

해양 수층공간 활용 냉수성 복합생물자원 개발

Development of marine cold water layer-based
multi-culture technology for marine biological
resources

2018. 02

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “해양 수층공간 활용 냉수성 복합생물자원 개발” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2018. 02.

연구책임자 : 박 용 주

참여연구원: 명정구, 오승용, 김민석, 최희정
박흥식, 유옥환, 이형근, 이택건
정승원, 장연식, 강형구, 이영욱
장석일, 박진우, 김현정, 김지영
윤보배, 정유경, 김가람, 한혜정
강준수, 김상렬, 강수민, 김강은

목 차

제 1 장 과제개요	1
제 1 절 연구개발의 목표 및 내용	1
1. 연구개발의 목표 및 최근 연구동향	1
가. 최종목표	1
나. 연구원의 비전 및 기능, 중기전략계획 등과의 연계성	1
2. 연차별 연구개발의 목표 및 내용	2
가. 정성적 목표	2
나. 정량적 목표	3
다. 총 연구기간 로드맵	4
제 2 장 2018년도 연구실적	5
제 1 절 계획대비 연구 수행의 적절성	5
1. 연구수행의 적절성	5
2. 예산집행의 적절성	8
제 2 절 연구개발 성과의 달성도 및 우수성	9
1. 연구목표의 정상 추진 및 성과 우수성	9
2. 연구내용 및 달성실적	10
가. 수층 공간 수질 모델링	10
나. 양식자원 위해환경 모니터링	29
다. 양식자원 먹이생물 (동 식물플랑크톤) 모니터링	38
라. 양식어장 부착생물(위해생물) 저감방안	50
마. 양식·자원 복합단지 조성	61
2. 정량적 연구성과	99
3. 기타 성과	100
가. 인력활용/양성 성과	100
나. 국제화/협력 성과	100
제 3 절 연구결과(실적)	102

표 목 차

표 2-2-1. 모델 구축 환경 개요	14
표 2-2-2. 관측 자료 개요	15
표 2-2-3. 조위 검증결과	16
표 2-2-4. 표층수온 검증결과	20
표 2-2-5. 가리비 내장 및 해수 NGS 분석 결과	30
표 2-2-6. 참가리비 내장에 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율	31
표 2-2-7. 비단가리비 내장에 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율	32
표 2-2-8. 주변 해수 내 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율	33
표 2-2-9. 가리비 종에 따른 질병유발 병원체	36
표 2-2-10. 감염병원체의 감염부위 및 증상	36
표 2-2-11. 해양병원체별 프라이머 디자인 및 PCR 조건	37
표 2-2-12. 중형동물플랑크톤 우점종 변동	50
표 2-2-13. 가리비 양식어장 시설 재료 (1ha): 연구교습어업	61
표 2-2-14. 국립수산과학원훈령 제579호 해수면 양식장 적지조사 기준	87
표 2-2-15. 적지조사에 의한 어장환경조사 비교	88
표 2-2-16. 통영 인근해역 수산어종(성어)의 월별 출현(표층, 중층, 저층 어류)	89
표 2-2-17. 통영해역에 출현하는 주요 수산어종(성어, 자치어)의 월별 출현 양상	90

그림 목 차

그림 2-2-1. 수직 좌표계 비교	10
그림 2-2-2. 통영인근 해역 정밀 격자망	11
그림 2-2-3. 운용예보시스템 Level 1 ~ 3 의 모델영역 및 수심 분포	11
그림 2-2-4. 운용예보시스템 Level 3 모델 결과 (예)	12
그림 2-2-5. 연구대상 해역 위치 및 모델 영역 수심 분포	12
그림 2-2-6. 통영 인근해역 Nesting 시스템 흐름도	13
그림 2-2-7. 관측자료 위치도	16
그림 2-2-8. 조위 비교 시계열(마산, 부산신항, 가덕도, 통영, 거제도, 교본초)	17
그림 2-2-9. 표층수온 비교 시계열(마산항, 부산신항, 통영항)	18
그림 2-2-10. 표층수온 비교 시계열(잠도, 해금강, 한산도, 연화도, 소매물도)	19
그림 2-2-11. 조위 비교 시계열(통영, 교본초)	20
그림 2-2-12. 수온 비교 시계열(통영, 교본초)	21
그림 2-2-13. 창조(왼쪽) 및 낙조(오른쪽) 시 유속 벡터(TLEVEL 1)	21
그림 2-2-14. 표층 수온 예측 관측 자료 위치도	22
그림 2-2-15. 수온 비교 시계열 (통영항 부이(위), 연화도(아래))	23
그림 2-2-16. 학림 수온 시계열 (관측자료(위), 예측결과(아래))	23
그림 2-2-17. 표층 (위)과 수심 20m(아래)에서의 7월(왼쪽)과 8월(오른쪽) 월평균 모델 수온 분포	24
그림 2-2-18. CTD 관측 일자 및 위치	25
그림 2-2-19. 연직수온 비교	26
그림 2-2-20. 8월 15일 12시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21°C 경계선 (오른쪽 아래)	27
그림 2-2-21. 8월 15일 18시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21°C 경계선 (오른쪽 아래)	27
그림 2-2-22. 8월 16일 00시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21°C 경계선 (오른쪽 아래)	28
그림 2-2-23. 8월 16일 06시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21°C 경계선 (오른쪽 아래)	28
그림 2-2-24. 월별 채집된 가리비 개수(위) 및 사진(아래)	29
그림 2-2-25. NGS 분석 흐름도	30
그림 2-2-26. 참가리비 내장에서 주요 바이러스 그룹별 비율	31
그림 2-2-27. 비단가리비 내장에서 주요 바이러스 그룹별 비율	32
그림 2-2-28. 주변 해수 내 주요 바이러스 그룹별 비율	34
그림 2-2-29. 참가리비, 비단가리비 내장 및 주변 해수 내 주요 바이러스 그룹별 비율 ...	35

그림 2-2-30. 주변 해수 내 1% 이상 Phycodnavirus 속 수준	35
그림 2-2-31. 참가리비 및 비단가리비에서 해양병원체의 출현 여부	38
그림 2-2-32. 해양 환경 관측 정점 및 조사 장비	39
그림 2-2-33. 수온의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)	40
그림 2-2-34. 염분의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)	41
그림 2-2-35. 용존산소의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)	42
그림 2-2-36. 용존무기질소(좌), 용존무기인(중), 용존규소(우)의 월별 수직 분포	42
그림 2-2-37. 용존유기탄소의 월별 수직 분포	43
그림 2-2-38. chlorophyll-a 의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)	44
그림 2-2-39. 식물플랑크톤 개체수의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)	45
그림 2-2-40. 정점 1에서 식물플랑크톤 주요 우점종의 시공간적 분포	46
그림 2-2-41. 가리비 위 내용물에서 출현한 먹이생물 그룹별 비율	46
그림 2-2-42. 비단가리비와 참가리비 위 내용물 내 먹이생물 비율	47
그림 2-2-43. 가리비 양식장(정점 1) 해수에서 출현한 먹이생물 그룹별 비율	47
그림 2-2-44. 해수와 가리비 위내용물에서 출현한 먹이생물 그룹의 비교	48
그림 2-2-45. 가리비 양식장(정점 1)의 표층해수와 가리비 위내용물에서 먹이생물 비교 ..	48
그림 2-2-46. 가리비 양식장(정점 1)에서 월별 먹이생물 그룹의 수직 분포	49
그림 2-2-47. 중형동물플랑크톤 개체수와 분류군 구성	49
그림 2-2-48. 이매패류 유생 개체수와 종 조성	50
그림 2-2-49. 조사지역에서의 월별 수층 환경 변동	51
그림 2-2-50. 부착판에 출현하는 주요 부착생물	52
그림 2-2-51. 그물부착판의 주요 우점종	53
그림 2-2-52. 그물 부착판에 가입되는 부착생물(천이과정)	54
그림 2-2-53. 부착판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(천이과정)	55
그림 2-2-54. 그물부착판에 가입되는 부착생물(월별)	56
그림 2-2-55. 월별 부착판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(매월)	57
그림 2-2-56. 동판에 가입되는 부착생물(월별)	58
그림 2-2-57. 동판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(매월)	59
그림 2-2-58. 참가리비와 비단가리비의 패각에 출현하는 부착생물	60
그림 2-2-59. 통영 지역에 출현한 부착생물의 분류군 비율(갑각류 제외)	60
그림 2-2-60. 국내에 출현한 부착생물 종 리스트(예)	60
그림 2-2-61. 가리비 양식어장시설에 필요한 소재	61
그림 2-2-62. 가리비 양식어장의 설계도서 평면도	62
그림 2-2-63. 참가리비 양식어장시설의 측면도	62
그림 2-2-64. 어장시설 준비 및 시설	64
그림 2-2-65. 먹이생물로 이용되는 대표적인 식물플랑크톤	65

그림 2-2-66. 먹이생물 조사정점	66
그림 2-2-67. 정점 1-1의 35m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	67
그림 2-2-68. 정점 1-1의 45m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	68
그림 2-2-69. 정점 2의 30m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	69
그림 2-2-70. 정점 2의 40m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	70
그림 2-2-71. 정점 2의 50m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	71
그림 2-2-72. 정점 2의 60m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	72
그림 2-2-73. 정점 3의 30m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	73
그림 2-2-74. 정점 3의 40m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	74
그림 2-2-75. 정점 3의 50m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	75
그림 2-2-76. 정점 3의 60m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)	76
그림 2-2-77. 조사기간 전체 먹이생물 현존량 평균	77
그림 2-2-78. 여름철(7~9월) 먹이생물 현존량 평균	77
그림 2-2-79. 통영시 도산면 수월리 지선의 가이식 어장(좌) 및 부착기의 치패(우)	78
그림 2-2-80. 월하 중간육성용 큰가리비 치패	78
그림 2-2-81. 월하 중간육성용 큰가리비 치패참가리비 치패 월하시설	79
그림 2-2-82. 월하용 참가리비 치패(좌) 및 채롱망(우)	79
그림 2-2-83. 플로타 조사에 따른 수중시설 영상	79
그림 2-2-84. 월하 후 참가리비 치패 수확	80
그림 2-2-85. 보세구역에서의 참가리비 이식	81
그림 2-2-86. 성장선이 마모된 참 가리비 중간육성패	82
그림 2-2-87. 채롱망 이식과정	82
그림 2-2-88. 참가리비 성장률 계측 및 양식어장 환경 유지 관리	83
그림 2-2-89. 참가리비의 성장 그래프	85
그림 2-2-90. 해중공원 전망대(선박형)	92
그림 2-2-91. 멕시코 칸쿤의 수중미술관	93

그림 2-2-92. 센가꾸만해중공원 (일본 니이가타현)	94
그림 2-2-93. 통영 해중고원 개념도(평면도)	95
그림 2-2-94. 통영해중공원 수층별 시설 개념도	96

제 1 장 과제개요

제 1 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표 및 최근 연구동향

가. 최종목표

- 외연어장의 수층공간적 어장 환경 관리 및 위생안전 기술 개발
- 대상생물 양식에 적합한 통영 인근해역 수층 공간 파악을 위한 예보 수치모델링 시스템 구축방안 마련
- 남해 해역의 해양수층공간을 이용한 해수유동 및 환경관리, 해역위생안전 복합양식 해양생물자원 개발 연구체계수립



나. 연구원의 비전 및 기능, 중기전략계획 등과의 연계성

□ 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- 해양자원 관리 및 이용 기술의 첨단화
 - 본 연구 내용은 해양과기원의 고유미션인 해양생물자원의 확보·활용에 대한 대응 연구에 해당되며, 해양환경 및 해양생물자원의 관리가 더욱 중요한 시점에서 해양자원의 관리와 이용기술의 첨단화를 이룩할 것임.
 - 본 과제에서 개발 적용하고자 하는 기술은 세계 최고수준에 달하여 해양과기원이 그 비전인 해양과학기술의 글로벌리더로 발전하는 데 크게 기여할 것임

□ 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성

- 양식산업의 규모화 및 첨단기술 보급 확대
 - 대규모 시설 투자가 필요한 품목에 대해 대기업의 투자 참여를 허용*하고, 외해 양식장의 규모 대폭 확대(* 17.3, 20→60ha)
 - 수산 투자·창업 활성화와 해외시장 개척 확대

2. 연차별 연구개발의 목표 및 내용

가. 정성적 목표

구분	연차별 성과목표 및 연구내용		
	성과목표	연구내용	연구비 (직접비,천원)
1차년도 (2018)	수치모델 시스템 구축	- 격자망 조성 - 조석, 수질, 흐름 모델 구축 - KIOST 운영해양예보시스템 자료 적용 및 Nesting 환경 구축	45,000
	해양병원체 검출기술 개발	- PCR 기반 양식생물 질병유발 특정 병원체 검출기술 개발 - NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체병원체 검출기술 개발	45,000
	중·저층 양식어장내 먹이생물 분포 및 환경요인 변화	- 차세대 염기서열 분석 및 현미경 분석을 통한 동,식물플랑크톤의 격월별 출현량 분석 - 차세대염기서열 분석을 통한 양식자원의 먹이특성 규명	65,000
	중·저층해역 부착생물 현황 조사	- 부착관을 이용한 부착생물 가입 모니터링 (1개 정점, 수심별, 월별 조사) - 국내 출현하는 부착생물 현황 분석	27,000
	심층 어장 설계 및 대상품종 선정	- 외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술개발 (어장 실시설계 및 어장시설(2ha) 시설) - 대상품종의 양성기술 개발 (대상생물 종묘 선정 연구 및 대상품종의 성장률 조사) - 어장관리 ICT, 자동화시스템 장비적용방안 기술개발을 위한 매뉴얼 개발 - 외해역에서의 양식생산 시설과 연계한 해양수중비즈니스공원 모델개발	88,000
	계		270,000
	합 계		270,000

나. 정량적 목표

- 성과목표 난이도 : 1. x (선정시/전년도 연차평가지 부여된 난이도 기재할 것)

구분		가중치*	달성 목표(건)		세부 가중치	
과학적 성과	논문	0.5	mrnIF 81점 이상	1	60%	
			mrnIF 61~80			
			mrnIF 41~60	1	30%	
			mrnIF 40점 이하			
			SCOPUS	1	10%	
			소계	3	100%	
	저서			국제저서		
				국내저서 (시범 지침서)		
				국제편저		
				역서 등		
소계						
기술적 성과	특허		국제특허 출원			
			국제특허 등록			
			국제특허 추가등록			
			국내특허 출원			
			국내특허 등록			
경제적 성과	기술료		기술이전 성과			
사회적,인프라.	홍보활동	0.15	연구과제 홍보	1	30%	
			소계		30%	
	대외활동	0.3	해양수산부 연구사업 개발 관련 활동 및 복합양식 어장수립 관련 활동	2	70%	
			소계		100%	
기타성과	연구노트	0.05	분야별 연구내용 작성	10	10%	
			소계		100%	
계		1			100%	

다. 총 연구기간 로드맵

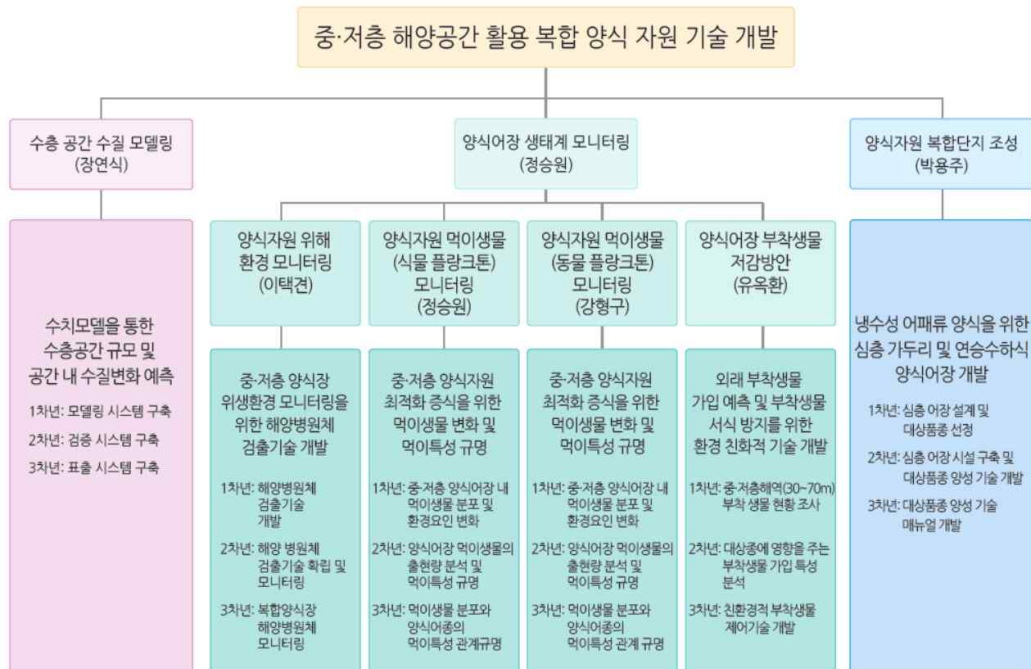


제 2 장 2018년도 연구실적

제 1 절 계획대비 연구 수행의 적절성

1. 연구수행의 적절성

- 본 연구의 추진 체계는 1) 중·저층 수심별 어장 환경 관리 기술, 2) 해수유동 수치모델 개발, 3) 해양수층공간 이동 기술 개발, 4) 해양생물자원 개발 및 자원조성, 레저관광 연계 방안 수립으로 구성



○ 수층 공간 수질 모델링

- Nesting 기법을 통한 2 단계 격자망 구성: 기존의 1/60° 운용해양예보시스템 격자 사용 → 1/180° 격자 구성 → 통영 수층공간 인근 해역 정밀모델링 격자 (10 ~ 20m) 구성
- 조석 및 흐름 모델: KIOST 운용해양예보시스템 조석모델 결과를 사용하여 정밀 모델링 경계조건 구성 및 수직 좌표계 비교 (직교 좌표계, 시그마 좌표계, 하이브리드 좌표계 등)
- 수질 모델: 수층공간 수온 및 용존 산소량 초기조건 구성 및 화학식 직접 계산법 및 Iteration 통한 계산 방법 비교
- 모델 자료 검증: 관측자료와 모델 결과 비교 및 보정
- 자료동화: 기상자료 입력시스템 구축, 현장 관측 자료 활용방안 모색
- 이상 현상 대비 시뮬레이션: 수층공간 인근 해역에 고수온 수괴가 침범하는 사례 조사, 다양한 경우를 상정하여 모델 결과 비교, 이상 현상이 발생할 경우 대비책 마련
- 표출 시스템: 파이썬 프로그래밍 언어 사용하여 신속하고 편리한 표출 시스템 개발

○ 양식자원 위해 환경 모니터링

- 양식자원 병원체 현장 모니터링은 위 그림과 같이 3개 정점에서 5개 수심별로 월별 조사를 실시함.
- PCR 기반 해양병원체 검출: 연어송어, 가리비, 우렁챙이의 질병을 유발하는 특정 병원체의 염기서열을 분석

하고 이를 검출할 수 있는 PCR 기반 검출법 확립

- NGS 기반 복합양식장 해양환경 모니터링: 바이러스, 박테리아, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤을 대상으로 차세대염기서열분석을 통한 복합양식장 해양환경 모니터링 기법 적용

○ 양식자원의 먹이생물 모니터링

- 현장 조사는 격월으로 수행하며 식물플랑크톤의 경우 3개 정점 및 5개 수심에서, 동물플랑크톤의 경우 3개 정점에서 수직채집을 실시함
- 채집 후 분석은 현미경을 통한 개체수 및 종조성 및 차세대 염기서열을 기반 분석을 통한 자료 해석
- 양식자원의 먹이생물 특이성 분석: 가리비 및 우렁챙이의 위 내용물을 추출하여 유전자를 확보, 메타제노믹스 적용 먹이생물 특성 분석

○ 양식어장 부착생물 저감방안

- 계절별로 조사 주변 해역의 양식장 및 구조물에 서식하는 부착생물 현황 조사
- 조사해역 내의 시험 구조물 설치 지역에서 대상종의 서식 위치를 고려하여 수심 별 부착판 (부착판 기질)을 초기에 설치하여, 부착판에 가입되는 부착생물 군집 및 양식어중에 영향을 주는 부착생물 가입 분석
- 대상해역에서의 해양환경 변동과 부착생물의 가입과의 상관분석
- 실패역에서 환경특성을 고려한 부착생물 제어를 위한 최적 기술 검증
- 본 연구 기간에 획득된 부착생물의 가입 시기, 해양환경 특성에 따른 가입 정보 등이 포함된, 부착생물 현황 및 제어방법 매뉴얼 제작

○ 양식자원 복합단지 조성

- 중·저층 어장 설계 및 시설 기술개발: 어장 실시설계 및 어장시설(대략 2ha) 시설
- 대상품종의 양성기술 개발: 대상생물 종묘선정 및, 수층별, 품종별, 시기별 성장률 조사
- 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
- 양식생산 시설과 연계한 해양공간의 복합활용을 위한 비즈니스 공원 모델 개발

[연구진도 적정 수행여부]

세부 연구개발 목표	월별 추진 일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 수층 공간 수질 모델링												
1.1. 격자망 및 정밀모델 경계조건 구성		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1.2. Nesting 시스템 구축			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1.3. 수직 좌표계 비교								■	■	■	■	■
1.4. 수질모델 초기조건 및 화학실 계산법 비교							■	■	■	■	■	■
2. 양식자원 위해 환경 모니터링												
2.1. PCR 기반 양식생물 질병 유발 특정병원체 검출기술 개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.2. NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체병원체 검출기술 개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3. 양식자원 먹이생물 (동 식물플랑크톤) 모니터링												
3.1. NGS 및 현미경 복합 분석을 통한 식물플랑크톤의 격월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계분석	■		■		■		■		■		■	
3.2. NGS 기법 적용 양식자원의 먹이특성 규명	■	■	■		■	■		■	■	■	■	
3.3. 중형동물플랑크톤 및 일시동물플랑크톤의 격월별 출현량 분석	■		■		■		■		■		■	
3.4. 중형동물플랑크톤 출현량과 환경요인간의 상관분석									■	■	■	■
4. 양식어장 부착생물 저감방안												
4.1. 부착관을 이용한 부착생물 가입 모니터링			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.2. 국내 출현하는 부착생물 현황 분석	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

세부 연구개발 목표	월별 추진 일정											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5. 양식·자원 복합단지 조성												
5.1 외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술개발												
5.2 대상품종의양성기술개발(수층별, 품종별, 계절별 모니터링)												
5.3 품종별 양식적지 관정 도서 및 수층 공간을 이용한 냉수성 어패류 어장관리 매뉴얼 작성												
5.4 양식생산 시설과 연계한 해양공간의 복합활용을 위한 비즈니스 공원 모델 개발												

※ 파란색 : 계획 / 붉은색 : 실적

2. 예산집행의 적절성

□ 사업비 집행 내용 (2018.11.05 기준)

항 목		사업비 집행비율 (천원,%)			
		당초계획	현재집행	집행율	증감사유
인건비	외부인건비	103,214,520	82,559,269	79.99	퇴사 및 신규채용에 따른 감액
직접비	연구활동비	38,040,000	10,764,439	28.30	일본학회 참가 취소에 따른 감액
	연구기자재및재료비	88,344,480	89,861,990	101.72	현장조사에 따른 재료비 증액
	연구장비구입비	0	0		
	연구과제추진비	26,751,000	21,008,514	78.53	
	회의비	3,390,000	3,291,680	97.10	
	과학문화활동비	0	0		
	연구실안전관리비	810,000	0	0.00	
	지적재산권처리비	0	0		
연구관리비	연구수당	9,450,000	3,185,000	33.70	
위탁연구비	위탁연구개발비	0	0		
합계		270,000,000	210,670,892	78.03	

[연구비 예산대비 집행실적 평가도]

연구비 집행실적	정상	✓	부진	초과
집행실적 부진 (또는 초과) 사유	정상 집행중			
당해연도 종결시까지 연구비 예상집행률	100 %			

제 2 절 연구개발 성과의 달성도 및 우수성

1. 연구목표의 정상 추진 및 성과 우수성

총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%)					
구분	연차별 달성내용				연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	성과목표	연구내용	가중치 (A)	달성실적	
1년차 (2018)	1. 수층 공간 수질 모델링	1-1. 격자망 및 정밀모델 경계조건 구성	0.15	- 정밀 격자망 구축 완료	95%
		1-2. Nesting 시스템 구축		- 모델 경계조건 구성 완료	
		1-3. 수직 좌표계 비교		- Nesting 시스템 구축 완료	
		1-4. 수질모델 초기조건 및 화학실 계산법 비교		- GVC 수직 좌표계 구축 완료	
	2. 양식자원 위해 환경 모니터링	2.1. PCR 기반 양식생물 질병 유발 특정병원체 검출기술 개발	0.15	- 4종 가리비 질병유발 병원체(<i>Vibrio splendidus</i> , <i>Perkinsus gugwadi</i> , <i>Margolisiella</i> , acute viral necrobiotic virus) 검출을 위한 프라이머 디자인 및 PCR 수행	100%
		2.2. NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체병원체 검출기술 개발		- 큰가리비 및 비단가리비에서 조직괴사를 유발하는 <i>V. splendidus</i> 검출됨	
	3. 양식자원 먹이 생물 (동 식물플랑크톤) 모니터링	3-1. NGS 및 현미경 복합 분석을 통한 식물플랑크톤의 격월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계분석	0.25	- NGS 및 현미경 기반 수층공간 먹이생물 분석	95%
		3-2. NGS 기법 적용 양식자원의 먹이특성 규명		- 수층공간 가리비 최적 성장 수심 파악을 위한 환경요인 분석	
		3-3. 중형동물플랑크톤 및 일시 동물플랑크톤의 격월별 출현량 분석		- NGS 기반 가리비 위 내용물내 먹이생물 분석	
		3-4. 중형동물플랑크톤 출현량과 환경요인간의 상관분석		- 3월~9월 분석으로 동물플랑크톤 군집 구성 및 변동 확인	
4. 양식어장 부착 생물 저감방안	4.1. 부착판을 이용한 부착생물 가입 모니터링	0.1	- 월별 부착판 이용 부착생물 모니터링	80%	
	4.2. 국내 출현하는 부착생물 현황 분석		- 통영 및 국내 연안 부착생물 월별 현황 분석		
5. 양식·자원 복합단지 조성	5.1. 외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술개발	0.35	- 소재검토,설계서작성,시설완료	95%	
	5.2. 대상품종의양성기술개발(수층별, 품종별, 계절별 모니터링)		- 참가리비,비단가리비,송어,멍게 양성중, 질병,환경모니터링 계속		
	5.3. 품종별 양식적지 판정 도서 및 수층 공간을 이용한 냉수성 어패류 어장관리 매뉴얼 작성		- 가리비류,송어,멍게 3계절 10m층이용, 클로로필 최고분포		
	5.4. 양식생산 시설과 연계한 해양공간의 복합활용을 위한 비즈니스 공원 모델 개발		- 여름철 -30m 이심양성필요		
계		1.0	- 어장 관리 매뉴얼 세부 매뉴얼 개발 중	94.25%	
			- 통영 연안 100여종의 생물 달력 개발		
			- 생태특성 및 생물자원 증식 및 해양레저 복합 활용 해중공원 모델 제시		

2. 연구내용 및 달성실적

가. 수층 공간 수질 모델링

1) 격자망 및 정밀모델 경계조건 구성

○ MOHID 모델

- MOHID 모델은 포르투갈 리스본 대학 소속의 IST(Instituto Superior Técnico)의 MARETEC(Marine and Environmental Technology Research Center)에서 1985년부터 개발된 모델로 해양과 호소 등에서 1, 2, 3차원의 적용이 가능한 모델임.
- MOHID 모델은 연안과 하구역에 적용할 수 있는 다기능 3차원 수치해석 모델로 기본적으로 조석 및 해일과 같은 연안 및 하구역에서의 물리적 작용을 계산하며, 유체특성(수온, 염분 등), 오일러리안 물질이동, 라그랑지안 물질 이동, 난류(turbulence), 퇴적물의 이동, 침식과 퇴적, 기상 및 파랑조건 고려, 수질 및 생태, 유류확산 등을 계산할 수 있는 60개 이상의 모듈로 구성되어 있으며, 네스팅(nesting) 기법을 적용함으로써 보다 정밀하게 관심지역의 해황을 재현할 수 있는 모델임.

○ MOHID 격자망

- MOHID 모델은 수평적으로 직교(cartesian) 격자망 사용.
- 수직적으로 시그마좌표계와 Z-level 좌표계를 개별적으로 또는 혼합하여 사용할 수 있는 GVC (General Vertical Coordinate) 시스템 적용.

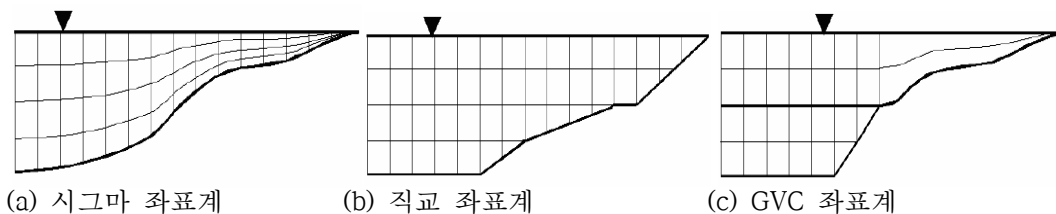
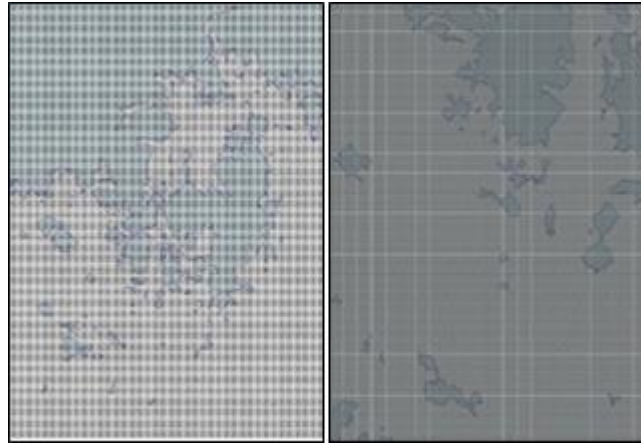


그림 2-2-1. 수직 좌표계 비교. (a) 시그마 좌표계, (b) 직교 좌표계, (c) GVC 좌표계

- 그림 2-2-1은 3개의 수직 격자망 비교. 시그마 격자망은 수직 격자가 해저지형을 따라 구성되어 수심이 얇은 지역은 촘촘하게 격자망 구성 가능하여 연안지역 모델링에 적합.
- 직교 좌표계는 수심에 상관없이 일정한 크기의 격자망으로 구성되며 수심이 깊은 대양 모델링에 적합.
- MOHID의 GVC 격자망은 수심이 얇은 표층에서는 시그마 격자망을 사용하고 그보다 저층에서는 직교좌표계를 적용하여 연안과 대양 모두 적용 가능.
- 특히 GVC 격자망은 대한해협과 같이 천해에서 대양으로 수심이 급격히 변화하는 지역에서도 높은 정확성을 유지하는 장점이 있으며 이에 운용예보시스템에서 한반도주변 연환순환 예측 모델 시스템에 적용.

○ 통영인근 해역 정밀 격자망

- MOHID 모델의 직교 격자망을 사용하여 통영 인근해역 정밀격자망 구성 : 60m.
- 운용예보시스템의 격자망에서 Nesting 기법을 사용하여 점차 격자간격을 세밀하게 구성.
- 그림 2-2-2는 통영 인근해역 300m 및 60m MOHID 정밀 모델 격자망을 나타냄.



(a) 300m 격자망

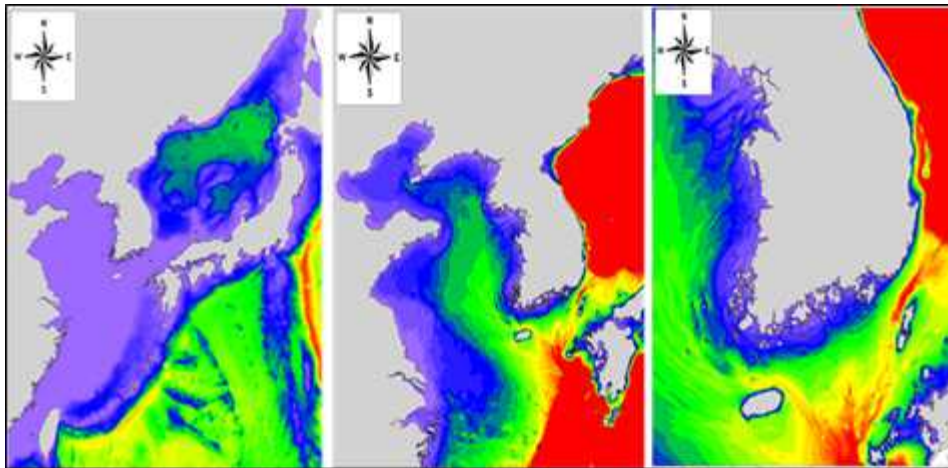
(b) 60m 격자망

그림 2-2-2. 통영인근 해역 정밀 격자망

2) Nesting 시스템 구축

○ KIOST 운용예보시스템

- 운용예보시스템은 위에서 언급한 장점 등으로 인해 연안순환예측 모델링에 MOHID모델 적용.
- 운용예보시스템의 연안순환예측 모델링은 총 4단계의 Nesting 시스템으로 구성.



(a) Level 1

(b) Level 2

(c) Level 3

그림 2-2-3. 운용예보시스템 Level 1 ~ 3 의 모델영역 및 수심 분포

- Level 1의 수평격자는 ~ 9km 이며, Level 2는 ~ 4km, Level 3는 ~2km 그리고 Level 4는 약 300m 의 해상도를 가짐.
- 그림 2-2-3은 Level 1 ~ 3의 모델 영역과 영역 내 수심 분포를 보여줌.
- Level 1은 기압과 풍속/풍향만을 고려하는 2차원 조석모델.
- Level 2 부터는 수직으로 40개 층을 고려하는 3차원 모델(시그마 8개 층, 직교 32개 층).
- 그림 2-2-4는 운용예보시스템 Level 3 모델 결과의 한 예(해수면 수위, 흐름, 수온 및 염분 분포)를 보여 줌.

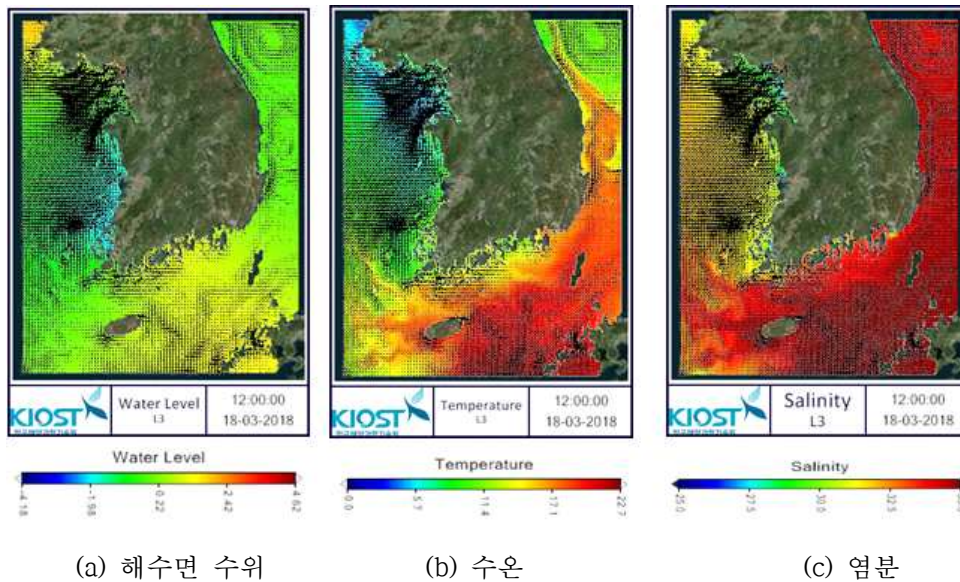
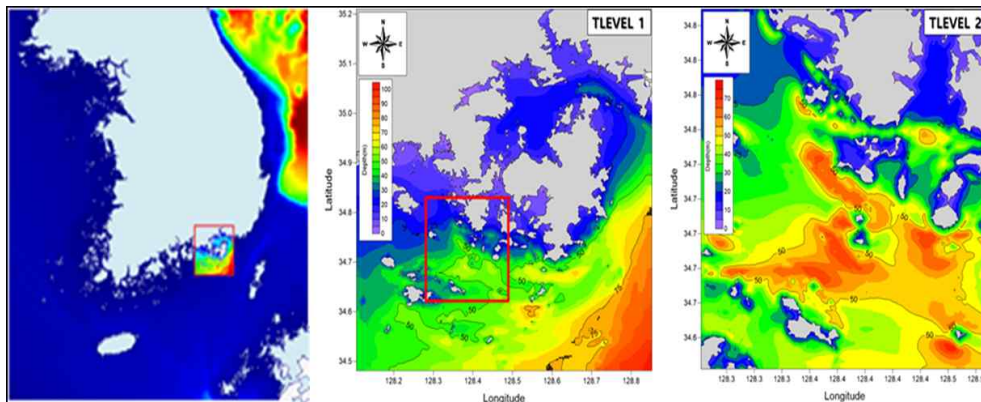


그림 2-2-4. 운용예보시스템 Level 3 모델 결과 (예)

○ 통영 인근해역 예측시스템

- 운용예보시스템의 Level 3 결과를 사용하여 연구대상 지역인 통영 인근해역 해수유동 및 수온, 염분 등의 해황 예측 시스템 구축 : TLEVEL 1 및 TLEVEL 2.



(a) 연구대상 지역 위치 (b) 수심 분포 (TLEVEL 1) (c) 수심분포 (TLEVEL 2)

그림 2-2-5. 연구대상 해역 위치 및 모델 영역 수심 분포

- TLEVEL 1(통영 Level 1): 운용예보시스템의 Level 3(2km 격자) 결과를 Nesting 하여 통영과 남해안 일부를 포함하는 격자망 약 300m 의 1차 광역모델 구성(그림 2-2-5(b)).
- TLEVEL 2(통영 Level 2): TLEVEL 1의 결과를 Nesting 하여 다시 연구대상 영역에 정밀 격자망 (약 60m)을 구성 (그림 2-2-5(c)).

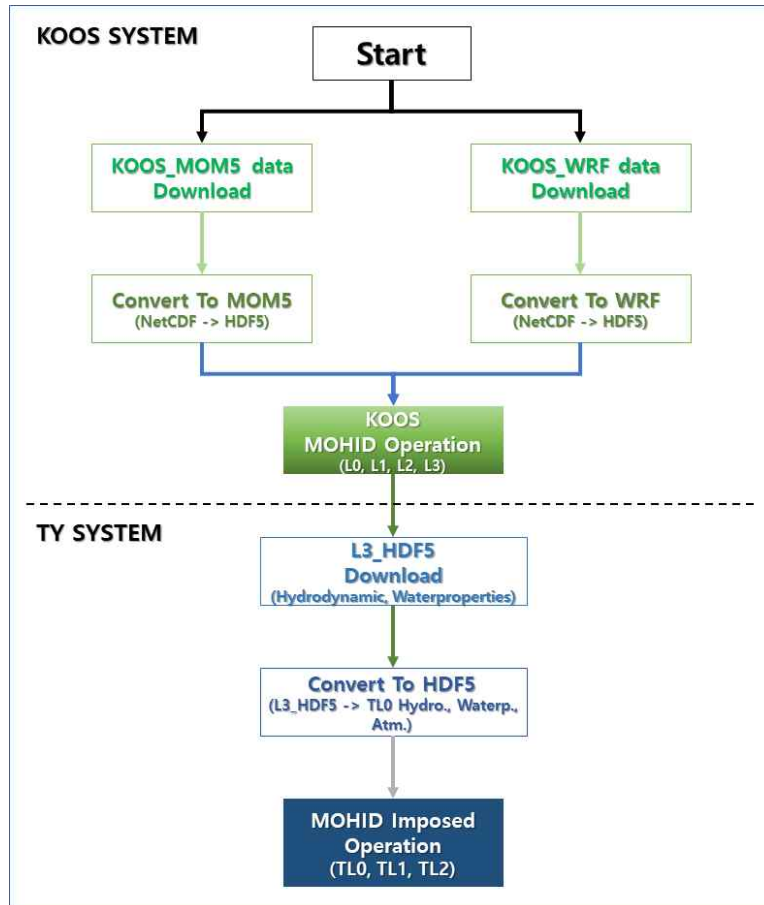


그림 2-2-6. 통영 인근해역 Nesting 시스템 흐름도

- 그림 2-2-6은 연구대상 해역에 정밀모델 시스템을 구축하기 위한 운용예보시스템으로 부터의 Nesting 시스템 흐름도를 보여줌.
- 먼저 운용예보시스템의 북대서양 순환예측시스템(KOOS_MOM5)과 기상예측시스템(KOOS_WRF)의 결과 자료를 사용하여 운용예보시스템 연안순환예측시스템(KOOS MOHID)의 Level 1 구축.
- KOOS_MOHID 의 Level 1 자료를 Nesting 하여 Level 2 및 Level 3 구축.
- Level 3 자료(L3_HDF5)를 Nesting 하여 통영인근 해역의 TLEVEL 1 구축(300m).
- TLEVEL 1 자료를 Nesting 하여 연구대상 영역에 TLEVEL 2 구축.

3) 수직 좌표계 비교

- 모델 입력조건 및 경계조건 구성

- 그림 2-2-6의 KOOS_MOM5 모델 결과로부터 해수면 수위, 해류, 수온, 염분 자료를 사용하고 KOOS_WRF에서 계산된 기상자료를 사용하여 KOOS_MOHID의 초기조건 및 경계조건 구성.
- TLEVEL 1 및 TLEVEL 2의 수심은 국립해양조사원에서 발행한 수치해도를 기본으로 하여 당 해역에 대한 수심자료를 구축하고 우리나라 주변 해역의 30초 격자수심(서승남, 2008)과 GEBCO(General Bathymetric Chart of the Oceans) 수심자료 및 가용한 실측 수심자료를 종합하여 수심을 보완·적용함.
- TLEVEL 1의 경계조건은 KOOS_MOHID Level 3의 결과(해수면 수위, 유속, 수온, 염분, 기상 등)를 적용.
- TLEVEL 2는 TLEVEL 1의 계산결과 Nesting 하여 사용.
- 모델 수행시 계산 결과의 안정적인 도출을 위하여 조석, 수온, 염분 및 기상조건(기압, 기온 등)을 반영한 모델을 10일간 spin-up한 후 그 결과를 초기조건으로 하여 모델을 재수행(restart) 방법으로 계산을 수행함.
- 각 모델의 계산 간격은 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) 안정조건을 고려하여 TLEVEL 1은 60초, TLEVEL 2는 20초 를 사용함.
- 표 2-2-1은 TLEVEL 1과 TLEVEL 2의 모델 구축 환경을 나열.

표 2-2-1. 모델 구축 환경 개요

구분		내용
계산기간		2018년 7월 1일 ~ 8월 31일
수직격자		수직 15개 층(sigma : 3, z-level : 12)
TLEVEL1	격자크기	1/288°(약 300m)
	계산영역	128° 06'15"E~128° 51'15"E 34° 28'15"N~ 35° 13'45"N
	시간간격	60초
	외력조건	KOOS_MOHID Level3의 예측결과(수위, 유속, 수온, 염분, 기상 등)
TLEVEL2	격자크기	1/1440°(약 60m)
	계산영역	128° 16'52"E~128° 29'22"E 34° 37'17"N~ 35° 49'47"N
	시간간격	20초
	외력조건	TLEVEL1의 예측결과(네스팅 시스템)

4) 수질모델 초기조건 및 화학식 계산법 비교

○ 개요

- Nesting 시스템을 사용하여 구축한 통영 인근해역 TLEVEL 1과 TLEVEL 2 테스트 모델링 결과 기술.
- 테스트 모델은 검증과 예측의 두 부분으로 나누어 수행하였으며 검증은 신뢰성 검토를 위해 관측 자료와 모델 결과 간 비교를 하였으며 2018년 4월 1일~30일 기간 동안 모델 수행.
- 두 번째 테스트 모델링은 여름철 저층 냉수괴 예측을 목표로 2018년 7월 1일~8월 31일 기간 동안 모델 수행.
- 검증 자료로 남해연안에 위치한 6개 국립해양조사원 조위관측소(마산, 부산신항, 가덕도, 통영, 거제도, 교본초)의 조위자료를 사용하였으며, 예측결과와 관측자료간의 비교·검증은 시계열 비교 및 통계분석(결정계수(R^2), 평균제곱근오차(RMSE))을 통해 검토.
- 또한 수질모델 검증을 위한 수온자료는 국립해양조사원 3개 정점(마산항, 부산항신항, 통영항)의 해양관측부이 자료와 기상청의 5개 정점(잠도, 해금강, 한산도, 연화도, 소매물도)의 파고부이 자료를 사용했으며 수온은 검증은 시계열 비교 및 통계분석(평균제곱근오차(RMSE))을 통해 검토하였고, 관측자료의 개요 및 위치는 각각 표 2와 그림 2-2-7에 제시.

표 2-2-2. 관측 자료 개요

항목	정점명	관측기간	검증방법
조위	국립해양조사원 조위관측소 (6개소 : 마산, 부산신항, 가덕도, 통영, 거제도, 교본초)	2018. 07. 01 ~ 08. 31	시계열 / R^2 , RMSE 검토
수온	기상청 파고부이 (5개소 : 잠도, 해금강, 한산도, 연화도, 소매물도)		시계열 검토
	국립해양조사원 해양관측부이 (3개소 : 마산항, 부산항신항, 통영항)		시계열 검토
	국립수산과학원 실시간 관측정보 (1개소 : 학림)	시계열 검토	

* RMSE : Root Mean Square Error(평균제곱근오차)

* R^2 : coefficient of determination(결정계수)

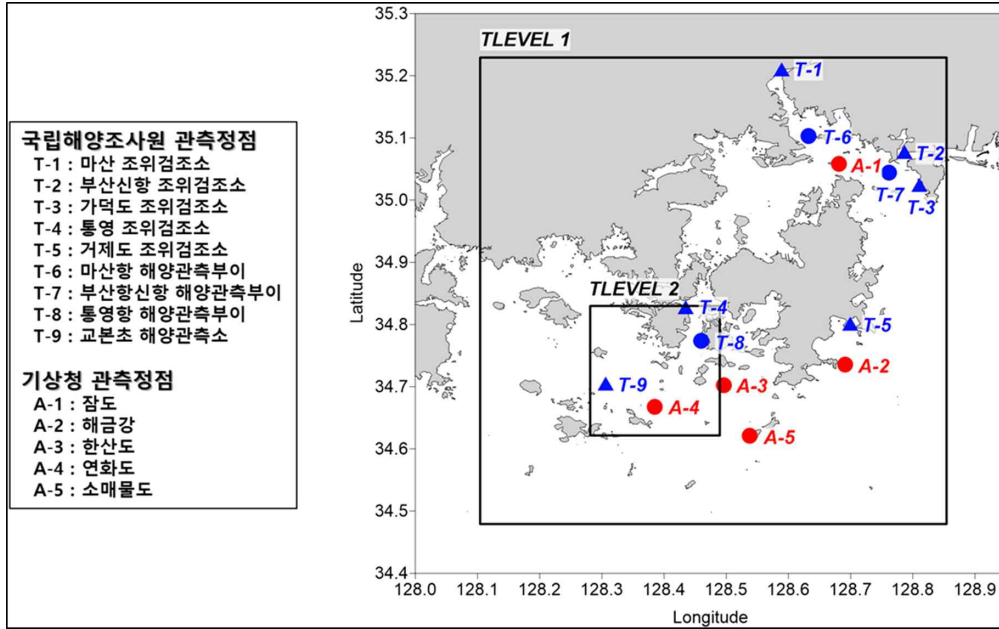


그림 2-2-7. 관측자료 위치도

○ 테스트 모델 수행 # 1: 검증

- 모델 수행 기간 : 2018년 4월 1일 ~ 30일.

- TLEVEL 1 : 조위.

◎ 국립해양조사원 남해연안 조위관측소 6개소(마산, 부산신항, 가덕도, 통영, 거제도, 교본초)의 관측조위와 예측조위간의 시계열비교를 실시하여 구축된 모델의 신뢰성 분석.

◎ 관측자료와 예측결과간의 정량적 비교를 위해 1시간 간격의 자료를 분석하여 결정계수(R^2) 및 평균제곱근오차(RMSE)를 계산하고 검토하였으며 조위의 경우 5개 조위관측소의 평균 결정계수는 0.94, 평균제곱근오차는 0.13으로 관측값과 높은 상관관계를 나타냄(표 2-2-3).

표 2-2-3. 조위 검증결과

관측정점		결정계수(R^2)	평균제곱근오차 (RMSE, m)
국립해양조사원 조위관측소	부산신항	0.935	0.122
	가덕도	0.942	0.114
	거제도	0.960	0.102
	마산	0.893	0.168
	통영	0.958	0.133
	교본초	0.956	0.151
평균		0.940	0.130

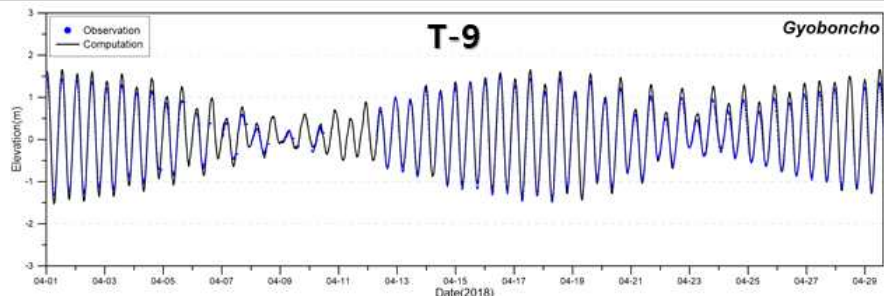
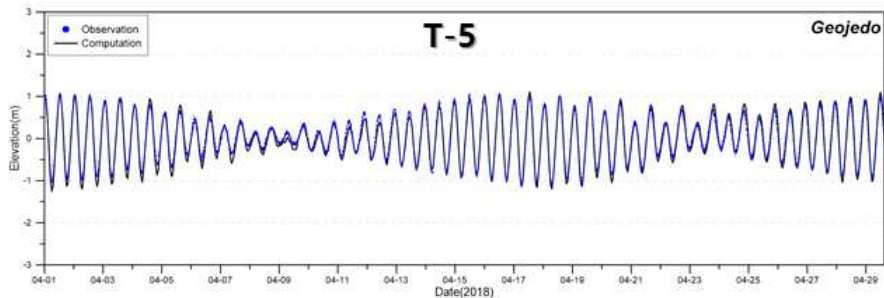
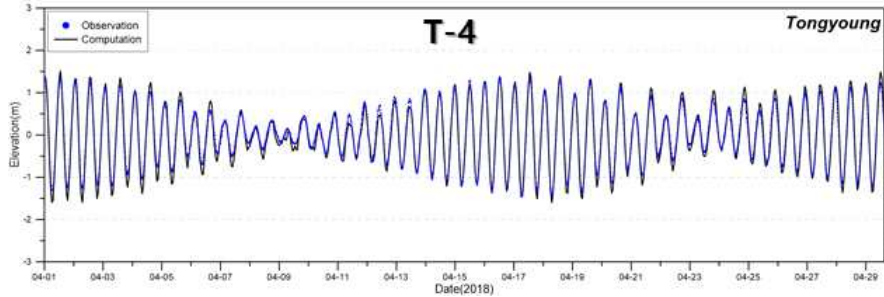
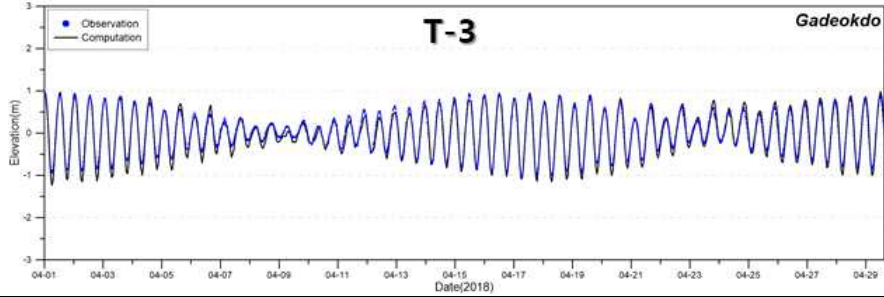
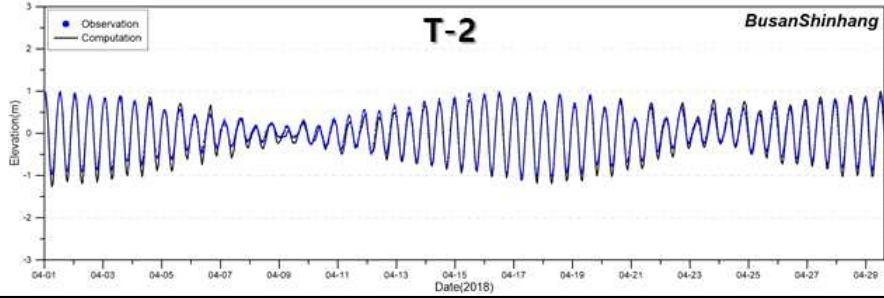
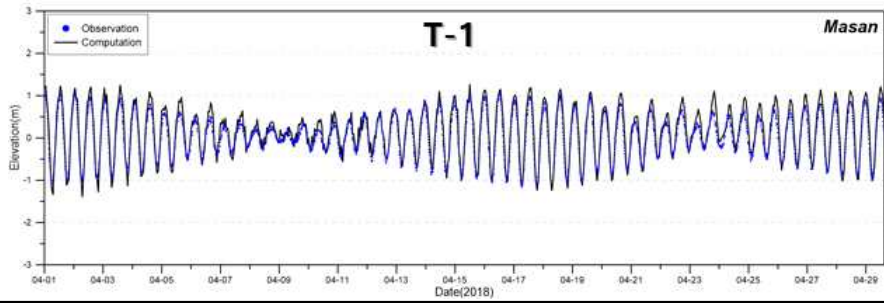


그림 2-2-8. 조위 비교 시계열(마산, 부산신항, 가덕도, 통영, 거제도, 교본초)
- 17 -

◎ 그림 2-2-8은 관측조위와 예측조위를 비교한 시계열로, 모델 값은 Q6개 검조소 관측조위의 경향성을 잘 재현.

- TLEVEL 1 : 수온.

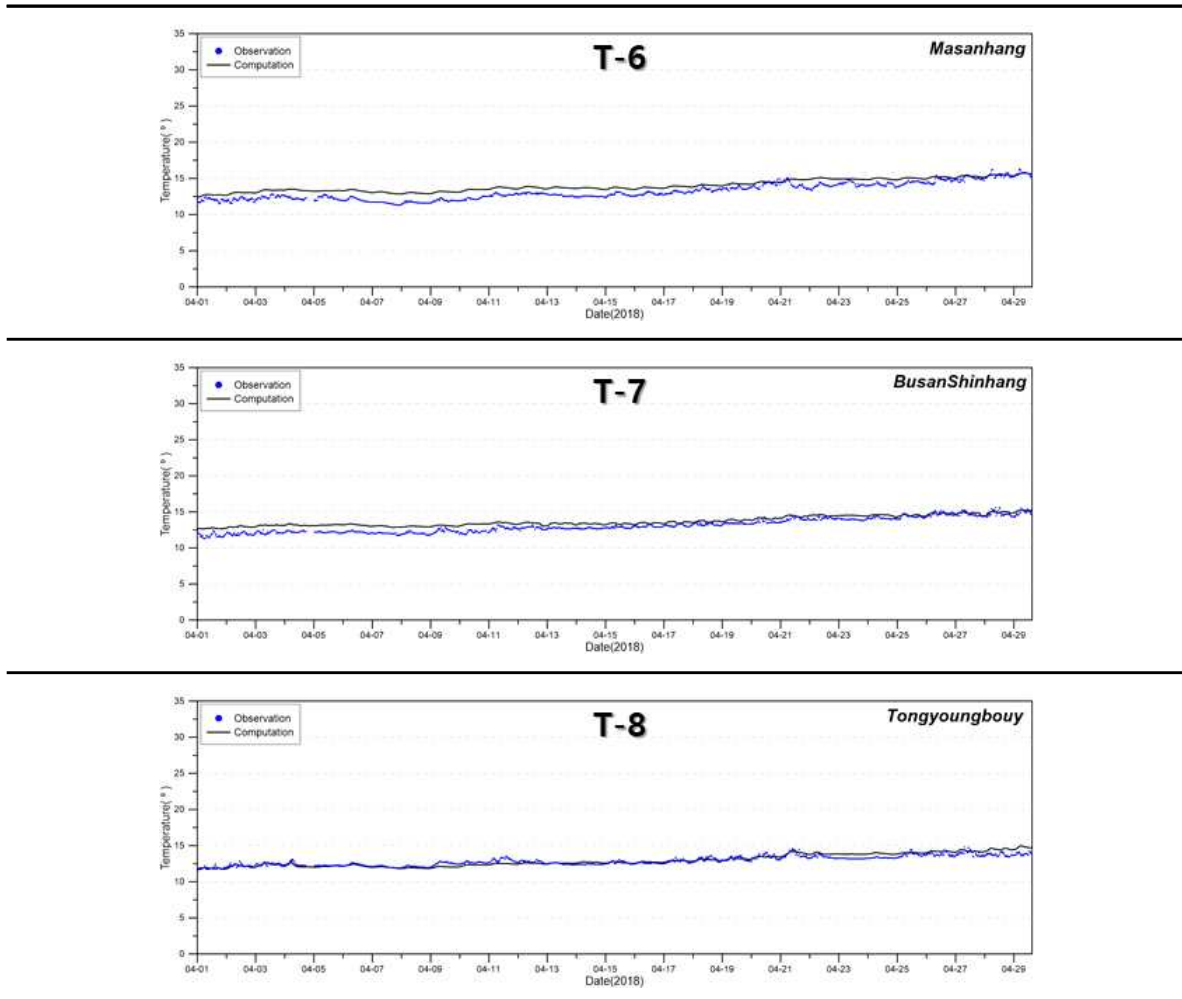


그림 2-2-9. 표층수온 비교 시계열(마산항, 부산신항, 통영항)

- ◎ 국립해양조사원의 해양관측부이 3개 정점(마산항, 부산신항, 통영항)과 기상청 파고부이 5개 정점(잠도, 해금강, 한산도, 연화도, 소매물도)에 대하여 표층 관측수온과 예측수온을 시계열로 비교(그림 2-2-9-10).
- ◎ 시계열 비교결과에서 보여지듯, 예측수온은 관측수온의 시간변화 양상을 잘 재현하고 있으며, 추후 추가적인 모델 보·검정을 통해 보다 신뢰성 있는 예측자료의 생산이 가능할 것으로 예상.
- ◎ 관측치와 예측치의 정량적 비교를 위해 1시간 간격의 표층수온 자료를 통계·분석하여 평균제곱근오차(RMSE)를 계산(표 2-2-4).
- ◎ 관측수온과 예측수온간의 평균제곱근오차의 전체관측 정정에서의 평균은 0.730으로 예측모델은 해당

해역의 수온분포를 잘 재현.

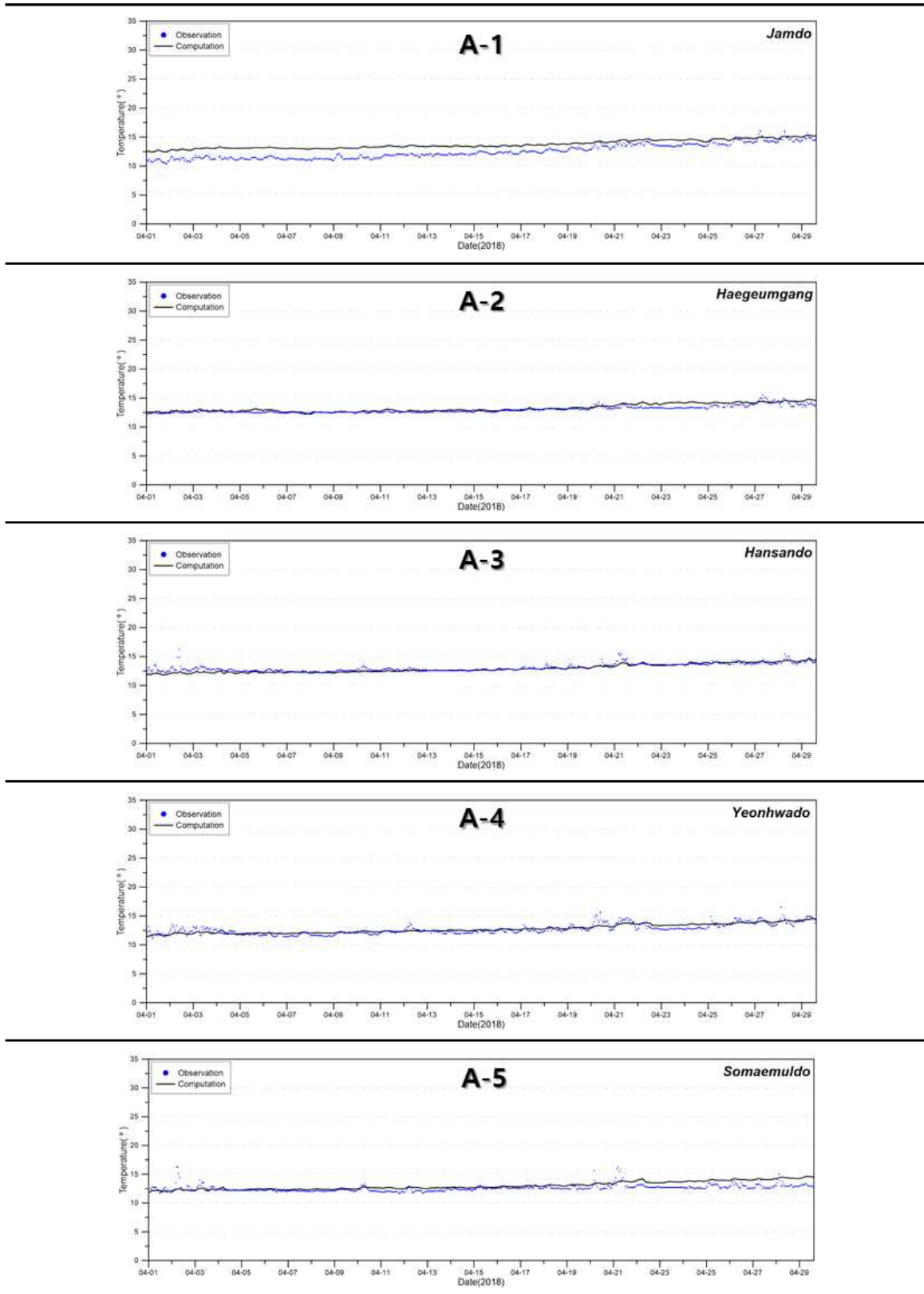


그림 2-2-10. 표층수온 비교 시계열(잠도, 해금강, 한산도, 연화도, 소매물도)

표 2-2-4. 표층수온 검증결과

관측정점			평균제곱급오차 (RMSE, °C)
국립해양조사원	해양 관측부이	마산항	0.915
		통영항	0.376
		부산신항	1.067
기상청	파고부이	잠도	1.364
		해금강	0.432
		한산도	0.417
		연화도	0.500
		소매물도	0.761
평균			0.730

- TLEVEL 2 : 조위.

◎ 상세역 모델인 TLEVEL 2의 계산영역 내에 위치한 통영 조위검조소와 교본초 해양관측소의 관측 조위와 예측 조위 간 시계열 비교 실시(그림 2-2-11).

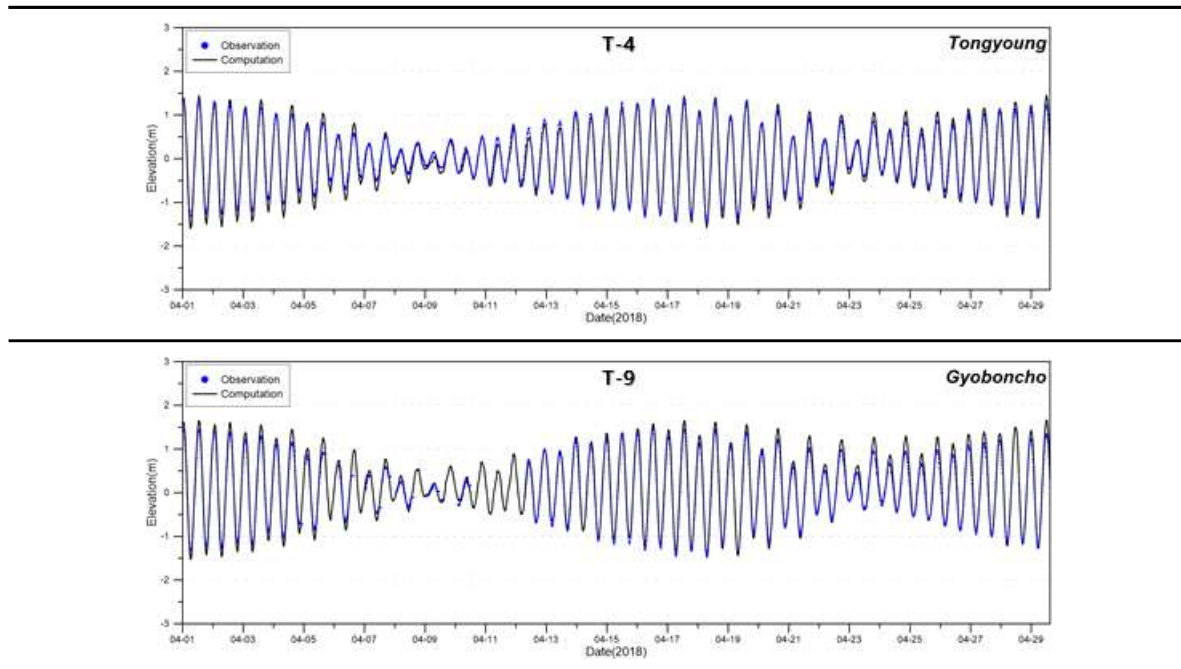


그림 2-2-11. 조위 비교 시계열(통영, 교본초)

◎ 모델결과는 관측 조위의 경향성을 잘 재현함.

- TLEVEL 2 : 수온

◎ 수온의 비교는 조위와 마찬가지로 상세역 모델인 TLEVEL 2의 계산영역 내에 위치한 연화도와 통영항 해양관측부이의 표층수온 관측 자료를 이용하여 시계열비교를 실시, 모델 결과 관측 값 잘 재현.

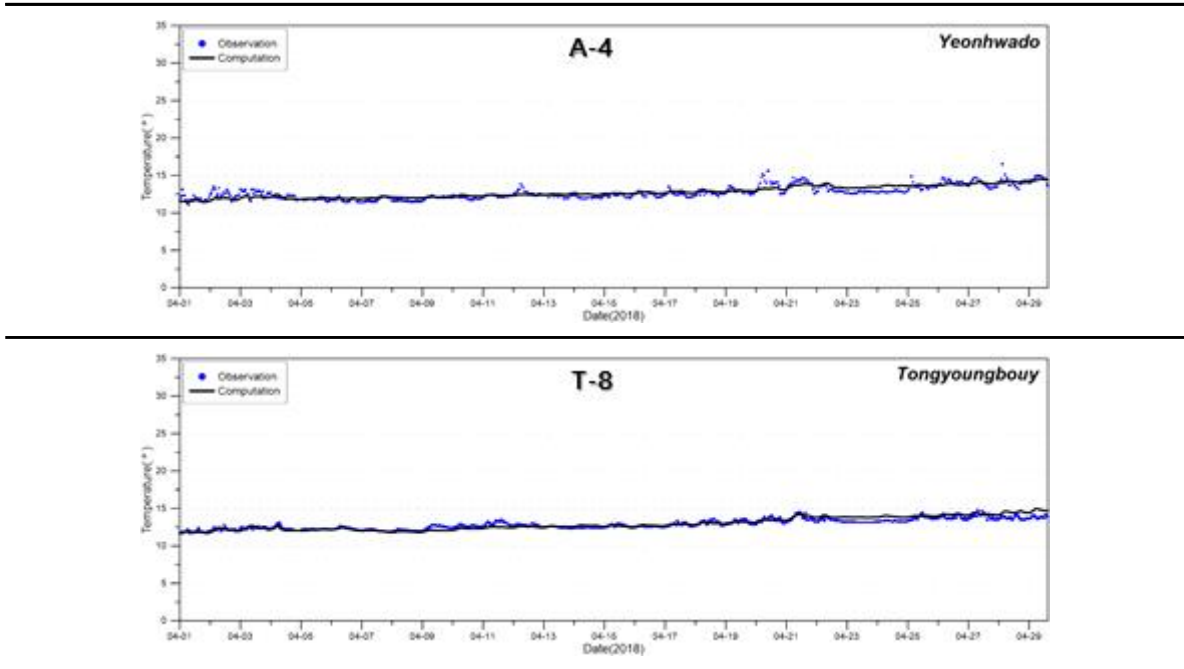


그림 2-2-12. 수온 비교 시계열(통영, 교본초)

- TLEVEL 1 : 조류 분석.

◎ 이상에서 검증 된 모델을 사용하여 해당 연구지역의 해수유동에 가장 큰 영향을 미치는 조류의 흐름 분포 계산.

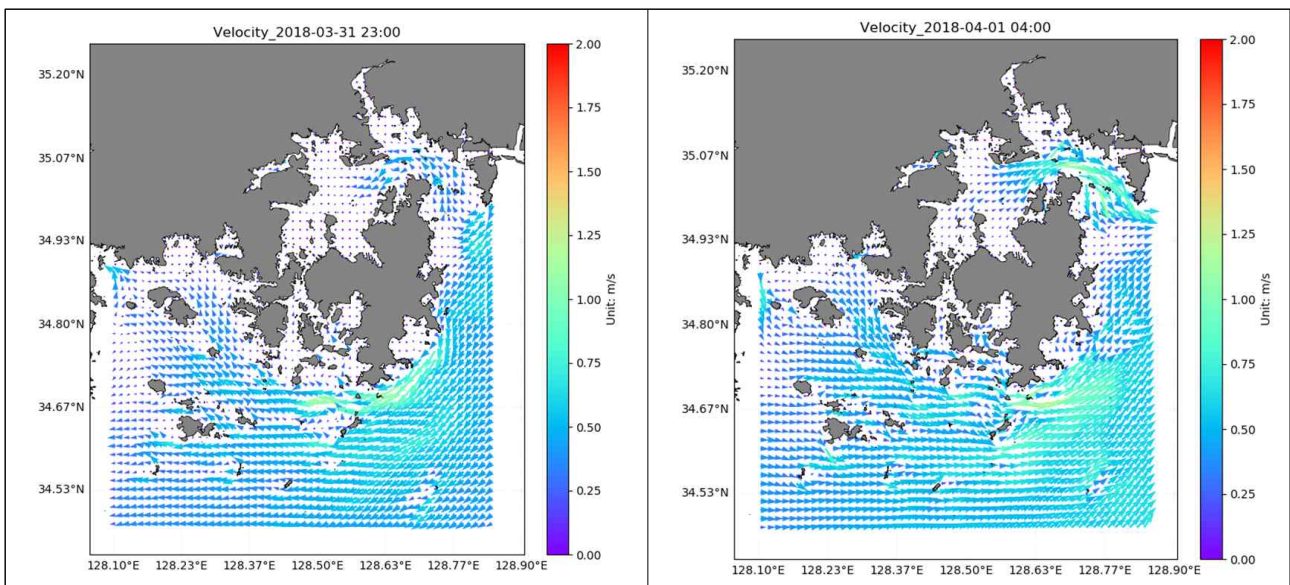


그림 2-2-13. 창조(왼쪽) 및 낙조(오른쪽) 시 유속 벡터(TLEVEL 1)

◎ 그림 2-2-13은 TLEVEL 1모델의 창조 및 낙조 시 유속 벡터를 보여줌.

◎ 연구 해역 내에서 조류는 주로 북서 ↔ 남동 방향으로 흐름을 나타냄.

○ 테스트 모델 수행 # 2: 여름 철 냉수괴 예측

- 목적 : 통영 인근 해역 여름철 저층 냉수괴 확인.

- 모델 수행 기간 : 2018년 7월 1일 ~ 8월 31일.

- 표층 수온 검증.

◎ 검증에는 국립해양조사원 통영항 부이 자료, 기상청 연화도 관측 자료 및 국립수산물과학원 학림 관측 자료 사용(그림 2-2-14).

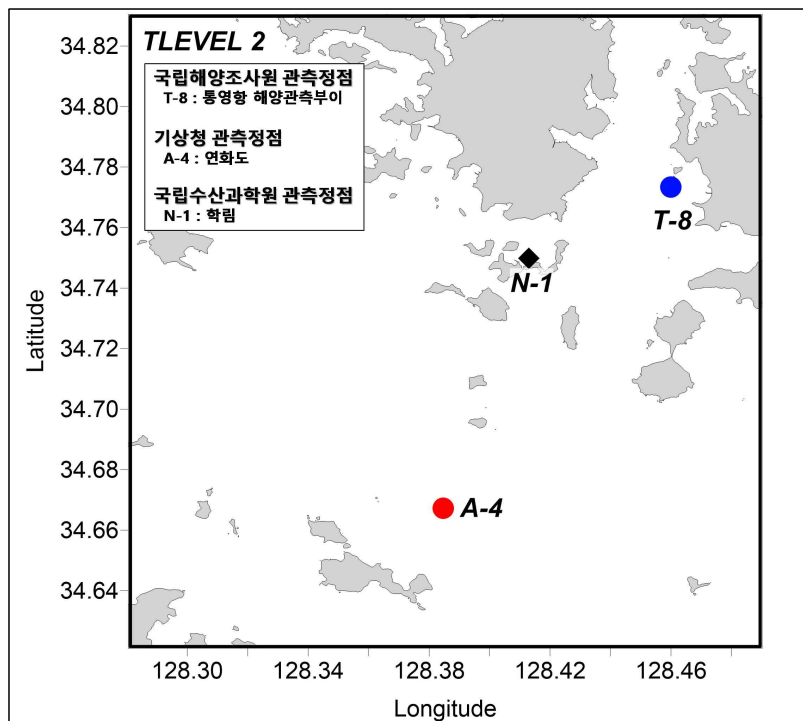


그림 2-2-14. 표층 수온 예측 관측 자료 위치도

◎ 수온의 시계열 비교는 통영항 해양관측부이와 연화도 정점에서는 표층에 대해 실시하였고, 학림 정점에서는 표층(5m), 중층(10m), 저층(15m)에 대해 비교를 실시.

◎ 표층수온의 경우, 통영항 부이의 수온과 비교시 다소 과추정하고 있으나, 연화도 수온과의 비교시에는 수온변화의 추세를 잘 재현(그림 2-2-15).

◎ 국립수산물과학원 학림 정점의 표·중·저층 관측수온과 예측수온 비교에서도 예측수온은 각 수심에서의 수온의 시간변화 양상을 잘 재현(그림 2-2-16).

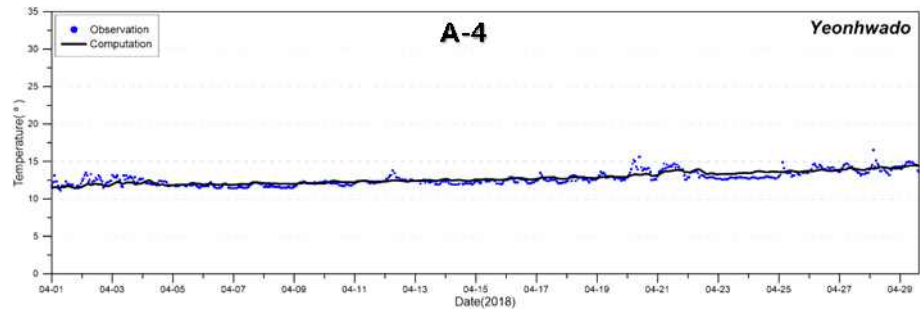
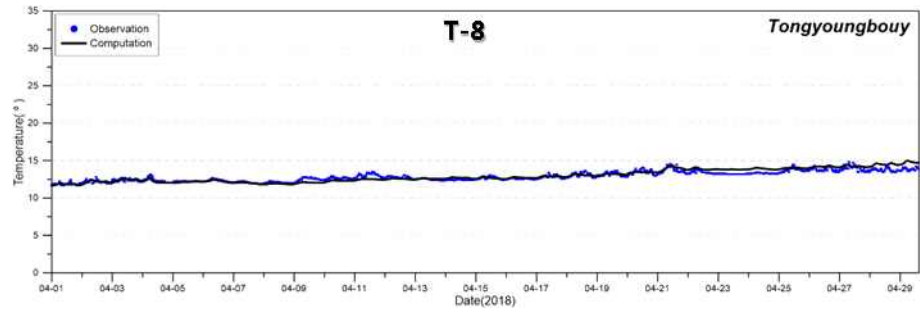


그림 2-2-15. 수온 비교 시계열 (통영항 부이(위), 연화도(아래))

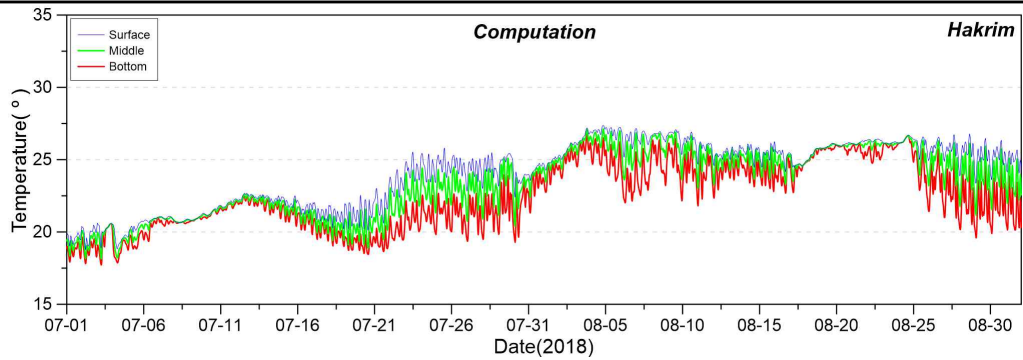
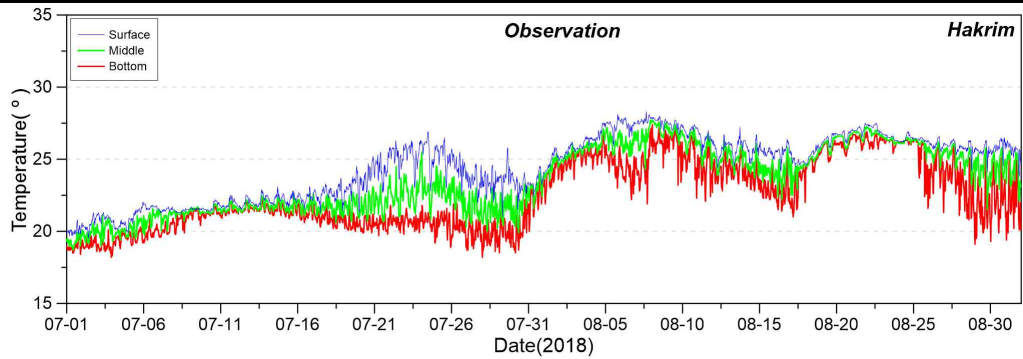


그림 2-2-16. 학림 수온 시계열 (관측자료(위), 예측결과(아래)). 파랑색: 5m, 초록색: 10m, 빨강색: 15m

- 평균 수온 분포 예측.

◎ TLEVEL2 모델의 예측수온을 7월과 8월에 대해 각각 1개월간 평균하여 표층과 표층하 20m 수심에서의 수온공간분포 계산(그림 2-2-17).

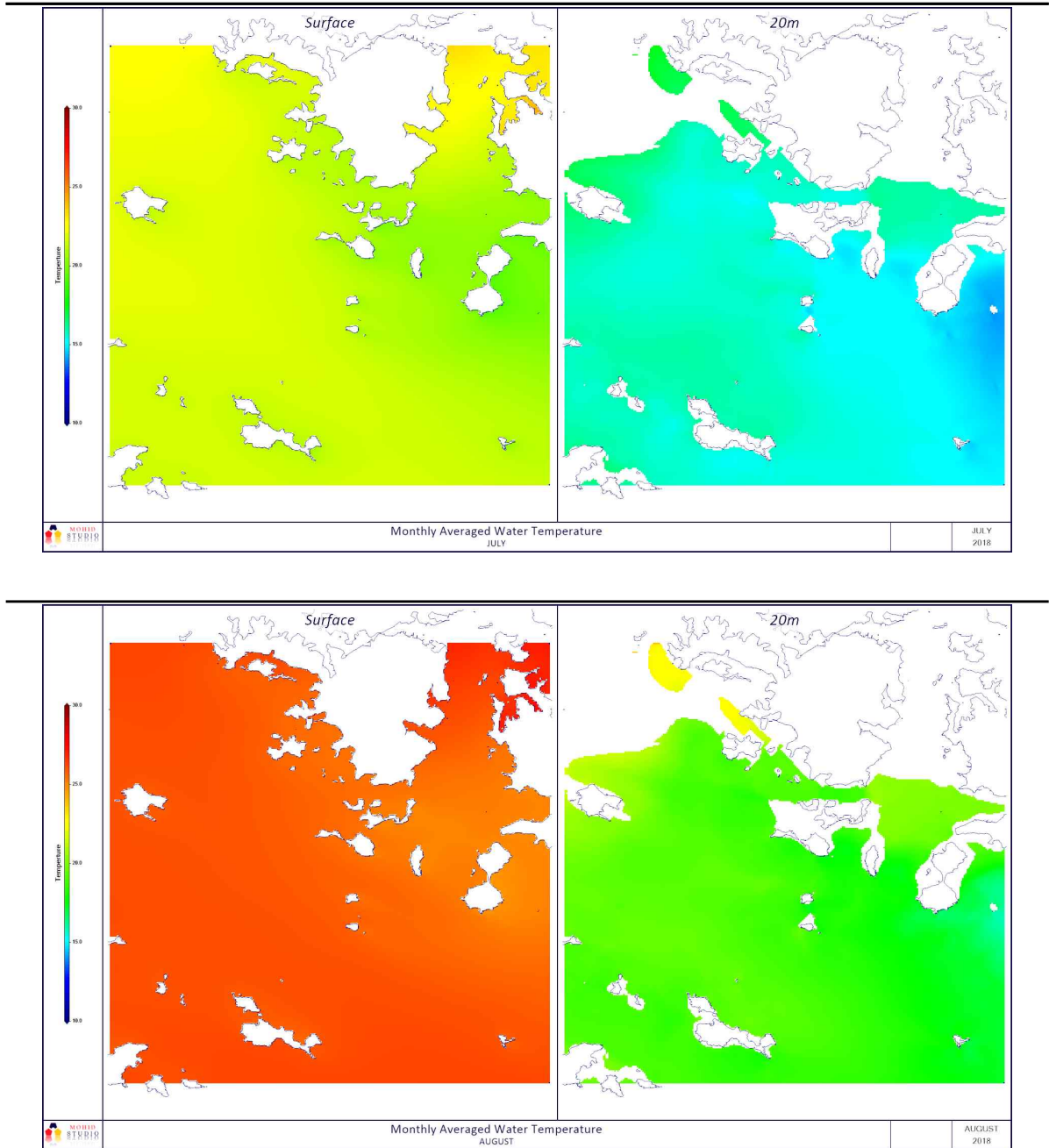


그림 2-2-17. 표층 (위)과 수심 20m(아래)에서의 7월(왼쪽)과 8월(오른쪽) 월평균 모델 수온 분포

◎ 평균수온은 7월의 경우 표층에서 약 24°C, 20m 수심에서 약 19°C이며, 8월의 경우는 표층에서 약 27°C, 20m 수심에서 22°C로 8월 수온이 약 3°C 상승.

- 연직 수온 검증.

- ◎ 2018년 연구해역에서 관측된 CTD 수온 연직관측 자료와 모델 결과 비교.
- ◎ 그림 2-2-18은 CTD 관측이 수행된 일시 및 장소 표시.

Date	Station	Latitude	Longitude
20180417	St. 1	34°46.189'N	128°22.680'E
20180717	St. 1	34°46.184'N	128°22.673'E
	St. 2	34°44.227'N	128°22.534'E
	St. 3	34°41.629'N	128°22.471'E
20180828	St. 1	34°46.112'N	128°22.406'E

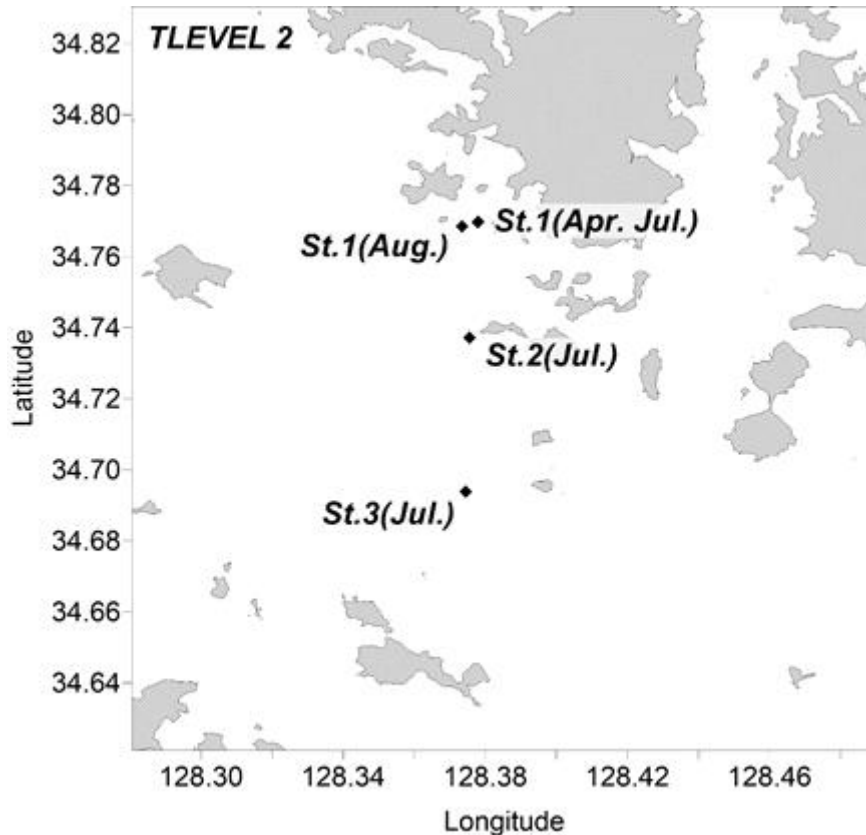


그림 2-2-18. CTD 관측 일자 및 위치

- ◎ 그림 2-2-19는 St.1, St.2 및 St.3에서 계산 한 수온 연직 분포와 관측결과 비교.
- ◎ 검은색 실선은 관측자료, 초록색 실선은 모델 결과 1일 평균값, 빨강색 실선은 1일 최대값, 파랑색 실선은 1일 최소값을 나타냄.
- ◎ 4월 17일 St. 1의 경우 표층부터 30m 까지 모델 결과 수온은 약 13° C 이며 수직 방향 변화가 크지 않고 관측 값과 오차 범위(10일 최대치와 최소치 사이) 내에서 일치.
- ◎ 7월 17일 의 경우 표층 수온은 약 23° C 이나 수심 30m 이하는 20° C 이하로 내려가며 모델 결과와 관측값 오차범위 이내 대체로 일치(수심 30m 인 St. 1은 오차 범위를 벗어나나 수심 60m 인 St. 2와 St. 3은 오차 범위 내 일치. 즉 수심 30m 이하에서는 오차범위 이내 일치).

◎ 8월 28일의 경우 표층 수온은 약 27° C 까지 상승하나 수심 20m 이하에서 20° C 이하로 내려가며 모델 결과와 관측 값 오차범위 이내에서 일치.

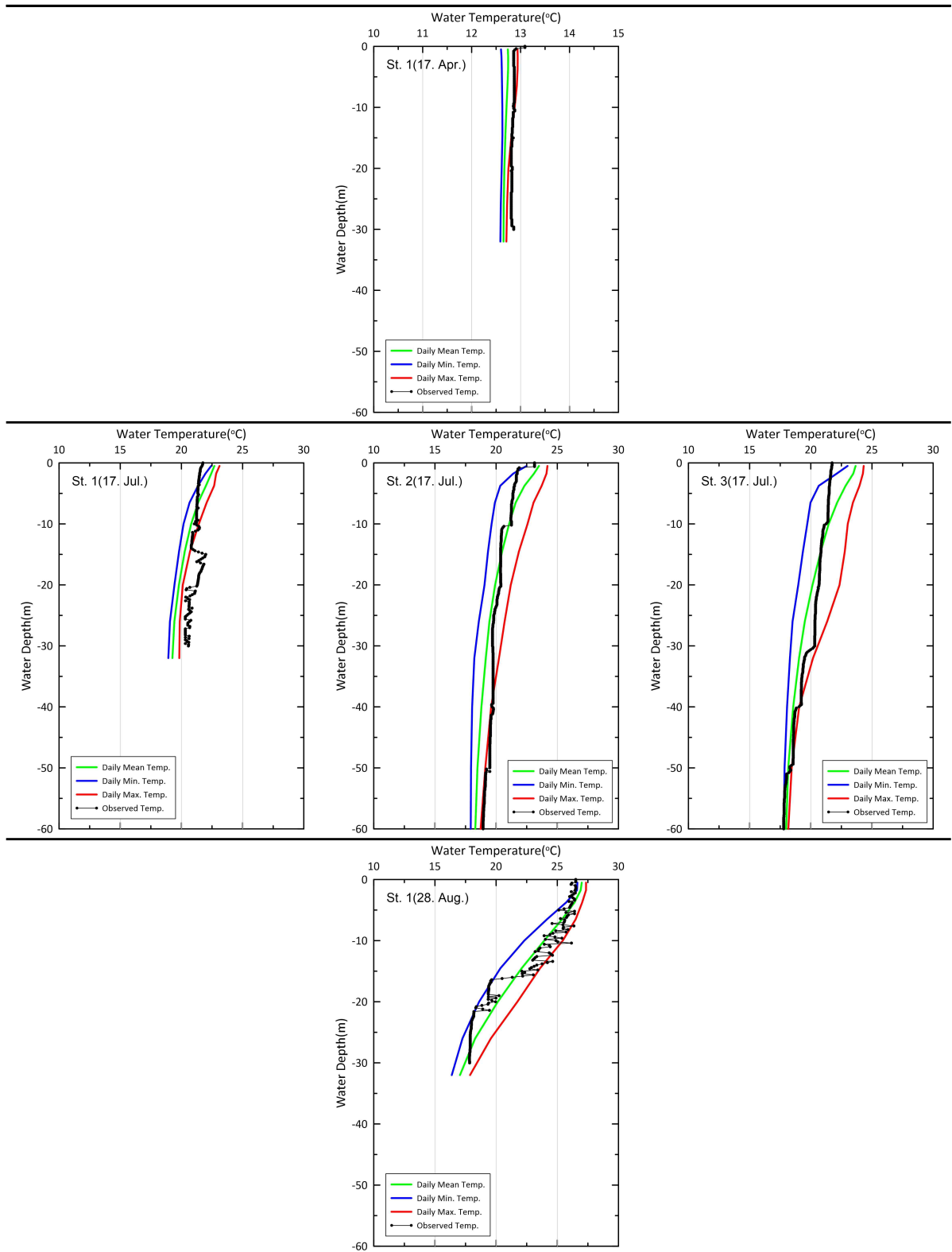


그림 2-2-19. 연직수온 비교

- 연직 수온 분포 예측.

◎ 위의 검증 결과를 토대로 TLEVEL 2 모델 결과의 단면 수온분포 분석.

◎ 그림 2-2-20~23은 8월 15일 12시, 18시, 8월 16일 00시와 06시의 표층수온 분포와 동시간의 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 2차원(x-z) 수온 수직분포를 나타냄.

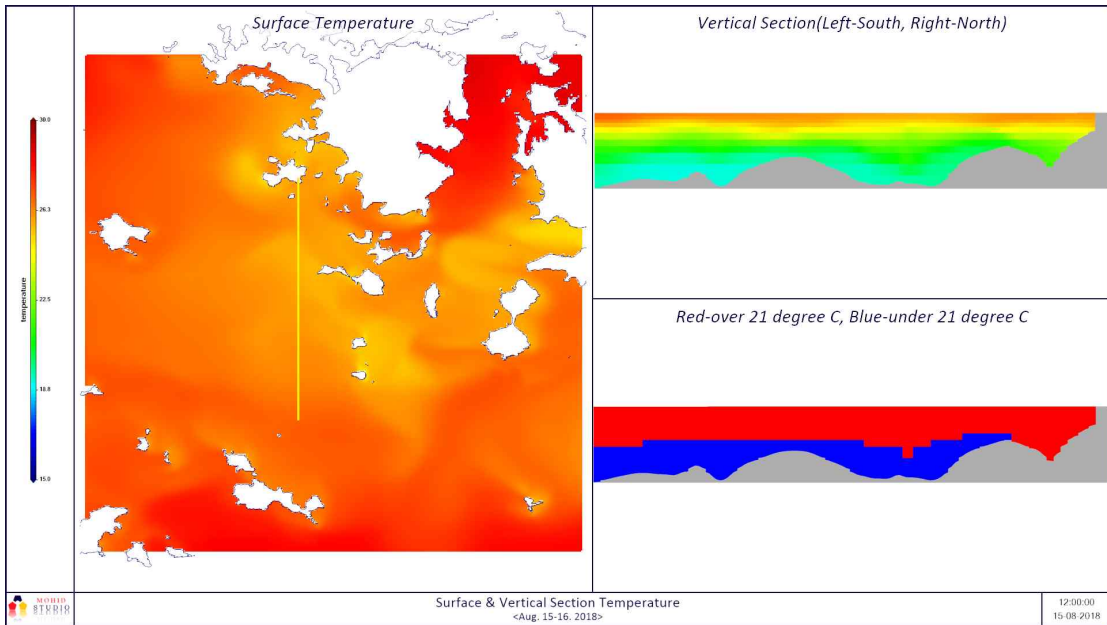


그림 2-2-20. 8월 15일 12시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21° C 경계선 (오른쪽 아래). 빨강색 > 21° C, 파랑색 < 21° C

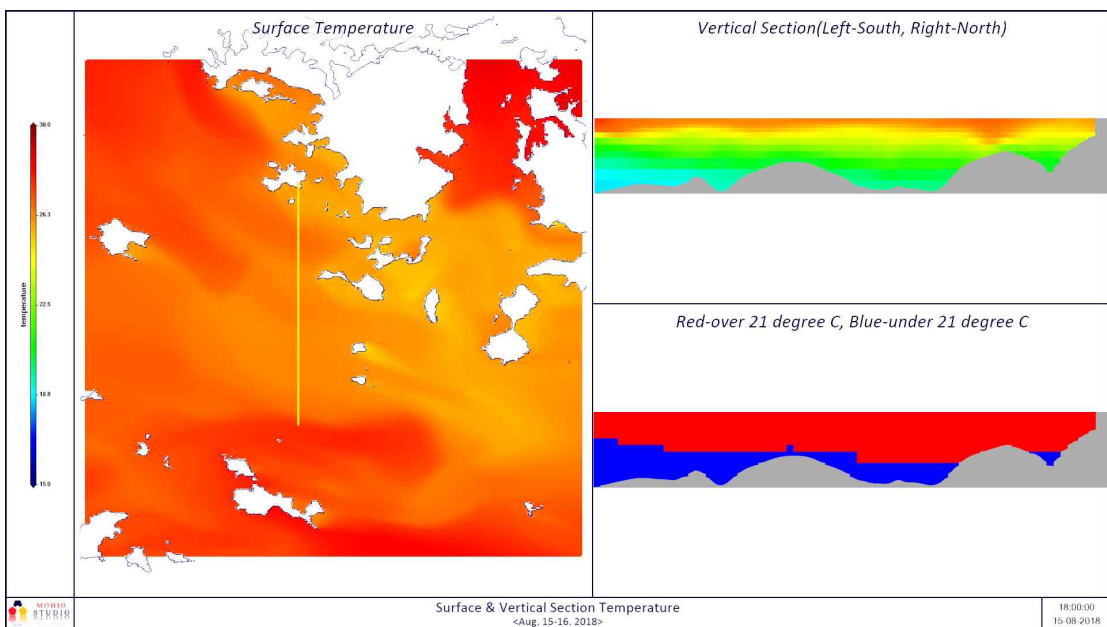


그림 2-2-21. 8월 15일 18시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21° C 경계선 (오른쪽 아래). 빨강색 > 21° C, 파랑색 < 21° C

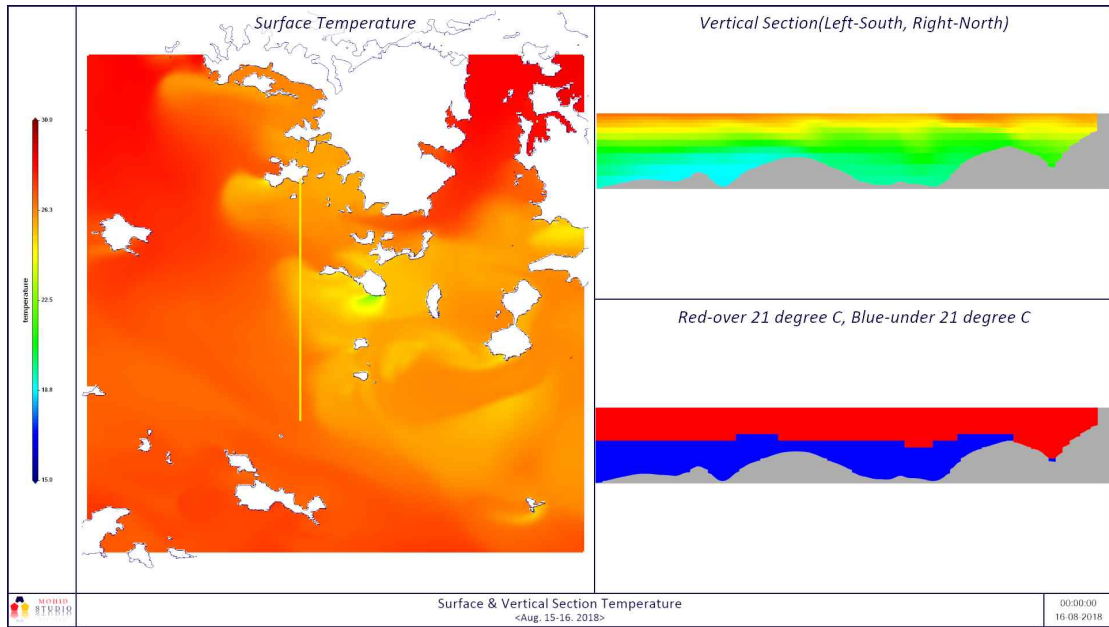


그림 2-2-22. 8월 16일 00시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21° C 경계선 (오른쪽 아래). 빨강색 > 21° C, 파랑색 < 21° C

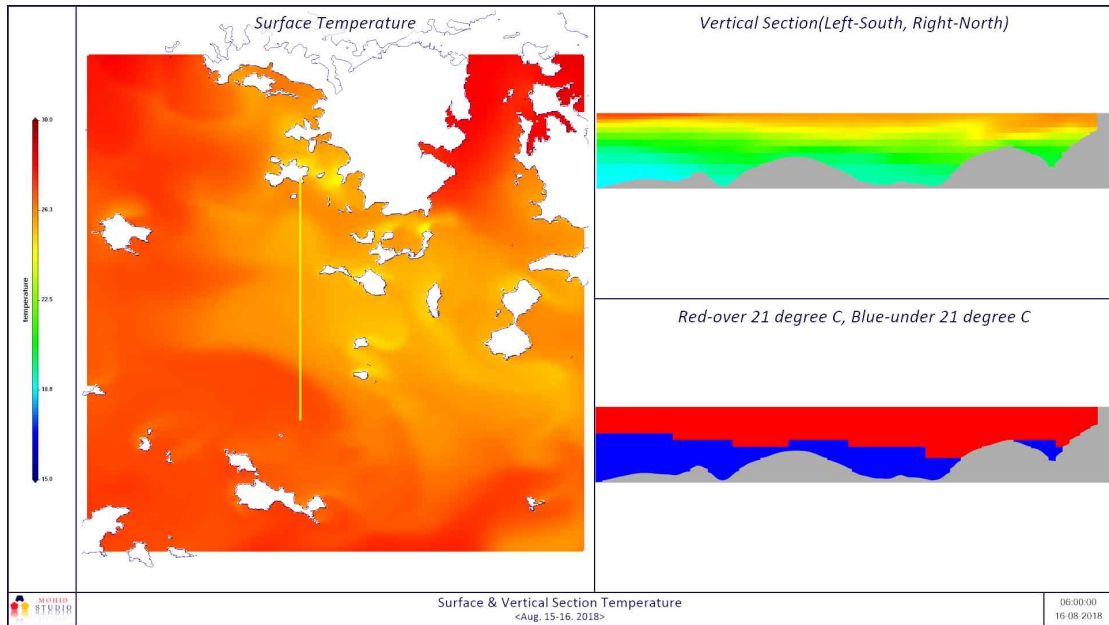


그림 2-2-23. 8월 16일 06시 표층수온 분포 (왼쪽). 그림에 표시된 단면을 따라 계산한 x-z 2차원 수직 수온 분포 (오른쪽 위) 및 21° C 경계선 (오른쪽 아래). 빨강색 > 21° C, 파랑색 < 21° C

◎ 위 그림들의 모델 결과를 토대로 판단하면 수심 40m 이하의 영역에서 21° C 이하의 수온을 유지하는 냉수괴가 형성됨을 확인.

나. 양식자원 위해환경 모니터링

○ 연구목표: 해양병원체 탐색기술 개발

- NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체 병원체 검출기술 개발.
- PCR 기반 양식생물 질병유발 특정병원체 검출기술 개발.

○ NGS 기법을 적용한 복합양식장 전체 병원체 검출기술 개발

- 통영 연구현장에서 배양중인 가리비(참가리비 및 비단가리비) 및 주변해수를 2월부터 매달 채집하였음.
- 참가리비는 5월에 모두 폐사하였으며, 비단가리비는 8월까지 채집하였음.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	비고
큰가리비(마리)	21	30	21									
비단가리비(마리)	30	30	30	21	30	30	30					
주변해수(L)	90 (0,15,30 m)	90 (0,15,30 m)	90 (0,15,30 m)	90 (0,15,30 m)	90 (0,15,30 m)	120 (0,10,20 30 m)	120 (0,10,20 30 m)	120 (0,10,20 30 m)				

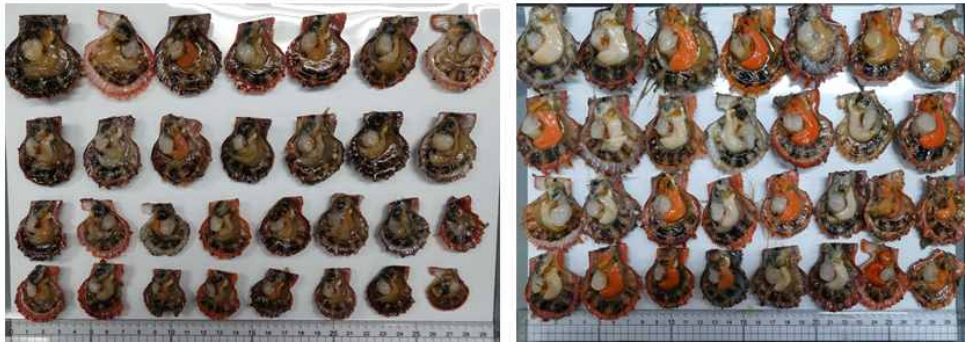


그림 2-2-24. 월별 채집된 가리비 개수(위) 및 사진(아래)

- 채집된 가리비는 실험실로 이송한 후 즉시 중장선을 채취하고, 액체질소로 동결한 후 DNA 추출 전까지 -70°C 에 저장하였음.
- 가리비 조직은 homogenizer tissueruptor를 이용하여 파쇄하였으며, Patho Gene-spin™ DNA/RNA Extraction kit를 사용하여 gDNA 추출하였고, QC/QA 확인 후 (주) 마크로젠에 바이러스 NGS를 의뢰하였음.
- 주변해수는 수심별로 30L 씩 채수하였고, 실험실로 이동 후 prefiltration, FeCl₃ 처리, filtration(0.8 um)하였고, Patho Gene-spin™ DNA/RNA Extraction kit를 사용하여 gDNA 추출하였고, QC/QA 확인 후 마크로젠에 바이러스 NGS를 의뢰하였음.
- NGS 결과는 CLC program(version 11)을 사용하여 해양바이러스 다양성 및 풍부도를 분석하였음.
- 전체 바이러스 reads 수 대비 바이러스 reads 수는 10% 내외였으나 비단가리비 6, 7, 8월 시료와 해수 7, 8월 시료에서는 각각 50% 및 20%가 넘는 바이러스 reads를 보여 정밀한 검토가 요구되고 있음.



그림 2-2-25. NGS 분석 흐름도

표 2-2-5. 가리비 내장 및 해수 NGS 분석 결과

		Total reads	Total viruses	Total phages	Total viruses +phages	% of viral	No. of viruses	No. of phages	No. of viruses+phages
큰 가리비	LS-2	178568	22588	3299	25887	12.65%	167	44	211
	LS-3	60369	5542	1153	6695	9.18%	94	15	108
	LS-4	78375	9501	265	9766	12.12%	107	16	123
비단 가리비	SS-2	179315	19294	745	20039	10.76%	187	36	223
	SS-3	52784	5741	206	5947	10.88%	96	13	109
	SS-4	56030	8233	973	9207	14.69%	100	18	117
	SS-5	69854	9335	205	9540	13.36%	84	14	98
	SS-6	28705	16632	293	16925	57.94%	49	3	52
	SS-7	22209	13076	191	13267	58.88%	46	3	49
	SS-8	38769	21729	293	22022	56.05%	48	5	53
주변해수	SW-3	206342	11157	13899	25057	5.41%	140	182	322
	SW-4	168285	7457	12675	20132	4.43%	121	113	234
	SW-5	206131	14613	15991	30604	7.09%	156	208	364
	SW-6	229008	16287	2516	18803	7.11%	49	4	53
	SW-7	25250	6114	1624	7738	24.21%	46	8	53
	SW-8	54524	13182	4641	17823	24.18%	59	22	81

- 해양바이러스 조성을 분석하였을 때, 참가리비 중장선에는 박테리아를 숙주로 하는 phages보다 진핵생물을 숙주로하는 바이러스가 대다수를 차지하였음.
- 다양한 해양생물의 질병을 유발하는 것으로 알려진 Herpesvirus가 우점하였으며(46.63~56.25%), poxvirus도 높은 비율(3.80~7.39%)이 확인되었음. 가리비의 먹이생물인 미세조류의 사멸을 유도하는 Phycodnavirus는 2.68~3.19%, 최근 전 세계적으로 관심이 증가하고 있는 Pandoravirus는 3.0~5.29%, 조류독감 등의 원인바이러스인 Coronavirus는 거의 존재하지 않았음.

표 2-2-6. 참가리비 내장에 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율

LS-2			LS-3			LS-4		
Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%
Herpesviridae	16577	56.25%	Herpesviridae	3559	46.63%	Herpesviridae	6034	55.98%
Myoviridae	3033	10.29%	Myoviridae	1076	14.10%	Alloherpesviridae	1631	15.14%
Alloherpesviridae	2390	8.11%	Alloherpesviridae	765	10.02%	Poxviridae	796	7.39%
Polydnaviridae	1615	5.48%	Polydnaviridae	502	6.58%	Pandoraviridae	570	5.29%
Poxviridae	1120	3.80%	Poxviridae	315	4.12%	Phycodnaviridae	289	2.68%
Pandoraviridae	884	3.00%	Phycodnaviridae	243	3.19%	Polydnaviridae	283	2.63%
Phycodnaviridae	829	2.81%	Baculoviridae	243	3.18%	Mimiviridae	254	2.36%
Baculoviridae	758	2.57%	Pandoraviridae	237	3.11%	Myoviridae	187	1.73%
Nudiviridae	717	2.43%	Nudiviridae	228	2.99%	Baculoviridae	178	1.65%
Mimiviridae	319	1.08%	Mimiviridae	114	1.49%	Iridoviridae	115	1.07%
ETC	1231	4.18%	ETC	351	4.59%	ETC	441	4.09%

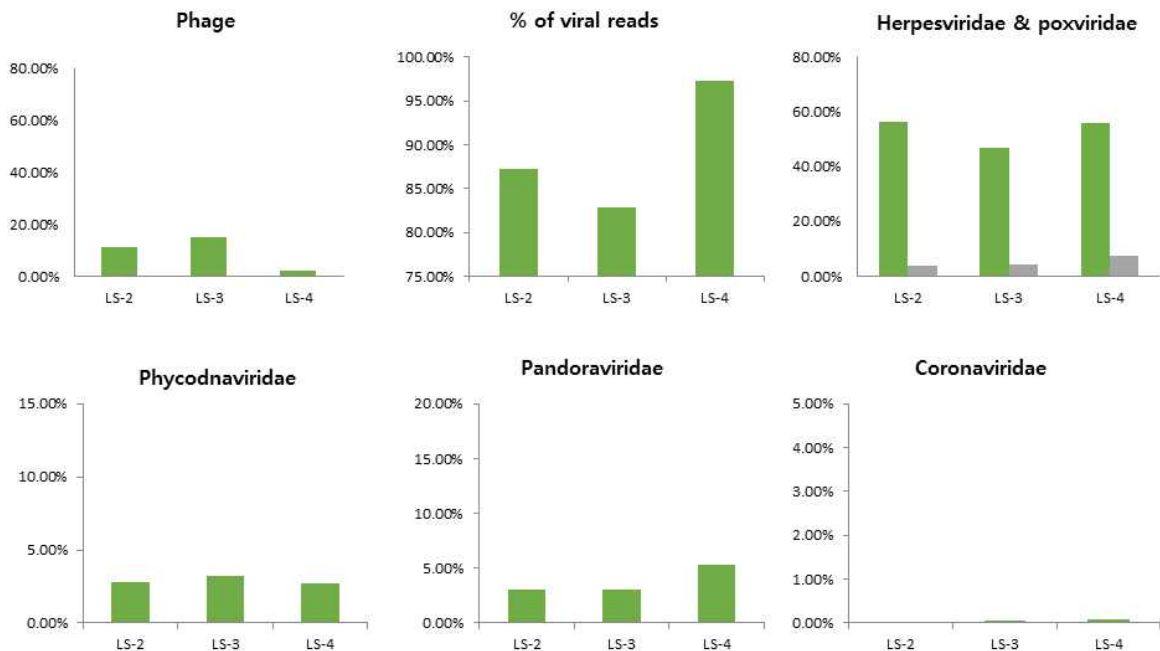


그림 2-2-26. 참가리비 내장에서 주요 바이러스 그룹별 비율

- 비단가리비 중장선 내 바이러스 조성은 참가리비와 유사하게 박테리아를 숙주로 하는 phages보다 진핵 생물을 숙주로 하는 바이러스가 대다수를 차지하였음.
- Herpesvirus가 우점하였으며(42.97~71.07%), poxvirus는 참가리비와 비교하여 더 높은 비율(3.99~11.68%)이 확인되었음. Phycodnavirus는 1.84~5.01%, Pandoravirus는 2.78~10.07%를 나타내었으며, Coronavirus는 거의 존재하지 않았음.

표 2-2-7. 비단가리비 내장에 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율

SS-2			SS-3			SS-4		
Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%
Herpesviridae	9042	42.97%	Herpesviridae	3895	57.68%	Herpesviridae	6028	58.54%
Alloherpesviridae	2429	11.54%	Poxviridae	661	9.78%	Myoviridae	882	8.56%
Pandoraviridae	2119	10.07%	Alloherpesviridae	415	6.15%	Alloherpesviridae	853	8.28%
Poxviridae	2041	9.70%	Pandoraviridae	392	5.80%	Polydnaviridae	590	5.73%
Phycodnaviridae	1054	5.01%	Phycodnaviridae	273	4.05%	Poxviridae	411	3.99%
Polydnaviridae	854	4.06%	Mimiviridae	203	3.01%	Pandoraviridae	352	3.42%
Mimiviridae	554	2.63%	Polydnaviridae	183	2.71%	Baculoviridae	273	2.65%
Nudiviridae	541	2.57%	Baculoviridae	159	2.36%	Phycodnaviridae	223	2.17%
Myoviridae	518	2.46%	Myoviridae	153	2.26%	Nudiviridae	196	1.90%
Baculoviridae	485	2.31%	Iridoviridae	92	1.36%	Mimiviridae	119	1.15%
ETC	1407	6.69%	ETC	326	4.83%	ETC	372	3.61%

SS-5			SS-6			SS-7			SS-8		
Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%
Herpesviridae	7935	71.07%	Herpesviridae	11481	60.17%	Herpesviridae	8113	55.92%	Herpesviridae	15096	59.94%
Alloherpesviridae	1067	9.56%	Alloherpesviridae	1899	9.95%	Poxviridae	1694	11.68%	Poxviridae	2633	10.46%
Poxviridae	537	4.81%	Poxviridae	1872	9.81%	Alloherpesviridae	1621	11.17%	Alloherpesviridae	2355	9.35%
Pandoraviridae	311	2.78%	Baculoviridae	1673	8.77%	Baculoviridae	1031	7.11%	Baculoviridae	1978	7.85%
Polydnaviridae	240	2.15%	Pandoraviridae	1048	5.49%	Pandoraviridae	960	6.62%	Pandoraviridae	1514	6.01%
Phycodnaviridae	205	1.84%	Phycodnaviridae	417	2.18%	Phycodnaviridae	399	2.75%	Phycodnaviridae	613	2.44%
Mimiviridae	167	1.50%	Nudiviridae	275	1.44%	Nudiviridae	325	2.24%	Nudiviridae	428	1.70%
Baculoviridae	137	1.23%	Myoviridae	158	0.83%	Myoviridae	191	1.32%	Myoviridae	293	1.16%
Myoviridae	134	1.20%	Mimiviridae	123	0.65%	Mimiviridae	97	0.67%	Mimiviridae	147	0.58%
Malacoherpesviridae	81	0.72%	Malacoherpesviridae	113	0.59%	Malacoherpesviridae	57	0.39%	Malacoherpesviridae	97	0.38%
ETC	351	3.14%	ETC	23	0.12%	ETC	21	0.14%	ETC	31	0.12%

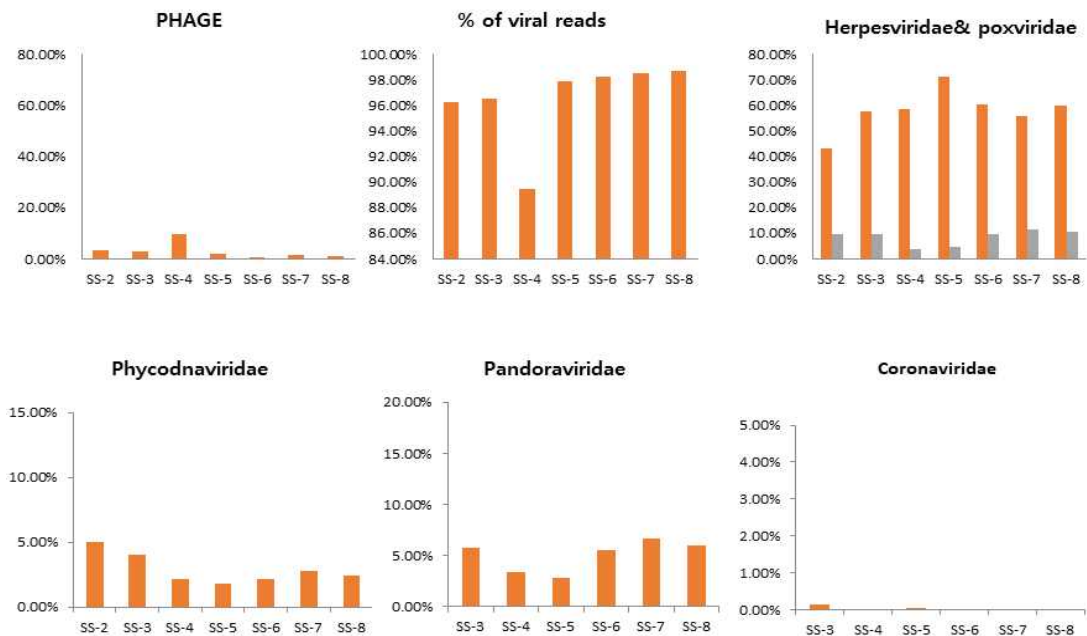


그림 2-2-27. 비단가리비 내장에서 주요 바이러스 그룹별 비율

- 해수 내 해양바이러스 조성은 가리비 내장 내에 존재하는 해양바이러스 조성과 크게 다른 것으로 나타났다. phages 조성이 가리비 내장에 비해 크게 증가하였으며, 특히 3,4,5월 해수에서는 거의 69% 정도를 차지하였음.
- Herpesvirus는 4.52~17.58%로 가리비에 비해 크게 낮은 비율이었으며, 반면 poxvirus는 가리비 내장과 비교하여 크게 높은 비율(8.31~22.18%)을 차지하였음. Phycodnavirus는 2.68~10.82%, Pandoravirus는 1.72~17.86%으로 가리비 내장에 비하여 높은 비율을 보였으며, Coronavirus는 3~5월에 높은 read 수(3.90~4.48%)를 나타내었음.

표 2-2-8. 주변 해수 내 존재하는 바이러스 그룹의 reads count 및 비율

SW-3			SW-4			SW-5		
Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%
Podoviridae	8567	36.01%	Podoviridae	10475	50.97%	Podoviridae	29142	31.86%
Myoviridae	3078	12.94%	Phycodnaviridae	1962	9.55%	Poxviridae	20284	22.18%
Poxviridae	2724	11.45%	Myoviridae	1892	9.21%	Myoviridae	10868	11.88%
Phycodnaviridae	2494	10.49%	Poxviridae	1708	8.31%	Siphoviridae	7287	7.97%
Herpesviridae	1452	6.11%	Herpesviridae	929	4.52%	Herpesviridae	4609	5.04%
Coronaviridae	1065	4.48%	Coronaviridae	801	3.90%	Coronaviridae	3629	3.97%
Polydnaviridae	920	3.87%	Alloherpesviridae	446	2.17%	Phycodnaviridae	2450	2.68%
Alloherpesviridae	860	3.62%	Polydnaviridae	397	1.93%	Polydnaviridae	2443	2.67%
Siphoviridae	769	3.23%	Siphoviridae	379	1.84%	Alloherpesviridae	2410	2.63%
Pandoraviridae	408	1.72%	Hytrosaviridae	358	1.74%	Pandoraviridae	2143	2.34%
ETC	1449	6.09%	ETC	1203	5.85%	ETC	6200	6.78%

SW-6			SW-7			SW-8		
Family	Reads	%	Family	Reads	%	Family	Reads	%
Pandoraviridae	3360	17.86%	Myoviridae	1459	18.94%	Myoviridae	4557	25.75%
Poxviridae	3310	17.59%	Herpesviridae	1235	16.04%	Poxviridae	3263	18.44%
Herpesviridae	2996	15.92%	Pandoraviridae	1158	15.03%	Herpesviridae	2713	15.33%
Myoviridae	2404	12.77%	Poxviridae	1141	14.81%	Pandoraviridae	2175	12.29%
Alloherpesviridae	2246	11.94%	Alloherpesviridae	890	11.55%	Alloherpesviridae	1949	11.01%
Phycodnaviridae	2035	10.82%	Phycodnaviridae	582	7.56%	Phycodnaviridae	877	4.95%
Nudiviridae	997	5.30%	Nudiviridae	536	6.96%	Nudiviridae	793	4.48%
Baculoviridae	917	4.87%	Baculoviridae	439	5.70%	Baculoviridae	759	4.29%
Iridoviridae	329	1.75%	Siphoviridae	166	2.15%	Mimiviridae	188	1.06%
Siphoviridae	113	0.60%	Malacoherpesviridae	38	0.49%	Iridoviridae	147	0.83%
ETC	109	0.58%	ETC	58	0.76%	ETC	279	1.57%

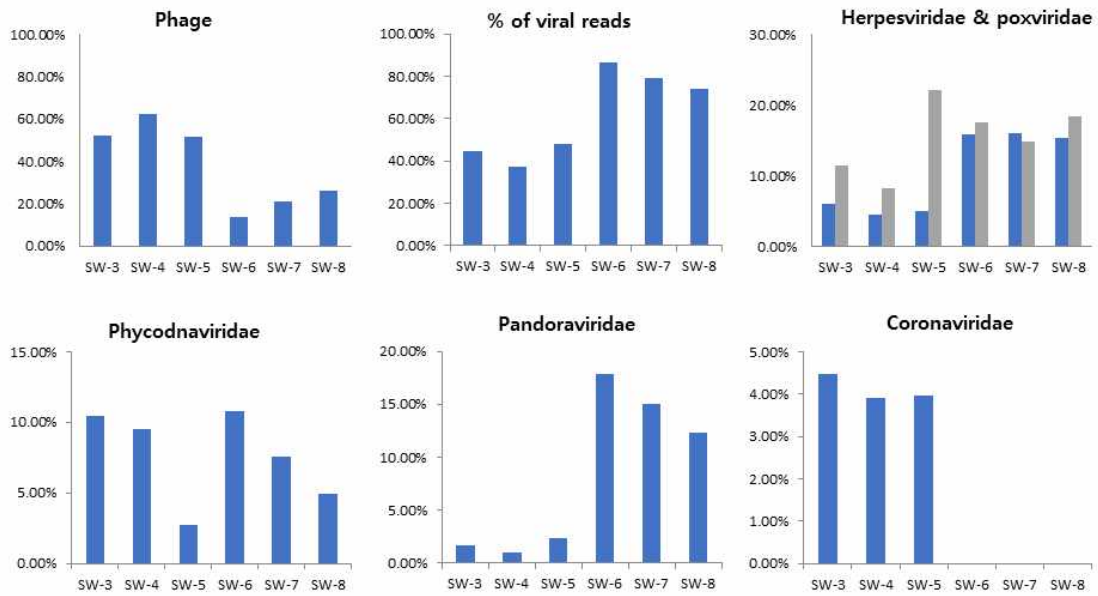


그림 2-2-28. 주변 해수 내 주요 바이러스 그룹별 비율

- 참가리비, 비단가리비 및 주변해수 전체를 플로팅하였을 때, phages는 해수에서 높은 비율을 보였으며, 바이러스는 3~5월 해수를 제외하고는 차이를 보이지 않았음.
- Herpesvirus는 가리비 내장에서, Poxvirus, Phycodnavirus, Pandoravirus 및 Coronavirus는 해수에서 높게 나타났음, 특히 먹이생물인 미세조류를 숙주로 하는 Phycodnavirus의 경우 Bathycoccus, Ostreococcus, Micromonas 및 Phaeocystis 속을 감염시키는 바이러스가 우점하였음.

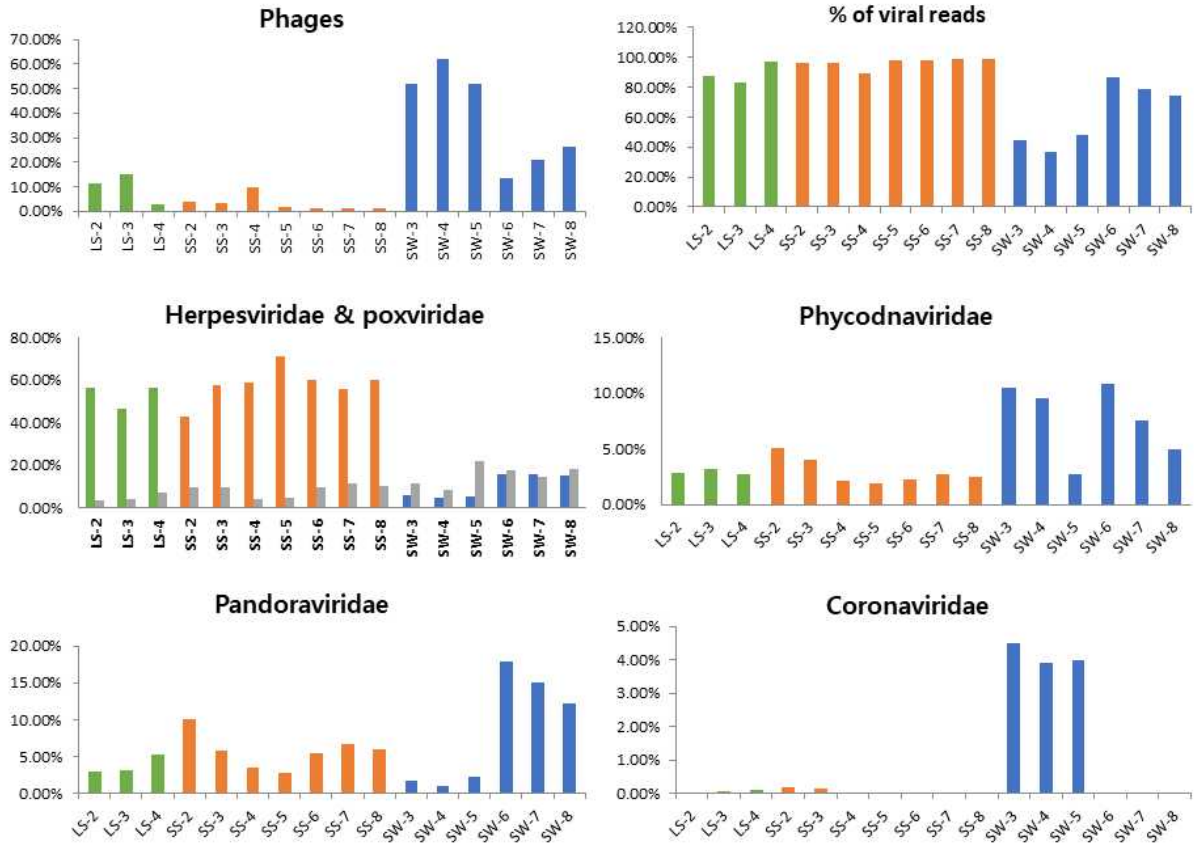


그림 2-2-29. 참가리비, 비단가리비 내장 및 주변 해수 내 주요 바이러스 그룹별 비율

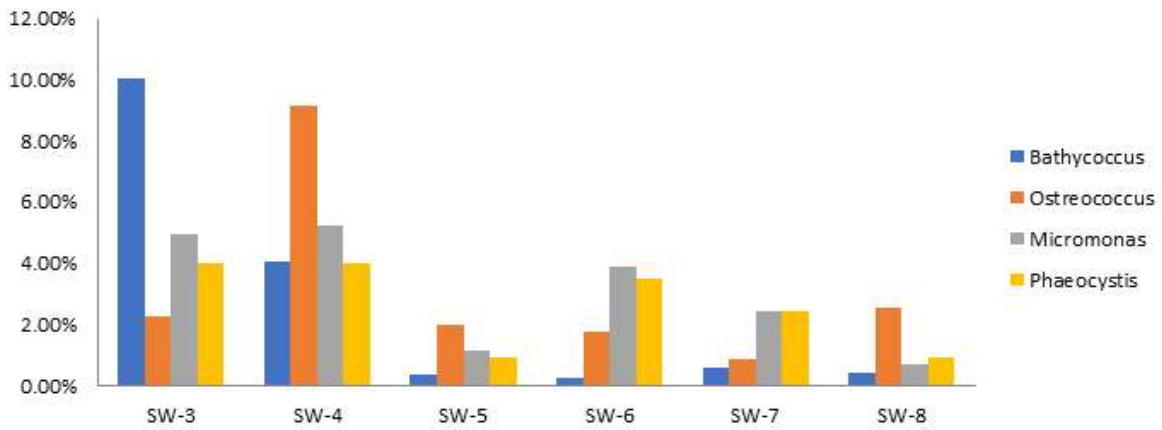


그림 2-2-30. 주변 해수 내 1% 이상 Phycodnavirus 속 수준

- 인간을 포함하여 다양한 해양생물을 감염시키는 것으로 알려진 Herpesvirus가 가리비 내장에 많이 존재하고, Poxvirus는 상대적으로 해수에 많이 존재한다는 결과는 가리비의 질병 유발에 Herpesvirus가 더 중요한 역할을 할 수 있음을 짐작하게 함.

- 통영 연구현장 해수에서 Poxvirus, Phycodnavirus 및 Pandoravirus가 적지 않은 비율로 출현하고 있는데, 이들은 최근 관심이 증가하고 있는 거대바이러스(Giant virus, 또는 megavirus)pd 속하는 바이러스임.
- Poxvirus나 Phycodnavirus는 다양한 숙주에 대하여 연구가 수행된 바 있으나, Pandoravirus는 아직까지 아메바를 숙주로 한다는 정도 밖에는 연구가 되어 있지 않은 바이러스이며, 통영 현장에 상당히 높은 수준으로 존재한다는 것은 Pandoravirus의 숙주가 될 수 있는 해양생물이 존재할 가능성이 매우 높으며, 향후 심도 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단됨.

○ PCR 기반 특정 병원체 검출기술 개발

- 가리비 질병유발 병원체는 문헌 검색을 통하여 *Vibrio splendidus*(박테리아), *Perkinsus qugwadi*(원생동물), *Margolisiella*(기생충), acute viral necrobiotic virus (바이러스) 등 4개의 병원체를 선정하였음.

표 2-2-9. 가리비 종에 따른 질병유발 병원체

가리비 species	질병유발 병원체
<i>Patinopecten yessoensis</i> (Family: Pectinidae)	<i>Vibrio splendidus</i> , <i>Perkinsus qugwadi</i>
<i>Chlamys islandica</i> (Family: Pectinidae)	<i>Margolisiella</i>
<i>Chlamys farreri</i> (Family: Pectinidae)	acute viral necrobiotic virus (AVNV)

표 2-2-10. 감염병원체의 감염부위 및 증상

감염병원체	감염부위	증상
<i>Vibrio splendidus</i> (그람음성 박테리아)	내전근	농양과 병변 발생 (조직 괴사), 10 °C에서 가장 높은 활성
<i>Perkinsus qugwadi</i> (원생동물)	소화기관	농포 발생, 저온 (8-15 °C)에서 병원성 나타냄
<i>Margolisiella</i> (기생충)	신장	신장 상피세포 감염
acute viral necrobiotic virus (AVNV)	맨틀, 아가미, 간	상피세포 괴사

- 해양병원체 검출을 위한 각 프라이머를 디자인하였으며, 최적의 PCR 조성물과 반응시간 및 반응온도가 정립되었음

표 2-2-11. 해양병원체별 프라이머 디자인 및 PCR 조건

구분		명칭	염기서열	크기 (mer)	Product size (bp)
<i>Vibrio splendidus</i>	Forward	Vsm F	5'-TCCAACAGAGCCTCGTCG-3'	18	417
	Reverse	Vsm R	5'-AAGGGCGTTCTGGCATAG-3'	18	
<i>Perkinsus qugwadi</i>	Forward	PqguF7TC	5'-CCACTCTGGTAGTCTTGTCCTT C-3'	22	281
	Reverse	PQ3R	5'-AGAATGGCGACGCTGATGAA-3'	20	
<i>Margoliella</i>	Forward	SC1-1185F	5'-TCACGATTTGACACTTTCAGC-3'	21	538
	Reverse	SC1-590R	5'-ACTCGTGTGAAGCTTACTTCC-3'	22	
acute viral necrobiotic virus (AVNV)	Forward	SOD-RTF	5'-TTACTGCCGTTTGC GTTGA-3'	21	153
	Reverse	SOD-RTR	5'-TGGTATTGTCGCCATACTGATGC-3'	23	

조성	용량 (μl)		온도	시간
주형 (template)	0.6	Pre-denaturation	95°C	5 min
정방향 프라이머	1	Denaturation	95°C	30 sec 40 cycles
역방향 프라이머	1	Amplification	Annealing	55°C 30 sec
10X PCR buffer	2		Extension	72°C 60 sec
dNTP mix	2	Final-Extension	72°C	5 min
Taq polymerase	0.5			
증류수	up to 20			

- 디자인된 각 병원체에 대한 프라이머와 반응조건을 적용하여 PCR을 수행한 결과, 3월과 4월에 각각 참가리비와 비단가리비에서 *V. splendidus*가 검출되었음.
- 현장에서 참가리비의 경우 4월 이후에 모두 사멸하였는데, *V. splendidus*가 참가리비 사멸의 원인인지에 대해서는 감염실험 등의 추가연구가 요구됨.

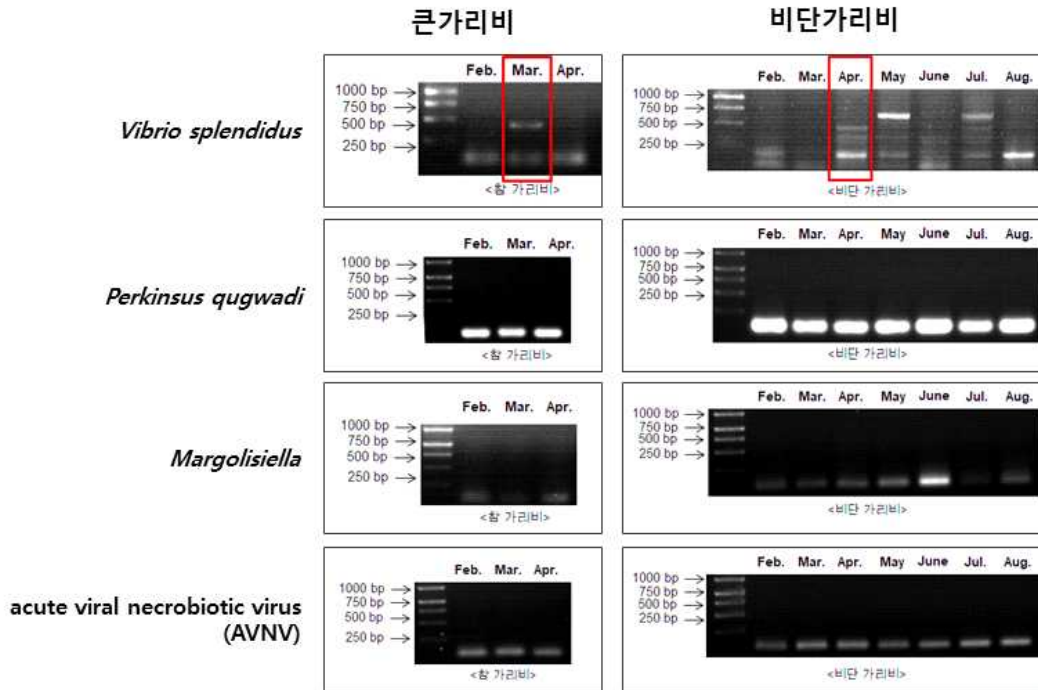


그림 2-2-31. 참가리비 및 비단가리비에서 해양병원체의 출현 여부

다. 양식자원 먹이생물 (동 식물플랑크톤) 모니터링

1) NGS 및 현미경 복합 분석을 통한 식물플랑크톤의 격월별 출현량 분석 및 환경요인과의 관계 분석

○ 수심별 해양 환경 관측을 통한 냉수성 양식 생물의 적정 서식지 파악

- 해양 환경 관측(수온, 염분, 용존산소, 영양염류, 용존유기탄소): 2018년 2월~2018년 9월까지 월별 조사 (정점 1) 및 격월 조사(정점 2와 정점 3)를 통한 해양 환경 관측을 수행함.
- 정점 1: 가리비 양식어장에서 환경 모니터링 및 먹이생물 연구, 2018년 2월부터 9월까지 월별로 30 m까지 수심별 관측을 수행함.
- 정점 2, 3: 어장 후보지 조사, 2018년 3월부터 9월까지 격월로(3월, 5월, 7월, 9월) 60m까지 수심별 관측을 수행함.

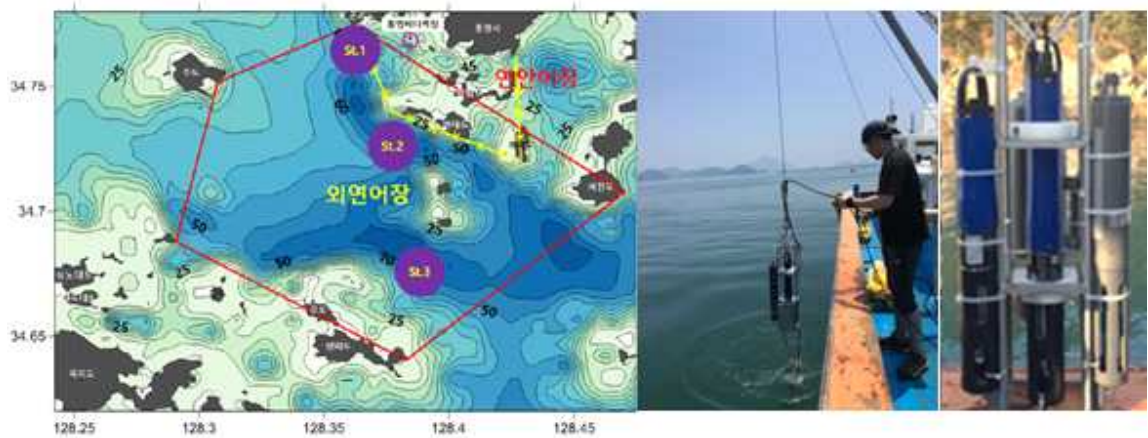
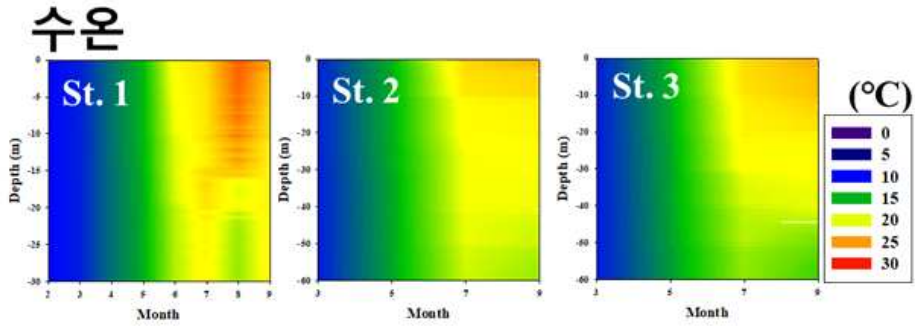


그림 2-2-32. 해양 환경 관측 정점 및 조사 장비

- 정점 1에서 월별 수심에 대한 평균 수온은 2월에 가장 낮았고 점차적으로 증가하여 8월에 가장 높았으며, 9월에 다시 감소하여, 계절적인 변화를 보임. 정점 2와 3에서 수심에 대한 평균 수온은 정점 1과 유사하게 시간에 따라 점차적으로 증가하는 변화를 보임. 모든 정점에서 여름철 수심이 깊어질수록 수온이 감소하며, 표층과 저층간에 1°C 이상의 수온의 차이를 보임.
- 정점 1에서 수심별 수온의 변화는 8월을 제외하고 표층에서 30m 수심까지의 큰 차이를 보이지 않음. 가리비와 같은 부착성 패류는 서식장소의 수온이 대사 작용과 먹이 섭취 등에 직접적인 영향을 미친다고 보고되어 있음(Newell and Kofoed, 1977). 2월부터 5월까지의 수온은 10~15°C로 수심에 따른 변화는 크지 않으며, 동해안 참가리비의 봄 성장기의 수온(3월~5월, 8~13°C)과 유사함(Park et al., 2001). 8월에는 표층(1.5m)에서 26.52°C로 가장 높은 값을 보였고, 29.4m에서 17.82°C로 가장 낮은 값을 보였으며(수온차 8.70°C), 15~16m 수심에서 수온이 급격히 낮아지는 수온약층이 나타남.



수온 (°C) : St. 1

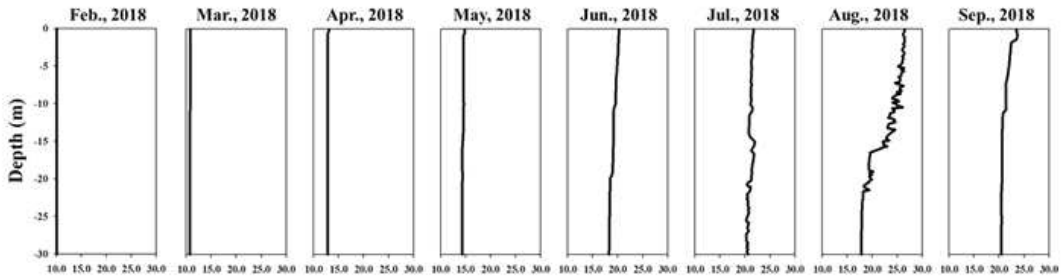
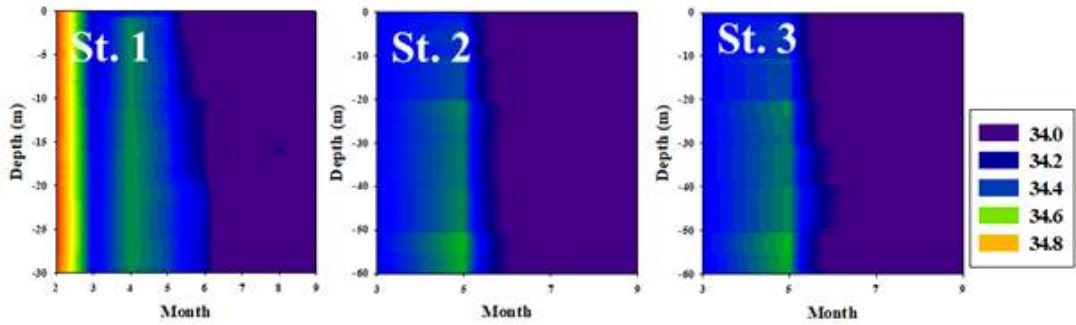


그림 2-2-33. 수온의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)

- 정점 1에서 월별 수심에 대한 평균 염분은 2월에 가장 높았고, 9월에 가장 낮았으며, 4월에 다소 증가 하였으나 시간에 따라 감소하는 양상을 보였음. 정점 2와 3에서 수심별 평균 염분은 정점 1과 유사한 변화를 보임. 그러나 정점 1과 달리, 5월에는 표층에 비해 저층에서 약간 더 높은 염분 값을 보임.
- 정점 1에서 수심별 염분의 변화는 2월부터 5월까지의 표층에서 30m 수심까지 큰 차이를 보이지 않았으나 6월부터 9월까지의 표층에 비해 저층에서 더 높은 염분 값을 보임. 참가리비 1년생의 개체는 22.5%에서 폐사가 일어나고, 32.4~33.7%에서 섬모의 운동성이 최적이라 알려져 있음(Maru et al., 1985). 따라서 연구 기간 동안 본 해역에서 염분은 참가리비가 성장하기에 적절하다고 판단됨.

염분



염분 : St. 1

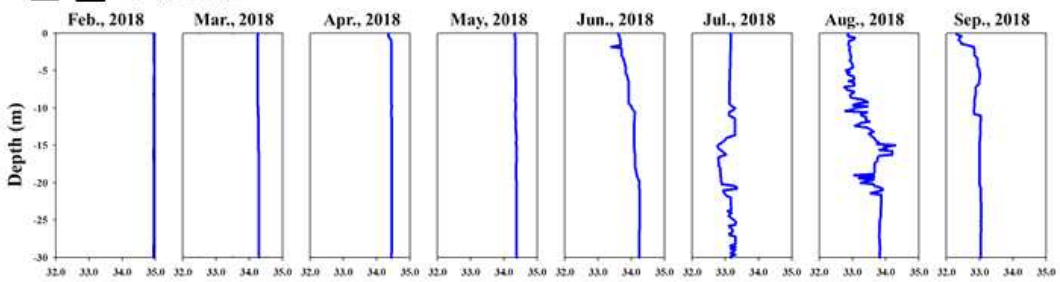
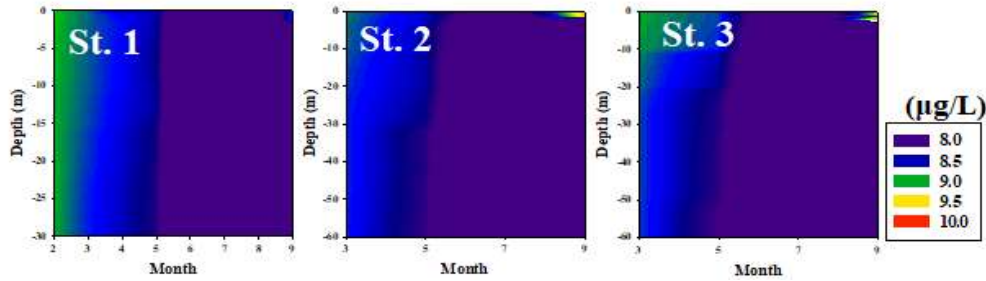


그림 2-2-34. 염분의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)

- 정점 1에서 월별 수심에 대한 평균 용존산소는 2월에 가장 높았고 점차적으로 감소하여 8월에 가장 낮음. 정점 2와 3에서 수심에 대한 평균 용존산소는 정점 1과 유사한 변화를 보임
- 정점 1에서 수심별 용존산소의 변화는 2월부터 5월까지의 표층에서 30m 수심까지 큰 차이를 보이지 않았으나 6월부터 9월까지의 표층에서 높고 수심이 깊어질수록 감소하는 양상을 보임

용존산소



용존산소 (µg/L) : St. 1

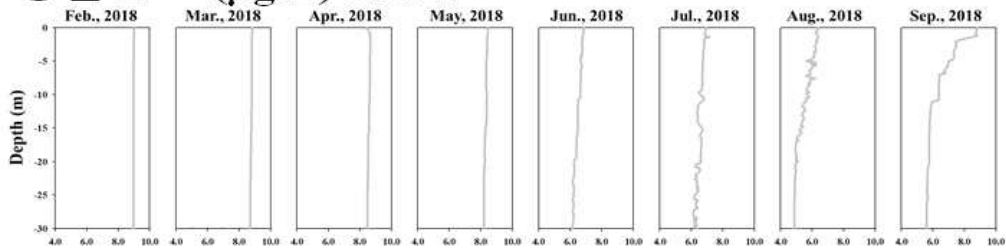


그림 2-2-35. 용존산소의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)

- 영양염류는 용존무기질소, 용존무기인, 용존규소에 대해 정점 1에서 수심별(표층, 10m, 20m, 30m)로 분석을 실시함.
- 2018년 2월부터 9월까지 분석 결과, 월별 수심에 대한 평균 농도는 용존무기질소는 5월에 4가장 낮고 2월에 가장 높았음. 용존무기인은 5월에 가장 낮고 8월에 가장 높음. 용존규소는 4월에 가장 낮고 8월에 가장 높았음
- 수심별 용존무기질소 농도의 변화는 전반적으로 수심이 깊어질수록 농도가 증가하는 경향을 보이며, 특히 7월부터 9월에 뚜렷한 증가패턴을 보임. 용존무기인과 용존규소는 2월부터 6월까지의 수심에 따른 농도의 차이를 크게 보이지 않았으나 용존무기질소와 마찬가지로 7월부터 9월에 수심에 따라 증가하는 변화를 보임

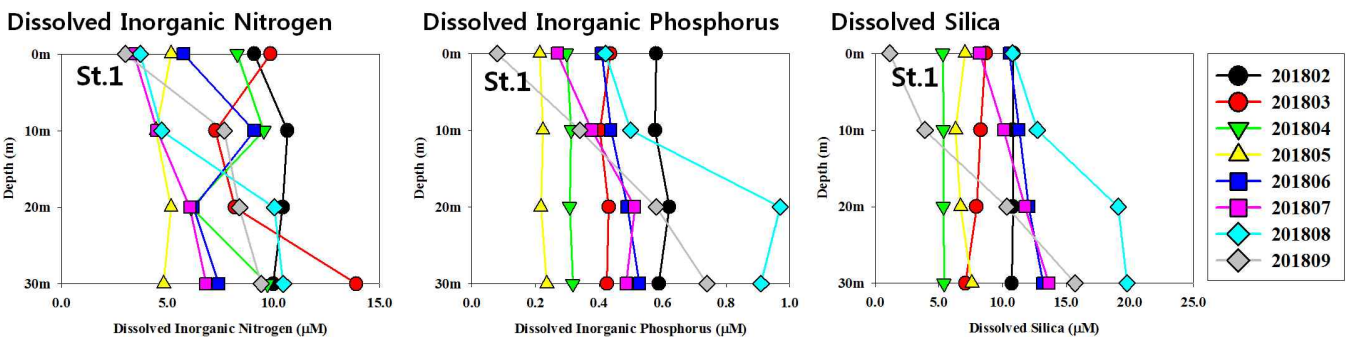


그림 2-2-36. 용존무기질소(좌), 용존무기인(중), 용존규소(우)의 월별 수직 분포

- 용존유기탄소는 정점 1에서 수심별(표층, 10m, 20m, 30m)로 분석을 실시함. 2018년 2월 부터 7월까지 분석 결과, 6월에 가장 낮았고 4월에 가장 높음. 또한 수심에 따른 농도 변화는 뚜렷한 특징을 보이지 않음

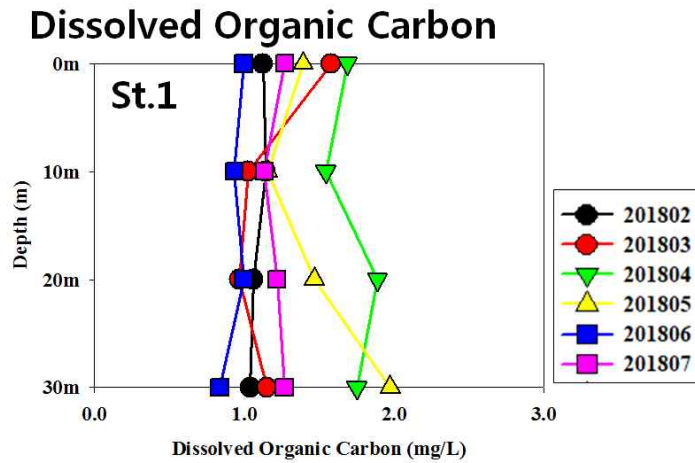
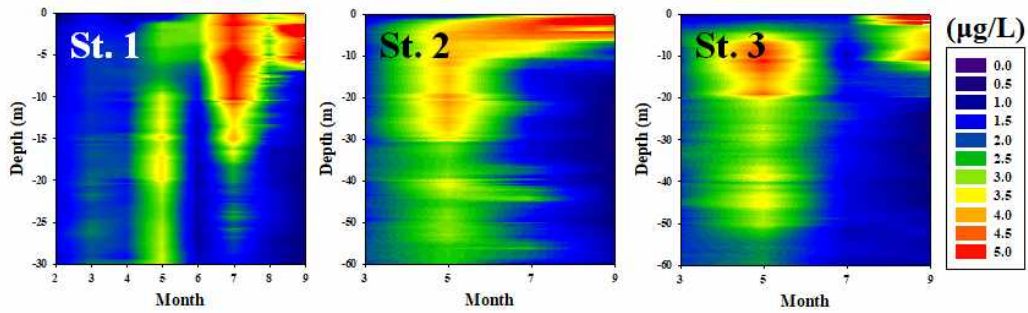


그림 2-2-37. 용존유기탄소의 월별 수직 분포

○ 수심별 먹이 생물의 분포

- 수심별 먹이생물 분포 프로파일링(수심별 클로로필 및 식물플랑크톤 군집의 변동): 2018년 2월~2018년 9월까지 월별 조사(정점 1) 및 격월 조사(정점 2와 정점 3)를 통해 먹이생물 분포 변화를 파악함.
- 먹이생물인 식물플랑크톤의 현존량을 대표하는 지표로서 클로로필의 수심별 프로파일링을 수행함.
- 정점 1에서 월별 수심에 대한 평균 클로로필 농도는 2월에 $1.35 \pm 0.16 \mu\text{g/L}$ 으로 가장 낮고 7월에 $3.55 \pm 1.36 \mu\text{g/L}$ 으로 가장 높음. 정점 2와 3에서 수심에 대한 평균 클로로필 농도는 정점 1과는 달리 9월에 가장 낮고 5월에 가장 높음. 클로로필 농도는 저층에 비해 표층에서 10m 수심까지에서 높게 나타났으며, 20m 수심 이하에서는 급격히 감소함.
- 정점 1에서 수심별 클로로필 농도의 변화는 2월부터 5월까지의 표층에서 30m 수심까지 큰 차이를 보이지 않았으나 6월부터 9월까지는 수심이 깊어질수록 클로로필 농도가 감소하는 경향을 보임. 수심별 클로로필 농도의 최고값은 6월과 7월 각각 $2.88 \mu\text{g/L}$ 과 $6.18 \mu\text{g/L}$ 로 6월에 2.0m에서 7월에 5.2m 수심으로 깊어짐. 그러나 8월과 9월에는 다시 상승하여 각각 1.2m, 1.6m 수심에서 각각 $3.58 \mu\text{g/L}$, $9.49 \mu\text{g/L}$ 의 클로로필 농도값을 보임.

Chlorophyll-*a*



Chlorophyll-*a* (µg/L) : St. 1

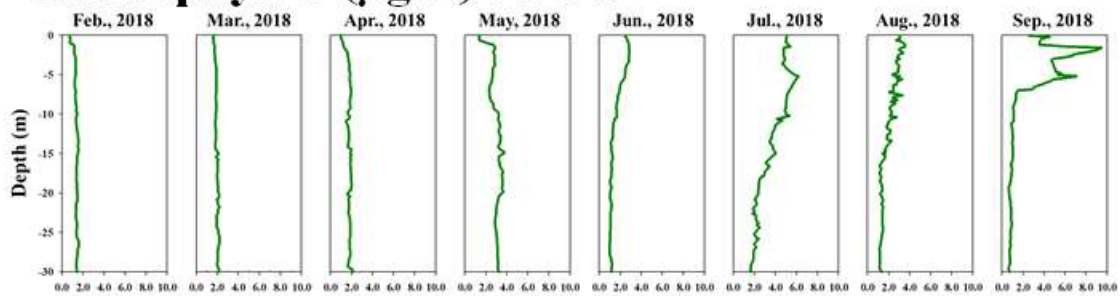
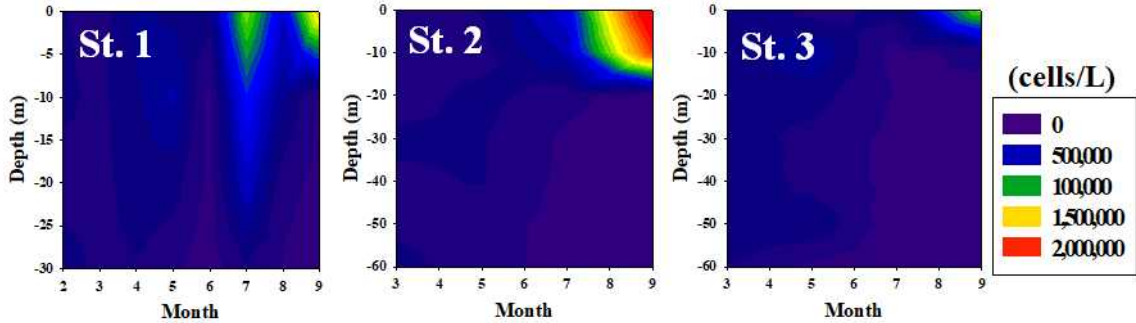


그림 2-2-38. chlorophyll-*a* 의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)

- 먹이생물인 식물플랑크톤의 정량적인 분석을 위해 현미경 분석을 실시함.
- 정점 1에서 월별 수심에 대한 평균 식물플랑크톤 개체수는 6월 $102,322 \pm 94,937$ cells/L로 가장 낮았고 9월 $424,343 \pm 737,910$ cells/L로 가장 높았음. 정점 2에서는 3월에 가장 낮고($176,660 \pm 39,445$ cells/L) 9월에 가장 높았으며($628,773 \pm 1,030,190$ cells/L), 정점 3에서는 7월에 가장 낮고($84,652 \pm 66,817$ cells/L) 3월에 가장 높음($255,179 \pm 41,684$ cells/L). 모든 정점에서 식물플랑크톤 개체수는 표층이 저층에 비해 높음. 식물플랑크톤 개체수의 시공간적 분포는 클로로필의 분포와 유사함.
- 정점 1에서 수심별 식물플랑크톤 개체수의 변화는 클로로필의 변화와 유사함. 2월부터 5월까지의 표층에서 30m 수심까지 큰 차이를 보이지 않았으나 6월부터 9월까지의 수심이 깊어질수록 식물플랑크톤 개체수가 감소하는 경향을 보임. 식물플랑크톤 개체수는 9월 수심 30m에서 21,948 cells/L로 가장 낮았으며 표층에서 1,530,580 cells/L로 가장 높아, 약 70배의 차이를 보임.

식물플랑크톤 개체수



Phytoplankton abundance (cells/L) : St. 1

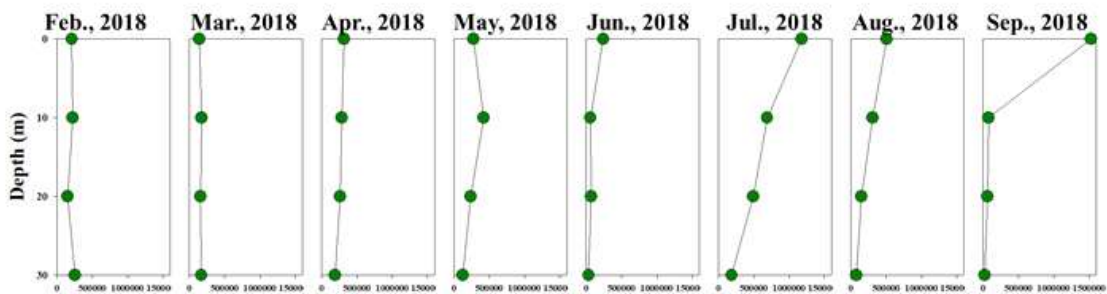


그림 2-2-39. 식물플랑크톤 개체수의 시공간적 분포(위) 및 월별 수직 분포(아래)

- 가리비 양식어장인 정점 1에서 식물플랑크톤의 군집구조를 분석함. 출현한 식물플랑크톤은 총 166종이 출현하였으며 구조류 106종, 와편모조류 27종, 규질편모조류 2종, 은편모조류 1종임. 총 개체수의 5% 이상 비율을 차지하는 종을 우점종으로 선정하였으며, *Chaetoceros curvisetus*(18.4%), *Pseudonitzschia pungens*(8.0%), *Thalassiosira nordenskiöldii*(6.0%), *Chaetoceros laciniosus*(5.8%), *Chaetoceros debilis*(5.0%)가 우점종으로 출현함.
- *C. curvisetus*는 5월부터 출현하였으며, 7월부터 9월까지 표층~10m 수심에서 높은 개체수를 보이며 7월에는 30m 수심까지 우점종으로 출현함. 9월 표층에서 가장 높은 개체수로 출현함.
- *P. pungens*는 6월부터 우점종으로 출현하였으며, 7월에는 20m 수심까지도 높은 출현을 보임 (88,914cells/L). 표층에서 개체수는 점차 증가하여 9월 표층에서 가장 높은 개체수로 출현함.
- *T. nordenskiöldii*는 2월에서 4월까지 높은 개체수를 보였으며, 4월 표층에서 가장 높은 개체수로 출현함.
- *C. laciniosus*는 7월부터 우점종으로 출현하였으며, 9월 표층에서 가장 높은 개체수로 출현함 (224,240cells/L). 또한 7월에는 표층에 비해 10m 수심에서 더 높은 개체수를 보임.
- *C. debilis*는 2월부터 5월까지 높은 개체수를 보였으며, 5월 표층에서 가장 높은 개체수로 출현함.

정점 1 : 주요 우점종 변화

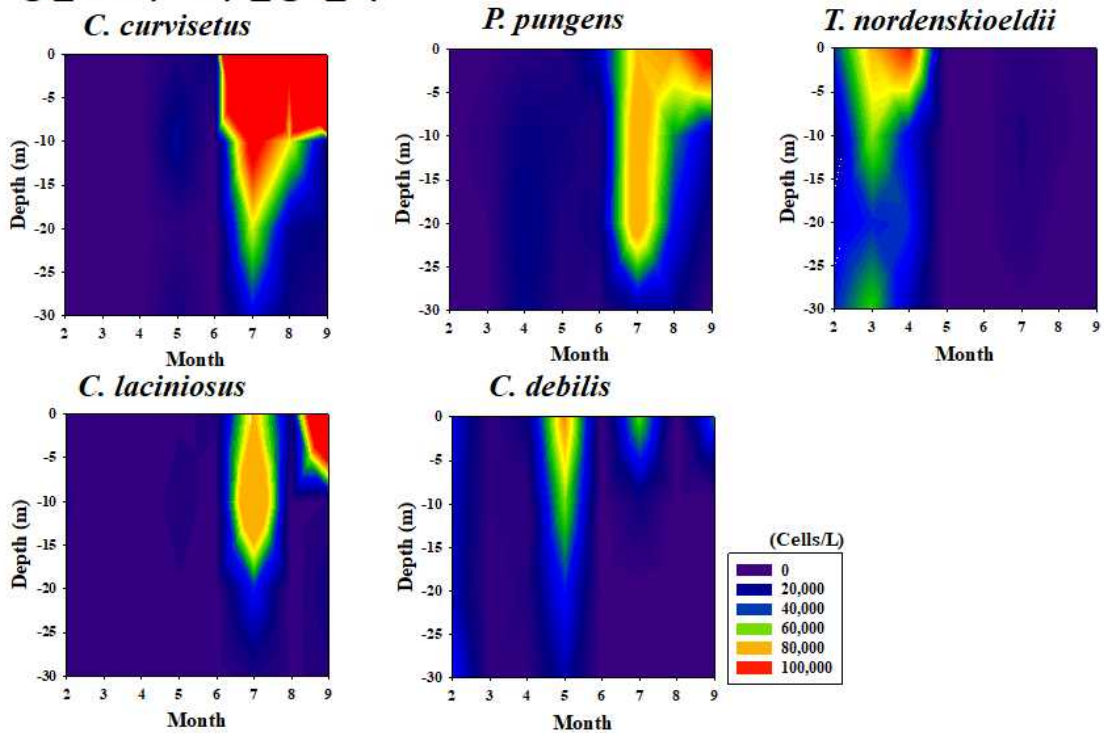


그림 2-2-40. 정점 1에서 식물플랑크톤 주요 우점종의 시공간적 분포

○ 가리비 위 내용물 내 먹이생물 조사

- 가리비 먹이원 파악을 위해 양식어장의 가리비의 위 내용물 조사를 메타제노믹스 방법으로 실시함.
- 가리비 위 내용물 적출: 비단가리비는 2018년 2월부터 8월까지 평균 각장 및 각폭의 10개를 선별함. 참가리비는 2018년 2월부터 4월까지 평균 각장 및 각폭의 10개체를 선별함. 선별된 가리비는 즉시 조직을 절개하여 위를 적출한 후 유전자 분석을 위하여 gDNA를 추출함. 추출된 gDNA는 위 내용물 내 먹이생물 분석을 위하여 차세대염기서열(Next Generation Sequencing, NGS) 분석을 실시함.
- 총 11개의 가리비 위내용물 샘플을 분석한 결과, 녹조류가 58.3%, 규조류가 8.3%, 와편모조류가 8.3%, 해조류가 8.3%, 동물플랑크톤이 16.7% 나타남.

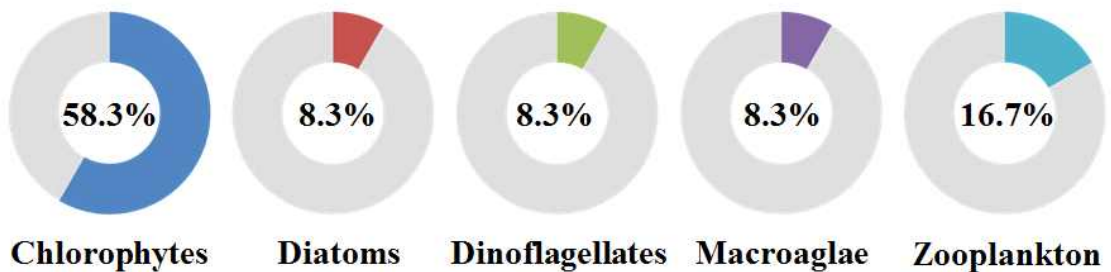


그림 2-2-41. 가리비 위 내용물에서 출현한 먹이생물 그룹별 비율

- 녹조류는 *Bathycoccus prasinus*와 *Micromonas pusila*, 규조류는 *Gomphonema* sp., 와편모조류는 *Heterocapsa* sp., 해조류는 홍조류인 *Palisada* sp.와 *Galazaura* sp., 동물플랑크톤은 다모류인 *Conus longurionis*, *Eunice* sp. 가 출현함.
- 비단가리비의 위내용물 분석 결과 녹조류가 50%, 규조류가 10%, 해조류가 20%, 동물플랑크톤이 20%를 차지하였음. 참가리비의 위내용물 분석 결과 녹조류가 64%, 규조류가 7%, 와편모조류가 15%, 동물플랑크톤이 14%를 차지하였음. 비단가리비의 위내용물은 참가리비의 것에 비해 녹조류의 비율이 낮고 동물플랑크톤 비율이 2배 정도 높게 나타남. 또한 해조류는 비단가리비에서만 출현한 반면, 와편모조류는 참가리비에서만 출현하는 특징을 보임.

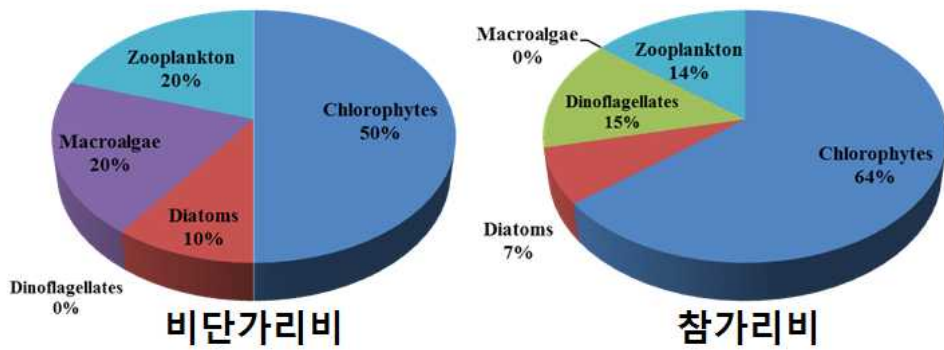


그림 2-2-42. 비단가리비와 참가리비 위 내용물 내 먹이생물 비율

○ 해수 내 가리비 먹이생물 조사

- 가리비 먹이원에 대한 조사를 위해 가리비 양식어장인 정점 1에서 해수 내 먹이생물에 대한 조사를 실시함. 2018년 2월부터 8월까지 수심별(표층, 10m, 20m 30m) 해수를 채수하여 해수 내 생물의 gDNA를 추출함. 추출된 gDNA는 CO1 DNA marker를 이용하여 중합효소연쇄반응(Polymerase chain reaction, PCR)을 실시한 후 해수 내 먹이원 분석을 위하여 차세대염기서열(NGS) 분석을 실시함.
- 조사기간 동안의 전체 샘플의 NGS 분석 결과, 녹조류가 66.8%, 규조류가 18.4%, 와편모조류가 0.8%, 해조류가 3.2%, 동물플랑크톤이 10.4%, 그 외 식물플랑크톤 0.3%가 나타남.

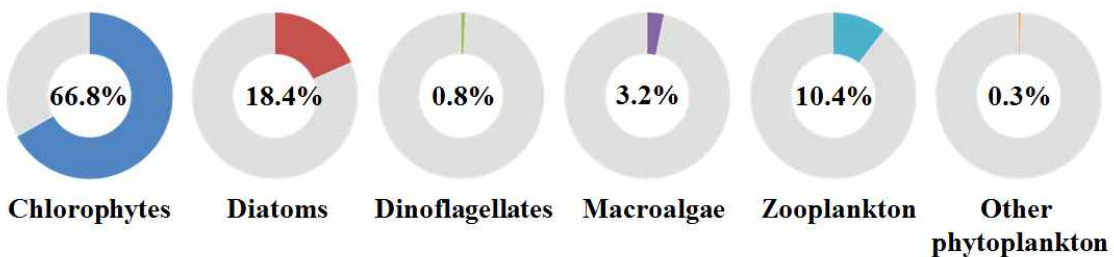


그림 2-2-43. 가리비 양식장(정점 1) 해수에서 출현한 먹이생물 그룹별 비율

- 1% 이상의 비율을 보인 종은 녹조류는 *Bathycoccus prasinos*(42.6%), *Micromonas pusilla*(15.2%), *Micromonas* sp.(9.0%), 규조류는 *Gomphonema* sp.(17.5%), 해조류는 *Palisada* sp.(1.6%), *Galaxaura* sp.(1.4%), 동물플랑크톤은 *Conus longurionis*(8.3%)임.
- 해수 내 식물플랑크톤에 대해 현미경과 NGS 분석 결과를 비교하였을 때, 현미경에서는 주요 우점종 모두 규조류가 출현하는 등(그림 40) 규조류가 가장 높은 비율을 보였으나 NGS 분석 결과 녹조류가 가장 높은 비율을 차지함. 이는 분석 방법의 차이에 의한 결과로써, 현미경은 녹조류와 같이 작은 크기의 식물플랑크톤을 검정하기에 어려움이 있으나 NGS는 유전자를 이용하므로 생물의 크기에 대한 제한이 없어, 현미경 분석에 대한 한계점을 보완할 수 있다고 생각됨.
- 해수와 가리비 위내용물의 NGS 분석 결과, 녹조류가 각각 66.8%, 58.3%로 가장 많은 비율을 차지함. 차순으로 해수에서는 규조류가 18.4%의 비율을 차지하였으나 위내용물에서는 동물플랑크톤이 16.7%의 비율을 보임.

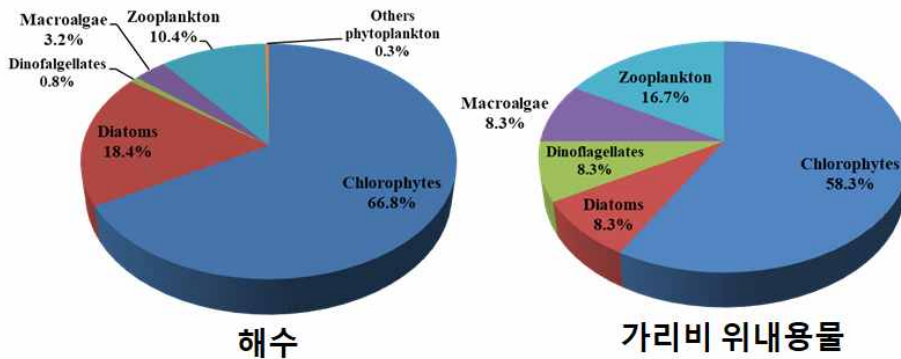


그림 2-2-44. 해수와 가리비 위내용물에서 출현한 먹이생물 그룹의 비교

- 가리비 양식 수심인 표층의 해수에서 1% 이상의 비율을 차지하는 종과 가리비 위내용물에서 출현한 종을 비교한 결과, 해수에서 높은 비율을 차지한 종들이 가리비 위내용물에서 출현함(*Micromonas* sp. 제외). 해수와 위내용물 모두 녹조류인 *Bathycoccus prasinos*가 가장 높은 비율을 보임(각각 61.4%, 54.2%). 따라서 가리비는 해수에 풍부하게 존재하는 생물을 먹이원으로 섭식한다고 생각됨.

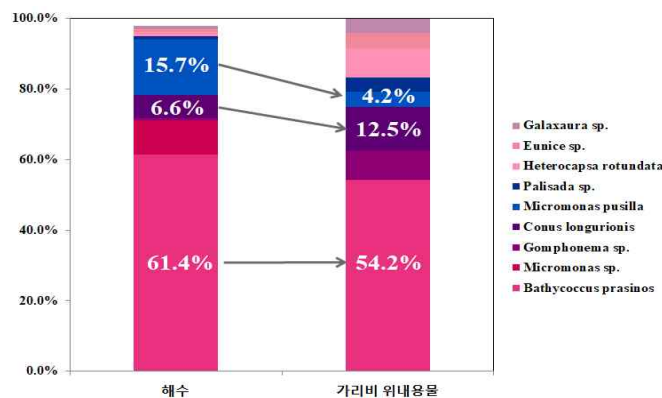


그림 2-2-45. 가리비 양식장(정점 1)의 표층해수와 가리비 위내용물에서 먹이생물 비교

- NGS 결과 월별 및 수층별 먹이생물 분포는 2월과 3월에는 대부분이 녹조류가 수심에 관계없이 가장 높은 비율을 차지하였으며, 7월 표층에서 3.7%로 가장 낮았고 2월 10m에서 95.8%로 가장 높았음. 4월부터 7월 동안에는 녹조류의 비율이 감소하며, 동물플랑크톤(4월~6월)과 규조류(6월~7월)의 비율이 증가함. 동물플랑크톤의 비율은 2월 10m에서 2.7%로 가장 낮고 7월 표층에서 81.5%로 가장 높음. 규조류의 비율은 2월 표층에서 가장 낮고(0.3%) 7월 30m에서 가장 높음(59.2%). 와편모조류는 3월에 비교적 높은 비율을 보였으나(최고 3월 20m 수심에서 3.1%) 대부분의 1% 미만의 비율을 차지함. 또한 5월에는 황색 편모조류(other phytoplankton)가 출현함. 해조류는 4월 이후 상대적으로 높은 비율을 보였으며, 8월 30m에서 9.4%의 가장 높은 비율을 차지함.

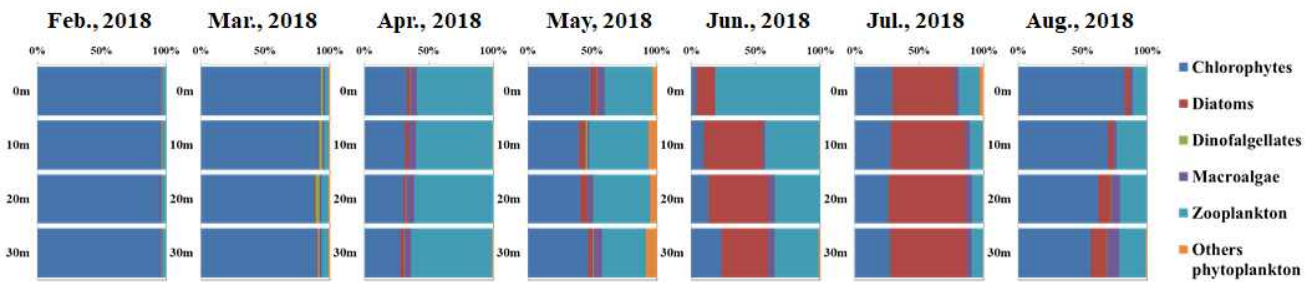


그림 2-2-46. 가리비 양식장(정점 1)에서 월별 먹이생물 그룹의 수직 분포

2) 중형동물플랑크톤 및 일시동물플랑크톤의 격월별 출현량 분석

○ 중형동물플랑크톤 출현량 변동

- 3개 조사 정점에서 중형동물플랑크톤 개체수는 3월, 7월, 9월에 높았으며, 정점 2에서 비교적 높았음.
- 동물플랑크톤의 대부분이 요각류였으며(평균 72%), 5월에는 지각류의 비중이 비교적 높았고, 9월에는 살파와 유사한 *Thalia*의 비중이 높았음.

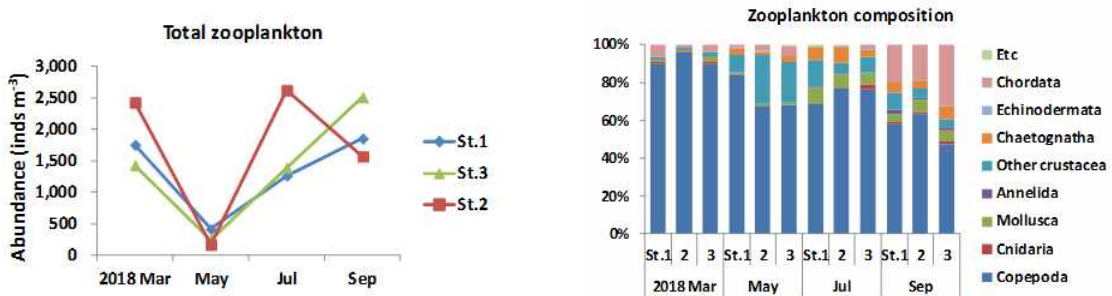


그림 2-2-47. 중형동물플랑크톤 개체수와 분류군 구성

○ 이매패류 유생의 출현량 변동

- 이매패류 유생은 9월에 다수 출현하였고, 복족류 유생은 7월에 많았으며, 두 분류군 모두 정점 2에서 비교적 많았음.

- 봄철에 출현한 이매패류는 모두 담치 유생이었으며, 7월과 9월에는 담치 유생과 키조개과 유생이 같이 출현하였음.
- 우렁챙이 유생은 10월에만 소량 출현함(1 ind. m⁻³).

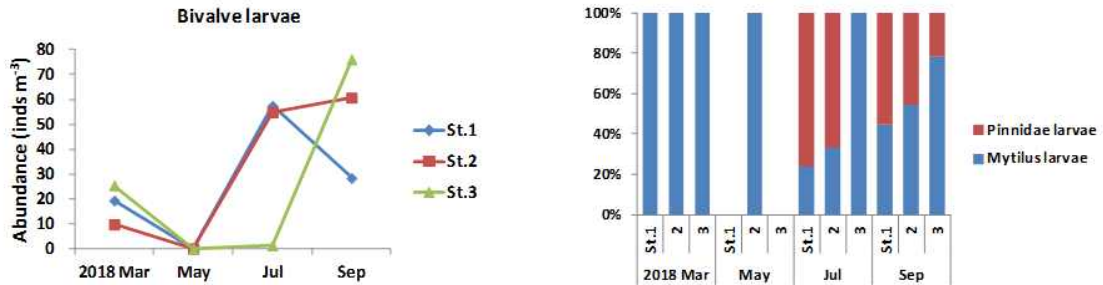


그림 2-2-48. 이매패류 유생 개체수와 종 조성

○ 중형동물플랑크톤 우점종 변동

- 3월부터 7월까지 모든 정점에서 요각류 *P. parvus*와 *D. affinis*가 최우점하였으며, 3개 조사 정점의 우점종 구성은 대체로 비슷함.

표 2-2-12. 중형동물플랑크톤 우점종 변동

	St. 1		St. 2		St. 3	
	Species	%	Species	%	Species	%
2018 March	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	19.4	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	25.1	<i>Corycaeus copepodite</i>	17.9
	<i>Centropages abdominalis</i>	12.2	<i>Paracalanus</i> copepodite	22.7	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	17.6
	<i>Paracalanus</i> copepodite	11.6	<i>Centropages abdominalis</i>	7.9	<i>Centropages abdominalis</i>	9.8
May	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	24.6	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	24.7	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	21.6
	<i>Paracalanus</i> copepodite	13.5	<i>Podon leuckartii</i>	12.9	<i>Podon leuckartii</i>	11.3
	<i>Corycaeus</i> copepodite	12.9	<i>Corycaeus</i> copepodite	12.4	<i>Acartia omorii</i>	8.6
July	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	30.6	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	44.5	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	19.9
	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	19.1	<i>Ditrichocorycaeus affinis</i>	15.4	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	18.8
	Sagittoidae juvenile	7.0	Sagittoidae juvenile	7.7	<i>Calanus</i> copepodite	17.2
September	<i>Calanus</i> copepodite	31.4	<i>Calanus</i> copepodite	30.2	<i>Thalia democratica</i>	27.7
	<i>Thalia democratica</i>	14.7	<i>Thalia democratica</i>	14.4	<i>Calanus sinicus</i>	10.6
	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	9.7	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	8.6	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	9.7

라. 양식어장 부착생물(위해생물) 저감방안

1) 부착판을 이용한 부착생물 가입 모니터링

○ 환경요인

- 매월 부착판 설치 지역의 수층 환경요인인 수온, 염분(psu), 용존산소(mg/l), pH 등을 CTD(SBE-19)를 이용하여 표층부터 저층까지 수직 측정함.

- 부착관 실험 지역에서의 수층별 수온, 염분, 용존산소, pH 등의 월별 변동성을 분석함.
- 성장 적정 수온(15 - 22°C)보다 낮은 15°C 이하로 내려가는 월은 1월에서 5월과 12월로 나타났으며 6월 수심 13.5m, 7월 16.7m, 8월 18.3m에서 20°C 이하의 수온을 나타냄.
- 겨울철, 봄철에는 수심별 염분도의 변화가 거의 나타나지 않았으나, 7월, 8월, 9월의 표층 염분은 약 32psu로 낮게 나타남.
- 수층의 용존산소는 1월 평균 5.5mg/L 의 낮은 용존산소가 나타났으며 7월-8월의 표층 용존산소도 낮게 나타남. 여름이 지난 9-10월에는 수층 간 용존산소의 변화가 거의 나타나지 않음.

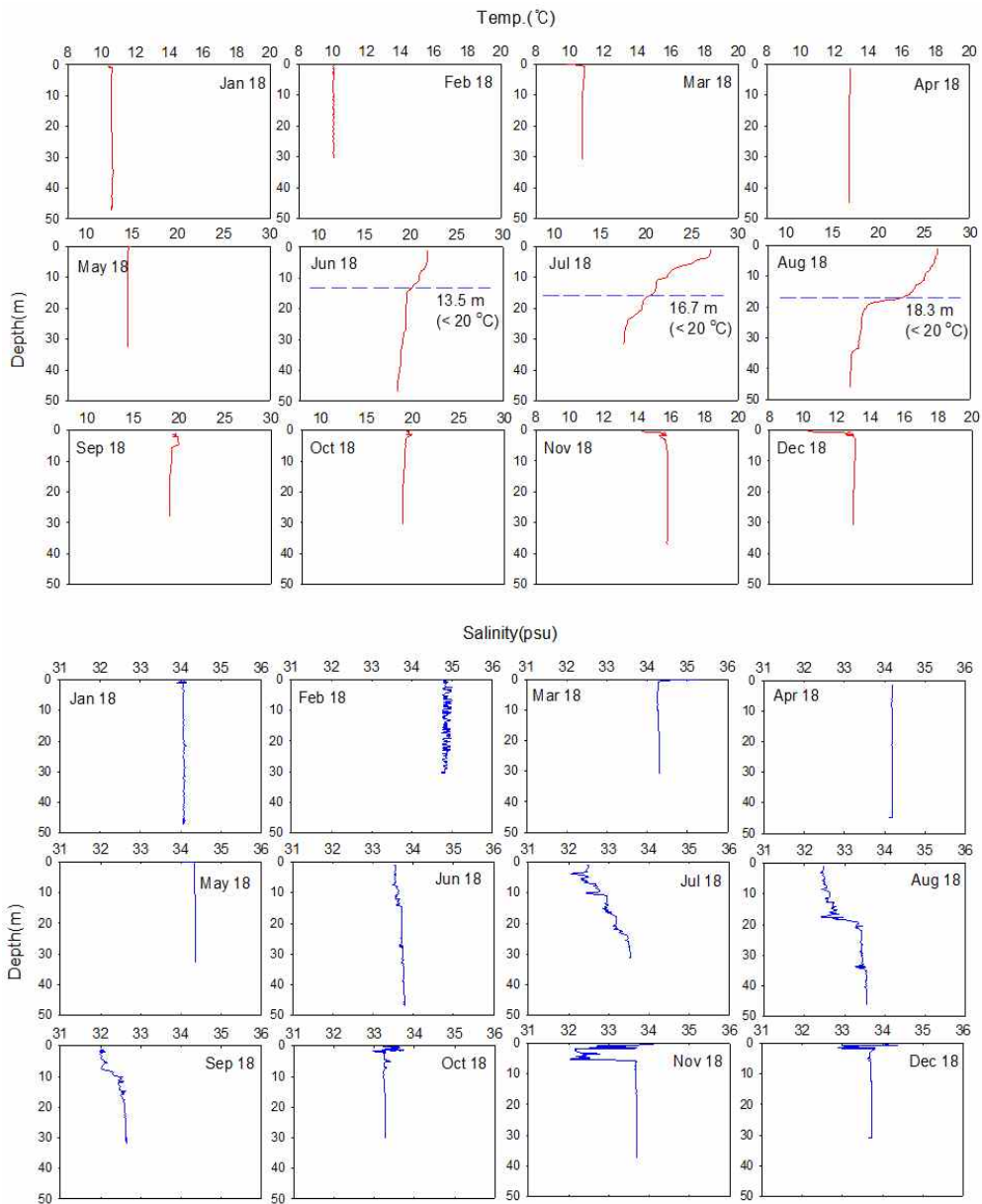


그림 2-2-49. 조사지역에서의 월별 수층 환경 변동(계속)

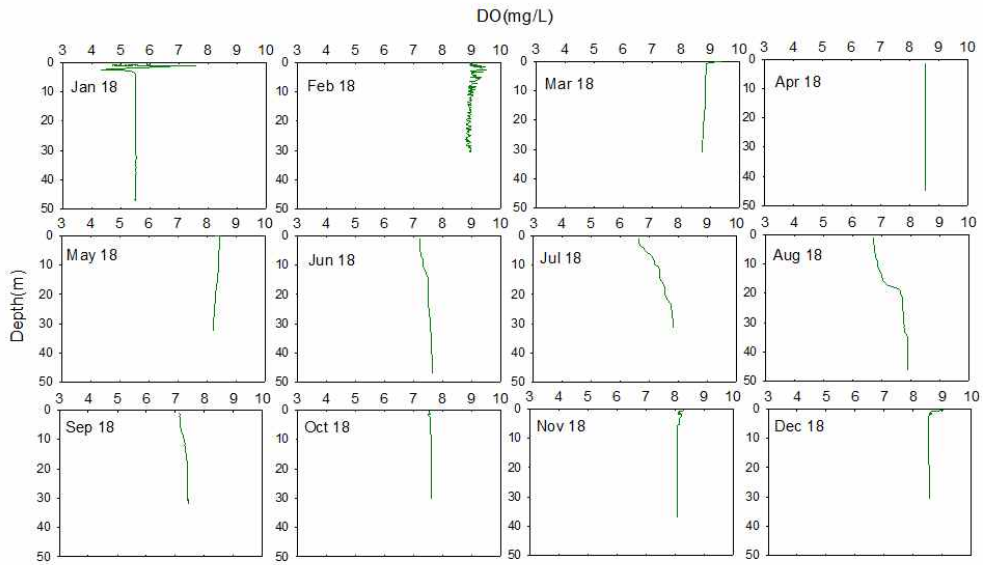


그림 2-2-49. 조사지역에서의 월별 수층 환경 변동

○ 천이과정

- 2018년 3월 수층별 부착판(30 x 30cm)을 4개 수심(5m, 10m, 20m, 30m)에 설치 후, 1개월 간격으로 가입되는 부착생물을 분석함.
- 주요 부착생물: 삼각따개비, 회색해변해면, 관히드라, 담황줄말미잘, 지중해담치, 둥근석회관갯지렁이, 깃히드라, 해조류, 단각류(Caprella californica, C. kroyeri, C. penantis, Jassa salteryi, Podocerus hoonsooi, Stenothoe valida)



그림 2-2-50. 부착판에 출현하는 주요 부착생물

- 우점종: 그물부착판에 가입되는 주요 우점종은 진주담치(46%)와 단각류(52.1%) 등이며, 진주담치 개체수는 수심 5m에서 4월에 29%를 차지했으나, 6월에는 70%로 증가하였으며, 수심 30m에서는 4월과 6월

사이의 변화는 나타나지 않았음. 반면에 진주담치의 생체량은 4월에 모든 수심에서 1% 미만이었지만, 6월에는 5m와 30m에서 각각 92%, 35%를 차지함. 또한 7월에는 5m, 10m, 20m 모두 90%이상의 생체량을 차지함.

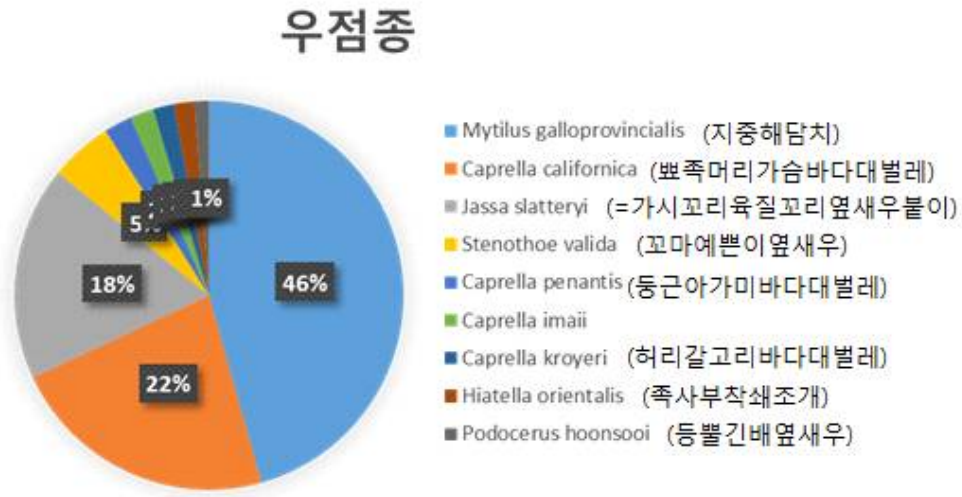


그림 2-2-51. 그물부착판의 주요 우점종

- 서식밀도: 부착판에 부착된 부착생물의 서식밀도 분석 결과 4월 평균 14,328 개체/m²가 출현하였고, 5월에는 346,638 개체/m²로 크게 증가한 후, 6월에는 133,750개체/m², 7월 89,140개체/m²로 감소 추세를 보이다 8월 104,582개체/m², 9월 170,049개체/m², 10월 109,445개체/m², 11월 112,328개체/m², 12월 147,072개체/m²로 나타남.
- 생체량: 4월 143g/m²이었으나, 5월과 6월에는 1,919g/m², 4,584g/m²로 증가하였다. 7월 지중해담치의 성장으로 생체량은 10,599g/m²로 증가하였으며 8월 6,222g/m², 9월 2,459g/m², 10월 1,192g/m², 11월 2,007g/m², 12월 598g/m²로 감소함.
- 본 조사에서 지중해담치는 4월부터 부착판에 치패로 가입되었으며, 5월 개체수가 30만개/m² 이상을 보였으나, 6월 이후부터는 지중해담치가 성장하면서 부착된 개체의 탈락이 나타나면서 개체수가 감소하였으며 8월 이후 생체량이 감소함.
- 가장 우점한 지중해담치의 부착시기에 따라 부착생물의 종 조성이 변하였으며, 담치가 부착하는 곳에서는 다른 부착생물이 적어지는 경향을 보임. 주요 우점종 지중해 담치의 치패는 4-5월 가입이 되었으며 단각류는 모든 시기에서 주요 부착생물로 나타남.

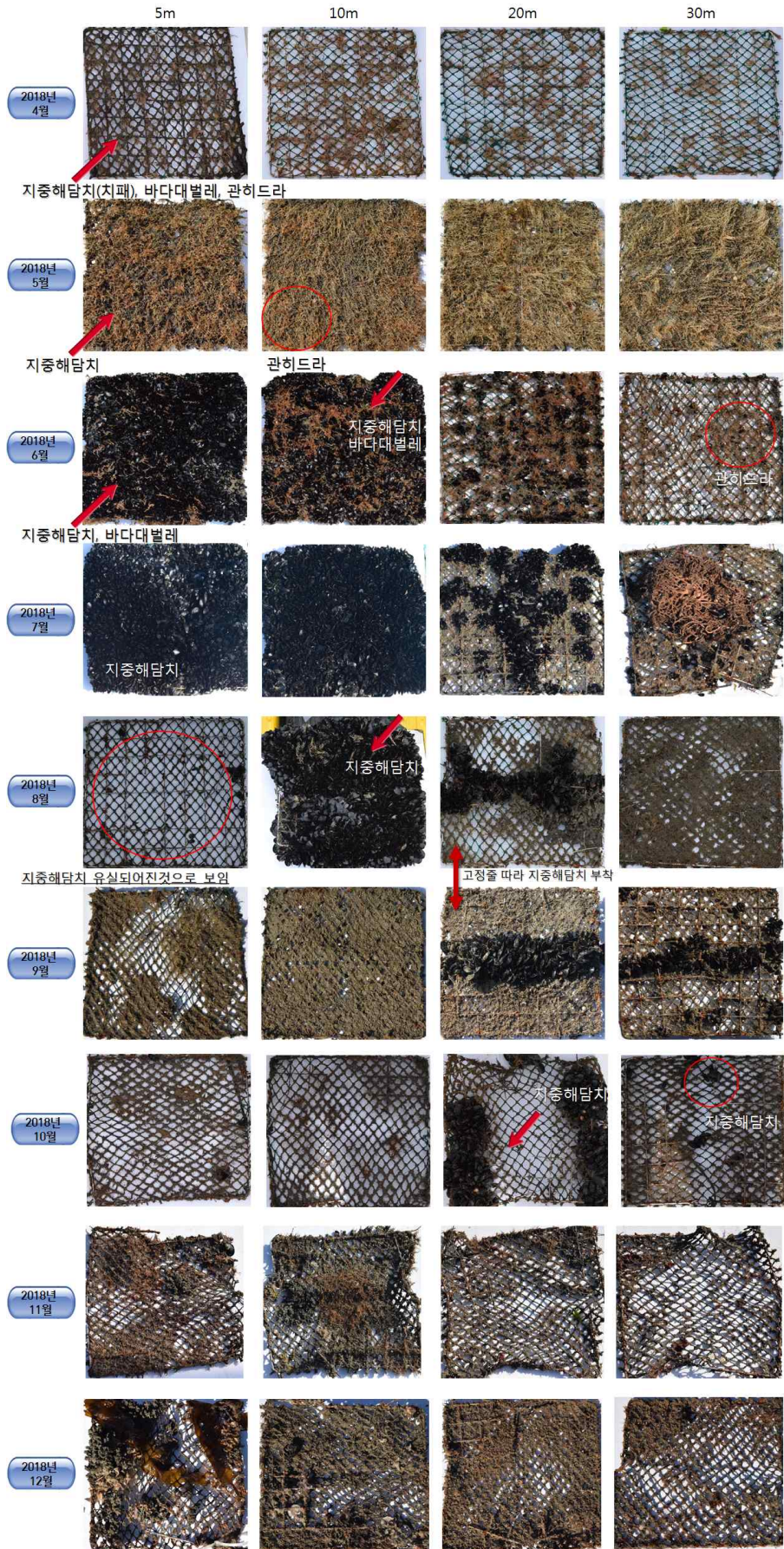
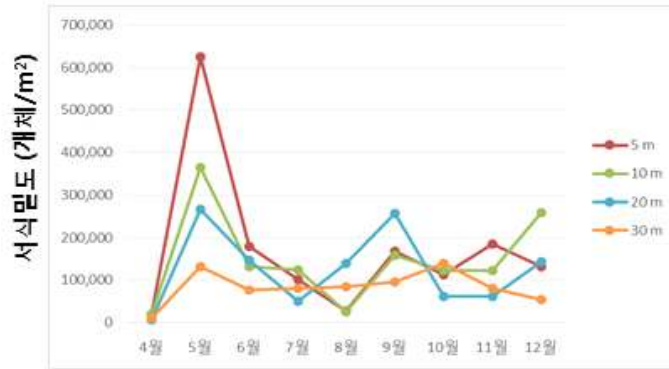


그림 2-2-52. 그물 부착판에 가입되는 부착생물(천이과정)

천이 부착판(누적)



천이 부착판(누적)

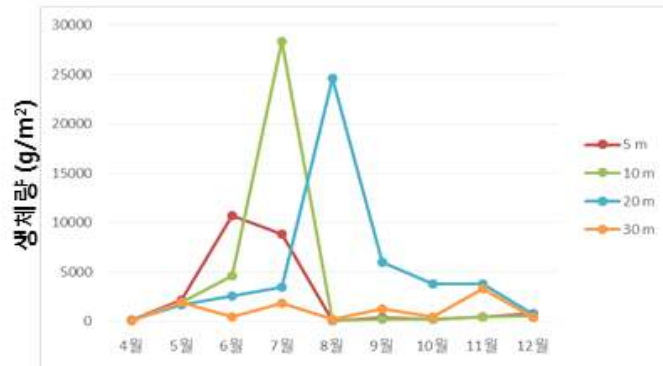


그림 2-2-53. 부착판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(천이과정)

○ 월별가입

- 1개월 간격으로 부착판(그물/동판, 30 x 30cm)에 가입되는 부착생물을 분석함.
- 주요 부착생물: 관히드라, 단각류(*Caprella californica*, *C. kroyeri*, *C. penantis*, *Jassa saltteryi*, *Podocerus hoonsooi*, *Stenothoe valida*)
- 우점종: 그물부착판에 가입되는 주요 우점종들은 히드라류와 단각류들이며, 전 수층에서 전체 출현 개체수의 95% 이상을 차지함.
- 서식밀도: 4월의 그물부착판에는 평균 14,333개체/m² 출현하였고, 5월에는 44,582개체/m², 6월 80,252개체/m², 7월 108,029개체/m²로 4월 실험 시작 후 부터 증가하였으며 8월 82,157개체/m², 9월 76,800개체/m², 10월 54,339개체/m², 11월 27,900개체/m², 12월 1,900개체/m²로 점차 감소함.
- 생체량: 4월 143g/m², 5월 308g/m²로 2배 이상 증가하였으며, 6월 382g/m², 7월 427g/m²로 점차 증가하여 나타남. 8월 181g/m²로 감소하였다가 9월 247g/m²로 증가하였으며 그 후 10월 148g/m², 11월 60g/m², 12월 6g/m²로 생체량이 점점 감소함.
- 월별 실험 결과 히드라류, 단각류가 주요 우점종으로 나타났으며 7-8월에 우점하여 전 수층에서 출현

하였다가 10월 대부분 감소하여 나타남.

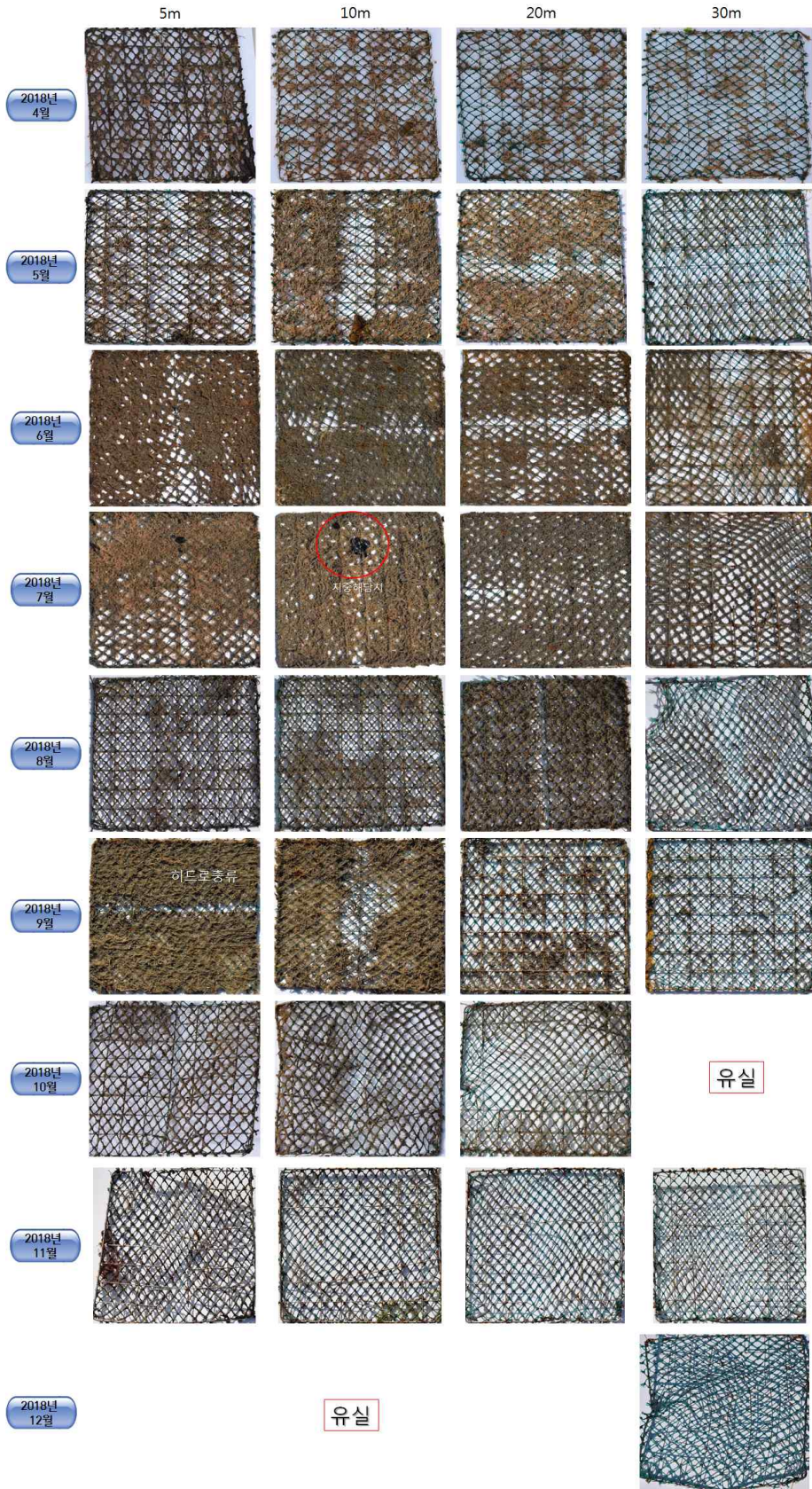
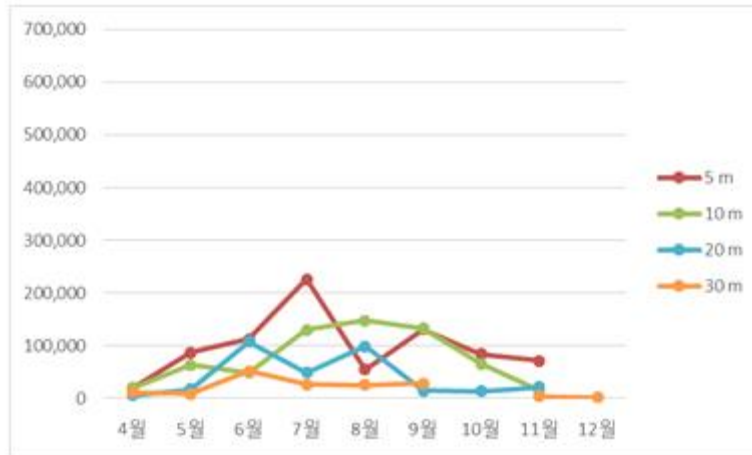


그림 2-2-54. 그물부착판에 가입되는 부착생물(월별)

월별 부착판(매월)



월별 부착판(매월)

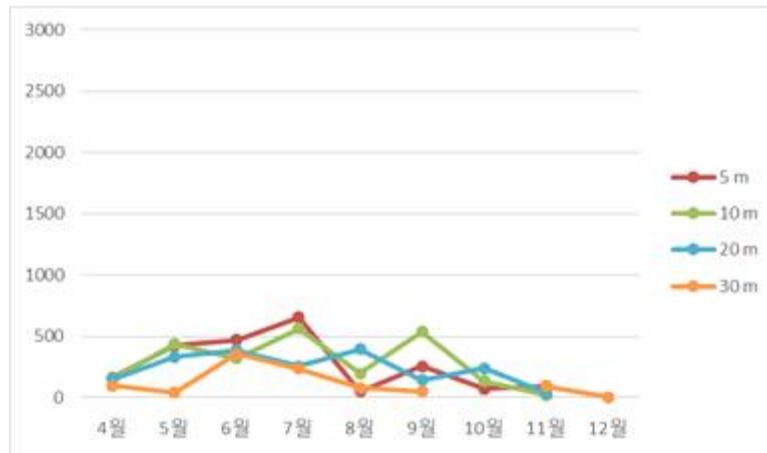


그림 2-2-55. 월별 부착판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(매월)

- 월별 동판 실험의 서식밀도는 4월(1,067개체/m²)에서 5월(4,416개체/m²), 6월(19,222개체/m²), 7월(28,856개체/m²)로 갈수록 증가하였으며, 10월(3,904개체/m²), 11월(6,340개체/m²), 12월(684개체/m²)로 나타남. 8-9월은 태풍으로 인하여 설치 동판이 유실됨.
- 생체량은 4월(4g/m²), 5월(39g/m²), 6월(52g/m²), 7월(75g/m²)로 여름철로 갈수록 증가하였으나 그물 부착망보다 낮은 생체량을 보였으며 10월(2g/m²), 11월(9g/m²), 12월(1g/m²)로 10g/m² 이하의 낮은 생체량을 나타냄.
- pvc그물망에 비해 동판 부착판은 현저하게 낮은 서식밀도와 생체량을 나타냄.

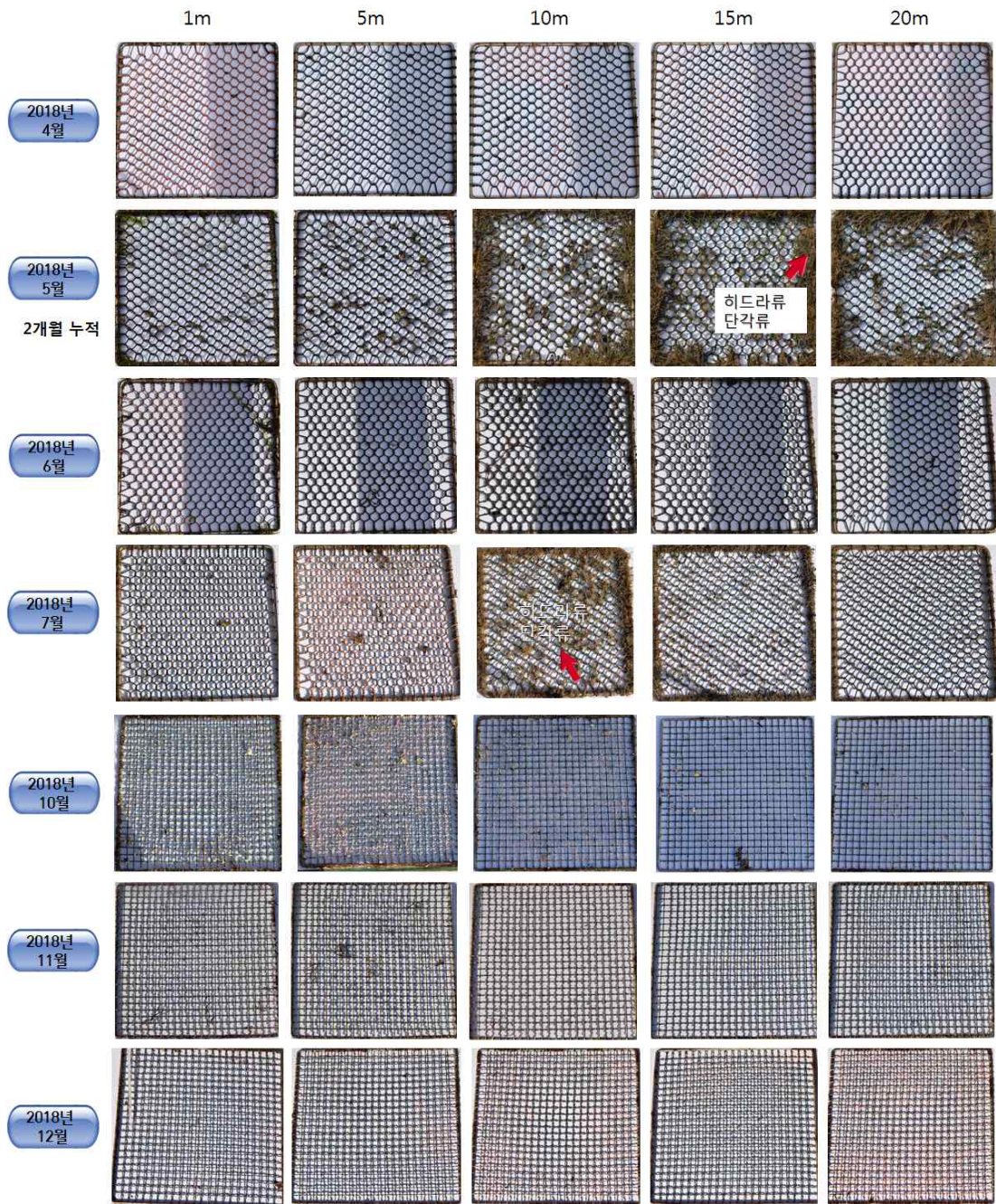
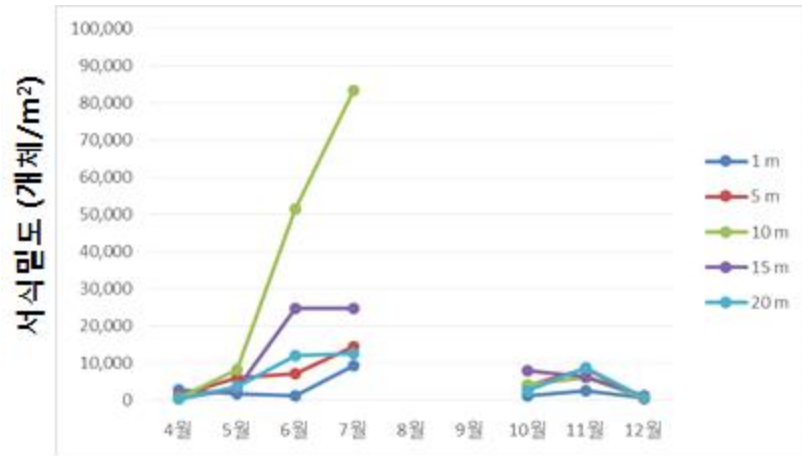


그림 2-2-56. 동판에 가입되는 부착생물(월별)



동판(매월)



그림 2-2-57. 동판에 가입되는 부착생물의 서식밀도 및 생체량(매월)

○ 생물(참가리비, 비단가리비) 패각 부착 생물 조사

- 주요 부착생물: 진주담치, 단각류(*Jassa saltteryi*, *Caprella californica*), 족사부착새조개, 히드라 등
- 우점종: 참가리비에 가입되는 주요 우점종은 진주담치(64.6%), 단각류(14.6%), 족사부착새조개(5.5%)로 나타났으며 비단가리비에 가입되는 주요 우점종은 지중해담치(66.6%), 뽕족머리바다대벌레(11.7%) 순으로 나타남.
- 부착생물의 개체수는 참가리비(평균 59개체) 보다는 비단가리비(평균 77개체)에서 높게 나타남. 참가리비에 부착되는 생물의 생체량은 평균 1.6g 이었으나, 비단가리비에서는 평균 17.4g을 보임. 특히 비단가리비의 경우 3월에서 6월로 갈수록 부착생물의 생체량이 증가함.
- 이와 같은 차이는 참가리비의 패각에 비해 비단가리비는 굴곡이 크고 거칠어 부착생물이 패각에 부착할 수 있는 기질이 형성되었기 때문으로 보여짐.



그림 2-2-58. 참가리비와 비단가리비의 껍각에 출현하는 부착생물

2) 국내 출현하는 부착생물 현황 분석

○ 통영 해역에 출현하는 부착생물

- 통영지역에 출현한 부착생물은 갑각류를 제외하고 8개 분류군 39종이 보고됨.

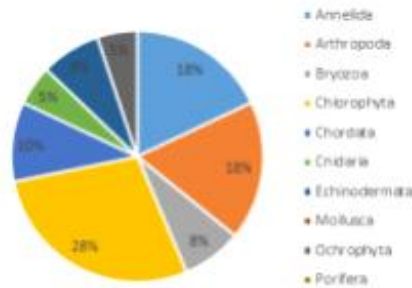


그림 2-2-59. 통영 지역에 출현한 부착생물의 분류군 비율(갑각류 제외)

- 부착생물에 대한 형태 및 서식 특성 정리함.

No.	Location	Host	Indigenous type	Taxa (phylum)	Family	Species	국명	Reference	Photo
1	Tongyeong	Oyster	Non-indigenous species	Porifera	Hyaloscleridae	<i>Hyalosclera (Hyalosclera) boreostriata</i>	호랑이문지개 부착생물	Park et al. 2017	
2	Tongyeong	Oyster	Non-indigenous species	Bryozoa	Styolidae	<i>Styola minima</i>	문지개에 부착된 스타일라	Park et al. 2017	
3	Tongyeong	Oyster	Non-indigenous species	Echinodermata	Sclerasteridae	<i>Sclerasterus ampliflorus</i>	호랑이문지개	Park et al. 2017	
4	Tongyeong	Oyster	Non-indigenous species	Mollusca	Mytilidae	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	고랑배달미	Park et al. 2017	
5	Tongyeong	Oyster	Non-indigenous species	Chordata	Ascididae	<i>Ascidata sp.</i>	호랑이문지개	Park et al. 2017	

그림 2-2-60. 국내에 출현한 부착생물 종 리스트(예)

마. 양식·자원 복합단지 조성

1) 외해지역의 심층어장 설계 및 시설 기술개발

○ 냉수성 유용생물생산 어장설계 및 시설

- 어장설계: 적지조사를 통하여 습득한 자료를 바탕으로 연구교습어업어장 4ha를 대상으로 어장 조성 실시 설계.
- 어장의 설계조건은 수심 50m, 유속 0.5~2kn, 유향 동서방향(창조시), 유의파고 4m, 시설수심 -30m이하, 여름철 수온 19℃(8월,9월), 염분 33psu, 용존산소 4.5mg/L이상의 설계 조건을 고려하여 소재파악 및 설계.
- 소재 및 기자재 소요량 파악: 연승수하식 가리비 양식어장에 사용되는 소재는 타 시설보다 소요 되는 기자재가 단순하므로 양식어장조성에 편리. 즉 연승식 가리비 양식장의 주 소재는 콘크리트 블록 양카, 폴리프로필렌(PP)로프, 브-이로 구성됨(그림 2-2-61).



그림 2-2-61. 가리비 양식어장시설에 필요한 소재

- 가리비 양식어장 조성에 따른 소요 자재량은 지역별로 소요되는 재료의 양이 다를 수 있으므로 남해안의 시설 기준으로 하여 자재 소요량을 파악함(표 2-2-13).

표 2-2-13. 가리비 양식어장 시설 재료 (1ha): 연구교습어업

품 목	규 격	수 량	단 위	비고
양 카(콘크리트 블록)	8ton	34	EA	
PP ROPE(앵커 로프)	26mm	8,500	M	
PP ROPE(연승 로프)	32mm	400	M	사계 틀
브-이(부자)	200 L	250	EA	
심층 수압 브-이	50 L	200	EA	
PP ROPE(브-이 연결로프)	16mm * 1.5m	300	M	
앵커줄 꼬임방지 추	3kg	34	EA	
큰 가리비 양성 채롱망	Ø 30 ~ 50cm= 15단	3,000	EA	

- 가리비 양식어장의 설계도서(시설면적: 1ha): 큰 가리비 양식어장의 설계를 어장환경 설계 조건에 따라 평면도 및 측면도를 설계(그림 2-2-62~63).

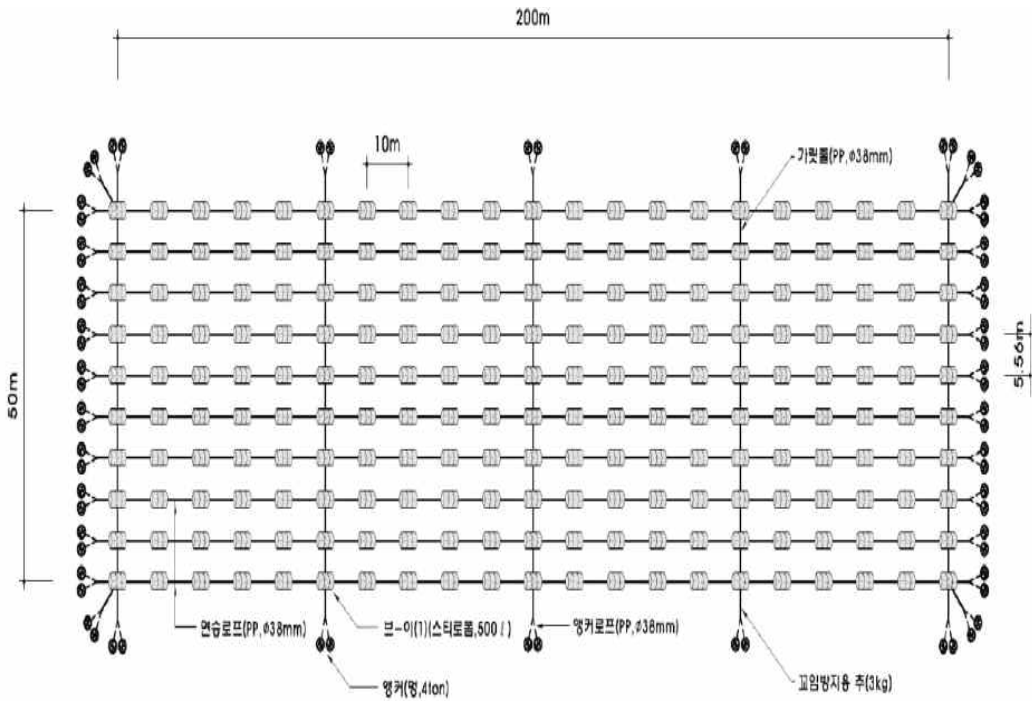


그림 2-2-62. 가리비 양식어장의 설계도서 평면도

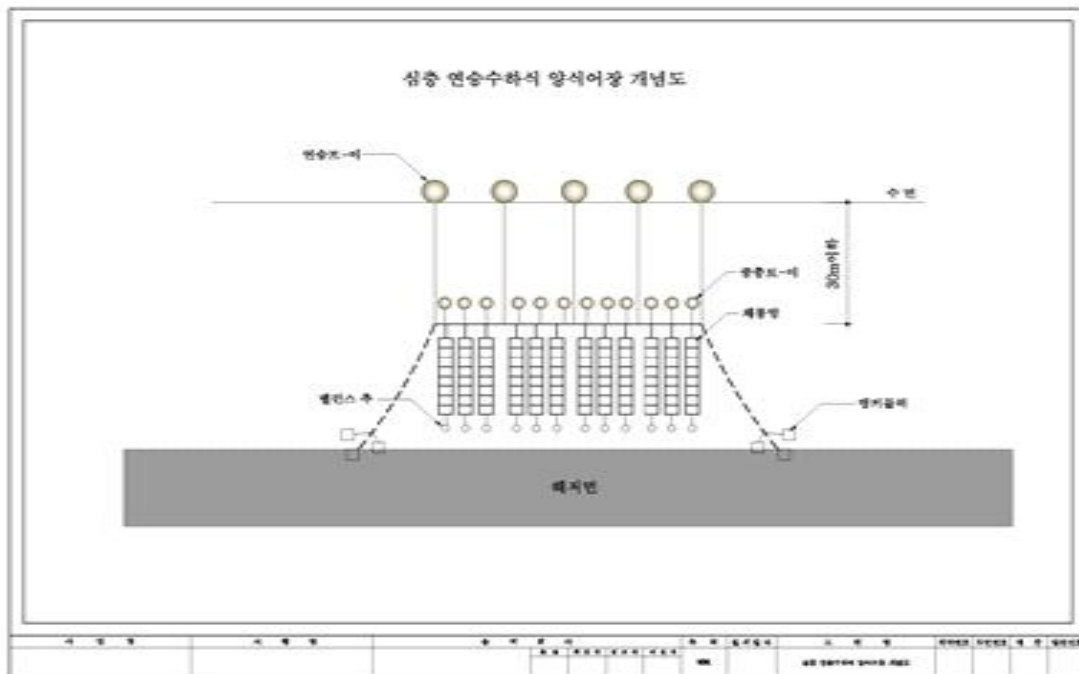


그림 2-2-63. 참가리비 양식어장시설의 측면도

- 시설방법: 가리비 양식장의 시설방법은 어장시설에 필요한 재료를 준비한 후 아래의 시설순서에 따라 양

식어장을 설치함.

- ◎ 시설하고자 하는 어장면허구역의 4개 정점을 대상으로 표시 브-이를 설치.
- ◎ 1ha 시설기준으로 200m 연승라인을 10줄 설치기준으로 조성준비.
- ◎ 준비한 선박 및 콘크리트 블록 또는 양카명을 작업부선을 이용하여 양카에 계류라인을 결속 후 순서에 따라 1개씩 5m~10m 간격으로 앵커를 타설 또는 거치.
- ◎ 이 때 사용되는 앵커줄의 길이는 수심의 3~5배정도의 길이.
- ◎ 양옆의 어장 계류 시설이 끝나면 사각틀을 이용하여 가로 세로 200m × 50m 규격(1ha)으로 어장틀을 조성.
- ◎ 어장 사각틀의 조성시 연승라인의 설치 기준으로 5m~10m 간격으로 양카줄과 결속 후 연결 부분에 200l 브-이를 결속하면 1차 어장시설을 조성됨.
- ◎ 가릿줄(사계줄)은 본양성시 연승라인의 좌우 유동에 따른 어장꼬임방지를 위한 수단.
- ◎ 시설 완료 후 가리비 양성시기에 맞추어 200m 연승라인을 설치하고, 채룽망 수하연을 조립 후 수하.
- ◎ 연승라인 조립시에 연승 브-이를 미리 준비한 후 연승라인 시설시 동시에 브-이를 결속.
- ◎ 연승 브-이는 처음부터 전부를 설치하지 않고 초기 일부만 설치 후 보충. 나머지 보강 브-이는 가리비의 성장속도에 따라 보강함.
- ◎ 가릿줄(사계줄)은 양식시설이 완료된 후 일정간격에 따라 설치.

○ 어장시설

- 가리비 양식어장 연구교습어업 시설을 위하여 2018년 6월 21부터 27일까지 통영바다목장지역의 연구교습 어장내에 심층연승수하식어장 1ha를 시설.
- 시설방법은 한국해양과학기술원의 시험어업관리선 및 뗏목작업대, 크레인, 사이드스켄소너 등의 장비를 이용하여 시설하였으며, 시설 내용은 어장 설계도서와 같이 시설함(그림 2-2-64).

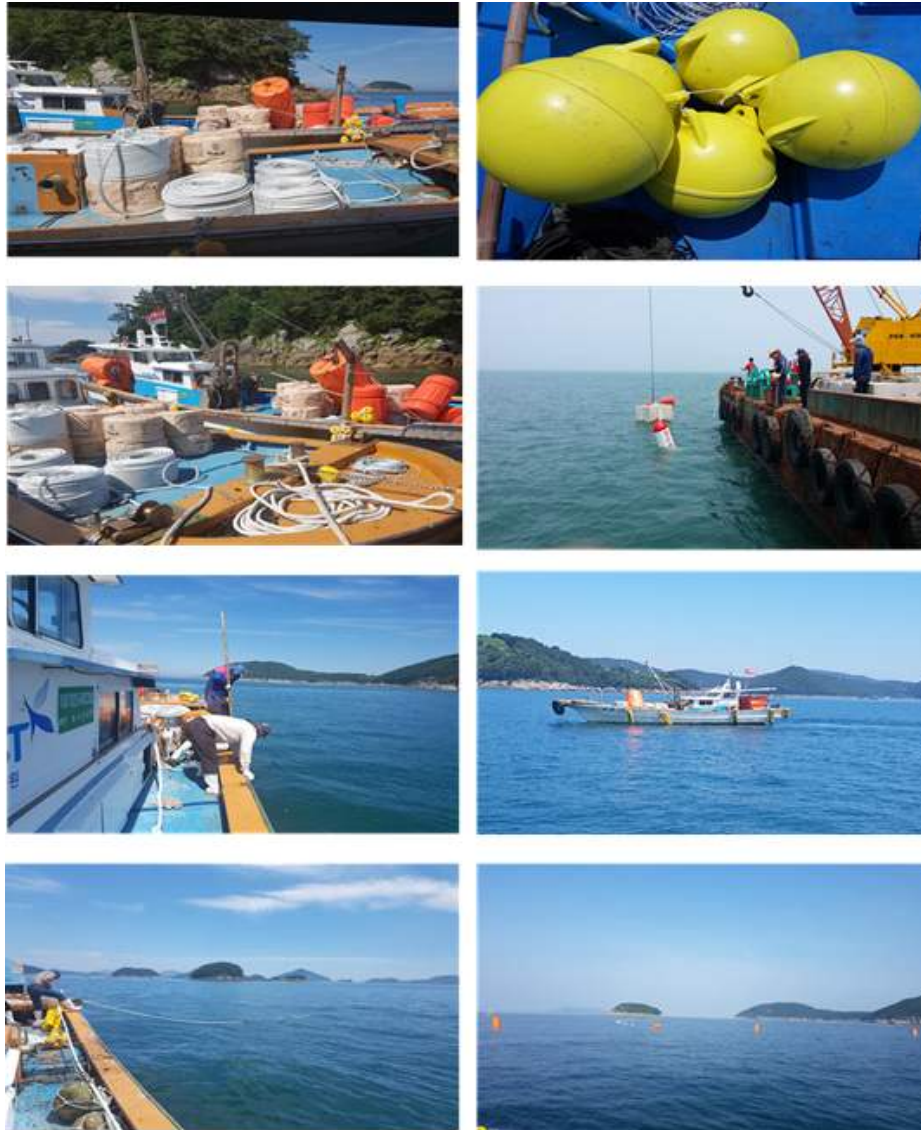


그림 2-2-64. 어장시설 준비 및 시설

2) 대상품종의 양성기술 개발(수층별, 품종별, 계절별 모니터링)

○ 가리비 양식해역 어장환경 먹이생물 집중 조사

- 가리비 양식장으로 활용 가능한 중저층 수층(30m 수심 이상)에서 2018년 1월부터 12월까지 가리비 먹이생물에 대한 집중 조사를 실시함.
- 식물플랑크톤 중 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율을 조사함.
- 식물플랑크톤의 먹이생물로 주로 이용된다고 알려진 *Caloneis* 속, *Chaetoceros* 속, *Cocconeis* 속, *Dictyocha* 속, *Isochrysis* 속, *Melosira* 속, *Navicula* 속, *Nitzschia* 속, *Paralia sulcata*, *Pavlova lutheri*, *Rhaphoneis* 속, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* 속을 먹이생물로 구분하여 조사하였음.


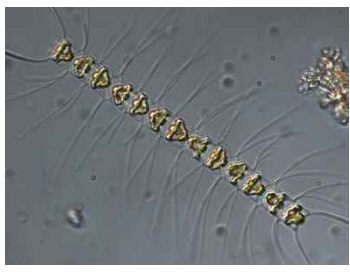

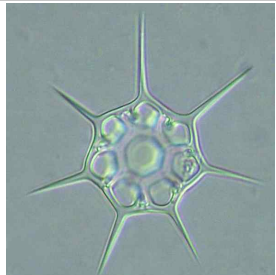


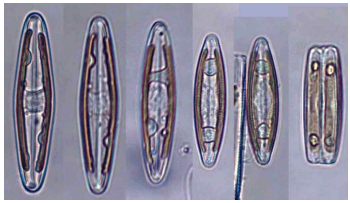

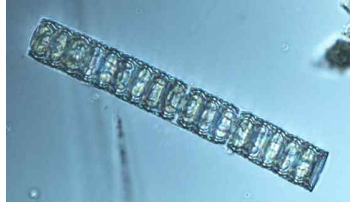

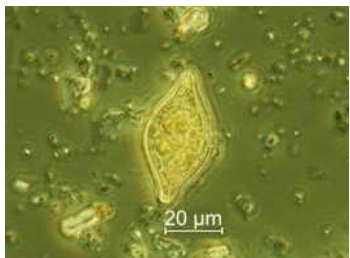

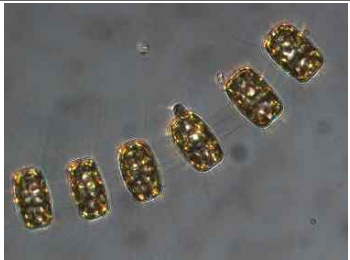
		
<i>Caloneis</i> 속	<i>Chaetoceros</i> 속	<i>Cocconeis</i> 속
		
<i>Dictyocha</i> 속	<i>Isochrysis</i> 속	<i>Melosira</i> 속
		
<i>Navicula</i> 속	<i>Nitzschia</i> 속	<i>Paralia sulcata</i>
		
<i>Pavlova lutheri</i> 속	<i>Rhaphoneis</i> 속	<i>Skeletonema costatum</i>
		
<i>Thalassiosira</i> 속		

그림 2-2-65. 먹이생물로 이용되는 대표적인 식물플랑크톤

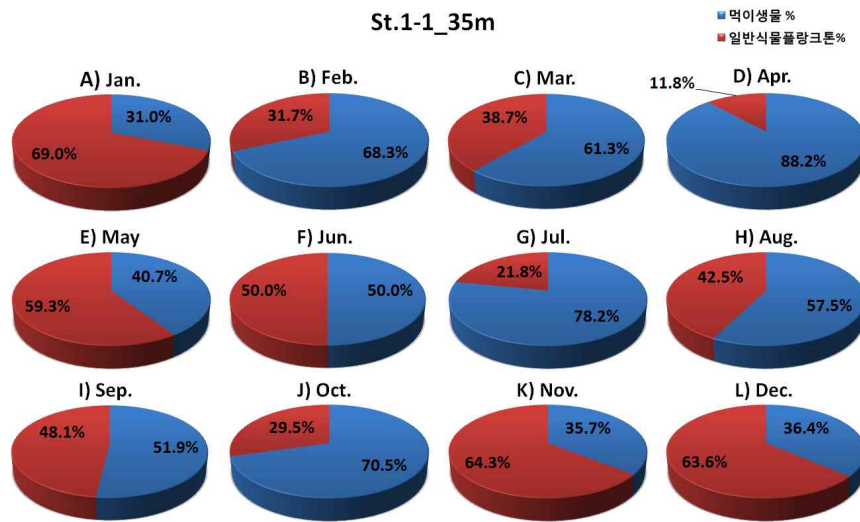
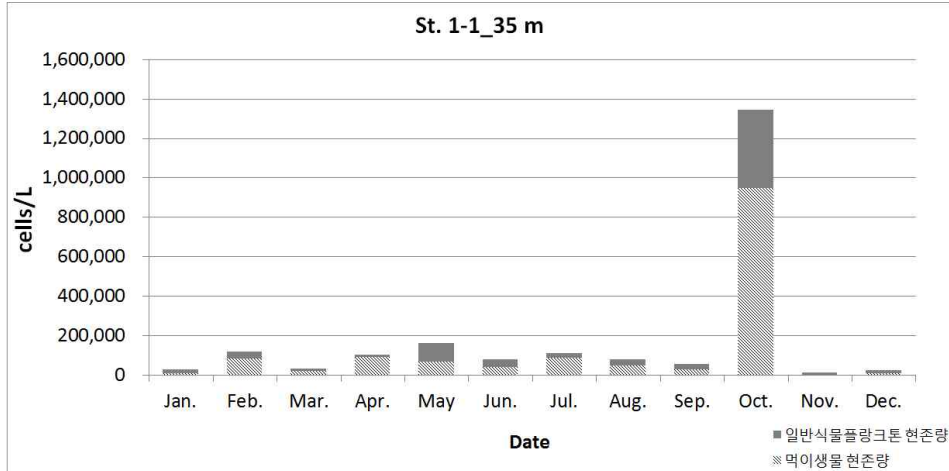


그림 2-2-67. 정점 1-1의 35m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 1-1의 수심 45m의 먹이생물의 현존량은 10월에 1,000,000cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월에 8,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 122,083cells/L 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 10월에 88.8%로 가장 높은 것으로 나타났고, 9월과 12월에 29.6%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 52.4%로 나타남
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 7월, 5월, 8월, 4월, 2월, 1월, 6월, 9월, 3월, 11월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 10월, 7월, 8월, 2월, 1월, 4월, 6월, 5월, 11월, 3월, 9월, 12월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

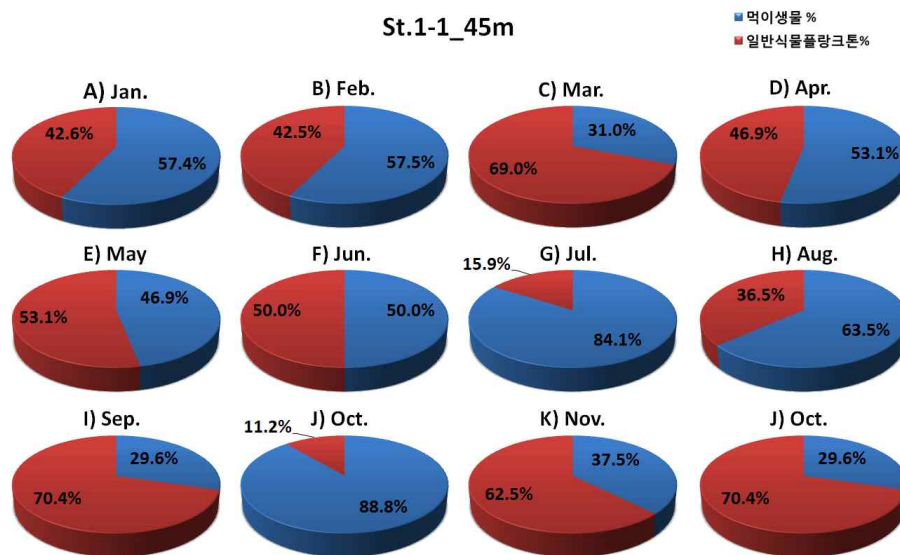
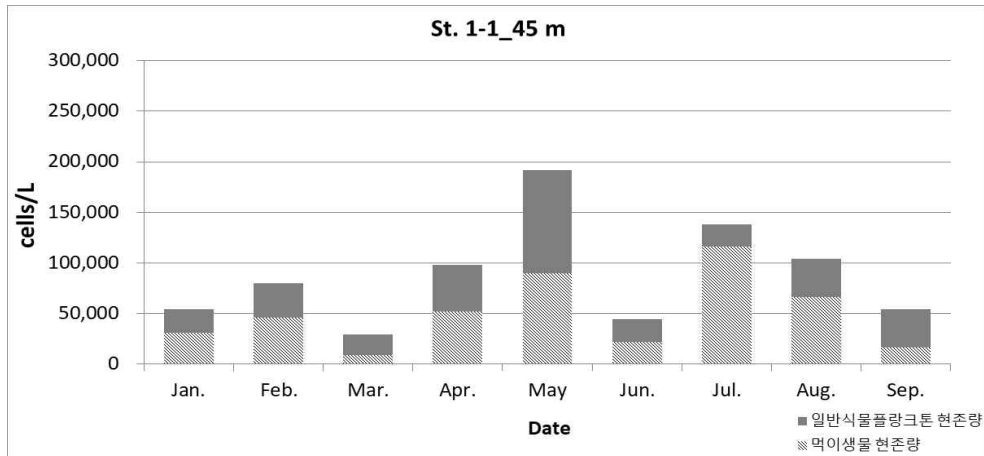


그림 2-2-68. 정점 1-1의 45m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 2의 수심 30m의 먹이생물의 현존량은 10월에 1,136,667cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월과 12월에 10,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 132,306cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 10월에 86.8%로 가장 높은 것으로 나타났고, 12월에 41.7%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 64.8%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 4월, 5월과 7월, 2월, 6월, 8월, 3월, 1월, 9월, 11월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 10월, 7월, 6월, 2월, 8월, 4월, 3월, 1월, 9월, 11월, 5월 12월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

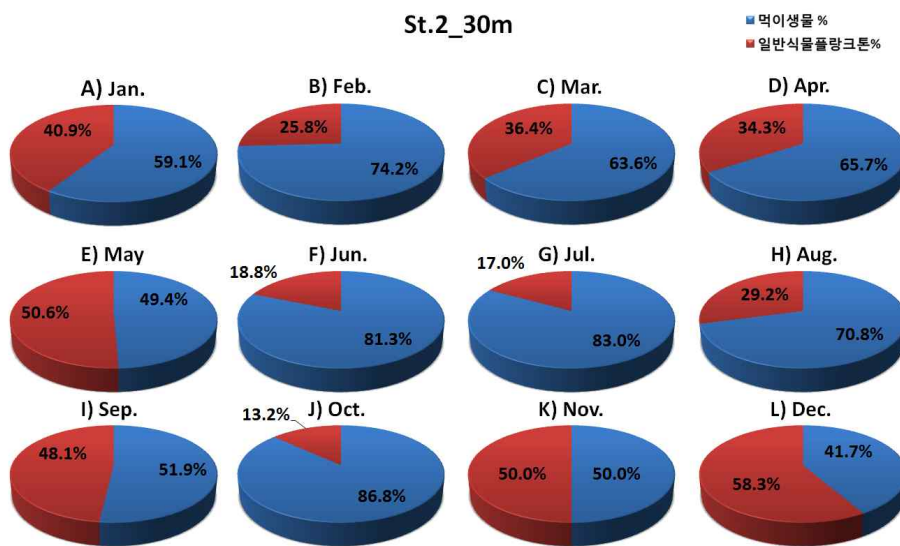
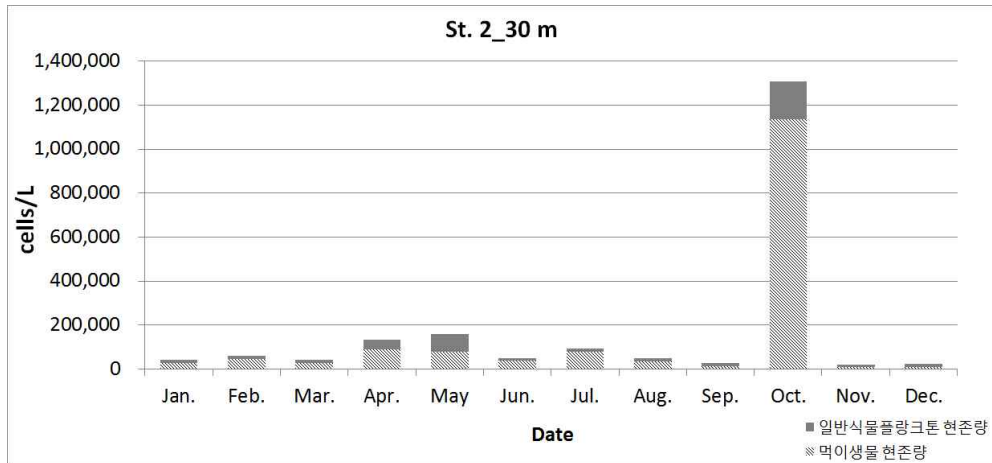


그림 2-2-69. 정점 2의 30m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 2의 수심 40m의 먹이생물의 현존량은 10월에 673,333cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월에 2,667cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 89,750cells/L의 값을 보임.
- 일총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 2월에 84.0%로 가장 높은 것으로 나타났고, 11월에 16.7%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 58.9%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 4월, 5월, 7월, 2월, 8월, 9월, 3월, 6월, 1월, 12월, 11월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 2월, 10월, 7월, 4월, 8월, 9월, 6월, 3월, 5월, 1월, 12월, 11월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

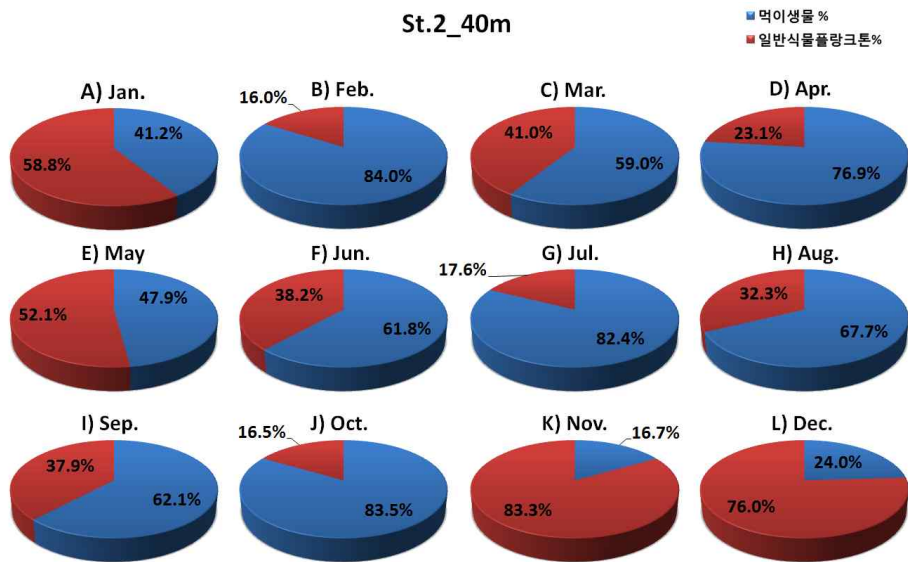
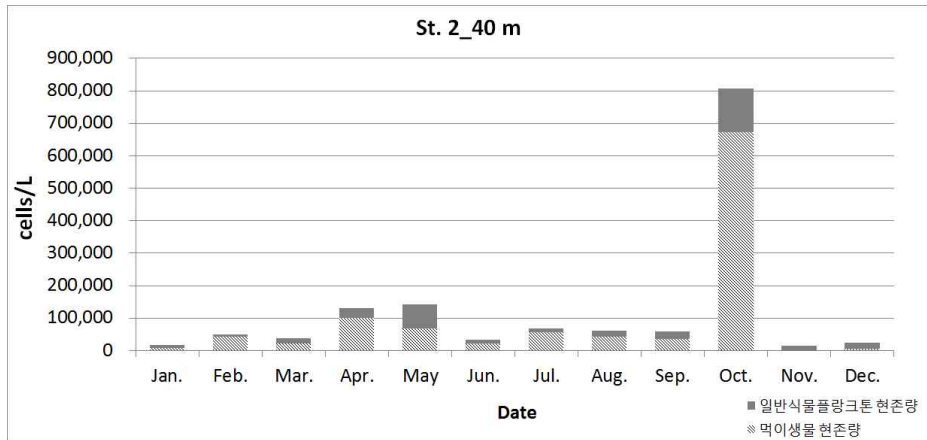


그림 2-2-70. 정점 2의 40m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 2의 수심 50m의 먹이생물의 현존량은 10월에 546,667cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 12월에 6,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 77,500cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 10월에 94.8%로 가장 높은 것으로 나타났고, 1월에 22.6%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 53.9%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 8월, 4월, 9월, 5월, 3월, 7월, 2월, 6월, 11월, 1월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 10월, 9월, 8월, 7월, 3월, 4월, 6월, 2월, 11월, 5월, 12월, 1월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

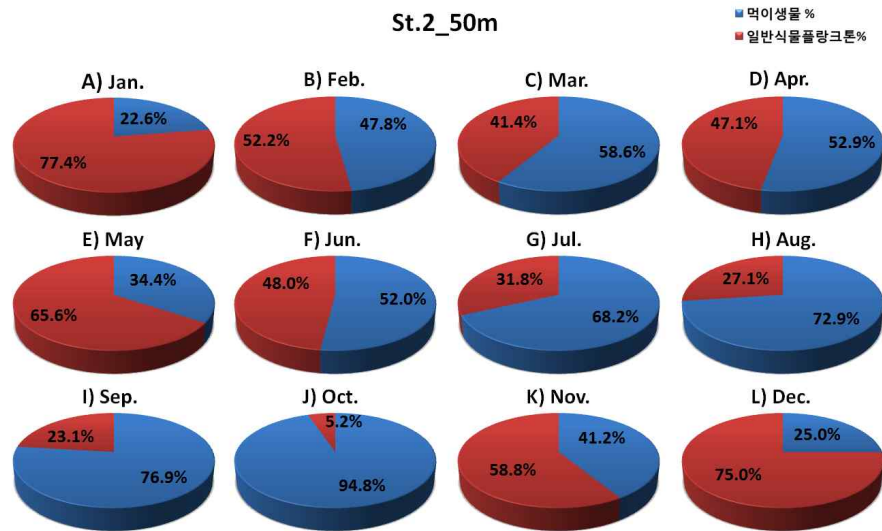
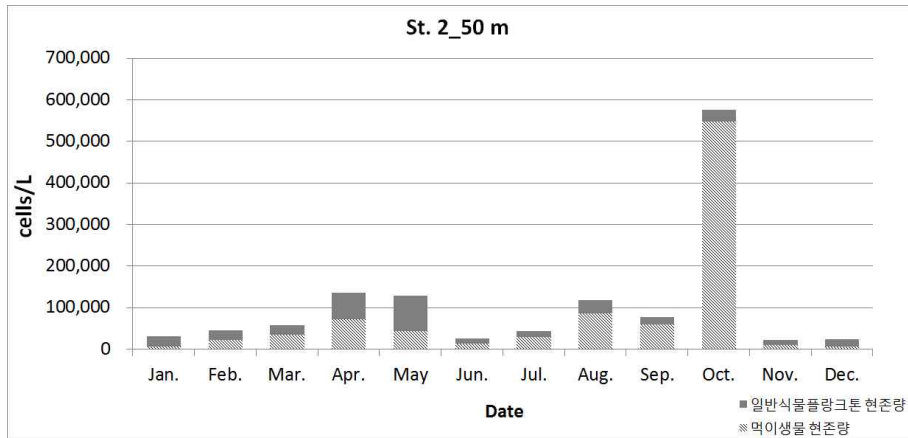


그림 2-2-71. 정점 2의 50m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 2의 수심 60m의 먹이생물의 현존량은 10월에 966,667cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월과 12월에 7,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 119,639cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 2월에 88.3%로 가장 높은 것으로 나타났고, 11월에 30.4%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 62.5%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 3월, 8월, 4월, 9월, 2월, 5월, 6월, 7월, 1월, 11월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 2월, 10월, 9월, 3월, 6월, 8월, 1월, 4월, 7월, 5월, 12월, 11월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

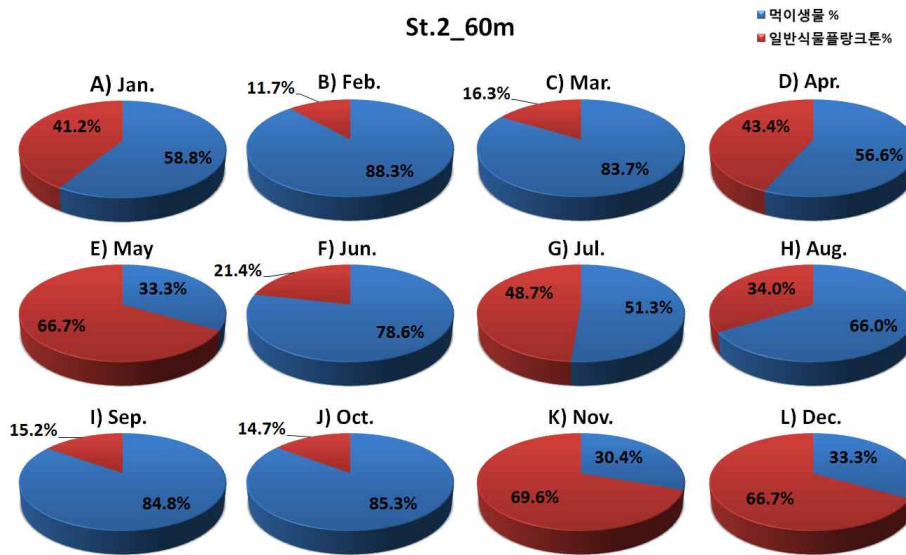
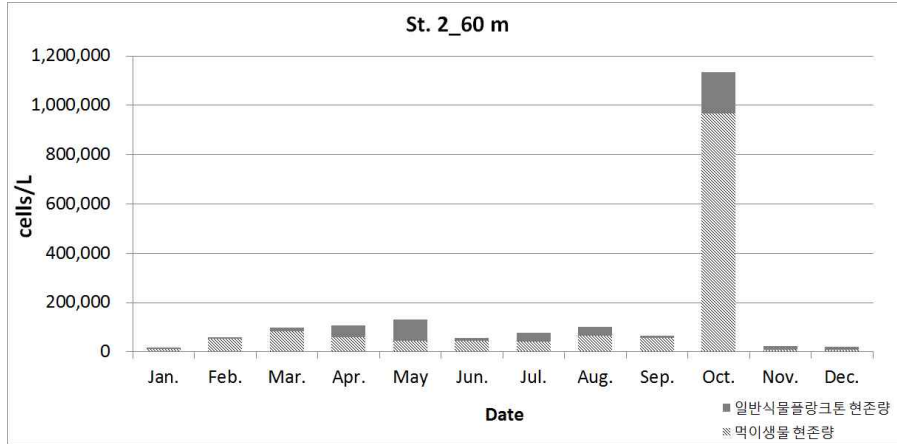


그림 2-2-72. 정점 2의 60m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 3의 수심 30m의 먹이생물의 현존량은 10월에 318,000cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 12월에 4,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 67,917cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 10월에 92.4%로 가장 높은 것으로 나타났고, 5월에 32.0%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 60.8%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 4월, 3월, 5월, 7월, 8월, 2월, 9월, 6월, 11월, 1월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 10월, 3월, 9월, 8월, 7월, 4월, 2월, 1월, 12월, 11월, 6월, 5월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

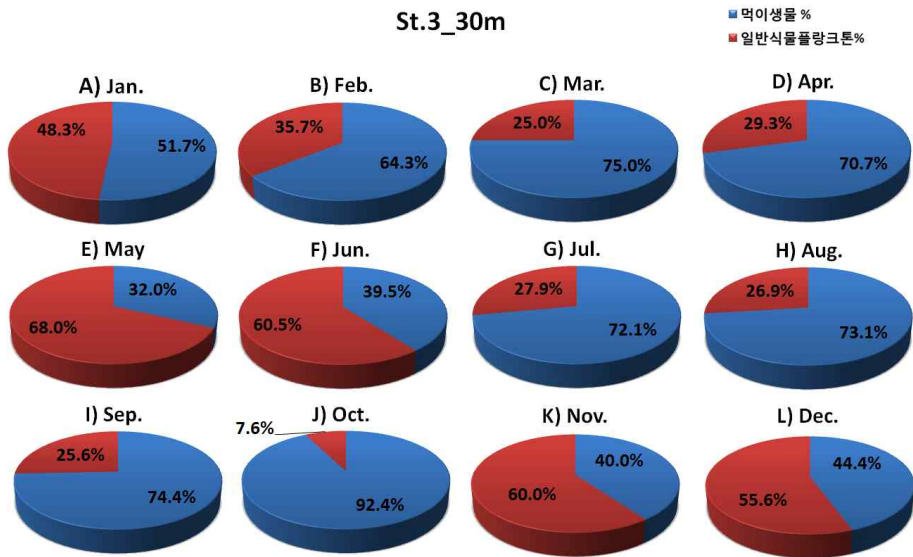
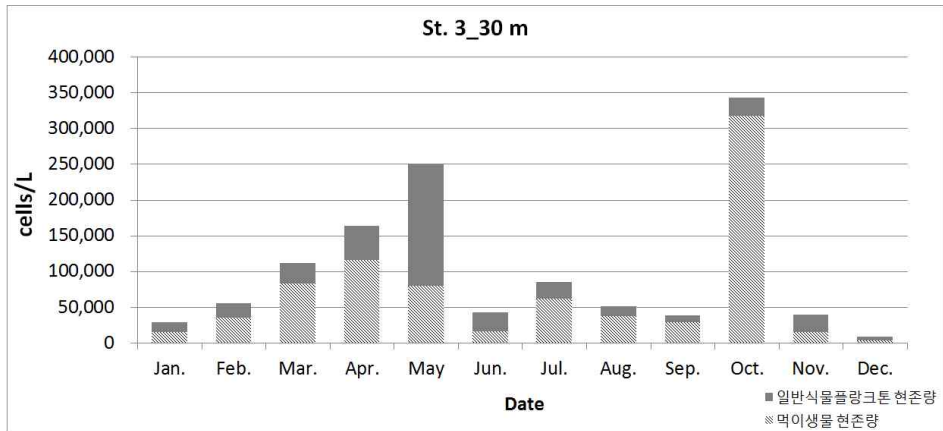


그림 2-2-73. 정점 3의 30m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 3의 수심 40m의 먹이생물의 현존량은 10월에 884,000cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 12월에 4,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 116,750cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 7월에 95.5%로 가장 높은 것으로 나타났고, 12월에 36.4%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 62.5%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 7월, 3월, 5월, 4월, 6월, 2월, 11월, 8월, 1월, 9월, 12월 순으로 조사되었고, 먹이생물의 비율이 일반 식물플랑크톤 비율 보다 높은 순으로 살펴보면, 7월, 3월, 10월, 11월, 6월, 2월, 8월, 4월, 9월, 1월, 5월, 12월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

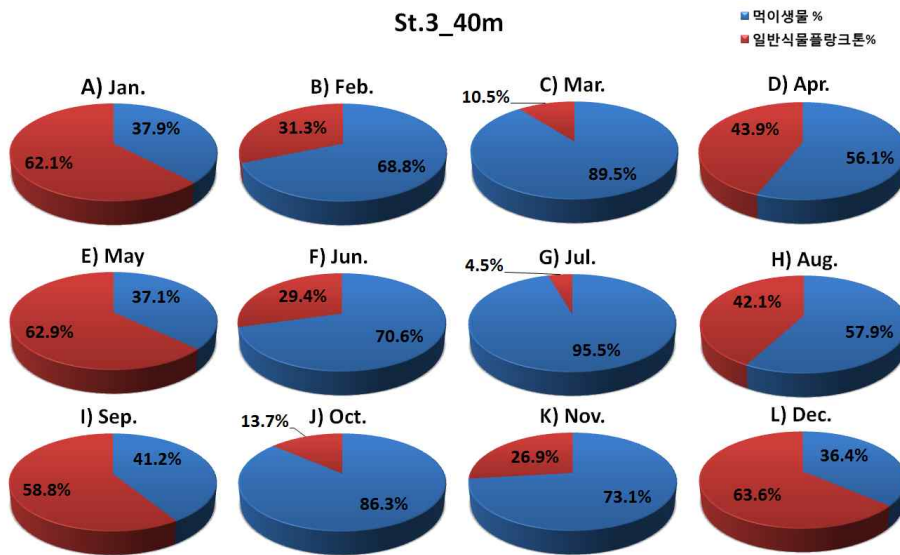
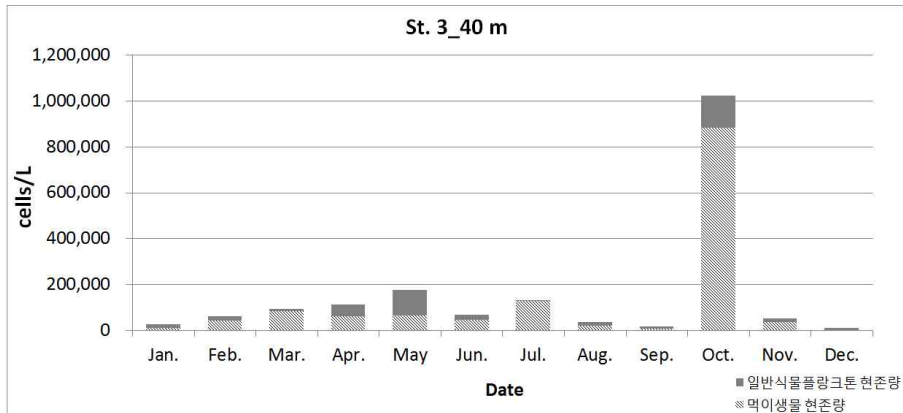


그림 2-2-74. 정점 3의 40m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 3의 수심 50m의 먹이생물의 현존량 10월에 652,000cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월에 4,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 652,000cells/L의 값을 보임.
- 총 식물플랑크톤 중 먹이생물의 비율은 10월에 89.1%로 가장 높은 것으로 나타났고, 11월에 24.0%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 56.0%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 3월, 9월, 2월, 5월, 7월, 6월, 4월, 8월, 1월, 12월, 11월 순으로 조사되었고, 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 높은 순으로 살펴보면, 10월, 9월, 2월, 7월, 8월, 3월, 6월, 1월, 4월, 5월, 12월, 11월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

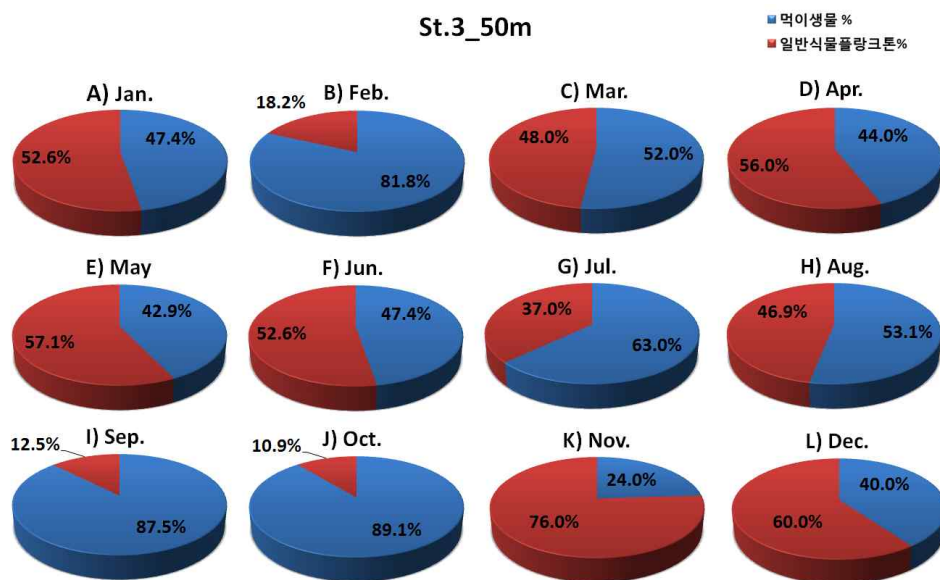
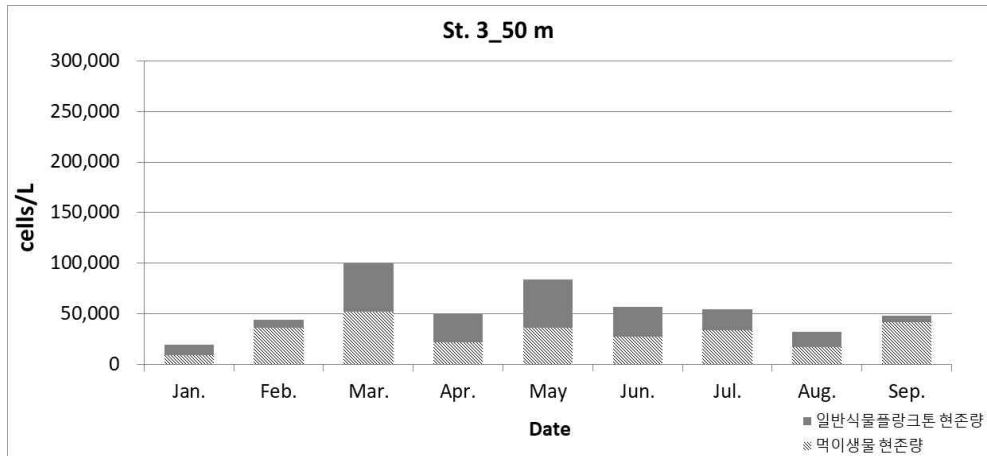


그림 2-2-75. 정점 3의 50m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 정점 3의 수심 60m의 먹이생물의 현존량 10월에 378,000cells/L로 가장 높은 값을 보였고, 11월에 6,000cells/L로 가장 적은 값을 보였으며, 평균 59,500cells/L의 값을 보임.
- 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율은 2월에 88.4%로 가장 높은 것으로 나타났고, 5월에 31.0%로 가장 낮은 값으로 나타났으며, 평균 54.8%의 값을 나타냄.
- 먹이생물 현존량이 많은 시기를 순서대로 살펴보면, 10월, 2월, 4월, 3월, 5월, 9월, 1월, 8월, 7월, 6월, 12월, 11월 순으로 조사되었고, 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 높은 순으로 살펴보면, 2월, 10월, 3월, 1월, 4월, 12월, 7월, 8월, 9월, 6월, 11월, 5월의 순으로 조사됨. 먹이생물의 현존량과 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 비율이 상이한 것으로 확인됨.

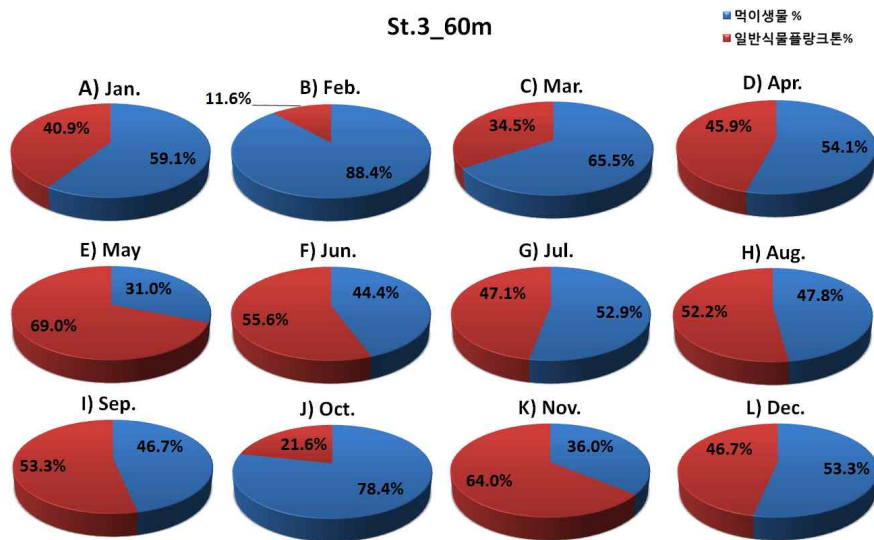
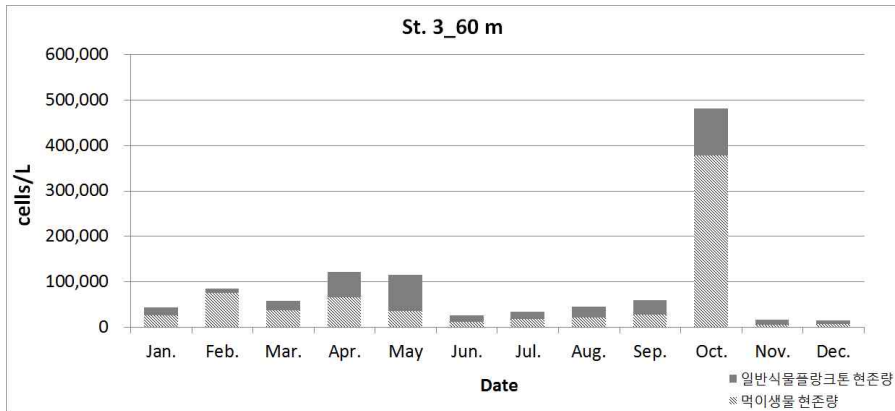


그림 2-2-76. 정점 3의 60m 수심에서의 일반식물플랑크톤과 먹이생물의 현존량(위) 및 비율(아래)

- 조사기간 중 전체 식물플랑크톤 출현량은 모든 정점에서 10월에 가장 높은 것으로 조사되었으며, 먹이 생물 역시 모든 정점에서 10월에 가장 높게 나타남.
- 이는, 대부분 정점에서 8월부터 생성되었던 약층이 10월에 완전히 붕괴되면서, 표·저층의 순환이 활발 해짐에 따라 식물플랑크톤이 증식한 것으로 판단됨.
- 먹이생물의 출현량은 높지만, 상대적 출현 비율이 낮은 경우와 출현량이 적지만 출현 비율이 더 높은 경우도 있음. 따라서 생물자원의 먹이섭식이 출현량에 절대적이지 않을 것이라고 판단됨.
- 1월부터 12월까지 조사기간 중 먹이생물의 평균 현존량을 살펴보면, 전체평균이 98,250cells/L로 평균보다 높은 값을 보이는 정점은 정점 1-1의 35m, 45m 수층과 정점 2의 30m, 60m 수층, 그리고 정점 3의 40m 수층으로 해당 수층은 먹이생물이 풍부한 것으로 나타남.
- 또한, 여름철(7~9월) 수온이 20℃ 이하인 30m 이하의 수심의 먹이생물 분포를 살펴보면, 전체평균 값인 46,767cells/L 보다 높은 값을 보이는 수층대는 정점 1-1의 35m, 45m 수층과 정점 2의 50m, 60m 수층, 그리고 정점 3의 40m 수층으로 확인됨.

- 따라서 먹이생물 분포 결과를 고려할 경우, 가리비 양식 적지는 정점 1-1의 35~45m 수심과 정점 2의 30m, 60m, 그리고 정점 3의 40m 수심이 적절할 것으로 생각되며, 여름철의 냉수대 활용 수층공간은 정점 1-1의 35~45m, 정점 2의 50~60m, 정점 3의 40m 수심이 적절할 것으로 판단됨.

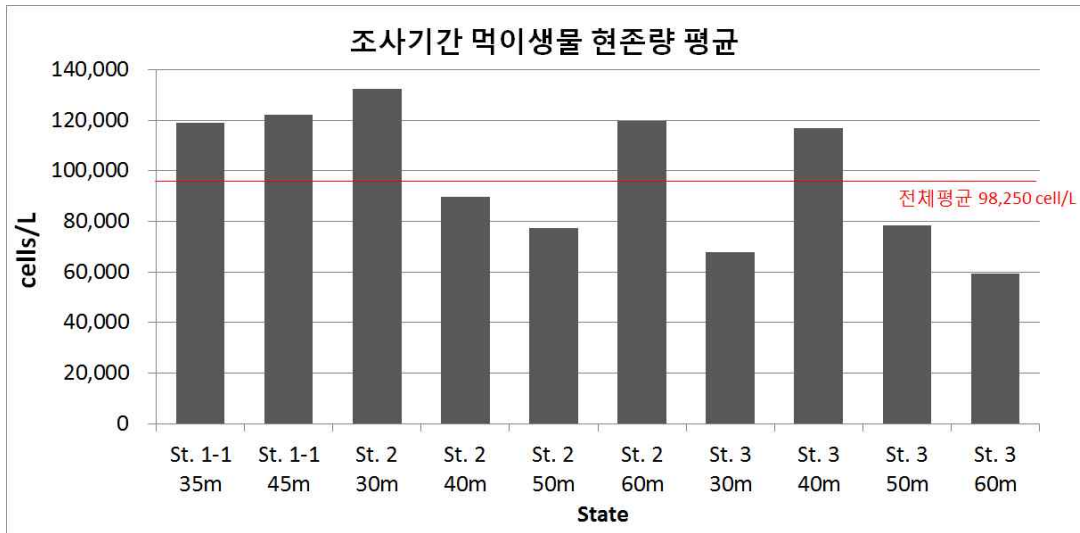


그림 2-2-77. 조사기간 전체 먹이생물 현존량 평균

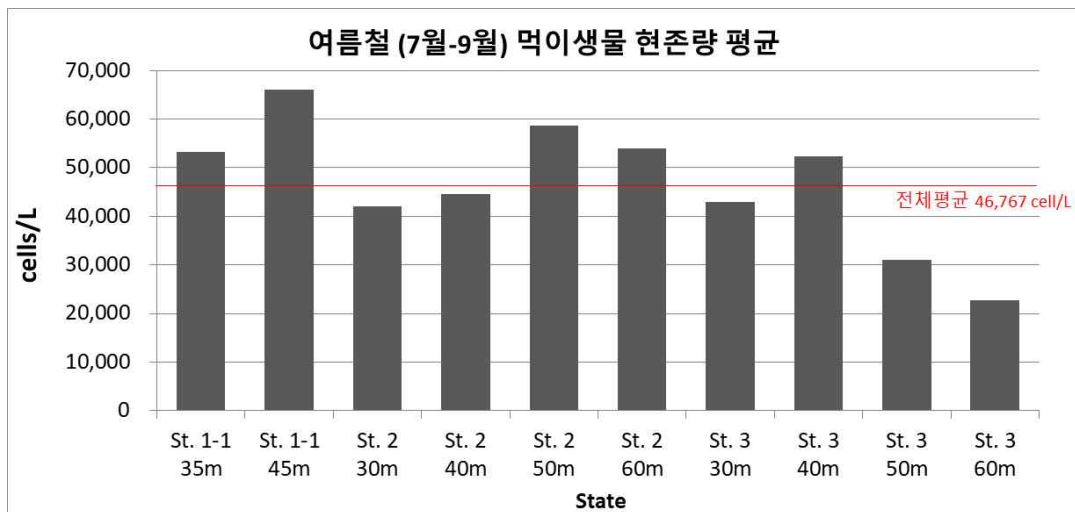


그림 2-2-78. 여름철(7~9월) 먹이생물 현존량 평균

○ 냉수성 유용생물 양식(참가리비): 치패 확보

- 참가리비의 치패 확보는 그 동안 중국산 치패를 이식 중간육성을 통하여 양성하는 과정을 거쳐 양식하는 것이 일반적인 과정이었으나, 최근에 해만가리비나 비단가리비의 종묘생산이 일반화 되면서 참가리비의 종묘생산도 가능하게 됨. 본 연구에서도 참가리비의 국내산 치패 확보를 위하여 민간인 양식어장에서 생산한 참가리비치패를 민간업체의 협력하에 남해안종묘생산최초로 대량 확보하였음(그림 2-2-79).



그림 2-2-79. 통영시 도산면 수월리 지선의 가이식 어장(좌) 및 부착기의 치패(우)

○ 냉수성 유용생물 양식(참가리비): 월하 및 월하 결과

- 2018년 5월 경남 거제시 가조도에서 생산한 큰 가리비 치패 1,200만 마리를 경남 통영시 도산면 고성만에 가이식을 통하여 양성 후 부착기 탈락 후 수온 20℃ 이상 월하기인 6월 25일 통영해상과학기지 어장에 이식하여 월하함(그림 2-2-80-81).

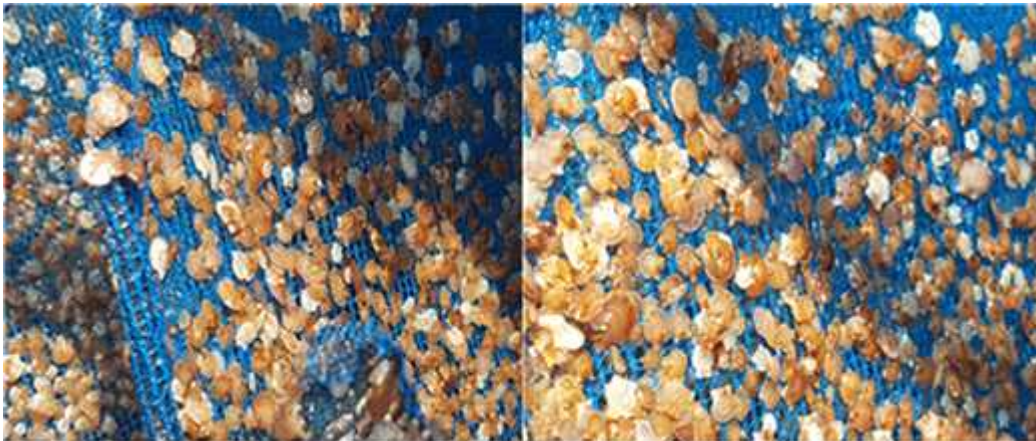


그림 2-2-80. 월하 중간육성용 큰가리비 치패



그림 2-2-81. 월하 중간육성용 큰가리비 치패참가리비 치패 월하시설

- 참가리비 치패는 7mm~12mm 크기 범위를 보임. 수온은 18.7℃였음. 채롱망은 망목 5mm, 5단 망을 사용함(그림 2-2-82).



그림 2-2-82. 월하용 참가리비 치패(좌) 및 채롱망(우)

- 참가리비치패 월하는 2018년 6월 25일 35~38m 수심에 시설하였으며(그림 2-2-83). 이 때부터 10월 까지 수하 수층의 수온은 20℃ 이하를 유지함.

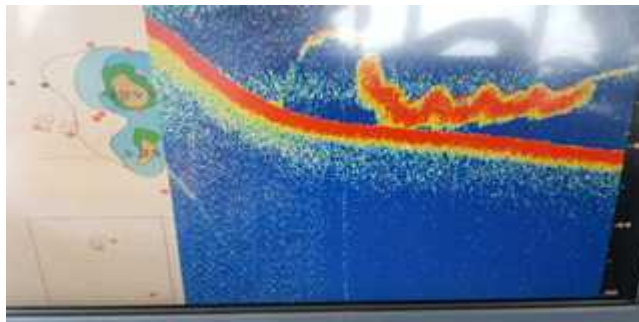


그림 2-2-83. 플로타 조사에 따른 수중시설 영상

- 10월 표층 수온이 20℃ 이하까지 내려가는 시기인 10월 17일에 선박을 이용하여 월하가리비 일부를 수거하여 생존율을 조사함(그림 2-2-84). 월하생존율은 각자 채롱망에 따라 다른 양상을 보였으나 채롱망 5set를 무작위 추출하여 조사한 결과 총 544미중 생존개체는 207마리 였으며 폐사량은 337마리로 총 38%의 생존율을 보임. 생존율이 낮은 것은 어장시설의 불안정화와 밀식, 개체간의 공식으로 인하여 폐사량이 증가한 것으로 판단됨.



그림 2-2-84. 월하 후 참가리비 치패 수확

- 남해안에서의 참가리비의 대량월하실험은 국내 최초로 성공적이므로 환경적인 문제는 없는 것으로 판단되며. 기술적인 보완문제가 앞으로 많이 개선 될 필요가 있음.

○ 냉수성 유용생물 양식(참가리비): 참가리비 중간육성패 확보

- 가리비의 중간육성을 하는 목적은 첫째, 여름철 저서 생활의 환경이 나쁜 기간을 피하여 저서 생활기의 직전까지 양성용 채롱에다 수용해서 수하시켜 주는 관리를 함으로서 치패의 생존율을 높여주고 건강한 종묘로 육성하기 위함.
- 둘째, 양식용 종묘로서 조기성장.
- 셋째, 본 양성을 할 때 각장 3~5cm 이상의 종묘를 사용하기 때문에 각장 1~3cm의 치패를 구입하여 후기 중간 육성을 함.
- 중간육성패 확보를 위하여 동해안에 섭외결과 국내에는 중간육성 종묘가 없으므로 중국에서 이식하는 중간 종묘를 구입함. 2017년 12월 26일 통영으로 반입되는 중간육성패 100,000패를 구입하여 한국해양과학기술원 통영해상과학기지에 수하(그림 2-2-85).



그림 2-2-85. 보세구역에서의 참가리비 이식

- 분양 이식한 참가리비의 중간 종묘는 3.6cm급으로 비교적 개체간의 성장차이는 많이 없었음. 선별이 잘 되어 있어 분리한 후 채롱망에 수용. 참가리비의 건강 상태는 성장선이 많이 마모되어 있었으며 이것은 성장하면서 폐사량이 증가하여 전량폐사하는 요인 중 하나(그림 2-2-86).
- 채롱망은 12절 15단의 원통형의 채롱망으로서 채롱망 1단의 직경은 30cm규격으로 구성 총 길이는 2m로 구성되어 있는 채롱망에 수용 수하함. 채롱망 1세트당 큰 가리비는 225미씩 수용(그림 2-2-87). 수하채롱 간격은 50cm간격으로 수하하여 양성.

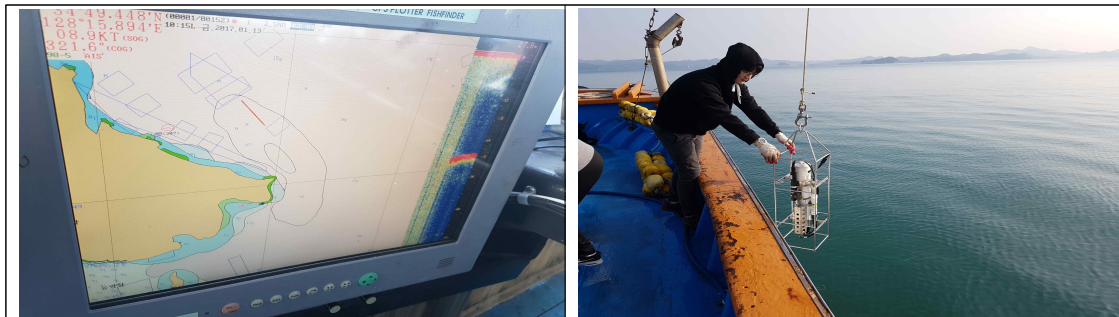


그림 2-2-86. 성장선이 마모된 참 가리비 중간육성패



그림 2-2-87. 채롱망 이식과정

- 채롱수하 수심은 4m를 유지하고 정기적으로 부착생물 및 성장실험을 계측함. 계측은 1개월 1회씩 정기적으로 성장률을 조사 각장, 각고, 각폭, 중량에 대한 점검을 함. 또한 폐사량 및 부착생물 부착정도에 대한 점검과 참가리비 양성에 대한 전반적인 유지 관리를 실시함(그림 2-2-88).



어장 환경조사(연중)

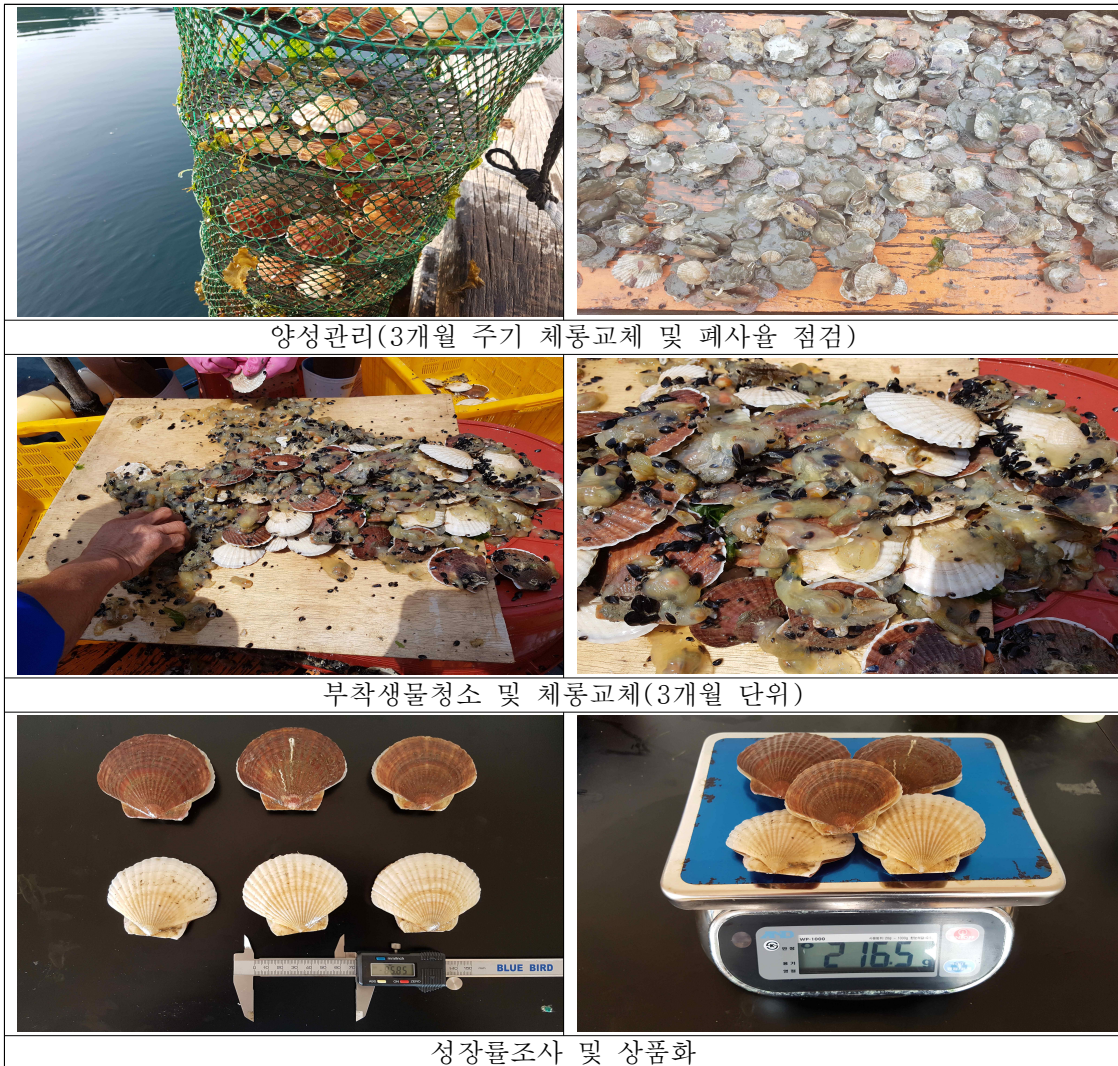


중간육성패 반입 선별(11월~01월)



부착생물 관리 및 성장률 계측(매월)

그림 2-2-88. 참가리비 성장률 계측 및 양식어장 환경 유지 관리(계속)



양성관리(3개월 주기 체롱교체 및 폐사율 점검)

부착생물청소 및 체롱교체(3개월 단위)

성장률조사 및 상품화

그림 2-2-88. 참가리비 성장률 계측 및 양식어장 환경 유지 관리

○ 냉수성 유용생물 양식(참가리비): 양성결과

- 가두리에 수용한 참가리비를 1월부터 1개월 간격으로 계측하여 7월초까지 성장율을 조사함. 1월에 수용하여 양성한 초기 참가리비의 크기는 평균 각장 3.6cm, 각고 3.49cm, 각폭 0.76cm, 중량 5.4g를 나타내었으며 폐사량은 70% 정도의 폐사량이 발생함.
- 2월에 계측한 결과는 각장 3.6cm, 각고 3.5cm, 각폭 0.77cm, 중량은 5.6g으로 성장 하였으며 성장률은 극히 경미하였음. 이때 어장 수온은 9.8℃로 수온은 연중 가장 낮았음.
- 3월에는 각장 3.7cm, 각고 3.6cm, 각폭 0.8cm, 중량 5.8g을 보임. 수온은 10.5℃로 상승기를 보였음. 평균 성장률은 2월에 비하여 계속 정체율을 보였음. 그러나 폐사량이 급격히 증가하여 80% 이상이 폐사됨.. 폐사요인은 정확히 판단 할 수 없었으나 성장선이 심하게 마모되는 현상이 나타남.
- 4월에는 각장 4.3cm, 각고 4.2cm, 각폭 1cm, 중량 10.4g로 성장함. 3월과 마찬가지로 폐사량이 증가하여

계측시 900마리 중 40마리 미만이 생존함(95.6%의 폐사량). 이는 3월부터 계속된 누적 폐사량으로 생각 됨.

- 5월에는 각장 4.6cm, 각고 4.5cm, 각폭 1.7cm, 중량 12.7g의 성장을 보였으나, 2017년에 비하여 1/2 크기로 아주 낮은 성장률을 보임.
- 6월에는 각장 5.8cm, 각고 5.7cm, 각폭 1.4cm, 중량 25g의 평균 성장을 보임.
- 7월에는 각장 5.9cm, 각고 5.8cm, 1.35cm, 중량 25g의 평균 성장율으로 6월과 동일한 성장률을 보임.

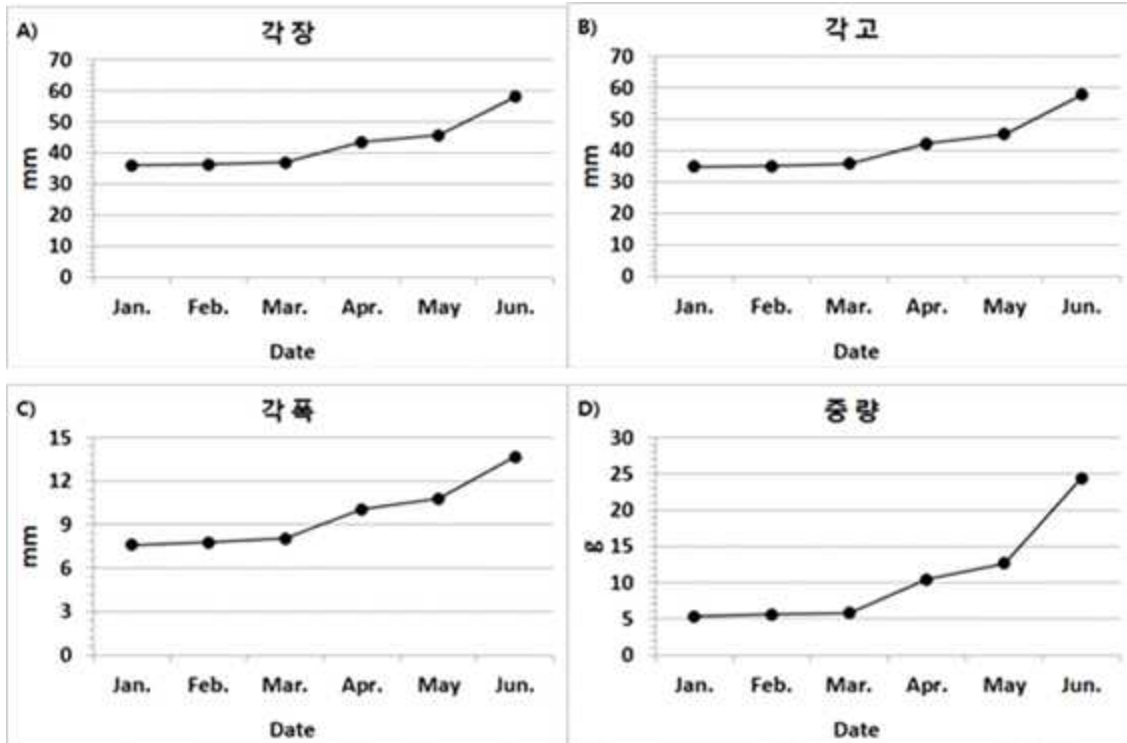


그림 2-2-89. 참가리비의 성장 그래프

- 대량폐사 원인을 조사하고자 중국산 중간종묘 이식 시 같은 조건에서 이식한 고성, 거제의 양식어장 관계자를 탐문 조사함. 그 결과, 참가리비는 전량 폐사하였고, 비단가리비는 생존하였다는 정보를 수집함. 그러므로 참가리비의 대량폐사원인은 이식과정에서 취급 부주의나 장기적인 이송으로 인한 스트레스의 원인으로 볼 수 있으며, 어장환경 문제는 아닌 것으로 판단됨.
- 참가리비를 남해안에서 양식에 성공하기 위해서, 우선 양식어장 적지조사를 철저히 수행하여 적지를 선정하여야 하며. 심층시설에 대한 기술정립 및 어장 유지/관리에 대한 매뉴얼이 반드시 필요하다고 생각됨.. 이는 주로 외해에서 이루어지는 양식산업이므로 해양환경에 대한 민감도가 매우 크기 때문임.
- 또한 가리비류는 이동시 입을 벌리고 이동하므로 서로간 충돌로 입을 마주보고 물고 2개체가 동시에 폐사하는 현상이 매우 크므로 양식관리 시 밀식을 최소화하고 채롱시설의 안정화가 필요할 것임.

3) 품종별 양식적지 판정 도서 및 수층 공간을 이용한 냉수성 어패류 어장관리 매뉴얼 작성

○ 냉수성 유용생물생산 어장적지환경

- 한해성 생물인 냉수성유용생물이란 수온이 연중 20℃ 이하의 해역에서 성장이 잘되며 주로 북방계의 생물을 지칭함. 우리나라 대표적인 냉수성 생물은 연어·송어류, 가자미류, 패류는 가리비류, 멧게 등이 있음.
- 냉수성유용생물생산을 위한 대상생물은 가리비류이며, 통영해양생물자원기지 부근의 해역에서 수심 50m내외의 범위에서 어장환경조사를 실시함. 조사장비로 CTD, YSI, .연직 프로파일러, 사이드스캔소너, 프랑크톤네트 등을 이용함. 조사기간은 2018년 1월부터 11월까지 조사함
- 조사자료는 연구실내에서 분석 및 통계자료를 이용하여 국립수산물품질관리원령 제579호 양식장 적지조사요령에 따라 적지 분석을 함(표 2-2-14).

표 2-2-14. 국립수산과학원훈령 제579호 해수면 양식장 적지조사 기준

구 분 품 중 조 사 항 목		패 류	
		비단가리비	참가리비
수	온	5~28℃	5~23℃
염	분	20~35	27~35
영 양 염 ○ 인 산 염 ○ 총 질	류 인 소	0.007~0.032 mg/L 0.257~0.507 mg/L	0.007~0.032 mg/L 0.257~0.507 mg/L
용 존 산	소	4.3~8.6 mg/L	
수소이온농도(pH)		7.8~8.3	
저 ○ 입 ○ 화학적산소요구량(COD) ○ 산취발성황화물(AVS)	질 도	○ 바닥식 : 사니질, 사질, 사락질 ○ 수하식 : 시설 가능지 20mg/g 이하 0.2mg/g 이하	○ 바닥실, 사니질, 사질, 사락질 미립질30%이하) ○ 수하식 : 시설 가능지 (미립질30%이하) 좌 동 좌 동
부 유 생	물	적조지표생물이 적은 곳	적조지표생물이 적은 곳
해 적 생	물	불가사리류, 문어	문어, 불가사리류
조류소통(유속)		3~10cm/sec	10cm/sec
수	심	0~40m	15~40m
담 수 유	입	직접 영향이 없는 곳	좌 동
오 염	원	인근에 오염원이 없고 부영양화 영향이 없는 곳	좌 동
풍	파	시설물 유실우려가 없는 곳	좌 동
종	묘	인공종묘 및 자연산	인공종묘 및 자연산
기	타	기타 필요한 사항	좌 동

- 적지조사 기준은 비단가리비와 참가리비를 대상으로 하여 분석.
- 어장환경 적지조사 결과.

표 2-2-15. 적지조사에 의한 어장환경조사 비교

구 분 품 종 조 사 항 목	패		류	
	비단가리비		참 가 리 비	
	조사기준	조사결과	조사기준	조사결과
수 온	5~28℃	10~28℃	5~23℃	수심 -30m 10~21℃
염 분	20~35	31~33.5	27~35	31~33.5
영 양 염 류 ○ 인 산 염 인 ○ 총 질 소	0.007~0.032 mg/L 0.257~0.507 mg/L	17.4~25.1 µg/L 187.3~310.5 µg/L	0.007~0.032 mg/L 0.257~0.507 mg/L	17.4~25.1 µg/L 187.3~310.5 µg/L
용 존 산 소	4.3~8.6 mg/L	4.5 ~ 10.8mg/L	4.3~8.6 mg/L	4.5 ~ 10.8mg/L
수소이온농도(pH)	7.8~8.3	9.30~9.47	7.8~8.3	9.30~9.47
저 질 ○ 입 도 ○ 화학적산소요구 량(COD) ○ 산취발성황화물 (AVS)	○ 바닥식 : 사니질, 사질, 사락질 ○ 수하식 : 시설 가능지 20mg/g 이하 0.2mg/g 이하	○ 60%이상의 사패 질 ○ COD 0.6~1.9 mg/L	○ 바닥실, 사니질, 사질, 사락질 미립질30%이하) ○ 수하식 : 시설 가능지 (미립질30%이하) 20mg/g 이하 0.2mg/g 이하	○ 60%이상의 사패 질 ○ 0.6~1.9 mg/L
부 유 생 물	적조지표생물이 적은 곳	표층 분포	적조지표생물이 적은 곳	표층분포
해 적 생 물	불가사리류, 문어	분포함	문어, 불가사리류	분포함
조류소통(유속)	3~10cm/sec	0.25~2kn	10cm/sec	0.25~2kn
수 심	0~40m	0 ~50m	15~40m	0~50m
담 수 유 입	직접 영향이 없는 곳	없음	직접 영향이 없는 곳	없음
오 염 원	인근에 오염원이 없고 부영양화 영향이 없는 곳	없음	인근에 오염원이 없고 부영양화 영향이 없는 곳	없음
풍 파	시설물 유실우려가 없는 곳	안전함	좌 동	안전함
중 묘	인공중묘 및 자연산	가능	인공중묘 및 자연산	가능
기 타	기타 필요한 사항		좌 동	

- 조사 결과판정: 어장환경조사결과 적조 시 표층에 적조생물이 발견되고 있으나 가리비류는 수심이 깊은 곳에서 양식이 가능하므로 문제점이 없으며, 위협생물 및 유속은 채룡식 양식이므로 영향을 받지 않아 종합판정 결과 어장적지조사 기준에 부합되는 것으로 판단됨.

4) 양식생산 시설과 연계한 해양공간의 복합활용을 위한 비즈니스 공원 모델 개발

○ 수층공간을 이용한 비즈니스형 해중공원 모델개발

- 생물달력: 통영 연안 해역에서 자원생물의 월별 출현 양상 파악 및 자원관리 뿐만 아니라 어업활동 주기에 따른 연안의 수산업 관리를 위한 기초 자료 확보.
- 통영인근해역의 주요 수산생물 생물달력 제작을 위한 수산어종 조사는 매 분기별, 또는 비주기별로 통영 서호시장과 중앙시장에서 유통되는 연안 수산자원의 종류를 정리하고 떠다니는 유조(모자반류)에 의지해서 살아가는 어린 치자어, 유어들에 대한 정보를 실 해역 채집과 과거 문헌자료를 참고하여 출현, 소멸시기를 정리하였음.
- 현재 약 100여종이 달하는 통영 인근해역의 수산생물종의 월별, 계절별 어획유통 현황과 해당 해역에 출현하는 어류자치어의 현황을 조사함.

표 2-2-16. 통영 인근해역 수산어종(성어)의 월별 출현(표층, 중층, 저층 어류)

월	어 종	비고
1	불락, 불불락, 감성돔, 아귀, 쥐노래미, 솜뱅이, 청어, 학공치	
2	불락(산란), 불불락, 감성돔, 문치가자미	문치가자미 산란(2,3월)
3	문치가자미, 불락, 감성돔, 불불락	
4	문치가자미, 불락, 참돔, 조피불락, 감성돔(산란)	
5	참돔, 불락, 붕장어, 감성돔	참돔 산란기
6	붕장어, 농어, 불락	
7	양태, 농어, 멸치, 붕장어, 갯장어, 농어, 전갱이, 고등어, 전어	멸치는 4-6월 금어기
8	붕장어, 넙치, 멸치, 말쥐치, 쥐치, 전갱이, 고등어	전갱이, 고등어는 6-11월이 성기
9	갈치, 넙치, 삼치, 방어, 학공치, 참돔, 멸치, 전갱이, 고등어, 전어	
10	전어, 넙치, 삼치, 감성돔, 방어, 학공치, 참돔, 전갱이, 고등어, 전어	
11	삼치, 쥐노래미, 농어, 방어, 전어, 전갱이, 고등어, 전어	
12	꼼치, 방어, 대구, 쥐노래미,	꼼치, 쥐노래미 산란기

- 통영 해역은 연중 수온이 10~26℃ 범위에서 변하고 있는 곳으로 광온성 어종들이 연중 서식하고 있으며 일부 난류를 따라 회유하는 방어, 부시리 등이 특정 계절에 출현했다가 사라짐.
- 일부 어종들은 머물고 있으면서 일반 어구에 잡히지 않기 때문에 어시장에서는 만날 수 없지만 실 해역에서는 머물고 있는 종들도 있음. 따라서 문헌과 어시장 조사 결과를 바탕으로 뚜렷한 출현 시기를 구분하여 나타내기는 어려움이 있어 가장 활발하게 성장하거나 많은 개체수가 출현하는 경향을 고려하여 정리함.

표 2-2-17. 통영해역에 출현하는 주요 수산어종(성어, 자치어)의 월별 출현 양상

어종 /월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	remark	
성어	참돔													
	감성돔													
	전갱이													
	고등어													
	꼼치													산란기
	문치가자미													
	볼락													
	방어속 어류													난류성 회유어
	조피볼락													
자치어*	불볼락													
	취노래미													
	노래미													
	볼락													
	말쥐치													
	그물코쥐치													
	쥐치													
	돌돔													
방어														

* 떠다니는 모자반(유조)에서 채집한 표본

- 예를 들어 농어는 겨울이면 내만으로 들어가서 산란을 하고 2월이면 만 외곽으로 나오며 멸치는 7~12월 까지 인근해역에서 활발한 조업이 이루어짐. 볼락류는 연중 서식하고 있지만 겨울과 산란기인 봄을 중심으로 이 활발하게 수산업 분야에서 생산 이용됨. 멸치는 연중 서식하지만 저수온기엔 조업이 활발하지 않으며 4월부터 6월까지의 금어기를 지나면 7월부터 활발한 조업이 이루어짐.
- 한편, 이 해역을 지나면서 자치어기를 보내는 어종들은 봄철에 해수면에 떠 다니는 모자반류(유조) 아래에서 서식함. 겨울에 산란한 노래미와 취노래미는 2월부터 모자반 아래에서 등이 푸른색을 띤 자치어들이 확인되며 이시기에 병에돔 치어들도 함께 채집됨.
- 볼락은 3월부터 나타나 5월까지 유조 아래에서 서식하다가 전장이 5cm 전후로 자라면 바닥생활로 전환함.

- 80년대 한때 가두리 양식장의 종묘로 채포되기도 하였던 방어 치어는 5월부터 7월까지 유조아래에서 성장하며 유조를 떠나기 직전의 전장은 15cm전후임(조 등, 2002). 유조의 크기가 작아지는 6월부터는 쥐치, 말쥐치와 돌돔 치어들이 확인됨. 봄철 유조아래에서 성장하는 볼락류, 방어류를 포식하려는 노랑썩 뱀어도 유조아래에서는 최고 포식자로 함께 서식하고 있음(Cho et al., 2001; 박 등, 2005).
- 이러한 수산어종들의 출현, 서식 양상을 고려하고 다양한 수층공간의 양식시설과 연계한 자원조성 방안을 고려한다면 봄과 여름에 걸친 시기에 유조난 인공부유식구조물을 활용한 자원조성이 가능한 어종으로는 볼락류, 방어류, 노래미류 등을 대표적인 어종으로 판단됨.
- 이 중 인공종묘 생산기술이 확립된 볼락류는 바다목장사업에서 주 대상어종으로서 오랜 기간동안 축적된 기술자 자료들이 있어서 외곽해역에 심층 양식시설을 설치한 해중공원을 만들려고 할 때 가장먼저 고려되어야 할 종으로 사료됨.
- 그 외 인공어초에 반응하여 인위적인 관리가 가능하다고 판단되는 쥐노래미, 썩뱀이 등은 자원조성 대상 어종으로도 이 해역에서는 가능성이 있다고 생각됨.

○ 비즈니스형 해중공원 모델개발

- 해중공원(海中公園)은 영어권에서 ‘submarine park’, ‘an undersea park’ 등으로 부르며 일정한 해역을 정하고 그곳에 서식하고 있는 동식물을 보존함과 동시에 그 경관을 널리 알리는 목적으로 만들어지는 바다의 공원임.
- 세계의 해중공원은 1950년경 미국의 카리브해와 오스트레일리아의 그레이트 배리어 리프(GBR)의 산호초에 있는 여러 섬을 국립공원이나 국가 보존지로 설정한 것으로 시작됨. 이후 1962년 미국 시애틀에서 개최된 제1회 세계국립공원의 결의에 따라 각 국에서는 당시 권고에 따라 자국의 연안, 해양영역을 보호하기 위한 공원으로 지정하기 시작함.
- 우리나라에서는 한려해상국립공원(1968년)이 지정되었고 그 후 습지와 연안의 해양보호구역(MPA)이 지정되기 시작하여 현재는 약 26개의 해양보호구역이 존재함.
- 이번 개발하려는 해중공원(Marine park)의 모델은 생태계나 희귀 해양생물군집을 보호 보존하는 해양보호구역과는 달리 일정 해역에서의 생태보전과 양식, 자원조성 등 수산분야의 생산성을 고려한 복합적인 기능을 가진 ‘비즈니스형 해중공원’ 임.
- 통영 연안 해역에서 다양한 환경의 수층공간을 활용한 양식 기술을 개발하여 연안의 수층을 다양하게 활용하는 새로운 양식 산업의 활성화를 꾀하는 것이 1차 목적임. 이러한 다양한 해양 수층을 이용한 새로운 양식기술 개발과 함께 고려되고 있는 다목적 ‘해중공원’ 은 남해안이 갖고 있는 특성을 최대한 살려서 수산업과 양식은 물론 최근 폭발적으로 늘어나는 해양 레저 인구와 체험, 해양 환경교육 등 다양한 기능을 만족시키는 연안 공간의 기능을 가진 ‘복합 해중공원’ 의 새로운 모델을 개발하는 것.
- 현재까지 국내외에 건립된 해양공원, 해중공원의 현황을 통해, 각각이 갖고 있는 특성과 향후 우리나라

가 지양하는 한국형 해중공원의 모델을 개발이 필요함.

- ‘해중공원’ 모델 개발을 위해서 우리나라에서 추진 중인 해중공원 성격과 인프라 시설 등을 확인함. 또한 일본의 해중공원 중 1930년대로 오래전에 발굴되어 현재까지 국립공원으로 지정되어 관리되어 오고 있는 니이가타현의 사도섬 센가꾸 해중공원의 현지 답사를 통해 현재 세계적으로 개발 관리되고 있는 해중공원들의 성격과 달리 향후 우리나라에서의 수산물 생산성을 고려한 비즈니스형 해중공원의 모델 개발을 위한 수중 생태특성, 생물자원의 현황과 증식 가능여부, 양식시설의 자원조성 시설로서의 기능과 역할 분석 등의 효율적이고 복합적인 개념을 가진 모델 개발을 위한 자료들을 수집함.
- 우리나라에서 일정 연안 해역을 그 환경특성에 맞게 가장 효율적으로 수산, 관광, 체험 등의 개념을 접목해서 개발 관리하려는 시도는 1998년부터 시작된 ‘시범바다목장 사업’이 시작이라 할 수 있음. 최초 바다목장 모델을 개발할 당시 이미 동해안과 제주도는 단순한 수산업의 차원을 넘어서 해양 관광형, 체험형 등의 복합적인 기능을 고려한 바다목장 모델을 기반으로 사업이 추진되었음. 즉, 동,서, 남해, 제주도 연안의 환경특성을 고려하여 어업형, 관광형, 체험형 등으로 모델을 개발하여 정부 주도 사업으로 추진하였고 사업이 종료된 후에는 지자체와 지역 어민들이 관리해 나간다는 계획임. 또, 최근 2014년부터 3년간 전북 부안고창지역 연안에서 추진되었던 ‘해상풍력단지내 양식자원복합단지’ 모델도 신 재생에너지 산업과 연안의 수산업이 공존할 수 있도록 개발한 한국형 비즈니스 해중공원 모델의 큰 범위에 속한다고 할 수 있음. 이렇듯 최근에는 우리나라 바다에서도 어업뿐만 아니라 에너지, 해양 관광 등 다양한 분야의 활동을 위한 모델의 개발과 실 해역에서의 개발이 복합적으로 이루어지고 있음.
- 국내 현황: 우리나라의 첫 ‘해중공원’은 강원도 강릉 앞바다에 2013년부터 2018년까지 인공어초를 설치하면서 수중에 다이버들이 관광을 할 수 있음.
 - ◎ 장소: 강릉시 안현동 사근진 해변(레저전용 zone), 수심 25~26m
 - ◎ 사업명: ‘강릉시 해중공원 레저전용ZONE 조성사업’
 - ◎ 규모: 국내 최대의 수중공원 (축구장 160개 면적)
 - ◎ 시설: 전망대, 접안시설, 인공어초(폐선박 어초), 인공 수중 조형물(피겨스케이팅 모양 조형물 포함)
 - ◎ 사업비: 총 80억원: 국비 40억, 도비 12억원, 시비 28억원
 - ◎ 목적: 해양레포츠 인구 증가에 따른 스킨스쿠버 전용공간 조성



그림 2-2-90. 해중공원 전망대(선박형)(출처: [네이버 지식백과] 해중공원 [海中公園]).

- 그 외 부산 기장 앞바다에도 자연과 해양문화가 공존하는 해중공원을 기획하고 있음. 이곳에는 해양환경과 자원, 첨단 과학기술, 영상문화 콘텐츠가 결합된 빛·물·꿈을 주제로 한 체험형 해중공원이 들어설 예정.
- 국외 현황: 외국에서의 해중공원 역사는 1950년경 미국의 카리브해와 오스트레일리아의 그레이트 배리어 리프의 초호(礁湖)에 있는 여러 섬에 국립공원 또는 국가 보존지를 설정한 것이 시작임. 현재 세계에 지정되어 운영 중인 해중공원들은 다양한 환경 조건을 가지고 있지만 그 공원을 활용하는 생태관광이나 일반 관광업에 사용되는 인프라 시설로서 가장 대중적인 것은 바닥이 유리로 된 배(glass boat)이며, 그 밖에 해중 전망탑, 스노클이나 아쿠아링에 의한 해중 유영 등이 있으며 그 외 수족관, 낚시터, 요트장, 해수욕장 등을 들 수 있음. 2000년 대에 들어와서는 ‘수중조각공원’ 이 새로운 형식의 해중공원으로 등장함. 최초의 수중조각공원은 2006년 그레나다에 세워졌고 그 후 멕시코, 바하마제도, 그란카리아제도(스페인령)에 세워졌음
- 미주, 유럽
 - ◎ 그레나다의 수중조각공원: 2006년 5월 그레나다 연안에 세계 최초의 수중조각공원이 문을 엮. 몰리네어만의 약 800평방미터 해역에 65개 이상의 조각상 설치함. 이러한 수중조각공원은 몰리네어베이의 스노클링 관광산업을 부흥시키는 결과를 가져옴.
 - ◎ 멕시코 칸쿤 수중미술관 MUSA, 2009: ‘Underwater musium(MUSA, ‘Museo Subacuatico de Arte’) ‘으로 불리우는 멕시코 칸쿤과 이슬라 뮤하레스 사이의 수중에 약 400여점의 작품을 전시하고 있음. 이 수중박물관은 영국의 조각가, Jason deCaires Taylor가 2009년부터 현재까지도 계속해서 작품을 추가하고 있는 ‘최초의 수중박물관’ 으로 알려져 있음(MUSA는 ‘Museo Subacuatico de Arte’의 줄임말로 수중 미술 박물관이라는 뜻).



그림 2-2-91. 멕시코 칸쿤의 수중미술관 (출처: <https://blog.naver.com/uidesignmage/221146811097>)

- 일본

- ◎ 일본에는 현재 전국 28개소에海中공원이 지정되어 있으며 이 중 10대海中공원도 선정해 놓고 운영 중에 있음. 대표적인海中공원 오기나와에 있는 부세나海中공원(ブセナ海中公園)을 비롯하여 가고시마현, 고지현의海中공원 등 전국 골고루 흩어져 있음.
- ◎ 이번 사업으로 현지 견학한 니이가타현 사도섬에는 센가꾸海中공원(1930년대부터의 역사가 깊은 곳) 외에 북소포의 흑돔마을, 그 외 남쪽 끝의 오기항 마을의 다라이베 체험마을 등이 있는 곳임. 일본의 사도섬은 혼슈우의 중부에 위치한 니이가타현에 소속된 섬으로 니이가타시에서는 약 70km 서쪽으로 떨어진 곳에 위치한 섬임. 국제적으로 보호종(새)인 따오기로도 유명하지만 오래전 금광이 있었고 지금은 7만명이 살고 있는 유인도임. 대마 난류의 영향을 받는 환경 특성상 우리나라 울릉도·독도와도 유사한 해양 생물종들이 서식하거나 계절에 따라 출현하는 곳임.
- ◎ 센가꾸만海中공원(尖閣灣 海中公園)은 소화 7년(1932년), 노르웨이 최고의 피요르드경치를 가졌다는 하루당겔만의 경치에 버금간다고 평가하여 ‘尖閣灣’으로 명명하였고, 그 후 1934년 명승지, 1950년 국립공원으로 지정되어 지금까지 관리되어 오고 있음. 사도섬에는海中공원이 두 군데 있는데 사도섬 북쪽 연안에 있는데 ‘센가꾸만’과 그 보다 북쪽에 위치한 ‘대야귀 연안’임.海中공원에는 바닥이 유리로 되어 배에 앉아서 연안 전경과 수중을 볼 수 있는 ‘그라스보트’가 운행하고 있었으며 입장료를 받고 있었음. 또, 선박타는 곳의 연안에는 먹이를 주면서 길들인 감성돔(30~40cm 급) 백여마리가 수심 3~6m 수심층에 항상 있고 그 외 자리돔, 놀래기류, 복어 등이 함께 먹이에 길들여져 있었음. 이로서 사도섬에는 먹이로 길든 자연 상태에서의 관찰할 수 있는 관광체험 대상 어종은 북소포 마을의 흑돔과 이곳 감성돔이 있음. 즉, 이 두 종은 자연 상태에서 ‘家魚化’되어 있었음.
- ◎ 이海中공원내에는 수족관과 박물관이 있는데 방문객들에게 자유로이 개방된 곳이었고 그 규모는 1층, 수족관, 2층 박물관으로 작은 편이었음. 수조에는 불락, 불불락, 까치상어, 방어, 참돔, 쭈기미, 쥐노래미, 노래미, 성게, 넙치, 아홉동가리, 붉바리, 갑오징어, 소라 등이 전시되어 있음. 근육을 투명하게 만들어 골격만 붉게 염색한 작은 표본병, 닥터피쉬 어항 등이 있음. 2층 박물관에는 간단한 오래전 사용되는 어구와 건조 표본 등이 지역의 어촌마을의 생활용품 등이 전시되어 있었음.



그림 2-2-92. 센가꾸만海中공원 (일본 니이가타현). 입구 간판(좌)과 그라스보터 선착장이 보이는 전경(우)

○ 비즈니스형 해중공원 모델

- 다양한 수층 공간을 활용하여 통영 연안에서 냉수성 해양생물자원의 양식을 시도하는 것이 주 목적인 이 과제외 또하나의 목적은 중간 수층을 활용한 양식 시설을 포함한 해수면과 깊은 저층 해저면의 전 공간을 활용한 ‘생산성 있는 해중공원’ 즉, 비즈니스형 해중공원(Marine park)의 모델을 개발하고 나아가 실 현장에서의 생산과 해양 레저, 자원조성 등 기능을 함께 살려서 연안 바다공간의 최대 활용을 이끌어 내는 것임. 왜냐하면 통영 인근 연안은 지금까지의 전통적인 방식의 양식업과 수산업은 물론 바다목장 사업을 통한 자원증식의 우리 나라 대표적인 모델을 현재 관리운영하고 있는 곳이고 최근 급격히 증가한 해양 유어, 체험관광객의 수요를 충족시키기 위해서는 해상 경관과 해중 생태관광이 함께 발달, 정착되어야 할 지역이기 때문임. 우리나라는 앞의 서구 유럽, 미국, 일본의 해중공원보다는 더 복잡한 기능을 요구 받고 있기 때문이기도 함.
- 1차년도 사업이 실 해역에서 생산실험이 이루어지지 않고 현재 바다목장 해역 내에서 중층시설을 활용한 가리비 생산실험이 이루어지고 있었기 때문에 최종 활용 해역의 범위가 정해진 후에 구체적인 요소별 분석이 가능하리라 생각됨. 그러나 종합적인 개념도는 그림 2-2-93~94에서 보는 바와 같음.

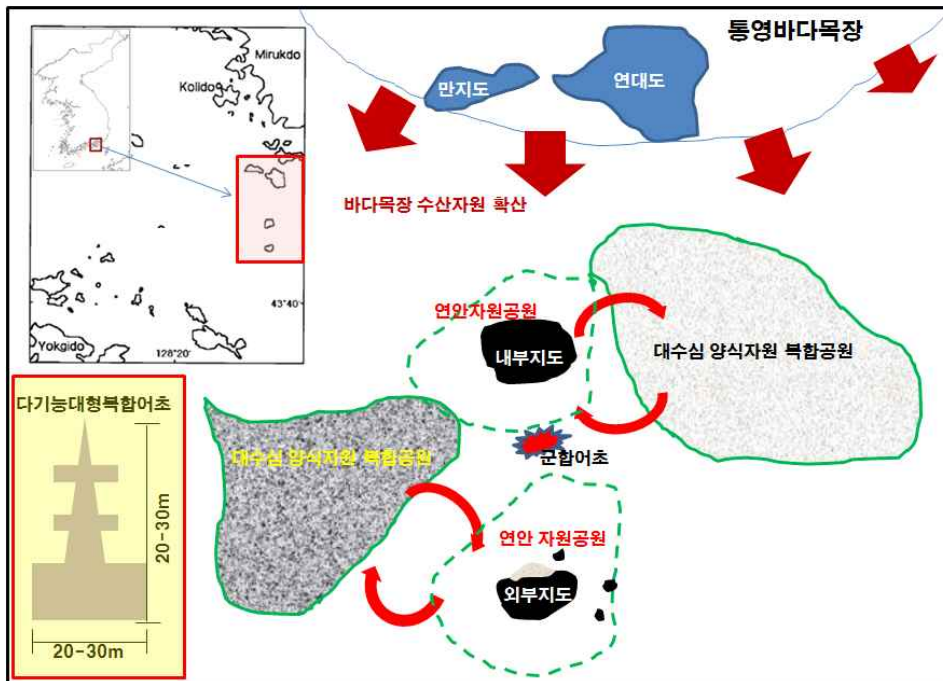


그림 2-2-93. 통영 해중공원 개념도(평면도)

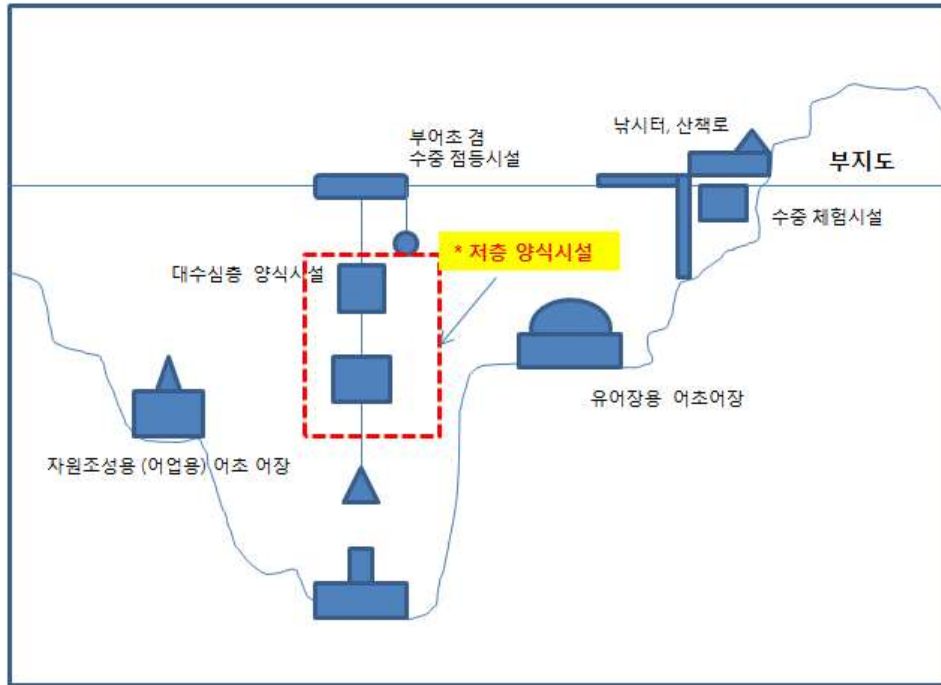



그림 2-2-94. 동영해중공원 수층별 시설 개념도

- 그림 2-2-93, 2-2-94에서 보듯이 동영바다목장에서 증식되어 확산되는 수산자원의 광역 관리 해역으로서의 역할과 수중공간의 양식시설을 포함한 다양한 기능의 시설을 우선 개념도에 삽입해 두고, 1) 연안 해양생물다양성 보존, 2) 수중경관 보존, 3) 양식생산성과 해양레저 산업의 활성화를 꾀하면서 동시에 생태관광과 접목된 교육 기능까지 가진 ‘한국형 비즈니스형 해양공원’의 모델의 기초 개념도라 생각함.
- 해양수산부의 해양공간의 통합관리와 계획적인 이용체계 구축(국정과제 84-5)과 관련된 지역협의회 활동과 향후 추진 방안을 감안한다면 이 모델의 초안은 해양공간의 복합적인 활용에 대한 좋은 모델이 되리라 생각됨. 즉, 항만, 어장, 보호구역 등 단일 목적으로 우리나라 연안 해양공간 관리를 정리하기에는 좁은 해역에서의 복합적인 기능과 역할을 요구받고 있는 시대이기 때문임.
- 아무튼, 보다 많은 세계적인 해중공원 사례 분석과 대상 해역에서 9년간 연구 용역사업으로 추진된 동영바다목장 사업 결과물인 블락류의 자원조성 기술, 참돔, 감성돔을 대상으로 포함하는 유어용 인공어초 개발의 과정을 융합한다면, 심층 양식과 자원조성, 나아가 해양레저산업, 체험, 교육 기능을 가진 해양공원, 또는 해중공원(Marine park)의 모델을 실 해역에 적용할 수 있을 것으로 판단됨.

[당해연도 대표적 우수성과]

우수성과 - 1.	국내 최초 남해안 참가리비 월하 기술 및 남해 외해 심층 연승식 어장시설 개발
성과 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 최초 남해안에서의 참가리비 월하 성공 <ul style="list-style-type: none"> - 모니터링을 통한 참가리비양식 적지 월하수심 선정 - 치패의 월하 적정 밀도 확립 - 수하 채룡망의 수용량 기준 수립 - 월하장 운영시기 결정 ○ 남해안최초 외해 심층연승식어장시설 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 소재 검토를 통한 내구성 및 어장안정성 구축 - 수심 - 30m 이심의 연승식어장 설계 및 시설 기법 도출 - 심층시설물의 외력에 의한 장애요인 대응기술 확보 ○ 비즈니스 해중공원 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 심층 양식시설의 생산활동을 포함하는 다수층 활용의 '비즈니스해중공원(Marine park)'모델은 생태관광, 유어낚시, 수중박물관, 바다목장 등으로 한정된 분야에 대한 기존 해중공원의 범위를 넘어서 생산활동과 다양한 해양레저 및 교육 기능을 연계한 새로운 개념의 해중공원(Marine park) 모델의 기초를 완성함
성과의 우수성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 냉수성 심층 유용생물 양식어장 적지조사기준 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 심층어장 시설기법을 수립함으로써 기존의 수산업법 및 어장관리규칙에서 설정한 어장시설 면적 및 어장간의거리 등에 대한 세부규칙을 전체적으로 수정보완하는 정책적 건의 필요성을 판단하는 외해심층어장적지조사 기준안을 마련 함 ○ 남해안최초 외해 심층연승식어장시설 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 남해안에서 수심 - 30m이심에 심층연승식 양식어장을 사례가 없으므로 이번 어장시설을 통하여 대수심 심층연승식양식어장 시설에 대한 원천기술을 확보함 ○ 중장기 위협생물 대응방안 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 양식위협생물인 진주담치, 굴, 관달게갯지렁이, 따개비 등은 자연에서 산란 후 유생이 양식시설물에 부착하면, 양식생물의 성장이나, 청소, 많은 인력이 필요하므로 양식어장을 경영해야하는가에 대한 경영여부를 판단하여야하는 중요한 요소이므로 이에 대한 표층, 저층간의 수층공간을 이용한 위협생물 관리방안에 대한 기초적 관리방안을 획득함. ○ 국내 최초 남해안에서의 참가리비 월하 성공 <ul style="list-style-type: none"> - 우리나라 남해안에서는 고수온관계로 양식이 불가한 참가리비를 수층공간을 이용 참가리비 치패 월하를 성공적으로 수행함으로써 앞으로 외해역의 대수심을 이용한 수층공간이용 냉수성유용생물산업을 신산업으로 발굴 할 수 있는 원천 환경이용기술 냉수성유용생물자원개발 전초 마련.
증빙자료	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논문명 (게재지, 일시) ○ 학술발표명 (일시, 장소, 발표회명) ○ 기 타

우수성과 - 3.	연안 해안선 피해 예측 수치 및 해안선 변화 모델 개발
성과 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연안 해안선 피해 예측 수치모델 계산 ○ 장기 해안선 변화 계산
성과의 우수성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연안 해안선 변화 모델링 기법 확보
	
증빙자료	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hindcast of long-term shoreline change due to coastal interventions at Namhangjin, Korea (Journal of Coastal Research, 2018년 5월)

2. 정량적 연구성과

[2018년도 목표 대비 달성도]

구분		가중치*	달성 목표(건)		세부 가중치	달성(건)	달성도(%)
과학적 성과	논문	0.5	mrnIF 81점 이상	1	60%	2	
			mrnIF 61~80				
			mrnIF 41~60	1	30%		
			mrnIF 40점 이하			3	
			SCOPUS 등재지 1건	1	10%		
			학진 등재			1	
			학진 후보				
			소계	3	100	6	100%
	저서		국제저서				
			국내저서				
			국제편저				
			역서 등				
			소계				
	기술적 성과	특허		국제특허 출원			
국제특허 등록							
국제특허 추가등록							
국내특허 출원							
국내특허 등록							
경제적 성과	기술료		기술이전 성과				
사회적,인프라	홍보활동	0.15	연구과제 홍보	1	30%	2	
	대외활동	0.3	해양수산부 연구사업 개발 관련 활동 및 복합양식 어장 수립 관련 활동	2	70%	3	
			소계	3	100%	5	100%
기타성과	연구노트	0.05	분야별 연구 노트 작성	10	100%		100%
계	-	1			100%		100%

3. 기타 성과

가. 인력활용/양성 성과

인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-
-

장·단기 연수지원 성과

장기 (2월 이상)		단기 (2월 미만)	
국내	국외	국내	국외

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-
-

산업기술인력 양성 성과

프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-
-

나. 국제화/협력 성과

국내·외 공동 연구협력 실적(위탁연구 제외)

연구협력 파트너	수행형태	연구협력 내용(목표)	수행 결과 및 우수성
○	공동/협동	○	○

인력교류 성과

외국 연구자 유치				해외 파견			
유치기간(월)	국적	학위	전공	파견기간(월)	파견국	학위	전공

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-

학술회의 개최 성과

명칭	기술분야	규 모			개최장소	지원금액 (백만원)
		참가국	인원	기간(일)		

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-

국제협력 기반

MOU 체결			수요조사			공동연구	
대상국	대상기관	수집자료(건)	대상국	과제접수(건)	과제도출(건)	대상국	협약연구비 (백만원)

○ 달성실적 상세내용(의의, 기대효과 등)

-

기타 성과: 연구노트 - 전 내부 참여자의 내부 참여율이 10% 미만으로 대상자 없으나, 167회 연구노트 작성

■ 참여 연구원

일련번호	성명	급여번호	참여기간	총기간	인건비	참여율	미지급
1	(본원)박용주	00339	2018.01.01 - 2018.12.31	12	1,000,000	0.8	-
2	(본원)정승원	00718	2018.01.01 - 2018.12.31	12	1,000,000	1	-
3	(본원)이택건	00559	2018.01.01 - 2018.12.31	12	9,500,000	8.5	-
4	(본원)장연식	00821	2018.01.01 - 2018.12.31	12	2,850,000	3.2	-
5	(본원)강형구	00591	2018.01.01 - 2018.12.31	12	8,000,000	7.6	-
6	(본원)유옥환	00702	2018.01.01 - 2018.12.31	12	2,000,000	2	-
7	(본원)이형곤	00452	2018.01.01 - 2018.12.31	12	4,000,000	4.3	-
8	(본원)명정구	00194	2018.01.01 - 2018.12.31	12	4,000,000	3.9	-
9	(본원)모승용	00648	2018.01.01 - 2018.12.31	12	1,000,000	1	-
10	(본원)최희정	00382	2018.01.01 - 2018.12.31	12	4,000,000	3.9	-
11	(본원)김민석	00340	2018.01.01 - 2018.12.31	12	4,000,000	3.4	-
12	(본원)박홍식	00587	2018.01.01 - 2018.12.31	12	4,000,000	3.8	-
13	(본원)이윤호	00510	2018.01.01 - 2018.08.01	7.08	1,000,000	1.4	-
14	(본원)이지민	00737	2018.01.01 - 2018.12.31	12	2,000,000	2.1	-
15	(본원)진재울	00414	2018.01.01 - 2018.12.31	12	5,700,000	4.4	-
16	(본원)최진용	00796	2018.01.01 - 2018.12.31	12	950,000	1.1	-
17	(본원)장풍국	00794	2018.01.01 - 2018.12.31	12	3,000,000	3.5	-
18	(본원)이영욱	60299	2018.01.25 - 2018.12.31	11.23	3,700,000	6.8	미지급
19	(본원)도종대	11091	2018.01.25 - 2018.12.31	11.23	3,000,000	1.8	미지급
20	(본원)미배정액	00000	2018.01.01 - 2018.12.31	0	0	0	-
계					58,000,000		

제 3 절 연구결과(실적)

구분	주요 내용
자체 종합 평가의 견	<ul style="list-style-type: none"> □ 수리/수질 모델 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 통영 인근 해역 정밀 수리/수질 모델 구축 - 테스트 모델 수행 : 관측자료 통한 모델결과 검증 □ 양식기술 위해환경 모니터링(양식생물 질병유발 해양병원체 탐색기술) <ul style="list-style-type: none"> - 차세대염기서열분석(NGS) 및 PCR 기법에 기반하여 양식현장에서 해수와 양식생물을 대상으로 전체 및 특정 해양병원체 목록을 작성하고, 질병유발 병원체를 탐색하고자 하는 연구는 국내에서 최초로 시도되는 연구임 - 본 연구는 장기적으로 수행하여 빅데이터를 구축해야 하는 연구이며, 양식생물의 건강성 증진과 이를 통한 안전한 먹거리 확보에 필수적인 연구 분야로 판단됨 □ 수층공간내 먹이생물 분포 및 가리비 먹이생물 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 가리비 위 내용물에서 차세대 염기서열분석을 통한 먹이생물을 분석하여 먹이생물 종류를 파악하고, 수층공간내에서 먹이생물 출현과의 관계를 파악하였음. - 조사 해역에서 동물성 먹이생물의 생물량 및 조성 변화와 특성을 파악함

구분	주요 내용
	<ul style="list-style-type: none"> □ 부착관을 이용한 부착생물 가입 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> - 협온성 생물의 양식이 가능한 수심대에서 월별 부착생물 가입 현황을 분석하여, 남해에서 협온성 양식생물 배양에 필요한 부착 위해생물 제어기술 개발 기반을 마련함 □ 양식·자원 복합단지 조성을 위하여 연구진의 기초조사 자료가 환경, 시설 및 위협생물제어, 월하장조성, 월하관리 등에 많은 도움이 되어 성공적인 목표달성 이룰 수 있었음.
<p style="text-align: center;">1차년 (2017년) 성과 및 의의</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ 통영 인근 해역 정밀 수질모델 구축방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - Nesting을 통한 운용예보시스템 자료 적용 정밀 수질모델 구축방안 수립 - 테스트 모델 수행 : 관측자료 통한 모델결과 검증 □ 양식기술 위해환경 모니터링(양식생물 질병유발 해양병원체 탐색기술) <ul style="list-style-type: none"> - NGS 기법을 적용하여 양식생물 내장 및 주변해수에 존재하는 전체 해양바이러스성 병원체 목록을 작성하고, 가리비 사멸과 관련될 수 있는 병원체 candidates를 확인함 - 문헌으로 알려진 병원체 목록을 작성하고, PCR 기반하여 병원체 감염여부를 확인하였음 - 상기 연구결과는 국내 양식생물을 대상으로는 처음으로 시도되는 연구이며, 향후 다양한 양식 현장에 적용될 수 있는 기술임 □ 수층공간내 먹이생물 분포 및 가리비 먹이생물 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 가리비 위 내용물에서 차세대 염기서열분석을 통한 먹이생물을 분석하여 먹이생물 종류를 파악하고, 수층공간내에서 먹이생물 출현과의 관계를 파악하였음. - 중형동물플랑크톤 출현량의 격월 분석을 통해 변동 경향성을 파악할 수 있었음 □ 부착관을 이용한 부착생물 가입 모니터링 <ul style="list-style-type: none"> - 조사 해역의 양식장 및 구조물에 출현하는 부착생물 현황을 파악하였음 - 협온성 생물의 양식이 가능한 수심대까지 부착관에 가입되는 생물의 월별 누적 변동 현황과 매월 새롭게 가입되는 부착생물을 분석하였음 - 부착관의 재질(황동, 그물)에 따른 부착생물의 가입 현황을 분석하였음 □ 양식·자원 복합단지 조성을 위하여 연구진의 매월 정기적인 연직기초 물리, 생물 기초환경조사는 냉수성유용생물자원개발 어장시설공법 및 월하장선정, 연직수심별 수온 수층이용, 위협부착생물제어방안 등에 많은 도움이 되었으며 앞으로 지속적인 모니터링을 통하여 신산업화 산업에 기여하였으면 함.