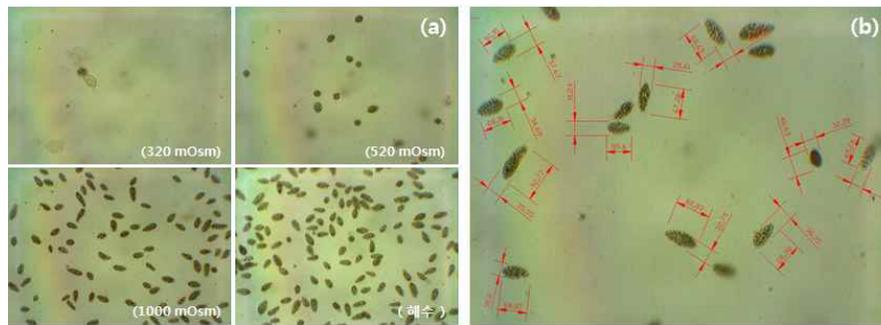


Fig. 3.2.39. Size variation of red tide organism caused by osmotic pressure.

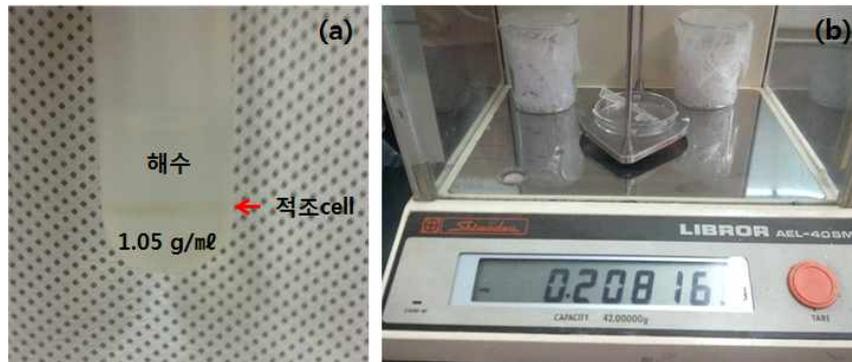


Fig. 3.2.40. Experimental set up for density of red tide.

Table 3.2.5. Comparison with cell size son the osmotic pressure

	길 이	폭
원심분리전	79.34 ( $\pm 11.69$ )	36.82 ( $\pm 3.85$ )
해 수	71.65 ( $\pm 8.93$ )	37.36 ( $\pm 4.22$ )
900 mOsm	68.26 ( $\pm 9.97$ )	35.41 ( $\pm 4.72$ )
1000 mOsm	70.14 ( $\pm 9.26$ )	36.58 ( $\pm 4.37$ )
1100 mOsm	69.42 ( $\pm 9.92$ )	38.05 ( $\pm 3.65$ )

밀도 측정은 총 3회 이루어졌으며, 밀도는 1.04 g/ml 부터 0.01 g/ml 간격으로 1.09 g/ml 까지 변화시켰다. 측정결과 *Chattonella sp.* 는 1.06 g/ml 와 1.08 g/ml 층의 사이에 위치하였다. 음속 측정은 적조생물과 배양액(f2 medium)의 혼합시료에서의 음 도달시간과 배양액에서의 음 도달시간을 각각 측정한 뒤 시간차를 이용하여 음속비를 구하는 time-travel difference method를 사용하였다. 음속비 측정을 위한 수조의 구성은 온도의 변화를 최소화하기 위해서 큰 수조(0.9 × 0.5 × 0.3 m)내에 작은 수조를 비치하였고, 두개의 5.0 MHz 센서가 양끝에 각각 장착된 작은 수조 내(0.15 × 0.03 × 0.04 m)에 혼합시료를 넣고 음이 도달한 시간을 측정한 후 혼합시료를 필터링하여 추출된 배양액의 음 도달한 시간을 측정하였다(Fig. 3.2.41) 음 도달 시간 측정 시 혼합시료내의 cell의 농도는 광학현미경을 이용하여 계수하였으며, 실험의 정확성을 위해서 이상의 과정을 3회 반복하였다.

음속 측정 시 사용된 시스템의 송신신호는 pulser/receiver (5072PR, PANAMETRICS)를 이용하여 0.5 μm의 펄스길이를 갖는 CW신호를 30회 송신하였으며 수신은 2.5 GHz의 sampling 주파수를 갖는 오실로 스코프를 사용하였다. 음속 측정 동안 온도의 변화를 측정하기 위해 고정밀 온도계 (testo 735, Testo)가 사용되었으며 실험동안 온도변화는 constant ± 0.05 °C를 유지하였다.



Fig. 3.2.41. Experimental set up for sound speed of red tide.

음속 측정에 사용된 식은 다음과 같다.

$$c_1 = \frac{r_2 c_0}{c_0 t_1 - r_1} \quad (3.5.29)$$

$c_1$  : *Chattonella sp.* 의 음속,  $c_0$  : f2 medium의 음속

$r_1$  : f2 medium이 차지하는 비율,  $r_2$  : *Chattonella sp.* 가 차지하는 비율

$t_1$  : 혼합시료에서의 음 도달시간

실험의 정확성을 높이기 위해서 총 5회의 실험이 이루어 졌으나 2회의 실험은 문헌에서 조사된 범위(0.99-1.09)에 크게 벗어나 임의로 제거하였고 3회의 측정결과 음속비는  $1.05 \pm 0.03$ 의 범위를 나타냈다.

#### 다. 트랜스듀서 송수신감도 측정

체적 후방 산란신호의 획득에서 트랜스듀서의 송신감도와 수신감도의 측정이 중요하다. 실험에 사용한 초음파 트랜스듀서의 송, 수신감도를 측정하기 위해서 제주대학교 의료공학 연구실과 경북대학교 음향진동공학연구실에 도움을 받아 두 실험실에서 같은 방법으로 측정하였다. 실험방법은 Fig. 3.2.42와 같다. EMDS (Electric Motor Drive System)을 이용하여 Focal type의 5.0 MHz (A309S; PANAMETRICS) 트랜스듀서의 송신감도(Transmitting Voltage Response, TVR)을 3 cm에서 12 cm까지 청음기(Needle hydrophone; TNU001A, NTR Systems, Inc)의 위치를 0.25 mm씩 뒤로 이동하면서 신호를 받았다. 신호는 Pulser/Receiver(5072PR, PANAMETRICS)를 이용하여 만들었고, 증폭기(30 dB Preamplifier, NTR Systems, Inc)를 이용, 증폭된 신호는 증폭한 청음기를 이용하여 수신하였다. 수신 신호는 오실로스코프(54615B, Hewlett Parkard)를 이용하여 확인 한 후, 컴퓨터에 저장하였다. 실험 시 유리수조에 일정온도 유지 장치와 공기방울 제거 장치를 이용하여 실험간 오차를 최소화 하였다. 수신 감도의 경우, 송신감도를 알고 있는 초음파 트랜스듀서를 이용하여 청음기를 대신하여 수신감도를 알려고 하는 트랜스듀서를 위치시켜 송신감도의 측정 방법과 같은 방법으로 측정 하였다(Fig. 3.2.42).

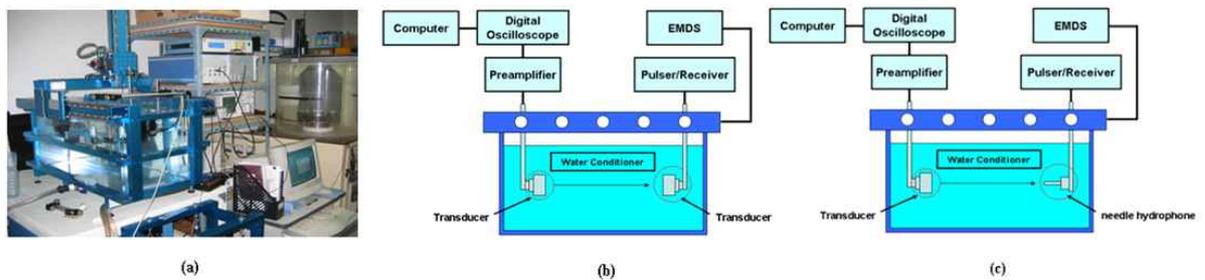


Fig. 3.2.42. Experimental set up for beam patterns of transducers.

3.5 MHz, 5.0 MHz Flat type의 트랜스듀서의 경우에는 다른 방법으로 음원준위를 측정하였다. 일반적으로 음원준위는 음원으로부터 기준 거리 1 m 에서 측정된 수신음압 준위를 말하며 식 (3.5.30) 로 나타낼 수 있다.

$$SL = 20 \log \frac{P_{rms}}{P_{ref}} \quad (3.5.30)$$

여기서  $P_{rms}$ 는 음원으로부터 송신되어 거리 1 m에서 수신된 RMS 음압이며  $P_{ref}$ 는 기준 음압 준위( $1 \mu Pa$ )을 의미한다. 하지만 초음파의 경우 수신신호가 거리 수십 cm 이상에서 급격한 감쇠가 나타나 수신신호의 측정이 불가능하다. 따라서 트랜스듀서에서 4 cm 떨어진 곳에서 청음기를 이용하여 측정한 신호를 음원준위라 하였고, 그 결과를 기준으로 하여 산란강도를 계산하였다. 먼저 Pulser/Receiver에서 송신하는 음압을 측정했다. 초음파는 Pulser/Receiver에서 나오는 negative impulse를 통해서 파형이 만들어진다. 따라서 Pulser의 세기가 음원준위가 된다.

3.5 MHz와 5.0 MHz flat type 트랜스듀서의 정확한 송신 감도(Transmitting Voltage Response, TVR) 과 수신 감도 (Received Voltage Signal, RVS)의 정확한 측정하기 위해 두가지 실험을 실시하였다. 송신감도는 초음파의 음원준위를 측정 하는 방법인 청음기를 이용, 5.0 MHz 트랜스듀서에서 4 cm 거리에서 수신한 신호로 송신감도 측정하여 183 dB 가 측정되었다(Fig. 3.2.43). 수신감도의 측정방법은 송신감도를 알고 있는 트랜스듀서를 이용하여 청음기 자리에 수신 감도를 알려고 하는 트랜스듀서를 위치시켜 송신감도의 측정 방법과 같은 방법으로 측정 하였고, 그 결과 -152 dB 가 측정되었다. 같은 방법으로 3.5 MHz도 실험을 하였고, 그 결과 송신감도와 수신 감도는 각각 187 dB at 4 cm 와 -152 dB at 4 cm 로 측정되었다. 3.5 MHz와 5.0 MHz의 Insonified volume은 pulse length를 산란 구간으로 가정하고, 트랜스듀서의 지름 1.9 cm에 의하여 각각 6.3 dB씩 보정 해주었다.

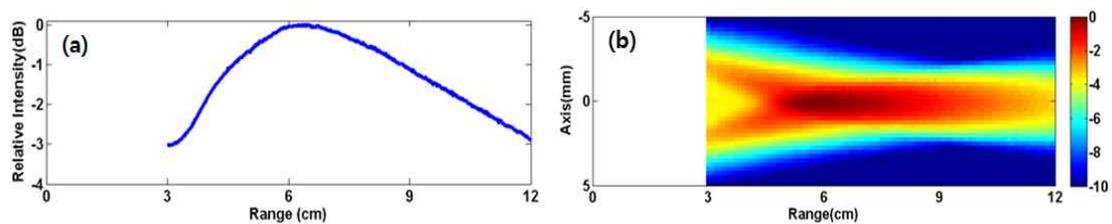


Fig. 3.2.43. Beam patterns of transducers with 5.0 MHz.

## 라. 배양 적조플랑크톤의 개체 수 증가에 의한 후방 산란특성 연구

### (1) 적조생물 배양 및 개체수 측정

음향 실험에 필요한 개체군 밀도에 따른 다양한 음향신호를 획득하기 위해 직접 배양을 하였다. 배양액은 식물성 플랑크톤 배양에 일반적으로 사용하는 F/2 배지(medium)를 이용 하였다. 배양한 적조생물은 우리나라의 주요 적조 종인 *C. polykrikoides* 단일 종으로 영남대학교 해양과학연구소에서 제공한 seed를 이용하여 배양기(vision. VS)에서 배양하였고, 배양에 필요한 f/2 배지(medium)를 만들기 위해 남해 연안 해수를 채수하여 사용하였다. 채수한 해수를 공극의 크기가 0.6  $\mu\text{m}$ 인 GF/F 필터로 여과하고, 고압멸균기로 멸균한 후, 세포의 초기 접종밀도를 100 cells/ml로 하여 배양하였다. 배양 시 사용한 광원은 명암주기는 14:10, 조도는 2500 lux로 하였고, 수온은 적조생물의 최적 온도인 23 °C 에서 배양하였다.

## (2) 실험개요 및 방법

적조생물의 군체의 변화에 따른 후방산란특성을 파악하기 위해 5.0 MHz의 음파를 이용, 코클로디니움의 군체의 유무에 따른 후방산란강도를 측정하였다.

음향실험을 위해 코클로디니움의 Seed를 배지(F/2 medium)로 배양하였고, 군체가 1셀(cell)과 2셀이 우점 인 경우를 case 1으로, 4셀과 8셀이 우점 인 경우를 case 2로 나누어서, 밀도를 300 cells/ml부터 1400 cells/ml까지 다양하게 변화시키면서 실험하였다(Fig. 3.2.44). 음향실험에 필요한 적조생물의 밀도는 국립수산과학원(NFRDI)의 적조 예보 종류 및 발령 기준을 고려하여 적조 주의보 300 cells/ml 와 적조 경보 1000 cells/ml 를 기준을 고려하여 밀도를 정하였다. 군체 분류 시 체를 이용하여 최대한으로 단일 셀과 군체로 분리시켰으나, 적조생물의 크기가 너무 작기 때문에 정확한 분류는 어려웠다. 객관적인 적조 생물의 밀도를 파악하기 위해 실험 전후 각각 5회씩, 전자현미경을 이용하여 계수하여 평균값을 체적 당 셀 수로 환산하였다.

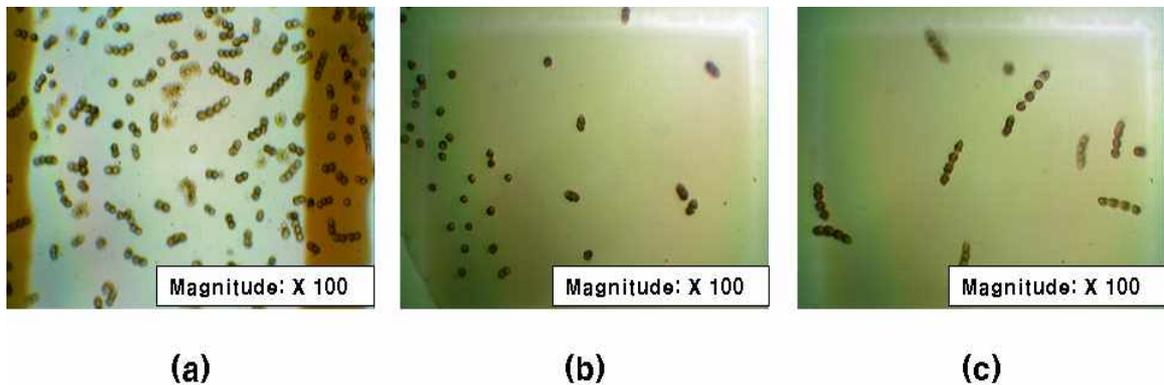


Fig. 3.2.44. Different chains of *C. polykrikoides*.

음향 산란 실험은 300 ml의 체적을 가진 원통형 실린더에서 교반용 자석을 이용하여, 적조 생물을 균질하게 분포시켰으며, Pulsar/Receiver(5072PR, PANAMETRICS)에서 신호를 보내 5.0 MHz focal type 음향센서(A309-SU, PANAMETRICS)로 송, 수신하여 체적산란강도를 측정하였다. 펄스의 길이는 1  $\mu$ s 이고, 산란 신호는 5분 동안 교반용 자석을 통하여 충분히 교반 시킨 후, 5.0 MHz 신호를 100번 반복하여, 3분 간격으로 3번씩, 각각의 개체수와 군체의 변화 별로 측정하였다. 체적 산란강도는 수신 신호를 Matlab을 이용하여, 대역 통과 필터를 한 후 계산하였다(Fig. 3.2.45).

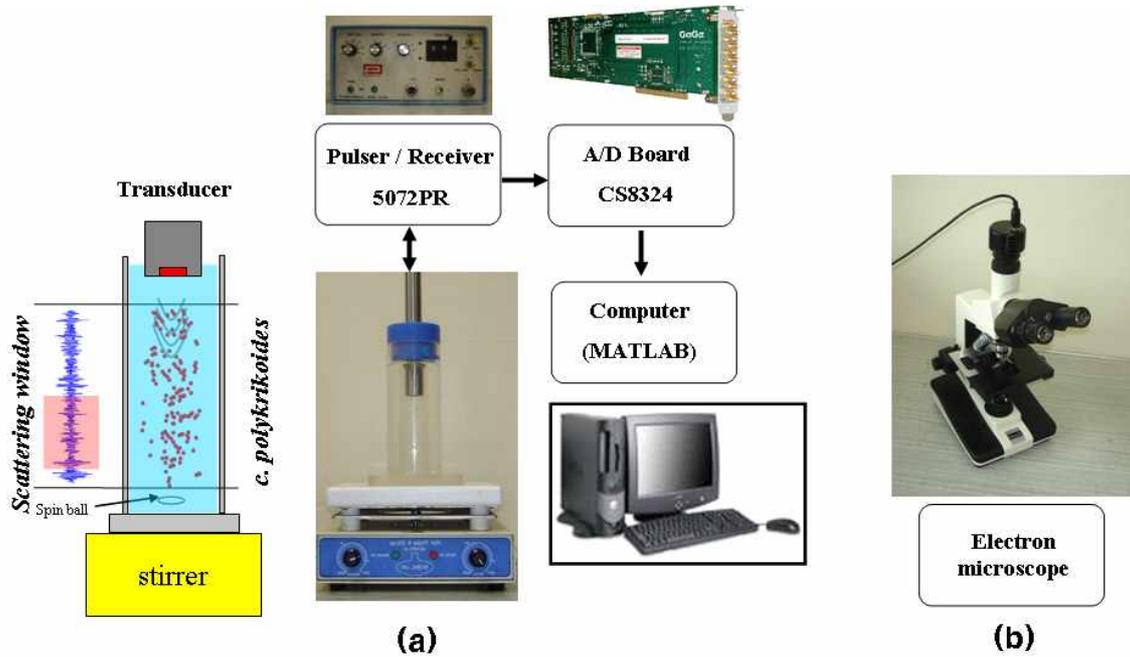


Fig. 3.2.45. Schematic diagram at the experimental set up in lab.

(3) 적조생물 밀도와 후방산란신호와의 상관성 (3.5 MHz, 5.0 MHz)

우리나라 주요 적조종인 *C. polykrikoides*의 객관적인 개체수 변화에 따른 군체 변화를 파악하기 위해서, 배양기에서 직접 배양하여 초기 접종밀도인 100 cells/ml에서부터 1000 cells/ml까지 개체수의 증가에 따른 군체의 변화를 265개의 배양한 샘플을 통해 통계적으로 나타냈다. 배양기 내에서 100셀 이하 일 경우 일반적으로 1개체, 2개체가 우점하였고, 시간의 지남에 따라 개체수의 증가 여부에 따라서 4개체, 8개체가 증가 하는 경향을 보인다(Fig. 3.2.46). 이러한 결과를 이용하여 객관적인 개체수의 변화에 따른 3.5 MHz와 5.0 MHz의 체적산란강도를 이론적으로 계산하였다(Fig 3.5.47). 그 결과 체적 산란강도는 주파수의 4제곱에 비례하므로 같은 개체수와 군체의 경우 5.0 MHz가 3.5 MHz에 비하여 이론적으로 4-5 dB 정도 체적 산란강도가 높게 예측되었다. 이 결과를 바탕으로 실제 배양한 적조 생물의 개체수와 군체의 변화에 따른 후방산란특성을 이론적인 체적 산란강도와 비교하기 위해 3.5 MHz와 5.0 MHz의 음파를 이용, 후방산란신호를 측정하였다. 실험방법은 5.0 MHz focal 트랜스듀서를 이용한 적조생물의 후방산란신호 측정 신호와 같다.

실험 밀도는 국립수산과학원(NFRDI)의 적조 예보 종류 및 발령 기준을 고려하여 300 cells/ml와 800 cells/ml에서 실험을 실시하였다. 적조 생물의 밀도를 파악하기 위해 실험 전 후 각각 5회씩, 전자 현미경을 이용하여 계수하여 평균값을 체적 당 개체 수로 환산하였다.

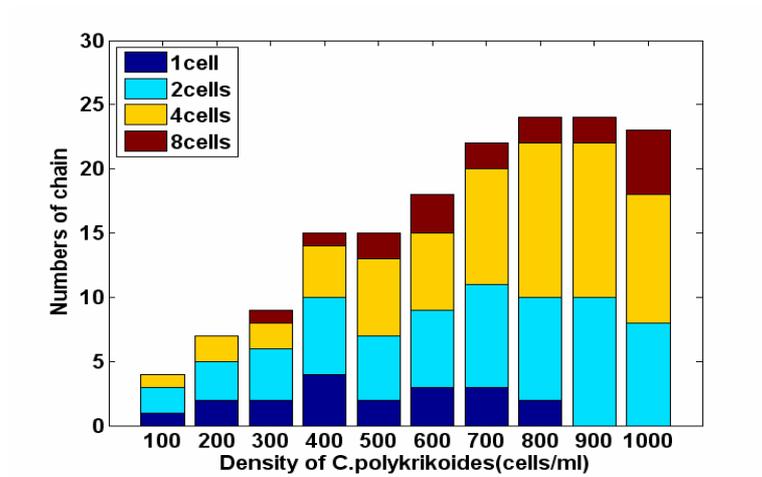


Fig. 3.2.46. Colony formation by the growth of red tide organism in lab.

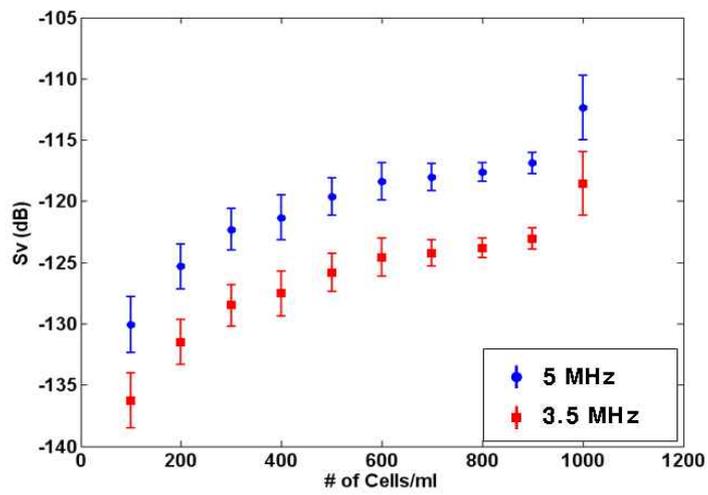


Fig. 3.2.47. Theoretical volume backscattering strength (dB).

Fig. 3.2.48은 적조가 없는 배지의 후방산란강도(c)와 *C. polykrikoides*의 밀도가 300 cells/ml (b) 그리고 800 cells/ml이 우점인 경우(a)의 후방산란신호를 보여준다. 적조 개체수의 증가에 따른 산란횟수 및 산란강도가 증가하는 경향을 보였다.

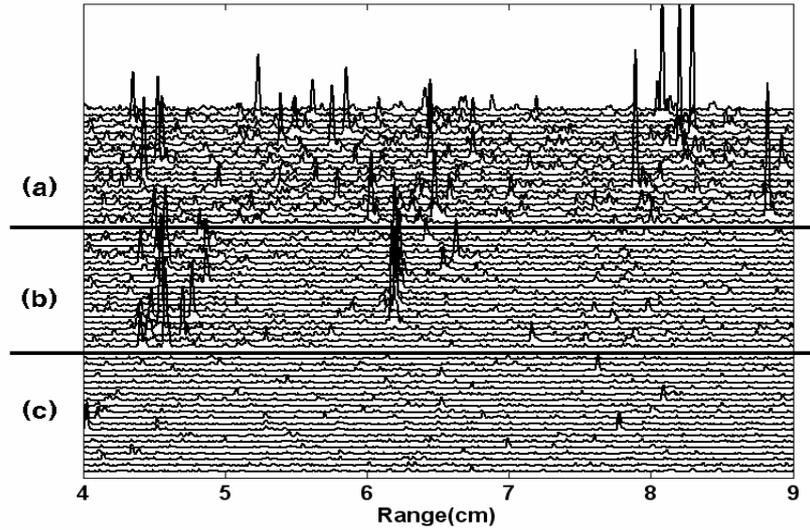


Fig. 3.2.48. Backscattering signals from the *C. polykrikoides*.

Fig. 3.2.49는 *C. polykrikoides*의 개체수의 변화에 따른 후방산란강도를 나타낸 그림으로 실험 전 측정된 음원준위, 송신감도, 수신감도를 고려하여 나타낸 것이다. 적조의 배양상태가 미흡하여 300 cells/ml와 800 cells/ml에 대한 후방산란강도의 측정이 가능 했다.

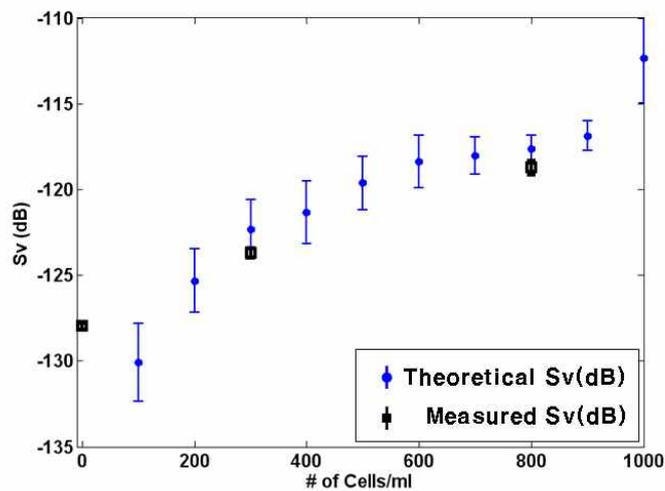


Fig. 3.2.49 Volume backscattering strength per each number of cells.

$$S_v = RL - SL + 40 \log r + 10 \log V \quad (3.5.31)$$

$$V = \frac{c\tau}{2} r^2 \pi \quad (3.5.32)$$

여기서  $RL$ 은 수신음압 준위,  $SL$ 은 음원준위,  $40 \log r$ 은 전달 손실을 나타내며,  $S_v$ 는 후방산란강도,  $V$ 는 산란체적을 나타낸다. 초음파의 특성상 전달 손실은 무시하였고, 산란면적은 펄스 길이를 산란 구간으로 가정하고, 트랜스듀서의 지름 1.9 cm에 의하여 각각 6.3 dB 씩 보정 해주었다. 분석 방법은 5.0 MHz focal type 트랜스듀서를 이용하여 체적산란강도를 계산한 방법과 동일한 방법으로 분석하였고, 체적 산란 구간을 4 cm 에서 9 cm 까지 측정 하였다. 이는 flat type은 focal type과 달리 focal zone이 다르기 때문에 실험실에서 가능한 최대 면적에서 체적산란신호를 측정하였다. 이렇게 측정한 잔향음 준위를 이용하여 체적산란강도를 구하였다. 그 결과 5.0 MHz 트랜스듀서의 경우 적조가 없는 경우에는 -127 dB가 측정 되었고, 적조 생물의 300 cells/ml, 1000 cells/ml인 경우 각각 -124 dB, -119 dB가 측정 되었다. 이는 이론적인 체적산란결과의 오차 범위 내에 포함됨으로 이 결과를 기준으로 하여 실제 실험 해역에서 적조 생물의 유무에 따른 후방산란강도를 3.5 MHz와 5.0 MHz의 두 가지의 주파수로 실험 실시하였다.

### 3. 적조발생해역 환경 및 적조생물 동태 조사

#### 가. 2008년

##### (1) 일반물리환경

###### (가) 수온

7월 두개의 트랙에서 관측된 수온은 15.2-26.1 °C로 변화하여 공간적으로 매우 큰 수온 차를 나타내었다. 8월은 3개의 트랙에서 19.2-24.6 °C로 변화하여 평균값으로는 7월보다 높은 수온을 보이나, 최대 수온은 7월보다 낮은 값을 나타내었고, 공간적으로는 7월 보다 다소 안정된 양상을 보인다 (Table 3.2.6).

7월 단면분포는 16일의 경우 개도 육지부 연안에 위치한 정점 4의 표층에서 높은 수온을 나타내었지만 약 5 m 이심의 천해에서 23 °C 이상의 수온을 보이는 반면, 5 m 이심에서는 23°C 이하의 수온을 나타내었다. 그리고 협수로에 위치하는 정점 1은 금오수로 해역의 중, 저층 해수가 용승하여 표층에 분포하는 양상을 나타내었다(Fig. 3.2.50, 왼쪽). 반면 17일은 해역이 금오도 북동해역으로 변경되었지만 내만보다 외양측 정점의 표층에서 높은 수온을 나타내었으며, 연직적으로 수심의 증가와 함께 완만하게 수온이 하강하는 경향을 나타내었다(Fig. 3.2.50, 오른쪽). 8월 단면분포는 4일의 경우 금오수로 중앙의 도서 사이 협수로를 끼고 조사한 결과로서 협수로 해수흐름의 강한 정점 2에서 큰 변화를 보이는 것을 제외하며, 표층에서 수심이 증가와 함께 서서히 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 3.2.51, 왼쪽). 그리고 5일 가막만 내의 송도 북단의 해역은 전체정점에서 연직적으로 혼합된 수층양상을 나타내었다(Fig. 3.2.51, 가운데). 또한 7일의 붓돌바다 해역의 경우는 연안 육지부에 인접한 정점에서 더욱 큰 변화 폭을 보이는 것을 제외하면 7월과 유사하여 표층에서 높은 수온을 나타내었으며, 연직적으로 수심의 증가와 함께 완만하게 수온이 하강하는 경향을 나타내었다(Fig. 3.2.51, 오른쪽).

Table 3.2.6. Temperature change at 2 m water depth on July and August, 2008 near the Gumo Islands

관측수층	관측일	측정값 (°C)				비고
		Maximum	Minimum	Mean	SD	
2 m	July 16	26.1	18.9	21.3	1.28	
	July 17	24.5	15.2	19.7	2.09	
	Aug. 4	24.6	19.2	21.0	0.74	
	Aug. 5	23.5	21.0	22.1	0.39	
	Aug. 6	24.6	23.5	21.6	1.65	

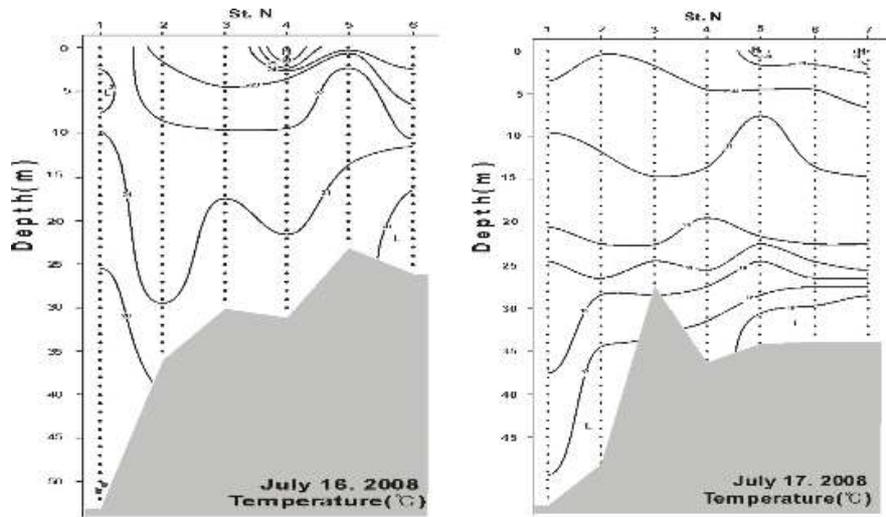


Fig. 3.2.50 Vertical distribution of water temperature on July, 2008 near the Gumo Islands.

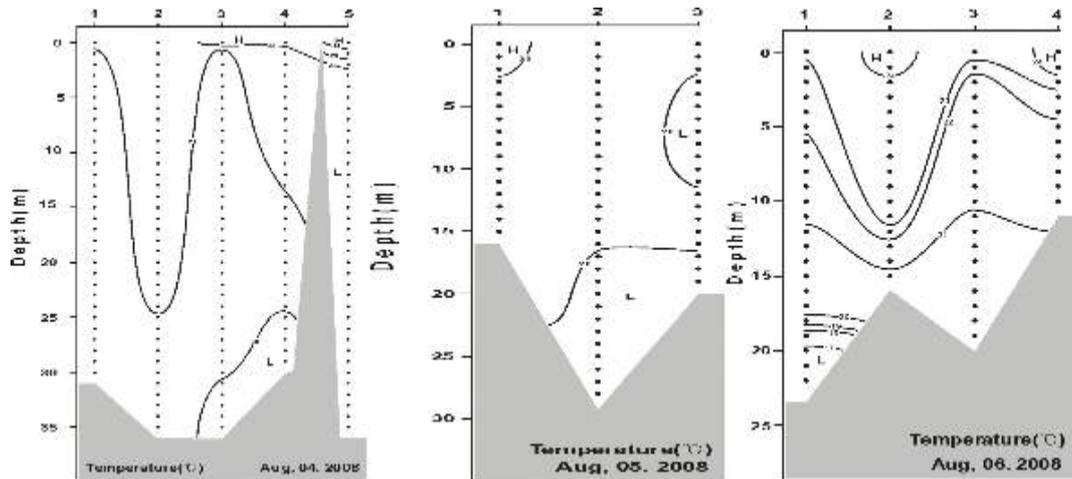


Fig. 3.2.51. Vertical distribution of water temperature on August, 2008 near the Gumo Islands.

(나)염분

7월 가막만 입구 해역의 2 m 수층의 염분은 32.37-33.85 psu로 변화하여 다소의 공간적 차이는 있지만, 담수 유입 영향을 받는 연안해역에서는 상대적으로 균일한 염분 분포를 나타내었다. 8월도 7월과 경향은 비슷하여 32.63-33.84 psu로 변화하여 7월보다 더욱 균일화된 분포를 나타내었다 (Table 3.2.7).

Table 3.2.7. Salinity change at 2 m water depth on July and August, 2008 near the Gumo Islands

관측수층	관측일	측정값 (psu)				비고
		Maximum	Minimum	Mean	SD	
2 m	July 16	33.23	32.37	32.90	0.19	
	July 17	33.85	32.57	33.16	0.30	
	Aug. 4	33.40	32.94	33.22	0.08	
	Aug. 5	33.17	33.00	33.11	0.04	
	Aug. 6	33.84	32.63	33.23	0.18	

7월 단면분포는 16일의 경우 개도 육지부 연안에 위치한 정점의 표층에서 상대적으로 낮은 염분 농도를 나타내었고, 수로부에서 상대적으로 높은 염분을 보이니, 연직적으로 염분약층 등 큰 특성 없는 분포양상을 보였다. 특히 정점 1의 표층의 낮은 염분은 섬진강 수괴의 영향이라 추정된다(Fig 3.5.52, 왼쪽). 반면 17일은 해역이 붓돌바다 북동해역으로 변경되어, 수온의 경우와는 달리 내만보다 외양측 정점의 표층에서 낮은 염분을 나타내었으며, 연직적으로 수심의 증가와 함께 완만하게 염분 농도가 상승하는 경향을 나타내었다(Fig 3.5.52, 오른쪽).

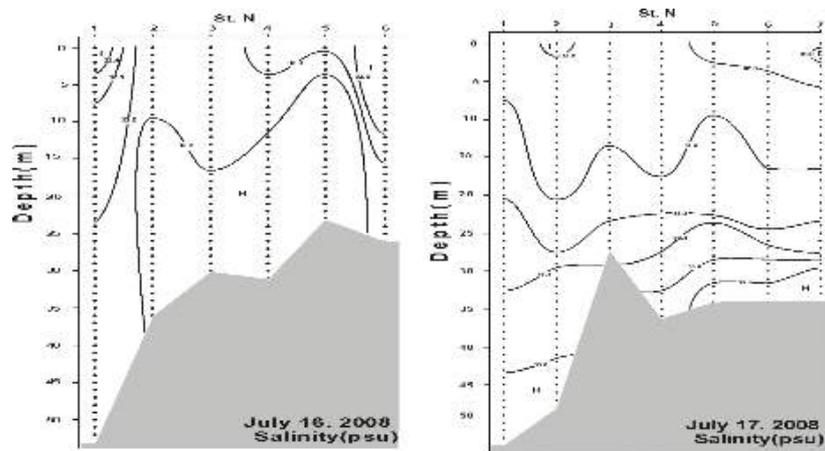


Fig. 3.2.52. Vertical distribution of salinity on July, 2008 near the Gumo Islands.

8월 단면분포는 4일의 경우 금오수로 중앙의 도서 사이 협수로를 끼고 조사한 결과로서 협수로 해수흐름의 강한 정점 2에서 중간 수층에 상대적 저염의 수괴가 존재하는 것을 제외하며, 전체적으로 잘 혼합된 경향을 보인다(Fig 3.5.53, 왼쪽). 그리고 5일 가막만 내의 송도 북단의 해역은 전체정점은 송도 서쪽과 군내리 인접 정점이지만 송도부근 해역에서 섬진강 수괴영향으로 다소 낮은 염분을 가막만 내의 정점에서 상대적으로 다소 높은 염분 농도를 나타내었다(Fig 3.5.53, 가운데). 또한 7일의 붓돌바다 해역의 경우는 전체적으로 정점별 연직적으로 복잡한 상황을 보이는 것처럼 보이나, 개방역의 아표층에 저염 수괴가 출현하는 특성을 나타내었다(Fig 3.5.53, 오른쪽).

대상 해역의 복잡한 염분분포를 나타내는 것은 여름의 경우, 금오도 및 소라도 남쪽에서는 중국 대륙에서 확산되는 양자강 희석수의 영향(Beardsley et al., 1985; 김과 노, 1995, 김 등, 1998; 이, 1999; 양 등, 2000) 황해 저층냉수괴 영향을 받으며(조와 김, 1994), 그리고 돌산 동측에서 금오수로 및 가막만 입구 해역은 섬진강 수괴의 영향(전남대학교 산학협력단, 2007)을 받는 등 비교적 다양한 수괴가 서로 교차하는 특성을 나타내는 해역이기 때문이라 할 수 있다.

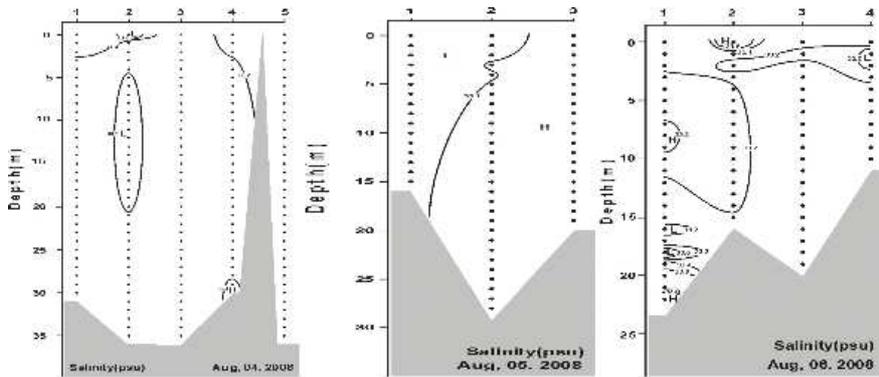


Fig. 3.2.53. Vertical distribution of salinity on August, 2008 near the Gumo Islands.

## (2) 식물플랑크톤 군집

### (가) 종조성

2008년 7월 금오수도 및 주변해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 전체 44속 77종이었으며, 분류군별로는 규조류가 26속 46종으로 59.7 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 15속 27종으로 35.1 %를 차지하였다. 기타로는 규질편모조류, 유글레나조류 및 동물성 편모조류가 소수로 출현하였다(Table 3.2.8; Fig. 3.2.54(a)). 8월도 출현종에서 다소 차이는 있지만 분류군별로 출현되는 식물플랑크톤 종의 수는 7월과 유사하여 전체 48속 78종이었으며, 분류군별로는 규조류가 30속 50종으로 64.0 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 15속 24종으로 30.8 %를, 규질편모조류가 1속 2속으로 2.6 %, 유글레나조류와 동물성 편모조류가 각각 1속 1종으로 각각 1.3 %를 나타내었다(Table 3.2.8; Fig. 3.2.54(b)).

이와 같은 결과는 우리나라 남해 연안 및 내만해역의 경우, 와편모조류는 고수온기에 집중적으로 출현하고 있다는 내용(윤, 2003)과 전체적인 경향은 같이하고 있지만, 조사해역 인근에서 주간 단위로 연속하여 관측하였던 식물플랑크톤 출현 양상조사에서 여름철 와편모조류에 의한 출현종 점유율이 50 % 이상에 미친다는 보고와는 차이 있는 내용을 나타내었다(박, 2007).

Table 3.2.8. Species composition of phytoplankton on July and August, 2008 near the Gumo Islands

분류군	7월			8월		
	출현속	출현종	점유율(%)	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	26	46	59.7	30	50	64.0
와편모조류(Dinoflagellates)	15	27	35.1	15	24	30.8
규질편모조류(Silicoflagellates)	1	2	2.6	1	2	2.6
유글레나조류(Euglenoids)	1	1	1.3	1	1	1.3
동물성 편모조류(Zooflagellate)	1	1	1.3	1	1	1.3
합계	44	77	100	48	78	100

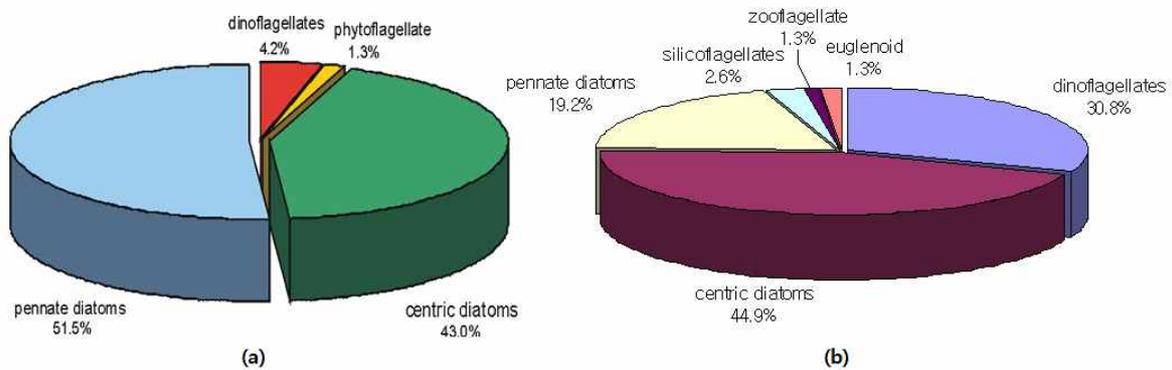


Fig. 3.2.54. Percentage composition of phytoplankton on July(a) and August(b), 2008 near the Gumo Islands.

(나) 현존량

2008년 7월 금오수도 및 주변해역의 식물플랑크톤 현존량은 16일 금오수도에서는 31.9-86.4 cels/L 범위, 17일은 130.4-389.2 cells/mL의 범위로 해역에 따라 단위를 달리하는 출현 세포밀도를 나타내었다. 그러나 분류군별로는 출현 세포밀도 대부분인 94 % 이상의 규조류에 의해 점유되었으며, *C. polykrikoides*와 유사한 특성을 보이는 무각 편모조류의 출현 점유율은 16일에 정점에 따라 전체 식물플랑크톤 현존량의 0.5-2.5 %, 17일은 0.0-1.2 %에 멈추고 있다(Fig. 3.2.55(a)).

2008년 8월의 경우, 4일 금오수도에서는 120.9-338.3 cells/mL 범위, 5일은 161.7-328.1 cells/mL, 그리고 6일은 57.2-3,043.3 cells/mL의 범위로 7월보다는 전체적으로 다소 높은 세포밀도를 보이며, 6일 해수가 착색하여 적조가 발생했던 해역인 정점 25은 다른 정점에 비해 단위를 달리하는 출현세포밀도를 나타내었다. 분류군별로는 전체 정점 평균으로는 와편모조류를 포함한 동물성 편모조류에 의한 세포밀도가 높지만, *C. polykrikoides*와 유사한 특성을 보이는 무각 와편모조류의 출현 점유비는 4일에 7.4-21.8 %, 5일에 4.6-32.1 %, 그리고 6일에 55.2-99.4 %로 높게 나타났다(Fig. 3.2.55(b)).

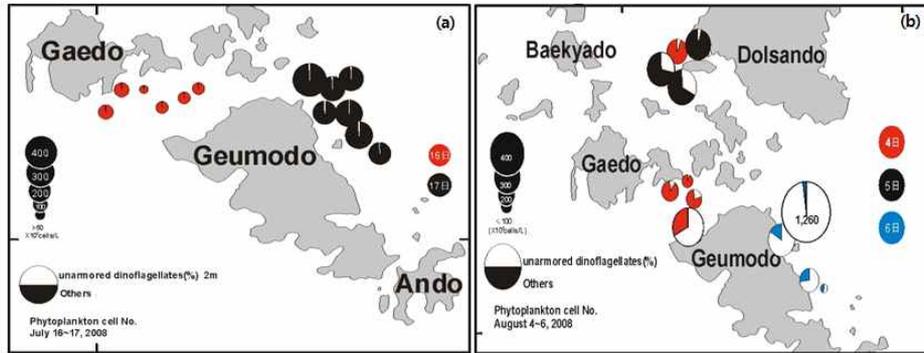


Fig. 3.2.55. Horizontal distribution of phytoplankton on July(a) and August(b), 2008 near the Gumo Islands.

(다) 우점종

2008년 7월 금오수도 및 주변해역은 규조류에 의해 우점되는 양상을 보였으며, 그 중 최우점종은 *Pseudo-nitzschia pungens*로 49.4 %의 우점율을 나타내었다. 그리고 8월은 와편모조류에 의해 우점되었으며 제 1 및 제 2 우점종은 무각 와편모조류, *C. polykrikoides*와 *Gymnodinium catenatum*에 의해 각각 47.5 %와 23.3 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.9). 특히 적조발생에 준하거나 발생이 있었던 8월 6일 정점 4와 정점 5에서는 *C. polykrikoides*가 각각 68.2 %와 73.6 %의 우점율로 극우점하였다.

Table 3.2.9. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on July and August, 2008 near the Gumo Islands

	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
July 2008	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	49.4	
Aug. 2008	<i>C. polykrikoides</i>	47.5	
	<i>Gymnodinium catenatum</i>	23.3	

나. 2009년

(1) 일반물리환경

(가) 수온

2009년 5월 두개의 트랙의 2 m 수층에서 관측된 수온은 14.5-15.2 °C로 변화하여 공간적으로 매우 안정된 분포를 나타내었다. 8월 역시 2개 트랙의 2m에서 22.32-25.0 °C로 변화하여 5월보다는 공간적 변동 차이가 큰 것을 나타내었다. 평균값으로 5월은 8일이 14.6 °C, 9일이 14.5 °C를 나타내었고, 표준편차는 0.1 °C 정도로 안정된 값을 보였다. 그러나 8월은 25일에 24.1 °C, 25일에 23.6 °C를 보여 26일이 24일보다 낮은 값을 보였고, 표준편차도 25일 0.2 °C를 보이는 것에 반해 26일에는 0.7 °C를 나타내어 26일에는 보다 다양한 수괴가 영향을 미치는 것으로 평가할 수 있다 (Table 3.2.10).

Table 3.2.10. Water Temperature change at 2 m water depth on May and August, 2009 near the Gumo Islands

관측수층	관측일	측정값 (°C)				비고
		Maximum	Minimum	Mean	SD	
2 m	May 8	15.0	14.6	14.8	0.11	
	May 9	15.2	14.5	14.7	0.13	
	Aug. 25	25.0	23.2	24.1	0.23	
	Aug. 26	24.9	22.3	23.6	0.66	

5월 수온의 단면분포는 8일 조사한 화태도 우측수로부의 경우로 가막만 내만의 상대적 따뜻한 해수가 만외로 유출되는 양상을 보였으며(Fig 3.5.56(a)), 9일 조사한 트랙에서는 돌산도 남서출 가막만 입구와 금오수로 서측 여지만 입구의 표층수에서 다소 높은 수온을 보였고, 수로부에서 5 m 이심에서는 혼합된 양상을 나타내었다. 저층은 금오수도 서쪽 금오도의 북서쪽에서 상대적으로 차가운 외해수가 유입되는 모양을 나타내었다(Fig 3.5.56(b)).

8월 단면분포는 조사트랙이 지그재그 형태이기에 단면에 큰 의미 부여가 없지만 25일은 비교적 수로부에서 높은 수온을 보이고 있는 반면, 연안부에서 상대적으로 낮은 수온을 나타내었다(Fig 3.5.56(c)). 그리고 26일은 금오수로에서 환상형태로 조사트랙을 잡고 있어 조사시작과 조사 끝이 동일점에서 이루어지고 있지만, 큰 수온차이를 보이고 있어, 수온의 일교차에 북돌바다 해수와 돌산동측 해역의 해수가 교차되면서 나타나는 현상으로 파악되었다(Fig 3.5.56(d)).

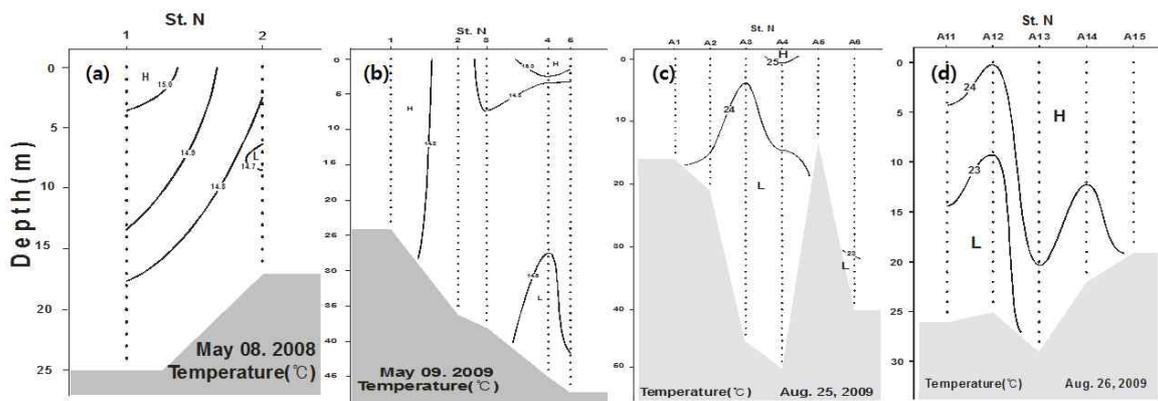


Fig. 3.2.56. Vertical distribution of water temperature on May and August, 2009 near the Gumo Islands.

(나) 염분

5월 금오수도 주변해역의 2 m 수층의 염분은 33.76-34.88 psu로 변화하여 연안 농도로서는 높은 값을 나타내었고, 8월은 29.77-31.77 psu로 변화하여 강우기 담수유입에 따라 매우 낮은 염분을 나타내었다. 평균으로 5월 8일은 33.89 psu, 6일은 33.80 psu로 표준편차 역시 0.1-0.2 psu 조사 일수 및 공간적으로 매우 균일한 분포양상을 보이지만, 8월은 25일이 30.58 psu, 26일이 31.36 psu, 그리고 표준편차도 0.2-0.3 psu를 나타내어 공간적으로는 수온과 달리 비교적 균일하지만, 조

사일에 따른 변화는 비교적 크게 나타났다(Table 3.2.11). 즉 조사해역은 섬진강 배출수의 영향을 직접 받는 곳으로 비교적 다양한 수괴가 존재하고 있어, 조사위치에 따라 염분 차가 차이를 보이고 있는 것으로 판단할 수 있었다.

Table 3.2.11. Salinity change at 2 m water depth on May and August, 2009 near the Gumo Islands

관측수층	관측일	측정값 (psu)				비고
		Maximum	Minimum	Mean	SD	
2m	May 8	34.88	33.78	33.89	0.23	
	May 9	34.39	33.76	33.80	0.08	
	Aug. 25	31.10	29.77	30.58	0.26	
	Aug. 26	31.77	30.99	31.36	0.21	

5월 염분의 단면분포는 외해의 표층에서 내만으로 고염수가 유입되는 양상 및 수로부의 표층에 높은 염분농도를 보이고 있어, 일반적으로 개방된 해역에서는 일어나기 어려운 현상이 발생하고 있다. 이에 대해서는 복잡한 수로부의 해수혼합에 의한 일시적 염분의 역전현상을 보이는 것인지 아니면 관측기기의 문제에 의한 것인지에 대해서는 명확히 할 수 없고, 보다 지속적 모니터링이 필요하다 하겠다(Fig 3.5.57(a)).

8월 염분의 단면분포는 5월과 달리 전체적으로 낮은 염분에 수로부의 연직 혼합된 특성을 보이며, 해역에 따라 수규모의 해수 또는 담수가 보다 많은 양으로 포함된 플룸형태의 패치가 보여진다. 이와 같은 분포경향은 조사트랙의 연안역 및 수로부에 지구재그 형태로 진행된 결과, 보이는 양상이기도 하다(Fig 3.5.57(b)).

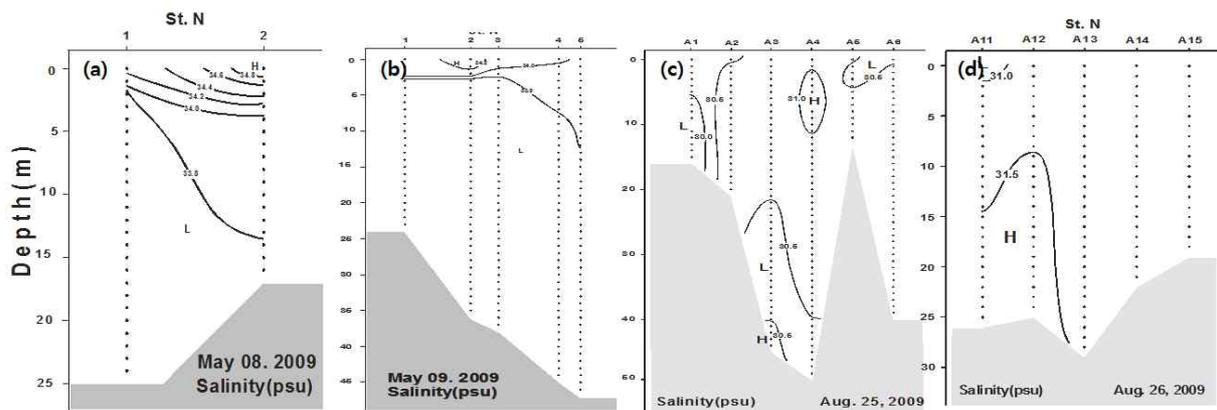


Fig. 3.2.57. Vertical distribution of salinity on May and August, 2009 near the Gumo Islands.

대상 해역의 복잡한 염분분포를 나타내는 것은 여름의 경우, 금오도 및 소라도 남쪽에서는 중국 대륙에서 확산되는 양자강 희석수의 영향(Beardsley et al., 1985; 김과 노, 1995, 김 등, 1998; 이, 1999; 양 등, 2000) 황해 저층냉수괴 영향을 받으며(조와 김, 1994), 그리고 돌산 동측에서 금오수로 및 가막만 입구 해역은 섬진강 수괴의 영향(전남대학교 산학협력단, 2007)을 받는 등 비교적 다양한 수괴가 서로 교차하는 특성을 나타내는 해역이기 때문이라 할 수 있다.

## (2) 식물플랑크톤 군집

### (가) 종조성

2009년 5월 금오수도 및 주변해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 전체 41속 69종이었으며, 분류군별로는 규조류가 27속 48종으로 69.6 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 12속 18종으로 26.2 %를 차지하였다. 기타로는 규질편모조류와 유글레나조류가 각각 1속 2종 및 1속 1종으로 2.8 % 및 1.45의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.12; Fig. 3.2.58(a)). 8월은 출현종에서 다소 차이는 있지만 전체 출현종은 44속 83종으로 5월보다 다소 다양한 출현을 보였다. 분류군별로는 규조류가 25속 50종으로 60.2 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 16속 29종으로 35.0%를, 규질편모조류가 1속 2속으로 2.4 %, 유글레나조류와 동물성 편모조류가 각각 1속 1종으로 각각 1.2 %를 나타내었다(Table 3.2.12; Fig. 3.2.58(b)). 즉 8월은 5월보다 규조류 점유율은 낮아진 반면, 와편모조류에 의한 점유율은 다소 높아졌다.

이와 같은 결과는 우리나라 남해 연안 및 내만해역의 경우, 와편모조류는 고수온기에 집중적으로 출현하고 있다는 내용(윤, 2003)과 전체적인 경향은 같이하고 있지만, 조사해역 인근에서 주간 단위로 연속하여 관측하였던 식물플랑크톤 출현 양상조사에서 여름철 와편모조류에 의한 출현종 점유율이 50% 이상에 미친다는 보고와는 차이 있는 내용을 나타내었다(박, 2007).

Table 3.2.12 Species composition of phytoplankton on May and August, 2009 near the Gumo Islands

분류군	5월			8월 25~26일		
	출현속	출현종	점유율(%)	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	27	48	69.6	25	50	60.2
와편모조류(Dinoflagellates)	12	18	26.2	16	29	35.0
규질편모조류(Silicoflagellates)	1	2	2.8	1	2	2.4
유글레나조류(Euglenoids)	1	1	1.4	1	1	1.2
동물성 편모조류(Zooflagellate)	-	-	-	1	1	1.2
합계	41	69	100	44	83	100

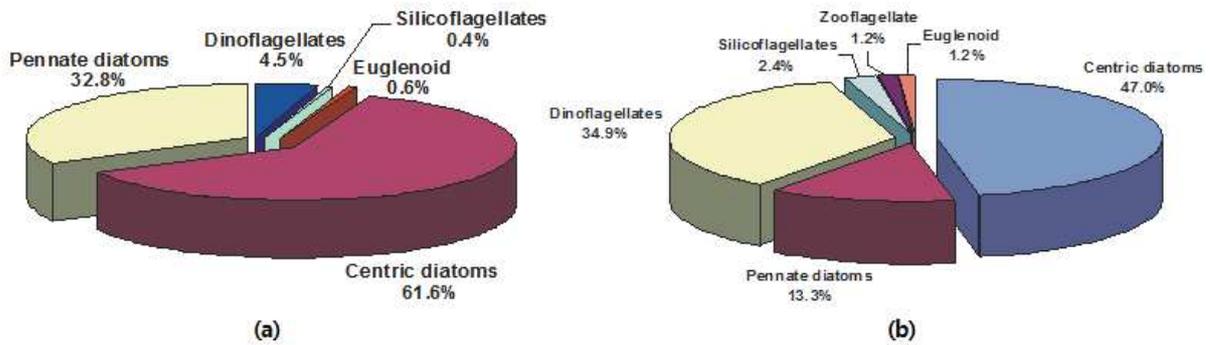


Fig. 3.2.58. Percentage composition of phytoplankton on May(a) and August(b), 2009 near the Gumo Islands.

(나) 현존량

2009년 5월 금오수도 및 화태도 동측수로에서 식물플랑크톤 현존량은  $7.0\text{--}59.9 \times 10^3$  cells/L 범위로 출현하였고, 분류군별로는 규조류가 전체 출현 현존량의 94.4 %를 나타내었다. 규조류에서도 중심목 규조류가 전체 식물플랑크톤에 대해 61.6 %, 우상목 규조류가 32.8 %를 나타내었다. 와편모조류는 전체에 대해 4.5 %를 나타내었고, 기타 편모조류는 1.0 %의 출현 점유율의 현존량을 나타내었고, 공간적으로는 화태도 동측수로에서 금오수도에 비해 월등하게 높은 현존량을 보였다. 특히 금오수도에서는 서측 붓돌바다 해역에 비해 섬진강 수계의 영향을 강하게 받는 동측에서 높은 현존량을 나타내었다(Fig 3.5.59(a)). 2009년 5월 조사정점별 출현 종별 현존량의 출현 양상은 부표 23에 나타내었기에 참고하기 바란다.

8월 식물플랑크톤 현존량은 25일은  $64.0\text{--}452.4 \times 10^3$  cells/L 범위로 출현하였고, 26일은  $307.6\text{--}372.0 \times 10^3$  cells/L 범위로 출현하여 조사일에 따라 평균적으로는 유사하였지만, 최저값은 큰 차이를 보였다. 양일을 통합하여 분류군별 출현 현존량의 양상은 규조류가 5월과 같이 전체 현존량의 94.4 %를 나타내었다. 규조류에서도 중심목 규조류가 전체 식물플랑크톤에 대해 89.1 %로 대부분을 점유하였고, 우상목 규조류는 5.3 %로 5월에 비해 매우 낮은 값을 나타내었다. 와편모조류는 전체에 대해 5.2 %를 나타내었고, 기타 편모조류는 0.2 %의 출현 점유율의 현존량을 나타내었고, 공간적으로는 금오수로 동측의 한 개 정점을 제외하고는 모든 정점에서 비교적 균일한 출현 양상을 나타내었다(Fig 3.5.59(b)). 2009년 8월 조사정점별 출현 종별 현존량의 출현 양상은 부표 24와 25에 나타내었기에 참고하기 바란다.

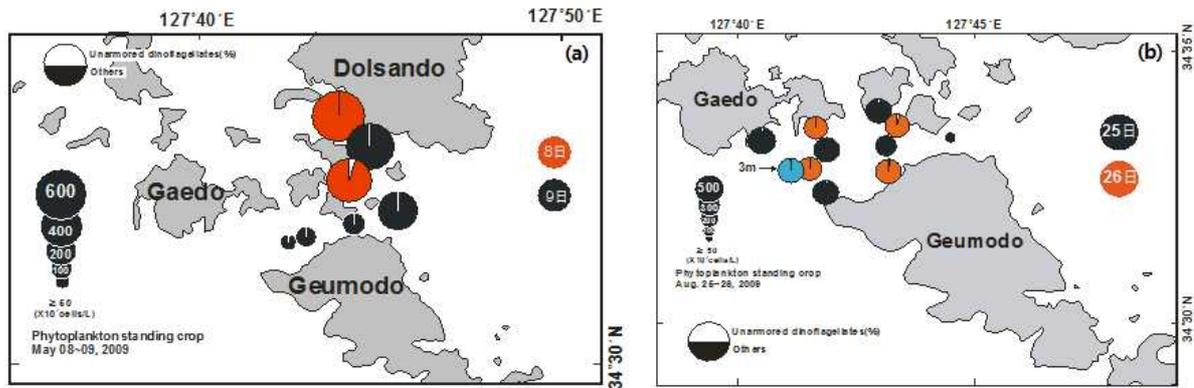


Fig. 3.2.59. Horizontal distribution of Phytoplankton on May (a) and August(b), 2009 near the Gumo Islands.

(다) 우점종

2009년 5월 금오수도 및 화태도 동측해역에서 출현하는 식물플랑크톤 군집에서 전체 정점 평균 5 % 이상의 우점율을 나타내는 우점종은 구조류 6종이 보여진다. 그러나 5월의 경우 내만해역을 끼고 있는 일반적 해역에서는 보기 어렵게 비교적 높은 우점율을 나타내는 종은 없고 6종 모두 6.2 %에서 8.0 %로 매우 낮은 우점율을 나타내는 특성을 보였다. 우점종은 중심목 구조류 4종과 수상목 구조류 2종으로 우점율 순으로 나열하면 *Leptocylindrus danicus*, *Paralia sulcata*, *Guinardia delicatula*, *Thalassionema nitzschioides*, *Asterionellopsis glacialis*, 그리고 *Skeletonema costatum* 이다(Table 3.2.13). 그리고 8월은 5월과는 달리 제1 우점종으로 출현한 중심목 구조류인 *Chaetoceros curvisetus*가 26.9 %의 우점율로서 비교적 높은 점유율을 나타내었고, 다음에는 동일 속에 포함하는 *Chaetoceros debilis*와 *Chaetoceros lacinosus*가 8.1 %의 우점율로 우점 출현하였다(Table 3.2.13).

즉 2009년은 1995년 이후 매년 본 해역에서 적조까지 군 성장을 보이는 무각 와편모조류인 *C. polykrikoides*에 의한 유해적조가 발생하지 않아, 현장에서 적조발생에 따른 음향조사를 할 수 없었다. 또한 5월과 같은 경우는 식물플랑크톤 군집에 특별한 우점종도 존재하지 않아, 음향자료와의 신뢰성을 확보하기에 충분한 현장조사가 어려웠다. 8월 조사이후 9월에 현장조사를 계획하였지만, 8월 말 적조주의보 등에 대한 모든 사항이 해제되어, 유의성 있는 현장조사가 실시될 수 없었음을 명시하여 둔다.

Table 3.2.13. Dominant species and Dominant ratio of phytoplankton on May and August, 2009 near the Gumo Islands.

	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
May 2009	<i>Leptocylindrus danicus</i>	8.0	
	<i>Paralia sulcata</i>	7.7	
	<i>Guinardia delicatula</i>	7.6	
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	7.3	
	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	6.9	
	<i>Skeletonema costatum</i>	6.2	
August 2009	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	26.9	
	<i>Chaetoceros debilis</i>	8.1	
	<i>Chaetoceros lacinosus</i>	8.1	

## 다. 2010년

### (1) 일반물리환경

#### (가) 수온과 염분

2010년 8월 11일 통영시 곤리도 주변해역의 표층수온은 인접하는 정점이지만 내해 쪽에서 22.9 °C, 외해 쪽에서 23.9 °C로 약 1.0 °C 차이를 보였다(Table 3.2.14). 그러나 2010년 9월 20일 내만 해역인 오비도 인근의 4개 정점에 대해서는 오비도 서측수로에서 26.7 °C, 중앙부 및 오른쪽에서는 27.5 °C를 나타내어 표층 수온의 변화는 낮았다(Table 3.2.14). 표층 염분 역시 2회 조사 모두에서 수온과 같이 정점에 따른 다소의 변화는 보이지만, 그 변화 폭은 수온에 비해 매우 적어, 8월은 32.3~2.9 psu, 9월은 29.2-29.3 psu 범위로 비교적 균일한 분포를 나타내었다(Table 3.2.15).

Table 3.2.14. Water temperature at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong

관측일	정점별 수온(°C)								
	Stn. 01	Stn. 02	Stn. 03	Stn. 04	Stn. 05	Stn. 06-1	Stn. 06-2	Stn. 06-3	Stn. 07
Aug. 11	22.9	23.9	-	-	-	-	-	-	-
Sept. 20	-	26.7	26.7	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5

Table 3.2.15. Salinity at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong

관측일	정점별 염분(psu)								
	Stn. 01	Stn. 02	Stn. 03	Stn. 04	Stn. 05	Stn. 06-1	Stn. 06-2	Stn. 06-3	Stn. 07
Aug. 11	32.9	32.3							
Sept. 20	-	29.2	29.2	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3

2010년 8월 25일과 26일 양일에 걸쳐 여수 돌산도 남측해역의 6개 정점에서 실시된 현장조사에서 식물플랑크톤 채수층인 1.0-1.5m 수심에서 얻어진 수온, 염분 및 현장밀도의 변동 내역을 Table 3.2.16에 나타내었다. 표로부터 수온은 22.0°C에서 25.0°C의 범위에서  $23.8 \pm 1.22^\circ\text{C}$ 의 변동 폭을 나타내었다. 염분은 28.64 psu에서 32.54 psu의 범위에서  $30.90 \pm 1.55$  psu의 변동 폭을 나타내어, 섬진강 하구에서 비교적 멀리 떨어진 거리에 위치하는 해역이지만 정점에 따른 염분의 변동 폭이 매우 크게 나타났다. 현장밀도는 18.63에서 22.35의 범위에서  $20.59 \pm 1.46$ 의 변동 폭을 보여, 낮은 밀도값을 나타내었다.

Table 3.2.16. Water temperature, salinity and sigma-t at surface on August and September, 2010 near coastal area of the Yeosu

Stn. No	Water Temp. (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t
1	22.0	32.54	22.35
2	24.7	28.64	18.63
4	25.0	29.38	19.09
5	23.8	31.84	21.32
6	22.8	31.83	21.59
7	24.7	31.20	20.55
Maximum	25.0	32.54	22.35
Mean	23.8	30.90	20.59
Minimum	22.0	28.64	18.63
Standard Deviation	1.22	1.55	1.46

(2) 식물플랑크톤 군집

(가) 종조성

2010년 8월 통영해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 23속 37종이었고, 9월은 30속 45종으로 8월보다는 다소 증가된 출현 종 특성을 보였다(Table 3.2.17). 8월 및 9월 통영해역은 식물플랑크톤 종조성에서 매우 단순한 특징을 나타내었으며, 이와 같은 출현값은 우리나라 남해 내만해역서 매우 낮은 종 다양성을 나타내는 것으로 평가되었다(윤, 2003).

Table 3.2.17. Species composition of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong

분류군	8월 10일			9월 19일		
	출현속	출현종	점유율(%)	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	17	27	73.0	20	26	57.8
와편모조류(Dinoflagellates)	6	10	27.0	9	17	37.8
침편모조류(Raphidophyceae)	-	-	-	2	2	4.4
합계	23	37	100	31	45	100

2010년 8월 통영해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 군집을 분류군별로는 보면, 규조류가 17속 27종으로 73.0 %의 점유율을(중심목 51 %, 우상목 22 %), 그리고 나머지는 와편모조류가 6속 10종으로 27.0 %의 점유율을 나타내었다. 9월은 규조류가 19속 26종으로 57.8 %의 점유율(중심목 38%, 우상목 20 %)을, 나머지는 와편모조류가 9속 17종으로 37.8 %의 점유율 및 침편모조류가 2속 2종으로 4.4 %의 점유율을 보여, 8월보다 식물성 편모조류에 의한 점유율이 높게 나타났다(Fig 3.5.60).

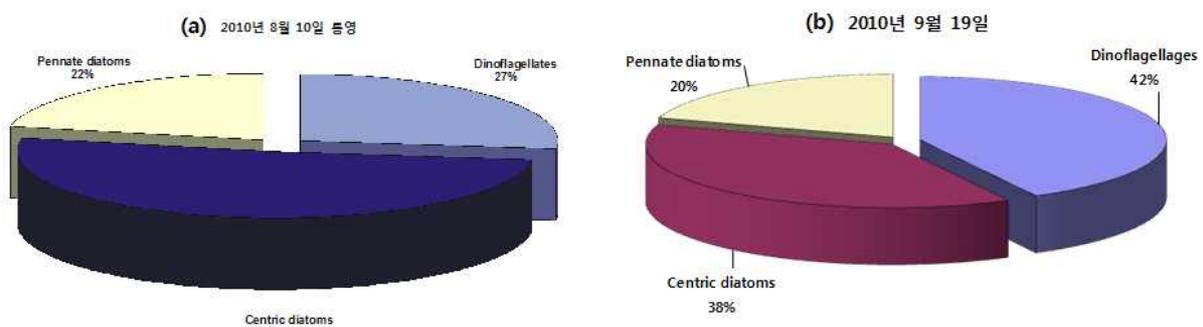


Fig. 3.2.60. Percentage composition of phytoplankton on August(a) and September(b), 2010 near coastal area of the Tongyeong.

이와 같은 결과는 우리나라 남해 연안 및 내만해역의 경우, 와편모조류는 고수온기에 집중적으로 출현하고 있다는 내용(윤, 2003)이나, 여수 가막만 입구해역에서 주간 단위로 연속하여 관측하였던 식물플랑크톤 출현 양상조사에서 여름철 와편모조류에 의한 출현종 점유율이 50 % 이상에 미친다는 보고와도 맥락을 같이 한다(박, 2007).

2010년 8월 25일 돌산도 남쪽 가막만 입구 및 여수해만 해역의 연안 4개 정점에서 실시한 현장 조사 표본에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 32속 52종이 출현하였다(Table 3.2.18). 분류군별로는 규조류가 22속 34종으로 65.4 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 9속 15종으로 28.8 %의 점유율을 차지하였다. 기타로는 규질편모조류와 라피도조류가 각 1속 1종과 2속 2종으로 각 1.9 %와 2.9 %의 점유율을 나타내어, 2010년 5월 및 8월 조사결과와 유사하였다.

Table 3.2.18. Species composition of phytoplankton on August, 2010 near coastal area of the Yeosu

분류군	8월 25일			8월 26일		
	출현속	출현종	점유율(%)	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	22	34	65.4	21	32	65.3
와편모조류(Dinoflagellates)	9	15	28.8	9	12	24.5
규질편모조류(Silicoflagellates)	1	1	1.9	0	0	-
유글레나조류(Euglenoids)	0	0	0	1	1	2.0
라피도조류(Raphidophyceae)	2	2	3.9	2	4	8.2
합계	32	52	100	30	49	100

그러나 8월 26일 가막만 입구해역만을 대상으로 한 조사에서는 정체 30속 49종이 출현하여 25일보다 단순한 종출현 특성을 나타내었다(Fig 3.5.61(a)). 분류군별로는 규조류가 21속 32종으로 65.3 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 9속 12종으로 24.5 %의 점유율을 나타내었으나, 침편모조류인 *Chattonella* 속의 3종이 이례적으로 출현으로(윤, 2010), 침편모조류가 2속 4종이 출현하여 8.2 %의 점유율을 보였고, 기타로는 유글레나조류가 1속 1종으로 2.0 %의 점유율을 나타내었다(Fig 3.5.61(b)).

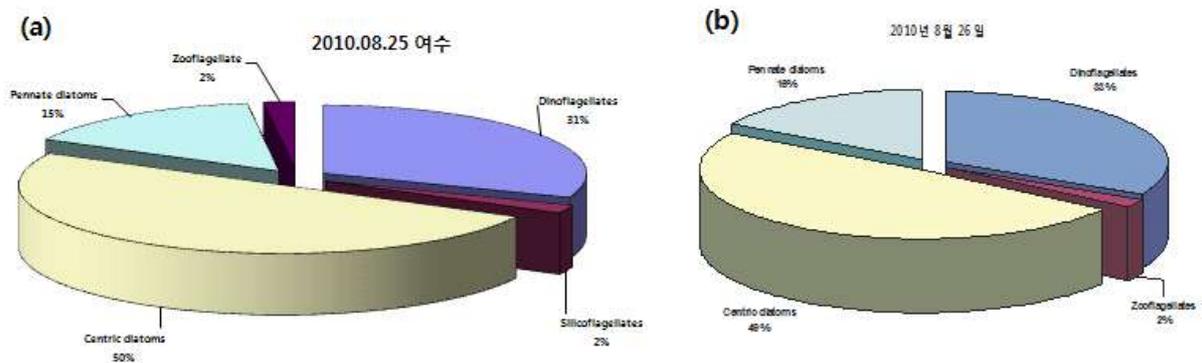


Fig 3.5.61. Percentage composition of phytoplankton on August, 2010 near coastal area of the Yeosu.

(나) 우점종

2010년 8월과 9월 통영해역의 식물플랑크톤 군집에서 우점하는 종을 전체 정점의 평균으로 나타내면 Table 3.2.19와 같다. Table 3.2.19에서 8월 통영해역의 우점종은 모두 규조류에 의해 점유되어, 중심목 규조류인 *Chaetoceros decipiens*와 *Skeletonema costatum*에 의해 각각 27.6 %와 24.0 %의 우점율을 나타내었다. 즉, 8월 통영실험에서는 특이적인 적조생물에 의한 우점현상은 나타나지 않았다. 그러나 9월은 와편모조류인 *C. polykrikoides*와 8월에도 우점하였던 우상목 규조류인 *Pseudonitzschia pungens*에 의해 각각 60.1 %와 13.1 %의 우점율을 나타내어, 와편모조류에 의한 우점율이 매우 높았다 특히 9월 오비도 북측의 정점 4에서는 에 의해 78.0 %의 극우점하는 양상을 나타내어 2010년 통영, 여수 양 해역에서 유일하게 *C. polykrikoides*의 적조군까지 성장한 현상이 관찰되었다.

Table 3.2.19. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Tongyeong

Date	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
2010.08.10	<i>Chaetoceros decipiens</i>	27.6	
	<i>Skeletonema costatum</i>	24.0	
	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	12.9	
2010.09.19	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	60.1	
	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	13.1	

2010년 8월 여수해역의 식물플랑크톤 군집에서 보여지는 우점종은 25일과 26일에 급격히 변화하는 양상을 나타내었다. 즉, 25일에는 모두 중심목 규조류에 의한 우점으로, 제1 우점종은 *Chaetoceros didymus*가 24.1%의 우점율을 보였고, 다음으로 *Skeletonema costatum*과 *Chaetoceros decipiens*가 각각 13.9%와 13.4%의 우점율을 나타내었다. 26일에는 대부분 해역에서 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*에 의해 평균 62.9 %의 우점율로서 극우점 되는 양상을 나타내었다. 이와 같은 현상은 돌산 동측의 여수해만 정점 4에서 더욱 현저하였다(Table 3.2.20).

Table 3.2.20. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and September, 2010 near coastal area of the Yeosu

	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
2010.08.25	<i>Chaetoceros didymus</i>	24.1	51.4 %
	<i>Skeletonema costatum</i>	13.9	
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	13.4	
2010.08.26	<i>Skeletonema costatum</i>	62.9	76.6 %
	<i>Chaetoceros didymus</i>	13.7	

여수해역의 이와 같은 우점종 및 식물플랑크톤 현존량에서 급격한 변화를 보이는 것은 가막만 입구의 경우 매우 복잡한 해양환경 특성을 보이면서, 다양한 수형에 의해 교차적으로 확장 및 축소에 의해 영향을 받고 있기 때문으로 판단할 수 있다(윤, 2010).

2010년 8월 여수해역에서는 통영과는 달리 매년 발생을 보이던 와편모조류 *C. polykrikoides*에 의한 적조 발생이 보이지 않아, 음향장치를 이용한 현장조사 검증에 좋은 조건을 제공하지 못하였다.

## 라. 2011년

### (1) 일반물리환경

#### (가) 수온, 염분 및 현장밀도

2011년 5월 4개 정점에서 플랑크톤 시료를 채집한 수심에서 측정된 수온, 염분 및 현장밀도의 범위는 Table 3.2.21에 나타내었다. 표로부터 수온은 15.2-15.4 °C, 염분은 33.57-33.63 psu, 현장밀도는 24.77-24.86 kg/L로 변화하여 공간적으로 매우 안정된 분포 양상을 나타내었다.

Table 3.2.21. Water temperature, salinity and sigma-a on May, 2011 near the Gumo Islands

정점	항목			비고
	수온 (°C)	염분 (psu)	현장밀도 (kg/L)	
Stn. 1-1	15.2	33.62	24.86	
Stn. 1-2	15.4	33.63	24.82	
Stn. 2-1	15.3	33.62	24.84	
Stn. 2-2	15.2	33.57	24.77	

각 정점에서 수온, 염분, 현장밀도의 연직분포 양상은 그림 3에 나타내었다. 그림에서 수온의 경우 비교적 깊은 수심을 나타내는 정점 1-1과 1-2에서는 표층 및 아표층에서 약하지만 완만한 수온 약층이 보이거나, 수심이 다소 낮은 돌산도 북동해역에서는 연직으로 잘 혼합된 분포 양상을 나타내었다(Fig. 3.2.62(a)). 염분과 현장밀도에서는 표층에서 5 m 수심까지 약하지만 수심의 증가와 함께 염분과 밀도가 높아지는 경향을 보이지만, 5 m 이심에서는 연직으로 잘 혼합된 특성을 나타내었다(Fig. 3.2.62(b)(c))

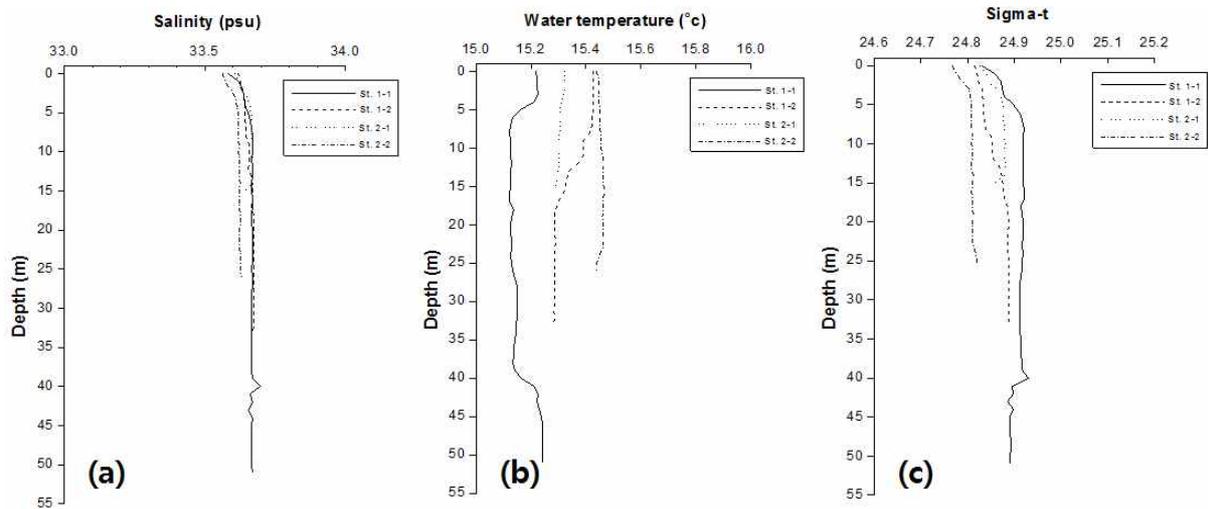


Fig. 3.2.62. Vertical distribution of water temperature, salinity and sigma-a on May, 2011 near the Gumo Islands.

2011년 7월 6개 정점에서 플랑크톤 시료를 채집한 수심에서 측정된 수온, 염분 및 현장밀도의 범위는 Table 3.2.22에 나타내었다. 표로부터 수온은 18.3-20.1 °C, 염분은 32.70-33.27 psu, 현장 밀도는 23.00-23.83 kg/L로 변화하여 5월에 비해 공간적으로 비교적 큰 차이를 나타내었다. 특히 비교적 수심이 깊은 금오도 북동의 금오수로에서 상대적으로 낮은 수온에 높은 염분을 보이는 반면, 가막만 남동 입구부에서 높은 수온과 낮은 염분을 나타내었다.

Table 3.2.22. Water temperature, salinity and sigma-a on July, 2011 near the Gumo Islands

정점	항목			비고
	수온 (°C)	염분 (psu)	현장밀도 (kg/L)	
Stn. 1-1	18.7	33.27	23.77	
Stn. 1-2	18.3	33.21	23.88	
Stn. 2-1	20.1	32.70	23.00	
Stn. 2-2	19.7	32.86	23.20	
Stn. 3-1	19.9	32.96	23.23	
Stn. 3-2	19.6	33.06	23.66	

그리고 각 정점에서 수온, 염분, 현장밀도의 연직분포 양상은 그림 4에 나타내었다. 그림에서 수온의 경우 해역에 따른 수온의 변화도 비교적 크게 나타나고 있었으며, 연직적인 수온 분포도 비교적 깊은 수심을 나타내는 수로부에서는 5 m 수심에서, 그리고 상대적으로 낮은 수심을 나타내는 만입구해역에서는 5-10 m의 수심 부근에서 수온약층이 형성되고 있었다(Fig. 3.2.63(a)).

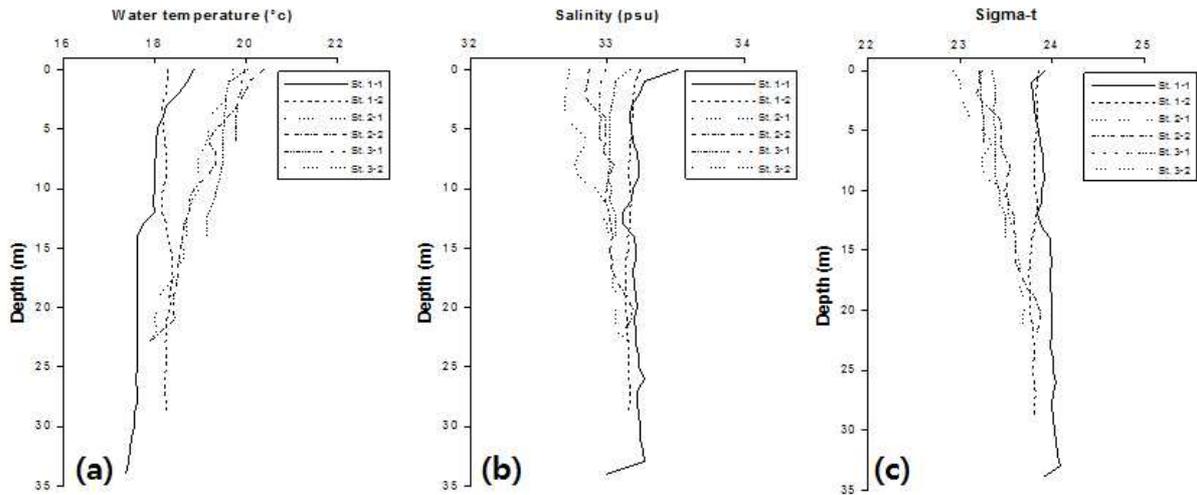


Fig. 3.2.63. Vertical distribution of water temperature, salinity and sigma-a on July, 2011 near the Gumo Islands.

염분과 현장밀도는 5월과는 달리 해역에 따른 분석 값의 차이가 분명하게 보이고 있고, 연직 방향으로서는 극표층에서 다소 낮은 값을 나타내는 것을 제외하면 전체적으로 혼합된 특성을 보이지만, 정점에 따라 그 양상은 다소 다르게 표현되고 있었다(Fig. 3.2.63(b)(c))

## (2) 식물플랑크톤 군집

### (가) 종조성

2011년 5월과 7월 금오수도 및 주변해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 5월에 20속 23종, 7월에 27속 37종으로 매우 단순하였고, 분류군별로는 5월의 경우, 규조류가 16속 19종으로 82.6 %의 점유율을 나타내었고, 와편모조류가 4속 4종으로 17.4 %의 점유율을 보였다. 7월은 규조류가 23속 28종으로 75.7 %의 점유율을, 그리고 와편모조류가 4속 9종으로 24.3 %의 점유율을 나타내며 5월 및 7월 모두 규조류에 의한 점유율이 매우 높았다(Table 3.2.23).

Table 3.2.23. Species composition of phytoplankton on May and July, 2010 near the Gumo Islands

분류군	5월 23일			7월 5일		
	출현속	출현종	점유율(%)	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	16	19	82.6	23	28	75.7
와편모조류(Dinoflagellates)	4	4	17.4	4	9	24.3
합계	20	23	100	27	37	100

음향조사팀에서 제공받은 해수 표본에서 분석한 해역별 식물플랑크톤 군집의 종조성은 완도 신지도 해역의 경우, 전체 출현종은 36속 59종으로 단순한 종조성을 나타내었고, 분류군별로는 규조류가 25속 43종으로 72.9 %의 점유율을, 다음으로 와편모조류가 8속 12종으로 20.3 %, 규질편모조류가 2속 3종으로 5.1 % 그리고 동물성 편모조류가 1속 1종으로 1.7 %의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.24). 서해 변산반도 해역은 전체 출현종은 23속 39종으로 완도보다 더욱 단순한 종조성을 나타내었고, 분류군별로는 규조류가 23속 39종으로 79.6 %의 점유율과 와편모조류가 8속 10종으로 20.4 %의 점유율을 나타내었다. 그리고 여수 돌산 남서해역은 전체 출현종은 29속 36종으로 3개 해역 중 가장 단순한 종조성을 나타내었고, 분류군별로는 규조류가 22속 28종으로 77.7 %의 점유율을, 다음으로 와편모조류가 6속 7종으로 19.5 %, 그리고 규질편모조류가 1속 1종으로 2.8 %의 점유율을 보여, 전 해역에서 규조류에 의해 식물플랑크톤 군집의 지배되는 것으로 나타났다

Table 3.2.24. Species composition of phytoplankton on August and October, 2010

분류군	완도 신지			변산반도			여수 돌산		
	출현속	출현종	점유율	출현속	출현종	점유율	출현속	출현종	점유율
규조류	25	43	72.9	23	39	79.6	22	28	77.7
와편모조류	8	12	20.3	8	10	20.4	6	7	19.5
규질편모조류	2	3	5.1	-	-	-	1	1	2.8
동물성 편모조류	1	1	1.7	-	-	-	-	-	-
합계	36	59	100	31	49	100	29	36	100

(나) 현존량

2011년 5월 금오수도 및 화태도 동측수로에서 출현한 식물플랑크톤 현존량은  $7.5\text{-}43.4 \times 10^3$  cells/L 범위로 출현하여, 매우 낮은 세포밀도를 나타내었고, 분류군별로는 규조류가 전체 출현 세포밀도의 90 % 이상을 차지하였다. 정점별 종별 출현 세포밀도에 대해서는 부표 1을 참고하기 바란다. 그리고 7월 출현한 식물플랑크톤 현존량은  $1.3\text{-}7.0 \times 10^5$  cells/L 범위로 출현하여, 5월에 비해 1-2 단위 높은 세포밀도를 나타내었고, 분류군별로는 5월과 같이 규조류가 전체 출현 세포밀도의 95% 이상을 차지하였다. 정점별 종별 출현 세포밀도에 대해서는 부표 2를 참고하기 바란다.

그리고 음향탐에서 제공받은 해역의 식물플랑크톤 현존량은 완도 신지도의 경우,  $2.0-8.7 \times 10^6$  cells/L 범위로 출현하여, 부영양화해역에 준하는 세포밀도를 나타내었고, 분류군별로는 다른 해역과 같이 평균으로 규조류가 전체 출현 세포밀도의 99.7 %를 차지하였다. 정점별 종별 출현 세포밀도에 대해서는 부표 3을 참고하기 바란다. 서해 변산반도 주변해역의 식물플랑크톤 현존량은  $3.5-18.0 \times 10^5$  cells/L 범위로 출현하여, 완도에 비하면 1단위 정도의 낮은 세포밀도를 나타내었다. 분류군별로는 다른 해역과 같이 평균으로 규조류가 전체 출현 세포밀도의 99.5 %를 차지하였다. 정점별 종별 출현 세포밀도에 대해서는 부표 4를 참고하기 바란다. 여수 돌산 남서해역의 식물플랑크톤 현존량은 두 개 정점뿐이기에 범위의 표현에 의미는 없지만  $2.6-3.0 \times 10^4$  cells/L 범위로 출현하여, 완도에 비하면 2 단위 이상 낮은 세포밀도를 나타냈다.

(다) 우점종

2011년 5월과 7월 돌산도 남서해역에서 출현하는 식물플랑크톤 군집에서 우점하는 종은 규조류 3종으로 나타났다. 각 우점종은 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*이 37.4 %의 우점율을, 우상목 규조류인 *Pseudonitzschia pungens*가 21.1 %의 우점율을, 그리고 중심목 규조류인 *Chaetoceros debilis*가 17.0 %의 우점율을 나타내었다(표 9). 7월 우점종은 모두 중심목 규조류로서, *Skeletonema costatum*에 의해 59.1 %의 높은 우점율을 나타내었고, 다음으로 *Chaetoceros debilis*가 22.40 %의 우점율을, 그리고 *Eucampia zodiacus*에 의해 17.4 %의 우점율을 나타내었다. (Table 3.2.25).

Table 3.2.25. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on May and July, 2010 near the Gumo Islands

Date	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
2011.05.23	<i>Skeletonema costatum</i>	37.4	
	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	21.1	
	<i>Chaetoceros debilis</i>	17.0	
2011.07.05	<i>Skeletonema costatum</i>	59.1	
	<i>Chaetoceros debilis</i>	22.4	
	<i>Eucampia zodiacus</i>	17.4	

음향 조사팀에서 제공받은 해역의 식물플랑크톤 우점종은 Table 3.2.26에 나타내었다. 표로부터 전체해역에서 시기에 관계없이 연쇄체를 형성하는 규조류에 의해 우점되고 있었다. 해역별로 완도 신지도 해역은 모두 중심목 규조류로서 제1 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*가 52.1 %의 높은 우점율을 나타내었고, 제2 우점종은 같은 속의 *Ch. pseudocurvisetus*가 18.4 %의 우점율을, 그리고 제3 우점종은 *Eucampia zodiacus*로 16.4 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.26).

서해 변산반도 주변해역 역시 모두 중심목 규조류로서 제1 우점종은 *Eucampia zodiacus*로 37.1 %의 우점율을, 다음으로 *Chaetoceros curvisetus*가 13.7 %, 그리고 같은 속의 매우 작은 크기를 보이는 *Ch. socialis*가 10.0 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.26).

여수 돌산도 남서해역은 5월 및 7월과 유사하여 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*이 33.9 %의 우점율로 출현하였고, *Paralia sulcata*가 8.9 %, 그리고 *Chaetoceros debilis*가 7.9 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.26).

2011년 조사해역의 공통적 특징은 매우 단조로운 종조성을 나타낸다는 것과 우점종이 모두 연쇄 군체를 형성하는 규조류에 의해 구성되고 있다는 점이었다. 해역별로는 2011년 5월 및 10월 여수 돌산도 남쪽 해역에 출현하는 식물플랑크톤 세포밀도가 매우 낮았으나, 완도 신지도 해역에서는 비교적 높은 세포밀도를 나타내었다. 정점별 세포밀도의 변화 폭은 변산반도, 심지도 및 여수 해역의 7월 조사에서 비교적 크게 나타났다.

Table 3.2.26. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August and October, 2010

Site	Date	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
완도 신지도	2011.08.29	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Ch. pseudocurvisetus</i> <i>Eucampia zodiacus</i>	52.1 18.4 16.4	
서해 변산반도	2011.08.30	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Ch. socialis</i>	37.1 13.7 10.0	
여수 돌산	2011.10.04	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i> <i>Chaetoceros debilis</i>	33.9 8.9 7.9	

## 마. 2012년

현장조사는 2010년 및 2011년에는 국가주도의 해양목장 사업이 추진되는 통영해역과 여수해역을 기본으로 완도 및 변산반도를 추가 조사하였지만, 2012년은 서해의 천수만과 시화호, 남해의 여수 연안 해역에서 채수한 플랑크톤 표본을 대상으로 검경을 실시하였다. 그리고 여수해역의 경우는 해양환경 인자에 대한 조사도 병행하였다(Table 3.2.27).

Table 3.2.27. Environmental survey in 2012

조사 일시	조사 장소	표본 수	조사 방법	비고
2012. 06. 25	시화호	4	시료분석	
2012. 06. 26	천수만	8	시료분석	
2012. 08. 18	여수연안해역	3	공동조사	환경자료
2012. 09. 12	천수만입구해역	10	시료분석	
2010. 10. 10	여수연안해역	12	시료분석	일부 환경자료

### (1) 식물플랑크톤 군집

#### (가) 종조성

2012년 6월 25일 시화호의 4개 정점에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 25속 35종으로 단조로웠다. 분류군별로는 와편모조류가 11속 17종으로 51.2 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 규조류가 12속 14종으로 42.4 %의 점유율을 보였다. 기타로는 규질편모조류와 유글레나조류가 각각 1속 1종으로 각 3.0 %의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.28). 우리나라 연안 해역에서 식물플랑크톤 군집에서 규조류가 아닌 다른 분류군에 의해 점유율이 높게 나타나는 것은 매우 이례적인 내용이라 할 수 있다(Parsons et al., 1984; 윤과 고, 1994).

Table 3.2.28. Species composition of phytoplankton on June, 2012 near the Shihwaho

분류군	식물플랑크톤 군집		
	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	12	14	42.5
와편모조류(Dinoflagellates)	11	17	51.5
규질편모조류(Silicoflagellate)	1	1	3.0
유글레나조류(Eugleloid)	1	1	3.0
합계	25	33	100.0

2012년 6월 26일 서해 천수만의 8개 정점에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 29속 40종으로 단조로웠지만, 시화호의 결과보다는 다소 많은 종수가 출현하였다. 분류군별로는 규조류가 17속 20종으로 50.0 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 11속 17종으로 42.5 %의 점유율을, 그리고 규질편모조류, 유글레나조류 및 동물성 편모조류가 각 1속 1종으로 각각 2.5 %의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.29). 천수만은 시화호와 달리 규조류에 의한 점유율이 다소 높게 나타났지만, 와편모조류에 의한 출현 종 점유율도 42.5 %로 매우 높았다. 식물플랑크톤 출현종수에서 천수만이 시화호와 다른 결과를 보이는 것은 두 해역의 해양환경학적 차이보다는 천수만 채집 정점수가 시화호의 정점수 보다 2 배 정도 높기 때문에 나타나는 현상이라 할 수 있다.

Table 3.2.29. Species composition of phytoplankton on June, 2012 near the Cheonsuman

분류군	식물플랑크톤 군집		
	출현속	출현종	점유율(%)
규조류 (Diatoms)	17	20	50.0
와편모조류 (Dinoflagellates)	9	17	42.5
규질편모조류 (Silicoflagellate)	1	1	2.5
유글레나조류 (Eugleloid)	1	1	2.5
동물성 편모조류( Zooflagellate)	1	1	2.5
합계	29	40	100

2012년 8월 18일 여수 돌산도 남서해역의 3개 정점에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 28속 32종으로 매우 단조로웠다. 분류군별로는 규조류가 20속 22종으로 68.8 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 6속 8종으로 25.0 %의 점유율을, 그리고 유글레나조류 및 동물성 편모조류가 각 1속 1종으로 각각 3.1%의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.30). 여수 연안해역은 앞에서 기술한 서해의 시화호나 천수만과는 달리 규조류에 의한 점유율이 높게 나타났다. 이와 같은 규조류의 출현종 지배율은 우리나라 연안 해역에서 보이는 일반적인 사항이라 할 수 있다. 특히 군체를 형성하는 중심목 규조류인 *Chaetoceros spp.*가 높은 세포밀도로 다양하게 출현하였지만, 세포 크기가 매우 소형으로 세부적 동정은 실시하지 못했다.

Table 3.2.30. Species composition of phytoplankton on August, 2012 near the Dolsan islands

분류군	식물플랑크톤 군집		
	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	20	22	68.8
와편모조류(Dinoflagellates)	6	8	25.0
유글레나조류(Eugleloid)	1	1	3.1
동물성 편모조류(Zooflagellate0)	1	1	3.1
합계	28	32	100

2012년 9월 12일 서해 천수만 입구 해역에서 적조발생시 채수한 것으로 된 Lugol's solution 으로 고정된 10개의 표본에 대해서는 농축율을 10으로 하여 검경하였다. 결과 출현이 확인된 식물 플랑크톤 종은 33속 47종이었다. 분류군별로는 규조류가 20속 28종으로 59.6%의 점유율을 보였고, 다음으로 와편모조류가 10속 15종으로 31.9%의 점유율을, 규질편모조류가 2속 3종으로 6.4%의 점유율을, 그리고 유글레나조류가 각 1속 1종으로 2.1%의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.31). 9월 천수만 입구 해역의 종조성은 6월에 비해 규조류에 의한 점유율은 증가한 반면, 와편모조류에 의한 점유율은 다소 감소하였다.

Table 3.2.31. Species composition of phytoplankton on September, 2012 near the Cheonsuman

분류군	식물플랑크톤 군집		
	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	20	28	59.6
와편모조류(Dinoflagellates)	10	15	31.9
규질편모조류(Silicoflagellate)	2	3	6.4
유글레나조류(Eugleloid)	1	1	2.1
합계	33	47	100

2012년 10월 10일 여수 연안 해역의 11개 정점에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 25속 37종으로 단조로웠다. 분류군별로는 규조류가 14속 19종으로 51.4 %의 점유율을 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 8속 15종으로 40.5 %의 점유율을, 그리고 규질편모조류와 동물성 편모조류가 2속 2종 및 1속 1종으로 5.4 %의 점유율과 2.7 %의 점유율을 나타내었다(Table 3.2.32). 10월 10일 여수 해역은 생 시료 분석 결과 와편모조류 *Noctiluca scintillans*와 *Gymnodinium catanatum*에 의해 적조를 형성하고 있었지만, 농축 시료에서는 와편모조류는 물론 규조류에서 비교적 다양한 종이 출현하고 있었다. 그러나 이와 같은 결과는 이웃하는 북돌바다에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 형성시 200 여종에 가까운 식물플랑크톤이 출현하고 있다는 보고와는 상반되는 내용이다(정 등, 2000).

Table 3.2.32. Species composition of phytoplankton on October, 2012 near coastal area of the Yeosu

분류군	식물플랑크톤 군집		
	출현속	출현종	점유율(%)
규조류(Diatoms)	14	19	51.4
와편모조류(Dinoflagellates)	8	15	40.5
규질편모조류(Silicoflagellate)	2	2	5.4
동물성 편모조류(Zooflagellate0)	1	1	2.7
합계	25	37	100

(나) 우점종

2012년 6월 25일 시화호의 식물플랑크톤 군집을 구성하는 종에서 최우점하는 식물플랑크톤 종은 매우 소형을 나타내는 외편모조류인 *Prorocentrum minimum*으로 40.9 %의 우점율을 나타내었다. 제2 우점종은 유글레나조류에 속하는 *Etreptiella sp. cf. gymnastica*가 14.0 %의 우점율을 나타내었고, 제3 우점종은 외편모조류인 *Protoperdinium conicum*이 4.7 %의 우점율을 나타내었다 (Table 3.2.33). 이들 중 제 1 및 제 2 우점종은 일본 연안해역 및 기수역에서 적조를 발생시키는 종으로 알려져 있지만, 국내 연안에서 우점종으로 출현하는 것은 매우 이례적이다. 또한 제3 우점종은 종속영양을 나타내는 외편모조류로서 우점율은 낮지만 우점종 출현이 쉽지 않은 종이다.

Table 3.2.33. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on June, 2012 near the Shihwaho

일시	우점종	우점율 (%)	비고
2012.06.25	<i>Prorocentrum minimum</i>	40.9	59.6%
	<i>Etreptiella sp. cf. gymnastica</i>	14.0	
	<i>Protoperdinium conicum</i>	4.7	

2012년 6월 26일 천수만의 식물플랑크톤 군집에서 최우점종으로 출현하는 종은 저서성 특성을 나타내는 중심목 규조류인 *Paralia sulcata*로서 23.4 %의 우점율을 나타내었다. 다음으로는 외편모조류인 *Ceratium fusus*가 10.9 %, 제3 우점종은 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*으로 7.1%의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.34). 규조류인 *P. sulcata*는 우리나라 서해안 등 빨의 혼탁한 해역에서 우점종으로 출현하는 대표적인 종이며, *S. costatum*은 국내 연안에서 쉽게 우점종으로 출현하는 종이지만, 외편모조류인 *C. fusus*가 우점하는 현상은 매우 이례적인 내용이라 할 수 있다 (윤, 2011; 최, 2011).

Table 3.2.34. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on June, 2012 near the Cheonsuman

일시	우점종	우점율(%)	비고
2012.06.26	<i>Paralia sulcata</i>	23.4	41.4%
	<i>Ceratium fusus</i>	10.9	
	<i>Skeletonema costatum</i>	7.1	

2012년 6월 시화호 및 천수만 식물플랑크톤 군집을 구성하는 우점종은 하루 차이의 채집이지만, 전혀 다른 경과를 나타내었다. 이는 천수만 및 시화호의 해양환경의 차이에서 발생하는 현상이며, 고수온기 온대해역에서 규조류에서 와편모조류로 종이 천이가 발생하는 것으로 알려지지만, 시화호 및 천수만과 같이 영양염류 공급이 원활한 내만해역의 경우는 상황이 다르다. 그러나 두 해역 모두에서 와편모조류 등 식물성 편모조류에 의한 우점 현상은 해역의 부영양화 등 환경문제의 발생가능성을 매우 높게 하는 내용이라 할 수 있다. 특히 6월 시화호 및 천수만 검경 표본의 경우, 시화호 점점 1-1를 제외하고는 식물플랑크톤 대발생 이후 잔존물로 판단되어지는 부유물질 농도가 매우 높았고, 일반 광학현미경으로 검경하기 어려운 소형의 편모조류와 극소형의 규조류가 다수 포함되고 있었다. 그리고 식물플랑크톤 정량분석과 같은 소량의 표본으로 객관적 평가가 어려운 대형 외편모조류인 야광충(*Noctiluca scintillans*) 파편이 높게 나타나는 것으로부터, 고정 표본에 의한 검경자료의 분석값과 음향탐지에 의한 미소생물 측정값 사이에 유의적 관련성이 크지 않을 수도 있다.

2012년 8월 18일 여수 연안해역의 식물플랑크톤 군집에서 우점하는 종은 모두 규조류였고, 최우점종은 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*로서 28.9 %의 우점율을 나타내었다. 다음으로는 *Pseudonitzschia pungens*와 *Leptocylindrus danicus*가 각각 4.4 %와 4.2 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.35). 그러나 Table 3.2.35에서 *Chaetoceros spp.*를 우점종에 삽입하여 둔 것은 우점종은 단일종을 뜻하고 있어, 복수종을 표현하는 *Chaetoceros spp.*가 우점종은 될 수가 없지만, 전체 출현세포 중에 50 % 이상의 *Chaetoceros* 속이 8월 18일 여수해역의 식물플랑크톤 군집에서 매우 중요한 위치를 점유하고 있기 때문이다.

Table 3.2.35. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on August, 2012 near coastal area of the Yeosu

일시	우점종	우점율(%)	비고
2012.08.18	<i>Skeletonema costatum</i>	28.9	37.5% (87.5)
	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	4.4	
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	4.2	
	<i>Chaetoceros spp.</i>	50.0	

2012년 9월 12일 서해 천수만 입구 해역의 식물플랑크톤 군집에서 우점하는 종은 모두 규조류이며, 최우점종은 중심목 규조류인 *Chaetoceros debilis*로서 30.7 %의 우점율을 나타내었다. 다음으로는 고정표본으로 확실한 동정은 되지 않았지만, 군체를 형성하면서 무각의 대형 와편모조류로서 *Cochlodinium sp. cf. polykrikoides*로 동정한 종이 16.0 %으로 우점율을 나타내었고, 기타 매우 소형종으로 집괴를 형성하는 중심목 규조류인 *Thalassiosira sp. cf. punctingera*와 *Chaetoceros socialis*가 각각 9.4 %와 9.0 %의 우점율을 나타내었다(Table 3.2.36).

Table 3.2.36. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on September, 2012 near the Cheonsuman

일자	우점종	우점율 (%)	비고
2012.09.12	<i>Chaetoceros debilis</i>	30.7	65.1
	<i>C. sp. cf. polykrikoides</i>	16.0	
	<i>Thalassiosira sp. cf. punctingera</i>	9.4	
	<i>Chaetoceros socialis</i>	9.0	

2012년 9월 12일 천수만 입구해역의 검경표본은 적조를 형성하고 있는 것으로 되어 있으나, 전체적으로는 규조류에 의한 세포밀도가 높았다. 특히 무각 와편모조류에 의한 적조이지만 완전한 세포형태 파악이 어려워 정확한 적조원인종을 동정되지만 않지만, 형태 등 여러 가지를 고려하며 보고서에는 unknow으로 단서를 달고, *Cochlodinium sp. cf. polykrikoides*로 정리하였다. 그리고 농축된 검경표본에 부유물 농도는 낮지만 매우 작은 형태로 군체를 이루지만 군체는 집괴형태를 띠는 *Chaetoceros socialis*, *Thalassiosira sp. cf. punctingera* 등 중심목 규조류의 출현 세포밀도가 매우 높았다. 그리고 chain을 형성하는 식물플랑크톤이 경우 표본을 고정하면, 고정시약의 종류에 관계없이 무각의 식물플랑크톤의 변형 및 chain 고리가 탈락하기 쉬워지고, 세포밀도도 과소평가될 수 있기에 고정시료에서 생시료와 같이 chain 형성율이나 정확한 세포밀도를 계산하는 것은 어렵다. 따라서 천수만 입구해역의 *C. polykrikoides* 세포밀도는 현장에서의 내용과 다소 차이가 있을 수도 있기에 음향자료와의 비교에서 충분한 배려가 필요하다 할 수 있다. 그리고 8월 표본에는 무각 와편모조류이면서 독성을 포함하는 *Gymnodinium catenatum*으로 추정되는 종도 4-8개의 군체으로 형성되어 출현하고 있었다.

2012년 10월 10일 여수 연안 해역의 적조는 생 시료에 의하면 와편모조류 *Noctiluca scintillans*와 *Gymnodinium catenatum*에 의한 혼합적조로 *N. scintillans*가 *G. catenatum* 보다 배 이상 높은 세포밀도를 나타내었다. 그러나 고정 시료에서는 이와 같은 결과가 역전되어 *G. catenatum*에 의해 98.5 %의 우점율로 단독 적조를 구성하는 것으로 나타났다(Table 3.2.37).

Table 3.2.37. Dominant species and dominant ratio of phytoplankton on October, 2012 near coastal area of the Yeosu

Date	Dominant species	Dominance (%)	Remarks
2012.10.10	<i>Gymnodinium sp. cf. catenatum</i>	98.5	98.7%
	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.2	

#### 4. 음향탐지 시스템 구축

본 연구를 통해 제시하고자 하는 적조 음향탐지 시스템 (Acoustic system for real-time HABs detection)은 기본적인 동작원리 및 운용개념은 일반적인 소나 시스템과 유사하지만 모든 설계 및 제작 사양이 본 연구에서 음향탐지의 대상이 되는 유해적조생물 즉, *C. polykrikoides*의 조기탐지 및 설치 환경에 최적화된 특수 목적의 소나 시스템으로 볼 수 있다(Fig. 3.2.64).

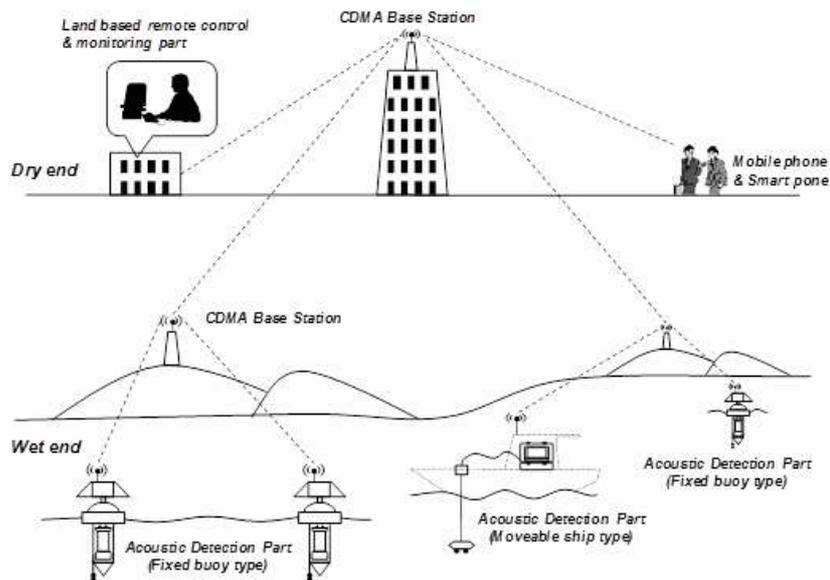


Fig. 3.2.64. Diagram of harmful red tide acoustic detection system

본 장에서는 광역 장기운용을 통한 유해적조생물 탐지데이터 확보를 목적으로 다중해역 동시 운용 및 별도의 유지·보수 작업 없이 수개월 이상 장기 운용이 가능한 적조 음향탐지 시스템을 제시하고자 하였다. 적조생물의 물리적, 음향적 특성 및 실험실 및 실효역에서 수집된 각종 신호 및 데이터의 분석을 통해 이루어진 최적 적조탐지시스템 사양 도출관련 연구내용과 그 결과를 아래와 같은 항목으로 구분하여 기술하였다.

- 산란체 특성 분석 기반 음향센서 최적 주파수 선정
- 에너지 효율성을 고려한 음향센서 구동 설계 및 등가회로 산출
- 신호대 잡음비 향상을 위한 대역통과필터 설계
- 시스템 자원 최적화를 위한 포락선 검파회로 적용
- 탐지효율 향상을 위한 최적 분석영역 설정
- 산란신호에 세기 분석 방법
- 원격제어 및 모니터링을 위한 데이터 송/수신 네트워크 설계

## 가. 시스템 구현의 기술적 접근방안

본 장에서는 광역 다중설치 및 장기 운용을 통한 실시간 적조탐지 모니터링을 목적으로 하는 음향탐지 시스템 구현에 있어 성능 최적화, 자원 최적화 및 운용 최적화 측면에서의 시스템 구현을 위한 기술적 접근방안을 기술 하였다. 적조생물의 보다 효율적인 탐지를 위한 성능 최적화 측면에서는 센서선정, 음향센서 구동설계, 잡음제거 필터설계 방안을 제시하였으며, 자원최적화를 위한 포락선 검파기 적용 및 최적 분석영역 설정 방안, 운용 최적화를 위한 산란신호 세기 분석방법 및 데이터 송/수신 네트워크 망 구성의 내용을 기술하였다.

### (1) 산란체 특성 분석 기반 음향센서 최적 주파수 선정

본 연구의 음향 탐지 대상 적조종인 *C. polykrikoides*는 해수와 유사한 임피던스를 갖는 약 산란체 (weak scatterer)로 타원형 또는 구형에 가까운 형태를 가지며, 단일 셀에 대한 등가구형반경 (equivalent spherical radius)이 약 12  $\mu\text{m}$ 인 대표적인 fluid sphere의 특징을 갖는다. Anderson (1950)에 의해 제안된 fluid sphere scattering model (Fig. 3.2.65)에서 볼 수 있듯이 산란체의 크기가 인가되는 음향신호의 파장에 비해 상대적으로 작은 레일리 산란체 (Rayleigh scatter,  $ka < 1$ , 여기서  $k$ 는 파수,  $a$ 는 구형 산란체의 반지름)인 경우 산란단면적 ( $\sigma_{bs}$ : backscattering cross-section)의 크기가 파수와 산란체의 크기에 비례하여 증가하지만 이후 영역 즉,  $ka > 1$ 의 구간에서는 주파수의 변화에 따른 비선형적인 위상간섭차이 발생으로 인해 산란단면적의 크기가 반복적인 변동을 보임에 따라 측정된 체적 산란강도를 이용한 산란단면적 예측 즉, 적조생물의 개체 수 판단이 어려운 구간으로 볼 수 있다(Medwin, 1998).

적조 음향탐지 이론에 언급된 바와 같이, *C. polykrikoides*의 등가 구형 반경은 군체를 이루는 셀의 종류에 따라 12-30  $\mu\text{m}$ 의 범위를 갖는다. 따라서 *C. polykrikoides* 산란체에 대한 효율적인 후방산란강도 측정을 위해서는 각각의 셀이 갖는 등가 구형 반경에 대해  $ka < 1$ 의 조건을 만족하는 주파수 범위를 갖는 센서의 선정이 우선 되어야 한다. Fig. 3.2.65는 주파수의 증가에 따른  $ka$ 값의 변화를 *C. polykrikoides*의 군체 종류 즉, 등가구형반경 크기 별로 표현 한 것이며, 동시에 센서 별 사용 주파수 대역이  $ka < 1$ 의 조건을 만족하는지 여부를 확인하기 위해 PANAMETRIC사의 ACCUSCAN series, IMMERSION type 센서에 대한 모델 별 -3 dB 주파수 대역을 주파수 축에 따라 표현 하였다.

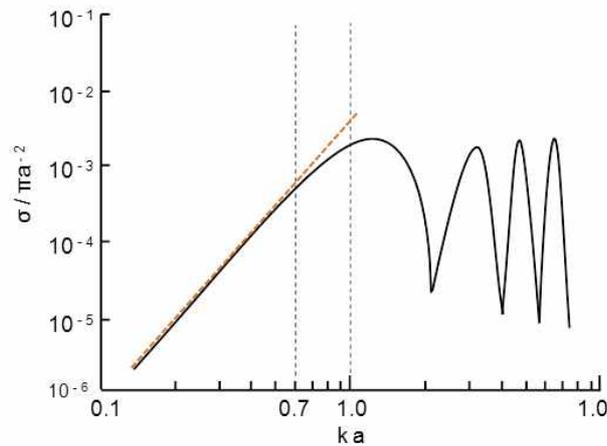


Fig. 3.2.65. Fluid-sphere acoustic backscattering model.

Fig. 3.2.66에서 볼 수 있듯이 A381S (3.5 MHz) 및 A308S (5.0 MHz) 센서는 모든 종류의 셀 군집 형태에 따른 등가반경 (12-30  $\mu\text{m}$ )에 대해 Anderson의 fluid-sphere scatter 모델에서 비교적 선형적인 특성을 보이는 구간인  $ka < 0.7$ 의 조건을 만족하는 주파수 대역을 가지므로 C. polykrikoides의 후방산란강도 측정 목적에 적합함을 알 수 있다. 반면, A321S (7.5 MHz) 센서의 주파수 대역은 등가 구형 반경이 30  $\mu\text{m}$ 의 산란체에 대해  $ka$ 가 1.0 이상의 값을 갖는 구간을 포함하고 있으며, 높은 주파수의 센서에 대한 구동신호 크기제한과 디지털 변환 및 처리를 위한 고 사양 하드웨어 요구됨에 따라 적용 대상에서 제외 하였다. 또한, 언급된 센서 이외에 중심 주파수가 1.0 MHz 및 2.25 MHz인 센서 모델도 있으나, 주파수가 낮을수록 후방 산란 단면적의 크기가 상대적으로 작아져 소모 에너지 대비 탐지효율이 떨어짐을 고려할 때 본 시스템의 용도에 적합하지 않음을 알 수 있다. 언급된 2종의 센서는 이와 같은 탐지 효율성 측면 이외에도 저가형 상업용 센서를 사용함으로써 향후 상용 수준의 시스템 개발과정에서의 장비 제작비용 및 유지보수 측면 함께 고려된 센서이며, 방수 및 물과의 임피던스 매칭이 고려된 센서로 본 연구와 같은 수중 설치용 응용분야에 적합한 센서이다.

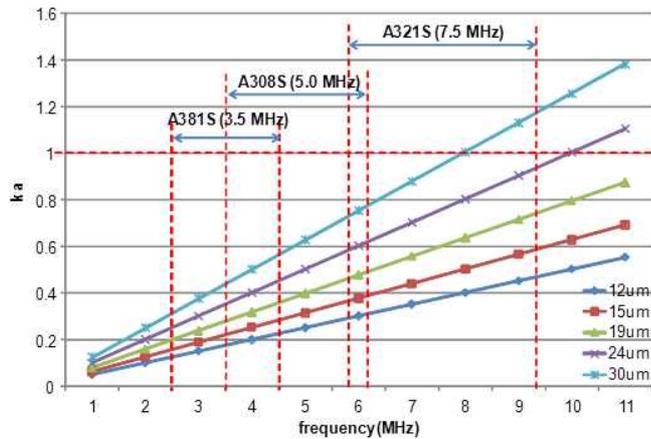


Fig. 3.2.66. Optimal ultrasonic sensor frequency selection.

## (2) 에너지 효율성을 고려한 음향센서 구동 설계 및 등가모델 산출

음향센서는 압전 효과를 이용한 센서로 전기 에너지를 음향 에너지로 변환하거나 반대로 음향 에너지를 전기 신호로 변환하기 위한 목적으로 사용되며, Fig 3.5.67에서와 같이 전기-기계진동 변환을 위한 압전소자(active element), 잔음파 및 진동 흡수를 위한 후면판(backing), 진동에너지 전달을 극대화하기 위한 전면 매칭면(wear plate) 및 보호 및 진동안정, 후면발산 방지 등을 목적으로 하는 외부 하우징(external housing)등의 요소로 구성된다.

이와 같은 구조의 음향센서를 이용한 음향신호 발생을 위해서는 압전소자에 일정량 이상의 에너지를 갖는 전기신호가 인가되어야 하며, 센서의 효율적이고 안정적인 사용을 위해서는 사용하고자 하는 목적과 센서의 물리적, 전기적 특성 등이 종합적으로 고려된 구동신호의 선정 및 설계가 이루어져야 한다.

본 연구에서 적용된 센서(A318S, A308S)는 음 전위 스파이크 펄스 구동(negative spike pulse excitation)에 최적화된 센서이다 (PANAMETRIC-NDT 2012). 일반적으로 이와 같은 스파이크 펄스 구동형 센서는 에너지 효율이 높고, 광대역 주파수 응답특성을 가지며, 탐지에 있어 거리 분해능(range resolution)을 높일 수 있다는 장점을 갖는다. 스파이크 펄스는 급격한 전압천이(voltage transition) 현상을 이용하여 센서의 압전소자를 진동시킴으로써 센서로부터 1-2  $\mu\text{s}$  가량의 짧은 펄스길이(pulse length)를 갖는 초음파 신호를 발생 시키며 이와 같은 짧은 펄스는 주파수 영역에서 광대역 응답특성으로 나타난다(Fig 3.5.68).

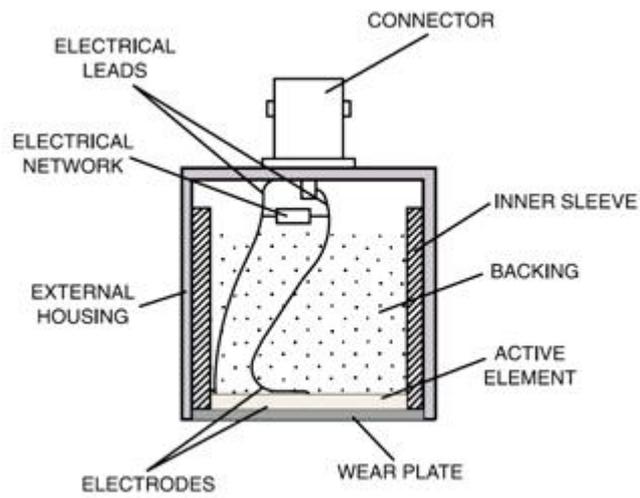


Fig. 3.2.67. Major components of ultrasonic acoustic transducer.

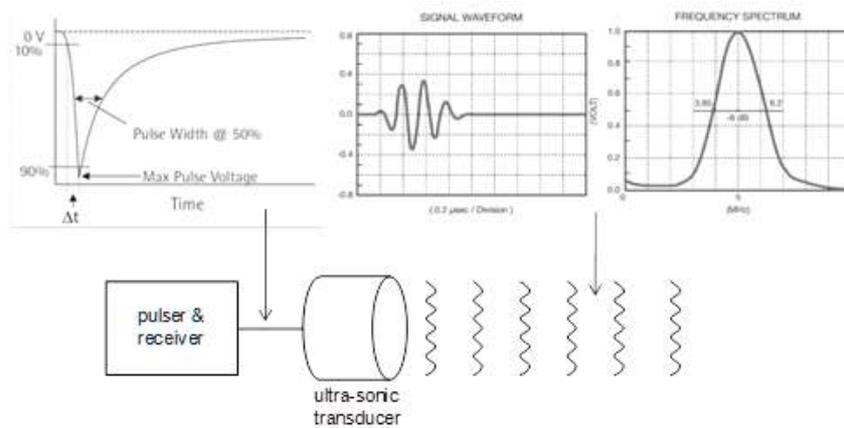


Fig. 3.2.68. Characteristics of ultrasonic response from driven spike pulse.

스파이크 펄스의 특성을 결정하는 사양은 크게 최대펄스전압(max pulse voltage)과 펄스 상승시간(rising time,  $\Delta t$ )으로 구분된다. 최대펄스전압은 요구되는 펄스 에너지의 크기와 압전 소자의 두께에 비례하여 증가 하며, 상승시간은 센서의 주파수 특성과 관계된다. 이와 같이, 센서의 물리적, 전기적 특성에 적합한 펄스의 진폭, 펄스 상승시간 및 펄스 폭 조정을 통해 펄스에너지의 크기와 파형의 댐핑(damping)특성을 결정할 수 있으며, 이를 통해 응용 목적에 최적화된 센서 응답특성 확보가 가능하다. 센서 제조사에서 제안하는 최대펄스전압의 크기는 5.0 MHz 이하의 중심주파수를 갖는 센서에 대해 600 volt 이하로 제한하고 있으며, 이를 만족하는 범위 내에서 시스템의 탐지 관심영역 및 전류공급 능력 등이 고려된 최적의 펄스전압 크기가 결정 되어야 한다. 최대펄스전압 크기의 10%부터 90%까지 천이되는데 걸리는 시간으로 정의되는 상승시간의 경우 짧을수록 고주파센서 구동에 효율적이다. 펄스 상승시간은 센서를 통해 발생시키고자 하는 초음파 신호의 주기 (period :  $t = 1/f$ , 여기서  $f$ 는 주파수) 의 약 1/10 이하 값을 갖는 것이 일반적이며, 5.0 MHz 및 3.5 MHz 센서의 출력 음향신호 주기가 각각 2.0  $\mu s$  및 2.9  $\mu s$  임을 고려 시 구동신호의 상승시간이 0.2  $\mu s$  이하로 설계 되어질 때 효율적인 센서 구동이 가능하다. 0.2  $\mu s$  이하의 빠른 상승시간을 갖는 스파이크 펄스 형태의 구동신호 생성을 위해 트랜지스터(Transistor) 대비 스위칭 속도가 빠른 FET(Field Effect Transistor)를 전력 증폭소자로 사용하였으며, FET의 On / Off 제어를 통한 순간적인 충·방전 제어를 위해 오실레이터(oscillator)와 주파수 분배기(frequency divider), 미분기(differentiator)를 이용한 임펄스 신호(impulse signal) 발생회로를 적용하였다. 음향센서 구동 회로의 블럭도 및 단계별 출력신호는 Fig. 3.2.69와 같으며, 아래에 동작 원리는 기술하였다.

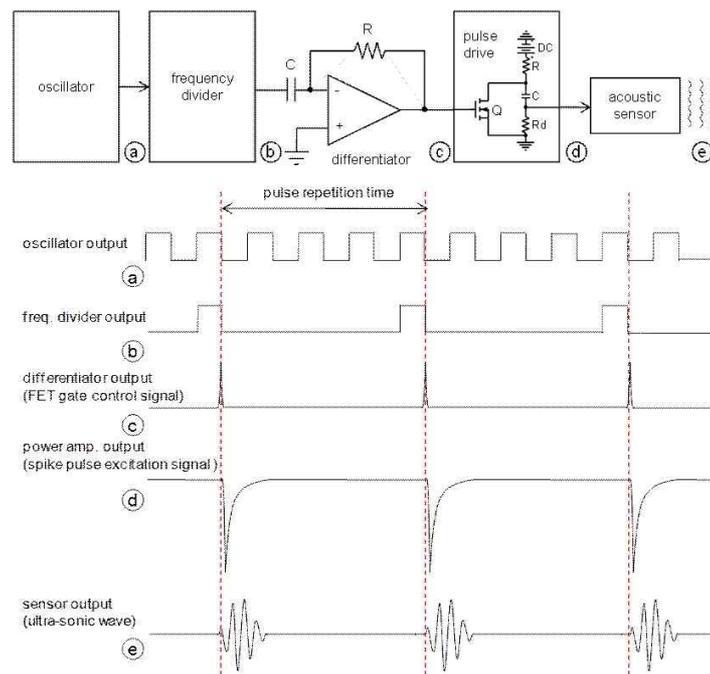


Fig. 3.2.69. Block diagram of pulse drive circuit in integration system.

초단 오실레이터 출력신호인 구형파 펄스열(rectangular pulse train) 신호는 주파수 분배기를 통해 설정된 주기를 갖는 펄스열로 변환되어 미분기로 입력된다. 미분기의 출력전압은 식 3.5.33과 같이 입력전압 값의 시간에 대한 미분 형태로 표현될 수 있다. 구형파 입력의 경우 전압이 천이되는 지점에서 기울기가 무한대에 가까운 반면 전압이 유지되는 구간에서의 기울기는 0에 가깝기 때문에 임펄스(impulse) 형태의 출력파형을 얻을 수 있으며, 출력되는 임펄스열(impulse train) 신호는 클리핑 회로 적용을 통해 음전압 펄스가 제거된 후 신호 증폭용 FET소자의 On/Off 제어를 위한 게이트 입력 신호로 사용된다.

$$v_o(t) = -RC \frac{dv_{in}(t)}{dt} \quad (3.5.33)$$

여기서  $v_{in}(t)$ 는 미분기 입력전압,  $v_o(t)$ 는 미분기 출력전압,  $R$  과  $C$  는 각각 미분기 회로에 적용되는 소자에 대한 저항 값(ohm) 및 캐패시터 용량(farad)이다.

음향센서 구동펄스 생성을 위해 펄스 트리거 발생회로에서 입력된 0.2  $\mu$ s 이하의 펄스폭을 갖는 트리거 신호는 스위칭 소자인 Q1을 순간적으로 'ON' 시킨다. 이때 C1에 충전되어있는 320 volt의 DC 전압은 급격한 기울기로 방전되며 이후 트리거 신호에 의해 Q1이 'OFF' 됨과 동시에 R1 및 C1의 시정수에 따라 400 Volt로 재충전됨으로써 음향센서에 0 Volt에서 -320 Volt 전압으로 떨어지는 순간적인 음전압(negative voltage)이 인가된다. 출력단에 병렬로 연결된 댐핑 저항의 조정은 발생된 에너지를 소모하는 양을 조정함으로써 출력파형의 소멸속도 조정이 가능하도록 설계하였다 (Fig. 3.2.70). 일반적으로 고주파 센서일수록 낮은 출력 에너지와 낮은 댐핑저항 설정을 통해 빠른 펄스 상승시간을 갖는 구동펄스의 출력을 필요로 한다.

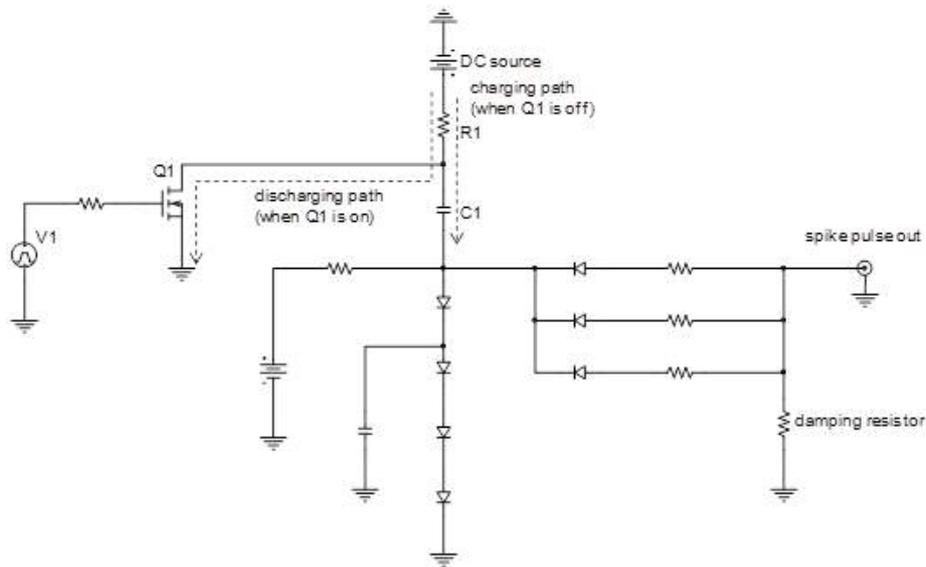


Fig. 3.2.70. Spike pulse driver circuit in integration system.

설계된 음향센서 구동회로에 대한 설계 적합성 검토 및 성능 최적화 작업은 선정된 음향센서에 대해 산출된 R-L-C 등가회로(equivalent circuit)를 회로 시뮬레이션에 적용함으로써 수행된다. 압전세라믹(piezoelectric ceramic) 초음파센서의 등가회로는 등가 인덕턴스(equivalent inductor, Ls), 등가 용량(equivalent capacity, Cs), 공진 주파수에서의 임피던스 실수부(real part of the impedance at resonant frequency, Rs) 및 고정용량(static capacity, Cd)의 직·병렬 조합으로 표현할 수 있다(Total Ultra Solution application note-AP050913, Equivalent circuit of ultrasonic transducers). A381S (3.5 MHz) 및 A308S (5.0 MHz) 센서에 대한 등가회로 산출을 위해 임피던스/위상분석장비(IMPEDANCE/GAIN-PHASE ANALYZER, 4194A, HEWLET PACKARD)를 이용하여 각각의 센서에 대한 주파수에 따른 임피던스 및 위상 측정을 수행 하였다. 측정 주파수 범위는 센서 별 -3 dB 주파수 대역을 고려하여 3.5 MHz 센서에 대해서는 2.7-3.4 MHz를 5.0 MHz에 대해서는 4.2-5.8 MHz를 적용하였다.

### (3) 신호대 잡음비 향상을 위한 대역통과 필터 설계

음향신호 수신기로부터 입력된 신호는 디지털 신호로 변환되기 전 신호 이외의 불필요한 잡음(noise)을 제거하기 위해 대역 통과 필터(band-pass filter)를 거치게 된다. 아날로그 필터 설계 방식은 크게 연산증폭기(operational amplifier)와 같은 능동소자를 사용하여 고조파성분과 반대의 위상을 보내 서로 상쇄 시키는 원리를 이용하는 능동필터(active filter)와 R-L-C(저항-인덕터-캐패시터)등의 수동 소자만을 사용하여 L-C 공진원리를 이용하는 수동필터(passive filter)로 분류된다. 능동필터의 경우 10차 이상의 고차수의 필터 설계가 가능하며, 계통 임피던스의 영향이 작아 부하에 따른 시스템의 안정도가 높은 반면 능동소자를 사용함에 따라 전력소모가 크고 제작단가가 높으며, 유지보수가 복잡한 단점이 있다. 수동필터의 경우 주로 10차 이하의 필터로 사용되며, 임피던스의 영향이 크지만 전력소모가 작아 한정된 공간 내에서 발열을 줄일 수 있다(Table 3.2.38). 이에 따라 장기 운용을 위한 저전력 소모 및 시스템 소형화가 중요한 요소인 본 연구 목적에 적합한 수동필터 방식의 대역통과 필터를 구성하였다.

Table 3.2.38. Comparison of active/passive filter in integration system

Items	Active filter	Passive filter
order limitation	> 10 <sup>th</sup> order	< 10 <sup>th</sup> order
Impedance effect	Good	Poor
power consumption	High	Low
cost	High	Low

대역통과필터의 통과 대역은 센서 별 -3 dB 대역(A381S: 2.7-4.4 MHz, A308S: 4.2-5.9 MHz)을 고려하여 적용 하였으며, 이와 같은 대역통과필터의 적용은 센서로부터 수신된 산란신호의 정보를 최대한 보존하면서 해양환경에서 발생하는 관심 대역 이외의 음향신호 및 시스템 내부의 각종 회로소자에 의해 발생하는 전기적 잡음을 감소시켜 신호대잡음비(SNR; Signal to Noise Ratio)를 향상 시킨다. Fig. 3.2.71은 5.0 MHz 센서를 통해 수집된 적조생물 산란신호에 대해 필터통과 이전 신호(red-line)와 4차 Butterworth 필터를 통과 시킨 이후 신호(blue-line)를 비교한 것으로 신호 관심 주파수 대역 이외의 배경 잡음 및 디지털 회로에 의한 특정주파수 성분을 갖는 잡음이 효율적으로 제거됨을 확인할 수 있다.

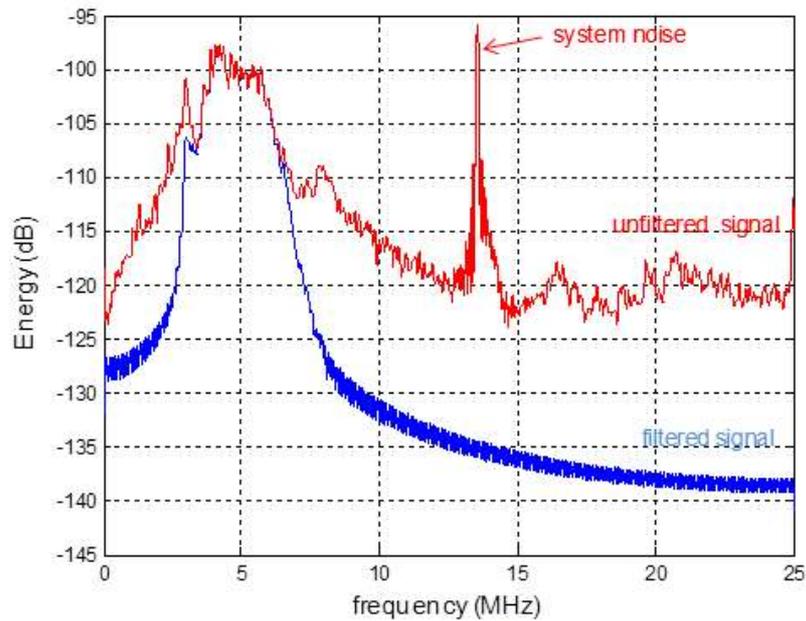


Fig. 3.2.71. Effect on filter circuit by acoustic signal.

#### (4) 탐지효율 향상을 위한 최적 분석영역 설정

음향센서의 음장 영역은 음파 발생을 위한 압전소자의 직경과 주파수, 매질에서의 음속에 따라 결정되는 근거리 음장거리(near-field distance,  $N$ )를 기준으로 근거리 음장(near-field)과 원거리 음장(far-field)으로 구분할 수 있다(PANAMETRIC-NDT 2012). 일반적으로 근거리 음장거리  $N$ 은 음향센서 제조사 및 모델 별로 차이가 있지만 음향센서의 크기의 제곱과 주파수에 비례하며, 음속에 반비례하는 경향을 보인다. 식 3.5.34는 센서 제작사(PANAMETRIC)에서 제공한 근거리 음장거리 계산식이며, 이 식에 의해 계산된 A318S (3.5 MHz)센서 및 A308S (5.0 MHz)센서의 근거리 음장거리  $N$ 은 각각 212 mm (3.5 MHz) 및 303 mm (5.0 MHz) 이다.

$$N = D^2 f / 4c = D^2 / 4\lambda \quad (3.5.34)$$

여기서  $D$ 는 센서 반경이며,  $c$ 는 매질에 대한 음속이다.

음향센서의 진동판과 가까운 부분에 해당하는 근거리 영역은 면적을 통해 발생된 음파가 상호 위상간섭을 일으켜 음장의 세기 변화가 큰 구간으로 의료용 초음파 및 산업용 비파괴검사 장비와 같이 미세한 단일 산란체에 대한 정밀한 산란강도 측정 결과값이 중요한 의미를 갖는 응용분야에서는 분석 대상 영역으로 사용되지 않는다. 본 연구에서 사용하고자 하는 MHz 주파수 대역의 초음파 센서의 경우 상대적으로 저주파인 수십 kHz-수백 kHz 대역의 수중음향 센서와 달리 근거리에 대한 음파의 변동성이 작으며, 특히, 탐지대상이 되는 적조 생물의 체적이 음향센서의 빔폭 대비 거리 증가에 따른 큰 감쇄 효과 때문에 근거리 음장 영역에서도 사용하고 있다(Ma et al. 1987; Downing et al. 1995). 또한, 본 연구의 음향탐지 대상인 *C. polykrikoides*의 경우 적조 발생 해역 표층 약 10 m 상부에 구역(patch)을 이루어 분포하며 구역 내에서 균일한 분포 특성(uniform distribution)을 갖는다. 이러한 *C. polykrikoides* patch는 적용된 음향센서의 좁은 빔폭( $< 1^\circ$ )에 비해 상대적으로 매우 큰 부피를 갖는 체적 산란체로 볼 수 있으며, 이때, 센서에서 방출되는 음파조사영역(insonified area)이 센서의 빔폭 전체 영역과 일치함을 알 수 있다(Fig 3.5.72).

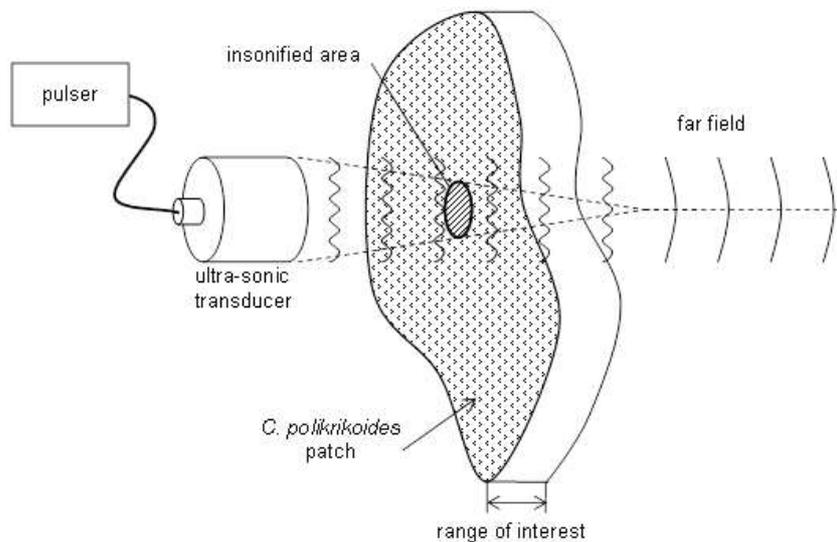
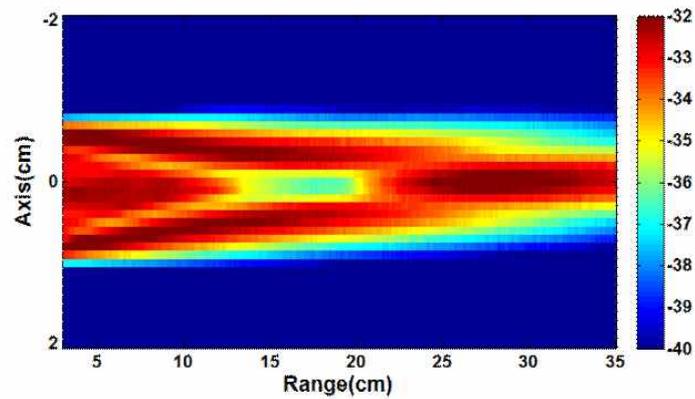


Fig. 3.2.72. Insonified area from *C. polykrikoides* patch.

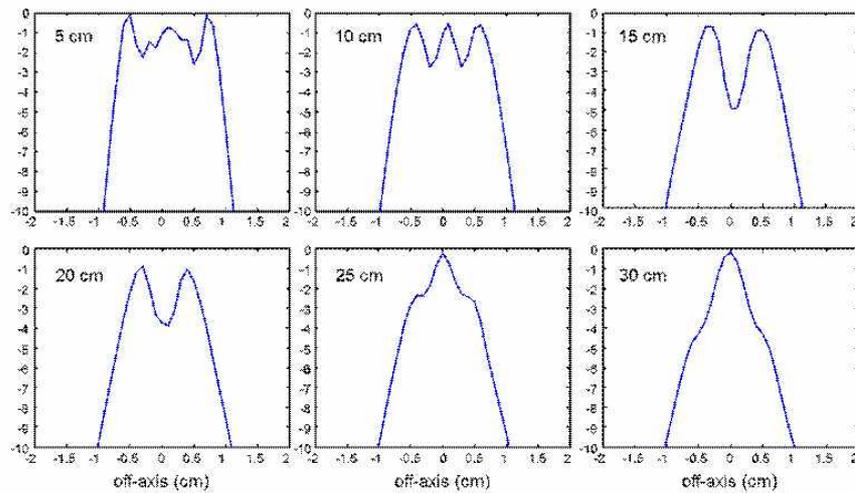
5.0 MHz 음향센서에 대한 빔 특성 파악을 위한 실험이 한양대학교 해양음향연구실 연구팀에 의해서 실시되었다. Fig 3.5.73은 이 실험을 통해 측정된 센서 면으로부터 3 cm 에서 35 cm 사이 구간에 대한 2차원 음장을 나타낸다. (실험에 대한 상세한 설명은 Kim et al. (2010) 참조). 측정결과를 보면 센서의 근거리 음장 영역에서 음파의 간섭으로 인한 에너지크기 변화가 심하고 30 cm 정도에서 음의 세기가 센서의 중심으로 집중되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.2.74는 센서의 2D 음장 측정 결과를 이용하여 센서가 갖는 빔폭 전체에 대한 에너지 분석을 위해 거리별 단면에 대한 평균 에너지 산출결과를 거리에 따라 표현한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 근거리 및 원거리 음장 조건과 무관하게 음파 발생 면으로부터 거리가 멀어질수록 수신 신호의 강도가 약해짐을 확인할 수 있다.

이와 같은 분석결과를 기반으로 최적의 측정 구역 설정을 위해 실험실 조건에서 측정된 산란 신호를 이용하여 거리에 따른 수신신호 강도 분석을 수행하였다. 분석을 위한 신호는 식물성플랑크톤 1,000 cells/ml 및 300 cells/ml 시료를 이용하여 측정하였고, 5.0 MHz 센서의 근거리 음장 영역 (0-3.03 cm)과 far filed 영역 일부 (3.03-35.00 cm)를 포함하는 신호에 대해 5 cm 폭의 윈도우를 10 cm 간격으로 이동평균(moving average)를 취한 후 dB 값으로 환산하여 표현하였다(Fig. 3.2.75).



(a) 거리에 따른 음향센서 빔폭



(b) 특정거리에 대한 음향센서 빔패턴

Fig. 3.2.73. Beam pattern from 5.0 MHz transducer.

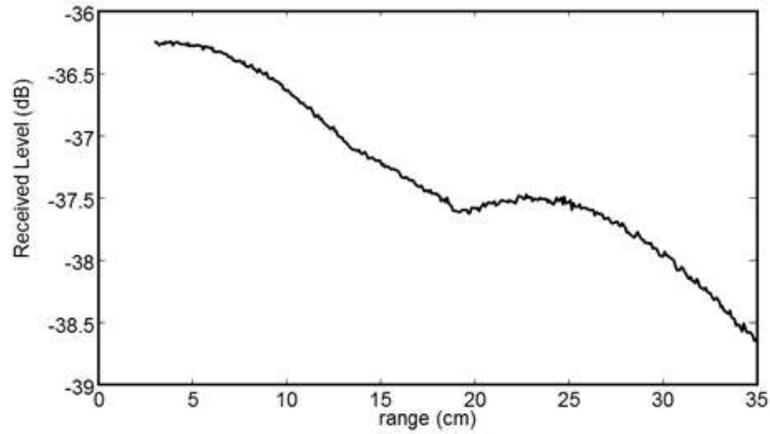


Fig. 3.2.74. Average receiving voltage from ultrasonic transducer

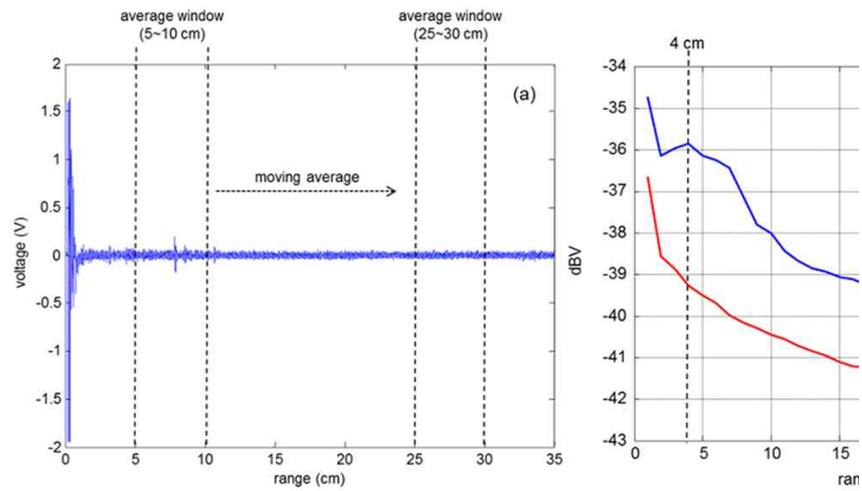


Fig. 3.2.75. Acoustic backscattering signal for time series and 1

Fig. 3.2.75(b)의 그래프에서 볼 수 있듯이 센서로부터 거리가 멀어짐에 따라 적조생물의 후방산란 신호의 세기가 감소하는 것을 알 수 있으며, 원거리 음장 만족 최소거리인 30.3 cm 지점에서는 적조 셀의 양에 따라 약 -2 dB 이상 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 적조생물의 체적이 음향센서의 빔폭에 해당하는 부분에 균일하게 존재한다고 가정한다면 산란신호 측정 구간이 센서면과 근접할수록 높은 수신감도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 시스템 특성상 센서에서 방사된 신호가 역으로 시스템에 전파되는 문제가 있고 선박형 탐지장비의 경우 선박 이동 시 센서면 가까이에서 발생 가능한 미소 공기방울(micro bubble) 등의 영향을 고려하여 센서로부터 4 cm 이후의 신호를 분석하였고 평균적인 산란체적의 특성을 보기 위하여 5 cm의 측정구간을 설정하였다(측정구간: 4-9 cm).

(5) 적조생물 유무판단을 위한 산란신호 분석방법

음향탐지 시스템에서의 산란강도 분석방법은 산란체로부터 후방 산란된 음의 세기(sound intensity, SI) 측정을 기반으로 하였다. SI 레벨은 기준 세기( $I_0$ )와 후방산란된 음향 세기 ( $I$ )의 비율에 대한 로그값으로 표현되며, SI는 음압(pressure)의 제곱에 비례하므로 식 3.5.35 으로 표현할 수 있다 (Medwin and Clay 1998). 개발된 시스템에서는 SI를 계산하기 위해서 기준 음압 ( $P_0$ ), 후방 산란된 음압 ( $P$ )의 크기를 이용하였다.

$$DSI(\text{dB}) = 10\log_{10}\frac{I}{I_0} = 20\log_{10}\frac{P}{P_0} \quad (3.5.35)$$

개발된 시스템으로부터 적조 생물에 의한 SI를 측정하기 위한 시작 단계로 필터 해수 조건에서 2개 주파수(3.5, 5.0 MHz)에 대한 SI를 측정하여 시스템 전체의 기준 값으로 결정하였으며 이를 Reference Sound Intensity ( $RSI_{freq.}$ , dB)로 정의하였다.

실험실에서 적조 개체수 증가에 따른 SI 레벨 변화, 해상에서 무적조의 정상 해양 조건과 적조 발생 조건에서의 SI 레벨 변화는 필터 해수에 의한  $RSI_{freq.}$ 를 이용하여 식 3.5.36로부터 각 주파수 별로 수신음에 대한 기준 음의 세기 차이(Difference of Sound Intensity, DSI, dB)로 표현했다.

$$DSI_{freq.}(\text{dB}) = SI_{freq.}(\text{dB}) - RSI_{freq.}(\text{dB}) \quad (3.5.36)$$

필터해수를 기준으로 하는 적조생물의 산란강도 측정값은 실험실 환경에서의 배양적조 생물에 대한 정량적인 분석 목적으로 활용이 가능하지만 음향탐지 시스템의 실해역 운용을 위해서는 운용되는 해역에서의 배경 산란신호 세기가 고려된 기준 값 설정이 이루어 져야 한다. 배경산란 신호의 세기는 설치지역 해수에 포함된 각종 부유물질의 종류 및 양에 따라 차이가 발생하며, 시간과 공간에 따라 변하는 값으로 볼 수 있다. 이에 따라 실해역에서 측정되는  $DSI_{freq.}$ 값에 의한 보다 정량적인 적조 발생여부 판단을 위해서는 필터 해수에 의한  $RSI_{freq.}$ 값 설정이 아닌 무적조 정상상태에서 설치 해역에 대한 SPM (suspended particulate matter)조건이 고려된  $RSI_{freq.}$ 값 획득 및 적용을 통한  $DSI_{freq.}$ 산출이 이루어져야 한다. Fig. 3.2.76은 실해역 운용 시 해당 해역에 대한 기본 배경산란신호 고려를 위한  $RSI_{freq.}$  획득 및  $DSI_{freq.}$ 산출과정을 나타낸 것이다. 우선, 음향 탐지시스템이 설치되어 운용되고 있는 해역에서 채수를 실시한 후 현미경 분석을 통해 무적조 정상상태임이 확인한다. 채수 시점에 일정 시간동안 측정된 배경산란신호의 음압인  $P_{site}$ 의 평균값과 필터해수 조건에서 측정한 음압  $P_0$ 를 이용하여  $RSI_{freq.}$ 를 산출한다(식 3.5.37).

$$RSI_{freq.} = 20\log_{10}\left(\frac{\langle P_{site} \rangle}{p}\right) \quad (3.5.37)$$

산출된 실효역에서의  $RSI_{freq}$ 는 운용자소프트웨어의 GUI (Graphic User Interface) 화면을 통해 입력되어  $DSI_{freq}$  산출을 위한 기준 값으로 적용되며, 이에 따라 측정 해역 별 부유물질 등의 조건에 따라 차이가 있는 배경산란 신호의 세기가 고려된 적조탐지 및 분석이 가능하다.

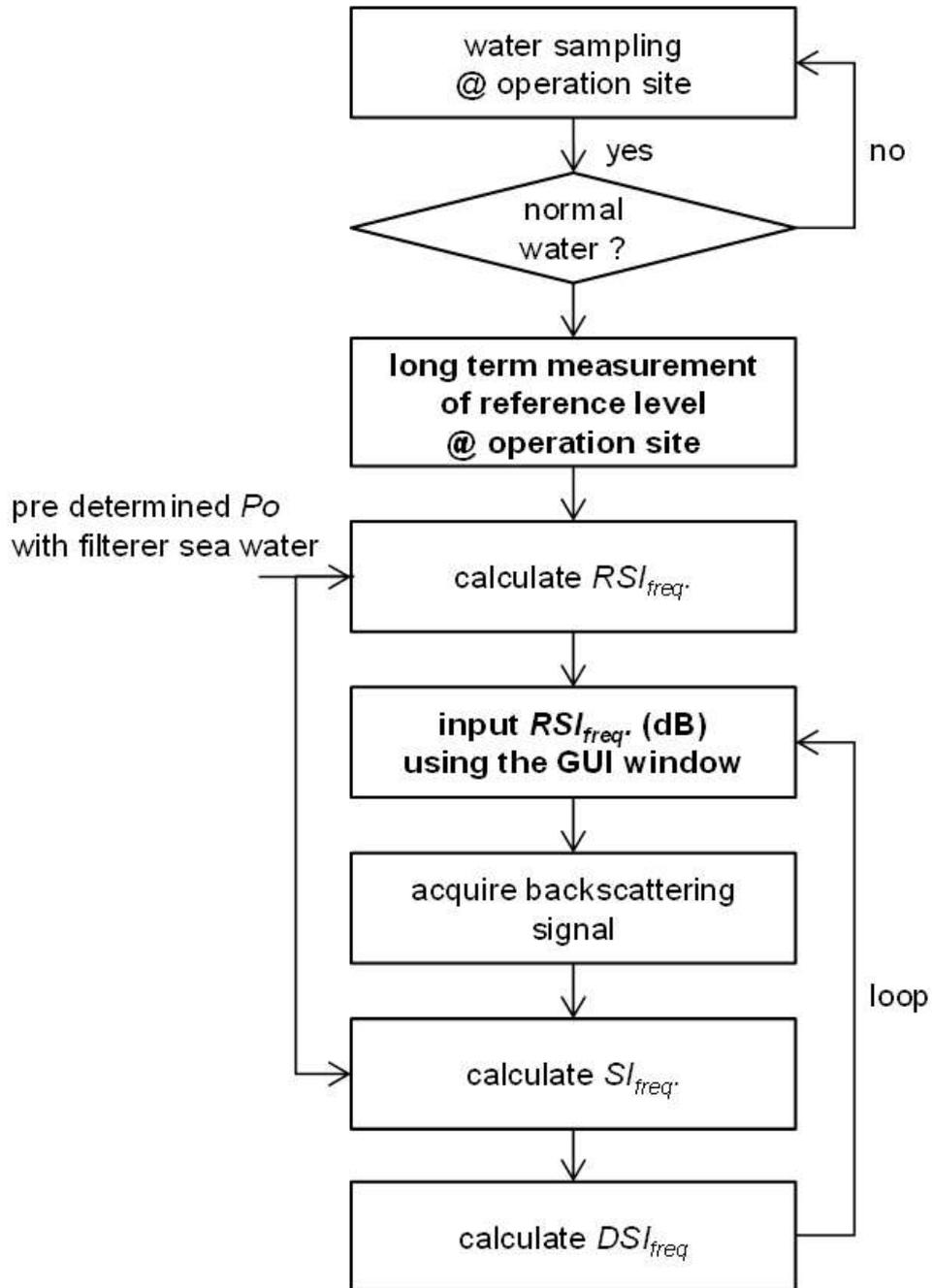


Fig. 3.2.76. Flow-chart of acoustic signal processing algorithm.

(6) 원격제어 및 모니터링을 위한 데이터 송/수신 네트워크

적조탐지 통합 시스템의 운용을 위해서는 원격지에서 운용되는 복수의 부이형 및 선박형 음향탐지기와 원격제어기간 데이터 송/수신을 위한 무선 데이터 전송 네트워크 망의 구성이 필요하다. 본 연구에서는 상용 코드분할 다중접속망 (CDMA: Code-Division Multiple Access)을 이용한 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 통신 및 이동통신 사업자가 제공하는 단문자 서비스 (SMS: Short Message Service)를 이용하여 통신망을 구성함으로써 음향탐지 결과 및 제어 정보의 무선 연동 기능을 구현하였다.

음향 탐지기의 설치 및 운용 지역은 주로 적조 발생에 민감한 양식장 주변으로, 일반적으로 해안으로부터 10 km 거리 이내에 위치한다. 핫스팟 (Hotspot) 이라고 불리는 서비스 지역에서만 사용이 가능한 무선랜 또는 Wi-Fi 장비의 경우 서비스 반경이 실외환경 기준 100-200 m에 불과하지만, 코드분할 다중접속 방식의 이동통신 서비스는 통상적으로 5-20 km에 해당하는 매크로 셀을 가짐으로써 설치해역 주변에 위치한 기지국의 수가 적고 별도의 무선통신 장비의 설치가 용이하지 않은 양식장 주변환경에 적합한 통신망이다. 또한, 한 기지국의 서비스 영역을 넘어 다른 기지국 영역으로 들어가는 통화절환(hand-off) 방식을 새로운 기지국과 먼저 연결시킨 뒤 기존 기지국과의 연결을 끊는 방식의 소프트 핸드오프(soft hand-off) 기술 적용함에 따라, 통신 단절을 줄일 수 있어 고정 형으로 설치되는 부이형 음향탐지부 뿐만 아니라 선박형 장비 운용에도 적합한 통신방식이다. 부호분할 다중접속방식은 통신을 위한 네트워크 연결의 물리적 수단이 되며, 트래픽 전송을 위한 장치인 모뎀 (DCE: Data Communication Equipment)은 M2MNET사의 WM-800 외장형 모뎀을 사용하였다. WM-800은 Telit사의 CC864-K 모듈을 내장하고 있으며, 주요사양은 Table 3.2.39와 같다.

Table 3.2.39. WM-800 External Modem Specification

Items	Specification
Air Interface	CDMA 2000
Standard interface	RS-232
Data transmission speed	Up to 153.6 Kbps
Protocol	TCP/IP, UDP
Low power	< 1 mA (Sleep), < 100 mA(Idle), < 700 mA(Traffic)
Environmental	-30 ~ 80
Additional feature	SMS(Short Message Service), Status Indicator

WM-800 모뎀은 TCP (Transmission Control Protocol)방식과 UDP (User Datagram Protocol) 방식의 데이터 전송 프로토콜을 지원한다. 적조탐지 시스템의 무선 송/수신 대상 데이터는 데이터 량이 적은 반면 신뢰성 있는 통신을 필요로 하는 제어정보 및 분석결과데이터로 구성되어 있어 UDP 방식 대비 데이터 전송속도는 느려질 수 있지만 신뢰성 있는 데이터 통신이 가능한 연결지향 프로토콜(connection-oriented service)인 TCP/IP 방식의 전송 프로토콜을 적용하였다. TCP/IP 프로토콜은 논리적인 주소를 할당하여 규모가 큰 네트워크에서도 개별 호스트가 각각의 고유 주소 (IP Address)를 가질 수 있고, 이러한 논리적인 주소는 고정된 주소가 아니므로 호스트의 이동 및 주소 재 할당, 네트워크 소속 변경 등이 용이한 방식으로, 설치 수량 및 시기, 위치가 모두 가변적인 다중 노드로 구성된 적조탐지 시스템 네트워크 구성에 적합한 통신방식이다.

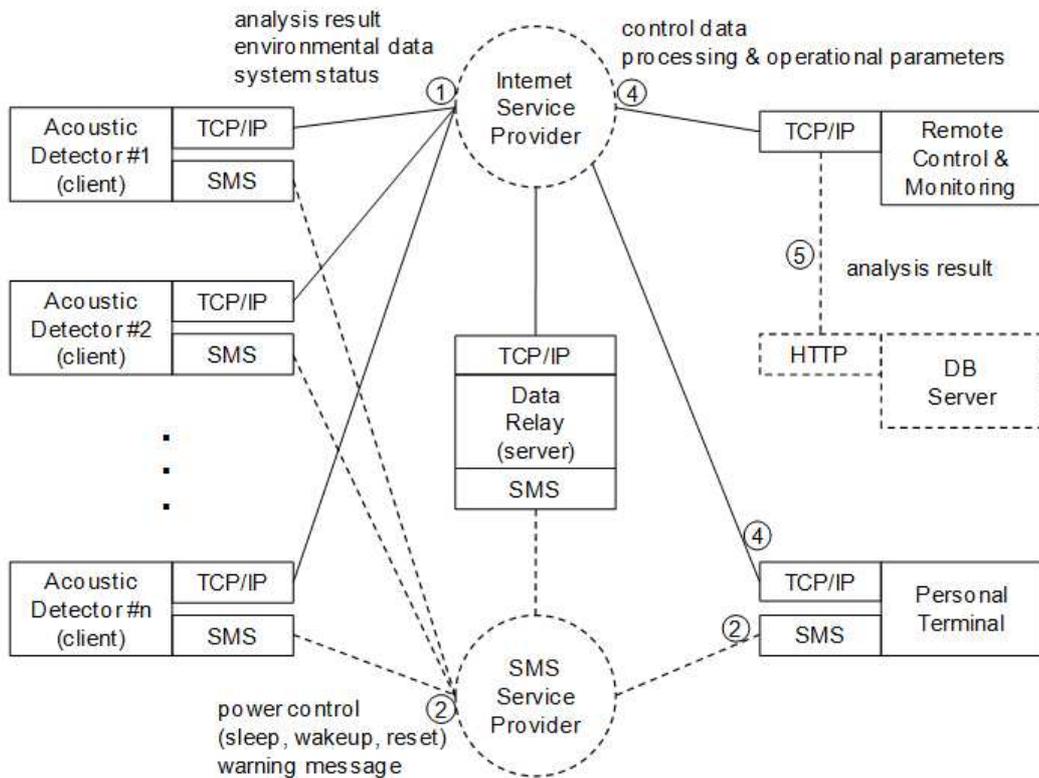


Fig. 3.2.77. TCP/IP and SMS services integrated network.

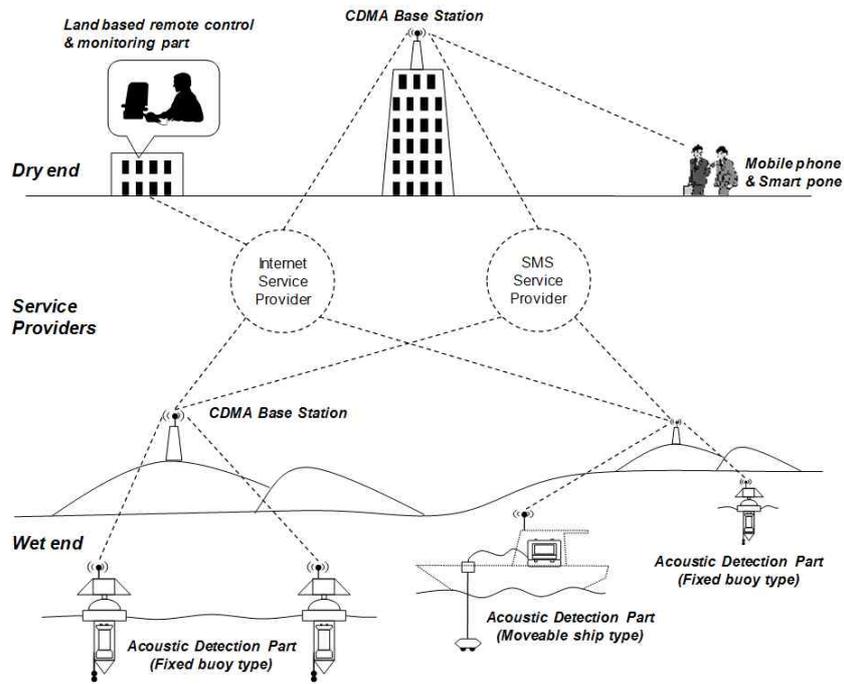


Fig. 3.2.78. Network configuration of acoustic detection system.

주로 분석결과 및 상태정보 연동을 위한 TCP/IP 패킷 통신방식과 더불어 SMS를 이용하여 제어 정보 및 경고메시지 등의 데이터 연동을 위한 네트워크를 추가적으로 구성 하였다(Fig. 3.2.77). 이는 음향탐지부에서 사용되는 CDMA모뎀이 제공되는 서비스의 특성상 고정 IP주소가 아닌 유동 IP주소 (floating IP address)만을 가질 수 있어 음향탐지부 시스템 초기화 및 슬립모드 이후 소켓이 연결되지 않은 상태에서 원격제어기나 중계기에서 음향탐지부로의 제어명령 송신이 제한되는 문제를 보완함으로써 별도의 추가장비 및 전류소모 없이 원격제어기와 음향탐지부간 효율적인 양방향 통신이 가능한 네트워크 구조이다. Fig. 3.2.78은 TCP/IP 및 SMS서비스망을 이용해 이중 구조로 설계된 적조탐지시스템 무선 통신 네트워크망의 개념도를 도식화하여 표현한 것이다.

## 나. 시스템 세부 구성 및 기능

유해적조 통합 음향탐지 시스템 (Integrated Acoustic Detection system for HABs using 3.5 MHz & 5.0 MHz ultrasonic wave, IADHAB-3550)의 구성은 (1) 실시간 음향탐지 및 추가적인 환경정보 획득을 위한 음향 탐지부 (Acoustic detection part)와 (2) 탐지결과 및 제어신호 전송을 위한 통신망 (Communication network part), (3) 제어 및 신호가시화 인터페이스를 포함하는 원격 제어부 (Remote control & monitoring part)로 구분 된다(Fig. 3.2.79).

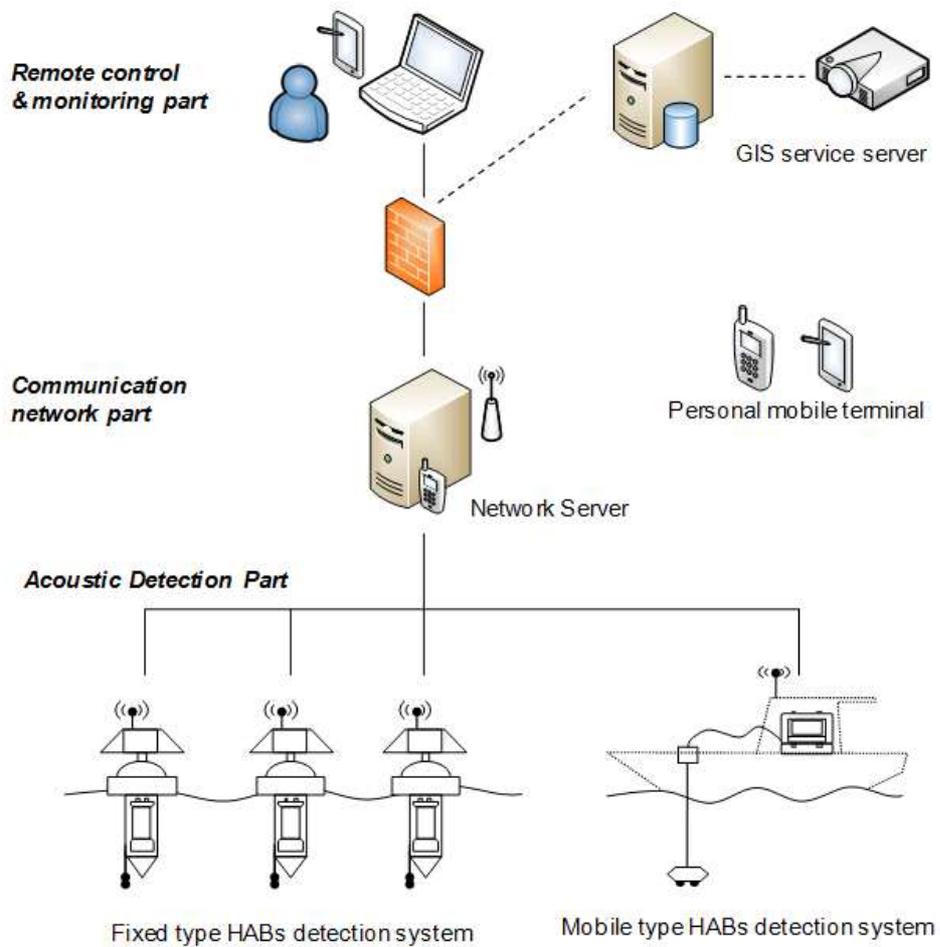


Fig. 3.2.79. Block diagram of acoustic detection system.

(1) 음향 탐지부

관심 해역에 설치되어 적조생물 음향탐지를 목적으로 하는 음향 탐지부는 (1) 음향센서모듈 (acoustic sensors), (2) 센서구동 및 신호수신보드 (pulser & receiver B/D), (3) 신호 처리 및 변환보드 (signal conditioning & ADC B/D), (4) 신호 분석 및 시스템 중앙 제어보드 (signal processing & main control B/D), (5) 전원분배보드 (power distribution B/D), (6) 수온, 염분 및 시스템의 상태를 측정하는 환경 센서부 (auxiliary sensors) 등 총 6개의 세부 구조로 구성되며, 운용 방식에 따라 관심 해역에 장기간 고정적으로 설치되어 운용되는 부이형 음향 탐지부(Fig. 3.2.80(a))와 선박에 장착되어 이동식으로 운용되는 선박형 음향탐지부의 형태로 구분하여 제작하였다(Fig. 3.2.80(b)).

음향센서 모듈은 음향신호 발생 및 수신보드에서 발생하는 순간적인 전기에너지를 음향신호로 변환하여 초음파를 발생시킨다. 인가된 초음파에 의한 산란신호는 다시 센서에 의해 감지되어 전기적 신호로 변환된 후 음향신호 발생 및 수신보드에서 적절한 크기의 신호로 조정된다. 신호처리 및 변환보드에서는 신호 이외의 불필요한 노이즈를 제거한 후 이로부터 산란에너지를 검출하고 AD변환기를 통해 디지털신호로 변환한 후 신호분석 및 시스템 중앙제어반으로 전송하여 메모리상에 저장한다. 저장된 디지털신호는 내부 프로세서를 이용한 간단한 신호처리 과정을 거쳐 dB 단위로 환산된 후 유무선 네트워크를 통해 모니터링을 위한 장비로 전송된다(Fig. 3.2.81).

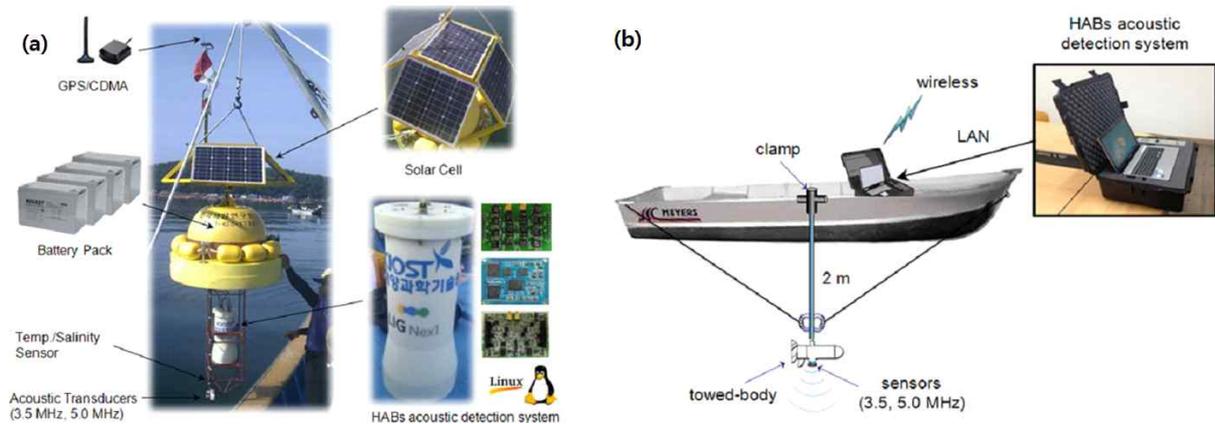


Fig. 3.2.80. Configuration of acoustic detection system, buoy type (a) and shipboard type (b).

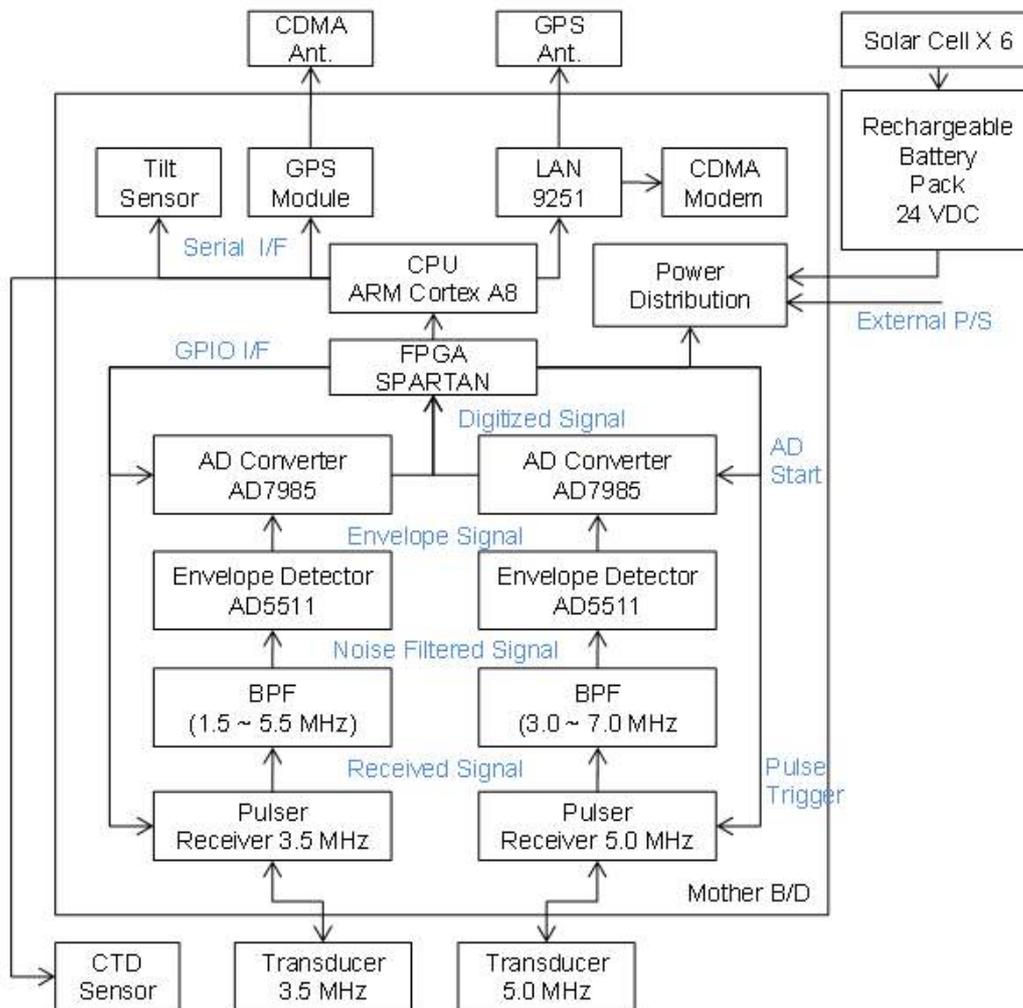
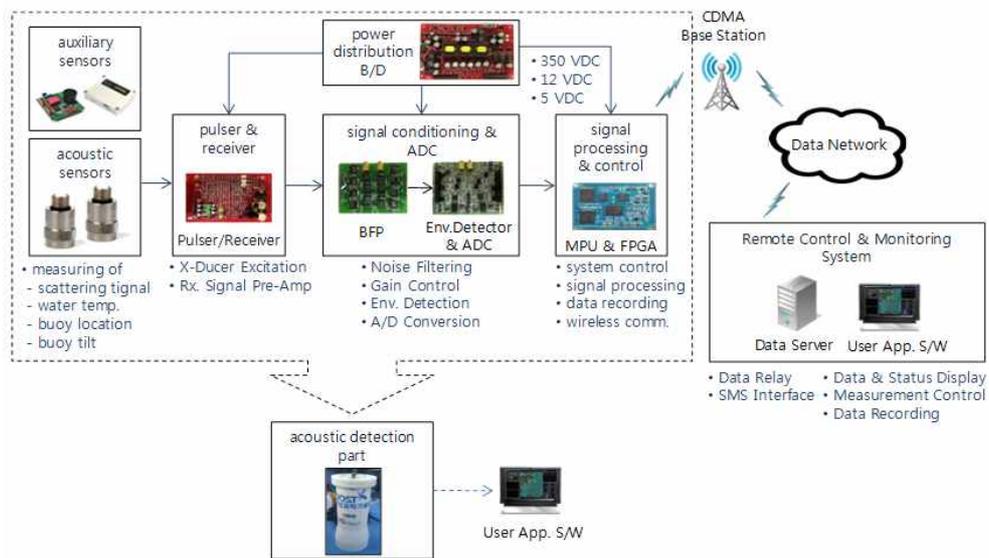


Fig. 3.2.81. Schematic diagram of real-time acoustic detection system.

(가) 음향센서 모듈 (acoustic sensor)

산란체 특성에 따른 최적 주파수 대역 검토를 통해 선정된 초음파 센서는 A381S 및 A308S 모델로 주요 사양은 Table 3.2.40과 같다.

Table 3.2.40. Specification of transducers (3.5 MHz: A381S, 5.0 MHz: A308S)

Sensor part no.	A381S	A308S
Center frequency	3.5 MHz	5.0 MHz
Nominal Element Size	19.05 mm Dia.	19.05 mm Dia.
Transducer dimensions 	(A) 25.4 mm	
	(B) 26.9 mm	
	(C) 31.7 mm	

(나) 센서 구동 및 신호 수신보드 (pulser & receiver B/D)

센서 구동 및 신호 수신부는 구동펄스 생성을 통해 음향센서의 압전소자를 전기적으로 여기 (excitation) 시킴으로써 초음파를 발생시키기는 송신모드와, 인가된 초음파에 의해 발생된 산란신호 수신을 위한 수신모드로 구분된다(Fig. 3.2.82). Fig. 3.2.83은 센서 구동 및 신호수신보드에 대한 블록도를 나타내며, 아래에 세부 회로에 대한 기능을 구성 항목별로 기술하였다.

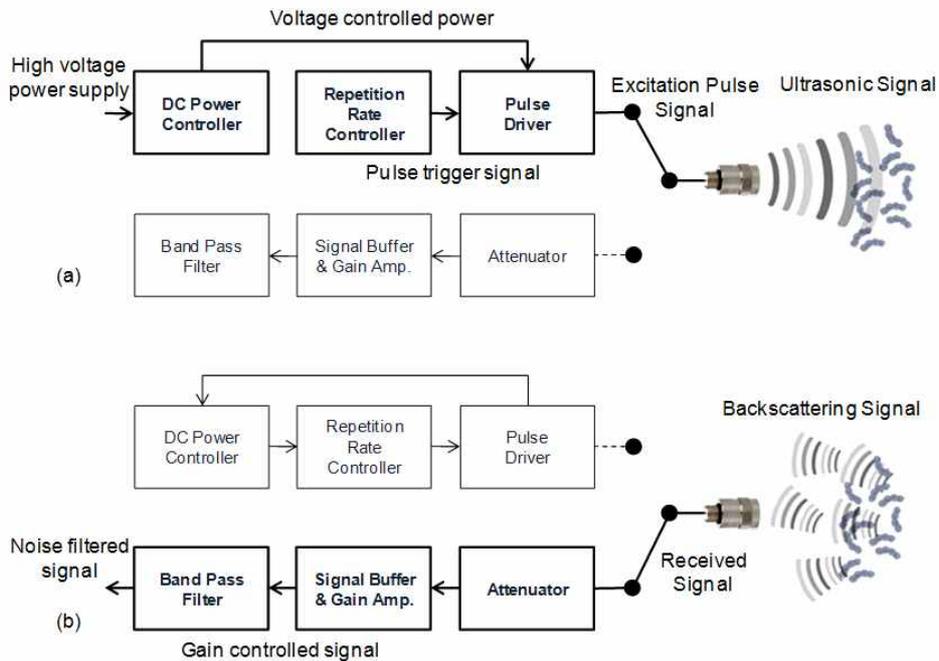


Fig. 3.2.82. Block diagram of transmitting/receiving operation.

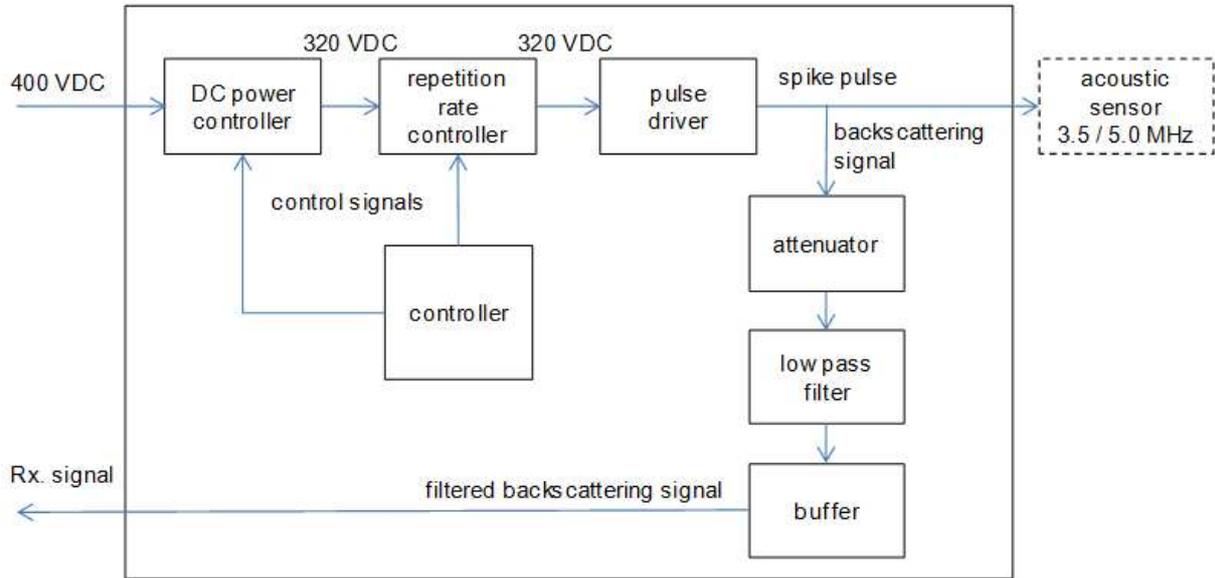


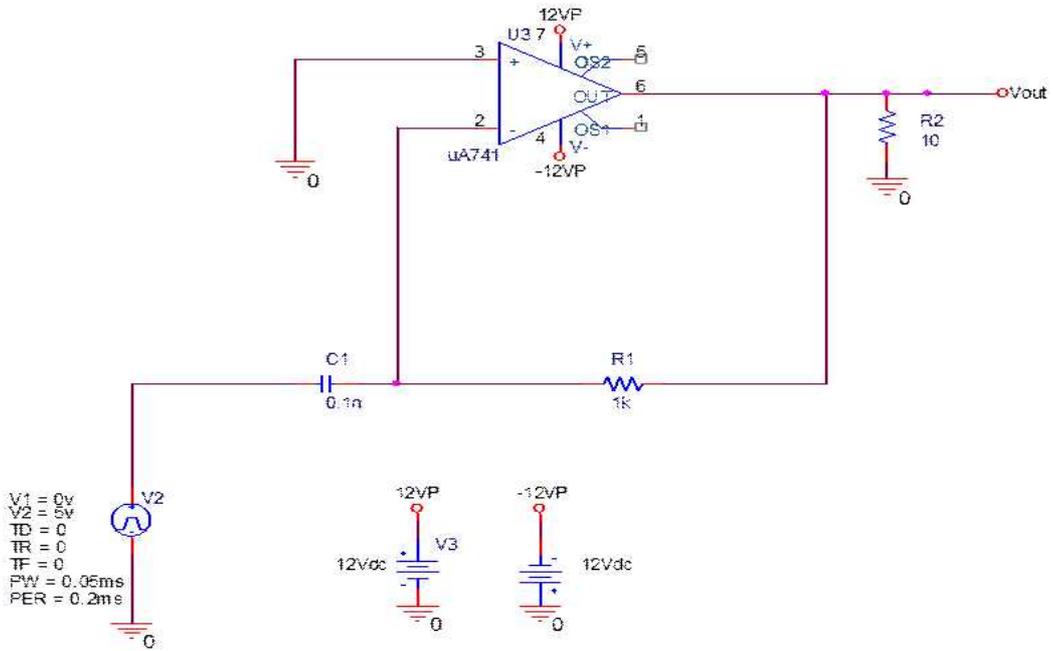
Fig. 3.2.83. Block diagram of sensor-driven/receiving board operation.

① DC전원제어회로 (DC power control circuit)

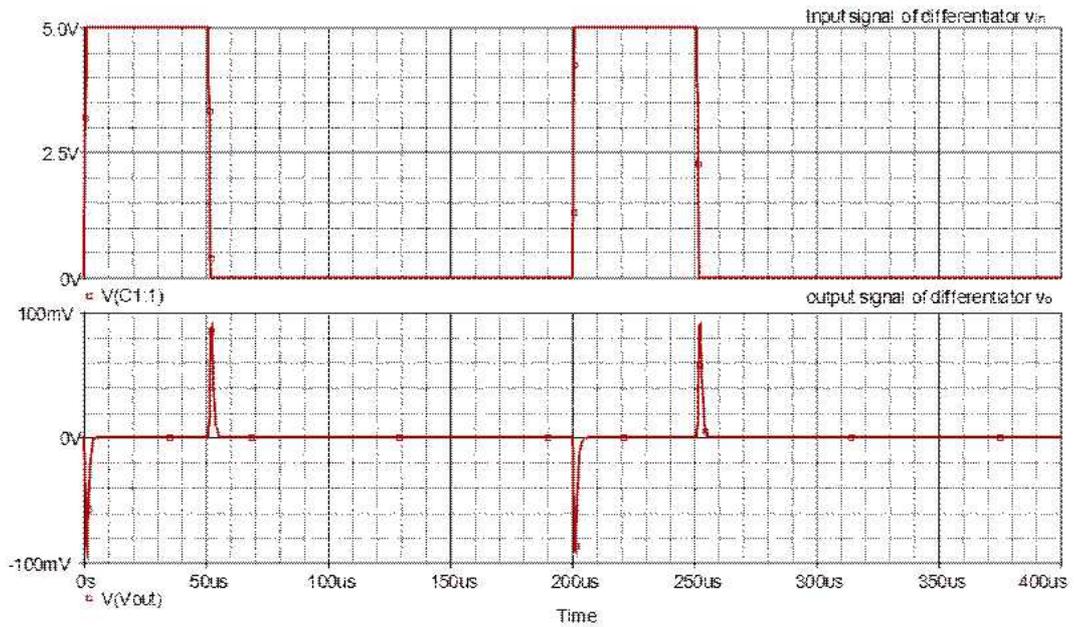
DC전원제어회로는 센서로부터 발생하는 초음파 신호의 출력 에너지 레벨 조정을 위한 충전 전압 값의 크기를 조정하는 회로이다. 전원분배보드로부터 400 volt의 DC전원을 공급받아 DC-to-DC 변환회로를 이용하여 요구되는 전압 값으로 변환된다. DC전원 제어회로의 출력 전압 값이 높을수록 센서로부터 방출되는 에너지가 커져 신호대 잡음비 향상 측면에서 유리하지만, 전력소모 및 발열이 커지는 단점이 있다. 본 연구에서는 시스템의 전원공급 능력을 고려하여 DC전원제어회로 출력 값을 320 volt로 설계하였다

② 펄스 발생주기 제어회로 (pulse repetition rate control circuit)

펄스 발생주기 제어회로는 초음파 펄스의 발생 주기를 조정하기 위한 회로로 오실레이터와 주파수 분배기 및 미분회로를 이용하여 구성 하였다. 구형파(rectangular wave) 형태의 오실레이터 출력은 초음파 펄스 주기에 맞는 주파수로 분주된 후 미분기를 통해 수  $\mu\text{s}$ 의 좁은 펄스폭을 갖는 임펄스 신호로 출력된다. Fig 3.5.84는 미분기 회로 구성에 따른 출력 파형을 PSPICE (PC Simulation Program with Integration Circuit Emphasis) 를 이용하여 시뮬레이션 한 결과이다. 미분기 입력신호는 0.05 ms 펄스폭(pulse width)과 0.2 ms의 펄스반복시간(pulse repetition time)을 갖는 5 volt 크기의 구형파를 사용하였으며, 미분기 출력단에 펄스 반복시간에 따라 수  $\mu\text{s}$ 의 좁은 펄스폭을 갖는 임펄스열(impulse train)이 정상적으로 출력됨을 확인하였다. 미분기 출력신호인 임펄스열을 반파 정류회로(half-wave rectifier)를 통해 양의 전압을 갖는 신호만 남겨진 후 충전방전 제어를 위한 FET소자의 게이트 신호로 입력된다. 펄스 간격(pulse interval)은 프로세서의 처리능력 및 연속적인 사용으로 인한 시스템 발열 등을 고려하여 50 ms로 설정하였다.



(a) 미분기 회로 PSPICE 모델

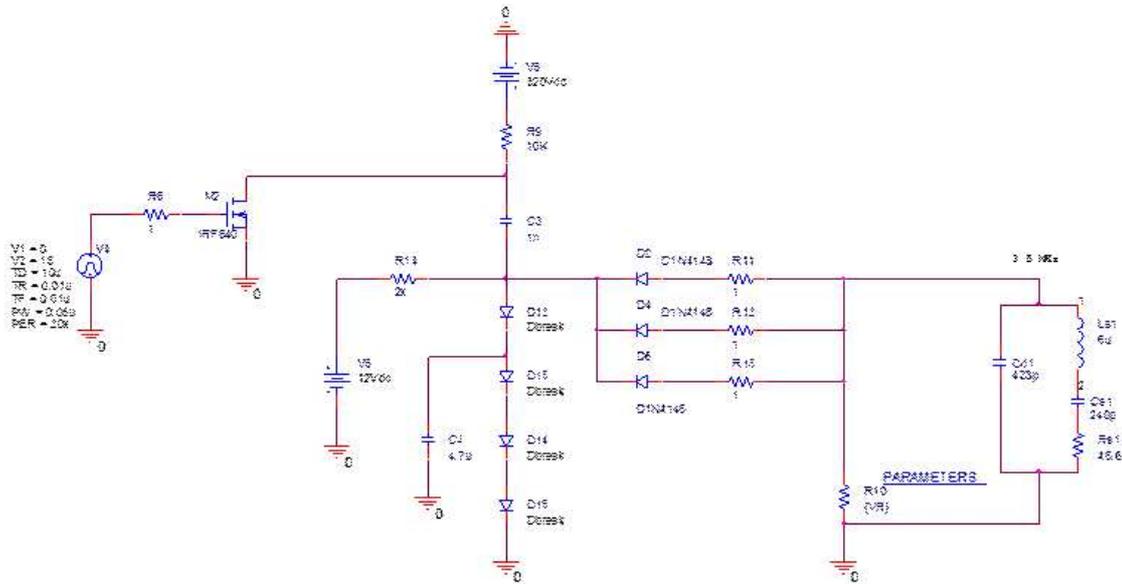


(b) 미분기 회로 출력파형 모의결과

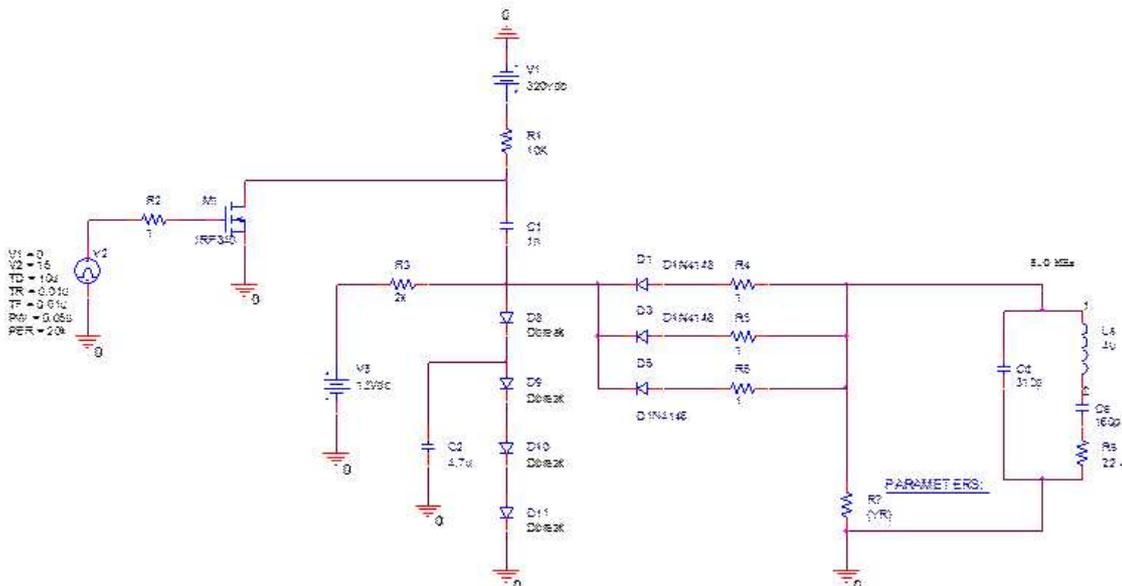
Fig. 3.2.84. Simulation of pulse generating control signals.

③ 펄스 구동 회로 (pulse drive circuit)

Fig. 3.2.85는 펄스 발생주기 제어를 위한 미분기 출력신호를 입력 받아 일정한 간격으로 음향센서에 인가될 고전압의 음전위 펄스(negative pulse)를 생성하는 회로이다. 3.5 MHz와 5.0 MHz 센서에 대한 임피던스 및 위상측정을 통해 산출된 R-L-C 등가회로를 펄스구동 회로의 부하(load)로 적용 하여 센서 연결 및 댐핑저항 크기 변화에 따른 출력파형의 변화를 PSPICE를 이용하여 시뮬레이션 하였다.



(a) A318S센서 등가회로가 고려된 3.5 MHz 펄스구동회로



(b) A308S센서 등가회로가 고려된 5.0 MHz 펄스구동회로

Fig. 3.2.85. Design of wave pulse circuit.

시뮬레이션 결과 출력펄스의 상승시간은 약 10 ns 이하로, 5.0 MHz 센서 구동이 가능한 200 ns 의 펄스상승시간 요구조건에 비해 충분히 빠른 상승시간을 보였다. 음향센서와 같은 공진회로에서 순간적인 전압 또는 전류 변화에 대한 충격을 흡수하여 과도한 진동을 방지하기 위하여 센서와 병렬로 삽입되는 댐핑 저항의 최적 값은 연결되는 센서의 임피던스 특성 및 인가전압에 따라 유동적으로 결정되어야 한다. 댐핑저항의 크기가 크면 전류의 흐름을 막아 에너지 소모가 천천히 일어나며 이에 따라 센서에 인가되는 에너지의 양이 증가하지만 센서의 임피던스 특성에 따라 ringing현상이 발생할 수 있으며 댐핑저항이 작은 경우 저항을 통한 에너지 소비가 크게 일어남에 따라 발생된 에너지가 빠르게 소모되면서 펄스 종료부(pulse tail)의 길이가 감소하며 ringing 현상이 비교적 안정적으로 나타나게 된다.

제작된 음향신호 송/수신부 보드의 형상은 Fig. 3.2.86과 같고, Fig. 3.2.87은 오실로스코프를 이용하여 측정한 각 단계별 파형을 보여준다. 50 ms 간격으로 발생되도록 설정된 펄스트리거 신호는 프로세서 처리시간(약 5 ms)가 고려되어 일정한 간격으로 출력됨을 확인하였으며, 송신부 출력단에서의 센서구동용 펄스 파형 측정 결과 약 - 240 volt 의 최대전압크기와 8 ns 이하의 펄스 상승시간을 갖는 스파이크 펄스 생성을 확인하였다.

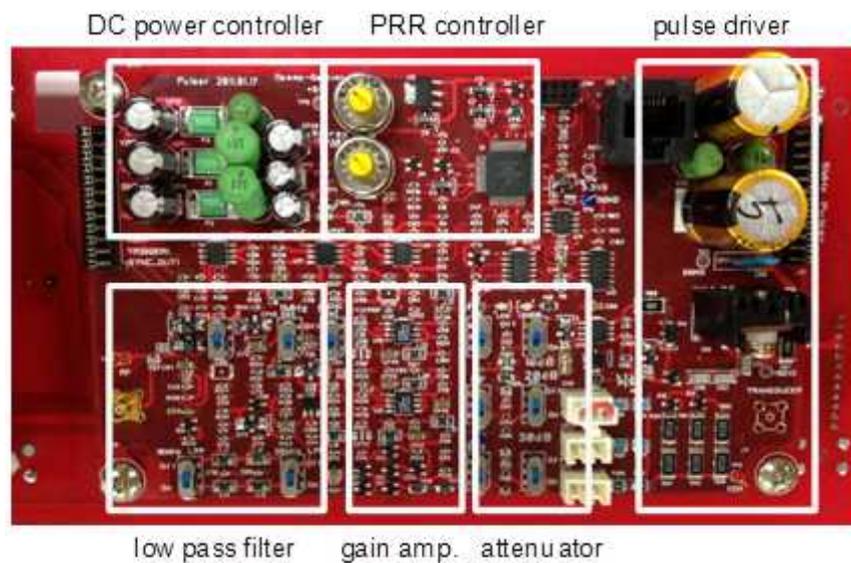
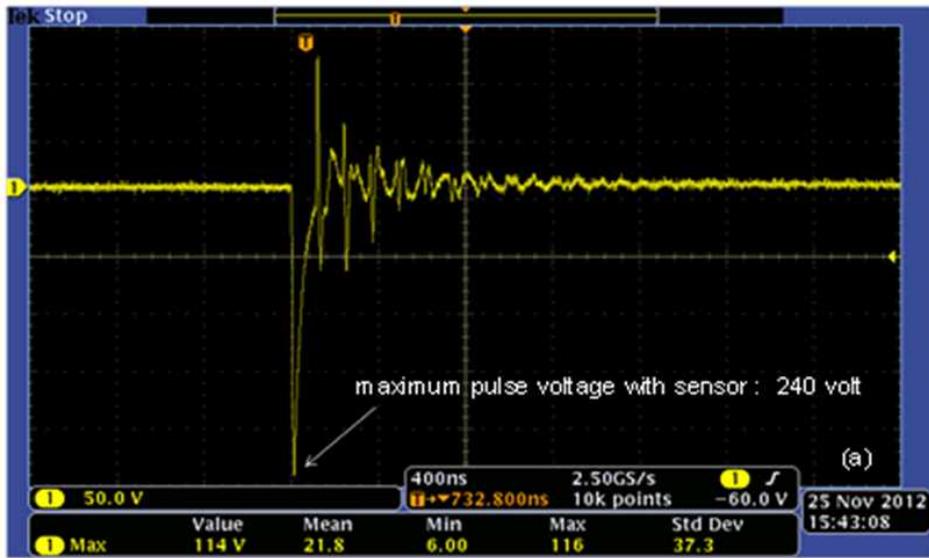
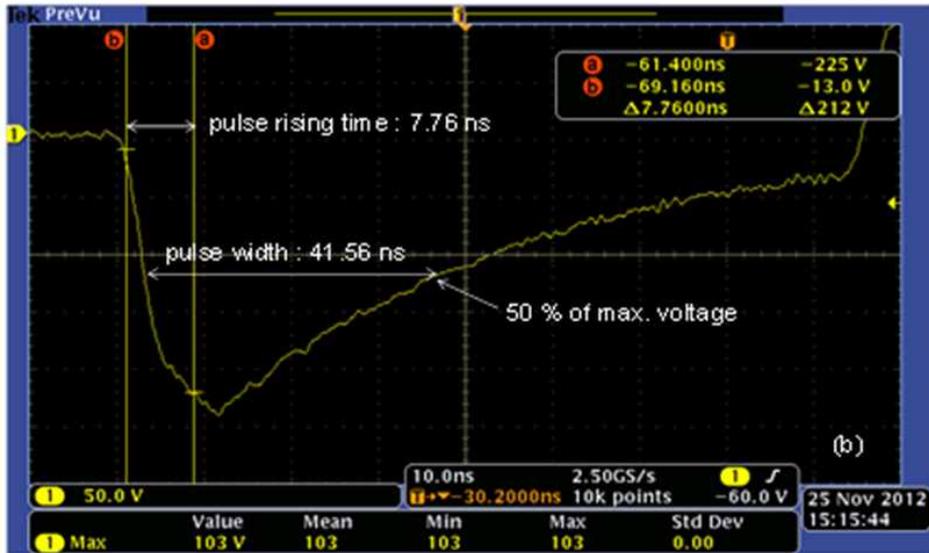


Fig. 3.2.86. Sensor-driven/signal receiving board.



(a) 펄스 최대전압 측정결과



(b) 펄스 상승시간 및 펄스폭 측정결과

Fig. 3.2.87. Pulse driver signal (5.0 MHz).

④ 수신기 회로 (receiver circuit)

음향 산란체에 의한 신호는 센서를 통해 전기적 신호로 변환된 후 수신부 (receiver)에서 증폭되어 신호 처리 및 변환보드로 전달된다. 이때 송신 및 수신 모드의 분리는 pulse trigger 신호를 이용하였다. 입력신호 측정결과 펄스 발생과 동시에 수신부로 유입되는 신호가 관측되었으나, 이는 분석영역에 해당하는 53-119  $\mu$ s 구간 이전에 완전히 소멸됨에 따라 탐지를 위한 분석결과에 영향을 주지 않음을 확인하였다

(다) 신호처리 및 변환보드 (signal conditioning & A/D converter B/D)

신호처리 및 변환보드는 수신된 신호에 대해 잡음(noise) 제거, 포락선검파(envelope detection) 및 A/D변환 기능을 수행한다. 센서구동 및 신호수신보드로부터 수신된 신호는 대역 통과 필터 (band-pass filter) 회로를 통과하여 전기 및 음향 노이즈를 저감함으로써 신호대 잡음비 (SNR)를 향상시켰다. 필터의 통과 대역은 센서 별 -3 dB 대역(3.5 MHz: 2.7-4.4 MHz: 5.0 MHz: 4.2-5.9 MHz)을 고려하여 설계하였다. 필터를 통과한 신호는 포락선 검파기 (ED: Envelope Detector)를 통해 포락선 신호로 변환되며, A/D 변환 소자(AD7985: 16-bit resolution, 2 MHz sampling)에 의해 디지털 신호로 변환되어 신호 분석 및 시스템 중앙 제어부로 전달된다.

① 포락선검파기 (Envelope Detector)

시스템 자원 최적화의 측면의 효율성이 확인된 포락선 검파회로구현을 위해 Analog Device사의 ADL5511소자를 적용하였다. ADL5511은 통신용으로 개발되어 범용으로 사용되고 있는 상용 소자로 회로의 안정성이 검증 되었고, 전력소모 또한 작은 장점이 있다. 내부 구조는 전파정류기 (full-wave rectifier)와 반송파 제거를 위한 일련의 저역통과 필터로 구성되어있으며, 저역통과 필터의 차단주파수는 반송파 주파수의 1/10 이하로 권장된다. 차단주파수의 설계는 신호파의 주파수 응답특성 및 반송파의 주파수 응답특성 분석을 기반으로 탐지 성능을 최대화 하면서 신호의 주파수 대역을 낮추는 최적 조건이 고려되어야 한다. 3.1절에서 검토된 결과에 따라 3.5 MHz 및 5.0 MHz 센서에 대해 각각 350 kHz 및 500 kHz의 차단주파수를 적용하였다. 1 GHz 이하의 주파수에서 AD5511소자를 사용하기 위해서는 외부에 추가적인 캐패시터의 장착이 요구되며, 제작사 데이터시트에 제시된 계산식에 따라 산출된 캐패시터의 용량을 적용하였다(Table 3.2.41).

Table 3.2.41. External capacitor capacity from envelope detector

Items	A381S	A308S
Cutoff frequency	350 kHz	500 kHz
$C_{FLT1} = \frac{1}{2\pi \times f_{3dB} \times 10,000\Omega} - 5pF$	1.0 nF	820 pF
$C_{FLT2} = \frac{1}{2\pi \times f_{FLT2} \times 400\Omega} - 0.4pF$	1.8 nF	1.2 nF
$C_{FLT3} = \frac{1}{2\pi \times f_{FLT3} \times 250\Omega} - 0.8pF$	1.0 nF	750 nF

포락선검파기의 사용은 산란신호의 주파수 대역폭을 원 신호 대비 약 1/10 이하로 축소할 수 있으며, 고속 신호처리 프로세서 적용을 통한 디지털 필터링 및 힐버트변환 등의 신호처리 과정을 아날로그 영역에서 처리함에 따라 디지털 신호처리를 위한 하드웨어 자원을 최소화 할 수 있다. 특히 신호분석을 위한 프로세서의 사양을 낮추어 발열 및 전력소모를 최소화 하였으며, 발생 데이터 량 감소에 따른 FIFO (First Input First Output)와 SD메모리 등의 시스템 내부 저장장치를 최소화 하였다. Fig. 3.2.88은 연구용 음향탐지 시스템을 사용한 기존 연구(Kim et al. (2010), Bok et al.(2010))에서의 신호처리 방법과 본 연구를 통해 개발된 음향탐지 시스템에 적용된 신호처리 방법의 차이를 흐름도 형태로 표현한 것이다.

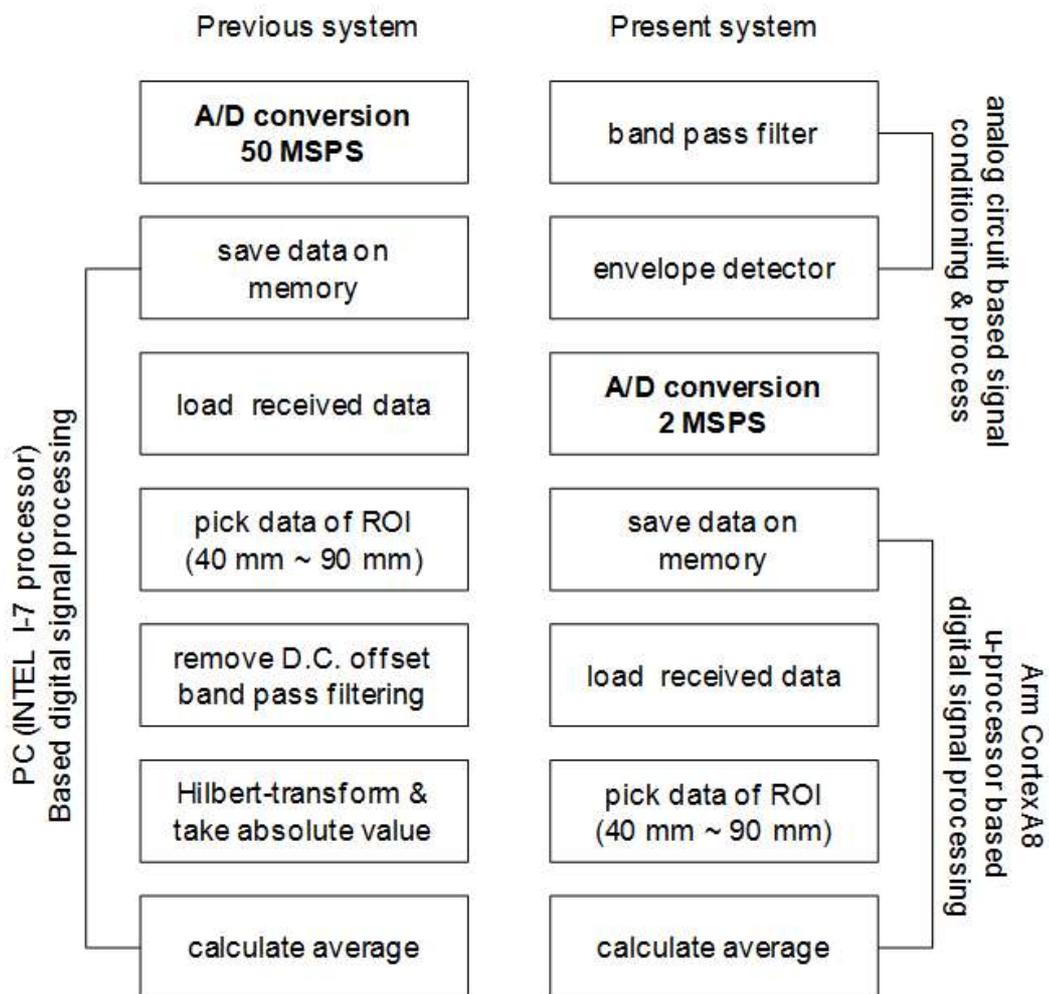
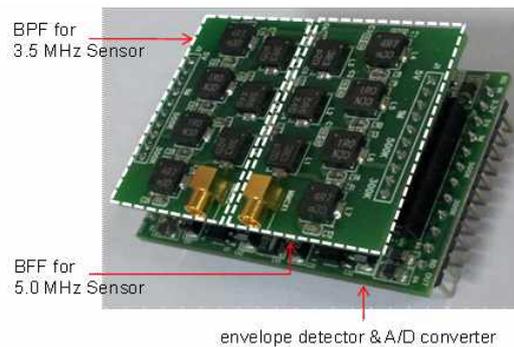
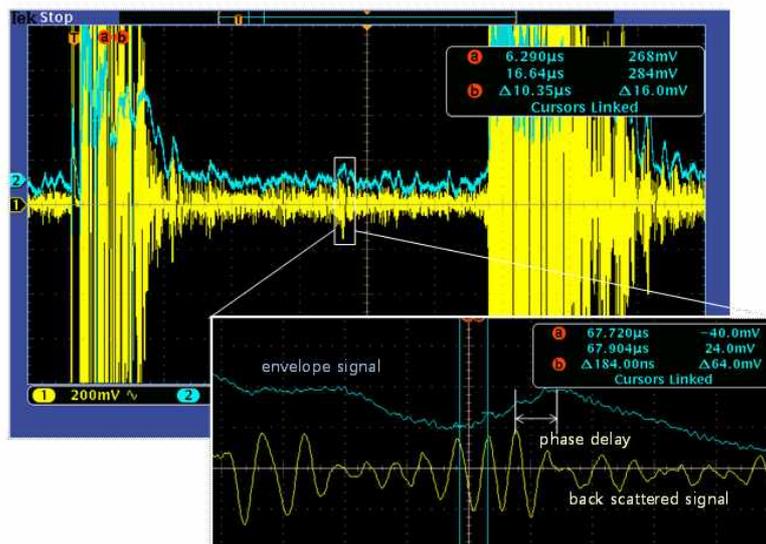


Fig. 3.2.88. Flow chart of envelope detector signal processing.

신호처리 및 변환보드 검증을 위해 실험실 조건에서 배양된 *C. polykrikoides* 산란체를 약 25 cm 길이의 소형 수에서 교반기(stirrer)를 이용하여 해수 내에서 균일한 셀 분포를 갖도록 한 후 후방산란되어 수신되는 신호를 측정하는 실험을 수행하였다. Fig. 3.2.89는 적층보드 (mezzanine board) 형태로 제작되어 조립된 대역통과 필터보드와 AD변환보드의 형상과 대역제한필터 입력 신호인 후방산란신호와 대역제한필터 및 포락선검파회로를 통과한 출력신호를 오실로스코프를 이용하여 동시에 측정한 것이다. 포락선검파기 출력 신호는 후방산란신호의 포락선을 정확히 따라가고 있음을 확인할 수 있으며, 확대 그림을 통해 포락선검파기에 적용된 수동소자인 인덕터 (inductor)와 캐패시터 (capacitor)에 의한 두 신호간 위상지연 (phase delay)이 발생함을 확인하였다. 오실로스코프 화면상에서 전시되는 포락선 신호는 원 신호와의 구분을 위해 약 100 mvolt의 오프셋 값을 가지고 전시되도록 조정하였다.



(a) 신호처리 보드 및 A/D변환보드 형상



(b) 포락선 검파기 입력신호 (yellow-line) 및 출력신호 (blue-line)

Fig. 3.2.89. Shape of signal processing/AD board.

## ② A/D 변환기

포락선 검파기에 의해 대역폭이 축소된 후방산란 신호는 16-bit 분해능, 2.0 MHz 샘플링주파수를 갖는 Analog Device사의 A/D변환소자인 AD7985에 의해 디지털 신호로 변환되어 FPGA내부에 구성된 FIFO에 일시적으로 저장된 후 신호처리를 위해 CPU로 전달된다. 2.0 MHz 샘플링은 포락선 신호의 차단주파수(500kHz)의 4배에 해당하는 주파수로 별도의 디지털 필터처리 없이 비교적 정확한 첨두치 (peak value)의 측정이 가능하다. A/D변환은 송수신기로부터 발생하는 sync-out 신호에 의해 트리거링되어 산란신호의 시작시점을 정확히 기화함으로써 탐지관심영역인 4-9 cm 거리에 해당하는 신호추출 오차를 최소화 하였다.

Fig. 3.2.90은 디지털 변환되어 메모리상에 저장된 포락선 데이터를 네트워크 연결을 통해 수신한 후 화면으로 출력한 결과이다. 탐지 관심영역 그림 ㉑에서 산란체에 의한 후방산란신호를 관측할 수 있으며 ㉒영역에서는 실험에 사용된 소형수조 의한 바닥 반사신호가 포화되어 나타남을 관찰할 수 있다.

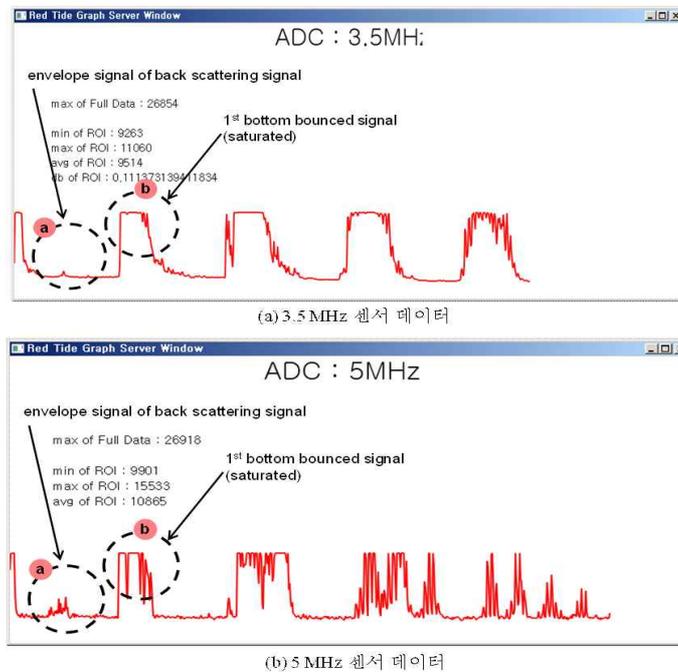


Fig. 3.2.90. Signal from A/D conversion board.

## (라) 신호분석 및 시스템 중앙제어보드 (Signal analysis and main control B/D)

신호 분석 및 시스템 중앙 제어보드는 ARM CORTEX A8 프로세서 및 FPGA를 적용하여 음향 신호의 저장 및 분석을 수행하며, CDMA 모델을 통해 음향신호 분석 결과와 함께 각종 환경센서 정보, 위치정보 및 보드의 온도, 전압 등 시스템 상태정보를 무선으로 전송하는 역할을 수행한다(Fig. 3.2.91).



Fig. 3.2.91. Signal analysis/system control board.

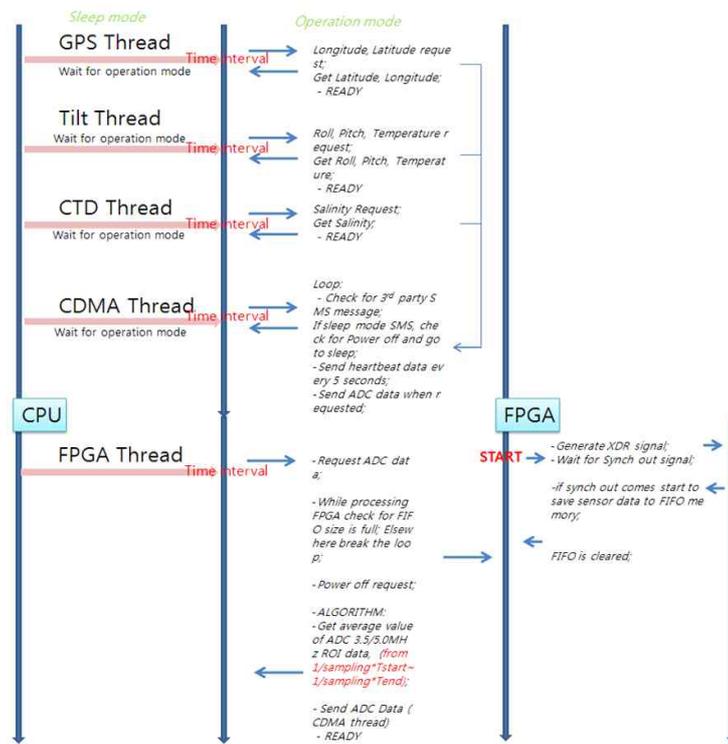


Fig. 3.2.92 Diagram of acoustic detection system control.

프로세서 운용체계(OS: Operational System)는 리눅스(Linux)를 적용하였으며, 소프트웨어 개발 언어는 C-언어를 사용하였다. 리눅스 운용체계는 개방소스 (open source)로 하드웨어 자원에 따른 최적화가 용이하고 시스템 구성에서 발생하는 비용을 줄일 수 있으며, C-언어는 하드웨어에 대한 접근 용이성 및 증명된 컴파일러를 임베디드 프로세서에 사용할 수 있다는 이점이 있다. FPGA는 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신을 이용한 ADC 제어 및 디지털 데이터 인출을 수행하며, 센서신호 송/수신부 초음파 발생제어와 전원보드 제어신호 발생기능을 수행한다. 수신된 신호의 분석 구간은 66-120  $\mu$ s로 송수신의 왕복 거리를(two-way) 고려하면 센서 면으로부터 40-90 mm에 해당하며, 1초 이내에 50 pings을 수신하여 평균을 취한 후 하나의 자료를 생성하였다. 이때 개개 ping의 수신 신호에서 역치 수신 전압 (threshold received voltage)은 적조 생물의 개체수에 따른 전압 측정으로부터 경보 수준에 해당하는 5 volt의 진폭 범위 내로 설정하였으며, 기포나 동물 플랑크톤 등에 의해 진폭 범위를 벗어나는 강한 수신 신호의 ping 자료는 평균값 계산 과정에서 제외하였다. Fig. 3.2.92는 음향탐지 시스템의 전체 프로세스 과정을 설명한다. 기본적으로 주 운용프로세스(main operation process)와 보조프로세스(supportive process)로 구분되어 보조프로세스는 지속적으로 주 운용 프로세스의 동작 상태를 확인하며 시스템의 이중화를 유지한다. 주 운용 프로세스가 비정상적인 동작으로 충돌하는 경우 복원을 시도하여 비정상적인 동작에 대한 시스템 복구 기능을 구현하였다. 운용프로세스는 세부 목적에 따라 A/D 변환기로부터 디지털 신호로 변환되어 FPGA의 FIFO상에 저장된 후방산란신호 데이터 수신을 위한 FPGA thread, 중계기와 TCP/IP통신 및 SMS데이터 송/수신을 위한 CDMA thread, Tilt 및 CTD 센서로 명령어를 전송하고 데이터 값을 읽어오기 위한 Tilt thread와 CTD thread, GPS 센서로부터 위도, 경도 위치 데이터를 수집하기 위한 GPS thread를 포함하는 총 5개의 threads로 구성되어 운용된다.

#### (마) 전원분배보드 (power distribution B/D)

태양전지에 의해 충전된 배터리로부터 공급되는 직류 24 volt를 입력으로 계측기 운용에 필요한 보드 별 공급 전원을 생성한다. 시스템 중앙 제어부와 GPIO(General Purpose Input/Output) 포트를 통해 연동되는 전원제어 명령은 보드 별로 인가 전원을 효율적으로 관리함으로써 시스템 전류 소모를 최적화 하였다(Fig. 3.2.93). 선박에서의 직류 전원 공급 이외에 해상에서의 장기 운용을 위한 전원 시스템 설계에서는 태양 전지의 일일 충전량을 음향 탐지부 소모 전력량보다 크게 구현함으로써 장기간 운용이 가능하게 하였다.

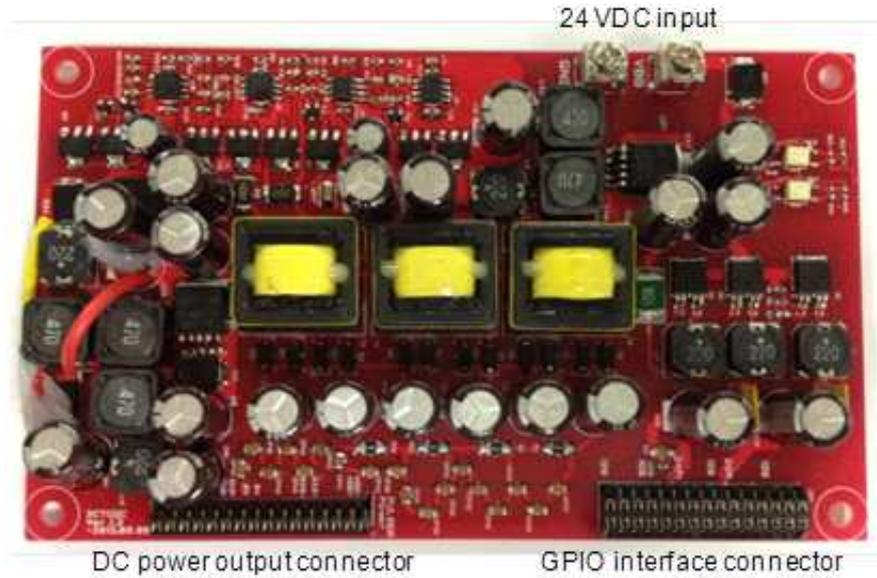


Fig. 3.2.93. Power distribution board.

(바) 보조센서부 (auxiliary sensor part)

적조 발생 요인인 해양환경 자료를 음향 자료와 동시에 수신하기 위해 수온/염분 센서를 내장하였으며, 시스템 안정도 확인을 위한 기울기 센서, 내부 온도 측정 센서를 설치하였고, 위치 정보 확인을 위해 GPS(Global Positioning System) 센서를 연동시켜 위치 정보도 동시에 수신하였다.

(2) 원격 제어 및 모니터링부

원격 제어부는 육상 기지국으로부터 시스템 제어를 위한 양방향 신호 전송 체계와 수신된 적조 음향 신호 및 시스템 상태의 가시화 구조로 구성되었다. 양방향 신호 전송 체계: 중앙 제어부에 구현된 CDMA모뎀을 통해 육상 기지국에 설치된 자료 서버까지 자료를 양방향 전송하며, 이후 서버와 육상의 제어국은 LAN망을 이용하여 연결한다. “해상 시스템 CDMA ↔ 자료 서버 ↔ 유·무선망 육상 기지국”으로 음향 자료 전송 및 시스템 제어 명령을 전송하게 구성되었다. 가시화 체계: 유·무선망을 통해 수신된 음향 자료, 환경 자료, 시스템 상태 자료 등 모든 자료는 육상 기지국 PC에 설치된 UAP (User Application Program)에 가시화되며, 동시에 제어 명령 모듈을 통해 해상 시스템에 명령을 전송시키는 구조로 구성되었다(Fig. 3.2.94). UAP는 복수의 탐지 시스템 자료 저장 및 제어가 가능한 구조이며 분석 기능까지 가지고 있다.

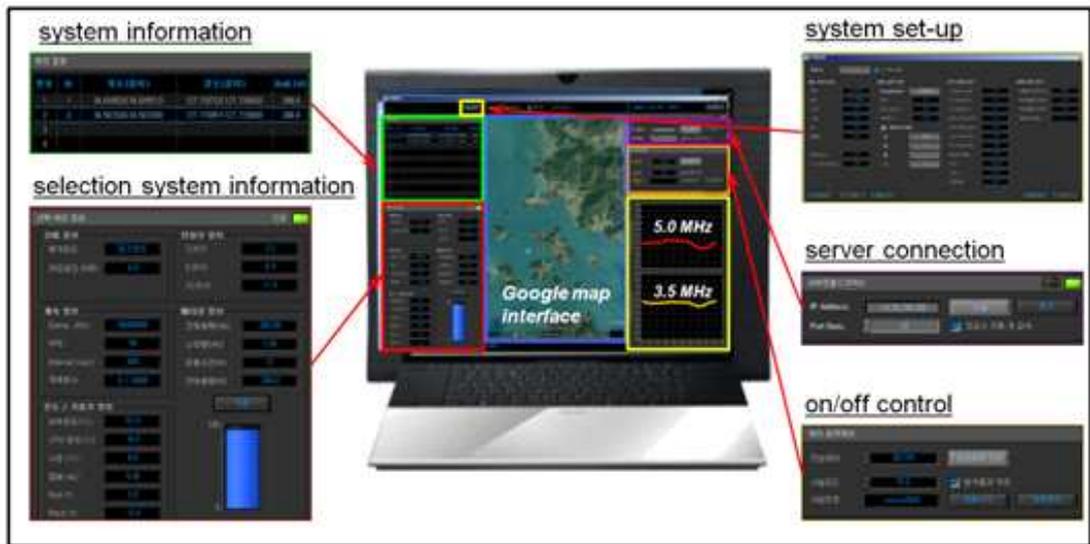


Fig. 3.2.94. Graphic user interface (GUI) program.

## 다. 요약

유해적조 음향탐지는 주의보 이상의 고밀도 조건에서의 탐지목적 보다는 주의보 이하의 저밀도 조건에서 적조의 발생여부를 판단 가능하도록 하는 것이 주요 목적이 된다. 이와 같은 조기탐지는 특히 양식장 주변 경제적 손실이 크게 발생할 수 있는 지역에서 중요한 의미를 가지며, 이를 위해서는 음향탐지 시스템 자체의 성능 향상도 필요하지만 양식장 주변 해역에 대한 연속적이고 종합적인 자료 확보를 통해 적조의 발생 및 이동상황을 정확히 판단하고 예측하는 것이 무엇보다도 중요한 요소로 볼 수 있다. 본 연구에서는 기존의 연구용 장비를 이용한 적조생물 음향탐지 관련 연구의 한계를 보완하고 유해적조 발생에 대한 보다 실용적이고 실질적인 측정 데이터 확보를 목적으로 유해적조 통합음향탐지 시스템을 설계/제작 하였으며, 설계 과정에서 중점적으로 고려된 요소는 아래와 같다. 최적화 측면에서 음향탐지의 대상이 되는 *C. polykrikoides*의 군집특성에 따른 송신 음파의 주파수 관계를 분석하였으며, 이에 기반한 대상 적조종의 효과적 탐지를 위한 센서의 선정 및 구동 신호 설계요소를 도출하였다. 후방산란 신호에 대한 신호대 잡음비 향상 및 포락선 검파기술을 적용한 하드웨어 자원 및 전원소모를 최소화하는 기술을 적용하였고, 적조 발생 유무 판단을 위한 산란 신호의 분석은 근거리 음장(near field) 영역을 활용함으로써 신호대 잡음비를 최대화하여 조기탐지 성능 향상을 가능케 하였다. 운용성 및 안전성 측면에서는 음향탐지부의 운용조건 및 형태에 따라 고정설치용 부이형과 이동조사용 선박형으로 구분하여 제작하였으며, 각각의 구성품을 모듈화함으로써 상호간의 호환성 및 확장성을 확보하였다. 부이형 시스템은 센서 및 보드류로 구성된 음향탐지부와 해양설치를 위한 부이 및 태양광 집열기를 이용한 전원부로 구성하여 적조 발생 예상지역에 고정적으로 설치하여 별도의 전원공급 없이 장기 운용이 가능하도록 설계하였다. 선박용 시스템은 측정용 선박 측면에 클램프 및 연장파이프 등의 기구물을 이용해 수심 2 m 깊이에 센서를 고정시키고, 이동형 케이스 내부에 일체형으로 구성된 제어 및 전시부의 연결로 필요한 장소 및 시간에 적조 발생 상태를 신속하게 파악하여 분석할 수 있도록 개발하였다. 이와 더불어 상용화된 CDMA통신망 및 SMS서비스를 이용한 이중네트워크 망의 활용은 음향탐지 시스템 제어 및 모니터링 결과 전송을 실시간으로 처리 가능하도록 함으로써 적조탐지 이벤트 발생 및 시스템 운용상태에 대해 운용자가 즉각적으로 대응할 수 있도록 하였다. 이와 같이 성능적, 기능적으로 최적화된 유해적조 통합 음향탐지 시스템은 적조발생 피해 예상지역 주변에 다중으로 설치되어 측정 포인트에 대한 음향 및 환경자료를 연속적으로 측정하고 실시간으로 통합함으로써 적조발생 관련 환경조건과의 연관성 분석뿐만 아니라 시간 및 공간영역 상에서 국지적으로 발생하는 적조의 확산 및 이동 현황에 대한 입체적인 분석 및 대응이 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 음향 탐지 시스템 통합 성능 검증 및 실험역 적용

적조 음향탐지 시스템에 대한 통합성능을 검증하고 실 운용 환경에서의 적용성 확인을 위해 실험실 환경에서의 적조생물(*C. polykrikoides*) 및 규조류(Diatom) 밀도에 따른 산란강도 측정을 수행하였으며, 적조 발생이 빈번한 남해안 통영부근 해역 및 여수부근 해역에서 2010년부터 2012년까지 총 8회에 걸쳐 선박형 및 부이형 음향탐지 시스템을 이용한 측정을 수행하였다.

각각의 실험에 사용된 음향탐지 시스템은 3회에 걸쳐 성능향상 및 최적화를 목적으로 설계 보완을 통해 신규로 제작 되었으며, 이에 따라 연도별 음향자료 간 하드웨어 사양 차이 및  $RSI_{freq}$  측정 방법의 차이에 의해 오차가 존재한다. Table 3.2.42에 연도별 음향탐지 시스템 하드웨어 주요사양 변화 및  $RSI_{freq}$  설정 방법을 요약하여 표현 하였다. 표에서 볼 수 있듯이 하드웨어의 경우 1, 2차년도 대비 3차년도에 포락선 검파기 적용을 통해 프로세서 및 메모리등의 자원을 최소화 하였으며, 그 결과 전력소모를 1/2이하로 낮추어 운용성을 확보하였다. 또한  $DSI_{freq}$  값 산출에 있어 기준이 되는  $RSI_{freq}$  설정 방법은 1, 2차년도에는 실험실 환경에서 필터해수를 이용해 측정한 값을 사용하였으며, 3차년도에는 측정해역의 배경산란신호 세기가 고려된 SI 측정값을 사용하였다는 차이가 있다.

Table 3.2.42. Major specification of acoustic detection system

Year	Hardware	Key features
1st (2010)		<p>Processor : Intel / ATOM (1.64GHz)                      Memory : 4 GByte                      ADC : 50 MHz / 14 bit                      Power : internal disposable battery                      Power consumption : &lt; 25 Watt / hour                      OS : WINDOWS                      RSI setting : filtered sea water                      (0.7 <math>\mu</math>m Whatman GF/F)</p>
2nd (2011)		<p>Processor : Intel / ATOM (1.64GHz)                      Memory : 4 GByte                      ADC : 50 MHz / 14 bit                      Power : external rechargeable battery                      4 panels solar cell                      Power consumption : &lt; 20 Watt / hour                      OS : WINDOWS                      RSI setting : filtered sea water                      (0.7 <math>\mu</math>m Whatman GF/F)</p>
3rd (2012)		<p>Processor : ARM Cortex A8 (844 MHz)                      Memory : 20 MByte                      ADC : 2 MHz / 15 bit                      Power : external rechargeable battery                      5 panels solar cell                      Power consumption : &lt; 10 Watt / hour                      OS : LINUX                      RSI setting : using the measured SI value                      @ operational site</p>

### 가. 음향탐지 시스템 통합성능 검증

원격제어부를 포함한 음향 탐지시스템의 통합성능평가를 위해 실험실 환경에서 적조 생물(*C. polykrikoides*)의 개체수 변화에 따른 후방 산란신호의 SI (Sound Intensity) 측정 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 적조 생물은 한국 미세조류 은행으로부터 확보한 배양액 (F2-medium; Guillard 1975)을 이용하였으며 이때, 배양 온도는 25 °C로 설정하고 12시간 주기로 빛에 노출시키는 방법으로 증식 시켰다. 실험실 조건에서 배양된 *C. polykrikoides* 개체수를 광학 현미경(BX50, Nikon/Olympus, Tokyo, Japan)으로 계수하여 300-3,000 cells/ml의 셀 밀도를 갖는 산란체에 대해 소형 수조에서 교반기(stirrer)를 이용하여 해수 내에서 균일한 셀 분포를 갖도록 한 후 산란체에 의한 SI를 측정 하였으며, 산란체를 필터링한 해수를 이용하여 RSI (Reference Sound Intensity)를 측정하였다(Fig. 3.2.95).

센서 주파수 3.5 MHz와 5.0 MHz 에 대해 *C. polykrikoides* 의 개체수를 각각 300, 1000, 1500 및 3,000 cells/ml의 조건으로  $SI_{freq.}$ 를 측정하였으며 미리 계산되어 시스템에 입력된  $RSI_{freq.}$  값을 이용하여 각 주파수에 대한  $DSI_{freq.}$ 를 계산하였다. 각각의 측정에서 50 pings의 신호를 평균하였으며, 모든 계산은 시스템 내부 프로세서에 내장된 신호 분석 알고리즘을 통해 수행하였다.

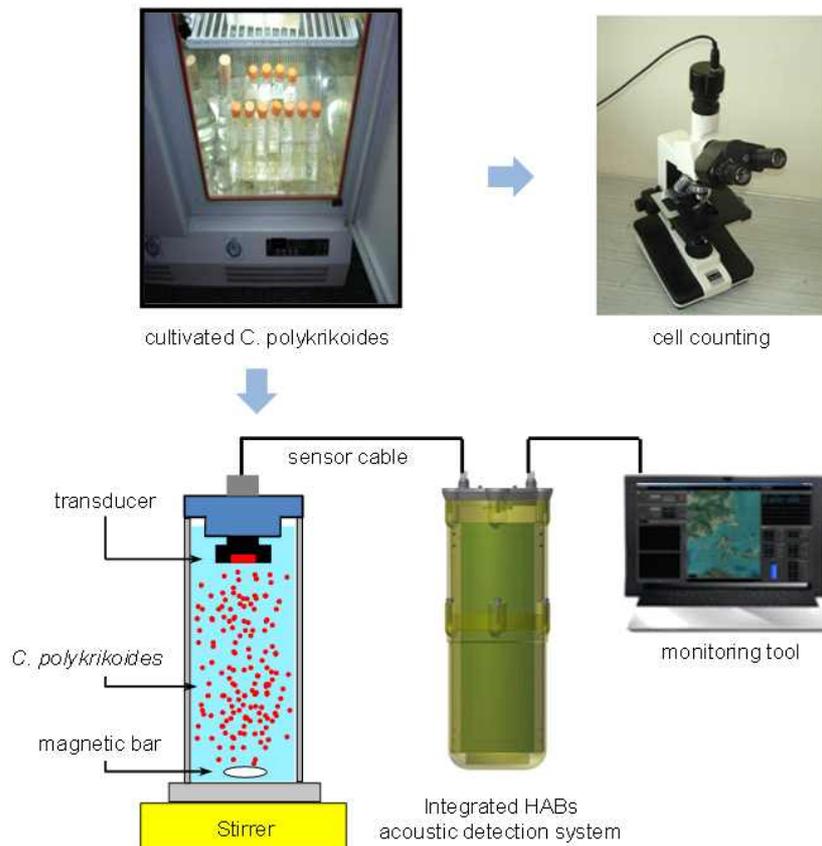


Fig. 3.2.95. Performance evaluation from acoustic detection system in lab.

실험결과 *C. polykrikoides*에 대한 적조주의보와 경보 수준인 300 cells/ml과 1,000 cells/ml 조건에 대해  $DSI_{3.5\text{MHz}}$ 는 4 dB와 7 dB,  $DSI_{5.0\text{MHz}}$ 는 3 dB와 5 dB로 측정 되었으며, 300-3,000 cells/ml의 실험 범위 내에서 *C. polykrikoides*의 개체수가 증가할수록  $DSI_{\text{freq}}$  값이 증가함을 확인 하였다(Fig. 3.2.96). 이와 같은 실험결과를 기반으로 주파수 3.5 MHz와 5.0 MHz에 대한 개체수 조건변화에 따른 DSI의 변화를 의 회귀곡선(regression curve)을 이용하여 상관계수( $R^2$ )를 산출한 결과 3.5 MHz 에 대해 0.97, 5.0 MHz에 대해 0.86의 높은 상관도를 보였으며, 이에 따라 개발된 음향탐지 시스템이 실패역에 적용되어 적조생물의 발생을 조기에 탐지할 수 있음을 확인하였다.

해수에는 무적조 상태에서도 각종 동물성플랑크톤 및 적조생물 이외의 다른 종의 식물성 플랑크톤 등의 부유물질이 존재하며, 이러한 부유물질에 의해서 발생하는 산란신호의 영향이 정확하게 고려되어야만 적조발생 유무 및 개체 수 판단 결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있다. 동물성 플랑크톤 및 어류에 의한 신호의 경우 생물 분포 및 이동 특성상 순간적으로 발생하는 신호의 형태로 나타나며, 이는 신호처리 알고리즘 상에서 임펄스신호 제거 알고리즘을 통해 간단히 제거할 수 있다. 반면, 무적조 정상 상태에서 우점종인 규조류의 경우 적조생물과 같이 랜덤하게 분포되어 있어 동물성 플랑크톤 신호 제거와 같이 신호 특성에 근거한 산란신호로 구분이 용이치 않으며, 이에 대한 산란신호 특성 분석이 필요하다.

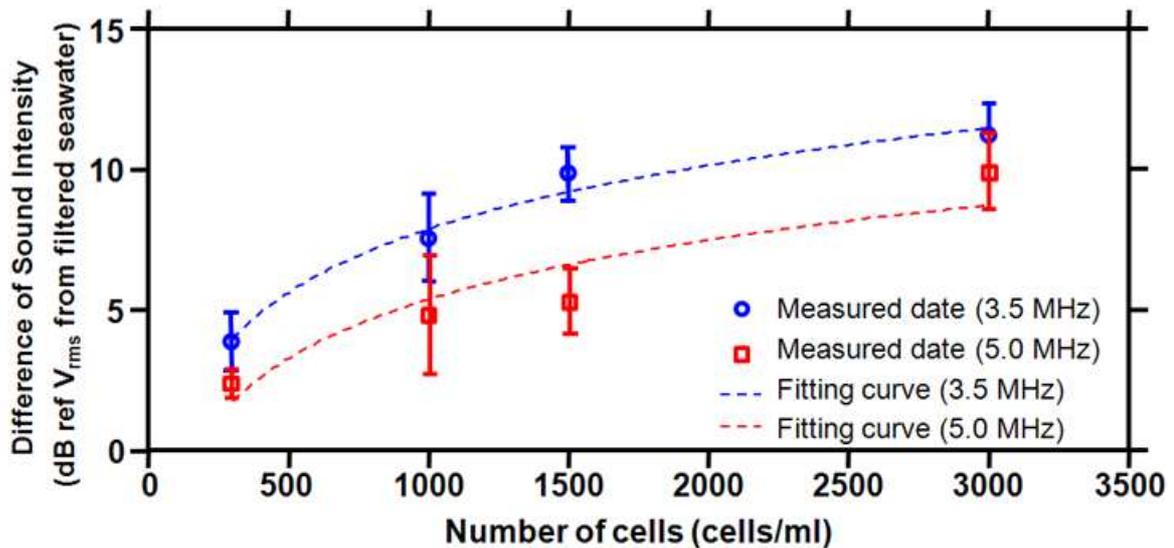


Fig. 3.2.96. Difference of backscattering strength from *C. polykrikoides* as number of cells at 3.5 and 5.0 MHz in lab.

## 나. 음향탐지 시스템 실패역 적용

실험실 환경에서의 시스템 통합 성능검증이 완료된 음향탐지 시스템을 이용하여 남해안 적조발생 가능지역에 대해 2010년부터 2012년까지 3년 동안 총 8회에 걸쳐 실패역 적용 실험을 수행하였다. 8회의 실험은 선박형과 부이형 시스템을 이용하였으며, 적조가 발생한 시기와 발생되지 않은 시기는 각각 4회씩이었다. 적조가 발생하지 않은 시기의 실험은 무적조 상태의 해수에 대한  $SRI_{freq.}$  확보 및 시스템의 안정적 동작 확인을 주 목적으로 하였으며, 적조 발생 시기에는 측정을 통해 산출된  $DSI_{freq.}$  값의 변화와 채수샘플 분석자료 또는 국립수산과학원에서 제공된 적조정보자료와의 상관성 분석을 통해 실패역 운용조건하에서의 음향탐지 시스템의 탐지 성능 평가에 주 목적을 두어 실험을 진행하였다. Table 3.2.43은 음향탐지 시스템 통합성능 검증을 위한 실패역 실험 내역을 수행 시기, 장소, 시스템 형태 및 적조발생 유무에 따라 요약하여 표현한 것이다.

Table 3.2.43 Performance evaluation using integrated acoustic system

Operation Data		Installation Site	System Type	Red tide event
2010	11. Aug	Tongyeong	ship	-
	19. Sep	Tongyeong	ship	Red tide
2011	16. Aug - 3. Oct	Yeosu #1	buoy	-
	16. Aug - 3. Oct	Yeosu #2	buoy	-
2012	26. Jul - 15. Sep	Tongyeong	buoy	Red tide
	26. Jul - 18. Aug	Yeosu	buoy	Red tide
	23. Aug	Tongyeong	ship	-
	10. Sep	Yeosu	ship	-

### (1) 선박형 적조탐지 시스템 운용 (2010년)

실험실 조건에서 성능 검증을 완료한 음향탐지 시스템을 이용하여 2010년 8월 11일과 9월 19일 2회에 걸쳐 선박을 이용한 실패역 평가를 실시하였다. 평가 해역은 경상남도 통영 남서쪽 해역으로 하계시기에 적조가 빈번히 발생하는 지역으로, 8월 실시한 1차 실험은 적조 미 발생, 정상 상태의 조건으로 한국해양과학기술원 통영 해양생물보존연구센터(MRC) 인접 해역에서 1시간 10분 동안 연속적인 측정을 실시하였다. 2차 실험은 1차 실험 장소에서 북서쪽으로 약 7 km 떨어진 오비도 인근 해역에서 실시되었으며 적조(*C. polykrikoides*)가 발생한 9월 19일에 약 2시간 동안 실시하였다 (Fig. 3.2.97).

음향 조사는 3.5, 5.0 MHz 센서를 유선형 예인체에 부착시킨 후, 소형 선박의 선측 부분에 고정 지지대를 이용하여 설치하였다. 이때 예인체를 수심 2 m까지 내린 후 약 4 노트의 일정 선속으로 이동하면서 연속적으로 음향 신호를 획득하였다. 측정된 신호는 시스템 내에서 각 주파수에 대해  $DSI_{3.5MHz}$ ,  $DSI_{5.0MHz}$ 의 값으로 산출되며, 음향탐지 시스템에 연결된 GUI (Graphic User Interface) 화면을 통해 현장에서 확인하였으며, 동시에 무선 네트워크망을 통해 육상 원격 제어부로 실시간 전송하였다.

측정해역에서의 적조 종 및 기타 식물성플랑크톤의 개체 수 확인을 위해 정점 별로 음향센서 수심과 동일 수심에서 채수를 실시하였다. 채수 샘플은 알루미늄 호일에 의해 차광 처리된 채수통 (500 ml)에 고정액 (Lugol's solution)을 이용하여 고정하였으며, 실험실에서 박막 여과지(pore size: 5.0  $\mu\text{m}$ , diameter: 47 mm)가 장착된 플라스틱 여과기로 농축 후 광학 현미경을 이용하여 계수하였다. 환경 자료는 시스템에 연결된 CTD 센서를 이용하여 각 정점에서 표층 수온 및 염분 자료를 측정하여 저장하였다.

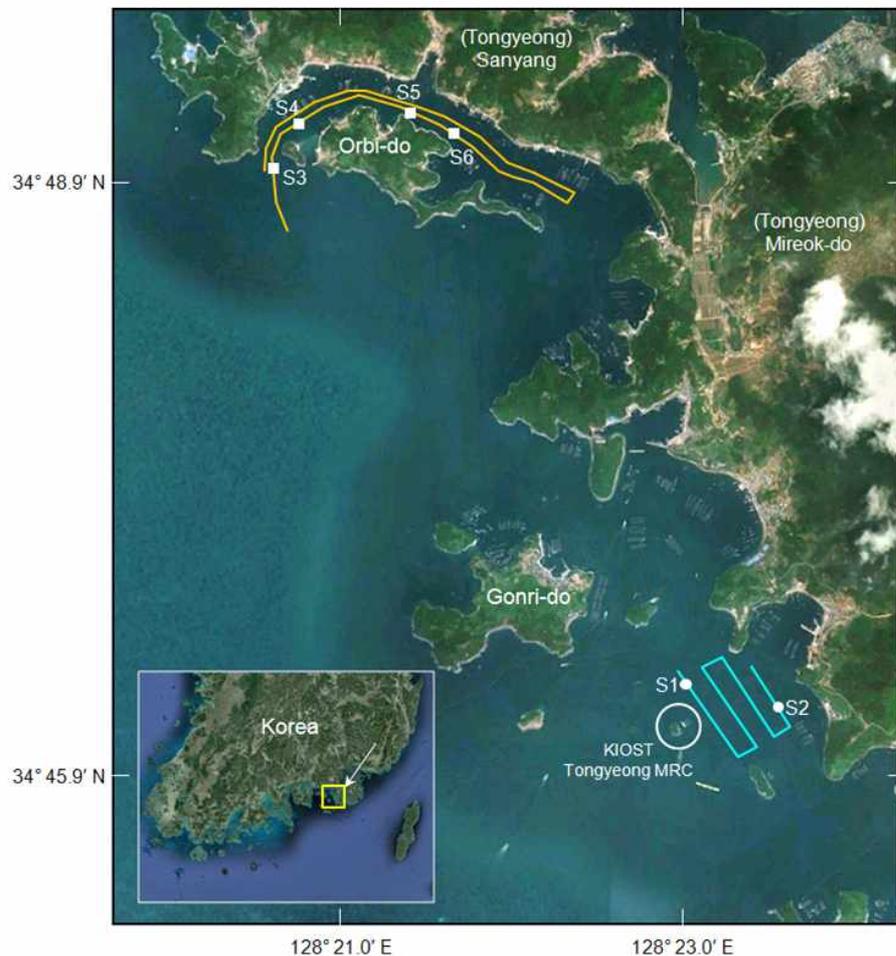


Fig. 3.2.97. Location for field evaluation of developed HAB's acoustic detection system (1st trial: station S1 and S2, August 2010, 2nd trail: station S3-S6, September 2010).

(가) 무적조 조건 통영해역 선박형 시스템 1차 운용 결과 '10년 8월11일

정점 S1과 S2에서의 채수샘플 분석결과 식물성 플랑크톤 종조성에서는 적조종인 *C. polykrikoides*가 존재하지 않았으며, 우점하는 규조류가 95% 이상의 비율을 차지함을 확인하였다 (Table 3.2.42). 음향 자료 분석결과  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 의 평균 값이 각각 3.3 dB와 2.1 dB로 산출되었으며, 두 주파수 모두 1 dB 이내의 안정적인 변동폭을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 3.2.98). 주파수 특성에서 3.5 MHz 대역에서 5.0 MHz 보다 상대적으로 높은 값을 보여 실험실 결과와 일치성을 나타내고 있다. 해상 실험에서도 기준 레벨은 필터 해수에 의한 레벨인  $RSI_{freq}$ 를 적용하였으므로 3.3 dB와 2.1 dB의  $DSI_{freq}$ 는 적조 미 발생 조건인 정상 상태의 해양에서의 시스템 탐지 성능으로 표현할 수 있다. 본 실험을 통해 무적조 조건에서의 음향탐지 시스템에 대한 동작 안정성을 확인하였으며, 정상 상태의 해양 조건에서  $DSI_{freq}$  값이 큰 변화 없이 안정적으로 유지됨을 확인하였다.

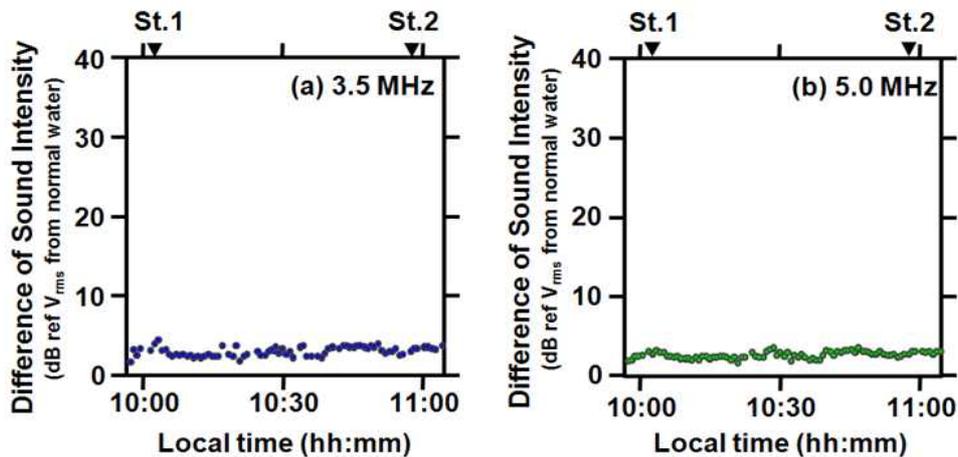


Fig. 3.2.98. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of no red-tide event.

(나) 적조 발생 조건 통영해역 선박형 시스템 2차 운용 결과 '10년 9월19일

적조 발생 시기에 맞추어 9월에 실시된 통영해역에서의 2차 시험에 대한 정점 S4-S6의 채수 샘플 분석결과 식물성 플랑크톤 종조성에서 적조종인 *C. polykrikoides*의 셀 밀도는 정점에 따라 88-3,137 cell/ml 범위를 갖는 것으로 확인되었으며, 이는 적조 주의보 이전 수준의 셀 밀도(< 300 cell/ml)에서 경보수준 이상의 셀 밀도(> 1,000 cells/ml)를 모두 포함하는 범위이다(Table 3.2.44). 이와 같이 적조가 발생된 경우에 대한 음향자료 분석결과  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$  값이 각각 2.7-30.8 dB와 2.2-27.2 dB의 큰 변화 폭을 갖는 것으로 관측되었다(Fig. 3.2.99). 이러한 큰 폭의 변화는 채수 샘플을 통해 확인된 *C. polykrikoides*의 개체 수 분석 결과와 강한 상관성을 보여주고 있으며, 좁은 지역에서도 발생된 적조의 분포 형태가 균일하지 않고 국부적으로 구역(patch)를 이루어 존재함을 보여주고 있다. 본 실험을 통해 적조 발생 및 미발생의 해양 조건에서 측정된 음향 자료와 식물플랑크톤 채집 자료와의 직접적인 비교로부터 본 연구에서 개발한 음향탐지 시스템에 대한 적조 탐지 성능을 확인할 수 있었다.

Table 3.2.44. Phytoplankton abundance and environmental data for comparing acoustic data in 2010

Date	11 August 2010 (no red-tide)		19 September 2010 (red-tide)			
Station	1	2	3	4	5	6
Local time	10:05	10:55	13:20	13:35	13:50	14:10
Surface temperature (°C)	22.9	23.9	26.7	27.5	27.5	27.5
Salinity (psu)	32.9	32.3	29.2	29.3	29.3	29.3
Phytoplankton abundance (cells/ml)						
Total	438	478	273	1227	4099	1172
Diatom	417	451	181	982	902	550
Dinoflagellate	21	27	92	245	3190	621
( <i>C. polykrikoides</i> )	(0)	(0)	(88)	(232)	(3137)	(609)

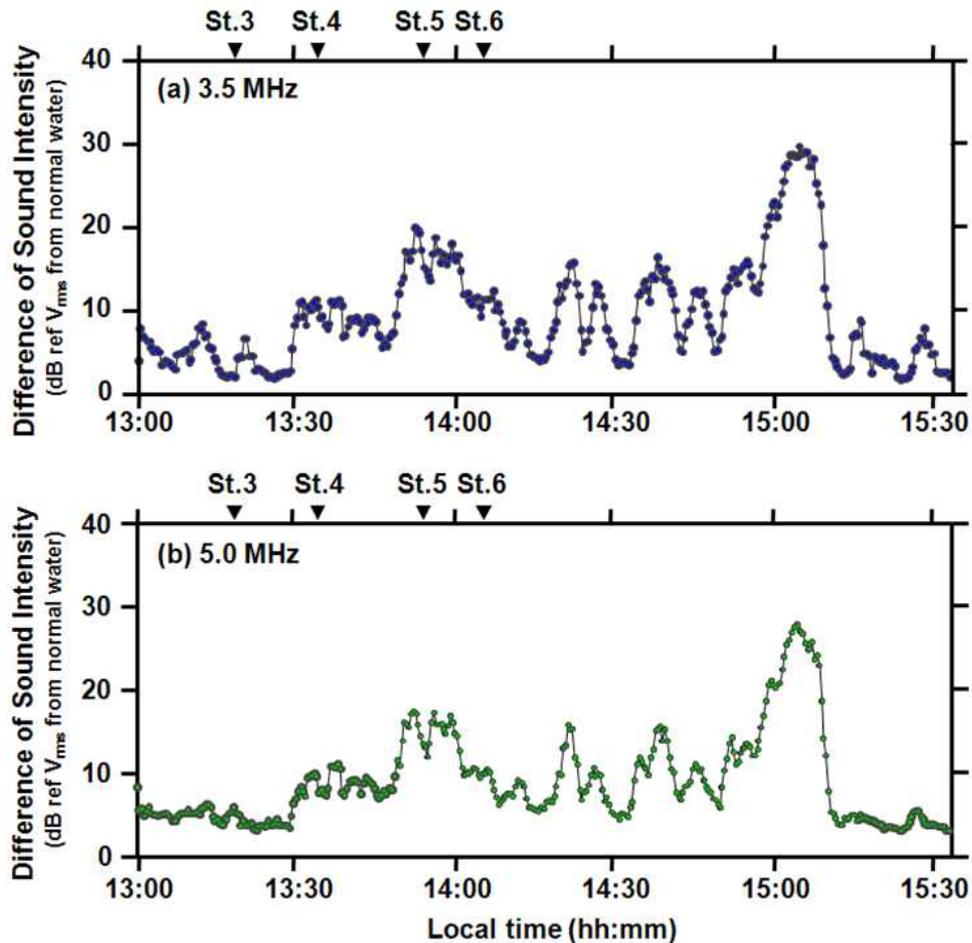


Fig. 3.2.99. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of red-tide event.

## (2) 부이형 적조탐지 시스템 운용 (2011년)

적조 주요 발생시기에 적조플랑크톤의 유·무에 따른 음향산란강도의 장기적인 시변동성 측정을 위해 부이형으로 제작된 음향 탐지부를 복수로 설치하여 운용하였다. 설치 해역은 적조 주요 발생해역 중 하나인 전라남도 여수 금오도 인근해역에 위치하는 2개의 정점 (부이 #1: 34° 36.57'N, 127° 43.72'E, 부이 #2: 34° 35.23'N, 127° 42.95'E)을 선정 하였으며, 설치 형태는 유지/보수의 편리성 및 안정적 운용을 위해 양식장 부근에 고정하는 방식으로 하였다(Fig. 3.2.100). 설치기간은 적조 주요 발생시기인 하계시기 중 2011년 8월 16일부터 10월 3일 까지, 총 49일 동안이며, 이 기간 동안 연속적인 측정을 통해 음향자료를 획득하였다. 음향 센서는 부이 하부에 치구를 이용하여 기존의 선박형 시스템과 동일한 수심인 2 m 에 설치하였고, 음향 조사와 동시에 보조 자료로 수온 및 염분 자료 획득을 위한 CTD 센서도 설치하였다. 음향 탐지부의 전원은 기존의 선박형 시스템과 달리 내장형 배터리 (납축전지, 24VDC 475 Ah)로 공급하였고, 부이 상단에는 배터리 충전을 위한 태양광 모듈과 부이위치 파악을 위한 GPS안테나, 무선 데이터 송/수신을 위한 CDMA 안테나가 함께 설치했다(Fig. 3.2.101).

관측기간 동안 시스템 제어 및 음향자료 확인은 육상 원격지(한국 해양과학기술원)에 설치된 원격제어기 및 개인용 스마트폰을 통해 이루어 졌다. 부이형 시스템의 음향탐지부에서는 수신된 산란 신호에 대한 포락선 신호를 저장하여 부이 수거 후 사후분석을 가능케 하였으며, 무선으로 전송된 음향자료 및 보조자료는 중계기와 원격제어기에 이중으로 저장됨에 따라 데이터 손실 가능성을 최소화 하였다. 음향탐지부와 중계기 사이에서의 통신은 CDMA 망을 이용하였고 중계기와 육상의 원격 제어기와의 통신은 유무선 인터넷 망을 이용하였다. 음향 탐지를 위한 기본 운용은 각 주파수에 대해 10 분 간격으로 측정되며, 이때 환경 자료(수온/염분)도 동시에 측정되어 실시간으로 육상의 원격 제어기로 전송된다. 원격제어기에 무선으로 전송되어 전시된 음향자료 및 환경 자료를 통해 부이 설치 해역에 대한 적조 발생여부를 실시간으로 확인하였으며, 시스템의 안정적 운용을 위해 시스템 내부 온도, 부이 기울기 상태, 배터리 사용 용량 및 잔여 용량을 연속적으로 관측하였다.

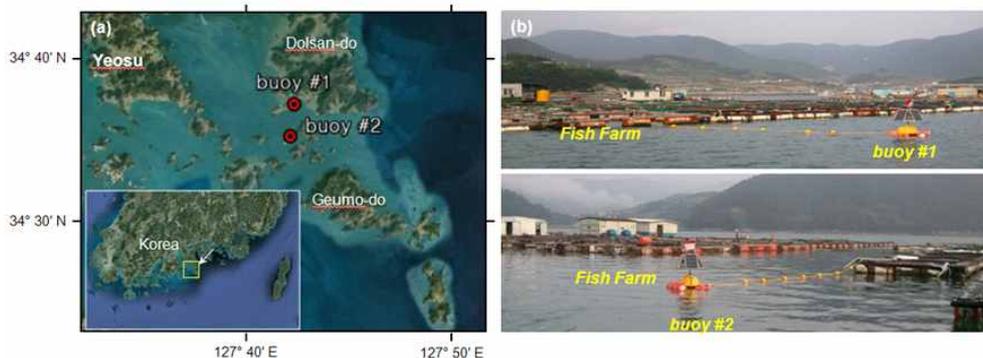


Fig. 3.2.100. Location of acoustic detection system from buoy-type near the Gumo Islands, 2011.

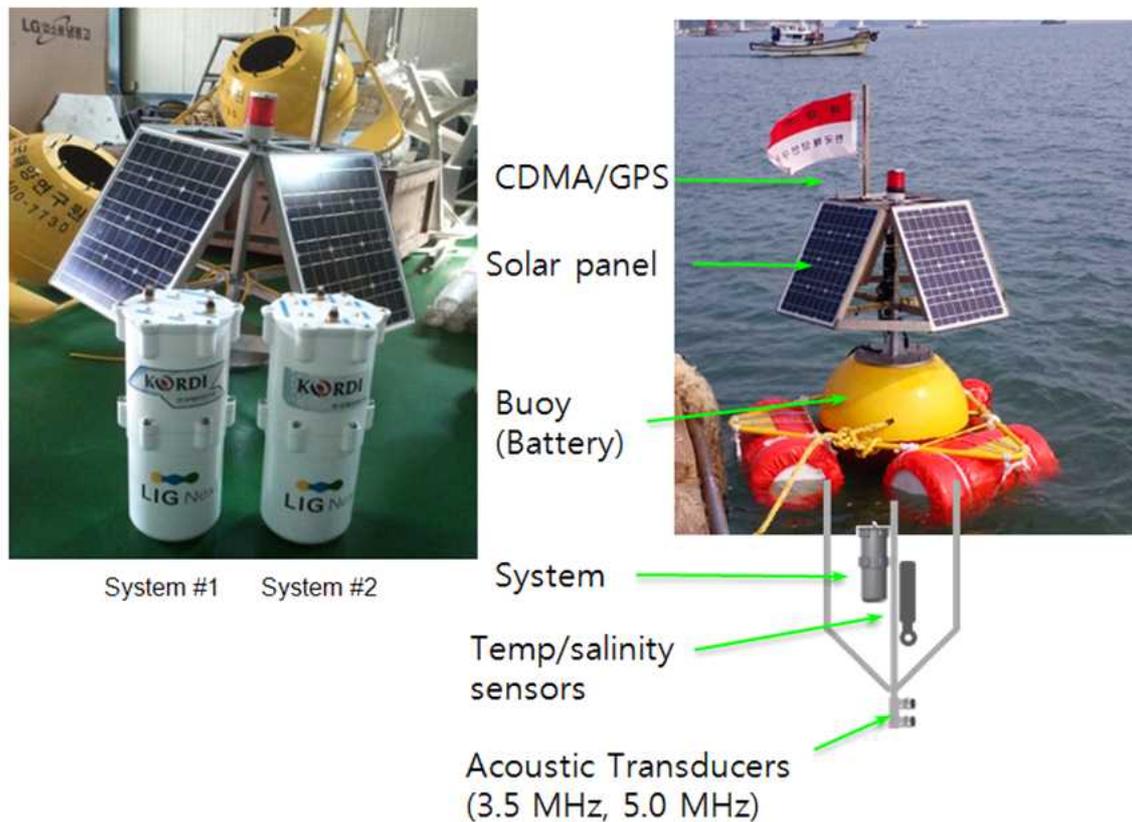


Fig. 3.2.101. Performance evaluation using integrated acoustic system from buoy-type.

(가) 무적조 조건 여수해역 부이형 시스템 장기 운용 결과 '11년 8월-10월

부이형 시스템에서 관측된 음향자료 결과와의 비교를 위해 동일 해역 및 기간 동안 국립수산물 학원에서 측정된 선박 예찰 결과 자료(NFRDI 2011)를 활용하였다. 이에 따르면 부이형 시스템이 운용된 기간 동안 설치 위치를 포함하는 인근해역에서 적조가 발생하지 않은 것으로 나타났다.

음향자료 분석결과 정점 #1 에서의  $DSI_{3.5 \text{ MHz}}$ 와  $DSI_{5.0 \text{ MHz}}$  의 평균값은 각각 7 dB와 5 dB 이내에서 일정하게 측정 되었다(Fig. 3.2.102(a)(b)). 음향 자료와 동시에 획득한 수온과 염분은 각각 22.1-22.9 °C, 30.5-31.4 psu로 측정 되었으며(Fig. 3.2.102(c)), 부이형 시스템 기울기 상태 자료 또한 안정적으로 측정되었다(Fig. 3.2.102(d)). 따라서 본 관측을 통해 부이형 시스템의 장기간 안정적인 운용성을 확인하였으며 운용기간 동안 측정된 DSI 관측 결과는 여수 오금도 해역에서의 기본 배경 준위로 활용할 수 있다. 본 실험을 통해 부이형 음향탐지 시스템에 대한 장기간 안정적인 동작 및 원격지 제어 및 관측을 통한 편리한 운용성을 보였고, 장기 운용을 통해 획득된 음향자료는 향후 여수 오금도 해역의 측정 시 기본 배경 준위로 활용할 수 있다.

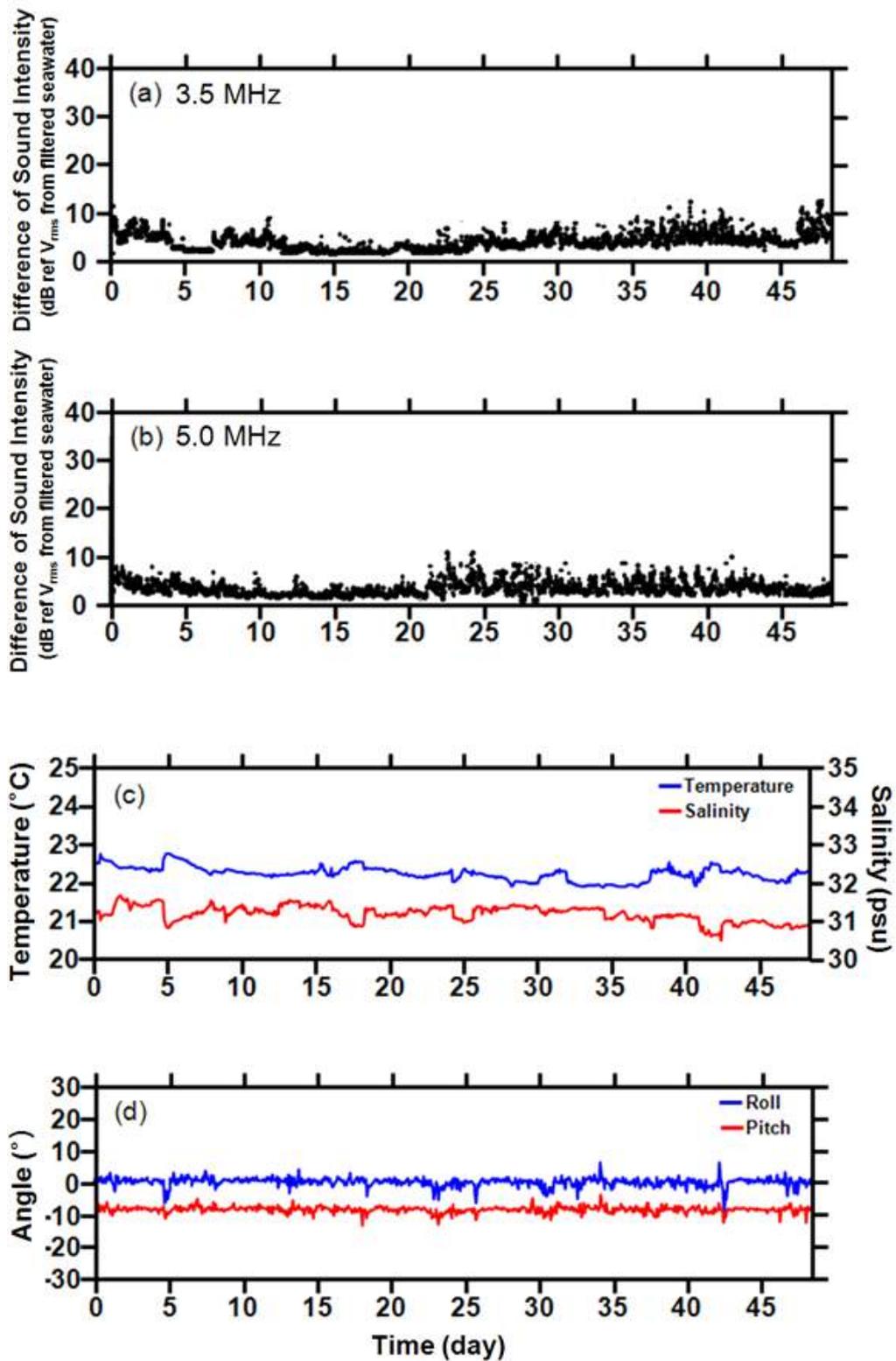


Fig. 3.2.102. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz(a) and 5.0 MHz(b), temperature and salinity(c), tile angle from buoy-type system.

### (3) 부이형 적조탐지 시스템 운용 (2012년)

2012년 하계시기에도 적조생물의 모니터링을 위해서 복수의 부이형 음향탐지 시스템을 실험해역에서 설치하여 운용하였다. 부이 설치 위치는 2011년 설치해역과 동일한 지역인 전라남도 여수 금오도 연안 정점 (34° 35.24'N, 127° 71.60'N)과, 2010년도에 대량의 적조가 발생한바 있는 경상남도 통영 오비도 연안 정점 (34° 48.98'N, 128° 22.23'N)으로 나누어 설치·운용함으로써 각각의 해역 별 음향자료 및 환경자료를 획득하였다(Fig. 3.2.103). 통영 오비도 인근해역 설치 부이의 경우 2012년 7월 26일부터 9월 15일까지 총 51일 동안 운용되었고, 여수 금오도 연안 설치 부이의 경우 2012년 7월 26일-8월18일까지 총 24일 동안 운용한 후 회수하였다. 설치 및 측정 방법은 2011년에 운용한 부이형 시스템과 유사하며, 기본 측정 간격을 주간 혹은 야간에 따라 5-10분 범위 내에서 변경 하면서, 탄력적으로 제어하였다(Fig. 3.2.104). 본 실험에 있어 RSI 설정 방법은 필터링된 해수에 대한 SI 측정치를 RSI 값으로 사용한 2011년도 실험에 사용한 방법과 달리 시스템 설치 전 무적조 조건의 운용 해역인 여수 금오도 인근해역과 통영 오비도 인근해역에서 일정시간 이상 측정을 통해 SI 값을 획득하였으며, 이를 각 해역 별 시스템의 RSI 값으로 설정하여 DSI 를 산출하는 방식을 사용하였다.

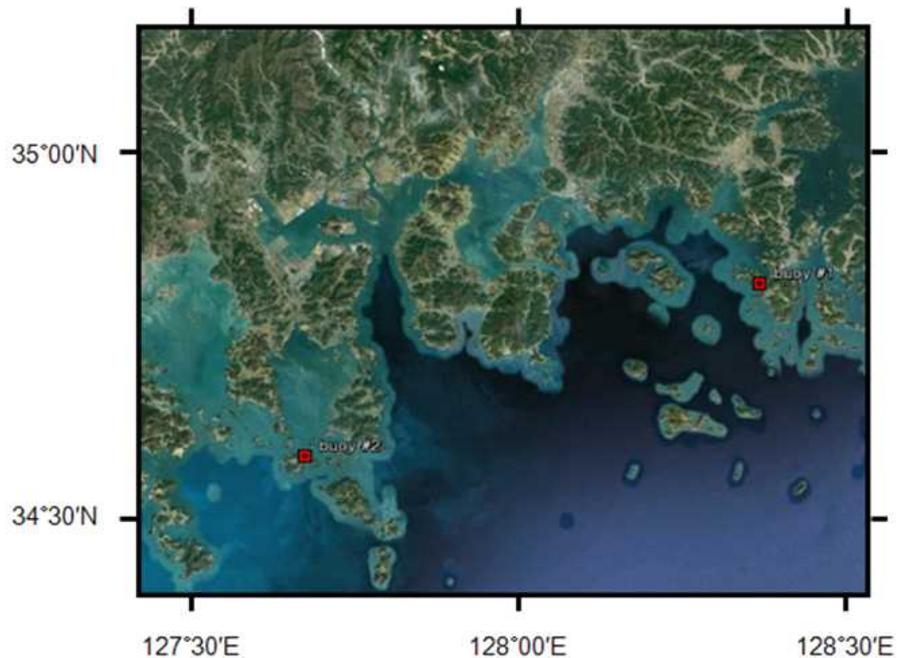


Fig. 3.2.103. Location for buoy-type acoustic detection system (Tongyeong and Yeosu).



Fig. 3.2.104. Photography of acoustic detection system from buoy-type.

(가) 적조 발생 조건 통영/여수해역 부이형 시스템 운용 결과 2012년 7-9월)

본 조사시기에 획득한 음향자료는 통영 오비도 인근에서 획득한 음향 자료의 경우  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 가 각각 0-22.9 dB, 0-21.4 dB (Fig. 3.2.105)로 나타났으며, 여수 금오도 인근 해역에서 획득한 음향 자료의 경우도  $DSI_{3.5MHz}$ 의 값의 범위가 0-22.0 dB 로 큰 변화 폭을 보였으며,  $DSI_{3.5MHz}$  측정값은 5.0 MHz 시스템 문제로 데이터가 정상적으로 획득되지 않아 분석에서 제외하였다 (Fig. 3.2.106). 관측기간 동안 남해안 전 해역에 적조생물이 산발적으로 발생하였으며, 정확한 생물자료와 음향자료와의 비교를 위해 국립수산과학원에서 측정한 적조 예찰 결과와의 상대적인 비교를 수행하였다 (Fig. 3.2.107, NFRDI 2012). 국립수산과학원의 예찰 결과에 따르면 통영 오비도 인근해역의 *C. polykrikoides*의 밀도가 8월 3일과 4일 각각 80-1,450 cells/ml과 80-4,800 cells/ml의 값을 나타내었으며, 여수 인근해역의 경우 8월 6일, 11일, 13일 각각 140-4,090 cells/ml, 980-4,800 cells/ml, 184-1,300 cells/ml 의 밀도를 갖는 *C. polykrikoides*가 확인되었다. 이와 같은 예찰 결과는 채수 지역 및 시간에 대한 정확한 정보는 알 수 없지만 음향 자료 분석 결과와 유사한 결과를 보임에 따라 음향탐지 시스템을 이용한 실시간 적조 탐지의 효율성을 확인하였다

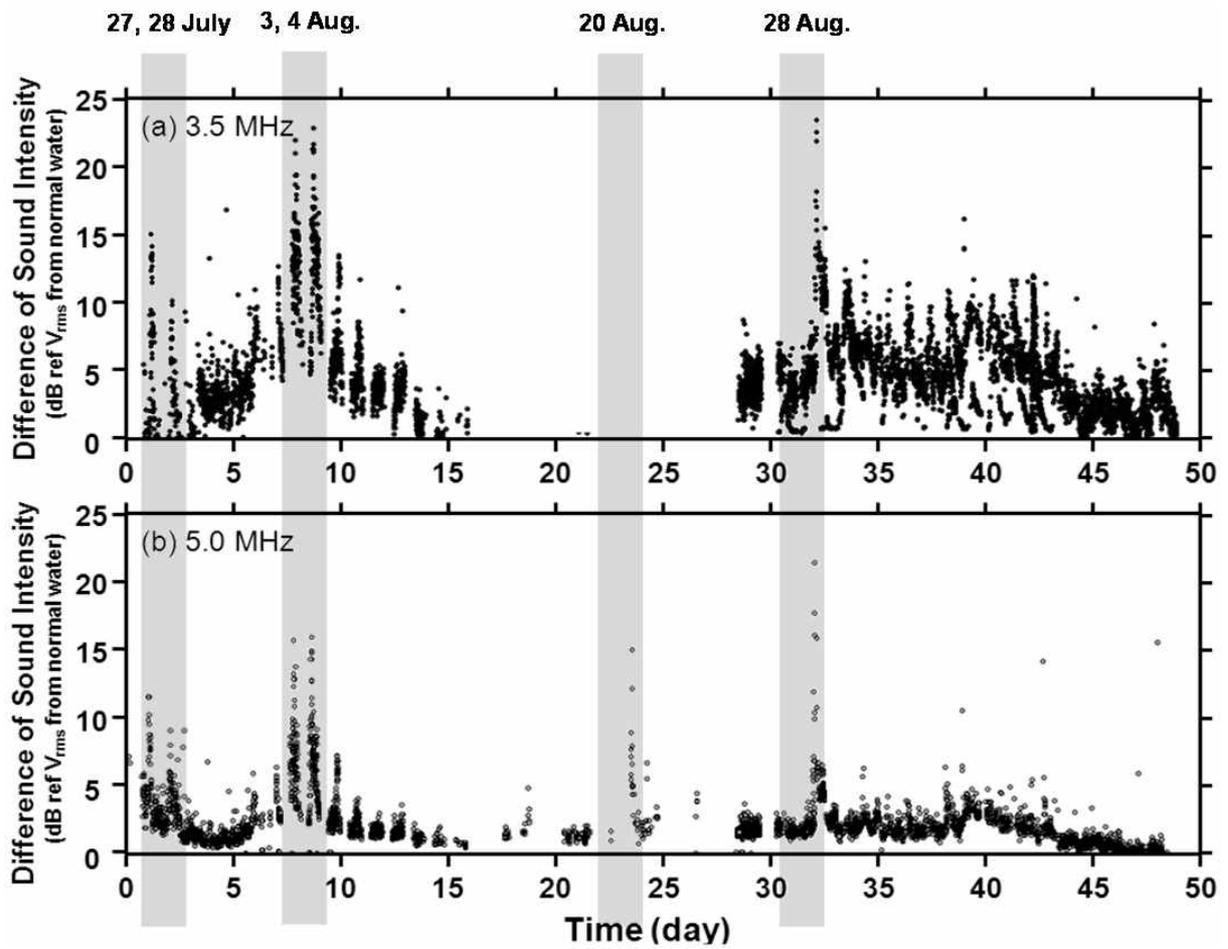


Fig. 3.2.105. Variation of the Difference of backscattering strength from buoy-type system near coastal of the Yeosu.

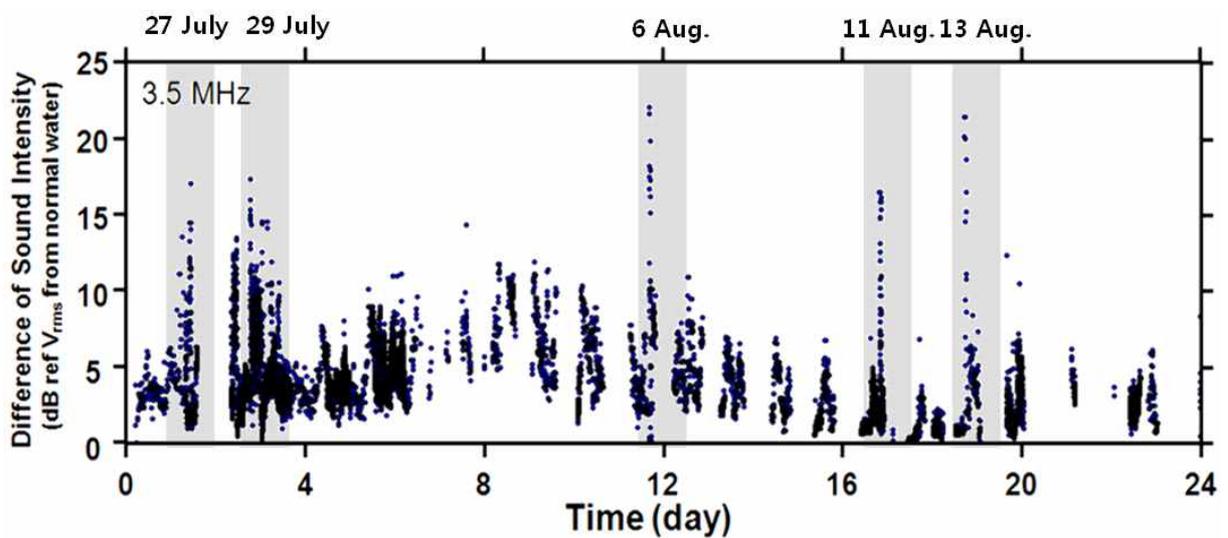


Fig. 3.2.106. Variation of the Difference of backscattering strength from buoy-type system near coastal of the Tongyeong.

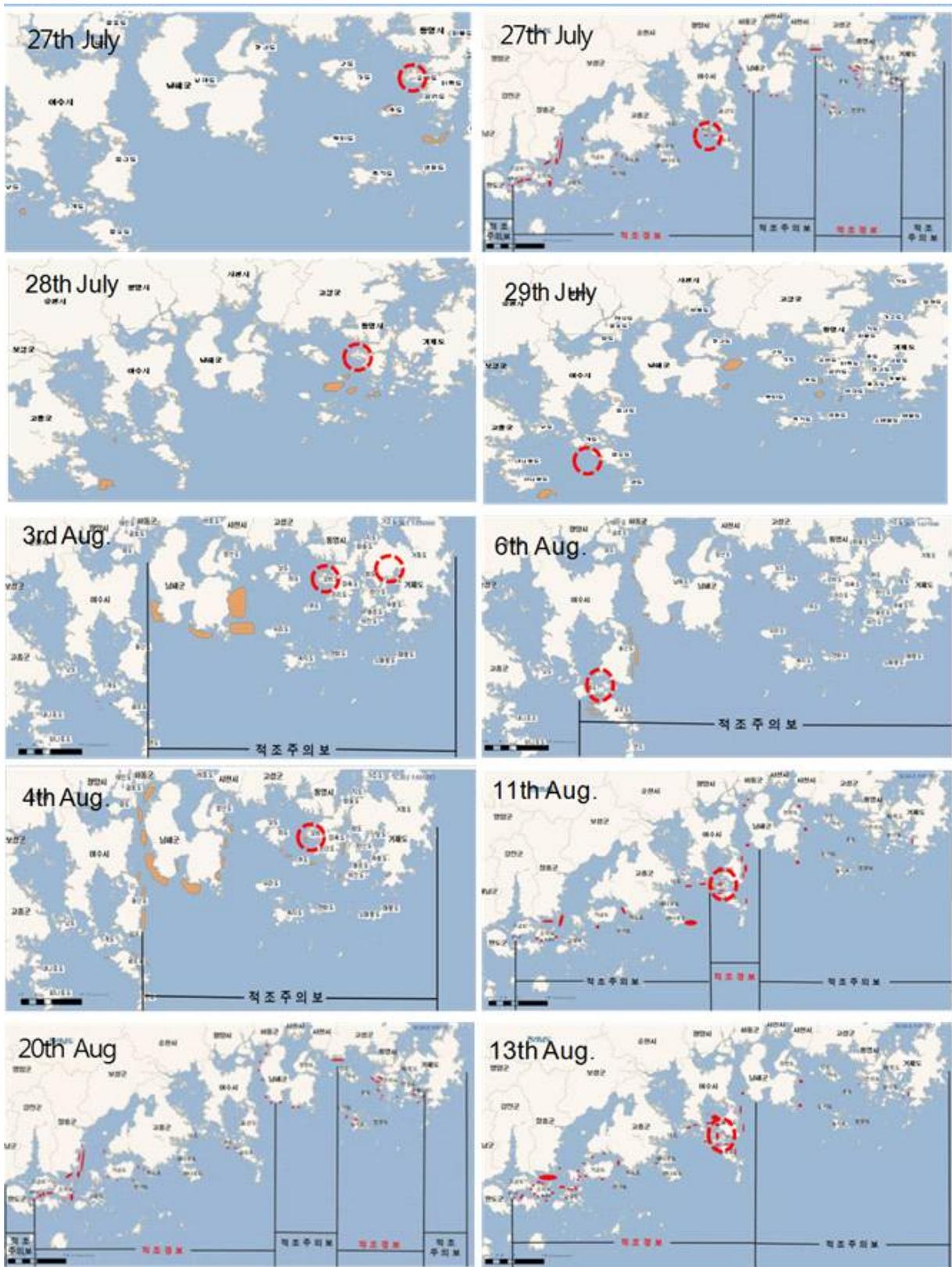


Fig. 3.2.107. Red tide forecasting information from NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute).

Fig. 3.2.108은 통영과 여수해역에서 측정된  $DSI_{3.5MHz}$ 의 일변화를 날짜 별로 중복하여 표현한 것이며, 본 음향조사 결과와 국립수산과학원 생물자료와의 상관성 분석을 수행하였다. Fig. 3.2.108(a)에서 7월 27일과 28일의 적조 셀 밀도는 주의보 수준 이하였으며,  $DSI_{freq.}$ 값이 15-18시 사이에 다른 시간에 비해 높게 측정되었다. 이러한 결과는 일반적으로 알려진 바와 같이 적조 생물이 일사량이 많은 시간 동안 광합성을 위해 표층으로 이동하는 특성과 일치하는 현상으로 볼 수 있다. 반면 Fig. 3.2.108(b)에서 3일과 4일에는 적조 셀의 밀도가 약 4,800 cells/ml까지 높게 나타난 기간이며, 이 경우에는  $DSI_{freq.}$ 의 값이 Fig. 3.2.108(a)에 비해 이른 시간인 오전 7시부터 높아지는 현상을 관찰할 수 있다(8월 초 기준 평균 일출 시간 : 오전 5시 30분). 이러한 현상은 기존의 목시 관측 및 불연속적인 채수 기법으로는 관측이 어려운 현상으로 부이형 시스템의 연속운용을 통해 적조생물량 조건에 따른 일변화특성을 관측한 경우이다.

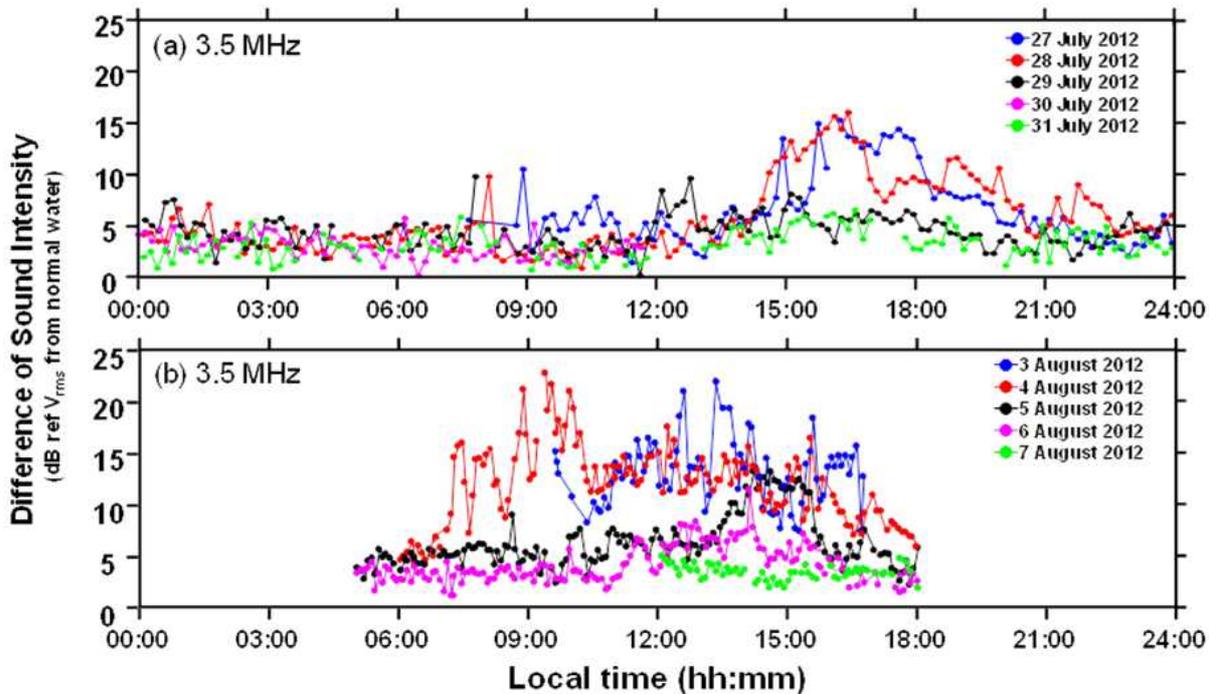


Fig. 3.2.108. Diel variation of the Difference of backscattering strength near Tongyeong and Yeosu.

#### (4) 선박형 적조탐지 시스템 운용 (2012년)

선박형 음향탐지시스템은 2012년 8월 23일, 10월 10일 총 2회에 걸쳐서 실향역 평가 및 운용하였다(Fig. 3.2.109). 평가 해역은 서로 다른 주요 적조 발생 해역을 선정하였다. 1차 조사는 경상남도 통영 MRC 인접해역에서 무적조 상태로 정상 조건에서 선박형 시스템의 안정성을 평가하였다. 무적조 상태의 1차 조사는 한국해양과학기술원 통영 MRC 인근해역에서 약 1시간 30분 동안 연속적으로 음향조사를 하였고, 음향 조사 방법은 기존의 선박형 조사와 동일하게 3.5와 5.0 MHz 음향 센서를 유선형 예인체에 부착시킨 후, 소형 선박의 선측 부분에 고정 지지대를 이용하여 설치하여 약 4 노트의 일정 선속으로 이동하며 음향 신호를 획득하였다.

2차 조사해역의 경우 적조 주요 발생해역 중 하나인 여수 돌산도 해역으로 2012년 일반적으로 하계시기에 발생하는 것과 달리 10월에 이상적으로 대량 발생 하였다. 따라서 선박형 시스템의 적조 발생시 음향 신호의 변동성을 확인하기 위해서 음향 조사를 실시하였다. 2차 실향역 실험시 10개의 정점에서 음향센서 수심과 동일한 수심에서 식물플랑크톤의 정성 및 정량 분석을 위한 채수를 실시하였다.

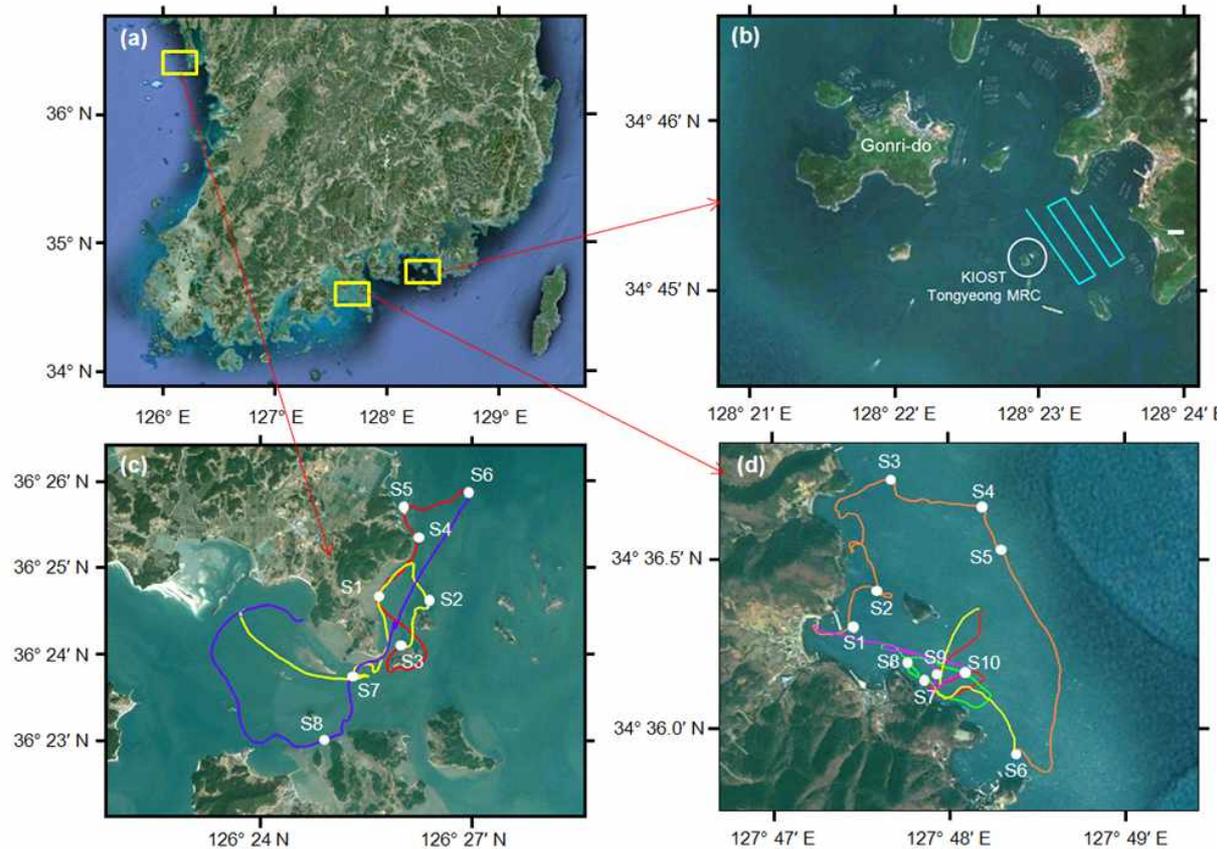


Fig. 3.2.109. Location for field evaluation of developed HAB's acoustic detection system in 2012.

1차 조사 시 통영 MRC 인접해역에서 약 1시간 30분 동안 연속적으로 음향 자료를 획득하였다. 조사 결과  $DSI_{3.5\text{ MHz}}$ 와  $DSI_{5.0\text{ MHz}}$ 는 각각 2.72-5.04 dB 와 1.23-2.65 dB로 큰 변동성 없이 안정적으로 측정되었다(Fig. 3.2.110). 적조 생물이 대량 발생한 2차 실험해역 조사 결과 여수 돌산도 인근해역의 경우  $DSI_{3.5\text{ MHz}}$ 와  $DSI_{5.0\text{ MHz}}$ 는 각각 5.59-16.75 dB와 2.90-15.10 dB의 넓은 변동성을 가지는 것으로 관측되었고, 음향자료 전체적으로 강한 DSI 가 측정 되었다(Fig. 3.2.110). 무적조 조건에서 측정한 DSI 값과 비교할 때 상대적으로 높은 DSI 가 측정되어 적조생물에 의한 음향산란 강도 차이가 발생하였음을 알 수 있다. 주파수의 특성에서도 이전의 연구결과와 동일하게 3.5 MHz 대역에서 5.0 MHz보다 높은 DSI 값을 보이는 일치성을 보였다. 음향 자료와의 비교를 위해서 채수한 결과에서 발생 적조 종은 *Gymnodinium sp.*으로 우리나라 주요 적조종은 아니지만 *C. polykrikoides*과 유사한 특성을 갖는 와편모조류이다. *Gymnodinium sp.*의 개체수는 정점에 따라 60-3551 cells/ml 까지 다양한 분포를 보였다(Table 3.2.43). 정점 별 적조 종의 개체수와 상대적인 음향산란강도는 높은 상관성을 보였다.

Table 3.2.45. Phytoplankton abundance and environmental data for comparing acoustic data in 2012

Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Local time (hh:mm)	11:49	12:02	12:54	13:12	13:35	14:00	14:19	15:10	15:32	15:36
Water temperature	21.6	21.5	21.7	21.6	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8	21.8
SPM (mg/L)	35.0	34.2	26.4	28.4	31.4	32.6	38.6	49.0	48.4	41.2
Phytoplankton abundance ( $\times 10^5$ cells/L)										
Total	35.55	5.47	1.95	0.78	12.77	8.63	12.91	11.11	13.64	4.48
Diatom	0.04	0.09	0.06	0.18	0.38	0.23	0.14	0.07	0.07	0.09
Dinoflagellate	35.51	5.38	1.89	0.60	12.39	8.40	12.77	11.04	13.58	4.39

본 연구의 목적인 적조생물의 주의보와 경보수준의 레벨을 설정하기 위해서 DSI과 적조생물의 개체수와의 상관계수를 계산하였다(Fig. 3.2.111). 그 결과  $DSI_{3.5\text{ MHz}}$ 과  $DSI_{5.0\text{ MHz}}$ 의 상관계수( $R^2$ )는 각각 0.6826과 0.6017로 높은 상관성을 보였으며, 본 결과를 활용하여 실험해역의 에서의 적조 주의보와 경보에 대한  $DSI_{\text{freq}}$  값 설정이 가능하다.

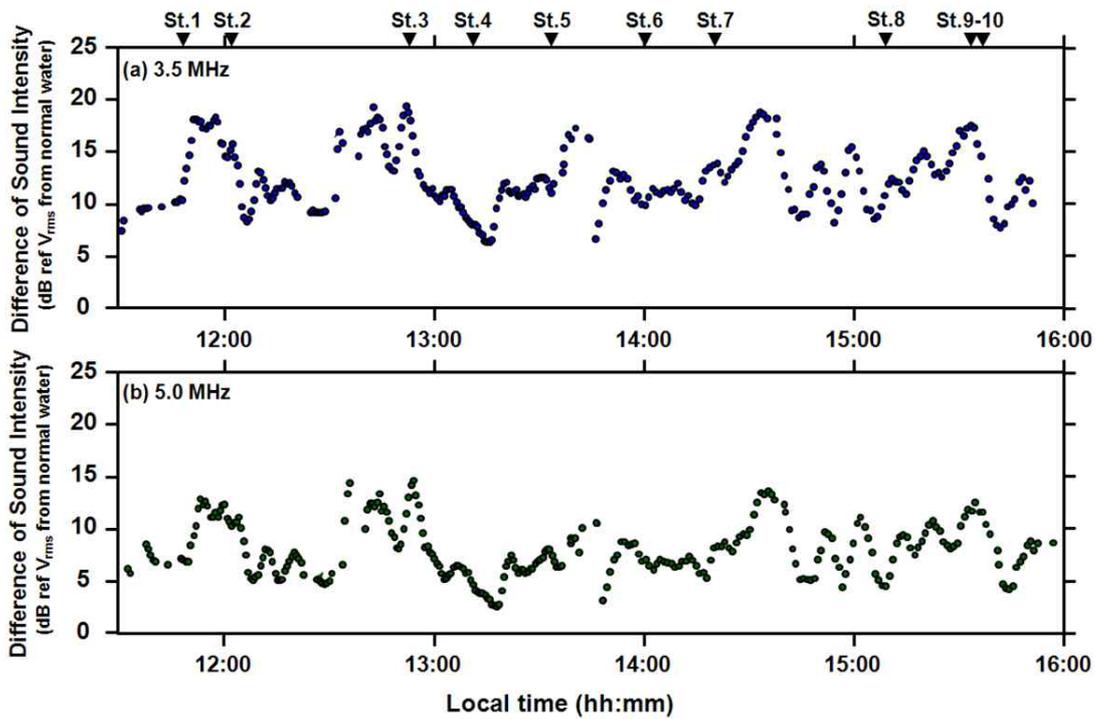


Fig. 3.2.110. Variation of the Difference of backscattering strength using 3.5 MHz and 5.0 MHz transducer under the condition of red-tide event (abnormal seawater) in 2012.

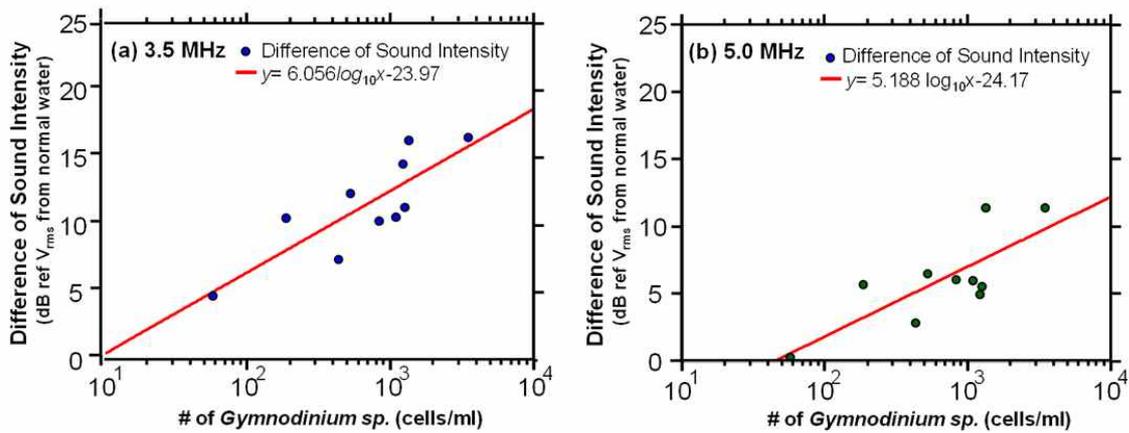


Fig. 3.2.111. Relationship between number of *Gymnodinium sp.* cells and  $DSI_{freq.}$ .

## (5) 요약

2010년부터 2012년 기간 동안 본 연구에서 개발된 유해적조 음향탐지 시스템에 대한 통합 검증을 수행하였으며, 선박형 시스템 및 부이형 시스템을 적조 발생의 유무에 따른 실효역 적용을 수행하였다. 실험실 환경에서의 음향탐지 시스템에 대한 통합 성능 검증을 위해 적조종이 존재하지 않는 필터해수에서의 RSI를 측정하고, 현미경을 통해 계수된 적조셀의 개체수 변화에 따라 산출된 DSI 간 상관성을 확인 하였다. 실효역 적용은 선박형 시스템 및 부이형 시스템 운용을 통해 적조의 발생 유무에 따른 DSI를 산출하여 국립수산과학원의 예찰 결과 및 채수 결과와 비교하여 상관성을 확인 하였다. 선박형 시스템을 이용한 이동관측 수행결과 적조가 발생되지 않은 지역의 경우 낮고 안정된 DSI가 산출됨을 확인하였으며, 적조가 발생한 지역의 경우 전반적으로 DSI의 변화 폭이 크게 나타났으며, 선박의 이동경로에 따라 적조종이 구역을 이루어 불균일한 분포를 갖는 것을 알 수 있었다. 부이형 시스템은 선박형 시스템과 달리 원격으로 통제하여 적조 발생의 유무를 장기간 관측할 수 있었으며 적조 주의보인 경우 일변화 특성과 적조가 대량으로 발생한 경우 일변화 특성을 관측하여 기존의 불연속적인 목시 관측 방법 및 채수 방법으로 관측하기 어려운 적조생물의 생태학적 특성을 부이형 시스템 운용을 통해 관측할 수 있는 가능성을 확인하였다.

## 다. 결과 및 고찰

우리나라 남해안 연안의 하계 시기에 대량의 피해를 유발하는 유해 적조는 빠른 증식 속도와 해류에 의한 이동성 때문에 기존의 현장 조사 방법 이외에 빠른 탐지를 위한 방법들이 제안되고 있다 (김 등 2004; 윤과 김 2005; Ahn et al. 2005; 김 등 2007). 제안된 각각의 방법들은 장단점을 가지고 있으나 다양한 실험을 통한 실효역 적용에는 어려움이 있어 새로운 방법들의 제안이 요구되고 있다. 본 연구에서는 음파에 대한 생물의 음향산란 강도 차이를 이용한 초음파 유해적조 음향탐지 시스템을 자체적으로 개발하였으며, 개발된 시스템을 이용하여 실험실 및 실효역 검증을 수행함으로써 활용성 확인 측면까지 확장하고자 하였다. 개발한 음향 시스템이 종조성의 분리에는 한계가 있으나 정상 상태의 해양 조건에서 적조 생물 증가에 따른 탐지를 주된 목적으로 하였다.

본 시스템에서는 Bok et al.(2010)과 Kim et al.(2010)이 제안한 방법을 이용하여 이론적 접근 방법은 동일하나 절대값을 산출하는 방법이 아닌 상대적인 값을 표현하는 방법을 사용하였다. 2개 주파수에 대해 무적조 조건인 필터 해수를 이용하여 Reference Sound Intensity (RSI, dB)를 설정한 후, 실험실에서는 적조 종인 *C. polykrikoides* 개체수 증가에 따른 Sound Intensity (SI, dB)를 측정하여 그 차이를 의미하는 Difference of Sound Intensity (DSI, dB)를 측정하였다. 2010년과 2011년도에 실시한 실효역 실험은 필터 해수를 이용한 RSI 값을 기준 레벨로 설정하였으며, 2012년에는 설치해역에 대한 무적조 상태에서의 측정결과를 이용한 RSI 값을 기준 레벨로 설정하여 정상 상태 혹은 적조 발생 해역에서의 SI로부터 DSI를 측정하였다. 따라서 음향학적 접근 방법의 차이가 있으나 궁극적으로 적조 발생 탐지 측면에서는 동일한 결과를 나타내고 있다. 본 시스템에서는 측정된 자료의 가시화 측면과 향후 시스템의 기준 레벨 보정(calibration)을 위하여 DSI를 이용한

상대적인 값의 표현 방법을 사용하였다.

2010년 8월 11일 통영 해양생물보존연구센터(MRC) 인접 해역 무적조 조건에서 선박형 시스템을 통해서 획득한  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 은 각각 3.3 dB와 2.1 dB로, 이 해역에서는 이 값을 무적조 상태의 기준치로 설정하여야 하나 그 당시 개발된 시스템은 적조가 발생하지 않은 정상 상태의 기준 음압 값을 설정하기 위하여 시스템의 기준 레벨을 알 수 있는 필터 해수를 RSI 값을 기준 레벨로 설정하였다. 본 실험 결과를 이용, 무적조 상태에서 측정 결과를 기준 레벨(RSI)로 설정하였을 때 2012년 8월 23일 동일한 지역에서 측정한 무적조 조건에서  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 은 각각 4.0 dB와 1.9 dB로 큰 변동성 없이 안정적으로 측정 되었다. 부이형 시스템의 경우 무적조 상태에서 2011년 8월부터 10월까지 약 2개월 동안 연속적으로 측정한 결과 필터 해수를 RSI 값을 기준 레벨로  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 의 평균값은 각각 7 dB와 5 dB 이내에서 일정하게 측정 되었다.

개발된 시스템은 무적조 조건에서의 실험역 검증에서 자료의 안정성 및 정상 상태에서의 기준값을 나타내고 있으며, 이들 음향 관측치는 채수를 통한 식물플랑크톤의 계수 결과와 일치성을 보여주고 있다. 무적조 조건에서 측정된 DSI는 무적조 조건이므로 이들 신호에 영향을 주는 요소로 규조류 및 기타 미세 부유물로 판단되나 각 산란체에 대한 개별 음향 특성은 추후 연구가 필요하다.

적조 발생 조건에서 성능 평가를 위해 동일한 주파수 영역인 5.0 MHz의 결과를 이전 연구 결과와 비교하였다. 실험역 자료에서 Bok et al.(2010)의 측정 자료는 -33 dB (2,227 cells/ml) ~ -44 dB (0 cells/ml) 범위로 약 11 dB 차이를 보였으며, Kim et al.(2010)은 -23 dB (1,320 cells/ml) ~ -35 dB (0 cells/ml) 범위로 약 12 dB 차이를 보였다. 2010년 9월 선박형 시스템을 이용하여 적조 발생시기 조사한 결과 *C. polykrikoides* 개체수가 정점 S6에서 3,137 cells/ml 이고, 이때  $DSI_{5.0MHz}$ 는 16.5 dB로 측정되었으며, 무적조(정상 상태 해양)의 평균 값인 2.1 dB를 고려하면  $DSI_{5.0MHz}$ 는 14.5 dB이다. 2012년 10월 적조 발생시 조사 결과 또한  $DSI_{5.0MHz}$ 는 2.90~15.10 dB의 넓은 변동성을 가지는 것으로 관측되었고, 채수한 결과에서 발생 적조 종은 *Gymnodinium sp.*으로 우리나라 주요 적조종은 아니지만 *C. polykrikoides*과 동일한 와편모조류로 *Gymnodinium sp.*의 개체수는 정점에 따라 60-3551 cells/ml 로 나타나서 기존 조사와의 개체수 차이를 고려하면 본 연구에서 개발한 시스템 탐지 성능에 양호하게 나타남을 알 수 있다.

본 연구의 목적인 적조 발생의 주의보 단계인 300 cells/ml 조건에서의 음향 탐지 성능이 중요한 것을 고려하여 2012년 10월 여수해역 적조발생시기에 측정한 DSI와 채수한 해수 내의 적조생물의 개체수와의 상관계수를 계산하였으며, 이 결과를 활용하여 실험해역에서의 적조 주의보의  $DSI_{3.5MHz}$ 와  $DSI_{5.0MHz}$ 는 각각 9.2 dB와 4.2 dB로 적조 초기 단계에서 탐지 가능성을 보여주고 있다.

적조 음향탐지 시스템의 사용한 초음파 센서는 좁은 빔폭 ( $< 1^\circ$ )과 10 cm 이내의 짧은 분석 구간으로 인하여 어류나 동물플랑크톤 등의 산란신호는 탐지될 가능성이 매우 작다. 탐지될 경우 적조생물보다 강한 산란강도 특성을 고려하여 역치 수신 전압(threshold received voltage)에서 제거한 후 평균 값을 사용하는 내부 알고리즘을 통하여 오차를 최소화시켰다.

본 연구에서는 음향탐지 후 최종 결과를 실시간으로 전송하는 송신 체계를 구성하여, 음향탐지부는 유선 또는 무선망을 통해 육상 기지국에 자료를 실시간 전송하며, 원격 제어부는 실험해역의 시스템을 원격 제어 및 운용하는 기능을 구현하였다. 원격 제어부는 선박 설치형과 복수의 부이형 시스

템에 대해서 동시 운용이 가능하며, 이들 기능 이외에 적조주의보 및 경보 발생시 신호 레벨 설정을 통한 알람 기능, 계류 지점에서 위치 이탈시의 알람 기능, 실시간 데이터 전송 이상 시 사용자의 PC 혹은 핸드폰에 실시간으로의 문자를 전송하는 기능도 추가하여 활용성을 증대하였다.

개발된 적조 음향탐지 시스템은 제한적인 조건에서 사용 가능한 음향 장비로 수 년간 진행된 적조 발생종의 음향 특성을 기반으로 실험역에서 선박 혹은 계류형 부이에 탑재하여 장기간 동안의 관측 결과를 실시간으로 전송하며, 시스템 제어 기능을 탑재한 하나의 통합 체계로 구성하였다. 기존의 수중음향 시스템은 대부분 국외 제품으로 고가이고 유지 보수 등에 어려움이 존재한다. 본 연구에서 개발한 통합 시스템은 향후 장기 운용 및 축적된 측정자료를 기반으로 일부 기능 및 성능개선이 필요하나 순수 국내 기술을 이용하여 개발된 시스템이므로 성능 향상 및 운용성에 장점이 있다.

### 제 3 절. 주요 유용/유해생물 지리정보 DB구축, 국제 네트워크

#### 1. 주요 유용/유해생물 지리정보 DB 구축

GIS 기반의 유용/유해생물 정보 분석시스템 및 유비쿼터스 서비스 시스템을 구축하기 위해서는 먼저 대상 유용/유해생물의 분포 지리정보를 수집하여 이를 DB화하는 작업이 필요하다. 이에 문헌 조사를 통하여 주요 유용/유해생물의 출현정보를 수집하고 이를 근간으로 주요 유용/유해생물 지리정보 DB를 구축하였다.

#### 가. 출현정보 수집

##### (1) 수집대상 문헌 선정

출현정보를 수집하기 위하여 수집대상문헌을 선정하였다. 먼저 연구 참여자들로부터 본 사업의 연구대상 주요 유용/유해생물 목록을 추천받아 대상 종 목록을 확정한 후 대상 종의 출현 정보를 포함하고 있거나 연구해역이 여수근해 해역인 문헌들을 조사하여 수집대상문헌으로 선정하였다. 그러나 문헌조사결과 유의한 출현정보를 포함하고 있지 않은 경우 수집대상에서 다시 제외하였으며 그 결과 총 208개 참고문헌을 수집 대상 문헌으로 선정하였다.

##### (2) 정보 발굴 수집

수집 대상으로 선정된 문헌의 본문, 테이블, 지도 등을 조사하여 관련 정보를 수집하였다. 출현 종 목록 및 관측위치의 위경도 지리 정보뿐만 아니라(Fig. 3.3.1) 관측방법, 관측시기, 관측량 등의 관련정보도 함께 발굴, 수집하였다(Fig. 3.3.2).

그 결과 총 2,192종의 69,319건의 출현정보를 발굴, 수집하였으며 본 연구에서 수행된 유전체 분석 결과 자료도 수집하였다.

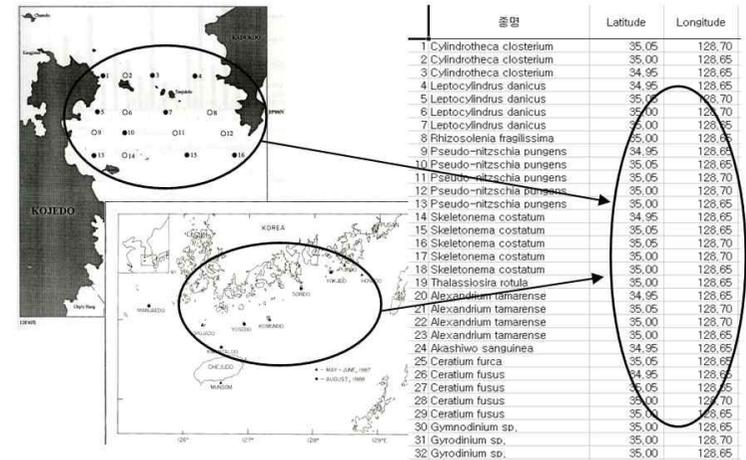


Fig. 3.3.1. Geographic data mining.

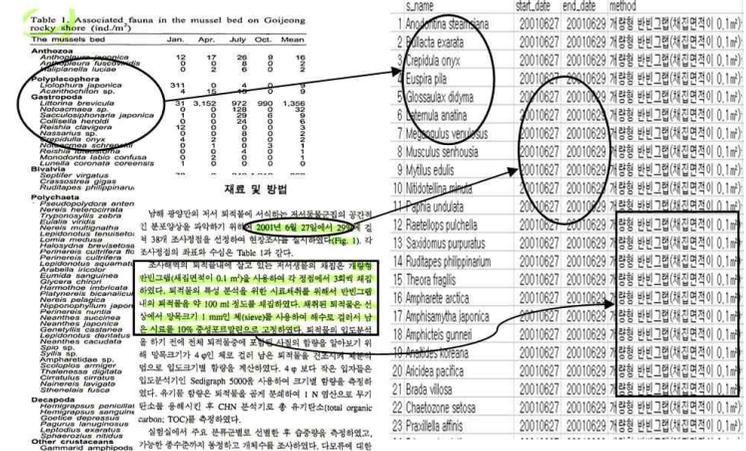


Fig. 3.3.2. Observation data (date, method, and species) mining.

## 나. DB 구축 및 자료 입력

### (1) DataBase 설계

DataBase를 설계하기 위하여 먼저 시스템에 필요한 기능과 요구사항을 정리하였다. 이를 기반으로 필요한 자료의 속성과 자료별 특성을 분석하여 개체화 하고 자료간의 관계를 정의하였다. 개발에 사용할 데이터베이스를 선정하여 데이터베이스특성에 맞게 개체를 테이블로 변환하였다. 이때 각 개체의 속성을 테이블의 필드로 변환하고 개체 간의 관계를 외래 키나 다른 테이블로 변환하였으며 각 속성에 대해서는 데이터 형식과 각종 제약조건, 인덱스 등을 설정하였다.

그 결과 종의 분류정보, 채집정보, 출현 종정보, 채집 항해정보, 분자마커정보 등으로 관측 정보 및 관련정보를 구분하여 테이블을 구성하였다. 참고문헌과 분자마커정보에서 이용하는 primer 정보는 따로 코드화 하여 관리할 수 있게 구성하였다(Fig. 3.3.3.).

특히 데이터베이스 설계 시 차후 OBIS 및 GBIF 시스템과의 연계를 위하여 두 시스템에서 사용하고 있는 DarwinCore2를 확장한 Data Format을 분석하여 고려하였다.

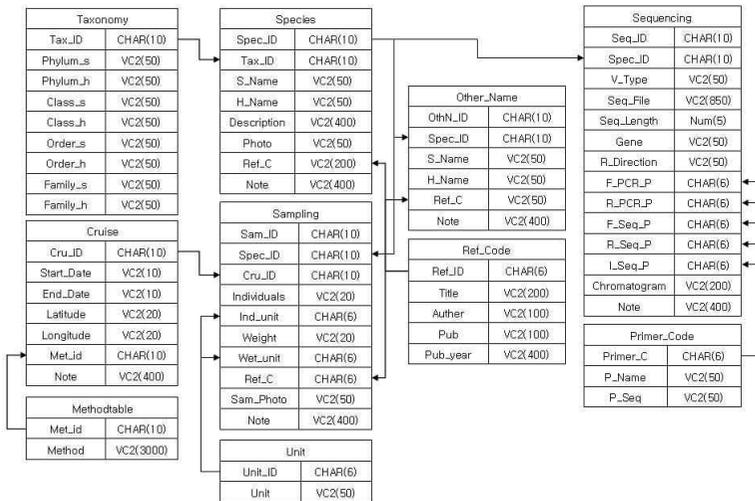


Fig. 3.3.3. ERD (entity and relation diagram) of marine useful/harmful organisms geographic information DataBase.

### (2) DB 구축

먼저 DataBase 서버를 구축하였다. Intel 칩을 사용하는 서버급 컴퓨터에 Microsoft사의 서버용 O/S인 Windows Server를 운영체제로 설치하였으며 DB 프로그램으로 Oracle 11g를 설치하였다.

구축한 DataBase 서버에 설계내용에 따라 해양 유용/유해 생물 지리정보 DB를 구축하였다. 먼저 Oracle의 Enterprise Manager Console을 이용하여 논리적 자료 저장장소인 테이블 스페이스를 생성하였으며, 자료의 입력, 검색에 사용할 사용자를 신설하였다. 여기에 Schema Manager와 SQL문을 이용하여 설계내용에 따라 DB 테이블을 생성하고 테이블 간의 관계와 데이터 형식과 각종 제약조건, 인덱스 등을 설정하였다(Fig. 3.3.4).

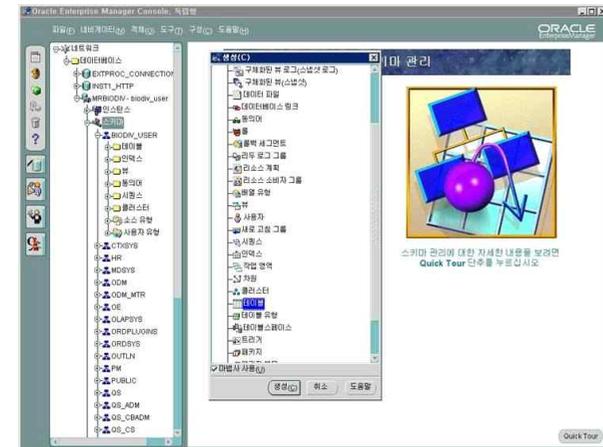


Fig. 3.3.4. A scene of creating tables at Oracle Enterprise Manager Console.

### (3) DB 형식에 맞게 자료 재구성, DB 입력

구축한 DataBase에 자료를 입력하기 위하여 먼저 기 수집한 자료를 DB 형식에 맞게 재구성하여 정리하였다. 설계된 테이블 구조에 맞게 자료항목을 구성하였으며 테이블 간 연계를 위하여 자료별 아이디를 생성하고 관련자료별로 해당 아이디를 부여하여 연결하였다(Fig. 3.3.5). 특히 정보가 중복되는 출현종명, 참고문헌, 실험방법, Primer 정보들은 따로 분리하여 코드 테이블을 만든 후 연계정보에 각 자료에 해당하는 코드번호를 부여하였다.

이렇게 정리된 자료는 SQL Gate를 이용하여 DB에 일괄 입력하였다(Fig. 3.3.5).

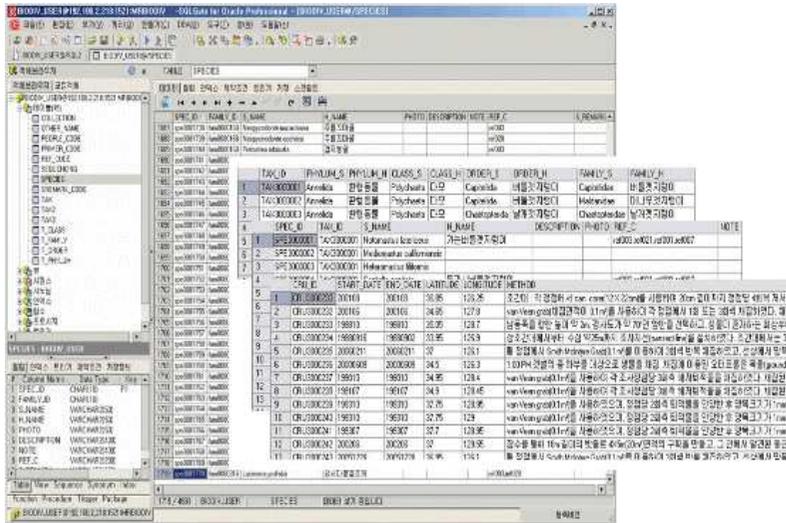


Fig. 3.3.5. Reconstruction of collected data and data input.

#### 다. 해양물리 환경정보 DB 구축

해양과학기술원에서 수집한 과거 수온/염분 자료를 통계처리하여 1/4°격자에서의 14개 표준수심의 월별 수온/염분자료 산출하였다(Fig. 3.3.6.). 기 구축된 DB에 월별, 격자별 표층, 저층 수온/염분자료 관리할 수 있는 관례레이를 생성하고 자료를 DB에 입력하였다.

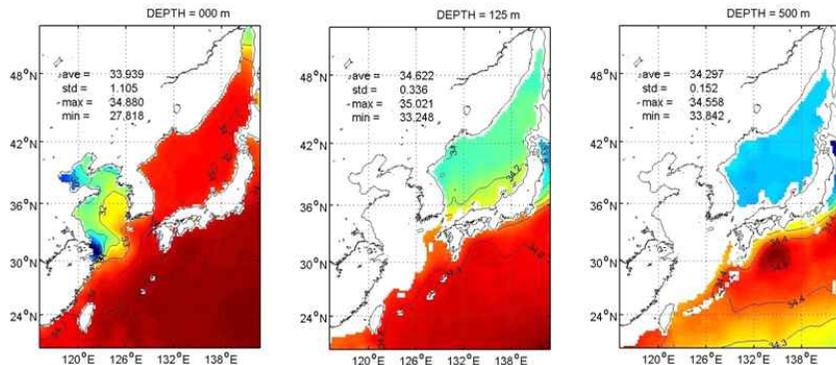


Fig. 3.3.6. Monthly salinity data of 1/4° grid.

#### 2. 유비쿼터스 주요 유용/유해생물 지리정보 서비스 구축

구축된 주요 유용/유해생물 지리정보를 유비쿼터스 환경하에서 서비스할 수 있는 정보서비스 시스템을 구축하기 위하여 유/무선 웹서비스 시스템, 스마트폰 어플리케이션, 태블릿 PC기반의 정보 입력 시스템 등을 개발하였다.

#### 가. 인터넷 서비스 시스템 구축

유용/유해생물 지리정보 DB에 수록된 정보를 손쉽게 활용하기 위하여 인터넷상으로 정보를 제공할 수 있는 시스템을 구축하였다.

먼저 웹서비스를 위하여 Windows Server 시스템에서 가장 안정적이고 보편적인 Web Server 소프트웨어인 MS Internet Information Server (IIS)를 설치하였으며, DB 수록 정보의 검색 및 웹사이트 개발에는 ASP (Active Server Page)과 AJAX(Asynchronous JavaScript and XML)를 활용하였다. 특히 Google Map의 API 기술을 활용하여 축소, 확대, 이동이 가능한 인터랙티브 지도 검색시스템을 구현하였다(Fig. 3.3.7).



Fig. 3.3.7. Korea Ocean Biogeographic Service System web site.



준비된 자료를 전시(display)하기 위한 GIS mapping 프로그램을 개발하였다. Google API를 활용한 격자별 출현 프로그램을 개발하였으며 특히 출현빈도에 따른 격자별 색상 표출기술을 구현하였다(Fig. 3.3.13.). 또 이해를 돕기 위하여 마우스 움직임에 따라 출현빈도 풍선도움말이 표시되도록 하였다(Fig. 3.3.14).

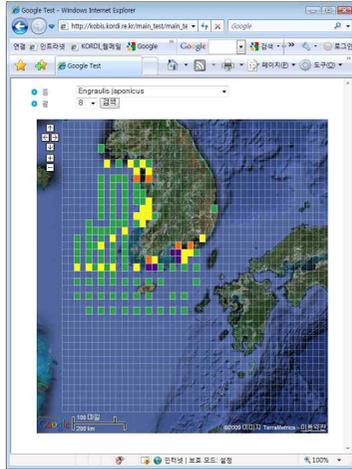


Fig. 3.3.13. Monthly occurrence frequency by grid.

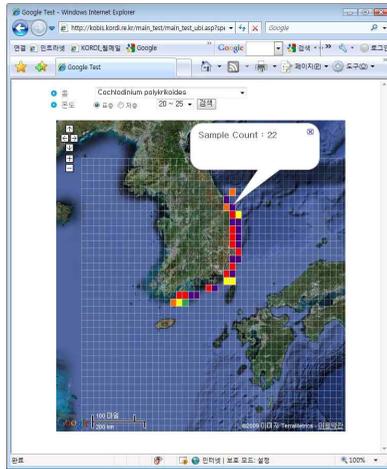


Fig. 3.3.14. Occurrence frequency at specific temperature by grid.

## 다. 모바일 정보서비스 구축

### (1) 모바일 웹사이트 구축 및 서비스

스마트폰, 태블릿 PC 등 모바일 기기에서 사용할 수 있는 웹사이트를 따로 구축하였다 (<http://kobis.kordi.re.kr/mobile>). 모바일 기기의 화면 크기, 데이터 전송속도 등을 고려하여 콘텐츠와 디자인을 수정하였다. 그러나 출현정보의 지역별 검색, 계통검색 구현 및 Google map을 이용한 검색위치 선택 기능은 그대로 유지하였으며 검색결과와 지리정보 표출기능도 구현하였다(Fig. 3.3.15.).



Fig. 3.3.15. Mobile web site of Korea Ocean Biogeographic Service System.

### (2) 스마트폰용 어플리케이션 개발

모바일 정보서비스 확대를 위하여 아이폰 및 안드로이드용 앱을 개발하여 배포하였다. 먼저 아이폰 에뮬레이터 등을 설치하여 아이폰 어플리케이션 개발환경을 구축한 후 앱을 통한 출현정보의 지역별 검색, 계통검색, Google map 기반 검색위치 선택 및 출현정보 지도표출 기능을 갖춘 앱을 개발하여(Fig. 3.3.16.) 이를 앱 스토어 등록, 배포하였다.



Fig. 3.3.16. Mobile web site of Korea Ocean Biogeographic Service System.

안드로이드용 어플리케이션도 개발하였다. SW를 활용하여 안드로이드용 앱 개발 환경을 구축한 후 종정보 검색, 생물지리정보 검색기능을 Google map 활용하여 구현하였다(Fig. 3.3.17).



Fig. 3.3.17. Application of KOBIS for Android.

### 라. 유비쿼터스 정보 서비스 현장 적용 및 정보 연계 서비스 구축 운영

유비쿼터스 정보서비스를 활용하여 현장에서 직접 분석정보를 검색, 확인하고 이를 입력할 수 있는 현장정보검색/입력 모듈을 개발하였으며 실시간으로 음향탐지정보를 수집하여 이를 제공할 수 있는 시스템도 구축하였다.

#### (1) 현장판별정보 연계 모듈 개발

먼저 현장에서 판별한 생물의 종 정보 및 지리정보를 조회할 수 있는 시스템을 휴대용 태블릿 기반으로 개발하였다. Google Map, JQueryMobile, PhoneGap을 사용하여 모바일에 맞는 UI 구성하고 생물 종정보 및 지리정보를 검색, 전시할 수 있는 기능을 구현하였다(Fig 3.3.18).

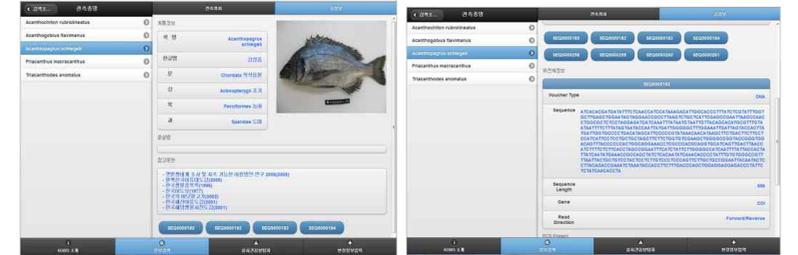
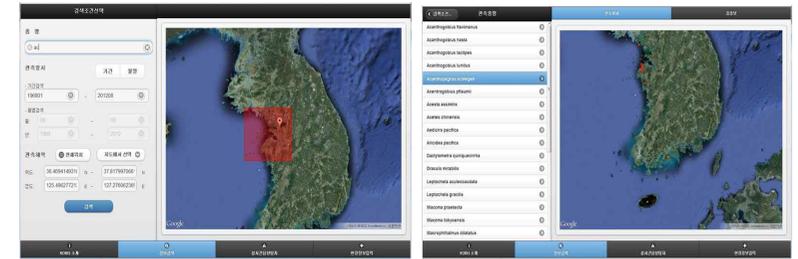


Fig. 3.3.18. Data service application for tablet PC.

현장에서 수집/판별한 생물정보 및 채집정보를 현장에서 바로 입력할 수 있도록 입력시스템을 구축하였다. 특히 현장에서의 노력을 최소화하기 위하여 현재위치, 현재시간 입력기능 구현하였으며 판별 생물종명 및 채집방법 입력도 선택기능으로 구현하였다(Fig. 3.3.19).

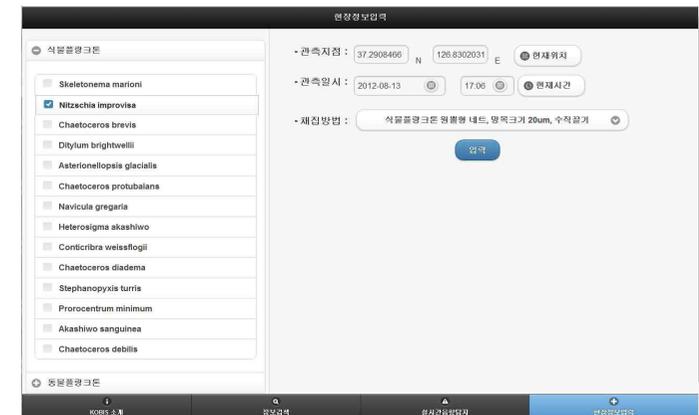


Fig. 3.3.19. Insert module of field data.

(2) 음향탐지 분석 정보 실시간 제공 서비스 구현

음향탐지 분석 정보시스템과 유용/유해생물 지리정보시스템과 연계하여 음향 탐지 분석 결과를 유비쿼터스 환경 하에서 서비스 할 수 있도록 하였다(Fig. 3.3.20.).

이를 위하여 먼저 DB 서버간의 데이터 자동 수집 시스템 구현하였다. 이를 통하여 음향탐지 분석 정보시스템에서 수집한 정보는 실시간으로 유용/유해생물 지리정보시스템 DB에 수집되며 이를 기반으로 탐지정보를 제공할 수 있다.

음향탐지 정보 제공 시스템은 왼쪽 지도상에 부이 위치를 표시하고 현 탐지 상태에 따라 양호, 주의, 경보로 구분하여 표시하도록 하였다. 또 시간별 음향탐지 정보는 그래프 형식으로 제공되며 이 그래프는 인쇄 및 확대, 그래프 변경 등의 다양한 기능이 가능하여 차후 다양한 방식으로 활용이 가능하다.

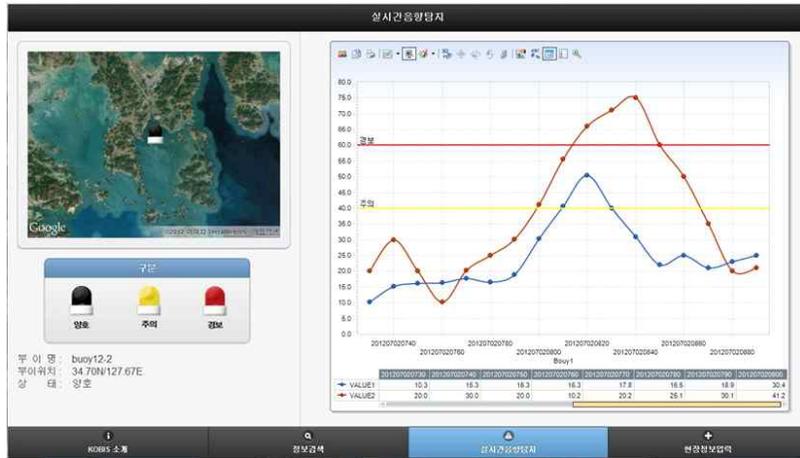


Fig. 3.3.20. Acoustic detection data service.

그 결과 유/무선 통신하에서 언제 어디서나, 다양한 기기를 이용하여 정보서비스를 제공 받을 수 있는 유비쿼터스 서비스 시스템이 구축 되었으며 이를 지원할 수 있는 상당량의 해양생물출현정보 및 관련 정보를 보유할 수 있게 되었다(Fig. 3.3.21.).

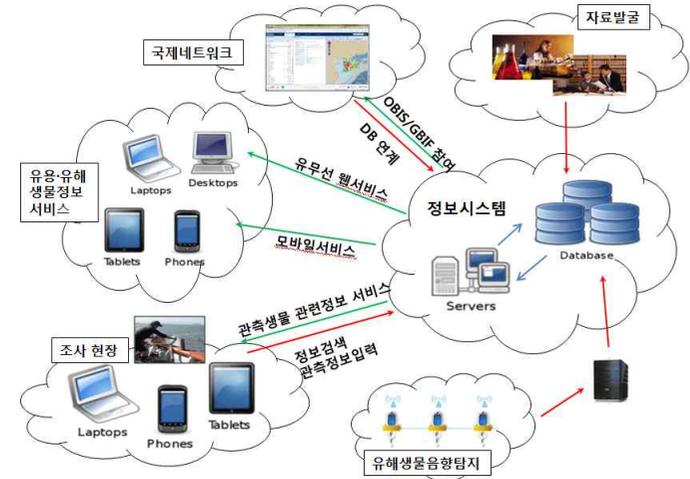


Fig. 3.3.21. Diagram of ubiquitous biogeographic information system for useful/harmful marine organisms.

2. 해양생물지리정보시스템(OBIS) 연계시스템 구축

가. 국제 해양지리정보시스템

OBIS는 전 세계 해양생물.생태 정보를 전 지구적 범위로 수집하여 관리, 제공하는 것을 목적으로 하는 국제기구로 해양생물센서스 프로그램의 일환으로 구축, 운영되고 있다. OBIS는 GBIF(Global Biodiversity Information Faculty, 국제생물다양성정보기구)의 주요 자료제공자로 거시적 안목의 생태정보 분석을 위한 자료 수집, 관리, 분석 제공에 중점을 두고 있다. 해양생물정보의 제공에 있어 지리적 디스플레이를 기반으로 하고 있으며 좀 더 많은 지역의 생물다양성 및 생태 정보를 수집하고자 노력하고 있다.

OBIS 시스템 운영에 있어 핵심은 전 세계에 걸친 해양생물자료의 수집이라 할 수 있다. 이를 위해 OBIS에 자발적으로 참여하는 각 국가별 해양관련 기관에 자료제공 노드를 설치하도록 하고 있으며, 각 노드에서 관리하는 모든 자료는 OBIS 웹사이트에 접속하는 모든 사용자가 공동 활용할 수 있도록 하고 있다. OBIS는 전 세계에서 생물자료의 표준형식으로 널리 사용되고 있는 Darwin Core 2를 확장한 Data Format을 사용하고 있는데, 더 많은 자료를 수집하기 위하여 data format 75개 항목 중 7개 항목(Date Last Modified, Institution Code, Collection Code, Catalog Number, Scientific Name, Longitude, Latitude)을 필수 항목으로 지정하고 있다. 각 노드에 설치된 자료의 통합을 목적으로 GBIF에서 사용하고 있는 DiGIR 패키지를 채택하고 있으며, 각 노드에 분산된 생물정보 DB들의 통합검색 및 자료추출을 지원하고 있다 (Fig. 3.3.22).

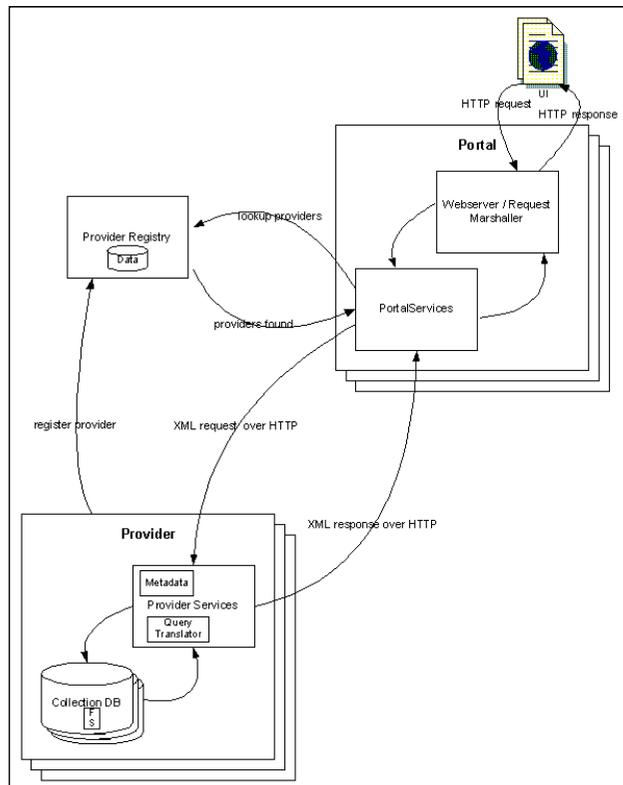


Fig. 3.3.22. Data processes of the DiGIR software package.

#### 나. 한국 해양생물지리정보시스템 (KOBIS) 구축

한국해양과학기술원은 우리나라의 OBIS 노드를 운영하기로 국제 OBIS와 협약을 체결하였으며, 본 연구사업을 통해 한국 OBIS (KOBIS, Korea Ocean Biogeographic Information System) 구축을 추진하였다. 국제 OBIS 네트워크에 KOBIS DB를 연결하여 자료를 제공하여 있으며 KOBIS 웹사이트도 구축하였다.

##### (1) KOBIS DB 구축 및 국제 OBIS 네트워크 연계

국제 OBIS에서는 기본적으로 생물종의 출현위치를 기반으로 정보를 처리하므로, 이와 연계할 자료에는 지리적 정보가 포함되어 있어야 한다. 한국해양연구원에서 보유하고 있는 해양생물다양성 DB는 우리나라에서 출현하는 생물종의 목록을 DB화 한 것으로, 출현위치와 일시가 포함된 자료가 일부 포함되어 있다. 국제 OBIS와의 일차적인 데이터 연계를 위해 해양생물다양성 DB에 수록된 출현정보들을 추출하였으며, 국제 해양생물지리정보시스템에서 사용하는 DB Schema를 기준으로 우리나라 OBIS용 DB를 설계하였다 (Fig. 3.3.23.).

수집한 출현정보에는 지리적 위치가 정확하지 않은 자료들이 포함되어 있었으며, 수집 정보의 지리적 위치를 육안으로 직접 확인하는 점검증 작업을 수행하였다 (Fig. 3.3.24.). 점검증을 통과한 3100건의 자료를 DB 설계에 맞춰 재정리하였으며, MS Jet Engine 기반의 DB를 구축하였다 (Fig. 3.3.25.).

필드 이름	데이터 형식	설명
KOBIS_ID	텍스트	KOBIS 고유 ID
CatalogNumber	숫자	Catalog 넘버
DateLastModified	날짜/시간	최종 자료수정 날짜
InstitutionCode	텍스트	기관 코드 (한국해양연구원)
CollectionCode	텍스트	수집방법 코드
ScientificName	텍스트	
Basisofrecord	텍스트	
Phylum	텍스트	
Class	텍스트	
Order	텍스트	
Family	텍스트	
Species	텍스트	종명
Country	텍스트	부국가
Longitude	숫자	경도
Latitude	숫자	위도
YearCollected	숫자	수집년도
MonthCollected	숫자	수집월
StartYearCollected	숫자	수집시작년도
StartMonthCollected	숫자	수집시작월
EndYearCollected	숫자	수집종료년도
EndMonthCollected	숫자	수집종료월

Fig. 3.3.23. Structure of the KOBIS DB.

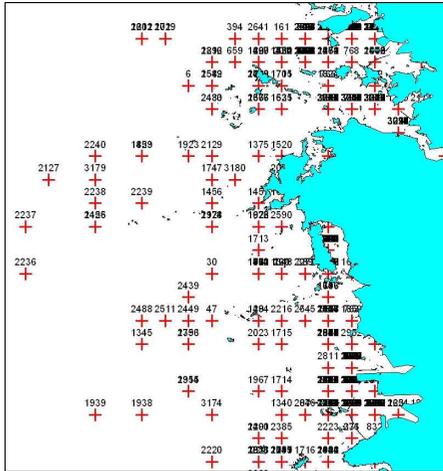


Fig. 3.3.24. Quality control of KOBIS data.

KOBIS ID	Category	Scientific Name	Phylum	Class	Order	Family	Species	Country	Longitude	Latitude	Year
K00000271	3771	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000272	3772	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	34.8	2002
K00000273	3773	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.6	35.1	2002
K00000274	3774	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.2	2002
K00000275	3775	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.6	35.1	1999
K00000276	3776	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000277	3777	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000278	3778	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000279	3779	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000280	3780	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000281	3781	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000282	3782	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000283	3783	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000284	3784	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000285	3785	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000286	3786	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000287	3787	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	34.7	2002
K00000288	3788	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	34.8	2002
K00000289	3789	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	2002
K00000290	3790	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.6	35.1	2002
K00000291	3791	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000292	3792	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000293	3793	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000294	3794	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000295	3795	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000296	3796	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000297	3797	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.7	35.1	1999
K00000298	3798	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000299	3799	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000300	3800	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000301	3801	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000302	3802	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000303	3803	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000304	3804	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000305	3805	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000306	3806	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.4	35.1	1999
K00000307	3807	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000308	3808	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000309	3809	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999
K00000310	3810	2002-12-18 KOREA	VORFEL	Sagitta uranula	D	Chaetognatha	Sagittidae	Republic of Korea	128.5	35.1	1999

Fig. 3.3.25. DB table for the Korea OBIS.

국제 OBIS DB와의 연결을 위해 GBIF의 DiGIR SW package를 Windows server 시스템에 설치하였으며 (Fig. 3.3.26.), Jet DB와 연결을 위한 ODBC (Open Database Connectivity)를 설정하였다. 또한, KOBIS DB의 각 컬럼과 OBIS DB의 각 컬럼을 직접적으로 연결하는 방법을 정의한 Resource와 Provider 정보를 XML로 작성하였으며, 이 내용은 DiGIR package의 설정화면에서 확인할 수 있다 (Fig. 3.3.27.). 이런 과정을 통해 연계된 KOBIS DB의 자료는 국제 OBIS 포털을 통해 검색할 수 있다 (Fig. 3.3.28.).

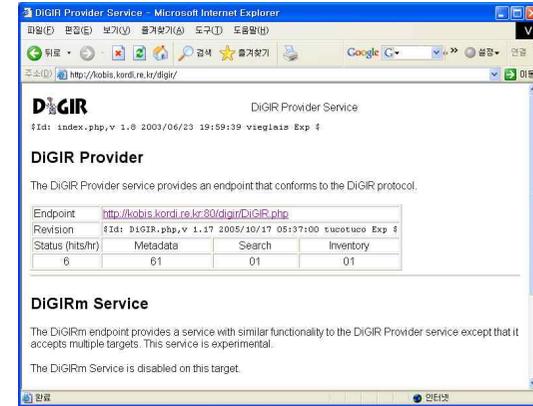


Fig. 3.3.26. Installation of DiGIR software package.

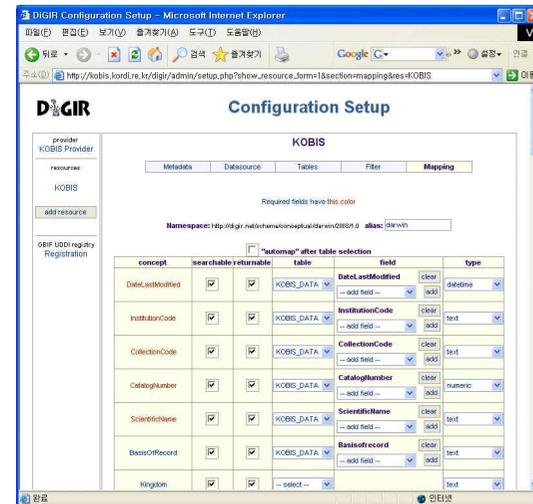


Fig. 3.3.27. Configuration setup of KOBIS DiGIR.

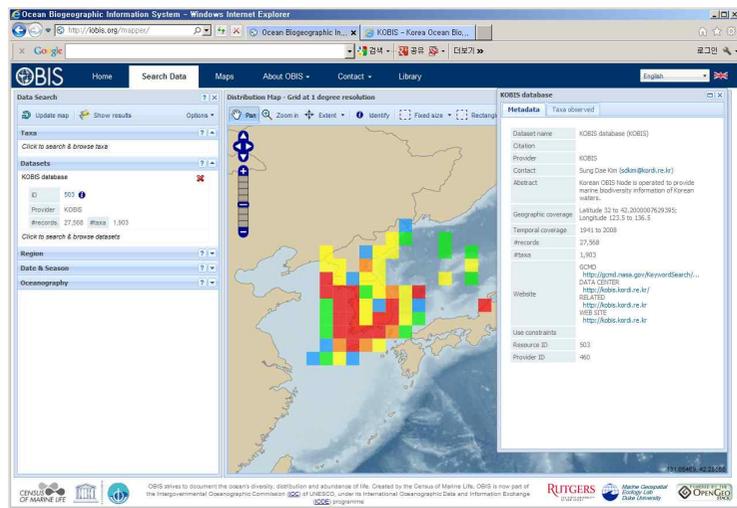


Fig. 3.3.28 KOBIS data retrieved through international OBIS portal.

## 제 4 장 목표달성도 및 대외기여도

제 1 절 목표 달성도

제 2 절 대외 기여도



## 제 4 장 목표달성도 및 대외기여도

### 제 1 절 목표 달성도

#### 1. 본 연구기간 내 연구내용 대비 달성율(%)

년차	달성내용	년차별 계획대비 연구실적 달성율	총연구기간 대비 연구진척율 (*)
1 (2008)	○ 해양생물 DNA바코드 분석 및 Reference Data 확보	100	20
	○ 대상해역 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원 연구	100	33
	○ 주요해양생물의 DNA chip 설계 및 제작	100	100
	○ 재해유발 생물(적조, 해파리)의 음향 특성 파악	98	20
	○ 음향탐지 시스템 알고리즘 구축	98	20
	○ 해상 무선 네트워크 알고리즘 구축	98	20
	○ 주요 유용/유해생물 지리정보 DB 구축		100
	○ 해양생물지리정보시스템 (OBIS) DB 시스템 분석	100	100
2 (2009)	○ 해양생물 DNA바코드 분석 및 Reference Data 확보	100	40
	○ 대상해역 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원 연구	100	66
	○ 해양생물 주요 종 DNA 칩 제작과 평가	100	100
	○ 재해유발 생물의 음향 탐지 알고리즘 구축	98	40
	○ 재해유발 생물의 음향 탐지를 위한 prototype 음향 탐지 시스템 시험 제작 및 현장 테스트	98	40
	○ GIS 기반 시공간 분석시스템 개발	100	100
	○ 국제네트워크(OBIS, GBIF) 연계	100	100
3 (2010)	○ 해양생물 DNA바코드 분석 및 Reference Data 확보	100	60
	○ 휴대용 DNA추출 장비 개발	100	100
	○ 대상해역 연성저질에 서식하는 유용성 무척추동물 현황 및 자원 연구	100	100
	○ 종 판별을 위한 종 특이적 프로브 프라이머 설계		
	○ 재해유발 생물의 음향 탐지를 위한 선박 탑재형 및 고정형 음향 시스템 구축	98	60
	○ 재해 유발 생물 탐지를 위한 embedded prototype 음향 탐지 시스템의 실험역 적용 및 평가	98	60
	○ 주요 유용/유해 생물 지리정보 유무선 웹서비스 구축	100	100
	○ 국제 네트워크 활성화	100	100

4 (2011)	○ 해양생물 DNA바코드 분석 및 Reference Data 확보	100	80
	○ 휴대용 DNA추출 장비 현장 적용 및 평가	100	100
	○ 대량의 혼합 어란을 분석하기 위한 NGS 기술의 적용	100	100
	○ 종 판별을 위한 종 특이적 프로브 프라이머 평가	100	100
	○ 음향탐지 시스템 상용품 개발	99	80
	○ 유해생물 발생 시기에 집중적으로 음향 탐지를 위한 고정형 혹은 탑재형 시스템 운영	99	80
	○ 서해 대상 해역 유해생물 음향 특성 및 background 음향 특성 파악과 대상 해역에 적합한 시스템 구성	99	80
	○ 서해 생물지리정보 추가 수집	100	100
	○ 유용/유해 생물 정보 모바일 서비스 구축	100	100
5 (2012)	○ 대상해역 해양생물 DNA바코드 분석 및 Reference Data 확보	100	100
	○ 종특이적 프로브 프라이머 제작 및 실험 시료의 검증	100	100
	○ NGS sequencing으로 혼합시료의 종조성 분석	100	100
	○ 자동화 시스템 개발을 위한 FISH method 개발 및 현장 적용	100	100
	○ 대상 해역 유해생물 음향 시스템 시범 구축 및 운영(대상 해역: 서해 반폐쇄성 해역)	100	100
	○ 상용화 수준의 음향탐지 시스템 안정화	100	100
	○ 현장 판별 정보 연계 모듈 개발	100	100
	○ 음향탐지분석정보 실시간 서비스 구현	100	100

## 2. 정량적 목표달성도 (부록 참조)

구 분		목표	실적	
논문 게재	SCI	10	14	
	기타 국외학술지		3	
	국내 학술지	11	7	
학회 발표	국외	12	29	
	국내	20	48	
특허	국외	출원	1	
		등록		
	국내	출원	5	12
		등록	0	6
기타(1.2 포함)		7	9	
1. DB/GIS 정보서비스 구축		4	7	
2. S/W프로그램 등록		2	2	

## 제 2 절 대외 기여도

### 1. 기술적 측면

- DNA바코드를 통해 형태형질로써 식별이 어려웠던 어란, 유생, 미세조류, 중형저서동물 등의 객관적 종판별 기준 확립한다.
- 분자마커기술을 활용하여 현장에서 준 실시간으로 종 판별이 가능한 표준화된 분석 방법 개발함으로써 적조 및 해파리의 급증에 앞선 대응을 할 수 있을 것으로 판단된다.
- FISH 및 LAMP와 같은 자동화 기술을 더욱 발전시킴으로써 실시간으로 사람의 노동력을 필요로 하지 않고 미세조류 및 해파리의 종 조성 분석을 수행 할 수 있을 것으로 사료된다.
- 어종 판별 DNA 칩을 이용한 어류생태계 분석의 정확도를 비약적으로 향상할 수 있다.
- 어류의 종별 산란장과 보육장 분석이 가능하다.
- 생물다양성 연구 결과 밝혀진 중형저서동물들의 다양한 정보(종류상, 생태상, DNA 염기서열 등)의 종합적인 데이터베이스는 특정 해역의 생물상 변화 양상 모니터링을 통해 최근의 지구 온난화나 여러 가지 경로를 통해 침입한 외래종과의 구분이 객관적으로 이루어 질 수 있게 하며, 변화하는 생태계 정도를 자동적이며 객관적으로 파악할 수 있다.
- 해양 현장에서 실시간으로 해양 생물 종 판별을 위한 분석장비 및 휴대용 DNA추출 장비 개발하였다.
- 연근해 재해유발생물(적조생물 및 해파리 등)의 조기탐지 및 신속한 대처를 위한 수중 음향 탐지 시스템 기술 확보하였다.
- 연안 생태계의 장기 구조 변동 감시 체계 구축하였다.
- 해양 유용/유해생물 U-GIS 정보 분석 시스템 구축과 유비쿼터스 네트워크를 통한 해양 생물 자원 관리, 실시간 대국민 정보서비스 제공한다.
- 해양생물정보의 통합관리 DB구축 및 GIS분석기술 확보를 통한 연구경쟁력 제고한다.
- 해양생물분야 국제 네트워크 참여를 통한 국가 위상 향상시킨다.

### 2. 경제 산업적 측면

- DNA바코드를 활용한 해양생물종의 객관적 판별로 생물자원과 수산물 유통 관리의 경제성 제고할 수 있으며 유통 과정에 이루어질 수 있는 오류 방지로 사회적 혼란 해소할 수 있다.
- 유용 해양생물자원을 보전, 관리하고 재해유발 생물로부터 경제.산업적 피해를 방지할 수 있는 인프라를 구축한다.
- 어종 판별 DNA 칩을 이용한 정확한 어류의 종별 산란시기 분석을 통한 어종별 유연한 조업시기 조절을 통한 수산자원을 증대시킨다.
- 해양생물자원의 효율적 관리와 지속적으로 이용 가능하다.

- 해양과학기술(MT), 정보통신기술(ICT), 생명과학기술(BT), 환경과학기술(ET)을 융합한 세계 최고 수준의 해양생물자원 관리기술 개발과 신산업을 창출한다.
- 유해적조 탐지 음향시스템의 국산화와 상품화 가능
- 실시간 모니터링을 통한 재해생물의 위험 수준에 대한 사전 예보 시스템 구축
- 유해 발생정보의 실시간 유통으로 경제적 손실을 최소화 할 수 있는 신속하고 효율적인 관리능력 제공
- 국제사회에서 우리나라 해양 생물자원에 대한 주권 확보에 기여한다.
- 국가 해양생물자원정보 관리의 일환으로 국가 생물 자원권 행사를 위한 정보를 제공한다.
- 유용 해양생물자원을 보전, 관리하고 재해유발 생물로부터 경제.산업적 피해를 방지할 수 있는 인프라 구축한다.
- 해양생물 관련 정보의 활용성 증대를 통한 정보수집비용 절감한다.

### 3. 산.학.연 협동연구/사업, 국제협력 등의 추진실적

- 본 사업에는 위탁연구 및 참여연구의 형식으로 (주)지노텍, LIGNEX1, 한양대학교, 전남대학교, 부경대학교가 참여하였다.
- 또한, 본 사업에서 구축하는 우리나라 해양생물지리정보시스템(KOBIS)은 국제 컨소시엄인 OBIS와 연계되어 자료 및 정보교환이 이루어지고 있음. 따라서, KOBIS를 통해 OBIS의 자료를 검색할 수 있으며, OBIS에서도 KOBIS의 자료가 다른 나라의 자료와 함께 제공되고 있다.
- 2010년 6월 17일부터 19일까지 서울 베스트웨스턴 프리미어 강남 호텔에서 동북아 어류 바코드 워크숍을 개최하였으며 5개국 45명의 어류 DNA바코드 관련 전문가들이 모였다.
- 2012년 6월 12일부터 14일까지 2012 여수 엑스포 내 컨퍼런스 홀에서 Fish Barcode of Life World conference를 개최하였다. 총 26개국(나이지리아,대만, 독일, 러시아, 말레이시아, 멕시코, 미국, 방글라데시, 브라질, 스페인, 아르헨티나, 오스트레일리아, 이란, 이탈리아, 인도, 인도네시아, 일본, 중국, 캐나다, 콜롬비아, 파키스탄, 페루, 프랑스, 필리핀, 홍콩, 한국)의 어류 DNA바코드 전문가 및 연구진을 비롯한 총 500여명이 참여하는 대규모 행사였다.

## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획



## 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

- 해양유용/유해 생물의 DNA바코드는 해양생물 종의 객관적 식별기준으로 활용되며, 해양생물다양성 파악의 기초 인프라를 제공한다.
- DNA칩, NGS, Real Time PCR 기술을 포함한 유전자 분석 기술을 활용하여 해양생물의 표본을 대량으로 분석하고 목표종을 준실시간 모니터링에 활용한다
- 저서생태계의 대부분을 차지하고 있는 자생 중형저서동물 분석 결과는 해양생물다양성에 대한 이해를 증진하고 미래 생물자원(실물자원 및 유전자 자원)으로 활용한다.
- 어류의 산란장과 보육장 조사를 통한 산란시기 관측 및 어종별 조업시기를 설정할 수 있다.
- 단일 어란의 유전자 분석 방법을 적용하여 어란의 출현정보 규명 가능하다.
- DNA chip 과 PCR 기술을 이용하여 미세조류 및 해파리에 대한 준실시간 모니터링에 활용 가능하다.
- FISH method를 확립함으로써 준실시간 모니터링 기술에서 더 나아가 자동화 기술을 이용하여 실시간으로 모니터링을 수행할 수 있는 기술을 개발할 수 있다.
- 분자마커기술을 활용하여 현장에서 준 실시간으로 종 판별이 가능한 표준화된 분석 방법 개발함으로써 적조 및 해파리의 급증에 앞선 대응을 할 수 있을 것으로 판단된다.
- FISH 및 LAMP와 같은 자동화 기술을 더욱 발전시킴으로써 실시간으로 사람의 노동력을 필요로 하지 않고 미세조류 및 해파리의 종 조성 분석을 수행 할 수 있을 것으로 사료된다.
- 본 연구는 국내.외에서 처음 시도하는 기초 및 응용 연구 분야로 일차적으로 embedded prototype 음향 탐지 시스템의 구축에 그 목적이 있다. 연구 종료 후 이러한 연구 방향 및 시스템 구축의 효율성이 검증되면 우리나라 연안역의 생물 재해를 예방하는 광역 예측망 구성에 본 연구 결과를 응용할 수 있다.
- 재해유발 생물의 이동 경로, 과정 및 대발생 기작의 자료는 생태계 구조 파악 및 음향 탐지를 위한 적지 선정 및 연안에서 해양 생물 재난에 대한 예보망 구축 자료에 활용 가능하다.
- 해상에서 기존의 단일 전송 방식에서 벗어난 무선 네트워크 구축 및 자료 전송 기술 확립을 통하여 집중적인 조사 및 자료 전송을 필요로 하는 연안 환경 모니터링, 기상 자료, 국방 분야에 응용 가능하다.
- 유해적조 음향탐지시스템은 이전 연구를 통해서 제작 및 실험역 검증이 실시되었고, 효율성이 검증되면 한국 연안역의 생물재해를 예방하는 광역 예측망 구성에 활용될 것임.
- 음향탐지시스템 설계 노하우를 통한 현장 설치용 소형 음향관측시스템의 국산화를 통하여 연근해 생태계 모니터링에 음향 기법 활용 가능.
- 유비쿼터스-GIS기반 유용/유해 생물에 대한 전문가 및 대국민 정보서비스를 제공할 수 있다.
- 우리나라 해양생물 DB의 국제 네트워크화를 추진하여 본 연구개발결과가 국가해양생물자원 관리에 필요한 기본 자료로 활용될 수 있다.



## 제 6 장 참고문헌



## 제 6 장 참고문헌

- 강돈혁, 황두진, 서호영, 윤양호, 서해립, 김용주, 신현출, Kohji Iida, 2003. 동중국해 음향 산란층 내의 Euphausiid (*Euphausia pacifica*) 밀도 추정. 한국수산학회지, 36(6), 749-756.
- 강영실, 박미선, 2003. 하계 한국 남해안 보름달물해파리(Scyphozoa: Ulmariidae: *Aurelia aurita*)의 출현 및 먹이섭취 습성. 한국해양학회지 바다, 8, 199-202.
- 국립수산과학원, 2007. 적조 예보 및 발령기준, [http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/webpage/operation/operation\\_04.jsp](http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/webpage/operation/operation_04.jsp), Accessed 21 September 2012.
- 국립수산과학원, 2010. 연근해어업총조사.
- 김동성, 제종길, 신상호, 2000. 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링. 한수지, 33, 307-319.
- 김병찬, 허민, 임재홍, 2007. 무선 센서 네트워크를 이용한 적조 모니터링 시스템의 설계 및 구현. 한국항해항만학회지, 31(3), 263-269.
- 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998. 1996년 여름철 남해 표층수의 이상 저염수 현상과 영양염류의 분포 특성. 한국해양학회지 바다, 3, 165-169.
- 김용훈, 김성현, 박혁, 최준호, 이호진, 최승운, 최재연, 서승원, 2004. 초고주파 라디오미터 센서를 이용한 적조 관측 실험. 한국 GIS 학회춘계학술대회 논문집, 449-454.
- 김인옥, 노홍길, 1995. 제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구. 한수지, 27, 515-528.
- 김학균, 2005. 해양적조. 다솜출판사, pp 10-11.
- 박종식, 2007. 한국 남서해역의 와편모조류 시스트 출현환경 및 발아에 의한 분류학적 고찰. 전남대학교 박사학위논문, 217 p.
- 서필수, 이상준, 김윤, 이정호, 김학균, 이제동, 1998. 적조 와편모조류, *Cochlodinium polykrikoides*의 순수분리 및 성장. J. Korean Fish Soc., 31(1), 71-76.
- 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구: 1. 물리·화학적인 특성. 한국해양학회지 바다, 5, 16-26.
- 윤양호, 2001. 바다의 반란 적조. 집문당, 242 p.
- 윤양호, 2003. 한국 남서해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 분포 특성. 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 12, 1-17.
- 윤양호, 2007. 우리나라 남서해역의 해양환경과 적조발생 특성. 전남동부권역 해양생태계 주요 이슈와 관리방안, 여수지방해양수산청(해양환경과), 29-57.
- 윤홍주, 김형석, 2005. 한국 연안의 적조형성과 기상요인간의 상관성에 대한 통계학적 해석 및 위성에 의한 적조 모니터링. 한국어업기술학회지, 41(2), 279-284.
- 이동섭, 1999. 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성. 한국해양학회지 바다, 4, 371-382.

- 이문옥, 2011. 한국 남해 중부 해역의 장기수질변화와 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생의 특징. 한국해양환경공학회지, 14(1), 19-31.
- 이종수, 1996. *Cochlodinium polykrikoides* 적조 조체의 생리활성 성분. 한국수산학회지, 29(2), 165-173.
- 임월애, 이영식, 박종규, 2009. 2008년 남해동부해역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생 특성. 한국해양학회지 바다, 14(3), 155-162.
- 장천영, 민기식, 2005. 한국 담수 검물벼룩의 검색과 DNA 분류. 정행사, pp. 1-153.
- 전남대학교 산학협력단, 2007. 전남(여수) 바다목장 해양환경 및 생물군집 특성 조사. 해양수산부 국립수산진흥원 위탁연구 보고서, pp. 161.
- 정상옥, 안경호, 2011. 우리나라 연안의 코클로디니움 적조 발생 변동 연구. 한국환경생태학회 학술대회논문집, 21(1), 57-58.
- 조양기, 김구, 1994. 여름철 남해 저온수의 특성과 기원. 한국해양학회지, 29, 414-421.
- 한국수자원공사, 2009. 서해 EEZ 골재채취단지 변경지정 해역이용영향평가서. 한국수자원공사 보고서.
- 한국해양연구원, 2011. 북서태평양이 한반도 주변해에 미치는 영향 연구. 한국해양연구원 보고서 BSPE98563-10040-1, 458pp.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험방법. (주)정인 I & D, 400 p.
- 해양수산부, 2006. 전남 다도해형 바다목장화 개발 연구용역 보고서. 640p.
- Ahn YH, Shanmugam P, Chang KI, Moon JH, and Ryu JH, 2005. Spatial and temporal aspects of phytoplankton blooms in complex ecosystems off the Korean coast from satellite ocean color observations. Ocean Sci. J., 40, 67-78.
- Alverson AJ and Kolnick L, 2005. Intragenomic nucleotide polymorphism among small subunit (18S) rDNA paralogs in the diatom genus *Skeletonema* (Bacillariophyta). J. Phycology 41, 1248-1257.
- Anderson VC, 1950. Sound scattering from a fluid sphere. J. Acoust. Soc. Am., 22, 426-431.
- Aranish F, 2006. Single fish egg DNA extraction for amplification. Conservation Genetics, 7:153-156.
- Azanza RV, David L, Borja RT, Baula IU, and Fukuyo Y, 2008. An extensive *Cochlodinium* bloom along the western coast of Palawan, Philippines. Harmful Algae, 7, 324-330.
- Beardsley RC, Limeburner R, Yu H, and Cannon GA, 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea, Continental Shelf Res., 4, 57-76.
- Bhadury P and Annapurna C, 2011. Marine barcoding-how will it help Indian marine benthic studies? Indi. J. Geo-Mar. Sci., 40, 645-647.

- BioSonics, 2004. Guides to using DT series, hardware and software. BioSocics Inc., Seattle, USA.
- Blanc S, Benitez CE, de Milou MIE, Mosto P, Lascalea G, and Jurez RE, 2000. Acoustic behaviour phytoplanktonic algae. *Acoustic Letters*, 23(9), 175-182.
- Bongers T and Ferris H, 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Els. Sci.*, 14, 224-228.
- Brierley AS, Axelsen BE, Boyer DC, Lynam CP, Didcock CA, Boyer HJ, Sparks CA, Purcell JE, and Gibbons MJ, 2004. Single-target echo detections of jellyfish. *ICES Journal of Marine Science*, 61, 383-393.
- Carvalho GA, Minnetta PJ, Fleming LE, Banzona VF, and Baringera W, 2010. Satellite remote sensing of harmful algal blooms: A new multi-algorithm method for detecting the Florida Red Tide (*Karenia brevis*). *Harmful algae*, 9(5), 440-448.
- Chihara M and Murano M, 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai Univ. Press.
- Chu D and Wiebe PH, 2005. Measurement of sound-speed and density contrasts of zooplankton in Antarctic waters. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 818-831.
- Chu D, Wiebe P, and Copley N, 2000. Inference of material properties of zooplankton from acoustic and resistivity measurements. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 1128-1142.
- Chu D, Wiebe PH, Stanton TK, Hammar TR, Doherty KW, Copley NJ, Zhang J, Reeder DB, and Benfield MC, 2000. Measurements of the material properties of live marine organisms and their influence on acoustic scattering. *Oceans 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition*, 3, 1963-1967.
- Clay CS and Medwin H, 1977. *Acoustical oceanography: Principles and applications*. John Wiley and Sons, New York.
- Coull BC, 1999. Role of meiofauna estuarine soft-bottom habitats, *Australian J. Ecol.*, 24, 327-343.
- Cunningham E and Meghen C, 2001. Biological identification systems: genetic markers. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 20, 491.
- Cupp EE, 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanogr., Univ. Calif.* 5, 237 p.
- Curl H jr and Mcleod GC, 1961. The physiological ecology of a marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.), *Cleve. J. Mar. Res.*, 19, 70-88.

- Dodge JD, 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Office, London, 303 p.
- Downing A, Thorne PD, and Vincent CE, 1995. Backscattering from a suspension in the near field of a piston transducer. *J. Acoust. Soc. Am.*, 97, 1614-1620.
- Engelmann JC, Rahmann S, Wolf M, Schultz J, Fritzilas E, Kneitz S, Dandekar T, and Mueller T, 2009. Modelling cross hybridization on phylogenetic DNA microarrays increases the detection power of closely related species. *Molecular Ecology Resources*, 9, 83-93.
- Folmer O, Black MA, Hoch W, Lutz R, and Vrijenhoek R, 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3, 294-299.
- Fonseca VG, Carvalho GR, Sung W, Johnson HF, Power DM, Neill SP, Packer M, Blaxter ML, Lamshead PJ, Thomas WK, and Creer S, 2010. Second-generation environmental sequencing unmasks marine metazoan biodiversity. *Nat. Com.*, 1, 1-8.
- Geesey ME and Tester PA, 1993. *Gymnodinium breve* : Ubiquitous in Gulf of Mexico waters? in Smayda TJ and Shimith Y (eds), *Toxic Phytoplankton blooms in the Sea*. Elsevier, Amsterdam, 251-255.
- Greenlaw CF and Johnson RK, 1980. Physical and acoustical properties of zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.* 67(1), 135-146.
- Guillard RRL, 1975. *Culture of marine invertebrate animals*. Plenum Press, New York, 26-60.
- Hajibabaei M, Janzen DH, Burns JM, Hallwachs W, and Hebert PDN, 2006. DNA barcodes distinguish species of tropical *Lepidoptera*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 103, 968-971.
- Hajibabaei M, Singer GAC, Clare EL, and Hebert PDN, 2007. Design and applicability of DNA arrays and DNA barcodes in biodiversity monitoring. *BMC Biol.* 5, 24.
- Hebert PDN and Gregory TR, 2005. The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Syst. Biol.* 54, 852-859.
- Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, and de Waard JR, 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270, 313.

- Hebert PDN, Ratnasingham S, and de Waard JR, 2003. Barcoding animal life: cytochrome c oxidase subunit 1 divergences among closely related species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270, S96.
- Hewitt RP, Kim S, Naganobu M, Gutierrez M, Kang D, Takao Y, Quinones J, Lee YH, Shin HC, Kawaguchi S, Emery JH, Demer DA, and Loeb VJ, 2004. Variation in the biomass density and dispersion of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands throughout the 1999/2000 austral summer. *Deep Sea Res. II*, 51, 1411-1419.
- Hinder SL, Hays GC, Brooks CJ, Davies AP, Edwards M, Walne AW, and Gravenor MB, 2011. Toxic marine microalgae and shellfish poisoning in the British Isles: history, review of epidemiology, and future implications. *Environmental Health* 10, 54.
- Holliday DV and Pieper RE, 1980. Volume scattering strengths and zooplankton distributions at acoustic frequencies between 0.5 and 3 MHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 67, 135-146.
- Johnson RK, 1977. Sound scattering from a fluid sphere revisited *J. Acoust. Soc. Am.*, 61(2), 375-377,
- Kang D and Hwang D, 2003. Ex situ target strength of rockfish (*Sebastes schlegelii*) and red seabream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. *ICES J. Marine Science*, 60, 538-543.
- Kang DH, Iida K, Mukai T, and Kim JM, 2006. Density and sound speed contrasts of the Japanese common squid *Todarodes pacificus* and their influence on acoustic target strength. *Fisheries Science*, 72, 728-736.
- Kawagami T, Aoyama J, and Tsukamoto K, 2010. Morphology of pelagic fish eggs identified using mitochondrial DNA and their distribution in waters west of the Mariana Islands. *Environ. Biol. Fish*, 87: 221-235.
- Kim C, Cho H, Shin J, Moon C, and Matsuoka K, 2002. Overwintering potential of hyaline cysts of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae): An annual red tide organism along the Korean coast. *Phycologia*, 41, 667-669.
- Kim C, Kim H, Kim C, and Oh H, 2007. Life cycle of the ichthyotoxic dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* in Korean coastal waters. *Harmful Algae*, 6, 104-111.
- Kim C, Lee S, Lee C, Kim H, and Jung J, 1999. Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide *Cochlodinium polykrikoides*. *J Plankton Res.*, 21, 2105-2115.

- Kim D, 2003. Physiological and ecological studies on harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* (Margalef). Ph.D. Thesis of Kyushu University, 154 pp. (in Japanese)
- Kim D, Kim JF, Yim JH, Kwon SK, Lee CH, and Lee HK, 2008. Red to red—the marine bacterium *Hahella chejuensis* and its product prodigiosin for mitigation of harmful algal blooms. *J. Microbiol Biotechnol* 18, 1621-1629.
- Kim D, Oda T, Muramatsu T, Kim D, Matsuyama Y, and Honjo T, 2002b. Possible factors responsible for the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides*, a red tide phytoplankton. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 132, 415-423.
- Kim DI, Matsuyama Y, Nagasoe S, Yamaguchi M, Yoon YH, Oshima Y, Imada N, and Honjo T, 2004. Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae). *J. Plankton Res.*, 26, 61-66.
- Kim DS, Je JG, and Shin SH, 2000. Utilization of meiobenthos for pollutin monitoring in the Gamak Bay, Korea. *J. Kor. Fis. Soc.*, 33, 307-319.
- Kim DS, Min WG, and Kim WS, 2002. Marine meiobenthic faunal communities of the sediments near Dokdo in the East Sea, Korea. *Oce. Pol. Res.*, 24, 419-427.
- Kim E, Lee H, Na J, Choi JW, and Kang D, 2010. 5-MHz acoustic-backscatter measurements of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in Korean coastal waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 67, 1759-1765.
- Kim S, Koo H, Kim JH, Jung JW, Hwang SY, and Kim W, 2011. DNA chip for species identification of Korean freshwater fish: A case study. *Biochip Journal*, 5, 72-77.
- Kudela RM and Gobler CJ, 2011. Harmful dinoflagellate blooms caused by *Cochlodinium* sp.: Global expansion and ecological strategies facilitating bloom formation. *Harmful algae*, 14, 71-86.
- Ma Y, Varadan VV, and Varadan VK, 1987. Acoustic response of sedimentary particles in the near field of high-frequency transducers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 34, 3-7.
- MacLennan DN and Simmonds EJ, 1992. *Fisheries acoustics*. Chapman and Hall, New York.
- Mazzola A, Mirto S, and Danovaro R, 1999. Initial fish-farm impact on meiofaunal assemblages in coastal sediments of the Western Mediterranean. *Mar. Pollu. Bull.*, 38, 1126-1133.
- McIntyre AD, 1969. Ecology of marine meiobenthos, *Biol. Rev.*, 44, 245-290.
- Medwin H and Clay CS, 1983. *Fundamentals of acoustical oceanography*, New York.

- Medwin H and Clay CS, 1998. Fundamentals of acoustical oceanography. Academic Press, Boston.
- Moniz MBJ, Kaczmarska I, and Gravenor MB, 2009. Barcoding diatoms: Is there a good marker? *Molecular Ecology Resources*, 9, 65-74.
- Moretti V, Turchini G, Bellagamba F, and Caprino F, 2003. Traceability issues in fishery and aquaculture products. *Veterinary research communications* 27, 497-505.
- NFRDI, 2012. <http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/>. Accessed on 16 October 2012.
- PANAMETRICS-NDT, 2012. Ultrasonic transducers for nondestructive testing. <http://olympusNDT.com>. Accessed 13 Oct 2012.
- Park JY, Kim JH, and et al., 2010. A DNA microarray for species identification of cetacean animals in Korean water. *Biochip Journal*, 4, 197-203.
- Prezelin BB and Sweeney BM, 1977. Characterization of photosynthetic rhythms in marine dinoflagellates II. Photosynthesis-irradiance curves and in vivo chlorophyll a fluorescence. *Plant physiol.*, 75, 388-392.
- Raffaelli D and Mason CF, 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 158-163.
- Ratnasingham S, Hebert PDN, and Gravenor MB, 2007. BOLD: The Barcode of Life Data System. *Molecular Ecology Notes*, 7, 355-364.
- Riera R, Monterroso Ó, Rodríguez M, Ramos E, and Sacramento A, 2011. Six-year study of meiofaunal dynamics in fish farms in Tenerife (Canary Islands, NE Atlantic Ocean). *Aqu. Eco.*, 45, 221-229.
- Robba L, Russell SJ, Barker GL, and Brodie J, 2006. Assessing the use of the mitochondrial *cox1* marker for use in DNA barcoding of red algae (Rhodophyta). *American journal of botany*, 93, 1101-1108.
- Saitoh K, Uehara S, and Tega T, 2009. Genetic identification of fish eggs collected in Sendai Bay and off Johban, Japan. *Ichthyological Research*, 56, 200-203.
- Sandullia R and De Nicola-Giudici M, 1990. Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.*, 21, 144-153.
- Shirayama, Y, 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos on the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 68, 799-810.
- Simmonds EJ and MacLennan DN, 2005. Fisheries acoustics second edition, Blackwell Science Ltd, Fish and Aquatic Resources Series 10.
- Tamura K, Dudley J, Nei M, and Kumar S, 2007. MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular biology and evolution* 24, 1596.

- Van Ierland ET and Peperzak L, 1984. Separation of marine seston and density determination of marine diatoms by density gradient centrifugation. *J. Plankton Res.* 6 (1), 29-44.
- Warwick RM, 1981. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 329-333.
- Yoon H, Kim G, Jeong D, Jung J, and Chung I, 2008. Development of salmon identification DNA chip based on mitochondrial COIII-ND3-ND4L variations. *Biochip Journal*, 2, 287-295.

## 제 7 장 부 록



## 제 7 장 부 록

### 부록 1. 발간 논문 목록

계재일	논문명	저자			학술지명	Vol (No)	국내 외 구분
		주저자	교신저자	공동저자			
2008	Improvement of position of label (POL) influence by fluorescently-labeled helper probe.	Hyun Kyu Yoon	Seung Jun Kim & Seung Yong Hwang	In hyuk Chung, Moon Ju Oh	Probe. BioChip Journal	2(3)	국내
2008	Separation-type multiplex polymerase chain reaction chip for detecting male infertility.	Ha SM	Hwang SY	Ju JK, Ahn YM	Japanese Journal of Applied Physics	47(6)	국외
2008	Microchip-based multiplex electro-immunosensing system for the detection of cancer biomarkers.	Ko YJ	Lee SH	Maeng JH, Ahn Y, Hwang SY	Electrophoresis	29	국외
2008	Real-time immunoassay with a PDMS-glass hybrid microfilter electroimmunosensing chip using nanogold particles and silver enhancement.	Y.J. Ko	S.H. Lee	J.H. Maeng, Y. Ahn, S.Y. Hwang, N.G. Cho	Sensors and Actuators B: Chemical	132	국외
2009.03	다중주파수를 이용한 캐비테이션 기포의 분포량 추정	김대욱	나정열	나형술, 최지웅, 강돈혁	한국 음향학회	28	국내

2009. 03	Ex situ target strength measurements of Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) in the coastal Northwest Pacific	강돈혁	강돈혁	조성호, 이창원, 명정구, 나정열	ICES Journal of Marine Science		국외
2010. 03	Ultrasound backscattered power from <i>C. polykrikoides</i> , the main red tide species in the Southern Sea of Korea.	복태훈	팽동국	김은혜, 나정열, 강돈혁	JOURNAL OF PLANKTON RESEARCH	32(4)	국외
2010. 04	Molecular and biochemical characterizations of a novel arthropod endo- $\beta$ -1,3-glucanase from the Antarctic springtail, <i>Cryptopygus antarcticus</i> , horizontally acquired from bacteria. comparative biochemistry and physiology.	JUNG MIN SONG	LEE Youn-Ho		Part B. Biochemis- try & molecular biology	Vol. (155)	국외
2010. 05	Biochemical characterization of soluble acid and alkaline invertases from shoots of etiolated pea seedlings	김동균	이택견	박소윤, 정영재, 박종범, 이석찬	Journal of Integrative Plant Biology	52(6) : 536- 548	국외
2010. 06	남해 연안에 분포하는 해파리 ( <i>Aurelia aurita</i> , <i>Cyanea nozakii</i> ) 의 복수 개체에 의한 음향 표적강도 특성.	강돈혁	강돈혁	김정훈, 임선호	Ocean & Polar Research	32(2)	국내
2010. 07	A new species of the rare genus <i>Shpenoderes</i> (Cyclorhagida, Kinorhyncha), with differential notes on <i>S. indicus</i> Higgin, 1969.	Sorensen, M.V.		Rho, H.S and Kim, D.S.	Marine Biology Research	6	국외

2010. 10	5-MHz acoustic-backscatter measurements of <i>C.polykrikoides</i> blooms in Korean coastal waters.	김은혜	최지웅	이형빈, 나정열, 강돈혁	ICES Journal of Marine Science.	67(8)	국외
2011. 04	해양 미세조류 5종의 성장단계에 따른 지방산 조성의 변화	김소정	이택건		에코시티 논문집	제35 권 제1호 / 129- 138	국내
2011. 08	Population genetic structure and demographic history of the fat greenling <i>Hexagrammos otakii</i>	Kazi Ahsan Habib	Youn-Ho Lee	Dageum Jeong, Jung-Goo Myoung, Min Seok Kim, Yo Soon Jang, Jae Seol Shim	Genes & Genomics	33	국내
2011. 12	Development of DNA chip for jellyfish verification from South Korea	이건섭	이택건	박소윤, 황진익, 이윤희, 황석용, 이석찬, 이택건	Biochip Journal	5(4)/ 375- 382	국내
2012. 03	수중음향 모델을 위한 보름달물해파리 ( <i>Aurelia aurita s.l.</i> )의 체내 음속비 및 밀도비	강돈혁	강돈혁	이창원, 이형빈, 김미라	Ocean and polar Research	34(1)	국내

2012. 07	Isolation and identification of marine bacteria with high removal efficiencies for nitrogen-phosphate In Gwangyang bay	이건섭	이택건	모상현, 정영재, 김소정, 김영준, 이상섭, 이택건	한국산학 기술학회 논문지	13(7) / 3267 - 3274	국내
2012. 08	Effects of hypoxia on the fertilization and rarly development of sea urchin, <i>Strongylocentrotus nudus</i>	이건섭	이택건	황진익, 정영재, 김동균, 모상현, 장만, 이택건	한국산학 기술학회 논문지	13(8) / 3785 - 3791	국내
2012. 10	Identification of nickel response genes in abnormal early developments of sea urchin by differential display polymerase chain reaction	류태권	이택건	이건섭, 이용, 박흥식, 장만, 이석찬, 이재안, 이택건	Ecotoxicol -ogy and Environm -ental Safety	84, 18- 24	국외
2012. 10	Low concentrated nitrogen-phosphate removal of 4 strains of marine bacteria applied to ceramic media	이건섭	이택건	김소정, 정영재, 김동균, 이상섭, 오정균, 이택건	한국산학 기술학회 논문지	13 (10)/ 4910 - 4913	국내
2012. 11	Extraction of anti-microalgal material from <i>Laminaria</i> spp. and effect of oligo-alginate derivatives on membrane potential.	이건섭	이택건	장만, 신경순, 김동균, 오정균, 이택건	한국산학 기술학회 논문지	13 (12)/ 6196 - 6202	국내

2012. 11	Laboratory experiment to measure 5-MHz volume backscattering strengths from red tide causing <i>Microalgae Chattonella antiqua</i>	김정훈	최지웅	강돈혁	Ocean Science Journal	47(3)	국내
2012. 12	Development of DNA chip for verification of 25 microalgae collected from southern coastal region in Korea	이건섭	이택견	박소윤, 염승식, 우선옥, 이윤호, 황승용, 박흥식, 모상현, 이석찬, 이택견	Biochip Journal	6(4)/ 325- 334	국내
2013. 06	Occurrence of the newly described kinorhynch genus <i>Meristoderes</i> (Cyclorhagida: Echinoderidae) in Korea, with the description of four new species	Martin V. Sørensen	Martin V. Sørensen	Hyun Soo Rho, Won-Gi Min, Dong -sung Kim Cheon Young Chang	Helgoland Marine Research	67 (2) : 291 - 319	국외

## 부록 2. 학술회의 발표 목록

발표일	논문명	저자		학술회의명	국내 외 구분
		주발표자	공동발표자		
2008. 05	수중 초음파를 이용한 적조 플랑크톤 군체의 후방산란특성	이형빈	김은혜, 최지웅.	한국음향학회	국내
2008. 06.	Ex situ target strength measurements of Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) in the coastal Northwest Pacific	강돈혁	조성호, 이창원, 명정구, 나정열	International Symposium on Ecosystem Approach with Fisheries Acoustics and Complementary Technologies	국내
2008. 06	Measuring the three-dimensional acoustic scattering pattern of a fish school using hemisphere coordinates	이창원	강돈혁, 라형술, 조성호, 명정구	International Symposium on Ecosystem Approach with Fisheries Acoustics and Complementary Technologies	국내
2008. 11	Measurements of acoustic volume backscattering from harmful algae using underwater ultrasonic sensor	김은혜	이형빈, 나정열, 강돈혁, 윤양호	The second meeting of Asian Fisheries Acoustics Society	국외
2008. 11	Preliminary reports on the hydroacoustic ex situ target strength measurements of Moon Jellyfish ( <i>Aurelia aurita</i> )	이창원	강돈혁, 이형빈, 명정구	The second meeting of Asian Fisheries Acoustics Society	국내
2008. 11	보름달물해파리의 음향산란강도 특성	이창원	강돈혁, 이형빈, 명정구	한국음향학회 추계학술발표대회	국외
2008. 11	USN 기반의 액추에이터 제어 시스템 구현	이철현	이찬길	전자정보통신학술대회	국외

2009. 01	A feasibility study on the acoustic monitoring of <i>C. polykrikoides</i> blooms and mitigation	나정열	김은혜, 김대욱, 이형빈.	The North Pacific Marine Science Organization, PICES	국외
2009. 01	Marine biodiversity of Korea and its analysis	이운호		라틴아메리카 지역을 위한 해양과학기술 훈련 워크숍	국내
2009. 04	여수해역에서 5월 난자치어의 분포 변화 특성	오지나	김성, 이운호	한국어류학회	국내
2009. 04	서해남부 연안역의 난자치어의 분포 특성	오지나	김성	한국어류학회	국내
2009. 04	참돔 ( <i>Pagrus major</i> )의 원산지 판별을 위한 단백질마커의 개발	정다금	김우리, 황창남, 김충곤, 서혜명, 이운호	어류학회 춘계학술대회	국내
2009. 05	DNAchip 방법을 이용한 동해 해양생물종 분석	이운호	김고은, 정다금, 정인혁, 김예림, 김충곤, 박홍식, 배세진, 정진욱, 황승용	한국해양과학기술협의회 공동학술대회	국내
2009. 05	미토콘드리아 COI유전자를 이용한 오징어류의 종판별과 분자계통분석	정다금	김충곤, 이운호	한국해양과학기술협의회 공동학술대회	국내
2009. 09	Bistatic scattering from an array of regularly spaced cylinders.	김은혜	조성호, 이형빈, 나정열, 강돈혁, 최지웅	서태평양 국제음향학회, WESPEC X	국내
2009. 09	Use of ultra-high frequency in costal water.	나정열	-	Pacific Rim Underwater Acoustics Conference (PRUAC)	국내

2009. 05	적조 우점 해역의 체적산란 신호분석	이형빈	김은혜, 최지웅, 나정열, 강돈혁	한국음향학회추계학술발표 대회	국내
2009. 09.	Measurements of acoustic volume scattering strengths from aggregation of harmful algal blooms species, <i>C. polykrikoides</i> .	이형빈	김은혜, 최지웅,	서태평양 국제음향학회, WESPEC X	국내
2009. 09	Assessment and management of marine biodiversity in Korean waters	이윤호		The First Workshop on Marine Biodiversity in the Northwest Pacific Region	국외
2009. 10	Lipidomic profiling during early sea urchin development	박소윤	황진익, 류태권, 이택견	EuroFed 2009	국외
2009. 10	Lipid content in the sea urchin embryos under nickel stress	박소윤	황진익, 류태권, 이택견	EuroFed 2009	국외
2009. 11	Molecular identification of jellyfishes from South Korea through DNA barcodes	박소윤	황진익, 이택견	한국해양학회 추계학술발표대회	국외
2009. 11	배열된 어류의 음향 감쇠 특성	이형빈	손수욱, 박준석, 김정훈, 강돈혁, 최지웅	한국음향학회추계학술발표 대회	국내
2009. 11	돛양태속 어류 난자치어의 mtDNA를 이용한 종 동정과 산란장 연구	오지나	김성	한국수산과학총연합회 학술발표회	국내
2009. 11	A new species of the genus <i>Haematococcus</i> (Chlorophyta) found first in Korea	송정민	하비브, 강미혜, 이대원, 박흥식, 강도형, 이윤호	한국해양학회 추계학술대회	국내

2010. 01	국내외 해양생물지리정보시스템 구축 현황	김성대	이운호, 박수영, 배세진, 백상호, 김신	한국해양학회 2010 추계학술발표대회	국외
2010. 01	Population structures and gene flows of a few marine fishes occurring in Korean waters and connected oceans	Habib	오지나, 김고은, 정다금, 김성, 이운호	NIMS Hot Topic Workshop/ Population Genetics Theory & Applications Modern Biological Sciences	국내
2010. 03	Development of Korea ocean biogeographic information System	김성대	박수영, 이운호, 백상호	International Conference on Marine Data and Information Systems	국내
2010. 05	한국연안에 분포하는 대형 노무라입깃해파리( <i>Nemopilema nomura</i> )의 측면 음향 반사강도 특성.	이형빈	김정훈, 강돈혁	2010 춘계 어업기술학회	국내
2010. 05	Species identification of raw fish fillet of asserted as <i>Pagrus major</i> in the market using the DNA barcode	정다금	Choong -gon Kim, Youn-Ho Lee	한국 어류학회 춘계 학술발표대회	국내
2010. 05	분자마커를 이용한 돛양태속 ( <i>Repomucenus</i> spp.) 어란의 분포연구	오지나	김성	한국 어류학회 춘계 학술발표대회	국내
2010. 05	Species Identification of fish eggs and larvae in genus <i>Repomucenus</i> using the DNA Barcoding in Yellow Sea of Korea	Jina Oh	Sung Kim	한국 어류학회 춘계 학술발표대회	국내
2010. 06	Influence of mid-ultraviolet (UVB) radiation on the gene expression of the harpacticoid copepod <i>Tigriopus japonicus</i> s.l.	이강현	이운호, 이원철	2010년도 한국해양과학협의회 공동 학술대회	국내

2010. 06	Identification of differentially expressed genes in <i>Paralichthys olivaceus</i> during hibernation using proteomics analysis	강미혜	김완수, 서혜명, 이운호,	2010년도 한국해양과학협의회 공동 학술대회	국내
2010. 06	Genetic diversity and population structure of fat greenling( <i>Hexagrammos otakii</i> ) in the seas around Korea and Japan	Habib	정다금, 명정구, 이운호	2010년도 한국해양과학협의회 공동 학술대회	국내
2010. 06	Species identification of whale meat in the market using the DNA barcode	정다금	이운호	2010년도 한국해양과학협의회 공동 학술대회	국내
2010. 06	Molecular phylogeny of the coral reef Echinoderms	김고은	이운호	2010년도 한국해양과학협의회 공동 학술대회	국내
2010. 06	Utilization of barcode for examining authenticity of species/origin-labels for the processed skates and rays in the market.	Dagum Jeong	Choong -gon Kim, Youn-Ho Lee	The 2nd International Workshop on DNA Barcoding of Northeast Asian Fishes: Population, Species, and Phylogeny	국외
2010. 06	DNA barcoding, forensics, and application of DNA chip	이운호	정다금, 김성, 이유철, 오지나, Habib, 이강현, 김고은, 강미혜, 배세진, 황승용	The 2nd International Workshop on DNA Barcoding of Northeast Asian Fishes	국외
2010. 06	Divergence and gene flow in chum salmon revealed by mitochondrial Gene phylogeography	Habib	김고은, 이운호	The 2nd International Workshop on DNA Barcoding of Northeast Asian Fishes	국외

2010. 06	Species identification of fish eggs and larvae in genus <i>Repomucenus</i> using the DNA barcoding in Yellow Sea of Korea	Jina Oh	Sung Kim	The 2nd International Workshop on DNA Barcoding of Northeast Asian Fishes	국외
2010. 06	Expanding evidence of the spawning ground of chub mackerel <i>Scomber japonicus</i> into the Yellow Sea in the Northwestern Pacific.	Sung kim	Y.S. Jang, J. Oh, J.G. Myung, C.H. Noh, Y.H. Lee, C.S. Myung, C.Y. Park	The 2nd International Workshop on DNA Barcoding of Northeast Asian Fishes	국외
2010. 10	Marine biodiversity of the Republic of Korea	이윤호	배세진, 김성, 김성대, 박수영, 박종규, 서호영, 부성민, 이강현	Census of Marine Life 2010	국외
2010. 10	NRIC, KOREA	이윤호		Census of Marine Life 2010	국외
2010. 11	World top-level marine biodiversity in Korean waters	이윤호	이윤호, 배세진, 김성, 김성대, 박수영, 박종규, 서호영, 부성민, 강동진, 이택건, 이강현	한국해양학회 2010 추계학술발표대회	국내

2010. 11	해양생물센서스(CoML) 10년 연구성과	이윤희	김성대, 배세진	한국해양학회 2010 추계학술발표대회	국내
2010. 11	Fast acquisition method for the high resolution digital photo of ichthyoplankton with large depth of field using focus stacking image processing tools	김성	오지나, 명정구, 이윤희, 심재설, 김병직, 이은경	수산과학총연합학회 어류학회	국내
2010. 11	가거초 주변에서 황아귀 어란의 분포 확인	오지나	김성, 이윤희, 심재설	수산과학총연합학회 어류학회	국내
2010. 12	Acoustic properties of major jellyfish, <i>N. nomurai</i> , <i>A. aurita</i> and <i>C. nozakii</i> in Korean water.	강돈혁	김정훈, 도재원, 임선호	AFAS 2010.	국내
2010. 12	Application of micro cavitation bubbles for mitigation of harmful phytoplankton in seawater.	김정훈	임선호, 이형빈, 나정열	AFAS 2010.	국외
2011. 05	주파수에 따른 <i>Alexandrium</i> <i>catanella</i> 의 체적산란 특성	김정훈	최지웅, 이찬길, 강돈혁	한국음향학회	국내
2011. 05	Observations of 5-MHz acoustic backscattering from <i>C.</i> <i>polykrikoides</i> blooms in coastal waters	최지웅	김은혜,	Acoustic Society of America	국내
2011. 06	Development of DNA chip for jelly fish verification from South Korea	이건섭	이택건, 황진익	한국해양학회	국내
2011. 06	황해 저층냉수대 해역의 생물 음향산란층의 특성	이형빈	강돈혁	2011년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회	국내

2011. 06	한국 해양생물의 DNA 바코딩과 이를 이용한 해양 시료의 종판별 가능성 분석	이운호	정다금, 이유철, 김성대, 김성, 배세진, 이택견	한국해양학회	국내
2011. 06	Population genetic structure and demographic history of the fat greenling <i>Hexagrammos otakii</i>	Habib	정다금, 명정구, 김민석, 장요순, 심재설, 이운호	한국어류학회	국내
2011. 10	Novel therapeutic strategy for the inhibition of pseudorabies virus (PRV) infection in C57BL/6 mouse by recombinant nuclease catalytic antibody	이건섭	이택견, 황진익	분자세포생물학회	국내
2011. 11	Acoustic properties of red tide causing microalgae <i>Chattonella</i> sp.:density and sound speed contrasts and backscattering strengths	김정훈	최지웅, 강돈혁	USE 2011	국외
2011. 11	Species identification of processed fish product of Rajidae in the market using the DNA barcode	정다금	이운호	한국어류학회	국내
2011. 11	한반도 주변해역의 고등어 자치어 분포와 분자마커를 이용한 분류의 정확성 검증	김성	오지나, 장요순, 김용서	한국어류학회	국내
2011. 11	한반도 주변해역에서 고등어과 자치어의 종조성과 분포	김성	오지나, 장요순, 이은경	한국어류학회	국내
2012. 05	Bistatic scattering from an array of regularly spaced cylinders.	강돈혁	이형빈, 임선호	Oceans, 2012	국외

2012. 05	HAB 조기탐지를 위한 수중음향기법 연구	최지웅	김정훈.	한국해양학회	국내
2012. 06	Study of fertilization and Developmental Rates by Hypoxia condition in <i>Strongylocentrotus nudus</i>	이건섭	황진익, 정영재, 김동균, 모상현, 이택건	한국산학기술학회 2012년도 춘계학술대회	국외
2012. 06	Identification of hypoxia biomarker candidates from sea urchin ( <i>Strongylocentrotus nudus</i> ) coelomocyte by cDNA microarray.	이택건	이건섭, 황진익	Euarine & Coastal Sciences Association (ECSA) Conference	국외
2012. 06	Species identification of raw fish fillet asserted as <i>Pagrus major</i> in the market using the DNA barcode	정다금	이운호	Fish Barcode of Life World Conference	국외
2012. 06	Identification of red seabream( <i>Pagrus major</i> ) eggs in multi-species mixed samples using DNA Barcode	정다금	오지나, 김성, 이운호	Fish Barcode of Life World Conference	국외
2012. 07	Identification of red sea bream ( <i>Pagrus major</i> ) eggs in the netted sample using DNA barcode	정다금	김성, 이운호	36th Annual Larval Fish Conference	국내
2012. 10	Seasonal changes and electronmicroscopic features of marine virus isolated from Gwangyang bay	김동균	이택건, 박종범	제 53회 한국생명과학회 학술대회	국외
2012. 10	Development of barcoding technology for verification of microalgae collected from southern coastal region in Korea	이택건	이건섭, 황진익, 박미례	제 26회 한국조류학회 학술발표대회	국외

2012. 10	Molecular and acoustic techniques for real-time monitoring the appearance of specific marine organisms	이윤호		ISOI	국외
2012. 11	The DNA barcode, molecular characters for Korean Polychaetes	김하나	이유철, 김고은, 신현출, 이윤호	2012 한국해양학회 추계학술대회	국내
2012. 11	Long-term evaluation of harmful algal bloom's real time acoustic detection system installed on the buoy	강돈혁	이형빈	The 6th Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society	국외
2012. 11	한국해양생물지리정보시스템의 스마트패드용 GIS 서비스 개발	김성대	백상호, 박수영, 김신	2012 한국지리정보학회 추계학술대회	국외
2012. 11	광양만에서 분리한 해양박테리아의 세라믹 담체 정확효과	박종범	김동균, 이택건	한국환경과학회 2012년도 학술대회	국외
2012. 11	Molecular phylogenetic position of <i>Crenomytilus grayanus</i> falls within the genus <i>Mytilus</i> close to <i>Mytilus coruscus</i>	이유철	이윤호, 배세진, 심재설	2012 한국해양학회 추계학술대회	국내
2012. 11	Two distinct mitochondrial genealogies and their divergence rate in the sea urchin <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	정길아	강미혜, 이윤호	2012 한국해양학회 추계학술대회	국외
2012. 11	Species detection from the netted sample with multi-species using the DNA barcode	정다금	정다금, 김하나, 정길아, 이유철, 오지나, 김성, 이윤호	2012 한국해양학회 추계학술대회	국내





## 주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.