

# 해양수층공간을 이용한 복합양식자원생물개발 기획연구

A plan study on development of marine water layer-based  
multi-culture technology for marine biological resources



# 제 출 문

## 한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “해양수층공간을 이용한 복합양식자원생물개발 기획연구” 과제의 기획보고서로 제출합니다.

2017년 10월 30일

연구책임자: 박용주

참여연구원: 강형구, 명정구, 박흥식, 오승용, 유옥환  
이택건, 이형곤, 장연식, 정승원

# 기획과제계획서

사업구분	사업유형	<input type="checkbox"/> 기관고유임무형 <input checked="" type="checkbox"/> 창의사업		
	연구단계	<input type="checkbox"/> 기초 <input type="checkbox"/> 응용 <input type="checkbox"/> 개발 <input checked="" type="checkbox"/> 기획		
	기술성격	<input type="checkbox"/> 아이디어 개발 <input type="checkbox"/> 원천기술 <input checked="" type="checkbox"/> 산업계 현안기술 <input type="checkbox"/> 첨단 추격기술		
	사업성격	<input type="checkbox"/> 기초·미래선도형 <input type="checkbox"/> 공공·인프라형 <input checked="" type="checkbox"/> 산업화형 <input type="checkbox"/> 기타		
과제명	국문	해양 수층 공간을 이용한 복합양식자원생물개발 기획연구		
	영문	A plan study on development of marine water layer-based multi-culture technology for marine biological resources		
키워드	수온약층, 해양 수층 공간, 냉수성 어패류양식, 자원조성, 해역 위생안전, 수층 생태계			
연구책임자	소속 및 부서명	통영해상과학기지	직 위	책임기술원
	성명	박용주	전 공	수산증·양식
	원내전화	031-400-6231	휴대전화	010-4852-0909
차순위 연구책임자	소속 및 부서명	울릉독도연구기지	직 위	책임연구원
	성명	오승용	전 공	생리학
	원내전화	031-400-7728	휴대전화	010-3288-0821
참여연구원	총 10명 (내부 : 9명, 외부 : 1명)			
연구기간	2017. 8. 1 - 2017. 10. 31 ( 3개월 )		연구비	9,000천원
위탁연구	과제명	위탁연구비	위탁연구기관	연구책임자
	1.			
	2.			

관계 규정과 제반 지시사항을 준수하면서 본 연구사업을 성실히 수행하고자 과제계획서를 별첨과 같이 제출합니다.

(개인정보수집동의) 개인정보보호법과 관련하여 연구책임자 및 과제참여연구원의 개인정보는 연구사업 수행기간에 한하여 연구수행 및 평가의 목적으로만 활용됩니다. 이에 동의하십니까?

예(●) 아니요( )

2017년 7월 25일

연구책임자 : 박용주

(인)

한국해양과학기술원장 귀하

# 목차

## 제1장 기획연구사업 목표 및 필요성

1. 비전 및 목표 .....	10
2. 연구 필요성 .....	10

## 제2장 국내·외 연구 개발 현황

1. 수층 공간 수질 모델링 .....	14
2. 양식자원 위해 환경 모니터링 .....	16
3. 양식자원 먹이생물 모니터링 .....	21
4. 양식어장 부착생물 저감방안 .....	25
5. 양식자원 복합단지 조성 .....	28

## 제3장 연구 방법론 도출

1. 연구 방법 도출 .....	32
2. PEST (Political Economy Social Technology) 분석 .....	33
3. SWOT (Strength Weakness Opportunities & Threats) 분석 .....	33
4. 핵심 기술 분석 .....	34
5. 기술 트리 도출 .....	34
6. 전략 연구과제 도출 .....	35

## 제4장 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발 최종 목표 .....	36
2. 세부 연구 목표 .....	36
3. 연차별 연구 목표 .....	38
4. 연구개발 품종 선정 .....	40
5. 세부 연구 내용 .....	44



<b>제5장 연구개발 추진 체계</b>	
1. 연구 체계.....	50
2. 연구 추진 방법.....	51
3. 추진 전략 및 일정.....	54
4. 정량적 성과목표 및 성과지표.....	57
<b>제6장 법제화 및 산업화</b>	
1. 제도적 개선 방향.....	58
2. 법제도 및 산업화를 위한 전문가 의견.....	60
<b>제7장 기대성과 및 활용방안</b> .....	62
<b>제8장 소요 예산</b> .....	63
<b>참고문헌</b> .....	64

## 표목차

[표 2-1] 수산생물 위해요소 정보지원 기관.....	16
[표 2-2] 수산생물 가이드라인.....	17
[표 2-3] 무지개송어 질병 원인 병원체.....	18
[표 2-4] 가리비 질병 원인 병원체.....	19
[표 2-5] 멍게 질병 원인 병원체.....	20
[표 2-6] 장목만 인공부착판에서 가입되는 부착생물의 월별 변화.....	25
[표 2-7] 외해 양식 어업 면허 처분.....	28
[표 4-1] 어업별 및 연도별 우렁쉥이 생산량 및 생산금액 (출처: 통계청).....	43

## 그림목차

〈그림 1-1〉 해양 양식장의 환경적인 위해요인	11
〈그림 1-2〉 위해요인 관리방안	11
〈그림 1-3〉 중·저층 양식자원 양식어장 위치 및 수심	13
〈그림 2-1〉 KIOST 운영해양예보시스템 수치모델 구성	14
〈그림 2-2〉 MOHID 수치모델링 시스템을 사용하여 정밀격자 유속 및 수질을 계산한 국외 연구사례	15
〈그림 2-3〉 감염된 무지개송어 조직 사진	17
〈그림 2-4〉 박테리아에 감염된 가비리 사진	19
〈그림 2-5〉 물렁증병에 걸린 멍게 사진	20
〈그림 2-6〉 2000-2007년 통영바다목장 해역의 식물플랑크톤의 계절적 변화	21
〈그림 2-7〉 통영해역에서 주요 출현한 식물플랑크톤	21
〈그림 2-8〉 2013-2017년 통영해역에서 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> 발생 변화 (좌) 및 주요 적조생물 cyst분석 (우)	22
〈그림 2-9〉 새조개 먹이생물 분석 결과	22
〈그림 2-10〉 식물플랑크톤 군집의 차세대 염기서열 분석 결과	23
〈그림 2-11〉 통영 연안 요각류 대분류군의 조성비 변화	24
〈그림 2-12〉 통영 연안 이매패류 유생의 출현량	24
〈그림 2-13〉 인공어초 부착생물 도감	25
〈그림 2-14〉 선박에 부착된 오손생물	25
〈그림 2-15〉 실리콘계 방오코팅을 하지 않은 어망(좌)과 방오코팅(우)을 한 어망에서의 6개월 동안의 부착생물 부착 실험 결과	26
〈그림 2-16〉 노르웨이 연어양식장에서의 부착생물 영향과 대책	26
〈그림 2-17〉 부착생물에 따른 영향 및 부착생물 제거에 따른 잠재적 영향 모식도	27
〈그림 2-18〉 강원도 동해안 해상에 시설한 중층가두리	28

<그림 2-19> 노아 외해 양식 영어조합법인에서 사육 중인 참다랑어(좌)와 입식방법 (우) .....	29
<그림 2-20> 노르웨이 아크바(AKVA) 사의 표층식 플라씨클 가두리 .....	29
<그림 2-21> 수중침하식 가두리 SeaStation 실해역 계류 개념도 .....	30
<그림 2-22> 씨스테이션 사의 부침식 가두리의 설치 사진 .....	30
<그림 2-23> 일본의 외해 양식시스템 .....	31
<그림 3-1> 연구개발 현황에 따른 방향 도출 방안 .....	32
<그림 4-1> 수층 공간 이용 연직이동식 어장시설 개념도 .....	37
<그림 4-2> 양식어장의 환경정보 수집 및 환경제어 시스템 .....	37
<그림 4-3> 국내에서 생산한 은연어 .....	40
<그림 4-4> 무지개 송어 .....	41
<그림 4-5> 냉수성 품종의 대표적 가리비 .....	42
<그림 4-6> 양식산 우렁쉥이 .....	43
<그림 4-7> 한반도 남동부 해역 1/180°수평격자망 구축 (예) .....	44
<그림 4-8> 1/36°조석모델 결과 (예) .....	44
<그림 4-9> 1/36°KIOST 운용해양예보시스템 유속 및 수온 계산결과 .....	45
<그림 4-10> 1/12°격자 광역모델에서 1/36°격자 모델 시스템으로 Nesting 결과 .....	45
<그림 4-11> INBUS 승강식 관측 시스템 .....	46
<그림 4-12> 1/36°격자 KIOST 운용해양예보 모델을 사용하여 계산한 표층수온 비교 .....	47
<그림 4-13> 파이썬(Python) 프로그래밍 언어를 사용하여 구축한 수치모델 결과 실시간 표출 시스템 (예) .....	47
<그림 5-1> 연구해역의 조사정점 .....	51
<그림 5-2> Multiplex PCR .....	52
<그림 5-3> NGS 기반 해양환경 모니터링 .....	53
<그림 6-1> 수층 공간이용어장개방을 위한 전문가 의견 청취 .....	60

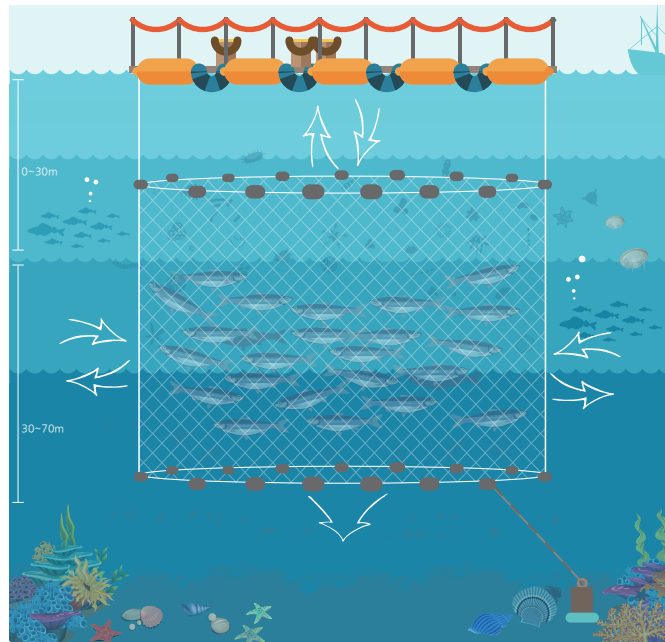
## 요 약 문

### 비전 및 목표

- ▶ 외연어장의 수층 공간적 어장 환경 관리 및 위생안전기술 개발
- ▶ 대상생물 양식에 적합한 통영 인근해역 수층 공간 파락을 위한 단기 예보 수치모델링 시스템 구축방안 마련
- ▶ 남해 해역의 해양 수층 공간을 이용한 해수유동 및 환경관리, 해역 위생안전 복합양식 해양생물 자원개발 연구체계수립

비전	중·저층 해양 공간의 지속가능한 생물 생산 실현		
정책목표	중·저층 복합양식 어장 개발 전해역 해양생물 생산 체계 전환		
추진전략	중·저층 수치모델체계 구축	중정보 감시 및 특성 규명	(전략3) 블루카본 관리기술
	적정 관측체계 운용 (INBUS 기반)	병원체, 오손생물 현황파악	어장 설계 및 대상품종 양성
	통합표출 시스템 운용 (MRC 센터 중심)	중정보 감시 및 특성 규명	자동화 체계 제안 법적 제도 검토 및 제안
	통합표출 시스템 운용 (MRC 센터 중심)	제어방식 개발 및 적용	

### 연구내용



### 예상 연구 성과 및 활용방안

- ▶ 해양 수층 공간 환경, 위생안전, 해저분지 해수유동 관리 방안
- ▶ 해양 수층 공간 이용기술 및 이를 이용한 복합 해양생물 자원개발 제시
- ▶ 생산성 향상을 위한 산업화 기반기술 제시
- ▶ 계절별 조사 해역의 해역 건강도 및 위생안전 조사 기법 도출
- ▶ 수온 및 용존산소 분포 계산 고해상도 수치모델 수립방안 및 수치모델 결과 표출 시스템 구성방안 도출
- ▶ 해양 수층 공간 이용범위 및 개발 방향 제시
- ▶ 복합 해양생물 자원개발 및 산업화 방안 제시
- ▶ 연근해 해양 생물자원 증대 및 자원조성 기술사업에 활용
- ▶ 외해 어장개발을 통한 해양 수산사업의 신성장 동력으로 활용

# 제1장

## 기획사업 목표 및 필요성

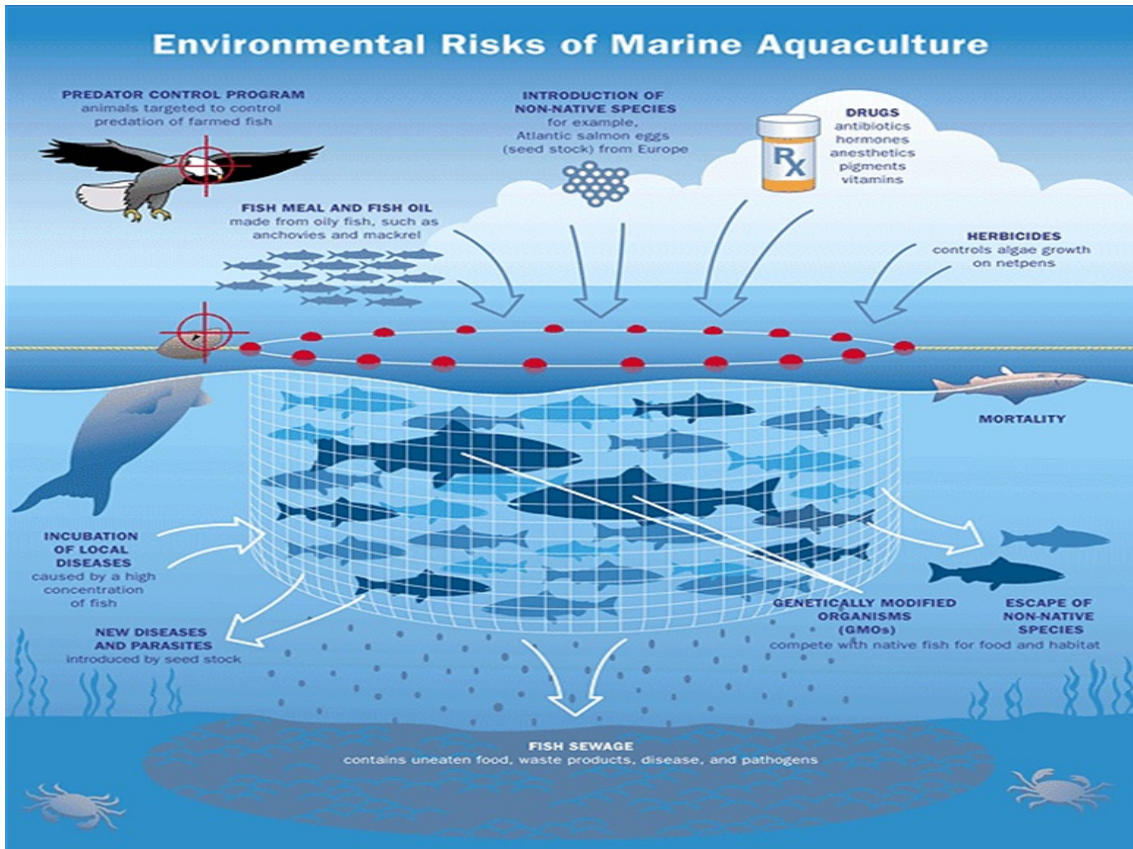
### 1. 비전 및 목표

비전	중·저층 해양 공간의 지속가능한 생물 생산 실현		
정책목표	중·저층 복합양식 어장 개발 천해역 해양생물 생산 체계 전환		
추진전략	중·저층 수치모델체계 구축	중정보 감시 및 특성 규명	(전략3) 블루카본 관리기술
	적정 관측체계 운용 (INBUS 기반)	병원체, 오손생물 현황파악	어장 설계 및 대상품종 양성
	통합표출 시스템 운용 (MRC 센터 중심)	중정보 감시 및 특성 규명 제어방식 개발 및 적용	자동화 체계 제안 법적 제도 검토 및 제안

### 2. 연구 필요성

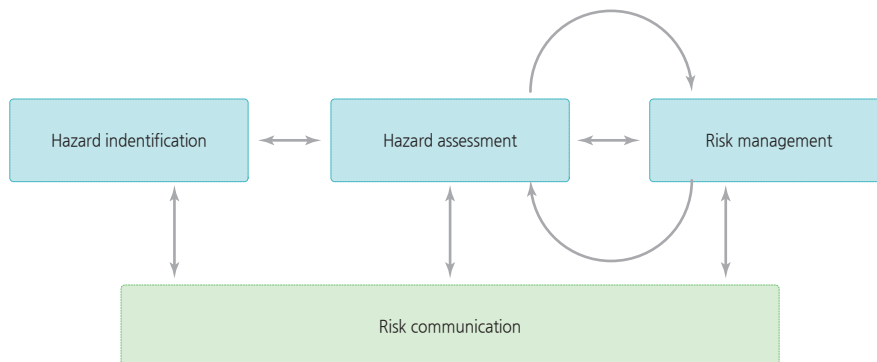
- ▶ 증·양식업은 세계 수산식량 공급원으로서 뿐만 아니라 생명시대의 가장 유망한 업종으로서 그 중요성이 매우 높아지고 있어 미래 생명산업 및 관련 산업과 연계한 고부가가치 생물자원 개발 산업의 육성 필요
- ▶ 하지만 전통적인 양식 (연안 및 육상양식장)은 대부분 수심 30 m 이내의 연안양식이 대부분을 차지하고 있으며, 이러한 양식은 접근이 용이해, 양식생물을 쉽게 관리할 수 있는 장점이 있으나, 밀집된 양식장으로 인한 해수 유동 변화 및 외부 환경 변화에 쉽게 영향을 받아, 질병에 의한 높은 폐사율 및 자연재해 등의 문제점을 안고 있어, 이를 타개할 수 있는 안정적인 해양공간에서의 새로운 양식기술 개발이 필요함. 이를 해결하기 위한 해수 유동이 원활하고 외부 환경 변화에 쉽게 대응이 가능할 수 있는 수층 공간(30-70m)에서의 복합양식 개발이 필요함.
- ▶ 수산생물의 양식산업이 증가하고 수중 생태계의 환경적인 위해요인이 증가함에 따라 예상하지 못했던 수산생물 질병이 발생함은 물론 기존의 수산생물 질병의 발생 및 확산속도도 함께 증가하고 있음 (그림 1-1).





〈그림 1-1〉 해양 양식장의 환경적인 위해요인

- ▶ 수산생물 질병으로 인한 피해는 막대한 파급력으로 양식산업의 근간을 흔들고 있는 수준까지 이르렀음. 이러한 수산생물 질병의 치료 및 예방을 위해서는 수산생물 질병의 발생현황 및 피해발생을 실질적으로 파악하고 수산생물 질병의 원인인 박테리아, 바이러스, 기생충 등 병원체 현황을 모니터링하는 것이 절실히 필요함.
- ▶ 지속가능한 어업발전을 위해서는 어업자원 감소현상을 억제하고 감소된 자원을 회복하기 위한 종합적이고 체계적인 수산자원 관리가 요구됨. 수산생물 질병이 발생의 원인이 되는 위해요인을 관리하기 위해서는 우선 위해요인을 정확히 동정하여 평가하고 관리하는 것이 중요하며, 위해요인에 대한 정보를 공유하고 함께 대책을 마련해야만 함 (그림 1-2).



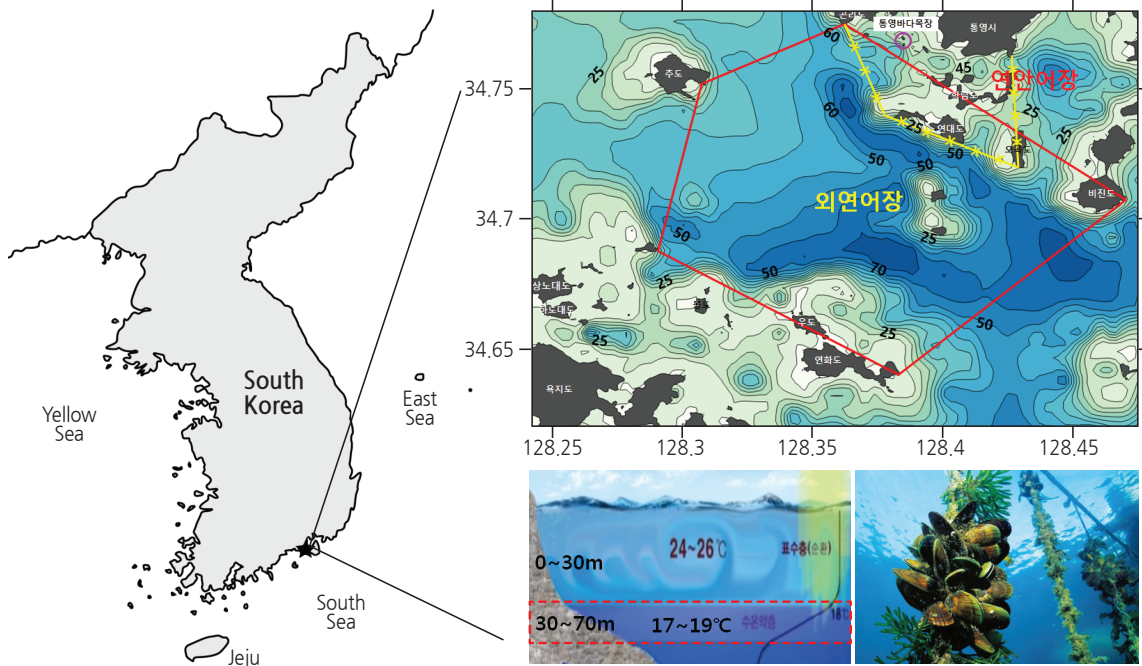
〈그림 1-2〉 위해요인 관리방안

# 제1장

## 기획사업 목표 및 필요성

- ▶ 양식 수산자원의 최적 증식 및 효율적인 관리를 위해서는 식물플랑크톤의 광합성에 의하여 생성된 유기물질이 먹이망을 통해 이차 생산자인 동물플랑크톤에게 어떻게, 얼마나 에너지가 전달되는가를 파악하는 것이 유용 수산자원의 생산량을 극대화하는데 있어서 필수적으로 규명되어야 함.
- ▶ 특히, 연근해의 해양생태계는 외해와 연안의 해류 및 이에 따른 물질 순환에 따라 다양한 생물의 서식지이자 주요 산란지로서 플랑크톤 군집의 변화가 빠르게 발생함으로, 안전하고 높은 생산성의 수산자원을 확보하기 위해서 정확하고 빠른 분석 및 해석이 필요함.
- ▶ 양식어장내 양식시설에 붙는 부착생물 중 굴과 따개비, 담치, 해조류 등의 유용 생물자원이 포함되어 있으나, 양식 대상생물들에게는 위협적인 영향을 주는 등 바라보는 관점에 따라 긍정과 부정적인 면을 가지고 있음
- ▶ 그러나, 대상 양식생물이 아닌 다른 부착생물이 부착하여 증가한다면 양식생물과 경쟁 및 품질 저하를 야기시켜 최종적으로 양식 생산력 저하를 초래함. 또한 해양생태계를 교란시키는 교란생물과 국외에서 유입되는 외래종이 포함되어 있어, 양식장 부착생물은 양식생물 뿐만 아니라 해양생태계에 영향을 주고 있음. 전 세계적으로 양식 산업계가 부착생물 방지를 위해 사용하는 비용은 3억불 이상으로 막대한 비용이 소요되고 있으며, 그 비용은 증가하고 있는 실정임
- ▶ 따라서 양식업의 산업적 중요성에 부응하고 기존 양식업 (표층 유영생물 온수성 어·패류를 양식)의 문제점을 타개하기 위한 대안으로서 연안 미이용 공간인 외해역의 주 대상생물인 냉수성 어·패류의 서식에 맞게 중·저층 공간 (혼합수, 수온약층)을 이용한 심층 가두리, 연승수하식 복합 양식 (수온별 최적 생물 성장층을 고려하여 공간을 상하로 연직이동하며 양식)을 통하여 보다 위생적이고, 고부가가치 생물인 냉수성 어·패류 생물자원을 개발하여, 국내에서 전량 수입에 의존하고 있는 냉수성 어·패류의 수입대체 효과 및 역수출 방안 개발이 필요함.
- ▶ 규모화 있는 어장을 개발하여 대량생산 체계를 수립하고 가공, 유통산업을 연계한 해양수산업의 육성방안 및 고용인력 창출의 기반 기술 개발이 필요함.
- ▶ 특히, 본 연구에서는 수심 30-70m 중·저층을 활용한 양식자원의 최적화 증식 개발 기술을 위해 해수 특성 분석, 유용 생물자원의 종류 및 성장 요인 변화, 먹이자원의 특성, 서식지 경쟁 및 유용 생물자원의 피해 저감 방안을 중심으로 연구가 필요함 (그림 1-3).



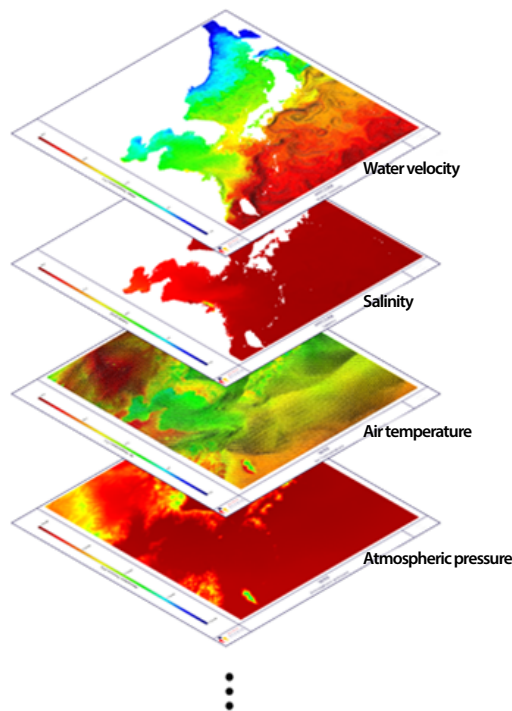


〈그림 1-3〉 중·저층 양식자원 양식어장 위치 및 수심

## 제2장 국내외 연구 개발 현황

### 1. 수층 공간 수질 모델링

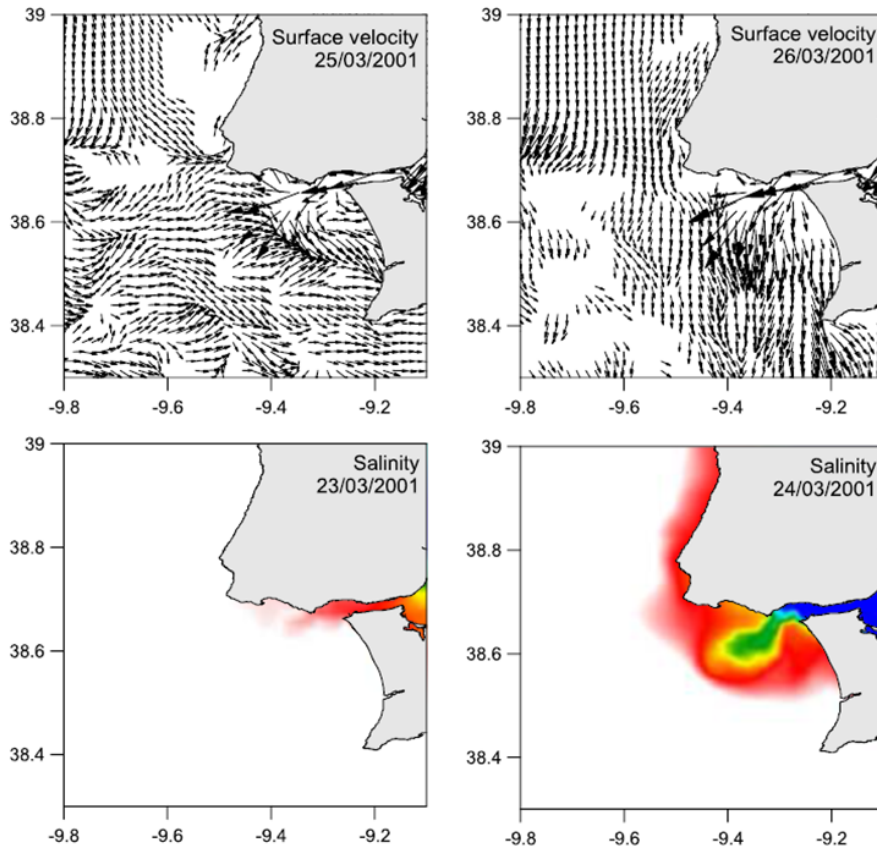
- ▶ 한반도 인근 해역 연안역 수질모델링 연구는 활발히 수행되어 왔으나 (Bang et al. 2013), 자료동화 등을 통한 연안역 정밀 모델링 예보시스템 연구가 KIOST 외의 연구기관에서 수행된 사례는 발견되지 않음.
- ▶ 현재 KIOST의 운용해양예보연구센터는 운용해양예보시스템(KOOS) 연구사업을 통해 현재 한반도 주변 해역 해양환경을 예보하는 수치모델링 실험을 수행 중에 있음 (그림 2-1).



〈그림 2-1〉 KIOST 운용해양예보시스템 수치모델 구성  
(기압, 대기온도 등을 고려하여 한반도 주변해역 유속 및 수질 등을 예보)

- ▶ 그러나 KOOS 수치모델은 약 2 km의 수평격자를 사용하여 본 과제의 연구영역인 통영 인근 수십 km 해역을 정밀 분석하기에는 한계가 있음.
- ▶ 따라서 10-20 m 격자간격을 적용하여 특정 해역 단기 예보 수치모델링 시스템을 구성하려는 본 연구는 그 정밀도와 모델링 시스템 구성 면에서 위 연구들과 차별됨.
- ▶ 국내와 마찬가지로 국외에서도 수십 km 이내 연안역에서 혼합층 아래의 저층 공간 저온수 분포 및 변동에 관한 정밀 모델링에 관한 직접적인 연구 사례는 발견되지 않음.
- ▶ 간접적으로 연관성을 가지는 연구 사례로는 본 연구에서 고려중인 MOHID 해수 모델링 시스템(Neves, 1985)을 사용하여 수질모델링 한 결과가 발표되었음 (Olivera et al. 2015).

- ▶ 이 연구에서 연안역 해수의 용존 이산화탄소량 변화가 강으로부터 유입되는 탄소량과 바람에 의해 대기와 교환되는 이산화탄소량을 정량적으로 계산하였음.
- ▶ MOHID 시스템은 강 하구와 같은 복잡한 지형을 가지는 해양환경에서 정밀 수치모형이 가능하며 수온 및 염분 뿐 아니라 용존 산소량이나 탄소 교환량 등 본 연구에 필요한 생화학적 인자들도 타 모델에 비해 정확도가 높게 계산됨 (그림 2-2).



〈그림 2-2〉 MOHID 수치모델링 시스템을 사용하여 정밀격자 유속 및 수질을 계산한 국외 연구사례 (Olivera et al. 2015)

- ▶ 근래에 MOHID 3차원 모델링 시스템은 네스팅 기법을 사용해 서로 다른 규모의 해양 현상들을 서로 연결하여 정밀 수치모델링의 정확도를 높이는 방법을 사용하고 있으며 이 기법을 적용하면 본 연구와 같이 초정밀한 해역의 수치모델링 연구에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단됨.
- ▶ 그러나 위의 연구에 사용된 모델 역시 약 2 km 의 수평격자를 사용하여 본 연구영역과 같이 소규모 해저분지의 수층 공간 특성을 파악하기에는 한계가 있음.
- ▶ 또한 위의 연구 역시 자료동화 등을 적용한 예보 시스템 구성은 아니며 이상 현상 등 단기 환경 변화를 예측하기에는 한계가 있음.
- ▶ 본 연구는 현재 운영 중인 KIOST의 운용해양예보시스템 수치모델링 결과 자료를 토대로 해당 수층 공간을 포함하는 연안역 정밀 예측모델링 시스템을 개발하려는 것으로 위에 기술한 연구들보다 정확한 계산 결과를 기대함.

## 제2장 국내외 연구 개발 현황

### 2. 양식자원 위해 환경 모니터링

- ▶ 수산생물 위해요인에 대한 정보를 지원하는 기관은 아래와 같으며, 양식장 환경 모니터링 자료를 기반으로 구체적인 수산생물 자원관리 방안을 마련하고, 양식 대상 수산생물 자원의 생태특성 및 해역의 특성을 고려한 관리법을 제시하고 있으며, 수산생물의 서식환경에 대한 과학적인 조사·분석을 수행하고 있음 (표 2-1).

〈 표 2-1 〉 수산생물 위해요소 정보지원 기관

International codes/ treaties/ guidelines	Access
Scientific and disease databases and abstracting services	
AGRICOLA (Agricultural Online Access)	<a href="http://agricola.nal.usda.gov/">http://agricola.nal.usda.gov/</a>
Aquatic Animal Pathogen and Quarantine Information System (AAPQIS)	<a href="http://www.aapqis.org">http://www.aapqis.org</a>
Aquatic Science and Fisheries Abstracts (ASFA)	<a href="http://www.fao.org/fi/asfa.asfa.asp">http://www.fao.org/fi/asfa.asfa.asp</a>
Biological Abstracts and BioResearch Index (BIOSIS), database for biological and medical sciences	<a href="http://www.biosis.org">http://www.biosis.org</a>
Cambridge Scientific Abstracts	<a href="http://www.csa.com">http://www.csa.com</a>
Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB) Veterinary Sciences/Medicine database	<a href="http://www.cabi.org">http://www.cabi.org</a>
Food Science and Technology Abstracts database (International Food Information Service)	<a href="http://www.ifis.org">http://www.ifis.org</a>
INGENTA	<a href="http://www.ingenta.com">http://www.ingenta.com</a>
Northeastern Aquatic Animal Health Directory	<a href="http://www.old.umassd.edu/specialprograms/nrac">http://www.old.umassd.edu/specialprograms/nrac</a>
OIE Collaborating Centre for Information on Aquatic Animal Diseases	<a href="http://www.collabcen.net">http://www.collabcen.net</a>
PubMed, a service of the National Library of Medicine	<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi</a>
Science Citation Index, Institute for Science Information (ISI)	<a href="http://scientific.thomsonreuters.com/products/sci/">http://scientific.thomsonreuters.com/products/sci/</a>

- ▶ OECD 수산위원회에서는 환경 변화에 대응한 생태계 기반 어업관리를 권고하고, 수산 선진국에서는 먹이생물, 체장변화 등 생태조사를 강화하고 있음. 노르웨이, 유럽, 미국 등은 수산생물 가이드라인에 따라 자원조사의 빈도와 범위를 지속적으로 확대하고 있음.
- ▶ 우리나라는 과학적 자원조사·평가 및 생태계 기반 자원관리를 위한 전문 인프자가 부족한 실정임. 주요 관리대상 어종에 대한 정확한 자원조사·평가에 필요한 다양한 자료 수집을 위한 인력, 장비 등이 절대적으로 부족하기 때문에 대학, 연구소, 지자체 등 유관기관이 서로 협력하는 시스템 구축이 필요함.
- ▶ 수산생물 자원의 서식환경, 산란생태 등 복합요소를 고려한 종합적인 모니터링을 수행하고 그 결과를 반영한 생태계 기반 자원관리 기법을 도입하는 것이 효율적인 방법이라 생각됨 (표 2-2).



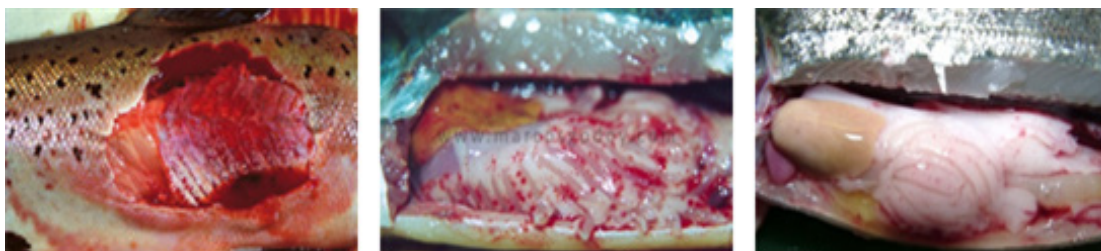
〈 표 2-2 〉 수산생물 가이드라인

International codes/ treaties/ guidelines	Reference
OIE's Aquatic Animal Health Code	OIE (2007)
Code of Practice on the Introductions and Transfers of Marine Organisms of the International Council for the Exploration of the Seas (ICES)	ICES (2005)
Code of Conduct for Responsible Fisheries (CCRF) of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)	FAO (1995)
Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures (SPS Agreement) of the World Trade Organization (WTO)	WTO (1994)
FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 2 – Health management for responsible movement of live aquatic animals	FAO (2007)
Regional guidelines	
Codes of Practice and Manual of Procedures for Consideration of Introductions and Transfers of Marine and Freshwater Organisms of the European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC)	Turner (1988)
FAO/NACA Asia regional technical guidelines for the responsible movement of live aquatic animals	FAO/NACA (2000)
National strategies	
AQUAPLAN: Australia's National Strategic Plan for Aquatic Animal Health	AFFA (1999)
Canada's National Aquatic Animal Health Programme (NAAHP)	Olivier (2004)
USA's National Aquatic Animal Health Plan	Amos (2004)
Thailand's Strategic Plan for Aquatic Animal Health	Kanchanakhan and Chinabut (2004)

### 가. 양식대상생물 질병원인 병원체

#### 1) 무지개송어

- 2014년 6월 노르웨이 서부지역에 소재한 무지개송어 양식장에서 송어 300,000마리를 폐사시킨 원인 병원체는 바이러스 Y인 것으로 추정되고 있으며, 수의청은 본 질병발생을 즉각 국제수역사무국(OIE, World Organisation for Animal Health)에 통고하였음.
- OIE 에 보고한 보고서에서 노르웨이수의학연구소(Norwegian Veterinary Institute) 과학자들은 노르웨이 서부지역 무지개송어에서 발생한 폐사를 새로운 질병의 유형으로 간주하였음. 질병이 발생한 어류들은 주로 담수산 어류이었으며, 감염된 무지개송어들을 해수에 옮기었을 때 폐사율과 임상적인 특징이 감소된 것으로 보고되었음.
- 최근 시험사업에서 노르웨이수의학연구소는 새로 검출된 바이러스 Y와 무지개송어의 질병과의 연계성을 확인하였음. 감염실험에서는 바이러스 Y가 수평전염에 의하여 무지개송어에 감염됨을 확인하였음.
- 노르웨이수의학연구소의 웹-사이트에 의하면, 감염된 무지개송어는 혈액순환이 제대로 되지 않으며 이에 의한 빈혈 때문에 장기에 핏기가 없는 증상을 나타냈고, 복수(ascites)가 생기는 것도 규명되었음. 조직병리학적 조사에서는 심장과 적색 근육에 염증이 생기며 간 세포가 괴사되었음 (그림 2-3, 표 2-3).



〈 그림 2-3 〉 감염된 무지개송어 조직 사진

## 제2장 국내외 연구 개발 현황

〈표 2-3〉 무지개송어 질병 원인 병원체

병명	감염 병원체	감염 부위 및 원인	증상
전염성 췌장괴사증 (IPN)	IPN 바이러스 (Infectious pancreatic necrosis)	췌장 극히 작은 바이러스라 수정시 알 속에 침입함 치어에 주로 감염	수면 위에서 맘 돌고 격심한 움직임을 보임, 향문에서부터 배설물을 달고 헤엄침, 복부가 부풀고 해부시 소화관이 비어 있고 투명한 점액이 들어 있음, 몸빛이 거무스름 하고 지느러미가 닳아 빠져있음
전염성 조혈기회사증 (IHN)	IHN 바이러스 (Infectious hematopoietic necrosis)	지라, 공발 치어에 주로 감염	급격하게 죽음, 감염된 뒤 7~14일 후 발병, 발병 초기 몸빛이 검고 식욕이 없음, 근육에 출혈 무늬가 있음, V 모양이나 선 모양 혹은 작은 점, 복부 팽만, 안구 돌출, 지느러미가 백색으로 변함, 해부시 배에 투명한 액체가 괴어 있고 소화 기에 점액이 차 있음.
비브리오병	비브리오균 ( <i>Vibrio</i> sp.)	입, 피부의 상처, 소화관	동작이 느림, 피부부터 근육까지 약간의 부풀어 오른 환부를 볼 수 있음, 혈액이 섞인 검붉은 고름이 나옴, 해부시 등뼈에 따라 절개하면 근육에 출혈이 있음, 안구 출혈 및 돌출, 몸 빛이 검고 빈혈이 심해짐, 표면, 지느러지에 피가 번진듯한 출혈, 향문이 별갈게 문드러짐.
절양병	절양병균 ( <i>Aeromonassalmonicida</i> )	재래종 송어 1g 이하의 치어 과밀하게 사육될 시	피부에 종기가 생김, 바닥이나 벽에 기대어 맥없이 헤엄침, 몸 옆구리 표면에 스친 듯한 발적이 나타남, 반구형으로 부풀어 오른 환부를 절개하면 검붉은 고름이 나옴, 내장에 염증, 출혈성의 점액물이 차 있음, 간, 복막, 생식선에 출혈, 공팔이 비대해지고 흐물흐물함.
원충류 기생충	코스티아증	몸 표면, 아가미 부착	먹이 섭취가 나빠지고 움직임이 둔해짐
	크립트비아증	수온이 급상승하는 시기에 많이 일어남	수면을 표류하듯 움직이고 흐름이 적은 벽에 기대어 움직임
	트리코디너증	저수온에서는 킬로드 에라에 의한 병이 많음	몸 빛이 검어지고 여림
	백점병 ( <i>Ichthyophthirius multifiliis</i> )	물의 흐름이 빠르면 생김	피부표면에 참깨를 뿌린 듯 한 흰점이 생겨 육안으로 쉽게 식별 가능함, 움직임이 둔하고 식욕이 없어 영양 불량으로 여윈 고기가 많음, 벽에 몸을 비벼대는 헤엄침, 아가미에 점액이 많음.

### 2) 가리비

- 캐나다 브리티시 콜롬비아에 위치한 큰가리비(*Patinopecten yessoensis*) 양식장에서 *Francisella halioticida* 감염증으로 추정되는 질병으로 폐사가 발생하였음. 캐나다 퍼시픽 생물원(Pacific Biological station) 연구팀들은 대량 폐사가 발생한 가리비 양식장을 방문하여 폐사 원인을 조사한 결과 박테리아가 검출되었으며, 해당 박테리아에 대한 유전자 검사를 수행한 결과 이전에 일본에서 전복의 대량폐사를 유발했던 *Francisella halioticida*로 밝혀졌음 (그림 2-4).



<그림 2-4> 박테리아에 감염된 가리비 사진

- 폐사된 가리비는 직경 1~3 mm의 분홍빛을 띠는 농포가 관찰되었으며, 소화관은 전반적으로 활기가 없는 옅은 색을 나타냈음. 조직검사 결과 검사된 표본의 44%는 혈구 세포 침윤 등의 병리학적 증상이 나타났고, 괴사된 혈구 내에 작은 세균이 관찰되었음. 가리비 폐사의 확실한 규명을 위해서는 검출된 *F. halioticida*의 분리 및 배양, 감염실험 등 추가적인 연구가 필요함.
- *Francisella halioticida*에 감염된 것으로 추정되는 가리비는 패각근과 생식소 사이에 병소가 형성되고, 소화관 결합조직 내의 혈구세포 침윤, 생식소 결합조직의 병변현상에 따른 장 상피의 궤양, 혈구세포의 괴사가 발생함 (표 2-4).

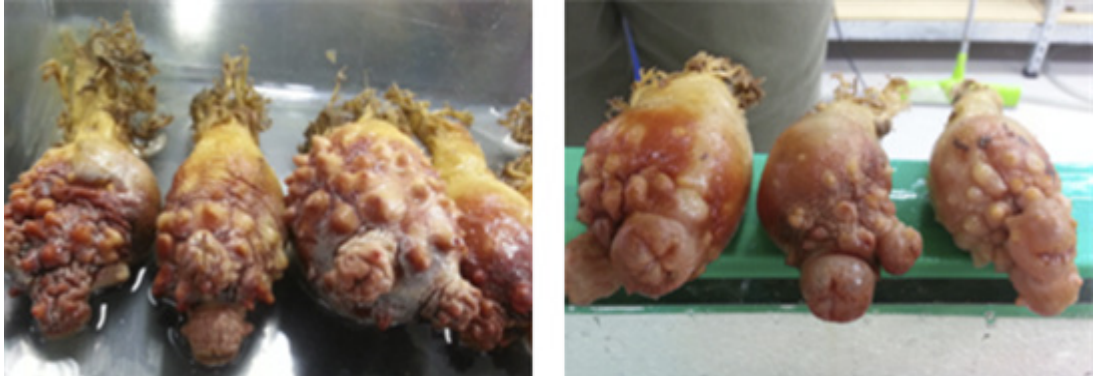
<표 2-4> 가리비 질병 원인 병원체

병명	감염 병원체	감염 부위 및 원인	증상
펙터노필스증	<i>Pectenophilus ornatus</i>	아가미	담황색의 총체가 기생하여 혈관에서 혈액을 섭취함 특별한 이상은 나타나지 않지만 비만도가 현저히 감소함
<i>Francisella halioticida</i> 감염증	<i>Francisella halioticida</i>		대량 폐사를 일으킴 분홍빛을 띠는 농포가 관찰됨 소화관은 전반적으로 활기가 없는 옅은 색 장 상피에 궤양이 일어나고 혈구세포의 괴사가 발생함

### 3) 우렁챙이

- 우렁챙이(*Halocynthia roretzi*)는 국내에서 멍게라는 이름으로 널리 알려져 있고 횡감으로 대부분 소비되고 있음. 통계청에 따르면 2009년부터 2014년까지 10,159톤에서 4,999톤까지 생산량의 변화가 심함. 2013년도 대비 2014년도의 생산량은 35.5톤이 감소하였으며, 이는 질병 발생에 따른 폐사가 주된 원인임.
- 현재 멍게 양식 산업에서 가장 큰 피해가 되고 있는 질병은 물렁증 (soft tunic syndrome)으로 알려져 있음. 이러한 멍게 물렁증의 원인 병원체는 Bodonidae과 (Family Bodonidae)편모충인 *Azumiobodo hoyamushi*라고 보고되었으며, 물렁증 멍게의 공통적 특징은 피막섬 유질다발(tunic fiber bundle)이 붕괴되어 피막이 연화되고 늘어져 특유의 탄력을 잃고 폐사하는 것임 (그림 2-5).

## 제2장 국내외 연구 개발 현황



〈그림 2-5〉 물렁증병에 걸린 멧게 사진

- 국내 통영산 물렁증 멧게에서도 일본의 양식 멧게에서 검출된 편모충과 매우 유사한 형태적 특징을 가진 편모충이 보고되었음 (표 2-5). 멧게 물렁증의 원인충인 *A. hoyamushi*는 우리나라 멧게 양식 산업에 많은 피해를 주기 때문에 원인충에 대해 항생제, 항원충제, 항진균제, 산화제, 할로겐류, 기타 여러 약제들의 노출 효과에 대한 연구가 진행되고 있음. 또한 환경친화적인 유기산을 이용하여 멧게 물렁증에 의한 피해를 예방하고자 노력하고 있음.

〈표 2-5〉 멧게 질병 원인 병원체

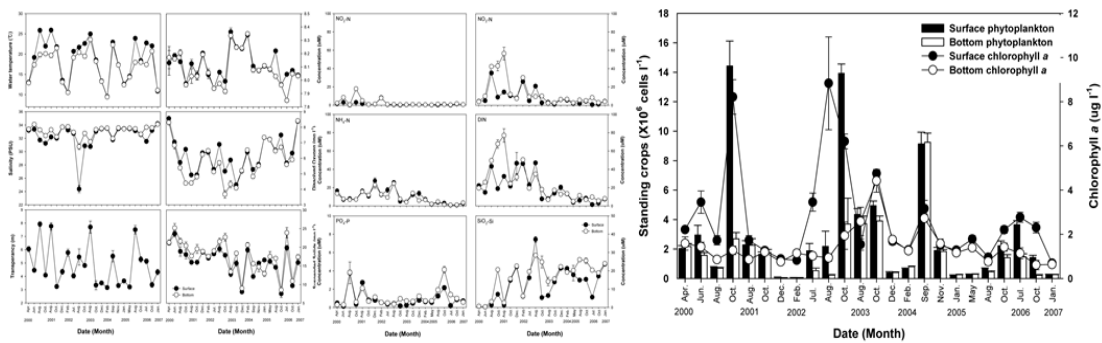
병명	감염 병원체	감염 부위 및 원인	증상
물렁병 (soft tunic syndrome)	<i>Azumiobodo hoyamushi</i> 2개의 편모를 가진 원충에 의하여 발생 이 원충이 분비하는 프로테아제 (AsSTF)가 원인	피낭에 감염 저수온기에 주로 발생	피낭의 연화, 비정상적으로 점액성 물질이 증가 피낭이 괴사 또는 천공되어 내부조직이 유출



### 3. 양식자원의 먹이생물 모니터링

#### 가) 식물플랑크톤

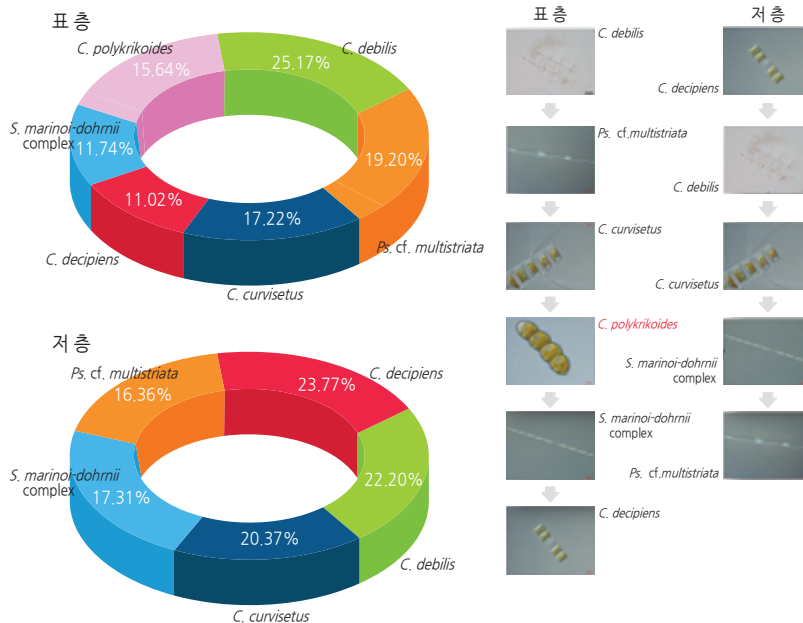
- 본 연구사업 (예정지) 양식어장 지역인 통영해역 2000년 4월부터 2007년 1월까지 양식생물의 주요 먹이생물인 식물플랑크톤 군집과 환경요인의 계절적 변화를 분석하였음 (정 등, 2007). 수온은 전형적인 계절적 차이를 나타냈으며, 영양염류에 따른 수질은 중영양수역으로 파악되었음. 또한 식물플랑크톤의 개체수는 가을철에만 증가하는 unimodal pattern이 관찰되었음 (그림 2-6).



〈그림 2-6〉 2000-2007년 통영바다목장 해역의 식물플랑크톤의 계절적 변화

- 본 연구사업 양식어장 해역에서 주요 출현한 먹이생물인 식물플랑크톤은 구조류인 *Chaetoceros debilis* 및 *Pseudo-nitzschia multistriata*가 가장 높은 비율로 출현하였음. 특히, *Pseudo-nitzschia* spp.는 패류독소를 야기하는 것으로 알려져 있음 (그림 2-7).

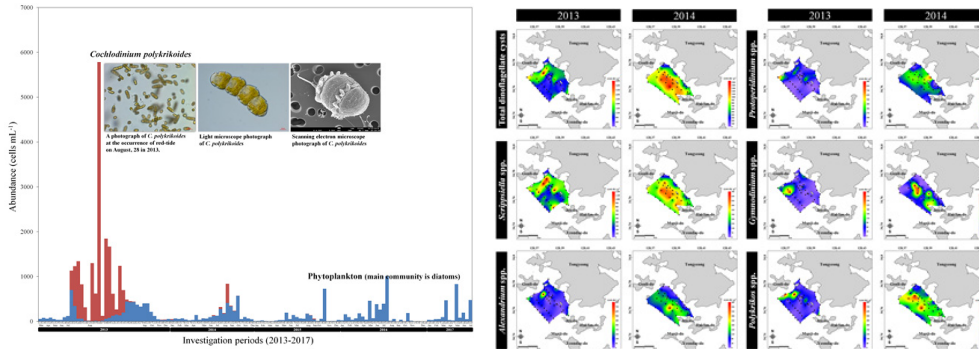
통영해역 표, 저층에서 식물플랑크톤 주요종(5% 이상 출현)



〈그림 2-7〉 통영해역에서 주요 출현한 식물플랑크톤

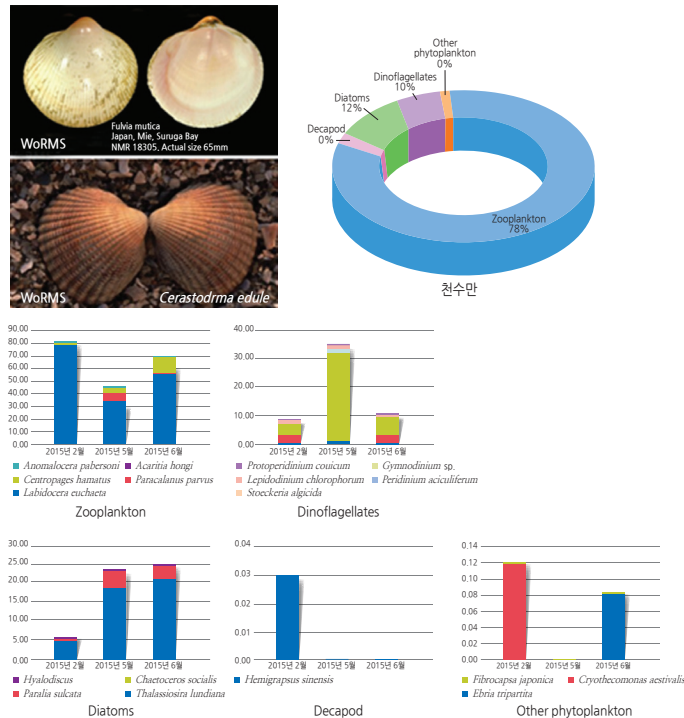
## 제2장 국내외 연구 개발 현황

- 양식 수산생물에 막대한 피해를 야기하는 적조생물의 발생을 통영해역에서 2013년부터 2017년까지 격주간의 조사를 한 결과 (경 등, 미발표 자료), 2013년과 2014년에 *Cochlodinium polykrikoides* 적조가 발생후 2015년부터는 적조의 발생이 관찰되지 않았음 (그림 2-8). 또한 주요 적조생물의 씨앗인 cyst의 분포를 표층 퇴적물에서 조사한 결과, 주요 적조생물 cysts는 *Scrippsiella trochoidea* 임 (그림 2-8).



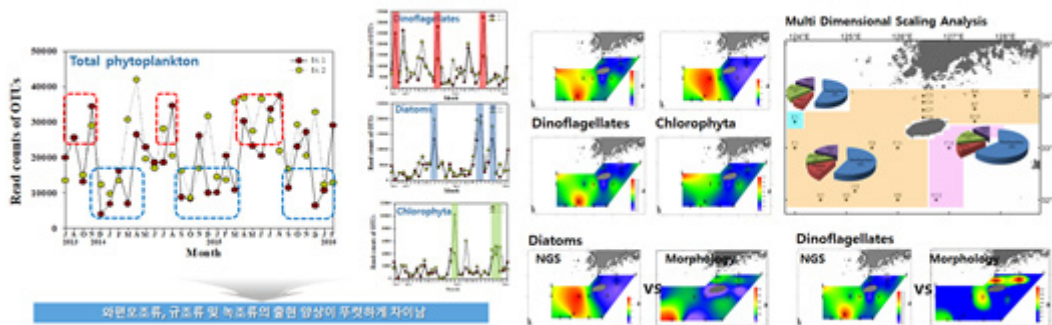
〈그림 2-8〉 2013-2017년 통영해역에서 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* 발생 변화 (좌) 및 주요 적조생물 cyst분석 (우)

- ‘유류피해지역 새조개 어장 개발 및 생산량 증대방안 연구먹이생물 분석’사업에서 천수만 및 여자만에서 채집한 새조개를 대상으로 먹이생물의 유전자를 분석한 결과 동물플랑크톤 및 와편모조류가 높은 비율로 나타났음 (그림 2-9). 이는 일반적으로 식물플랑크톤 중 규조류를 주 먹이생물로 이용한다는 연구결과와 차이를 보임.



〈그림 2-9〉 새조개 먹이생물 분석 결과 (유류피해지역 새조개 어장 개발 및 생산량 증대방안 연구먹이생물 분석 사업 수행 결과)

- 우리나라의 식물플랑크톤 분석 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 식물플랑크톤 분류군별에 따른 전문 분류학자가 분류하여야 하나 현실적으로 그렇지 못하기 때문에 미동정 및 오동정의 위험성이 상시 내재되어 있음.
- 분자생물학적인 진단법은 현미경적 관찰법보다 표준화 및 일반적인 정확도 측면에서 높음. 또한 분자생물학을 이용한 분자마커를 활용하여 해양의 현장에서 생물의 종을 실시간에 근접한 빠른 속도로 진단하는 기술은 전통적인 연구방법의 속도를 뛰어 넘는 것임. 뿐만 아니라 크기가 작고 분류군별 형태적 차이가 적어 종을 분석하기 어려운 해양생물이 포함된 대량의 시료도 종의 분석을 가능케 함.
- 한국해양과학기술원에서는 다양한 분자마커를 이용한 종판별 기술을 개발하여 수건의 특허 및 논문 발표를 통해 선도적으로 연구를 선도 하고 있음. 한국해양과학기술원 남해연구소에서 미래창조과학부 지원을 받아 2013년부터 수행중인 '해양 유해조류 자동판별시스템 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. 또한 한국해양과학기술원에서 '중규모 해양과정 및 생태계 반응 연구'에서 수행한 남해 및 동중국해 해역에서 식물플랑크톤 군집을 차세대 염기서열을 통해 그 군집의 차이를 분석하였음 (그림 2-10).



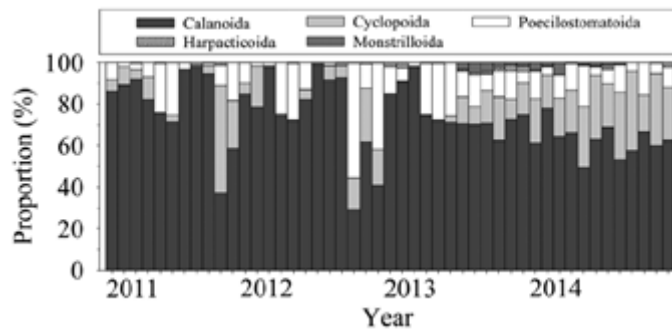
〈그림 2-10〉 식물플랑크톤 군집의 차세대 염기서열 분석 결과  
(해양 유해조류 자동판별시스템 개발 및 방제 적용기술 타당성 분석' 및  
'중규모 해양과정과 생태계 반응 연구'사업 수행 결과)

- 또한, 국내 미세조류 진단은 형태학적인 분석 방법이 대세를 이루고 있는 상황에서 분자생물학을 이용한 진단은 더욱 객관적인 수치라 생각되며 이러한 방법을 통한 기술의 개발은 진단 기술의 진일보를 가져 올 수 있음. 더욱이 차세대 염기서열 분석 (Next Generation Sequencing, NGS)이 개발되어 이를 해양생물 시료에 적용하면 각 개체를 별도로 분석하기 보다는 대량의 혼합시료를 동시에 분석으로 시간과 경비를 크게 줄일 수 있음.

## 제2장 국내외 연구 개발 현황

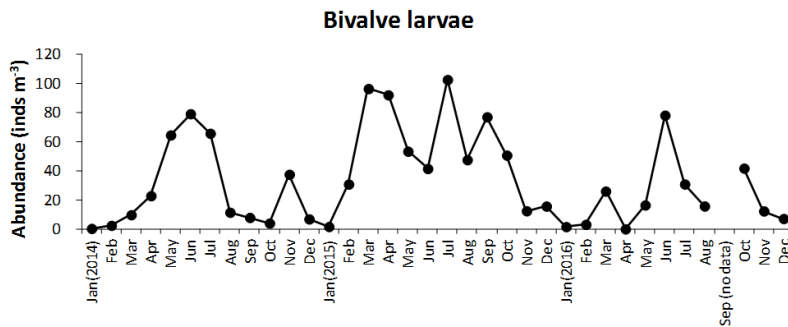
### 나) 동물플랑크톤

- 통영 연안 양식어장 인접해역에서 2011년부터 2014년까지 중형 동물플랑크톤을 월별로 모니터링하였으며(Kim et al. 2017), 요각류 가운데 cyclopoids류의 조성비가 2014년부터 증가하여, 양식어장 환경의 중기변화를 보고한 바 있음 (그림 2-11).



〈그림 2-11〉 통영 연안 요각류 대분류군의 조성비 변화 (2011년-2014년)

- 통영 연안 양식어장 인접해역에서 2014년부터 2016년까지 이매패류와 복족류 유생의 출현량은 계절적 주기성을 보였으나, 멍게 유생은 뚜렷한 주기성을 보이지 않았음 (그림 2-12).



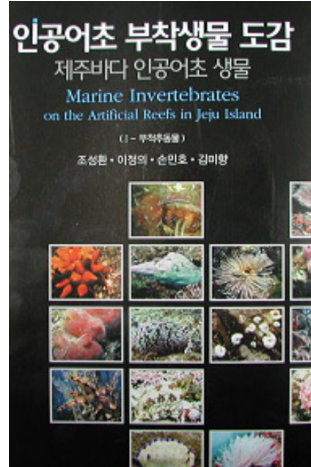
〈그림 2-12〉 2014년-2016년 연안 이매패류 유생의 출현량(강. 미발표자료)

- 일본 연안의 어류 양식장과 굴 양식장의 소형과 중형 동물플랑크톤 군집 비교 연구에서 어류 양식장 환경이 굴 양식장보다 부영양화가 심하였고, 중형 동물플랑크톤 개체수 감소 및 군집 구성의 변화가 심하였음 (Chang et al. 2009).
- 지중해 연안의 케이지를 이용한 어류 양식장에서 동물플랑크톤 개체수는 대조구(양식시설이 없는 해역)보다 매우 높았으며, 이것은 케이지에 의한 retention(보유 또는 유지) 효과 때문이었음(Fernandez-Jover et al. 2016).



#### 4. 양식어장 부착생물 저감방안

- ▶ 국립수산과학원 제주도 남서부 연안에 시설된 인공어초에 부착하여 서식하는 인공어초 부착생물 도감을 발간하여, 부착생물 141종에 대한 분류학적 특성을 기재하였음 (그림 2-13).



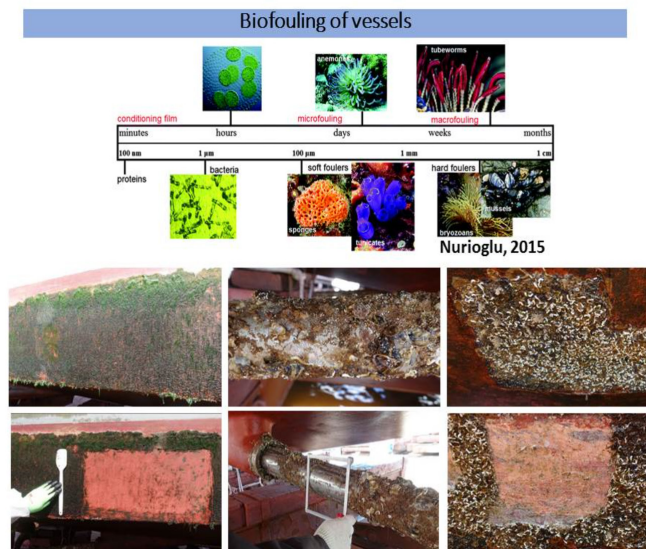
<그림 2-13> 인공어초 부착생물 도감

- ▶ 한국해양과학기술원 남해연구소는 장목만 연안에서 50cm 수심의 PVC 인공부착판에 가입되는 부착생물의 시기별 가입양상을 분석하였음 (표 2-6; 최 등, 2011).

<표 2-6> 장목만 인공부착판에서 가입되는 부착생물의 월별 변화

	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
주요 가입 생물	가시파래	지중해 담치	지중해담치 유령멍게	유령멍게 다발이끼벌레	가시파래	주걱따개비	구멍갈파래	구멍갈파래 석회관갯지렁이

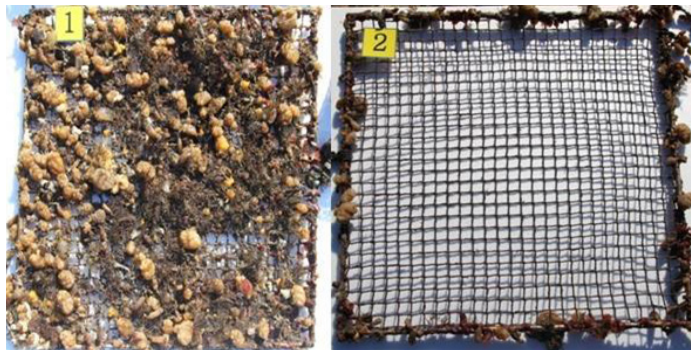
- ▶ 한국해양과학기술원은 2017년부터 선박에 부착하는 부착생물 현황 파악과 오손생물 관리를 위한 연구를 진행하고 있음 (그림 2-14).



<그림 2-14> 선박에 부착된 오손생물

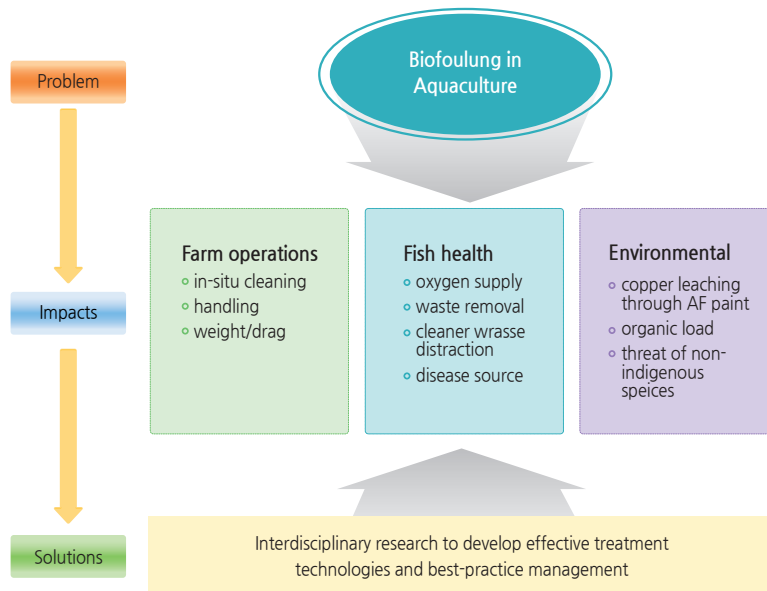
## 제2장 국내외 연구 개발 현황

- ▶ 국내에서는 양식어장의 그물에 붙는 부착생물을 방지하기 위한 새로운 기술(동합금망, 어망용 방오코팅제 등)이 개발되고 있으며, 동합금망은 그물을 구리로 만들어 해양생물이 붙지 못하게 하는 특징을 가지고 있으며, 2011년부터 현장 시험을 시작하여, 2016년에 실용화 추진. 어망용 방오코팅제는 실리콘을 이용하여 해양생물이 쉽게 부착하지 못하게 하며, 표면에 마이너스 전자를 가지는 물질을 코팅하여 박테리아 등 세포막이 마이너스를 띠는 생물이 붙지 못하게 하는 기술로 2014년 화학연구원과 녹스탑이 공동으로 개발함 (그림 2-15).



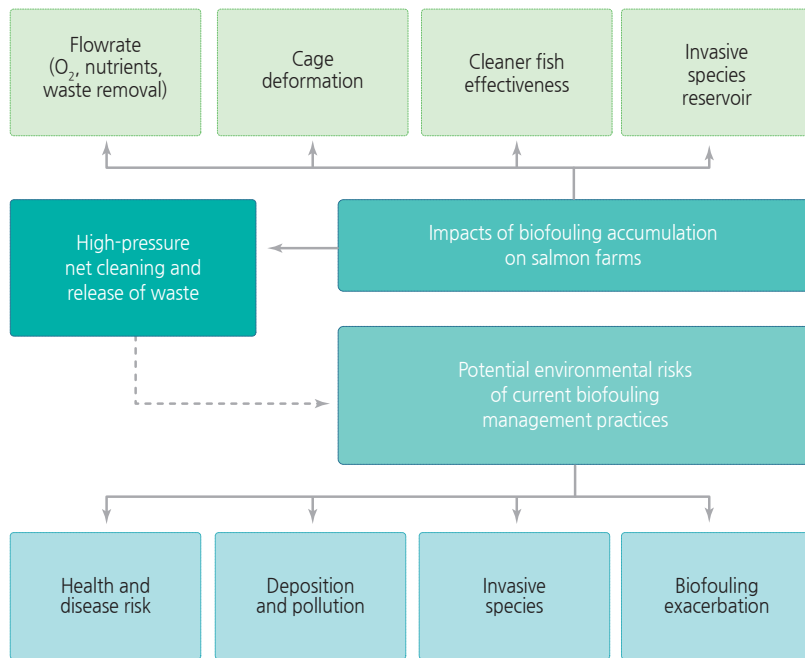
〈그림 2-15〉 실리콘계 방오코팅을 하지 않은 어망(좌)과 방오코팅(우)을 한 어망에서의 6개월 동안의 부착생물 부착 실험 결과

- ▶ 노르웨이 연어양식장에서의 부착생물로 인한 영향 분석을 통하여 부착생물 관리 대책에 대한 연구 필요성이 제안되었음 (그림 2-16).



〈그림 2-16〉 노르웨이 연어양식장에서의 부착생물 영향과 대책

- ▶ 미국과학재단은 MariCal사가 수행하고 있는 부착생물 방지 방안에 대한 연구를 지원하기 위하여 제 1단계 소기업혁신연구기금(Phase I Small Business innovation Research Grant)으로 99,400불을 지원하고 있음.
- ▶ MariCal사의 연구원인 Steven H. Jury 박사가 주관하고 있는 본 사업 목적은 기존의 함유된 중금속에 의하여 부착생물이 치사되는 방지제에서 독성이 없는 대체 물질을 개발하는데 있음.
- ▶ 본 연구의 핵심 기술은 칼슘감지수용기(CaSR)의 기술을 활용하여 부착생물의 정착, 부착 또는 부착 무척추동물이 구조물 표면에서의 변태를 방지하기 위한 부착생물 방지제의 독성 및 중금속 함량을 최소화하는 기술임.
- ▶ 최근에 양식장의 그물에 부착된 부착생물을 제거한 후, 주변 양식장의 해양환경 및 해양생태계에 미치는 영향 연구를 통하여, (Floerl et al. 2016)부착생물을 관리하기 위한 친환경 기술개발의 필요성이 제기됨 (그림 2-17).



< 그림 2-17 > 부착생물에 따른 영향 및 부착생물 제거에 따른 잠재적 영향 모식도

## 제2장 국내외 연구 개발 현황

### 5. 양식자원 복합단지 조성

- ▶ 수층 공간을 이용한 어업은 동해안에서 참가리비 및 우렁쉥이 양식에 일부 적용되고 있으나, 동해안 특성상 먹이생물부족, 부착생물 대량발생, 냉수괴 형성 등으로 인하여 생산량 저조함.
- ▶ 가두리 양식을 위한 수층 공간 이용은 현재 속초에서 연어양식이 진행되고 있으나 임계수온의 문제, 연평균 수온, 유지관리 문제 등의 성장 저해요소 작용으로 경쟁력 상실함 (그림 2-18).



〈그림 2-18〉 강원도 동해안 해상에 시설한 중층가두리

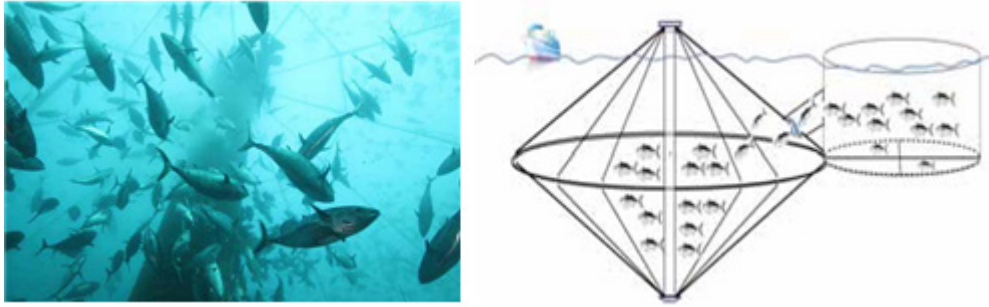
- ▶ 남해안의 경우는 어·패류 양성을 위한 수층 공간 이용기술은 사례가 없음.
- ▶ 가두리 양식의 불임식 시설은 풍파영향 저감 차원에서 「수산업법」 제45조(시험 또는 연구·교습어업)에 근거하여 2005년부터 외해 가두리 양식 시험어업이 추진되었으며, 정부는 이 사업에 대해 보조금을 지급하였음.
- ▶ 시험어업 기간이 만료됨에 따라 2010년과 2011년에 시험어업에 참여했던 2개 사업자를 비롯하여 모두 6개 사업자에게 외해 양식 면허를 발급하였음 (표 2-7).

〈표 2-7〉 외해 양식 어업 면허 처분

지역	업체명	어장위치	면적(ha)	양식품목	등록일자
전남	거문도 외해 양식 영어조합법인	여수 삼산면	5	돌돔 외	2010. 12. 21
경남	남평수산	통영 옥지	15	참다랑어	2010. 12. 21
	인성수산	통영 옥지	20	참다랑어	2010. 12. 08
제주	노아 외해 양식 영어조합법인	서귀포 표선	20	돌돔 외	2010. 11. 01
	금영제주참치	서귀포 표선	20	참다랑어	2011. 03. 22
	한라산 영어조합법인	제주 조천	20	참다랑어	2010. 03. 22

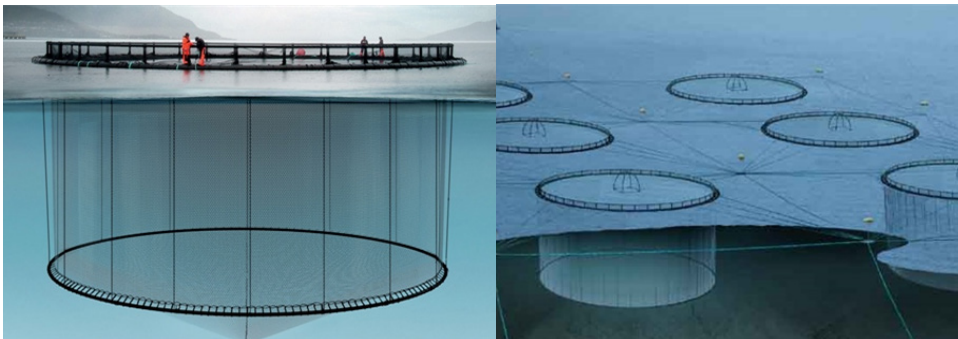


- ▶ 이는 주로 온수성 어류인 참다랑어를 목표로 개발하는 것을 원칙으로 하였으나 심층에 침하를 함으로써 저수온의 영향을 받아 양성장으로는 부적합을 입증 되었음 (그림 2-19).



〈그림 2-19〉 노아 외해 양식 영어조합법인에서 사육 중인 참다랑어(좌)와 입식방법 (우)

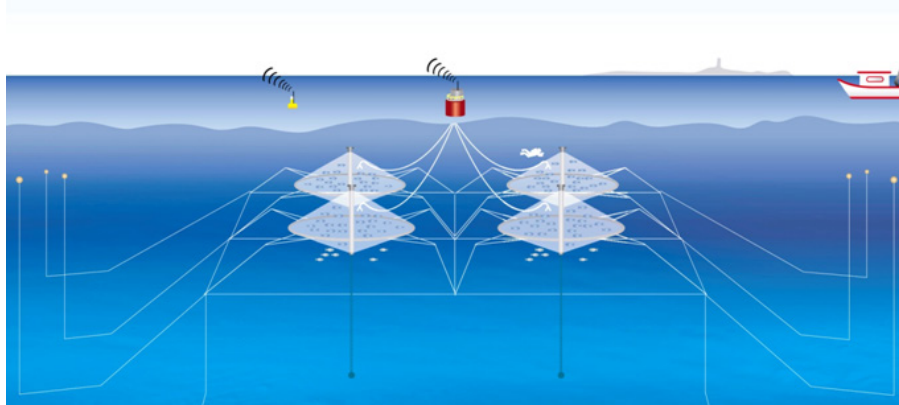
- ▶ 물론 이러한 조치들이 국내 외해 양식어업을 새로 도입하는 시점에서 일정한 역할을 했다고 할 수 있지만, 외해 양식어업의 활성화를 위한 조치로서는 미흡한 측면이 있음.
  - 정부도 현재 우리나라의 어류 생산량 현황과 어류양식 상황에 비추어 외해 양식어업의 활성화가 중요한 과제라고 인식하고 있지만, 이러한 인식에 비해 실제 활성화 정책은 적극적으로 추진되었다고 할 수 없음.
  - 어장관리에 어려움이 있고 생산량도 적어 대부분의 어장은 품종 변경이나 사업을 포기하게 됨.
- ▶ 표층식 가두리 중에서 가장 우수하다고 평가받고 있는 제품인 폴라씨클 가두리(Polarcirkel cage, AKVA Co.)는 현재 유럽에서 가장 많이 사용되고 있음(그림 2-20).



〈그림 2-20〉 노르웨이 아크바(AKVA) 사의 표층식 폴라씨클 가두리

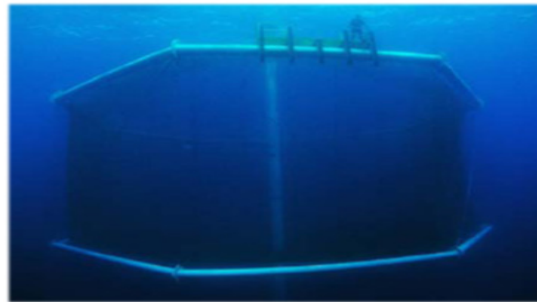
- ▶ 수중침하식 씨스테이션(SeaStation) 모델.
  - 평상시 수중에 존재하는 구조로 표층에서 약 10m 이하의 수심에서 양식을 하도록 구성되어 있음(그림 2-21).
  - 특징 : 평상시 수중에 존재하므로 강한 조류와 높은 파고에도 안전하고, 강한 조류에도 가두리의 양식볼륨의 변형이 없음(현재 최대 양식볼륨 6,800m<sup>3</sup>).

## 제2장 국내외 연구 개발 현황



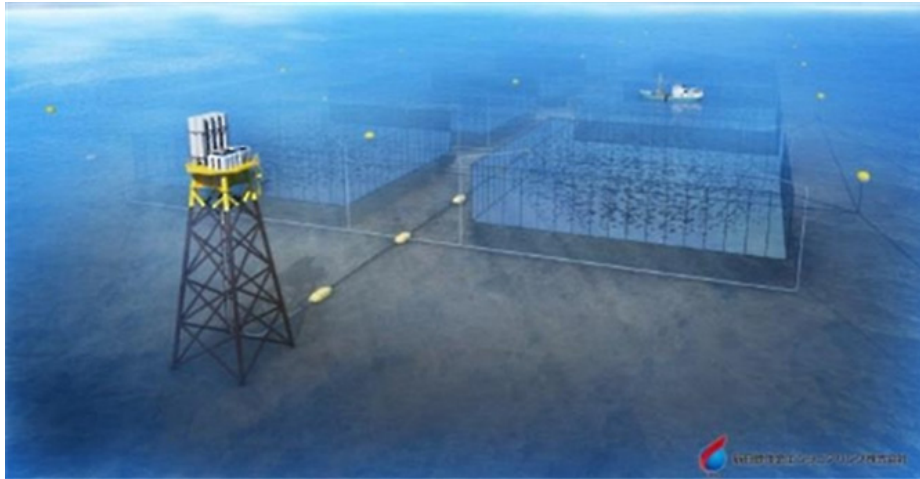
〈그림 2-21〉 수중침하식 가두리 SeaStation 실해역 계류 개념도

- ▶ 부침식 (DR cage) 씨스테이션(SeaStation) 모델
  - 수중침하식 가두리 후속 제품으로 다이버의 작업량을 최소화하고 작업자의 공간을 확보하며 자동먹이 공급장치를 가두리 본체에 부착할 수 있는 구조로서 외해 양식의 많은 경험을 통하여 개량된 제품임 (그림 2-22).
  - 강한 조류에도 기울어짐이 거의 없으며 유지관리 부분의 단점이 대폭 감소하여 다이버가 없이도 가두리를 수중 또는 수 표면으로 올릴 수 있는 구조로 되어 있음.



〈그림 2-22〉 씨스테이션 사의 부침식 가두리의 설치 사진

- ▶ 철강 관련 업체인 신일본제철 엔지니어링은 해저 파이프라인 개발 등에서 익힌 기술을 활용해 연안보다 수심이 깊고 파도와 바람의 영향이 큰 외해에 적용할 수 있는 가두리 양식장 기술을 개발했음.
- ▶ 가두리 양식장 구조물을 강한 조류에도 버틸 수 있도록 철강재로 만들어 수심 10m에서 최대 7m의 파고에도 견딜 수 있도록 한 것임. 이를 통해 연안에서는 사용하는 가두리의 평균 사육면적을 1천㎡에서 최대 50배인 5만㎡까지 대형화하는데 성공했음 (그림 2-23).



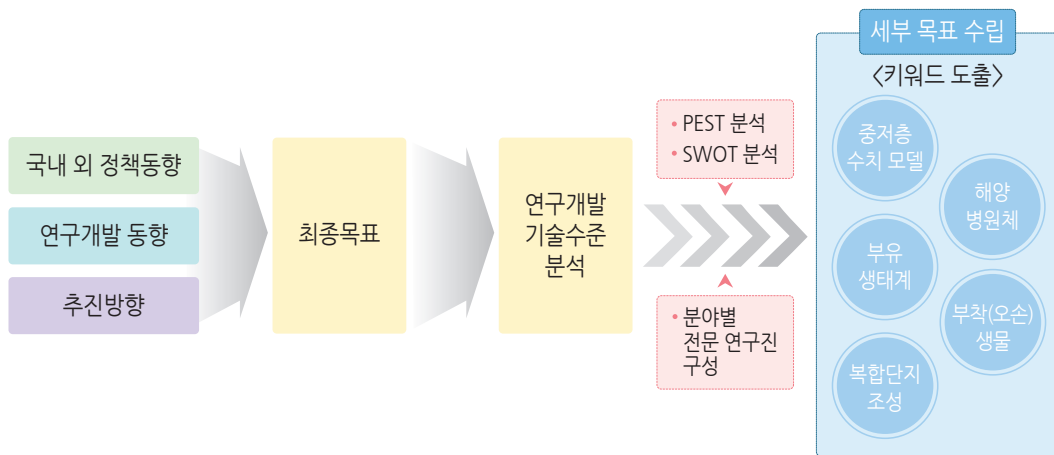
<그림 2-23> 일본의 외해 양식시스템

- ▶ 국외에서도 국내와 같이 수층 공간을 다각화하여 어·패류를 양성하는 사례는 없음.
- ▶ 유럽에서는 양식 강국인 노르웨이 · 스웨덴 · 영국 등의 북유럽 국가와 지중해 연안국이 활발하게 표·중층 외해 양식어업을 추진하고 있음.
  - 특히 유럽연합 차원에서 외해 양식기술 연구그룹(Offshore Aquaculture Technology Platform)을 결성하여 외해 양식과 관련된 연구를 수행하도록 하였음.
- ▶ 미국 해양 대기국 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA)의 주도하에 1998년부터 천해 양식어업과 관련된 연구 · 개발 활동을 수행하기 위한 계획(National Marine Aquaculture Initiative)을 수립 · 시행하고 있음.
- ▶ 이 계획을 통해 외해 가두리 개발과 시험에 집중적인 투자가 이루어졌는데, 제주의 노아 외해 양식 영어법인이 미국에서 개발된 외해 가두리를 국내에 도입하였으나 모두 실패함.
- ▶ 호주도 미국과 마찬가지로 내만은 주정부, 외해는 연방 정부 관할로 하여 2006년 외해 양식업에 대한 가이드라인을 마련하여 운용 중에 있음.

# 제3장 연구 방법론 도출

## 1. 연구 방법 도출

- ▶ 연구현황 분석을 바탕으로 최종 목표를 설정하고 다양한 기획 분석(PEST, SWOT)을 근거로 세부 목표 수립을 위한 전문가 구성을 추진함 (그림 3-1).



<그림 3-1> 연구개발 현황에 따른 방향 도출 방안

## 2. PEST (Political Economy Social Technology) 분석



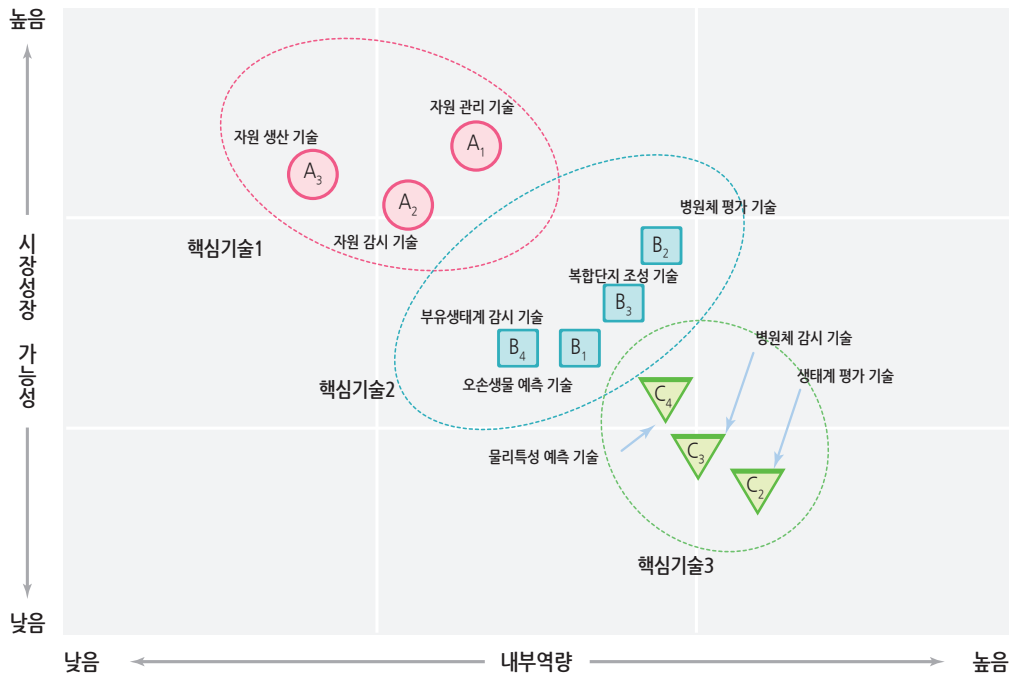
## 3. SWOT (Strength Weakness Opportunities & Threats) 분석



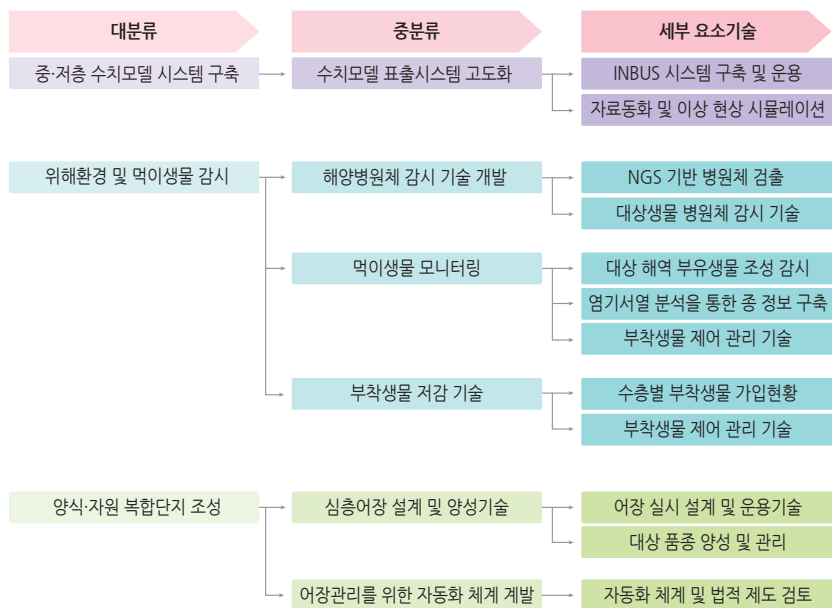


# 제3장 연구 방법론 도출

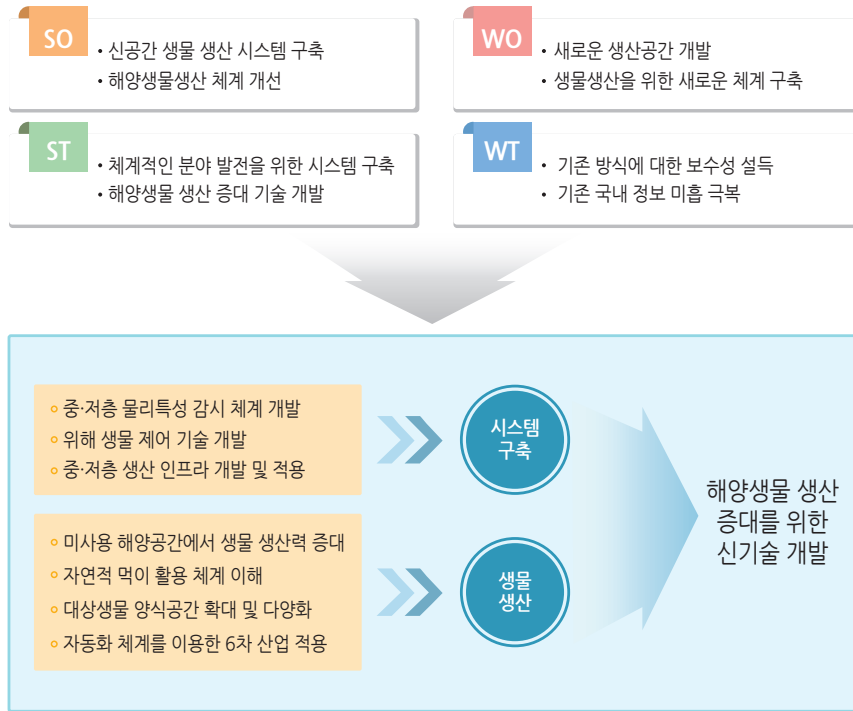
## 4. 핵심 기술 분석



## 5. 기술 트리 도출

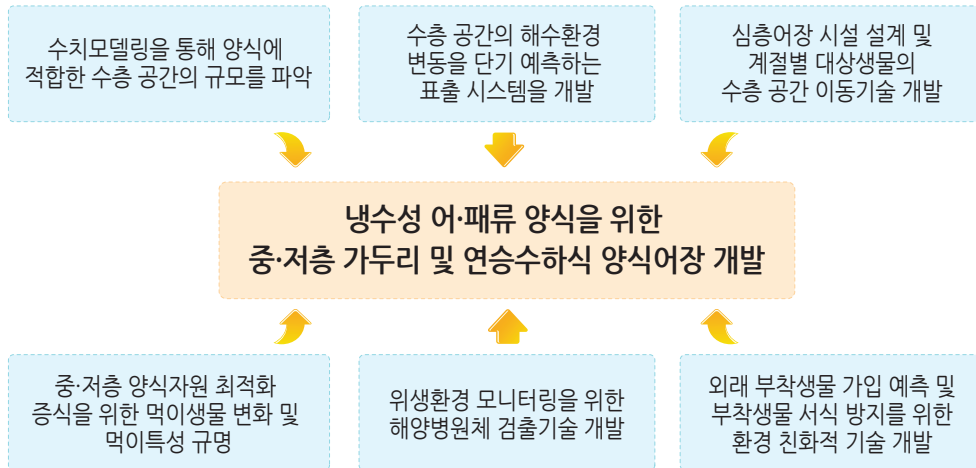


## 6. 전략 연구과제 도출



## 제4장 연구개발 목표 및 내용

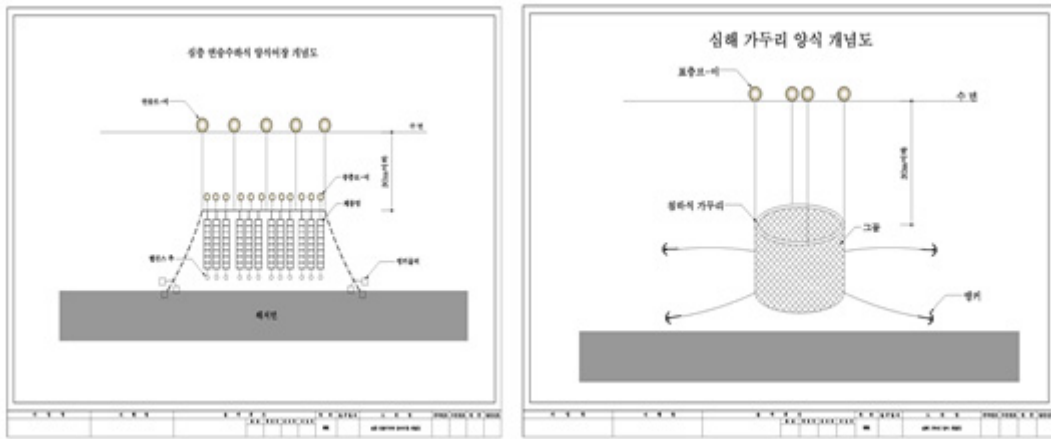
### 1. 연구개발 최종 목표



### 2. 세부 연구 목표

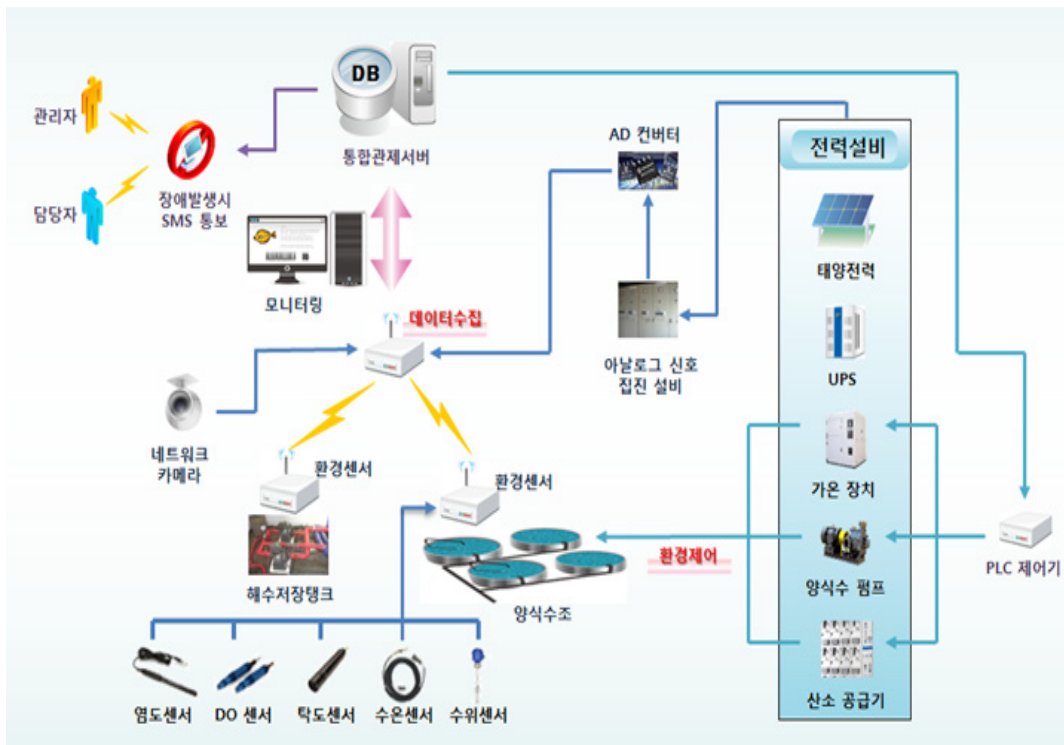
- ▶ 수치모델링을 통해 양식에 적합한 수층 공간의 규모를 파악하고 수층 공간의 해수환경 변동을 단기 예측하는 표출 시스템을 개발.
- ▶ 중·저층 양식장 위생환경 모니터링을 위한 해양병원체 검출 기술 개발.
- ▶ 중·저층 양식자원 최적화 증식을 위한 먹이생물 변화 및 먹이특성 규명.
- ▶ 복합 양식 시설에 가입되는 부착생물 모니터링 및 부착생물의 개체군 특성 파악을 통한 외래 부착생물 가입 예측 및 부착생물 서식 방지를 위한 환경 친화적 기술 개발.
- ▶ 냉수성 어·패류 양식을 위한 심층 가두리 및 연승수하식 양식어장 개발 (그림 4-1).
  - 외해 지역의 중·저층 어장 설계 및 시설 기술 개발 및 계절별 대상생물의 수층 공간 이동 기술 개발.





<그림 4-1> 수층 공간 이용 연직이동식 어장시설 개념도

▶ 어장 유지관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용 방안 기술 개발 (그림 4-2).



<그림 4-2> 양식어장의 환경정보 수집 및 환경제어 시스템

- ▶ 수층 공간 이용 어장 확보를 위한 어장 이용 계획 수립.
  - 수산업법 제8조에 의한 가용해역 어장 이용 계획 수립.
  - 품종별 양식적지 판정 도서 작성.
  - 수층 공간을 이용한 냉수성 어·패류 어장관리 매뉴얼 작성.

# 제4장 연구개발 목표 및 내용

## 3. 연차별 연구 목표

년도	연구 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비 (백만원)
<b>1) 수층 공간 수질 모델링</b>			
1차년도 (2018)	수치모델 시스템 구축	격자망 조성	10.00
		조석, 수질, 흐름 모델 구축	40.00
		KIOST 운영해양예보시스템 자료 적용 및 Nesting 환경 구축	30.00
2차년도 (2019)	모델결과 검증 시스템 구축	INBUS (INtelligent BUoy System) 관측 시스템 설치 및 운영	80.00
		모델 자료 검증	30.00
		자료동화 및 이상 현상 대비 시뮬레이션	20.00
3차년도 (2020)	표출 시스템 고도화	INBUS 관측 시스템 운영	30.00
		자료동화 및 이상 현상 대비 시뮬레이션	30.00
		통합 표출 시스템 고도화	40.00
<b>2) 양식자원 위해 환경 모니터링</b>			
1차년도 (2018)	해양병원체 검출기술 개발	연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이 질병 유발 특정병원체 검출 기술 개발	40.00
		NGS 기법을 적용한 복합양식장 병원체 검출 기술 개발	40.00
2차년도 (2019)	해양병원체 검출기술 확립 및 모니터링	연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이 질병유발 특정병원체 검출 기술 확립 및 모니터링	40.00
		NGS 기법을 적용한 복합양식장 병원체 검출 기술 확립 및 모니터링	40.00
3차년도 (2020)	복합양식장 해양병원체 모니터링	연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이 질병유발 특정병원체 모니터링	40.00
		NGS 기법을 적용한 복합양식장 병원체 모니터링	40.00
<b>3) 양식자원의 먹이생물 모니터링</b>			
1차년도 (2018)	중·저층 양식어장내 먹이생물 분포 및 환경요인 변화	차세대 염기서열 분석 및 형태학적 분석을 통한 식물플랑크톤의 월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계 분석	60.00
		차세대 염기서열 분석을 통한 양식자원의 먹이특성 규명	40.00
		환경요인 (영양염류, 용존무기탄소)의 수심별 변화 분석	30.00
		중형 동물플랑크톤 및 일시 동물플랑크톤 (복족류와 이매패류 유생, 멍게 유생) 군집의 월별 분석, 중형(일시) 동물플랑크톤 군집 변동과 환경요인과의 관계분석	40.00
2차년도 (2019)	양식어장 먹이생물의 출현량 분석 및 먹이 특성 규명	차세대 염기서열 분석을 통한 식물플랑크톤의 월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계 분석	60.00
		차세대 염기서열 분석을 통한 양식자원의 먹이특성 규명	40.00
		환경요인 (영양염류, 용존무기탄소)의 수심별 변화 분석	30.00
		중형 동물플랑크톤 및 일시 동물플랑크톤 (복족류와 이매패류 유생, 멍게 유생) 군집의 월별 분석, 중형(일시) 동물플랑크톤 군집 변동과 환경요인과의 관계 분석	40.00

년도	연구 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비 (백만원)
3차 년도 (2020)	먹이생물 분포와 양식어종의 먹이특성 관계 규명	차세대 염기서열 분석을 통한 식물플랑크톤의 월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계 분석	60.00
		차세대 염기서열 분석을 통한 양식자원의 먹이특성 규명	40.00
		환경요인 (영양염류, 용존무기탄소)의 수심별 변화 분석	30.00
		중형 동물플랑크톤 및 일시 동물플랑크톤 (복족류와 이매패류 유생, 멍게 유생) 군집의 월별 분석, 중형(일시) 동물플랑크톤 군집 변동과 환경요인과의 관계 분석 및 양식장 비교	40.00
<b>4) 양식어장 부착생물 저감방안</b>			
1차 년도 (2018)	중-저층해역 (30-70m) 부착생물 현황 조사	조사 해역에 출현하는 부착생물 조사(3개 경점, 계절별 조사)	15.00
		부착판을 이용한 부착생물 가입 모니터링(수심별, 월별 조사)	30.00
		국내 출현하는 부착생물 현황 분석	5.00
2차 년도 (2019)	대상종에 영향을 주는 부착생물 가입 특성 분석	부착기질 특성에 따른 부착생물 가입 현황 분석(기질종류: 3개, 1개 수심)	10.00
		대상종에 영향을 주는 부착생물 가입 분석(양식기간, 수심별, 월별 조사)	30.00
		해양환경 요인과 부착생물 가입과의 연관 분석(수온, 염분, DO, pH, chl a 등)	10.00
3차 년도 (2020)	친환경적 부착생물 제어 기술 개발	실해역 검증을 통한 부착생물 제어를 위한 최적 기술 확립(해양환경 및 부착기질 특성)	40.00
		부착생물 관리 매뉴얼 (월별 출현 현황도, 부착 생물별 제어 최적 조건 등)	10.00
<b>5) 양식자원 복합단지 조성</b>			
1차 년도 (2018)	심층 어장 설계 및 대상품종 선정	외해 해역의 심층어장 설계 및 시설 기술 개발 (어장 실시설계 및 어장시설(2ha) 시설).	50.00
		대상품종의 양성 기술 개발 (대상생물 종묘 선정 연구 및 대상품종의 성장률 조사)	50.00
		어장관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용방안 기술 개발 (ICT환경모니터링 자동화시스템 제작 및 멍게, 가리비 자동채취기 및 세척 장치 제작)	80.00
2차 년도 (2019)	심층 어장 시설 구축 및 대상품종 양성기술 개발	외해 해역의 심층어장 설계 및 시설 기술 개발 (심층가두리 설계 및 제작시설)	50.00
		대상품종의 양성 기술 개발 (대상품종의 종묘 선정 및 사료 개발연구, 수중 CCTV 구입 및 모니터링)	50.00
		어장관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용방안 기술 개발 (어장관리 자동화시스템 개발)	50.00
3차 년도 (2020)	대상품종 양성기술 매뉴얼 개발	대상품종의 양성 기술 개발 및 양식물 위험생물 관리방안 및 대책 수립, 수산업법 제8조예외의 가용해역 어장이용 계획 수립	60.00
		계절별 대상생물의 수층 공간 이용 기술 개발	40.00
		품종별 양식적지 판정 도서 작성 및 수층 공간을 이용한 냉수성 어패류 어장관리 매뉴얼 작성	50.00

## 제4장 연구개발 목표 및 내용

### 4. 연구개발 품종 선정

#### ▶ 연구개발 품종 선정 기준

- 양식시설 구축 이외에 높은 비용이 소요되는 외해 수층 공간 이용 양식의 성공을 위해 적합 품종 선정이 중요하며, 냉수성 어·패류 양식에서 성공 가능성이 높은 동시에 고부가가치를 지니는 품종이 선정되고 양식되어야 함.
  - 기존 양식 품종과 겹치지 않는 종
  - 수익성이 좋은 고부가가치 품종
  - 성장이 빠른 종(적어도 1-2년 내 수확이 가능한 종)
  - 활,선어를 활용할 수 있는 종 및 일반인의 선호도가 높은 종
  - 대량 수입을 대체할 수 있고, 수출이 가능하며 가공생산이 가능한 종
  - 우리나라 해역에서 연중 사육이 가능한 종 및 대량 중요 생산이 가능한 종

- 따라서, 본 연구해역에서 적합한 적합 품종은 냉수성 및 온수성 어·패류로 구분할 수 있으며, 냉수성 품종은 연어, 송어, 대구, 은대구, 가리비류, 우렁쉥이, 해삼 등이 있으며, 온수성 품종은 방어, 황복, 능성어류, 농어, 바지락, 백합, 우럭조개, 굴 등이 있음.

#### ▶ 적합 대상 양식 품종

##### • 은연어

- 태평양산 연어류로서 연어과에 속하며 학명은(*Oncorhynchus kisutch*)로서 연어류 중에서는 고급 종에 속하며 1980년대 미국에서 알을 수입하여 국내 양식 대상 종으로 개발한 바가 있는 종으로 우리나라 연안에는 서식하지 않음. 담수에서 1~2년 살다가 바다로 내려가는 종으로 50~90cm 까지 성장함 (그림 4-3).



<그림 4-3> 국내에서 생산한 은연어 (1995년 생산한 은연어, 출처:한국해양연구원)



- 서식 수온은 0~20℃까지의 범위에서 서식하며 대표적인 냉수성 어종으로, 여름철 수온이 20℃이상 에서는 전량 폐사하므로 수온이 20℃이하가 유지되는 곳에서 양식이 가능함.
- 북태평양산 연어양식의 대표종이며 맛이 좋으며 1984년 ~ 1995년 까지 한국해양연구원에서 발안란을 수입하여 가두리 양식 연구개발을 통하여 성공하였으나 여름철 고수온으로 인한 문제점 및 상품크기 미달, 소비절벽 등으로 인하여 산업화하지 못함.
- 최근에는 연어소비의 폭발적인 증가로 인하여 칠레산 양식연어가 국내에 대량으로 수입되고 있음.

● 무지개 송어

- 은연어와 같은 연어과 어류로서 학명은(*Oncorhynchus mykiss*)로서 우리나라에서는 주로 내수면에서 양식을 많이 하고 있음.
- 산란기에 붉은색의 무지개빛을 띄므로 무지개송어라고도 함. 원산지는 북아메리카 알래스카에서 캘리포니아까지 서식하며, 몸길이는 약 80cm 임 (그림 4-4).



<그림 4-4> 무지개 송어

- 치어 때에는 몸 표면에 연어에서와 같은 담적색의 넓은 가로줄이 8~12개 정도 있으나 성장함에 따라 불투명해지고 1년 이상이 되면 없어짐. 이것을 파마크 (parr mark)라고 함. parr mark가 없어지는 매년 11월 ~ 12월 사이에 바다로 이송하여 순치 후 해상 가두리 양식을 함.
- 서식 수온은 0~20℃까지의 범위에서 서식하며 대표적인 냉수성 어종으로 여름철 수온이 20℃이상에서는 전량 폐사하므로 수온이 20℃이하가 유지되는 곳에서 양식이 가능함.
- 소비시장 동향은 주로 베트남산 내수면양식 무지개송어가 수입되어 횡감 및 초밥용으로 소비되고 있음.
- 우리나라에서는 1985년 한국해양연구원에서 강원도 강릉시 옥계면에서 최초로 양식을 시도한바가 있으며, 그 이후 지속적인 연구가 진행되었으나 은연어와 같은 환경 및 소비시장 문제로 인하여 산업화에 도달하지 못한 사례가 있음.
- 해상에서 양식하는 경우 성장률은 은연어에 비하여 1.5배정도 빠르며, 근육의 색상이나 식감이 좋아 은연어보다 소비자의 선호도가 매우 높음.
- 해상양식 연어·송어류의 국내 소비량은 연간 30,000톤에 달하고 있으며, 전량 수입에 의존하고 있으므로 이에 대한 국내 양식산업 기술 개발이 시급한 실정임.

## 제4장

## 연구개발 목표 및 내용

### • 가리비

→ 가리비류는 세계적으로 300여종이 서식하고 있는 것으로 알려져 있으며 대부분이 한해성인 종류로서 남·북위 다같이 34° 30'보다 고위도 지방에 분포함. 우리나라에는 참가리비 (*Patinopecten yessoensis*), 국자가리비 (*Pecten albicans*), 비단가리비 (*Chlamys farreri*), 고랑가리비 (*Chlamys swifti*), 흔한가리비 (*Chlamys nobilis*), 해가리비 (*Amusium japonicum*) 등 6종이 서식하며 산업적으로 중요시되는 양식 대상 품종은 참가리비, 비단가리비 및 해가리비임 (그림 4-5).



〈그림 4-5〉 냉수성 품종의 대표적 가리비 (좌: 참가리비, 우: 비단가리비)

- 가리비류의 서식 지역은 우리나라 전 연안과 일본, 중국의 북부(산동성 일대)이며, 서식 수심은 10~30 m이고 조류가 빠르며, 저질은 암반과 자갈로 이루어진 곳임.
- 비단가리비의 경우 염분과 투명도는 비교적 높고 서식 수온은 3~28℃로 광범위하나 성장 최적 수온은 참가리비보다 비교적 높은 20~23℃의 고수온임.
- 참가리비는 서식 수온이 0~20℃범위로서 수온이 23℃이상이면 전량 폐사되는 것으로 보고되고 있어 대표적인 냉수성 패류양식이 가능한 품종임.
- 국내 소비시장을 보면 소비량의 97% 이상이 수입에 의존하고 있으며, 2016년 기준 국내 수입량은 참가리비의 경우 일본에서의 수입량은 5,722.4톤(325억원)으로 가장 높음.
- 참가리비의 경우 우리나라에서는 강원도 일부에서 양식이 시도되고 있으나 생산량이 적어 전량 수입에 의존하고 있는 것이 현실임. 특히 남해안에서는 참가리비 양식이 불가능하므로 연중 20℃이하의 수층 공간을 이용한 연구개발이 절실히 요구되는 품종임.

• 우렁쟁이

→ 우렁쟁이는 척삭동물의 멧게과로서 학명은(*Halocynthia roretzi*)이며 크기는 성체인 경우 10~15cm 내외로 붉은 돌기를 가지고 있으며 산란기는 우리나라의 남해안에서 12월에서 1월 사이에 주로 산란함 (그림 4-6).



<그림 4-6> 양식산 우렁쟁이

→ 서식분포는 한국과 일본에 주로 많으며 연안의 암반지역에 서식함. 서식 수온은 0~25℃지역에 분포하며 여름철 고수온기에 폐사량이 증가함.

→ 우리나라의 우렁쟁이 생산은 일반해면과 천해양식을 통해 이루어지고 있으며 2012년 01월~2017년 7월까지 일반 해면어업에서 총 생산량은 7,626톤으로 생산금액은 39,800,439천원임 (표 4-1).

<표 4-1> 어업별 및 연도별 우렁쟁이 생산량 및 생산금액 (출처: 통계청)

(단위: 톤, 천원)

구분	2012		2013		2014	
	생산량	생산금액	생산량	생산금액	생산량	생산금액
일반해면	1,448	6,994,208	1,573	8,379,018	1,709	9,654,537
천해양식	9,031	17,760,109	10,282	23,763,786	7,037	21,284,532

구분	2015		2016		2017. 07	
	생산량	생산금액	생산량	생산금액	생산량	생산금액
일반해면	1,507	7,954,637	1,284	6,286,134	105	531,905
천해양식	21,326	56,551,279	31,353	60,080,571	1,695	3,455,450

→ 천해양식어업의 경우 2012년 01월~2017년 7월까지 총 생산량은 80,724톤이고 생산금액은 182,895,727천원으로 일반해면어업보다 천해양식어업에서 생산량이 많음.

→ 연도별로 살펴보면 일반해면의 경우 2014년 생산량 1,709톤으로 가장 많았으며 생산금액은 9,654,537천원 이었음.

→ 천해양식의 경우 2015년 생산량이 가장 많았으며 생산량은 21,326톤, 생산금액은 56,551,279천원 이었음.

→ 우렁쟁이는 산업종으로서 매우 중요하며 우리나라에서는 주로 양식에 의존하고 있으나, 고수온으로 인한 폐사 및 봄철 질병(물렁병)으로 인한 대량 폐사로 이어져 많은 피해를 주고 있으므로, 이에 대한 대책으로 혼합층이나 수온약층을 이용하여 수온이 20℃이하의 수층에서 안정적으로 양식 할 수 있는 기반기술 개발이 필요함.

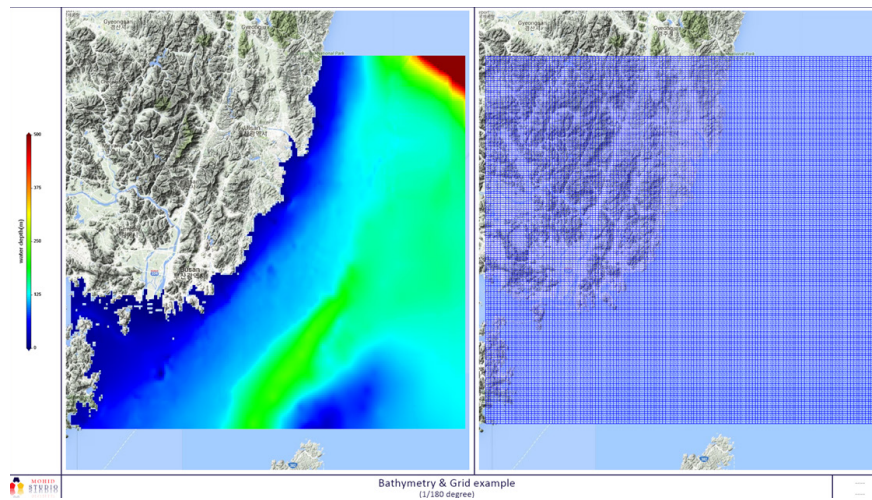


## 제4장 연구개발 목표 및 내용

### 5. 세부 연구 내용

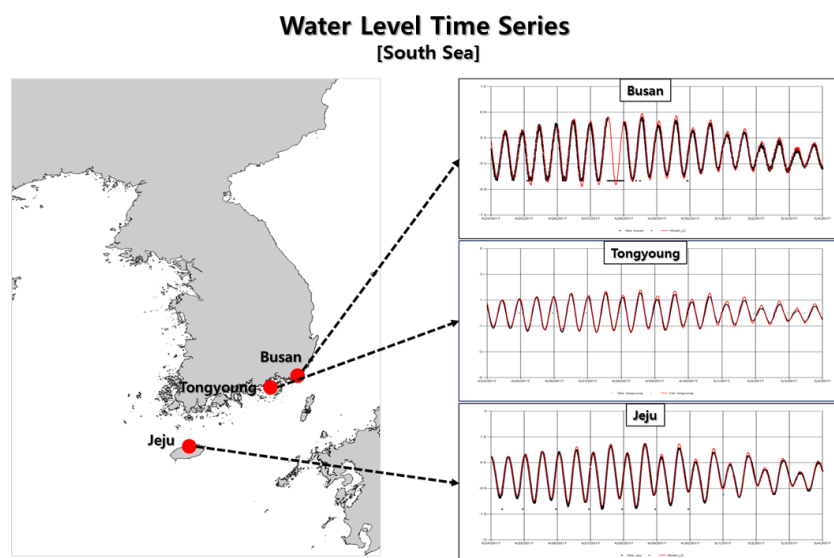
#### ▶ 수층 공간 수질모델링

- 수치모델 시스템 구축: 1/180° 격자를 남해안 지역을 포함 하도록 확대 후, 통영 인근 해역에 약 10 - 20 m 정도 규모의 초정밀 격자망을 구성 할 예정 (그림 4-7).



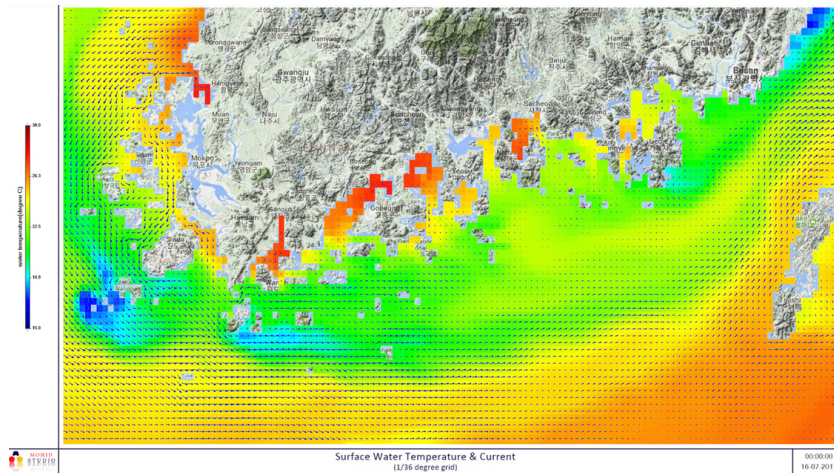
<그림 4-7> 한반도 남동부 해역 1/180°수평격자망 구축 (예)

- 조석모델 및 흐름모델 구축: 한반도 남부 해역에서 1/36° 조석모델 결과를 바탕으로 KOOS 시스템의 모델 결과를 사용하여 통영 수층 공간 인근해역에 10 - 20 m 격자규모의 정밀 조류 및 유속 모델링 시스템 개발함 (그림 4-8).



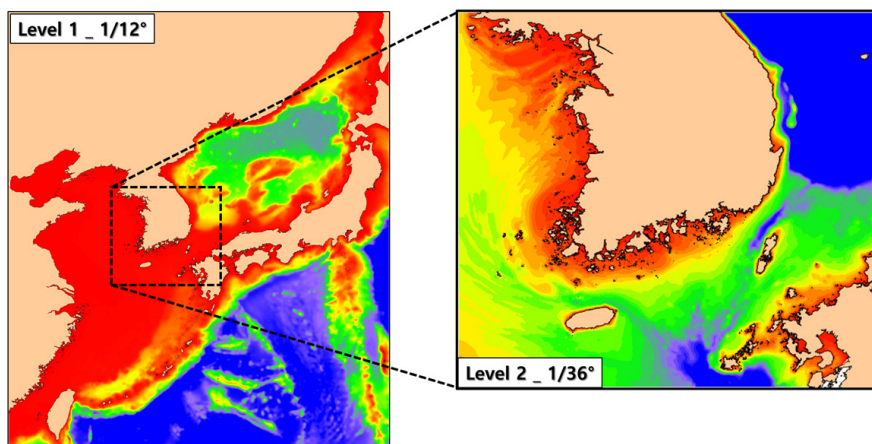
<그림 4-8> 1/36° 조석모델 결과 (예)

- 수질모델 구축: 조석 및 흐름모델링 결과 자료를 토대로 수질모델 구축하며, 특히 해당 해역 양식 산업에 필요한 해수의 수온, 염분 및 용존 산소량의 정확도 향상에 주력함. 표층 아래에 존재하는 수층 공간의 수질을 정확하게 계산하기 위하여 혼합층과 수온약층의 계절변화 및 표층과 수층 공간 간의 물질 교환량 정밀계산이 요구됨. 수층 공간 내 수질 계산의 정확도 향상을 위해 직교 좌표, 시그마 좌표, 하이브리드 좌표 등 다양한 모델 수직격자 시스템 성능 비교함. 용존 산소량과 같은 생화학적 물질의 분포 및 변동을 계산할 때 유속을 통한 이류와 확산 외에 대기와 상호 교환되는 양 및 생화학 작용에 의해 생성, 소모되고 침강하는 양을 고려할 계획이며, 이 경우 화학식을 직접 계산 하는 방법과 iteration하는 방법 등을 비교하여 계산의 효율성 및 정확도를 향상시킬 계획임.
- Nesting 환경 구축: Nesting이란 광역모델의 결과를 보다 세밀한 모델의 경계조건 등으로 사용하여 모델 계산의 정밀도와 정확도를 향상시키는 기법으로, 기본적으로 1/36° 격자를 사용하여 남해에서 유속 및 수온 분포를 구현하며, 특히 연안역에서 수온의 공간적 변화 양상에 중점을 두어 구현할 계획임 (그림 4-9).



<그림 4-9> 1/36° KIOST 운용해양예보시스템 유속 및 수온 계산결과 (예)

→ 그러나 그림에서 나타나듯이 현재 모델 시스템의 1/36° 격자로는 수평방향 약 20 km 범위 해당 해역의 수온 분포 및 변화를 정밀하게 계산하기 어려움 (그림 4-10). 따라서 본 연구에서는 1/60° 격자 KIOST 운용해양예보시스템 모델 결과를 사용하여 그림 3-6에서 보여준 1/180° 격자 모델링을 수행한 후 다시 동영 수층 공간 인근 해역에서 10 ~ 20 m 격자규모의 정밀 모델링을 수행하는 2 단계 Nesting 모델 시스템을 도입하여 계산 결과의 정밀도 및 정확도를 향상시킬 예정.

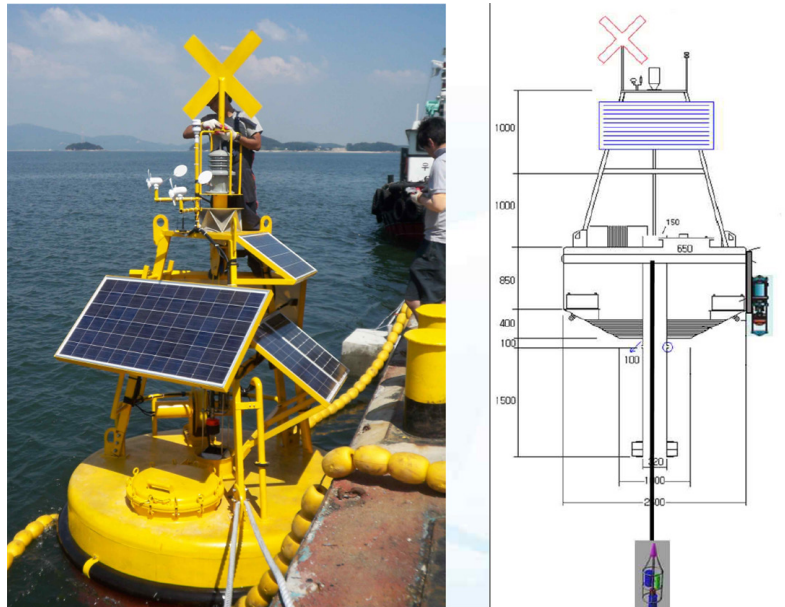


<그림 4-10> 1/12° 격자 광역모델에서 1/36° 격자 모델 시스템으로 Nesting 결과

## 제4장

## 연구개발 목표 및 내용

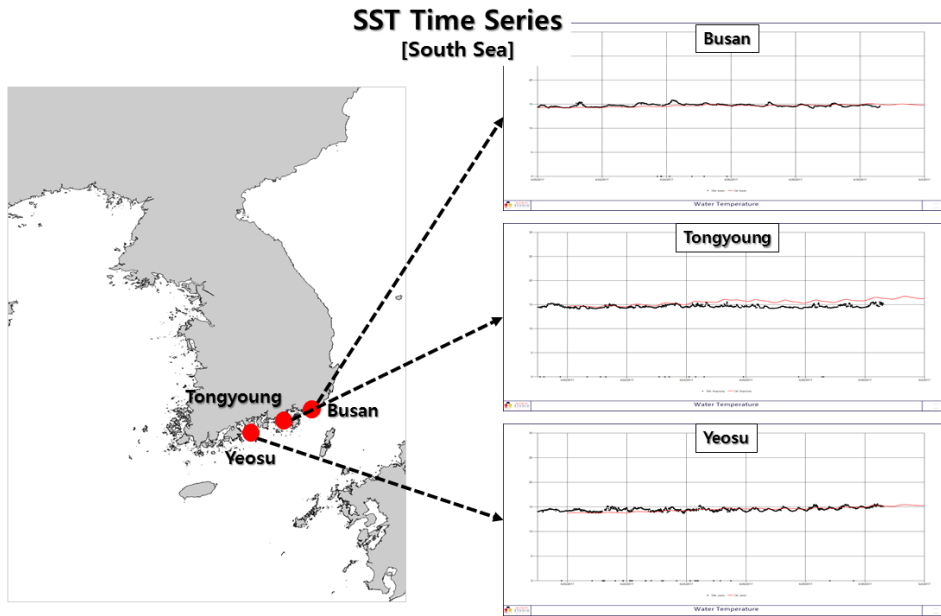
- INBUS (INtelligent BUoy System) 관측 시스템 설치 및 모델 자료 검증.
  - 관측 장비가 탑재된 부이로서 한 정점에서 탑재된 장비들이 일정 시간마다 표층에서 저층까지 이동함으로써 해수 전 층의 수질을 측정할 수 있음 (그림 4-11).
  - 수층 공간 내 수질의 실시간 모니터링이 가능하여 고수온 수괴 유입 등 이상 현상 발생 시 단기에보가 가능.
  - INBUS 자료를 사용하여 수층 공간의 수온 및 용존산소량 수직 분포의 일변화, 월변화 및 계절변화를 검증 및 보정.
  - 수층 공간의 수질이 양식에 적합한 상태를 유지하는 기간 및 범위 파악.



<그림 4-11> INBUS 승강식 관측 시스템

- 자료동화 및 이상 현상 대비 시뮬레이션: 자료동화란 모델 입력조건을 실시간 관측자료를 사용하여 갱신함으로써 시간이 경과하며 발생하는 모델의 오차를 줄이는 기법으로 1/36°격자 모델을 사용하여 계산 한 표층 수온을 부산, 통영, 여수의 3 지역에서 비교한 결과, 통영지역의 수온은 시간이 경과함에 따라 점차 오차가 증가하는 경향이 나타남 (그림 4-12). 따라서, 자료동화 기법을 통하여 정확도를 개선할 계획임. 이때, INBUS 자료 및 현지 측정된 기상 및 파랑자료들을 사용하여 해당 해역 정밀 모델링 자료동화에 적용할 계획이며, 이는 중-저층의 양식어장에서 고수온 수괴가 유입되는 경우를 상정하여 이상 현상 대비 시뮬레이션 수행시 고수온 (또는 저수온) 해수가 양식에 미칠 수 있는 영향을 시공간적 규모로 파악할 수 있음.



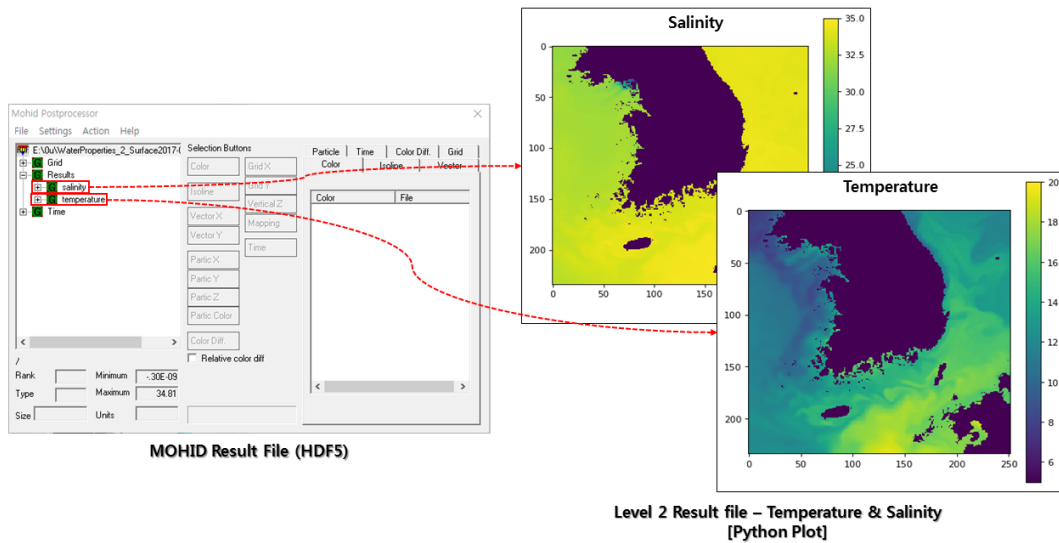


<그림 4-12> 1/36° 격자 KIOST 운용해양예보 모델을 사용하여 계산한 표층수온 비교 (부산, 통영, 여수)

● 통합 표출 시스템 구축 및 고도화.

- 이상의 수치 실험을 통해 구축된 단기 예측 모델링 자료들을 실시간으로 표출하는 시스템 개발 및 수층 공간 정밀 수질 정보 및 모델링 단기에보 결과를 IoT 기반 사용자들에게 신속하고 편리하게 제공하는 방안 구축 (그림 4-13).
- 수층 공간 해역의 수질 계절변화를 파악하기 위한 INBUS 시스템 연속 운영 및 실시간 관측자료에서 측정된 자료 동화, 이상 현상 발생 시 모델 입력 조건 및 경계 조건을 변화하여 다양한 현상에 대한 대비방안 마련.

Real-Time Result Check with PYTHON script



Level 2 Result file – Temperature & Salinity [Python Plot]

<그림 4-13> 파이썬(Python) 프로그래밍 언어를 사용하여 구축한 수치모델 결과 실시간 표출 시스템 (예)

## 제4장

## 연구개발 목표 및 내용

- ▶ 양식자원 위해 환경 모니터링.
  - 연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이 질병 유발 병원체 검출키트 개발.
  - NGS 기법을 적용한 복합양식장 해양병원체 모니터링.
  - 분자생물학적 검출 기술을 이용한 복합양식장 수산물 및 해수 모니터링.
  
- ▶ 양식자원의 먹이생물 (식물·동물플랑크톤) 모니터링.
  - 30-70m 기반 (수층 시·공간 분포) 유용 생물자원의 먹이생물 군집 및 생물량 변화.
    - 현미경 분석을 통한 식물플랑크톤의 수층 시·공간 분석.
    - 차세대 염기서열을 이용한 식물플랑크톤의 수층 시·공간 분석.
    - 현미경 및 차세대 염기서열 분석 결과의 상호 신뢰도 분석.
    - 현미경 및 차세대 염기서열 통합 결과 분석을 통한 최적 먹이생물의 수심별 분포 특성 도출.
    - 환경요인과 식물플랑크톤 출현 양상과의 연관성 추적.
  - 양식자원생물의 선호 먹이생물 분석.
    - 차세대 염기서열 분석을 이용한 양식자원생물의 위 내용물 내 먹이생물 분석.
    - 위 내용물 내 선호 먹이생물 및 수층별 식물플랑크톤 군집의 상호 연관성 파악 및 이를 통한 양식생물의 최적 성장 수심 제안.
  
- ▶ 양식어장 부착생물 저감방안.
  - 복합 양식 시설에 가입되는 부착생물 모니터링 및 부착생물의 개체군 특성 파악을 통한 부착생물 가입 예측 및 부착생물 서식 방지를 위한 환경 친화적 기술 개발.
  - 중층해역(30-70m) 부착생물 현황 조사.
    - 조사 해역에 출현하는 부착생물 조사(3개 정점, 계절별 조사).
    - 부착판을 이용한 부착생물 가입 모니터링(수심별, 월별 조사).
    - 국내 출현하는 부착생물 현황 분석.
  - 대상종에 영향을 주는 부착생물 가입 특성 분석.
    - 부착기질 특성에 따른 부착생물 가입 현황 분석(기질종류: 3개, 1개 수심).
    - 대상종에 영향을 주는 부착생물 가입 분석(양식기간, 수심별, 월별 조사).
    - 해양환경 요인과 부착생물 가입과의 연관 분석(수온, 염분, DO, pH, chl a 등).
  - 친환경적 부착생물 제어 기술 개발.
    - 실험을 통한 부착생물 제어를 위한 최적 기술 확립(해양환경 및 부착기질 특성 별).
    - 부착생물 관리 매뉴얼 (월별 출현 현황도, 부착생물별 제어 최적 조건 등).



▶ 양식자원 복합단지 조성.

- 외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술 개발 : 시험어장 적지 분석→어장도 작성(4ha)→심층연승어장 설계 및 구조검토→소재 파악 및 재료 선정→시설 방법 연구→시설 및 대상생물 수하.
- 대상품종의 양성 기술 개발 (시·공간별, 품종별 모니터링) : 종묘 수급 계획 수립(가리비, 우렁쉥이, 연어, 송어), 채롱망 및 붕줄 안전성 검토 수립, 품종별 성장 모니터링, 계절별 양성 성장률 조사.
- 계절별 대상생물의 수층 공간 이용 기술 개발 : 수심별 대상생물 양성방안 수립 및 계절별 대상생물의 양성 공간 이용 기술 적용 방안 수립, 위협생물의 방제 및 대책 방안 수립.
- 어장관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용방안 기술 개발 : 부착생물 제거용 자동화 장비 검토 제작, 자동채취기 검토 및 제작.
- 수산업법 제8조에 의한 가용해역 어장 이용 계획 수립 : 연구수행 및 조사를 통한 미래어장 이용 계획 수립 및 정책 제언을 통한 어장개발 방향제시.
- 품종별 양식적지 판정 도서 작성 : 수층별 적합환경 검토를 통한 품종별 양식적지 제안, 계절별 양식방법에 따른 수층 이용방안 수립, 해양수산부 양식적지 판정 기준 지침에 따른 적지 판정 기준 마련.
- 수층 공간을 이용한 냉수성 어·패류 어장관리 매뉴얼 작성 : 종합적 수층 공간 양식어장 유지관리 매뉴얼 작성.

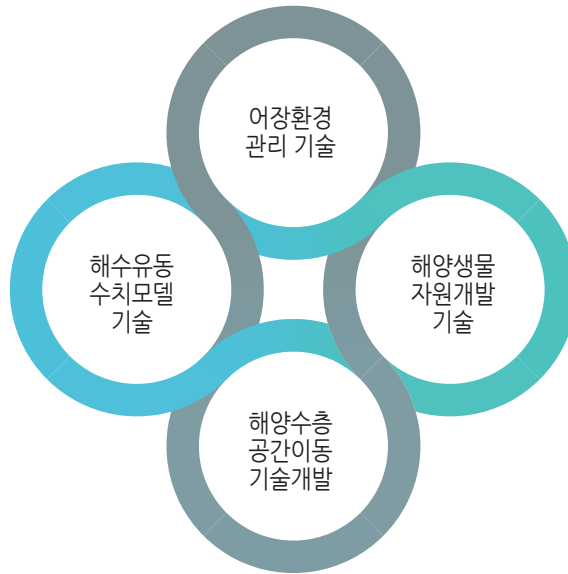
# 제 5 장

## 연구개발 추진 체계

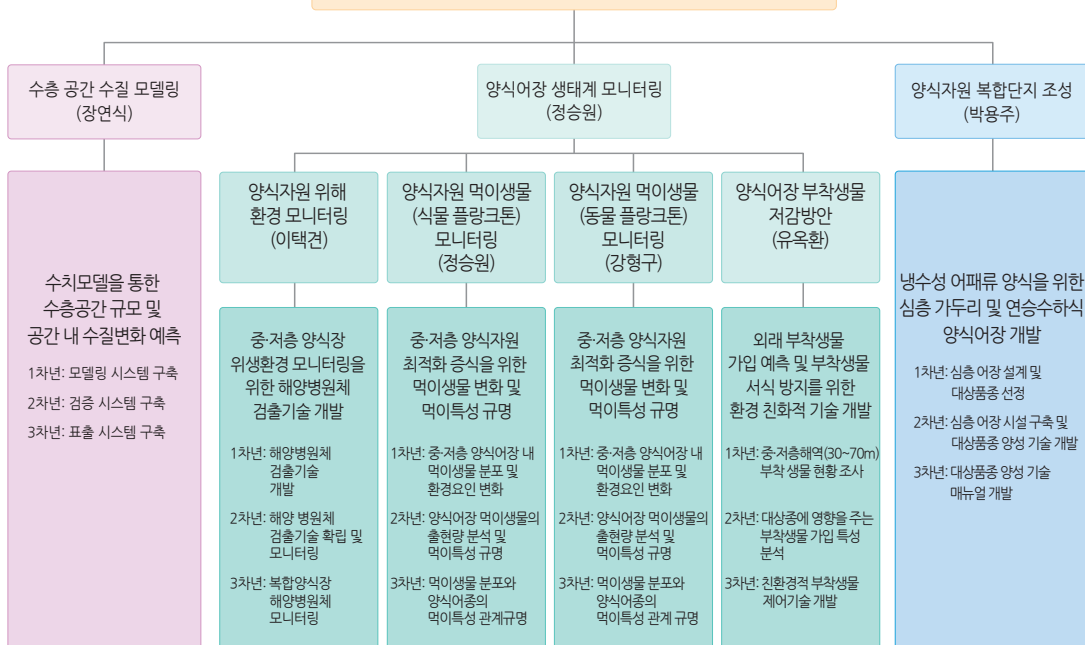
### 1. 연구 체계

▶ 본 연구의 추진 체계는

- 1) 중·저층 수심별 어장 환경 관리 기술.
- 2) 해수유동 수치모델 개발.
- 3) 해양생물자원 개발 및 자원조성, 레저관광 연계 방안 수립으로 구성.



#### 중·저층 해양공간 활용 복합 양식 자원 기술 개발

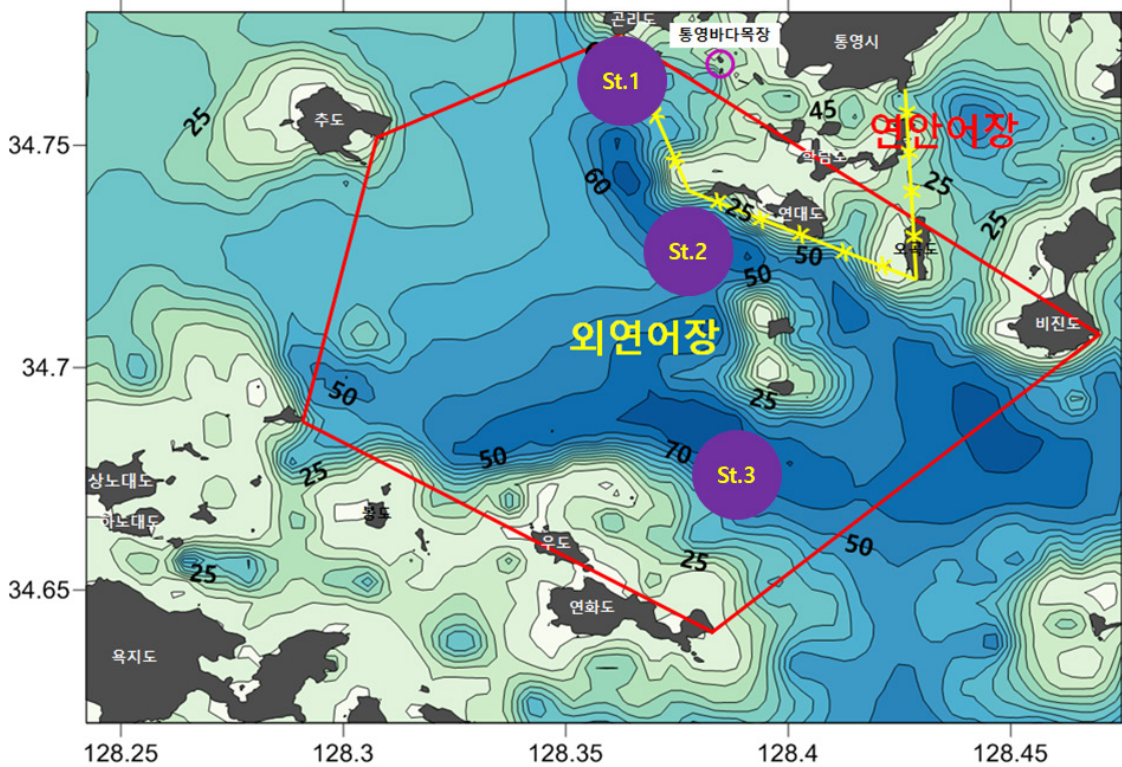


▶ 역할 분담.

- 한국해양과학기술원에서 기본연구 사업을 통한 시범 사업 예산 확보.
- 통영해양과학기술지 인프라를 이용한 연구중심 플랫폼 이용.
- 연구 분야별 지속적 해양조사 및 모니터링 추진체계 확립.
- 해양생태계를 기반으로 하는 먹이사슬 관련 모니터링 추진체계 확립.
- 외해지역의 해역환경을 고려한 수층 공간 냉수성 어·패류 양식 기반 설계 및 시설 추진 체계 확립.
- 연구사업의 성공적 수행을 위한 정부·지자체와의 긴밀한 업무협조체계 확립 추진.

## 2. 연구 추진 방법

- ▶ 조사정점은 그림 5-1와 같으며, 각 분야별로 3개 정점에서 3~5개 수심별로 주기적 (격월 또는 계절) 조사를 실시함.



<그림 5-1> 연구해역의 조사정점

### 가. 수층 공간 수질 모델링

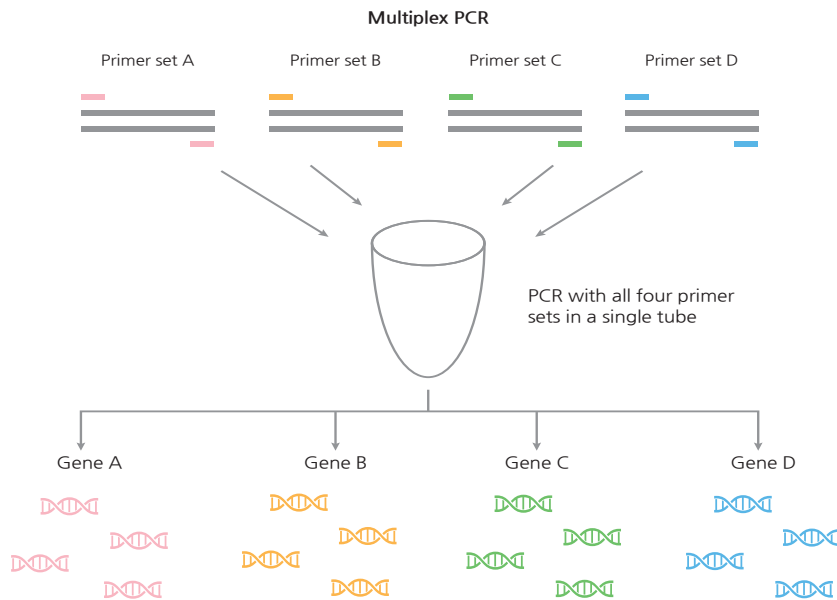
- Nesting 기법을 통한 2 단계 격자망 구성 : 기존의 1/60°운용 해양 예보 시스템 격자 사용 → 1/180°격자 구성 → 통영 수층 공간 인근 해역 정밀모델링 격자 (10 ~ 20m) 구성.
- 조석 및 흐름 모델 : KIOST 운용 해양 예보 시스템 조석모델 결과를 사용하여 정밀 모델링 경계 조건 구성 및 수직 좌표계 비교 (직교 좌표계, 시그마 좌표계, 하이브리드 좌표계 등).

## 제5장 연구개발 추진 체계

- 질 모델 : 수층 공간 수온 및 용존 산소량 초기조건 구성 및 화학식 직접 계산법 및 Iteration 통한 계산 방법 비교.
- INBUS 승강식 부이 시스템 설치 : 수직 수온 변화가 급격한 여름 전에 관측 시작 목표 및 수층 공간의 해수 특성을 대표할 수 있는 지점 선정.
- 모델 자료 검증 : INBUS 자료와 모델 결과 비교 및 보정.
- 자료동화 : 실시간 기상자료 입력시스템 구축, INBUS 등 현장 관측 자료 활용방안 모색.
- INBUS 승강식 부이 시스템 운영 : 자료 전송 및 월별 점검 및 시스템 수거.
- 이상 현상 대비 시뮬레이션 : 수층 공간 인근 해역에 고수온 수괴가 침범하는 사례 조사, 다양한 경우를 상정하여 모델 결과 비교, 이상 현상이 발생할 경우 대비책 마련.
- 표출 시스템 고도화: 파이썬 프로그래밍 언어 사용하여 신속하고 편리한 표출 시스템 개발 및 IoT 기술 활용한 모델 결과 전송방안 마련.

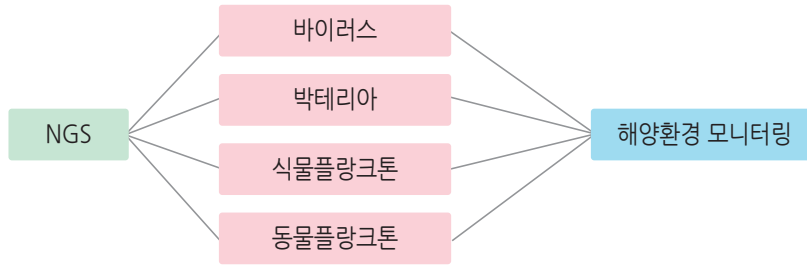
### 나. 양식자원 위해 환경 모니터링

- 양식자원 병원체 현장 모니터링은 그림 5-1과 같이 3개 정점에서 5개 수심별로 월별 조사를 실시함.
- PCR 기반 해양병원체 검출: 연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이의 질병을 유발하는 특정 병원체의 염기서열을 분석하고 이를 검출할 수 있는 PCR 기반 검출법 확립 (그림 5-2).



<그림 5-2> Multiplex PCR

- NGS 기반 복합양식장 해양 환경 모니터링: 바이러스, 박테리아, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤을 대상으로 차세대 염기서열 분석을 통한 복합양식장 해양 환경 모니터링 기법 적용 (그림 5-3)



<그림 5-3> NGS 기반 해양 환경 모니터링

#### 다. 양식자원의 먹이생물 모니터링

- 현장 조사는 월별로 수행하며 식물플랑크톤의 경우 3개 정점 및 5개 수심에서, 동물플랑크톤의 경우 3개 정점에서 수직채집을 실시함 (그림 5-1).
  - 조사 정점은 통영 MRC를 중심으로 MRC 인접 내연어장(수심 30m; 연명, 곤리도, 학림도를 연결하는 연안 어장 구역 설정)과 MRC 밖의 외연어장 (육지도, 연화도, 비진도, 학림도, 곤리도, 추도를 연결) 2개 정점(각각 수심 30m, 70m)에서 조사.
- 채집 후 분석은 현미경을 통한 개체수 및 종조성 및 차세대 염기서열을 기반 분석을 통한 자료 해석.
  - 차세대 염기서열 분석 : 크기별 미지의 environmental DNA를 통한 초미세, 미세 식물플랑크톤의 군집 분석 및 자료 분석 (그림 5-3).
- 양식자원의 먹이생물 특이성 분석 : 가리비 및 우렁쉥이의 위 내용물을 추출하여 유전자를 확보, 메타제노믹스 적용 먹이생물 특성 분석.

#### 라. 양식어장 부착생물 저감방안

- 계절별로 조사 주변 해역의 양식장 및 구조물에 서식하는 부착생물 현황 조사.
- 조사해역 내의 시험 구조물 설치 지역에서 대상종의 서식 위치를 고려하여 수심별 부착판 (부착판 기질)을 초기에 설치하여, 부착판에 가입되는 부착생물 군집 및 양식어종에 영향을 주는 부착생물 가입 분석.
- 대상 해역에서의 해양 환경 변동과 부착생물의 가입과의 상관분석.
- 실험해역에서 부착 기질별 부착생물의 가입 특성과 환경 특성을 고려한 부착생물 제어를 위한 최적 기술 검증.
- 본 연구 기간에 획득된 부착생물의 가입 시기, 부착판의 기질 특성에 따른 가입 현황, 해양 환경 특성에 따른 가입 정보 등이 포함된 부착생물 현황 및 제어방법 매뉴얼 제작.

#### 마. 양식자원 복합단지 조성

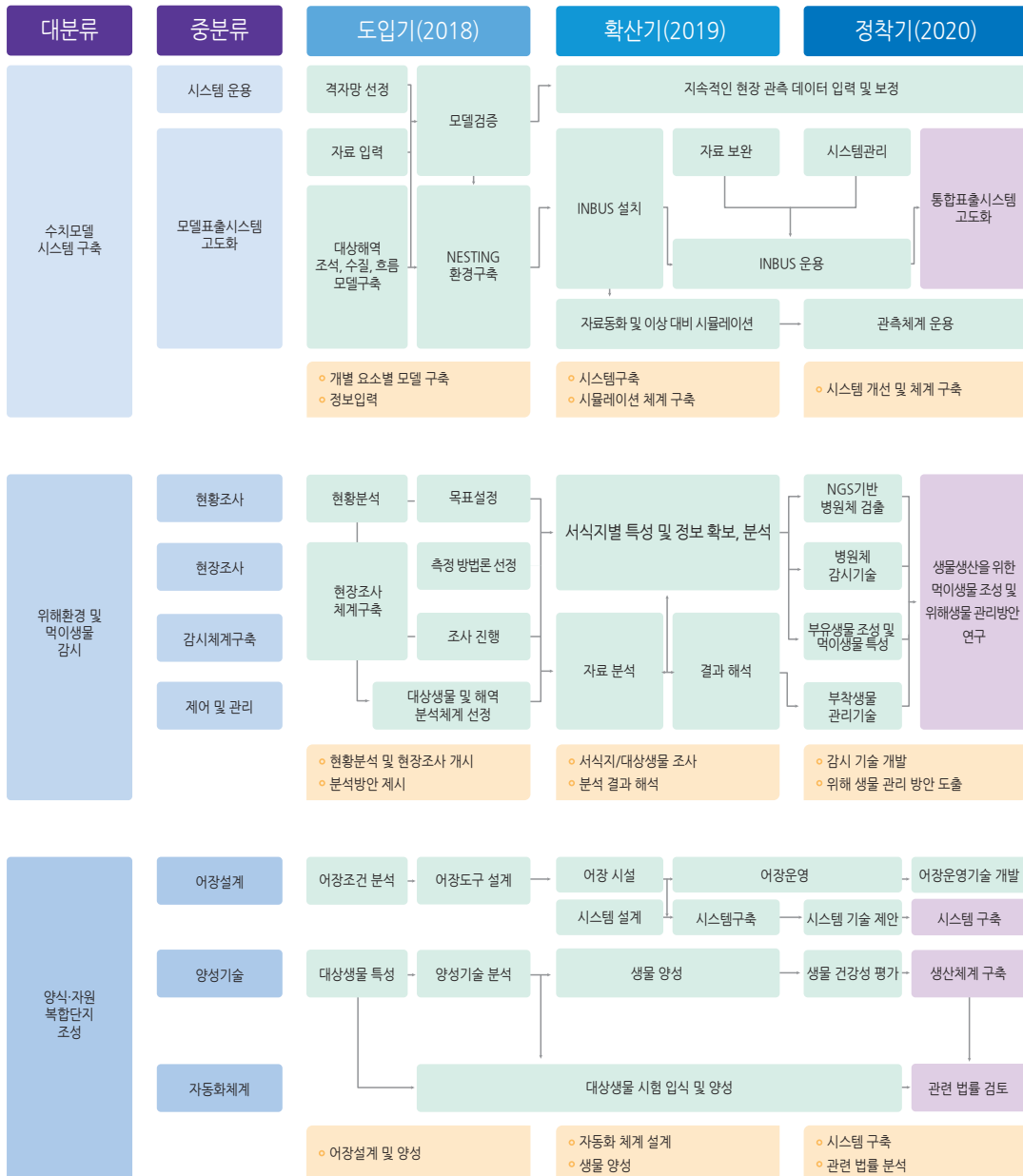
- 중·저층 어장 설계 및 시설 기술 개발: 어장 실시설계 및 어장시설(대략 2ha) 시설 개발.
- 대상 품종의 양성 기술 개발: 대상생물 종묘 선정 및, 수층별, 품종별, 시기별 성장률 및 질병 발병 여부 조사.
- 어장관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용 방안 기술 개발: 어장 환경 자동화 모니터링 시스템 및 수중 CCTV 시스템 구축, 중·저층 자동 사료 공급기 개발, 멍게/가리비 자동채취기 및 세척 장치 제작.
- 양식물 위협생물 관리방안 및 대책 및 가용해역 어장 이용 계획 (수산업법 제 8조) 수립.
- 품종별 양식적지 판정 도서 및 수층 공간을 이용한 냉수성 어패류 어장관리 매뉴얼 작성.



# 제5장 연구개발 추진 체계

## 3. 추진 전략 및 일정

### 가. PERT 분석



나. 구축 로드맵



# 제5장

## 연구개발 추진 체계

### 다. 추진 일정

해당연도	세부 연구개발 목표	월별 추진 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) 수층 공간 수질모델링													
2018	격자망 및 정밀모델 경계조건 구성												
	Nesting 시스템 구축												
	수직 좌표계 비교												
	수질모델 초기조건 및 화학실 계산법 비교												
2) 양식자원 위해 환경 모니터링													
2018	연어, 송어, 가리비, 우렁쉥이 질병 유발 특정병원체 검출기술 개발												
	NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체병원체 검출기술 개발												
3) 양식자원 먹이생물 (동·식물플랑크톤) 모니터링													
2018	NGS 및 현미경 복합 분석을 통한 식물플랑크톤의 월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계분석												
	NGS 기법 적용 양식자원의 먹이특성 규명												
	중형 동물플랑크톤 및 일시동물플랑크톤 현장 조사 및 분석												
	중형 동물플랑크톤 출현량과 환경요인간의 상관분석												
4) 양식어장 부착생물 저감방안													
2018	조사 해역에 출현하는 부착생물 조사												
	부착판을 이용한 부착생물 가입 모니터링												
	국내 출현하는 부착생물 현황 분석												
5) 양식·자원 복합단지 조성													
2018	외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술개발												
	대상 품종의 양성 기술 개발 (수층별, 품종별, 계절별, 질병관리, 환경모니터링)												
	양식물 위협생물 관리 방안 및 대책 수립												
	계절별 대상생물의 수층 공간 이용 기술 개발												
	어장관리 ICT, 자동화시스템 장비 적용 방안 기술 개발												

#### 4. 정량적 성과목표 및 성과지표

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)
최종목표	수층 공간 규모 및 수질 특성	수층 공간 지도 제작 양식 적정 환경 범위 산출	국외논문 3건 (mrrIF: 9.0)	10	양식 적정성 평가	연차실적서 논문
	수층 공간 변동	계절변동을 산출 이상현상 대비책 마련	국외논문 3건 (mrrIF: 9.0)	10	양식 환경 지속 감시	연차실적서 논문
	표출 시스템 고도화	자료전송 시스템 구축	국내논문 2건	10	경보 체계 구축	연차실적서 논문
	해양 위해 환경 모니터링	해양병원체 검출기술 개발 및 모니터링	국외논문 3건 (mrrIF: 9.0)	10	감염 병원체 정립	연차실적서 논문
	해양 생태계 모니터링	양식어장 먹이생물 변화 및 양식어종 먹이특성 규명	가리비/우렁쉥이 먹이특성 연간 변화 국외 논문 3편 (mrrIF: 9.0)	20	먹이특성 변화	연차실적서 논문
	양식어장의 동물플랑크톤 특성 평가	대상해역 동물플랑크톤 출현량, 종다양성과 환경요인 상관	국내논문 2편	10	양식어장 환경 적 지 가능성	환경평가 제시 여부
	부착생물 제어 기술 개발	부착생물 별 가입 조건 분석	부착생물 2종 이상	10	복합양식시설의 부착생물 관리 가능성	보고서 부착생물 관리 매뉴얼
	외해역의 어장시설 기술 및 냉수성 어패류 양식기술 개발	어장시설기법개발 어장관리 장비 자동화 시스템 개발 구축	특허 3건 디자인 2건	20	어장시설 장비개발	이용기준 실용화 가능성
1차년도 (2018)	조석 및 흐름 모델	정밀 격자 모델 조위 예측 오차범위 10%	국외논문 1건 (mrrIF: 3.0)	10	수치모델 적정성 평가	연차실적서 논문
	수질 모델	용존산소량 예측 오차범위 10%	국외논문 1건 (mrrIF: 3.0)	10	수치모델 적정성 평가	연차실적서 논문
	해양 위해 환경 모니터링	해양병원체 검출 기술 개발	해양병원체 목록 1건 이상 국외 논문 1편	20	양식어종 병원체 목록	연차실적서 논문
	해양 생태계 모니터링	양식어장 먹이생물 변화 및 양식어종 먹이특성 규명	가리비/우렁쉥이 먹이특성 변화 국외 논문 1편	20	먹이특성 변화	연차실적서 논문
	양식어장의 동물플랑크톤 특성 평가	대상해역 동물플랑크톤 출현량, 종다양성 비교	국내논문 1편	10	양식어장 환경 적지 가능성	연차실적서(환경 평가 제시 여부) 논문
	부착생물 제어 기술 개발	부착생물 가입 모니터링	모니터링 1건 이상	10	복합양식시설의 부착생물 관리 가능성	연차실적서
	외해역의 어장 시설 기술 및 냉수성 어패류 양식 기술 개발	어장 시설 기법 개발	심층연승어장 설계 및 구조 검토 특허 1건	20	심층 연승어장 설치 및 관리	연차실적서 특허

# 제6장 법제화 및 산업화

## 1. 제도적 개선 방향

- ▶ 외해 수층 공간 이용 양식을 우리나라에서 최초로 하기 때문에 수산업법 및 어업면허의 관리 등에 관한 규칙 등을 보면 외해 양식어업에 대한 내용이 명시되어 있으므로 별도의 법제도를 개선 할 필요는 없을 것으로 보임.
- ▶ 특히 외해에서 수층 공간 이용 양식을 위한 수산 법령이 아직 없기 때문에 여기에서는 외해 양식어업을 중심으로 관련 제도를 검토함.

### 가. 현행 외해 양식 제도

#### 1) 외해 양식면허.

- 본 수산업법 제 2조(정의) 6항(외해) 및 수산업법 시행령 제1조의 2(외해수면)

- 외해란 육지에 둘러싸이지 아니한 개발된 바다로서 해수 소통이 원활하여 오염물질이 퇴적되지 아니하는 수면으로서 대통령령으로 정하는 수면을 말한다.
- 『수산업법』 제 2조 제6호에서 “대통령령이 정하는 외해수면”이란 바다의 수심이 『공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률』 제6조(측량기준) 제1항 제3호에 따라 기본 수준면을 기준으로 35m 이상인 수면을 말한다.
- 수산업법 제8조(면허어업) ① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 어업을 하려는 자는 시장·군수·구청장의 면허를 받아야 한다. 다만, 외해 양식어업을 하려는 자는 해양수산부장관의 면허를 받아야 한다. 8항 외해 양식어업: 외해의 일정한 수면을 구획하여 수중 또는 표층에 필요한 시설을 설치하거나 그 밖의 방법으로 수산 동식물을 양식하는 어업이다.

- 제8조 제1항 제8호에 따른 외해 양식어업면허의 우선순위는 다음 각 호의 순서에 따른다.

1. 해양수산부장관이 승인한 외해 양식 시험어업을 경영하였거나 경영하고 있는 자
  2. 내만(외해 양식어장을 시설할 수 있는 수면기준에 미치지 못한 해역을 말한다. 이하 같다)에서 양식어업을 경영하고 있다가 외해로 이설하고자 하는 자
  3. 내만의 어류등 양식어업권(가두리 어류양식 어업에 한한다)을 매입하여 외해로 이설하고자 하는 자
  4. 제2호 및 제3호 외의 자 중에서 어업인, 어업법인, 지구별·업종별 수산업 협동조합, 어촌계 또는 외해 양식어업을 경영하고자 하는 자로서 제88조에 따른 중앙 수산 조정위원회가 해양수산부령으로 정하는 기준에 따라 심의·선정한 자
- ② 제1항 각 호의 같은 순위자 사이의 우선순위에 관하여는 어업의 여건 등을 고려하여 해양수산부령으로 정한다.
- ③ 제1항 및 제2항에 따라 우선순위를 정하는 경우 우선순위 배제에 관하여는 제 13조 제7항을 적용한다.



- 제14조(면허의 유효기간) ① 제8조에 따른 어업면허의 유효기간은 10년으로 한다. 다만, 제4조 제4항 및 「어장관리법」 제8조 제5항에 해당하는 경우와 수산자원 보호와 어업조정에 관하여 필요한 사항을 대통령령으로 정하는 경우에는 각각 그 유효기간을 10년 이내로 할 수 있다. ② 시장·군수·구청장은 제1항 단서, 제13조 제7항 각 호 및 제34조 제1항 각 호의 어느 하나에 해당하는 사유가 있는 경우 외에는 어업권자의 신청에 따라 면허기간이 끝난 날부터 10년의 범위에서 유효기간의 연장을 허가하여야 한다. 이 경우 여러 차례에 걸쳐 연장 허가를 한 경우에는 그 총 연장 허가 기간은 10년을 초과할 수 없다.
- 제40조의2(외해 양식어업면허의 적용) 외해 양식어업에 관하여는 제4조 제1항·제4항·제5항, 제10조부터 제12조까지, 제14조, 제15조, 제19조, 제20조, 제27조, 제30조, 제31조, 제34조부터 제36조까지, 제65조, 제68조 및 제85조를 적용하는 경우 “시장·군수·구청장”은 “해양수산부장관”으로, “시·군·구수산조정위원회”는 “중앙 수산 조정위원회”로 본다.
- 수산업법 시행령 제8조(양식어업의 종류) 5항 법 제8조제1항제8호에 따른 외해 양식어업의 종류는 가두리 양식어업(수층 또는 표층에 뜬·그물 등을 이용한 가두리 시설을 설치하여 어류를 양식하는 어업을 말한다)으로 한다.
- 수산업법 시행령 제23조의2(외해 양식어업 면허의 적용) 외해 양식어업에 관하여는 제2조 제4항·제5항, 제10조, 제12조, 제17조, 제19조, 제21조, 제70조 및 제71조를 적용하는 경우 “시장·군수·구청장”은 “해양수산부장관”으로, “시·군·구위원회”는 “중앙위원회”로 본다.

## 2) 시험어업 및 연구어업·교습어업

– 수산업법 제 45조(시험어업 및 연구어업·교습어업)

- ① 제8조·제41조·제42조 또는 제47조에 따른 어업 외의 새로운 어구·어법 또는 어장을 개발하기 위하여 시험어업을 하려는 자는 해양수산부령으로 정하는 바에 따라 시험어업을 신청하여야 한다. <개정 2013.3.23.>
- ② 해양수산부장관, 시·도지사는 수산자원의 상태와 어업여건 등을 고려하여 제8조·제41조·제42조 또는 제47조에 따른 어업 외의 새로운 어구·어법 또는 어장을 개발하기 위하여 필요한 때 또는 제1항에 따른 신청이 타당하다고 인정될 때에는 어업자, 제1항에 따른 신청자 및 시험연구기관 등과 공동으로 시험어업을 할 수 있다. 이 경우 시·도지사는 시험어업계획을 세워 해양수산부장관의 승인을 받아야 한다. <개정 2013.3.23.>
- ③ 해양수산부장관이 지정한 시험연구기관·수산기술지도보급기관·훈련기관 또는 교육기관에서 연구어업·교습어업을 하려는 경우에는 제1항과 제2항, 제8조·제41조·제42조 및 제47조에도 불구하고 연구어업·교습어업을 할 수 있다. <개정 2013.3.23.>
- ④ 제2항과 제3항에 따른 시험어업 및 연구어업·교습어업에 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.

## 3) 결론

- 상기 법령을 검토한 결과 우선 연구기관에서는 외해 수층 공간 이용 복합양식 어장 개발을 위해서는 기존의 수산업법 제45조 3항에 의한 연구 교습어업을 신청한 후 연구 교습어업을 수행하고 연구성과를 통한 결과를 토대로 산업화를 위한 업체가 면허를 득할 시는 수산업법 제8조에 의한 대규모 어장개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 제6장 법제화 및 산업화

### 2. 법제도 및 산업화를 위한 전문가 의견

#### 가. 기본 방향

- ▶ 본 연구의 대상인 수층 공간 이용 양식과 관련된 제도는 없으나 이를 뒷받침하는 외해 양식에 대한 제도적 장치는 되어 있음.
- 수층 공간 이용 양식장은 ‘수산업법’ 및 동법 시행규칙 등에서 외해 양식과 관련된 규정을 준용해서 적용할 수 있을 것으로 판단 됨.
- 하지만 수층 공간 이용 양식장이 외해에 설치될 경우 수산업법틀 속에서 수산업법 제8조와 관련된 시행규칙에 대한 세부적 제도가 보완되어야 할 것임.

#### 나. 수층 공간 이용을 통한 복합 양식어장 개발 전문가의견 청취

- ▶ 2017년 10월 11일 해양 수층 공간 이용 복합 양식어장 개발을 위한 지역행정기관의 전문가 의견을 청취 하였다 (그림 6-1).



〈그림 6-1〉 수층 공간 이용 어장 개발을 위한 전문가 의견 청취

- 참석자 : 경남도청 어업진흥과 주무 사무관, 통영시청 수산과장.
- 회의내용 : 수층 공간 이용 복합 양식어장 개발 정책방향.
  - 경남도청 사무관 : 외해 수층 공간 이용 어장 개발은 기후변화 대응 자원개발에 시기적절한 대안이라고 생각한다. 최근 2년간 고수온으로 인하여 양식업의 피해가 막대하게 발생하고 있으므로 앞으로는 이러한 해양 공간을 이용하여 기후변화 대응 및 신품종 개발, 위생안전을 고려한 양식어업 개발이 필요하다.
  - 통영시청 수산과장 : 어장 개발은 규모화가 필요하나 신규 어장 개발은 지양하고 시장·군수 재량으로 공영화 된 어장을 개발하여 내만에 있는 어장을 외해쪽으로 이설하는 제도를 수립 할 필요가 있다.

- 경남도청 사무관 : 어장 개발은 수산업법에서 요구하는 외해 양식을 기준으로 개발하는 것은 문제가 없을 것으로 보이며, 다만 세부적인 것은 어업 면허관리 규칙에서 일부 조항을 보완하여 적용하면 별 무리가 없을 것으로 보인다.
  - 통영시청 수산과장 : 공영화 어장개발이 어려우면 연구 교습어업을 통한 결과를 이용하여 월하장이나, 월동장으로 지정하여 내만의 어장과 외해 어장을 계절별로 이동하며 양식하는 방법도 있으므로 이 방법도 고려하여 볼 필요가 있다.
  - 경남도청 사무관 : 도 에서도 이 부분에 많은 관심을 가지고 있고 또한 현재 가리비양식 클러스터 조성 계획도 가지고 있으므로, 기반연구를 통하여 경남도에 제공하여 준다면 경상남도 양식발전에 많은 도움이 될 것으로 본다. 특히 연어,송어 양식같은 것은 전국적인 관심분야이므로 1990년대의 경험을 바탕으로 연구원에서 다시 한번 연구를 통하여 산업화 하여 주었으면 한다.
  - 통영시청 수산과장 : 통영시에서는 특히 가공이 가능한 참가리비 양식에 시장님의 핵심 관심사항이므로 수층 공간 이용 양식 개발을 통하여 통영관내에서 월하까지 가능한 완전 양식이 가능하도록 노력하여 주었으면 한다.
  - 경남도청 사무관: 경남지역에서 많이하던 멍게 양식 사업자가 동해안으로 사업장을 이전하는 사례가 증가하고 있다, 이는 곧 기후변화에 의한 고수온 영향으로 생각한다. 경상남도 지역에도 대수심에 혼합수와 수온약층이 존재한다면 이를 시급히 개발하여 산업화에 적용한다면 경상남도로서도 현안문제에 대한 해결방안이 될 것으로 보인다. 앞으로 행정, 정책적인 방향에서 적극 지원하도록 하겠다.
  - 통영시청 수산과장: 통영시는 현재 굴양식 및 패류 위생안전에 매우 민감하게 대응하고 있다. 이는 곧 경남 전체의 문제이기도 하며 앞으로 가공산업 육성 및 해외수출을 위한 기반조성을 위하여 외해 지역 해양조사시 이부분도 면밀히 검토하여 어장 개발을 하였으면 한다.
- ▶ **종합결론** : 현재 상태로도 외해 면허양식 어업으로 수층 공간 이용 양식이 가능하고 연구기관에서는 연구어업·교습어업으로는 양식이 가능하므로 수산업법 제45조(시험어업 및 연구어업·교습어업)에 따라 추진하고 차후에 양식어장 공영제나 월하, 월동장으로 어장 개발을 유도하는 것이 필요, 양식 품종은 기후변화 대응에 적절한 품종이고 소비량이 가장 많고 경쟁력 있는 품종이므로 앞으로 수층 공간 이용을 통한 규모화 있는 어장 개발을 하여 경상남도 현안문제 해결 사업을 적극적으로 반영하는데 기여가 필요함.

## 제7장 기대성과 및 활용방안

- ▶ 정확하고 빠른 외양어장의 환경정보 (환경요인, 해양병원체) 시스템 구축.
  - 수온 및 용존산소 분포 모델링 결과를 통해 대상생물선정 적지조사에 활용.
  - 고수온 수괴 유입 등 이상 현상 발생 시 대비책 마련.
  - 외연어장의 해양병원체 분석을 통한 HACCP 및 FDA 인증 자료 활용.
  - IoT 등 양식 산업에 4차 산업 기술 도입.
- ▶ 외연어장의 기초생산력 변동을 파악하여 수산자원 생산력 증진 자료 활용.
  - 양식자원의 특정 먹이생물 선호도 파악 및 향후 먹이생물 개발 가능.
  - 양식자원의 동·식물플랑크톤의 모니터링을 통한 자원량 향상을 위한 에너지 흐름 파악.
- ▶ 연근해 해양생물 자원증대 및 자원조성기술 사업에 활용
  - 자원 생물의 산란 가입시기 파악을 통한 자원조성 효과 분석 및 이를 활용한 지속적 이용 및 관리 가능.
  - 협온성 양식생물 개발을 통한 산업화 및 생산성향상 기술에 활용.
  - 부착생물 제어 기술은 양식생물의 폐사 및 고품질을 유지시켜 수산물 생산을 증가시킬 수 있음.
- ▶ 남해안 아열대화에 따른 생물 구조 변동 파악에 활용.
- ▶ 어장환경 및 수산생물자원 관리기술 개발을 위한 자료로 활용.

## 제8장 소요 예산

(단위: 백만원)

세부과제	세부 비목	1차년도	2차년도	3차년도	총 계
총 소요 예산	외부인건비	193.00	178.00	178.00	549.00
	연구장비/재료비	201.00	248.00	207.00	563.00
	연구활동비	60.00	55.00	63.00	178.00
	연구과제 추진비	53.00	53.00	56.00	162.00
	연구수당	16.00	16.00	16.00	48.00
	위탁연구개발비	130.00	30.00	30.00	100.00
	소계	560.00	580.00	550.00	1,690.00
수층 공간 수질 모델링	외부인건비	10.00	10.00	10.00	30.00
	연구장비/재료비	20.00	80.00	40.00	140.00
	연구활동비	3.00	3.00	10.00	16.00
	연구과제 추진비	6.00	6.00	9.00	21.00
	연구수당	1.00	1.00	1.00	3.00
	위탁연구개발비	40.00	30.00	30.00	100.00
	소계	80.00	130.00	100.00	310.00
양식자원 위해 환경 모니터링	외부인건비	35.00	35.00	35.00	105.00
	연구장비/재료비	35.00	35.00	35.00	105.00
	연구활동비	3.00	3.00	3.00	9.00
	연구과제 추진비	6.00	6.00	6.00	18.00
	연구수당	1.00	1.00	1.00	3.00
	위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00
	소계	80.00	80.00	80.00	240.00
양식자원의 먹이생물 (식물플랑크톤) 모니터링	외부인건비	40.00	40.00	40.00	120.00
	연구장비/재료비	40.00	40.00	40.00	120.00
	연구활동비	30.00	30.00	30.00	90.00
	연구과제 추진비	16.00	16.00	16.00	48.00
	연구수당	4.00	4.00	4.00	12.00
	위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00
	소계	130.00	130.00	130.00	390.00
양식자원의 먹이생물 (동물플랑크톤) 모니터링	외부인건비	28.00	28.00	28.00	84.00
	연구장비/재료비	3.00	3.00	3.00	9.00
	연구활동비	3.00	3.00	3.00	9.00
	연구과제 추진비	4.00	4.00	4.00	12.00
	연구수당	2.00	2.00	2.00	6.00
	위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00
	소계	40.00	40.00	40.00	120.00
양식어장 부착생물 저감방안	외부인건비	20.00	20.00	20.00	60.00
	연구장비/재료비	10.00	10.00	10.00	30.00
	연구활동비	10.00	10.00	10.00	30.00
	연구과제 추진비	8.00	8.00	8.00	24.00
	연구수당	2.00	2.00	2.00	6.00
	위탁연구개발비	0.00	0.00	0.00	0.00
	소계	50.00	50.00	50.00	150.00
양식자원 복합단지 조성	외부인건비	60.00	45.00	45.00	150.00
	연구장비/재료비	93.00	80.00	79.00	159.00
	연구활동비	11.00	6.00	7.00	24.00
	연구과제 추진비	13.00	13.00	13.00	39.00
	연구수당	6.00	6.00	6.00	18.00
	위탁연구개발비	90.00	0.00	0.00	0.00
	소계	180.00	150.00	150.00	480.00



## | 참고문헌 |

- 방기영, 김태인, 송용식, 이정현, 김신웅, 조재갑, 김종욱, 우승범, 오재경 2013. 영상강 하구의 2011년 하계 홍수시 퇴적물이동 수치모의. 한국해양해양공학회 논문집 25(2):76-93
- 완도군. 2016. 비단가리비 시험양식 사업
- 제2차 수산자원관리기본계획안 (2016-2020)
- 최진우, 박소현, 서진영. 2011. 남해 장목만 부착생물의 PVC 인공부착판에서의 가입양상. 한국패류학회지, 27, 29-33
- 플라리쉬핑. 2017. 대형선박을 이용한 외해 양식 산업화 기본계획.
- 한국해양과학기술원 2017. 해수공간을 활용한 산업융합 설비 개발 및 실증연구
- 한국 주요 양식종의 수산동물 폐사피해 모니터링. 2012. 한국어병학회지 25(3): 271-277
- 해외 수산생물 질병 발생 동향. 제 2017-28호. 국립수산물품질관리원 검역검사과 (사)대한수산질병관리사회
- Chang KH, Doi H, Nishibe Y, Obayashi Y, Nakano S. 2009. Spatial and temporal distribution of zooplankton communities of coastal Marine waters receiving different human activities (fish and pearl oyster farmings). Th Open Marine Biology Journal 3:83-88
- Fernandez-Jover D, Toledo-Guedes K, Valero-Rodriguez JM, Fernandez-Gonzalez V. 2016. Potential retention effect at fish farms boosts zooplankton abundance. Estuarine, Coastal and Shelf Science 181:144-152
- Fish and fishery products hazards and control guidance. 2011. FDA
- Kim G, Kang HK, Myoung JG. 2017. Seasonal and interannual variation in mesozooplankton community structure off Tongyeong, southeastern coast of Korea, from 2011 to 2014. Ocean Science Journal 52:113-125
- Oliveira, A.P., Mateus, M.D., Cabecadas, G. and Neves, R 2015. Water-air CO2 fluxes in the Tagus estuary plume (Portugal) during two distinct winter episodes. Carbon balance and management 10(2): 1-15
- Pathogen risk analysis for aquaculture production. 2008. FAO Fisheries andAquaculture Technical Paper. No. 519. Rome, FAO. pp. 27-6.