

BSPE9931C-10854-10

# 통영해역 적조 피해 최소화를 위한 적조 통합 관리 체계 구축 기획 연구

2015. 12.





BSPE9931C-10854-10

통영해역 적조 피해 최소화를 위한  
**적조 통합 관리 체계 구축**  
**기획연구**

2015. 12.



# 제 출 문

## 한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “통영해역 적조 피해 최소화를 위한 적조 통합 관리 체계 구축 기획연구” 과제의 기획보고서로 제출합니다.

2015년 12월

연구책임자: 강돈혁, 정승원

참여연구원: 강길모, 강정훈, 강형구, 강현우, 김미라,  
김 성, 김원국, 박영제, 백승호, 서승석,  
오승용, 이윤호, 이택건, 전기천, 조성호,  
조홍연, 채기영, 최진용, 최해영, 최희정  
(이상 한국해양과학기술원)

김병권((주)시스코어)



요약문	1
<b>제 1 장 기획사업 목표 및 필요성</b>	<b>9</b>
제 1 절 사업 목표	9
제 2 절 추진 배경 및 필요성	9
<b>제 2 장 적조 통합 관리체계 구축 개요</b>	<b>15</b>
제 1 절 적조 통합 관리체계 제안 배경 및 목적	15
제 2 절 실시간 적조 탐지를 위한 통합 관리체계 핵심 기술	16
<b>제 3 장 국내외 연구개발 현황</b>	<b>21</b>
제 1 절 적조 정의 및 적조예보 발령 기준	21
제 2 절 연대별 적조 발생 현황	25
제 3 절 통영해역의 적조 발생 양상	28
제 4 절 적조 대응 기술 기술동향 조사	31
제 5 절 유해적조 모니터링의 국외 연구 동향	40
제 6 절 적조관련 연구의 국내 연구 동향	42
제 7 절 핵심 기술별 세부 연구 동향	44
<b>제 4 장 적조 통합 관리체계 연구 개발 계획</b>	<b>73</b>
제 1 절 사업 목표 및 핵심기술 내용	73
제 2 절 단계별 연구 내용	85
제 3 절 연구 개발 추진 전략	93
제 4 절 사업 추진체계 및 역할 분담	94
제 5 절 기술 개발 성과 제시	98

제 6 절 사업 규모 .....	99
제 7 절 기술 개발 결과의 활용방안 및 기대 효과 .....	101
<b>제 5 장 경제성 분석 .....</b>	<b>107</b>
제 1 절 경제성 분석 개요 .....	107
제 2 절 투자 계획 검토 .....	110
제 3 절 편익 추정 .....	117
제 4 절 경제성 분석 결과 .....	123
제 5 절 기대 효과 .....	124
<b>참고문헌 .....</b>	<b>129</b>
<b>부 록</b>	
<b>부록 1. 정책적 타당성 .....</b>	<b>135</b>
제 1 절 적조 관련 국가 정책 방향 .....	135
제 2 절 기존 적조 관련 연구사업 현황 .....	136
제 3 절 주요 적조 사업과의 차별성 .....	145
<b>부록 2. 어민 설문 조사 .....</b>	<b>149</b>



# 표 목 차

[표 3-1]	국립수산과학원의 적조 예보 종류 및 발령 기준	21
[표 3-2]	적조 대응기술 기술동향 파악을 위한 기술 분류	31
[표 3-3]	국립수산과학원 적조관련 R&D 주요 결과	42
[표 3-4]	부처별 적조 R&D 주요 추진 사업	43
[표 3-5]	SeaWiFS, MODIS, MERIS를 이용한 적조/유해조류 탐지연구	47
[표 4-1]	세부과제 항목, 세부 비목 및 년차별 세부적인 총괄 예산표	100
[표 5-1]	국가연구개발 사업의 비용 검토를 위한 분석 체계	108
[표 5-2]	국가연구개발 사업의 편익 반영 가능 항목	108
[표 5-3]	비용편익분석 방법 및 내용	109
[표 5-4]	총괄 투자 계획	110
[표 5-5]	소요재원별 투자계획	111
[표 5-6]	소요장비 및 연도별 장비가액	111
[표 5-7]	연도별 소요 인력	111
[표 5-8]	비목별 투자계획	112
[표 5-9]	유사 과제와의 연평균 연구비 비교 결과(총괄)	113
[표 5-10]	유사 과제와의 연평균 연구비 비교 결과(재원별)	114
[표 5-11]	해양수산 R&D 분야별 투자현황	116
[표 5-12]	정부 R&D 예산 대비 동 사업규모 비중	116
[표 5-13]	단계별 사업의 성과 및 편익 항목	117
[표 5-14]	동 사업 관련 특허의 기술수명주기(TCT)	119
[표 5-15]	최근 10년 간 적조 어업피해액	120
[표 5-16]	최근 10년 간 적조 피해복구비용	120
[표 5-17]	사업기여율 산정	121
[표 5-18]	동 사업과의 유사과제 목록 및 정부연구비	122
[표 5-19]	비용편익분석(B/C) 결과	123

# 그림 목 차

[그림 1-1]	2013년 대규모 적조 발생 및 구제 현황 사진 .....	9
[그림 1-2]	적조 발생 관련 피해 사례 언론 보도 .....	10
[그림 2-1]	적조 실시간 탐지·대응·통합관리 체계 구상도 .....	15
[그림 2-2]	실시간 적조 탐지를 위한 통합 관리체계 핵심 기술 내용 .....	17
[그림 3-1]	1960~2000년대 문헌 조사에서 조사된 연대별 주요 적조종의 출현 변동 .....	25
[그림 3-2]	2000년 이후 연도별, 월별 적조 발생 현황 (2002년 5월~2013년 9월) .....	26
[그림 3-3]	<i>C. polykrikoides</i> 의 형태학적 특징 .....	26
[그림 3-4]	<i>C. polykrikoides</i> 의 해역별 적조발생 현황 .....	27
[그림 3-5]	2013~2015년 통영 해역에서 식물플랑크톤 군집 변동 .....	28
[그림 3-6]	2013~2015년 통영 해역에서 출현한 식물플랑크톤 주요 종 및 <i>C. polykrikoides</i> 발생 .....	29
[그림 3-7]	2013~2015년 통영해역에서 <i>C. polykrikoides</i> 출현 양상 .....	30
[그림 3-8]	주요 시장국 연도별 특허 출원 동향 .....	32
[그림 3-9]	주요 시장국 내·외국인 특허 출원 현황 .....	33
[그림 3-10]	연도별 특허 기술 동향 .....	33
[그림 3-11]	다출 원인의 기술별 특허 출원 동향 .....	34
[그림 3-12]	분야별 특허 동향 경향성 .....	35
[그림 3-13]	분야별 논문 변화 경향성 .....	37
[그림 3-14]	전체 기술 분포도 .....	37
[그림 3-15]	Applied Simulations and Integrated Modeling for the Under- standing of Toxic and Harmful Algal Blooms (EU) .....	40
[그림 3-16]	ECOHAB Research Projects .....	41
[그림 3-17]	수중음향 적용 예 (시간대별 수심에 따른 동물플랑크톤 분포) ..	44
[그림 3-18]	부이형 적조 음향 탐지 시스템과 운용 예 .....	45
[그림 3-19]	선박 예인형 음향 탐지 시스템과 현장 운용 예 .....	46
[그림 3-20]	이동형 및 양식장 설치형 적조 음향 탐지 시스템 .....	46

[그림 3-21] 적조 음향탐지 시스템 운용 소프트웨어 및 양식장 운용형 시험 평가 .....	47
[그림 3-22] 2008년 12월 24일 아라비아해에서 발생한 <i>C. polykrikoides</i> 번성을 MERIS영상을 이용하여 탐지한 결과 (a) 천연색 영상 (b) 형광법을 이용하여 분석한 영상 .....	48
[그림 3-23] NOAA 적조 예보시스템 HAB-OFS에서 관측된 플로리다주 연안의 <i>Karenia Brevis</i> 적조종 .....	48
[그림 3-24] 2014년 9월 4일 천리안 영상을 통해 관측된 남해안의 적조 양상 ( <i>C. polykrikoides</i> ) .....	49
[그림 3-25] 2013년 8월 8일 남해안에 발생한 적조를 Landsat-8 영상으로 관측한 결과 (Landsat용 대기보정 코드를 적용) .....	49
[그림 3-26] 해양관련 재난 및 사고 사례 .....	50
[그림 3-27] 해양 관련 자연재해 사고 사례 .....	51
[그림 3-28] Real-time PCR의 TaqMan probe 법의 단계별 모식도 .....	53
[그림 3-29] Fluorescence in situ hybridization 방법 .....	53
[그림 3-30] Sandwich hybridization 방법 .....	54
[그림 3-31] 스마트폰 기반 광학 탐지 시스템 개념도 .....	55
[그림 3-32] 쿠로시오 해류 및 대만난류에 의한 <i>C. polykrikoides</i> 개체 유입설 .....	56
[그림 3-33] 전남 고흥 나로도 해역에서 적조생물 집적 후 남해안 일대 확산 가설 .....	57
[그림 3-34] 적조 원인생물의 환경별 발생 기작 .....	57
[그림 3-35] <i>C. polykrikoides</i> 의 주야연직 이동 모식도 .....	58
[그림 3-36] <i>C. polykrikoides</i> 의 중간 경쟁에 따른 유영능력 .....	59
[그림 3-37] 적조 발생 후 생태계의 전이과정 .....	60
[그림 3-38] 규조류 <i>Thalassiosira pseudonana</i> KEGG 분석 .....	61
[그림 3-39] 와편모조류의 질소 대사 모식도 .....	62
[그림 3-40] <i>Volvox</i> 광수용체 단백질 및 세포주기, 생체시계, 카로티노이드 생합성 관련 유전자들의 변화 분석 .....	63
[그림 3-41] <i>Alexandrium tamarense</i> EST 분석 .....	64
[그림 3-42] 야광충의 형태와 대발생 시 다양한 해역에서의 바닷물 변색특성	65
[그림 3-43] 해양동물 호흡률 및 대사율 측정 장치 .....	68

[그림 3-44] 어류의 크기에 따른 에너지 대사율 변화 .....	69
[그림 4-1] 통영해역 적조 실시간 탐지·대응을 위한 통합관리 체계 구상도·	73
[그림 4-2] 적조 실시간 탐지 및 자료 전파 시스템 운용도 .....	74
[그림 4-3] 초기 적조 발생 광역 모니터링 시스템 .....	74
[그림 4-4] 통영해역의 광역 적조탐지용 부이 시스템 설치 위치 안 .....	76
[그림 4-5] 적조 이동 경로 및 확산 범위 예측 모델 구축 .....	77
[그림 4-6] 양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링 시스템 .....	78
[그림 4-7] 양식장 운용형 적조 탐지 시스템 구성도 .....	79
[그림 4-8] 양식장에서 운용할 가변 수심 소형 음향 탐지 시스템 운용 모식도 .....	80
[그림 4-9] 통영 해역의 연안 양식장용 적조 탐지 시스템 설치 위치 안 .....	80
[그림 4-10] 적조 원인생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명 .....	81
[그림 4-11] 적조 발생 시 양식 어류 피해 저감 연구 방안 .....	83
[그림 4-12] 적조 농도별 양식 어류 폐사 농도 예 .....	84
[그림 4-13] 사업 추진 체계도 .....	94
[그림 5-1] 경제적 타당성 분석 구조 .....	107
[그림 5-2] 해양수산 R&D 예산 추이 .....	115
[그림 5-3] 해양수산 R&D 분야별 투자현황(비중) .....	115

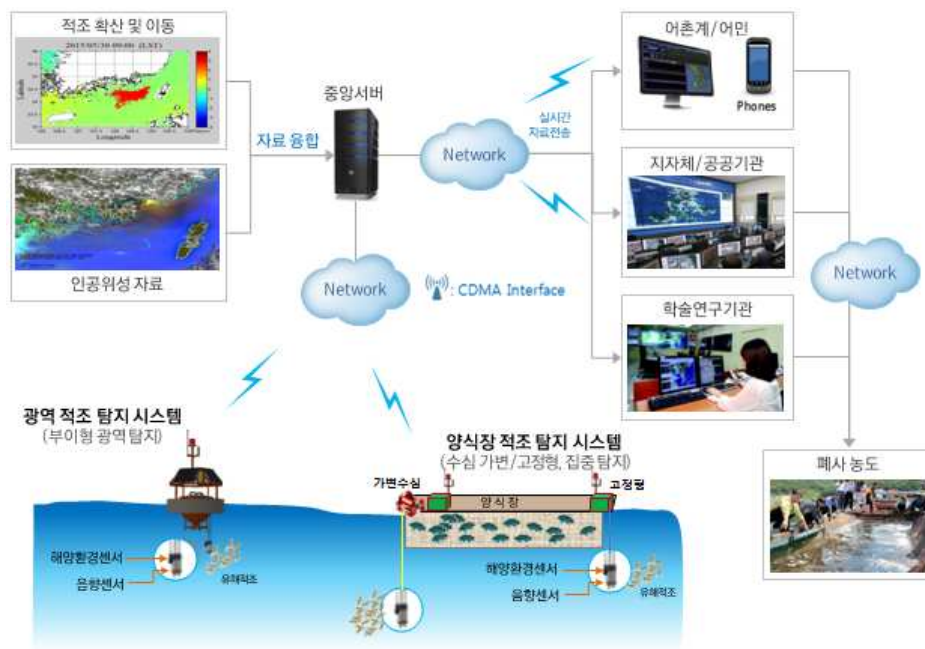
# 요약문

## 1. 사업 목표

매년 발생하는 적조 발생에 의한 막대한 피해 방지를 위한 현실적인 대응 연구

- 적조 탐지 센서 기반의 실시간 적조 유입 해역 및 양식장 적조 탐지
- 적조 확산 모델 기반의 적조 피해 양식장 예측 및 정보 제공
- 적조에 의한 양식어류 폐사 임계치 파악
- 어민-중앙정부-지자체-연구기관 실시간 적조 통합 정보 지원

» 적조에 의한 통영 해역 양식장 피해 최소화를 위한 “관측센서 - ICT 융합 - 적조 실시간 탐지·대응·통합 관리기술 개발” : 양식장 적조 피해 Zero화



## 2. 기술 개발 정의

- 다양한 적조탐지 방법(음향탐지, 해양관측위성, 환경자료 관측, 미세조류 유전자 분석 등)에 기반한 실시간 탐지 기술 개발/활용을 기반으로 한 유해적조 광역 및 양식장 동시 탐지 체계망 구축과 운용을 통하여 적조로 인한 수산피해 저감에 기여

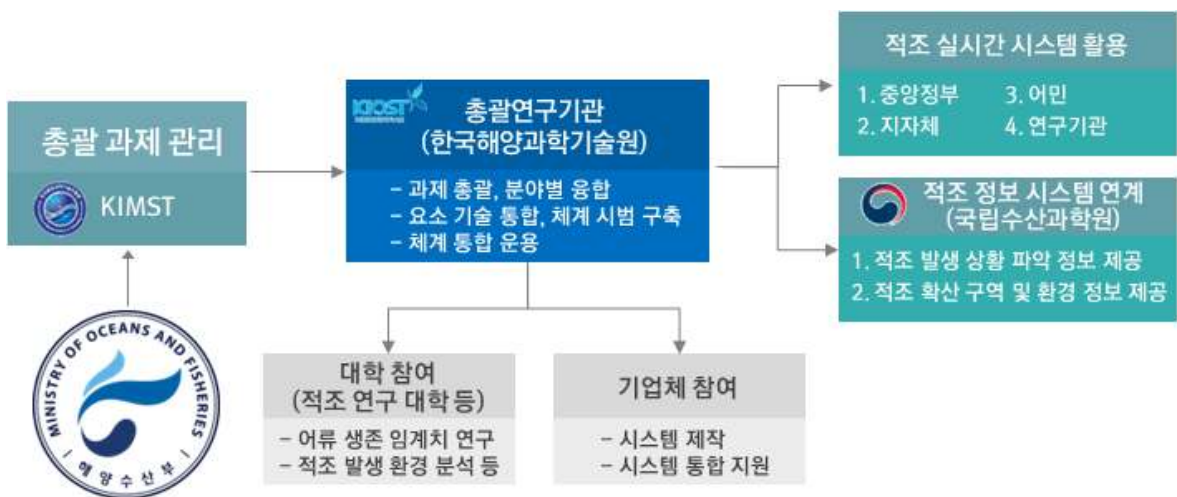
### 3. 기술 개발 목적

- 적조에 의한 통영해역 양식장 피해 최소화 위한 현장센서-ICT 융합-적조 실시간 탐지·대응·통합관리 기술 개발
- 매년 적조 다발생 피해 해역인 통영 해역을 중심으로 적조 피해 최소화를 위한 실시간 탐지 체계 시범 구축 및 운용 기술 확보

### 4. 기술 개발의 필요성

- 매년 적조로 인한 경제·사회적 손실이 발생하는 범국가 해양 재해이나 지금까지는 황토 살포 후속 조치 등 기존 방법으로 대응하였음. 이러한 현실을 극복하기 위하여 적조 번성 이전에 예보할 수 있는 실시간 시스템을 구축하는 것임.
- 적조 대응 방법이 고비용의 인력에 의존하는 정기적인 직접 채집·예찰 수준에서 인공위성, 무인 항공기, 자동 항행장비, 수중음향 센서, 분자 탐침키트 등을 활용한 실시간 감시·예보 체계 구축 및 활용을 위한 요소 기술 활용으로 실시간 감시 및 모니터링 체계 구축 필요함
- 2016년 정부연구개발 투자방향 및 기준( '15.4): ICT를 활용한 대형 재난·재해에 효과적으로 대응하기 위한 선제적 기술 개발
- 해양수산부의 적조 피해 대책에 관한 정책 목표는 적조 대책에 의한 어업 피해 사전 예방 및 피해 최소화
- 시범 해역(통영)에서의 유해적조 실시간 탐지 체계 구축, 적조 발생 해역 환경 분석, 적조의 확산 및 이동 예보, 어민-지자체 실시간 적조 통합 정보 지원 체계 구축을 통해 현실적인 적조 대응책 수립에 활용 필요

### 5. 추진 체계



## 6. 적조 탐지/관리 시스템 구상도



solution



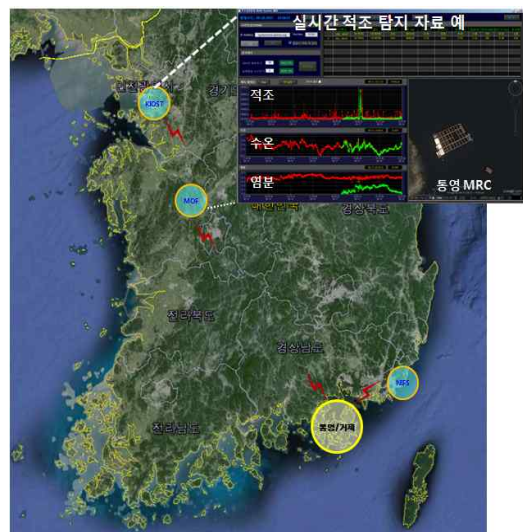
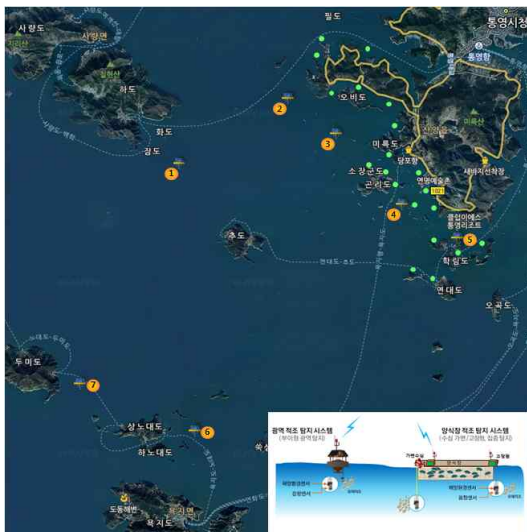
## 7. (통영 시범해역) 실시간 적조 탐지·대응·통합관리 체계 핵심 기술

분류	핵심기술
초기 유입 적조 탐지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 음향 시스템 및 환경 센서 기반의 실시간 탐지 체계 구축 및 운영</li> <li>• 적조 발생 광역 탐지 체계 구축 (고정 관측 체계)</li> <li>• 인공위성 이용 광역 탐지 체계 구축</li> </ul>
적조 이동 경로 및 확산 범위 예측	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경로 역추정 및 입자 모델을 기반으로 한 적조 발생 예측</li> <li>• 적조 광역 탐지 후 양식장 주변 해역으로의 이동 경로 및 (150 m 해상도급, 72시간) 피해 양식장 예측</li> <li>• CP 발생 및 소멸을 포함한 생태계 모델 개발</li> </ul>
양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가두리 운용형 음향/환경 탐지 시스템 적용을 통한 실시간 양식장 적조 탐지 체계 구축</li> <li>• 실시간 적조 탐지 정보 전파 및 가시화 체계 구축</li> <li>• Multi-network 구축을 통한 다중 정보 전파 체계 구축 및 운용 (대어민, 중앙정부 등)</li> </ul>
적조 생물 대응 양식 어류 반응 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적조 농도에 따른 어류 생리 반응 파악/작용에 미치는 영향 파악</li> <li>• 적조 발생시 농도에 따른 양식 어류의 생존 임계치 연구</li> <li>• 적조 발생 환경 분석 및 주야 수직 이동 기작 연구</li> <li>• 적조 생물의 자연 상태와 유사한 대량 배양 기술 개발</li> </ul>



<적조 실시간 탐지·대응·통합관리 체계 핵심 기술 내용>

### 8. 실시간 적조 탐지 시스템 설치 및 정보 제공 시스템(안, 시범해역)



- 적조 이동 주요 해역에 부이 탑재형 음향 센서 네트워크 설치 (적조 확산 입력 변수 측정 체계)
  - 통영시 산양면 일대, 육지도, 사랑도 일대, - 시스템 설치 수량 : 약 7기
- 양식장 기반 집중 탐지 체계
  - 통영시 양식장 일대
  - 시스템 설치 수량 : 약 20기 (교체 여유분 및 타 지역 운용 : 각 약 5기)
- 실시간 적조 탐지 및 확산 자료 등 통합 분석 자료 정보의 최종 활용처 제공 체계 구축 (어민, 중앙정부, 연구소 등)
- IT 기술 접목 개념으로 스마트폰, 개인 PC, 제어 센터 전시실 등 24시간 정보 활용 체계로 Marine IoT (Internet of Things) 적용



## 9. 소요경비

- 약 20억원/년 × 3년 = 총 60억 원

## 10. 경제성 평가

- ‘적조에 의한 통영해역 양식장 피해 최소화’ 라는 고유한 목표를 반영하여 사업 추진으로 인한 피해비용절감 효과 중심의 편익 항목을 설정하고 비용편익분석 (Benefit-Cost Analysis; B/C)을 수행
- 해양수산 분야는 공공성이 매우 강하여 동 사업은 총 사업비 60억 원(국고 100%, 민자 0%)의 예산을 투입하여 3년 간(2017~2019년) 추진할 계획
- 동 사업은 연구개발 및 기반구축 성격이 혼재된 복합 R&D 성격을 띠고 있으며, 연구개발 58.9%, 장비구입 24.0%, 연구관리 및 기타 17.1%의 비율로 예산을 투입
- ‘적조통합관리체계구축사업’ 추진에 따라 소요되는 비용과 편익을 비교하여 동 사업의 경제적 가치를 사회적 또는 거시적 국가 관점에서 파악하였으며, 비용-편익 분석(Benefit-Cost Analysis)을 수행한 결과, B/C ratio는 1.13으로 도출되어, 동 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 분석됨

## 11. 기대 효과

직접적 편익	부수적 효과
<ul style="list-style-type: none"><li>- 실시간 적조 탐지 시스템 체계 구축 및 적조 정보 제공망 구축</li><li>- 양식장 적조 피해액 절감</li><li>- 적조 제거 물질 살포 비용 절감</li><li>- 적조 제거 물질에 의한 생태계 교란 방지</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- 양식 투자 활성화</li><li>- 연안 수산 자원 증대 효과</li><li>- 국가과학기술의 사회 현안 해결</li><li>- 피해 Zero화 기술 적조 피해국 수출</li></ul>

의도적 공백

# 제1장 기획사업 목표 및 필요성

제1절 사업 목표  
제2절 추진 배경 및 필요성



의도적 공백

## 제 1 장 기획사업 목표 및 필요성

### 제 1 절 사업 목표

매년 막대한 피해를 유발하는 적조 피해를 현실적으로 대응하기 위하여 적조 통합 관리 시스템을 구축하여 실시간 탐지, 적조 발생 해역의 환경 및 적조 생물 발생의 생물·생태학적 기작 파악, 어민-지자체 실시간 적조 통합 정보 지원 체계, 양식 어류 보유 및 피해 최소화를 위한 전략을 수행하고자 함.

#### 1. 기술개발 정의

- 다양한 실시간(준 실시간) 적조탐지 방법(음향탐지, 해양 관측위성, 환경 자료 관측, 미세 조류 유전자 분석 등)에 기반한 탐지 기술 개발/활용을 기반으로 한 유해적조 광역 동시 탐지 체계망 구축과 운용을 통하여 적조로 인한 수산 피해 저감에 기여

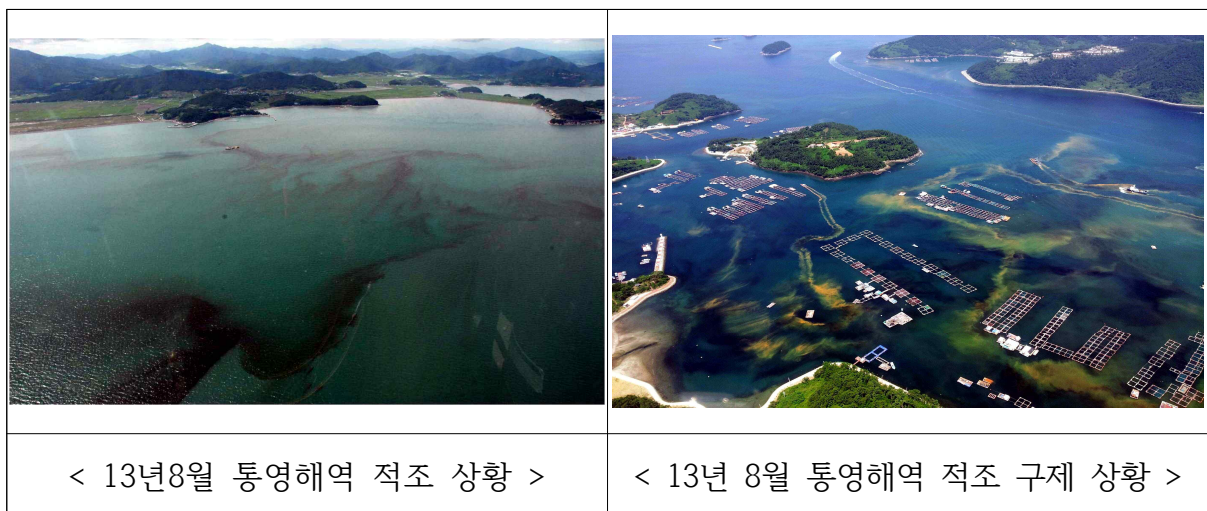
#### 2. 기술개발 목적

- 유해적조 생물의 광역 신속 탐지를 위한 요소 기술(MT-BT-IT-우주기술) 개발과 자료 융·복합을 통한 광역 탐지 체계망 구축 및 운용 기술 개발

### 제 2 절 추진 배경 및 필요성

#### 1. 추진 배경

- 여름철 남해안에서 발생하는 적조는 양식 어류에 막대한 피해를 유발함. 실제 어류 피해는 '95년 764억원, '03년 215억원, '07년 115억원, '13년 247억원, '14년 74억원에 달하며, 방제와 피해 복구 총 비용은 '13년도에만 약 600억원에 달함 (그림 1-1)



[그림 1-1] 2013년 대규모 적조 발생 및 구제 현황 사진

- 매년 하계 시기에 남해안을 중심으로 국가 사회적 중요 현안임을 고려하여 적조 대응을 위한 기초 원천기술 개발 연구가 '00년~' 12년 약 225억원 규모로 진행되었으나 아직까지 문제 해결에는 실패함 (그림 1-2)

### "물고기 다 떠오르는데 그랜 나도 죽고 싶더라고요"

**바 통영어촌 임철복 씨**

2013년 8월 24일 새벽 3시에, 통영시 신항리 오메도 해역에 있던 그의 가두리 양식장으로 적조가 밀려들었다. 새벽 6시는 온통 붉은색이었다. "물고기 다 떠오르는데 그랜 나도 죽고 싶더라고요." 그는 20년째 통영시 신항리 오메도 해역에 있는 그의 가두리 양식장을 돌며 적조 피해를 겪어왔다. "물고기 다 떠오르는데 그랜 나도 죽고 싶더라고요." 그는 20년째 통영시 신항리 오메도 해역에 있는 그의 가두리 양식장을 돌며 적조 피해를 겪어왔다.

그해 8000만 원 정도 보상을 받고서 고심 끝에 적조 가두리를 버리고 광부 보로 70%를 받아 풀리케양(광부) 가두리로 다시 시작했다.

그해 양식장이 있는 수역에는 수로가 총 6수역이 있다. 대부분이 배양에 연관되고 육지 인근에서 양식이 행하지만 매년 적조가 비껴가지 않는 해역이었다.

그리고 지난해 여름엔, 그의 양식장으로 다시 적조가 밀렸다. 통영시와 군위에 협력한 그는 적조 11만 여마리를 5000여마리씩 건급 받았는데, 나

머지는 살아있다고 확인을 후리고 물고기를 만들었지만 1만 5000마리가 죽어갔을 것이라는 것을 2년째 지켜봐왔다.

"말할데지 그랜 죽고 싶습쇼냐고." 그리고 다시 여름에 왔고 여름이 적조가 출현했다. 2년 연속 적조에 당한 그는 적조에 당하는 수백과 같은 정도로 아픈까지 바꾸고 싶어하고 싶었다.

제도 제도 안 하나 생각 지레를 배웠다. 무수히 수 있다 생각한 그는 지난 4월 풀리케양 가두리양식장을 고장난 것을 알았다. 가두리를 300 정도 위주로 양식한 것이다. 양식 물리고자 적조를 예방하고, 온 물고기도 살리자는 생각이었다. 제 1해역이 멀어 가라 바다 상해를 감시하고 2해역이 보초를 두며 300여 마리의 가두리를 돌고 걷는다.

"적조 제을 가두리를 돌긴 것이다. 양식을 하는 다른 통영에서 아저니

고 전후가 한다. 수만 번을 걱정할 지만 물고기가 다 죽어가고 물고기가 죽어갈 때다. 다 건장해지고 생장해진다."

그는 "가두리를 돌릴 수 있는 해역이 넓어져 있다. (1)양 물고기 새끼가 인양한데 물을 채어 먹이들이 없게 물고기가 먹이를 찾지 못해 죽어가고 있다. 물고기를 돌리는데 물고기가 죽어가고 있다. 물고기를 돌리는데 물고기가 죽어가고 있다. 물고기를 돌리는데 물고기가 죽어가고 있다."

하지만 통영 어촌 임철복(55·사천) 씨의 삶은 적조를 피해라고 고갈되어 갔다. 그는 "그해 양식장이 없게 되니 생계도 어렵다. 제 1해역이 멀어 가라 바다 상해를 감시하고 2해역이 보초를 두며 300여 마리의 가두리를 돌고 걷는다."

"적조 제을 가두리를 돌긴 것이다. 양식을 하는 다른 통영에서 아저니

4월 24일 새벽 3시에 3000여 마리의 가두리 양식장에 적조가 밀려들었다. 새벽 6시는 온통 붉은색이었다. "물고기 다 떠오르는데 그랜 나도 죽고 싶더라고요." 그는 20년째 통영시 신항리 오메도 해역에 있는 그의 가두리 양식장을 돌며 적조 피해를 겪어왔다.

그해 8000만 원 정도 보상을 받고서 고심 끝에 적조 가두리를 버리고 광부 보로 70%를 받아 풀리케양(광부) 가두리로 다시 시작했다.

그해 양식장이 있는 수역에는 수로가 총 6수역이 있다. 대부분이 배양에 연관되고 육지 인근에서 양식이 행하지만 매년 적조가 비껴가지 않는 해역이었다.

그리고 지난해 여름엔, 그의 양식장으로 다시 적조가 밀렸다. 통영시와 군위에 협력한 그는 적조 11만 여마리를 5000여마리씩 건급 받았는데, 나

### 황토 살포·가두리 이동·방류...할 수 있는 건 다 한다

올 6월 총천 27만 3000여 마리의 가두리 양식장에 적조가 밀려들었다. 새벽 6시는 온통 붉은색이었다. "물고기 다 떠오르는데 그랜 나도 죽고 싶더라고요." 그는 20년째 통영시 신항리 오메도 해역에 있는 그의 가두리 양식장을 돌며 적조 피해를 겪어왔다.

그해 8000만 원 정도 보상을 받고서 고심 끝에 적조 가두리를 버리고 광부 보로 70%를 받아 풀리케양(광부) 가두리로 다시 시작했다.

그해 양식장이 있는 수역에는 수로가 총 6수역이 있다. 대부분이 배양에 연관되고 육지 인근에서 양식이 행하지만 매년 적조가 비껴가지 않는 해역이었다.

그리고 지난해 여름엔, 그의 양식장으로 다시 적조가 밀렸다. 통영시와 군위에 협력한 그는 적조 11만 여마리를 5000여마리씩 건급 받았는데, 나

[그림 1-2] 적조 발생 관련 피해 사례 언론 보도

- 우리나라의 적조는 1961년 진해 부근의 진동만에서 적조가 목격된 이래, 1995년부터 급격하게 적조 발생이 증가하게 되는데 이는 매년 남해안과 동해안에서 발생하고 있는 *Cochlodinium polykrikoides* (*C. polykrikoides*)에 의한 적조가 주를 이루었으며 이로 인해 양식어장에 큰 피해를 입히고 있음
- 전 세계적으로 적조에 대한 기초 연구뿐만 아니라 적조 발생 조기 예보 및 대책 등에 대한 국가의 지원은 실로 막대함. 국내에서는 환경 및 산업에 막대한 영향을 끼치는 적조를 없애려는 여러 가지 과학적인 접근이 시도되고 있으나, 현재 실용화된 기술은 황토 이용 기술 이외에 아직 현장에서 만족할 만한 결과를 얻지 못하고 있음. 따라서 적조의 발생 후 조치를 강화하는 기술의 개발과 더불어 적조 조기 경보 대책을 마련하는 것은 필수적이라고 하겠음
- 이와 같이 연중 지속적으로 막대한 경제적 손실을 야기하는 적조를 예방하기 위해서는 유해조류의 출현 양상을 지속적으로 확인하여야 하나, 현미경을 이용하여 유해조류를 관찰하고, 이들의 출현양상을 모니터링 하는 것은 전문적인 기술자가 많은 시간을 조사하여 저밀도에서 유해조류의 출현 여부를 확인하기 때문에 과거의 기술을 기반으로 유해조류 예보 시스템을 구축하는 것은 불가능함

- 10 -

## 2. 연구개발 대상 기술의 필요성

- 우리나라의 경우 매해 적조로 인한 경제적 손실이 엄청난 것이 사실임. 그럼에도 불구하고 지금까지는 황토 살포 후속 조치 이외에 우리가 할 수 있는 일은 거의 없었음. 이러한 현실을 극복하기 위하여 유해조류의 번성 이전에 예보할 수 있는 시스템을 구축하는 것임. 예보 시스템을 통하여 양식장에서 키우고 있는 어족자원의 피해를 최소화 할 수 있을 것임
- 적조 대응 방법이 고비용의 인력에 의존하는 정기적인 직접 채집·예찰 수준에서 인공위성, 무인항공기, 자동항행장비, 수중음향센서, 분자탐침키트 등을 활용한 실시간 감시·예보 체계 구축 및 활용을 위한 요소 기술 활용으로 실시간 감시 및 모니터링 체계 구축 필요함
- 효과적인 양식 어류 피해 방지 대책으로 해수부는 '13년부터 '적조 발생해역 양식어류 긴급방류 지침' 을 시행하고 있으나, 현장에서는 적조에 의한 어류 폐사를 방지하기 위한 어류 방류 시점을 실시간으로 정확히 판단할 수 있는 과학적 기준이 필요함
- 어민이 운용중인 양식장 주변 해역에서의 실시간 적조 발생 정보, 해양 환경 정보, 유입 및 이동 정보 등임. 그러나 현재의 채수 및 목시 관측에 의한 자료는 시간 지연, 광역 자료, 주간 자료 등에 기반하기 때문에 어민의 요구와는 상당한 차이가 발생함
- 시범 해역(통영)에서의 유해적조의 실시간 탐지 체계 구축, 적조 발생 해역의 환경 분석, 적조의 확산 및 이동 예보, 어민-지자체 실시간 적조 통합 정보 지원 체계, 양식 어류 보호 및 피해 최소화를 위한 최적 방류 전략 등을 수행하고자 함

의도적 공백





## 제2장 적조 통합 관리체계 구축 개요

제1절 적조 통합 관리체계 제안 배경 및 목적

제2절 실시간 적조 탐지를 위한 통합 관리체계 핵심 기술



의도적 공백



## 제 2 절 실시간 적조 탐지를 위한 통합 관리체계 핵심 기술

### 1. 적조 실시간 탐지·대응·통합관리 체계 핵심 기술 내용 (그림 2-2)

분 류	핵심기술
초기 광역 탐지 기술	인공위성을 이용한 적조 탐지 기술
	무인 항공기 및 무인 선박을 이용한 적조 발생 조기 탐지 기술
	실시간 적조탐지 음향시스템을 이용한 광역 적조 발생 탐지 기술
적조 확산 예측	물리/생태계 자료 기반 72시간 적조 이동 예측 시스템 개발
양식장 대상 적조 정밀 탐지 기술	음향탐지 시스템을 이용한 양식장 대상 적조 농도의 실시간 모니터링 개발
	유전자 기술을 이용한 실시간 적조 검출 키트 개발
	형광 검출 기술을 이용한 실시간 적조 검출 키트 개발
	스마트폰 기반 광학탐지 시스템을 이용한 적조 농도 실시간 정밀 모니터링
적조생물의 발생 기작 연구	적조 원인생물의 집적, 수직 일주 운동 연구
	적조 원인생물의 생리·유전학적 발생연구
	적조 생물과 타 생물(포식자)간의 관계 및 신규 적조생물 발생 연구
양식어류 피해 저감 기술 개발	해양 가두리 양식장 이송 기술
	적조 생물 농도별 양식어류 생리반응 연구
	서식 수심 조절을 통한 양식어류 피해 저감 기술



[그림 2-2] 실시간 적조 탐지를 위한 통합 관리체계 핵심 기술 내용

의도적 공백

## 제3장 국내 · 외 연구개발 현황

- 제1절 적조 정의 및 적조예보 발령 기준
- 제2절 연대별 적조 발생 현황
- 제3절 통영해역의 적조 발생 양상
- 제4절 적조 대응 기술 기술동향 조사
- 제5절 유해적조 모니터링의 국외 연구 동향
- 제6절 적조관련 연구의 국내 연구 동향
- 제7절 핵심 기술별 세부 연구 동향



의도적 공백



## 제 3 장 국내·외 연구개발 현황

## 제 1 절 적조 정의 및 적조 예보 발령 기준

## 1. 적조의 정의

- 해양에서의 적조 현상은 해양 생태계의 물리·화학적 환경의 변화로 인하여 기초생산자인 식물플랑크톤 및 원생생물, 남조류와 같은 미생물 등의 특정 종에 대한 대량증식을 유발하여 해수의 색깔을 변색시키며 다른 생물에 해를 끼치는 현상
- 전 세계적으로 약 5,000여 종의 해양 미세조류 중 약 300여 종이 적조를 일으키는 것으로 알려져 있으며 이러한 유독 미세조류의 대발생은 인간 활동 및 환경의 변화에 따라 더욱더 증가하고 있음 (Anderson, 1989; Hallegraeff, 1993; Sournia, 1995)

## 2. 적조 예보 종류 및 발령 기준 (국립수산과학원 기준, 표 3-1)

[표 3-1] 국립수산과학원의 적조 예보 종류 및 발령 기준

종류	규모	적조생물 밀도(개체/mL)	비고
적조 생물 출현 주의보	적조 생물의 출현 밀도가 증가하여, 적조발생 가능성이 예상될 때	○ 편조류 : 종의 세포 크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> spp: 1,000 이상 - <i>Cochlodinium polykrikoides</i> : 10 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp.: 200 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 500 이상 - 기타 편모조류 : 10,000 이상 ○ 규조류 : 20,000 이상 ○ 혼합형 : 편조가 50% 이상 때 20,000 이상	국립수산과학원장은 적조 생물의 특성이나 해황에 따라 피해가 우려될 경우 적조 규모 및 밀도에 관계없이 적조 예보를 발령할 수 있음
적조 주의보	반경 2~5 km (12~79km <sup>2</sup> ) 수역에 걸쳐 발생하고 어업 피해가 우려 될 때	○ 편조류 : 종의 세포 크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> spp: 2,500 이상 - <i>Cochlodinium polykrikoides</i> : 100 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp.: 500 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 1,000 이상 - 기타 편모조류 : 30,000 이상 ○ 규조류 : 50,000 이상 ○ 혼합형 : 편조가 50% 이상 때 40,000 이상	적조 규모와 밀도는 현지 상황과 적조 생물에 따라 변할 수 있음  국립수산과학원장은 적조의 진행과 변화 정보 (유해종의 출현, 이동 확산)의 전파 및 어업 피해 방지에 관한 조치가 필요할 때 적조 속보를 발령할 수 있음
적조 경보	반경 5 km (79km <sup>2</sup> ) 이상 수역에 걸쳐 발생하여 상당한 어업 피해가 예상 될 때	○ 편조류 : 종의 세포 크기와 독성도에 따라 결정 - <i>Chattonella</i> spp.: 5,000 이상 - <i>Cochlodinium polykrikoides</i> : 1,000 이상 - <i>Gyrodinium</i> sp.: 2,000 이상 - <i>Karenia mikimotoi</i> : 3,000 이상 - 기타 편모조류 : 50,000 이상 ○ 규조류 : 100,000 이상 ○ 혼합형 : 편조가 50% 이상 때 80,000 이상	국립수산과학원장은 적조의 진행과 변화 정보 (유해종의 출현, 이동 확산)의 전파 및 어업 피해 방지에 관한 조치가 필요할 때 적조 속보를 발령할 수 있음
적조 해제	적조가 소멸되어 어업 피해 위험이 없고 수질이 정상 상태로 회복했을 때		

3. 적조 발생 단계별 세부 조치 요령 (해양수산부)

○ 평상시

- ▷ 적조 예찰 및 동태 파악 등 적조 조기 발견 및 감시체계 운영(국립수산과학원, 수산기술사업소 등)
- ▷ 적조 동태를 유관기관 및 어업인에게 통보(국립수산과학원, 수산기술사업소 등)
- ▷ 적조 피해 예방 및 어장관리요령 등에 대한 어업인 홍보 및 교육(국립수산과학원, 수산기술사업소 등)
- ▷ 적조 피해 방지 세부시행계획 수립시행(도, 시·군)
- ▷ 황토 확보와 집하 장소, 살포 요령 등 홍보(시·군)
- ▷ 기동 지원반 편성(주관: 시·군, 협조: 수산기술사업소, 수협 등)
- ▷ 육상 수조식 및 해상 가두리 시설 등 적조 피해 방지 시설의 준비 상태 점검 및 지도(수산기술사업소, 시·군)

○ 적조 발견 시

- ▷ 헬기, 항공 감시 등 적조 감시망을 가동, 적조 변동 상황을 매일 감시
- ▷ 적조 발견 시 즉시 계통보고 [도, 수산기술사업소(시·군, 수협 등) → 국립수산과학원 → 해양수산부]
- ▷ 적조 생물, 밀도, 분포 범위 등 발생 상황 조사 및 분석 통보(국립수산과학원) [적조 생물 분류 전문가와 협조 체제 구축, 적조 생물 독성 및 농도별 폐사 여부 등 조사, 조사 결과를 수시 수산기술사업소, 도, 시·군, 수협 기타 유관 기관에 통보]
- ▷ 적조 확산 및 수산 피해 우려 시 즉시 적조 특보 발령 및 홍보(국립수산과학원) [수산기술사업소, 시·군, 수협, 보도 기관을 통해 홍보 실시]
- ▷ 필요시 황토 살포 등 적조 구제 조치(도, 시·군)

○ 적조 주의보 발령 시

- ▷ 발령 해역 및 확산 우려 해역에 공무원 담당구역 조기 배치, 적조 동태 파악 및 현장 지도 활동 강화(수산기술사업소 등)
- ▷ 선박 기동 예찰 및 항공 감시를 통해 적조 확산 및 이동 상황 파악(주관: 국립수산과학원, 협조: 수산기술사업소, 도, 해경, 시·군, 수협 등)
- ▷ 어촌계, 수산기술사업소, 시·군, 수협 등 유관 기관에 신속 통보
- ▷ 적조 대책위원회를 소집, 유관기관 및 단체와 협조, 총동원에 대비(주관: 도, 시·군, 협조: 국립수산과학원, 수산기술사업소, 해경, 지방 환경청 등)
  - 유관 기관의 협조 사항 및 기관별 역할 점검
  - 유관 기관 합동 기동 예찰 및 방제 대책 점검·동원이 가능한 인력 및 장비 시설 점검, 즉시 동원 태세 완비
- ▷ 어업인, 유관기관 등 합동으로 황토 살포 등 적조 방제 실시
- ▷ 양식장 관리 지도 강화
  - 양식어장 주변의 수층별 적조생물 분포 파악 및 지도(수산기술사업소)

- 양식생물의 예비 수조 등 분산 수용시설 확보 및 시설 분산 준비(수산기술사업소, 시·군)
- 상품 가치가 있는 것은 선별 출하 시도(수산기술사업소, 시·군)
- 필요시 황토 살포 및 적조 분산 작업 등으로 적조 생물 구제 조치(시·군, 수협)
- 어장 관리 요령에 따라 담당공무원, 연구원, 유관 기관 인력을 총동원, 피해방지 지도(국립수산과학원, 수산기술사업소, 시·군 등)

▷ 육상 수조식 양식장

- 취수구 주변 적조 생물을 수층별로 채집 적조 농도가 낮은 층에서 취수
- 해수 여과 시설, 산소 공급시설 등 장비 점검 및 가동
- 액화 산소 및 고체 산소를 충분히 비치하여 취수 중단에 대비
- 사료 공급량 조절 또는 예비 수조에 양식 생물 분산
- 적조 생물 농도에 따라 환수 중단 또는 환수량 조절
- 예비 사육수 최대한 비축·야간에는 가능한 취수를 억제하고, 액화산소 및 산소 발생기 등을 이용하여 산소공급
- 환수 중단 시 순환 트랙식 수조 등을 이용, 사육수 순환 및 산소 공급 등

▷ 해상 가두리, 수하식 양식장

- 소규모 적조 발생 시 어장 유입 전에 황토 살포
- 이동 가능한 양식 생물 및 시설을 안전 해역으로 이동
- 적조 생물의 진행 상황에 따라 필요시 시설물 수층 조절
- 사료 공급량 조절 또는 중단
- 선박(스크루)활용 적조 생물 분산 및 유입 방지 등

○ 적조 경보 발령 시

- ▷ 어업인, 수협, 수산기술사업소, 연구소, 도, 시·군 등 유관기관의 인력과 장비를 총동원 피해 최소화(주관: 도, 시·군, 협조: 국립수산과학원, 수산기술사업소, 해경, 수협 등)
  - 기동 지원반 현장 투입
  - 적조 방제를 위한 황토 살포( $m^2$ 당 200~400g)
- ▷ 적조 확산 범위 진행 상황, 영향권 등을 매일 파악 통보(국립수산과학원, 수산기술사업소 등)
  - 헬기 등 항공 감시, 선박의 상주 조사 등 24시간 감시
- ▷ TV, 라디오, 신문 등 홍보 매체를 이용, 적조 생물 밀도, 진행 상황, 피해 상황, 어장 관리요령 등 계속 보도 및 홍보지도(주관: 국립수산과학원, 수산기술사업소, 협조: 도, 시·군, 수협 등)
- ▷ 어장 관리 요령에 따른 피해 방지 지도(주관: 국립수산과학원, 수산기술사업소, 협조: 시·군, 수협 등)
- ▷ 육상 수조식 양식장
  - 유해성 적조 발견 시 먹이 공급 중단 또는 급이량 조절
  - 가능한 어장 주변 적조 유입 전 오전 6~7시경 먹이 공급 완료

- 적조로 장기간 절식할 경우 어체 약화로 어병 발생률 높으므로 사료에 영양제와 혼합 급여
- 어류 사육 밀도를 낮추고 예비 수조에 분산 수용 등
- ▷ 해상 가두리, 수하식 양식장
  - 선박 등을 활용 양식장 주변 적조 생물 분산 및 산소 주입
  - 유해적조 어장 유입 시 먹이공급 중단
  - 적조 생물 밀도에 따라 사료 공급 조절
  - 중간 종묘 등 시설 이동 가능 시 안전 수역 또는 육상 수조 등으로 양식 생물 이동 수용
  - 수심 조절 가능 시설은 5m 이심 수층으로 침하 등 수심 조절
  - 주간 적조 생물 부상 시간에 황토 살포
  - 어류, 전복, 우렁챙이 등 육상종묘 배양장의 유희 시설에 임시 수용 등
- 적조 피해 발령 시(주관: 도, 시·군, 협조: 국립수산과학원, 수산기술사업소, 수협 등)
  - ▷ 도, 시·군, 수산기술사업소, 수협 등 합동 피해 조사
  - ▷ 적조 대책반을 통한 피해 집계 및 지원 대책 강구
  - ▷ 폐사 생물의 신속한 제거 등 2차 오염 방지
  - ▷ 중앙정부의 지원 대책 강구(해양수산부)

## 제 2 절 연대별 적조 발생 현황

## 1. 우리나라 연대별 적조 발생 추이

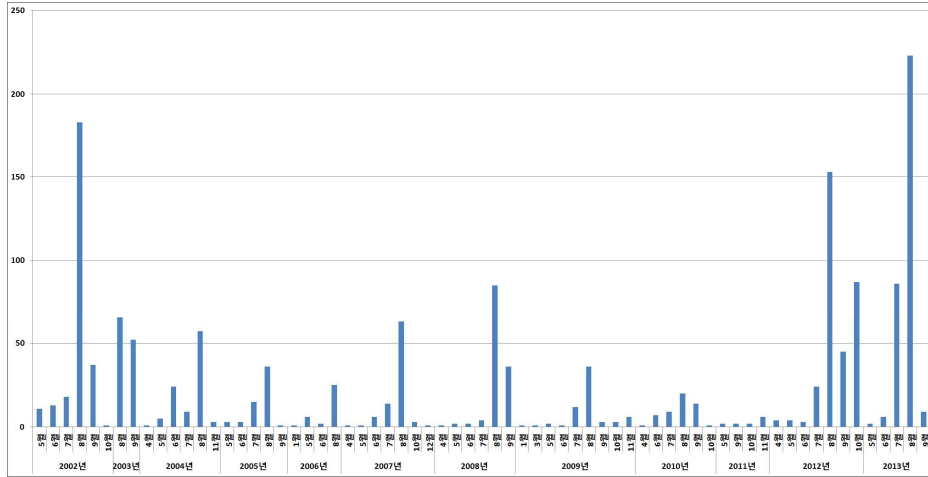
- 연대별 주요 적조 출현 양상은 1960년대에서 *Nitzschia seriata*와 *Thalassionema nitzschioides*가 주요 출현종이었으며, *Leptocylindrus danicus*와 *Skeletonema* 속은 1970년대부터 1980년대까지 지속적으로 출현하는 무해 적조종임 (그림 3-1)
- 주 유해적조종인 와편모조류의 출현 양상은 1960년대부터 2000년대까지 *Ceratium fusus*와 *C. furca*가 지속적으로 출현하고 있었음
- 1970년대에는 *Gonyaulux* sp.와 *Prorocentrum micans*가 주요 출현종으로 보고 되었음
- 1980년대에는 *C. tripos*와 *Gymnodinium* spp., *Prorocentrum* spp.가 주요 출현종이었음
- *Prorocentrum triestinum*은 1990년대부터 2000년대에 출현양상이 높아졌으며, *Scrippsiella trochoidea*와 *Cochlodinium polykrikoides*은 2000년대에 출현 양상이 점차적으로 증가하고 있음. 특히 여름철 고밀도 적조가 발생하고 있음 (그림 3-1)

분류군	1960년대	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대
규조류	<i>Nitzschia seriata</i>				
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>				
		<i>Leptocylindrus danicus</i>			
		<i>Skeletonema species complex</i>			
			<i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Chaetoceros</i> spp.
와편모조류	<i>Ceratium furca</i>				
	<i>Ceratium fusus</i>				
		<i>Gonyaulux</i> sp.			
			<i>Ceratium tripos</i>		
			<i>Gyrodinium</i> spp.		
		<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Prorocentrum</i> spp.		
				<i>Prorocentrum triestinum</i>	
					<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
					<i>Scrippsiella trochoidea</i>

[그림 3-1] 1960~2000년대 문헌 조사에서 조사된 연대별 주요 적조종의 출현 변동

2. 2000년대 이후 적조 발생 추이

- 2002년 5월부터 2013년 9월까지 총 1566회 적조 발생이 보고됨. 대부분의 적조발생은 하계(6~8월)부터 추계(9~11월)에 집중적으로 발생함 (그림 3-2)

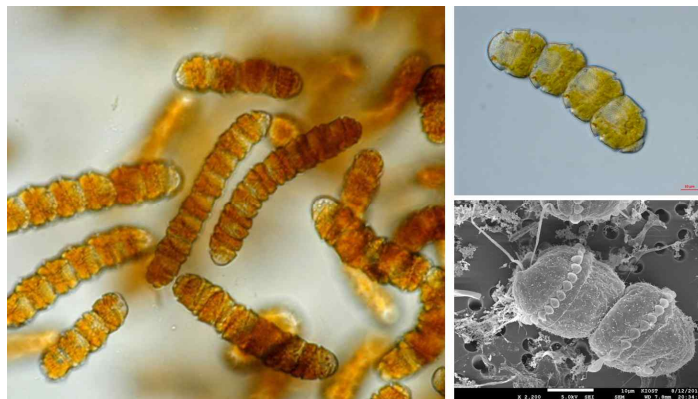


[그림 3-2] 2000년 이후 연도별, 월별 적조발생 현황 (2002년 5월~2013년 9월)

- 해역별로 남해에서 총 1,362회의 적조가 발생하였으며, 동해에서 118회가 보고되었음. 분류군별로 와편모조류가 남해에서 1,261회의 적조 보고가 있었으며, 주요 적조종은 *Cochlodinium polykrikoides*를 비롯한 *Prorocentrum* spp., *Noctiluca* spp., *Akashiwo sanguinea*, *Cochlodinium* sp., *Gonyaulax* sp., *Scrippsiella trochoidea*, *Ceratium* spp., *Heterocapsa* spp., *Alexandrium* spp., *Katodinium glaucum*, *Gymnodinium* sp.임

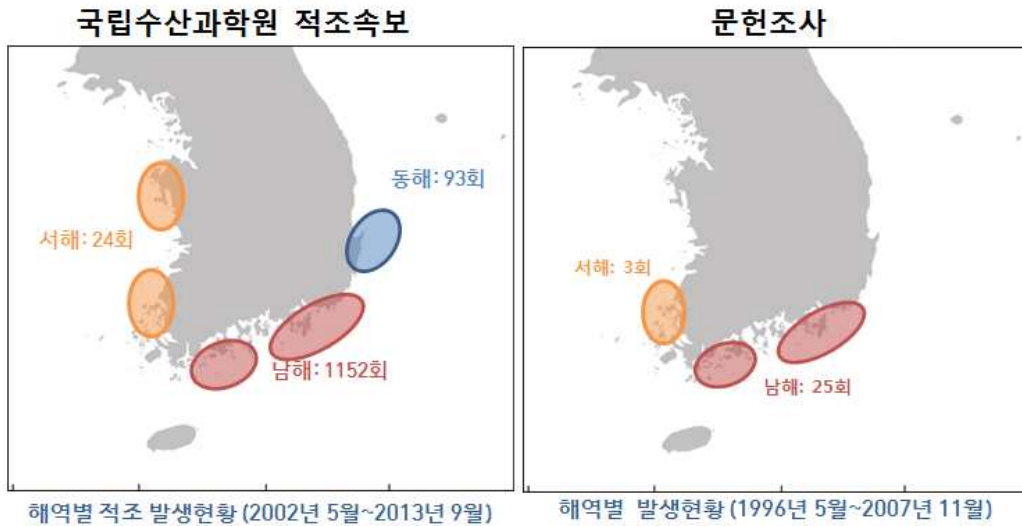
3. *Cochlodinium polykrikoides* 적조

- 세포 길이가 30~40  $\mu\text{m}$ , 폭은 20~30  $\mu\text{m}$ 이며 무각류로 크기가 작고 타원형의 외형을 갖추고 있음. 황구는 깊게 파여 있으며, 몸통의 1.8-1.9를 회전하며, 세포 길이의 3/5정도 어긋나있음. 세포는 단독성 혹은 사슬형의 군체를 이룸 (그림 3-3)



[그림 3-3] *C. polykrikoides*의 형태학적 특징

- 본 종은 온대 및 열대해역에서 주로 출현하며, 우리나라에서는 대개 늦 여름철부터 가을에 대규모 적조를 형성하며, 독성을 가지고 있어 어패류에 막대한 영향을 줌
  - ▷ *C. polykrikoides*은 적조속보 조사에서 2,714회, 문헌 조사에서 28회 보고 되었으며, 대부분 하계(6~8월)에 집중적으로 관찰됨. 또한 남해안에 집중적인 적조 발생을 하는 것으로 확인됨(그림 3-4)

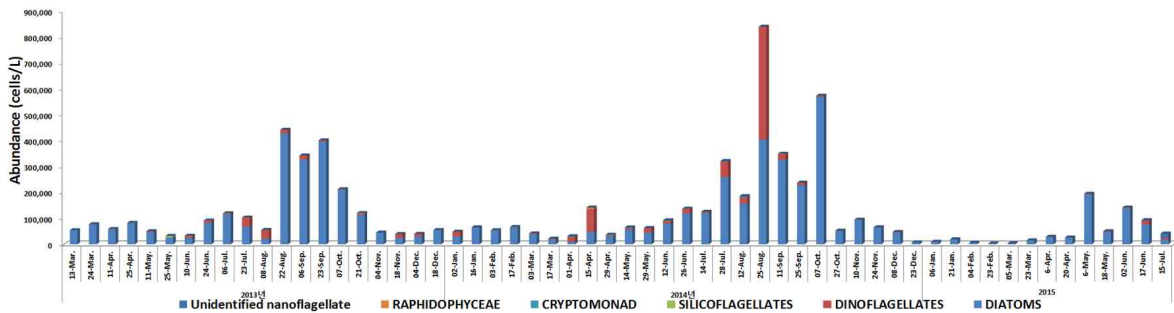


[그림 3-4] *C. polykrikoides*의 해역별 적조발생 현황

### 제 3 절 통영해역의 적조 발생 양상

#### 1. 통영해역의 적조 발생 양상

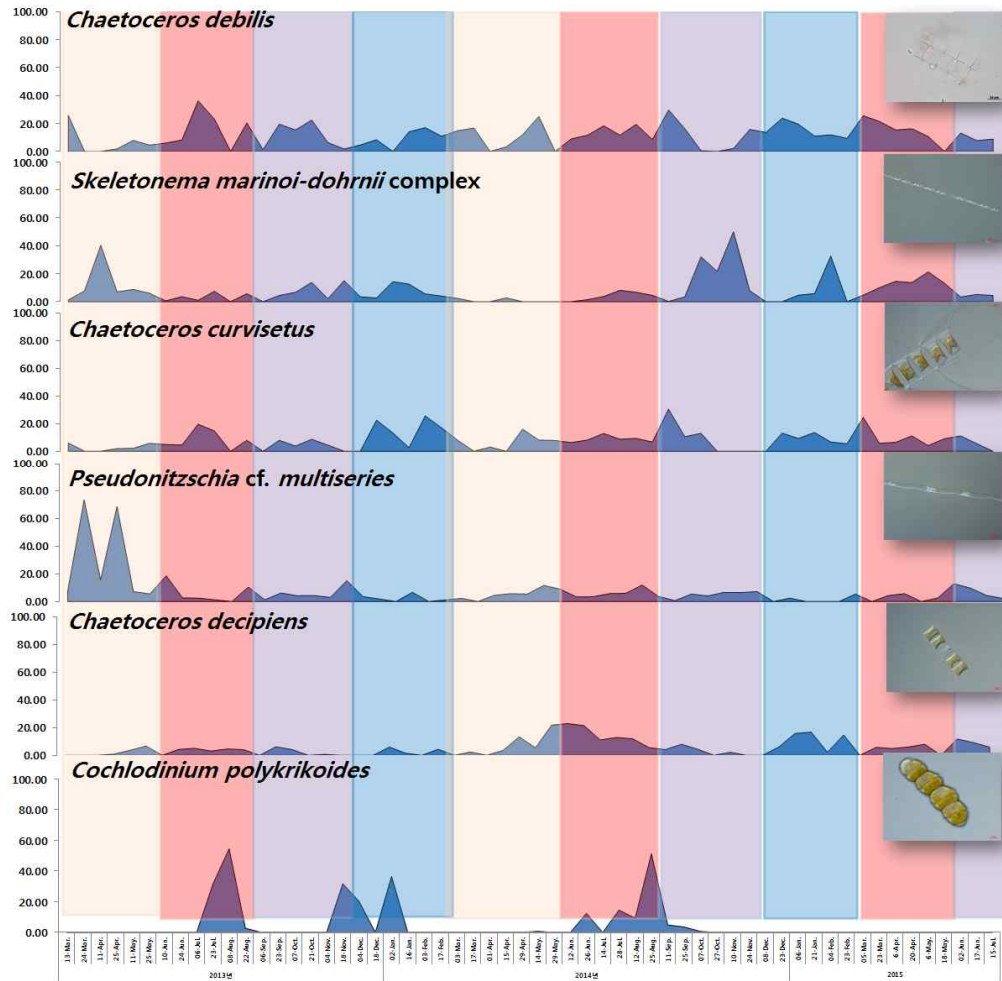
- 한국해양과학기술원에서 수행한 “해양생태계 구조변동 진단 현장적용 기술개발” 연구 사업은 격주 간격으로 통영해역에서 적조 발생 양상을 관찰하였음
- 2013-2015년 조사된 식물플랑크톤 군집은 저수온기에 규조류가 가장 많은 출현을 하였으며, 여름철(고수온기)에 적조 생물이 높은 빈도로 출현함(그림 3-5)
- 특히 *C. polykrikoides* 적조는 하계(7-8월)부터 가을(9-10월)까지 집중적으로 개체 수 및 비율이 증가하는 경향을 보임(그림 3-5)



[그림 3-5] 2013~2015년 통영해역에서 식물플랑크톤 군집 변동

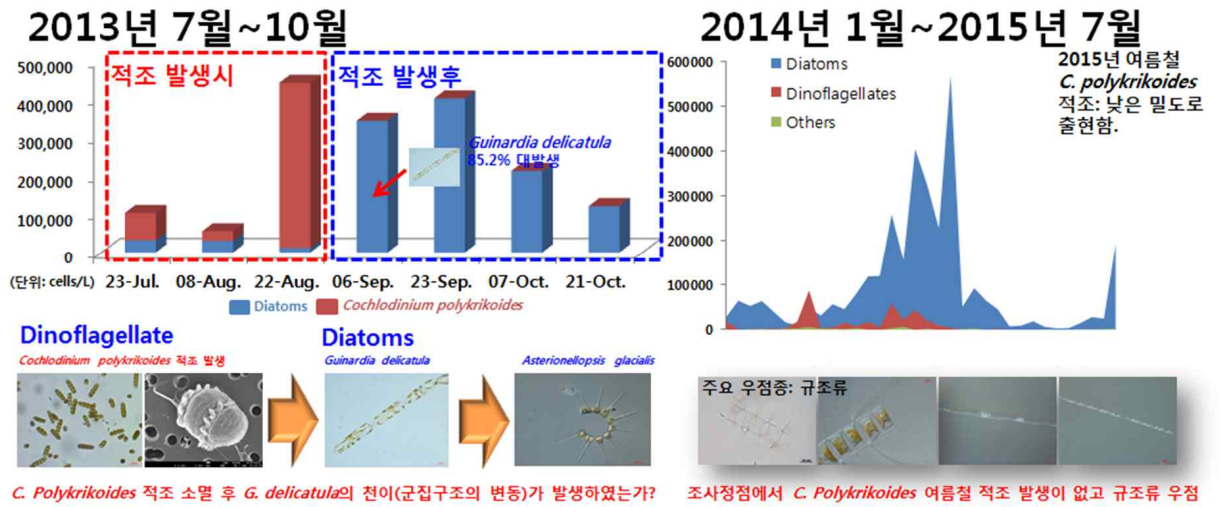
- 통영해역에서 출현한 식물플랑크톤 주요종 (상위 5%이상)은 *Chaetoceros debilis*, *Pseudo-nitzschia cf. multiseriis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros decipiens*, *Skeletonema marioni-dohrnii* complex species임 (그림 3-6)
- 2013년 여름철에 대단위 적조를 발생하였던 *C. polykrikoides*는 2014~2015년에는 전체 개체 수에 5% 미만의 출현율을 보였음
- 2014~2015년도의 *C. polykrikoides* 적조는 본 조사 정점인 통영 내만이 아닌 외해와 거제도에 대단위 적조가 발생하여 지역적 발생의 차이를 보였음
- 표층과 저층의 주요 종은 큰 차이는 없었으나 표층에는 *C. polykrikoides*가 출현한 반면, 저층에는 *Paralis sulcata* 및 *Leptocylindrus danicus*가 출현하였음



통영해역에서 식물플랑크톤 주요종 (>5%) 및 *C. polykrikoides*

[그림 3-6] 2013~2015년 통영해역에서 출현한 식물플랑크톤 주요 종 및 *C. polykrikoides* 발생

- 2013년 여름철 *C. polykrikoides* (Dinoflagellates) 대단위 적조 발생하였음. 특히, 2013년 *C. polykrikoides* 적조 소멸 후 규조류 *Guinardia delicatula* 단일종 대발생이 천이됨(전체 개체수의 85.27%) (그림 3-7)
- 2013년 적조 소멸 후 규조류의 급격한 증가 원인은 *C. polykrikoides* 적조를 구제하기 위한 막대한 양의 황토 살포 → 황토내 유기/무기물이 해역내 용출 + 적조 소멸 후 식물플랑크톤 군집 천이 → 규조류가 기회종으로 대량 번식으로 판단됨
- 2015년 *C. polykrikoides* 출현은 2014년도와 같이 간헐적인 적조가 발생하였음



[그림 3-7] 2013~2015년 통영해역에서 *C. polykrikoides* 출현 양상

## 제 4 절 적조 대응 기술 동향 조사

## 1. 분석 데이터베이스 및 검색 범위

- 검색 DB로 WIPSON 및 국회도서관, RISS, Google 학술 검색을 사용하였으며, 2015년 10월까지 출원 공개된 한국, 미국, 일본, 유럽 특허 및 논문과 2015년 10월까지 출원 등록된 한국, 일본, 유럽, 중국, 미국 등록특허를 분석 대상으로 함 (표 3-2)

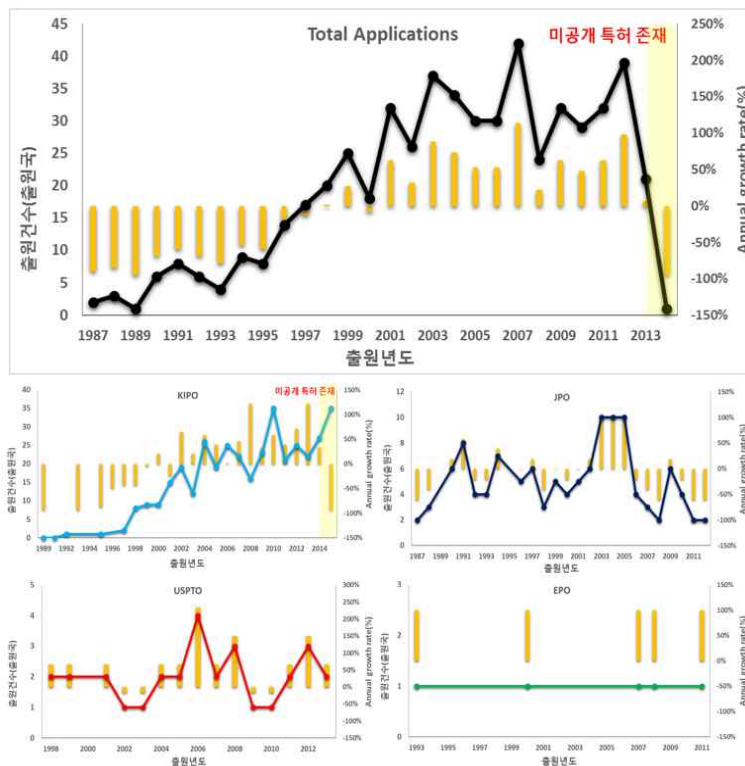
[표 3-2] 적조 대응기술 기술동향 파악을 위한 기술 분류

대분류	중분류	소분류
융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보/방제 기술 개발	적조 생물 및 적조 독소 신속 검측	화학적 방법을 이용한 신속 진단 방법
		물리적 방법을 이용한 신속 진단 방법
		적조 예보/방제 장비 및 기술
	주요 고정점 적조의 모니터링을 위한 기술	경보시스템 개발
		예측시스템 개발
		이미지 분석을 통한 자료의 가시화
위성영상 및 모델링을 동원한 적조 띄 변동 예측 등의 기술 수준 분석	위성을 이용한 적조 띄 변동 예측 등의 기술 수준 분석	
	모델링을 이용한 적조 띄 변동 예측 등의 기술 수준 분석	
	적조 띄 변동 예측 기술의 자동화	
현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술 개발	양식장 시설	양식장 주변해역의 수질 개선 및 오염 방지 시스템
	수처리 시설	적조 방지를 위한 해수 여과방법 및 수질정화제 개발
	황토 응용기술	적조 방지제로 활용되는 황토의 응용 방법 및 장치
	기타 적조 저감기술	어민 피해 최소화를 위한 적조 분산 방법
고효율, 친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제기법 개발	해양 원생생물을 이용한 적조 방제 기법	적조생물 생리 생태 및 유해성 연구를 통한 적조 제어 기술
	해양 미생물을 이용한 적조 방제 기법	환경 친화적 생물소재를 이용한 적조피해 저감 기술
	살조능을 가진 미생물의 확보	원인생물의 성장을 억제시키는 생물의 종류 및 적용방법
	미생물/원생생물 등의 부산물을 이용한 적조 방제 기법	천적 생물을 이용한 원생생물 증식 억제 및 제거 기술
	규조류의 휴면 포자를 이용한 적조 방지	해양 미생물 및 원생생물의 이차산물을 이용한 적조 방제 기법
기타	적조 바이오매스 수확 후 이용기술	미세조류를 이용한 바이오연료 제작
	적조생물 배양 설비	적조원인생물 및 원생 생물성 포식자 대량 배양 장치

2. 전체 특허 동향 분석

○ 주요 시장국 연도별 특허 출원 동향

- ▷ 적조 대응기술 개발 분야의 연도별 동향을 살펴보면, 1987년부터 특허 출원이 시작되었으며, 현재까지 꾸준히 출원되고 있음 (그림 3-8)
- ▷ 한국은 1994년대 중반부터 꾸준한 출원 증가를 보이며 현재까지 지속적인 출원을 이어나가고 있으며, 미국은 1997년대부터 점진적으로 출원하고 있는 것으로 나타났음. 일본은 1987년대 말부터 꾸준히 출원을 이어나가고 있으나 최근 출원이 약간 감소하고 있는 것으로 나타났음. 유럽은 특허 건수가 적고 그 빈도수가 매우 적은 것으로 나타남

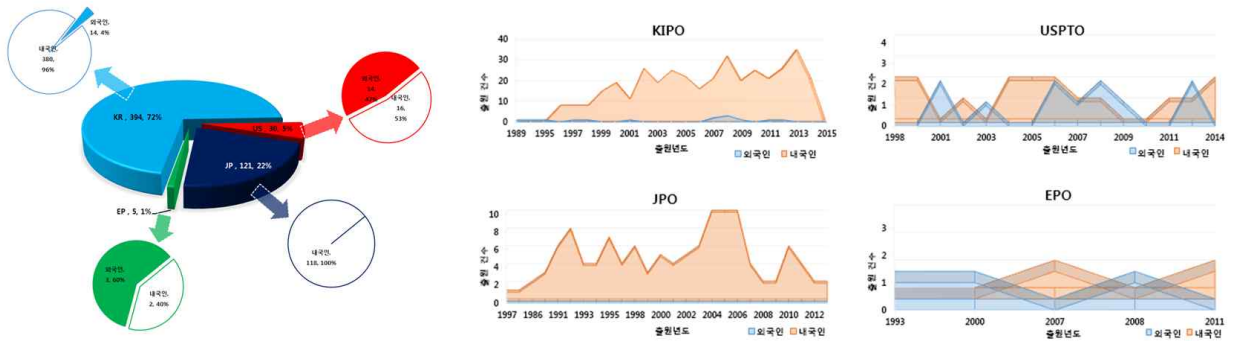


※ 특허는 출원 후 일정기간 경과후 공개되는 특성상, 최근 데이터는 반영되지 못하였기 때문에 출원건수가 감소하는 것으로 나타나지만, 실제로 출원건수가 감소한 것은 아님

[그림 3-8] 주요시장국 연도별 특허 출원 동향

○ 주요 시장국 내·외국인 특허 출원 현황

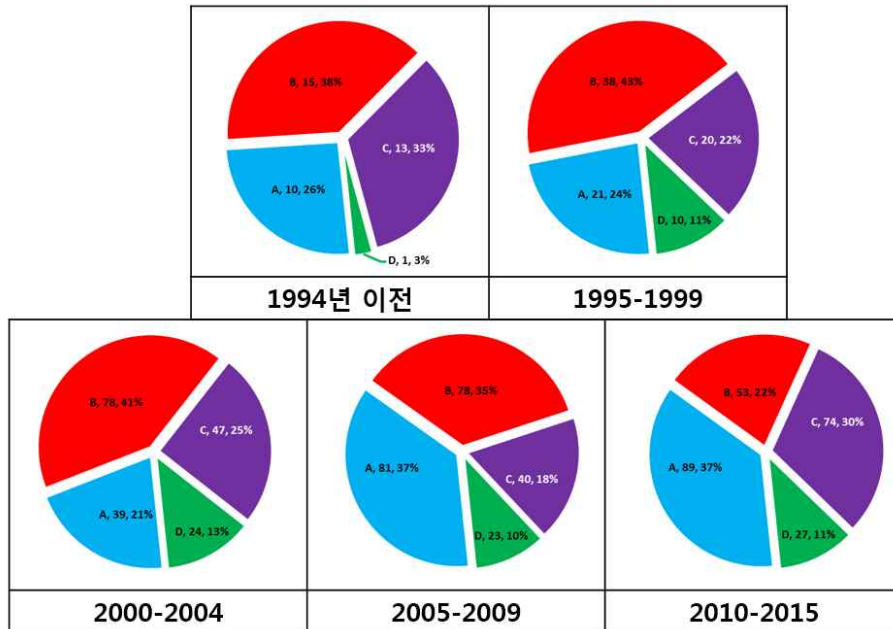
- ▷ 주요국 특허청의 특허 출원 현황을 보면, 한국이 전체 특허 출원의 72%를 차지하고 있어 이 분야의 특허 출원이 가장 많으며, 일본도 22%를 차지하고 있어 두 번째로 많은 특허가 출원되어, 적조 대응 기술은 한국과 일본에서 절대적으로 많이 출원되었음 (그림 3-9) 출원인의 구성을 살펴보면 한국과 일본은 내국인의 비율이 대단히 높은 것으로 나타나 내국인들에 의하여 기술 개발이 주도되고, 특히나 일본의 경우 유효 특허의 100%가 내국인이 출원한 것을 알 수 있음



[그림 3-9] 주요시장국 내·외국인 특허 출원 현황

○ 연도별 기술 동향

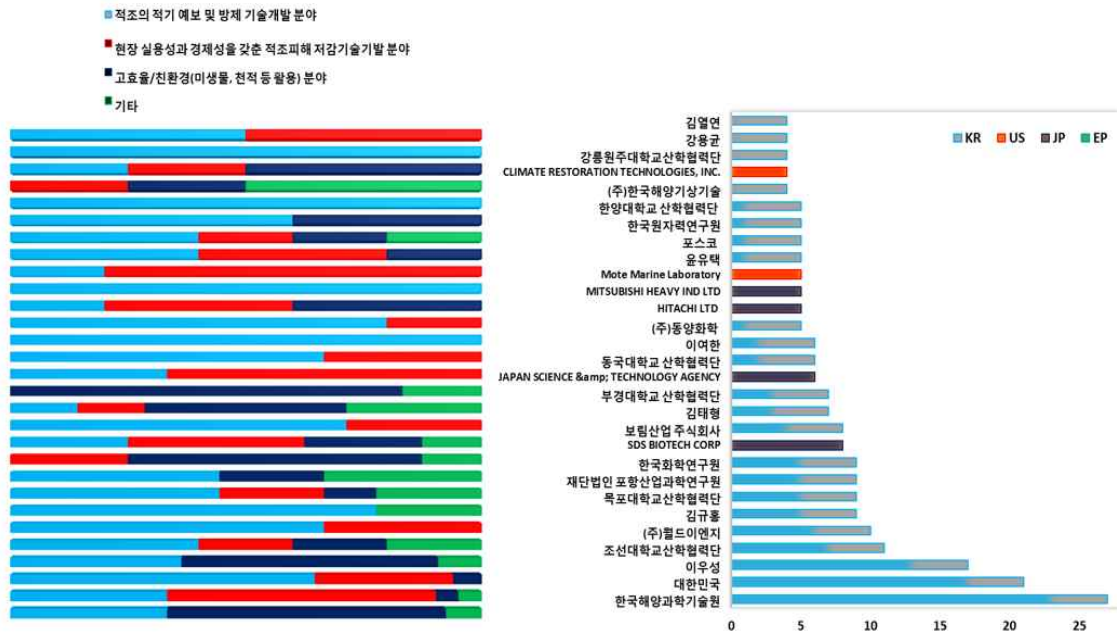
- 기술 분야별 특허 출원 비율을 살펴보면, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술 기발 분야가 가장 많은 33%를 차지하고 있으며, 적조의 적기 예보 및 방제 기술개발 분야가 31%로 두 번째로 많은 특허가 출원되었으며, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 분야의 특허는 25%를 차지하며 마지막으로 기타 부수적인 기술과 관련된 특허는 11%로 나타남 (그림 3-10)
- 1994년 이전부터 2004년도 까지는 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술 기발 분야가 가장 많은 점유율을 보였으나 2005년부터 최근까지 적조의 적기 예보 및 방제 기술 개발 분야와 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 분야의 점유율이 늘어나는 것으로 나타남



[그림 3-10] 연도별 특허 기술 동향

○ 다출원인의 기술별 특허 출원 동향

- 한국, 미국, 일본 및 유럽에 특허 출원된 건에 대해 주요 출원인 별 특허 활동 현황을 살펴보면, 주요 출원인 1위부터 9위까지는 모두 한국 국적의 출원인으로 한국해양과학기술원의 출원된 건수가 27건으로 가장 많은 특허를 보유하고 있음. 즉, 적조 대응 기술과 관련하여 한국해양과학기술원이 가장 선도해 나가고 있는 것으로 파악됨 (그림 3-11)



[그림 3-11] 다출원인의 기술별 특허 출원 동향

3. 세부 기술별 특허 동향 분석

○ 적조 예보 및 방제 기술

- ▷ 한국은 1996년대 초반부터 출원이 시작되어 꾸준하고 지속적인 출원을 진행 중이며 최근까지 출원이 증가하고 있음. 미국도 1999년부터 출원이 발생한 것으로 나타났으나, 출원 건수가 많지는 않은 것으로 조사됨. 일본은 1986년도부터 가장 먼저 예보 및 방제 분야에 대한 출원을 시작하였으며 최근 출원이 없는 것으로 판단됨
- ▷ 적조 예보 및 방제 분야의 주요국 특허청의 특허 출원 현황은 한국이 전체 특허 출원의 절반이 넘는 81%를 차지하고 있어 이 분야의 특허 출원이 가장 많으며, 대부분의 출원인이 한국 국적을 소유한 것으로 보아 적조 대응을 위한 예보 및 방제 관련 기술은 한국이 가장 앞서고 있는 것으로 예상됨
  - 한국: 적조 생물 및 적조 독소 신속 검출을 위하여 장비 및 기술(AAC)과 관련된 개발 분야가 가장 넓은 시장을 확보하고 있으며, 뒤를 이어 위성을 이용한 적조 띄 변동 예측 등의 기술(ACA)분야, 물리적 방법을 이용한 적조 진단 방법(AAB) 개발 분야 순으로 나타났음
  - 미국: 적조 예측 시스템 개발(ABB) 및 이미지 분석을 통한 자료의 가시화, 모델링을 이용한 적조 띄 변동 예측 등의 기술 분야가 공백으로 나타났

음. (다만, 이는 특허 출원과 관련된 데이터 분석일 뿐, 미국에서는 현재 HABSOS시스템(Harmful Algal Blooms Observing System) 등과 같은 유해조류 관찰 프로그램이 널리 사용되고 있음)

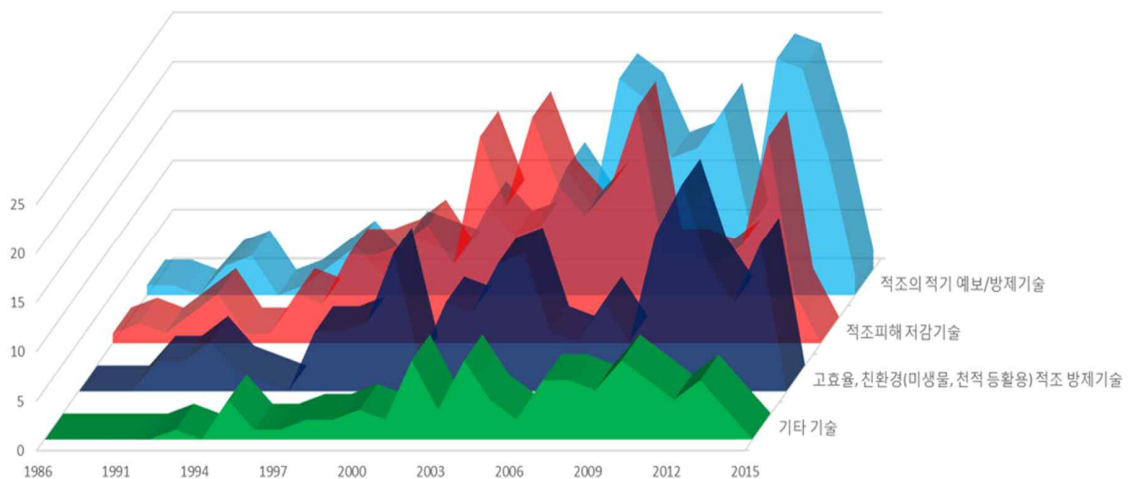
- 일본에서는 화학적 방법을 이용한 적조 진단(AAA)분야- 적조 예측 기술의 자동화(ACC)분야가 공백으로 나타났음

○ 고효율/친환경(미생물, 천적 등 활용)기술

▷ 한국은 1995년대 중후반부터 꾸준한 출원 증가를 보이고 있는 것으로 나타남. 미국은 1998년대 특허 출원이 이루어졌으며, 큰 변화나 특이사항 없이 매년 1건 내지 2건의 특허를 출원하는 것으로 나타남. 일본은 1991년대부터 꾸준히 출원이 진행되었으며, 1999년대 이후 출원이 급증하였으나 최근 출원이 약간 감소하고 있는 것으로 나타남. 이는 일시적인 현상일 수도 있으므로 향후 동향을 살펴봐야 정확한 판단 가능할 것으로 생각됨

▷ 고효율/친환경 기술분야의 주요국 특허청의 특허 출원 현황을 보면, 한국이 전체 특허 출원의 절반이 넘는(60%)을 차지하고 있어 이 분야의 특허 출원이 가장 많은 것으로 조사됨. 그 뒤를 이어 일본이 32%, 미국이 6%, 유럽이 2% 순으로 특허가 출원된 것으로 조사됨

○ 적조 대응기술과 관련하여 기술 분야별 출원 건수를 비교하여 변화 추이를 나타내는 그래프로써, 특허의 경우 융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술개발, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술 개발, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기법 개발, 기타 기술 분야 모두 특허 출원이 계속 증가하는 경향을 보이고 있음 (그림 3-12)



[그림 3-12] 분야별 특허 동향 경향성

4. 전체 논문동향 분석

○ 주요시장국 연도별 논문 출판동향

- ▷ 적조 대응 기술 개발 분야의 연도별 출판 동향을 살펴보면, 1973년부터 출판이 시작되었으며, 꾸준히 출판되다가 2003년부터 최근까지 출판이 감소하는 것으로 나타났다. 국내 출판은 1973년 최초로 출판된 후 국외와 비교하여 낮은 출판율을 보이다가 1996년 이후 급증하여 2006년도까지 높은 출판율을 보였으나 2007년 이후 감소하는 경향을 보이며, 국외 출판의 경우 1992년부터 출판되어 지속적인 출판이 진행되다가 2002년 이후 감소하는 경향성을 보임

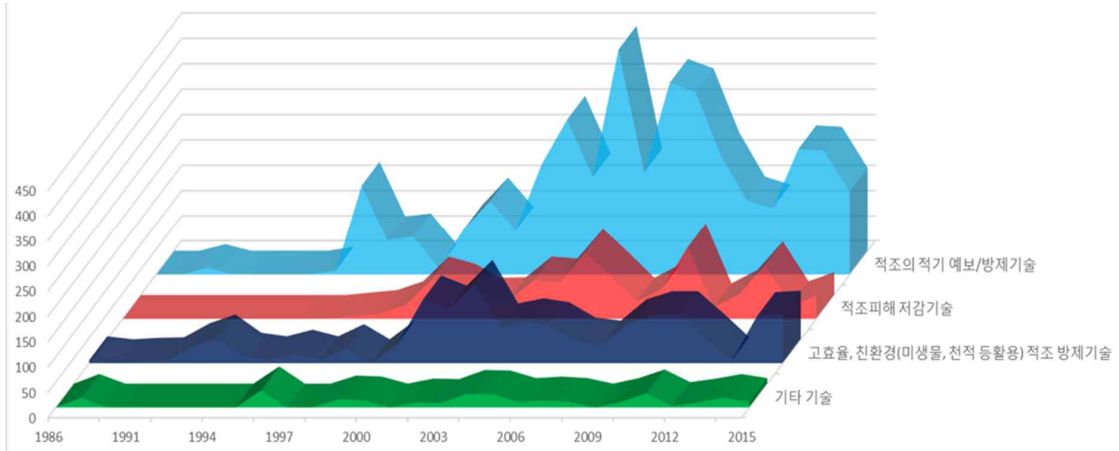
○ 연도별 기술 동향

- ▷ 1994년 이전에는 적조의 적기 예보 및 방제 기술개발 분야, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술 개발 분야, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 분야의 점유율이 비슷하게 출판되어 균일한 개발 추이를 보임. 1995년부터 1999년도에는 적조피해 저감 기술 개발 분야의 출판 점유율이 1994년 이전보다 약 20% 급증하는 경향성을 보임
- ▷ 2000년부터 최근까지는 적조의 적기 예보 및 방제 기술개발 분야가 약 60% 이상의 출판 점유율을 유지하여 가장 집중적으로 개발이 이루어지는 분야로 나타났다. 그 뒤를 이어 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 분야, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술 개발 분야의 출판 점유율이 높으며, 그 외 기타 기술 분야의 출판율은 4%로 현재까지 미진한 것으로 조사됨
- ▷ 국내에서는 적조의 적기 예보 및 방제 기술 분야가 전체 출판 건수의 60%로 가장 넓은 시장을 확보하고 있으며, 그 뒤를 이어 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 기술 분야가 약 17%로 동등한 수준의 시장을 확보하고 있음
- ▷ 기타 기술 분야는 4% 수준으로 가장 좁은 시장을 확보하고 있으나, 향후 잠재성이 있는 기술로 향후 지속적으로 논문이 출판될 것으로 파악됨
- ▷ 국외에서 또한 최대의 시장을 확보하고 있는 기술 분야는 적조의 적기 예보 및 방제 기술 분야로 약 58%의 점유율을 가짐. 그 뒤를 이어, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용)기술 분야가 28%, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술 분야가 10%이며, 가장 좁은 시장은 기타 기술 분야로 나타남

○ 분야별 논문 변화 경향성

- ▷ 적조 대응기술과 관련하여 기술 분야별 출판건수를 비교하여 변화 추이를 나타내는 그래프로써, 논문의 경우 융복합 과학기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술 분야가 월등한 성장세를 보이고 있는 것으로 나타나, 특허와 비슷한 경향성을 보임(그림 3-13)
- ▷ 반면, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감기술, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기법, 기타 기술 분야는 현재까지 출판 비율이 미비하나 2002년 이후 꾸준히 증가하는 경향성을 보임

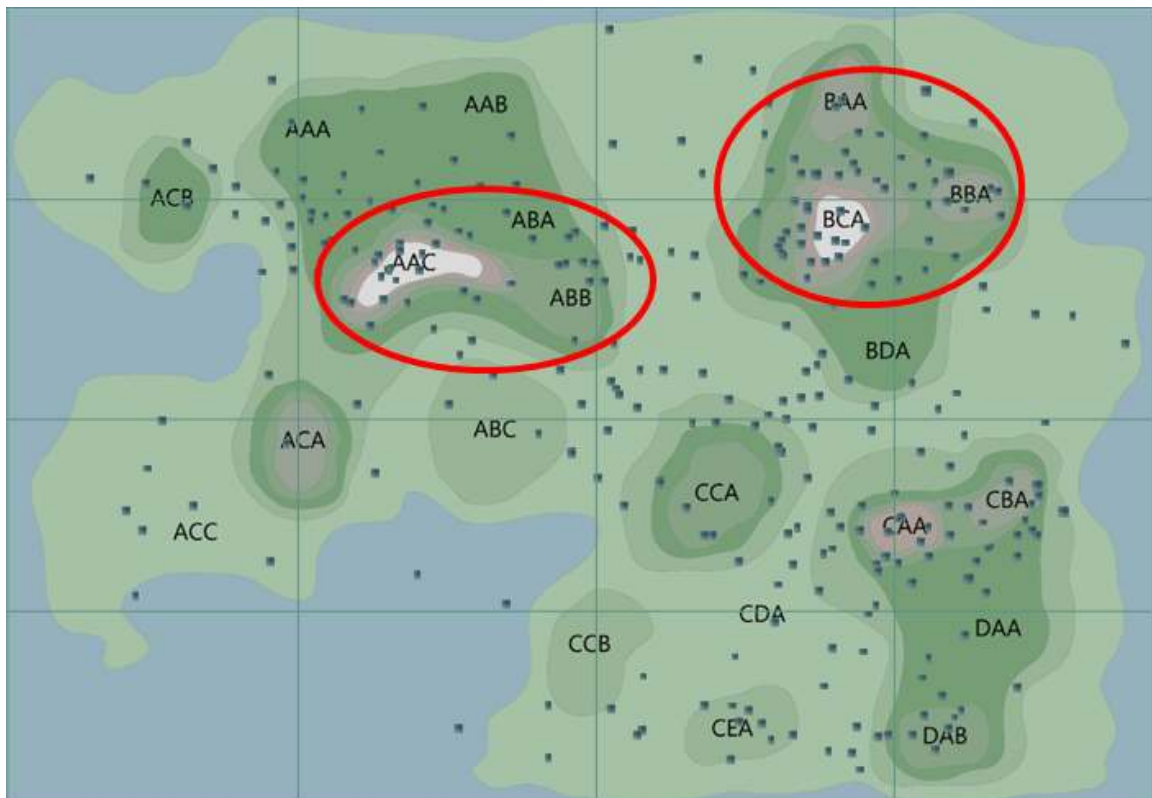




[그림 3-13] 분야별 논문 변화 경향성

5. 기술 분포도

- 적조 대응 기술과 관련하여 세부 기술별 전체 기술 분포도를 살펴본 결과, 적조의 적기 예보 및 방제 기술, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술이 균집을 이룬 것으로 나타났으며, 특히 적조 생물 및 적조 독소 신속 검측을 위하여 장비 및 기술(AAC)와 적조 피해 저감 기술과 관련하여 황토를 이용한 기술(BCA)의 경우 등고선 고도가 높고 밀도 EH한 조밀하여 관련 특허 및 논문 수가 많고 그 관련성 또한 높다는 것을 유추 가능함. 상대적으로 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 기술 분야 및 기타 기술 분야의 개발 활동이 저조한 것으로 나타남



[그림 3-14] 전체 기술 분포도

6. 결론 및 시사점

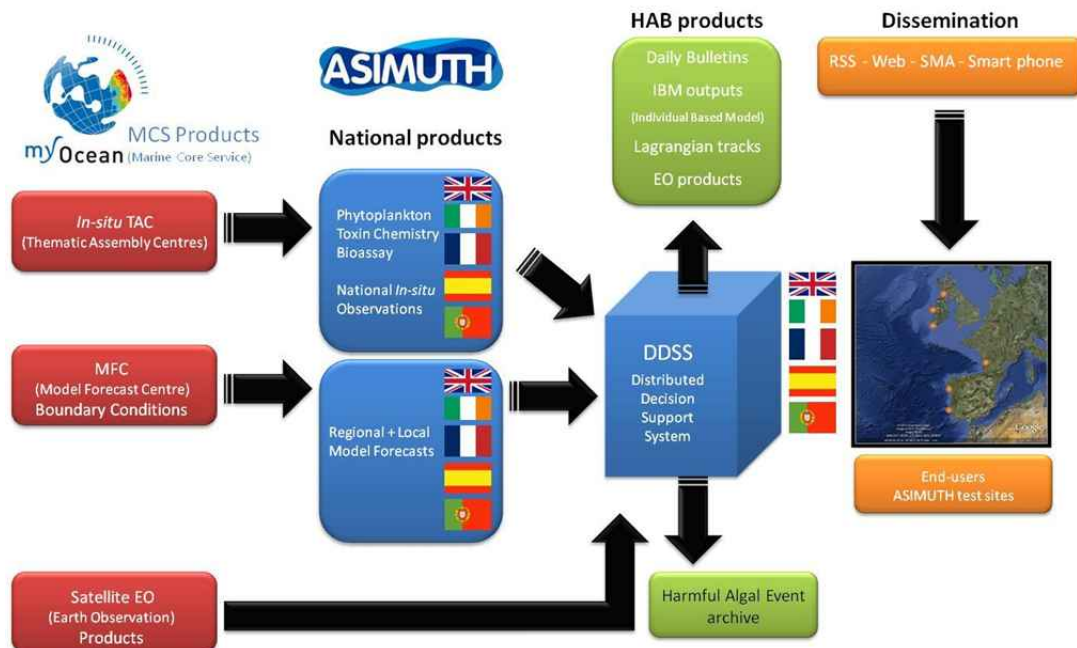
- 적조 대응기술 분야의 연도별 특허동향을 살펴보면, 1987년대부터 특허 출원이 시작되어, 현재까지 꾸준히 출원되고 있으며, 이와 같은 기술 동향은 한국의 특허 출원 동향에 크게 편중하고 있음. 그 뒤를 이어 적조 대응 기술 분야 출원의 초창기부터 현재까지 꾸준한 출원율을 보이고 있는 국가는 일본이며, 미국의 경우 특허건수가 적고 출원 건수의 증감이 있으나 꾸준히 출원되고 있는 것으로 나타남. 반면, 유럽의 경우 기타 국가에 비해 그 출원이 매우 미비한 것으로 나타남
- 연도별 기술 동향에서는 융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조피해 저감 기술, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기술, 기타 기술 분야 모두 특허 출원이 계속 증가하는 경향을 보이고 있으며, 특허 출원 건수는 융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술개발, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술 개발, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기법 개발, 기타 기술 분야의 순으로 나타남
- 초기에는 융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술 개발 분야의 특허가 출원되기 시작하였고, 점차 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기술 분야의 특허가 출원되면서 현재 세 가지 기술 분야가 균형 있게 출원되고 있으며, 최근 바이오 연료나 유효 추출물들의 배양을 위한 기술을 포함한 기타 기술의 출원이 차츰 늘어나고 있는 것으로 나타남
- 한국에서는 융복합 과학 기술을 이용한 적조의 적기 예보 및 방제 기술, 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술, 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용) 적조 방제 기술, 기타 기술 분야 모두에서 균일하게 출원되고 있으며, 일본은 한국과 비교하여 그 출원 건수가 절반 수준이지만 전 분야에서 고르게 출원이 이어지고 있고, 미국은 상대적으로 현장 실용성과 경제성을 갖춘 적조 피해 저감 기술의 출원이 적으며, 유럽은 전반적인 적조 대응 기술의 출원 건수가 미비한 것으로 나타남. 상위 30개 다 출원인 중, 한국 국적의 출원인이 24개로 80%를 차지하고 있어 적조 대응기술 관련하여 한국이 가장 선도해 나가고 있는 것으로 예상됨
- 적조의 적기 예보 및 방제 기술 분야는 한국이 전체 81%를 차지하여 이 분야의 특허 출원이 가장 많았으며, 적조 생물 및 적조 독소 신속 검측을 위하여 장비 및 기술(AAC)분야가 가장 넓은 시장을 확보하고 있으며, 뒤를 이어 위성을 이용한 적조 띄 변동 예측 등의 기술(ACA)분야, 물리적 방법을 이용한 적조 진단 방법(AAB) 개발 분야 순으로 나타났음
- 적조피해 저감 기술 분야의 주요국 특허 현황은 한국이 전체 84%를 차지하고 있어 이 분야의 특허 출원이 가장 많아 적조 피해 저감 기술 또한 한국이 가장 앞서고 있는 것으로 예상되며, 이와 관련하여 황토를 이용한 기술(BCA) 분야가 가장 넓은 시장을 확보하고 있으며, 뒤를 이어 적조 방지를 위한 해수 여과 방법 및 수질 정화제 개발(BBA) 분야, 양식장 주변 해역의 수질 개선 및 오염 방지

기술(BAA)분야, 어민 피해 최소화를 위한 적조 분산 기술(BDA) 분야 순으로 타나났으며, 한국의 시장 확보력이 전반적인 부분에 골고루 큰 것으로 나타남

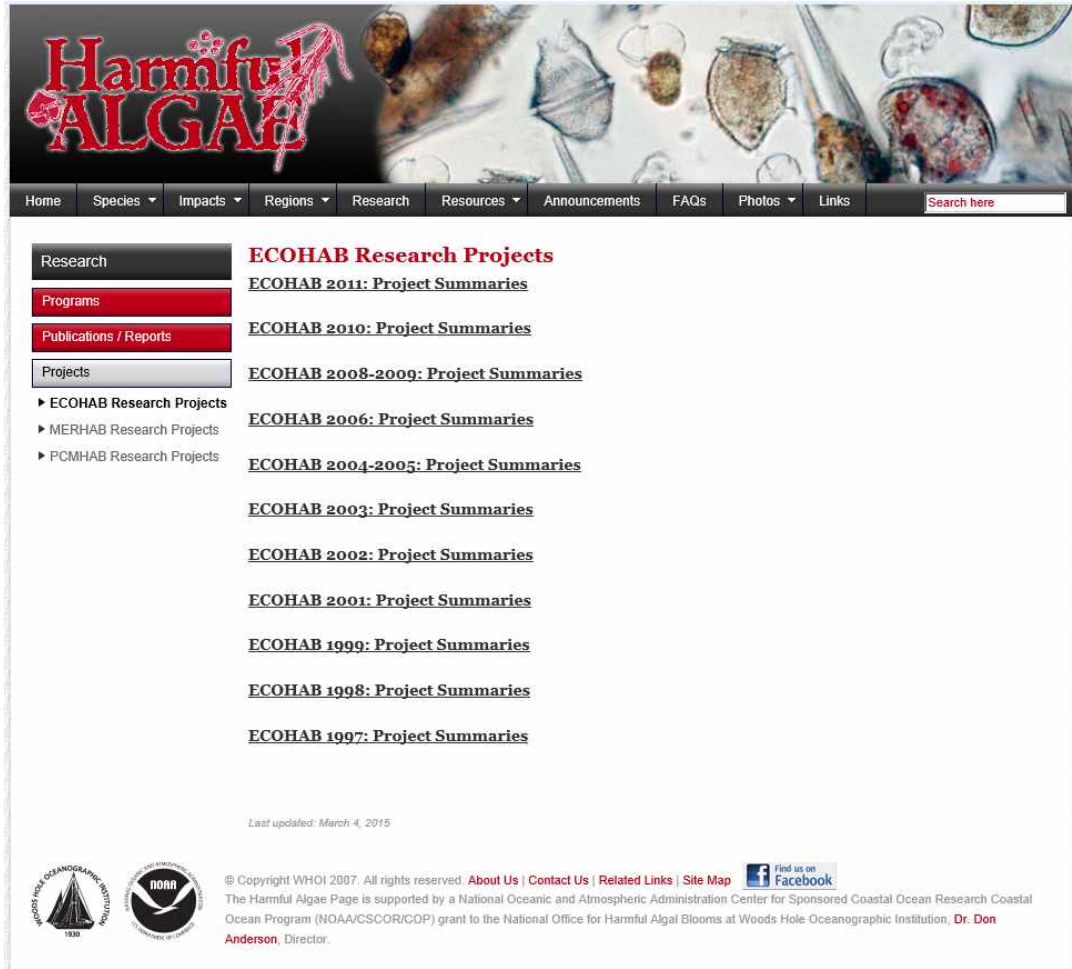
- 고효율/친환경(미생물, 천적 등활용)기술 분야의 주요국 특허청의 특허 출원 현황을 보면, 한국이 전체 특허 출원의 60%를 차지하고 있고, 그 뒤를 이어 일본이 32%를 차지하고 있어, 앞선 적조의 적기 예보 및 방제 기술이나 적조 피해 저감 기술 분야와 대비하여 각 나라별로 균형 있는 출원이 이루어지는 것으로 보임. 고효율/친환경 기술분야 중 적조 생물 생리 상태 및 유해성 연구를 통한 적조 제어 기술(CAA) 분야에서 가장 넓은 시장을 확보하고 있으며, 뒤를 이어 환경 친화적 생물 소재를 이용한 적조 피해 저감 기술(CBS), 원인 생물의 성장을 억제시키는 생물의 종류 및 적용 방법(CCA)분야, 천적 생물을 이용한 원생 생물 증식 억제 및 제거 기술(CC)분야, 휴면 포자 기능의 조절을 통한 유해적조 방지 방법(CEL)분야, 해양 미생물 및 원생 생물의 이차 산물을 이용한 적조 방제 기법(CDA) 순으로 나타났으며, 한국의 시장 확보력이 큰 것으로 나타남
- 적조의 적기 예보/방제 기술과 관련하여 적조 생물 및 적조 독소의 신속 검출을 통한 진단이나 장비 분야의 기술 개발이 한국에서 활발히 진행되고 있는 것으로 보이며, 구체적으로 황토, 유해조류 억제제 등의 물질을 바다에 넓고 고르게 분산시키는 기술이 국 내/외 다수 존재하고 있음. 반면, 적조 피해 저감 기술의 경우 또한 한국의 출원율이 매우 주도적이며, 상대적으로 미국이나 유럽의 출원율은 미비한 것으로 조사됨. 이는 황토와 관련된 기술에서 한국이 가장 먼저 도입 및 상용화 시킨 부분이 크게 일조한 것으로 파악됨. 다만, 고효율/친환경 방제 기법이나 기타 기술(적조 바이오매스 수확 후 이용기술, 적조 생물 배양 설비 등) 분야에서는 전반적인 국가에서 개발이 많이 진행되지 않아 비교적 진입 장벽이 낮은 분야이며, 최근 신생 에너지원 확보 및 환경보호 측면에서 향후 그 출원 비율이 상승할 가능성이 높다고 판단됨
- 기술 개발이 활발히 진행되고 있는 분야에 대해서는 특허 조사 결과를 바탕으로 공백 기술을 도출하는 것이 필요하며, 기술 개발의 정도가 미진한 분야에 대해서는 원천 기술을 특허로써 확보하고자 하는 시도가 필요함

### 제 5 절 유해적조 모니터링의 국외 연구동향

- 유럽은 ICES 산하에 EU 공동의 유해적조 모니터링 및 Mapping 사업을 추진하고 있으며 각국은 정기적인 감시 및 조기 경보 시스템을 운영하고 있음 (그림 3-15)
- 유해적조 생물 종이 해역 혹은 국가마다 달라 각국은 자국에 맞는 유해 생물 조기 탐지 및 경보 시스템을 구축하려고 하고 있음
- 유독성 외편모류의 출현 및 발생 기작을 구명하기 위하여 유전자 탐침 기법을 이용한 추적 기법이 활용되고 있음
- 미국의 ECOHAB(Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms) 사업에 이어서 2005년부터는 앞으로 10년간 새로운 유해조류 연구와 대응 국가 환경 과학전략 사업을 추진 (그림 3-16)



[그림 3-15] Applied Simulations and Integrated Modeling for the Understanding of Toxic and Harmful Algal Blooms (EU)



[그림 3-16] ECOHAB Research Projects

- 미국 NOAA에서는 기후 변화에 따른 적조 발생 시기 예측
- 적조를 발생 시키는 원인 중 *Alexandrium* 및 *Chattonella* 종들은 장기간 동안 유지가 되면서 패류 독소 등을 일으켜 소비자에게 위험을 줄 것으로 예측되며, 이로 인해 향후 푸른색 패류의 섭취는 곤란하게 될 것이며 적조 발생 시기는 약 2개월 빨라지고, 반면 적조 발생 종료 시기는 약 한달 정도 늦어질 것으로 예측
- 최근 유전자 분자 분석 기술은 해양 생태계 분야의 생물의 종판별에 활용되며 미세조류 분석에 응용되고 있으며 한반도 주변 해역에서 출현하는 미세조류에 대해서도 진행중임
- DNA를 기반으로 한 유독성 외편모류의 유전자 탐침기법 활용
  - ▷ 적조 생물의 유입 여부 및 휴면 포자 발아를 통한 적조 발생에 대한 연구가 전세계적으로 진행되고 있으나, 개체수가 적고 휴면 포자의 경우 현미경 상에서 검정하기 매우 어려운 문제점을 가지고 있음. 따라서, 신속하고 정확한 적조 생물의 출현을 확인하기 위해 유전자 탐침 기법을 이용한 연구가 병행되고 있음

## 제 6 절 적조관련 연구의 국내 연구동향

- 적조 피해 저감을 위한 기초·원천 기술 개발에 총 52억 7천만원 예산 사용( '96년 ~' 12년) ⇒ R&D 추진은 주로 모니터링 위주의 소단위 과제로 이루어져 가시적 연구 성과 미흡하였음
  - ※ 연평균 2.9억원, 적조 모니터링 시스템 운영 예산 비중이 70% 이상
- 국립수산과학원에서 유해적조 특히 어류 대량 폐사를 일으키는 와편모조류 *C. polykrikoides*의 발생과 확산 예보 시스템을 운영하고 있으나 유해적조 생물 확산 예보 기술은 선박 및 인력 중심으로 운용되어 자료의 정확도 측면에서 매우 취약함 (표 3-3)

[표 3-3] 국립수산과학원 적조관련 R&D 주요 결과

- 유해성 적조 발생 메카니즘
  - 원인생물 : *Cochlodinium polykrikoides*
  - 발생 조건 : (고수온기, 25℃ 내외) 수온약층 약화 → 상·하층 수괴 혼합 → 영양염 공급 증가 → 적조 발생
    - ※ 휴면포자 발아에 의한 개체수 증가도 적조 발생의 주요 원인으로 추정
- 어류 폐사 기작
  - 폐사 원인 : 어류의 호흡 곤란
  - 폐사 기작 : 점액질 분비에 따른 아가미 막힘 및 아가미 구조 변화\*로 인한 호흡 곤란
    - \* 점액질 접촉에 따른 아가미 조직의 지질 과산화와 단백질 조성 변화 발생
- 어종별 치사 농도
  - 어종별 민감도 : 활동성이 강한 어류가 더 민감
    - ※ 쥐치 > 참돔 > 돌돔 > 우럭 > 볼락, 넙치
  - 어종별 치사 농도 : 3,000 cells/mL부터 치사 시작
    - ※ 쥐치, 참돔, 돌돔 : 3,000 cells/mL, 우럭 : 5,000 cells/mL, 볼락, 넙치 : 8,000 cells/mL
- 황토의 과학적 살포 기준
  - 살포 농도 : 1m × 1m 당 황토 200~400g 살포(200~400 ppm)
  - 현장 구제 효율 : 60~80% (10분 경과시)
  - 장기 모니터링을 통해 해양환경에 미치는 영향 없음을 확인

- MODIS 해색 위성을 이용한 적조 탐지는 연안에서의 적조 감지 정밀도를 향상시켰지만, 초기 및 주의보 단계에서의 탐지가 매우 어렵고 특히 부유 퇴적물이 많은 탁한 해역에서는 클로로필과 부유 퇴적물 사이의 상호 작용 등 여러 인자로 인한 적조 발생 지역이 과대 추정되기도 함
- 최근에 적조 조기 탐지를 위한 음향 탐지 기법, 유전자 분석 기법, 고해상도 인공위

성 자료 활용 기법, 해양환경 자료 정밀 분석 기법 등이 제안 혹은 실험역 검증 연구가 진행되고 있으므로 이들 자료의 융복합을 통한 체계적인 적조 관측망 구축이 요구됨

- 적조 생물의 신속 탐색 기법 개발에 대한 국제적 최근 동향으로 DNA를 기반으로 한 유전자 탐침 기법이 주로 개발되고 있으나, 유독성 외편모류의 출현이 우리나라 해역에서 확인되고 있으나, 발생지 및 유입 경로에 대한 연구가 미미하며 출현량이 많지 않아 검출 분석에 어려움이 있음
- 유해적조 음향 탐지 특성 파악이 음향 탐지 시스템 구성을 위한 DSP 보드, 적조 탐지 신호 발생기, 전원 제어 보드, 네트워크 보드 등의 개별 구성품들을 국내 개발하여 실 해역에서 연속적으로 평가하는 수준까지 도달함
  - ▷ 한국해양과학기술원에서는 ‘12-’ 13년에 걸쳐 prototype 적조 음향탐지 시스템을 현장 적용하여 적조 탐지의 가능성을 파악하였음
  - ▷ 유·무선 통신기술 기반의 해양 분야 활용은 해양환경 자료 분야에서는 다양하게 활용되고 있으나 해양생물 분야에서는 실시간 탐지체계 구축은 미활용 상태임
- 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 해색 위성 자료를 이용하여 적조 분석 가능한 적조 지수(Red tide Index, RI) 개발
  - ▷ 적조 해역 스펙트럼 분석을 통하여 해색 위성 자료 3개 밴드로부터 유해성 적조 여부를 계산 가능함
  - ▷ 운용중인 천리안 해양관측 위성자료에 적용할 수 있도록 수정 및 보완 중임
- 해양자료 융복합(MT-BT-IT) 기술은 주로 해양물리 자료 분야에 활용되고 있으나 해양생물 자료 해석을 위한 융복합 기술은 최근에 시도되고 있는 분야임
- 향후 적조에 관한 연구는 대응(Response) 연구에서 적응(Adaptation) 연구로 패러다임 전환이 필요하며, 적조 조기 예보 및 수산 피해 최소화를 위한 실용적 연구 추진이 요구됨
- 아울러 적조 R&D 수행에 시너지 효과를 위하여 적조 생물의 시기별 관련 부처와의 협업 강화가 요구됨 (표 3-4)

[표 3-4] 부처별 적조 R&D 주요 추진 사업

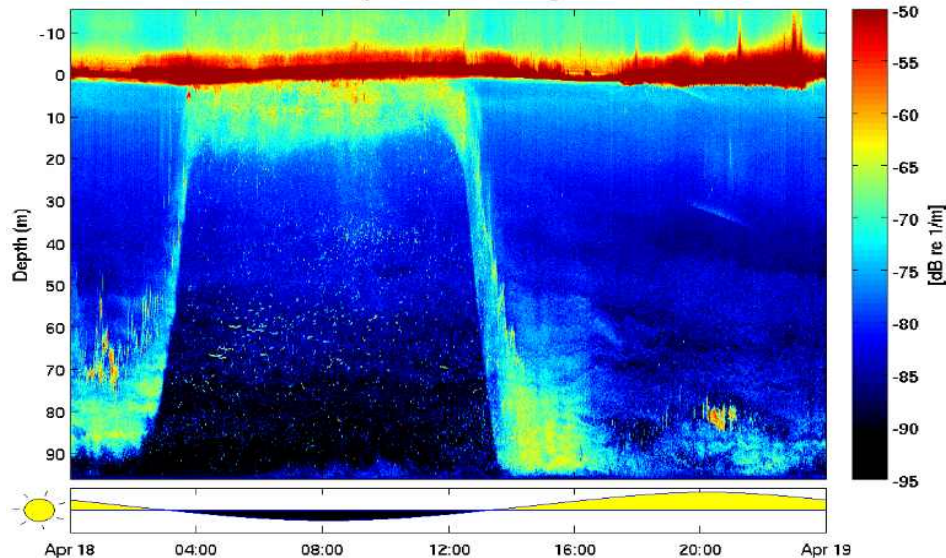
항목	해양수산부	미래창조과학부
핵심 키워드	적조 생물의 생물학적 특성 연구 (기존 연구 연계 강화 및 실용화)	첨단 융·복합 기술 활용 관련 장비 개발 (새로운 기술과 접목된 하드웨어 개발)
주요 연구 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 생물 모니터링 관련 기술</li> <li>- 적조 생물의 발생, 이동 메커니즘</li> <li>- 적조 구제 물질·장비 실용화</li> <li>- 적조 생물 대량 배양 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 대응 양식장 시설 개발</li> <li>- 친환경 적조 구제 물질·장비 개발</li> <li>- 적조 탐지용 kit 개발</li> <li>- 생물학적 적조 제어 기술 개발</li> </ul>

## 제 7 절 핵심 기술별 세부 연구동향

### 1. 적조 탐지 시스템

#### 가. 음향탐지 시스템

- 수중음향 분야는 2차 세계 대전 때 수중의 잠수함 탐지에 활용하기 시작하여 1970년대를 거치면서 해양생물 분야로 활용을 확대하여 최근에는 해양 생태계 연구의 주된 수단으로 활용하고 있음 (그림 3-17)
- 초기의 음향 시스템은 single beam 형태의 아날로그 방식으로 개발되었으나 1980년대를 거치면서 dual beam, split beam, multi beam 형식으로 진전하면서 디지털 방식으로 발전하고 있음
- 수중음향을 이용한 수중생물 탐지는 주로 30 ~ 200 kHz 주파수 대역에서 어류 및 동물플랑크톤의 분포, 자원량 및 생태학적 특성 파악에 집중적으로 활용되고 있음

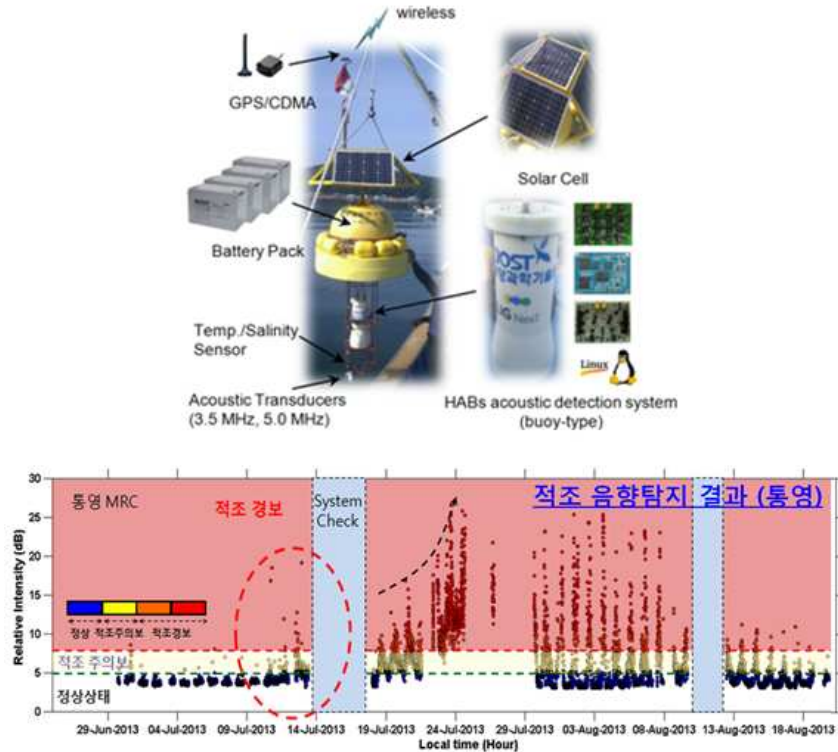


[그림 3-17] 수중음향 적용 예 (시간대별 수심에 따른 동물플랑크톤 분포)

- 음향탐지 기법에서 생물탐지 여부 가능성은 음향 시스템의 사용 주파수 (frequency)와 대상 생물의 크기 (equivalent radius)로 결정됨. 적조 피해를 주는 와편모조류 하나의 셀 길이는 약  $30 \sim 40 \mu\text{m}$ , 폭은 약  $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 이다. 이러한 크기에 반응하는 주파수 대역은  $2.5 \sim 25 \text{ MHz}$  임
- 적조 생물과 같은 식물플랑크톤의 음향 탐지에 대한 국외 연구는 미국, 아르헨티나에서 제시되었으나 기본 연구에 한정하였고 추가적인 연구로 진행되지 못하였음
- 국내에서는 한국해양과학기술원에서 수행한 “유비쿼터스 해양 유용/유해생물 관리기술 개발” 연구를 통해 유해적조 음향 탐지를 위한 적조 개체에 대한 음향 특성 파악 및 요소 기술 개발을 통해 통합 prototype 시스템 국내 개발을 시작하여 실 해역 검증을 실시하였음

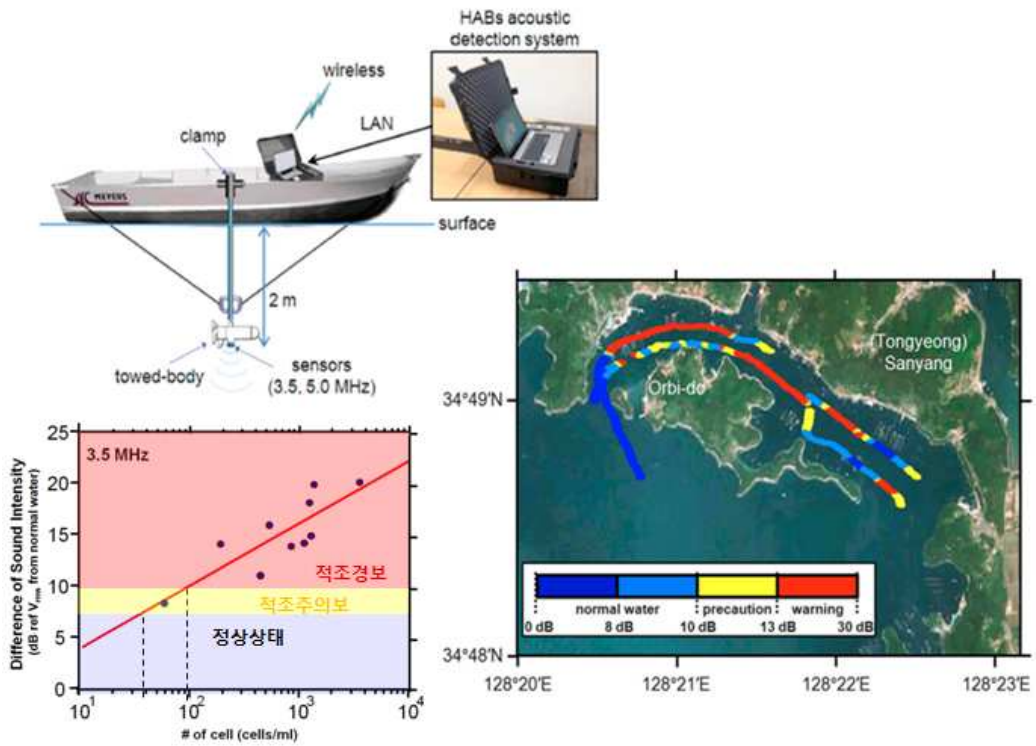


- 실험실 및 실 해역 검증은 개발된 prototype 시스템을 기반으로 선박형 (2012), 부이형 (2013)을 현장에서 운용하여 적조 탐지 가능성을 파악하였음 (그림 3-18)



[그림 3-18] 부이형 적조 음향 탐지 시스템과 운용 예 (KIOST, 2013)

- 현재 기술 수준은 유비쿼터스 개념을 도입하여 실시간으로 음향 자료를 수신할 수 있는 기술력을 확보하였으며 현장 적용을 하여 2013년에는 경남 통영과 오비도에 적조 음향 시스템을 운영하여 적조생물 발생 탐지 및 변동 특성을 실시간으로 규명함 (그림 3-19)
- 본 기술의 적용으로부터 국립수산과학원의 예찰 결과보다 최대 6일 정도 사전 탐지하는 효용성을 보이고 있으므로 어민들에게 적조 피해를 대비할 수 있는 실시간 탐지 체계의 가능성을 보여줌



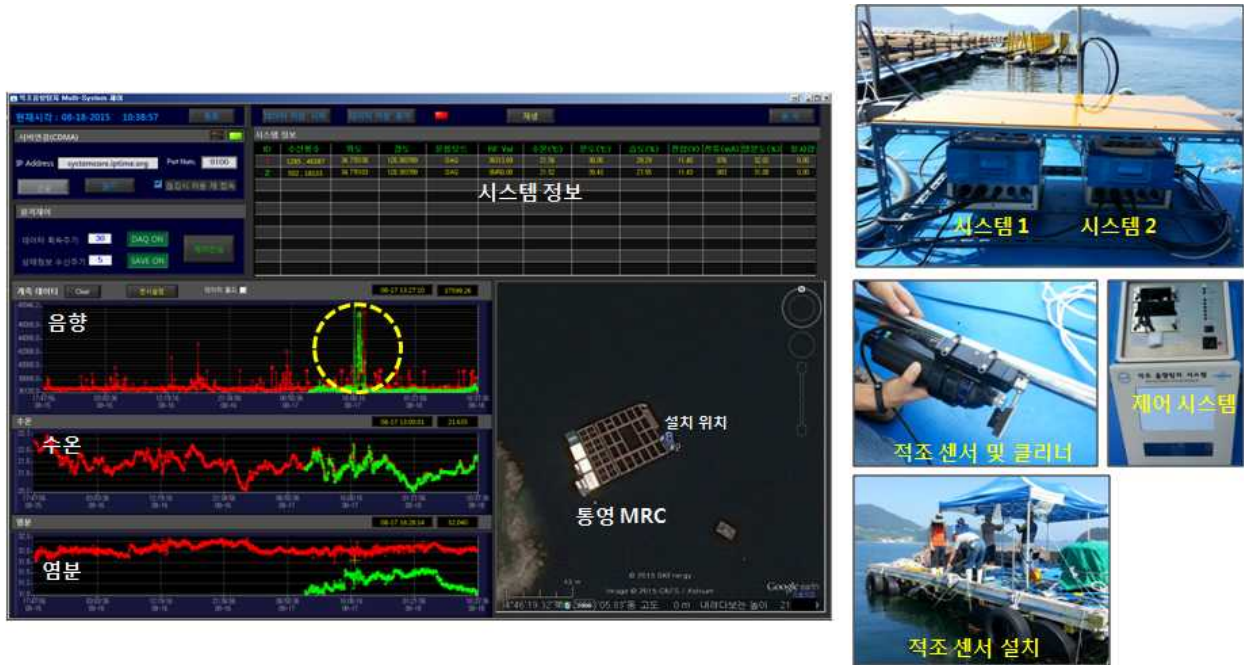
[그림 3-19] 선박 예인형 음향 탐지 시스템과 현장 운용 예 (KIOST, 2012)

- 현재 국내에서 개발 및 시험 평가 완료된 적조 음향 탐지 시스템은 휴대용 시스템과 적조의 직접적인 피해가 미치는 양식장 운용 기반의 고정형 시스템으로 구분되어 있음. 두 시스템은 디지털 음향 센서 기반의 기술을 채택하여 시스템 성능을 향상시켰음 (그림 3-20)



[그림 3-20] 이동형 및 양식장 설치형 적조 음향 탐지 시스템 (KIOST, 2014, 2015)

- 기 개발된 적조 음향 시스템은 적조 음향 자료 이외에 환경 자료를 동시에 취득 하므로 단일 시스템 기반이 아닌 복수의 시스템 운용 기반으로 CDMA 통신 기법을 적용하여 시스템 제어, 관리 및 자료 저장 기능을 포함시킨 운용 소프트웨어 개발도 동시에 진행되었음 (그림 3-21)



[그림 3-21] 적조 음향탐지 시스템 운용 소프트웨어 및 양식장 운용형 시험 평가

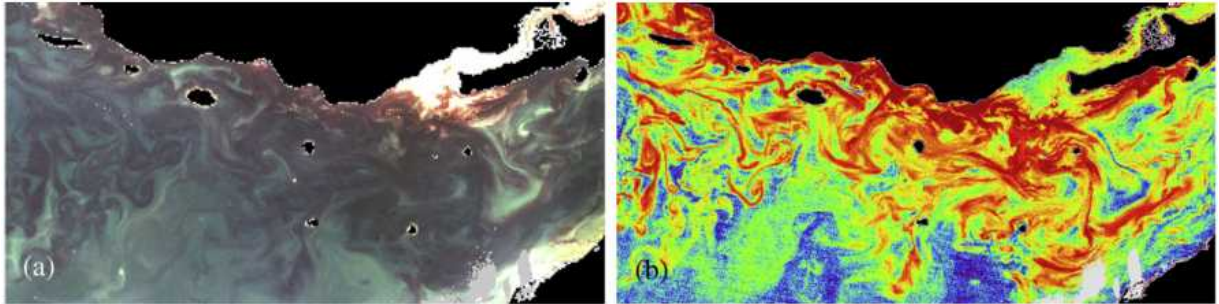
나. 인공위성 탐지

- 국외 위성기반 적조 탐지 기술 현황 : 표 3-5에 나타난 바와 같이 해수반사도 및 생광학모델 등을 이용한 다양한 기술을 이용하여 적조 발생 (*Karenia Brevis*, *C. polykrikoides* 등)을 극궤도 위성인 SeaWiFS, MODIS, MERIS 등을 이용하여 탐지 가능

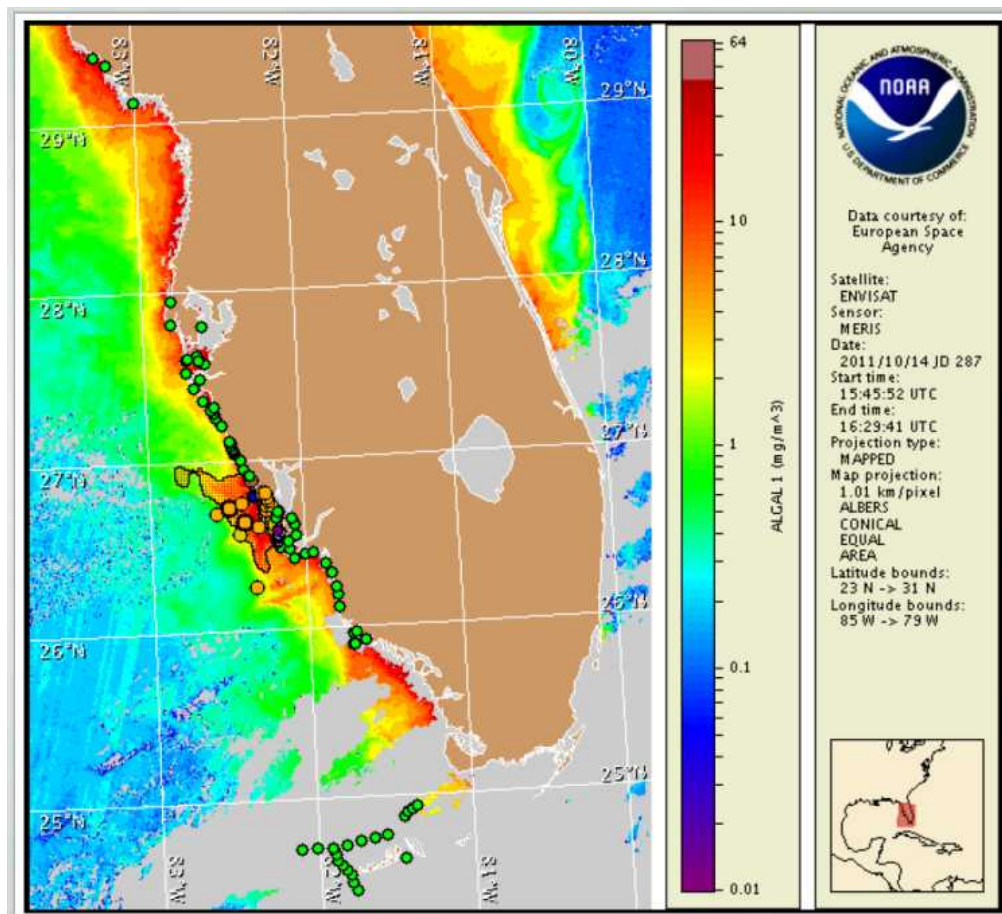
[표 3-5] SeaWiFS, MODIS, MERIS를 이용한 적조 및 유해조류 탐지 연구

Phytoplankton type	Reflectance classification (thresholds, anomalies)	Reflectance band-ratios	Bio-optical model or neural network	Spectral band difference	Satellite product (threshold or anomaly) and climatology, statistics
Red tides/HAB		Ahn et al. (2006) and Tang et al. (2006)	Stumpf (2001)	Ahn and Shanmugam (2006) and Shanmugam et al. (2008)	Miller et al. (2006), Stumpf et al. (2003) and Tomlinson et al. (2004)
Red tides/HAB	Siswanto et al. (2013)	Kahru et al. (2004) and Carvalho et al. (2011)	Cannizzaro et al. (2008) <sup>a</sup> and Carvalho et al. (2010)	Hu et al. (2005), Ryan et al. (2009) and Zhao et al. (2010) <sup>b</sup>	Cannizzaro et al. (2008), Cannizzaro (2004), Hu et al. (2004), Tomlinson et al. (2008) <sup>a</sup> , Anderson et al. (2011), Banks et al. (2012) <sup>a</sup> , Shutler et al. (2012) and Kurekin et al. (2014) <sup>b</sup>
Red tides/HAB		Bernard et al. (2005)		Ryan et al. (2008) and Jessup et al. (2009)	Li et al. (2010a)

- 국외 위성기반 적조 탐지 및 예보 시스템 구축 사례 : 그림 3-22 및 3-23에서 보는 바와 같이, 미해양대기청(NOAA)에서는 MODIS 및 MERIS영상과 해류모델(ROMS)를 연계하여 적조 발생을 탐지하고 이동을 예측하는 서비스를 시행하고 있고 있고, 플로리다주 연안에서 빈발하는 *Karenia Brevis* 적조 종의 탐지와 그로 발생하는 육상에서의 호흡기 질환 위험성까지 예보하고 있음

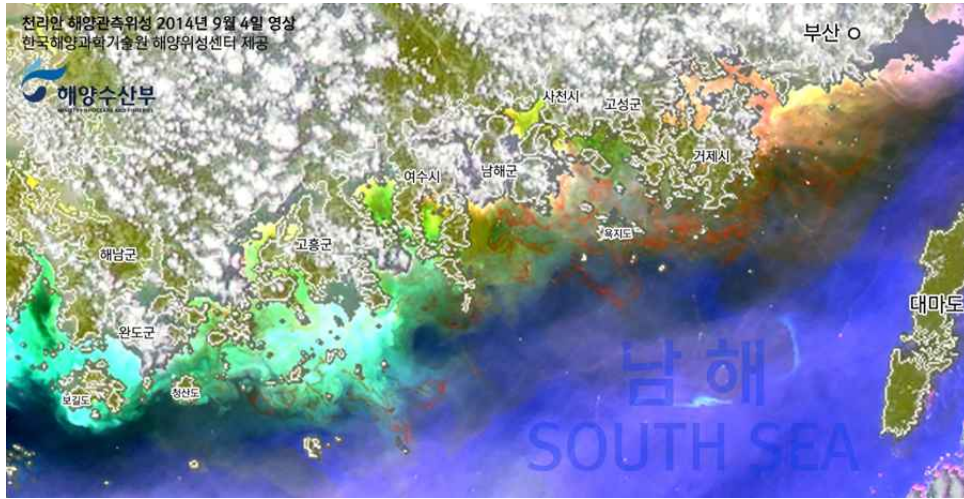


[그림 3-22] 2008년 12월 24일 아라비아해에서 발생한 *Cochlodinium polykrikoides* 번성을 MERIS영상을 이용하여 탐지한 결과 (a) 천연색 영상, (b) 형광법을 이용하여 분석한 영상 (Zhao et al., 2015)

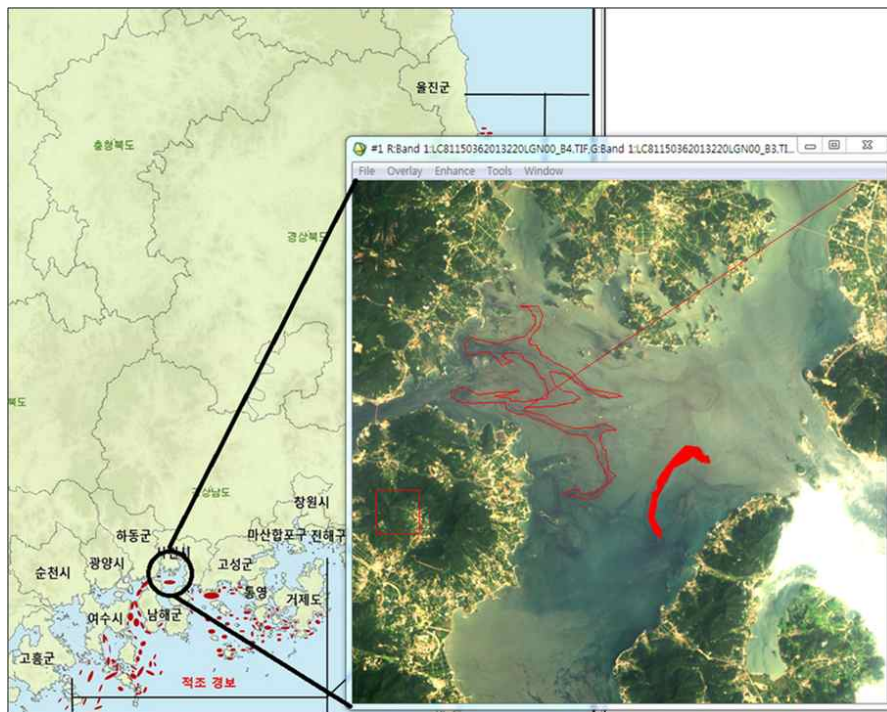


[그림 3-23] NOAA 적조 예보시스템 HAB-OFS에서 관측된 플로리다주 연안의 *Karenia Brevis* 적조종 (NOAA, COAST팀 제공)

- 천리안 정지궤도위성 (GOCI)를 이용한 적조 탐지 : 정지궤도 위성은 하루 8번의 촬영이 이루어지기 때문에, 극궤도위성에 비해서 적조관측의 확률이 높고, 이동경로 및 시간별 농도 변화를 관측할 수 있음. 그림 3-24 및 3-25에서 볼 수 있듯이, 중국 및 한반도 연안에서 발생한 적조를 천리안 해양위성 자료를 이용하여 탐지되었음. 특히, 한반도 주변 적조에 대해서는 해양위성센터의 일일 현황 보고를 통해 탐지 결과가 관련 기관으로 전파되고 있음.



[그림 3-24] 2014년 9월 4일 천리안 영상을 통해 관측된 남해안의 적조 양상 (*C. polykrikoides*) (KIOST 해양위성센터 제공)



[그림 3-25] 2013년 8월 8일 남해안에 발생한 적조를 Landsat-8영상으로 관측한 결과 (Landsat용 대기보정 코드를 적용)

- 고해상도 광학영상을 이용한 적조탐지 : 고해상도 위성은 해색(ocean color)에만 특화된 위성이 아니고 재방문주기가 길다는 단점이 있지만 (Landsat의 경우 16일마다 한 영상획득 가능), 적조발생 시기에 관측이 되었을 경우 연안에 인접한 적조와 얇은 띠를 형성한 소규모 적조까지 관측이 가능하다는 장점이 있음. 중저해상도 위성영상과 상호보완적으로 사용가능. Landsat위성(공간해상도 30m)을 이용할 경우, 500m급의 해색위성에서 관찰되지 않는 소규모의 적조띠의 분포까지 파악할 수 있음

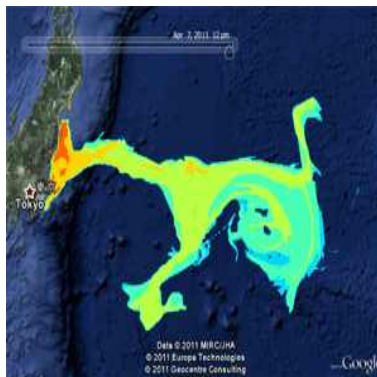
2. 적조 이동 모델 개발

가. 해양예보 시스템의 중요성

- 허베이 스피리트 유류유출사고 (2007년), 천안함 사고 (2010년 3월), 금양호 사고 (2010년 4월), 링스헬기 사고 (2010년 4월), 후쿠시마 원전 핵물질 유출사고 (2011년 3월), 아시아나 화물기 추락사고 (2011년 7월) 등 일련의 해양관련 재난 및 사고의 발생은 해양의 현황 및 예보정보를 적시에 제공하는 해양예보시스템의 중요성을 절감케 함 (그림 3-26)
- 유류오염, 폭풍해일, 이상파랑 등 해양과 연안에서의 자연재해, 해양환경 오염, 생태계 파괴 등의 문제로부터 국민의 재산 및 인명 보호를 위한 정부의 적극적 대응 및 예방 노력에 대한 기대 증대 (그림 3-27)



천안함 사고  
(2010년 3월)



후쿠시마 원전 오염수 배출  
(2011년 3월)



아시아나 화물기 추락 사고  
(2011년 7월)

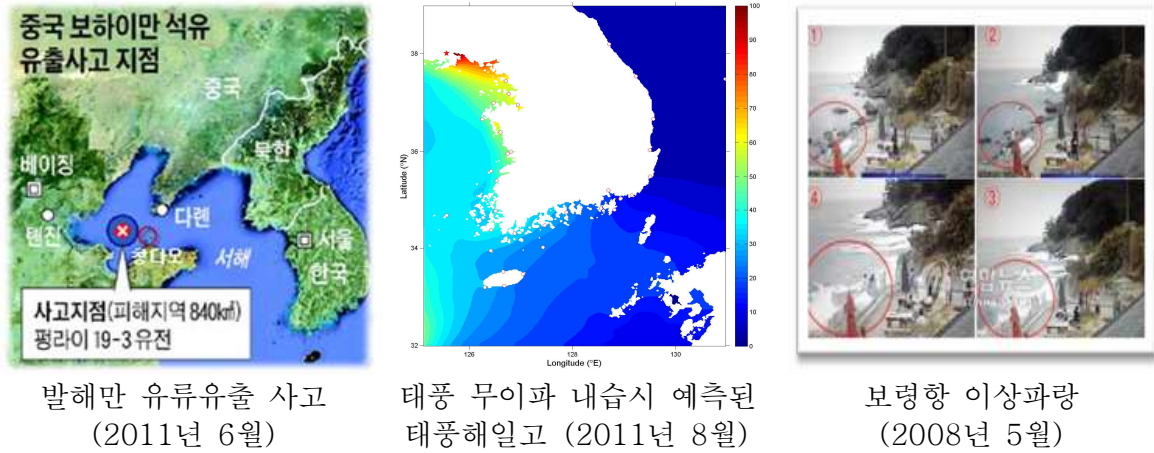


만재도 어선침몰  
(2011년 12월)



자월도 유류운반선 폭발  
(2012년 1월)

[그림 3-26] 해양관련 재난 및 사고 사례



[그림 3-27] 해양 관련 자연재해 사고 사례

- 해상교통, 수산·해운·해양개발 등 원활한 해양산업 활동을 위한 다양한 정보 및 서비스의 요구 증대에 따라 사회, 경제 및 생태계 영향을 미치는 환경변화의 신속한 탐지 및 적시 예측을 위한 체계적인 운용해양시스템의 필요성 증대

나. 적조 확산/이동 모델의 국내·외 연구동향

- 국외 기술 수준

핵심 기술	대상국가	개발 현황	수준 (국외 대비)
수치모델링 기술 및 해양예보 기술	미국 : ○ 해양수치모델 기술의 실용화를 통해 간접적으로 해양정보를 생산하는 기술의 적용·실용화 단계 ○ 선진국의 해양수치모델링을 활용한 해양예보시스템은 1980년 이후부터 활발히 연구가 시작되어 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 NOAA/NOS의 CO-OPS (Center for Operational Oceanographic Products and Services)에서의 예보시스템 (NOAA의 National Operational Coastal Modeling Program) : 체사피크만 운용예보시스템 (CBOFS), GBOFS, LEOFS, LHOFS, LMOFS, LOOFS, LSOFS, NYOFS, SJROFS</li> <li>- 발틱해 운용해양학시스템(BOOS): 발틱해에 연한 9개국(덴마크, 에스토니아, 핀란드, 독일, 라트비아, 리투아니아, 폴란드, 러시아, 스웨덴)의 19개 기관이 공동으로 개발·운영되는 운용해양시스템</li> <li>- NOOS (North West Shelf Operational Oceanographic System): 북해와 유럽의 북서 대륙붕에 연한 9개국 (벨기에, 덴마크, 프랑스, 독일, 아일랜드, 네덜란드, 노르웨이, 스웨덴, 영국)에 의해 운영되는 운용해양시스템</li> </ul>	60%

○ 국내 기술 수준

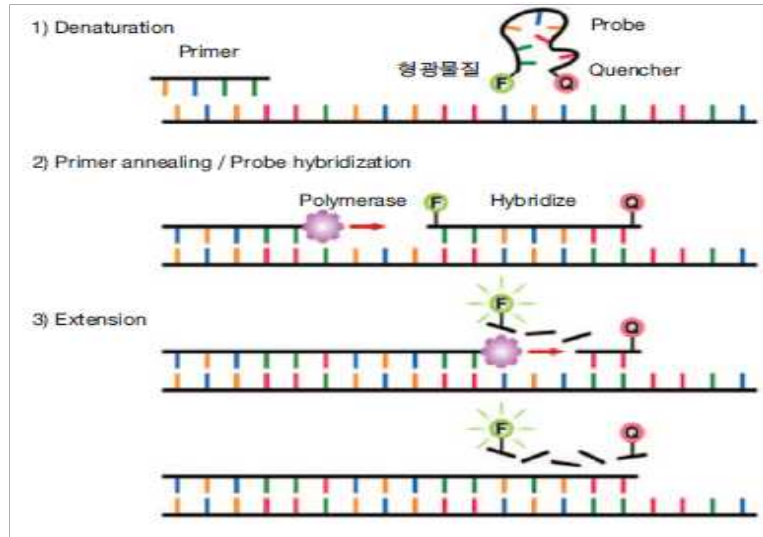
구분	개발 현황	비고(%)
수치모델링 기술 및 해양예보기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정밀 실시간 해양관측자료를 활용한 개별 해양요소 예측 수치모델링 기술은 세계적 수준</li> <li>- 운용 해양 1단계 사업으로 개별 해양요소 예측 수치 모델을 기상 입력 자료부터 체계적이고 유기적으로 연계되는 통합 시스템으로 구축함</li> <li>- 전 연안에 대해 연안 정밀 격자에서의 해상 상태 예보 지원 체계는 실용화 단계</li> <li>- 전 지구 해양순환모델과 해양생태계 예측분야는 세계적인 연구기관에 비교해 미진함</li> <li>- 자료동화 부분은 국내 연구인력 절대 부족</li> </ul>	
적조-생태계 모델링	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조생물 특히 <i>C. polykrikoides</i>를 직접 모형화 한 경우는 많지 않으나, 홍(2004)은 하위 생태계 모형에 들어가는 식물플랑크톤의 최대성장률, 최대영양염흡수율, 영양염 반포화 상수에 대해서 <i>C. polykrikoides</i> 기준으로 적용하여 통영에서 수치실험을 한 바 있다.</li> <li>- 영양염-식물플랑크톤-동물플랑크톤-쇄설성퇴적물(NPZD) 기반 하위생태계 모형에 대한 1차원, 3차원적 접근과 해양순환모형과의 결합을 통한 3차원 이동확산 연계 모형 등이 개발 적용되고 있으나, 특정 적조생물을 포함한 적은 없다.</li> </ul>	

3. 실시간 정밀 모니터링 시스템

가. 해양 유해조류 발생 조기 예측 및 검출 시스템 개발

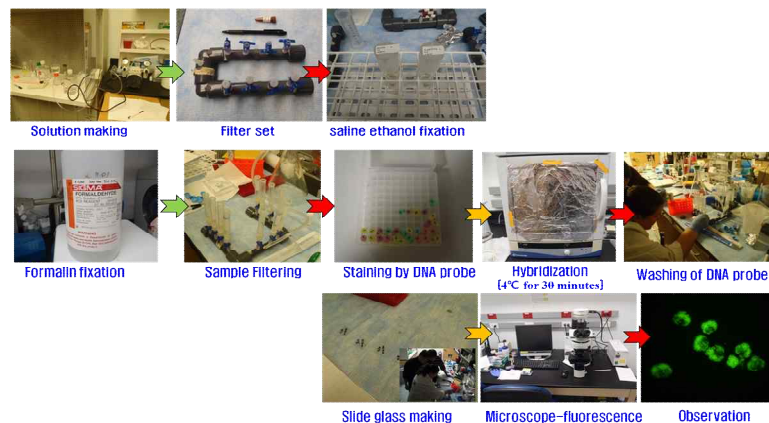
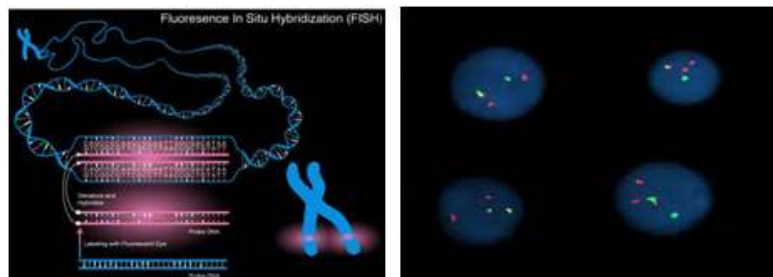
- 해양 선진국에서는 자국의 해양영토 내에 서식하는 적조 원인종을 실시간 분석할 수 있는 시스템을 개발하여 관리하고 있음. 이러한 시스템은 연안에서 통합형 분자 탐침 시스템을 활용하여 실시간으로 DNA를 이용하여 생물의 종 동정 및 개체 수 등을 분석하여 실시간으로 육상 기지국에서 모니터링 하는 기술 수준까지 이르고 있음
- 우리나라의 적조 생물 모니터링 기법의 개발은 현재까지 연구자가 직접 현미경으로 관찰하는 방법으로 변종 및 신종 등의 새로운 생물상을 관찰할 수 있고, 정확히 분류할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 많은 시간이 소요되고 적조 생물 분류군별에 따른 전문 분류학자가 분류하여야 하나 현실적으로 그렇지 못하기 때문에 미동정 및 오동정의 위험성을 상시 내재되어 있음
- 분자생물학적인 진단법은 현미경적 관찰법보다 표준화 및 일반적인 정확도 측면에서 높음. 특히 기술의 발달에 따라 정량적인 분석이 가능한 Real-Time PCR이 개발되었음 (그림 3-28)





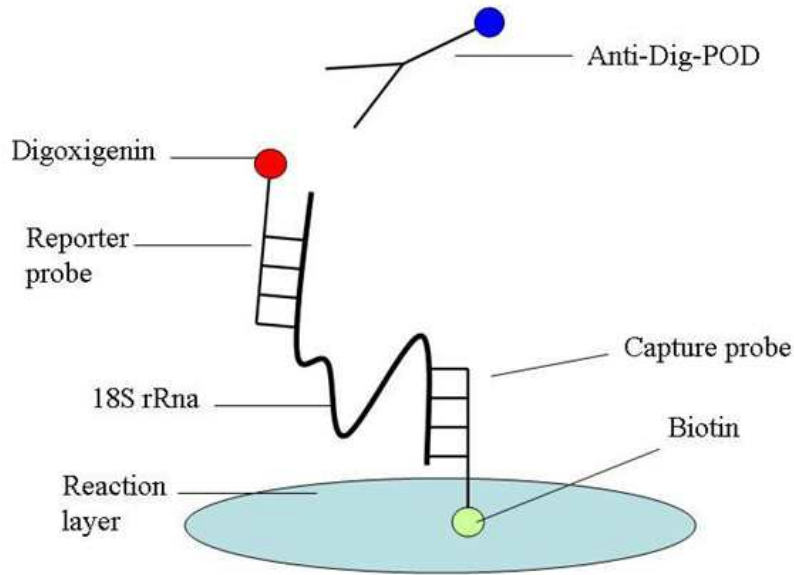
[그림 3-28] Real-time PCR의 TaqMan probe 법의 단계별 모식도

- 형광동소보합법 (fluorescence in situ hybridization, FISH)은 특정 DNA 염기서열(DNA sequence)의 존재 유무를 규명하기 위하여 세포배양이나 DNA의 추출과정을 거치지 않고 염색체나 핵의 형태를 그대로 유지한 상태의 세포를 슬라이드에 도말하고 여기에 표적유전자의 특정 염기서열과 상보적인 DNA에 형광물질을 붙인 여러 종류의 probe를 반응시켜 표적유전자의 유무와 위치를 확인함으로써 염색체 또는 유전자의 변이를 형광현미경으로 관찰하는 방법임 (그림 3-29)



[그림 3-29] Fluorescence in situ hybridization 방법

- Sandwich hybridization (SH) assay는 고정된 support (bead, membrane, electrode etc.)에 capture probe (특이적 rRNA target molecule)를 binding 시킨 뒤 rRNA의 또 다른 region에 특이적 서열을 갖는 signal probe를 반응시킴으로써 진단을 수행함 (그림 3-30)



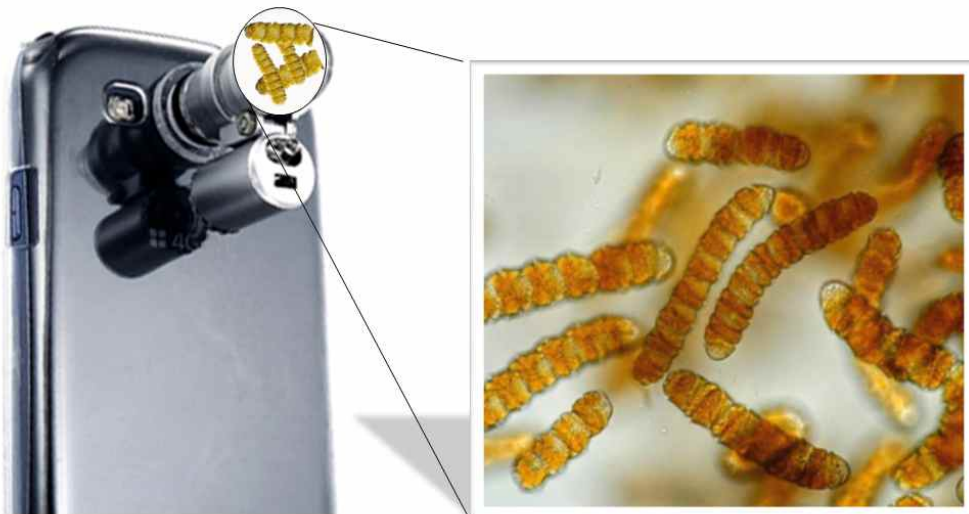
[그림 3-30] Sandwich hybridization 방법

- DNA chip의 장점은 여러 가지의 종을 한 번에 반응시킴으로써 한번 실험을 통해 많은 종을 알 수 있는 가장 좋은 방법이지만 형광을 검출하는데 있어서 아직 소형화하기 어려운 점과 여러 종을 한꺼번에 혼합하여 반응 시킬 경우 오 검출이 많은 단점을 가지고 있음
- 국내에서는 외편모조류의 다양성을 확인하기 real-time PCR법을 이용하여 확인하였으며 신속 정확하게 확인됨을 보여주었고, 한국해양과학기술원과 한양대학교가 어류, 무척추동물, 동물플랑크톤 등의 종판별 유전자 칩을 개발한 바 있음
- 한국해양과학기술원에서는 아래와 같은 분자마커를 이용한 종판별 기술을 개발하여 수건의 특허 및 논문 발표를 통해 선도적으로 연구를 선도 하고 있음
  - ▷ DNA chip에 의한 미세조류 종조성 확인 연구: 2008-2012년 한국해양과학기술원 기관고유사업 (유비쿼터스 해양 유용/유해생물 관리기술 개발)을 통하여 DNA chip을 이용한 미세조류 검출 방법과 관련 논문을 보고함
  - ▷ 프로브의 선별 및 종 검출 실험: Mitochondria COI 유전자를 이용하여 species-specific probe를 선별하여 (각 종간 variation site에 기초하여 21-23 bp의 길이로 probe를 제작), 모든 종의 sample이 각기 특이적인 probe에서 Cy3로 labelling된 product는 hybridization되어 형광 signal이 나타남

- 한국해양과학기술원 남해연구소에서 미래창조과학부 지원을 받아 2013년부터 수행중인 ‘해양유해조류 자동관별시스템 개발 및 방제 적용기술 타당성 분석’ 사업에서는 우리나라 연안 해역의 적조 대발생, 이동 확산 자료를 분석하고 차세대 염기서열 분석을 통해 적조를 실시간 모니터링하는 기술을 개발하고자 하는 연구를 진행 중임

#### 나. 스마트폰 기반 적조 광학탐지 시스템

- 스마트폰을 이용한 원격 제어 기술은 폭발적으로 성장하고 있으며, 대표적인 것은 컴퓨터 제어, 가전기기 제어와 같은 사물 인터넷, 의료 영역임. 의료 영역은 스마트폰에 다양한 종류의 측정기기를 부착하여 원격으로 다양한 종류의 생체 신호 측정이 가능함(허와 유, 2014; 보건복지부, 2015)
- 이와 유사한 기술이 적조 생물의 실시간 모니터링을 위해 해양과학분야에서도 개발되었음(한국해양과학기술원, 2013). 이러한 기술을 응용하면 스마트폰 광학 시스템으로 탐지된 적조 생물의 영상 정보를 원격으로 수집이 가능하다고 판단됨
- 적조 생물은 크기가 20  $\mu\text{m}$  내외로 스마트폰으로 이들의 영상정보를 확보하기 위해서는 고배율 렌즈가 필요함. 뿐만 아니라 촬영할 수 있는 범위가 매우 좁아 적조 생물의 밀도를 높여야 함. 따라서 스마트폰의 광학 시스템으로 적조생물의 영상 정보를 수집하기 위해서는 적조 생물의 밀도를 높이는 농축 기술, 적조 생물 표본 고정 시스템, 스마트폰 영상 시스템에 적합한 고배율 광학 렌즈 등이 필요함
- 현재 스마트폰 기반 적조 광학탐지 시스템 관련 연구는 전무한 상태이므로, 개발시 수요 및 그 파급 효과가 클 것으로 판단됨 (그림 3-31)

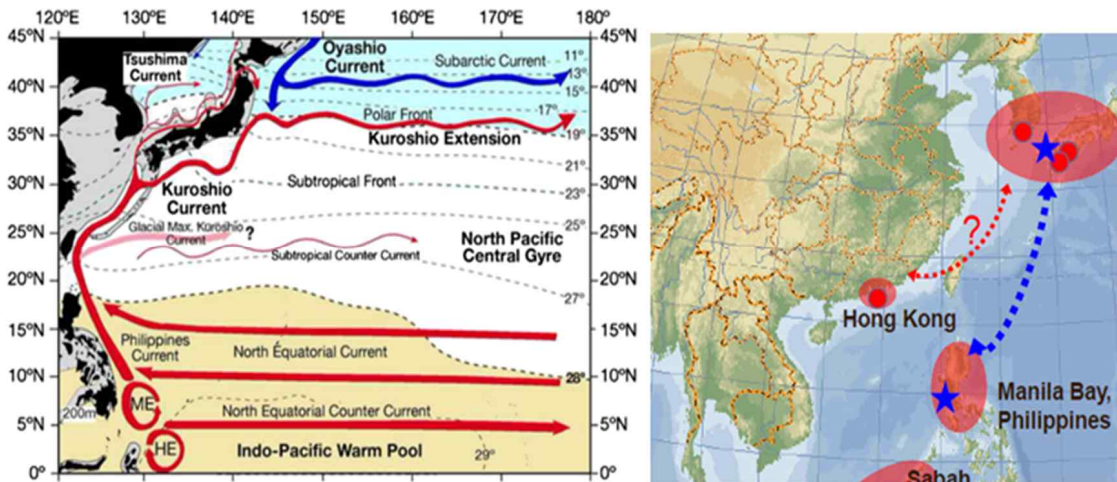


[그림 3-31] 스마트폰 기반 광학 탐지 시스템 개념도

4. 적조 생물의 생물학적, 생태학적 발생 및 확산 기작

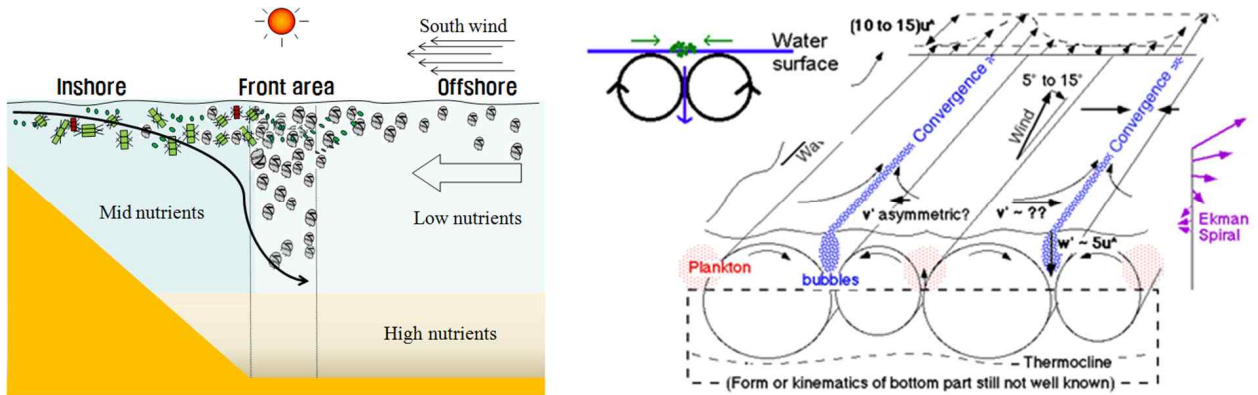
가. 적조생물의 발생 연구

- 우리나라에서 발생하는 적조 발생은 크게 휴면포자(Cyst) 발아설과 해류에 의한 외부 유입설로 나눌 수 있음
- 휴면포자(cyst) 발아설: 일반적으로 외편모조류는 동계 저수온의 극한 환경에서 수주내 유영세포로 존재할 수 없어 시스트를 형성하여 저층으로 침강함. 이듬해 봄철, 이들 휴면포자는 호조건의 환경 하에서 발아하여 수주 내 유영세포로 가입됨. 즉 시스트는 적조생물의 초기 씨앗중(seed population)으로 중요한 역할을 함. 그러나, 통영해역에서 조사된 *C. polykrikoides* 휴면포자 및 다른 외편모조류의 휴면포자의 분포 양상을 차세대 염기서열로 분석해 본 결과 *C. polykrikoides* 휴면포자의 양이 적조 발생의 원인 가설로 내세우지 못할 만큼 희박하였음 (미발표 자료). 따라서, 휴면포자 발아에 따른 적조 발생에 따른 체계적인 연구가 필요함
- 해류 유입설: *C. polykrikoides*은 아열대 종으로 높은 수온에서 대증식을 함. 따라서 아열대 해역이 필리핀, 대만, 일본의 오키나와 등에서 1차 증식 후 해류의 쿠로시우와 대만 난류를 통하여 우리나라 남해안의 나로도 인근해역에 6-7월에 집적함(Park et al., 2001) (그림 3-32)



[그림 3-32] 쿠로시오해류 및 대만난류에 의한 *C. polykrikoides*의 개체 유입설

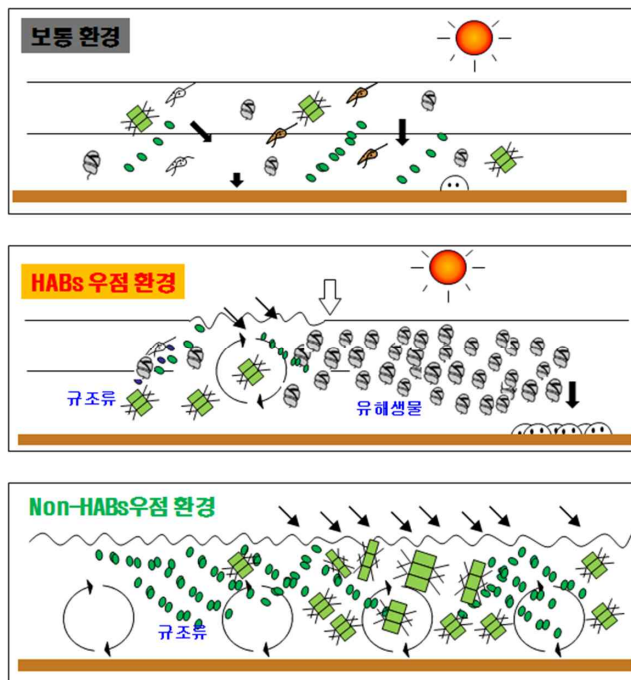
- 우리나라 적조 확산 가설: 전남 고흥 나로도에 집적된 *C. polykrikoides*은 해류를 따라 이동 및 번식하여, 경남 통영 인근 해역으로 확산. 특히, *C. polykrikoides*은 확산과정에서 해류와 바람의 이동에 의하여 Langmuir 순환에 의한 생물 집적과 분산을 반복하면서 남해안, 동해안으로 확산됨 (그림 3-33) 그러나, 현재의 적조는 나로도에서 초기 발생 후 확산보다는 각 해역에서 국지적인 적조 발생이 나타나고 있어 세부적인 연구가 필요함



[그림 3-33] 전남 고흥 나로도 해역에서 적조생물 집적 후 남해안 일대 확산 가설

나. 적조생물의 증식 기작 연구

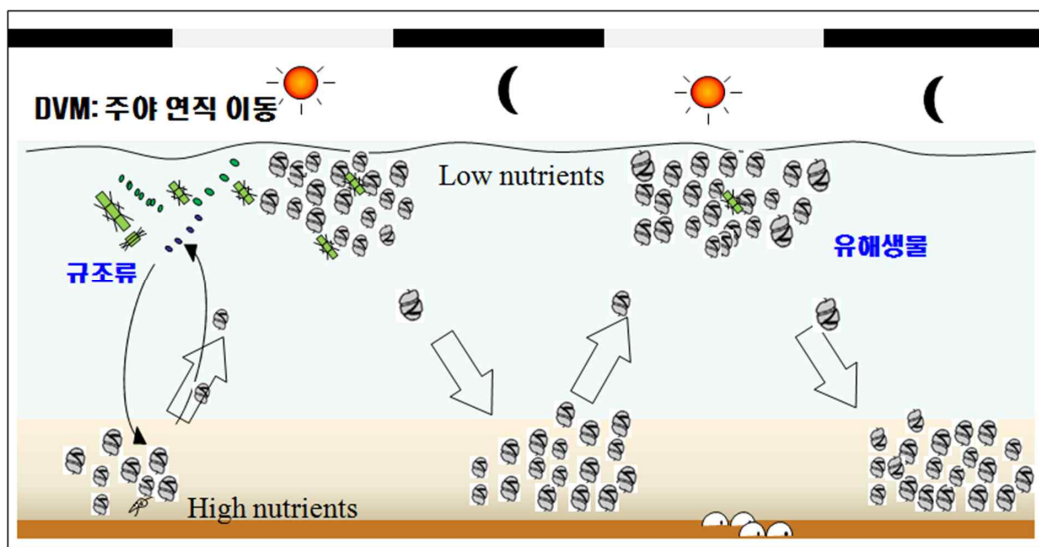
- 보통환경: 일정 농도의 영양염이 표층주변에 존재함으로, 다양한 생물이 출현할 수 있는 환경이 조성되어, 어떤 특정 유해종이 폭발적으로 증식하지 못함. 온난해역에서는 수주 내 영양염이 상대적으로 높게 존재하는 춘계와 추계에 해당됨 (그림 3-34)
- 유해성 적조생물(HABs) 대번성 환경: 춘계 구조류에 의한 대번식후 유광층 표층주변에 영양염이 고갈되면, 유영능력이 있는 편모류의 증식이 활발해지고, 하계 고수온환경에서 유해종이 폭발적으로 대발생하여 적조를 형성함 (그림 3-34)
- 비유해성 적조생물(Non-HABs) 증식환경: 하계 시기임에도 불구하고 수층 혼합이 활발하게 일어나, 표층에 영양염 농도가 지속적으로 유지되면, 비유해성 구조류가 대번성함 (그림 3-34)



[그림 3-34] 적조 원인생물의 환경별 발생 기작

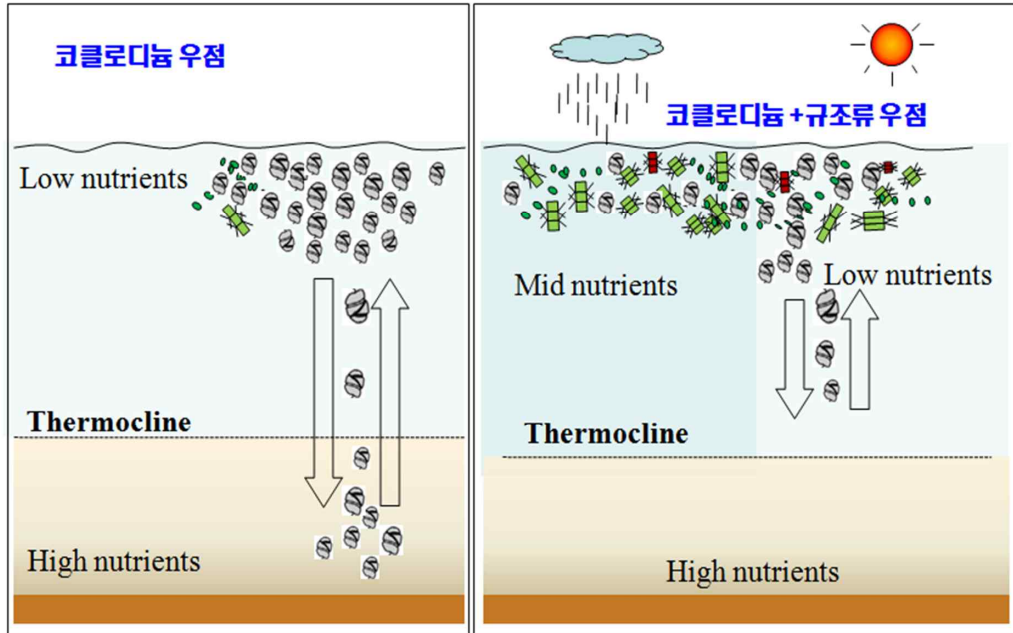
다. 적조생물의 수직 이동 연구

- 적조생물의 수직이동 패턴 분석: *C. polykrikoides*은 하계 표층주변 영양염류의 고갈로 저층의 높은 영양염류를 효율적으로 섭취(uptake)하기 위해서 주야 연직이동(Diel vertical migration)을 함. 우리나라 남해안에서 주야 연직이동하는 현장자료를 살펴보면 오후 3-6시 사이에 표층주변에서 저층으로 이동하여, 오전 4-6시 사이 다시 저층에서 표층으로 이동하는 것으로 나타남(Park et al., 2001). 따라서 *C. polykrikoides*은 낮에는 광합성을 하기 위해서 표층주변에 높은 밀도를 유지하고, 밤에는 저층의 높은 영양염을 섭취하기 위해서 연직으로 이동함 (그림 3-35)



[그림 3-35] *C. polykrikoides*의 주야연직 이동 모식도

- *C. polykrikoides*의 중간 경쟁과 유영능력: *C. polykrikoides*은 표층의 낮은 영양염 조건에서는 경쟁종인 규조류의 낮은 밀도로 존재하기 때문에 활발하게 주야 연직이동이 가능하여 최적의 리듬을 형성하여 대증식할 수 있음. 반면, 수층혼합 및 강우에 의한 영향으로 표층주변에 영양염이 일정하게 유지되면, 규조류가 번성하여 중간 경쟁에서 밀려 증식이 활발하지 않게 됨. 즉 규조류가 없는 환경에서는 수온약층을 통과하여 저층으로 내려갈 수 있는 유영속도를 유지하지만, 규조류가 높은 밀도로 유지되는 환경에서는 최적 리듬을 유지할 수 없어 수온약층 아래의 높은 영양염이 존재하는 저층으로 도달하지 못하여 성장이 둔화될 가능성이 높음 (그림 3-36)



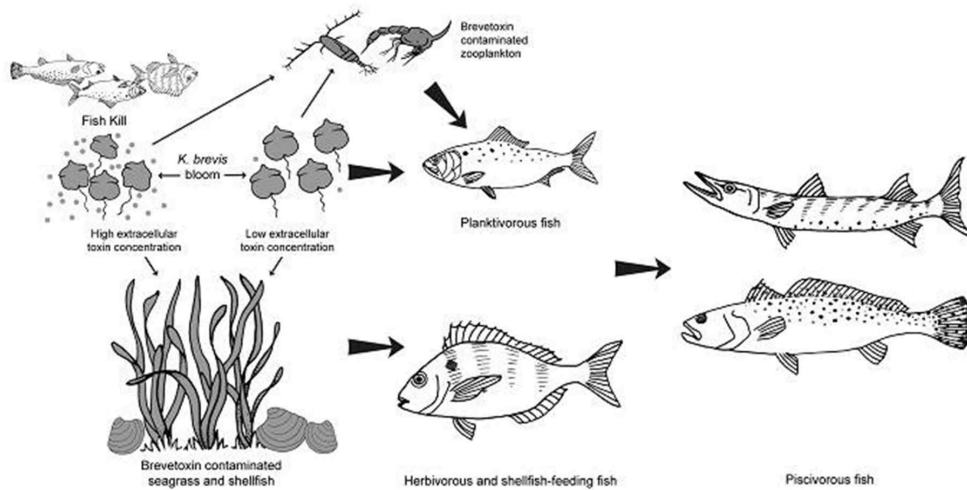
[그림 3-36] *C. polykrikoides*의 중간 경쟁에 따른 유영능력

라. 적조생물과 포식자 (상위 영양단계) 생태계간의 상호작용

- 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 포식자간의 상호작용은 해양에서 영양염과 생산력을 조절 하는데 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 독성 식물플랑크톤과 동물플랑크톤간의 상호작용 결과는 해양생태계 먹이망에도 큰 영향을 주고 있음 (Barreiro et al. 2007; Selander et al. 2015)
- 적조 생물에 대한 현장과 실험실에서의 동물플랑크톤 단일종(주로 요각류) 또는 군집 수준에서의 동물플랑크톤 반응 실험(예, 번식, 사망, 섭식 등) 연구 사례가 많음(Campbell et al. 2005; Turner and Borkman 2005; Turner 2005, 2010; Jiang et al. 2009)
  - ▷ 미국의 메인만(Gulf of Maine)에서 적조 생물의 농도가 상대적으로 낮은 적조 발생 초기에는 동물플랑크톤 섭식에 의하여 적조 발생이 지연되었으나, 더 높은 농도가 형성될 경우, 섭식과 적조 생물의 성장이 비슷하거나, 적조 생물의 성장이 섭식을 초과하여 적조 생물의 농도가 높아져서 동물플랑크톤에 의한 조절 범위를 벗어나게 됨(Turner 2010)
  - ▷ 미국 뉴욕의 페코닉만(Peconic Bay)에서 적조 원인 종인 *C. polykrikoides*에 대한 요각류 *Acartia tonsa*의 생존, 섭식, 번식을 측정하였는데(Jiang et al. 2009), 생존율, 부화률(20-43%), 알 생산력이 모두 감소하였음
- 적조 생물의 독성을 경험한 동물플랑크톤은 독성 적조 생물에 대한 저항(내성)능력을 빠르게 진화시킬 수 있는데, 실험실에서 적조 생물을 대상으로 한 실험에서 동물플랑크톤의 동일한 독성 적조 생물에 대한 저항 능력이 2~5 세대가 지나면서 급격하게 증가하였음(Colin and Dam, 2004). 이러한 결과는 독성 적조 생물이 발생한 지역과 발생하지 않은 지역의 동물플랑크톤의 독성 적조 생물에 대한 저항 능력이 다를 수 있음(Colin and Dam, 2007). 따라서 실험

실 결과를 자연에 적용하는데 한계가 있음에 주의가 필요함

- 적조 생물의 다양한 독성은 적조 생물을 섭식하는 동물플랑크톤이나 갑각류를 통하여 동물플랑크톤 식성 어류와 어류 식성 어류에게 전이되어 생태계 먹이망에 영향을 줄 수 있는데(Teegarden and Cembella 1996; Turner and Tester 1997; Campbell et al. 2005; Jester et al. 2009), 이와 같이 적조 생물의 독성 물질의 전이 및 생태계에 미치는 영향에 대한 연구도 진행되고 있음 (그림 3-37)



(<https://www.eol.ucar.edu/projects/ohhi/grants/projects.html>)

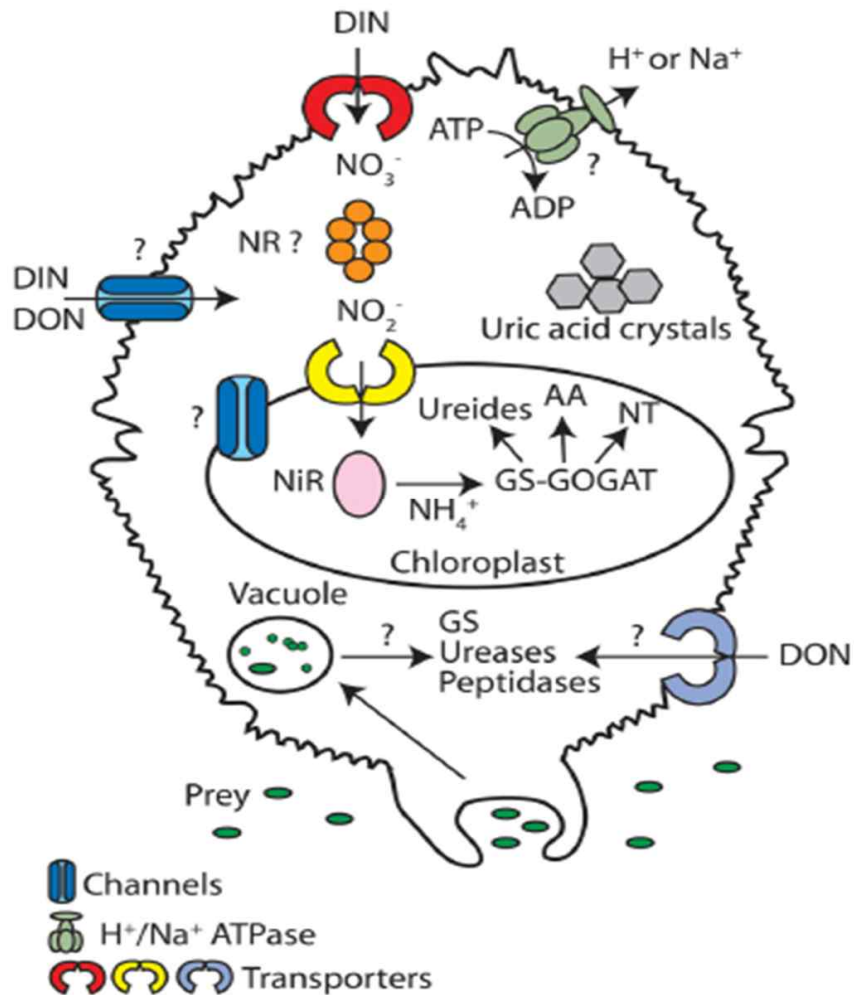
[그림 3-37] 적조 발생후 생태계의 전이과정

- 최근의 스웨덴 연구팀은 적조 생물과 요각류의 상호작용에 대한 연구에서 포식자인 요각류가 분비하는 지방(lipid) 성분에 의하여 적조 생물(예, *Alexandrium minutum*)의 마비성 패독의 농도가 더 증가함을 보고하여, 포식자가 분비하는 화학적 신호가 적조 생물의 번성을 더 촉진시킬 수 있음을 보였음(Selander et al. 2015)
- 독성을 가진 적조 생물이 동물플랑크톤에 해로운 영향을 주는 것은 적조 생물의 독성에 의하거나 적조 생물이 영양학적으로 충분하지 않기 때문임. 그러나 국내 주요 적조 생물인 *C. polykrikoides*가 동물플랑크톤에게 유해한 영향을 줄 수 있는 원인이 적조 생물의 독성 때문인지, 영양 결핍 때문인지, 아니면 두 가지 원인의 복합적인 작용에 의한 것인지는 아직까지 실험적으로 증명되지 않았음
- 동물플랑크톤과 적조 생물의 상호작용에 대한 국내 연구는 주로 유해적조 생물에 대한 동물플랑크톤 섭식압 영향과 동물플랑크톤 반응에 초점을 맞추고 있음. 다양한 식물플랑크톤 먹이(적조생물 포함) 종류에 대한 요각류의 번식 반응 연구에서 *Acartia omorii*의 알 생산력과 알 부화율이 *C. polykrikoides* 먹이로 인하여 크게 감소하였음(Shin et al. 2003). 그러나, 남해안 *C. polykrikoides* 적조 발생 시 환경 특성과 동물플랑크톤 군집 동태에 대한 연구



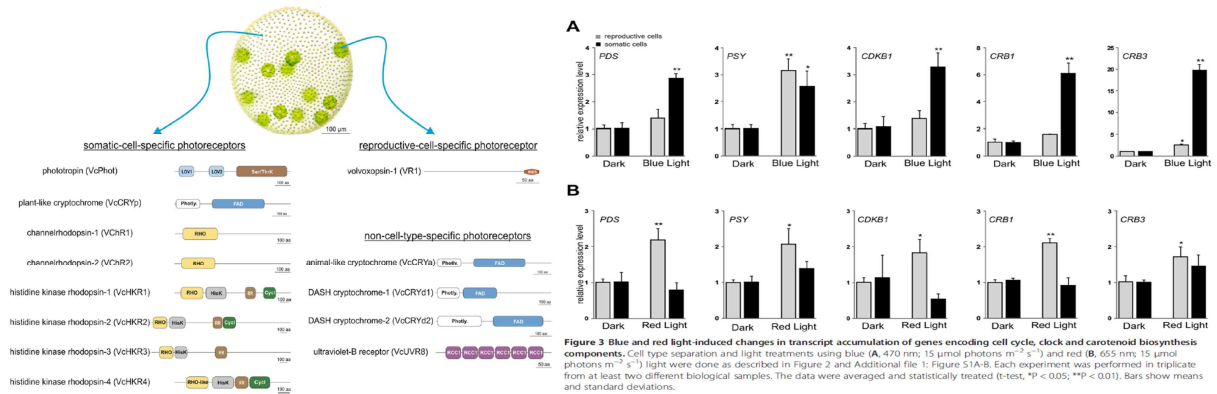


- 적조생물의 생리학적 대사과정 분석을 통한 적조 발생 기작 연구: 질소는 아미노산, 핵산, 클로로필과 독소를 합성하는데 필요하기 때문에 와편모조류의 성장을 제한할 수 있는 필수 요소라 할 수 있음. 그러나 와편모조류에서 질소를 합성하고 운반하는데 관여하는 운반체나 채널 단백질의 분자적 기작에 대해서는 거의 알려진 바가 없어 다른 광합성 진핵 생물에서 밝혀진 질소 대사와 유사할 것으로 추정하고 있음 (그림 3-39)
- ▷ 와편모조류와 규조류는 용존 무기질소 또는 무기인이 제한 영양염으로 작용하는 환경에서 서로 경쟁하는 것으로 알려져 있음. 용존 무기질소 제한으로 인한 질소 스트레스는 와편모조류의 규조류의 생존에 필요한 여러 가지 대사 기작에 영향을 주고 있으며 특히 와편모조류에서 질소 스트레스는 생체시계 조절 및 수직이동/질산염 흡수와의 밀접한 관계가 있다고 보고됨
- ▷ 규조류의 유전체 분석 결과 밝혀진 질소동화 (N assimilation)에 필요한 효소들은 모두 암모니아와 이산화탄소가 요소로 변하는 OUC (Ornithion-urea cycle) 순환에 필요한 효소들이었으며, 이들은 식물이나 녹조류에는 없지만 후생동물에는 존재하는 것으로 보고되었음



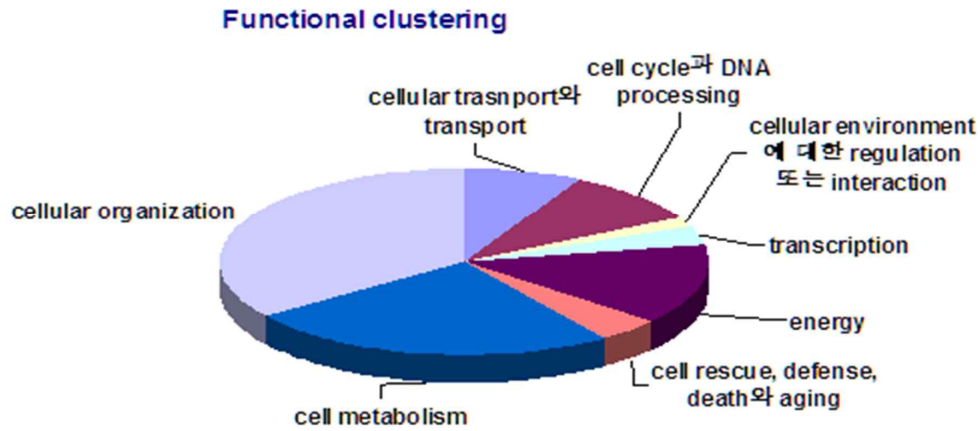
[그림 3-39] 와편모조류의 질소 대사 모식도 (Dagenais-Bellefeuille and Morese, 2013)

- ▷ 2013년에는 전사억제에 따른 RNA 안정성을 비교하기 위해 전사억제 후 시간이 경과함에 따른 와편모조류 *Karenia brevis*의 mRNA 반감 정도를 분석한 연구결과를 보고함
- ▷ 광합성을 하는 녹조류 특이적인 유전체 발현 분석을 통해 세포주기, 생체시계에 대한 연구가 진행된 바 있으며, 녹조류 *Volvox*의 광수용체 단백질은 체세포 특이적인 광수용체, 생식세포 특이적인 광수용체, 세포특이성이 없는 광수용체 단백질로 구분되며 서로 다른 기능을 하는 각각의 도메인으로 구성되었다고 보고됨 (그림 3-40). 또한, 체세포와 생식세포에서 서로 다른 파장의 빛에 따른 유전자 발현을 비교 분석한 결과 세포주기, 생체시계, 카로티노이드 생합성에 관련된 유전자들의 발현 변화가 관찰됨



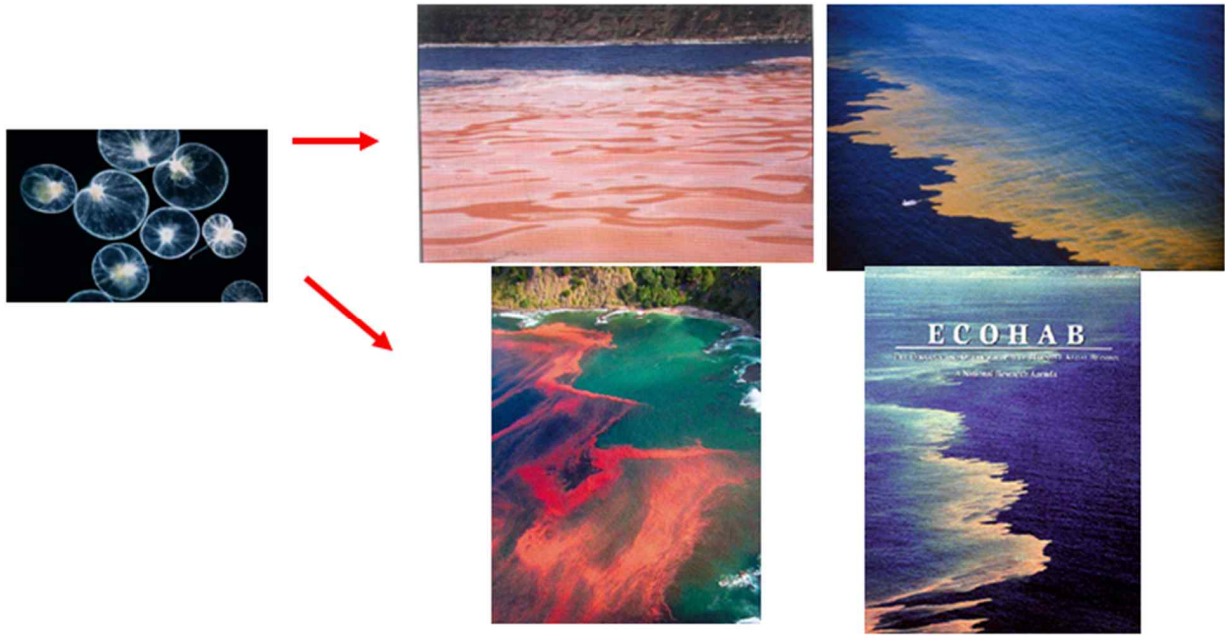
[그림 3-40] *Volvox* 광수용체 단백질 (Kianianmomeni, 2014) 및 세포주기, 생체시계, 카로티노이드 생합성 관련 유전자들의 변화 분석

- ▷ *Volvox*의 48시간 생활주기를 기준으로 배양에 사용된 명암주기는 16시간/8시간이며 체세포와 생식세포 분리 후 26시간 동안 암상태에서 배양한 후 1시간동안 빛을 처리하여 서로 다른 파장의 빛에 의한 유전자 발현을 분석함. 특히, 체세포(S)와 생식세포(R) 특이적으로 서로 파장의 빛 (Blue 470 nm, Red 655 nm)에 의해 발현이 조절되는 유전자 변화되며, 이를 바탕으로 적조원인종의 생체시계 조절 및 수직이동과 관련된 연구 수행이 필요한 실정임
- 국내에서는 2000년부터 2004년까지 한국해양과학기술원 남해연구소에서 ‘해양 유독식물플랑크톤의 유전자 자원화 기술개발’ 연구가 수행되었음. 해양 유독식물플랑크톤을 분리하고 분자생물학적 분류방법을 확보하였으며, biotoxin을 합성하는 *Alexandrium tamarens*의 cDNA library를 제작하고 EST 분석을 통해 saxitoxin 생성에 관련된 유전자 발현을 분석하였음 (그림 3-41)



[그림 3-41] *Alexandrium tamarense* EST 분석

- 2010년부터 2012년까지 부경대학교에서 농림수산식품부의 지원으로 수행한 연구에 따르면 *C. polykrikoides*을 유해적조 초기발생의 지표종(indicator species)로 판단하고 *C. polykrikoides*의 생활사 해명을 통해 적조 발생 원인을 규명하고 지역별 적조 잠재력 및 모니터링에 활용하고자 하였음
  - 2010년부터 2013년까지 상명대학교에서 수행한 ‘해양 유해조류의 발현유전체 해독 및 분자적 이해’ 연구와 ‘유해생물 외편모조류의 전사체 분석을 통한 해양 유해조류 대발생 및 억제를 위한 유전자 규명’ 연구는 국내 토착 유해조류를 대상으로 유해조류 대발생의 환경조건 규명을 위해 온도, 염분도에 따른 생리적 특성을 밝히고, 다양한 환경조건에 따른 전사체를 분리하여 EST를 분석하고 Oligo Chip을 개발함
  - 2014년 수행된 ‘적조방제를 위한 *C. polykrikoides* 생리연구’에서는 국내 해역에서 빈번하게 적조를 유발한 *C. polykrikoides* 대발생을 유도하는 성장인자 또는 환경유인에 대한 성장 특성을 규명하고자 하는 연구가 진행되었으며, 유전체 분석을 통해 적조 발생에 관여하는 유전자를 대량 발굴하고자 하였고, 특히 핵 복제 및 증식과정에 관여하는 유전자의 기능을 분석하고자 하였음
- 바. 신규 적조 발생 가능성 탐색 및 대책
- 신규 적조생물 출현 모니터링의 필요성
    - ▷ *C. polykrikoides* 적조종 외 인간에게 피해를 야기할 수 있는 신규 적조 생물을 고려해야 함. 이중 야광충은 *C. polykrikoides*과 같이 빈번히 적조를 야기하는 종이며, 이들이 대발생한 경우, 개체 수에 따라 토마토 스프, 주황색의 띠 혹은 빨간색의 띠를 나타냄. 이에 따라 육안관측 및 인공위성 해석 자료를 통해 그 분포특성을 감지할 수 있음 (그림 3-42)



[그림 3-42] 야광충의 형태와 대발생 시 다양한 해역에서의 바닷물 변색특성

▷ 야광충 *Noctiluca scintillans*의 연구보고는 인천 연안에서 1년간 2주 간격으로 조사하여 야광충 동태를 파악하였고, 춘계와 추계에 최대 개체수를 나타냈음. 엽록소 농도 증가와 10일 정도의 차이를 두고 반응을 나타냈고, 주요 요각류의란을 섭식하여 초기단계의 개체군 크기를 결정함(유 등, 2006). 광양만과 진해만에서 식물플랑크톤 현존량이 야광충 개체수 증가에 기여하는 한 요인임(백 등, 2011). 주요 무역항 중에 광양항이 야광충의 높은 개체수가 일정하게 유지될 수 있는 환경임을 규명(강, 2010). 북 아드리아 해에서 출현한 야광충의 주요먹이는 박테리아, 식물플랑크톤, 그리고 소형동물플랑크톤으로 밝혀짐(Umani et al., 2004). 일본 사가미 만에서의 야광충 대발생 요인은 최초 야광충의 집적과 높은 먹이농도에 기인함을 보고함(Miyaguchi et al., 2006). 중국 남중국해에서는 야광충의 대발생이 강우량이 낮은 무더운 날씨와 먹이농도라고 보고함(Huang and Qi, 1997). 야광충 대발생 시 동물플랑크톤과 먹이경쟁에서 우위를 점하며, 요각류란을 포식하여 동물플랑크톤 개체군에 영향을 미침(Quevedo et al., 1999).

- 기존 적조 야광충의 대발생 야기 요인과 생태계에 미치는 영양학적 특성이 상대적으로 잘 알려져 있으나, 대발생 기작은 지역적으로 차이가 있음. 또한 그 위해성의 대상과 범위에 대한 구체적 정보가 제한적임. 따라서 한국 주변해역에서 지역적으로 특이한 대발생 기작을 규명하고, 그 대발생의 위해성 평가를 수행하여 대응수준과 방향 결정이 필요함. 그리고 아열대 해역에서 문제가 되고 있는 녹색 야광충은, 한국 주변해역의 온난화와 난류 유입의 강화로 인해 유입 가능성이 한층 강화됨. 이로 인해 과급될 수 있는 영향과 출현특성 파악이 시급함

- 아열대 적조종의 침입, *Green Noctiluca*
  - ▷ 열대에서 아열대 해역에 이르는 지역(태국, 인도, 필리핀, 뉴기니아 해역)에 green Noctiluca form이 출현함(Sweeney, 1971; Hansen et al., 2004; Sriwoon et al., 2008)
  - ▷ 섭식한 식물플랑크톤의 광합성을 통한 성장 (endosymbiont growth)
  - ▷ 유독성 종[*Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (마비패독 생성종)]을 섭식 후 성장하는 경우 그 위해성이 강화될 가능성이 높음(GEOHAB, 2008)
  - ▷ 신규 적조발생 가능종인 녹색야광충 (*green Noctiluca*)은 아열대 해역 특성 강화와 연동하여 발생 가능하므로, 출현가능 최전선 정점에서 연속 혹은 정기적으로 직접관찰에 의한 장기모니터링을 통해 도입 및 발생 확인이 필요함

## 5. 적조 발생에 따른 양식어류 피해 저감 방안

### 가. 적조 농도별 및 어류 피해 연구 동향

- 적조발생 매커니즘 및 제어연구 (국립수산과학원, 2010)
  - ▷ 식물플랑크톤의 유해성 탐색기술연구: 조피볼락, 감성돔 치어, 바지락, 가무락에 대한 유해성 파악
  - ▷ 식물플랑크톤 유해성연구: 적조생물의 활성산소와 어류폐사기작 파악
  - ▷ 적조생물 탐색기술연구: Real-time PCR을 이용한 유해적조생물 검출 기법 개발 및 Sandwich hybridization기법을 이용한 *C. polykrikoides* 조기 검출 기술 개발
  - ▷ 적조피해 제어기술연구: 물리·생물학적 제어기술연구 및 황토사용량 경감기술 연구
  - ▷ 황토살포가 해양생태계에 미치는 영향연구: 강우를 통한 황토의 연안 유입량과 황토살포 시 퇴적·확산연구 및 황토살포가 주요수산생물 및 해양생태계에 미치는 연구
- 유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구 (국립수산과학원, 1998)
  - ▷ *C. polykrikoides* 최적 성장 조건: 25℃에서 일간 성장률이 0.435의 최고치를 보여 이중의 최적 적조발생 수온은 25℃ 규명, 염분 농도별 성장조사에서 15 psu 이하의 저염에서는 성장률이 0.29로 매우 낮았고, 35~40에서 일간 증식률이 0.38 내외로 가장 높은 값을 보여 저염분의 환경 조건보다는 고염분인 조건에서 증식이 활발한 종으로 나타남. 영양염류 농도 구간별 성장 실험에서 질산 질소와 암모니아 질소의 경우 40  $\mu$ M까지는 농도에 비례하여 성장률도 직선적으로 증가하는 것을 볼 수 있었고, 인산 인도 5  $\mu$ M 이하의 농도에서는 농도에 비례하여 성장률도 직선적으로 증가함
  - ▷ *C. polykrikoides* 적조생물의 어류에 대한 독력은 어종에 따라, 조사 연도에 따라 다르게 나타났으며, '98년의 경우 쥐치 3,000 cells/mL, 돌돔 5,000 cells/mL, 넙치 8,000 cells/mL 이상의 밀도에서 폐사가 발생하기 시작
  - ▷ 굴, 피조개, 홍합, 전복 등 패류는 폐사가 발생하지 않아 직접적인 유해성은

없었음

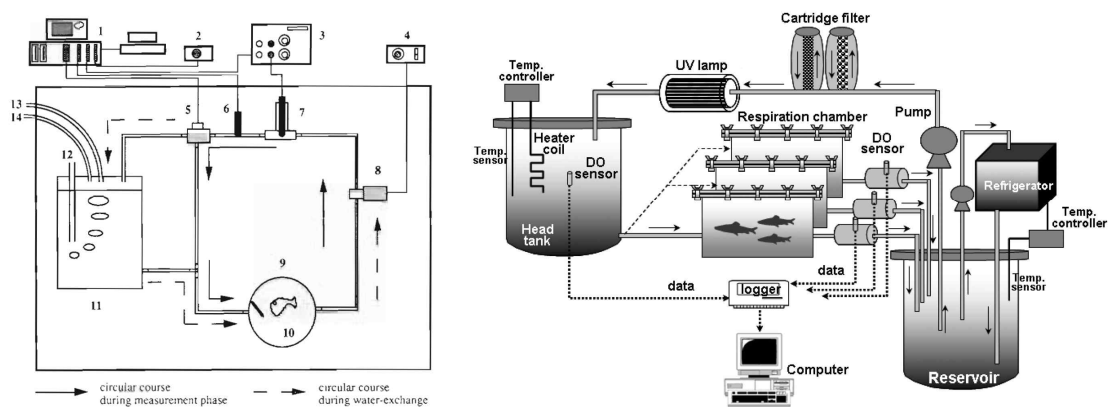
- ▷ *C. polykrikoides*의 수용성 및 지용성 용매추출 물질에 의한 어독성 실험결과 및 납치, 조피볼락 모두 폐사하지 않음
- ▷ Mouse에 의한 수용성 독성반응에서 20 mg/mL까지 주사할 경우 정상적인 상태였으나, 30 mg/mL 및 40 mg/mL 주사시 아치사 상태 후 정상으로 회복되었는데 이것은 이물질이 복강에 주입됨으로서 일어난 현상으로 보임
- ▷ *C. polykrikoides*는 유해 활성산소 화학 종을 발생 시키는 것으로 확인되었으며, 발생률은 다른 적조생물보다 5~7배 가량 높았고, 다른 비교 적조 생물에 비해 점액질이 많았으며, *C. polykrikoides*에 노출된 어류의 점액질 분비는 대조구에 비해 훨씬 높았음
- 적조생물 및 피해저감 기술연구 I. 유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구 (국립수산과학원, 2000)
  - ▷ DNA 또는 WGA lectin probe을 이용한 유독종 *P. multiseriis* 신속 탐색을 위한 연구 결과, WGA lectin과 DNA probe와의 상관계수는 높았으며, *P. multiseriis*와 독화된 굴 ASP 축적과는 관계가 있는 것으로 나타남
  - ▷ *P. multiseriis*와 *P. pungens* ITS 염기서열 분석결과, *P. multiseriis*의 ITS 길이는 358 bp, *P. pungens* 길이는 409 bp로 나타났으며, G+C 함량은 44.1%, 45.9%로 유사하였다. ITS 길이는 *P. multiseriis*와 *P. pungens* biomarker로 사용될 수 있는 것으로 밝혀졌음
- 유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구 (1997)
  - ▷ *A. tamarense*를 대상으로 납치 치어와 굴 및 진주담치에 대한 독성 반응 결과, 이들 수산생물은 *A. tamarense*의 밀도 1,000~10,000 cells/ml 범위에서 48시간동안 폐사가 일어나지 않음. 그러나 48시간 노출된 수산생물에서는 마비성 패독(Paralytic Shellfish Poisoning, PSP)이 굴은 169  $\mu\text{g}/100\text{g}$ , 진주담치는 85  $\mu\text{g}/100\text{g}$ 이 검출되었으며, 1997년 4월 진동만에서 적조를 일으킨 *A. tamarense*의 세포 독력은  $8.8 \times 10^{-5}$  MU/cell을 나타냄
- 유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구 (국립수산과학원, 1999)
  - ▷ *C. polykrikoides*의 어류 유해성은 적조밀도가 약 3,000 cells/mL 이상으로 활동성 어류가 정착성 어류보다 *C. polykrikoides*에 민감하며, *C. polykrikoides*에 의하여 아가미 세포의 이온수송전달 효소활성저해는 아가미 세포의 기능적 장애를 일으켜 혈액의 pH 및 산소분압을 저하시킬뿐만 아니라 삼투압, 불균형을 초래, 궁극적으로는 어류 질식사를 유발시킴

#### 나. 적조 생물의 밀도별 양식 어류 사망 임계점 규명

- 해양의 적조 발생은 해상 가두리 양식장은 물론 해수를 사용하는 육상 양식장에서도 양식 생물의 대량 폐사를 유발함. 이러한 원인 규명과 대안을 찾기 위해 적조 생물이 전복의 호흡에 미치는 영향 연구를 국립수산과학원이 수행하였음(Seo an Lee, 2007). 연구결과 적조 생물은 야간에 호흡을 통해 용존산소를 크게 떨어뜨려 전복이 서식하기 어려운 환경을 만듦. 따라서, 적조 생물에 의한 용존산소 감소는 전복 폐사의 한 원인으로 밝혀짐
- 어류를 포함한 다양한 해양 동물의 호흡률 측정 측정을 위한 다양한 장비들이

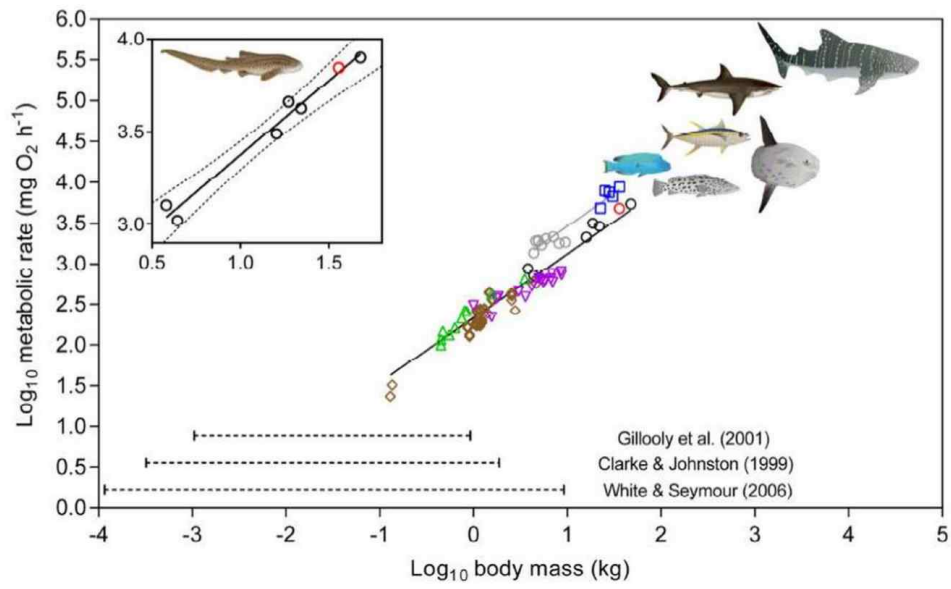
개발되고 있음 (그림 3-43). 해양 동물의 호흡률 측정을 위한 대표적인 장비는 한국해양과학기술원에서 개발한 해양 동물 호흡률의 자동 장기 연속 측정 장치(용존산소 측정; Kim et al., 1996)와 해양 동물의 대사율 측정 장비(용존산소 측정; 오와 노, 2006) 등이 있음. 이러한 장비를 통해 온도변화에 따른 생물 고유의 용존산소 소모량 변화 측정이 가능함(Kim et al., 2005)

- 국외에서 역시 해양생물의 호흡률 측정을 위해 다양한 장비들이 개발되고 있음. 개발된 장비는 어란은 물론 초대형 해양어류의 호흡률을 측정이 가능함. 이를 통해 어류의 크기에 따른 대사율은 물론 생물 고유의 생체리듬, 어란의 발생단계에 따른 호흡률 변화 등 다양한 연구를 수행하고 있음 (그림 3-44)
- 호흡률은 온도에 따라 변함. 따라서 적조생물에 대한 생물의 영향을 파악하기 위해서는 사육 밀도와 온도에 따른 생물 고유의 호흡률 변화 규명이 중요함. 이를 위해서는 현재까지 개발된 다양한 호흡률 측정 장비를 이용한 단일 생물의 호흡률 측정은 물론 적조 생물과 양식 어류의 종별 호흡률과 두 종류 생물의 교호작용에 대한 연구가 필요함. 이를 통해 적조 생물의 영향은 물론 주변의 해양환경에 따른 어류 종별 사망 임계 조건을 찾을 수 있을 것으로 판단됨. 해양동물의 사망 임계 조건은 고밀도의 적조 생물 발생 시 해상 가두리 양식장의 어류 폐사 예측과 대안 수립의 근거가 될 것으로 생각됨



[그림 3-43] 해양동물 호흡률 및 대사율 측정 장치





[그림 3-44] 어류의 크기에 따른 에너지 대사율 변화 (Payne et al., 2015)

의도적 공백



## 제4장 적조 통합 관리체계 연구 개발 계획

제1절 사업 목표 및 핵심기술 내용

제2절 단계별 연구 내용

제3절 연구 개발 추진 전략

제4절 사업 추진체계 및 역할 분담

제5절 기술 개발 성과 제시

제6절 사업 규모

제7절 기술 개발 결과의 활용방안 및 기대 효과



의도적 공백

## 제 4 장 적조 통합 관리체계 연구 개발 계획

### 제 1 절 사업 목표 및 핵심기술 내용

#### 1. 사업 목표

##### 가. 최종 사업 목표

적조에 의한 통영해역 양식장 피해 최소화 위한 현장센서-ICT 융합-적조 실시간 탐지·대응·통합관리 기술 개발 (그림 4-1)

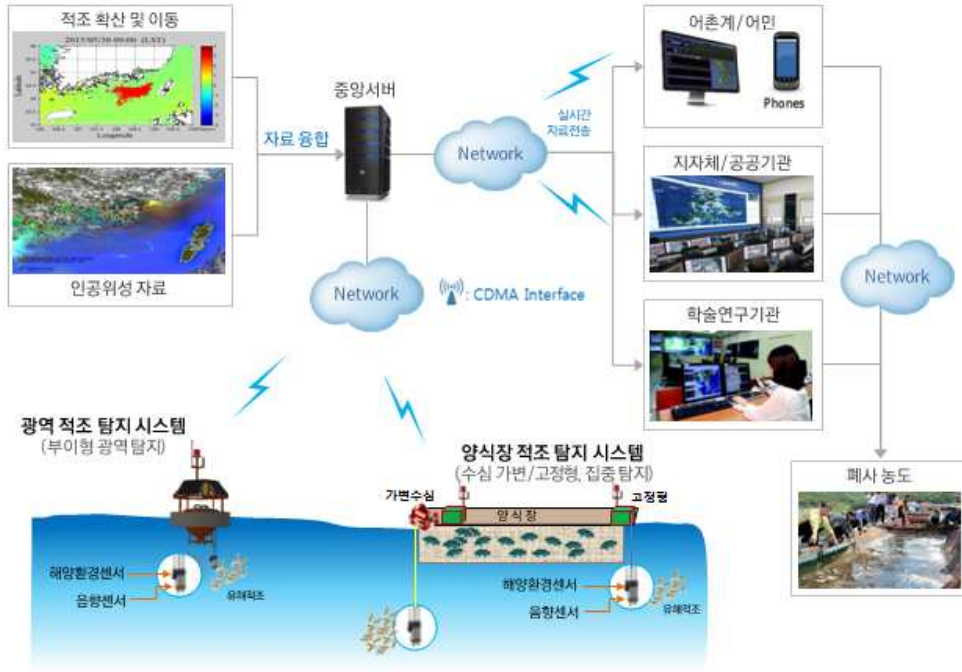


[그림 4-1] 통영 해역 적조 실시간 탐지·대응을 위한 통합관리 체계 구성도

#### 2. 핵심 기술

##### 가. 초기 유입 적조 탐지

- 인공위성을 통한 적조 발생 및 유입 탐지, 무인 항공기 및 무인 선박을 이용한 적조 발생 조기 탐지, 부이형 실시간 적조탐지 음향/환경 관측 시스템을 이용한 적조 발생 탐지 (그림 4-2)



[그림 4-2] 적조 실시간 탐지 및 자료 전파 시스템 운용도

○ 인공위성을 이용한 적조 탐지

- ▷ 외해 또는 근해에서 발생하는 적조를 사전에 탐지하여 본 과제의 연구 지역인 통영해역에 영향을 미칠 수 있는 적조 양상을 모니터링 하는 것임 (그림 4-3)
- ▷ 위성 기반 적조 발생 탐지 알고리즘의 검증: 해상 위성자료를 이용하여 적조 발생을 탐지하기 위해서는 기후자료 분석 및 광스펙트럼 기법 등의 검증이 선행되어야 함. 과거 적조 발생 자료를 이용하여 hindcast 실험을 수행하여, 적조 탐지 정확도 및 성능을 도출함



[그림 4-3] 초기 적조 발생 광역 모니터링 시스템

- 무인 항공기 초분광 영상 촬영을 통한 국지적인 적조 발생 및 이동 양태 분석
  - ▷ 항공영상 관측은 해상위성보다 월등히 높은 해상도로 구름보다 낮은 고도로 해당 해역을 관측할 수 있다는 장점이 있음
  - ▷ 적조 발생 시 즉시적으로 항공촬영을 수행함으로써 적조 분포 양상과 이동 추이를 파악할 수 있는 영상을 획득할 수 있으며, 이는 기타 위성, 모델 및 정점 관측 자료의 검증과 해석함
  - ▷ 통영지역 항공영상 촬영 계획 수립. 적조 발생 전 1회, 최초 발생 시 1회, 추가적으로 1~2회 촬영을 통해, 적조 전후의 해색 비교와, 적조 발생 후 분포 및 이동 경로를 파악함
  - ▷ 촬영된 영상의 기하보정, 복사보정, 대기보정, Sky/sun glint 보정 연구
- 음향탐지 시스템을 통한 적조 탐지
  - ▷ 적조 탐지 음향 센서, 환경 관측 센서(클로로필 센서, 수온/염분 센서 등)를 탑재한 부이 운용형 탐지 시스템을 적조 이동 중요 지점에 설치하여 광역 적조 탐지 및 환경 관측 시스템 운용 (그림 4-4)
  - ▷ 측정된 광역 적조 음향 탐지 시스템 및 환경 관측 센서는 육상의 기지국에 실시간 전송되어 적조 발생의 공간 분포 특성 파악과 발생 환경 분석에 활용
- 준수시간 경고 발생 시스템 구축
  - ▷ 자동화된 적조 탐지 알고리즘으로 적조 의심 해역이 발생하였을 경우, 준수시간으로 발생 상황을 전파할 수 있는 체계를 구축함
  - ▷ 천리안 영상을 실시간으로 수신하여 적조 탐지 알고리즘을 적용한 후, 본 연구 결과로 수립되는 적조 예보 시스템에 신속하게 전파될 수 있도록 프로세스 자동화
  - ▷ 경고가 발생한 해역에 대하여 심층 분석을 통하여, 적조 발생 유무를 판단하여 전파



[그림 4-4] 통영해역의 광역 적조탐지용 부이 시스템 설치 위치 안

나. 적조 이동 경로 및 확산 범위 예측

○ KOOS 기술 활용을 통한 적조 이동 예측 시스템 구축 및 운용 (그림 4-5)

▷ KOOS 연안 순환 예측 모델의 격자의 영역은 그림과 같고, 이 영역에서 풍성류, 천문조에 의한 조류, 해류를 포함한 유속 정보, 바람 정보, 수온, 염분에 대하여 매일 72시간 예측정보를 생산

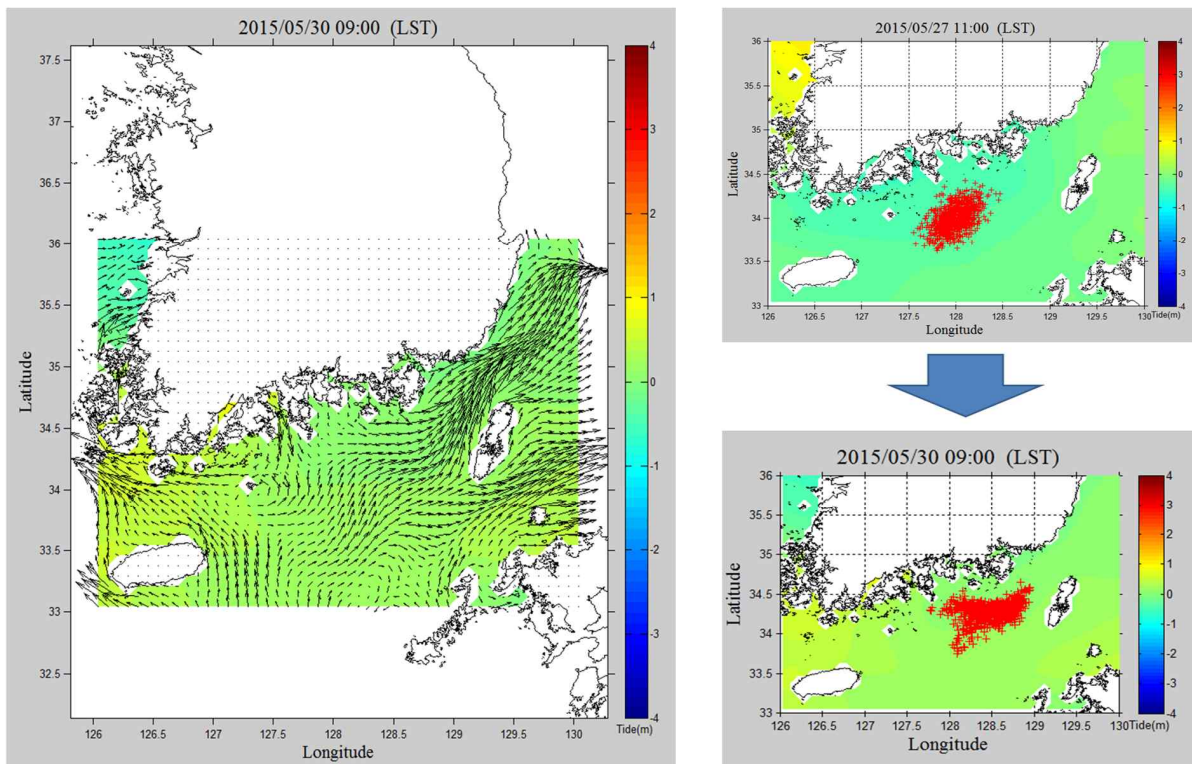
▷ 시범 해역(통영 연안) 정밀 격자 예측 시스템 개발 (150 m)

○ 적조-생태계 모형

▷ 본 기획에서 명명한 적조-생태계 모형이란 통영을 포함한 우리나라 주요해역에서 나타나는 *C. polykrikoides*의 발생과 증식 그리고 소멸과정을 포함한 NPZD 기반 하위 생태계 모형으로 한정하며, 다음과 같은 핵심기술을 포함

- *C. polykrikoides* (CP) 역학모형 개발: CP의 발생-증식-소멸에 대한 전 과정을 모사할 수 있는 모형 개발
- *C. polykrikoides*를 포함한 1차원 하위 생태계 모형 개발: CP 역학모형을 일반적인 하위생태계 모형과 결합하여 다른 종과의 경쟁 및 포식과정 포함
- 3차원 이동·확산 모형과의 결합: 개발된 CP-하위생태계 모형을 3차원 물리 모형과 결합





[그림 4-5] 적조 이동 경로 및 확산 범위 예측 모델 구축

- 시범 해역(통영 연안) 정밀 적조 확산 모델 개발 (물리 + 생물)
  - ▷ 해상상태 예측자료를 이용하여 적조입자의 이동을 추적할 수 있는 시스템을 구축.
  - ▷ 적조확산 예측은 다른 표류예측과는 달리 적조생물의 개체 수 증가 및 감소 등 생물학적인 요소들도 고려해야 하기 때문에 생태모델(고려사항: 영양염-적조생물 포식자)을 접합하여 구축.

- 모델 및 측정 자료 (음향 등) 기반의 이동 예보 모델 개발
  - ▷ 본 사업에서 구상 중인 음향탐지 시스템 및 인공위성을 이용한 관측결과를 초기조건으로 하는 예측 시스템 개발
  - ▷ 적조 발생 시기에는 다양한 지점에서 적조 발생이 관측되기 때문에 이러한 자료는 적조 발생을 예측하는 모형의 성능평가 자료로 활용할 수 있음
- 입자 역추적 (back tracking) 모듈을 이용한 적조 발생 위치 예측 (물리적 예측)
  - ▷ 적조는 발생원인과 초기발생위치가 명확하지 않으므로 입자역추적 방법을 이용하여 입자의 물리적 이동에 대한 시작점을 유추해 볼 수 있을 것으로 판단됨
  - ▷ 광역 적조 예측모형의 경우에는 위성관측에 의한 엽록소 농도 정보를 이용하는 것이 효율적이고, 불가피한 상황. 다만 인공위성 정보는 구름으로 인한 결측 영역이 빈번하고 크게 발생하기 때문에 연속적인 인공정보의 결측 구간 채움 기법(Missing imputation algorithm)개발이 요구됨.
  - ▷ 시범 해역의 경우에는 해당 해역의 대표적인 흐름 양상을 고려하여 경계에 해당하는 2-3개 지점 및 내부 검증지점의 간측 자료가 요구된다. 내부 검증 지점은 많을수록 바람직하기 때문에 양식장을 이용한 관측시설이 요구됨

다. 양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링

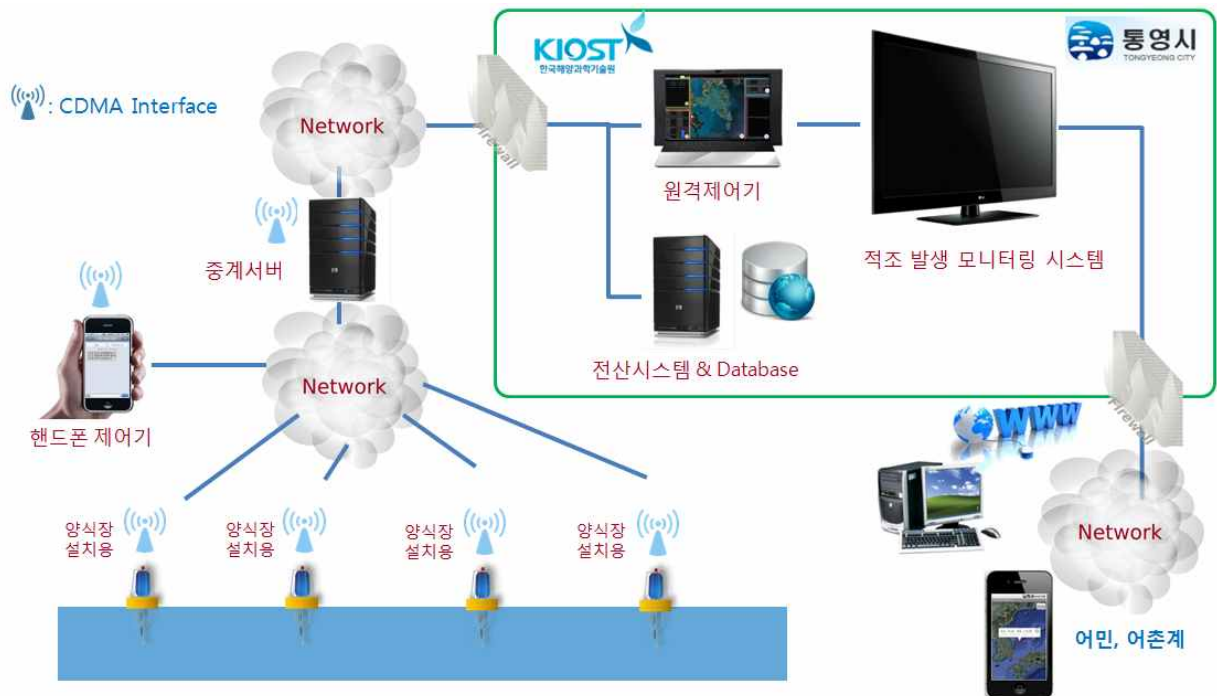
- 음향탐지 시스템/유전자 검출키트/형광 검출키트/스마트폰 기반 광학탐지 시스템을 이용한 적조 농도 실시간 정밀 모니터링 (그림 4-6)



[그림 4-6] 양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링 시스템

○ 음향시스템 구축

- ▷ 통영해역 내 양식장을 중심으로 6월 말부터 9월 초까지 통영을 중심으로 한 남해 해역을 집중 모니터링 함
- ▷ 음향탐지 시스템은 양식장을 대상으로 하기 때문에, 휴대용 혹은 소형 음향 적조 탐지기를 설치하고, 수집 데이터는 수신/송신/저장하는 중계서버, 중계 서버로부터 실시간으로 수집 정보를 분석하고 예측하는 관제 서버, 그리고 각종 수집/분석된 정보들을 전달하고 표시하는 시스템을 구축함 (그림 4-7)
- ▷ 특히 양식장 부근에 설치한 일부 시스템은 가변 수심 탐지 체계를 적용하여 주야간 탐지가 가능한 체계를 구축하여 적조에 취약한 야간이나 새벽 시간대의 적조 피해를 실시간 파악할 수 있는 자료를 제공함 (그림 4-8)
- ▷ 대상 해역에 서식하는 종에 대한 음향 특성 파악 : 적조 발생 탐지를 위하여 적조 종의 개체 수 증가에 따른 후방산란강도 측정을 통한 음향학적 특성 분석이 선행되어야 함. 즉, 과거 음향 센서를 이용한 적조 탐지 실험에서 수집한 데이터를 이용하여 적조종의 개체수와 초음파 센서에서 수신한 후방산란 신호 사이의 상관성을 이용하여, 적조 탐지 정확도 및 성능을 도출함 (그림 4-9)
- ▷ 적조종의 확산과 환경 변화의 상관 관계 파악 : 적조 탐지 및 예측 기능 향상을 위하여 대상 해역의 환경 데이터 (수온, 염분, 일사량, 엽록소)를 수집하여 적조 종의 개체 수 증가와의 상관성을 이용하여 적조 탐지 및 예측 기능 향상을 도모함
- ▷ 각 수집된 환경 데이터와 적조 발생과의 연관성 분석



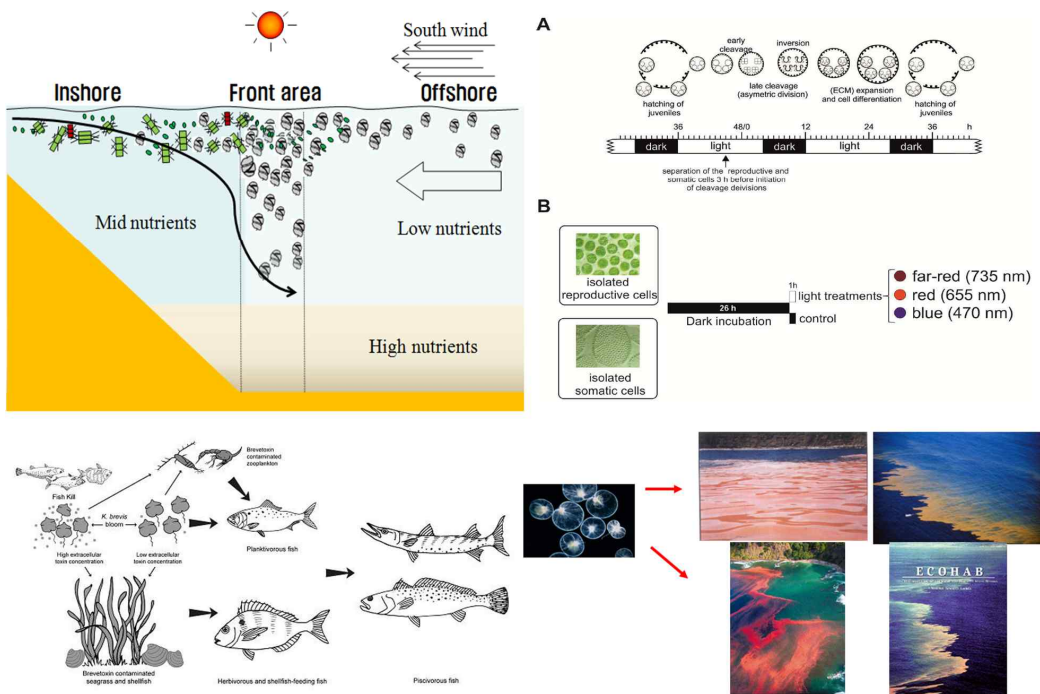
[그림 4-7] 양식장 운용형 적조 탐지 시스템 구성도



- 스마트폰 기반의 적조 광학탐지 시스템 개발
  - ▷ 스마트폰 기반 적조 광학탐지 영상 전송 앱 개발
  - ▷ 스마트폰 장착 고해상도 렌즈 및 조명 시스템 개발
  - ▷ 적조 생물 농축 시스템 개발
  - ▷ 적조 생물 표본 고정 시스템 개발
- 유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발
  - ▷ DNA 기반 종관별 기법의 현장 적용성 검토 및 종관별용 진단키트 개발
  - ▷ 모니터링 자동화 시스템 개발을 위한 기반 기술 검토 및 정립
  - ▷ 자동화 시스템 개발 및 자동화 시스템을 이용한 현장 샘플의 진단 가능성 확인
- 실시간 예보/경보 발생 시스템 구축 : 자동화된 적조 탐지 알고리즘으로 적조 의심 해역이 발생하였을 경우, 실시간으로 발생 상황을 전파할 수 있는 체계를 구축함
  - ▷ 실시간으로 적조 탐지 데이터 및 환경 데이터 수집 및 송신 시스템 구축
  - ▷ 적조 탐지 장치에서 수집된 정보를 실시간으로 수신, 저장, 분석하여 적조 발생을 예측하는 시스템 구축
  - ▷ 적조 발생하였거나 발생이 예상되는 지역에 대한 예보 및 경보를 발령하고 관련 기관에 전파하는 시스템 구축

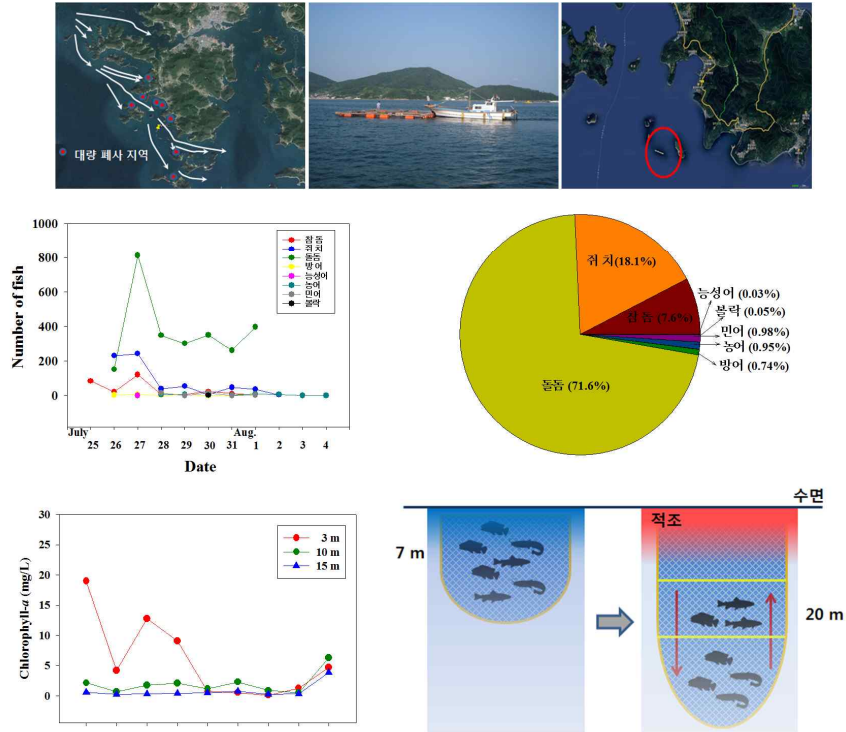
라. 적조 원인 생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명

- 적조 원인 생물의 집적, 수직일주 운동, 생리·유전학적 발생 연구, 타 생물(포식자)간의 관계, 신규 적조 생물의 출현 연구 등을 통한 적조의 발생 및 집적원인을 규명하여 양식어류 저감을 위한 방안 도출 (그림 4-10)



[그림 4-10] 적조원인생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명

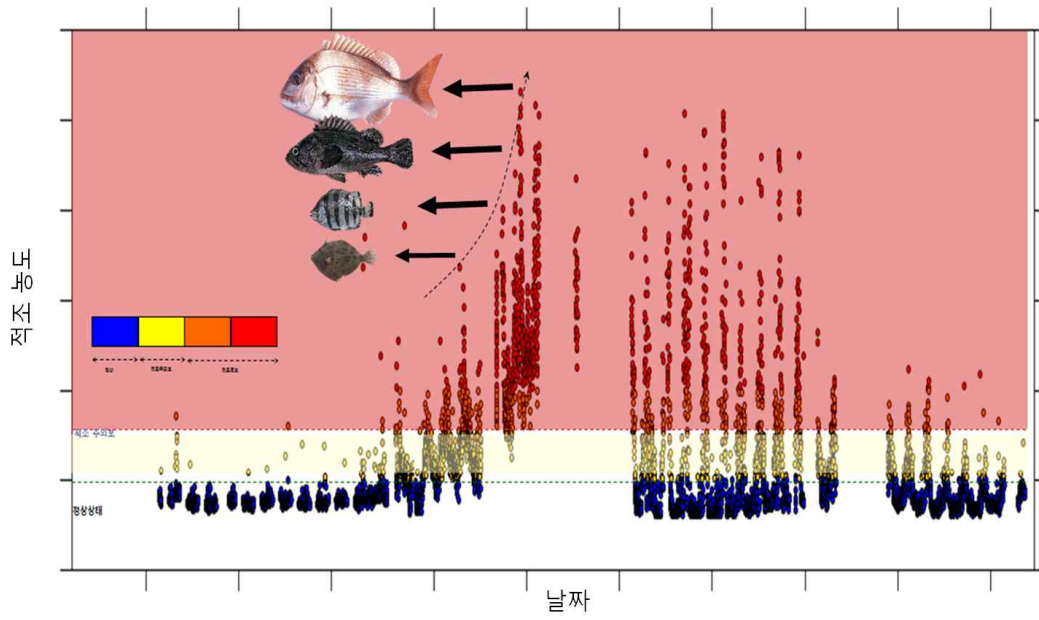
- 적조 원인 생물의 집적, 수직일주 운동 규명
  - ▷ 적조 생물의 출현 모니터링
  - ▷ 적조 생물의 대증식 기작 연구
  - ▷ 적조 발생 시기인 6월 말부터 9월 초까지 통영해역 적조 발생 해역에서 적조생물의 수심별 집적 모니터링을 통한 적조 수직 이동 양상 파악
  - ▷ 적조 생물과 무해적조 식물플랑크톤간의 종간 경쟁력 파악
- 적조 원인 생물의 생리·유전학적 발생 연구
  - ▷ 세포주기 및 생체시계 적응 기작 연구
  - ▷ 수직이동 및 질산염 흡수 기작 연구
  - ▷ 시스트 형성에 미치는 영향 분석
  - ▷ 적조의 질소대사 기작을 활용한 적조 대발생 억제 방안
- 적조 생물과 포식자(동물플랑크톤) 간의 상호작용 연구
  - ▷ 적조 생물이 동물플랑크톤 생리/생태에 미치는 영향 연구
  - ▷ 적조 발생이 동물플랑크톤 군집구조 변화에 미치는 영향 연구
  - ▷ 적조 생물이 동물플랑크톤 생리/생태에 미치는 영향 연구
  - ▷ 적조 발생이 동물플랑크톤 군집구조 변화에 미치는 영향 연구
- 신규 적조생물 출현 및 위해성 평가
  - ▷ *C. polykrikoides*외 신규 적조생물의 출현 변화 예측 연구
  - ▷ 적조 야광충(*Noctiluca scintillans*)과 녹색 야광충(*green Noctiluca*)의 출현특성과 대발생 기작 규명 그리고 위해성 평가를 통한 구체적 대응방안 제시



[그림 4-11] 적조 발생 시 양식 어류 피해 저감 연구 방안

마. 적조 농도별 양식 어류 방류 생존 임계치 설정

- 적조 농도에 따른 각 양식 어종의 사망률 측정과 생존 임계치 확정 및 양식 어종별 방류 기준 설정 (그림 4-12)
- 적조 생물의 밀도별 양식 어류 사망 임계점 규명
  - ▷ 적조 생물의 밀도에 따른 호흡률 변화(유광 조건과 무광 조건)
  - ▷ 어류의 크기와 밀도, 수온에 따른 호흡률 측정
  - ▷ 적조 생물과 어류의 동시 사육 시 호흡률 변화 측정
  - ▷ 호흡률 변화를 이용한 어류의 사망 임계 추정
  - ▷ 온도 변화에 따른 어류 고유의 호흡률 변화
- 양식 어류의 피해 저감을 위한 방안 (그림 4-11)
  - ▷ 양식장 이동 전략
  - ▷ 양식 어류의 적조 생물 농도별 폐사율
  - ▷ 적조 발생 시 양식 어류 수심별 어류 피해 양상
  - ▷ 적조 발생 시 어류 폐사 원인



[그림 4-12] 적조 농도별 양식 어류 폐사 농도 예



## 제 2 절 단계별 연구 내용

## 1. 1차년도

분류	연구 목표	연구 내용
초기 유입 적조 탐지	위성/항공 탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 위성 기반 적조 발생 탐지 알고리즘의 검증 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과거 위성 자료의 획득 및 Level2 자료 처리 (Landsat, MODIS, GOCI)</li> <li>- 현장 적조 농도 자료의 수집 (수산과학원 자료)</li> <li>- 적조 탐지 알고리즘의 hindcast 수행</li> </ul> </li> <li>2. 항공기 초분광 영상 촬영을 통한 국지적인 적조 발생 및 이동 양태 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 항공 촬영 계획 수립</li> <li>- 초분광 항공 영상 촬영 및 영상 분석</li> <li>- 현장 적조 농도 자료 수집</li> </ul> </li> </ol>
	광역 음향/환경 탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 광역 관측 시스템 설치 적지 선정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기 적조 발생 자료 활용으로 시스템 설치 위치 선정</li> </ul> </li> <li>2. 시스템 구축 및 설치 (1차) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관측 센서 및 네트워크 구축, 시험 평가</li> <li>- 시스템 재분석을 통한 전자회로 구성 및 최적화</li> <li>- 열/진동/충격 등 해석을 통한 소형화 설계</li> <li>- 해양 환경을 고려한 설계로 신뢰성 확보</li> <li>- 현장 설치 운영 (부이형 연속 관측 시스템)</li> </ul> </li> <li>3. 자료 분석 기법 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 음향 및 해양환경 수집 데이터 분석을 통하여 적조 탐지 및 예측 성능 (시공간 분석)</li> <li>- 자료 처리 알고리즘 분석을 통한 적조 탐지 최적화</li> </ul> </li> </ol>
적조 이동 경로 및 확산 범위 예측	물리/생태계 data 기반 적조 이동 예측 시스템 구축 및 운용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 시범 해역(통영 연안) 정밀 격자 예측 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 피해가 큰 통영 연안에 대해 300 m 해상도의 해상 상태 예측 시스템 구축</li> <li>- 연안에서의 150 m 해상도의 해상상태 예측 시스템 추가 구축</li> <li>- 시범 해역(통영) 정밀 적조 확산 예측모델 개발 (물리, 생물)</li> <li>- 해상 상태 예측 시스템의 결과 (바람, 유속 등)를 이용한 적조 확산 예측모델 개발</li> <li>- 적조의 생물학적인 이동 및 개체수 증가, 감소 등이 고려된 예측 모델 개발</li> </ul> </li> <li>2. <i>Cochlodinium Polykrikoides</i> (CP) 역학모형 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- CP의 발생-증식-소멸에 대한 전 과정을 모사할 수 있는 모형 개발</li> </ul> </li> </ol>

분류	연구 목표	연구 내용
양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링	음향탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 양식장 운용 관측 시스템 설치 적지 선정                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기 적조 피해 양식장 자료 활용으로 시스템 설치 위치 선정</li> </ul> </li> <li>2. 시스템 구축 및 설치 (1차)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관측 센서 및 네트워크 구축, 시험 평가</li> <li>- 현장 설치 운영 (양식장 운용형 시스템, 일부는 가변 중심 시스템 설치)</li> <li>- 시스템 재분석을 통한 전자회로 구성 및 최적화</li> <li>- 열/진동/충격 등 해석을 통한 소형화 설계</li> <li>- 해양 환경을 고려한 설계로 신뢰성 확보</li> </ul> </li> <li>3. 시스템 구축 및 설치                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 음향 및 해양환경 수집 데이터 분석을 통하여 적조 탐지 및 예측 성능 (시공간/실시간 분석)</li> <li>- 자료 처리 알고리즘 분석을 통한 적조 탐지 최적화</li> </ul> </li> </ol>
	유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. DNA 기반 종판별 기법의 현장 적용성 검토 및 종판별 용 진단 키트 개발                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- PCR / FISH기반 종판별용 진단키트 개발</li> </ul> </li> </ol>
	스마트폰 기반의 적조 광학탐지 시스템 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 스마트폰 기반 적조 광학탐지 영상 전송 앱 개발</li> <li>2. 스마트폰 장착 고해상도 렌즈 및 조명 시스템 개발</li> </ol>
적조 생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명	적조 생물 적조 발생 양상 파악 및 수직 이동 양상 파악	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 통영 해역에서 적조 발생 양상 규명                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조가 발생시 해수 유동을 포함한 환경 조건 파악</li> <li>- 적조 생물들의 이동 및 확산 과정 수평/수직적인 이동에 대한 상세조사</li> <li>- 발생 후 소멸까지의 생물 생태학적(박테리아 포식, 바이러스 감염 등) 특성을 파악</li> </ul> </li> <li>2. <i>Cochlodinium polykrikoides</i>의 수직이동 기작                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 발생시 적조생물 <i>C. polykrikoides</i>의 수직 이동 양상 파악</li> </ul> </li> </ol>
	적조 생물의 생리·유전학적 발생 연구	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 세포주기 및 생체시계 적응기작 규명                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세포의 성장과 분열에 관련된 유전자 확보</li> <li>- 유해조류 세포주기를 조절하는 유전자 발현 양상 분석</li> <li>- 다양한 농도의 질소 배양조건에서 세포주기 특성 파악</li> </ul> </li> </ol>
	적조 생물과 포식 생물간의 영향 연구	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 동물플랑크톤이 적조 생물에 미치는 영향 연구                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현장 배양 실험을 통한 우점 동물플랑크톤 또는 동물플랑크톤 군집의 적조생물에 대한 섭식률/섭식압 측정</li> <li>- 동물플랑크톤 군집의 적조 생물 섭식에 따른 적조 발생 제어 수준 평가</li> </ul> </li> </ol>

분류	연구 목표	연구 내용
	<p>신규 적조생물 (적조 야광충)의 출현 및 동태 규명</p>	<p>1. 대발생 야기 요인 선별 및 목록</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1주 간격의 연속 조사(환경 및 생물) 수행</li> <li>- 지역별 야광충의 동태 및 변이 양상 규명</li> <li>- 대발생 정도 및 규모 평가를 위한 자연 변동량과 환경과의 상관성 분석</li> </ul>
<p>적조 생물 대응 양식 어류 반응 연구</p>	<p>적조 생물 농도별 양식 어류 생리 반응 연구</p>	<p>1. 적조 생물 농도별 양식 어류 생리 반응 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 생물 농도별 양식 어류의 스트레스 반응                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 스트레스 지표(혈액성상 등) 분석</li> <li>• 체조직의 조직학적 영향 분석</li> </ul> </li> <li>- 성장 단계별 스트레스 반응                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 대상 어종의 치어, 미성어 및 성어의 스트레스 반응 분석</li> </ul> </li> </ul> <p>2. 적조 농도별 양식 어류 생존 임계치 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 생물의 자연 상태와 유사한 대량 배양 기술 개발</li> <li>- 대상 어종의 적조 농도별 생존 실험 (1차)</li> <li>- 성장 단계에 따른 생존 실험 (1차)</li> </ul>

2. 2차년도

분류	연구 목표	연구 내용
초기 유입 적조 탐지	위성 탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>고해상도 영상에서 해수면 반사 보정 기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>고해상도 영상의 glint제거 기법 연구</li> <li>초분광 항공 영상 기하 보정, 복사 보정 및 대기 보정 수행</li> <li>광역 적조 분포 양상 도출</li> </ul> </li> </ol>
	광역 음향/환경 탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>시스템 추가 설치 및 운용 (2차)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1차 운용 시스템 유지 보수 및 개선</li> <li>관측 센서 및 네트워크 구축, 시험 평가</li> <li>현장 설치 운영 (부이형 연속 관측 시스템)</li> </ul> </li> <li>자료 분석 기법 업그레이드                             <ul style="list-style-type: none"> <li>음향 및 해양환경 자료 기반 적조 탐지 알고리즘 업그레이드 (시공간 분석)</li> <li>적조 확산 및 이동 모델 활용 가능 자료 변환</li> </ul> </li> </ol>
적조 이동 경로 및 확산 범위 예측	물리/생태계 data 기반 적조 이동 예측 시스템 구축 및 운용	<ol style="list-style-type: none"> <li>모델 및 측정 자료 (음향/환경 등) 기반의 이동 예측 모델 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>음향탐지 시스템 및 환경 관측 관측 결과를 초기 조건으로 하는 예측 시스템 개발</li> <li>위성을 이용한 탐지 결과를 초기 조건으로 하는 예측 시스템 개발</li> </ul> </li> <li><i>Cochlodinium Polykrikoides</i>를 포함한 1차원 하위 생태계 모형 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>CP 역학모형을 일반적인 NPZD계열의 하위생태계 역학 모형과 결합</li> <li>다른 종과의 경쟁 및 포식과정 포함</li> <li>해저면에서의 휴면포자, 퇴적(생)물과의 상호작용</li> </ul> </li> </ol>
양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링	음향탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>시스템 구축 및 설치 (2차)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>관측 센서 및 네트워크 구축, 시험 평가</li> <li>현장 설치 운영 (양식장 운용형 시스템, 일부는 가변 중심 시스템 설치)</li> </ul> </li> <li>시스템 구축 및 설치                             <ul style="list-style-type: none"> <li>음향 및 해양환경 수집 데이터 분석을 통하여 적조 탐지 및 예측 성능 (시공간/실시간 분석)</li> <li>자료 처리 알고리즘 분석을 통한 적조 탐지 최적화</li> </ul> </li> <li>정보 공유를 위한 네트워크 망 구축                             <ul style="list-style-type: none"> <li>수집 데이터의 저장, 분석, 공유를 위한 서버 및 초고속 통신망 구축</li> </ul> </li> </ol>

분류	연구 목표	연구 내용
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 상용 통신망(CDMA)을 통한 적조 탐지 수집 데이터 송신 체계 운용</li> </ul>
	유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발	<b>1. 유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 모니터링 자동화 시스템 개발을 위한 기반 기술 검토 및 정립</li> </ul>
	스마트폰 기반의 적조 광학 탐지 시스템 개발	<b>1. 적조 생물 농축 시스템 개발</b>
적조 원인생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명	적조 발생 양상 파악 및 수직 이동 양상 파악	<b>1. 통영 해역에서 적조 발생 양상 규명</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 급속한 증식을 일으키는 triggering 역할을 하는 기작 규명</li> <li>- 휴면 포자 발생 및 발아 최적 조건 규명</li> <li>- <i>Cochlodinium polykrikoides</i>의 Vertical migration</li> <li>- 수직 이동시 유전자 발현 양상 규명</li> </ul>
	적조생물의 생리·유전학적 발생 연구	<b>1. 수직 이동 및 질산염 흡수 기작 연구</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수직이동 및 질소 대사에 관여하는 유전자 확보</li> <li>- 배양액의 질소 농도에 따른 수직 이동 양상과 유전자 발현 비교 분석</li> </ul>
	적조생물과 포식 생물간의 영향 연구	<b>1. 동물플랑크톤 생리/생태에 미치는 영향 연구</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 발생 초기(시작기), 중기(고조기), 후기(쇠퇴기)의 우점 동물플랑크톤(예, 요각류)의 생리/생태적 반응 평가</li> <li>- 적조 생물을 먹이원으로 이용하여 현장 또는 실험실 배양을 통하여 요각류의 알 생산력, 알 부화율, 성체 생존율 측정</li> <li>- 적조 발생 해역과 발생하지 않은 해역의 동일 동물플랑크톤 종의 적조 생물에 대한 생리/생태 반응을 비교하여 지역에 따른 동물플랑크톤의 저항(resistance) 비교</li> <li>- 적조 생물 섭식에 따른 동물플랑크톤의 체내 독성 수준 평가</li> </ul>
	신규 적조생물 (적조 야광충)의 출현 및 동태 규명	<b>1. 적조 야광충의 위해성 평가 및 대응 방안 제시</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 야광충의 대발생 요인 평가 (초기 seed 농도, 지역별 대발생 야기 핵심요인, 대발생 유지 기간 및 범위)</li> </ul>

분류	연구 목표	연구 내용
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 야광층의 위해성 영향 범위 산출(개체수 범위, 섭식률 특성, 암모니아 농도 및 용존산소 분석)</li> <li>- 폐쇄생태계를 이용한 적조 야광층의 위해성 평가</li> <li>- 적조 야광층의 부유생물 먹이망 위해성 평가</li> <li>- 적조 야광층의 양식어류 위해성 평가</li> <li>- 위해성 평가 결과를 통한 적조 야광층 대응 방안 제시</li> </ul>
<p>적조 생물 대응 양식 어류 반응 연구</p>	<p>적조 생물 농도별 양식 어류 생리 반응 연구</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 적조생물 농도별 양식어류 생리 반응 연구             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사육 환경에 따른 생리 반응                 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 대상 어종의 사육밀도의 영향 분석</li> <li>• 먹이 공급 패턴 변화에 따른 생리 반응 분석</li> <li>• 산소 공급(에어레이션)에 따른 생리 반응 분석</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>2. 적조 농도별 양식 어류 생존 임계치 연구             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대상 어종의 적조 농도별 생존 실험 (2차)</li> <li>- 성장 단계에 따른 생존 실험 (2차)</li> </ul> </li> </ol>

## 3. 3차년도

분류	연구 목표	연구 내용
초기 유입 적조 탐지	인공위성	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>준실시간 적조 발생 경고 시스템 구축</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성기반 적조 탐지 결과 분석 및 기타 모델 및 정점 관측과의 융합 및 비교 분석</li> </ul> </li> </ol>
	광역 음향/환경 탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>적조 탐지 시스템 현장 운용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템 유지 보수 및 개선 관리</li> <li>- 관측 센서 및 네트워크 운용</li> <li>- 현장 설치 운영 (부이형 연속 관측 시스템)</li> </ul> </li> <li>2. <b>광역 적조 정보 체계 운용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실시간 복수 자료의 전파 및 분석 체계 운용</li> <li>- 적조 확산 모델 적용을 통한 이동 예측 모델 운용</li> <li>- 정부 부처, 지자체, 어촌계, 대어민에게 실시간 정보 체계 구축 및 운용</li> </ul> </li> </ol>
적조 이동 경로 및 확산 범위 예측	물리/생태계 data 기반 적조 이동 예측 시스템 구축 및 운용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>적조 이동 경로 역추정 기법 연구</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 입자 역추적 기법을 통한 적조 이동 경로 추적</li> </ul> </li> <li>2. <b>고해상도 적조 이동 모델 운용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 확산 및 이동 모델 운용 (72시간 이동 예측)</li> </ul> </li> <li>3. <b>3차원 이동·확산 모형과의 결합</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개발된 CP-하위생태계 모형을 3차원 물리 이동확산 모형과 결합한 3차원 CP-생태계 모형 개발 및 적용</li> </ul> </li> </ol>
양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링	음향탐지 분야	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>가두리 운용 적조 탐지 시스템 통합 운용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관측 센서 및 네트워크 구축</li> <li>- 현장 운영 (일부는 가변 수심 시스템)</li> </ul> </li> <li>2. <b>정보 공유를 위한 네트워크 망 구축 (계속)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수집 데이터의 저장, 분석, 공유를 위한 서버 및 초고속 통신망 구축</li> <li>- 상용 통신망(CDMA)을 통한 적조 탐지 수집 데이터 송신 체계 운용</li> </ul> </li> </ol>
	유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발</b> 자동화 시스템 개발 및 자동화 시스템을 이용한 현장 샘플의 진단 가능성 확인</li> </ol>
	스마트폰 기반의 적조 광학탐지 시스템 개발	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>적조 생물 표본 고정 시스템 개발</b></li> </ol>

분류	연구 목표	연구 내용
적조 원인 생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명	적조 발생 양상 파악 및 이동 양상 파악	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 적조 발생 환경 분석                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 발생 시 환경 자료 분석 기법 연구</li> <li>- 환경 자료 통계 분석을 통한 발생 양상 특성 연구</li> </ul> </li> <li>2. 적조 발생 후 이동 양상 파악                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 발생시 공간 이동 특성 해석</li> </ul> </li> </ol>
	적조 생물의 생리·유전학적 발생 연구	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 시스트 형성에 미치는 영향 분석                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유해조류 시스트 전사체 분석</li> <li>- 시스트 형성에 관련된 유전자 확보</li> <li>- 질소 스트레스에 반응하는 유전자 발현 분석</li> </ul> </li> </ol>
	적조 생물과 포식 생물간의 영향 연구	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 적조 발생이 동물플랑크톤 군집 구조 변화에 미치는 영향 연구                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 발생 시기를 중심으로 주 또는 격주 간격의 동물플랑크톤 시료 채집 및 분석</li> <li>- 적조 발생 초기, 중기, 후기의 동물플랑크톤 군집 구조 (요각류 사망률 포함) 비교 및 차이 원인 분석</li> </ul> </li> </ol>
	신규 적조생물 (적조야광충)의 출현 및 동태 규명	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 녹색 야광충의 출현 특성 조사                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 녹색 야광충의 출현 감지를 위한 연속 조사 (적정 정점 및 탐지 방법 수립)</li> </ul> </li> </ol>
적조 농도별 양식 어류 방류 (생존 임계치 기준)	적조 생물 농도별 양식 어류 생리 반응 연구	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 적조 농도별 양식 어류 생존 임계치 연구                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대상 어종의 적조 농도별 생존 실험 (3차)</li> <li>- 성장 단계에 따른 생존 실험 (3차)</li> <li>- 적조 발생 환경 분석 및 주야 수직 이동 기작 연구</li> </ul> </li> </ol>



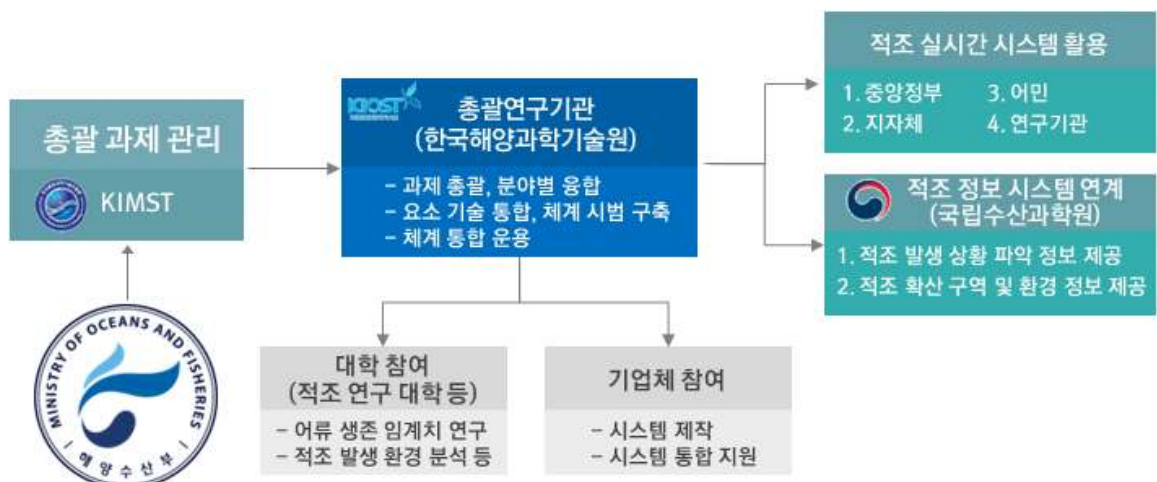
## 제 3 절 연구 개발 추진 전략

개발 기간	2017 ~ 2019년(3년간)	소요연구비(년) (단위:억원)	총 60억 (년 20억)
현재 기술 경쟁력	중	1) 음향탐지, 인공위성, 예측모델 : 구축 단계 (일부 실용화 단계) 2) 적조생물 생물·생태학적 발생양상 연구 : 기초연구 단계 3) 적조에 따른 어류 피해 최소화 방안 연구 : 기초연구 단계	
세부 기술 개발 목표	핵심요소기술	성능지표	목표
	적조 음향 탐지 기술	실시간 적조 검출능력	실시간 10 <sup>2</sup> cell/ml 밀도 검출
	인공위성/무인항공기 영상 분석 기술	고해상도 영상 해석능력	연안 해역 영상 해석기술 개발
	적조 이동 경로 및 확산 범위 예측	72시간 예측모델 개발	생태계 기반 48시간 예측 모델 개발
	유전자 기반 실시간 진단 Kit 개발	현장 적용 유해조류 진단 기술 개발 및 자동화 시스템 개발	유해조류 진단 자동화 및 실시간 검출기법(현장 3시간 이내 종판별 및 100 cell/ml 까지 측정) Prototype 개발
	적조 원인생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명	적조 발생 및 이동기작 규명	적조의 수평적 집적 및 수직적 이동 능력 기작 규명
	어류 피해 최소화 연구	적조 발생 시 어류 피해 최소화 방안 규명	해양 가두리 양식장 이송 기술 및 적조 생물 농도별 양식 어류 생리 반응 연구
확보 전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조 탐지용 소형·경량화된 음향 탐지 시스템은 기술 이전을 통하여 산업체와 협력하여 개발 및 분석 체계 개발</li> <li>- 인공위성/무인항공기 기반 영상 분석 기술 개발은 한반도 주변 전체 해역에 대한 상시 감시가 가능하고, 접근이 어려운 원근해에서 발생하는 적조를 탐지 할 수 있음. 이는 한국해양과학기술원 주도로 기술 개발 및 국외 전문가등과 협력함.</li> <li>- 적조 이동 경로 및 확산 범위 예측 모델 개발은 기존 KOOS 모델을 발전시켜 생태계 기반 모델을 통한 72시간 예측 모델 개발</li> <li>- 유전자 기반 실시간 진단 키트는 한국해양과학기술원 주도로 기술 개발 후 중소기업과 협력하여 제품 상용화</li> <li>- 적조생물의 생물·생태학적 발생기작 연구는 한국해양과학기술원 주도로 적조의 수평적 집적 및 이에 따른 수직적 이동 분포 연구 자료 활용</li> </ul>		
	국가연구개발과의 연계성 / 국제협력 가능성		R&D 추진유형 (동시선택 가능)
	<input checked="" type="checkbox"/> 국제협력		<input checked="" type="checkbox"/> 산(중소기업) <input checked="" type="checkbox"/> 학 <input checked="" type="checkbox"/> 연 <input type="checkbox"/> 국과연

## 제 4 절 사업 추진체계 및 역할 분담

### 1. 추진체계

- 추진방법 : 본 기술은 광역탐지 요소 기술 개발(MT-BT-IT-우주기술)과 자료 융·복합 기술 구축을 기반으로 유해적조 광역 탐지 체계망 구축 및 운용을 내용으로 하고 있으므로 여러 기술을 통합하는 하나의 사업단 형태로 추진
  - ▷ 요소 기술 (수중음향 기술, 해양위성, 해양환경, 유전자 분석 기술, 자료 융합), 부이 제작 및 운용 기술, 통합 시스템 구축 및 운용 기술 등의 3개의 분야가 통합 추진되어 함
- 주관기관 : 적조탐지 요소 기술 확보 및 연구 능력, 해양위성 관련 기술, 통합 시스템의 안정적 운용이 가능한 대형 연구기관이 수행 (그림 4-13)
  - ▷ 개별 분야 연구가 아닌 “MT-BT-IT-우주기술” 등이 복합된 융합 시스템 구축 연구이므로 여러 분야의 통합과 융합 관리 능력이 요구됨
  - ▷ 과제 수행 과정에서 유해적조 탐지 능력의 향상 측면에서 해당분야 연구 능력을 갖춘 종합해양연구 수행 능력이 필요함
  - ▷ 연구책임자는 유해적조 탐지, 해양위성, 해양생물 및 해양탐사 기기, 시스템 통합 등 관련 기술을 융합하여 이해할 수 있는 자
- 협력기관 : 해양 관련 컴퓨터 시스템 개발 기술, 탐지 센서 운용 경험이 있는 대학, 연구기관, 기업체 등
  - ▷ 참여기관 : 적조 탐지 능력 향상을 위한 세부 요소 기술 확보를 위해 관련 연구를 수행한 경험이 있는 대학, 연구기관, 기업체 등
  - ▷ 시스템 제작 및 통합은 전문 업체에서 제작
- 구축 시스템 활용 : 실시간 적조 탐지 자료 활용은 자료 처리가 완료된 자료를 이용하여 중앙정부, 어민, 지자체로 전송하며, 시스템 제어 및 관리를 위한 연구기관(주관기관 등)으로 분리되어 활용
- 기 구축된 적조 정보 시스템 연계 : 국립수산과학원에서 실시하는 남해안 전역 적조 정보 시스템과 연계하여 광역 적조 현황 자료를 공동 활용하며, 통영 해역에서 취득되는 집중 적조 현황 자료 및 양식장 자료를 국립수산과학원에 자료를 전송하는 연계 구축



[그림 4-13] 사업 추진 체계도

- 연구인력, 시설 등 기술개발 인프라
  - ▷ 본 사업은 광학, 음향 등을 이용하여 해양에 서식하는 생물들의 시·공간적 분포 영상을 광역적으로 탐사할 수 있는 기술을 개발하는 사업으로 해양생물, 해양물리, IT, ICT, 수산공학, 항공우주공학, 기계공학 관련 대학, 국가연구기관, 관련 연구소 등의 참여가 필요하며, 국내외 관련 연구 인력으로 수행 가능함
  - ▷ 적조 광역탐지 기술개발을 위한 음향 및 광학 모니터링, 현장 자료와의 검증 그리고 데이터 해석과 전송 시스템 개발을 위한 IT 및 ICT 전공 연구원들의 참여가 필요하며, 광역 탐지 자료와 현장 자료의 비교 분석을 위한 해양부유생물 전공 연구원의 참여가 필요함
- 연구시설 및 장비 등
  - ▷ 본 핵심기술의 개발을 위해서는 다기능 부이 시스템, 음향 시스템, 인공위성 자료 수집·분석 시스템, 통합 네트워크 시스템, 자료 가시화 시스템 등 세계적으로 인정된 측정 및 시험장비가 필요하며, 이상의 일반 상용품을 개발 기술에 맞추어 시스템화 하여야 함
  - ▷ 본 기술의 개발 및 평가에는 위성 및 음향 관련 등의 시설이 요구되나 한국해양과학기술원, 수산과학원 등 기존 보유기관의 시설을 활용함
  - ▷ 본 기술 개발을 위해 필요한 현장 검증 및 실험에 필요한 선박은 수산과학원 시험연구선, 해경 경비정 등 국가소속 해양조사선을 활용함
  - ▷ 상기 탐지시스템의 운용과 자동해석을 위한 음향 및 영상 데이터 분석 시스템과 통합분석 및 전송을 위한 융합분석처리 및 전송 시스템은 개발 의뢰를 통한 취득이 필요함

## 2. 역할 분담

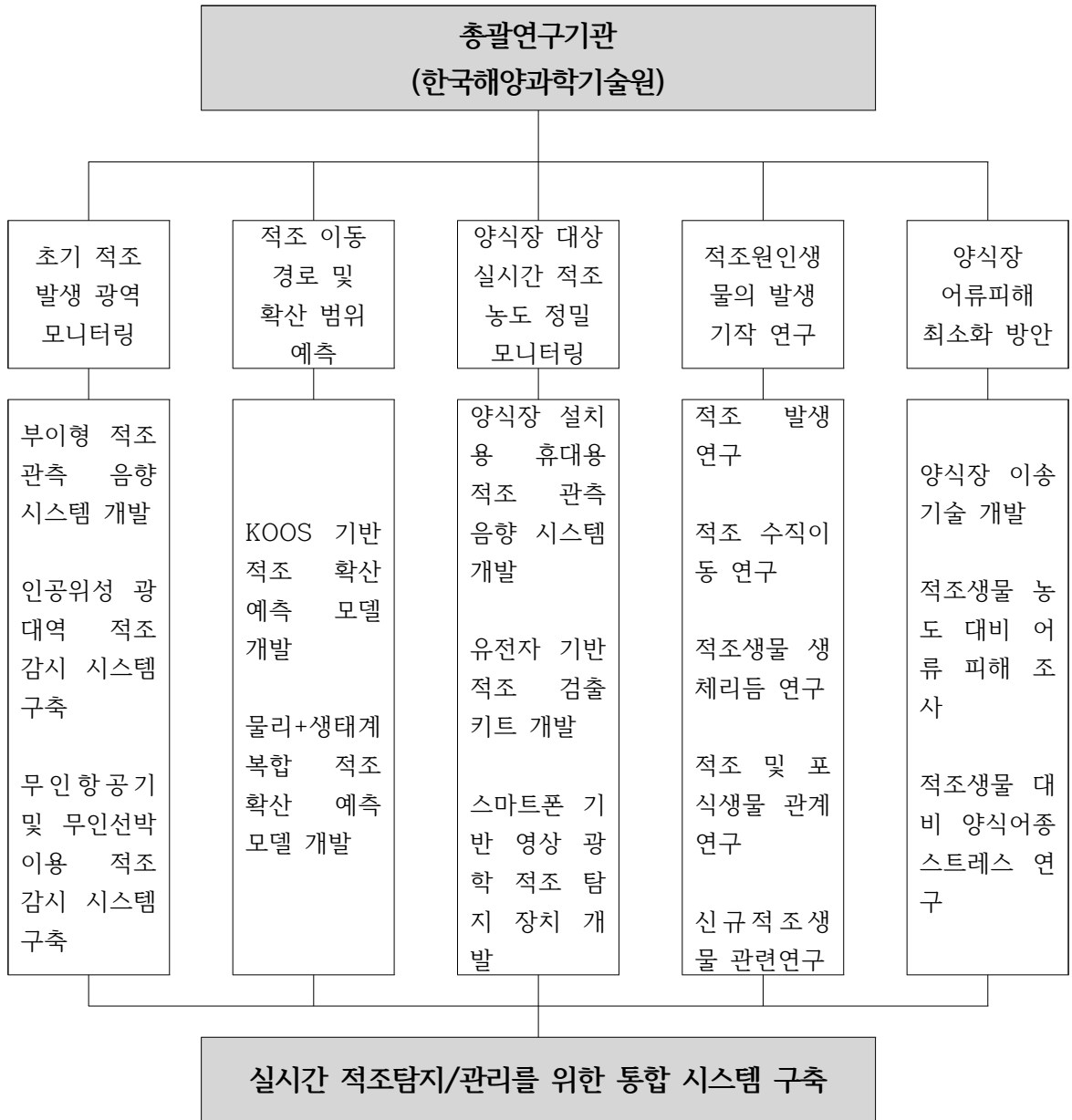
- BT-IT-ST을 융합한 MT(Marine Technology)로 적조의 실시간 탐지/관리시스템을 구축함
- 먼저, 음향기술 분야(IT)에서 수중에서 적조를 탐지 및 감시함. 이를 위하여 초기 광역 감시 체계로서 해양 관측 부이에서 적조를 탐지할 수 있는 음향 센서 뿐만 아니라 해양물리환경(해수유동, 수온·염분 등)을 실시간 측정하고, 화학 및 생물 센서를 통하여 해역의 생지학적인 측면을 연구함. 인공위성(ST, Space Technology)에서는 해석자료를 통하여 광대역 적조 발생 및 이동양상을 관찰함 현재에는 연안 해역에서는 부유 물질에 따른 간섭 효과에 의해 적조 발생 양상을 관찰하기 힘든 경우가 발생하나 본 연구를 통하여 위공위성 뿐만 아니라 고해상도 무인항공기 촬영 등을 통하여 위 문제점을 극복함
- 이렇게 초기 적조 발생 광대역 모니터링을 통한 적조 정보가 입수되면 위 정보를 기반으로 적조 이동 모델을 통하여 72시간 선행 예측을 실시함. 특히, 물리와 생태계 모델이 결합한 현실적인 모델을 개발할 것임
- 이러한 모델을 통하여 적조발생 지역을 예측하고 이러한 예측을 통하여 피해 예상 양식장을 선정함. 이렇게 선정된 양식장에서는 음향 신호(IT), 유전자기반 적조검출 키트(BT), 스마트폰 기반 적조 생물 영상 촬영장치(BT+IT)을 통하여 양식장에서 실시간 적조를 탐지함

- 이와 더불어, 적조생물의 생물·생태학적 발생기작을 연구함. 아직까지 적조가 왜 발생하고 어떻게 집적되는지에 대한 연구는 전무함. 따라서, 본 사업을 통하여 세계 최초의 적조 발생양상을 이론을 정립함
- 적조가 양식장에 검출되면 양식장의 어류들의 피해를 최소화하기 위한 방안을 모색함. 이는 양식장의 이송 기술, 양식장 어류의 수심별 변화 기술, 양식장 어류의 적조생물 내성 기술 및 양식장 어류의 적조 농도별 방류 기술을 중점으로 함

### 3. 세부 역할

- 해상과 수중이 융합된 적조생물 실시간 탐지 관측망 및 관리 시스템을 구축해야 함으로 해양 기술간 융합이 필수적임
- 해상: 기상학 (기상, 기온 등)
  - 해상위성학 (광대역 적조 탐지)
  - 해상영상학 (무인 항공기등을 통한 고해상도 적조 탐지)
  - 통신분야 (음파통신, 전파통신, 양방향 송수신 등)
- 수중: 수중음향학 (적조생물 신호 탐지 등)
  - 해양물리학 (해수유동, 물성 등)
  - 해양생물학 (적조 발생, 포식자와의 관계, 적조 생물 유전학, 양식어류 연구등)
  - 해양화학학 (적조생물 발생에 관한 환경 인자 등)

4. 역할 조직도



## 제 5 절 기술 개발 성과 제시

### 1. 기술 개발 성과 목표

- 본 기술 개발은 실시간 적조 탐지 기술, 적조 확산 및 이동 예측 기술, 적조 발생 연구 및 양식어류 피해 저감 기술로 구분됨
- 특히, 적조 탐지 기술은 소프트웨어 성격의 유해적조 탐지를 위한 요소 기술 분야와 하드웨어 성격의 시스템 구축 및 운용 분야로 이원화되어 구성됨

### 2. 정량적 성과

- 적조 유입 탐지 시스템 구축 1건, 양식장 적조 관측망 시스템 1건
- 논문 35건, 특허 10건, 산업화 5건, 정책 활용 10건, 시스템 구축 4건
  - ▷ 논문 : 20억 원 × 0.5건/억 원 = 10건 (하드웨어 개발은 특허 및 산업화 실적 반영)
  - ▷ 특허: 20억 원 × 0.2건/억 원 = 4건
  - ▷ 산업화 : 60억 원 × 0.1건/억 원 × 0.5 = 2건 (1단계 3년사업 총합 산업화 실적)
  - ▷ 정책 활용 : 60억 원 × 0.1건/억 원 = 6건

### 3. 정성적 성과

- 음향 및 영상 모니터링 기술을 이용한 광역 적조 생물 자동 탐지 기술 확보
- 기후변화 등에 따라 빈번히 발생할 수 있는 다양한 적조 원인생물에 적용 가능
- 적조 조기 탐지 및 제거기술에 의한 수산업 피해 최소화

## 제 6 절 사업 규모 (소요 예산)

- 적조 발생 시 실질적인 어민 피해, 지역 사회의 인문 사회적 피해, 생태계 피해 등을 고려하면 막대한 피해
- 적조 피해를 최소화하기 위한 실질적인 사업 수행이 필요한 시점임. 이를 위해 MT-IT-ST를 융합하는 탐지 체계 구축 및 운용에 필요한 예산 확보 및 집행이 고려되어야 함
- 따라서, 본 사업에서는 KIOST 통영해상과학기지를 중심으로 prototype을 개발, 그 시스템을 운영 및 미비한 부분을 보완하여 현실적으로 운영 가능하도록 하기 위하여 1단계 3년 동안 총 60억원 (20억원/년)의 예산을 산출함

(단위 : 억원)

연구 분야 / 단 계	17년	18년	19년	합계
초기 적조 발생 광역 모니터링	20	20	20	60
적조 이동 경로 및 확산 범위 예측				
양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링				
적조 원인생물의 생물·생태학적 발생 기작 규명				
적조 농도별 양식 어류 방류 (생존 임계치 기준)				

- 세부과제 항목, 세부 비목 및 년차별 세부적인 총괄 예산표는 표 4-1과 같다

[표 4-1] 세부과제 항목, 세부 비목 및 년차별 세부적인 총괄 예산표

(단위: 억 원)

구분	세부과제	세부 비목	1차년도			2차년도			3차년도			총 계		
			정부	민간	소계	정부	민간	소계	정부	민간	소계	정부	민간	합계
직접비	A 초기 적조발생 광역모니터링	인건비	1.50	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	4.50	0.00	4.50
		학생인건비	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.75	0.00	0.75
		연구장비	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	0.00	3.00
		재료비	0.82	0.00	0.82	0.82	0.00	0.82	0.82	0.00	0.82	2.46	0.00	2.46
		연구활동비	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.15
		연구과제 추진비	0.08	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.24	0.00	0.24
		연구수당	0.30	0.00	0.30	0.30	0.00	0.30	0.30	0.00	0.30	0.90	0.00	0.90
		위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B 적조 이동경로 및 확산범위예측	인건비	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	2.70	0.00	2.70
		학생인건비	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.45	0.00	0.45
		연구장비	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	1.80	0.00	1.80
		재료비	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	1.47	0.00	1.47
		연구활동비	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.12	0.00	0.12
		연구과제 추진비	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.15
		연구수당	0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.69	0.00	0.69
		위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	C 양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링	인건비	1.50	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	4.50	0.00	4.50
		학생인건비	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.25	0.00	0.25	0.75	0.00	0.75
		연구장비	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	6.00	0.00	6.00
		재료비	1.02	0.00	1.02	1.02	0.00	1.02	0.92	0.00	0.92	2.96	0.00	2.96
		연구활동비	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.15
		연구과제 추진비	0.08	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	0.00	0.08	0.24	0.00	0.24
		연구수당	0.40	0.00	0.40	0.30	0.00	0.30	0.30	0.00	0.30	1.00	0.00	1.00
		위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	D 적조생물의 생물-생태학 적 발생기작 규명	인건비	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	2.70	0.00	2.70
		학생인건비	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.45	0.00	0.45
		연구장비	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	1.80	0.00	1.80
		재료비	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	1.47	0.00	1.47
연구활동비		0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.12	0.00	0.12	
연구과제 추진비		0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.15	
연구수당		0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.69	0.00	0.69	
위탁연구개발비		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
E 적조 생물 대응 양식 어류 반응 연구	인건비	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	2.70	0.00	2.70	
	학생인건비	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15	0.00	0.15	0.45	0.00	0.45	
	연구장비	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	1.80	0.00	1.80	
	재료비	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	0.49	0.00	0.49	1.47	0.00	1.47	
	연구활동비	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.12	0.00	0.12	
	연구과제 추진비	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05	0.15	0.00	0.15	
	연구수당	0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.23	0.00	0.23	0.69	0.00	0.69	
	위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
소 계			16.68	0	16.68	16.58	0	16.58	16.48	0	16.48	49.74	0	49.74
간 접 비			3.32	0	3.32	3.42	0	3.42	3.52	0	3.52	10.26	0	10.26
합 계(직접비+간접비)					20			20			20			60



## 제 7 절 기술 개발 결과의 활용방안 및 기대 효과

### 1. 기술 개발 활용 방안

- 음향탐지 기반, 위성정보 기반, 해양 환경 기반, 유전자 분석 기반, 자료 융합을 통해 유해적조 광역 탐지 발생을 GIS 기반 통합 정보 제공
- 구축된 유해적조 광역 탐지 체계망 시스템은 사업 종료 후에도 지속적으로 운영되어야 하므로 사업 종료 후, 별도의 운영팀을 구성할 필요가 있고 운영팀의 인력 구성은 정부 부처 인력 혹은 외주에 의하여 민간이 참여할 수 있음
- 적조 탐지 요소 기술 개발을 통한 해양생물 조기 탐지 기술 향상
- 적조 생물 발생 지역의 관리 및 대책 수립을 위한 실시간 광역 정보 제공
- 적조 생물 대량 발생 이동·확산경로 예측
- 적조 생물 발생양상 규명으로 선제 적조 발생 대응 가능

### 2. 기대 효과

- 기대효과 요약

직접적 편익	부수적 효과
- 적조 실시간 탐지 체계 구축	- 양식 투자 활성화
- 양식장 적조 피해액 절감	- 연안 수산 자원 증대 효과
- 적조 제거 물질 살포 비용 절감	- 국가 과학기술의 사회 현안 해결
- 적조 제거 물질에 의한 생태계 교란 방지	- 피해 Zero화 기술 수출

- 과학기술적 기대 효과

- ▷ 미래형 수산 과학기술 혁신을 통해 수산분야 국가 R&D 및 과학기술 역량 제공
- ▷ 지속가능하고 안전한 수산자원 생산, 관리 및 정보 활용을 위한 과학적 기반 제공
- ▷ 유해 생물 및 수산 환경 재해로부터 수산 생물자원의 안정성을 확보할 수 있는 통합관리시스템의 기반 확보
- ▷ 수산자원 DB 구축 및 변동예측 모델 구축을 통해 국내 연구 결과를 국제 사회에 효율적으로 전달함으로써 국제 협력 사업을 촉진
- ▷ 신규 수산자원 발굴 및 DB구축·활용 기술개발을 통해 수산업 전·후방사업과의 R&D 성과 창출 기대
- ▷ 산발적인 적조탐지 연구를 광역 체계 설치 운영 개념으로 확대
- ▷ 유해적조 초기-중기 발생 단계 탐지 체계 기술 확보
- ▷ 천리안 해양관측 위성자료 등 가용 해상 위성정보 DB 및 활용 알고리즘 개발
- ▷ 유해적조 탐지 및 기원 추적 기술 개발을 통한 광역 경보 시스템 구축
- ▷ 국가적 유해생물 관리 체계 기술 확보
- ▷ BT-IT-ST 기반으로 한 융합된 MT, 해양과학연구 기술 및 활용 능력 향상

- ▷ 1차 산업 중심의 수산업을 IT·BT·ICT 융·복합 산업으로 첨단화시키기 위한 성공모델 발굴
- ▷ 기술첨단화·생태 보존형 수산 과학기술 개발 및 보급을 통해 지속 가능한 성장달성의 첨병 역할 기대

○ 경제적 기대 효과

- ▷ 환경 지배적 1차 산업인 수산업의 고부가 가치화 달성을 통해 어업인 소득 안정화 등 어민 복지 향상
- ▷ 현재 운용중인 인력 및 선박 중심의 노동 집약적 유해적조 예찰 시스템 제한 요소 극복
  - 유류비 절감율 50% × 150만원(100톤급 시험 조사선 일일 유류비 소모액) × 예찰 선박 척수 2,700척(30척×90일) = 2,025백만원/년(경비 절감)
  - 인건비 절감율 30% × 6,601,272원( '13년 연구원급 월별 인건비) × 예찰 인원 720명(선박 운영 및 승선 연구원 240명×3개월) = 1,426백만원/년(경비 절감)
- ▷ 유해적조 광역 체계 구축을 통한 적조 피해 대책 마련 시간 확보
  - 최초 적조 발생 후 적조 구제 물질·장비 확보 및 가동 준비 기간 : 7일(평균)
  - 2013년 최초 적조 발생(7월 17일) 후 8일 후인 7월 25일부터 대규모 양식장 어류 폐사 발생
- ▷ 유해적조 광역 탐지 체계 구축을 통한 적조 피해 예방(안) 마련에 활용
- ▷ 적조생물에 의한 수산피해 최소화로 수산물 안정적 생산에 기여
  - 2013년 적조 피해액: 247억원, 최대 피해액: 764억(1995년)
  - ※ (유해적조 피해액) 2013년 국립수산과학원에서 발표한 자료에 의하면, 적조 발생으로 인한 2003~2012년 평균 어업 피해액은 38.7억 원에 달함
- ▷ 수산업의 국제 경쟁력 확보 및 고부가 가치화 달성
  - 안정적인 양식 수산업 활동으로 가격경쟁력 향상 및 수출증대
  - 양식업, 해양 관측·탐사 장비의 국산화를 제고를 통해 수산업 자립화 및 전·후방산업으로의 동반성장 활성화
  - 관련 인프라 조성을 위한 새로운 일자리 창출, 고급 인력의 유입을 통한 수산업발전 동력 확보의 선순환 체계 구축
- ▷ 중동 및 동남아 해역의 적조 광역탐지 체계 기술 이전
  - 3개국 × 20억원(시스템 및 운영 기술 체계) = 60억원

○ 사회·문화적 기대효과

- ▷ 유해적조 광역 조기 탐지 체계를 통한 국가적 통합관리 운영을 통하여 연안 해양관리 체계 구축
- ▷ 우리나라 수산물 안전성 신뢰도 제고를 통한 국가브랜드 경쟁력 제고
- ▷ 수산업의 첨단화·고도화를 통한 안정적 일자리 창출 및 고급 인력 유입을 통

한 산업성장의 선순환체계 수립

- ▷ 유해적조 생물에 의한 수산물 피해 최소화로 수산물 안전성에 대한 국민 인식 제고
  - 국민들에게 안전한 수산물을 안정적으로 제공함으로써 건강하고 향상된 삶의 질을 향유할 수 있는 환경을 조성
- ▷ 해양 레저 활성화를 통한 지역 경제 활성화

의도적 공백



## 제5장 경제성 분석

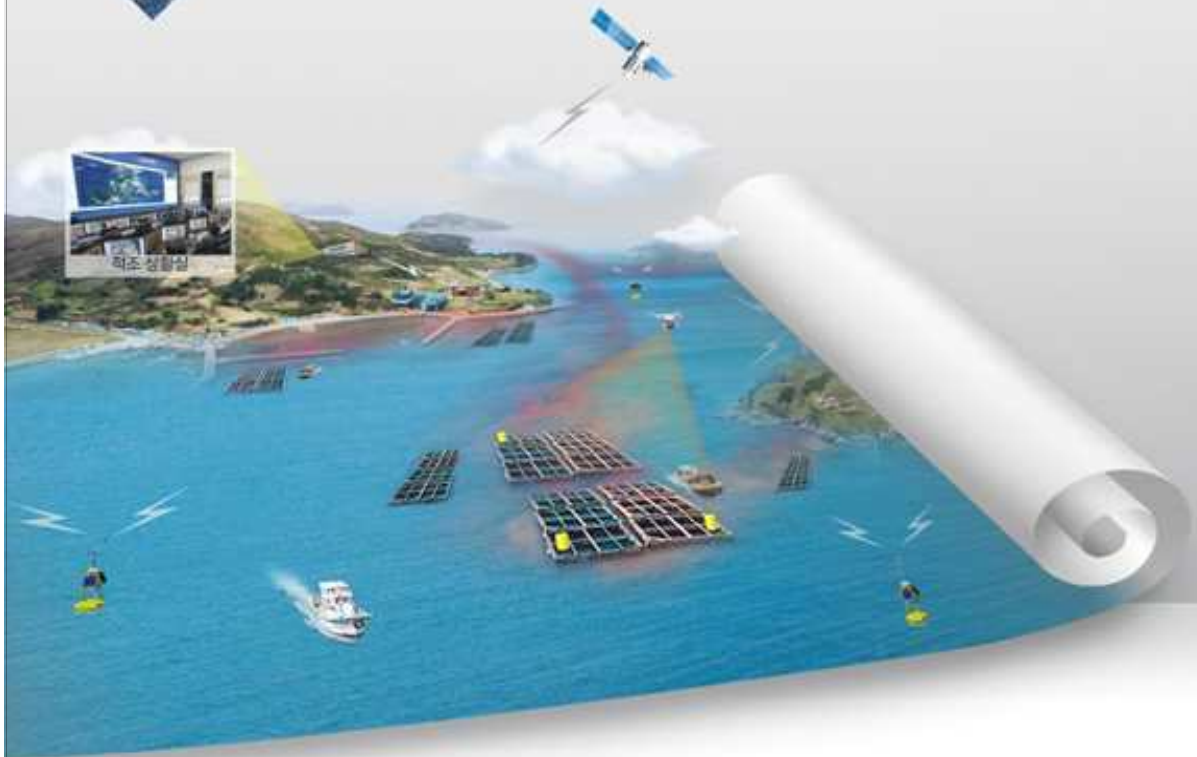
제1절 경제성 분석 개요

제2절 투자 계획 검토

제3절 편익 추정

제4절 경제성 분석 결과

제5절 기대효과



의도적 공백

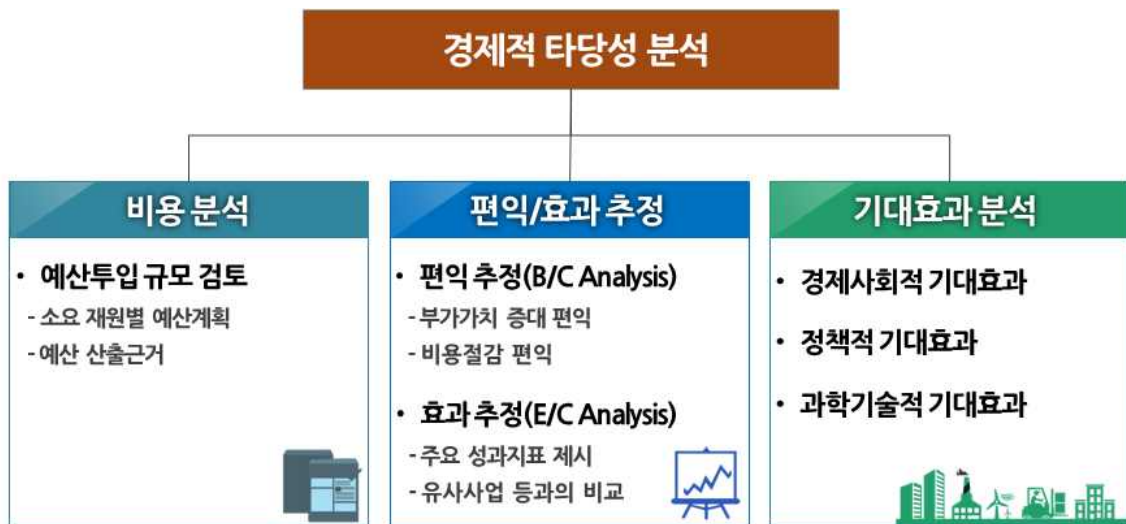
## 제 5 장 경제성 분석

## 제 1 절 경제성 분석 개요

## 1. 분석 목적

- ‘적조통합관리체계구축사업’ 추진에 따라 소요되는 비용과 편익을 비교하여 동 사업의 경제적 가치를 사회적 또는 거시적 국가 관점에서 파악

## 2. 분석 항목구성 및 관점



[그림 5-1] 경제적 타당성 분석 구조

- (비용 검토) 사업특성에 적합한 방법론을 선택하고, 국가 전체의 R&D사업 및 유사사업 등과의 비교·분석을 통해 비용 적절성을 검토 (그림 5-1)
  - ▷ 동 사업의 총괄 투자계획, 연차별/과제별 예산 세부내역, 주요 비용 산정 근거 제시 여부, 예산 과다 산정 여부 등을 확인
- ※ 예산 과다 산정은 B/C ratio 하향 평가의 원인이 되므로, 정확한 비용 산정이 중요
- (편익 추정) 동 사업의 고유한 목적 및 산출물 유형에 따라 편익 항목을 도출하고 계량화가 가능한 경우 비용편익 분석, 불가능할 경우 비용효과 분석 또는 기대효과 분석을 수행
  - ▷ 사업 목표에 근거하여 편익의 종류 및 범위를 설정하고, 사업기여율, 할인율 등을 적용하여 정량적 편익을 추정
  - ▷ 편익 요소들의 경제적 가치 환산 시, 사전적으로 산출하기 어려운 자료에 대해서는 가장 보수적인 예측 및 가정을 적용함으로써 편익의 과대 추정을 방지
- (기대효과 분석) 직접적 편익 외에도 간접적 편익 항목을 기대효과로 나타내어 동 사업의 추진 타당성을 보완

- ▷ 동 사업은 해양안전 확보와 관련한 국가 현안을 해결하고 그 이익을 국민에게 공유하는 공공적 성격을 지니고 있어 정부 주도의 기술개발 추진이 반드시 필요하며, 기대효과 분석을 통해 이를 강조

3. 분석 방법

- 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 ‘연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2판(KISTEP, 2014)’의 지침 및 권고사항을 준거로 삼음
  - ▷ 기초 연구 및 장비 구축이 혼재되어 있는 사업 특성을 반영하여 연구개발, 연구시설·장비 구입비, 연구관리비로 구분하여 소요 예산을 검토 (표 5-1)

[표 5-1] 국가연구개발 사업의 비용 검토를 위한 분석 체계

과제 성격	분류 기준
연구개발	연구시설·장비 구입 및 유지비, 연구관리비를 제외한 모든 연구개발비
연구 시설·장비 구입 및 유지비	연구시설 구축 및 유지비, 연구장비 구입 및 유지비, 시설·장비의 차입금 상환 등
연구관리	연구과제 평가 및 관리비, 국공립연구소와 출연연구소의 인건비, 경상비, 연구개발 관련 사무국 운영비 등

출처) 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2판(KISTEP, 2014)

- ▷ ‘적조에 의한 통영해역 양식장 피해 최소화’ 라는 동 사업의 고유한 목표를 반영하여 사업 추진으로 인한 피해비용 절감 효과 중심의 편익 항목을 설정하고 비용편익 분석(Benefit-Cost Analysis; B/C)을 수행 (표 5-2)

[표 5-2] 국가연구개발 사업의 편익 반영 가능 항목

구분	편익 반영 항목
정(+) 가치 증가	· 가치창출 증대 - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 - 신기술 개발로 인한 가치창출 · 기술거래 - 기술이전에 의한 로열티 수입
부(-) 가치 감소	· 생산비용저감 - 생산투입 자원 및 시간의 저감 - 연구기간, 출장횟수 등의 연구수행 비용 저감 · 피해비용저감 - 재난·재해·사고로 인한 피해 감소 · 질병비용저감 · 환경비용저감

\* 출처) 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 제2판(KISTEP, 2014)



- 편익/비용비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV:Net Present Value), 내부수익률(IRR:Internal Rate of Return) 등 비용편익분석의 대표적 방법 중 편익/비용비율(B/C ratio)을 활용하여 사업추진의 경제성 여부를 판단함
- ▷ 편익/비용비율(B/C ratio)이 큰 값을 가질수록 투입대비 수익이 높게 창출되는 과제로 볼 수 있으며, 일반적으로 '1' 이상일 경우 경제적 타당성이 있다고 판단

[표 5-3] 비용편익분석 방법 및 내용

구분	분석 내용
순현재가치 (NPV:Net Present Value)	순현재가치란 사업에 수반되어 사업의 최종년도까지 발생한 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인한 다음 총 편익의 현재가치에서 총 비용의 현재가치를 차감한 값으로 0보다 크면 경제성이 있으며, 0보다 작으면 경제성이 없다고 판단하며, 여러 개의 사업이 있을 때에는 그 값이 클수록 선호됨
편익/비용비율 (Benefit/Cost ratio)	현 시점으로 할인된 총 편익 대 총 비용의 비율로서, 장래에 발생할 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값을 의미하며, 편익/비용비율이 1보다 크면 경제성이 있다고 판단(여러 개의 사업이 있을 때에는 편익/비용비율이 큰 사업을 우선순위에 두게 됨)
내부수익률 (IRR:Internal Rate of Return)	투자사업이 원만히 진행된다는 전제하에 기대되는 예상수익률로서 편익흐름의 현재가치의 합이 비용흐름의 현재가치의 합과 같아지는 할인율로 투자사업의 예상수익률을 의미하며, 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단하며, 다수의 사업이 있는 경우에는 내부수익률이 클수록 선호됨

## 제 2 절 투자 계획 검토

### 1. 비용 내역

#### (1) 총괄 투자계획

- 동 사업은 총 사업비 60억 원(국고 100%, 민자 0%)의 예산을 투입하여 3년 간 (2017~2019년) 5개 세부 과제를 추진할 계획 (표 5-4)
  - ▷ 해양수산 분야는 공공성이 매우 강하며 이윤 창출이 불확실한 분야이므로 정부주도의 적극적 투자로 기술 개발을 추진할 수 있도록 예산 배분 필요

[표 5-4] 총괄 투자 계획

(단위:억 원)

구 분		1차년도 (2017년)	2차년도 (2018년)	3차년도 (2019년)	총 계
A	초기 적조발생 광역 모니터링	4.9	4.9	4.9	14.8
B	적조 이동경로 및 확산범위예측	3.0	3.0	3.0	8.9
C	양식장 대상 실시간 적조농도 정밀 모니터링	6.2	6.2	6.2	18.5
D	적조생물의 생물·생태학적 발생기작 규명	3.0	3.0	3.0	8.9
E	적조생물 대응 양식어류 반응연구	3.0	3.0	3.0	8.9
합 계		20.0	20.0	20.0	60.0

#### (2) 소요 재원별 투자 계획

- 동 사업은 연구개발 및 기반구축 성격이 혼재된 복합R&D 성격을 띠고 있으며, 연구개발 58.9%, 장비구입 24.0%, 연구관리 및 기타 17.1%의 비율로 예산을 투입 (표 5-5)
  - ▷ 연구개발 비용은 인건비, 연구활동추진비, 연구재료비(연구 시설·장비 구입 및 유지비 제외) 등이 포함되며, 총 35.3억 원으로 구성
  - ▷ 연구시설·장비 비용은 연구 시설 구축 및 유지비, 연구 장비 구입 및 유지비 등이 포함되며, 총 14.4억 원으로 산정
  - ▷ 연구관리 및 기타 비용은 인력지원비, 성과활용지원비 등이 포함되며 총 10.3억 원으로 구성

[표 5-5] 소요재원별 투자계획

(단위: 억 원, %)

구 분		총 사업비	구성비
대항목	소항목		
연구개발		35.3	58.8
연구시설 및 장비 구입	시 설	-	-
	장 비	일 반 장 비	6.5
		특 수 장 비	17.5
	소 계	14.4	24.0
연구관리 및 기타		10.3	17.1
합 계		60.0	100.0

## (3) 예산 산출근거

## ○ 장비가액 (표 5-6)

[표 5-6] 소요장비 및 연도별 장비가액

(단위: 억 원)

주요 장비명	구분	장비가액 계	1차년도 (2017년)	2차년도 (2018년)	3차년도 (2019년)
광학현미경	일	0.4	0.4	-	-
Real-time PCR	일	0.5	-	0.5	-
부이형 적조음향탐지 시스템	특	2.0	1.0	0.5	0.5
가두리형 적조음향탐지 시스템	특	6.0	2.0	2.0	2.0
환경센서	일	1.0	0.3	0.3	0.4
네트워크 구축	일	1.1	0.4	0.4	0.3
적조 확산 모델 서버	일	0.6	0.2	0.2	0.2
무인 항공기	일	0.3	0.1	0.1	0.1
적조 탐지 센서 운용 해상 부이	특	2.0	1.0	0.5	0.5
실시간 자료 통합 프로그램	특	0.5	-	0.5	-
합 계		14.4	5.4	5.0	4.0

## ○ 소요 인력 (표 5-7)

[표 5-7] 연도별 소요 인력

(단위: 명(M/Y))

구 분	1차년도 (2017년)	2차년도 (2018년)	3차년도 (2019년)	합 계
책임급	12	12	12	36
선임급	10	10	10	30
원 급	1	1	1	3
기 타	17	17	17	51
합 계	40	40	40	120

주) 기타: 학생인건비 등

2. 비용의 적정성 검토

(1) 원가계산서의 적절성 검토

- 동 사업의 예산구조는 직접비(82.8%) 및 간접비(17.2%)로, 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」의 비목별 계상기준(제12조 제5항 관련)을 준용하고 있음 (표 5-8)

[표 5-8] 비목별 투자계획

(단위: 억 원, %)

비목	세부비목	총 사업비	
		금액(억원)	비중(%)
직접비 (82.8%)	인건비	19.9	33.2
	학생인건비	-	-
	연구장비/재료비	24.2	40.3
	연구활동비	0.7	1.2
	연구과제추진비	0.9	1.5
	연구수당	4.0	6.7
	위탁연구개발비	-	-
	소 계	49.7	82.8
간접비(17.2%)		10.3	17.2
합	계	60.0	100.0

- ▷ (인건비) 동 사업의 인건비 비중은 33.2%(19.9억 원)로 국가 전체 R&D과제의 인건비 비중 대비 낮은 수준임.  
 ※ 국가 전체 R&D과제의 인건비 비중(%): 40.7( '12년) → 41.7('13년) → 41.9(' 14년), (2014년도 연구개발활동조사)
- ▷ (연구수당) 동 사업의 연구수당(4.0억)은 인건비의 20%(4.0억)내에 계상되어 있어 「해양수산 연구개발사업 운영규정」에 부합함  
 ※ 연구수당은 인건비(학생인건비 포함)의 20%범위에서 계상(「해양수산 연구개발사업 운영규정」)
- ▷ (간접비) 간접비는 전체 예산의 17.2%로 한국해양과학기술원 간접비 비율인 21.52% 범위를 준수하고 있음

## (2) 유사과제 대비 과제당 규모 비교

- (유사과제 선정) 사업 목표, 연구내용 및 방법, 기대효과 등을 고려한 키워드를 토대로 국가과학기술지식서비스(NTIS)에서 최근 5개년도(2011~2015년) 기수행 과제를 검색한 결과 총 12건의 유사 과제 도출 (표 5-9)
- (유사과제와의 연구비 규모 비교) 동 사업의 5개 세부과제별 연평균 연구비는 4.0 억 원으로 기존 유사과제의 평균 연구비 규모(4.1억 원)와 비슷한 규모임 (표 5-10)
  - ▷ ‘A. 초기 적조발생 광역모니터링’ 및 ‘C. 양식장 대상 실시간 적조농도 정밀 모니터링’ 의 2개 세부과제가 기존 유사과제에 비해 연구비 규모가 다소 큰 것으로 나타났는데, 이는 상기 2개 세부과제가 적조탐지시스템 시제품 개발 및 성능 평가를 목표로하고 있는 것에 기인함

[표 5-9] 유사 과제와의 연평균 연구비 비교 결과(총괄)

(단위: 억 원)

구분	과제명		분석 년도	분석년도 총 예산	과제당 연평균
동 사 업	A	초기 적조발생 광역모니터링	‘17~’19	14.8	4.9
	B	적조 이동경로 및 확산범위 예측		8.9	3.0
	C	양식장 대상 실시간 적조농도 정밀 모니터링		18.5	6.2
	D	적조생물의 생물-생태학적 발생기작 규명		8.9	3.0
	E	적조 생물 대응 양식어류 반응연구		8.9	3.0
	평 균 (세부과제별 연구비 규모)				12.0
유 사 과 제	1	무인항공기 해양감시시스템 개발	‘15	1.0	1.0
	2	위성해양감시시스템개발	‘15	1.0	1.0
	3	적조발생 조기경보 원격 레이저 형광 센서 개발	‘11	3.4	3.4
	4	유해생물 모니터링 및 피해저감 연구	‘11~’13	18.0	6.0
	5	적조모니터링 및 발생메커니즘 연구	‘14~’15	15.2	7.6
	6	해양생태계 교란생물 제어기술 개발	‘11	4.2	4.2
	7	적조모니터링 및 대응연구	‘11~’12	3.6	1.8
	8	바이오/나노세라믹 막을 이용한 육상가두리양식장 오염해수 정화 및 적조방제 시스템 개발	‘13~’15	24.5	8.1
	9	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(주관)	‘13~’15	23.4	7.8
	10	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁1)	‘13~’15	9.5	3.2
	11	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁2)	‘13~’15	6.9	2.3
	12	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁3)	‘13~’15	9.5	3.2
평 균				10.0	4.1

주) 유사 과제의 분석년도 총 예산은 NTIS를 기준으로 함

- (정부/민간 매칭 비중의 적절성) 동 사업은 적조피해 최소화를 목표로 하는 연구개발사업으로 정부 차원의 전략적 투자가 필요하기 때문에 사업비 전액을 정부가 지원하는 방향으로 기획됨
  - ▷ 12개 유사과제 중 3개에 민간재원이 투자되었는데, 연평균 민간투자액은 5.2%로 낮은 수준임
  - ▷ 이는 해양수산 R&D가 대부분 공공성이 강한 기술로 구성되어 있으며 투자의 불확실성이 존재하여 민간 참여가 매우 어려운 분야임을 반영한 결과로 분석됨

[표 5-10] 유사 과제와의 연평균 연구비 비교 결과(재원별)

(단위: 억 원, %)

구분	과제명	분석 년도	합계			연평균			
			정부	민간	계	정부	민간	계	
동 사 업	A	초기 적조발생 광역모니터링	14.8	-	14.8	4.9	-	4.9	
	B	적조 이동경로 및 확산범위 예측	8.9	-	8.9	3.0	-	3.0	
	C	양식장 대상 실시간 적조농도 정밀 모니터링	18.5	-	18.5	6.2	-	6.2	
	D	적조생물의 생물 생태학적 발생기작 규명	8.9	-	8.9	3.0	-	3.0	
	E	적조 생물 대응 양식어류 반응연구	8.9	-	8.9	3.0	-	3.0	
	평 균 (세부과제별 연구비 규모)			12.0 (100.0)	- (0.0)	12.0 (100.0)	4.0 (100.0)	- (0.0)	4.0 (100.0)
유 사 과 제	1	무인항공기 해양감시시스템 개발	'15	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0
	2	위성해양감시시스템개발	'15	1.0	-	1.0	1.0	-	1.0
	3	적조발생 조기경보 원격 레저형광 센서 개발	'11	3.0	0.4	3.4	3.0	0.4	3.4
	4	유해생물 모니터링 및 피해저감 연구	'11~'13	18.0	-	18.0	6.0	-	6.0
	5	적조모니터링 및 발생메커니즘 연구	'14~'15	15.2	-	15.2	7.6	-	7.6
	6	해양생태계 교란생물 제어기술 개발	'11	4.0	0.2	4.2	4.0	0.2	4.2
	7	적조모니터링 및 대응연구	'11~'12	3.6	-	3.6	1.8	-	1.8
	8	바이오/나노세라믹 막을 이용한 육상가두리양식장 오염해수 정화 및 적조방제 시스템 개발	'13~'15	18.4	6.1	24.5	6.1	2.0	8.1
	9	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(주관)	'13~'15	23.4	-	23.4	7.8	-	7.8
	10	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁1)	'13~'15	9.5	-	9.5	3.2	-	3.2
	11	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁2)	'13~'15	6.9	-	6.9	2.3	-	2.3
	12	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁3)	'13~'15	9.5	-	9.5	3.2	-	3.2
평 균			9.5 (94.4)	0.6 (5.6)	10.0 (100.0)	3.9 (94.8)	0.2 (5.2)	4.1 (100.0)	

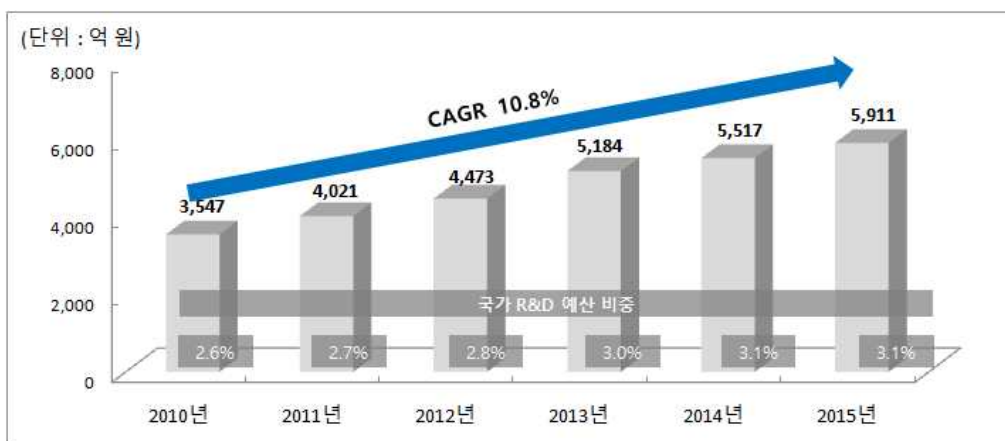
3. 해양수산부 R&D 예산 증가의 적절성 검토

○ 해양수산 R&D 예산이 매년 증가하고 있으나 그 절대적 규모가 국가 전체 R&D 예산에서 차지하는 비중이 3%내외로 적은 수준임 (그림 5-2)

▷ 지난 5년 간(2010~2015년) 해양수산 R&D 분야 투자는 연평균 10.8% 증가하였으며, 향후 2020년까지 지속적으로 확대될 전망

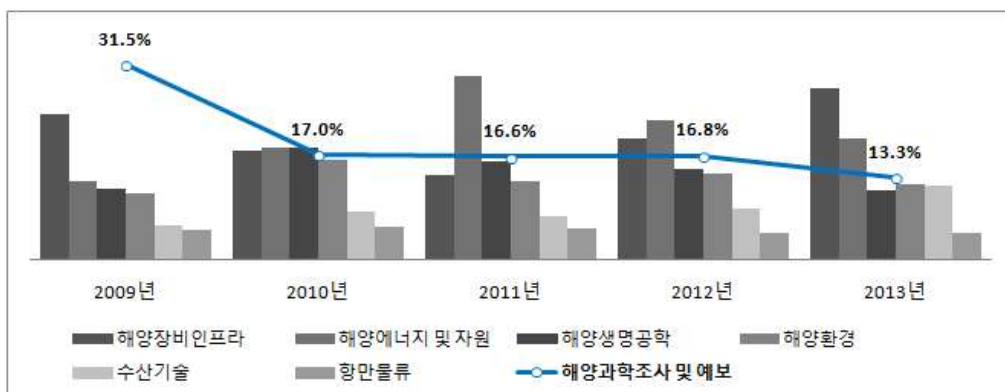
▷ '13년 해양수산 R&D 예산은 5,184억 원으로 국가 전체 R&D 예산의 약 3%를 차지하며, 이는 해외 주요국가와 비교할 때 상대적으로 낮은 비중임

※ 국가 전체 대비 해양수산 R&D예산 비중은 미국 7.3%, 일본 5.0%, 중국 7.0%( '10년), 해양수산R&D 중장기계획(2014~2020)



[그림 5-2] 해양수산 R&D 예산 추이

▷ 동 사업의 목표와 부합하는 해양과학조사 및 예보 분야의 R&D 사업에 대한 투자는 2009년 이후 지속적인 감소추세를 보임 (그림 5-3)



[그림 5-3] 해양수산 R&D 분야별 투자현황(비중)

[표 5-11] 해양수산 R&D 분야별 투자현황

(단위: 억 원, %)

사업	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	계	비중
해양장비인프라	375	246	225	344	564	2,078	21.5
해양과학조사 및 예보	504	237	276	296	271	1,873	19.4
해양에너지 및 자원	203	251	492	395	398	1,848	19.2
해양생명공학	182	250	262	259	230	1,300	13.4
해양환경	171	225	209	244	247	1,233	12.8
수산기술	90	109	115	147	241	782	8.1
항만물류	77	75	83	75	86	539	5.6
<b>합 계</b>	<b>1,601</b>	<b>1,393</b>	<b>1,662</b>	<b>1,759</b>	<b>4,262</b>	<b>8,653</b>	<b>100.0</b>

출처) 해양수산 R&D 중장기계획(해수부, 2014)

- 동 사업의 규모는 3년 간 60억 원(연평균 20억 원)으로 국가 전체 R&D 규모 및 해양수산부 R&D 예산에서 차지하는 비중은 크지 않으므로 재원 조달에 무리가 없을 것으로 판단됨 (표 5-11, 표 5-12)
  - ▷ 투자연도( '17~ '19년)별 예산 요구액은 국가 전체 R&D 예산 추정치의 약 0.01%, 해양수산부 R&D 예산 추정치의 약 0.3% 수준에 불과

[표 5-12] 정부 R&D 예산 대비 동 사업규모 비중

(단위: 억 원, (%))

R&D규모		2017(e)	2018(e)	2019(e)	CAGR ('13~'15)
R&D 예산 운용 (증액 전)	국가R&D	208,830	219,379	230,460	242,101
	해수부R&D	6,159	6,628	7,133	7,676
R&D 예산 운용 (증액 후)	국가R&D	208,850 (0.01)	219,399 (0.01)	230,480 (0.01)	5.1%
	해수부 R&D	6,179 (0.32)	6,648 (0.30)	7,153 (0.28)	7.6%
	동 사업 규모	20	20	20	-

출처) 정부연구개발투자 방향 및 기준(미래부, 각년도), 해양수산부 예산개요(각년도), 기술과가치 재구성



### 제 3 절 편익 추정

#### 1. 편익 범위

- 동 사업의 세부 성과들이 거시적 목표를 달성하는 과정을 구조화하여 성과 및 편익 항목을 도출함 (표 5-13)
  - ▷ 산출(Output), 결과(Outcome), 파급효과(Impact)의 성과단계에 따라 동 사업의 주요 성과를 구분하고, 그에 따른 편익과 기대 효과를 도출

[표 5-13] 단계별 사업의 성과 및 편익 항목

성과유형	의 미	성과 항목	구 분	
			편익	기대 효과
산출 (Output)	동 사업의 직접적 산출물	· 탐지/예측 시스템 시제품(Prototype) 제작 · 적조 종판별용 진단 kit 시제품(Prototype) 제작	· 가치창출증대 · 기술거래	-
		· 탐지/예측 모형 설계 · 영상 해석 기술 · 생태학적/물리적 특성 규명	· 기술거래 -	- · 과학기술지식 증진
결과 (Outcome)	동 사업의 직접적 산출물에 의해 유발되는 단기적인 편익	· 양식장 적조 피해액 저감 · 적조피해 복구비용 저감	· 피해비용저감 · 피해비용저감	-
		· 적조 방제비용 저감 · 노동집약적 예찰비용 절감	· 생산비용저감 · 생산비용저감	-
		· 해양 관측/탐사장비 국산화율 제고 · 적조 피해대책 마련시간 단축	· 가치창출증대 -	- · 정책활용도 제고
파급효과 (Impact)	동 사업의 직접적 산출물에 의해 유발되는 편익이 사회·경제·환경에 미치는 간접적 영향	· 어업인 소득 안정화 · 양식투자 활성화 · 연안 수산자원 증대 · 수산물안전성에 대한 국민의식제고	-	· 어민복지향상 · 소득분배효과
		· 신규 일자리 창출 · 수산기술경쟁력 제고 · 국제협력사업 추진	- -	· 취업 유발효과 · 과학기술지식 증진 · 국제교류 활성화
		· 해양레저 활성화	-	· 연관산업 활성화

사업목표 (Goal)	<b>적조에 의한 양식장 피해 최소화</b>
----------------	--------------------------

※ 경제성 분석 대상 범위

- 발생하는 효과의 화폐화의 어려움 정도, 독립적인 편익발생 여부 등에 따라 편익

분석 대상을 양식장 적조피해액 저감 및 적조피해 복구비용 저감으로 설정

- ▷ 동 사업의 경제성 분석을 위해서는 신기술 개발로 인한 가치창출, 기술이전에 의한 로열티 수입, 생산비용절감 등 발생될 수 있는 모든 편익을 고려해야 하나 현실적인 측정이 어려움이 존재
- ▷ 따라서 가장 대표적 성과인 양식장 적조피해액 저감, 적조피해 복구비용 저감 등 두 가지 편익항목을 대상으로 비용편익분석을 실시하고, 타 편익항목은 경제사회적 기대효과분석에서 분석을 진행
  - ※ 비용 저감은 기술개발과 적용으로 인해 기존에 존재하는 비효율적인 부분이 제거되거나 투입요소 대체 등을 통해 생산의 효율성이 증가하는 경우에 사용. 재난·재해·사고로 인한 피해 감소이므로 ‘피해비용저감’을 대표적인 편익항목으로 설정

## 2. 기본 가정

### (1) 편익 발생시점

- 동 사업의 경우, 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(KISTEP, 2014) 및 박경일·김도훈(2013)<sup>1)</sup>의 논문을 토대로 사업 종료 3년 이후인 2023년부터 편익이 발생하는 것으로 가정
  - ▷ 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침에서 개발·응용연구의 편익 회임기간을 3년으로 적용
  - ▷ 해당 논문에서는 수산시험연구사업의 예산투입에 대한 연구성과의 시차효과를 추정하였는데, R&D투자 이후 약 3년 정도의 시간이 지난 후 수산물 생산 증대효과가 발생하는 것으로 분석
    - ※ 수산시험연구사업(국립수산과학원, 계속사업)은 국가 수산분야 R&D 전체 예산 중 90% 이상을 차지하고 있으며, 세부내용은 어업자원관리, 해양환경조사, 양식기술개발 등으로 구성

### (2) 편익 발생기간

- 동 사업 관련 특허의 기술수명주기(TCT; Technical Cycle Time)의 중앙값 평균인 8년을 적용하며, 편익발생시점인 2023년부터 2030년까지 8년 간 편익이 발생하는 것으로 가정 (표 5-14)

### (3) 할인율

- 현재가치(Present Value) 산출을 위한 할인율은 예비타당성조사 기준인 5.5% (KDI)를 적용

1) 박경일·김도훈, 수산업 R&D 사업의 투자효과 분석: 국립수산과학원 수산시험연구사업을 중심으로, 수산경영론집, 44(2), 2013. pp. 101-109.

[표 5-14] 동 사업 관련 특허의 기술수명주기(TCT)

국제특허 분류코드 (IPC)	내 용	TCT중앙값 (년)
A01K	축산; 조류, 어류, 곤충의 사육; 어업; 달리 분류되지 않는 동물의 사육 또는 번식; 새로운 동물	11
B63B	선박 또는 그 밖의 물에 뜨는 구조물; 선적을 위한 장치	11
C12Q	효소 또는 미생물을 함유한 측정 또는 시험방법; 그것을 위한 조성물 또는 시험지; 그 조성물을 조제하는 방법; 미생물학적 또는 효소학적 방법에 있어서의 상태응답 제어	7
G01H	기계적 진동 또는 초음파, 음파 또는 아음파의 측정	8
G01N	재료의 화학적 또는 물리적 성질의 검출에 의한 재료의 조사 또는 분석	9
G01V	지구물리; 중력측정; 질량 또는 대상물의 검출; 태그스	7
H04L	디지털 정보의 전송	6
평 균		8.43

## 3. 편익 산출

## (1) 편익 구조



편익 항목	양식장 적조피해액 저감, 적조피해 복구비용 절감
<b>편 익 = (피해액 및 복구비용 × 피해저감율) × 기술활용률 × 사업기여율</b>	

## (2) 비용저감액(피해액 및 복구비용 × 피해저감율) 산출

- 적조 발생으로 인한 연평균 어업피해액 및 피해복구비용의 현재가치는 114.2억 원으로 추정되며, 이에 피해저감율 70%를 적용하여 연평균 79.9억 원의 비용저감액이 발생하는 것으로 산정함

- ▷ (적조 어업피해액) 국립수산물과학원(2013) 및 해양수산부(2015) 발표 자료에 의하면, 최근 10년간(2006~2015년) 적조 발생으로 인한 어업피해액을 현재가치로 환산한 금액은 연평균 67.7억 원에 달함 (표 5-15)

[표 5-15] 최근 10년 간 적조 어업피해액

(단위: 억 원)

	년										평균
	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	
피해액	0.73	115	-	-	-	-	44	247	77	56	54.0
피해액 현재 가치	1.2	186.2	-	-	-	-	54.5	290.0	85.7	59.1	67.7

출처) 국립수산물과학원 발표자료(2013), 해양수산부 보도자료(2015.12.10)

- ▷ (적조 피해 복구비용) 적조 어업피해액 1원 당 발생하는 피해복구비용은 0.69원으로 추정되며, 이에 따라 최근 10년 간(2006~2015년) 적조 피해 복구비용의 현재가치는 46.5억 원에 달하는 것으로 분석됨 (표 5-16)

※ 자료 확보의 어려움으로 인해 해양수산부(2015) 발표 자료의 3개년도(2007, 2012, 2013년) 적조 피해 복구 비용을 토대로 어업 피해액 1원 당 피해 복구 비용을 추정

[표 5-16] 최근 10년 간 적조 피해복구비용

(단위: 억 원)

	년										평균
	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	
복구액 (추정치)	0.5	79.0	-	-	-	-	30.2	169.7	52.9	38.5	37.1
복구액 (추정치) 현재가치	0.9	128.0	-	-	-	-	37.5	199.3	58.9	40.6	46.5

출처) 해양수산부 보도자료(2015.12.10)에 의거하여 재추정

- ▷ (피해저감율) '해양수산 R&D 중장기계획( '14~ '20)' 에서 제시하고 있는 목표인 70%를 적용

※ 적조 등 유해해양생물 피해액 최소화(양식장 피해기준): 347억원( '13) → 70% 저감( '20)

(3) 기술기여율 추정

○ 연구개발 활동이 ‘양식장 적조피해액 저감 및 적조피해 복구비용 절감’에 기여하는 정도를 고려하기 위해 일반적으로 적용하는 R&D기여율인 35.4%(제3차 과학기술기본계획)를 적용

▷ R&D기여율은 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 경우 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 의미하나, 동 사업 기술활용률의 현실적인 추정 어려움으로 인해 R&D기여율로 대체함

※ 기술활용률 대체는 예비타당성 평가에서 인정하고 있는 방법임(‘2014년 예비타당성조사 보고서 - 국민안전 로봇프로젝트(KISTEP, 2015)’ 등)

(4) 사업기여율 추정

○ 사업기여율이란 동 사업의 투자규모가 국가 전체의 유사 R&D투자 대비 얼마의 비중을 차지하고 있는가를 파악하는 것으로, 최근 5개년도(2011~2015년)에 대한 분석을 통해 27.0%로 산정함 (표 5-17)

$$\text{사업기여율} = \frac{\text{(동 사업 투입비용)}}{\text{(유사과제 정부·민간 투입비용) + (동 사업 투입비용)}}$$

▷ (유사과제 정부 투입비용) 국가R&D사업관리서비스(NTIS)에서 관련 검색어를 통해 최근 5년 간 적조분야 유사과제 중 본 사업과 관련성이 높은 12개 과제의 정부연구비(총 113.7억 원)를 도출 (표 5-18)

[표 5-17] 사업기여율 산정

		(단위: 억 원, %)
		투입비용(억원)
유사과제 규모	정부·공공(70%)	113.7
	민간(30%)(추정액)	48.6
동 사업 규모		60.0
전체(유사사업+동 사업) 대비 동 사업기여율(%)		27.0%

통영해역 적조 피해 최소화를 위한 적조 통합 관리체계 구축

[표 5-18] 동 사업과의 유사과제 목록 및 정부연구비

(단위: 억 원)

No	과제명	총연구기간	정부연구비 (년)					
			'11	'12	'13	'14	'15	계
1	무인항공기 해양감시시스템 개발	'15-05-15 ~ '18-12-31	-	-	-	-	1.0	1.0
2	위성해양감시시스템개발	'15-05-15 ~ '18-12-31	-	-	-	-	1.0	1.0
3	적조발생 조기경보 원격 레이저 형광 센서 개발	'09-06-01 ~ '12-05-31	3.0	-	-	-	-	3.0
4	유해생물 모니터링 및 피해저감 연구 (구: 어장환경 내 유해물질 모니터링 및 위해도 평가)	'09-01-01 ~ '15-12-31	5.1	5.1	7.9	-	-	18.1
5	적조모니터링 및 발생메커니즘 연구	'13-01-01 ~ '37-12-31	-	-	-	7.5	7.7	15.2
6	해양생태계 교란생물 제어기술 개발 - 해양생태계 교란생물인 유독성 플랑크톤과 유해성 비브리오균에 대한 제어기술 개발	'08-11-01 ~ '13-10-31	4.0	-	-	-	-	4.0
7	적조모니터링 및 대응연구	'97-01-01 ~ '15-12-31	1.7	1.9	-	-	-	3.6
8	바이오/나노세라믹 막을 이용한 육상가두리양식장 오염해수 정화 및 적조방제 시스템 개발 (구: 바이오/나노세라믹 막을 이용한 해양정화 및 적조방제 시스템 개발)	'13-10-01 ~ '18-07-31	-	-	3.5	7.1	7.8	18.4
9	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(주관)	'13-12-26 ~ '22-11-25	-	-	9.6	7.1	6.8	23.5
10	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁1)	'13-12-26 ~ '22-11-25	-	-	3.8	2.9	2.8	9.5
11	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁2)	'13-12-26 ~ '22-11-25	-	-	2.8	2.1	2.0	6.9
12	해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발(위탁3)	'13-12-26 ~ '22-11-25	-	-	3.8	2.9	2.8	9.5
계			13.8	7.0	31.4	29.6	31.9	113.7

▷ (유사과제 민간 투입비용) 적조 통합관리체계 구축과 관련한 민간투자 금액 추정을 위해 '2014년도 연구개발활동조사(KISTEP)'에서 제시한 수산 분야의 주체별 투자비율(정부·공공 7 : 민간 3)을 적용하여 도출

## 제 4 절 경제성 분석 결과

- 상기 기본가정을 근거로 비용편익분석(Benefit-Cost Analysis)을 수행한 결과, B/C ratio는 1.13으로 도출되어, 동 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 분석됨 (표 5-19)

[표 5-19] 비용편익분석(B/C) 결과

(단위: 억 원, %)

구분	비용분석		편익 분석			
	비용	비용현재가 (NPV)	피해저감액 (NPV)	기술활용률	사업기여율	편익현재가 (NPV)
2017년	20.0	18.96				
2018년	20.0	17.97				
2019년	20.0	17.03				
2020년						
2021년						
2022년						
2023년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2024년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2025년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2026년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2027년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2028년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2029년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
2030년			79.92	35.4%	27.0%	7.64
<b>합 계</b>		<b>53.96</b>				<b>61.11</b>

$$B/C \text{ ratio} : 61.11 / 53.96 = 1.13$$

## 제 5 절 기대 효과

### 1. 경제·사회적 기대효과

- 수산업의 산업구조 고도화·첨단화를 통해 1차 산업으로서의 성장한계를 극복하고 글로벌 경쟁력 제고에 기여
  - ▷ 해양 관측·탐사 및 양식업 관련 장비의 국산화율 제고를 통해 수산업 자립화를 실현하고 전·후방산업으로의 동반성장 활성화 촉진
  - ▷ 중동 및 동남아 적조 피해 국가에 적조 광역탐지체계 시스템과 운영기술을 이전함으로써 기술이전수입을 발생시키고 수산기술 선도국으로서의 국가적 위상 강화
    - ※ 적조 광역탐지체계 기술이전 수입목표: 중동·동남아 10개국 × 30억 원 = 300억 원
  - ▷ 첨단 적조탐지·예측 시스템 개발을 통해 기존의 노동집약적 유해적조 예찰 방식에서 탈피함으로써 적조 예찰 선박의 유류비 및 인건비 비용 절감 효과 유발
    - ※ 연간 유류비 절감액 목표: 150만 원(100t급 조사선 일일 유류비) × 2,700척(30척 × 90일) × 50%(유류비 절감목표율) = 20.3억 원
    - ※ 연간 인건비 절감액 목표: 약 660만 원(월별 인건비) × 720명(240명 × 3개월) × 30%(인건비 절감목표율) = 14.3억 원
- 적조로 인한 수산 피해를 최소화하여 어업인의 안정적인 수산업 활동을 가능케 하며, 수산자원의 안전성 확보를 통한 국민행복 달성에 이바지
  - ▷ 환경 지배적 산업인 수산업의 생산 및 소득 안정성을 확보하여 어민복지 향상에 기여할 수 있으며, 수산업 분야의 사회적 투자 창출 도모
  - ▷ 적조로 인한 양식어류 폐사를 방지함으로써 수산물 식품 안전성 위협을 조기에 불식시키고 국민이 건강하고 향상된 삶의 질을 향유할 수 있는 환경 조성
  - ▷ 수산자원의 안정적 공급과 지속적 관리를 가능케 하고 수산물 안전 신뢰도를 제고시킴으로써 수산물의 가격경쟁력을 확보할 수 있으며, 이는 국내 소비 촉진 및 수출 수입 증대로 연결
- 장기적으로 어촌 소득증대 및 신규 일자리 창출에 기여할 수 있으며, 수산업은 전통산업이라는 고정적 관념에서 탈피하는 등 수산업에 대한 국민적 인식 제고 가능
  - ▷ 우리나라의 어촌은 수산업의 부가가치 창출 능력 약화, 경제활동 인구의 감소 및 수산업 인력의 노령화 등 다양한 문제로 인해 경쟁력이 소실되고 있는 상태



- ▷ 동 사업 추진을 통해 수산업의 첨단화·고도화가 구현되면 신규 일자리 창출과 고급 인력 유입이 가능하며, 이를 통해 투자촉진과 신시장창출로 연계되는 등 산업 성장의 선순환체계 구축
- ▷ 어촌복지 향상 및 수산업에 대한 국민인식 제고는 해양레저, 관광산업 발전으로 연계·확대될 수 있으며 지역경제 활성화에 이바지 가능

## 2. 정책적 기대효과

- 유해 적조의 발생원인 탐색부터 피해저감 기술에 이르기까지 적조로 인해 발생하는 국가적 재난 이슈를 해결하기 위한 정책적 방안의 과학적 근거를 제공
  - ▷ 박근혜 정부의 국정과제의 실현 및 「농어업재해대책법」에 따른 적조관련 재해대책마련과 과학적 판단에 입각한 합리적 보상체계를 수립하는데 근거 자료로 활용 가능
  - ※ (관련) 박근혜 정부의 140대 국정과제 중 ‘92. 총체적인 국가재난관리체계 강화’ 및 ‘99. 기상이변 등 기후변화 적응’ 분야
  - ※ (관련) 「농어업재해대책법」에서는 적조로 인한 재해발생시 어업용 시설, 어장, 수산양식물 등의 피해복구 및 지원에 관한 사항을 규정
    - ▷ 양식어장 구조개선, 철저한 사전준비와 대응훈련을 통한 피해 최소화 등 적조대응정책의 과학기술적 기반으로 활용 가능
  - ※ (관련) 해양수산부 「국가안전관리집행계획」에서는 적조발생시의 행동 매뉴얼 작성, 적조발생대비 양식어장관리 교육 등의 내용을 규정
    - ▷ 적조재난에 신속히 대처할 수 있는 적조 예보시스템을 확보함으로써 정부 차원의 적조 피해예방대책 및 대응매뉴얼 마련에 기여할 수 있음
  - ※ 현재 최초 적조발생 후 적조 구제 물질, 장비확보 및 가동 준비기간은 평균 7일
    - ▷ 과학적 기준에 근거하여 각 양식어종별 생존임계치 및 최적의 방류시점을 판단할 수 있으며, 이를 통해 국가 보상체계의 효율성 및 어민피해 최소화에 기여
  - ※ (관련) 해양수산부는 「적조 발생해역 양식어류 긴급방류 지침」을 통해 양식 어류의 폐사를 막기 위한 방지 대책을 시행
- ICT 등 타 과학기술분야와의 융합을 통한 적조 문제에 대한 근본적인 처방과 함께 다양한 부가가치 창출 가능
  - ▷ 고비용의 인력에 의존하여 목시 관측이나 정기적인 채수에 의존하고 있는 현재의 적조 감시체계를 인공위성, 드론, 음향탐지 시스템, 무인선박기술 등을 활용해 정확하고 구체적인 적조의 예찰·예보가 가능해질 것임
  - ▷ ICT·BT·ST 등 타 학계와의 융합연구를 통해 신산업 창출이 가능함
    - ※ (관련) 「제3차 과학기술기본계획」의 ‘국가전략기술개발’ 전략의 ‘ICT 융합 신산업 창출 분야’ 및 ‘걱정 없는 안전사회 구축’ 분야

- ▷ 광역 적조탐지기술이나 적조 확산 예측기술, 양식장 적조 정밀탐지기술 등을 바탕으로 광역 감시망을 구축하여 적조예보역량 강화 가능
  - ※ (관련) 「해양수산 R&D 중장기계획(2014-2020)」 추진전략 1-1. 해양과학조사 및 예보역량 강화
- ▷ 유해해양생물 관리 체계 기술의 확보를 통해 사회현안을 해결함으로써 지속가능한 해양환경 관리 및 해양생태계 다양성 보전에 기여
  - ※ (관련) 「해양수산 R&D 중장기계획(2014-2020)」 추진전략 3-1. 해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화
- ▷ 본 사업을 통해 개발되는 5개의 기술을 정책수립·운영에 직간접적으로 활용할 수 있을 것으로 기대
  - ※ (예시) 실시간 적조 농도 정밀 모니터링을 통한 양식장 이송, 방류 방안 수립
  - ※ (예시) 적조 생물의 생물·생태학적 발생기작 규명을 통한 사전적 예방 정책 수립
  - ※ (예시) 적조 생물 대응 양식어류 반응 연구를 통한 어류 폐사 방지 정책 수립
- 적조발생시 지역경제로 과급되는 마이너스 효과를 줄이고 지역경제 활성화에 기여할 것으로 예상
  - ▷ 양식장의 적조를 정밀하게 탐지하여 실시간 적조 농도를 모니터링하고, 대규모 적조의 발생시 실시간 정보전달이 가능해짐으로써 가두리양식장의 이송이나 서식수심 조절 기술을 통해 피해를 획기적으로 감소시킬 수 있음
    - ※ (적조에 의한 피해액) 1995년 764억원, 2003년 215억원, 2007년 115억원, 2013년 247억원, 2014년 74억원을 기록
  - ▷ 어족자원의 안정적인 확보는 물론, 환경지배적 1차 산업인 수산업을 주업으로 하고 있는 어업인의 소득 안정화 및 삶의 질 향상에 기여할 것으로 기대
    - ※ (관련) 박근혜 정부의 140대 국정과제 중 14.수산의 미래 산업화 / 51.누구나 살고 싶어하는 복지 농어촌 건설 / 60.농어가 소득 증대 / 82.생태휴식 공간 확대 등 행복한 생활문화공간 조성 / 116.지역경제와 산업의 활력 제고 분야
  - ▷ 생물들의 시·공간적 분포 영상을 광역적으로 탐사할 수 있는 기술을 개발하기 때문에 해양물리, ICT, 수산공학, 항공우주공학, 기계공학 분야의 인프라 조성을 위한 고급인력의 유입효과와 함께 관련 일자리 창출 촉진

- ▷ 적조가 대규모로 발생하는 경우 극심한 악취 등으로 인해 해양관광·레저 산업도 불황을 겪게 되는데, 적조 발생을 원천적으로 봉쇄하거나 예방할 수 있게 됨으로써 관련사업에 미치는 부의 효과 최소화 가능
  - ※ (관련) 「해양수산 R&D 중장기계획(2014-2020)」 추진전략 3-3. 친수 공간 및 해양문화 콘텐츠 창출
- ▷ 수산물 안전성에 대한 국민 인식 제고 및 안정적인 수산물 제공 가능
  - ※ 우리나라에서 주로 발생하는 유해성 적조생물인 코클로디늄에 의해 폐사한 어류를 취식해도 인체에는 무해하지만, 대부분 여름철 수온 및 기온의 상승으로 부패 세균에 의한 2차 감염의 우려가 큼

### 3. 과학기술적 기대효과

- 적조 발생의 생물·생태학적 메커니즘 규명을 통해 친환경적 적조재난 해결책 제시 가능
  - ▷ 적조발생 메커니즘 연구를 통해 발생원인에 따른 명확한 처방을 내릴 수 있어 황토/철분/화약약품 살포나 천적생물 투입 등에 따른 생태계 교란 등 2차로 발생하는 문제를 최소화 가능
    - ※ 현재 우리나라에서 적조를 일으키는 생물은 60여종이 있으며, 적조발생시 주로 살포하는 황토는 인 함유량이 많아 수질의 부영양화가 심각해질 수 있고, 인위적으로 천적생물을 투입할 경우 생태계의 교란을 야기할 수 있음
- 적조에 대한 원천성 연구를 통해 국제사회에서 연구 주도권 확보 가능
  - ▷ 수산자원 DB 및 적조 변동예측 모델 등 국내 연구 결과를 국제 사회에 공개함으로써 적조 문제의 해결을 위한 국제협력연구 촉진 가능
    - ※ 적조가 일본, 동남아, 북미 등에서 다양한 지역에서 발생하면서 전 세계적인 이슈로 부각
- ICT/BT/ST 등 타 학계와의 융합연구를 통해 수층 내 적조생물탐지자료의 정밀성 및 광역탐지자료의 광역성을 동시 확보할 수 있으며, 적조의 실시간 탐지·대응이 가능한 통합관리 기반 확보 가능
  - ▷ 수중 적조탐지·감시에는 ICT분야가, 광대역 적조 발생 및 이동양상을 관찰에는 ICT와 ST분야가 활용될 수 있고, 유전자 기반 적조검출분야는 BT분야와 융합 가능
- 적조 문제 모니터링 및 피해 저감과 관련된 논문 및 특허 등의 지식 재산을 창출 기대
  - ▷ ST/IT/BT 등 다양한 기술분야와의 협력을 바탕으로 초기 적조발생 광역 모니터링분야 4건, 적조 이동경로/ 확산범위 예측 2건, 적조 생물의 생물·생태학적 발생기작 규명 16건 등 총 35건의 논문 게재 예상
    - ※ (예시) 초기 적조발생 광역 모니터링(2건), 적조 이동경로/확산범위 예측(1건), 양식장 대상 실시간 적조 농도 정밀 모니터링(4건), 적조

생물의 생물·생태학적 발생기작 규명(1건), 적조생물대응 양식어류  
반응 연구(2건) 등 10여건의 특허출원이 가능

## 참고 문헌

- 강병준. 1998. 한국 남해안 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생 시 환경학적 특성과 동물플랑크톤의 군집 동태. 한양대 대학원 석사학위논문, p. 55
- 보건복지부. 2015. 원격의료. ([http://www.mw.go.kr/medical/cy/scy0101ls.jsp?PAR\\_MENU\\_ID=12&MENU\\_ID=120501](http://www.mw.go.kr/medical/cy/scy0101ls.jsp?PAR_MENU_ID=12&MENU_ID=120501))
- 부경대학교. 2012. 생활사 해명을 통한 코클로디니움 유해적조의 제어기술개발 보고서
- 상명대학교. 2013. 유해생물 외편모조류의 전사체분석을 통한 해양 유래조류 대발생 및 억제를 위한 유전자 규명 최종보고서
- 상명대학교. 2014. 해양 유해조류의 발현유전체 해독 및 분자적 이해 최종보고서
- 한국해양과학기술원, 2013. 유비쿼터스 해양 유용/유해 생물 관리 기술 개발
- 한국해양과학기술원 보고서 BSPE 98753-10240-3, 377p
- 한국해양연구원. 2004. 해양 유독식물플랑크톤의 유전자 자원화 기술개발 연구 보고서
- 허영찬, 유보연. 2014. 스마트폰 애플리케이션을 이용한 국내외 원격의료 동향 ([www.tta.or.kr](http://www.tta.or.kr))
- Armbrust, E.V., Berges, J.A., Bowler, C., Green, B.R., Martinez, D., Putnam, N.H., Zhou, S., Allen, A.E., Apt, K.E., Bechner, M., et al. 2004. The genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism. *Science*, 306:79-86
- Barreiro A., Guisande C., Maneiro I., Vergara A.R., Riveiro I., Iglesias P. 2007. Zooplankton interactions with toxic phytoplankton: Some implications for food web studies and algal defence strategies of feeding selectivity behaviour, toxin dilution and phytoplankton population diversity. *Acta Oecologica*, 32:279-290
- Bowler, C., Allen, A.E., Badger, J.H., Grimwood, J., Jabbari, K., Kuo, A., Maheswari, U., Martens, C., Maumus, F., Otiillar, R.P., et al. 2008. The *Phaeodactylum* genome reveals the evolutionary history of diatom genomes. *Nature*, 456:239-244
- Campbell R.G., Jeegarden G.J., Cembella A.D., Durbin E.G. 2005. Zooplankton grazing impacts on *Alexandrium* spp. in the nearshore environment of the Gulf of Maine. *Deep-Sea Res. II* 52:2817-2833
- Colin S.P., Dam H.G. 2004. Testing for resistance of pelagic marine copepods to a toxic dinoflagellate. *Evol. Ecol.*, 18:355-377
- Colin S.P., Dam H.G. 2007. Comparison of the functional and numerical responses of resistant versus non-resistant populations of the copepod *Acartia hudsonica* fed the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. *Harmful Algae*, 6:875-882
- Dagenais-Bellefeuille, S., Morse, D. 2013. Putting the N in dinoflagellates.

- Frontiers in microbiology, 4:369
- Jeong H.J., Kim J.S., Yoo Y.D., Kim S.T., et al. 2008. Control of the harmful alga *Cochlodinium polykrikoides* by the naked ciliate *Strombidinopsis jeokjo* in mesocosm enclosures. Harmful Algae, 7:368–377
- Jester R.J., Baugh K.A., Lefebvre K.A. 2009. Presence of *Alexandrium catenella* and paralytic shellfish toxins in finfish, shellfish and rock crabs in Monterey Bay, California, USA. Mar. Biol., 156:493–504
- Jiang X., Tang Y., Lonsdale D.J., Gobler C.J. 2009. Deleterious consequences of a red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* for the calanoid copepod *Acartia tonsa*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 390:105–116
- Kianianmomeni, A. 2014. Cell-type specific light-mediated transcript regulation in the multicellular alga *Volvox carteri*. BMC genomics, 15:764
- Lidie, K.B., Ryan, J.C., Barbier, M., and Van Dolah, F.M. 2005. Gene expression in Florida red tide dinoflagellate *Karenia brevis*: analysis of an expressed sequence tag library and development of DNA microarray. Marine biotechnology, 7:481–493
- Lommer, M., Specht, M., Roy, A.S., Kraemer, L., Andreson, R., Gutowska, M.A., Wolf, J., Bergner, S.V., Schilabel, M.B., Klostermeier, U.C., et al. 2012. Genome and low-iron response of an oceanic diatom adapted to chronic iron limitation. Genome biology, 13:R66
- Morey, J.S., Monroe, E.A., Kinney, A.L., Beal, M., Johnson, J.G., Hitchcock, G.L., Van Dolah, F.M. 2011. Transcriptomic response of the red tide dinoflagellate, *Karenia brevis*, to nitrogen and phosphorus depletion and addition. BMC genomics, 12:346
- Roy, R.S., Price, D.C., Schliep, A., Cai, G., Korobeynikov, A., Yoon, H.S., Yang, E.C., and Bhattacharya, D. 2014. Single cell genome analysis of an uncultured heterotrophic stramenopile. Scientific reports 4:4780
- Selander E., Kubanek, Hamberg M., Andersson M.X., Cervin G., Pavia H. 2015. Predator lipids induce paralytic shellfish toxins in bloom-forming algae. PNAS, 112:6395–6400
- Seo K.S., Lee C.K. 2007. *Cochlodinium* Red Tide Effects on the Respiration of Abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Algae, 22:241–246
- Shin K., Jang M.C., Jang P.K., Ju S.J., Lee T.K., Chang M. 2003. Influence of food quality on egg production and viability of the marine planktonic copepod *Acartia omorii*. Prog. Oceanogr. 57:265–277
- Teegarden G.J., Cempbella A.D. 1996. Grazing of toxic dinoflagellates, *Alexandrium* spp., by adult copepods of coastal Maine: Implications for the fate of paralytic shellfish toxins in marine food webs. J. Exp. Mar. Biol.

Ecol. 196:145–176

Turner JT. 2010. Zooplankton community grazing impact on a bloom of *Alexandrium fundyense* in the Gulf of Maine. *Harmful Algae*, 9:578–589

Turner JT, Borkman DG. 2005. Impact of zooplankton grazing on *Alexandrium* blooms in the offshore Gulf of Maine. *Deep-Sea Res. II*. 52:2801–2816

Turner JT, Tester PA. 1997. Toxic marine phytoplankton, zooplankton grazers, and pelagic food webs. *Limnol. Oceanogr.* 42:1203–1214

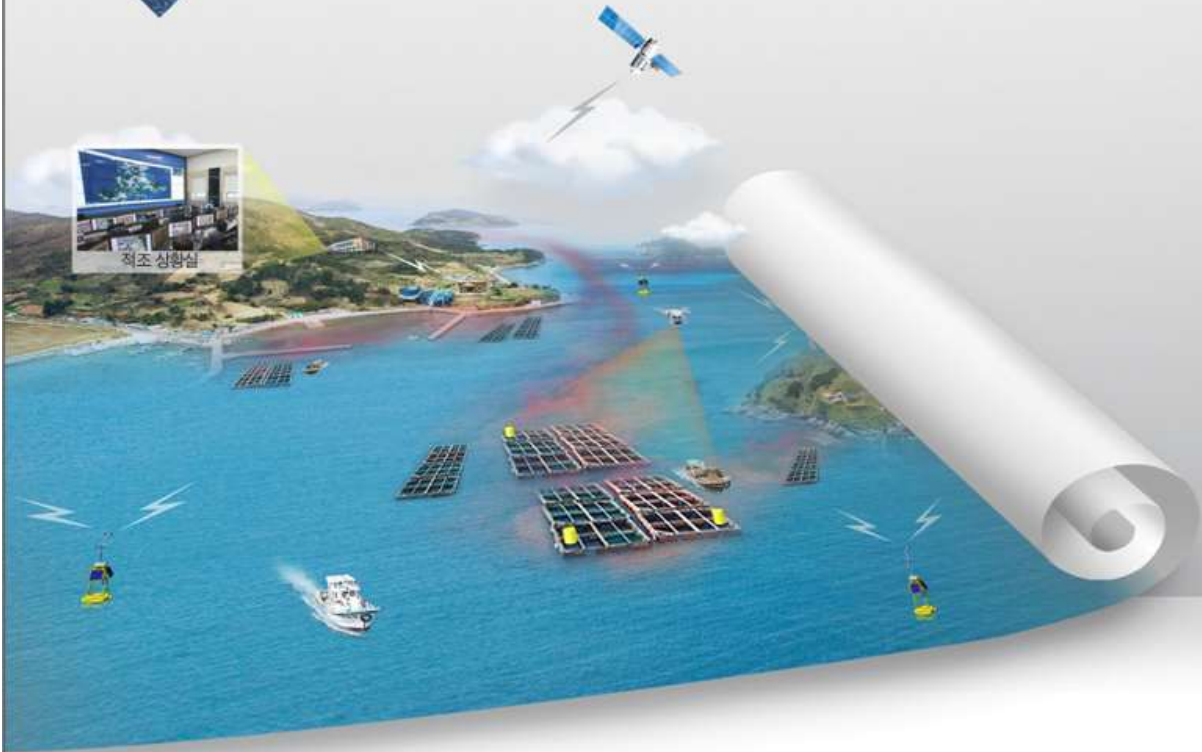
WEB SITE: <https://www.eol.ucar.edu/projects/ohhi/grants/projects.html>

의도적 공백



## 부록

- 부록 1. 정책적 타당성
- 부록 2. 어민 설문 조사



의도적 공백

## 부록 1. 정책적 타당성

### 제 1 절 적조 관련 국가 정책 방향

#### 1. 해양수산부의 적조 피해 대책에 관한 정책

- 목표: 적조대책에 의한 어업피해 사전 예방 및 피해 최소화
  - ▷ 예찰·예보 및 R&D 강화, 양식어장 구조개선 및 제도개선
  - ▷ 철저한 사전준비 및 점검과 대응훈련을 통한 피해 최소화
- 기본방향
  - ▷ 적조의 조기 예찰·예보 및 신속한 상황 전파
    - 지자체별 관할해역 수시예찰, 초동방제 활동 강화
    - 국립수산과학원 광역예찰(선박, 항공), 특보 상황 관리
  - ▷ 피해 발생 전 신속한 방류 및 가두리 대피를 통한 피해최소화
  - ▷ 피해예방사업(가두리 이동, 품종변경)의 신속한 추진
  - ▷ 적조피해 발생 시 신속한 현장조사 및 복구 추진
  - ▷ 적조 위기대응 매뉴얼에 따른 단계별 대응
- 주요 기관(부처)별 임무

구 분		주요 임무
중앙사고수습본부	해양수산부	○ 재해 상황 파악 및 상황 전파 ○ 양식재해에 대한 방제 및 응급 대책 강구
지역수습본부	사·도(시·군, 수산기술사업소)	○ 적조 예찰·예보 등 동향 신속파악 ○ 피해예상 해역 어업인 대상 예방 교육 ○ 피해조사·복구 및 인력·장비 지원
	수산과학원 (수산연구소)	○ 적조 조사 예찰·예보, 피해방지 연구 ○ 적조종합정보시스템 구축 운영
관계기관	국방부, 해경청	○ 방제 인력·장비 지원
	환경부, 미래부	○ 육상기인 오염원의 해양유입 방지시설 설치 ○ 적조 R&D 지원
유관단체	수협중앙회 등	○ 피해 예방대책 지원, 방제 인력·장비 지원

## 제 2 절 기존 적조 관련 연구사업 현황

### 1. 국내 적조 관련 유사 연구사업 (출처: www.ntis.go.kr)

순번	수행기관	과제기간	연구비	과제명
1	국립수산과학원	2014~2016	602	양식어장 적조 피해저감 연구
2	주식회사 시스코어	2015~2017	383.33	유해적조 실시간 탐지 및 분석을 위한 상용 시스템 개발 및 사업화
3	한국해양연구원	2003~2004	136	환경친화적 생물소재를 이용한 적조피해 저감기술 및 적조 탐지체계 개발
4	군산대학교	2003~2008	200	3대 적조발생 해역에 대한 최적 적조예보 및 방제시스템 구축 연구
5	군산대학교	2002~2005	30	한국 연안해역의 적조와 기생생물: 기생생물의 생물학적 특성
6	(사)고동기술연구원	2006~2007	168	호소 및 인근 연안의 녹조, 적조 제거기술 개발
7	서울대학교	2004~2007	85	한국 해역에서 혼합영양성 적조생물에 의한 적조발생, 유지, 소멸에 대한 연구
8	(주)비앤이테크	2004~2006	147	광촉매 ball system을 이용한 축양양식장에서 발생하는 적조 제어 장치
9	(주)동서기전	2009~2011	384	적조 생물 조기 감지 센서 시스템 개발
10	광주과학기술원	2009~2012	340	적조발생 조기경보 원격 레이저 형광 센서 개발
11	서울시립대학교 산학협력단	2013~2014	107.78	접착형 밴드를 활용한 비보강조적조 내진성능개선에 관한 연구
12	국립수산과학원	1997~2015	190	적조모니터링 및 대응연구
13	(주)월드이엔지	2009~2011	289	적조 저해제 적용방법 개발
14	포항공과대학교	2009~2012	144	해양산성화가 적조생물의 성장률 및 기후조절가스(DMS) 생성에 미치는 영향연구
15	경기대학교	2013~2018	1,040	바이오/나노세라믹 막을 이용한 해양정화 및 적조방제 시스템 개발
16	경상대학교 산학협력단	2014~2015	31.47	남해안 적조 및 패류독소 개선 기술-플라즈마 극미세 기포를 이용한 적조 제거기술 및 해양 생태계 영향 조사
17	국립수산과학원	2014~2016	636	친환경 적조구제물질 실용화 기반 연구
18	인제대학교	2003~2005	23	적조원인 유해 외편모류에 기생하는 진핵기생생물의 숙주 개체군에 대한 영향 연구
19	효성엔지니어링	2003~2004	92	양식장 적조피해 방지를 위한 왕복식 베인펌프 및 공기 교환 장치
20	순천대학교	2003~2004	24	적조방제용 무기분말제품 연구개발
21	남해수산연구소	1972~2012	175	남해적조조사
22	동해수산연구소	1996~2012	114	동해 적조조사
23	부경대학교	2008~2011	100	생활사 해명을 통한 코클로디니움 유해적조의 제어기술개발
24	광주과학기술원	2009~2012	340	적조발생 조기경보 원격 레이저 형광 센서 개발
25	국립수산과학원	1972~2010	263	적조예찰 및 예보자동화 연구
26	군산대학교	2000~2003	85	천적을 이용한 적조방제 기술의 실용화 및 산업화를 위한 연구
27	인하대학교	2000~2002	0	미생물생산 생리활성물질에 의한 적조제거제의 산업화
28	국립여수대학교	2005~2005	47	초음파에 의한 적조구제 실험
29	(주)메이텍엔지니어링	2005~2006	40	적조 구제물질 · 장비 사용기준의 합리적 개선방안
30	한국해양대학교	2006~2008	80	준설퇴적물을 이용한 적조구제 물질 생산 및 활용기술 개발

순번	수행기관	과제기간	연구비	과제명
31	국립수산과학원	2002~2007	437	적조피해최소화 기술개발 및 영향 평가
32	국립수산과학원	2004~2004	127	적조생물의 생리·생태특성연구
33	국립수산과학원	2009~2011	50	침단자동무인항법기술이용적조모니터링기술연구
34	화림이엔씨(주)	2008~2010	136	적조방제를 위한 태양전지 자가발전 폭기 시스템
35	국립수산과학원	1997~2020	190	적조발생 메커니즘 및 제어연구
36	서울대학교 산학협력단	2008~2011	80	신종 적조생물들의 한국 연안에서의 시공간적 분포와 생태, 생리, 생화학적 특성에 대한 통합적 연구
37	서울대학교 산학협력단	2014~2015	100	기상정보 융합 한국연안 적조의 원인종과 밀도 변동 예측 가능성 연구
38	가천대학교	2014~2017	50.45	적조 경보를 위한 휴대형 유전자 분석용 일체형 플라스틱 미세유체칩 개발
39	한국해양연구원	2015~2017	100	유해적조 음향탐지 장비 상용품의 알고리즘 최적화 및 성능 시험 평가
40	목포해양대학교	2007~2088	35	적조제어용 황토살포시스템의 개발
41	서울대학교	1999~2004	59	적조생물 및 원생생물을 이용한 신물질 개발
42	서울대학교	2004~2007	25	연안해역의 부영양화 및 적조 발생 원인 및 메커니즘 분석을 위한 수치모델 응용
43	위덕대학교	2005~2006	30	형산강 하류에서의 수생생태 및 적조발생 조사 연구
44	경기과학기술대학교 산학협력단	2014~2015	90	청정기술 고도화에 따른 적조방지 약품
45	군산대학교	2008~2011	36	새만금 해역에서 적조생물과 해양세균과의 상호작용 연구
46	지앤씨테크(주)	2010~2011	75.40	가두리 양식장 적조 피해 사전 감시기능과 태양광을 적용한 LED 부표개발
47	(주)메이텍엔지니어링	2001~2003	0	퇴적토를 이용한 적조생물의 제거 및 영향평가
48	국립수산과학원	1997~2012	425	적조예찰 및 예보 연구
49	대구가톨릭대학교	2002~2003	20	식물유래 천연물을 이용한 녹, 적조방제제의 개발
50	광주대학교	1999~2002	0	양어장 주변의 수질·저질환경 변화와 적조 및 패혈증의 발생 및 방지대책
51	서울대학교	2004~2007	85	한국 해역에서 혼합영양성 적조생물에 의한 적조발생, 유지, 소멸에 대한 연구
52	한국해양연구원부설극지연구소	2005~2006	200	Hahellachejuensis유전체정보를활용한 적조제어물질생산기술개발
53	충남대학교	2007~2008	30	전자빔 조사에 의한 적조제어기술 개발 기초연구
54	대구대학교	2004~2005	30	맹저수지의담수적조발생의위해성및생태기작에관한연구
55	부경대학교	2004~2005	52	분광카메라시스템을 이용한 적조항공예찰 자동화 기술개발
56	해양수산부	2004~2004	513	연안관리, 적조, 해양보호지역 등 해양수산정책 및 전문분야 해당공무원 기술연수 및 자료교환
57	서울대학교	2008~2011	80	신종 적조생물들의 한국 연안에서의 시공간적 분포와 생태, 생리, 생화학적 특성에 대한 통합적 연구
58	전남대학교	2007~2010	36	적조하에서 어군행동의 분석에 의한 양식환경 개선

2. 국립수산물학원에서 수행한 적조 관련 사업 내용 (출처: 국립수산물학원 제공)

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
1	침단자동 무인항법 기술이용 적조 모니터링 기술연구	2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 무인항공기 및 무인선박 이용 적조모니터링 기술 개발</li> <li>○ 현장 적용실험</li> </ul>
2	적조발생 매커니즘 및 제어연구	2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 식물플랑크톤의 유해성 탐색기술연구                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 차토넬라가 주요 수산생물에 미치는 영향 조사</li> <li>- 식물플랑크톤 유해성연구</li> <li>- 적조생물 탐색기술연구</li> </ul> </li> <li>○ 적조발생 환경제어 연구                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 적조피해 제어기술연구</li> <li>- 황토살포가 해양생태계에 미치는 영향연구</li> </ul> </li> </ul>
3	적조연구 및 피해 최소화 기술개발 - 한국 연안의 적조발생 및 피해 최소화 연구	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조는 최근에 들어 규조류 중심에서 와편모조류로 종천이가 뚜렷하며, 내만성에서 외양성 적조의 증가 추세가 강함</li> <li>○ Noctiluca scintillans와 섬모충류인 Mesodinium rubrum도 광범위하게 적조를 일으키며 그 출현 밀도수가 증가하고 있으며, 서해안에서도 적조가 발생</li> <li>○ 또한 유해적조의 발생 시기도 점차 빨라짐</li> <li>○ 식물플랑크톤의 일변화는 조석에 의해 변동하며, 주로 수온층을 중심으로 집중</li> <li>○ 적조 사전광역조사결과, 투명도는 낮아졌다가 적조발생 직전에 높아졌는데 이는 유해수의 유입으로 추정됨</li> <li>○ 이러한 결과들을 바탕으로 적조발생 시기를 예측하고, 해양환경 및 식물플랑크톤변동을 파악하여 이동·확산을 예측하여, 유관기관 및 어민들에게 신속하게 통보</li> </ul>
4	유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ C. polykrikoides는 25℃에서 일간 성장률이 0.435의 최고치를 보여 이종의 최적 적조발생 수온은 25℃임</li> <li>○ C. polykrikoides 적조생물의 어류에 대한 독력은 어종에 따라, 조사 연도에 따라 다르게 나타났으며, '98년의 경우 꺾치 3,000cells/mL, 돌돔 5,000cells/mL, 넙치 8,000cells/mL 이상의 밀도에서 폐사가 발생하기 시작</li> <li>○ C. polykrikoides의 수용성 및 지용성 용매추출 물질에 의한 어독성 실험결과 넙치, 조피볼락 모두 폐사하지 않음</li> <li>○ C. polykrikoides는 유해 활성산소 화학 종을 발생 시키는 것으로 확인되었으며, 발생률은 다른 적조생물보다 5~7배 가량 높았고, 다른 비교 적조 생물에 비해 점액질이 많았으며, C. polykrikoides에 노출된 어류의 점액질 분비는 대조구에 비해 훨씬 높았음</li> </ul>
5	환경친화적 적조구제 및 제어기술 연구 I. 물리·화학적 구제기술 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 현재 황토에만 의존하고 있는 적조구제물질을 다양화시키기 위해 민간에서 개발한 물질들에 대하여 구제효율을 조사하고, 그 중에서 환경친화성을 고려하여 바다에 살포되더라도 생태계에 문제가 적을 것으로 예상되는 물질을 우선 3종 정도 선정하고 현재 논의가 되고 있는 물질 2종을 대상으로 어류에 대한 유해성 여부를 조사함</li> </ul>
6	환경친화적 적조구제 및 제어기술 연구 III. 제어시스템 개발 및 실용화 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소형 황토살포기에 소용량 전해수 제조장치로 실내 및 현장 적용실험을 거쳐 그 효과를 검증한 후, 대용량 전해수 제조장치를 제작하여 현장실험을 거친 후 2002년도 적조발생 시 경상남도 통영 주변 해역의 적조방제 작업에 투입하여 전해황토살포기의 효율성과 경제성분석에 대한 평가를 수행하고, 2002년 8월 12일~8월 14일에 걸쳐 전해황토살포기의 적조구제 효율성을 행한 결과 구제효율은 기존의 황토살포법에 비해 약 2배 가량 되었으며, 경제성은 연간 17.4%의 비용절감과 살포면적당 투자효율은 4.17배에 이르렀음</li> </ul>
7	환경친화적 적조구제 및 제어기술 연구 II. 생물학적 구제기술 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유해성 적조생물인 Cochlodinium polykrikoides 적조발생 전후인 7~10월동안 통영연안 3개 정점에 대한 식물플랑크톤 종조성은 적조발생 직전인 7월에는 Ceratium furca, C. fusus, Skeletonema costatum, Chaetoceros dictyota 등이 우점하였으나 8월에는 Cochlodinium polykrikoides가 현존량을 주도하였으며 그 이외의 종들은 출현량이 현저히 감소</li> <li>○ 적조발생 후기인 9월에는 Cochlodinium polykrikoides 이외에 Polykrikos spp., Chaetoceros debilis, C. curvisetus, Skeletonema costatum, Pseudo-nitzschia spp. 등이 점차 증가하는 양상을 보였는데, 편모조류 중에는 특히 Polykrikos spp.의 출현량이 8월보다 급격히 증가</li> <li>○ 적조가 소멸된 10월에는 대부분 Chaetoceros debilis, C. curvisetus, Chaetoceros spp., Skeletonema costatum, Eucampia zoodiacus, Pseudo-nitzschia spp. 등과 같은 규조류가 우점하였다. 동물플랑크톤은 적조가 발생하기 직전인 7월의 출현량은 요각류 55.3~603.7 ind./m<sup>3</sup>, 단각류 1.3 ind./m<sup>3</sup>, 피낭류 1.3~3.8 ind./m<sup>3</sup>, 모약동물 3.8~15.1 ind./m<sup>3</sup>의 밀도를 보였으나, 적조가 발생한 8~9월에는 요각류 415.0~1031.4 ind./m<sup>3</sup>, 단각류 2.5 ind./m<sup>3</sup>, hydrozoa 7.6~15.1 ind./m<sup>3</sup>, 피낭류 17.6~39.0 ind./m<sup>3</sup>, 모약동물 2.6~55.5 ind./m<sup>3</sup>의 밀도를 보였다. 전반적으로 Cochlodinium 적조가 진행되면서 동물플랑크톤 출현량도 다소 증가</li> </ul>

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
8	적조생물의 환경특성 연구 II. 황토살포가 저서생태계에 미치는 영향 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 황토의 풍화 정도가 적조구제효율을 지배하는 중요인자임을 제시하였고, 천연광물 PK-8은 적조구제물질로 사용 가능할 수 있음</li> <li>○ 황토를 집중 살포하는 해역에서 적조발생전과 발생 시 그리고 발생후의 저서생물에 대한 영향 조사 결과 황토살포가 저서생태계에는 별다른 영향을 주지 않음</li> <li>○ 황토 집중살포 해역의 해저퇴적물에 대한 pH, 산화환원전위력 및 저질입도를 분석한 결과, pH는 7.4~7.6 사이로 대조구와 유사하였고 전국연안의 저질 평균 pH보다는 약간 높았으며, 저질입자의 구성도 sand 0~3.7%, silt 73~75%, clay 22~26%로 대조구와 차이가 없었음</li> <li>○ 황토는 어류와 굴 및 피조개, 전복에 전혀 영향이 없을 뿐만 아니라, 금번 조사에서 우렁챙이, 해삼, 성게에도 전혀 영향을 주지 않았음</li> <li>○ 우렁챙이와 해삼, 전복은 섭이된 황토를 4~5시간 이내에 완전히 배출하는 것을 알 수 있음</li> </ul>
9	적조생물의 환경특성 연구 I. 적조생물의 생리생태 특성 및 유해성 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연안환경 오염으로 인하여 매년 발생되고 있는 유해성 적조생물에 의한 수산피해를 최소화하기 위하여 이들 발생에 대한 해양환경 특성 연구와 유해성 및 대사물질의 유용성에 대한 기초연구를 수행</li> <li>○ 금년도의 유영세포 출현시의 해양환경은 수온이 19.2~23.3℃, 염분 31.9~33.0, 최초 적조발생 시에는 수온 22.7~24.1℃, 염분 32.3~32.9의 분포를 보였으며, 영양염류는 적조발생 직전에 최고의 농도를 보여 적조발생의 에너지원이 된 것으로 보이며, 적조발생 기간 중에는 감소의 양상이었으나 8월 초순 집중 강우 이후 다소 높아짐</li> </ul>
10	한국연안의 적조 모니터링 및 예측연구 - 군산 연안의 적조 발생과 동태 연구	2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 군산 연안역의 적조 발생과 해양 환경과의 관계를 논의하기 위하여 물리, 화학 그리고 생물 조사를 수행</li> <li>○ 계절별로 봄 때에는 조석 주기에 따라서 혼합과 성층이 반복되는 봄과 가을에는 담수의 영향이 거의 없을 때이며, 여름에는 저염한 담수 유출수 및 태양 복사열에 의한 표면 가열로 인하여 조석 주기에 관계없이 항상 성층이 유지</li> <li>○ 금강 하구의 입구역에서 염분과 영양염이 뚜렷한 수평 구배를 보였으며, 입구역을 벗어난 외양역에서는 수괴의 특성이 일정</li> <li>○ 짧은 시간 스케일에 있어서의 해황 파악은 물론 열속, 바람 그리고 조석등과 관련한 혼합과 성층의 영향을 밝히는 것이 앞으로의 과제</li> </ul>
11	한국연안의 적조 모니터링 및 예측연구 I. 서해 적조 조사	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2001년도 서해연안에서의 적조발생은 총 3회였다. 적조발생 해역은 전북 군산 하구담 일부 해역, 보령시연안, 덕적도 주변 해역에서 주로 발생하였다. 적조 원인종은 야광충인 <i>Noctiluca scintillans</i>와 섬모충류인 <i>Mesodinium rubrum</i>, 편조류인 <i>Heterosigma akashiwo</i>이었으며, 그중 편조류인 <i>Heterosigma akashiwo</i>에 의한 적조가 처음으로 군산 하구담의 일부 해역에서 발생</li> <li>○ 서해연안 해역의 식물플랑크톤 조사 결과, 규조류 20속 29종과 편조류 8속 15종으로 총 28속 44종이 출현</li> </ul>
12	한국연안의 적조 모니터링 및 예측 연구 - 동해 적조 조사	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조발생현황은 3~9월에 총 13회 발생하였고 이 중 편조적조가 11회, 혼합적조가 2회로 규조류보다는 편조류의 출현빈도가 높게 나타났으며 특히 <i>Heterosigma</i>, <i>Prorocentrum</i>, <i>Cochlodinium</i> 등의 출현빈도가 높게 나타남</li> </ul>
13	적조생물 생리 및 피해저감 기술 연구 II. 황토살포가 저서생태계에 미치는 영향 연구	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 매년 대규모의 적조가 발생하면서 다량의 황토를 집중적으로 살포하는 남해 미조 연안의 5개 정점에 대한 저서생물상을 1999년 3월부터 2000년 11월에 걸쳐 총 12회 종조성, 밀도, 생체량 및 이들에 대한 시계열 변동, 군집구조 등에 대하여 조사</li> <li>○ 이는 적조생물 종류에 대한 황토의 구제효율 차이와도 관계가 있을 것으로 사료됨</li> <li>○ 황토 및 산성수를 농도별로 처리한 모무늬 돌김 업체의 광합성 효율 조사에서, 황토가 포함된 처리구가 처리 2일 후에는 대조구에 비하여 광합성 효율이 높았고 8일 후에도 대조구와 크게 다르지 않았</li> </ul>
14	적조생물 생리 및 피해저감 기술 연구 I. 적조생물의 환경생리 및 피해저감 기술 연구	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연안환경 오염으로 인하여 매년 발생되고 있는 유해성 적조생물에 의한 수산피해를 최소화하기 위하여 이들에 대한 생리·생태적 연구를 수행</li> <li>○ 유해적조생물의 분자생물학적 연구 및 유해성 그리고 대사물질에 대한 기초연구를 수행</li> </ul>
15	한국 연안의 적조 모니터링 및 예측 연구 - 남해 적조조사	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 용존무기질소 및 인 모두 광양만과 진주만에서 높게 나타나, 이 지역에서 적조발생 가능성, 즉 조류감제성장능력이 높은 것으로 나타남</li> <li>○ 시기별 플랑크톤의 평균 농도는 4월과 6월에 높았으며, 8월에 낮았음</li> <li>○ 1월 26일에 통영연안의 복신만에서 최초로 적조가 발생하였으며, 11월 10일까지 모두 27건의 적조가 발생</li> <li>○ <i>C. polykrikoides</i> 적조는 8월 14일 전남 외나로도에서 돌산동안과 소리도 연안해역에서 최초로 발생하였으며, 서부로는 전남 완도, 동부로는 강원도 강릉까지 발생한 후, 9월 24일 완전 소멸</li> </ul>

통영해역 적조 피해 최소화를 위한 적조 통합 관리체계 구축

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
16	한국연안의 적조 모니터링 및 예측연구 - 적조예찰 및 예보자동화 연구	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2001년에는 총 56건의 적조가 발생하였으며, 구조 적조는 5건, 편모적조는 38, 혼합적조는 13건이 발생, 부분의 적조는 폐쇄성 내만 해역에서 발생하였으며, 와편모조류에 의한 적조가 대부분이었음</li> <li>○ 유해적조 발생은 8월 14일 전남 외나로도에서 소리도를 잇는 해역에서 최초로 발생하였으며 이는 예년에 비하여 10일정도 조기발생 하였으며, 발생 해역은 전남 완도군 약산 연안에서 강원도 강릉 주변해역까지 적조가 확산됨으로서 발생범위가 광역화되었고, 발생밀도는 최고 32,280 cells/mL로서 고밀도</li> <li>○ 점차 밀도 증가가 진행된 적조는 접안하여 흐르는 쿠로시오 해류를 따라 남해동부를 거쳐 동해로 유입되는 것으로 보임</li> </ul>
17	군산연안의 적조발생과 동태 연구	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 갈수기인 동계를 제외하고 여름과 가을동안에 영양염의 주공급원은 금강하구를 통한 담수입을 나타내고 있음</li> <li>○ 성층이 시작되는 수온 상승기(4월 혹은 5월)부터 적조 발생역이 금강 하구역에서 외해역으로 이동함에 따라 적조 발생은 하구전선의 형성과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단</li> </ul>
18	적조생물 및 피해저감 기술연구 II. 황토살포가 저서 생태계에 미치는 영향 연구	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 황토의 구성성분들이 매개하는 광화학반응에 의한 적조구제 효과는 황토의 종류에 따라 다소 차이가 있었으나, 대조구에 비하여 약 15~20% 증가</li> <li>○ 자연산 황토 0.25%의 구제효율은 59% 였으며, 산성수에 25% 황토를 혼합한 현탁액 0.5%의 구제효율은 77%로 황토만을 사용하였을 때보다는 20% 가량 효율이 증가</li> <li>○ 동물성 플랑크톤 Artemia에 0.5% 황토를 살포하였을 경우 98%, 1%의 황토살포시에는 78%의 생존율을 보였으며, 산성수에는 0.5%의 경우 83%, 1%에는 68%의 생존율을 보임</li> </ul>
19	적조생물 및 피해저감 기술연구 I. 유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유류 및 유처리제가 적조생물에 미치는 영향 등유 및 경유가 10ppm 이상의 고농도일 경우 적조생물에 치명적인 독성을 미칠 수 있음</li> <li>○ 유해성 적조생물 유해성 평가 O DNA 또는 WGA lectin probe을 이용한 유독종 P. multiseries 신속 탐색을 위한 연구 결과, WGA lectin과 DNA probe와의 상관계수는 높았으며, P. multiseries와 독화된 굴 ASP 축적과는 관계가 있는 것으로 나타남</li> </ul>
20	적조예찰 및 예보 자동화 연구	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2000년 적조발생상황 적조발생 건수는 구조적조 6건, 편모적조 54건, 혼합적조 8건으로 총 59건이 발생</li> <li>○ 적조생물의 이동·확산조사 및 적조화상정보 통신망 운영 남해안에서 발생한 코칼로디니움 적조의 이동과 확산은 주변해역에 발달한 냉수대와 대마나류, 연안류 등의 영향을 크게 받는 것으로 나타남</li> </ul>
21	적조광역 모니터링 및 예측 연구 - 동해 적조 조사	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조생물의 출현종수는 32속 55종으로서 Proocentrum, Ceratium 및 Skeletonema가 우점출현하였고 9월에 종조성과 밀도가 가장 높게 나타남</li> <li>○ 적조발생현황은 3~9월에 총 16회 발생하였고 이 중 편조적조가 13회로 Heterosigma, Proocentrum, Ceratium 등이 주로 우점하였으며 8월에 집중 발생</li> </ul>
22	적조광역모니터링 및 예측연구 - 남해적조조사	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수산피해는 경상남도에서 2억5천만원의 수산피해가 발생하여, 작년의 3억7백만원 보다 적었으며, 전라남도에서는 3년 연속 없었음</li> <li>○ 집중조사결과 C. polykrikoides 적조의 최초 발생은 표, 저층간의 수온차가 1.9°C로 좁혀진 8월 21일에 외나로도 동북부해역에서 최초 발생하였으며, 돌산도 동부연안 및 남해도 연안해역에서 동시에 발생</li> </ul>
23	적조 광역 모니터링 및 예측연구 - 서해 적조조사	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2000년도 서해연안에서의 적조발생은 총 9회였다. 적조발생 해역은 천수만, 보령연안, 전북 흑도 주변, 전주포연안(고군산 군도)와 인천연안에서 주로 발생</li> <li>○ 적조 원인종은 구조류인 Skeletonema costatum, Nitzschia pungens, Thalassiosira sp.와 편조류인 Eutreptiella gymnastica, Ceratium fusus와 섬모충류인 Mesodinium rubrum이었다. 유해성종인 Cochlo-dinium polykrikoides에 의한 적조 발생은 없었음</li> <li>○ 서해연안 해역의 부유생물을 조사한 결과 구조류 26속 44종과 편조류 12종 29종으로 총 38속 73종이 출현</li> </ul>
24	적조해역 퇴적물 정화기술 연구	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 오염된 퇴적물에 실험용 황토 1cm, 3cm 및 5cm 두께로 피복 하였을 때 실험수조 내의 인산 인과 암모니아 질소의 용출량이 뚜렷이 감소하였으며, 해저 퇴적물을 이용하여 퇴비를 제조한 결과 유기물 함량, 중금속 기준 등에서 비료의 기준을 만족</li> </ul>
25	남해연안 해양오염 및 적조조사	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조조사 통영, 여수 및 목포주변의 월별 식물플랑크톤 출현량은 4월에 가장 적고, 9월에 가장 많았다. 통영주변이 출현량이 가장 많았고, 여수와 목포주변은 출현량이 비슷하였다. 우점종은 6월에 목포연안에서 Alexandrium tamarense가 우점한 것을 제외하면 9월까지 모든 연안에서 구조류가 우점하였으며, 특히 득량만에서는 9월에 Cochlodinium polykrikoides가 2,340 cells/mL로 우점하였다. 10월은 대부분 Chaetoceros가 우점</li> </ul>



순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
26	유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ C. polykrikoides의 어류 유해성은 적조밀도가 약 3,000cells/mL 이상으로 활동성 어류가 정착성 어류보다 C. polykrikoides에 민감하며, C. polykrikoides에 의하여 아가미 세포의 이온수송전달 효소활성저해는 아가미 세포의 기능적 장애를 일으켜 혈액의 pH 및 산소분압을 저하시킬뿐만 아니라 삼투압, 불균형을 초래, 궁극적으로는 어류 질식사를 유발시킴</li> <li>○ 풍화기간에 관계없이 1ppm 이하에서는 대조구와 비슷한 세포밀도를 보였고, 고농도의 경우 접종 후 20일째 거의 사멸되어 원유나 유처리체를 풍화시키더라도 고농도에서는 직접적으로 영향을 미치는 것으로 나타남</li> </ul>
27	적조에찰 및 예보자동화 연구	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조발생 상황 가. 1999년 적조발생 현황 1999년도의 적조발생 건수는 규모 적조 7건, 편모적조 58건, 원생 7건, 혼합 10건 등 총 83건의 적조가 발생</li> <li>○ 1999년도의 유해적조는 8월 10일 전남 고흥군 외나로도 동측해역에서 처음 발생하여, 8월 14일에는 남해도 및 통영 사량도 주변해역으로 확산되었으며, 8월 20일경에는 동해남부도 이동, 확산되어 경북 울진군 죽변 부근해역까지 북상하였고, 태풍 앤과 바트의 영향으로 10월 3일 전해역에서 소멸</li> <li>○ 1999년도 유해적조의 특징은 조기발생(평년대비 20여일 조기발생), 광역화(완도군~울진군), 장기화(54일간 지속) 등을 들 수 있으며, 적조발생기간 중에는 적조주의보 17회, 적조경보 12회를 발령하였으며, 적조속보 56회, ARS 18,200건, 인터넷 94,000건 그리고 ANY FAX로 매일 192개소에 송부</li> </ul>
28	서해연안 해양오염 및 적조조사	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '98년 적조발생 상황은 5월~11월 충남 보령, 태안, 군산연안에서 총10회 발생 하였으며 적조생물은 Noctiluca scintillans, Skeletonema costatum, Cochlodinium polykrikoides, Ceratium sp. 등으로 수산 피해는 없었음</li> </ul>
29	동해연안의 해양오염 및 적조조사	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전 조사해역의 수질상태를 보면 동해안 각항의 내측에서 해역 수질기준 II등급을 초과하여 나타났고, 그외 항외측에서는 대체적으로 정상 수질상태를 나타내었음</li> <li>○ 동해연안의 적조는 5~9월에 사이에 총 8회 발생하였으며, 그 중 7월에 Ceratium 적조가 3회의 출현빈도를 보였음</li> <li>○ 외편모조류 휴면포자는 Protoperidinium spp., Protoperidinium pentagonum, Gonyaulax spinifera, Pyrodinium bahamense, Proceratium reticulatum, Protoperidinium leonis, Scrippsiella trochoidea, Polykrikos schuwardtii, Alexandrium spp. 등이 우점적으로 분포</li> </ul>
30	적조에찰 및 예보자동화 연구	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1998년의 우리나라 연안에서의 적조발생은 3월 17일 마산만에서 Heterocapsa에 의해 최초로 발생하여 총 122건이 발생하였으며 규모적조 21건, 편모적조 85건, 원생적조 4건, 혼합적조 12건</li> <li>○ 본원 적조상황실과 남해연구소 통영본소간에 적조화상정보 통신망을 통한 유·무해성 적조생물을 파악하여 적조 예보발령에 이용하였으며, 적조관련 업무를 담당자와 원격화상회의를 수시 실시 도모</li> <li>○ 1998년 5월에 완성된 적조화상정보 시스템은 전자해도를 이용한 신속한 적조발생해역도의 작성과 적조관련자료의 D/B화로 적조자료를 체계적으로 관리하며, 적조정보의 신속 검색 등에 활용</li> </ul>
31	남해연안 해양오염 및 적조조사	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수질조사 남해 연안어장의 주요 수질환경요인 중 용존산소는 8월에 통영 및 여수주변연안과 11월의 통영주변연안에서 II등급 수준이나 나머지 시기 및 해역에서는 매우 양호</li> <li>○ 적조조사 월별 출현 식물플랑크톤의 구성을 보면, 전반적으로 규조류가 우점을 나타내었으나, 진주만에서 5~6월에 편모조인 Heterosigma akashiwo, Ceratium furca가 우점</li> <li>○ 해저퇴적물조사 가막만 표층퇴적물중 COD의 평균값은 2월과 8월 모두 오염니기준치(COD: 20mg/g·dry)를 초과하고 있었으며, AVS의 평균값은 2월에 조사해역의 일부 정점에서 오염니기준치(AVS: 0.2mg/g·dry)를 초과하고 있었는데, 지역별로는 만의 중앙부에서 기준치보다 낮게 나타났지만 홍합 및 가두리 양식장주변에서는 기준치를 초과</li> </ul>
32	적조해역 퇴적물 정화 기술 연구	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저층수의 평균 DO는 여름철인 6월과 8월에 매우 낮고, DIN은 8월에 가장 높게 나타났으며, POC는 6월과 8월에 훨씬 높았음</li> <li>○ 퇴적물중의 평균 COD는 20.99~26.69mg/g·dry로 각 계절에 기준치보다 약간 높은값을 나타내었다. AVS는 봄을 제외한 모든 계절에 0.16~0.22로 다소 높았음</li> <li>○ 정점별로는 내만역의 정점 5와 6 및 낙동강 하구역 정점 1에서 대체로 유기오염이 진전되어 있었다. 중소형저서생물의 높은 유기물 소비능력을 이용하여 오염된 해저퇴적물과 연안어장 환경개선에 도입, 활용할 목적으로, 이들의 분포 등 기초조사를 행한 결과, 조사기간중 총 20개 그룹의 생물이 출현</li> <li>○ 주요분류군은 Nematoda, 저서성 Copepoda, Polychaeta, Bivalvia, Sarcostigophora 및 미동정란 등으로, 분포 밀도는 평균 693ind./10cm<sup>2</sup> (321~1409ind./10cm<sup>2</sup>)로 초봄보다는 초여름에 다소 높았으며, 계절에 관계없이 약 75%가 125~500µm의 크기에 해당</li> </ul>

통영해역 적조 피해 최소화를 위한 적조 통합 관리체계 구축

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
33	서해연안 해양오염 및 적조조사	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4월~9월까지 6회에 걸쳐 조사된 적조조사 결과를 요약하면 적조생물은 인천연안에서 <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Skeletonema costatum</i>, <i>Eucampia zoodiacus</i>, <i>Melosira pulchella</i>, <i>Noctiluca scintillans</i>, 대천연안에서 <i>Microcystis</i> sp., <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Noctiluca scintillans</i>, <i>Skeletonema costatum</i>, <i>Nitzschia pungens</i>, <i>Eucampia zoodiacus</i>, 군산연안에서 <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Nitzschia pungens</i>, <i>Leptocylindrus danicus</i>가 우점종으로 출현</li> <li>○ '97년 적조발생 상황은 5월~7월 충남 보령과 인천연안에서 총 3회 발생하였으며 적조생물은 야광충인 <i>Noctiluca scintillans</i>, 섬모충류인 <i>Mesodinium rubrum</i>으로 수산업 피해는 없었음</li> </ul>
34	동해연안 해양오염 및 적조조사	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동해연안의 적조발생현황은 총 10회 적조가 발생하였으며, 그 영일만이 4회로서 가장 발생빈도가 높았음</li> <li>○ 월별로는 6~8월 사이에 주로 발생하였고 그 중 8월에 5회로서 집중적으로 발생</li> <li>○ 9월 5일에 기장연안으로부터 <i>Cochlodinium</i> 적조가 확산되어 포항 장기갑연안까지 확대 발생</li> </ul>
35	남해연안 해양오염 및 적조조사	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수질조사 남해연안의 주요 수질환경요인 중 용존산소는 8월에 도암만과 표선연안에서 수질Ⅱ등급 수준이나 나머지 시기 및 해역에서는 매우 양호하였다. 화학적산소요구량은 2월에 광양만, 5월에 통영 및 여수주변연안, 11월에 목포, 여수, 제주주변연안에서 Ⅱ등급 수준이고, 8월에는 광양만·가막만·여수만에서 수질Ⅲ등급 수준으로 다소 높지만 나머지 연안에서는 비교적 양호한 상태</li> <li>○ 적조조사 남해안 일원의 적조발생상황은 총 112건으로 전년보다 74건이 감소하였고, 부산, 경남지역이 81건으로 높았다. 총 출현 적조생물은 23종이었고, 편모조 2종이 우점하였고, 우점종은 <i>Heterosigma akashiwo</i>, <i>Cochlodinium polykrioides</i></li> </ul>
36	적조 예찰 및 예보 자동화 연구	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1997년 적조발생은 2월 10일 포항 형산강 하구에서 최초로 적조가 발생하여 3월부터 7월까지의 진해만을 중심으로 여수연안, 포항연안에 규조류 및 편조류에 의한 적조가 부분적으로 발생 또는 지속</li> <li>○ 8월 25일에 전남 나로도 인근 수역에 <i>Cochlodinium</i>에 의한 유해성 적조가 최초로 발생하여 9월 22일까지 남해안과 동해안 경북 포항 연안까지 확대 발생</li> <li>○ 10월, 11월에는 한산면 염호지선과 통영 북신만에서 편조류에 의한 적조가 국부적으로 발생</li> </ul>
37	적조해역 퇴적물 정화 기술 연구	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1997년 3월부터 11월까지 5차례에 걸쳐 적조상승발생 해역인 진해만과 한산지제만에서 적조해역의 퇴적물 정화기술 개발을 위한 기초조사를 실시한 결과, 퇴적물의 화학적산소요구량, 강열감량 및 황화물은 정점에 따라 다소의 차이를 보임</li> <li>○ 봄철에는 C/N비가 14이상을 나타내어 육상으로부터 유입되는 탄소화합물의 영향이 크고, 여름철에는 9 이하를 나타내어 적조생물 등 생물기원 유기물에 의한 영향이 큰 것을 잘 반영하고 있었음</li> </ul>
38	유해적조생물과 오염물질과의 관계 연구	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유해성 적조생물 치사력 평가 가. <i>Alexandrium tamarense</i>의 독 <i>A. tamarense</i>를 대상으로 넉치 치어와 굴 및 진주담치에 대한 독성 반응 결과, 이들 수산생물은 <i>A. tamarense</i>의 밀도 1,000~10,000cells/ml 범위에서 48시간동안 폐사가 일어나지 않음</li> <li>○ 그러나 48시간 노출된 수산생물에서는 마비성 패독(Paralytic Shellfish Poisoning, PSP)이 굴은 169 μg/100g, 진주담치는 85 μg/100g이 검출되었으며, 1997년 4월 진동만에서 적조를 일으킨 <i>Alexandrium tamarense</i>의 세포 독력은 8.8×10<sup>-5</sup> MU/cell</li> </ul>
39	서해연안어장환경 오염 및 적조조사	1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 경인연안의 오염지수(Eutrophic Index : COD 2.00mg/l × PO<sub>4</sub>-P 0.48 μg-at/l × DIN 7.14 μg-at/l × 0.14589 = 1)는 10.24로서 전년에 비해 2.27 높음</li> <li>○ 소해역별로는 강화하류 39.72로 전년에 비해 7.81 높았으며 인천~반월연안 11.53으로 전년에 비해 3.05 높았고, 팔미도외측~자월도내측연안 3.77로 전년에 비해 0.70 높은 상태</li> <li>○ 충남연안의 오염지수는 1.48로서 전년에 비해 0.38 높았다. 소해역별로는 아산만연안 2.98로 전년에 비해 0.23 높았고, 가로림만 1.54로 전년에 비해 0.24 낮았으며 천수만연안 0.96로 전년에 비해 0.46 높았음</li> </ul>
40	동해연안어장환경 오염 및 적조조사	1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해역별 수질상태를 보면 속초, 주문진, 구룡포 및 영일만의 각 항 내측에서 수질기준치 Ⅱ등급을 초과하여 나타났으며, 그 외 항 외측에서는 대체적으로 정상 수질상태를 나타냄</li> <li>○ 식물플랑크톤 현존량은 11월 주문진 연안에서 7cells/ml로서 가장 낮았고 영일만연안에서 421cells/ml로 가장 높음</li> <li>○ 적조조사기간 중 출현 종수는 26속 39종으로 대부분의 해역에서 규조류가 우점 출현하였으며, 밀도 분포는 3~953cells/ml로 구룡포 연안에서 가장 높음</li> </ul>

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
41	남해연안어장환경 오염 및 적조조사	1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조조사 1996년 남해안 일원의 적조발생상황은 2~11월까지 186회의 적조가 발생하여 전년대비 63회 증가하였고, 최초발생은 2월 중순이며, 9월에 98회로 가장 높은 발생 실적을 나타냄</li> <li>○ 총출현종수는 23종으로 전년 대비 다소 높았음</li> </ul>
42	유해성 적조생물 연구	1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i>에서는 체장 8cm 내외되는 넙치 치어의 경우 air공급시 3,000 cells/ml 밀도구간에서 12시간 경과후 50% 폐사율을 나타내었으며, 5,000 cells/ml 이상의 밀도구간에서는 12시간 경과후 100% 폐사를 보임</li> <li>○ 한편, 체장 10cm 내외되는 조피볼락(<i>Sebastes schlegeli</i>)은 <i>C. polykrikoides</i>의 밀도가 1,000~5,000 cells/ml 범위에서는 폐사여가 보이지 않았으나 고밀도인 8,000 cells/ml 구간에서는 15시간 경과후 100% 폐사</li> <li>○ 적조생물에 미치는 유류 및 유처리제 영향 평가 유해성 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i>를 Bunker-C의 농도 100ppm에 ml당 300 cells로 접종하였을 때 7일후에는 53%가 증가하였으나, 10일후에는 다시 300 cells/ml로 감소되었으며, 2주후에는 접종밀도에 비해 36%로 감소되었다. Bunker-C의 농도 500ppm에서는 4일후 접종밀도에 비해 97% 이상이 감소되었고, 1주일후에는 전멸</li> <li>○ 적조발생 상황 조사 1996년의 최초 적조발생은 2월 23일 통영시 한산면 장좌리 지선에서 <i>Gymnodinium sanguineum</i>에 의해서 300~400 cells/ml의 밀도범위로 발생</li> </ul>
43	적조탐색 기술개발연구	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조발생 상황 조사 1993~1995년까지의 적조발생 상황을 보면 1993년과 1994년은 적조발생 건수가 각각 38건과 29건으로 대부분 진해만을 중심으로 남해안에서 발생</li> <li>○ 이들 적조현상은 편모조류에 의한 적조가 80%이상을 차지하여, 주로 규조류에 의한 적조가 발생한 '70년대 이전과는 연안 해역의 환경이 크게 변화</li> <li>○ 유독적조 발생 환경 조사 부산 낙동강 하류 및 통영 사량도 주변해역의 적조 발생 환경조사 결과 사량도 주변 해역은 영양염류의 양에 따른 식물성 플랑크톤의 출현량을 비유사도 지수는 58% 수준에서 사량도를 중심으로 북동 해역과 남서 해역으로 구분</li> </ul>
44	적조감시조사(남해 연안)	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해역별 적조생물의 출현종수와 우점종 여수주변 연안해역에서 규조류 21종과 편모조류 15종으로 총 36종이 출현하였고, 전년보다 12종이 증가하였으며, 통영주변 연안해역에서는 규조류 15종과 편모조류 6종으로 총 21종이 출현하여 전년보다 8종이 증가하였고, 각각 규조류가 우점</li> <li>○ 적조발생상황 5월 하순부터 11월 하순까지 전남 목포 및 여수연안과 경남 및 부산광역시 연안, 제주도 연안해역에서 123회의 적조가 발생하였음. 적조원인생물은 19종으로 편모조류와 규조류가 주종을 이루어짐</li> <li>○ 8월말에 전남 고흥군 나로도 연안에서 발생한 유독성 편모조류인 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> 적조가 최초로 발생하여 9월에는 전남 완도연안, 경남 및 부산광역시 연안까지 확대 발생되어 어업피해가 컸고, 9월 4일에 남해안일원에 적조주의보 발령을 시작으로 9월 14일에 적조경보를 발령하여 이후수회의 주의보 및 경보 추가발령을 반복하였고, 총 40회의 적조속보를 발령하였으며, 수온이 하강한 10월 23일에 주의보를 해제</li> </ul>
45	적조감시조사(서해 연안)	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조생물조사 인천연안의 출현량은 879~3,088cells/ml(평균 1,897cells/ml)의 밀도로서 평균치는 '94년에 비해 36.51% 감소한 상태였고, 출현종수는 '94년에 비해 평균적으로 6종 더 출현하였으며, 우점종은 <i>Skeletonema costatum</i>, <i>Cylindrotheca closterium</i>, <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Chaetoceros pseudocurvisetem</i>, <i>Asterionella glacialis</i> 이었고, 보령연안의 출현량은 610~4,377cells/ml(평균 1,902cells/ml)로서 평균치는 '94년에 비해 15.62% 감소하였고 출현종수는 '94년에 비해 9종이 더 출현하였으며, <i>Eucampia zoodiacus</i>, <i>Ceratium fusus</i>, <i>Dictyocha fibula</i>, <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Asterionella glacialis</i>, <i>Chaetoceros socialis</i>가 우점종으로 출현</li> </ul>
46	적조 감시조사 (서해연안)	1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 적조생물조사 인천연안의 출현량은 940~6,730cells/ml(평균 2,988cells/ml)의 밀도로서 평균치는 '93년에 비해 88.52% 증가 상태였고, 출현종수는 '93년에 비해 평균적으로 10종 더 출현하였으며, 우점종은 <i>Skeletonema costatum</i>, <i>Ditylum brightwellii</i>, <i>Leptocylindrus danicus</i>, <i>Mesodinium rubrum</i>, <i>Streptotheca thamensis</i>, <i>Asterionella japonica</i>이었고, 대천연안의 출현량은 320~6,510cells/ml(평균 2,254cells/ml)로서 평균치는 '93년에 비해 38.45% 증가 하였고 출현종수는 '93년과 비슷하였으며, <i>Eucampia zoodiacus</i>, <i>Noctiluca scintillans</i>, <i>Ditylum brightwellii</i>, <i>Thalassiosira mala</i>, <i>Stephanopyxis palmeriana</i>가 우점종으로 출현</li> </ul>

순번	연구제목	발간연도	주요 연구내용
47	적조탐색 기술개발연구	1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 1994년에는 총 29건의 적조가 발생하였으며 주로 편모조류에 의한 적조가 다발 하였으며 집중적으로 발생한 해역은 마산-행암만, 충무 사랑도 근해, 거제, 여수 연안</li> <li>○ 사랑도 근해의 12개 정점을 중심으로 유독 적조발생 환경을 조사한 결과 정점 1-4, 7, 12에서의 용존 무기성 질소량과 용존 무기성 인의 양이 각각 20 <math>\mu\text{g-at/l}</math>, 0.5 <math>\mu\text{g-at/l}</math> 를 넘는 높은 수치를 나타내어 사랑도의 북동 해역이 부영양화 상태에 이르렀다는 것을 보여줌</li> <li>○ 북동 해역의 6개 정점에서 식물성 플랑크톤의 출현량도 월등히 높게 나타났다. 적조 탐색 기술 개발의 기초적인 단계로서 마산항에서 칠천수도까지 15개 정점에 대하여 항공 다량 분광 시스템을 이용한 영상 자료와 식물성 플랑크톤의 양과 수질 환경과의 상관성을 분석한 결과 Red Band/NIR Band 영상은 식물성 플랑크톤 출현량 분포를 잘 보여주고 Green Band/NIR Band 영상은 영양염류의 분포를 잘 보여주는 것으로 나타남</li> <li>○ Green Band/Blue Band에서는 Chlorophyll-a의 분포를 잘 나타내었으며 회귀 분석을 통한 영상분류(image classification)로서 주제도(thematic map)를 작성한 것은 영상을 통한 정량적인 표현이 가능</li> </ul>
48	적조 감시조사 (남해연안)	1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해역별 적조생물의 출현종수와 우점종 여수주변 연안해역에서는 규조류 17종과 편모조류 7종, 총 24종이 출현하였으며, 이 중 규조류가 주조성을 이룸</li> <li>○ 통영주변 연안해역에서는 규조류 12종과 편모조류 1종, 총 13종이 출현하였으며, 역시 규조류가 우세</li> <li>○ 적조발생상황 5월 하순부터 10월 초순까지 목포항~거제시 구조라에 걸친 해역에서 20회의 적조가 발생</li> <li>○ 적조원인생물은 11종으로 편모조류와 규조류가 주종을 이루었다. 그리고 8월 초 남해군 남서부 연안에서 유독종인 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> 적조가 발생하여 8월 중순에 거제도 연안까지 확대</li> </ul>

### 제 3 절 주요 적조 사업과의 차별성

#### 1. 과제명 : (적조 및 해파리 등) 유해생물 모니터링 및 피해 저감 연구

※ 구. 적조 모니터링 및 대응 연구 (수산시험연구, 해양수산부)

○ 사업기간 및 예산 : 2013~ (연 785 백만원)

○ 연구내용

- ▷ 적조 발생 동태 분석 및 예측
- ▷ 유해, 유독 적조생물 탐색 및 대응
- ▷ 적조 발생 동태분석 예측 및 정보
- ▷ 황토 살포 저서생태계 영향 모니터링
- ▷ 유해 적조종 유전자 탐침자 개발시험

○ 기타 : 적조 정보의 관리 및 제공에 초점이 있음

○ 중복성 검토: 유사 과제는 소규모 연구비(연 2억원 내외)로 적조 정보의 관리 및 제공에 중심을 둔 기관 경상 과제 형식으로 장기간 운영되는 과제임. 본 사업은 현재 및 중기적 운용 가능한 적조 탐지 요소 기술을 기반으로 실시간 광역 조사 기법 연구 및 통합 체계 시스템 구축과 운용 기술 개발에 초점을 두므로 두 과제 간 중복성이 없음

○ 차별성 검토: 유사 과제는 유해적조 발생 동태 분석에 중점을 둔 과제로 관측 정보의 조사 주기 시간이 크며, 어업인 혹은 모니터링 요원의 목시 관측 혹은 선박 예찰을 실시하는 결과를 기반으로 적조 발생을 예측하고 있음. 따라서 유해적조의 빠른 증식 및 확산 속도를 고려할 때 과학적인 광역 실시간 정보로서는 제한을 가지고 있음. 본 사업에서 제시하는 유해적조 통합 체계 시스템 구축 및 운용 기술 개발 과제는 과학적인 유해적조 탐지 요소 기술을 기반으로 생성되는 자료를 이용하여 실시간 광역 탐지 체계 구축 기술 개발을 목적으로 하므로 지난 20여 년간 지속되어진 적조 발생 파악 방법의 새로운 시도라고 할 수 있음

○ 연계 방안

- ▷ 현재 운용되고 있는 적조정보관리시스템은 적조발생 상황을 법령에 의거하여 유관기관에 보고하는 체계가 되어있음
- ▷ 본 연구에서 제시하는 유해적조 광역 탐지 체계망 구축 및 운용 기술이 완료되어 생성되는 적조 발생 융합 자료는 가시화 혹은 공유를 통해 기존 적조정보관리시스템과 연동하여 운영 가능하다고 판단됨

#### 2. 과제명 : 해양생태계 교란생물과 유해해양생물의 관리기술개발

(해양환경기술개발사업, 해양수산부)

○ 사업기간 및 예산 : 2013~2021년 / 연 32억원

○ 연구내용

- ▷ 교란 · 유해해양생물의 생리 · 생태학적 특징, 발생 및 확산 메커니즘 규명
- ▷ 교란 · 유해해양생물의 발생 및 이동경로 예측·예보기술개발
- ▷ 교란 · 유해해양생물의 관리기술개발

○ 중복성 검토

- ▷ 해양환경기술개발사업으로 추진중인 해양생태계 교란생물과 유해생물의 관리기술 연구는 적조생물, 노무라입깃해파리 등 교란 · 유해해양생물 전반에 걸친 국내외 분포도 작성, 생태 · 생리학적 특징 및 서식환경 연구, 발생 및 확산 메커니즘 규명, 발생초기 및 단계별 분포 조사, 발생 및 이동경로 예측 · 예보기술개발, 확산방지기술, 해양생태계 영향평가, 관리 매뉴얼 등 관리기술개발사업임
- ▷ 본 사업은 기존의 선박 예찰 중심의 적조 모니터링을 보다 효과적으로 개선하기 위하여 위성, 음향 탐지 등의 핵심 기술을 개발하여 *C. polykrikoides*을 포함한 다양한 적조 생물의 발생, 이동에 대한 실시간 정보를 확보하여 신속히 전파하기 위한 연구로 기존의 단순 모니터링 기법을 발전시키기 위한 연구이기 때문에 두 과제 간의 중복성은 없음

○ 연계성 및 협력 방안

- ▷ 해양생태계 교란생물과 유해생물의 관리기술 연구의 적조 관련 연구는 적조생물의 발생, 분포 및 이동 예측을 통해 얻어진 연구 결과들이 실제 현장에서 적용될 수 있는지를 검정 · 평가할 수 있는 기반 기술은 본 사업에서 수행하고자 하는 광학 및 음향기술을 기반으로 한 광역 탐지기술 개발을 통해 이루어질 수 있을 것으로 판단됨

3. 과제명 : 해양 유해조류번성 예측 및 제어 시스템 개발  
(공공복지안전연구사업, 미래창조과학부)

○ 사업기간 및 예산 : 2013~2017년 / 총 80억원

○ 연구내용

- ▷ 양식장 정화 및 적조방제를 위한 바이오/나노 벽 구조 개발
- ▷ 적조 정화·방제를 위한 부도(浮島)시스템 개발
- ▷ 실시간 검출을 통한 적조생물 모니터링 자동화 시스템 개발

○ 중복성 검토

- ▷ 공공복지안전연구사업으로 추진중인 해양 유해조류 번성 예측 및 제어시스템 개발 사업은 살조 능력을 가진 미생물을 포함한 나노 벽 구조를 개발, 양식장 가두리 주위에 배치하여 적조의 양식장 유입을 차단, 적조의 이동·확산 경로에 고효율·환경친화적 살조제제를 적용한 부도를 배치하여 적조를 효과적으로 차단·방제, 자가동력을 갖춘 인공 부이(Buoy)에 조기예측 및 검출시스템을 장착하여 적조 발생 정보를 실시간 수집·전달하는 사업임
- ▷ 본 사업은 효율적 적조 모니터링 수행을 위한 광학, 음향 및 적조발생의 생물학적 발생 연구를 기반으로 한 사업으로 미래부에서 수행하고 있는 적조 대응 양식장 시설 개선 연구, 친환경 적조 구제 기술 연구 및 수층 내 코클로디니움 탐

지를 위한 센서 운영체계 개발과는 연구 성격이 확연히 다른 사업이므로 두 사업 간의 중복성은 약함.

○ 연계성 및 협력 방안

- ▷ 향후 적조 광역탐지 기술이 개발되면 미래부에서 주관하는 적조 대응 양식장 시설 개선 및 적조 구제용 부도 시스템 운영이 체계적으로 이루어질 수 있는 기초·기반 정보를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 미래부 주관의 수층내 적조생물 탐지 자료가 가지고 있는 정밀성과 광역 탐지 자료의 광역성을 동시에 활용하여 보다 효율적인 적조 모니터링 체계를 확립할 수 있을 것으로 기대됨

의도적 공백



## 부록 2. 어민 설문 조사

### 1. 현장 방문 설문 조사 실시

- 설문 지역 및 대상 : 통영, 거제 인근 양식업자 (해상, 육상), 어민
- 설문 기간 : 2015년 10-12월
- 설문 방법 : 현장 방문 대면 조사
- 설문 기관 : 한국해양과학기술원

### 2. 설문지

#### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 월 일, 대면 조사( ), 전화 조사( )	
2. 성 명		
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시( ) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( ), 육상 양식업( ), 낚시업( ) 잡수업( ), 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( ), 없다( )
	간접 피해	있다( ), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰( ), 지자체 정보( )	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
	야 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간( ), 새벽( ), 주간( )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( ), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( ), 없다( )
	압반 및 해초 어장 피해	있다( ), 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( ), 없다( )
	생태계 피해	있다( ), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포( ), 선박 활용 방제( ), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용( )	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ), 지역 집중 탐지 필요( )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계( ), 개인 휴대폰( )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( ), 환경 자료( ), 이동 정보( ), 확산 정보( ) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ), 가두리 설치용( ), 휴대폰( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( ), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부( ), 지자체( ), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

3. 설문지 회수

설문지 - 1

**적조 관련 현장 설문 조사**

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 10월 31일, 대면 조사(✓), 전화 조사( )	
2. 성 명	양준택	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시( ) 경남 남해군( ), 경남 거제시(✓), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( ), 육상 양식업( ), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업(✓)	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(✓), 없다( )
	간접 피해	있다(✓), 없다( ) 지선어촌계 수산업
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰(✓), 지자체 정보( )	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰(✓), 기타( )
	야 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간(✓), 새벽(✓), 주간( )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( ), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(✓), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( ), 없다( )
	멀치 어업 등 수산업 피해	있다(✓), 없다( )
	생태계 피해	있다(✓), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포(✓), 선박 활용 방제(✓), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용(✓)	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간(✓), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요(✓), 지역 집중 탐지 필요(✓)	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계(✓), 개인 휴대폰(✓)	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도(✓), 환경 자료( ), 이동 정보( ), 확산 정보(✓) 기타( 야간경보 )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ), 가두리 설치용(✓), 휴대용(✓), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( ), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부( ), 지자체(✓), 부분 지원(✓)
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 2

## 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 12월 22일, 대면 조사(○), 전화 조사( )	
2. 성 명	김 권 우	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시(○) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업(○), 육상 양식업(○), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(○), 없다( )
	간접 피해	있다(○), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰( ), 지자체 정보(○)	
7. 적조 확산 인지	주간	목시 연속 관찰(○), 기타(지자체 정보 )
	야간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	아간( ), 새벽( ), 주간(○)	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리(○), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(○), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( ), 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( ), 없다( )
	생태계 피해	있다( ), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포(○), 선박 활용 방제( ), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용(○)	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간(○), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요(○), 지역 집중 탐지 필요( )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체(○), 어촌계( ), 개인 휴대폰( )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도(○), 환경 자료( ), 이동 정보(○), 확산 정보(○) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ), 가두리 설치용(○), 휴대용( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다(○), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부( ), 지자체(○), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 3

### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 12월 22일, 대면 조사( <input checked="" type="checkbox"/> , 전화 조사( <input type="checkbox"/> )	
2. 성 명	김 경 리	
3. 거주지	전남 여수시( <input type="checkbox"/> ), 전남 고흥군( <input type="checkbox"/> ), 경남 통영시( <input checked="" type="checkbox"/> ) 경남 남해군( <input type="checkbox"/> ), 경남 거제시( <input type="checkbox"/> ), 기타( <input type="checkbox"/> )	
4. 업 종	가두리 양식업( <input checked="" type="checkbox"/> , 육상 양식업( <input type="checkbox"/> ), 낚시업( <input type="checkbox"/> ) 잠수업( <input type="checkbox"/> ), 기타 지선 어업( <input type="checkbox"/> )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
	간접 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( <input checked="" type="checkbox"/> , 목시 관찰( <input checked="" type="checkbox"/> , 지자체 정보( <input type="checkbox"/> )	
7. 적조 확산 인지	주간	목시 연속 관찰( <input checked="" type="checkbox"/> , 기타( <input type="checkbox"/> )
	야간	목시 연속 관찰( <input type="checkbox"/> ), 기타( <input checked="" type="checkbox"/> )
8. 적조 피해 시점	야간( <input type="checkbox"/> ), 새벽( <input checked="" type="checkbox"/> , 주간( <input checked="" type="checkbox"/> )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( <input checked="" type="checkbox"/> , 피해 발생 전 방류( <input type="checkbox"/> )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
	생태계 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
11. 적조 대응 방법	황토 살포( <input checked="" type="checkbox"/> , 선박 활용 방제( <input checked="" type="checkbox"/> , 폐사 전 방류( <input checked="" type="checkbox"/> , 적조 비발생 구역 이동( <input type="checkbox"/> ), 기타( <input type="checkbox"/> )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( <input checked="" type="checkbox"/> , 폐사 전 적정 방류로 활용( <input checked="" type="checkbox"/> )	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( <input checked="" type="checkbox"/> , 48시간( <input type="checkbox"/> ), 72시간( <input type="checkbox"/> ), 72시간 이상( <input type="checkbox"/> )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( <input type="checkbox"/> ), 지역 집중 탐지 필요( <input checked="" type="checkbox"/> )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( <input checked="" type="checkbox"/> , 어촌계( <input type="checkbox"/> ), 개인 휴대폰( <input type="checkbox"/> )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( <input checked="" type="checkbox"/> , 환경 자료( <input type="checkbox"/> ), 이동 정보( <input checked="" type="checkbox"/> , 확산 정보( <input checked="" type="checkbox"/> ) 기타( <input type="checkbox"/> )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( <input type="checkbox"/> ), 가두리 설치용( <input checked="" type="checkbox"/> , 휴대용( <input type="checkbox"/> ), 선박용( <input type="checkbox"/> )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( <input checked="" type="checkbox"/> , 없다( <input type="checkbox"/> )
	비용 지원	개인( <input type="checkbox"/> ), 정부( <input checked="" type="checkbox"/> , 지자체( <input type="checkbox"/> ), 부분 지원( <input type="checkbox"/> )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 4

## 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 4월 22일, 대면 조사(✓), 전화 조사( )	
2. 성 명	나 리훈	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시(✓) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( ), 육상 양식업(✓), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(✓), 없다( )
	간접 피해	있다(✓), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰(✓), 지자체 정보(✓)	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰(✓), 기타( ✓ )
	야 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간(✓), 새벽(✓), 주간(✓)	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리(✓), 피해 발생 전 방류(✓)	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(✓), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다(✓), 없다( <del>✓</del> )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다(✓), 없다( )
	생태계 피해	있다(✓), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포(✓), 선박 활용 방제(✓), 폐사 전 방류(✓), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용(✓)	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상(✓)	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ), 지역 집중 탐지 필요( )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계( ), 개인 휴대폰(✓)	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( ), 환경 자료( ), 이동 정보(✓), 확산 정보(✓) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형(✓), 가두리 설치용( ), 휴대용( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다(✓), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부(✓), 지자체( ), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 5

### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 월 일, 대면 조사( ), 전화 조사( )	
2. 성 명	유 국 환	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시( <input checked="" type="checkbox"/> ) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 육상 양식업( ) , 낚시업( ) 잠수업( ) , 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )
	간접 피해	있다( ) , 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ) , 목시 관찰( ) , 지자체 정보( <input checked="" type="checkbox"/> )	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 기타( )
	야 간	목시 연속 관찰( ) , 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간( ) , 새벽( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 주간( )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( ) , 없다( )
	생태계 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 선박 활용 방제( ) , 폐사 전 방류( ) , 적조 비발생 구역 이동( ) , 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ) , 폐사 전 적정 방류로 활용( <input checked="" type="checkbox"/> )	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ) , 48시간( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 72시간( ) , 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ) , 지역 집중 탐지 필요( <input checked="" type="checkbox"/> )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ) , 어촌계( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 개인 휴대폰( )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( ) , 환경 자료( ) , 이동 정보( ) , 확산 정보( <input checked="" type="checkbox"/> ) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ) , 가두리 설치용( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 휴대용( ) , 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )
	비용 지원	개인( ) , 정부( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 지자체( ) , 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 6

## 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 월 일, 대면 조사( ), 전화 조사( )	
2. 성 명	김 귀 석	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시( ) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( ), 육상 양식업( ), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( ), 없다( )
	간접 피해	있다( ), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰( ), 지자체 정보( )	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
	야 간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간( ), 새벽( ), 주간( )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( ), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( ), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( ), 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( ), 없다( )
	생태계 피해	있다( ), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포( ), 선박 활용 방제( ), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용( )	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ), 지역 집중 탐지 필요( )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계( ), 개인 휴대폰( )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( ), 환경 자료( ), 이동 정보( ), 확산 정보( ) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ), 가두리 설치용( ), 휴대용( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( ), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부( ), 지자체( ), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 7

### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년    월    일,    대면 조사(    ), 전화 조사(    )		
2. 성 명	이 용 구		
3. 거주지	전남 여수시(    ), 전남 고흥군(    ), 경남 통영시(✓) 경남 남해군(    ), 경남 거제시(    ), 기타(    )		
4. 업 종	가두리 양식업(✓), 육상 양식업(    ), 낚시업(    ) 잠수업(    ), 기타 지선 어업(    )		
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(✓), 없다(    )	
	간접 피해	있다(✓), 없다(    )	
6. 적조 초기 인지	언론 매체(    ), 목시 관찰(✓), 지자체 정보(✓)		
7. 적조 확산 인지	주간	목시 연속 관찰(✓), 기타(    )	
	야간	목시 연속 관찰(    ), 기타(    )	
8. 적조 피해 시점	야간(    ), 새벽(    ), 주간(✓)		
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리(✓), 피해 발생 전 방류(    )		
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(✓), 없다(    )	
	암반 및 해초 어장 피해	있다(✓), 없다(    )	
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다(✓), 없다(    )	
	생태계 피해	있다(✓), 없다(    )	
11. 적조 대응 방법	황토 살포(✓), 선박 활용 방제(✓), 폐사 전 방류(    ), 적조 비발생 구역 이동(    ), 기타(    )		
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대(    ), 폐사 전 적정 방류로 활용(✓)		
13. 적조 대응 필요 시간	24시간(    ), 48시간(    ), 72시간(✓), 72시간 이상(    )		
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요(✓), 지역 집중 탐지 필요(    )		
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체(✓), 어촌계(    ), 개인 휴대폰(    )		
16. 탐지 제공 정보	적조 강도(✓), 환경 자료(    ), 이동 정보(✓), 확산 정보(    ) 기타(    )		
17. 신호 탐지 시스템	고정 부이형(    ), 가두리 설치용(    ), 휴대용(✓), 선박용(    )		
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다(✓), 없다(    )	
	비용 지원	개인(    ), 정부(✓), 지자체(    ), 부분 지원(    )	
18. 기타 의견			

\* 필요시 우선순위 기입 가능



설문지 - 8

## 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 7월 27일, 대면 조사(✓), 전화 조사( )	
2. 성 명		
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시(✓) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업(✓), 육상 양식업( ), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업( )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(✓), 없다( )
	간접 피해	있다(✓), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰( ), 지자체 정보(✓)	
7. 적조 확산 인지	주간	목시 연속 관찰(✓), 기타( )
	야간	목시 연속 관찰( ), 기타( )
8. 적조 피해 시점	야간( ), 새벽( ), 주간(✓)	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리(✓), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(✓), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다(✓), 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다(✓), 없다( )
	생태계 피해	있다(✓), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포(✓), 선박 활용 방제(✓), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대(✓), 폐사 전 적정 방류로 활용(✓)	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ), 48시간( ), 72시간(✓), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ), 지역 집중 탐지 필요(✓)	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계( ), 개인 휴대폰(✓)	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도(✓), 환경 자료( ), 이동 정보(✓), 확산 정보( ) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 무이형(✓), 가두리 설치용( ), 휴대용( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다(✓), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부(✓), 지자체( ), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 9

### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년    월    일,    대면 조사(✓), 전화 조사(    )	
2. 성 명	장영부서	
3. 거주지	전남 여수시(    ), 전남 고흥군(    ), 경남 통영시(✓) 경남 남해군(    ), 경남 거제시(    ), 기타(    )	
4. 업 종	가두리 양식업(✓), 육상 양식업(    ), 낚시업(    ) 잠수업(    ), 기타 지선 어업(    )	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다(✓), 없다(    )
	간접 피해	있다(✓), 없다(    )
6. 적조 초기 인지	언론 매체(    ), 목시 관찰(✓), 지자체 정보(✓)	
7. 적조 확산 인지	주간	목시 연속 관찰(✓), 기타(    )
	야간	목시 연속 관찰(×), 기타(    )
8. 적조 피해 시점	야간(    ), 새벽(✓), 주간(✓)    수심 1.2m	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리(✓), 피해 발생 전 방류(    )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다(✓), 없다(    )
	암반 및 해초 어장 피해	있다(✓), 없다(    )    어장
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다(✓), 없다(    )
	생태계 피해	있다(✓), 없다(    )
11. 적조 대응 방법	황토 살포(✓), 선박 활용 방제(✓), 폐사 전 방류(    ), 적조 비발생 구역 이동(    ), 기타(    )    어망살포	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대(    ), 폐사 전 적정 방류로 활용(✓)	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간(✓), 48시간(    ), 72시간(    ), 72시간 이상(    )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요(    ), 지역 집중 탐지 필요(✓)	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체(✓), 어촌계(✓), 개인 휴대폰(✓)	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도(✓), 환경 자료(    ), 이동 정보(    ), 확산 정보(    ) 기타(    )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형(    ), 가두리 설치용(✓), 휴대용(✓), 선박용(    )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다(    ), 없다(    )
	비용 지원	개인(    ), 정부(    ), 지자체(✓), 부분 지원(    )
18. 기타 의견	도수작업이 귀찮아 관련 장비 필요, 사물비중적용.	

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 10

## 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 12월 14일, 대면 조사(✓), 전화 조사( )	
2. 성 명	이도수선	
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시(✓) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )	
4. 업 종	가두리 양식업( ), 육상 양식업(✓), 낚시업( ) 잠수업( ), 기타 지선 어업( ) (굴양식)	
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( ), 없다(✓)
	간접 피해	있다(✓), 없다( )
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ), 목시 관찰(✓), 지자체 정보(✓)	
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰( ), 기타( 주변 어업. )
	야 간	목시 연속 관찰( ), 기타( 있다 )
8. 적조 피해 시점	야간( ), 새벽( ), 주간( )	
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( ), 피해 발생 전 방류( )	
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( ), 없다( )
	암반 및 해초 어장 피해	있다( ), 없다( )
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( ), 없다( )
	생태계 피해	있다( ), 없다( )
11. 적조 대응 방법	황토 살포( ), 선박 활용 방제( ), 폐사 전 방류( ), 적조 비발생 구역 이동( ), 기타( )	
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( ), 폐사 전 적정 방류로 활용( )	
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( ), 48시간( ), 72시간( ), 72시간 이상( )	
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ), 지역 집중 탐지 필요( )	
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( ), 어촌계( ), 개인 휴대폰( )	
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( ), 환경 자료( ), 이동 정보( ), 확산 정보( ) 기타( )	
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ), 가두리 설치용( ), 휴대용( ), 선박용( )	
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( ), 없다( )
	비용 지원	개인( ), 정부( ), 지자체( ), 부분 지원( )
18. 기타 의견		

\* 필요시 우선순위 기입 가능

설문지 - 11

### 적조 관련 현장 설문 조사

조사 기관 : 한국해양과학기술원

1. 조사 일시 및 방법	2015년 12월 22일, 대면 조사( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 전화 조사( )		
2. 성 명	김 성 만		
3. 거주지	전남 여수시( ), 전남 고흥군( ), 경남 통영시( <input checked="" type="checkbox"/> ) 경남 남해군( ), 경남 거제시( ), 기타( )		
4. 업 종	가두리 양식업( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 육상 양식업( ) , 낚시업( ) 잠수업( ) , 기타 지선 어업( )		
5. 적조 피해 여부	직접 피해	있다( ) , 없다( )	
	간접 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
6. 적조 초기 인지	언론 매체( ) , 목시 관찰( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 지자체 정보( )		
7. 적조 확산 인지	주 간	목시 연속 관찰( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 기타( )	
	야 간	목시 연속 관찰( ) , 기타( )	
8. 적조 피해 시점	야간( ) , 새벽( ) , 주간( <input checked="" type="checkbox"/> )		
9. 적조 발생 어류 처리	폐사 후 처리( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 피해 발생 전 방류( )		
10. 황토 살포 평가	피해 저감 효과	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
	암반 및 해초 어장 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
	멸치 어업 등 수산업 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
	생태계 피해	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
11. 적조 대응 방법	황토 살포( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 선박 활용 방제( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 폐사 전 방류( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 적조 비발생 구역 이동( ) , 기타( )		
12. 적조 방지 예산 활용	황토 살포 확대( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 폐사 전 적정 방류로 활용( <input checked="" type="checkbox"/> )		
13. 적조 대응 필요 시간	24시간( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 48시간( ) , 72시간( ) , 72시간 이상( )		
14. 실시간 탐지 영역	광역 탐지 필요( ) , 지역 집중 탐지 필요( <input checked="" type="checkbox"/> )		
15. 탐지 체계 구축 장소	지자체( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 어촌계( ) , 개인 휴대폰( )		
16. 탐지 제공 정보	적조 강도( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 환경 자료( ) , 이동 정보( ) , 확산 정보( <input checked="" type="checkbox"/> ) 기타( )		
17. 선호 탐지 시스템	고정 부이형( ) , 가두리 설치용( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 휴대용( ) , 선박용( )		
18. 탐지 시스템 활용 및 비용	활용 의사	있다( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 없다( )	
	비용 지원	개인( ) , 정부( <input checked="" type="checkbox"/> ) , 지자체( ) , 부분 지원( )	
18. 기타 의견			

\* 필요시 우선순위 기입 가능

의도적 공백

## 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.

