

발 간 등 록 번 호
11-1541000-001510-01

패류양식장의 생산성 향상 및 다목적 이용을 위한 구조개선 연구

The reformation of shellfish farm structure for the improvement
of productivity and multi-purpose utilization

전라남도 해양수산과학원 해조류연구센터

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부장관 귀하

이 보고서를 “패류양식장의 생산성 향상 및 다목적 이용을 위한 구조개선 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 05월 31일

주관연구기관명 : 전남해양수산과학원해조류연구센터

주관연구책임자 : 조 영 현

협동연구기관명 : 광주대학교

협동연구책임자 : 양 성 렬

협동연구기관명 : 전남대학교

협동연구책임자 : 이 병 권

협동연구기관명 : 부경대학교

협동연구책임자 : 류 청 로

참 여 연 구 원 :

(전남해양수산과학원해조류연구센터)

이경식, 김종기, 임창용, 임은영, 박용빈, 김혜란, 황수연
(광주대학교)

정희원, 김주희, 정희철, 정형욱
(전남대학교)

양송이, 이승하, 김남현, 임보드레
(부경대학교)

김윤, 김홍진, 최진휴, 권준혁
(주)해양비전21)

양희정, 김성현, 이광희, 정준걸, 김아름, 지종선, 양지수, 최은경

연구개발보고서초록

과 제 명	(국문) 패류양식장의 생산성 향상 및 다목적 이용을 위한 구조개선 연구				
	(영문) The reformation of shellfish farm structure for the improvement of productivity and multi-purpose utilization				
주 관 연구 기관	전라남도해양수산과학원 해조류센터	주 관 연 구 자 책 임 자	(소속) 전라남도해양수산과학원 해조류센터		
참 여 기 업	(주)해양비전21		(성명) 조 영 현		
총 연구개발비 (861,000천원)	계	861,000천원	총 연 구 기 간	2009. 06. 01 ~ 2012. 05. 31(3년)	
	정부출연 연구개발비	645,000천원	총 연 구 참 여 수	총 인 원	30
	기업부담금	216,000천원		내부인원	4
	연구기관부담금	-		외부인원	26

○ 연구개발 목표 및 내용

- 기존 패류양식장의 구조 개선과 지속가능한 이용방안 제시
- 패류양식장의 지속적 이용을 위한 관리지침서 개발
- 침체된 갯벌양식어장의 관광자원화 기회 부여 및 갯벌에 대한 생태자원 보고 의식 제고

○ 연구결과

- 패류양식 기반조사
 - 패류양식 생산규모, 패류양식장(갯벌)의 현황 조사
 - 대상수역 선정 후 대상해역 특성조사
- 패류양식장의 구조/배치 개선
 - 패류양식시설 설계를 위한 설계인자 검토
기존 패류양식장 경계구조물, 해양환경인자, 수리학적 인자 조사
 - 바지락 양식장 갯벌둑 개발
갯벌둑 최적 형상 시뮬레이션, 갯벌둑 안정성 수리모형 실험, 저질개선효과 실험
 - 갯벌두렁: 중국기술, 해수를 저장하기 위한 갯벌두렁특허출원
 - 다목적이용 복합양식
수평망식 양식시설방안 및 규격, 배치와 수평망 양식시설을 이용한 다목적 입체 양식개념 도입
- 패류양식시설 기능개선 진단
 - 구조물 진단(바지락, 꼬막, 복합양식), 생산성 진단, 환경변화진단
- 대상 생물의 생리 및 생화학적 분석
 - 생리 및 생화학적 조성비교, 패류종류별 먹이섭식 양식 및 효율측정

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 패류생산 기능 강화
 - 생산 기업형: 대규모 패류생산단지 조성(가공, 유통을 연계하여 기업화추진)
 - 관광 체험형: 도시민의 주말어장으로 활용
- 패류양식을 하는 어민에게 패류양식메뉴얼 제공

요 약 문

I. 제 목

패류양식장의 생산성 향상 및 다목적 이용을 위한 구조개선 연구

II. 연구개발의 필요성 및 목적

현재 패류양식장은 단순한 말뚝 경계에 의한 표시로 생산성을 자연에 전적으로 생산성을 의지하고 있다. 최근 종패유실, 밀식, 어장의 노후화 등 패류양식장의 환경악화로 인한 악순환이 계속되어, 생산성 감소, 종패부족, 집단폐사 등으로 이어지고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 패류생산을 활성화시키기 위해 기존의 패류양식장을 개선하고 정형화된 틀로 디자인하여 각종 패류를 지속적으로 대량 생산할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구과제의 최종목표는,

- 기존 패류양식장의 구조 개선과 지속가능한 이용방안 제시
- 침체된 갯벌양식어장의 대량생산단지화, 관광자원화 기회 부여 및 갯벌 패류양식장의 지속적 이용에 대한 생태자원 보고 의식 제고에 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

패류양식장의 생산성 향상 및 다목적 이용을 위해 국내 패류양식의 경제적 규모와 미래전망, 패류생산현황과 패류양식장의 지역 특성과 양식기술 동향을 파악하였으며 국내외 패류양식장의 구조적 차이 및 운영실태 조사를 통해 문제점 및 개선방안을 도출하였다. 그리고 바지락, 꼬막, 다목적 이용 복합양식장의 시험어장 설치 대상수역을 선정하여 각 어장의 해양환경 특성을 파악하고 구조물개선방안을 설계하여 현장에 적용하기 위한 수리모형, 수치모델 시험을 거쳤다. 또한 구조물 설치를 위해 구조물제작 및 배치에 영향을 미칠 수 있는 해양외력산정을 하였다. 패류양식장 현장 실용화 진단을 위해 구조물, 생산성, 환경변화, 생화학적 특성진단을 실시하였으며 이를 통해 제시된 구조개선 안에 대한 개선점을 찾아 보완하고 한국형 패류양식장의 구조개선 방안 및 경제적 타당성을 제시하고자 하였다.

IV. 연구개발 결과

1. 패류양식장 기반조사

가. 패류양식현황

국내 패류생산량은 2011년을 기준으로 약 7,600억 원 규모이며, 이외에도 상당량이 해외에서 수입되고 있으므로, 시장규모는 도매가격으로만 1조원에 이르며, 유통되는 소비자 가격으로는 수조원에 이를 것으로 추정된다. 패류생산은 2003년 이후 2011년까지 점차로 감소하였으나 생산금액은 꾸준히 증가추세를 보이고 있으며 본 연구과제의 주요 대상 품종 중 하나인 바지락의 경우 연안 간척 매립으로 인한 서식처 감소와 대량 폐사, 북한산 바지락의 수입금지 등으로 가격이 상승할 것으로 예상되었지만, 중국산 수입의 증가로 생산금액은 크게 증가하지 않았으며 이에 따라 어민들의 어려움이 가중되었다. 꼬막은 점차로 생산량이 감소하고 있으며 생산금액은 2010년 1년 사이에 1.5배가량 상승하였다. 패류양식장 면적은 2007년 49,251ha로 전남이 25,911ha로 50%이상을 차지하고 있으며 주로 전북, 바지락, 꼬막 등 다양한 종류의 패류양식을 하고 있으며 경남은 굴, 홍합, 피조개 등을 충남과 전북은 주로 바지락 양식이 활성화 되어 있다. 패류 양식면적과 양식어업건수는 꼬막을 제외하고 2001년부터 증가하고 있지만 패류의 생산량은 감소하는 추세이다. 따라서 바지락과 꼬막의 생산량을 증가시키기 위한 패류양식장의 구조개선이 절실히 필요하다. 최근 들어서는 바지락, 꼬막 종패의 생산이 크게 줄어 들어 이것 또한 패류산업의 기반을 흔들고 있다. 특히 충남 보령 주교리의 경우 바지락 종패 국내 생산의 30%를 차지하는데 축에 의한 피해로 생산량이 크게 급감하였다.

나. 대상수역 선정

대상수역 선정은 패류양식이 활성화 되어 이루어지고 있는 곳을 선정하였다. 바지락의 경우 전라남도 고흥 남성리를 선정하였으며 곰소만이나 다른 지역의 양식장과는 다르게 경계부를 굴패각으로 쌓아 양식장을 구획하고 자체적으로 굴패각이나 모래 등을 살포하여 양식이 잘 될 수 있도록 많은 노력을 하고 있다. 꼬막은 보성 별교와 인접하고 있고, 꼬막의 생산은 별교보다 오히려 더 많이 생산되고 있는 고흥군 계매지역을 선정하였다. 이곳의 일반적인 꼬막양식장은 어떠한 구조물 없이 정해진 양식장 안에 종패를 살포하고 성장할 때까지 기다렸다가 채취하고 있었다. 다목적 이용 복합양식의 경우 서해안 갯벌 연안 18개소를 선정하여 지속적으로 수질, 저질 환경모니터링을 추진하여 후보지를 선정하였다. 조사 분석결과 탄도만 및 함평만은 반폐쇄적인 해역으로 저질환경 및 수질환경은 양호한 수준을 보여 함평만 도리포 및 탄도만 가입리 해역 2개소를 시험어장 후보지로 설정하고, 두 지역을 정밀 현장조사를 통해 비교분석하여 함평만 도리포 해역을 최종후보지로 선정하였다.

2. 대상해역의 특성

가. 수질환경

대상수역으로 선정된 고흥 남성리 바지락 양식장의 계절별 해역특성을 조사한 결과 수온은 4.1~27.6℃ 범위로 계절적 변화를 보였고 염분은 31.1~33.7psu로 염분변화가 크지 않았다. 용존산소(DO)는 4.19~10.91 mg/l, 수소이온농도(pH)는 7.72~8.76 범위를 보였고, 부유질물(SS)은 7.5~38.0 mg/l, 화학적산소요구량(COD)은 0.4~2.4 mg/l, 총질소(TN)는 0.01~1.02 mg/l, 총인(TP)은 0.006~0.056 mg/l 범위로 전반적으로 I~II등급으로 양호한 수질을 보였다.

꼬막양식장인 계매지역은 2009년 11월 추계조사 시 수온은 9℃, 염분은 33psu, DO는 8.6 mg/l를 나타냈으며, TN은 1.06 mg/l, TP는 0.085 mg/l로 해양수질 등급은 TN은 III등급, TP는 II등급에 해당되었다. 2010년 11월 조사에서는 연안해역으로 수온은 8.8℃, 염분은 32.1psu, DO는 11.03 mg/l, 2011년 2월 동계조사에는 수온은 2.4℃, 염분은 33.0psu, DO는 8.95 mg/l으로 양호한 수질환경을 보였다.

다목적 이용 복합양식 시험어장인 함평만 도리포 해역은 2007년부터 2009년까지 해역수질을 모니터링 해왔던 지역으로 해역수질이 양호한 지역으로 나타났다. 이번 2009년 9월, 11월, 2010년 1월에 정밀조사를 실시한 결과 수온, 염분, 엽록소-a(chl-a) 및 DO의 경우 조사기간 동안 수온, 염분 약층은 나타나지 않았으며, 염분은 강수량이 감소하는 겨울철로 갈수록 증가하여 32psu대를 회복하였다. 영양염류의 계절별 변화를 살펴보면 암모니아는 평균 0.045~0.098 mg/l, 아질산염은 평균 0.007~0.013 mg/l, 질산염은 평균 0.094~0.330 mg/l, 인산염은 평균 0.021~0.055 mg/l, 규산염은 0.434~0.535 mg/l으로 계절 변동성은 크지 않으며 N/P ratio는 7.3~17.5로 여름과 겨울철에 낮은 값을 나타내었고 이 지역에서 주로 질소가 기초생산성에 제한 인자로 작용할 수 있는 것으로 나타났다.

나. 저질환경

바지락양식장인 고흥 남성리의 계절별 입도분석 결과 평균입도는 0.63~7.87Φ로 추계보다 겨울철에 세립질 퇴적물이 가입되고 있음을 보여주었다. 저질화학적산소요구량(COD)은 조사기간 중 평균농도 범위가 4.7~12.2 mg/g, 강열감량(IL)은 조사기간 중 평균농도 범위가 2.22~7.13%, 저질엽록소-a(Chl-a)는 평균농도 범위가 5.51~16.57 μg/cm²로 나타났다. 바지락 서식에 양호한 환경으로 조사되었다. 꼬막양식장인 고흥 계매 퇴적물 평균입도(Mz)는 평균 7.36~8.06Φ로 세립 하였다. 저질 COD는 7.7~14.1 mg/g, IL은 2.65~4.22% 범위를 보였으며, 저질Chl-a는 2.96~11.30 μg/cm²으로 꼬막서식에 양호한 것으로 조사되었다.

함평만 도리포 다목적 이용 복합양식장은 조립질인 gravel은 여름철에서 겨울철로 갈수록 30%대에서 10%대로 감소한 경향을 보여주었으며, sand 또한 gravel과 계절변화가 유사하였고, 반면에 세립질인 mud는 40%대로 여름철 분포에 비해 겨울철에 분포면적이 증가하였다. 이 지역에서는 퇴적물의 계절변동이 뚜렷이 나타나는 것으로 조사되었다. 시험어장의 지형고도변화는 대조시 해안선에서 간조선까지 263m의 폭을 가지고 고도 기울기는 2.5%를 가지는 것으로 분석되었다. 주상시료 조사를 통한 IL은 3.54~3.65%, 저질 COD는 6.69~7.77 mg/g, 산화발성황화물(AVS)은 0.00~0.05 mg/g으로 전체적으로 볼 때 국가별환경기준인 IL 5%(미국EPA기준), 저질COD 20 mg/g(일본기준), AVS 0.2 mg/g(일본기준)에 훨씬 이하인 양호한 환경상태였다.

다. 생물환경

고흥 남성리 바지락 양식장의 식물플랑크톤은 규조류(Bacillariophyceae)가 우점하는 것으로 나타났으며, 총 현존량은 270~3,043 cells/ml로 여름철에 높았다. 저서동물 군집은 2009년 추계조사에서 총 3개 동물문에서 31종, 312개체가 출현하여 평균 서식밀도는 324.9 개체/m²로 나타났고 가장 우점한 동물군은 다모류로서 전체 출현동물의 56.7%를 차지했고, 2010년 동계조사에서는 총 4개 동물문에서 30종, 361개체가 출현하였고, 추계조사와 동일하게 가장 우점한 동물군은 다모류였고, 전체 출현동물의 57.9%를 차지했고 평균 서식밀도는 1,282.0 개체/m²였다.

고흥 계매리 꼬막 양식장의 식물플랑크톤은 규조류(Bacillariophyceae)가 가장 우점하였으며 총 현존량은 63~6,877 cells/ml로 나타났다. 저서동물은 총 3개 동물문에 속하는 13종, 359개체가 출현하였으며 가장 우점 출현한 동물군은 연체동물(Mollusca)로서 전체 출현동물의 개체수중 86.1%를 차지하였고 평균 서식밀도는 299 개체/m²이었다.

함평만 도리포 다목적 이용복합양식 시험어장의 식물플랑크톤은 규조류가 평균 현존량은 73~699 cells/ml로 나타났다. 저서동물은 시험어장에서 계절별 출현양상을 살펴보면 연체동물과 갑각류가 우점하였으며 여름철 총출현개체수는 913.79 개체/m², 총생물량은 229.93 g/m² 가을철 총출현개체수는 904.20 개체/m², 총생물량은 217.47 g/m² 겨울철 총출현개체수는 844.80 개체/m², 총생물량은 167.24 g/m²이었다. 공간적 분포를 살펴보면 조간대 지역 보다는 조하대 지역에서 출현종 수가 많이 나타났다.

3. 패류양식장의 구조/배치 개선

가. 패류양식시설 설계를 위한 설계인자 검토

(1) 기존 패류양식장 경계구조물 및 해양외력 조사

패류양식장의 구조개선 방안을 연구하기 위하여 고흥 남성리의 패류양식장 운영실태

와 구조를 정밀 조사하였다. 양식장에서는 망태시설물을 이용하여 수로를 강제적으로 만들거나 자연 갯골이 혼용되어 있으며, 패류양식장에 사용되는 망태는 1단 또는 2단으로 쌓아서 수로와 양식장을 경계구획을 하는 것으로 조사되었다. 양식장 경계둑의 소재로는 대부분 굴패각을 이용하고 있으며, 저질개선제로 대부분 활용 되고 있다. 갯벌양식장의 배치는 기존의 경계둑이 가지는 패류양식장의 경계의 역할에 주로 사용되며, 따라서 기존의 관행적인 경계둑의 배치는 단순히 개인의 양식장 영역 표시에 국한되어 있다. 특히 해역 내에서의 경험적인 생산성을 고려하여 양식장의 배치를 계획하고자 하더라도 기존의 확정된 경계에 대한 한계로 배치에 대한 개념은 근본적으로 고려되지 않고, 경계내의 각 개인 양식장의 저질개선 및 종패 살포에 노력하고 있는 실정이다.

각 시험어장에 대한 구조물에 해양외력 평가를 한 결과 심해설계파의 경우 고히 남성리는 주기 3.5sec, 파고 1.2m이하, 고히 계매리는 주기 3.0sec, 파고 1.1m이하, 함평만 도리포는 주기 4.0sec, 파고 1.5~2.0m의 파가 주 외력으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 평상파의 경우 고히 남성리는 주기 6.0sec, 파고 0.3m이하, 고히계매리는 주기 2.0sec, 파고 0.15m, 함평만 도리포는 주기 3.5sec, 파고 0.5m이하의 파가 주 외력으로 영향을 미치는 것으로 나타났고, 해수유동의 경우 고히 남성리는 0.4 m/s, 고히계매리는 0.1 m/s, 함평만 도리포는 0.3 m/s의 흐름이 주 외력으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 각 시험어장에 구조물 설계시 이러한 외력에 안정성을 확보할 수 있도록 고려되어야 할 것으로 나타났다.

(2) 수리학적 인자

갯벌둑에 작용하는 외력과 그에 따른 구조물의 상호관계를 파악하기 위해 갯벌둑의 설계를 위한 수리학적 인자를 분석하였다. 투수성 실험결과 빈관에 대한 투수비는 모래의 경우 12.8%, 자갈의 경우 24.8%, 굴패각의 경우 37.3%의 값을 나타냈다. 이러한 결과는 갯벌두렁의 설계시 현장 구조물 전후의 침·퇴적 및 간출시 수위유지를 위한 필수적인 검토요소가 된다. 굴패각 자체의 경우 투수성이 크므로 수위유지에는 한계가 있는 재료로 보이나 다공질 갯벌둑 혹은 경계구조물과 조합하여 시설할 경우 저질개선을 위한 굴패각의 역할은 확보할 수 있을 것을 분석되었다. 갯벌둑 구조물의 설치 시 발생하는 구조물 부근의 침퇴적 현상을 파악하기 위해 입경에 따른 세굴특성을 기존 연구결과를 이용하여 검토하였다. 본 대상해역의 저질조건이 니질의 세사이므로 평상파랑 및 유속에 의한 침퇴적이 일어나기 쉽다. 특히 파랑에 의한 구조물이 노출 될 때에는 세굴이 발생하기 쉬우며, 물속에 잠겨있는 경우 퇴적이 발생하기 쉽다. 대체적으로 구조물이 수중에 있을 경우가 많은 해역의 특성상 주로 퇴적이 발생하기 쉬우나 구조물의 형상 및 연결에서 발생하는 문제로 인해 국소 유출류가 발생하게 되면 국소세굴을 야기할 수는 있는 것으로 나타났다. 이러한 점들을 반영하여 패류양식장 구조개선의 구조물 설계 및 배치에 있어 안정성을 확보할 수 있도록 고려하였다.

나. 바지락 양식장 갯벌둑 개발

(1) 갯벌둑 최적 형상 시뮬레이션

갯벌둑의 형상개발을 위해서 갯벌둑의 최적경사를 도출하기 위해 작용파랑에 대한 사면상에 작용하는 파압특성을 검토하였다. 실험조건은 단순한 직각삼각형의 형상에 대해 파랑이 작용하는 경사면의 각도는 30°, 45°, 60°조건에 대해 발생하는 사면상의 파압분포를 검토하였다. 실험결과에서 45°조건이 경사가 사면상에서는 가장 낮은 파압을 보이고, 사면의 끝단에서는 60°일 때 비교적 가장 양호한 파압의 발생을 보였다

(2) 갯벌둑 안정성 수리모형실험

남성리 다공질 갯벌둑의 개발을 위해 대표형식에 대한 안정성 검토 수리모형실험을 실시하였다. 적용한 실험수심은 남성리, 계매리, 도리포의 수심과 조위를 고려하여 0.3~4.4m의 범위의 수심을 적용하였으며, 실험파랑조건은 남성리, 계매리, 도리포의 현장파랑조건을 적용하여 평상파 6sec, 심해설계파 3.5sec의 주기를 갖는 파랑에 대한 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 구조물은 하부폭이 3.0cm 상부폭이 2.0cm이며 높이가 5.0cm인 사다리꼴 형태의 다공질 갯벌둑과 하부폭이 5.0cm 상부폭이 3.0cm이며 높이가 5.0cm인 사다리꼴 형태로 1/10로 축소하였으며 기존 다공질 갯벌둑과 달리 구조물 상부에서 하부로 흠이 있는 개선된 다공질 갯벌둑이다. 실험결과 수심이 0.3~4.8m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우와 주기가 6.0sec인 경우 모든 실험범위에서 개선 다공질 갯벌둑이 기존 다공질 갯벌둑에 비해 안정하게 나타났다.

다. 저질개선 방안

본 연구에서는 굴양식으로 발생하는 폐각을 이용하여 바지락 양식장을 저렴하게 조성할 수 있는 새로운 방법을 찾아보고자 한다. 니질의 저질에 50~80% 비율로 굴폐각을 첨가한 갯벌수조를 제작하여 바지락 생존 및 성장을 50일 동안 살펴본 결과 바지락의 성장이 가능한 것을 확인하였으며 굴폐각 이용 가능성을 확보하였다. 이에 대하여 2차적으로 니질 대조구, 굴폐각 25%, 50%, 80% 첨가한 시험구를 현장에 설치하여 4개월 동안 시험한 결과 굴폐각 50% 첨가 시험구에서 성장이 양호한 것으로 나타났다.

라. 갯벌두렁 개발

국내 꼬막양식장의 표준 설계는 단지 양식장을 구분하는 정도로 말뚝이외에는 어떠한 구조도 설치하지 않고 생산을 하고 있다. 그러나 중국의 경우 양식장 운영이 가장 규모화되어 있으며 생산량이 많은 나라로 꼬막양식장뿐 아니라 패류양식장에 갯벌을 쌓아 경계둑을 설치하여 양식을 수행하고 있다. 이 같은 방법은 패류양식장관리와 생산을 용이하게 낮은 둑을 쌓아 구획하는데 간조시에 조간대가 노출되면 물속의 플랑크톤을 섭식할

수 없게 되는데, 독을 쌓아 간조시에도 30cm 내외의 수심을 유지시켜 광합성작용을 활발하게 하고, 양식패류에게는 24시간 동안 먹이섭식 기회를 제공하여 생산성을 높이는 것이다. 이러한 구조물 설치에 대하여 1차적으로 갯벌두렁을 고안하였으며, 2차적으로는 조간대에 두렁을 설치하여 물을 가두고 종패유실을 막을 수 있는 갯벌두렁을 고안하였다. 이에 대한 현장 검증을 실시하여 지속적으로 개선 보완하였다.

마. 다목적 이용 복합양식

갯벌에서는 단순한 2차원적인 평면 형태의 양식을 탈피하여 입체적인 패류양식을 하는 복합양식 방안을 고안하였다. 시설설치 방안은 상부에 양식할 수 있는 구조물이 필요하므로 이에 대하여 수평망 양식시설을 이용한 개체굴 양식 방안을 선택하였으며 하부에는 수평망 양식시설의 안정성을 확보해야하므로 저질기반에 단단한 곳에서도 서식 가능한 바지락을 선택하였다. 또한 외부 경계둑을 설치하여 종패유실 방지를 할 수 있도록 하였다. 이에 대하여 함평만 도리포에 1ha 시설하였으며 이곳에서는 수평망 양식시설에 의한 치패발생효과를 부가적으로 살펴보았으며, 고흥 남성리 해역에서는 구조 개선된 바지락 양식장에 수평망 양식시설을 설치하여 복합양식 효과를 살펴보았다.

4. 패류양식시설 기능개선 진단

가. 구조물 진단

(1) 다공질 갯벌둑 설치 및 저질구조개선

일차적으로 다공질 갯벌둑을 71m×18m 규모로 시설하였다. 1차적으로 사다리꼴 형태의 50cm 높이인 것을 시설하였으나, 높이를 낮추어도 되는 것으로 조사되었으며, 2차 시공시에는 40cm 높이의 다공질 갯벌둑을 시공하였다. 또한 U 타입의 개선 다공질 갯벌둑을 현장에 3차 시공하였다. 이러한 다공질 갯벌둑들의 2년간 모니터링 결과 태풍에도 안정성이 확보된 것으로 나타났으며, 향후 시공비용 절감 및 시공성을 확보하기 위하여 좀 더 경량화 된 방안이 필요할 것으로 나타났다.

(2) 갯벌두렁

패류양식장의 개선을 위한 부분으로 꼬막은 초기에는 꼬막양식장의 생산량을 증가시키기 위한 방법으로 구조물을 설치하여 해수안의 먹이생물이 양식장에 머무르는 시간을 길게 하여 먹이의 양을 증가시키는데 중점을 두고 시험포를 조성하였으나 꼬막양식장의 위치가 해안과 멀리 떨어진 하부조간대부근에 위치해 이동뿐 아니라 작업시간 정해져 있어 구조물을 안전하게 설치할 수 없었다. 따라서 2차 년도에는 꼬막양식장의 위치를 하부조간대까지 이동하지 않고 유희지로 있는 조간대를 이용해 해수를 저장할 수 있는 구조물을 설치하여 노출시간 및 먹이생물 등의 변화를 겪 환경을 개선하여 새로운 어장조성

이 가능한지를 실험하였다. 하부조건대의 꼬막양식장에서 연안에 인접한 유희지인 상부 조건대에 양식장을 조성하는 과정을 소개하며 현장시공을 통해 제기된 문제점 및 보완사항을 정리하여 최종적인 시공방법을 도출하고자 하였다.

1차적으로 중국과 유사한 형태로 필독을 30cm 정도로 쌓고 해수가 빠질 수 있도록 골을 만들어 주었으나 파도에 의해 그 경계가 붕괴되거나 퇴적물의 계절 변동에 의해 경계дук 부근에 퇴적물이 집적되었다. 이는 우리나라에서는 필의 낮은 점성과 높은 퇴적물변동 그리고 노동력의 부족으로 상기 구조를 장기적으로 운영할 수 없었다. 이를 보완해 필독이 붕괴되는 것을 방지하고자 필독에 관모형을 덮어 씌워 경계면을 유지하도록 하였으나 실리콘으로 구조물 고정 불가, 작업시 작업자들의 이동으로 주변이 죽필이 돼 구조물 안을 갯벌로 채우기 어려웠다. 설치 후에는 갯벌 속에 파묻히거나 관 안에 매워 놓은 필이 부패하여 주변에 영향을 줬다.

2차적으로 독을 입체적인 형태가 아닌 판형태로 변경하였으며 시험포의 모형은 직사각형 구조로 했고 해수의 유입부는 유선형 판을 이용하여 설치하였으며 대나무를 이용하여 PE관의 앞뒤에 꽂아 넣어 고정하였다. 그러나 이 구조물 또한 문제점을 발견할 수 있었는데 PE관 설치시 많은 시간이 소요돼 조석으로 인한 작업시간이 정해져 있어 마무리 작업을 못해 PE관과 PE판넬이 육상으로 떠내려 왔다. 따라서 충분한 작업시간 보유와 접근성이 용이한 지역에 시험포를 설치하여 구조물의 관찰 및 보완이 가능하도록 연안에 유희지를 개간하고자 하여 같은 직사각형 PE판넬을 이용하여 시험포를 제작하였으며 PE판넬 사이의 공극을 없애고자 같은 재질의 PE판넬을 이용해 T-이음기둥을 제작하여 볼트와 너트를 사용해 벌어진 틈을 없애 체류시간을 길게 유지하였다. 그러나 PE판넬 밑부분의 필이 천천히 깎여나가 파랑에 의해 전체적으로 PE판넬이 넘어갔다. 또한 구조물을 고정 및 보완 작업을 계속적으로 하면서 갯벌의 액상화 현상이 발생해 지반이 약해진 것도 한 원인으로 보여진다.

1, 2차년도의 조사 기간 동안은 본 시험포를 유지하였으나 단단한 형태로 구조물을 만들었을 때 오히려 문제점이 많이 발생하여 꼬막종패의 생산성 조사를 위해 소규모로 연성재질의 시험포를 조성하였다. 초기에는 둘레가 16m의 원형구조로 방수천을 재단하여 방수목을 지지대로 사용하였다. 위 시험포는 간조 시와 만조 시 시험포를 관찰한 결과 기존의 시험포보다 물의 체류시간이 길게 유지되었으며 물이 체류한 시험포에 초기에 살포한 꼬막종패가 모두 잠입한 상태로 양호하게 유지되고 있었다. 또 다른 방법으로 방수천 위쪽에 부이를 달아 자연스럽게 물이 들어왔을 때 시험포의 모형이 잡혀 물이 가뉘지고 간조 시 방수천 안의 압력에 의해 물이 남아있도록 하는 방법도 함께 시도하였으며 방수천 아랫부분에 돌망태를 담는 대신 재단을 하여 호스를 끼워 넣고 그 안에 현장에서 돌을 채워 무게감과 둥근모양이 자연스럽게 만들어지도록 하였다. 설치하는 방수천 아래 돌이 채워진 호스부분에 압력을 가하여 필속으로 밀어 넣으면 설치가 쉽게 돼 많은 사람이 필요 없이 혼자서도 시험포를 충분히 설치 할 수 있었다. 만조와 간조 시 구조물을 확인한 결과 간조 시 약 15~20cm 정도로 위 시험포보다 수위는 다소 낮게 나타났으나 체류시간

은 유사하게 나타났다.

(3) 다목적 이용 복합양식

함평만 도리포 해역에 수평망식 양식시설을 1ha 조성하였으며 이에 대한 안정성이 확보된 것으로 나타났다. 복합양식을 위하여 외부 경계둑으로 굴패각을 이용한 갯벌둑 설치, PC판넬 설치, 그물망 설치, 굴패각 갯벌둑+PC판넬 설치 방안을 고려하여 현장에 설치하였으며 굴패각 갯벌둑과 굴패각 갯벌둑+PC판넬 설치 방안이 효과적인 것으로 나타났다. 안정성을 확보하기 위하여 갯벌둑의 경우 3단설치 및 이에 대하여 그물망을 이용하여 고정할 경우 안정성을 확보하는 데 좋은 것으로 분석되었다.

나. 생산성 진단

(1) 다공질 블록 경계둑 설치 및 저질구조개선

니질 조간대에서 바지락 양식을 할 수 있도록 저질 구조개선 및 치패유실방지 등을 목적으로 경계둑을 설치하여 시험어장에서 바지락의 양식 가능성 진단 실험을 실시하였다. 구조개선된 실험구 시험포와 니질 대조구 시험포간 바지락 생존율은 대조구의 경우 바지락 입식 한 후 13개월 동안 생존하였으며 14개월째인 2011년 7월에 모두 사망하였다. 실험구는 완만한 사망률 보이고 2년 후 최종 생존율은 40% 이었으며 경계둑 설치로 초기 종패유실은 거의 없는 것으로 확인되었다. 각장 성장률은 대조구는 입식 13개월 후인 2011년 6월에 $31.65 \pm 3.65\text{mm}$ 이었으며, 실험구는 $37.21 \pm 3.59\text{mm}$ 이었다. 실험생물의 중량 변화를 살펴보면 대조구는 13개월 동안 $6.97 \pm 2.97\text{g}$ 으로 성장하였으며, 최종시기인 실험구는 $9.12 \pm 3.78\text{g}$ 이었다.

1년 동안 현장실용화 진단을 실시한 결과 각장은 17.50 ± 1.89 에서 $33.65 \pm 1.66\text{mm}$ 로, 전 중량은 1.00 ± 0.32 에서 $7.06 \pm 1.59\text{g}$ 으로 성장하였다. 약 400평 규모 구조개선 바지락 양식장 조성에 따른 비용은 종패구입을 합하여 24,000,000원이 소요되며 구조개선 시험어장의 생산성 및 생존율을 적용할 경우 종패 1톤의 생존율은 40%이며 평균 중량은 9.12g 으로 총 생산량은 3,648kg으로 kg 당 3,500원 판매가를 적용할 경우 12,768,000원으로 3년 내에 투자비용을 충분히 회수할 수 있다.

(2) 꼬막양식장

유흥지에서 구조물을 설치하여 꼬막양식의 가능성을 평가하고 생산성 진단하고자 기존의 꼬막양식장과 구조물을 설치한 시험포와 대조구를 설정하여 실험을 실시하였다. 1차 실험에서는 규모가 큰 시험포에서는 한파로 인해 대부분의 꼬막 종패가 폐사하였으나 Guillard 모델을 위해 설치한 규모가 작은 여러개의 시험포 중 물이 채워 있는 대부분의 시험구에서는 꼬막종패가 생존해 있어 넓은 시험포보다 해수를 체류시키는 시간이 길었던 시험구에서 꼬막양식이 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 2차 실험에서는 소규모로

시험포를 설치하여 조사한 결과 시험포에서 1년 동안 총 각장 성장은 평균 7.81mm, 전중량은 2.87g 성장하였으며 꼬막양식장은 각장은 평균 9.21mm, 전중량은 평균 3.64g 성장하여 시험포보다 양식장에서 각장, 전중량 모두 높은 성장속도를 보였다. 그러나 건강지수는 초기에는 꼬막양식장에서 양호하게 나타났으나 3월부터는 시험포에서 양호하게 나타났고 비만도도 초기에는 양식장에서 높고 봄철에는 같은 값을 보였다. 전반적으로 시험포보다 양식장의 꼬막이 성장이 빠르게 진행되었으나 시험포의 경우 꼬막이 자생하지 않는 유희지로서 구조물을 설치함으로 꼬막양식을 가능하게 했다.

(3) 다목적 이용 복합양식

다목적 이용 복합양식은 1차는 함평만 도리포 시험어장에서 실시하였으며, 2차는 고흥 남성리 시험어장에서 실시하였다. 1차 시험에서는 수평망식 양식시설에 의한 치패 발생효과를 살펴보았으며, 2차 시험에서는 구조개선된 시험어장에서 바지락과 수평망식 양식에 의한 복합양식 가능성을 살펴보았다.

2009년 11월에 조성된 수평망식 개체굴 양식시설에서 2010년 4월부터 11월까지 모니터링한 결과 개체굴 대크기는 전장 성장은 4월 113.85±10.88mm에서 11월 134.09±11.19mm로 20.24mm 성장하였으며, 중량은 4월 171.60±22.91g에서 11월 236.77±36.92g로 65.16g 중량이 증가하였다. 개체굴 중크기는 전장 성장은 4월 79.58±7.41mm에서 11월 100.02±6.96mm로 20.49mm 성장하였으며 전중량은 4월 57.67±10.57g에서 11월 119.58±14.12g로 61.90g 중량이 증가하였다. 개체굴 소크기는 전장 성장은 4월 53.78±8.22mm에서 11월 73.64±8.75mm로 19.26mm 성장하였으며 전중량은 4월 15.53±7.02 g에서 11월 43.92±7.08g로 28.39g 중량이 증가하였다. 전체적으로 비만도는 4~5월 봄철에 높고, 9~10월에 낮은 것으로 조사되었으며 성장은 양호한 것으로 나타났다. 치패발생효과는 시설이 설치된 실험구에서 대조구에 비해 바지락 치패 발생이 3배 많은 것으로 나타났다. 실험구 정점에서는 4월과 5월에 출현개체수가 많았으며, 2차적으로 7월과 8월에도 2차 개체수 증가를 보였으며 9월 이후 출현개체수가 감소하였다. 대조구 정점에서도 실험구 정점과 비슷한 경향을 보이며, 10월부터는 바지락이 출현하지 않고 변동성은 실험구 정점에 비해 크지 않았다.

고흥 남성리에서 바지락과 수평망식 개체굴의 복합양식 가능성 진단을 실시한 연구에서는 2011년 11월에서 2012년 4월까지 개체굴의 전장 성장은 31.86±3.13mm에서 42.58±5.30mm, 전중량은 3.23±0.27g에서 7.00±2.10g으로 성장하였다. 바지락 성장도를 살펴보면 전장은 실험구에서 30.93±2.61~36.08±1.58mm, 대조구에서 31.27±2.98~33.65±1.15mm, 전중량은 실험구에서 5.48±0.92~9.26±2.36g, 대조구에서 5.35±1.08~7.06±1.59g으로 두 구간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 비만도는 실험구에서 0.49~0.71, 대조구에서 0.50~0.76으로 두 구간사이에서 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며, 3월에 들어 비만도는 가장 높게 나타났다.

갯벌의 다목적 이용 복합양식에 대한 경제성 분석 결과 1ha 시공할 경우 수평망식 양식 시설 설치 비용은 수평망 시설 340세트 기준 204,000,000원, 경계둑 설치 400m 길이

에 40,000,000원 종패구입비를 합쳐 전체 254,000,000원이 소요된다. 수확은 2년 후 개체굴 50% 생존율을 고려할 경우 63,750,000원의 수입을 올릴 수 있으며, 바지락은 40% 생존율을 적용할 경우 총생산량은 63,840,000원의 조수입을 올릴 수 있어 단기간에 투자비용을 회수할 수 있는 것으로 나타났다.

다. 환경변화 진단

(1) 다공질 블록 경계둑 설치 및 저질구조개선

고흥 남성리 시험어장의 운영기간 동안 수온은 4.20~27.60℃, 염분은 30.51~35.49psu, pH는 7.85~8.65, DO는 4.77~10.91 mg/ℓ 이었으며 계절 패턴을 잘 보여 주고 있다. 수질환경은 COD는 0.40~3.60 mg/ℓ, 용존무기질소(DIN)는 0.01~0.88 mg/ℓ, 용존무기인(DIP)은 0.0001~0.06 mg/ℓ, chl-a는 0.19~6.80 μg/ℓ 로 시험어장의 환경상태를 해양수질생활환경기준으로 살펴보면, DO는 I~III 등급, COD는 I~III 등급 수준으로 나타났다. 저질환경은 시험어장의 입도의 경우 실험구 정점에서 평균 7.12Φ 이었으며, 대조구 정점에서는 평균 6.67Φ 이었으며, 계절별로는 여름철에 다소 세립하고, 여름철에 조립한 경향을 보였지만 큰 차이는 없었다. 굴패각을 고려할 경우 실험구에서는 3.85Φ 값으로 조립한 상태로 나타났다. 함수율은 실험구 정점에서 36.63~63.71%, 대조구 정점에서 34.23~69.19%, IL은 실험구 정점에서 2.96~8.54%, 대조구 정점에서 2.14~5.28%, 저질 COD는 실험구 정점에서 5.20~31.81 mg/g, 대조구 정점에서 0.40~25.45 mg/g, AVS는 실험구 정점에서 0.06~0.26 mg/g, 대조구 정점에서 0.01~0.06 mg/g으로 전체적으로 대조구 저질환경특성은 국제환경기준에 비해 강열감량에서 일부기간을 제외하고는 기준아래의 양호한 환경상태를 보였으며 실험구에서는 환경기준을 상회하는 것으로 나타났으나, 기간이 경과하면서 점진적으로 대조구와 비슷한 경향을 보였다.

(2) 꼬막양식장

2011년 12월부터 2012년 4월까지 총 5개월 동안 2차 시험포를 조성한 후 환경변화를 조사하였으며 대조구를 제외하고 시험포와 꼬막양식장은 고인물을 채수하여 측정된 결과이다. 수온과 염분은 조사기간 동안 4.1~13.6℃, 29.2~33.1psu를 나타냈고 SS는 26.5~1,088.0 mg/ℓ, COD는 0.8~20.8 mg/ℓ 로 대조구를 제외하고 시험포와 양식장에서 기준치 이상의 매우 높은 농도를 보였으나 양식장도 높은 수치를 나타내 꼬막이 생활하는 데는 영향이 없는 것으로 보여진다. TN은 0.36~1.69 mg/ℓ, TP는 0.01~0.32 mg/ℓ 로 꼬막양식장에서 만 TN은 1.5 mg/ℓ 이상을 보였고 TP는 기준치를 초과한 높은 농도를 보였다. Chl-a는 1.73~3.54 μg/ℓ 로 시험포에서 동계조사를 제외하고 꼬막양식장에서 높은 농도를 보였다. 시험포의 경우 연안에 인접하고 오랜 시간 고여 있는 해수로 수질의 오염도가 매우 높게 나타났으나 이는 꼬막양식장에서도 이와 유사하게 나타나 꼬막이 생활하는 데는 큰 영향이 없을 것으로 생각된다.

퇴적물 변화는 2010년 11월에 시험포에 종패를 입식하고 4개월 경과 후 2011년 2월

에 시험포와 대조해역의 퇴적물 변화를 살펴본 결과 조성기간이 짧았으나 입도의 차이가 크게 나타나 꼬막양식장과 유사하게 silt는 감소하고 clay 성분이 2배 이상 증가하였다. 평균 입도도 시험포 조성 후 7.51~8.72(평균 8.06) Φ 로 세립한 silt에서 극세립 silt가 점차로 우세하게 나타나 구조물로 인해 시험포로 유출입 되는 물의 유속이 감소하고 구조물에 바닷물이 체류하는 시간이 증가하여 퇴적물 성상의 영향을 주었다. 2차적으로 소규모 시험포를 재설치하여 조사한 결과 시험포 내부에서는 sand가 12%, silt가 40%, clay가 48%로 꼬막양식장과 달리 silt와 clay가 높은 함량을 차지했으며 2월조사시 연안에서 sand 함량이 갑자기 크게 증가하여 전체평균이 높게 나타난 것을 제외하면 시험포가 꼬막양식장과 다소 형질이 유사해 지는 것을 확인 할 수 있었으나 계절적 영향과 시험포의 규모에 의한 영향이 있는 것으로 보여진다.

저질COD는 꼬막양식장보다 시험포에서 다소 높은 농도를 보였으나 최대값은 꼬막양식장과 동일하였다. IL은 COD와 마찬가지로 연안해역보다 꼬막양식장에서 낮은 농도를 나타냈고 대조구보다 시험포에서 약간 높은 농도를 보였다. 먹이생물의 척도인 저질chl-a는 초기 시험포와 대조구에서 2.8~3.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 농도를 보인 후 2월 조사시에는 8.0, 11.9 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보여 시험포에서 농도가 크게 증가하였으나 대조해역에서도 3배가량 증가하여 계절적 영향을 크게 받는 것으로 보이나 꼬막양식장보다 시험포에서 높은 농도를 보였다.

(3) 다목적 이용 복합양식

함평만 도리포 시험어장 운영기간 동안 수온은 3.75~27.97 $^{\circ}\text{C}$, 염분은 19.53~31.84psu, chl-a는 1.77~29.03 $\mu\text{g}/\ell$ 로 나타났다. DO는 5.71~10.78 mg/ℓ , COD는 1.15~2.90 mg/ℓ , DIN은 0.139~0.857 mg/ℓ , DIP는 0.011~0.078 mg/ℓ , SS는 10~3,086 mg/ℓ 로 관측된 수질자료를 바탕으로 시험어장의 환경상태를 해역수질생활환경기준으로 살펴보면, DO는 I~III 등급, COD는 II~III 등급 수준으로 나타났다. 저질환경은 평균입도의 경우 실험구 정점에서는 1.36~7.62 Φ , 대조구 정점에서는 0.34~3.23 Φ , 함수율은 실험구 정점에서 18.97~49.64% 대조구 정점에서 16.61~33.81%, 강렬감량(IL)은 실험구 정점에서 1.99~6.78%, 대조구 정점에서 1.75~4.67%, 저질COD는 실험구 정점에서 1.90~11.22 mg/g , 대조구 정점에서 1.02~11.64 mg/g , AVS는 실험구 정점에서 0.007 mg/g 이하, 대조구 정점에서 0.006 mg/g 이하, 저질chl-a는 실험구 정점에서 3.94~42.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 대조구 정점에서 0.56~17.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 이었으며, 전체적으로 저질환경특성은 국제환경기준에 비해 IL에서 일부기간을 제외하고는 기준아래의 양호한 환경상태를 보였으며 수평망식 양식시설이 설치된 실험구와 대조구에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 고흥 남성리 다목적 이용 복합양식 시험어장의 저질환경은 실험구의 저질COD가 21.35~28.99 mg/g , 대조구에서 16.03~31.81 mg/g , IL은 실험구에서 4.80~7.78%, 대조구 2.96~4.81% 저질Chl-a는 실험구에서 5.08~22.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 대조구 6.36~15.61 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 로 전체적으로 볼 때 수평망식 굴양식 이루어지고 있는 실험구에서는 국제적환경기준을 다소 상회하는 값을 보이고 있지만 바지락의 서식에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

5. 대상 생물의 생리 및 생화학적 분석

가. 생리 및 생화학적 조성 비교

다목적 이용 복합양식장과 구조개선 패류양식장에서 양식된 바지락의 각장, 건중량, 패각중량은 2011년 11월부터 2012년 4월까지 꾸준히 증가하는 패턴을 보였으며 건강도 지수는 매월 채집 된 바지락 중 2월과 3월에 가장 높게 나타났다. 여수율은 수온이 높고 개체의 사이즈가 작은 경우 높게 나타났으며 호흡률과 성장잠재력 또한 여수율과 마찬가지로 수온이 높은 경우 높게 나타났다. 바지락의 생화학적 조성은 수분의 비율이 가장 높았으며 수분을 제외한 일반성분(탄수화물, 단백질, 지질, 회분)의 비율은 단백질, 탄수화물 지질함량 순이었다. 시험포와 대조구에서 성장한 꼬막은 2012년 4월말 채집 시까지 일정한 성장률을 보였으나 건강도 지수는 5.00 전후로 거의 동일했다. 여수율은 바지락의 여수율과 마찬가지로 개체의 사이즈가 작은 경우 높게 나타났고 생화학적 조성 또한 바지락과 동일하게 단백질, 탄수화물, 지질함량 순으로 나타났다.

나. 패류종별 먹이섭식 양식 및 효율측정

총 4종의 식물플랑크톤을 각각 섭식한 바지락에서 나타난 탄소동화효율에서 *T. suecica*종이 다른 3종의 탄소동화효율과 유의한 차이를 보였다. 그러나 나머지 3종의 경우는 탄소동화효율의 유의한 차이를 보이지 않았다. 부유사 농도에 따른 바지락의 탄소동화효율은(0 mg/l, 50mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/l) 50 mg/l의 농도에서만 다른 농도들과 유의한 차이를 보였으며 나머지 농도에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 꼬막은 탄소동화효율 측정이 한번 이루어졌으며 탄소동화효율은 37.67%에서 65.97%의 분포를 보였으며 평균적으로 47.15±9.86%를 보였으며 이는 기존의 연구들과 일치했다.

6. 패류양식장 구조개선 방안

간석지에서의 패류양식장 구조개선 설계 인자를 도출 하였으며, 다공질 블록을 이용한 갯벌둑과 갯벌두렁, 다목적이용 복합양식을 개발 방향으로 접근하였다. 우선 기본적으로 갯벌둑 개발에 있어서 수리모형 실험 및 현장 시공을 통한 모니터링 결과를 바탕으로 우리나라 간석지 패류양식장(바지락)에 적합한 구조모형을 도출하였다. 구조물의 형태는 사다리꼴타입으로 높이는 갯벌둑의 중량과 안정성 그리고 구조물 내외부의 수위차이를 야기하므로 30cm, 저면폭은 50cm, 길이는 80cm로 하는 것이 좋은 것으로 나타났으며 갯벌둑의 소재는 합성수지를 이용한 PE계열 소재를 사용하고, 갯벌둑의 내부에는 내측의 유공부 하단까지는 펄 혹은 폴타르를 이용하여 저부에 중량을 확보하며, 상부에는 굴폐각을 속 채움 하여 굴폐각의 양식장 개선효과를 반영하도록 하였다. 또한 갯벌둑의 내측에는 유공을 설치하여 갯벌둑의 상부로 월류된 흐름이 굴폐각을 통과하여 양식장 내로 유입하

도록 하였으며, 해수의 유출입은 니질과 함께 혼입되어 시간의 경과와 함께 더욱 강도와 중량이 증가 될 것으로 판단되며 갯벌둑의 하부에는 삼각의 요철과 평탄면을 설치하여 갯벌둑 시설시 침하를 최소화 하도록 하였다. 연성조건대 패류양식장을 위한 갯벌두렁의 경우는 다양한 소재로 물막음을 시도하였으나 연성저질의 액상화로 구조물의 안정성을 확보하기 힘들었으며 시공 상의 불편성이 많이 초래되었다. 기존 중국 스타일의 갯벌두렁은 파랑과 조류에 의해 유실되는 결과를 보였다. 이러한 부분을 쉽게 해결하기 위해 지오투브 형태의 구조물을 도출하였으며, 이에 대한 시공성 및 안정성이 수리모형 실험 및 현장실험에서 확보되어 연성조건대에서 지오투브형태의 갯벌두렁을 사용하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

V. 연구개발결과의 활용계획 및 기대성과

1. 연구개발 결과의 활용방안

패류양식장의 구조개선안은 기존의 패류양식장을 대상으로 홍보하고 보급함으로써 생산성향상에 기여하도록 할 계획이며 또한 규모가 큰 어촌계어장은 대량생산 시스템으로 유도하고, 가공과 유통을 연계시켜 소득향상을 꾀하도록 할 계획이다. 또 일부는 소규모(100~200㎡ 단위)로 구획하여 패류양식장을 조성하여 도시민을 대상으로 주말어장으로 활용하는 방안을 적극 모색할 것이다.

2. 기대성과

지금까지 패류양식장은 입지조건만 어느 정도 충족되면 특별한 구조물 없이 수행하였으나, 본 기술은 패류양식장 그 자체의 경계부에 낮은 독을 쌓고, 패류가 성장하기 좋은 조건을 조성하는 것이다. 특히 핵심기술 중의 하나인 얇은 독은 종패의 유실을 방지하고, 쇠파대가 형성되어 수질을 개선해 줄 수 있을 것으로 기대되며, 또한 소규모로 구획하므로 관리 측면에서도 훨씬 효율적일 것이다. 이것은 갯벌에서 양식하는 모든 패류에 대해 적용되며, 패류양식 기술이 전반적으로 향상될 것으로 기대된다.

패류의 국내 시장 규모는 연간 1조원 이상이며, 이중 상당량은 해외에서 수입되고 있는데, 특히, 중국은 북경 올림픽 이후 수산물 소비 증가로 수출국에서 수입국으로 전환될 가능성이 있다. 개선된 패류양식장에서 대량생산 된다면 수입대체효과 및 해외시장 개척 가능할 것으로 보이며, 바지락의 경우 1,000~1,500㎡에서 연간 1,000만 원 정도의 소득이 가능하므로, 백만㎡ 패류양식장만 개발하여도 100억 정도의 가치를 창출할 수 있을 것으로 보인다.

최근 우리나라 어촌은 유류가격 상승, 사료비용 증가, 빈번한 자연재해 등으로 경제

적 어려움과 어촌의 노령화, 인구감소 등으로 총체적인 위기에 빠져 있는데, 갯벌생태자원을 활용하여 고소득형 양식단지 모델을 개발하면 어촌의 활성화를 꾀할 수 있다. 패류양식의 활성화로 어가 소득이 증대되고 삶의 질이 향상되면 지역균형발전에도 기여할 것으로 기대된다.

패류양식장의 구조개선을 위한 설계 인자를 검토하였으며, 설계를 위한 외력산정, 도출된 구조개선에 대한 현장 시험진단, 수리모형 실험 등을 거쳐 패류양식장 생산성 향상 및 다목적 이용을 위한 구조개선 방안들 도출 하였으며, 이에 대해 현장실험을 거쳐 최적화된 구조개선 방안을 수립하였으며 이에 대한 결과는 다음과 같다.

가. 패류양식장 구조개선

패류양식장의 생산성 향상을 위한 구조개선 방안을 살펴본 결과 다공질 블록 및 패각을 이용한 갯벌둑과 지오투브형 갯벌두렁을 개발하였다. 이들 경계둑 구조물은 종패유실방지와 밀식방지 및 유희지로 활용되지 않는 갯벌에 새로운 양식 환경을 조성할 수 있는 것으로 나타났으며 생산성에도 충분한 경제성이 확보된 것으로 현장실험에서 확인되었다.

나. 저질개선

니질 조간대를 바지락 양식장으로 전환하기 위한 저질구조개선 시험을 실시하였다. 저질 구조개선 현장 실용화 시험을 통해서는 굴패각 50% 첨가한 조건에서 양호한 성과를 확보할 수 있었다. 이를 바탕으로 바지락 시험양식을 통해 경제성이 있는 것으로 조사되었으며, 최근 저질개선을 위한 모래살포에 대한 대체효과를 가져올 수 있어 비용절감과 모래 보호의 이중효과가 있는 것으로 나타났다.

다. 다목적 이용 복합양식

갯벌에서는 단순한 2차원적인 평면 형태의 양식을 입체적으로 사용하는 복합양식을 개발하기 위하여 새로운 방안을 모색한 결과 수평망식 굴양식시설과 저서면에 바지락 양식이 효과적인 것으로 나타났으며 현장 시험어장 운영시 양식생산 외에도 바지락 치패발생이 유도되는 것으로 나타나 종패부족의 시기에 자연적인 치패유입으로 부가적인 효과를 거둘 수 있는 것을 분석되었으며, 갯벌둑을 이용한 경계구획내에 수평망식 양식시설을 이용한 복합양식을 할 경우 충분한 경쟁력을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

SUMMARY

I. TITLE

The reformation of shellfish farm structure for the improvement of productivity and multi-purpose utilization

II. The Necessity and Purpose of the Research and Development

The shellfish farm at present is entirely dependent on the nature for the productivity by marking boundaries by simple poles. Recently vicious cycles due to the deterioration of environments in the shellfish farm from loss of shellfish seeds, high density cultures, the aging of farms are continuing and lead to the decrease in productivity, the shortage of shellfish seeds and mass mortality. To solve those problems and invigorate the production of clams, we plan to suggest the measures for the sustained mass production of shellfish by improving the existing shellfish farms and design the standard structures.

The ultimate purposes of the research and development are

- The reformation of shellfish farm structure and present the sustainable use
- To give the opportunity of tourist potential for the depressed mudflat shellfish farms and enhance the awareness of ecological resources for the mudflat.

III. The Contents and Scopes of the Research and Development

To understand the current status of the shellfish farms, the situation of domestic shellfish production, regional characteristics of shellfish farms and the trends of culture techniques were comprehended. Also, sites for the culture of Manila clams, cockles and complex farming were selected, and oceanographic characteristics of each site were investigated and improved structures were designed and tested for the site adaptation. To diagnose the on-site practical application, structures, productivity, environmental changes and biochemical characteristics were investigated. Improvements were implemented through these diagnoses, and reformation measures for Korean style shellfish farm will be presented.

IV. Results of Research and Development

1. Base Study of Shellfish Farms

a. The status of shellfish culture

The domestic shellfish production amounts to 700 billion Korean won(2011), in addition significant amounts are imported from abroad, and the market size amounts to around trillion won in wholesale price, and will be several trillion won according to customer market price. The amount of shellfish production continuously decreased from 2003 to 2011, but the production increased in terms of money. The Manila clam which is one of the main target species of this study, the increase in price was expected due to the decrease in the habitat from coastal reclamation and mass mortality, ban of import from North Korea, but the increase in the import from China prevented from the large increase in cash amount of production and shellfish farmers are having a hard time.

The amount of cockle production is gradually decreasing, but the cash amount has increased 1.5 times during 2010. The area of the shellfish farm is 49,251 ha in 2007, and Jeonnam Province comprises more than 50% with the area of 25,911 ha, and cultures variety of shellfish including abalone, Manila clam and cockles. Gyeongnam Province cultures oyster, mussel and *Scapharca broughtonii*, and Chungnam and Jeonbuk Province cultures mainly Manila clam. The area and numbers

of shellfish, excluding cockle, increases since 2001, but the amount produced is decreasing. So it is necessary to renovate the structure of shellfish farm to increase the productivity of Manila clams and cockles.

b. The selection of research area

The study area was selected where the shellfish farming is active. For Manila clam, Namseong-ri, Goheung, Jeonnam Province was selected, and different from Gomso Bay and other areas, the boundary area was stacked with oyster shells and oyster shells and sand is sprayed to increase the productivity. For cockle, Gyeme, Goheung, which is adjacent to and has better productivity than Beolgyo, was selected for study site. The general process for cockle culture in this area is to spray cockle spats without any structure and wait until they grow and harvest. For compound culture, 18 sites in the west coast of Korea was monitored for water quality, benthic environment for final selection of the study site. Tando Bay and Dori-po, Hampyung are semi-enclosed areas and shows good benthic environment and water quality and selected for candidates. Through detailed study of above two sites and Dori-po, Hampyung was selected as final study site.

2. Characteristics of the Study Area

a. Aquatic environment

Season characteristics of Manila clam culture farm at Namseong-ri, Goheung showed 4.1~27.6°C for temperature, and 31.1~33.7psu for salinity. The salinity change was not great. Dissolved oxygen showed 4.19~10.91 mg/ℓ, pH 7.72~8.76, suspended solids 7.5~38.0 mg/ℓ, chemical oxygen demand 0.4~2.4 mg/ℓ, total nitrogen 0.01~1.02 mg/ℓ, and total phosphorus 0.006~0.056 mg/ℓ, which is within the seawater quality scale of I~II grade.

Gyeme, where cockles are cultured, seawater temperature was 9°C, salinity 33 psu, DO 8.6 mg/ℓ, TN 1.06 mg/ℓ (III grade), TP 0.085 mg/ℓ (II grade) in November, 2009. In November 2010, seawater temperature was 8.8°C, salinity 32.1psu, DO 11.03 mg/ℓ, and in February 2011, temperature was 2.4°C, salinity 33.0psu and DO 8.95 mg/ℓ, showing satisfactory water quality.

Dori-po area, multi-use compound culture test site, showed to have good water quality from the survey between 2007 and 2009. The detailed survey of temperature, salinity and chlorophyll-a in September and November, 2009 and February 2010,

showed no signs of thermocline or halocline, and salinity increased to winter season due to low precipitation and recovered to 32 psu range. The seasonal variation of average nutrients showed a little variation, values of 0.045~0.098 mg/ℓ for ammonia, 0.007~0.013 mg/ℓ for nitrite, 0.094~0.330 mg/ℓ for nitrate, 0.021~0.055 mg/ℓ for phosphate and 0.434~0.535 mg/ℓ for silicate. N/P ratio varied 7.3~17.5, with low values during summer and winter, which indicates that nitrogenous nutrients could act as a limiting factor for primary productivity.

b. Benthic environment

The season particle size analysis of Namseong-ri, Goheung, where Manila clams is cultured, showed mean particle size of 0.63~7.87 Φ , and showed fine particles increase during winter than autumn. The average values of benthic COD ranged 4.7~12.2 mg/g, ignition loss (IL) 2.22~7.13% and benthic chlorophyll-a showed 5.51~16.57 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, which is suitable for the growth of Manila clam. Gyeme, where cockles are cultured, mean particle size ranged 7.36~8.06 Φ , which is fine. Benthic COD ranged 7.7~14.1 mg/g, ignition loss (IL) 2.65~4.22% and benthic Chl-a 2.96~11.30 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, which is good for cockle growth.

The multi-use compound culture site at Dori-po, Hampyung Bay, coarse gravel decreased from summer to winter from 30% to 10% range, and sand also show similar pattern to gravel. However, fine mud showed increased to 40% in winter than summer. There was a distinct seasonal variation of sediment in this area. The topographical changes of test site showed 263 m width from the shoreline to the lower tidal level, and the gradient was 2.5%. The IL from the core samples ranged 3.54~3.65%, benthic COD 6.69~7.77 mg/g, acid volatile sulfur (AVS) 0.00~0.05 mg/g, which are far below the environmental standard of IL 5%(USEPA), COD 20 mg/g(Japan), AVS 0.2 mg/g(Japan), indicating good benthic environment.

c. Biological Environments

The dominant phytoplankton was diatom (Bacillariophyceae) in Manila clam culture farm at Namseong-ri, Goheung, and standing stock ranged 270~3,043 cells/ml and showed high density in summer. Benthic animal community showed 312 individuals from 31 species in 3 phylum for autumn 2008 survey, and most dominant group was polychaeta which comprises 56.7% of the occurrence. In winter 2010, 361 individuals from 30 species in 4 phylum occurred, and most dominant group was polychaeta which comprises 57.97% of the occurrence and average density was 1,282.0

ind./m².

The dominant phytoplankton was diatom (Bacillariophyceae) in cockle culture farm at Gyeme, Goheung, and standing stock ranged 63~6,877 cells/ml. Benthic animal community showed 359 individuals from 13 species in 3 phylum, and most dominant group was Mollusca which comprises 86.1% of the occurrence, and average density was 299 ind./m².

The dominant phytoplankton was diatom (Bacillariophyceae) in multi-use compound culture farm at Dori-po, Hampyung, and average standing stock ranged 73~699 cells/ml. Seasonal occurrence of benthic animal community showed that the most dominant group was Mollusca and Crustacea, total occurrence in summer was 913.79 ind./m² and total biomass of 229.93 g/m², and in autumn 904.20 ind./m² and total biomass of 217.47 g/m², and in winter 844.80 ind./m² and total biomass of 167.24 g/m². The spatial distribution showed that lower tidal region showed higher species occurrence than the inter-tidal region

3. Improvements in the Structure · Arrangement of Shellfish Farm

a. Review of design factors for the shellfish farm facility

(1) Existing boundary structures for shellfish farm and external forcing

To study the plan for the improvements of shellfish farm structure, the operation situation and structures were surveyed in detailed. In the culture farm, mesh bags were used to artificially form watercourse of natural channels were mixed. The mesh bags used in the shellfish farm were stacked one or two layer and divided the boundary between the culture bed and watercourse. The materials for the boundary dyke was mostly oyster shell, and it is also used to ameliorate the bottom texture. The arrangement of mudflat culture beds is mainly used for marking the boundary of existing boundary dyke, and hence the conventional arrangement of boundary dyke is simply indicating the area of individual lots. Even we plan to arrange the culture beds based on the empirical productivity within the area, the limitation of already fixed boundary restrains it, and efforts are concentrated on the amelioration and spat scattering within each individuals's lot.

The results of external forcing on the structure of each test culture beds, deep sea designed waves were 3.5 sec period and 1.2 m wave height for Namseong-ri, Goheung, 3.0 sec period and 1.1 m wave height for Gyeme, and 4.0 sec period and 1.5~2.0 m for Dori-po, Hamghyung. Ordinary waves were 6.0 sec period and 0.3 m

wave height for Namseong-ri, Goheung, 2.0 sec period and 0.15 m wave height for Gyeme, and 3.5 sec period and 0.5 m for Dori-po, Hamghyung. The circulation of seawater was 0.4 m/sec for Namseong-ri, Goheung, 0.1 m/sec for Gyeme, and 0.3 m/sec for Dori-po, Hamghyung. These external forcings should be considered when designing structures for each test site to secure stability.

(2) Hydrological factors

To apprehend the correlation between the external forcing acting on the mudflat dyke and structure, hydrological factors were analyzed to design the mudflat dyke. The permeability test for empty tubes showed the permeability ratio of 12.8% for sand, 24.8% for gravel and 37.3% for oyster shell. These results are essential review factors when designing the mudflat levee for the deposition around on-site structures and for maintaining water levels during exposure. Oyster shell itself has high permeability and has the limitation for maintaining the water level, but if combined with porous mudflat dyke or boundary structures the role of ameliorating the bottom texture could be retained. The result of Ryu(1988) were examined to understand the deposition around the structure when installing the mudflat dyke structures.

The bottom texture of this study area is fine-grained mud and deposition can occur easily by ordinary waves and currents. Especially, scouring can occur easily when the structure is exposed, and deposition can occur when the structure is submerged. The probability of submergence is higher due to regional characteristics and can lead to deposition, but local scouring can happen if local efflux develops due to the shape and coupling of the structure.

b. Development of mudflat dykes for Manila clam culture farm

(1) Simulation of optimum shape of mudflat dyke

To derive the optimum gradient for mudflat dyke for developing the shape of mudflat dyke, wave pressure characteristics acting on the slope by wave were examined. The experimental conditions were simple right-angled triangles with the slope of 30°, 45°, 60° gradient, and wave pressure on the slope were examined. The simulation results showed that 45° showed the lowest pressure on the slope plane, and 60° showed the optimum pressure on the edge of the slope.

(2) Hydraulic model experiment on the stability of mudflat dyke

Numerical simulation model was conducted to test for the stability of representative type to develop the porous mudflat dyke at Namseong-ri. Applied

experimental depths were 0.3~4.4m considering Namseong-ri, Gyeme and Dori-po, and experimental wave conditions applied were ordinary wave of 6 sec and deep sea designed wave of with 3.5 sec period. The structures used for this experiment were 1/10 miniature trapezoids of bottom side with of 3.0 cm, top side width of 2.0 cm and height of 5.0 cm, and of bottom side with of 5.0 cm, top side width of 3.0 cm and height of 5.0 cm, improved design from existing porous mudflat dyke with grooves running from top to bottom. Results show that improved porous mudflat dyke showed better stability than the existing porous mudflat dyke under the experimental conditions of 0.3~4.8m depths and both for 3.5 sec and 5.0 sec period.

c. Measures to ameliorate the bottom texture

We plan to search new way to create Manila clam culture farm inexpensively using oyster shells which is the by-product of oyster farming. Mudflat aquarium was manufactured with 50~80% oyster shell mixed with the bottom sediment, and the survival and growth of Manila clams were monitored for 50 days, and turned out to be successful. In the next step test plots with 25%, 50%, 80% mixtures of oyster shell with bottom sediment were installed on-site and monitored for 4 months, and 50% mixture turned out to be the optimal condition.

d. Development of mudflat levee

The standard design of domestic cockle culture farm does not have any structure except dividing culture farms. However, the operation of culture farm is in large scale and not only the cockle culture bed but also all shellfish culture beds are separated with boundary dyke with mud. This method facilitates the management and production, and low dykes can extend the duration of feeding time by holding seawater during the ebb tide, and maintains the water level and activates photosynthesis. Firstly, mudflat levee was designed to keep these in mind and secondly, levee could be installed on the intertidal zone and hold water and prevent spats from being carried way.

e. Multi-use compound culture

Shed from 2-D culture on the mudflat, 3-D for compound shellfish culture method was designed. Top part was horizontal net structure for oyster culture and bottom organism was Manila clam to secure stability of sand for the horizontal net structure.

Also, outer boundary dyke was installed to prevent the spats being swept away. Facility of 1 ha was installed at Dori-po, Hampyung Bay and found the recruiting effect of spats, and horizontal net culture facility was installed on the improved Manila clam culture farm at Namseong-ri, Goheung and monitored the effect of compound culture.

4. Diagnosis of functional improvements in shellfish culture facility

a. Diagnosis of structure

(1) Installation of porous mudflat dyke and amelioration of bottom texture

71m×18m scale of porous mudflat dyke was installed in first place. At first 50 cm height was adopted, but at second trial the height was reduced to 40 cm. Also U-shaped porous mudflat dyke was installed on-site at third trial. These porous mudflat dykes survived typhoon during 2-year monitoring. To reduce the construction cost and feasibility, lighter type appears to be necessary.

(2) Mudflat levee

At the beginning modification for cockle culture bed was to increase the duration of seawater inside the structure and increase the feeding, but later the focus was on to reduce the time to reach the site by installing the structure on intertidal zone. Accordingly, test bed was created on the intertidal area and seawater was stored during the ebb tide to give changes to the exposure time and feeding organisms, and possibility for creating new culture farm. Moving from the existing low tidal range cockle culture farm to upper tidal zone, many problems presented while creating the test beds and supplementary solutions were organized to derive the final construction plan.

At first place, mud dykes were stacked with 30 cm height, and ditches were created to drain water, but wave action collapsed the boundary and the seasonal variation of sedimentation accumulated sediments around the boundary dyke. The low viscosity, high variability in sedimentation rate and lack of labor prevented us from mainiaining the structure for prolonged period. To supplement these and prevent the dykes from collapse, crown type structure was covered on top of the mud dyke, but difficulties in fixing the structure with silicone, and liquefaction due to the movement of workers prevented from filling the crown with mud. Also, even after the troublesome installation, crown was buried into mud and/or mud inside the crown decomposed and affected the surrounding environments.

Secondly, the shape of dyke was changed from 3-D to plane, and the shape of the test bed was made rectangular. The inflow section was constructed as streamlined shape and fixed with bamboo inserted at front and rear part of the PE tube. The problem with this structure was time needed to finish the installation process, and it was unable to finish during one ebb period, and tidal action swept away the incompletely installed PE tubes and PE panels on shore. To obtain enough working time and feasibility of reaching the study site, test stations were selected close to the shore and rectangular PE panels were used to create the test bed. To eliminate the gap between PE panels, T-shaped connecting poles were manufactured and fixed with bolts and nuts and water residence time was extended. However, the mud beneath the PE panel was scoured away gradually and eventually whole PE panel fell over. This could be due to the liquefaction of mud beneath the structure from scouring and wave action.

During the 1st and 2nd year of the research, the above types were maintained. But hard structure causes many problems, and test bed constructed with soft material was created in small scale. During the early phase, water-proof clothing was cut to make circular shape and water-proof poles were used to support the clothing. This test bed retained seawater longer than the hard material type test beds, and all the spats remained healthy during the test period.

Another way tried was to attach buoy on top of the water-proof clothing and the test bed will shape forms during the high tide and the pressure of seawater inside the water-proof clothing keeps water. Instead of putting stone mesh net underneath the clothing, hose was inserted and filled with small stones to maintain weight and keep shape. Installation could be done easily with just one-person holding the hose and press down into the mud. The height of the water level during the low tide was 15~20cm which is lower than the previous type, but the residence time was similar.

(3) Multi-use compound culture

1 ha of horizontal net culture facility was installed at Dori-po, Hampyung Bay and the structural stability was obtained. For compound culture, installing oyster shell mudflat dyke as outer boundary, installing PC panel, installing net mesh, oyster shell mudflat dyke + installing PC panel measures were considered and installed on-site. oyster shell mudflat dyke and oyster mudflat dyke + PC panel installation turned out to be efficient. To secure the stability, 3 layer installation and fixing with net mesh was analyzed to be the better way.

b. Diagnosis of Productivity

(1) The installation of porous block boundary dyke and amelioration of bottom texture

To be able to culture Manila clams on muddy intertidal zone, boundary dykes were installed to ameliorate the bottom texture and to prevent the loss of spats, and diagnosed for the possibility of Manila clam culture. Improved structure test beds and muddy control beds were compared for survival rate. In control beds Manila clam spats survived for 13 months and all died out after 14 months. The experimental site showed gradual mortality and final survival rate after 2 years was 40%, and there was almost no loss of spats due to the installation of boundary dyke. The growth rate of the control site after 13 month(June 2011) was 31.65 ± 3.65 mm and of the experimental site was 37.21 ± 3.59 mm. The weight of the clams in test beds was 6.97 ± 2.97 g after 13 months, and the weight of the experimental site after 2 year was 9.12 ± 3.78 g.

After 1 year diagnosis of on-site application shell length increased from 17.50 ± 1.89 to 33.65 ± 1.66 mm, and total weight increased from 1.00 ± 0.32 to 7.06 ± 1.59 g. It costs 24 million Korean won to create $1,300 \text{ m}^2$ of Manila clam culture bed including spats, and if we apply the productivity and survival rate of the improved structure test bed, for 1 ton of spats the survival rate is 40% and average weight is 9.12g, and total production will be 3,648kg, If 3,500 Korean won per kg clam is applied, it amounts to 12,768 thousand Korean won, and we will be able to recover the investment within 2 years.

(2) Cockle culture farm

To assess the possibility of cockle culture by installing the structure on the abandoned upper tidal zone, existing cockle culture farm, test sites with structures installed, and control site was designated. At first trial, cockle spats perished due to extreme cold winter in large scale test beds. But small scale test beds which were set up to test Guillard's model, several test beds filled with seawater kept spats alive and we were able to confirm that cockle can be cultured in test beds with longer water residence time. At second trial, small scale test bed was created and shell length increased to 7.81mm and total weight increased to 2.87g In existing cockle culture farm shell length increased 9.21mm and total weight 3.64g in average. Compared to the test site, existing cockle culture farm showed higher growth rate in terms of shell length and total weight.

However, condition index showed higher value at existing cockle culture farm in beginning, but by March the condition index recovered at test site, and condition factor showed the same pattern. Overall, cockle in existing culture farm showed higher growth rate, the test bed was created on abandoned land and the installation of structure made the cockle culture possible.

(3) Multi-use compound culture

The 1st trial was conducted on test beds at Dori-po, Hampyung Bay, and the 2nd trial was conducted on test beds at Namseong-ri, Goheung. In the 1st trial, the effect of spat recruitment was monitored, and in the 2nd trial, the possibility of compound culture of Manila clam and horizontal net oyster culture was tested in improved structure test bed.

In horizontal net oyster culture facility which was created in November 2009 and monitored between April and November 2010. The total length growth of large size individual oyster was by 20.24mm from 113.85 ± 10.88 mm in April to 134.09 ± 11.19 mm in November, and the weight increased by 65.16g from 171.60 ± 22.91 g in April to 236.77 ± 36.92 g in November. The total length growth of medium size individual oyster was by 20.49mm from 79.58 ± 7.41 mm in April to 100.02 ± 6.96 mm in November, and the weight increased by 61.90g from 57.67 ± 10.57 g in April to 119.58 ± 14.12 g in November. The total length growth of small size individual oyster was by 19.26mm from 53.78 ± 8.22 mm in April to 73.64 ± 8.75 mm in November, and the weight increased by 28.39g from 15.53 ± 7.02 g in April to 143.92 ± 7.08 g in November. Overall, condition factor was higher in April-May (spring) and low in September-October, and the growth rate was good.

The spat recruitment in experimental site with structures installed show 3 times higher than the control site. The occurrence was highest in April-May, and second peak appeared in July-August, and decreased after September. The control site show the similar pattern with the experimental site, but Manila clams did not occur after October and the variability was lower.

The research for the diagnosis of the compound culture possibility at Namseong-ri, Goheung, the total length grew from 31.86 ± 3.13 mm to 42.58 ± 5.30 mm, and total weight increased from 3.23 ± 0.27 g to 7.00 ± 2.10 g between November 2011 and April 2012. The growth rate of Manila clam showed the total length increased from 30.93 ± 2.61 to 36.08 ± 1.58 mm in experimental site, and from 31.27 ± 2.98 to 33.65 ± 1.15 mm in control site, total weight increased from 5.48 ± 0.92 to 9.26 ± 2.36 g in experimental, and from 5.35 ± 1.08 to 7.06 ± 1.59 g in control site, which showed small difference during the

period, and the condition factor was the highest in March.

The economic analysis of multi-use compound culture showed that for installing 1 ha, horizontal net facility costs 204 million Korean won for 340 sets, 400 m of boundary dyke costs 40 million Korean won, and totals 254 million Korean won including the spat. Harvesting can be done after 2 years, if we consider the survival rate of individual oyster of 50% it will amount to 63,750 thousand Korean won, and for Manila clam with the survival rate of 40% it will amount to 63,840 thousand Korean won, which indicates that the investment could be recovered within a short period of time.

c. DiagnOsis of environmental chages

(1) The installation of porous block boundary dyke and amelioration of bottom texture

The temperature at Namseong-ri test site ranged 4.20~27.60°C, salinity 30.51~35.49psu, pH 7.85~8.65, and DO 4.77~10.91 mg/ℓ during the operation period, and showed typical seasonal patterns. For water quality, COD ranged 0.40~3.60 mg/ℓ, DIN 0.01~0.88 mg/ℓ, DIP 0.0001~0.06 mg/ℓ, chl-*a* 0.19~6.80 μg/ℓ, and seawater environmental standard grades are I~III for DO, I~III for COD.

Water content of sediments ranged 36.63~63.71% in experimental sites, 34.23~69.19% in control sites, IL 2.96~8.54% in experimental sites, 2.14~5.28% in control sites, COD ranged 5.20~31.81 mg/g in experimental sites, 0.40~25.45 mg/g in control sites, AVS ranged 0.06~0.26 mg/g in experimental sites, 0.01~0.06 mg/g in control sites. Overall, the benthic environmental quality of control sites showed good conditions below the international environmental standards except during some periods, but experimental sites showed higher values exceeding the internal standards, but it recovered similar to the control site with time.

(2) Cockle culture farm

During 5 month period between December 2011 and April 2012, 2nd test site was created and monitored for environmental changes. Except the control site, samples for test bed and existing cockle culture farm were collected from stagnant water in pond. Temperature and salinity ranged 4.1~13.6°C, 29.2~33.1psu, respectively, SS 26.5~1,088.0 mg/ℓ, and COD 0.8~20.8 mg/ℓ. Except the control site, test site and culture farm showed very high values exceeding the environmental standards, but it does not appear to affect the survival of cockle. TN ranged 0.36~1.69 mg/ℓ, TP 0.01~0.32 mg/ℓ,

TN showed above 1.5 mg/ℓ only in culture farm, and TP exceed high values exceeding standards. Chl-*a* ranged 1.73~3.54 μg/ℓ and higher at the culture farm except in winter. The environmental quality of water showed high pollution due to proximity to land and stagnant conditions, but culture farm showed similar values and did not affect the growth of cockle.

Even though the test period was short (4 months from November 2010 to February 2012), the difference in the particle size was great. Test site showed a similar pattern to the cockle culture farm, with decrease in silt and clay content increased more than 2-fold. Mean particle size was 7.51~8.72(mean = 8.06) Φ, and fine silt and very fine silt became dominant indicating the effect of decrease in the velocity of incoming water to the test bed and extended residence time which affected the sediment composition. The 2nd trial with the re-installation of small test beds showed that 12% sand, 40% silt, 48% clay, and different from the cockle culture farm silt and clay showed higher percentage. The test site became similar to the cockle culture farm in terms of sediment particle size composition, but there seems to be seasonal effects and size of the test bed seems to have some effects.

Sediment COD in test site was a little higher than the cockle culture farm, but the maximum value was the same. IL and COD were also lower in cockle culture farm than coastal areas, and test site showed somewhat higher values than the control site. Benthic chlorophyll-*a*, which indicates the amount of food organism, showed 2.8~3.2 μg/cm² both in control and experimental site, but showed 8.0, 11.9 μg/cm², for control and experimental site, with large increase in experimental site. But control site also increased almost 3-fold indicating seasonal variation.

(3) Multi-use compound culture

The temperature ranged 3.75~27.97°C, salinity 19.53~31.84psu, chl-*a* 1.77~29.03 μg/ℓ at Dori-po, Hampyung Bay test site. DO ranged 5.71~10.78 mg/ℓ, COD 1.15~2.90 mg/ℓ, DIN 0.139~0.857 mg/ℓ, DIP 0.011~0.078 mg/ℓ, SS 10~3,086 mg/ℓ and the environmental status of the test site according to seawater quality standards were I~III grade for DO and II~III grade for COD. For benthic environments, particle size ranged 1.36~7.62Φ for experimental site, 0.34~3.23Φ in control site, water contents ranged 18.97~49.64% in experimental site 16.61~33.81% in control site, IL 1.99~6.78% in experimental site, 1.75~4.67% in control site, sediment COD 1.90~11.22 mg/g in experimental site, 1.02~11.64 mg/g in control site, AVS 0.007 mg/g 이하 in experimental site, below 0.006 mg/g in control site, benthic chl-*a* 3.94~42.86 μg/cm² in experimental site, 0.56~17.86 μg/cm² in control site. Overall characteristics of benthic environment showed good status below the international standard, and there was not

much difference between the experimental site where culture facility is installed and control site.

The benthic environment of multi-use compound test site at Namseong-ri, Goheung, showed COD of 21.35~28.99 mg/g in experimental site, 16.03~31.81 mg/g in control site, IL 4.80~7.78% in experimental site, 2.96~4.81% in control site, benthic Chl-*a* 5.08~22.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ in experimental site, 6.36~15.61 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ in control site.

5. Physiology and Biochemical Composition of Target Organisms

a. Comparison of physiology and biochemical composition

The shell length, dry weight, shell weight of Manila clams cultured in the multi-use compound culture farm and improved shellfish culture farm increased steadily between November 2011 and April 2012, and condition index was high in February and March from monthly sampling. The filtration rate was high at high temperature and small sized individuals, and the respiration rate and scope for growth was high at high temperature similar to the filtration rate. The biochemical composition of Manila clam showed that water content was highest, and the ratio of other general ingredients except water (carbohydrate, protein, lipid, ash) decreased in the order of protein, carbohydrate, and lipid. Cockles cultured in experimental site and control site showed constant growth rate and condition indices were similar with values around 5.0. The filtration rate of cockle was high when the size was small, and the biochemical composition was protein, carbohydrate, and lipid in sequence, similar to Manila clam.

b. The pattern of feeding and estimation of efficiency for shellfish species

Carbon assimilation rate determined by feeding 4 species of phytoplankton showed that *T. suecica* species showed significant difference from other 3 species. However, other 3 species did not show any significant difference. The carbon assimilation rate measured with different concentrations of suspended particles(0 mg/ℓ, 50mg/ℓ, 100 mg/ℓ, 200 mg/ℓ, 300 mg/ℓ) showed that significant difference was observed only at 50 mg/ℓ concentration, and there was no significant difference at other concentrations. Carbon assimilation of cockle was measured once and ranged between 37.67% and 65.97% which was similar to other existing studies.

6. Plans for the improvement of shellfish culture farm

Design factors to improve shellfish farm structure in reclaimed area were derived, and development approach was directed to mudflat dyke using porous block, mudflat levee, and multi-use compound culture. In developing mudflat dyke, basically based on hydrological model experiment and monitoring through on-site installation, optimum structural model was derived for reclaimed area shellfish (Manila clam) culture farm. The shape of the structure is U-type with 30 cm for height because height decides the weight and stability and causes water level changes between inside and outside, 50 cm for bottom side width, and 80 cm for length. The material for mudflat dyke used was synthetic resin PE, inside of the dyke was mud or mortar to obtain weight at bottom and top portion was filled with oyster shell to reflect the amelioration effect of the oyster shell on culture farm. Also, holes were placed inside of the dyke for the border irrigated flow can pass through the oyster shell and inflow to the inside of the culture farm. The passage of seawater is mixed with mud and the strength and weight will increase with time. The triangular type concavoconvex and plane is placed at lower part of the mudflat dyke to minimize the subsidence when installing the mudflat dyke.

A variety of materials were attempted to store seawater for the mudflat levee on the soft bottom shellfish culture farm, liquefaction of soft bottom prevented from securing stability and too much inconvenience was encountered during construction. Existing Chinese style mudflat levee was swept way with wave and current. To solve those problems, Geotuge type structure was devised, and the feasibility of construction and stability were secured from on-site experiment, and Geotube type mudflat was analyzed to be effective for soft-bottom intertidal zone.

V. The Application Planning of R&D Results and Expected Results

1. The Application Planning of R&D Results

The improved scheme of shellfish farm structure will be promoted to existing shellfish farms and distributed for contribution to improve the productivity, also large scale culture farm of fishing village cooperative will be guided to mass-production system, and processing and marketing will be linked to increase incomes. Also, some parts will be divided into small scale (100~200m² unit) and shellfish farms will be created and plans will be devised to be used as weekend fish farms.

2. Expected Results

The existing shellfish culture farming was conducted without any structure if requirements for location is satisfied to some degree, but this technology creates favorable conditions for shellfish growth by piling up low dyke at the boundary of the farm. The low dyke, which is one of the key technology, prevents spats from being swept away, and expected to improve water quality by forming surf zone, and more efficient in management by dividing into small lots. This is applied to all shellfish species cultured in mudflat, and the technology of shellfish farming is expected to improve overall.

The domestic market of shellfish is over 1 trillion Korean won, and significant amount are imported. Especially, China can be converted from exporting countries to importing countries with the increase in seafood consumption after the Beijing Olympic. With the mass production of shellfish from the improved shellfish farm, imports can be replaced and foreign markets can be developed. If we consider Manila clam, 10 million Korean won can be earned from 1,000~1,500m², and developing 1 million m² shellfish farm will create value worthy of 10 billion Korean won.

Recently, fishing village is experiencing economic hardship due to the increase in the oil price, increase in feedstuff cost, and frequent natural disasters, and is under the overall crisis due to the aging of population and decline in population. If we utilize the tidal flat ecological resources and develop a model of high-income culture estate, vitalization of fishing village can be promoted/

Design factors for the improvement of shellfish culture farm were examined, and structural improvement plans for productivity increase and multi-use were derived through estimation of external forcing for design, on-site test and diagnosis for the derived improvement plan and numerical simulation model. The optimum structure improvement plans were established through on-site experiment with the following results.

a. Structural improvements of shellfish farm

By examining the structural improvement measures to increase the productivity of shellfish culture farm, mudflat dyke using porous blocks and shell, and Geotube-type mudflat levee were developed. These boundary structures can prevent the loss of spats and can create new culture environment on abandoned mudflat, and confirmed to have sufficient economic feasibility in productivity through on-site experiments.

b. Amelioration of bottom texture

Experiments of bottom texture amelioration were performed to convert muddy intertidal zone into Manila clam culture farm. Addition of 50% oyster shell condition resulted in good result through the on-site practical use test. Based on this, the test culture of Manila clam proved to be economically feasible, can substitute the spraying of sand to ameliorate the bottom texture, and has dual effect of cost reduction and conservation of sand.

c. Multi-use compound culture

To develop compound culture which utilized the tidal flat from simple 2-D to 3-D, new measures were searched. Horizontal net oyster culture facility combined with bottom Manila clam culture emerged as effective, and through on-site operation recruitment of Manila clam spat occurred in addition to shellfish production which is additional effect for the shortage of clam spat. The practice of compound culture using the horizontal net culture facility within the boundary of mudflat dyke was analyzed to obtain sufficient competition.

Content

Chapter 1 The Outline of Research and Development	81
Section 1 The Background of Research.....	81
Section 2 The Necessity and Conds of Research and Development.....	82
Chapter 2 The Status of Domestic and Foreign Technology Developments	87
Section 1 The Status of Domestic Developments in Technology.....	87
Section 2 The Status of Foreign Developments in Technology.....	93
Chapter 3 The Contents and Results of Research and Development	97
Section 1 The Base Study of Shellfish Culture.....	97
1. The production scale of shellfish culture.....	97
2. The status of shellfish farms.....	114
3. The selection of research area.....	131
Section 2 Characteristics of the Study Area.....	148
1. Physical environments.....	148
2. Water quality.....	183
3. Benthic environment.....	209
4. Biology.....	240
Section 3 The improvements in the structure/arrangements of shellfish farms.....	291
1. The review of design factors for the shellfish culture installation.....	291

2. The development of new style mudflat dyke for Manila clam aquaculture farm.....	309
3. The mudflat levee: Cockle aquaculture farm.....	351
4. Multi-purpose utilization technology: Complex culture.....	353
Section 4 The diagnosis of the functional improvements in shellfish culture installation.....	
1. The diagnosis of the structure.....	362
2. The diagnosis of the productivity.....	402
3. The diagnosis of the changes in culture environments.....	447
Section 5 The physiology and biochemical analyses of the target organisms.....	
1. The comparison of physiology and biochemical composition.....	477
2. The pattern of feeding and estimation of efficiency for shellfish species.....	506
3. The optimal feeding rate of target organisms.....	518
Section 6 The suggestion of shellfish culture installation to increase productivity.....	
1. Shell enclosed type mudflat dyke(Manila clam).....	520
2. Geo-tube type mudflat dyke(cockle).....	523
Section 7 The design of new type mudflat / establishment of installation manual.....	
1. Selection of suitable site and evaluation of the area.....	525
2. Design and maintenance of shellfish culture installation.....	526
Section 8 Discussion and Conclusion.....	
	528

Chapter 4 Degree of Goal Achievement and Contributions to Related Area	533
Section 1 The 1 st Year	533
Section 2 The 2 nd Year	534
Section 3 The 3 rd Year	535
Chapter 5 The Outcome and Utilization Plan of the R&D	539
Chapter 6 Foreign Scientific and Technological Information Collected	543
Chapter 7 References	553

List of Figures

Fig. 1-2-1.	Research Flowchart	84
Fig. 2-1-1.	The operation examples of domestic shellfish farm	87
Fig. 2-1-2.	Standard design and planar view for Manila clam (Scattering type)	88
Fig. 2-1-3.	Standard design and planar view for cockle (Scattering type)	89
Fig. 2-1-4.	The view of Manila clam culture farm at Hajeon, Gochang	91
Fig. 2-1-5.	The view of Manila clam culture farm at Namseong-ri, Goheung	92
Fig. 2-1-6.	The view of Manila clam culture farm at Baegil-do, Goheung	92
Fig. 2-2-1.	The view of shellfish culture farm Zhejiang, China	94
Fig. 2-2-2.	The typical structure of shellfish culture farm in Korea and China	94
Fig. 3-1-1.	The trends in domestic shellfish production of surface culture	99
Fig. 3-1-2.	The trends in domestic shellfish production of shallow sea culture	98
Fig. 3-1-3.	Domestic production of Manila clam (1990~2010)	100
Fig. 3-1-4.	The trends in the production of Manila clam according to type	101
Fig. 3-1-5.	Domestic production of cockle (1990~2010)	103
Fig. 3-1-6.	The trends in the production of cockle according to type	104
Fig. 3-1-7.	Average price(per kg) of Manila clam and cockle with year	104
Fig. 3-1-8.	The amount of Manila clam import and export	105
Fig. 3-1-9.	The global status of seafood production in China : IFPRI(2003.10)	108
Fig. 3-1-10.	The trends in the seafood trade balance of Japan	111
Fig. 3-1-11.	The trends in the Manila clam production and import of Japan (Tezuka and Hamaguchi, 2004)	112
Fig. 3-1-12.	The comparison of Manila clam wholesale price in Korea and China	113
Fig. 3-1-13.	The area of domestic shellfish farms (2007)	117
Fig. 3-1-14.	The domestic shellfish culture fishing rights	117
Fig. 3-1-15.	The culture area of Manila clam and cockle (2007)	118
Fig. 3-1-16.	The status of Manila clam and cockle culture fishing rights	118
Fig. 3-1-17.	The topography of southwest coast of Korea	120
Fig. 3-1-18.	The main pathway of typhoon	122
Fig. 3-1-19.	The grid for the deep sea wave calculation (KORDI, 2005)	125
Fig. 3-1-20.	The distribution of deep sea wave in all areas	126

Fig. 3-1-21.	Wave parameters of each area	127
Fig. 3-1-22.	The range of significant wave period in each area	127
Fig. 3-1-23.	The range of significant wave height in each area	127
Fig. 3-1-24.	The characteristics of currents in each area	130
Fig. 3-1-25.	The test culture farm of 3 areas (Manila clam, cockle, compound)	131
Fig. 3-1-26.	The structure and panoramic view of Manila clam culture farms in Goheung County	132
Fig. 3-1-27.	The structure and panoramic view of cockle culture farms in Gyeme.....	133
Fig. 3-1-28.	The station map of the coastal tidal flat environment study	134
Fig. 3-1-29.	Monthly temperature of Mokpo and Younggwang area (2008~2009)	135
Fig. 3-1-30.	Monthly precipitation of Mokpo and Younggwang area (2008~2009)	135
Fig. 3-1-31.	Monthly discharge of freshwater at Youngsan estuary (2008~2009)	136
Fig. 3-1-32.	Monthly variation of seawater temperature (2008~2009)	137
Fig. 3-1-33.	Monthly variation of salinity (2008~2009)	137
Fig. 3-1-34.	Monthly variation of pH (2008~2009)	137
Fig. 3-1-35.	Monthly variation of dissolved oxygen (DO) (2008~2009)	139
Fig. 3-1-36.	Monthly variation of suspended solids (SS) (2008~2009)	139
Fig. 3-1-37.	Monthly variation of chemical oxygen demand (COD) (2008~2009)	139
Fig. 3-1-38.	Monthly variation of dissolved inorganic nitrogen (DIN) (2008~2009)	140
Fig. 3-1-39.	Monthly variation of dissolved inorganic phosphorus (DIP) (2008~2009)	140
Fig. 3-1-40.	Monthly variation of chlorophyll- <i>a</i> (Chl- <i>a</i>)(2008~2009)	140
Fig. 3-1-41.	Monthly variation of benthic ignition loss(IL)(2008~2009)	141
Fig. 3-1-42.	Monthly variation of benthic COD (2008~2009)	141
Fig. 3-1-43.	Monthly variation of benthic acid volatile sulfur(AVS) (2008~2009).....	142
Fig. 3-1-44.	The location of test culture farm and sampling sites	143
Fig. 3-1-45.	Stone beds of oyster farm at Dori-po, Hampyung	147
Fig. 3-1-46.	Inflow of freshwater from the hinterland of Dori-po, Hampyung	147
Fig. 3-1-47.	The notice board of test culture farm	147
Fig. 3-2-1.	The depth distribution of shellfish farm at Namseong-ri	148

Fig. 3-2-2.	The profile leveling of shellfish farm at Namseong-ri	149
Fig. 3-2-3.	The bathymetry of shellfish farm at Gyeme	150
Fig. 3-2-4.	The bathymetry of shellfish farm at Dori-po	151
Fig. 3-2-5.	The general condition of currents at the study sites	159
Fig. 3-2-6.	The distribution of flood strength at Namseong-ri and Gyeme.....	162
Fig. 3-2-7.	The distribution of ebb strength at Namseong-ri and Gyeme.....	162
Fig. 3-2-8.	The vector of flood strength at Dori-po	164
Fig. 3-2-9.	The vector of flood strength at Dori-po (detailed map)	165
Fig. 3-2-10.	The vector of ebb strength at Dori-po.....	166
Fig. 3-2-11.	The vector of ebb strength at Dori-po (detailed map)	167
Fig. 3-2-12.	The distribution of tidal current at Namseong-ri, Gyeme, Dori-po. ...	168
Fig. 3-2-13.	The study area of Namseong-ri and Gyeme	172
Fig. 3-2-14.	Incident wave conditions for deep sea design wave in Namseong-ri and Gyeme	172
Fig. 3-2-15.	Ordinary wave conditions for Namseong-ri and Gyeme	173
Fig. 3-2-16.	Wave height and period of deep sea design wave for Namseong-ri, Goheung	174
Fig. 3-2-17.	Wave height and vector diagram of wave direction of deep sea design wave for Namseong-ri, Goheung	174
Fig. 3-2-18.	Wave height and period of deep sea design wave for Gyeme, Goheung	175
Fig. 3-2-19.	Wave height and vector diagram of deep sea design wave for Gyeme, Goheung	175
Fig. 3-2-20.	Station map of 25 hour observation at Namseong-ri site	176
Fig. 3-2-21.	Changes in current speed with time	177
Fig. 3-2-22.	Changes in current direction with time	177
Fig. 3-2-23.	Station map of detailed environmental survey at the compound culture test site	178
Fig. 3-2-24.	The result of tidal level observation at the test culture farm.....	179
Fig. 3-2-25.	The exposure time at the low tide level at the test culture farm.....	180
Fig. 3-2-26.	The vector map of currents at the test culture farm in Hampyung Bay.....	180
Fig. 3-2-27.	The scatter map of currents at the test culture farm in Hampyung Bay.....	181
Fig. 3-2-28.	The wave meter installed at the low tide level (RBR-TWR)	182
Fig. 3-2-29.	The results of wave observation and analysis in Hampyung Bay.....	182
Fig. 3-2-30.	The station map of water quality at the Manila clam test	

	culture farm	183
Fig. 3-2-31.	The station map of benthic environment at the Manila clam test culture farm	183
Fig. 3-2-32.	The station map of environmental survey at cockle test culture farm.....	184
Fig. 3-2-33.	The spatial distribution of temperature at Namseong-ri site	187
Fig. 3-2-34.	The spatial distribution of salinity at Namseong-ri site	188
Fig. 3-2-35.	The spatial distribution of dissolved oxygen at Namseong-ri site	189
Fig. 3-2-35.	The spatial distribution of pH at Namseong-ri site	190
Fig. 3-2-37.	The spatial distribution of nitrite at Namseong-ri site	191
Fig. 3-2-38.	The spatial distribution of nitrate at Namseong-ri site	192
Fig. 3-2-39.	The spatial distribution of ammonium at Namseong-ri site	193
Fig. 3-2-40.	The spatial distribution of phosphate at Namseong-ri site	194
Fig. 3-2-41.	The spatial distribution of silicate at Namseong-ri site	195
Fig. 3-2-42.	The spatial distribution of suspended solids at Namseong-ri site	196
Fig. 3-2-43.	The spatial distribution of COD at Namseong-ri site	197
Fig. 3-2-44.	The spatial distribution of TN at Namseong-ri site	199
Fig. 3-2-45.	The spatial distribution of TP at Namseong-ri site	200
Fig. 3-2-46.	The spatial distribution of chl- <i>a</i> at Namseong-ri site	201
Fig. 3-2-47.	The seasonal changes in vertical distributions of temperature, salinity, chlorophyll- <i>a</i> , dissolved oxygen at the test culture farm	205
Fig. 3-2-48.	The seasonal variation of temperature, salinity, chlorophyll- <i>a</i> , dissolved oxygen at the test culture farm	206
Fig. 3-2-49.	The seasonal variation of ammonia, nitrite, nitrate, phosphate and silicate at the test culture farm	207
Fig. 3-2-50.	The seasonal variation of N/P at the test culture farm	208
Fig. 3-2-51.	The vicinity of Namseong-ri study site	212
Fig. 3-2-52.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	213
Fig. 3-2-53.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	213
Fig. 3-2-54.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	214
Fig. 3-2-55.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	214
Fig. 3-2-56.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	215
Fig. 3-2-57.	The classification of sediments at Namseong-ri (Folk & Ward)	215
Fig. 3-2-58.	The sediment COD at Namseong-ri	218
Fig. 3-2-59.	The sediment ignition loss at Namseong-ri	219
Fig. 3-2-60.	The sediment chlorophyll- <i>a</i> at Namseong-ri	219
Fig. 3-2-61.	The vicinity of Gyeme study site	222

Fig. 3-2-62.	The classification of sediments at Gyeme (Folk & Ward)	223
Fig. 3-2-63.	The COD of sediments at Gyeme	225
Fig. 3-2-64.	The ignition loss of sediments at Gyeme	225
Fig. 3-2-65.	The benthic chlorophyll- <i>a</i> of sediments at Gyeme	226
Fig. 3-2-66.	The variation of sediment gravel content at the test culture farm	228
Fig. 3-2-67.	The variation of sediment sand content at the test culture farm	229
Fig. 3-2-68.	The variation of sediment mud content at the test culture farm	230
Fig. 3-2-69.	The changes of elevation at the test culture farm	231
Fig. 3-2-70.	The pre-treatment of pillar shaped sediment sample	232
Fig. 3-2-71.	The cross-section of pillar shaped sediment sample	232
Fig. 3-2-72.	The sediment particle size analysis of St. D2	233
Fig. 3-2-73.	The benthic environment of pillar shaped sediment sample of St. D2.....	233
Fig. 3-2-74.	The size analysis of pillar shaped sediment sample of St. B3	234
Fig. 3-2-75.	The benthic environment of pillar shaped sediment sample of St. B3	234
Fig. 3-2-76.	The seasonal variation of sediment IL at Hampyung study site	236
Fig. 3-2-77.	The seasonal variation of sediment COD at Hampyung study site	237
Fig. 3-2-78.	The seasonal variation of sediment AVS at Hampyung study site	238
Fig. 3-2-79.	The seasonal variation of sediment chlorophyll- <i>a</i> at Hampyung study site	239
Fig. 3-2-80.	The abundance and species of phytoplankton with season	247
Fig. 3-2-81.	The changes in the species composition of phytoplankton with season	248
Fig. 3-2-82.	The changes in the dominant species of phytoplankton with season	250
Fig. 3-2-83.	The dendrogram of phytoplankton cluster analysis	252
Fig. 3-2-84.	The benthic community composition at Namseong-ri	253
Fig. 3-2-85.	The benthic community composition ratio at Namseong-ri	254
Fig. 3-2-86.	The species, population density and biomass of macrozoobenthos population at Namseong-ri (Nov. 2009).....	258
Fig. 3-2-87.	The species, population density and biomass of macrozoobenthos population at Namseong-ri (Feb. 2010).....	259
Fig. 3-2-89.	The cluster analysis and MDS array of macrozoobenthos population at Namseong-ri (Nov. 2009).....	261
Fig. 3-2-89.	The cluster analysis and MDS array of macrozoobenthos population at Namseong-ri (Feb. 2010).....	262

Fig. 3-2-90. The dominant species of phytoplankton 266

Fig. 3-2-91. The benthic community composition ratio at Gyeme (Nov. 2009) 268

Fig. 3-2-92. The species, population density and biomass
of macrozoobenthos population at Gyeme (Nov. 2009)..... 270

Fig. 3-2-93. The species, population density and biomass
of macrozoobenthos population at Gyeme (Feb. 2010)..... 272

Fig. 3-2-94. The abundance and species of phytoplankton with station 278

Fig. 3-2-95. The variation of phytoplankton species composition with station 279

Fig. 3-2-96. The occurrence of dominant phytoplankton species 281

Fig. 3-2-97. The dendrogram of phytoplankton cluster analysis and MDS 283

Fig. 3-2-98. The dendrogram of phytoplankton cluster analysis and MDS 284

Fig. 3-2-99. The dendrogram of phytoplankton cluster analysis and MDS 285

Fig. 3-2-100. The species and abundance ratio of benthos
at the test culture farm..... 290

Fig. 3-3-1. The typical structure of shellfish farm at Namseong-ri 292

Fig. 3-3-2. The feature of mudflat boundary dyke using sack stacking 293

Fig. 3-3-3. The feature of mudflat boundary dyke using boundary stones 294

Fig. 3-3-4. The feature of mudflat boundary dyke using poles 294

Fig. 3-3-5. The satellite photography of culture farm arrangement
at Namseong-ri 295

Fig. 3-3-6. The pattern of submergence/exposure of culture farm
at Namseong-ri 298

Fig. 3-3-7. The structural analysis of culture farm at Namseong-ri 299

Fig. 3-3-8. The monitoring of sea level fluctuation with time at Namseong-ri
(spring tide, ebb flow) 300

Fig. 3-3-9. The monitoring of sea level fluctuation with time at Namseong-ri
(spring tide, flood flow) 300

Fig. 3-3-10. The pattern of sea level fluctuation at Namseong-ri 301

Fig. 3-3-11. The stream flowing into the shellfish culture farm at Namseong-ri ... 302

Fig. 3-3-12. The drainage basin area of streams at the study site 302

Fig. 3-3-13. The fluctuations of stream inflow at the study site 303

Fig. 3-3-14. The productivity survey of Manila clam at Namseong-ri 303

Fig. 3-3-15. The major design elements of mudflat dyke 304

Fig. 3-3-16. The apparatus for testing permeability coefficients 305

Fig. 3-3-17. The materials used for testing permeability coefficients 306

Fig. 3-3-18. The depositional characteristics of the structure with particle size ... 308

Fig. 3-3-19. The diagram of numerical simulation for deriving optimal

	configuration characteristics of mudflat fence	309
Fig. 3-3-20.	Calculation scene (h=25cm, H=5cm, =30°).....	314
Fig. 3-3-21.	Calculation scene (h=25cm, H=8cm, =30°).....	314
Fig. 3-3-22.	Calculation scene (h=50cm, H=5cm, =30°).....	315
Fig. 3-3-23.	Calculation scene (h=50cm, H=10cm, =30°).....	315
Fig. 3-3-24.	Calculation scene (h=25cm, H=5cm, =45°).....	316
Fig. 3-3-25.	Calculation scene (h=25cm, H=8cm, =45°).....	316
Fig. 3-3-26.	Calculation scene (h=50cm, H=5cm, =45°).....	317
Fig. 3-3-27.	Calculation scene (h=50cm, H=10cm, =45°).....	317
Fig. 3-3-28.	Calculation scene (h=25cm, H=5cm, =60°).....	318
Fig. 3-3-29.	Calculation scene (h=25cm, H=8cm, =60°).....	318
Fig. 3-3-30.	Calculation scene (h=50cm, H=5cm, =60°).....	319
Fig. 3-3-31.	Calculation scene (h=50cm, H=10cm, =60°).....	319
Fig. 3-3-32.	Calculation results (h=25cm).....	320
Fig. 3-3-33.	Calculation results (h=50cm).....	320
Fig. 3-3-34.	The diagram of cross-sectional waterway	322
Fig. 3-3-35.	The wave formation sequence of irregular wave.....	328
Fig. 3-3-36.	The installation of existing mudflat dyke	330
Fig. 3-3-37.	The installation of improved mudflat dyke.....	330
Fig. 3-3-38.	The experiments with existing mudflat dyke - 1 (h=0.3m).....	336
Fig. 3-3-39.	The experiments with existing mudflat dyke-2(h=0.3m).....	336
Fig. 3-3-40.	The experiments with existing mudflat dyke-1(h=1.8m).....	337
Fig. 3-3-41.	The experiments with existing mudflat dyke-2(h=1.8m).....	337
Fig. 3-3-42.	The experiments with existing mudflat dyke(h=3.33m).....	338
Fig. 3-3-43.	The experiments with existing mudflat dyke(h=4.8m).....	338
Fig. 3-3-44.	The experiments with improved mudflat dyke-1(h=0.3m).....	339
Fig. 3-3-45.	The experiments with improved mudflat dyke-2(h=0.3m).....	339
Fig. 3-3-46.	The experiments with improved mudflat dyke-1(h=1.8m).....	340
Fig. 3-3-47.	The experiments with improved mudflat dyke-2(h=1.8m).....	340
Fig. 3-3-48.	The experiments with improved mudflat dyke-1(h=3.33m).....	341
Fig. 3-3-49.	The experiments with improved mudflat dyke-2(h=3.33m).....	341
Fig. 3-3-50.	The experiments with improved mudflat dyke-1(h=4.8m).....	342
Fig. 3-3-51.	The experiments with improved mudflat dyke-2(h=4.8m).....	342
Fig. 3-3-52.	The shape of porous mudflat dyke (1st).....	344
Fig. 3-3-53.	The data and facility view of mudflat water tank	346
Fig. 3-3-54.	The procedure for the formation of test beds for improving the bottom texture	347

Fig. 3-3-55. The average shell length and weight of Manila clam before and after the experiments 348

Fig. 3-3-56. The changes in the shell length from bottom texture improvement experiments 349

Fig. 3-3-57. The increase in the shell length from bottom texture improvement experiments 349

Fig. 3-3-58. The changes in the total weight from bottom texture improvement experiments 350

Fig. 3-3-59. The increase in the total weight from bottom texture improvement experiments 350

Fig. 3-3-60. The cockle culture farm using mudflat dyke and cockle spat in China 351

Fig. 3-3-61. Patent application of mudflat levee for storing seawater 352

Fig. 3-3-62. The conceptual diagram of horizontal net culture system at Normandy, France (1,200 set/ha) 356

Fig. 3-3-63. The conceptual diagram of horizontal net culture system in Korea (540 set /ha) 356

Fig. 3-3-64. The location of horizontal net culture system 357

Fig. 3-3-65. The view of horizontal net culture system 357

Fig. 3-3-66. The on site transportation of horizontal net culture system 358

Fig. 3-3-67. The installation of horizontal net culture system 358

Fig. 3-3-68. The installation of culture net and completion of transplant 359

Fig. 3-3-69. The view of horizontal net culture system for compound culture 359

Fig. 3-3-70. The basic model for external forcing with boundary dyke 360

Fig. 3-3-71. The effect of boundary panel 360

Fig. 3-3-72. The diagram of improved horizontal net type compound culture with the installation of boundary dyke 361

Fig. 3-4-1. The construction of boundary dyke using porous mudflat fence and Manila clam culture farm with improvements of bottom texture 362

Fig. 3-4-2. The materials for installing Manila clam culture structure 363

Fig. 3-4-3. The procedure of making culture farm structures (boundary stone) .. 364

Fig. 3-4-4. The procedure of installing culture farm structures (boundary stone)..... 365

Fig. 3-4-5. Completed Manila clam test culture bed 366

Fig. 3-4-6. On-site construction of porous mudflat dyke and boundary dyke 367

Fig. 3-4-7. The occurrence of failed mudflat dyke and boundary dyke during construction 367

Fig. 3-4-8.	The formation of scouring erosion due to the seepage of seawater between mudflat dykes	368
Fig. 3-4-9.	The overturn of structures due to scouring	368
Fig. 3-4-10.	The boundary formed by mudflat levee at cockle culture farm	369
Fig. 3-4-11.	The accumulation of sediments obscures the boundary of levee.....	369
Fig. 3-4-12.	The view of mudflat levee (500mm × 300mm × 1,100mm).....	370
Fig. 3-4-13.	Twisting of mudflat levee structure	370
Fig. 3-4-14.	Filling up of cracks when installing the structure	371
Fig. 3-4-15.	The on-site installation of structure at Youmsam, Youngkwang	371
Fig. 3-4-16.	Testing for the permeability for 1/4 cut PE tubes at test site	372
Fig. 3-4-17.	PE tubes and PE panel for the structure at the test site	372
Fig. 3-4-18.	The construction plan for the test site	373
Fig. 3-4-19.	Transportation of PE panels and PE tubes	373
Fig. 3-4-20.	Installation of PE tubes	374
Fig. 3-4-21.	Installation of PE panels	375
Fig. 3-4-22.	Fixing of PE panels using bamboos and angles	376
Fig. 3-4-23.	PE tubes and PE panels floating from the test site	376
Fig. 3-4-24.	Fixing of PE panels into mud with 2 persons as a team	377
Fig. 3-4-25.	The procedure for fixing PE panels	378
Fig. 3-4-26.	Model picture of test site installed on 8th of November, 2011	379
Fig. 3-4-27.	The loss of PE panels after the 2 nd trial for test site installation	380
Fig. 3-4-28.	Puddles formed between PE panels	380
Fig. 3-4-29.	The installation plan for T-shaped connection pillar	381
Fig. 3-4-30.	Installing T-shaped connection pillar and connecting PE panels	382
Fig. 3-4-31.	Fallen PE panels on the mudflat	383
Fig. 3-4-32.	Enclosing of seawater inside the test site with waterproof clothing.....	384
Fig. 3-4-33.	Materials and the design of the structure at Gyeme, Goheung	385
Fig. 3-4-34.	Installing small scale test site using waterproof clothing	385
Fig. 3-4-35.	The view of waterproof clothing installed at low and high tide	386
Fig. 3-4-36.	Thirty days after the installation of waterproof clothing	387
Fig. 3-4-37.	The design for installing waterproof clothing at 4th attempt	388
Fig. 3-4-38.	The view of waterproof clothing installed at low and high tide	388
Fig. 3-4-39.	The depth of seawater inside the waterproof clothing and the external view	389
Fig. 3-4-40.	The design for the installation of waterproof clothing and installing view	390

Fig. 3-4-41. The view of waterproof clothing installed at low and high tide 390

Fig. 3-4-42. The diagram of improved structure for the compound shellfish test farm in the west coast of Korea 391

Fig. 3-4-43. The location of horizontal net culture facility and the pilot scale model for improved compound culture 392

Fig. 3-4-44. Oyster mesh bag prepared for the pilot scale model of improved compound culture facility 393

Fig. 3-4-45. Oyster mesh bag and horizontal net culture facility being transported to the test site for the pilot scale model of improved compound culture facility 393

Fig. 3-4-46. Working view of facility improvement for shellfish test farm in the west coast of Korea 394

Fig. 3-4-47. View of installing improved facility for shellfish test farm in the west coast of Korea 395

Fig. 3-4-48. The horizontal net type culture facility of the test culture site at Hampyung Bay, the west coast of Korea 4 months after installation 396

Fig. 3-4-49. The pilot model facility for 3-D culture for multi-purpose use at Doripo, Hampyung Bay : monitoring results of zone A improved design 397

Fig. 3-4-50. The pilot model facility for 3-D culture for multi-purpose use at Doripo, Hampyung Bay : monitoring results of zone B improved design 398

Fig. 3-4-51. The diagram of compound culture system of horizontal net culture facility combined with Manila clam culture 400

Fig. 3-4-52. Destruction of the structure by Typhoon Compass 401

Fig. 3-4-53. The 3-D culture facility at the improved shellfish farm at Namseong-ri, Goheung 402

Fig. 3-4-54. The location map of the improved Manila clam culture farm 403

Fig. 3-4-55. The survival rate of Manila clam at the improved test culture site 404

Fig. 3-4-56. The changes in the shell length of Manila clam at the improved test culture farm (control and experimental site) 404

Fig. 3-4-57. The changes in the weight of Manila clam at the improved test culture farm (control and experimental site) 405

Fig. 3-4-58. The changes in the condition index of Manila clam at the improved test culture farm (control and experimental site) 405

Fig. 3-4-59. The changes in the shell length of Manila clam for testing

	practicability at the improved test culture farm	407
Fig. 3-4-60.	The changes in the weight of Manila clam for testing practicability at the improved test culture farm	407
Fig. 3-4-61.	The changes in the condition index of Manila clam for testing practicability at the improved test culture farm	408
Fig. 3-4-62.	The changes in the survival rate of Manila clam for testing practicability at the improved test culture farm	408
Fig. 3-4-63.	The transplantation of cockle spat for the test culture bed (1st trial; November, 2010).....	409
Fig. 3-4-64.	Cockles sampled from test beds A and B	410
Fig. 3-4-65.	Perished cockles in test beds (Left: test bed A, Right: test bed B)...	411
Fig. 3-4-66.	Average air temperature in January between 2000~2011 at Goheung (www.kma.go.kr)	411
Fig. 3-4-67.	Ice floating around the test beds at Goheung	412
Fig. 3-4-68.	The shell length(mm), total weight (g), condition index (CI), condition factor (W/L^3) of cockles sampled at cockle culture farm in November 2010 (at transplant) and February 2010	413
Fig. 3-4-69.	Amount of cockle transplant according to Guillard's model	414
Fig. 3-4-70.	Feature showing the test site for testing Guillard's model	415
Fig. 3-4-71.	Cockles inside the test site for testing Guillard's model	415
Fig. 3-4-72.	Picture of the test site 4 months after transplantation	416
Fig. 3-4-73.	The feature of cockles filled with seawater	416
Fig. 3-4-74.	Transplantation of cockle spats for creating test bed (2nd trial)	417
Fig. 3-4-75.	Cockle spats sampled from control and experimental beds in on November 28th, 2011	418
Fig. 3-4-76.	The changes in shell length (mm), total weight (g) from control bed and cockle culture farm after 5 months	419
Fig. 3-4-77.	The changes in the average shell length (mm), total weight (g), condition index, and condition factor of cockles from the experimental bed, control site and cockle culture farm	420
Fig. 3-4-78.	The changes in the average shell length (mm) and total weight (g) of cockles from the experimental bed and cockle culture farm after 1 year	421
Fig. 3-4-79.	The location map of multi-purpose 3-D culture facility and sampling stations	423
Fig. 3-4-80.	The location of diagnosing productivity of multi-purpose culture	423
Fig. 3-4-81.	The correlation curve between body length and body weight	

	of 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	425
Fig. 3-4-82.	The changes in body length of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	426
Fig. 3-4-83.	The changes in shell height of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	426
Fig. 3-4-84.	The changes in shell width of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	427
Fig. 3-4-85.	The changes in total weight of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	427
Fig. 3-4-86.	The changes in dry weight of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	428
Fig. 3-4-87.	The changes in condition factor of large size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	428
Fig. 3-4-88.	The changes in body length of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	429
Fig. 3-4-89.	The changes in shell height of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	429
Fig. 3-4-90.	The changes in shell width of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	430
Fig. 3-4-91.	The changes in total weight of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	430
Fig. 3-4-92.	The changes in dry weight of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	431
Fig. 3-4-93.	The changes in condition factor of medium size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	431
Fig. 3-4-94.	The changes in body length of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	432
Fig. 3-4-95.	The changes in shell height of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	432
Fig. 3-4-96.	The changes in shell width of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	433
Fig. 3-4-97.	The changes in total weight of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	433
Fig. 3-4-98.	The changes in dry weight of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	434
Fig. 3-4-99.	The changes in condition factor of small size 3n oyster on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	434

Fig. 3-4-100.	The correlation curve between body length and total weight of Manila clam on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	437
Fig. 3-4-101.	The monthly occurrence pattern of Manila clam on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	438
Fig. 3-4-102.	The monthly occurrence pattern of Manila clam at experimental site on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	439
Fig. 3-4-103.	The monthly occurrence pattern of Manila clam at control site on test beds of Dori-po, Hampyung Bay	440
Fig. 3-4-104.	The total length growth of individual oyster at compount culture test site of Namseong-ri	441
Fig. 3-4-105.	The shell height growth of individual oyster at compount culture test site of Namseong-ri	442
Fig. 3-4-106.	The shell width growth of individual oyster at compount culture test site of Namseong-ri	442
Fig. 3-4-107.	The total weight increase of individual oyster at compount culture test site of Namseong-ri	443
Fig. 3-4-108.	The condition factor increase of individual oyster at compount culture test site of Namseong-ri	443
Fig. 3-4-109.	The total length growth of Manila clam at compount culture test site of Namseong-ri	444
Fig. 3-4-110.	The weight increase of Manila clam at compount culture test site of Namseong-ri	444
Fig. 3-4-111.	The condition factor increase of Manila clam at compount culture test site of Namseong-ri	445
Fig. 3-4-112.	The example of horizontal net culture facility using low cost materials	446
Fig. 3-4-113.	Environmental study sites of Namseong-ri test site.....	447
Fig. 3-4-114.	The variations in temperature at Namseong-ri test site	448
Fig. 3-4-115.	The variations in salinity at Namseong-ri test site	448
Fig. 3-4-116.	The variations in pH at Namseong-ri test site	449
Fig. 3-4-117.	The variations in DO at Namseong-ri test site	449
Fig. 3-4-118.	The variations in COD at Namseong-ri test site	450
Fig. 3-4-119.	The variations in DIN at Namseong-ri test site	451
Fig. 3-4-120.	The variations in DIP at Namseong-ri test site	451
Fig. 3-4-121.	The variations in Chl- <i>a</i> at Namseong-ri test site	452
Fig. 3-4-122.	Location of benthic environment survey stations	

at Namseong-ri improved test culture farm 453

Fig. 3-4-123. Particle size analysis of Namseong-ri test site 454

Fig. 3-4-124. The changes in particle size with oyster shell spray
at Namseong-ri test site 454

Fig. 3-4-125. The water content of sediments at Namseong-ri test site 455

Fig. 3-4-126. The IL of sediments at Namseong-ri test site 455

Fig. 3-4-127. The bottom COD at Namseong-ri test site 456

Fig. 3-4-128. The AVS of sediments at Namseong-ri test site 456

Fig. 3-4-129. Benthic chlorophyll-*a* at Namseong-ri test site 457

Fig. 3-4-130. Environmental survey stations of cockle test culture farm 458

Fig. 3-4-131. The changes in SS, COD in the vicinity of test site and
cockle culture farm at Gyeme, Goheung 459

Fig. 3-4-132. The changes in TN, TP, chlorophyll-*a* in the vicinity of test site and
cockle culture farm at Gyeme, Goheung 460

Fig. 3-4-133. Changes in sediment composition after 1st spat transplant 461

Fig. 3-4-134. Changes in sediment composition after 2nd spat transplant 462

Fig. 3-4-135. The changes in sediment COD in the vicinity of test site and
cockle culture farm during the 1st survey 464

Fig. 3-4-136. The changes in sediment COD in the vicinity of test site and
cockle culture farm during the 2nd survey 464

Fig. 3-4-137. The changes in IL in the vicinity of test site and
cockle culture farm during the 1st survey 465

Fig. 3-4-138. The changes in IL in the vicinity of test site and cockle culture
farm during the 2nd survey 465

Fig. 3-4-139. The changes in benthic chlorophyll-*a* in the vicinity of test site and
cockle culture farm during the 1st survey 466

Fig. 3-4-140. The changes in benthic chlorophyll-*a* in the vicinity of test site and
cockle culture farm during the 2nd survey 466

Fig. 3-4-141. The location of environmental survey of the multi-use 3-D culture
at Dori-po, Hampyung Bay 467

Fig. 3-4-142. The changes in temperature, salinity, chlorophyll-*a* of test site
at Dori-po, Hampyung Bay 469

Fig. 3-4-143. The changes in DO, COD, DIN, DIP, SS of test site at Dori-po,
Hampyung Bay 469

Fig. 3-4-144. The location of environmental survey of the 3-D culture
at Namseong-ri, Goheung 471

Fig. 3-4-145. Monthly changes in mean particle size at test site 471

Fig. 3-4-146. The changes in sediment gravel, sand, mud composition at test site	472
Fig. 3-4-147. The changes in sediment water content at test site	472
Fig. 3-4-148. The changes in sediment IL at test site	473
Fig. 3-4-149. The changes in sediment COD at test site	473
Fig. 3-4-150. The changes in sediment AVS at test site	473
Fig. 3-4-151. The changes in sediment chlorophyll- <i>a</i> at test site	474
Fig. 3-4-152. The comparison of sediment water content of multi-use test site at Namseong-ri	474
Fig. 3-4-153. The comparison of sediment COD of multi-use test site at Namseong-ri	475
Fig. 3-4-154. The comparison of sediment IL of multi-use test site at Namseong-ri	475
Fig. 3-4-155. The comparison of benthic chlorophyll- <i>a</i> of multi-use test site at Namseong-ri	476
Fig. 3-5-1. The changes in Manila clam shell length	479
Fig. 3-5-2. The changes in Manila clam tissue dry weight	479
Fig. 3-5-3. The changes in Manila clam condition index	479
Fig. 3-5-4. Phytoplankton used for the filtration rate measurements	481
Fig. 3-5-5. Measurement of Manila clam filtration rate with temperature	482
Fig. 3-5-6. Filtration rate of Manila clam with temperature	484
Fig. 3-5-7. Filtration rate of Manila clam with size	485
Fig. 3-5-8. Respiration rate of Manila clam with temperature	486
Fig. 3-5-9. The scope for growth of Manila clam with temperature	488
Fig. 3-5-10. Cylindrical filter paper attached to Soxhlet extractor to measure Manila clam crude fat	490
Fig. 3-5-11. Cylindrical filter paper attached to Soxhlet extractor	490
Fig. 3-5-12. Kjeldahl nitrogen measurement kit(JP SELECTA, SP/PRO-NITRO).....	492
Fig. 3-5-13. Blue color development with response to the indicator	492
Fig. 3-5-14. Comparison of general composition of Manila clam	496
Fig. 3-5-15. The flow-chart for the pre-treatment of PCB analysis	497
Fig. 3-5-16. The changes in cockle shell length	500
Fig. 3-5-17. The changes in cockle tissue dry weight	500
Fig. 3-5-18. The changes in cockle condition index	500
Fig. 3-5-19. Monthly measurements of cockle filtration rate	501
Fig. 3-5-20. Filtration rate of cockle with temperature	502

Fig. 3-5-21. The decrease of algal cells during filtration rate measurement 503

Fig. 3-5-22. Pulverization after freeze-drying for bivalve tissue 504

Fig. 3-5-23. Diagram of carbon assimilation rate measurement 507

Fig. 3-5-24. Collection of feces during carbon assimilation rate measurement 508

Fig. 3-5-25. Carbon assimilation rate with suspended particle concentration 510

Fig. 3-5-26. Carbon assimilation rate with agal species 511

Fig. 3-5-27. Carbon assimilation rate with suspended particle concentration 513

Fig. 3-5-28. Centrifuged C¹⁴ labeled algae 514

Fig. 3-5-29. Measurement of cockle carbon assimilation rate 515

Fig. 3-5-30. Measurement of cockle carbon assimilation rate(filtration) 516

Fig. 3-5-31. Collection of feces during carbon assimilation rate measurement 516

Fig. 3-5-32. C¹⁴ activity of defecated feces 517

Fig. 3-6-1. The feature of shell enclosed porous mudflat dyke 521

Fig. 3-6-2. The border irrigation characteristics of shell enclosed porous
mudflat dyke 522

Fig. 3-6-3. The example of anchor mudflat dyke for mudflat 523

Fig. 3-6-4. The picture of Geotube facility(laboratory) 524

Fig. 3-6-5. The picture of Geotube installed on-site 524

Fig. 6-1-1. The shellfish center at Jianghu, China 543

Fig. 6-1-2. Production of Manila clam spat at Jianghu, China 543

Fig. 6-1-3. The embankment culture farm for producing Manila clam spat
in Fujian, China 544

Fig. 6-1-4. The example of boundary of shellfish culture farm in China 545

Fig. 6-1-5. The conceptual diagram of Manila clam spats in North America 545

Fig. 6-1-6. The diagram of Manila clam production culture cycle
in North America and Europe 547

Fig. 6-1-7. Installing protective net to protect from predators
after the transplantation of spats 547

Fig. 6-1-8. Typical harvesting process of Manila clams 548

Fig. 6-1-9. The mechanized Manila clam harvesting system at Seto Naikai,
Japan 549

Fig. 6-1-10. The mechanized Manila clam harvesting system in Europe 550

Fig. 6-1-11. Oyster culture on the mudflat in France 550

List of Tables

Table 1-1-1.	Area of tidal flat be region, Shell production and amount.....	82
Table 3-1-1.	Trends in domestic shellfish production (production, amount) by fishing type	97
Table 3-1-2.	Manila clam production (1990~2010) and amount	99
Table 3-1-3.	Cockle production (1990~2010) and amount	102
Table 3-1-4.	The largest Manila clam exporting country and export price	106
Table 3-1-5.	The largest Manila clam importing country and import price	106
Table 3-1-6.	Seafood production in China	109
Table 3-1-7.	Regional fisheries production in China (2002)	109
Table 3-1-8.	The trends in sea surface fisheries production in China by type	110
Table 3-1-9.	The trends in sea surface culture fisheries production in Japan	110
Table 3-1-10.	Trends in culture and sea surface fisheries production in Korea, China and Japan (2002~2003)	113
Table 3-1-11.	Trends in seafood export and iimport in Korea, China and Japan (1999~2003)	113
Table 3-1-12.	The status of major typhoons	112
Table 3-1-13.	The comparison of water quality and benthic environment of study areas in coastal tidal flat (2008~2009).....	142
Table 3-1-14.	Water quality survey results of Gaip-ri, Tando Bay and Dori-po, Hampyung Bay	143
Table 3-1-15.	Bottom sediment survey result of Gaip-ri, Tando Bay and Dori-po, Hampyung Bay	144
Table 3-1-16.	Sediment particle size analysis of Gaip-ri, Tando Bay and Dori-po, Hampyung Bay	144
Table 3-1-17.	Benthos analysis of Gaip-ri, Tando Bay and Dori-po, Hampyung Bay	145
Table 3-1-18.	Species of benthic organism occurred at Gaip-ri, Tando Bay and Dori-po, Hampyung Bay	146
Table 3-2-1.	Outline of seawater flow experiment	152
Table 3-2-2.	Outline of wave experiment	171
Table 3-2-3.	Results of estimating external forcing experiment	176

Table 3-2-4. Harmonic separation result of test site	179
Table 3-2-5. Coordinates of survey stations in Manila clam test site	184
Table 3-2-6. Coordinates of survey stations in Gyeme cockle test site	185
Table 3-2-7. Sea environmental guidelines of Korea (MOE, 2009).....	202
Table 3-2-8. General water quality survey results around Gyeme	203
Table 3-2-9. Sediment particle size distribution around Namseong-ri, Goheung (November 2009)	216
Table 3-2-10. Sediment particle size distribution around Namseong-ri, Goheung (January 2010)	216
Table 3-2-11. Sediment particle size distribution around Namseong-ri, Goheung	217
Table 3-2-12. Sediment analysis results around Namseong-ri, Goheung	220
Table 3-2-13. Sediment analysis results around Namseong-ri, Goheung	220
Table 3-2-14. Sediment particle size distribution around Gyeme, Goheung	224
Table 3-2-15. Sediment analysis results around Gyeme, Goheung	226
Table 3-2-16. Phytoplankton species composition and standing stock (November 2009)	243
Table 3-2-17. Phytoplankton species composition and standing stock (January 2010).....	244
Table 3-2-18. Phytoplankton species composition and standing stock (May 2010)	245
Table 3-2-19. Phytoplankton species composition and standing stock (August 2010)	245
Table 3-2-20. The ecological indices of phytoplankton with stations (November 2009년).....	251
Table 3-2-21. Species, population density and biomass of benthic animals in Namseong-ri	255
Table 3-2-22. The dominant species of benthic animal community in Namseong-ri (November 2009).....	256
Table 3-2-23. The dominant species of benthic animal community in Namseong-ri (January 2010)	257
Table 3-2-24. The ecological indices of benthic animals in Namseong-ri (November 2009 and January 2010)	260
Table 3-2-25. Phytoplankton species composition and standing stock in cockle culture farm (November 2009)	263
Table 3-2-26. Phytoplankton species composition and standing stock in cockle culture farm during 2 nd test site (November 2010)	264

Table 3-2-27. Phytoplankton species composition and standing stock in 2 nd test site (February 2011)	265
Table 3-2-28. Ecological indices of phytoplankton by station (November 2009)	267
Table 3-2-29. Species by taxonomic group, population density and biomass of benthic animals (November 2009)	269
Table 3-2-30. The dominant species of benthic animal community in Gyeme (November 2010)	269
Table 3-2-31. The ecological indices of benthic animals in Gyeme (November 2009)	271
Table 3-2-32. Phytoplankton species composition and standing stock (September 2009)	274
Table 3-2-33. Phytoplankton species composition and standing stock (November 2009)	275
Table 3-2-34. Phytoplankton species composition and standing stock (January 2010)	277
Table 3-2-35. Ecological indices of phytoplankton by station	282
Table 3-2-36. The number of individuals occurred and biomass of benthic animals at test site (September 2009)	287
Table 3-2-37. The number of individuals occurred and % composition of biomass of benthic animals at test site (September 2009)	287
Table 3-2-38. The number of individuals occurred and biomass of benthic animals at test site (November 2009)	288
Table 3-2-39. The number of individuals occurred and % composition of biomass of benthic animals at test site (November 2009)	288
Table 3-2-40. The number of individuals occurred and biomass of benthic animals at test site (January 2010)	289
Table 3-2-41. The number of individuals occurred and % composition of biomass of benthic animals at test site (January 2009).....	289
Table 3-3-1. Long-term meteorological data from Goheung meteorological station (1971~2000)	296
Table 3-3-2. Benthic characteristics of shellfish culture farm	297
Table 3-3-3. Experimental results	307
Table 3-3-4. Conditions for calculation	312
Table 3-3-5. Calculation results	313
Table 3-3-6. The cross-sectional watercourse and characteristics of wave generator	322

Table 3-3-7.	Application example of Froude's Law of Comparison	325
Table 3-3-8.	Experimental wave data	326
Table 3-3-9.	Experimental results of existing porous mudflat dyke	332
Table 3-3-10.	Experimental results of improved porous mudflat dyke	334
Table 3-3-11.	Types and characteristics of compound culture	354
Table 3-4-1.	Latitudinal and longitudinal coordinates of horizontal net culture facility and pilot model of improved compound culture structure ...	392
Table 3-4-2.	Concept and diagram of oyster shell dyke reinforcement in area B	399
Table 3-4-3.	Methods of PE panel fixed inside the oyster shell and a diagram ...	399
Table 3-4-4.	Methods of reinforcing net mesh installation and a diagram	400
Table 3-4-5.	The construction cost for structural improvements of a shellfish culture farm using porous mudflat dyke and oyster shell.....	409
Table 3-4-6.	Amount of cockle transplant by Guiland model	414
Table 3-4-7.	Construction cost structural improvements of culture farm using mudflat levee	422
Table 3-4-8.	The species and number of individuals(ind./m ²) in Dori-po test site, Hampyung Bay	436
Table 3-4-9.	The biomass (g/m ²) of benthos in Dori-po test site, Hampyung Bay	436
Table 3-4-10.	Construction cost structural improvements of culture farm using porpus blocks and oyster shell	446
Table 3-4-11.	Average temperature and precipitation from Mokpo Meteorological station (2010)	450
Table 3-4-12.	Particle size distribution of sediments around Gyeme, Goheung.....	463
Table 3-4-13.	Average temperature and precipitation from Mokpo Meteorological station (2010).....	468
Table 3-4-14.	Environmental status of test sites in 2010	470
Table 3-5-1.	Shell length, shell dry weight, tissue dry weight and condition index of multi-use compound culture farm	478
Table 3-5-2.	Shell length, shell dry weight, tissue dry weight and condition index of improved shellfish culture farm	478
Table 3-5-3.	Average shell length, dry weight, filtration rate with time, and filtration rate per weight with feed type	483
Table 3-5-4.	Average shell length, dry weight, filtration rate with time, and filtration rate per weight at different temperature	483
Table 3-5-5.	Average shell length, dry weight, filtration rate with time,	

	and filtration rate of Manila clam	485
Table 3-5-6.	Biochemical composition of Manila clam	495
Table 3-5-7.	Shell length, shell dry weight, tissue dry weight, and condition index of cockle during the 1 st survey	498
Table 3-5-8.	Shell length, shell dry weight, tissue dry weight, and condition index of cockle during the 2 nd survey	499
Table 3-5-9.	Average shell length, dry weight, filtration rate with time, and filtration rate per weight each month	503
Table 3-5-10.	Average shell length, dry weight, and filtration rate per weight for typical cockle (adult).....	503
Table 3-5-11.	Biochemical composition of cockle	505

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	81
제1절	연구배경	81
제2절	연구개발 필요성 및 내용	82
제 2 장	국내외 기술개발 현황	87
제1절	국내 기술 현황	87
제2절	국외 기술 현황	93
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	97
제1절	패류양식 기반조사	97
1.	패류양식 생산규모	97
2.	패류양식장의 현황	114
3.	대상수역 선정	131
제2절	해역의 특성	148
1.	물리환경	148
2.	수질	183
3.	저질	209
4.	생물	240
제3절	패류양식장의 구조/배치 개선	291
1.	갯벌둑 패류양식시설 설계를 위한 설계인자 검토	291
2.	바지락 양식장 갯벌둑 개발	309
3.	갯벌두렁: 꼬막양식장	351
4.	다목적이용 복합양식	353
제4절	패류양식시설 기능개선 진단	362
1.	구조물 진단	362
2.	생산성 진단	402

3. 양식환경변화 진단.....	447
제5절 대상 생물의 생리 및 생화학적 분석.....	477
1. 생리 및 생화학적 조성 비교	477
2. 패류종별 먹이섭식 양식 및 효율측정	506
3. 대상생물의 적정 종패 살포량.....	518
제6절 생산성 향상을 위한 패류양식시설 제안.....	520
1. 패각 내장형 갯벌갯벌둑(바지락).....	520
2. 지오투브형 갯벌둑(꼬막).....	523
제7절 갯벌둑의 설계/시설 매뉴얼 수립	525
1. 적지선정 및 해역평가.....	525
2. 패류양식시설의 설계 및 유지관리.....	526
제8절 종합 및 결론.....	528
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도.....	533
제1절 1차년도.....	533
제2절 2차년도.....	534
제3절 3차년도.....	535
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획.....	539
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보.....	543
제 7 장 참고문헌.....	553

그림 목 차

그림 1-2-1.	연구흐름도	84
그림 2-1-1.	국내 패류양식장의 운영사례	87
그림 2-1-2.	바지락의 표준 설계도 및 전개도(살포식)	88
그림 2-1-3.	꼬막의 표준 설계도 및 전개도(살포식)	89
그림 2-1-4.	전라북도 고창군 하전리 바지락양식장 모습	91
그림 2-1-5.	전라남도 고흥군 남성리의 바지락양식장 전경	92
그림 2-1-6.	고흥의 백일도 바지락양식장 개발	92
그림 2-2-1.	중국 저장성 휘환현의 패류양식장	94
그림 2-2-2.	우리나라와 중국 패류양식장의 대표적인 구조도면 예시	94
그림 3-1-1.	일반해면의 전국 패류 생산동향(생산량, 생산금액)	98
그림 3-1-2.	천해양식의 전국 패류 생산동향(생산량, 생산금액)	98
그림 3-1-3.	우리나라 바지락의 생산량 및 생산금액(1990~2010년)	100
그림 3-1-4.	바지락의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액)	101
그림 3-1-5.	우리나라 꼬막 생산량 및 생산금액(1990~2010년)	103
그림 3-1-6.	꼬막의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액)	104
그림 3-1-7.	바지락·꼬막의 연도별 kg당 평균가격	104
그림 3-1-8.	우리나라 바지락의 수출입량 및 금액	105
그림 3-1-9.	중국 수산물 생산의 세계적 위상 자료 : IFPRI(2003.10)	108
그림 3-1-10.	일본의 수산물 무역수지 추이	111
그림 3-1-11.	일본의 바지락 생산과 수입동향(Tezuka and Hamaguchi, 2004)	112
그림 3-1-12.	우리나라와 중국의 수산물 도매시장에서 바지락 판매가격 비교	113
그림 3-1-13.	2007년 전국 패류 양식장 면적	117
그림 3-1-14.	전국 패류 양식장 어업권 현황	117
그림 3-1-15.	2007년 바지락·꼬막의 양식장 면적	118
그림 3-1-16.	바지락·꼬막의 양식어업권 현황	118
그림 3-1-17.	우리나라의 남·서해안 지형특성	120
그림 3-1-18.	태풍 주요 경로도	122
그림 3-1-19.	전해역 심해설계파랑 계산격자(해양연구원, 2005)	125
그림 3-1-20.	전해역 심해설계파랑의 분포	126
그림 3-1-21.	해역별 발달하는 파랑제원	127
그림 3-1-22.	해역별 발달하는 유의파주기의 범위	127
그림 3-1-23.	해역별 발달하는 유의파고의 범위	127
그림 3-1-24.	각 해역에 발달하는 조류특성	130

그림 3-1-25.	3개 지역의 시험어장(바지락, 꼬막, 복합).....	131
그림 3-1-26.	고흥군 바지락 양식장 구조 및 전경.....	132
그림 3-1-27.	계매 꼬막 양식장 시험포구조 및 전경.....	133
그림 3-1-28.	갯벌 연안 환경조사 정점.....	134
그림 3-1-29.	2008~2009년 목포, 영광 지역의 월별 기온 분포.....	135
그림 3-1-30.	2008~2009년 목포, 영광 지역의 월별 강수량.....	135
그림 3-1-31.	2008~2009년 영산강하구 월별 담수 배출량.....	136
그림 3-1-32.	2008~2009년 월별 수온 변동.....	137
그림 3-1-33.	2008~2009년 월별 염분 변동.....	137
그림 3-1-34.	2008~2009년 월별 수소이온농도(pH) 변동.....	137
그림 3-1-35.	2008~2009년 월별 용존산소(DO) 변동.....	139
그림 3-1-36.	2008~2009년 월별 부유물질(SS) 변동.....	139
그림 3-1-37.	2008~2009년 월별 화학적산소요구량(COD) 변동.....	139
그림 3-1-38.	2008~2009년 월별 용존무기질소(DIN) 변동.....	140
그림 3-1-39.	2008~2009년 월별 용존무기인(DIP) 변동.....	140
그림 3-1-40.	2008~2009년 월별 엽록소-a(chl-a) 변동.....	140
그림 3-1-41.	2008~2009년 계절별 저질 강열감량(IL) 변동.....	141
그림 3-1-42.	2008~2009년 계절별 저질 화학적산소요구량(COD) 변동.....	141
그림 3-1-43.	2008~2009년 계절별 저질 산취발성황화물(AVS) 변동.....	142
그림 3-1-44.	시험어장 후보지 및 조사 정점.....	143
그림 3-1-45.	함평만·도리포 시험어장 후보지에서 과거에 운영하던 투석식 굴양식장.....	147
그림 3-1-46.	함평만·도리포 시험어장 후보지의 배후지로부터 담수 유입.....	147
그림 3-1-47.	시험어장 공고판.....	147
그림 3-2-1.	남성리 패류양식장의 수심조사 결과.....	148
그림 3-2-2.	남성리 패류양식장의 종단측량 결과.....	149
그림 3-2-3.	계매리 패류양식장 수심도.....	150
그림 3-2-4.	도리포 패류양식장 수심도.....	151
그림 3-2-5.	조류개황.....	159
그림 3-2-6.	고흥 남성리 및 계매해역의 최강 창조류 분포도.....	162
그림 3-2-7.	고흥 남성리 및 계매해역의 최강 낙조류 분포도.....	163
그림 3-2-8.	도리포해역의 최강 창조류벡터도.....	164
그림 3-2-9.	도리포해역의 최강 창조류벡터도(상세역).....	165
그림 3-2-10.	도리포해역의 최강낙조류벡터도.....	166
그림 3-2-11.	도리포해역의 최강낙조류벡터도(상세역).....	167
그림 3-2-12.	남성리, 계매, 도리포해역의 설계유속 분포.....	168
그림 3-2-13.	남성리 및 계매리 대상해역.....	172
그림 3-2-14.	남성리 및 계매리해역의 심해설계과 입사파랑조건.....	172

그림 3-2-15. 남성리 및 계매리해역의 평상파조건 173

그림 3-2-16. 고흥 남성리해역의 심해설계파 파고 및 주기..... 174

그림 3-2-17. 고흥 남성리해역의 심해설계파 파고 및 파향벡터도 174

그림 3-2-18. 고흥 계매리해역의 심해설계파 파고 및 주기..... 175

그림 3-2-19. 고흥 계매리해역의 심해설계파 파고 및 파향벡터도 175

그림 3-2-20. 대상해역(남성리) 내 25시간 정점관측 위치 176

그림 3-2-21. 시간별 유속 변화..... 177

그림 3-2-22. 시간별 유향 변화..... 177

그림 3-2-23. 복합양식장 시험어장 환경정밀조사 정점 178

그림 3-2-24. 시험어장의 조위 관측결과 179

그림 3-2-25. 시험어장 저조선에서 노출시간..... 180

그림 3-2-26. 함평만 시험어장 조류 vector map..... 180

그림 3-2-27. 함평만 시험어장 조류 scatter map..... 181

그림 3-2-28. 저조선에 설치한 파랑계(RBR-TWR)..... 182

그림 3-2-29. 함평만 시험어장 파랑 관측 및 분석결과 182

그림 3-2-30. 바지락 시험어장의 수질환경조사 정점 183

그림 3-2-31. 바지락 시험어장의 퇴적환경조사 정점 183

그림 3-2-32. 꼬막 시험어장의 환경 조사 정점 184

그림 3-2-33. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 수온변화 및 수평분포..... 187

그림 3-2-34. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 염분의 변화 및 수평분포 188

그림 3-2-35. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 용존산소의 수평분포 189

그림 3-2-36. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 수소이온의 변화 및 수평분포 190

그림 3-2-37. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 아질산염의 수평분포 191

그림 3-2-38. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 질산염의 수평분포 192

그림 3-2-39. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 암모니아염의 수평분포 193

그림 3-2-40. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 인산염의 수평분포 194

그림 3-2-41. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 규산염의 수평분포 195

그림 3-2-42. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 부유물질의 수평분포 196

그림 3-2-43. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 화학적산소요구량의 수평분포 197

그림 3-2-44. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 총질소의 수평분포 199

그림 3-2-45. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 총인의 수평분포 200

그림 3-2-46. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 엽록소-a의 수평분포 201

그림 3-2-47. 시험어장의 조간대 및 조하대 지역에서 수온, 염분, 엽록소-a, 용존산소 연직구조의 계절 변화..... 205

그림 3-2-48. 수온, 염분, 엽록소-a, 용존산소 계절 변동 206

그림 3-2-49. 시험어장에서 암모니아, 아질산염, 질산염, 인산염, 규산염 영양염류 계절변화 207

그림 3-2-50.	시험어장에서 N/P ratio 계절 변화.....	208
그림 3-2-51.	고흥 남성리 현장조사 주변.....	212
그림 3-2-52.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	213
그림 3-2-53.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	213
그림 3-2-54.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	214
그림 3-2-55.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	214
그림 3-2-56.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	215
그림 3-2-57.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	215
그림 3-2-58.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 COD.....	218
그림 3-2-59.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 강열감량.....	219
그림 3-2-60.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 저질염록소-a.....	219
그림 3-2-61.	고흥 계매 현장조사 주변.....	222
그림 3-2-62.	Folk & Ward 방법에 의한 고흥 계매, 남성리 주변 해양퇴적물의 분류.....	223
그림 3-2-63.	고흥 계매 주변 해양퇴적물의 화학적산소요구량.....	225
그림 3-2-64.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 강열감량.....	225
그림 3-2-65.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 저질염록소-a.....	226
그림 3-2-66.	시험어장 표층 퇴적물의 gravel 함량 변동.....	228
그림 3-2-67.	시험어장 표층 퇴적물의 sand 함량 변동.....	229
그림 3-2-68.	시험어장 표층 퇴적물의 mud 함량 변동.....	230
그림 3-2-69.	시험어장 고도변화.....	231
그림 3-2-70.	주상시료 채취 및 전처리.....	232
그림 3-2-71.	주상시료 단면.....	232
그림 3-2-72.	정점D2의 입도 분석결과.....	233
그림 3-2-73.	정점 D2의 주상시료 저질환경 상태.....	233
그림 3-2-74.	정점B3의 주상시료 입도 분석결과.....	234
그림 3-2-75.	정점B3 주상시료의 저질환경 상태.....	234
그림 3-2-76.	함평만 시험어장의 표층퇴적물 강열감량(IL)분포 및 계절 변화.....	236
그림 3-2-77.	함평만 시험어장의 표층퇴적물 화학적산소요구량분포 및 계절 변화.....	237
그림 3-2-78.	함평만 시험어장의 표층퇴적물 산화발성황화물(AVS)분포 및 계절 변화.....	238
그림 3-2-79.	함평만 시험어장의 표층퇴적물 저질염록소-a 변화.....	239
그림 3-2-80.	계절에 따른 식물플랑크톤의 정점별 현존량 및 출현종수 분포.....	247
그림 3-2-81.	계절에 따른 정점별 식물플랑크톤 종조성 변화.....	248
그림 3-2-82.	계절에 따른 식물플랑크톤의 우점종 출현현황.....	250
그림 3-2-83.	식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도.....	252
그림 3-2-84.	고흥 남성리 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집조성.....	253
그림 3-2-85.	고흥 남성리 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집조성 비율.....	254
그림 3-2-86.	2009년 11월 고흥 남성리의 각 조사정점에서 출현한	

	대형저서동물 군집의 종수, 서식밀도 및 생물량.....	258
그림 3-2-87.	2010년 2월 고흥 남성리의 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물 군집의 종수, 서식밀도 및 생물량.....	259
그림 3-2-88.	2009년 11월 고흥 남성리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법.....	261
그림 3-2-89.	2010년 1월 고흥 계매리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법.....	262
그림 3-2-90.	식물플랑크톤의 우점종 출현현황.....	266
그림 3-2-91.	2009년 11월에 고흥 계매 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집조성 비율.....	268
그림 3-2-92.	2009년 11월 고흥 계매의 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물 군집의 종수, 서식밀도 및 생물량.....	270
그림 3-2-93.	2009년 11월 고흥 계매리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법.....	272
그림 3-2-94.	식물플랑크톤의 정점별 현존량 및 출현종수 분포.....	278
그림 3-2-95.	정점별 식물플랑크톤 종조성 변화.....	279
그림 3-2-96.	식물플랑크톤의 우점종 출현현황.....	281
그림 3-2-97.	식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS.....	283
그림 3-2-98.	식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS.....	284
그림 3-2-99.	식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS.....	285
그림 3-2-100.	시험어장 출현 저서생물의 시기별, 지점별 출현종/출현량 조성비.....	290
그림 3-3-1.	남성리 패류양식장의 대표적 구조형식.....	292
그림 3-3-2.	자루적재형 갯벌경계둑의 모습.....	293
그림 3-3-3.	경계석형의 갯벌경계둑의 모습.....	294
그림 3-3-4.	지주식 경계둑의 모습.....	294
그림 3-3-5.	고흥 남성리 패류양식장 및 위성사진을 통한 양식장 배치 현황.....	295
그림 3-3-6.	남성리 패류양식장의 침수/간출 패턴 조사결과.....	298
그림 3-3-7.	남성리 패류양식장의 구조분석 결과.....	299
그림 3-3-8.	대조기(낙조시) 남성리 패류양식장의 시간대별 수면 변동 모니터링.....	300
그림 3-3-9.	대조기(창조시) 남성리 패류양식장의 시간대별 수면 변동.....	300
그림 3-3-10.	대조기 남성리 패류양식장의 수면 변동 패턴.....	301
그림 3-3-11.	남성리 패류양식장내로 유입하는 소하천.....	302
그림 3-3-12.	대상해역 유입하천의 유역면적.....	302
그림 3-3-13.	유입하천의 유입량 변동.....	303
그림 3-3-14.	대상해역(남성리) 바지락 생산성의 청취결과.....	303
그림 3-3-15.	갯벌둑 주요 설계인자.....	304
그림 3-3-16.	투수계수 실험장치.....	305

그림 3-3-17.	투수계수 실험에 사용된 재료.....	306
그림 3-3-18.	저질입경에 따른 구조물의 침퇴적 특성.....	308
그림 3-3-19.	갯벌둑의 최적형상특성 도출을 위한 수치시뮬레이션 모식도.....	309
그림 3-3-20.	계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=30^\circ$).....	314
그림 3-3-21.	계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=30^\circ$).....	314
그림 3-3-22.	계산장면(h=50cm, H=5cm, $\theta=30^\circ$).....	315
그림 3-3-23.	계산장면(h=50cm, H=10cm, $\theta=30^\circ$).....	315
그림 3-3-24.	계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=45^\circ$).....	316
그림 3-3-25.	계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=45^\circ$).....	316
그림 3-3-26.	계산장면(h=50cm, H=5cm, $\theta=45^\circ$).....	317
그림 3-3-27.	계산장면(h=50cm, H=10cm, $\theta=45^\circ$).....	317
그림 3-3-28.	계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=60^\circ$).....	318
그림 3-3-29.	계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=60^\circ$).....	318
그림 3-3-30.	계산장면(h=50cm, H=5cm, $\theta=60^\circ$).....	319
그림 3-3-31.	계산장면(h=50cm, H=10cm, $\theta=60^\circ$).....	319
그림 3-3-32.	계산결과(h=25cm).....	320
그림 3-3-33.	계산결과(h=50cm).....	320
그림 3-3-34.	단면수로 모식도.....	322
그림 3-3-35.	불규칙파의 조파순서.....	328
그림 3-3-36.	기존 다공질 갯벌둑의 설치모습.....	330
그림 3-3-37.	개선 다공질 갯벌둑의 설치모습.....	330
그림 3-3-38.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=0.3m).....	336
그림 3-3-39.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=0.3m).....	336
그림 3-3-40.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=1.8m).....	337
그림 3-3-41.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=1.8m).....	337
그림 3-3-42.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면(h=3.33m).....	338
그림 3-3-43.	기존 다공질 갯벌둑 실험장면(h=4.8m).....	338
그림 3-3-44.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=0.3m).....	339
그림 3-3-45.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=0.3m).....	339
그림 3-3-46.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=1.8m).....	340
그림 3-3-47.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=1.8m).....	340
그림 3-3-48.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=3.33m).....	341
그림 3-3-49.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=3.33m).....	341
그림 3-3-50.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=4.8m).....	342
그림 3-3-51.	개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=4.8m).....	342
그림 3-3-52.	다공질 갯벌둑 형상(1차).....	344
그림 3-3-53.	갯벌수조 제원 및 시설전경.....	346

그림 3-3-54.	바지락의 저질개선 시험구 조성 과정	347
그림 3-3-55.	바지락 실험 전·후의 각장 평균 및 평균 무게	348
그림 3-3-56.	저질구조개선 현장 진단 실험 각장 변화	349
그림 3-3-57.	저질구조개선 현장 진단 실험 각장 증가량	349
그림 3-3-58.	저질구조개선 현장 진단 실험 총중량 변화	350
그림 3-3-59.	저질구조개선 현장 진단 실험 총중량 증가량	350
그림 3-3-60.	중국의 갯벌독을 이용한 꼬막양식장과 꼬막종패 사진	351
그림 3-3-61.	해수를 저장하기 위한 갯벌두렁 특허출원	352
그림 3-3-62.	프랑스 로르망디 수평망 양식시설 배치 개념도(1,200 세트/ha)	356
그림 3-3-63.	국내 수평망식 양식시설 배치 개념도(540 세트/ha)	356
그림 3-3-64.	수평망식 양식시설 시설위치	357
그림 3-3-65.	수평망식 양식시설 시설 전경	357
그림 3-3-66.	수평망식 양식시설 현장 운반	358
그림 3-3-67.	수평망식 양식시설 설치	358
그림 3-3-68.	양성망 설치 및 입식완료	359
그림 3-3-69.	복합양식을 위한 시험어장 수평망식 양식시설 시설 전경	359
그림 3-3-70.	경계둑 설치시 외력에 대한 기본모형	360
그림 3-3-71.	경계관 설치시 효과	360
그림 3-3-72.	경계둑 설치 및 수평망식 양식시설 복합양식 구조개선 모식도	361
그림 3-4-1.	다공질 갯벌독을 이용한 경계둑 조성 및 저질개선 바지락 양식장	362
그림 3-4-2.	남성리 바지락 양식장 구조물에 쓰일 자재	363
그림 3-4-3.	양식장의 구조물(경계석) 만드는 과정	364
그림 3-4-4.	양식장의 구조물(경계석) 설치하는 과정	365
그림 3-4-5.	완성된 바지락 시험포	366
그림 3-4-6.	다공질 갯벌독과 갯벌경계둑의 현장시공사진	367
그림 3-4-7.	시공시 시공단차의 발생	367
그림 3-4-8.	갯벌독사이 해수유출에 의한 세굴발생	368
그림 3-4-9.	세굴로 인한 구조물의 전도	368
그림 3-4-10.	고흥 계매에 펼둑으로 꼬막양식장의 경계를 조성한 모습	369
그림 3-4-11.	펼둑의 경계부가 퇴적물이 집적되어 구분이 어렵게 된 모습	369
그림 3-4-12.	갯벌두렁 구조물 모습(500mm × 300mm × 1,100mm)	370
그림 3-4-13.	갯벌두렁 구조물의 뒤틀림 현상	370
그림 3-4-14.	갯벌두렁 구조물 설치시 빈 공간 처리 모습	371
그림 3-4-15.	갯벌두렁 현장 구조물 설치 작업	371
그림 3-4-16.	1/4로 절단된 PE관, 시험포 설치 장소에서의 물 투수성 실험	372
그림 3-4-17.	시험포 현장 구조물에 쓰일 PE관 및 PE판넬	372
그림 3-4-18.	시험포 설치 구조도	373

그림 3-4-19.	PE판넬 및 PE관 운반모습.....	373
그림 3-4-20.	PE관 설치.....	374
그림 3-4-21.	PE판넬 설치 모습.....	375
그림 3-4-22.	대나무(판과 판사이)와 앵글(판의 모서리)를 이용한 PE판넬 고정.....	376
그림 3-4-23.	시험포에서 떼내려온 PE관 및 PE판넬.....	376
그림 3-4-24.	2인1조 PE판넬을 펼 속에 고정하는 작업.....	377
그림 3-4-25.	PE판넬 고정 작업 과정.....	378
그림 3-4-26.	11월 8일 설치한 시험포 모형도.....	379
그림 3-4-27.	2차 시험포 설치후 PE판넬 유실 모습.....	380
그림 3-4-28.	PE판넬 사이의 웅덩이.....	380
그림 3-4-29.	T이음기둥 설치 및 계획도.....	381
그림 3-4-30.	T-이음기둥설치 및 PE판넬 연결 모습.....	382
그림 3-4-31.	갯벌에 넘어진 PE판넬.....	383
그림 3-4-32.	방수천 작업후 시험포에 갇힌 물.....	384
그림 3-4-33.	고흥계매 설치 자재 및 구조물 도안.....	385
그림 3-4-34.	방수천을 이용한 소규모 시험포 설치.....	385
그림 3-4-35.	방수천 설치 후 간조와 만조시 모습.....	386
그림 3-4-36.	방수천 설치 후 30일 경과 후 모습.....	387
그림 3-4-37.	4차 작업시 방수천 설치 도안.....	388
그림 3-4-38.	방수천 설치 후 간조와 만조시 모습.....	388
그림 3-4-39.	방수천안의 물의 깊이와 외부 전경.....	389
그림 3-4-40.	방수천 설치 도안과 설치 전경.....	390
그림 3-4-41.	방수천 설치 후 간조와 만조시 모습.....	390
그림 3-4-42.	서해안 시험어장 패류양식장 복합양식 구조개선 시설 실험 모식도.....	391
그림 3-4-43.	수평망식 양식시설 및 복합양식 구조개선 Pilot 모형 시설 위치.....	392
그림 3-4-44.	복합양식구조개선 Pilot 모형 시설을 위해 준비한 굴망태.....	393
그림 3-4-45.	복합양식구조개선 Pilot 모형 시설을 위해 시험어장으로 운반중인 수평망양식시설.....	393
그림 3-4-46.	서해안 시험어장 패류양식장 구조개선 시설 작업전경.....	394
그림 3-4-47.	서해안 시험어장 패류양식장 구조개선 설치 전경.....	395
그림 3-4-48.	서해 함평만 시험어장에 시설 4개월 후 수평망식 양식시설 상태.....	396
그림 3-4-49.	함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 Pilot 모델 시설 A구역의 구조개선안 모니터링 결과.....	397
그림 3-4-50.	함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 Pilot 모델 시설 B구역 구조개선안 모니터링 결과.....	398
그림 3-4-51.	수평망식 양식시설 + 바지락 복합양식 조성 모식도.....	400
그림 3-4-52.	곤파스 태풍에 의한 구조물 피해 결과.....	401

그림 3-4-53. 고흥 남성리 구조개선 패류양식장 입체양식 시설..... 402

그림 3-4-54. 구조개선 바지락 양식 시험어장 위치도..... 403

그림 3-4-55. 구조개선 된 시험어장의 대조구 및 실험구 바지락 생존률 변화..... 404

그림 3-4-56. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 각장 성장 변화..... 404

그림 3-4-57. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 중량 변화..... 405

그림 3-4-58. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 비만도 변화..... 405

그림 3-4-59. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 각장 성장 변화..... 407

그림 3-4-60. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 중량 변화..... 407

그림 3-4-61. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 비만도 변화..... 408

그림 3-4-62. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 생존율 변화..... 408

그림 3-4-63. 1차 시험포 조성에 쓰일 꼬막종패 입식(1차; 2010년 11월)..... 409

그림 3-4-64. A, B 시험포에서 채취한 꼬막..... 410

그림 3-4-65. 시험포 안에서 폐사한 꼬막 모습(좌 : A 시험포, 우 : B 시험포)..... 411

그림 3-4-66. 2000년~2011년 1월 고흥의 평균 기온 기상청 www.kma.go.kr..... 411

그림 3-4-67. 고흥 시험포 갯벌 주변의 얼음..... 412

그림 3-4-68. 2010년 11월 살포한 꼬막 종패와 2010년 2월에 꼬막양식장에서
채집한 꼬막의 각장(mm), 전중량(g), 건강도 지수(CI), 비만도(W/L³)..... 413

그림 3-4-69. Guiland 모델의 꼬막 입식량..... 414

그림 3-4-70. Guiland 모델 시험구안의 모습..... 415

그림 3-4-71. Guiland 모델 시험구안의 꼬막 모습..... 415

그림 3-4-72. 꼬막종패 입식 4개월 후 시험구 안의 모습..... 416

그림 3-4-73. 물이 든 시험구의 꼬막 모습..... 416

그림 3-4-74. 2차 시험포 조성에 쓰일 꼬막종패 입식(2차; 2011년 4월)..... 417

그림 3-4-75. 2011년 9월 28일 대조구와 시험포에서 채집한 꼬막종패..... 418

그림 3-4-76. 시험포와 꼬막양식장에서 5개월간 육성한
꼬막의 각장(mm), 전중량(g) 변화..... 419

그림 3-4-77. 시험포, 대조구, 양식장의 꼬막의 평균 각장(mm), 전중량(g),
건강도 지수, 비만도 변화..... 420

그림 3-4-78. 시험포와 꼬막양식장에서 1년간 육성한 꼬막의 각장(mm), 전중량(g) 변화..... 421

그림 3-4-79. 다목적 이용 입체 양식 시설위치도 및 조사정점..... 423

그림 3-4-80. 고흥 남성리 다목적 이용 복합양식 생산성 진단 위치도..... 423

그림 3-4-81. 함평만 도리포 시험어장 3배체 개체굴(참굴) 체장 대 체중 상관곡선..... 425

그림 3-4-82. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 체장 성장 변화..... 426

그림 3-4-83. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 성장 변화..... 426

그림 3-4-84. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 각폭 성장 변화..... 427

그림 3-4-85. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 전중량 변화..... 427

그림 3-4-86. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화..... 428

그림 3-4-87.	함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화.....	428
그림 3-4-88.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 전장 변화.....	429
그림 3-4-89.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 변화.....	429
그림 3-4-90.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 각폭 변화.....	430
그림 3-4-91.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 전중량 변화.....	430
그림 3-4-92.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화.....	431
그림 3-4-93.	함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화.....	431
그림 3-4-94.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 전장 변화.....	432
그림 3-4-95.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 변화.....	432
그림 3-4-96.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 각폭 변화.....	433
그림 3-4-97.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 전중량 변화.....	433
그림 3-4-98.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화.....	434
그림 3-4-99.	함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화.....	434
그림 3-4-100.	함평만 도리포 시험어장에서 출현한 바지락 전장 대 전중량 상관곡선...	437
그림 3-4-101.	함평만 도리포 시험어장에서 월별 바지락 출현양상.....	438
그림 3-4-102.	함평만 도리포 시험어장 정점 실험구에서 바지락 개체 출현양상.....	439
그림 3-4-103.	함평만 도리포 시험어장 정점 대조구에서 바지락 개체 출현양상.....	440
그림 3-4-104.	남성리 복합양식 시험어장 개체굴 전장 성장.....	441
그림 3-4-105.	남성리 복합양식 시험어장 개체굴 각고 성장.....	442
그림 3-4-106.	남성리 복합양식 시험어장 개체굴 각폭 변화.....	442
그림 3-4-107.	남성리 복합양식 시험어장 개체굴 전중량 변화.....	443
그림 3-4-108.	남성리 복합양식 시험어장 개체굴 비만도 변화.....	443
그림 3-4-109.	남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 전장 성장 변화	444
그림 3-4-110.	남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 중량 성장 변화	444
그림 3-4-111.	남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 비만도 성장 변화	445
그림 3-4-112.	저비용 소재를 활용한 수평망식 양식시설 예.....	446
그림 3-4-113.	남성리 시험어장 환경 조사 정점.....	447
그림 3-4-114.	고흥 남성리 시험어장 수온 변동.....	448
그림 3-4-115.	고흥 남성리 시험어장 염분 변동.....	448
그림 3-4-116.	고흥 남성리 시험어장 pH 변화.....	449
그림 3-4-117.	고흥 남성리 시험어장 DO 변화.....	449
그림 3-4-118.	고흥 남성리 시험어장 COD 변화.....	450
그림 3-4-119.	고흥 남성리 시험어장 DIN 변화.....	451
그림 3-4-120.	고흥 남성리 시험어장 DIP 변화.....	451
그림 3-4-121.	고흥 남성리 시험어장 Chl- <i>a</i> 변화.....	452
그림 3-4-122.	고흥 남성리 구조개선 시험어장 저질 환경 조사 위치도.....	453
그림 3-4-123.	남성리 시험어장 입도 분석결과.....	454

그림 3-4-124. 남성리 시험어장 굴폐각 투입에 따른 입도 조성 변화..... 454

그림 3-4-125. 남성리 시험어장 함수율 분석결과..... 455

그림 3-4-126. 남성리 시험어장 강열감량 분석결과..... 455

그림 3-4-127. 남성리 시험어장 저질화학적산소요구량 분석결과..... 456

그림 3-4-128. 남성리 시험어장 산취발성황화물 분석결과..... 456

그림 3-4-129. 남성리 시험어장 저질염록소-a 분석결과..... 457

그림 3-4-130. 꼬막 시험어장의 환경 조사 정점..... 458

그림 3-4-131. 고흥 계매리 시험포 주변과 양식장의 부유물질, 화학적산소요구량 변화..... 459

그림 3-4-132. 고흥 계매리 시험포 주변과 양식장의 총질소, 총인, 염록소-a 변화..... 460

그림 3-4-133. 1차 꼬막 입식 후 퇴적물변화..... 461

그림 3-4-134. 2차 꼬막 입식 후 퇴적물변화..... 462

그림 3-4-135. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 화학적산소요구량 변화..... 464

그림 3-4-136. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 화학적산소요구량 변화..... 464

그림 3-4-137. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 강열감량변화..... 465

그림 3-4-138. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 강열감량변화..... 465

그림 3-4-139. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 염록소-a 변화..... 466

그림 3-4-140. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 염록소-a 변화..... 466

그림 3-4-141. 함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 환경 조사 위치도..... 467

그림 3-4-142. 함평만 도리포 시험어장 수온, 염분, 염록소-a 변화..... 469

그림 3-4-143. 함평만 도리포 시험어장 용존산소, 화학적산소요구량,
용존무기질소, 용존무기인, 부유물질 변화..... 469

그림 3-4-144. 고흥 남성리 다목적 이용 입체양식 저질 환경 조사 위치도..... 471

그림 3-4-145. 시험어장 평균입도 월별 변화..... 471

그림 3-4-146. 시험어장 퇴적물 gravel, sand, mud 성분비율 변화..... 472

그림 3-4-147. 시험어장 퇴적물 함수율 변화..... 472

그림 3-4-148. 시험어장 퇴적물 강열감량(IL) 변화..... 473

그림 3-4-149. 시험어장 저질 화학적산소요구량(COD) 변화..... 473

그림 3-4-150. 시험어장 퇴적물 산취발성황화물(AVS) 변화..... 473

그림 3-4-151. 시험어장 퇴적물 표층 저질염록소-a 변화..... 474

그림 3-4-152. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장의 퇴적물 함수율 비교..... 474

그림 3-4-153. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 화학적산소요구량 비교..... 475

그림 3-4-154. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 강열감량 비교..... 475

그림 3-4-155. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 염록소-a 비교..... 476

그림 3-5-1. 바지락 각장 변화..... 479

그림 3-5-2. 바지락 조직 건조량 변화..... 479

그림 3-5-3. 바지락 건강도 지수 변화..... 479

그림 3-5-4. 먹이 별 여수율에 사용 된 플랑크톤..... 481

그림 3-5-5.	바지락의 온도 별 여수율 측정.....	476
그림 3-5-6.	바지락의 온도별 여수율.....	482
그림 3-5-7.	바지락의 크기별 여수율.....	484
그림 3-5-8.	온도별 바지락의 호흡률 결과.....	485
그림 3-5-9.	바지락의 온도별 성장잠재력 결과.....	486
그림 3-5-10.	바지락 조지질 측정 중 Soxhlet 추출기에 장착할 원통여과지.....	488
그림 3-5-11.	Soxhlet 추출기에 원통여과지를 장착한 모습.....	490
그림 3-5-12.	킬달질소측정기구(JP SELECTA, SP/PRO-NI TRO).....	490
그림 3-5-13.	지시약에 반응하여 푸른색을 띠.....	492
그림 3-5-14.	바지락의 일반성분 비교.....	492
그림 3-5-15.	폴리염화비페닐류(PCBs) 분석을 위한 전처리 흐름도.....	496
그림 3-5-16.	꼬막 각장 변화.....	497
그림 3-5-17.	꼬막 조직 건중량 변화.....	500
그림 3-5-18.	꼬막 건강도 지수 변화.....	500
그림 3-5-19.	꼬막의 월 별 여수율 측정하는 모습.....	500
그림 3-5-20.	꼬막의 수온 별 여수율 측정.....	501
그림 3-5-21.	여수율 측정 시 먹이의 감소량.....	502
그림 3-5-22.	생화학조성 분석 전 동결건조 후 분말상태로 만드는 모습.....	503
그림 3-5-23.	먹이별 탄소동화효율 측정 실험을 도식화함.....	504
그림 3-5-24.	먹이별 탄소동화효율 측정 중 배설물 채집.....	507
그림 3-5-25.	부유사농도 별 탄소동화효율 측정.....	508
그림 3-5-26.	먹이 별 탄소동화효율 결과.....	510
그림 3-5-27.	부유사 농도별 탄소동화효율 결과.....	511
그림 3-5-28.	원심분리 한 C14 표지 된 조류.....	513
그림 3-5-29.	꼬막의 탄소동화효율 측정.....	514
그림 3-5-30.	꼬막의 탄소 동화 효율 측정 (여과).....	515
그림 3-5-31.	먹이별 탄소동화효율 측정 중 배설물 채집, 배설물.....	516
그림 3-5-32.	배출 된 배설물의 C14 activity.....	516
그림 3-6-1.	패각내장형 투수성 갯벌둑의 모습.....	517
그림 3-6-2.	패각내장형 투수성 갯벌둑의 월류특성.....	521
그림 3-6-3.	갯벌용 앵커갯벌둑의 예.....	522
그림 3-6-4.	지오투브의 시설사진(실험실).....	523
그림 3-6-5.	지오투브의 현장시설사진.....	524
그림 6-1-1.	중국 장하 패류센터.....	543
그림 6-1-2.	중국 장하 지역 바지락 종묘생산.....	543
그림 6-1-3.	중국 복건지역의 바지락 종패생산을 위한 축제식 양식장.....	544
그림 6-1-4.	중국 패류양식장 경계구획 예.....	545

그림 6-1-5.	북미 지역 바지락 종묘생산 개념도.....	545
그림 6-1-6.	북미와 유럽의 바지락 양식 생산주기 모식도.....	547
그림 6-1-7.	종패 살포 후 해적생물로부터 보호하기 위한 보호망 설치.....	547
그림 6-1-8.	일반적인 바지락 수확과정.....	548
그림 6-1-9.	일본 세토나이카이 바지락 수확 기계화 시설.....	549
그림 6-1-10.	유럽지역의 바지락 기계화 수확장비.....	550
그림 6-1-11.	프랑스 갯벌에서의 굴양식업.....	550

표 목 차

표 1-1-1.	지역별 갯벌면적, 패류생산량 그리고 생산금액.....	82
표 3-1-1.	전국 패류의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액).....	97
표 3-1-2.	바지락 생산량(1990~2010) 및 생산금액.....	99
표 3-1-3.	꼬막 생산량(1990~2010) 및 생산금액.....	102
표 3-1-4.	바지락 최대 수출국 및 수출가.....	106
표 3-1-5.	바지락 최대 수입국 및 수입가.....	106
표 3-1-6.	중국의 수산물 생산량.....	109
표 3-1-7.	중국의 지역별 어업생산량(2002)	109
표 3-1-8.	중국 해면어업별 생산량 추이.....	110
표 3-1-9.	일본의 해면 양식수산물 생산량 추이	110
표 3-1-10.	한중일 양식업 및 해면어업 생산량 추이(2002~2003)	113
표 3-1-11.	한중일 수산물 수출입 추이(1999~2003)	113
표 3-1-12.	주요 태풍 현황.....	123
표 3-1-13.	갯벌연안해역의 조사해역별 수질 및 저질환경 비교(2008~2009년).....	142
표 3-1-14.	탄도만 가입리 및 함평만 도리포 수질환경 조사결과.....	143
표 3-1-15.	탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저질퇴적물 조사결과.....	144
표 3-1-16.	탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저질퇴적물 입도 분석결과.....	144
표 3-1-17.	탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저서생물 분석결과.....	145
표 3-1-18.	탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저서생물출현종.....	146
표 3-2-1.	해수유동실험 개요.....	152
표 3-2-2.	파랑실험 개요.....	171
표 3-2-3.	외력산정 실험 결과.....	176
표 3-2-4.	시험어장 조화분해결과.....	179
표 3-2-5.	바지락 시험어장의 조사정점 좌표.....	184
표 3-2-6.	고흥 계매 꼬막 시험어장의 조사정점 좌표.....	185
표 3-2-7.	우리나라의 해역환경기준(환경부, 2009).....	202
표 3-2-8.	고흥 계매 주변의 일반수질 조사항목의 측정값.....	203
표 3-2-9.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포(2009년 11월).....	216
표 3-2-10.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포(2010년 1월).....	216
표 3-2-11.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포.....	217
표 3-2-12.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값.....	220
표 3-2-13.	고흥 남성리 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값.....	220
표 3-2-14.	고흥 계매 주변 해양퇴적물의 입도분포.....	224

표 3-2-15. 고흥 계매 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값..... 226

표 3-2-16. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 243

표 3-2-17. 2010년 1월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 244

표 3-2-18. 2010년 5월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 245

표 3-2-19. 2010년 8월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 245

표 3-2-20. 2009년 11월 식물플랑크톤의 정점별 생태지수..... 251

표 3-2-21. 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 분류군별 종수, 서식밀도 및 생물량.... 255

표 3-2-22. 2009년 11월 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 우점종..... 256

표 3-2-23. 2010년 1월 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 우점종..... 257

표 3-2-24. 2009년 11월과 2010년 1월의 남성리에서 출현한 저서동물의 생태지수..... 260

표 3-2-25. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(꼬막양식장)..... 263

표 3-2-26. 2010년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(2차 시험포)..... 264

표 3-2-27. 2011년 2월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(2차 시험포)..... 265

표 3-2-28. 2009년 11월 식물플랑크톤의 정점별 생태지수..... 267

표 3-2-29. 2009년 11월에 출현한 저서동물 군집의 분류군별 종수, 서식밀도 및 생물량..... 269

표 3-2-30. 2009년 11월 계매에서 출현한 저서동물 군집의 우점종..... 269

표 3-2-31. 2009년 11월 계매에서 출현한 저서동물의 생태지수..... 271

표 3-2-32. 2009년 9월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 274

표 3-2-33. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 275

표 3-2-34. 2010년 1월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량..... 277

표 3-2-35. 식물플랑크톤의 정점별 생태지수..... 282

표 3-2-36. 시험어장 여름철(2009. 9) 저서생물 출현 개체수 및 생물량..... 287

표 3-2-37. 시험어장 여름철(2009. 9) 저서생물 출현 개체수 및 생물량 조성비(%)..... 287

표 3-2-38. 시험어장 가을철(2009. 11) 저서생물 출현 개체수 및 생물량..... 288

표 3-2-39. 시험어장 가을철(2009. 11) 저서생물 출현 개체수 및 생물량 조성비(%)..... 288

표 3-2-40. 시험어장 겨울철(2010. 1) 저서생물 출현 개체수 및 생물량..... 289

표 3-2-41. 시험어장 겨울철(2010. 1) 저서생물 출현 개체수 및 생물량 조성비(%)..... 289

표 3-3-1. 고흥기상관측소의 장기기상관측자료(1971~2000) 296

표 3-3-2. 패류양식장 저질특성..... 297

표 3-3-3. 실험결과..... 307

표 3-3-4. 계산조건..... 312

표 3-3-5. 계산결과..... 313

표 3-3-6. 단면수로 및 조파기 특성..... 322

표 3-3-7. Froude 상사법칙 적용 예..... 325

표 3-3-8. 실험과랑제원..... 326

표 3-3-9. 일반 다공질 갯벌дук 실험결과..... 332

표 3-3-10. 개선 다공질 갯벌дук 실험결과..... 334

표 3-3-11. 복합양식 종류 및 특성 354

표 3-4-1. 수평망식 양식시설 및 복합양식 구조개선 Pilot 모형 시설 위경도 좌표 392

표 3-4-2. B구역 굴 패각 독 보강 개념 및 모식도 399

표 3-4-3. 굴 패각 안에 설치하는 PC 판 고정 보강 방법 및 모식도 399

표 3-4-4. 그물망 설치 보강 방법 및 모식도 400

표 3-4-5. 다공질 갯벌독 및 굴패각을 이용한 양식장 구조개선 조성 비용 409

표 3-4-6. Guiland 모델의 꼬막 입식량 414

표 3-4-7. 갯벌펜스를 이용한 양식장 구조개선 조성비용 422

표 3-4-8. 함평만 도리포 시험어장 저서생물 출현종 및 개체수(ind./m²) 436

표 3-4-9. 함평만 도리포 시험어장 저서생물 생물량(g/m²) 436

표 3-4-10. 다공질 블록 및 굴패각을 이용한 양식장 구조개선 조성 비용 446

표 3-4-11. 목포기상청 2010년 평균기온 및 강수량 관측값 450

표 3-4-12. 고흥 계매 주변 해양퇴적물의 입도분포 463

표 3-4-13. 목포기상청 2010년 평균기온 및 강수량 관측값 468

표 3-4-14. 2010년 시험어장 환경상태 470

표 3-5-1. 다목적이용 복합양식장의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수 478

표 3-5-2. 구조개선 패류양식장의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수 478

표 3-5-3. 먹이별 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율 483

표 3-5-4. 온도별 여수율 측정 시 바지락의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율,
개체 무게당 여수율 483

표 3-5-5. 바지락의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율 485

표 3-5-6. 바지락의 생화학적 조성 495

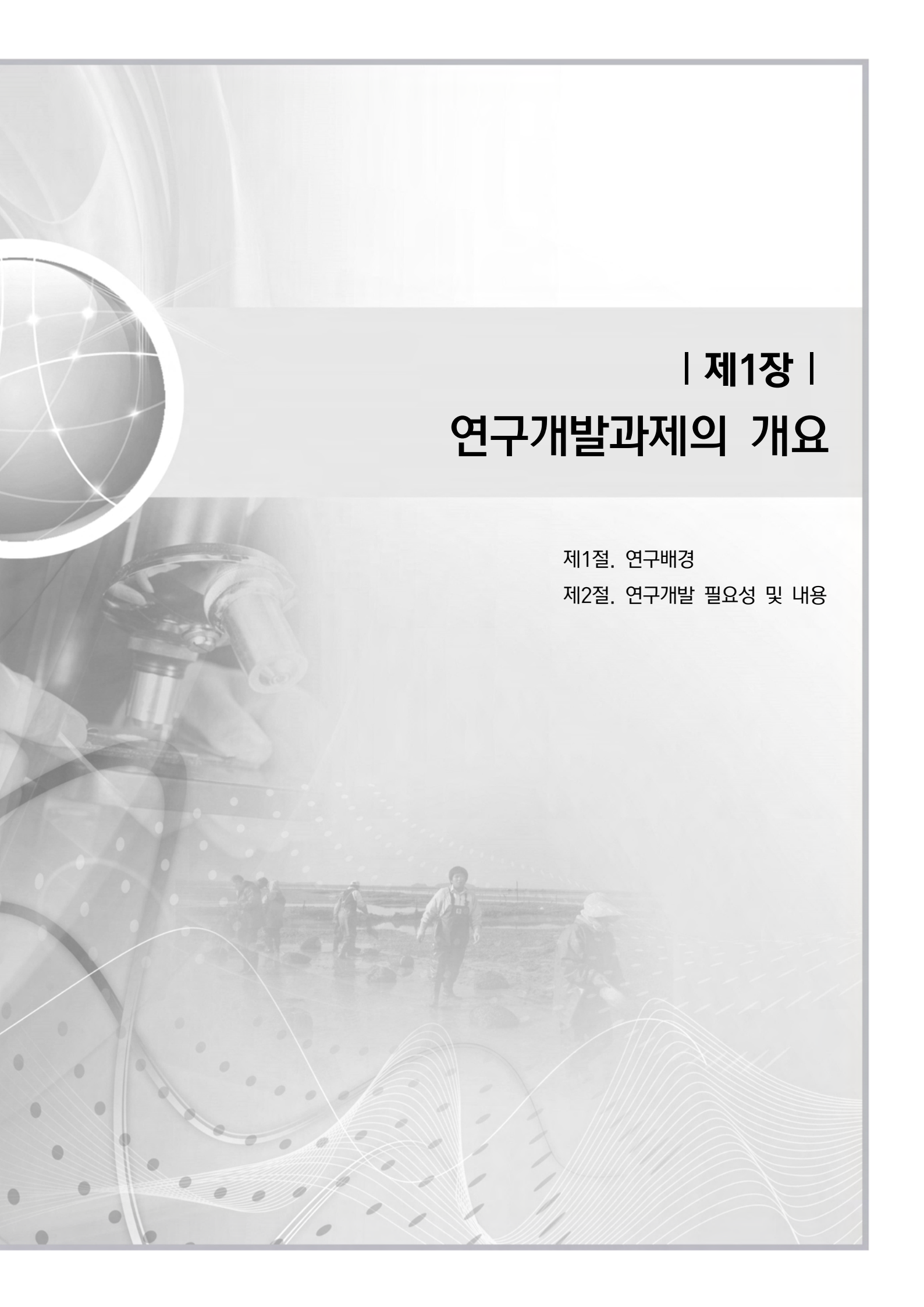
표 3-5-7. 1차조사 시 꼬막의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수 498

표 3-5-8. 2차조사 시 꼬막의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수 499

표 3-5-9. 월 별 꼬막의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율 503

표 3-5-10. 일반적인 꼬막(성체)의 평균 각장, 건중량, 개체 무게당 여수율 503

표 3-5-11. 꼬막의 생화학적 조성 505



| 제1장 | 연구개발과제의 개요

제1절. 연구배경

제2절. 연구개발 필요성 및 내용

제1장

연구개발과제의 개요

제1절 연구배경

우리나라는 2,489km²의 광활한 갯벌면적을 보유하고 있으며, 그 갯벌의 가치 또한 세계 5대 갯벌로 인정받을 만큼 우수한 갯벌자원을 보유하고 있다. 그러나 40년 이상의 패류양식 역사를 가지고 있음에도 불구하고 패류생산기술은 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있다. 패류생산기술을 1970년대와 현재의 패류양식 기술을 비교하면 크게 개선되지 못하고 있는 실정으로 패류양식장이 조성되면 나무 말뚝으로 경계선을 표시하고, 종패를 살포하여 성패가 될 때까지 특별한 관리가 없는 자연적인 양식에 의존하고 있다. 또한 반복되는 양식과정에서 양식장은 점점 노후화되어 저질 환경이 나빠지고, 인근의 수많은 개발행위는 연안의 갯벌환경을 크게 악화시켰다. 그 결과, 패류양식장의 생산성 저하와 자연채묘 되던 종패량의 감소를 야기하였다. 이러한 패류양식장의 생산성 저감 문제를 해결하기 위해 많은 연구와 조사가 이루어졌지만, 아직까지 현장에서 유용하게 활용되지는 못하고 있다. 한편, 이러한 패류양식장의 생산성 향상을 위한 노력으로 전라남도 고흥군 남성리의 어촌계 갯벌에서는 단위 갯벌을 1,000~1,500m² 단위로 구획하고, 경계면은 패각으로 50cm 높이의 독을 쌓아서 양식하고 있었다. 이것은 어촌계 마을공동양식보다는 개별적 양식장 관리를 위한 목적으로 조성되었지만, 결과적으로 단위 규모의 축소에 따라 양식장의 관리성이 용이하게 되었고, 높이 50cm의 경계 독은 종패가 유실되는 것을 방지하여 생산성 향상을 도모할 수 있었다. 즉, 고흥 남성리 현장의 사례와 같이 패류양식장의 생산성 향상을 위해서는 구조개선, 저질 환경개선 등의 패류양식시스템에 대한 과학적인 분석과 개발이 중요하다. 패류산업은 녹색 성장 산업으로 미래 잠재가치를 가지고 있으며, 우리나라 패류양식의 경제·산업적 측면을 보면 패류의 국내생산량은 2011년 기준으로 약 7,400억 원(생산지 가격) 이상의 규모이며, 이 이외에도 상당량이 해외에서 수입되고 있으므로, 실제 도매가격으로만 1조원에 이르기 때문에 유통되는 소비자가격으로는 수조원에 이를 것으로 추정되고 있다(표 1-1-1).

표 1-1-1. 지역별 갯벌면적, 패류생산량 그리고 생산금액(해양수산통계연보, 2011)

(단위 M/T, 백만 원)

구 분	인천·경기	충남	전북	전남	경남·부산	합계
면적(km ²)	872.7	358.8	117.7	1036.9	103.3	2,489.4
%	35.1	14.4	4.7	41.7	4.1	100.0
생산량	12,200	34,274	24,894	50,044	337,879	459,291
금액(%)	27,962 (3.7)	88,728 (11.9)	58,017 (7.8)	299,196 (40.0)	273,740 (36.6)	747,643 (100.0)

2008년 북경 올림픽 이후 중국에서의 수산물 소비 증가와 가격 상승, 그리고 최근의 환율변동은 향후 수입가격이 상승할 가능성이 있고 향후 한중 FTA대비하여 사전에 패류 생산기반을 확고히 할 필요가 있을 것으로 사료된다. 우리나라의 넓은 갯벌에서 패류를 대량생산한다면, 수입대체효과 및 해외시장 개척이 가능할 것이다. 예를 들면 바지락은 1,000~1,500m²에서 연간 약 1,000만원의 소득을 올릴 수 있다(사례: 전남 고흥군 남성리). 또 패류양식은 물때에 맞추어 하루 5시간 정도의 노동력으로 가능하며, 사료공급도 필요 없는 친환경적인 산업이며 갯벌이 있어야만 생산할 수 있는 특수한 수산물이므로, 갯벌을 보유하고 있는 우리나라는 그 자체가 경쟁력이다. 따라서 이러한 녹색 성장 잠재적 가치에도 불구하고 현재 생산량이 급감되고 있는 패류양식의 대외 경쟁력 확보 및 활성화를 위해 생산성 향상을 위한 새로운 대안 모색이 요구되고 있다.

제2절 연구개발 필요성 및 내용

패류양식은 갯벌을 이용하는 지역어업인의 주요소득원으로 자리하고 있다. 이러한 패류 양식장은 대부분 마을어업 형태로 양식 시설물 설치 및 관리가 편리하고 먹이생물이 풍부한 장점을 가지고 있는 내만 및 갯벌을 중심으로 발달되어 있다.

구체적인 예로 간석지 패류 양식의 주류를 이루는 바지락은 서해안 전역과 남해안, 동해안 남부 지역에까지 어장이 넓게 분포하고 있으며, 어업인의 주요소득원으로 자리 잡고 있다. 그러나 바지락 양식 생산량은 1992년에 53,648ton을 정점으로 1997년에는 7,703ton으로 급격히 감소하였다가 2010년에는 23,430ton으로 일부 회복 되고 있는 실정이다(농림수산식품부, 2010). 이러한 패류 양식 생산량의 감소에 따른 원인 분석과 생산량 증대 방안 제시에 대한 필요성이 요구되고 있다. 패류양식생산량의 급감에 대한 원인은 아직 뚜렷하게 밝혀지지 않고 있으나 다만 일부 연구를 살펴보면 생산량 감소 요인으로 외부적 요인과 내부적 요인으로 나누어 설명할 수 있다. 외부환경의 변화로는 대규모 간척과 매립사업으로 인한 패류 서식장의 축소를 비롯하여 기생충 감염 (Park et al., 1999;

Park and Choi, 2001), 기후변화로 인한 대량폐사 (박 등, 2010) 등이 거론 될 수 있으며, 내부적인 요인으로는 양식장 환경의 악화를 들 수 있다. 현재 감소 추세에 있는 패류 양식 생산성 향상을 위해서는 우선 양식이 이루어지고 있는 어장의 양식 환경 및 방법의 적절성을 파악하고 아울러 대두된 문제점을 개선하기 위한 제반 노력들이 필요한 상황이다. 이러한 가운데 특히 대규모적으로 발생되고 있는 생산량 감소의 외부적 요인은 자체적인 개선이 어렵지만, 내부적 요인은 구조개선을 통한 생산성 향상이 가능할 수 있다. 갯벌의 고유 기능 중 하나인 패류생산을 활성화시키기 위해서는 무엇보다도 현재 패류양식장의 문제점을 정확히 파악한 후, 기존의 패류양식장 구조를 개선하는 것이 필요하다. 패류양식장에서는 종패유실, 밀식, 어장의 노후화, 생산성 감소, 종패부족, 집단폐사 등 다양한 문제들이 매년 발생하고 있는데, 아직까지 적절한 대책을 수립하지 못하고 있기 때문이다. 기존 패류양식장의 구조와 방법은 단순히 경계부에 말뚝만 박고, 종패를 살포한 다음 자연에 의존하여 성패크기로 양성한 다음 채취하고 있다. 이와 같은 패류양식장의 운영 방법은 어민들의 치패유실의 불안감으로 인한 과도한 종패 살포가 상기 문제를 일으키는 주요 원인으로 판단되므로, 본 연구에서는 기존의 패류양식장을 개선하고 정형화된 틀로 디자인하여 생산성을 향상 시킬 수 있는 방법을 제시하려고 한다.

본 연구과제에서는, 침체된 패류 양식어장의 지속적인 생산고를 향상 시키고자, 우리나라 갯벌의 주요양식품종을 대표하는 바지락 및 꼬막 양식장을 대상으로 기존 패류양식장의 구조 개선과 지속가능한 이용방안 제시와 다목적 이용을 위한 복합양식 개발 연구를 진행하였다.

세부 연구내용으로서 패류양식 산업의 국내외 경제적 가치 및 사업추진의 타당성을 진단하였으며, 패류양식의 실태와 해양환경학적인 일반 현황을 살펴보았다. 현재 대두되고 있는 패류양식장의 문제점을 파악하고 이에 대한 해결방안으로 경계구획 구조개선 방안, 저질개선을 통한 새로운 바지락 양식장 조성방안, 다목적 이용을 위한 복합양식을 도출하기 위한 구조개선 방안 및 설계인자를 탐색하였다. 패류양식장 구조개선 방안에 대한 현장 시험어장을 조성하였으며, 대상해역에 대한 해양조사를 거쳐 해양학적 특성을 파악하여 패류양식의 환경학적 적합성을 살펴보았다. 또한 제안된 구조개선 방안을 실내 수리 모형시험과 현장진단을 통해 대상수역에 적합한 구조개선 방안을 탐색해 나갔으며, 최적 구조개선 방안을 도출하였다. 또한 개선된 패류양식장의 현장 안정성 및 구조진단, 생산성 진단, 환경학적 변화 진단을 통해 도출된 패류양식장 구조개선 방안의 실용화를 살펴보았다(그림 1-2-1).

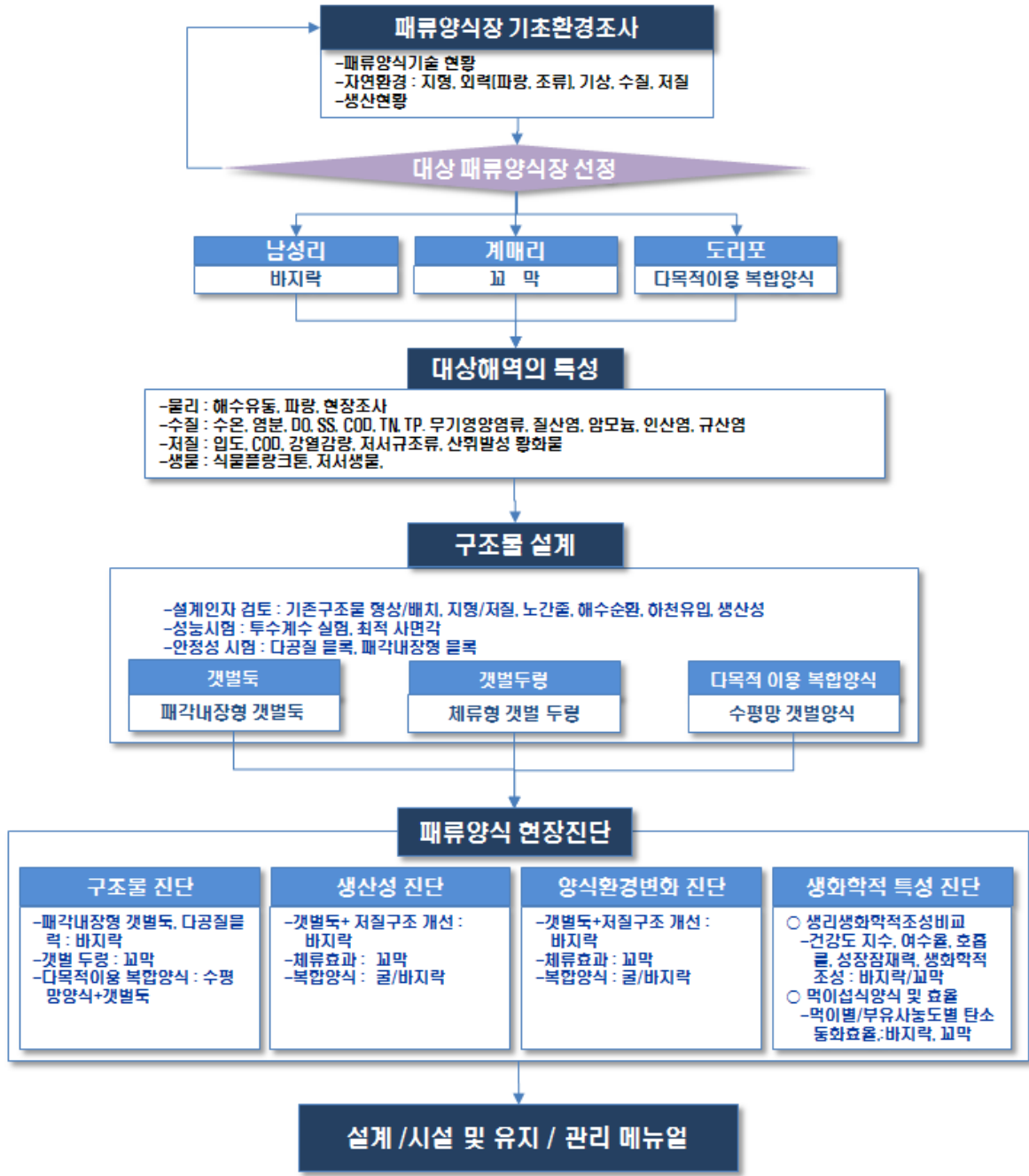


그림 1-2-1. 연구흐름도



| 제2장 | 국내외 기술개발 현황

제1절. 국내 기술 현황

제2절. 국외 기술 현황

제2장

국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술 현황

패류양식장의 입지 조건은 저질타입, 담수의 유입여부, 수질, 파랑으로부터의 보호여부, 천적생물 등을 고려하여 결정하고 있다. 패류양식장의 장소가 결정되면 패류양식장에 대해서는 인위적 관리는 거의 없으며 생산방식은 자연에서 발생된 종패를 채집하여, 양식장에 살포하여 성패크기로까지 양성하고 있는데, 거의 전 과정을 자연에 의존하고 있다 (그림 2-1-1). 또 양식 초기에는 종패를 살포하는데 특별한 시설물 없이 자연에 의존하므로 어민들의 경험에 의하면 살포된 종패의 30~50% 정도는 조류에 의해 유실되고 있다. 패류양식장의 구조는 국립수산과학원의 품종별 설계도가 제시되어 있지만, 1ha의 양식장에 투입되는 적정 종패량 정도만이 기재되어 있을 뿐 전문적 기술적 내용은 표시되지 않고 있다. 그림 2-1-2~3은 현재 수산과학원 홈페이지에 소개된 패류양식장 조성방법으로 꼬막과 바지락 양식장의 설계도면이며 적정 면적, 종패살포량, 수심, 저질 등에 대하여 정의되어 있다.



그림 2-1-1. 국내 패류양식장의 운영사례

바지락(*Ruditapes philippinarum*) 양식장의 경우 1ha당 종묘 소요량을 3.5~7ton(각장 1~1.5cm)으로 잡고 있으며 1ha당 생산 예상량은 약 15ton(각장 3cm, 전중량 22~25g)으로 나타났다. 또한 바지락은 노출은 약 4시간 정도 되고 수심 2m 가량의 해역에서 양식장을 운영하

고 저질은 펄의 함량이 1~50%인 사니질해역 및 사력질해역이 적당하다고 명시하고 있다.

꼬막 양식장은 1ha당 종묘 소요량을 3.5~7ton(각장 1~1.5cm)으로 바지락과 동일하며 1ha당 생산 예상량도 같게 표시되었다. 단 꼬막은 노출선이 0~5시간 나타나는 해역이며 저질은 80% 이상이 니질인 해역에서 양식장을 운영하라고 권고하고 있다.

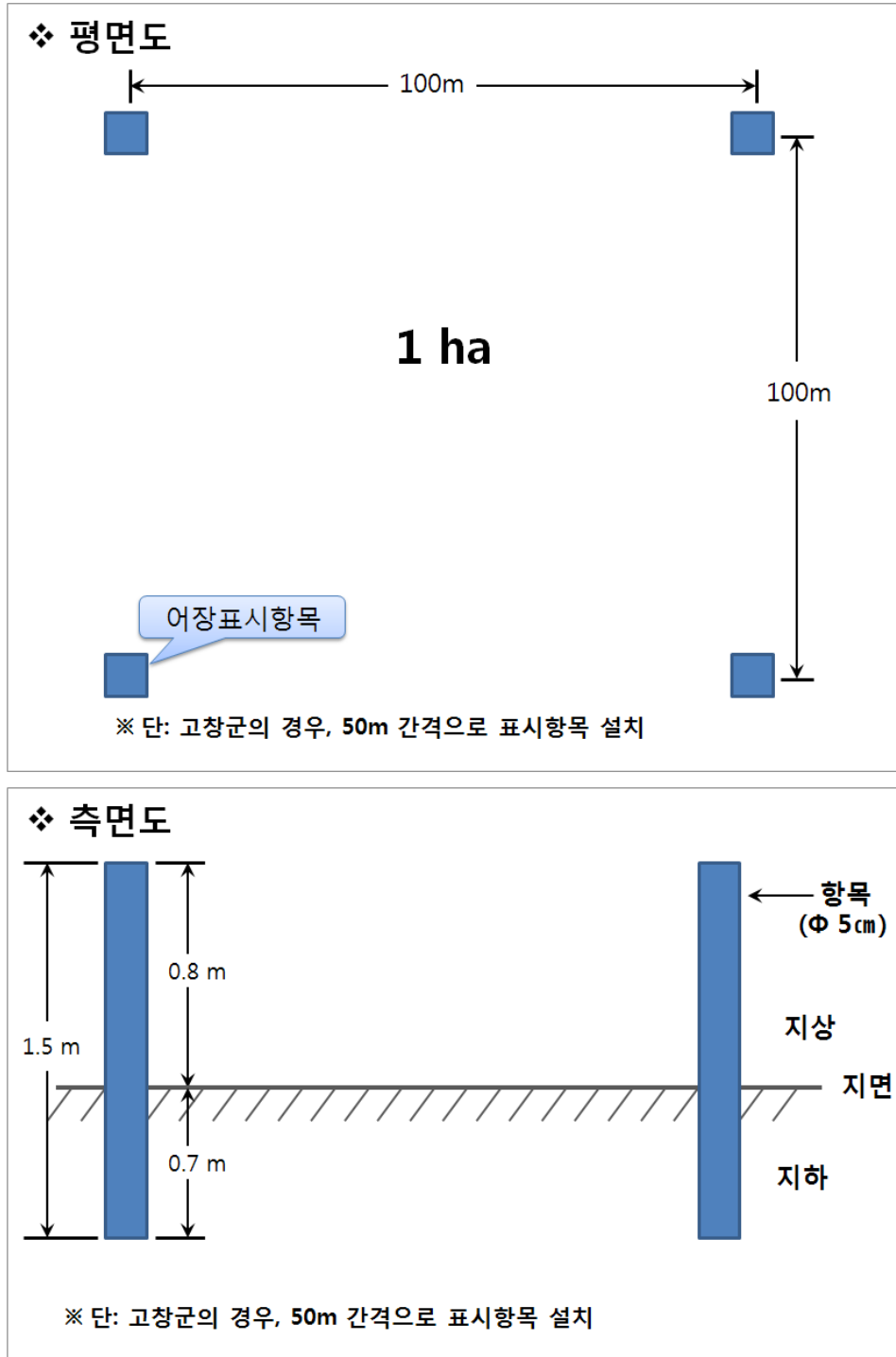
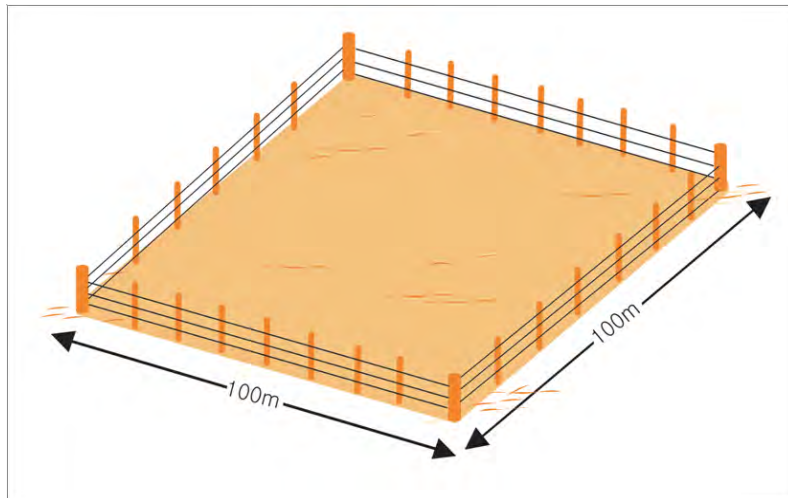
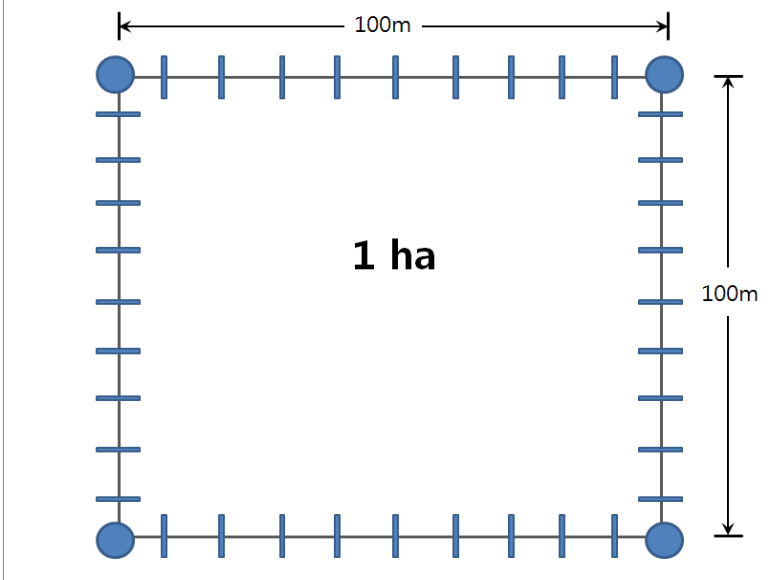


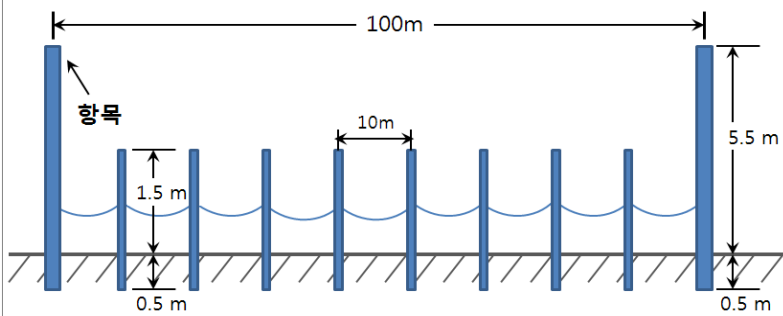
그림 2-1-2. 바지락의 표준 설계도 및 전개도(살포식)



❖ 평면도



❖ 측면도



[자료: 국립수산과학원]

그림 2-1-3. 꼬막의 표준 설계도 및 전개도(살포식)

이처럼 패류양식장 표준 설계도는 단지 양식장을 구분하는 정도의 역할 밖에 하지 못하고 있어 국내 패류양식장의 생산성을 위한 어떠한 방안도 나타나 있지 않다. 현재 패류의 생산성을 높이고자 하는 연구는 자연에서 발생하는 종패의 부족으로 인공종묘 대량 생산을 위한 연구가 추진 중이며 어느 정도의 성과를 거두고 있다. 이와 더불어 육상양식장에서의 먹이생물 배양기술과 착저 기질 등을 활용한 대량 바지락 인공종묘 생산기술을 개발해 어느 정도 기술이 정립되고 있다. 그러나 종패를 대량 생산하고 난 이후에 중간육성단계에서 생산량을 늘리기 위한 연구는 아직까지 미비한 실정이다. 바지락의 경우 종패 살포 후 생산성 향상을 위한 일환으로 농업기법인 모래 살포, 경운, 비료 살포, 계화, 양식장 구조개선 등을 도입 하고 이를 실용화 하기위한 지속적인 연구가 진행 중에 있다. 패류양식장에서 종패살포 및 보호기술, 저질관리, 수질관리, 먹이생물 공급 등의 유기적인 조합이 되어야 생산성이 향상되는데 현재의 기술은 이에 미치지 못하고 있다.

현재 운영되는 바지락양식장으로 전라북도 고창군 하전리의 바지락양식장은 국립수산과학원에서 제시한 바와 같이 양식을 하고 있는 곳이며, 전라남도 고흥군 남성리와 고흥군 백일도에서는 기존의 바지락양식장에 경계석을 설치하여 양식하고 있다(그림 2-1-4~6).

전라북도 고창군 하전리에서는 바지락양식장에 말뚝으로 경계를 표시하고, 어떠한 구조물 없이 자연 상태를 유지하면서 양식을 수행하고 있으며 종패를 살포할 때 자연적인 유실률을 감안하여 1ha에 무려 20톤 정도를 살포하고 있는 것으로 조사되었다.



(a) 바지락 양식장 모습



(b) 바지락 종패 살포



(c) 바지락 종패 살포 후

그림 2-1-4. 전라북도 고창군 하전리 바지락양식장 모습



그림 2-1-5. 전라남도 고흥군 남성리의 바지락양식장 전경

전라남도 고흥군 남성리에서는 바지락양식장을 1,000~1,500m² 규모로 구획하고, 그 경계부는 굴패각으로 쌓아 바지락을 양식하고 있다. 굴패각으로 경계를 쌓음으로써 종패가 유실되지 않고, 관리가 용이한 장점을 가지고 있다.

전라남도 고흥군 백일도의 바지락양식장에는 연안에 사석을 쌓아 정체수역을 조성하여 바지락을 양식하고 있다. 이것은 자연 종패가 가입되고 연안에 인접해 있어 노령화된 어촌에 장점이 있다.



그림 2-1-6. 고흥의 백일도 바지락양식장 개발

일부에서는 종패발생환경연구로 바지락 유생 부착률을 높이기 위해 갯벌에 굵은 모래를 살포하고 경운작업을 실시하여 갯벌을 부드럽게 해주어 종패가 지속적으로 가입될 수 있는 여건 조성으로 생산량 증대를 도모하고 있다. 또한, 농업에서 원하는 작물을 고 밀도로 재배하기 위하여 비료를 뿌려 수확량을 늘리듯 바지락 양식에서도 비만도 향상을 위해 고품비료 또는 친환경 휴민산을 살포하여 먹이생물의 밀도를 증진시켜 먹이 공급을 원활하게 하여 성장을 빠르게 하는 방법을 도입하려는 시도도 있지만 아직까지는 그 효과가 증명되어 있지는 않다.

제2절 국외 기술 현황

패류양식을 하고 있는 국가는 중국, 일본, 이탈리아, 스페인, 미국 등이 있지만, 가장 규모화 되고 생산량이 많은 곳은 중국이며 일본은 상대적으로 오래된 패류양식 역사를 가지고 있지만, 넓은 갯벌을 보유하지 않아 규모화보다는 노동력을 최소화하는 기계화 방법으로 활로를 모색하고 있다.

중국에서는 이미 바지락 치패를 인공적으로 대량생산하여 상용화 단계에 있다. 북방 지역(대련 이북)과 남방지역(북건성 주변지역)에서 주로 생산하고 있는데, 자연환경의 차이로 생산하는 방식에는 크게 차이가 있다. 대련지역에서는 육상수조에서 산란시켜 600 μ m 크기까지 관리한 다음에 중간육성장으로 이동시켜 생산하고 있고, 북건성 지역에서는 축제식 양식장에서 산란시켜 바지락 치패를 생산하고 있으며 생산된 치패는 중간육성장으로 옮겨 성장시킨다. 중국은 넓은 갯벌에 지역별로 대단위 패류양식장을 조성하여 품종별로 대량생산하고 있는데, 패류양식장은 관리와 생산을 용이하게 하기 위해 낮은 둑(50cm 내외)을 쌓아 구획하고, 간조시에도 해수를 저장할 수 있도록 하고 있다. 조간대는 창조와 낙조가 반복되는 환경이고, 이곳에 서식하는 각종 패류는 간조시에 조간대가 노출되면 물속의 플랑크톤을 섭식할 수 없게 되는데, 상기 언급한 바와 같이 중국에서는 둑을 쌓고, 간조시에도 30cm 내외의 수심을 유지시켜 광합성작용을 활발하게 하고, 양식패류에게는 24시간 동안 먹이섭식 기회를 제공하여 생산성을 높이고 있다(그림 2-2-1).

바지락은 1970년대 후반 미국 서부연안에서 프랑스로 처음 이식되어 양식된 이래 아프리카 북부의 모로코, 튀니지 연안, 그리스 연안, 이탈리아, 스페인, 프랑스 및 영국과 아일랜드 지역에서도 양식되고 있다. 스페인, 프랑스 등과 같이 바지락의 대량 양식을 하는 지역은 아직 종묘 공급을 자연산 종패 채취에 의존하고 있으나, 종묘의 공급이 부족함에 따라 점진적으로 인공종묘생산을 시도하고 있다. 바지락 종묘생산을 대규모로 하고 있는 국가는 현재 이탈리아이며, 이는 베니스 기수역에 속하는 파도바 지역에서 인공종묘 배양 시설을 통하여 종패를 생산하고 있다. 특히 이탈리아는 바지락 인공종묘생산에 관한 표준 지침서를 개발 종묘생산기술을 일반에게 보급하고 있는 실정이나 중간육성은 자연에 의존하고 있다.

현재 중국은 패류양식장을 독으로 구획하여 관리하기 용이한 대량 생산 체제를 갖추고 있고 일본은 법적으로 어장에서 환경용량을 철저히 준수하도록 규정하고 기계화시스템을 도입하고 있다. 따라서 대량생산 시스템을 위한 구조개선안은 중국 사례의 장점을 인용하여, 한국 실정에 맞는 “한국형 패류양식장의 모델”이 필요하다(그림 2-2-2).



그림 2-2-1. 중국 저장성 휘환현의 패류양식장

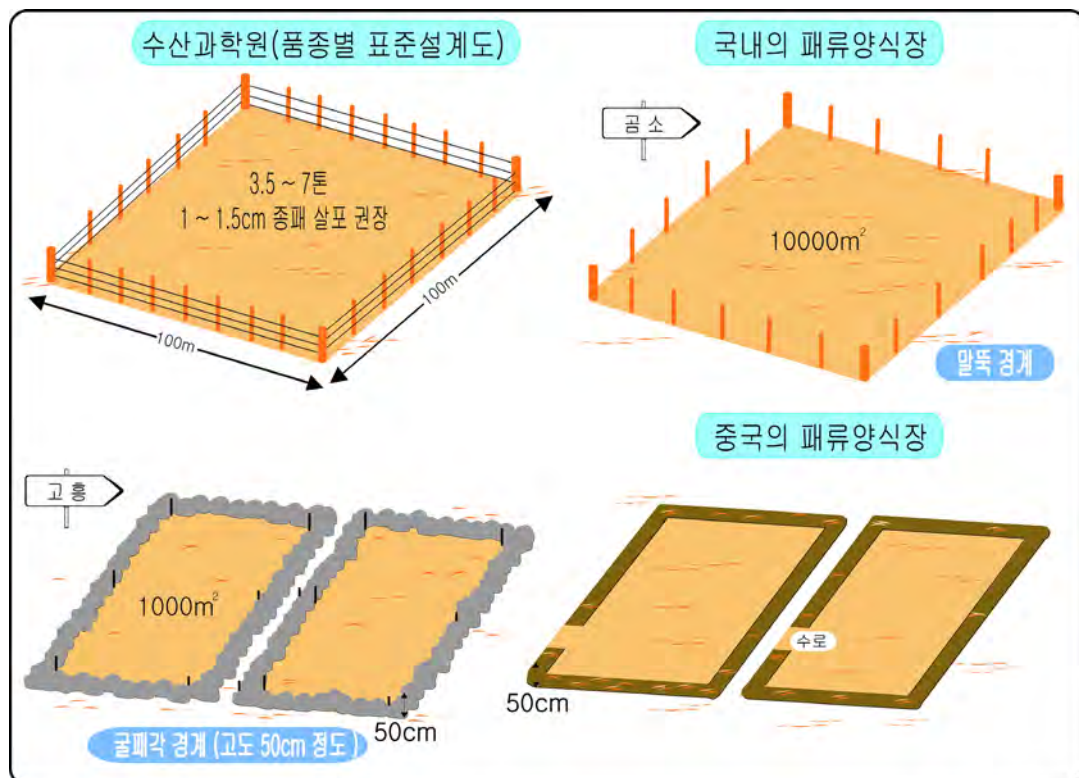


그림 2-2-2. 우리나라와 중국 패류양식장의 대표적인 구조도면 예시

| 제3장 |

연구개발수행 내용 및 결과

제1절. 패류양식 기반조사

제2절. 해역의 특성

제3절. 패류양식장의 구조/배치 개선

제4절. 패류양식시설 기능개선 진단

제5절. 대상 생물의 생리 및 생화학적 분석

제6절. 생산성 향상을 위한 패류양식시설 제안

제7절. 갯벌둑의 설계/시설 매뉴얼 수립

제8절. 종합 및 결론

제3장

연구개발수행 내용 및 결과

제1절 패류양식 기반조사

1. 패류양식 생산규모

가. 국내 패류 생산 동향

2003년에서 2011년까지 최근 9년 동안 일반해면(연·근해)의 패류 생산량은 2003년 109,878ton이었지만, 2007년까지 점차 감소하여 약 74,000ton이 생산되었고, 이후 2009년까지 82,000ton으로 약간 증가하다 2011년 72,000ton으로 다시 감소하였다. 일반해면에서 생산된 패류의 생산금액은 1,600억 원이던 2007년부터 꾸준히 올라 2010년 2,238억 원 규모까지 급증하였으며 현재 2,134억 원 규모에 이르고 있다(그림 3-1-1).

천해양식의 패류생산량은 2003년부터 2007년까지 290,000~470,000ton의 규모를 보여 2007년 최대 생산량을 보인 이후 2009년에는 320,000ton 규모로 감소하였고 2011년까지 70,000ton가량이 증가하였다. 그러나 가격은 1kg 당 평균 1,000원 대를 유지하였는데, 2009년에는 1,500원대로 급상승한 상태이며 현재 위 가격을 유지하고 있다(그림 3-1-2). 일반해면과 천해양식을 합치면 평균적으로 연간 440,000ton과 5,800억 원 정도를 나타내고 있으나, 2009년도에는 2008년도와 비교하여 가격이 전반적으로 35%고 가장 많이 상승하였으며 2011년도에는 이 가격을 유지하고 있는 것으로 조사되었다(표 3-1-1).

본 연구과제의 주요 대상품종인 바지락과 꼬막에 대한 생산동향은 다음과 같다.

표 3-1-1. 전국 패류의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액)

단위: ton/백만 원

년 도		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	증감율 (%) '11/'10
일반 해면	생산량	109,878	100,180	81,012	80,434	73,714	81,398	82,078	80,380	72,230	-10.1
	생산금액	205,658	208,991	172,390	160,648	161,629	176,367	197,385	223,832	213,430	-4.6
천해 양식	생산량	291,063	304,889	326,255	391,060	478,646	345,022	320,384	355,699	389,159	9.4
	생산금액	268,057	289,999	314,462	343,725	447,334	371,269	468,330	509,405	556,545	9.3

패류생산동향(일반해면)

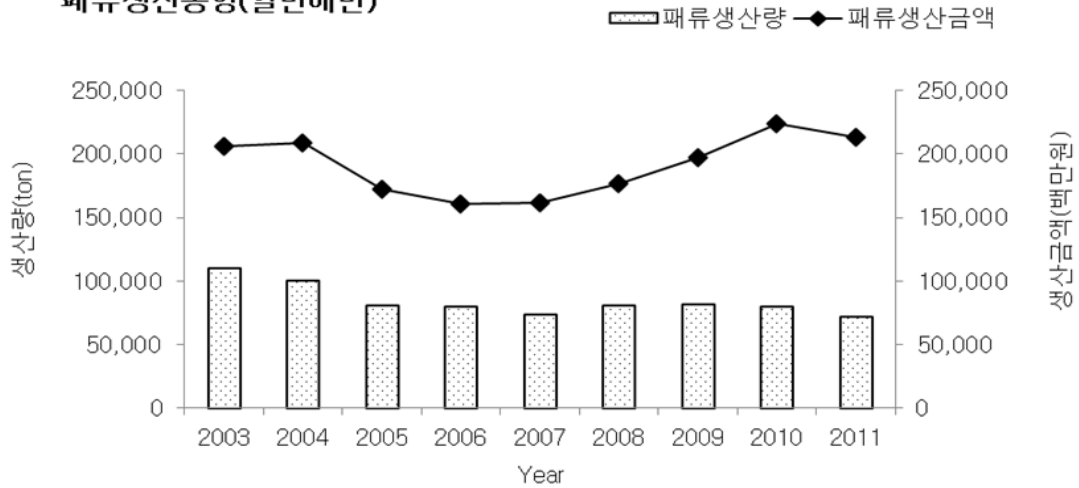


그림 3-1-1. 일반해면의 전국 패류 생산동향(생산량, 생산금액)

패류생산동향(천해양식)

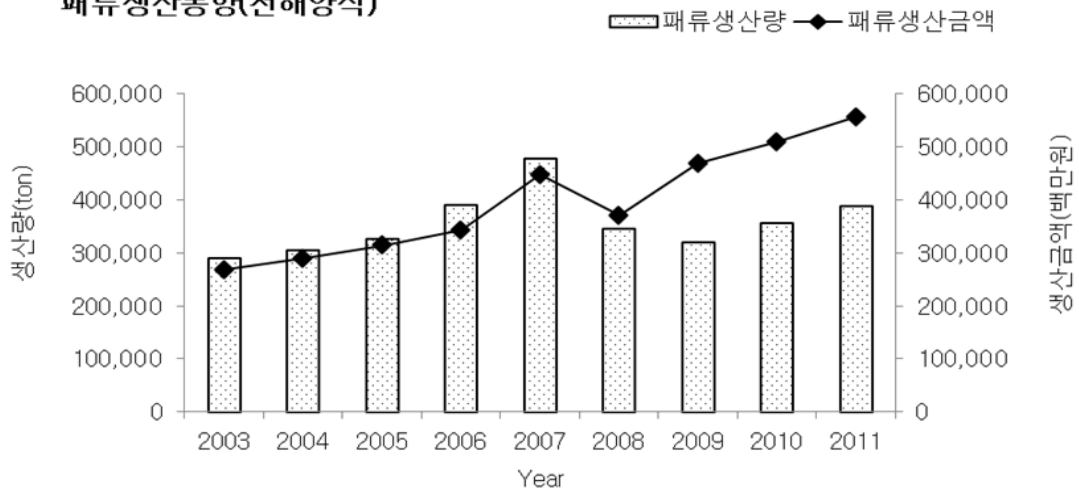


그림 3-1-2. 천해양식의 전국 패류 생산동향(생산량, 생산금액)

(1) 바지락

서해안 갯벌에서 가장 중요한 양식품종인 바지락은 우리나라 서해안과 남해안의 갯벌에 서식하는 조개로 2009년 생산량 40,393ton, 수입량 38,901ton으로 매우 중요한 수산자원의 하나이지만, 연안 간척 매립으로 인한 서식처 감소와 대량폐사 등으로 양식 생산량이 감소하고 있는 실정이다. 최근에는 남북관계 악화로 북한산 바지락 수입금지로 가격 상승이 예상되었지만, 오히려 중국산 수입이 증가하여 어업인의 어려움이 가중되고 있다.

1990년에서 2011년까지 22년 동안 우리나라의 어업별 바지락 생산은 일반해면(연·근해)의 경우 1993년 31,201ton으로 생산량이 가장 많았으며 2006년과 2007년 10,000ton 미만으로 생산량이 가장 감소하였고 그 이후로 20,000ton 이상으로 증가하다 2011년에는 12,230ton으로 2배가량 생산량이 다시 감소하였다(그림 3-1-3). 천해양식은 2003년과 2004년에 27,000ton 이상으로 생산량이 많았던 반면 2005년 이후 20,000ton 이하로 감소하였으며 2011년에는 25,699ton으로 생산량이 다시 증가하였다. 바지락의 연간 총 생산금액은 300~800억 원 정도이며, 생산 정도에 따라 가격이 변동하는 경향을 보여주지만, 2009년의 경우는 2008년과 비교하여 생산량의 변동이 거의 없음에도 불구하고 20% 정도의 가격이 상승하였고 2010년에도 상승된 가격을 유지하였다(표 3-1-2, 그림 3-1-4).

표 3-1-2. 바지락 생산량(1990~2010) 및 생산금액

연도	생산량(M/T)		생산금액(천원)		바지락가격(원)/1kg	
	천해	일반	천해	일반	천해	일반
1990	61,713	12,868	55,487,717	10,695,715	899.1	831.2
1991	45,537	12,595	47,462,485	11,722,387	1,042.3	930.7
1992	54,402	13,016	68,692,269	14,132,210	1,262.7	1,085.8
1993	10,046	31,202	11,677,629	29,158,191	1,162.4	934.5
1994	19,035	14,595	21,464,169	17,644,687	1,127.6	1,209.0
1995	15,260	15,041	22,138,296	18,881,533	1,450.7	1,255.3
1996	18,478	12,392	24,398,754	17,404,107	1,320.4	1,404.5
1997	13,958	16,854	18,222,635	24,930,044	1,305.5	1,479.2
1998	17,178	14,585	22,027,331	21,164,595	1,282.3	1,451.1
1999	16,135	13,963	21,204,532	19,538,025	1,314.2	1,399.3
2000	17,927	20,982	22,089,080	27,350,255	1,232.2	1,303.5
2001	16,433	20,004	24,397,893	29,028,553	1,484.7	1,451.1
2002	10,652	14,758	20,977,841	27,668,365	1,969.4	1,874.8
2003	27,494	13,148	53,859,516	26,982,027	1,959.0	2,052.2
2004	27,570	12,902	48,627,744	26,109,908	1,763.8	2,023.7
2005	17,401	14,447	32,468,271	26,591,137	1,865.9	1,840.6
2006	14,327	7,559	27,765,285	15,703,915	1,938.0	2,077.5
2007	18,819	8,640	32,557,580	17,362,521	1,730.0	2,009.6
2008	15,541	20,761	25,931,557	38,377,369	1,668.6	1,848.5
2009	17,905	22,488	36,022,809	47,746,152	2,011.9	2,123.2
2010	23,309	12,837	49,000,722	30,413,896	2,102.2	2,369.2
2011	25,699	12,230	57,110,416	32,026,061	2,222.3	2,618.6

[수산정보포탈, 2011]

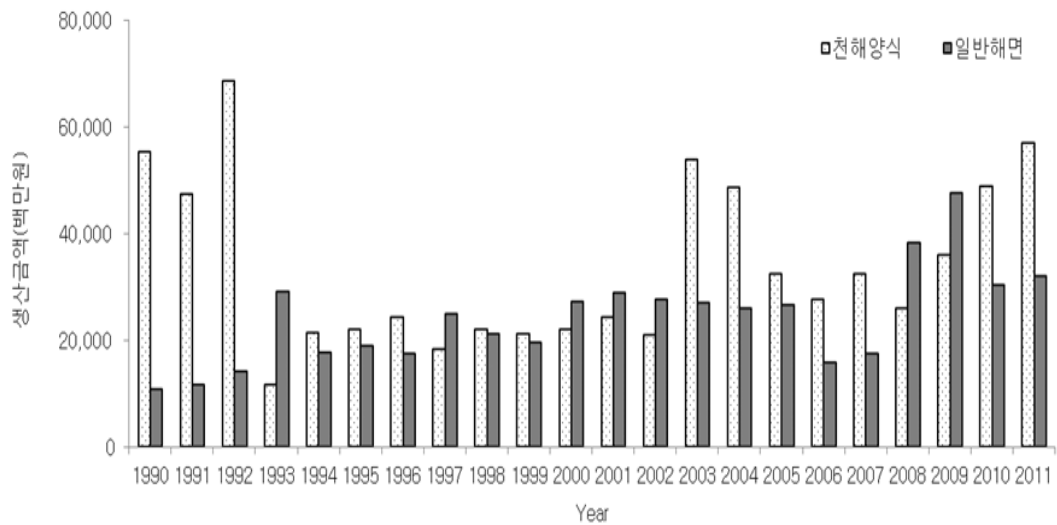
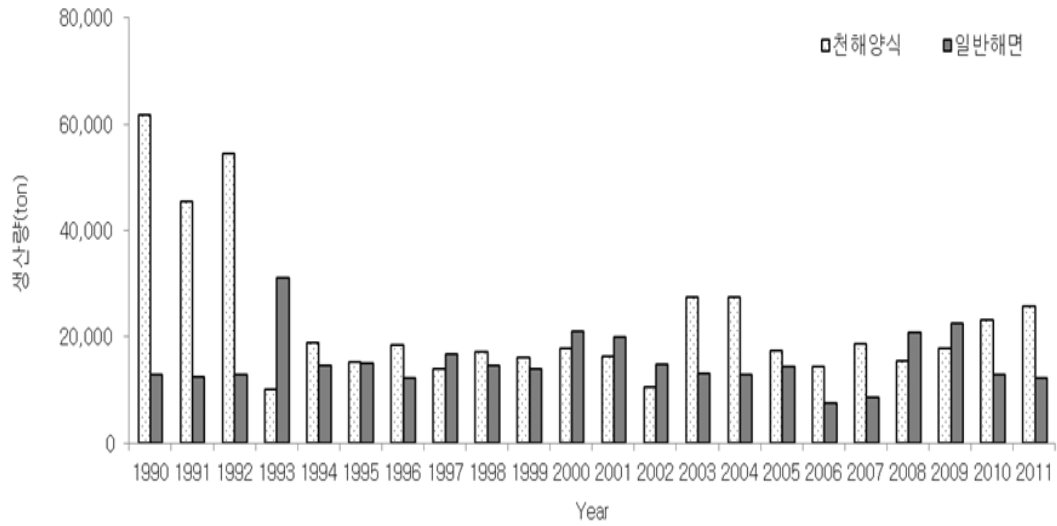


그림 3-1-3. 우리나라 바지락의 생산량 및 생산금액(1990~2010년)

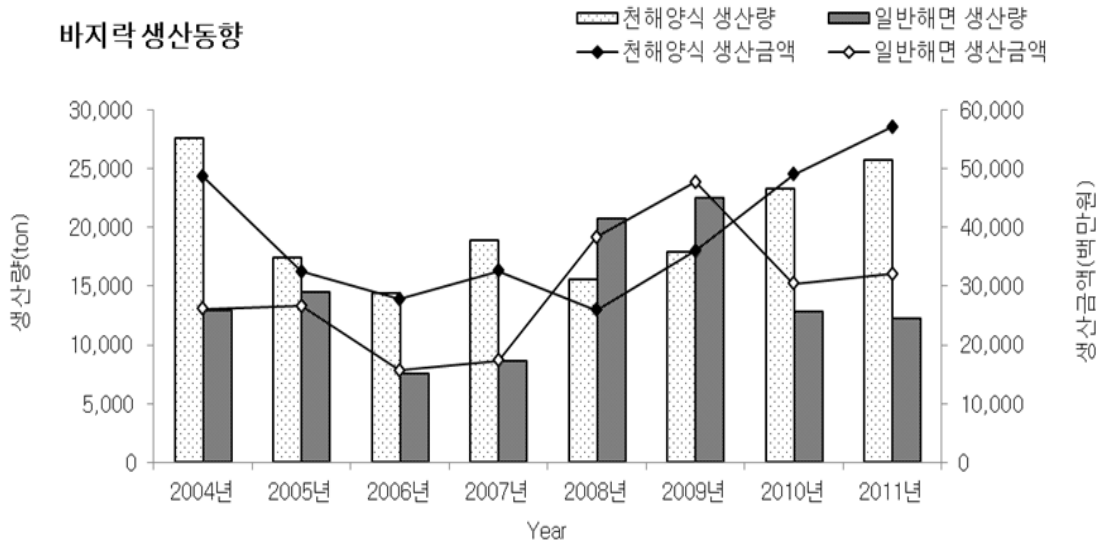


그림 3-1-4. 바지락의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액)

(2) 꼬막

일반해면(연·근해)의 패류 생산동향은 1998년 12,114ton의 최고 생산량을 보여준 이래 그 값을 회복하지 못하고 있으며, 2007년 단 481ton이 생산되었으며 2010년에 3,991ton으로 점차로 생산량이 증가하였다가 2011년 1,581ton으로 감소되었다(그림 3-1-5). 천해양식은 2007년에 최고 생산량을 보였으며 일반해면과는 달리 2011년 생산량이 1,616ton으로 2009년보다 약 2배가량 감소하였다. 일반해면의 경우 2010년 꼬막생산량이 다소 증가한 것에 비하면 꼬막가격은 2009년도에 1kg에 3,500원가량 하는 것이 2010년에는 5,200원으로 1년 사이에 1.5배가량 상승하였으며 2011년 4,934원으로 약간의 감소를 보였다(표 3-1-3, 그림 3-1-6). 최근 바지락 꼬막의 평균가격은 상승추세로 특히 바지락보다는 꼬막의 가격상승이 큰 것으로 나타났다(그림 3-1-7).

표 3-1-3. 꼬막 생산량(1990~2010) 및 생산금액

연도	생산량(M/T)		생산금액(천원)		꼬막가격(원)/1kg	
	천해	일반	천해	일반	천해	일반
1990	11,113	622	9,454,635	398,578	850.8	640.8
1991	16,325	322	17,533,847	331,863	1,074.0	1,030.6
1992	16,441	428	21,912,180	564,854	1,332.8	1,319.8
1993	3,290	3,269	4,465,247	4,586,475	1,357.2	1,403.0
1994	10,375	1,245	12,864,205	1,913,426	1,239.9	1,536.9
1995	13,027	1,415	12,562,140	1,165,782	964.3	823.9
1996	4,473	995	3,334,064	950,602	745.4	955.4
1997	2,843	493	2,502,547	607,000	880.2	1,231.2
1998	5,041	12,114	4,141,437	5,343,874	821.6	441.1
1999	2,511	6,503	2,862,727	2,486,436	1,140.1	382.4
2000	820	4,184	1,748,684	1,913,397	2,132.5	457.3
2001	3,842	923	7,225,652	1,960,189	1,880.7	2,123.7
2002	413	790	963,173	1,365,115	2,332.1	1,728.0
2003	2,440	5,267	6,531,074	2,759,589	2,676.7	523.9
2004	10,849	2,571	23,494,430	1,562,269	2,165.6	607.7
2005	3,226	1,827	8,068,190	3,961,155	2,501.0	2,168.1
2006	5,063	4,366	9,203,164	11,210,755	1,817.7	2,567.7
2007	28,372	481	58,491,855	1,435,318	2,061.6	2,984.0
2008	1,637	1,320	5,614,155	4,685,371	3,429.5	3,549.5
2009	2,966	3,865	9,029,633	13,778,208	3,044.4	3,564.9
2010	1,163	3,991	4,873,794	20,826,058	4,190.7	5,218.3
2011	1,616	1,581	4,331,090	7,800,755	2,680.1	4,934.1

[수산정보포탈, 2011]

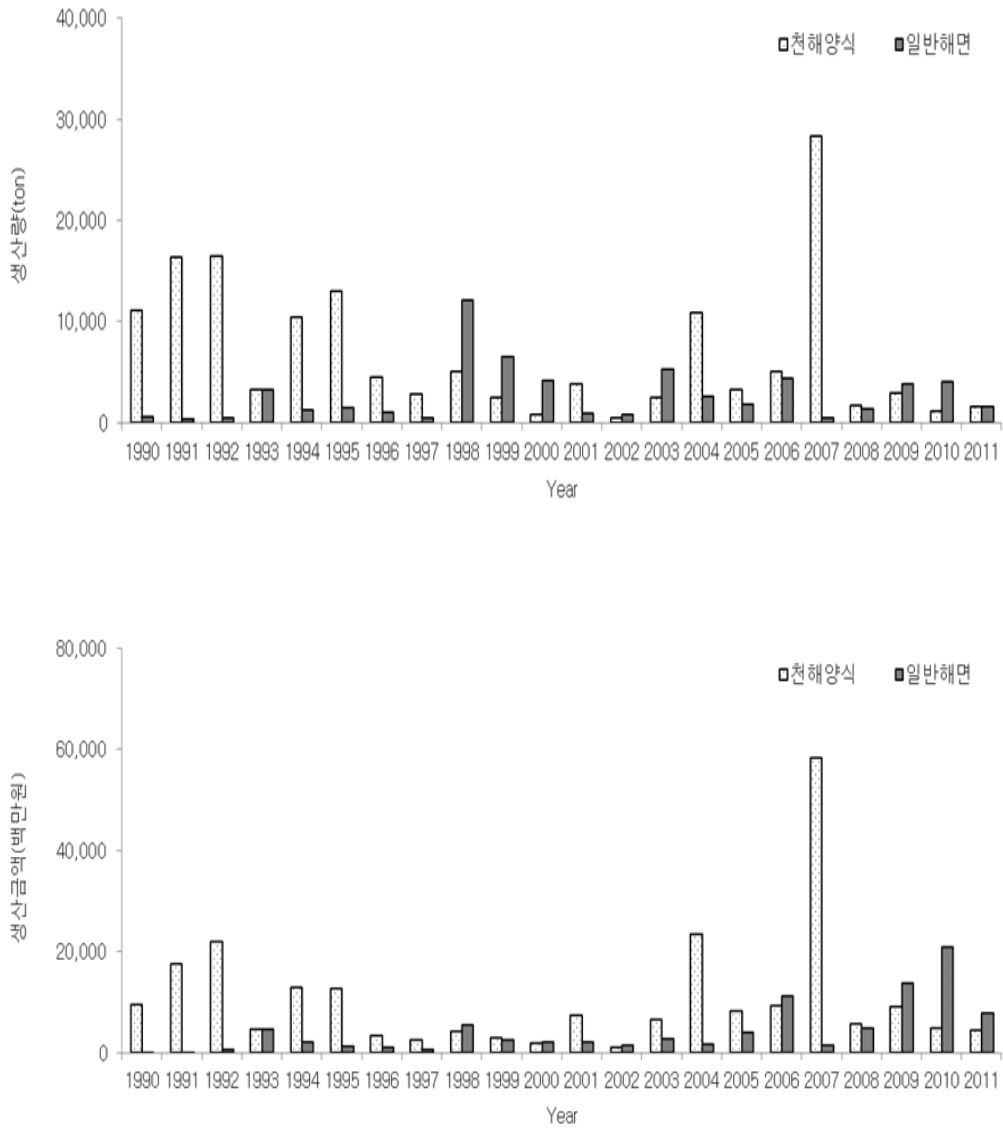


그림 3-1-5. 우리나라 꼬막 생산량 및 생산금액(1990~2010년)

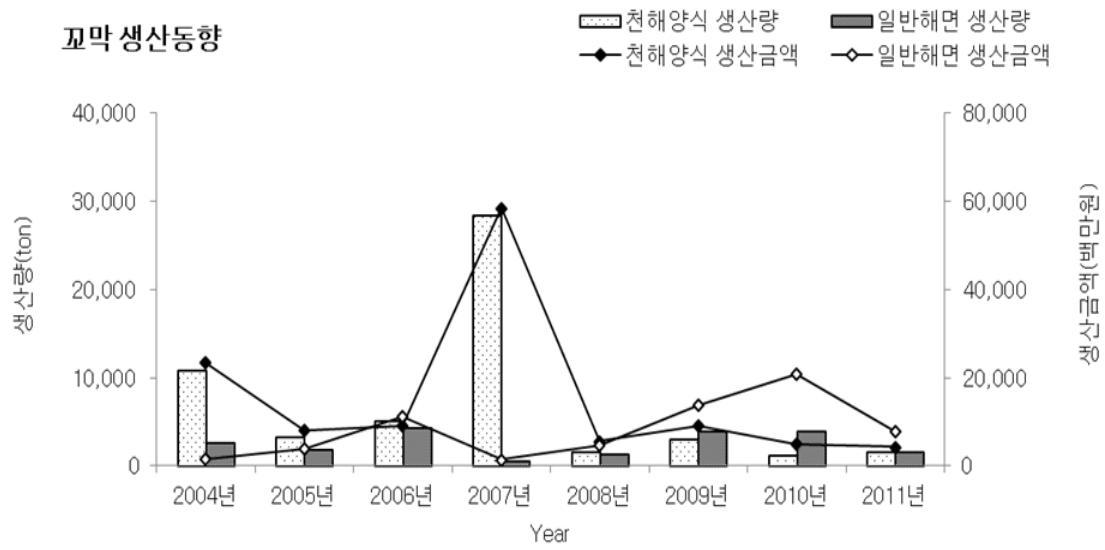


그림 3-1-6. 꼬막의 어업별 생산동향(생산량, 생산금액)

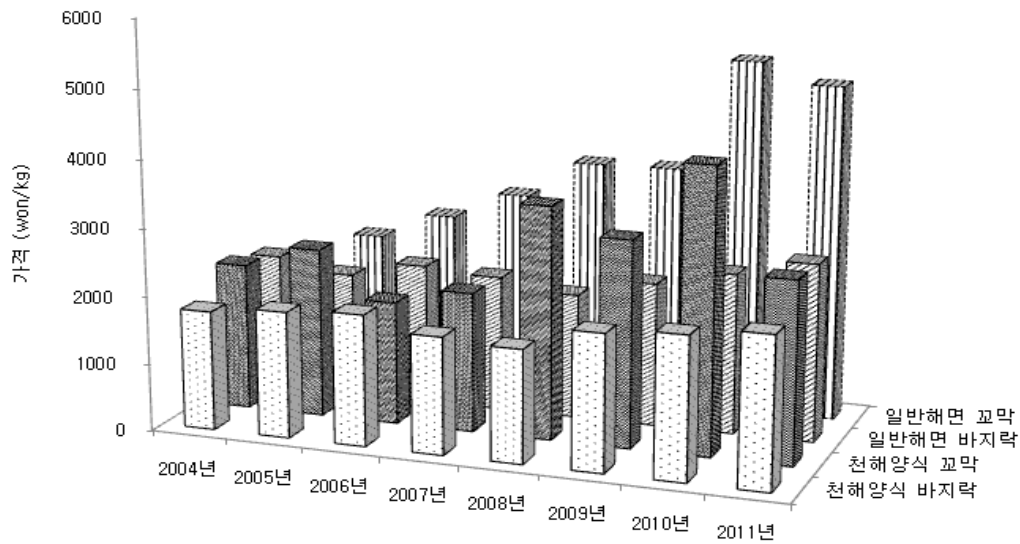


그림 3-1-7. 바지락·꼬막의 연도별 kg당 평균가격

(3) 바지락 수출입 현황

바지락의 수출은 1990년대까지 11만ton 이상의 수출을 하여 왔으나 2003년 이후로 만ton 미만의 수출 실적을 보였으며 2009년부터 수출량이 만ton 이상으로 소량 증가하였다. 이 시기의 수출금액은 수출량에 비해 2000년대 높은 금액을 보였으며 2007년에 3.4 \$/kg으로 가격이 가장 비쌌으며 2008년 주춤하다 점차로 가격이 상승하여 2011년 3.3 \$/kg으로 증가하였다(그림 3-1-8). 수입량은 1990년대 초반에는 매우 미비하였으나 1995년 이후로 점차로 증가하고 2006년부터 수출량보다 수입량이 2배 이상 크게 증가하여 2011년 전년대비 174%가량 크게 증가하였다. 수입가는 1990년대까지는 1.5 \$/kg 이상이였으나 이후로 가격이 내려갔으며 2002년 이후로는 1 \$/kg 이하로 저렴해졌다.

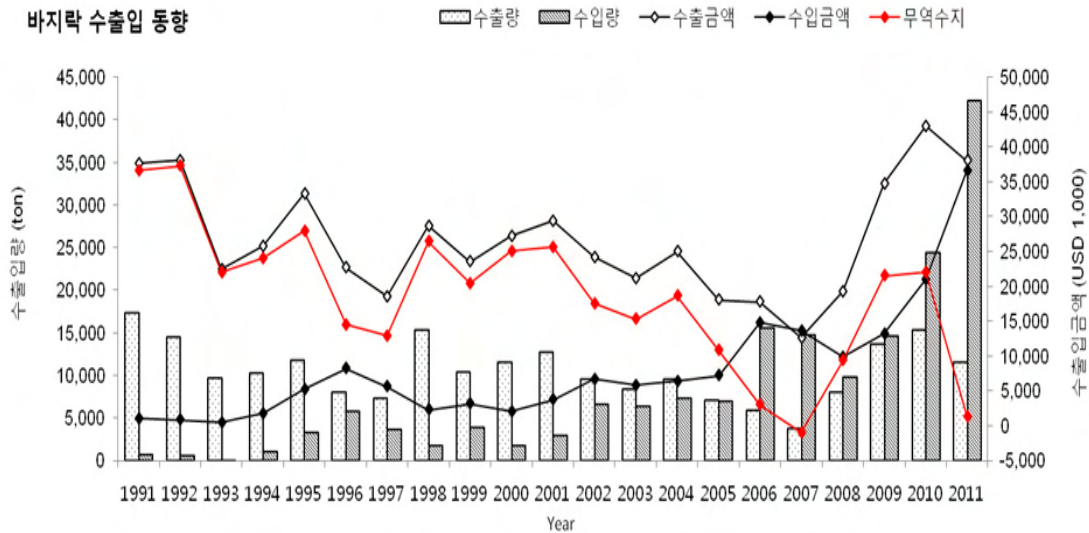


그림 3-1-8. 우리나라 바지락의 수출입량 및 금액

바지락의 수출은 80% 이상 일본에 하고 있으며 스페인, 미국, 멕시코, 벨기에 등 여러 나라에 수출하고 있다. 일본의 경우 2003년부터 현재까지 2009년과 2010년에 가장 많은 양을 수출하였으며 바지락가격은 2007년 3.4 \$/kg으로 가장 비쌌으며 2008년 가격이 1 \$/kg가량 크게 떨어졌다 점차로 증가하여 2011년 3.3 \$/kg로 가격이 올랐다(표 3-1-4).

바지락의 수입은 2003년과 2004년을 제외하고 95% 이상을 중국에서 하고 있으며 수출가에 비해 수입가가 낮고 일본, 러시아, 인도네시아, 베트남, 필리핀, 파키스탄 등의 나라가 기타 수입국에 속한다. 수출가에 비해 수입가는 유사하였으며 2003년부터 2008년까지 수출가가 다소 증가하였으며 점차로 감소하다 0.86 \$/kg을 유지하고 있다(표 3-1-5).

표 3-1-4. 바지락 최대 수출국 및 수출가

연 도	최대 수출국 일본			기타 수출국
	중량(kg)	금액(us\$)	시세 (\$/kg)	
2003년	7,624,991 (92%)	18,415,186	2.54	스페인, 미국, 멕시코, 벨기에, 베트남
2004년	8,794,158 (93%)	21,517,930	2.64	스페인, 미국, 멕시코, 벨기에, 중국
2005년	6,589,597 (94%)	15,352,215	2.57	스페인, 미국, 멕시코
2006년	5,188,448 (88%)	13,661,139	3.01	스페인, 미국, 멕시코, 네덜란드, 대만
2007년	2,989,630 (81%)	7,511,389	3.41	스페인, 멕시코, 중국, 대만, 네덜란드, 포르투갈
2008년	7,492,814 (95%)	16,858,838	2.43	스페인, 미국, 멕시코, 대만, 호주, 프랑스, 포르투갈, 사우디아라비아
2009년	12,794,478 (93%)	31,193,551	2.54	스페인, 미국, 멕시코, 홍콩, 포르투갈, 대만
2010년	13,690,866 (90%)	36,255,417	2.81	스페인, 미국, 멕시코, 중국, 말레이시아, 포르투갈, 대만, 아랍에미리트연합
2011년	8,943,624 (78%)	26,424,541	3.30	스페인, 미국, 멕시코, 중국, 말레이시아, 포르투갈, 대만, 알제리, 이탈리아, 싱가포르, 벨기에, 브라질, 캐나다, 네덜란드, 필리핀

표 3-1-5. 바지락 최대 수입국 및 수입가

연 도	최대 수입국 중국			기타 수입국
	중량(kg)	금액(us\$)	시세 (\$/kg)	
2003년	4,946,850 (78%)	4,117,312	0.83	일본, 베트남, 인디아, 파키스탄, 태국
2004년	6,574,156 (90%)	5,771,198	0.88	파키스탄, 베트남, 노르웨이, 기타국
2005년	6,490,993 (94%)	6,814,925	1.05	파키스탄, 태국, 인디아, 필리핀, 러시아, 베트남, 기타국
2006년	15,237,779 (98%)	14,513,955	0.95	일본, 러시아, 인도네시아, 필리핀, 파키스탄
2007년	14,532,484 (99%)	13,478,980	0.93	일본, 러시아, 인도네시아, 필리핀, 파키스탄
2008년	9,263,815 (95%)	9,130,052	0.99	일본, 파키스탄, 태국, 말레이시아, 필리핀, 러시아, 미국, 베트남
2009년	14,125,168 (97%)	12,488,367	0.88	파키스탄, 태국, 멕시코, 말레이시아, 필리핀, 베트남
2010년	24,153,117 (99%)	20,613,665	0.85	파키스탄, 태국, 스페인
2011년	42,150,540 (100%)	36,392,664	0.86	파키스탄, 태국, 스페인, 베트남

지난 40년 동안 우리나라의 어획기술은 크게 진전되었으며, 그 결과 어린 자치어까지 남획되면서 연안어족자원은 크게 감소되었다. 이러한 상황변화에 따라 우리나라의 수산정책은 1990년을 기점으로 잡는 어업에서 기르는 어업으로 전환되면서 일시적인 호황을 맞기도 하였다. 그러나 최근에는 유류가격 상승, 사료비용 증가, 빈번한 자연재해 등으로 인한 경제적 어려움과 어촌의 노령화, 인구감소 등으로 총체적인 위기에 빠져 있다. 특히 인구의 이탈은 심각한 문제인데, 패류양식장을 개선하여 생산성을 높이고 유향 패류양식장을 고소득형 패류양식단지로 개발하면 인구이탈을 막고 인구유입을 유인할 가능성이 있다. 갯벌은 그 존재만으로 큰 가치가 있다고 알려지면서 보존과 개발의 논쟁 중심에 있지만, 갯벌고유의 기능인 패류의 대량생산은 개발에 따른 환경훼손을 전혀 일으키지 않고 오히려 생태적·경제적 가치를 극대화시킬 수 있는 친환경적 산업이다. 패류양식의 활성화로 어촌의 소득이 증대되고 삶의 질이 향상된다면 지역균형발전 차원에서도 기여할 것으로 보인다.

나. 국외 패류 생산동향

(1) 수산물 현황

(가) 중국

중국에서는 이미 바지락 치패를 인공적으로 대량생산하여 상용화 단계에 있다. 북방지역(대련 이북)과 남방지역(북건성 주변지역)에서 주로 생산하고 있는데, 자연환경의 차이로 생산하는 방식에는 크게 차이가 있다. 대련지역에서는 육상수조에서 산란시켜 600 μ m 크기까지 관리한 다음에 중간 육성장으로 이동시켜 생산하고 있고, 북건성 지역에서는 축제식양식장에서 산란시켜 바지락 치패를 생산하고 있다.

중국은 1996년부터 해면 어업의 생산이 급격히 증가하여 2001년도 수산물 총 생산량은 4,382만ton에 이르렀는데, 이 중 해면 어업이 2,572만ton, 내수면 어업이 1,809만ton을 기록하였다(표 3-1-6). 이러한 수산물 생산량의 변화는 해면양식 생산량의 급격한 증가에 기인한 것이며, 2001년 양식 수산물 생산량은 전년과 비교해 85.3% 증가하였다.

2002년 중국의 수산물 생산량은 4,565만ton으로 이 중 해면어업은 58%인 2,646만ton, 내수면 어업은 42%로 1,919만ton이 생산되었다. 어종별로는 해면 양식의 경우 패류, 해조류, 갑각류, 어류 순으로 생산량이 높았고, 지역별로는 산둥, 복건, 광둥성에서 해면 양식 생산량이 많았다(표 3-1-7).

중국의 양식기술은 국가기관인 중국수산과학연구원과 산하 3개 해역별 연구소에서 주로 개발하고 있으며 중국은 세계 제1위의 수산물 생산국이자 양식대국으로 전반적인 양식 기술수준은 높지 않지만, 꼬막, 바지락 등 패류 인공종묘 생산기술이나 해삼의 양식 기술은 우리나라보다 높은 기술 수준을 보유하여 해면양식 어장면적은 지속적인 증가추세를 보이며, 이 가운데 패류 양식생산량이 전체의 43% 이상을 차지하는 것으로 보고되고 있다(그림 3-1-8, 표 3-1-8).

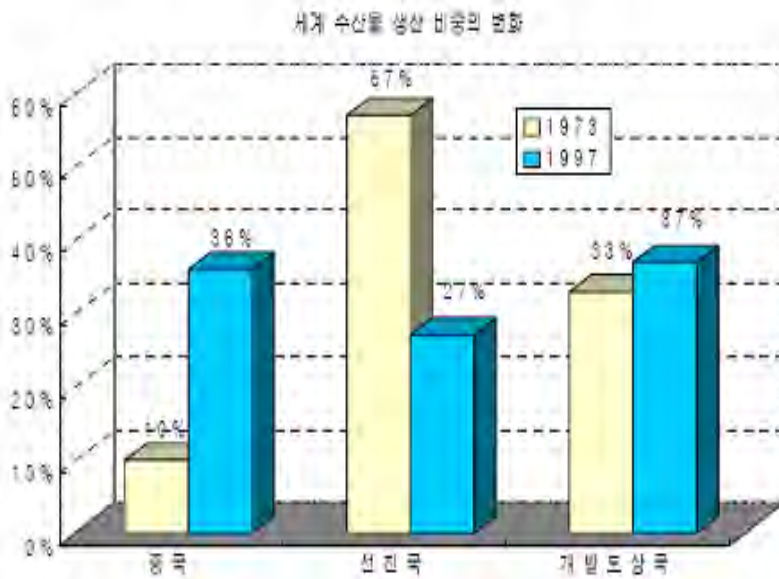


그림 3-1-9. 중국 수산물 생산의 세계적 위상 자료 : IFPRI(2003.10)

표 3-1-6. 중국의 수산물 생산량

단위: 천 ton, %

구 분	2001	2002	생산량 증감	증가율
총생산량	43,821	45,652(100)	1,831	4.0
해면(비중, %)	25,721	29,463(58.0)	742	2.0
어로	14,406	14,335	-71	-0.49
양식	11,315	12,128	813	7.18
내수면(비중, %)	18,100	19,188(43.0)	1,088	0.59
어로	2,150	2,248	98	4.55
양식	15,950	16,940	990	6.2

[자료 : 농어업, 농어촌 특별대책위원회, 「중국양식업실태조사보고서」, 2003.12]

표 3-1-7. 중국의 지역별 어업생산량(2002)

단위: 천 ton

구 분	총생산량	해면어업	내수면어업	비중
전국	45,652	26,463	19,188	100
산둥	6,950	5,983	968	15.2
광둥	6,281	3,744	2,537	13.7
북건	5,587	4,948	639	12.2
절강	4,807	4,093	714	10.5
요녕	3,748	3,271	478	8.2
강소	3,344	971	2,373	7.3
호북	2,723	-	2,723	6.0
광서	2,551	1,664	887	5.6
안휘	1,634	-	1,634	3.6
호남	1,493	-	1,493	3.2
기타	6,533	1,789	4,743	14.3

[자료 : 농어업, 농어촌 특별대책위원회, 「중국양식업실태조사보고서」, 2003.12]

표 3-1-8. 중국 해면어업별 생산량 추이

연도	합계	어획	해면양식	품종별 생산량				
				어류	갑각류	패류	해조류	기타
1985	4,197.5	3,485.2	712.3	22,745.3	706.2	473.0	273.0	-
1990	7,132.9	5,508.9	1,624.1	4,231.5	1,070.5	1,473.3	275.2	82.5
1995	14,391.3	10,268.4	4,122.9	7,581.4	1,848.3	3,922.8	749.1	289.6
1999	24,719.2	14,976.2	9,743.0	10,581.1	2,770.8	9,590.8	1,194.4	582.0
2000	23,387.4	14,774.5	10,612.9	10,327.1	2,970.1	10,389.5	1,222.0	478.7
2001	25,721.5	14,406.1	11,315.3	10,127.1	3,022.0	10,822.4	1,241.5	508.5
2002	26,463.3	11,443.9	12,128.4	10,205.2	3,098.0	11,324.3	1,331.4	504.3

[자료 : 농어업, 농어촌 특별대책위원회, 「중국양식업실태조사보고서」, 2003.12]

(나) 일본

일본의 수산물 생산기반은 급속히 악화되고 있고, 어업생산량은 1984년 12,816천ton을 정점으로 지속적인 감소하여 2003년도에는 6,030천ton을 기록하였다. 어업 부문별 생산량 추이를 살펴보면, 1980년 일본 수산물 총생산의 약 90%를 차지하던 해면 어로어업 및 채취어업 생산량은 2003년도에는 총생산의 약 78% 수준으로 하락하면서 전반적인 생산량의 감소를 초래하는 가장 큰 요인으로 작용하였다.

해면 양식어업은 다소 감소하는 추세를 보였으나, 동기간 연평균 약 1%씩 증가하여, 1980년도 수산물 총생산 대비 8.9%에서 2003년도에는 21%로 상승하였고, 내수면 어업도 어획어업과 양식어업 모두 감소하는 추세를 지속하고 있다.

주요 품종별 생산현황을 살펴보면, 해조류가 가장 큰 비중을 차지하였고, 다음으로 패류, 어류 순으로 나타났다(표 3-1-9).

표 3-1-9. 일본의 해면 양식수산물 생산량 추이

단위: 천 ton

연도	총계	어류	패류	해조류	기타
2000	1230.8	258.7	432.0	528.6	11.5
2001	1255.6	263.8	468.9	511.5	11.4
2002	1,333	268	496	558	11.0
2003	1,245	272	483	476	14.0

[자료 : 한중일 수산업의 경쟁력 분석과 시장개방 대응방안, 2004]

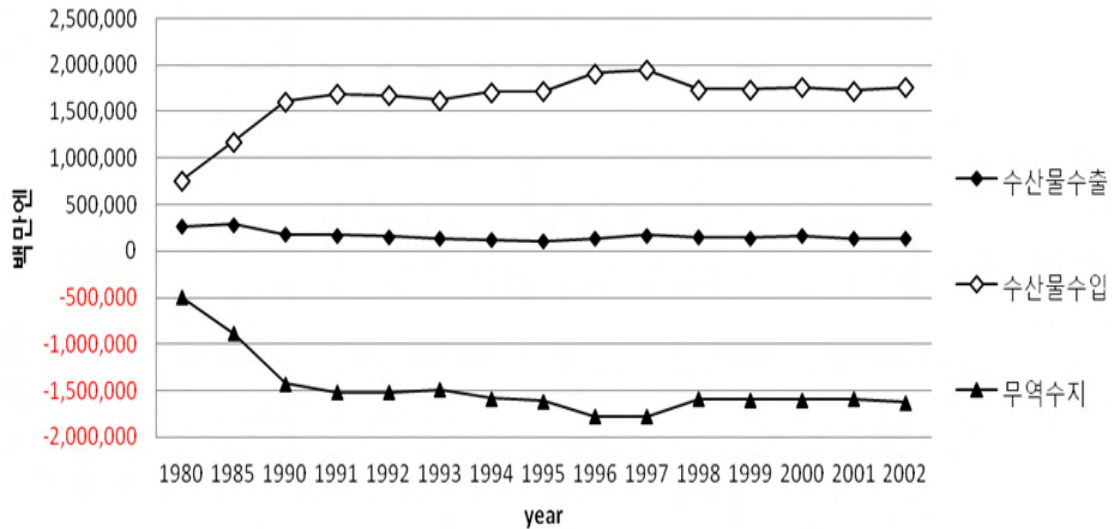


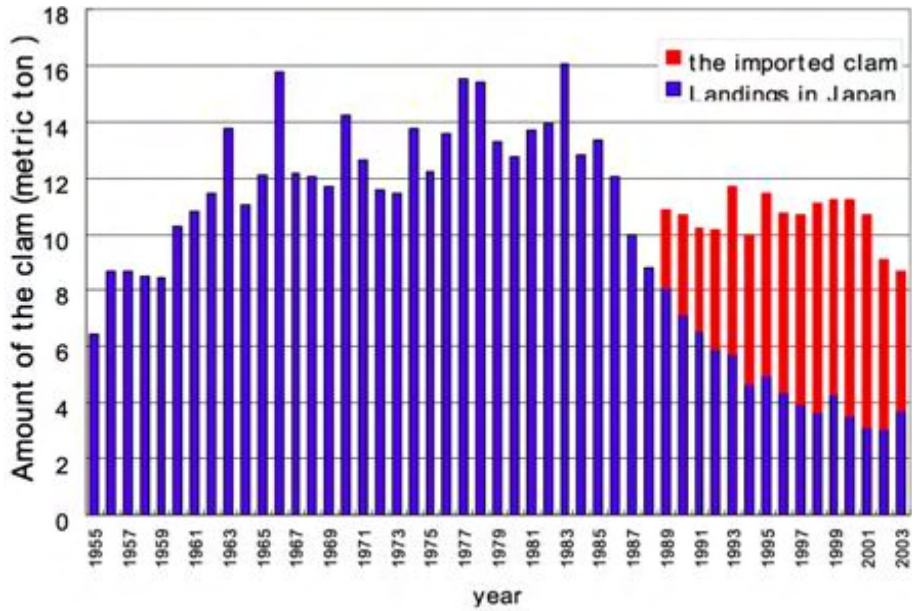
그림 3-1-10. 일본의 수산물 무역수지 추이(자료 : 한중일 수산업의 경쟁력 분석과 시장 개방 대응방안, 2004)

일본은 세계 제일의 수산물 소비국으로 수산물의 수출보다는 수입에 치중하고 있으며, 일본 수산물의 수출 규모는 1994년에 약 7~9억 달러 규모이다. 일본의 수산물 무역수지 적자는 평균 150억 달러 규모이지만, 1996년에는 180억 달러 규모에 이르렀다(그림 3-1-10).

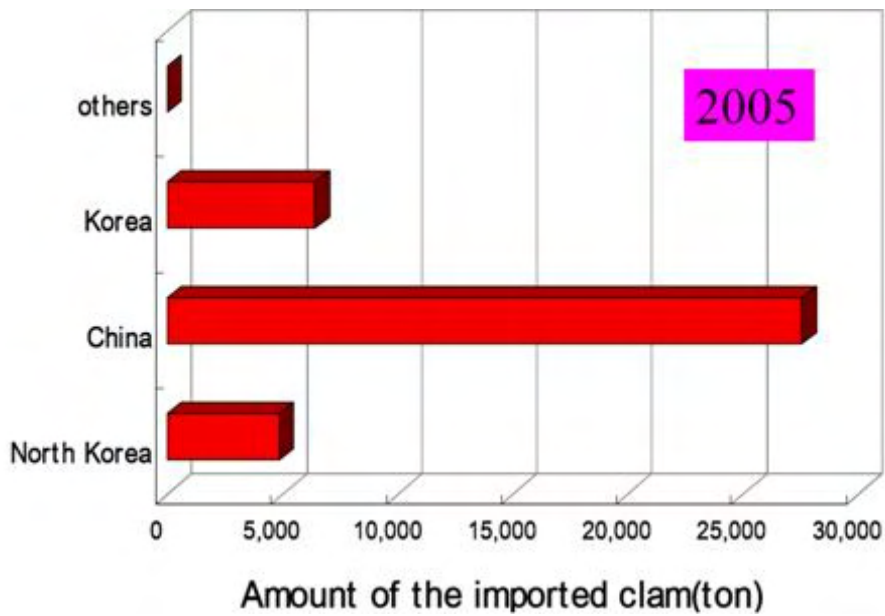
(다) 일본, 중국 수산물 무역 규모

일본은 전 세계 6위의 수산물 생산 대국이며 세계 최대의 수입국으로, 국내외 소비되는 패류는 상당량을 수입에 의존하고 있다. 일본의 국내소비량은 연간 약 15만ton이며, 그중 5만 ton을 수입하고 있고, 주요 수입국은 중국으로 약 50%정도를 의존하고 있다. 수산물 내수의 지속적인 증가와 어업 인구의 노령화로 인해 향후에도 일본의 국내 소비 부족분은 계속 해외에서 수입될 전망이다(그림 3-1-11).

중국은 수산물의 60% 생산과 세계 최대의 수출국으로 한국과 일본에 많은 패류를 수출하고 있으며, 젊은 연령층이 패류 사업에 종사하고 있다(표 3-1-10). 최근 수산물의 국내 소비 증가와 함께 가격 상승으로 인해, 중국은 최근 수입 증가가 2배가량 늘어나고 있어 해외 수출에 제한 요인이 될 수 있다(표 3-1-11).



(a) 생산량



(b) 수입량

그림 3-1-11. 일본의 바지락 생산과 수입동향(Tezuka and Hamaguchi, 2004)

표 3-1-10. 한중일 양식업 및 해면어업 생산량 추이(2002~2003)

단위: 천 MT

국 가	2002년				2003년			
	양식업	해면어업	계	국가순위	양식업	해면어업	계	국가순위
중국	27,767	16,553	44,320	1	28,892	16,775	45,647	1
일본	826	4,364	6,190	3	859	4,596	5,455	6
한국	296	1,671	1,968	14	387	1,647	2,035	13

[출처: 국립수산과학원 해외수산 동향분석 제6호]

표 3-1-11. 한중일 수산물 수출입 추이(1999~2003)

단위: 천 불(USD 1,000)

구 분		1999	2000	2001	2002	2003
수입	중국	1,127,412	1,795,953	1,787,242	2,197,793	2,388,590
	일본	14,748,712	15,513,059	13,453,375	13,646,071	12,395,943
	한국	1,140,022	1,371,830	1,626,906	1,861,093	1,934,998
수출	중국	2,959,530	3,602,838	3,999,274	4,485,274	5,243,459

[출처: 국립수산과학원 해외수산 동향분석 제6호]

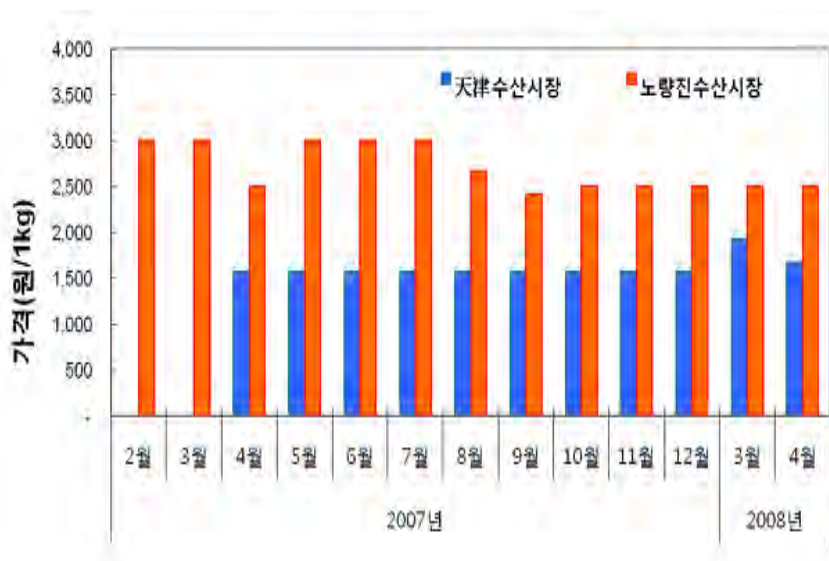


그림 3-1-12. 우리나라와 중국의 수산물 도매시장에서 바지락 판매가격 비교

또한 지금까지 중국의 음식문화에서 수산물에 차지하는 비중은 상대적으로 미비하였지만, 최근 경제성장과 더불어 수산물소비량이 급속히 증가하고 있으며, 중국 수산물의 소비자 가격은 한국소비자 가격과 비교하여 2007년에 70%, 2008년 초에 80% 수준에 이르고 있다(그림 3-1-12).

2. 패류양식장의 현황

패류양식은 대부분이 갯벌에서 이루어지고 있으며, 간석지를 칭하는 “갯벌”이라는 용어는 ‘개펄, 갯빨, 개빨, 간석지, 간사지, 해택’ 등 다양한 동의어들이 사용되어 왔으나 최근 순 우리말인 ‘갯벌’이 일반화 되어 가고 있다.

갯벌이란 조석의 차이로 인하여 드러나는 ‘갯가의 넓고 평평하게 생긴 땅’으로 연안 습지의 일부분이다. 습지보전법에서는 “연안습지는 간조와 만조 차이로 드러나는 해안의 공간”으로 내륙 습지와 대비되는 의미로 사용되고 있다. 이 정의에 의하면 연안습지는 해안의 바위해안, 모래해안, 갯벌을 모두 포함하고 있지만 갯벌이 그 중 가장 큰 규모를 차지하고 있다.

만조 때에는 물속에 잠기고 간조 때에는 공기 중에 노출되는 갯벌은 육상과 해양이라는 거대한 두 개의 생태계가 접하는 곳으로 두 생태계의 완충작용뿐만 아니라 연안생태계의 모태로서의 역할을 맡고 있다. 갯벌은 해안육지 - 염습지식생대 - 갯벌의 순으로 바다로 발달하는데 이 때 갯벌 상부에 발달하는 염습지는 육지로부터 영양염이 지속적으로 유입되기 때문에 생산력이 매우 높아 주요한 수산물의 생산지이며 지구상에서 가장 생산력이 높다고 알려진 열대 우림이나 산호초 해역과 비교도 안될 만큼 높은 생산력을 가진 것으로 밝혀지고 있다.

갯벌이 형성되려면 하구나 내만(內灣)으로 어느 정도 폐쇄되어 해안을 침식하는 파랑의 작용이 약하게 발생하거나 육지로부터 퇴적물질들이 유입될 수 있는 강이나 하천이 바다와 접하고 있어 펄이나 모래 같은 작고 가벼운 입자들이 있어야 한다. 이 과정 속에서 유입하천은 토사를 운반하면서 육지로부터 풍부한 영양 염류나 기타 해산동물(海産動物)의 먹이가 되는 유기쇄설물(有機碎屑物)을 갯벌에 공급하는 매우 중요한 역할을 수행하기도 한다. 또한 갯벌의 발달은 조차가 커서 물질수송이 활발하게 일어나고 지형적으로 차폐역이 발달하여 유속의 저감으로 인한 퇴적현상이 발달하여 세립질의 니질이 퇴적되어 형성된다.

가. 갯벌의 분포

우리나라 갯벌 면적은 2,489km²으로 보고되고 있다. 서해안과 남해안에 분포되어 있으며 우리나라 국토 면적의 2.4%이다. 그 중 인천경기 35%, 충남 13%, 전북 5%, 전남 44%, 경남부산 3%이다. 전체 갯벌의 대부분이 서해안에 분포되어 있으며, 경기도와 인천 해안

에는 약 1,000km² 정도 갯벌이 있고 이곳에는 강화갯벌, 인천갯벌, 시화갯벌, 남양갯벌이 대표적이며 강화갯벌은 300km² 정도이다. 섬이 많고 조차가 커서 한강, 임진강, 한탄강 등에서 흘러온 토사가 쌓여 갯벌이 되었다. 인천갯벌은 김포갯벌, 송도갯벌, 남동갯벌로 나누어지는데, 이런 저런 용도로 쓰기 위해 매립하여 이미 많이 사라졌다.

남양갯벌은 움푹 파여진 내만이기에 필로 이루어진 갯벌이다. 하지만 남양만 방조제로 인해 60km²가 사라지고 작은 규모로 남아있지만 필 갯벌이기에 가리맛조개가 많이 나는 곳이다. 아산만에서 시작해 천수만을 거쳐 장항으로 이어지는 충청도 갯벌은 아산만갯벌, 대호갯벌, 가로림만갯벌, 천수만갯벌, 장항갯벌로 나누어진다. 아산만 내에는 아산방조제, 삽교방조제로 막혀진 두 곳이 대표적인 갯벌이었으나 지금은 농토로 변해버렸고 일부만 남아있다. 태안반도의 북쪽에 위치한 가로림만내에는 80km²라는 비교적 넓은 갯벌이 발달돼 있는데, 굴양식장, 조개, 특히 바지락 양식이 유명하다. 이곳은 만의 입구가 좁고 조차가 7m나 되어 조력발전소가 계획되었던 곳이지만 지금은 근처에 석유화학공단이 들어서 오염이 심해지고 있다. 또한 천수만 안쪽에 발달했던 1백60km²의 대단위 갯벌은 80년대 초 서산 A, B지구 간척으로 인해 사라져버렸다. 전라북도의 갯벌면적은 113.6km²로 조사되었으나 이는 2001년 물막이공사가 끝나게 될 새만금지구의 갯벌면적을 제외한 수치이며 완공 시 상실될 것으로 예상되는 갯벌면적 208km²를 더하면 현재의 갯벌면적은 321.6km²이다.

전남 영광에서 무안, 함평, 목포를 거쳐 해남에 이르는 전라남도의 해안은 굴곡이 심하고 섬도 많아 매우 아름다운 곳이다. 이곳의 갯벌은 대부분 임자도, 지도 주위와 함평 해안가에 분포해 있다. 특히 이 지역은 대부분의 갯벌이 움푹 패인 만이기에 군산, 김제, 부안에 이르는 광활한 맛은 없지만 여기저기 흩어져 있는 갯벌을 모두 합치면 약 900km²나 된다고 하니 그 규모면에서는 남한 제일일 것이다. 또한 이 지역은 교통이 불편해 아직까지도 정확한 조사가 이루어지지 못하고 있다. 경남·부산지역은 우리나라 갯벌면적의 약 3%인 82.6km²가 분포되어 있다. 서해안에 비하여 조석간만의 차가 작고 조류 및 해류의 영향으로 갯벌이 발달할 수 있는 여건이 아니기 때문에 그다지 많은 갯벌이 분포되어 있지는 않으나, 비교적 해안의 굴곡이 심한 리아스식해안으로 대·소규모의 만 들이 형성되어 있어 소규모의 갯벌이 산재되어 있다.

나. 갯벌의 구분

갯벌은 퇴적물의 구성에 따라 모래갯벌(sand flat)과 펄갯벌(mud flat)로 구분되고, 두 가지 특성이 함께 나타나는 것을 혼성갯벌이라고 한다. 또한 위치에 따라 해변 갯벌과 하구역 갯벌로 구분할 수 있다. 퇴적물 구성은 해안의 물리적인 특성에 따라 좌우되기 때문에 해수유동이 심한 노출된 해안에서는 모래갯벌이, 보호된 해안에서는 펄갯벌이 우세하다. 이렇게 형성된 갯벌들의 물리·퇴적학적 환경 차이는 생물상이나 생물 생산뿐만 아니라 물질 순환에도 커다란 영향을 미치게 된다.

(1) 펼갯벌

개흙질이 많은 '펼갯벌'은 흐름이 완만한 내만이나 강 하구의 후미진 곳에 형성된다. 펼갯벌은 경사가 더 완만한 편으로 벌판의 폭도 넓어 어떤 곳에는 5km가 넘는다. 펼갯벌에는 수로가 많은 것이 특징이기도 하다. 펼갯벌은 펼 함량이 90% 이상으로 잘 발달한 지역의 표층 퇴적물의 평균입자의 지름은 0.031mm에 이른다. 니질 함량이 비교적 높은 펼갯벌에서는 모래갯벌보다 퇴적물의 간극이 좁아 산소나 먹이를 포함하는 바닷물이 펼 속 깊이 침투하기가 어렵다. 따라서 이곳에 서식하는 생물들은 지표면에 구멍을 내거나 관을 만들어 이를 통해 바닷물이 흘러들도록 한다.

(2) 혼성갯벌

모래펼갯벌이라고도 하는데 모래와 펼이 각각 90% 미만으로 섞여 있는 퇴적물로 구성된 갯벌이다. 대개는 세 가지 유형의 갯벌들이 한 지역에서 동시에 나타난다. 즉 저조선 부근에는 모래갯벌이 고조선 부근에는 펼갯벌이 그리고 그 사이에 혼합갯벌이 존재한다. 강화도의 경우, 동검도 주변은 펼갯벌이나 서쪽으로 갈수록 혼합갯벌 또는 모래갯벌로 바뀌어진다. 이것은 모두 물의 흐름이나 움직임과 밀접한 관계가 있는 것이다. 저서동물의 분포 유형을 보면 상부에서는 칠게가, 중부에서는 동죽이나 맛조개가, 하부에서는 가시땃해삼이 우점한다.

(3) 하구역 갯벌

하구역 갯벌은 육상기원의 퇴적물이 흐름이 완만한 하구 주변부에 퇴적되어 대규모의 갯벌을 생성한다. 따라서 이곳에는 육상에서 유입되는 많은 유기물이 집중되고 탁도가 높아 대양의 식물플랑크톤과 같은 일차생산자가 상대적으로 부족한 대신에 하구역 갯벌은 담수 유입이 많은 곳으로 하구와의 거리에 따른 일정한 염분구배를 가지고 있어 더욱 다양한 환경 조성에 기여한다. 또한 홍수시에는 대량의 담수가 일시적으로 유입되어 퇴적 환경을 바꾸는 등 극적인 환경 변화를 연출하는 곳이기도 하다. 담수는 필연적으로 육상의 오염물질과 영양염류와 결합된 현탁물들을 운반하여 하구역을 부영양화시켜 쉽게 오염되는 지대로 만들기도 한다. 서해안으로 향하는 강의 하구역에 발달한 한강의 강화도와 영종도 갯벌, 금강, 만경강, 동진강 하구의 군산, 김제, 부안 갯벌 등은 육상에서 공급된 퇴적물이 완만한 흐름의 하구 주변에 퇴적되어 대규모의 갯벌을 형성하고 있다. 이곳에서는 하구의 제방을 따라 갈대밭이 광활하게 펼쳐지며 바다를 향하여 모래나 펄로 된, 감소 저습지가 발달하였다.

다. 패류양식장 분포

가장 근래에 조사된 전국 패류양식장 면적은 2007년 조사된 49,261ha이고, 이중 전남이 25,911ha로 50%이상을 차지하였으며, 그 다음으로 경남, 충남, 전북, 인천, 경기 순으

로 나타났다(그림 3-1-13). 전남지역은 전복, 바지락, 꼬막 등 다양한 종류의 패류 양식을 하고 있으며, 경남지역은 굴, 홍합, 피조개 등을, 충남과 전북은 주로 바지락 양식이 활성화 되어있다. 2001년부터 패류의 양식어업 면적과 양식어업 건수는 증가하고 있지만, 꼬막은 2001년에 1,118건에 10,589ha에서 2007년에는 1,067건에 9,771ha로 양식면적이 8%가량 감소하였다(그림 3-1-14).

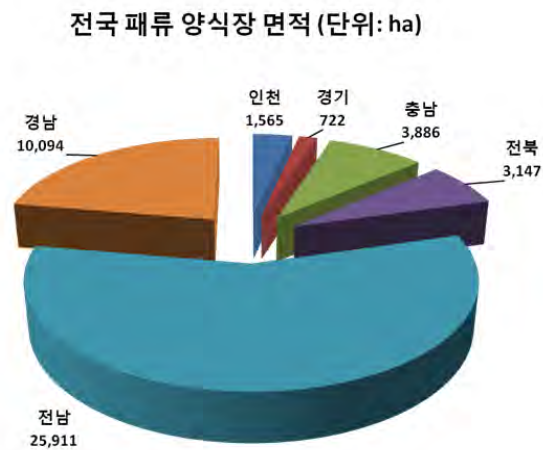


그림 3-1-13. 2007년 전국 패류 양식장 면적

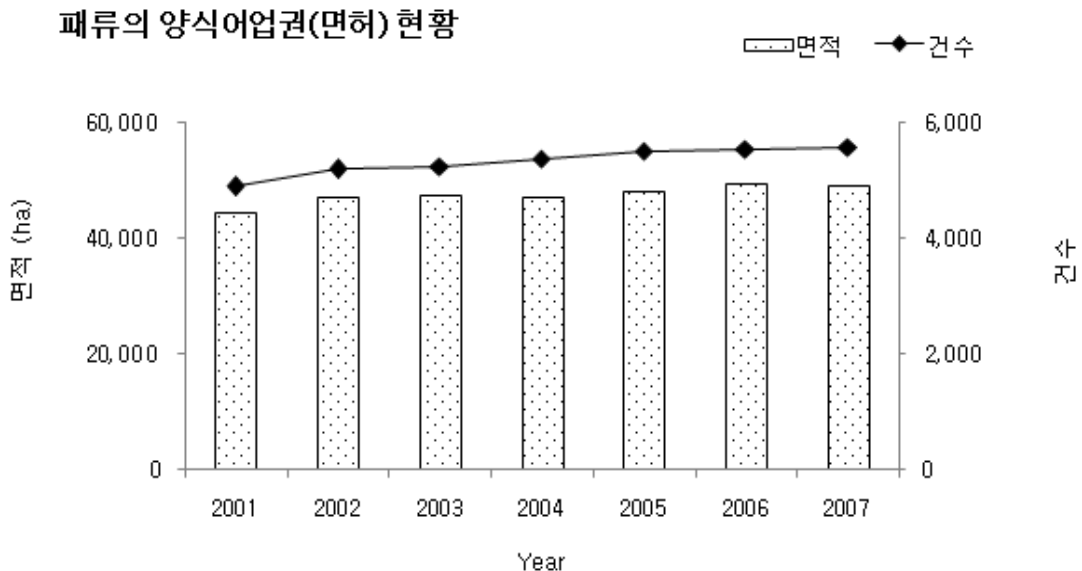
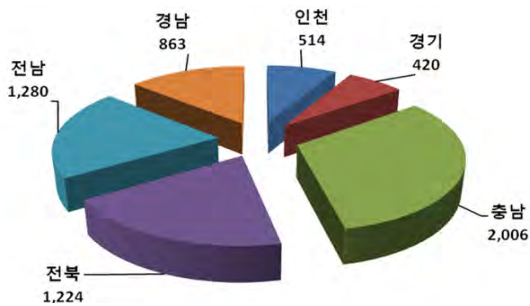


그림 3-1-14. 전국 패류 양식장 어업권 현황

2007년 바지락양식장의 면적은 충남, 전남, 전북, 경남, 인천, 경기 순으로 분포하고 있으며 양식면적이 전국적으로 분포하여 있다. 그러나 꼬막은 전남이 95%로 대부분을 차지하고 있으며 전라북도가 3%, 경상남도, 충청남도가 각 1%가량으로 양식이 행해지고 있었다(그림 3-1-15). 바지락 양식어업은 2003년을 제외하고 양식면적이 5,500ha 이상, 양식건수는 585~633건으로 점차로 증가하였으나 2003년 4배 이상 크게 감소하여 바지락 면적은 1,036ha, 양식건수는 105건으로 나타났다. 꼬막도 마찬가지로 2003년 양식건수와 양식면적이 다소 감소하였으며 바지락 양식은 이후 조금씩 증가추세를 보이고 있으나 꼬막은 약간씩 감소하는 경향을 보였다(그림 3-1-16).

전국 바지락 양식장 면적(단위: ha)



전국 꼬막양식장 면적(단위: ha)



[통계청: 천해양식어업권통계, 2007]

그림 3-1-15. 2007년 바지락·꼬막의 양식장 면적

바지락, 꼬막의 양식어업권(면허) 현황

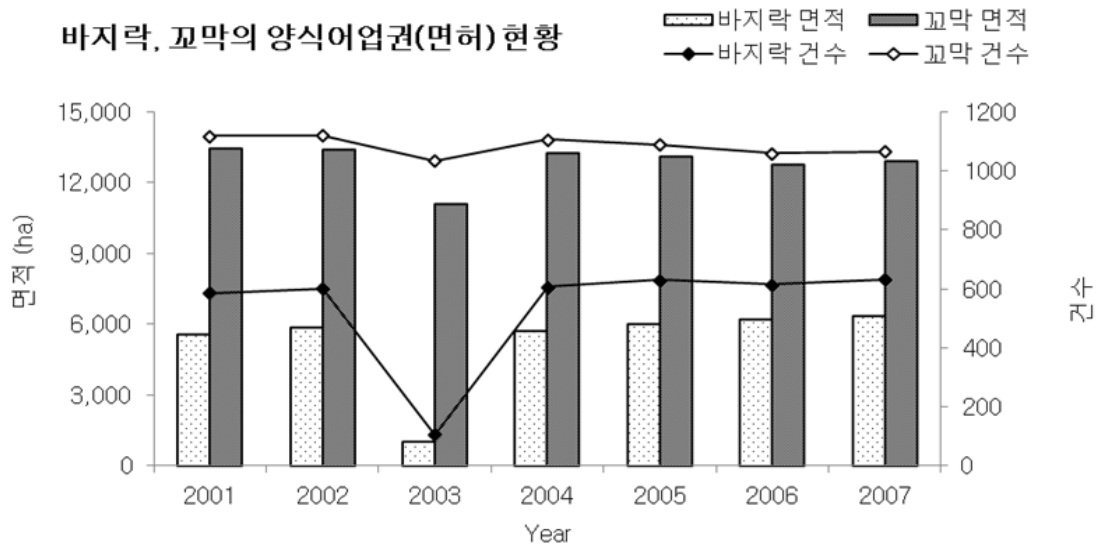


그림 3-1-16. 바지락·꼬막의 양식어업권 현황

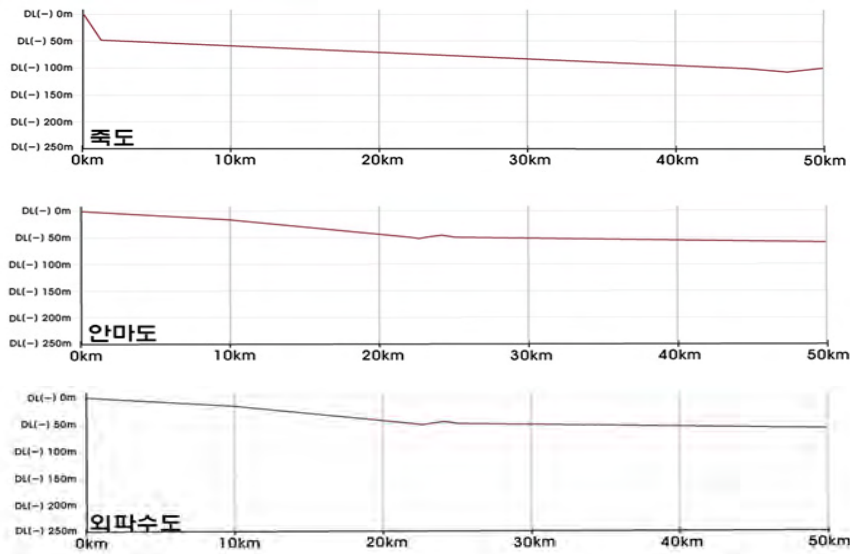
라. 패류양식장 해양환경

(1) 지형

반도국가인 우리나라는 동해, 남해 서해가 서로 상이한 지형적인 특징을 가지고 있다. 동해안은 해안선이 단조로우며 조석이 발달하지 않고, 해류와 파랑에 영향을 받으며, 지형변동이 왕성한 해역이나 조차가 거의 발달하지 않아 갯벌이 발달하지 않는 지역이다. 남해안의 경우 수심이 영해의 대부분이 100m 이하로 동해에 비해 상대적으로 낮으며, 다도해와 복잡한 해안선으로 인해 심해역은 남해의 남동측 해역에 주로 발달한다. 서해안의 경우 낮은 수심과 높은 조차로 조류의 발달이 크며, 조간대가 발달하였다. 지형은 완만한 경사를 이루고 있다. 동해안의 가사문단, 용추갑, 호미곶에 대한 수심 DL(-) 250m 까지의 지형변동 특성을 살펴보았을 때, 가사문단의 경우 해안선에서 10km정도 이안하면 수심 250m 까지 깊어지는 약 2.5%의 경사를 가지고 있으며, 용추갑의 경우 이안거리 4km 까지는 수심 100m 까지 2.5%의 경사로 급격하게 깊어지다가 0.8%로 다소 완만해져 약 23km에서 DL(-) 250m 까지 깊어진다. 호미곶에서는 15km정도 이안거리를 가질 때 DL(-) 250m 수심으로 깊어지며 이때의 경사는 1.67%이다.



(a) 기선의 위치



(b) 기선의 종단면도

그림 3-1-17. 우리나라의 남·서해안 지형특성

남해권과 동해권의 경계에 위치한 영도에서의 지형단면은 전면의 대한해협을 발달로 이안거리가 32km가 될 때 깊은 수로의 골을 이루며 수심은 DL(-) 220m 이다. 남해안의 경우 복잡한 해안선으로 DL(-) 100m 이내의 수심이 발달하고 있으며, 평면적으로 제주도와 함께 발달하고 있다.

제주도와 남해안 사이는 제주 북서측 연안에 발달하는 DL(-) 123m의 깊은 지형을 제외하고는 대부분 DL(-) 80m 이내의 지형을 보인다. 서해권의 죽도의 경우 이안거리가 20km 까지 DL(-) 100m 정도의 수심을 보이며, 그 이상 이격되어도 거의 100m의 완만한 수심분포를 보인다. 서해권의 안마도, 외파수도지역의 지형 또한 이안거리 20km 정도까지는 DL(-) 50m 까지 깊어지다가 50km까지는 DL(-) 50m를 유지하는 완만한 경사를 보인다(그림 3-1-17).

이러한 남해안 및 서해안의 리아스식 해안은 높은 조간대와 함께 연안의 표사이동을 활발히 하고, 완만한 육상지형에서 형성된 하천의 영향으로 육지기원 유기물 및 퇴적물의 영향으로 생산성 높은 갯벌의 발달을 야기하였다.

(2) 해양외력

(가) 태풍

우리나라는 아시아 대륙의 동부연안에 위치하여 매년 열대이동성저기압인 태풍의 영향으로 해안 및 해안시설의 피해가 발생하는 지역적인 특성을 가지고 있다. 특히 북상한 열대이동성 저기압이 제주지역의 북위 30° 부근에서 선회하여 우리나라 남해안으로 내습하는 경로가 일반적인 정상경로로서 태풍의 가항반경에 위치한 우리나라 남동해안의 경우 하계와 추계에 태풍에 의한 고파랑에 상시 노출되어 있다고 할 수 있다. 특히 최근 해수온의 상승으로 태풍의 강도와 빈도는 더욱 증가하여 해역시설물의 안정성에 영향을 미치는 사례가 더욱 증가하고 있다.

그림 3-1-18은 주요 태풍의 정상경로를 나타내고 있으며, 전술한 바와 같이 북위 10° 부근에서 발생한 태풍이 북상하여 북위 30°에서 선회하여 우리나라로 내습하는 특징을 보이고 있다. 이러한 정상경로의 경우 기왕 내습한 자료를 근거로 비교적 높은 설계기준을 적용하여 안정성을 도모할 수 있지만 이상경로로 태풍이 내습할 경우 설계기준을 벗어난 피해가 발생하기도 한다.

아래의 표 3-1-12는 우리나라에 내습한 주요 태풍을 나타내고 있으며, 1959년도에 내습한 “사라호”의 피해가 서해안에서 남해안까지 광범위하게 피해를 야기하였으며, 최근에는 태풍 “매미”에 의해 남동해안의 해안시설물들이 극심한 피해를 입었다. 특히 중심최저기압과 중심최대풍속의 영향으로 해역에 발생하는 파랑은 $H_{1/3} = 10m$ 를 상회하는 경우도 많다. 특히 태풍 “나비”와 같이 이상경로에 의한 너울성 파랑이 발달할 경우 연안역에는 피해가 다수 발생하였다. 서해안의 경우 태풍 “곤파스”나 “프라피룬”과 같은 서해를 통과하는 경로를 가질 경우 서해안과 남서해안의 경우 직접적인 피해를 받게 된다.

태풍의 경로는 우리나라 제주지역을 지나면서 주로 영향범위가 결정되며, 대부분의 동해안과 남해안이 가항반경에 위치하여 주로 영향을 받으나, 서해안의 경우 태풍의 경로가 중국의 해안선 따라 내습하는 경우 영향을 받게 된다. 특히 최근에는 태풍이 발달하는 9월과 10월의 기상상태가 불안하여, 이상경로의 태풍이 내습하는 경우가 다소 증가하고 있는 경향을 보인다.

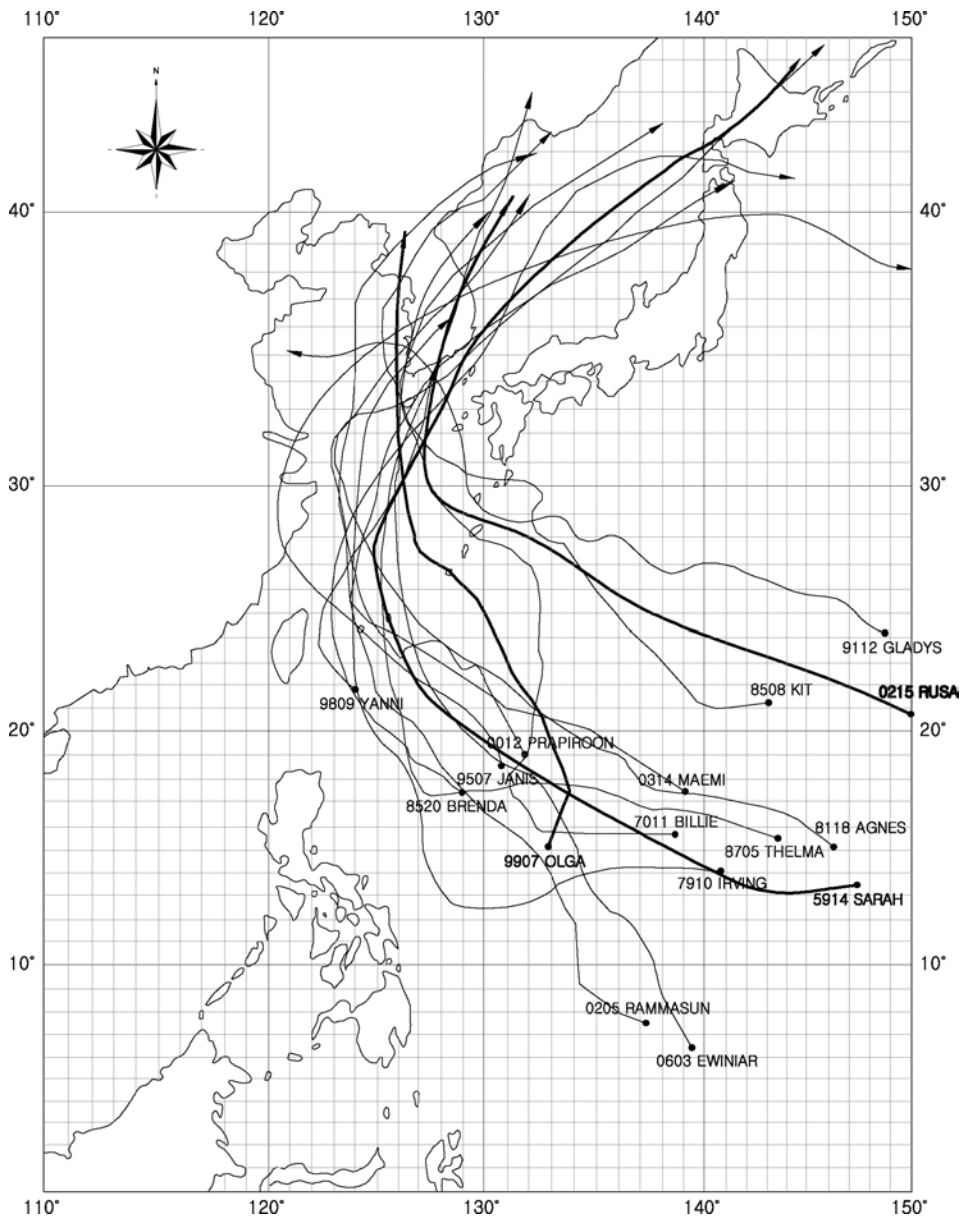


그림 3-1-18. 태풍 주요 경로도

표 3-1-12. 주요 태풍 현황

태풍 번호	태풍이름	발생일	발생위치		중 심 최저기압 (hPa)	중 심 최대풍속 (m/s)	영향기간 (월.일)	피해구간
			N	E				
5914	SARAH	1959. 9.11	13.6	146.5	905	32.5	9.15~9.18	서 해
7120	POLLY	1971. 8. 4	11.0	142.7	980	30.9	8. 9~8.12	중부, 서해
7303	BILLIE	1973. 7.11	10.0	129.0	816	66.9	7.18~7.19	서 해
7305	DIT	1973. 7.11	14.2	112.0	977	46.3	7.19~7.21	서 해
7310	IRIS	1973. 8. 7	17.7	140.9	972	43.7	8.16~8.18	전 국
7411	JEAN	1974. 7.15	16.1	132.9	994	25.7	7.20~7.21	서 해
7502	MAMIE	1975. 7.24	17.3	143.3	992	20.6	7.30~7.31	남해, 서해
8110	OGDEN	1981. 7.27	16.0	148.5	975	33.4	7.31~8. 2	서해, 남해
8118	AGNESE	1981. 8.26	8.2	148.0	947	48.9	8.31~9. 4	전 국
8211	CECIL	1982. 8. 4	22.0	130.0	914	64.3	8.12~8.15	전 국
8412	JUNE	1984. 8.27	22.0	129.5	985	25.7	9. 2~9. 3	전 국
8508	KIT	1985. 7.31	15.8	146.0	960	36.0	8. 8~8.11	전 국
8613	VERA	1986. 8.15	17.1	135.9	915	45.0	8.27~8.29	전 국
8705	THELMA	1987. 7. 9	15.7	143.3	915	50.0	7.15~7.16	전 국
9015	ABE	1990. 8.24	11.6	147.8	955	38.0	9. 1~9. 2	전 국
9109	CAITLIN	1991. 7.22	11.9	138.8	974.8	33.0	7.28~7.30	남 부
9119	MIREILLE	1991. 9.13	15.2	149.2	984.6	38.0	9.27~9.28	남 부
9219	TED	1992. 9.19	14.2	138.8	985	25.0	9.22~9.26	전남, 강원
9306	PERCY	1993. 7.28	23.6	129.2	975	30.0	7.29~7.30	남부, 서부
9307	ROBYN	1993. 8. 2	9.8	146.0	940	43.0	8. 8~8.11	남부, 중부
9407	WALT	1994. 7.15	15.4	125.3	915	55.0	7.26~7.28	남해안, 제주
9411	BRENDAN	1994. 7.26	16.7	123.4	992	23.0	7.31~8. 1	전 국
9413	DOUG	1994. 8. 1	15.5	139.6	925	50.0	8. 9~8.12	제주, 전남

자료 : 한국태풍 80년(중앙기상대 1984), 기상연보(1989~2009년)

표 3-1-12. 계속

태풍 번호	태풍 이름	발생일	발생위치		중 심 최저기압 (hPa)	중 심 최대풍속 (m/s)	영향기간 (월.일)	피해구간
			N	E				
9414	ELLIE	1994. 8. 9	24.7	141.5	965	35.0	8.14~8.16	전 국
9429	SETH	1994.10. 2	11.9	143.0	910	55.0	10.10~10.12	전 국
9503	FAYE	1995. 7.16	16.0	141.9	950	40.0	7.22~7.24	제주, 전남
9507	JANIS	1995. 8.29	20.0	130.5	990	24.0	8.25~8.27	서울, 경기, 충청
9514	RYAN	1995. 9.26	15.0	116.2	940	45.0	9.23~9.24	제주, 동해안
9709	ROSIE	1997. 7.20	10.6	138.0	920	50.0	7.26~7.27	강원, 경남북
9711	TINA	1997. 7.31	13.3	135.0	950	40.0	8. 7~8. 9	남해안, 제주
9719	OLIWA	1997. 9. 4	18.8	150.0	915	50.0	9.14~9.17	남해안, 제주
9809	YANNI	1998. 9.28	21.5	124.0	965	33.0	9.28~9.30	전 국
9810	ZEB	1998.10.11	11.0	141.5	900	55.0	10.11~10.18	동해안, 남해안
9905	NEIL	1999. 7.25	22.0	127.5	980	49.0	7.26~7.28	중부, 서해
9907	OLGA	1999. 7.30	14.8	133.3	970	33.0	8. 2~8. 4	동해안, 남해안
9908	PAUL	1999. 8. 4	20.0	140.0	992	46.0	8. 4~8. 7	제 주
0004	KAI-TAK	2000. 7. 6	19.6	120.0	960	39.0	7.10~7.11	중부, 남부, 제주
0006	BOLAVEN	2000. 7.26	25.2	126.4	980	28.0	7.30~7.31	중부, 남부
0012	PRAPIROON	2000. 8.27	19.0	131.7	965	36.0	8.31~9. 1	전 국
0014	SAOMAI	2000. 9. 3	16.2	150.0	925	49.0	9.12~9.16	전 국
0205	REMMASUN	2002. 6.29	11.3	136.4	945	44	7. 4~7. 6	전 국
0209	FENGSHEN	2002. 7.15	24.1	150.0	920	51	7.26~7.27	전남, 제주
0215	RUSA	2002. 8.23	21.2	150.0	950	41	8.30~9. 1	전 국
0314	MAEMI	2003. 9. 5	11.0	149.0	910	54	9.12~9.13	전 국
0407	MINDULLE	2004. 6.23	14.0	147.0	940	46	7. 2~7. 4	제주, 남부
0415	MEGI	2004. 8.16	18.0	133.0	970	33	8.17~8.19	전 국
0514	NABI	2005. 8.29	14.5	135.0	925	49	9.6~9.7	제주, 동남해안
0603	EWINIAR	2006. 7. 1	7.6	137.8	920	51	7.9~7.10	제주, 남부
0610	WUKONG	2006. 8.13	25.5	139.5	980	23	8.18~8.19	동남해안
0613	SHANSHAN	2006. 9.10	16.8	134.8	925	52	9.17~18	남부, 동해안
0705	USAGI	2007. 7.29	18.2	144.6	945	45	8. 3~8. 4	제주, 동남해안
0711	NARI	2007. 9.13	22.7	132.9	935	50	9.15~16	제주, 남부

자료 : 한국태풍 80년(중앙기상대 1984), 기상연보(1989~2009년)

(나) 파랑

패류양식장의 설계를 위해서는 해역에 작용하는 다양한 외력조건을 고려하여 각 외력조건에 대응할 수 있는 구조물을 설계하여 설치한다. 이때 구조물의 안정성에 영향을 미치는 주요 요소는 흐름과 파랑으로, 파랑의 경우 해양에서 발생하는 해양파 중 주로 가장 빈도와 에너지가 큰 풍파를 대상으로 설계한다. 항만 및 어항구조물 설계기준(2005)에서는 시설물에 작용하는 파랑의 조건을 50년 빈도 설계파를 채택할 것을 제시하고 있다.

해역의 불확정적인 파랑의 발달특성을 고려한 설계파랑기준을 제시하기 위해 2005년 해양연구원에서는 “전해역 심해설계파 추정 보고서”(2005.12)를 출간하였으며, 해양구조물을 설계하는 항만 및 어항의 설계 시 주로 반영되고 있다. 그림 3-1-19와 그림 3-1-20은 우리나라 전해역에 대한 심해설계파 기준을 제시하고 있으며, 서해안부터 남해안, 동해안에 이르는 격자와 제주권을 포함하여 100여 개의 격자점을 제시하고 있으며, 추가로 제공된 프로그램에 의해서 각 격자점에서의 빈도별 설계파랑을 산출할 수 있도록 하고 있다.

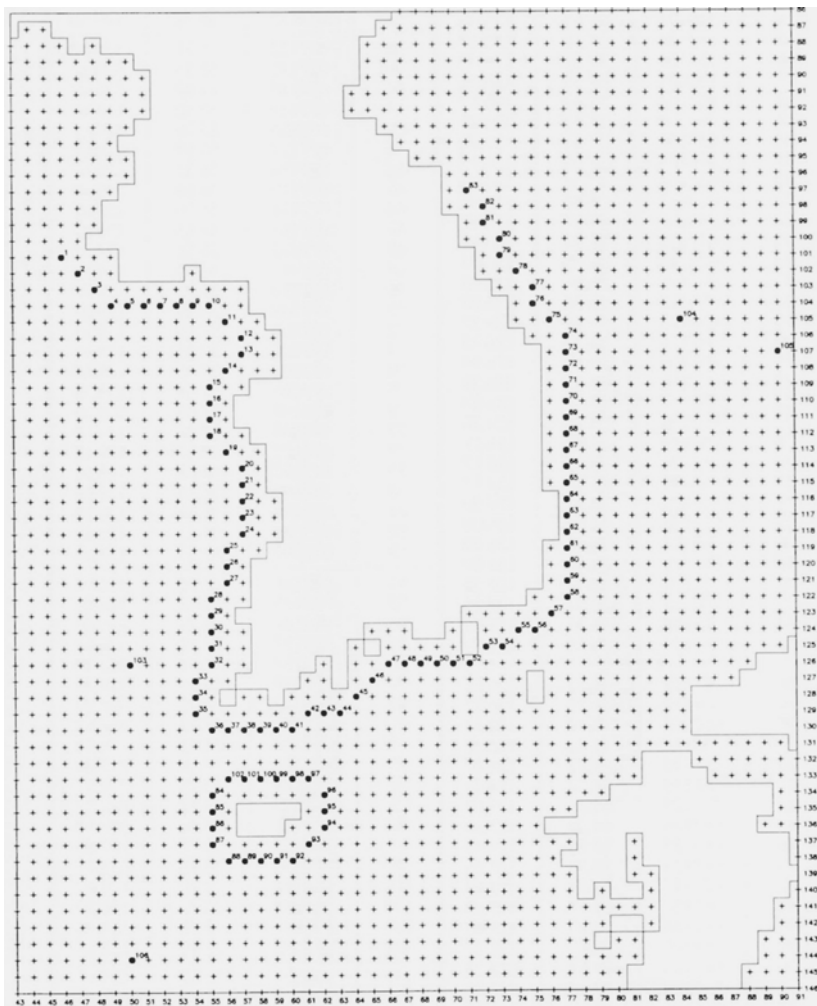


그림 3-1-19. 전해역 심해설계파랑 계산격자(해양연구원, 2005)

그림 3-1-20은 우리나라 전해역 심해설계파랑의 발달특성을 나타내고 있으며, 막대의 방향은 파향, 크기는 파고를 나타내고 있다. 패류양식장이 발달하고 있는 남해안과 서해안의 경우 남해안은 10m가 넘는 높은 파랑이 발달하고 있으며, 서해안보다는 동해안이 크게 발달한다. 또한 제주도의 경우 태풍의 진행경로에 위치하여 비교적 사면모두 높은 파고를 나타내었으며, 남동측 해역의 경우 15m를 넘는 파고가 발달하고 있음을 확인할 수 있다.

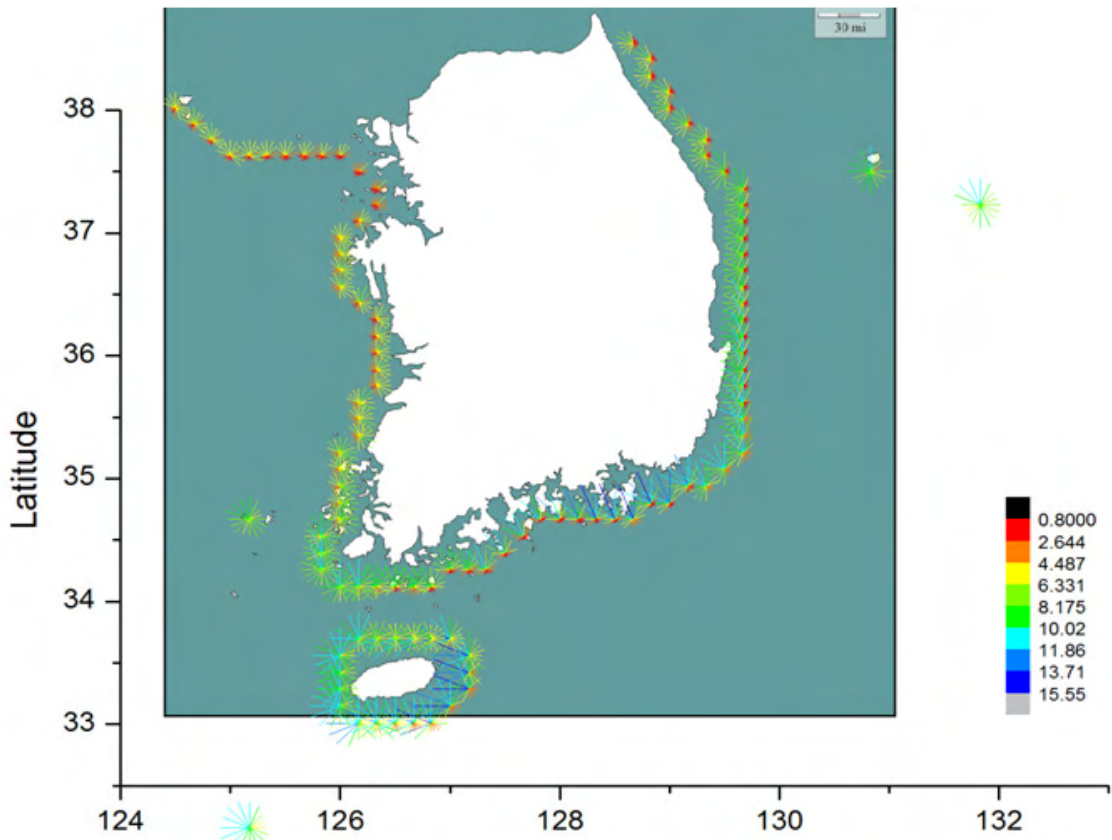


그림 3-1-20. 전해역 심해설계파랑의 분포

그림 3-1-21은 각 해역에서 발달하는 심해파랑제원을 50년 빈도 설계파랑을 대상으로 최대값을 도시한 것이다. 여기서 파고와 주기는 유의 파고이며, 해역별로 분명한 차이를 보이고 있다. 가장 높은 파가 발달하는 해역은 제주해역이며, 남해안이 대체적으로 파고가 높으며, 동측이 서측보다 높게 발달한다. 파고의 분포는 서해안이 5~11m의 분포를 보이며, 남해안이 9~15m, 동해안이 7~11m의 범위를 보이며 마지막으로 제주해역의 경우 9~14m로 가장 높은 파고분포를 보였다. 주기는 지형적으로 남측으로 개방되어 있는 남해안과 제주해역이 가장 크게 발달하여 서해안의 경우 유의파주기가 10~15sec, 남해안의 경우 13~18sec, 동해안의 경우 11~14sec의 범위를 보였다. 제주해역의 경우 13~17sec의 범위로 가장 높은 주기를 보였다.

그림 3-1-22과 그림 3-1-23은 각 해역에서 발달하는 파고와 주기의 범위를 격자점을 중심으로 나타낸 그림으로서 남해안이 가장 편차가 크게 발달하였으며, 서해안이 상대적으로 작은 편차를 나타내었다. 이러한 현상은 주기와 파고의 값에서 유사한 경향을 나타내었으며, 파고와 주기의 편차가 가장 큰 해역은 남동해역이었다.

고파랑이 발생하는 대부분의 조건은 열대이동성 저기압인 태풍과 동계 북서계절풍에 의한 것이다. 특히 파랑의 경우 파랑의 입사방향으로 개방되어있는 지형의 경우 차폐된 경우 보다 상대적으로 현격한 입사파랑의 차이를 보이게 되므로 이에 대한 검토가 중요하다.

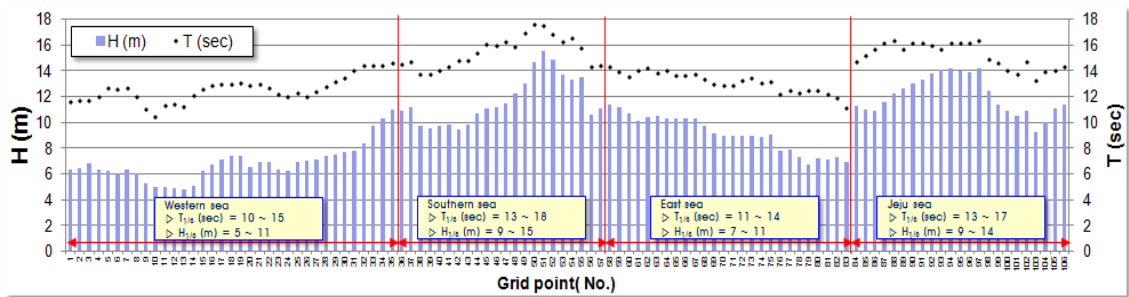


그림 3-1-21. 해역별 발달하는 파랑제원

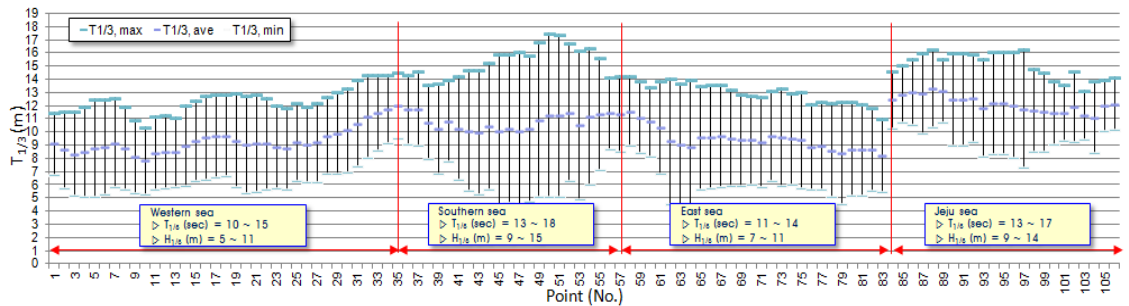


그림 3-1-22. 해역별 발달하는 유의파주기의 범위

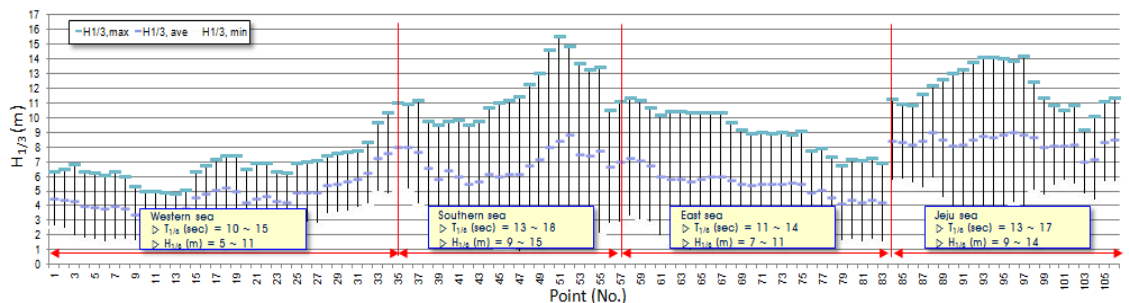


그림 3-1-23. 해역별 발달하는 유의파고의 범위

(다) 조류

조류의 경우 외해역에서 연안역으로 수심이 작아질수록 대륙의 서편에서 영향은 상대적으로 증가한다. 다음은 국립해양조사원에서 발간한 조류도에서 이야기하는 각 연안역의 조류발달 특성을 나타내며, 패류양식장이 주로 발달하고 있는 남해안과 서해안을 중심으로 살펴보았다(그림 3-1-24).

1) 서해안

가) 목포항 및 부근

다도해로서 유로가 여러 갈래의 대·소 수도를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 유황이 매우 복잡하고 유속도 매우 강한편이며 반일주조류가 우세한 왕복성 조류의 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고, 일조부등은 작은 편이나 칠발도~맹골도 외해에서 크게 나타난다. 유속은 맹골, 거차, 장죽, 횡간수도 등에서 매우 강하며, 와류현상도 뚜렷하다. 해안 및 도서 부근의 협수도에서는 왕복성 조류가 매우 강하게 흐르고 외해에서는 유황, 유속이 시시각각으로 변화하는 회전성 조류현상도 나타난다.

나) 흑산제도 부근

우리나라 서남단에 위치한 해역으로써 해상국립공원인 대흑산도, 홍도, 가거도 등 크고 작은 섬들이 많이 산재해 있으며, 주변국 및 연근해로 통항하는 대형선박이 빈번한 항로이며, 창조류가 낙조류보다 우세하며, 창조류는 북류~북동류, 낙조류는 남류~남서류가 주류를 이루고 있다. 이 해역 일대의 조류형태는 반일주조가 우세한 혼합조 형태의 조류로서 1일 2회의 창낙조류가 나타나고, 일조부등은 달의 적위가 최대로 된 후 1~2일에 나타나며 대조기에는 하·동 삭·망에, 소조기에는 춘·추 양현에 나타난다. 조석현상이 급변하는 해역으로 조석은 남에서 북측으로 그리고 서에서 동측으로 조차가 증가한다. 창조류는 남해안에서 전파되어 북서류-북류-북동류하며 군산해역으로 흐르고 낙조류는 이와 반대로 흐른다.

다) 군산항 부근

많은 도서가 육안에 근접하여 산재해 있으며, 대·소 선박의 통항이 매우 빈번한 해역으로서 비교적 규칙적인 창·낙조류가 북동-남서 방향 또는 동-서 방향에서 일어나며, 남측해역의 유속이 북측해역에 비해 다소 강하다. 조류형태는 대체로 반일주조류가 우세한 왕복성이지만 지형적인 영향으로 일부 연안역에서는 일주조류가 다소 강하게 나타나기도 한다. 최강류는 삭·망 후 약 1일에, 일조부등은 달의 적위가 최대인 시각으로부터 약 2일 후에 나타나며, 대조기에는 하·동절의 삭·망에, 소조기에는 춘·추절의 양현에 나타난다.

라) 격렬비열도 부근

서해중부의 태안반도 서측에 위치하며 Kelvin파의 영향으로 연안에서는 조차가 매우 크고 조류도 매우 강하게 흐르며 여름철에는 국지적으로 짙은 안개가 자주 발생하므로

항해 및 조업시에 각별한 주의가 요구되는 해역이며, 조류형태는 대체적으로 반일주조류가 월등하게 우세하나, 외해의 격렬비열도 및 외연열도 서측의 외해 해역은 반일주조류가 우세한 혼합조류형태로서 유향이 시시각각으로 변화하는 회전성조류 형태이며, 연안에서는 왕복성조류 형태의 1일 2회의 창·낙조류가 규칙적으로 나타나고 일조부등은 작은 편이다. 이 해역 외해의 전반적인 창조류는 시간이 경과함에 따라 동류 → 북류 → 서류하고, 낙조류는 서류 → 남류 → 동류로 다시 이어지면서 좌회전 한다.

마) 인천항 및 부근

인천항을 중심으로 북쪽의 강화도와 남쪽의 태안반도 사이에 있는 경기만의 남측으로 도서가 많이 산재해 있으며 유로가 여러 갈래의 대·소 수도를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 유황이 매우 복잡하고 유속도 매우 강한 편이다. 반일주조류가 우세한 왕복성 조류로 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고 일조부등은 작은 편이나 지형적인 영향으로 대이작도에서 소야도 사이의 서수도 부근에서 크게 나타나며, 곳에 따라 와류 또한 심하게 일어난다.

바) 어청도에서 안마군도 서부

서해 중·남부에 위치하여 한·중 또는 남·북간에 대·소 선박의 왕래가 빈번한 해상교통의 요충지로 이 해역은 조류 특성상 유향이 시시각각으로 변화하는 회전성 조류현상이 나타나므로 유황 판단에 세심한 주의를 요한다. 창조류는 외해에서 유입되어 시간이 경과함에 따라 동류~북류~서류하고, 낙조류는 다시 서류~남류~동류로 이어지는 반시계방향의 유황 변화를 보인다. 창조류 최강은 북동류~북류, 낙조류 최강은 남서류~남류시에 나타난다.

2) 남해지역

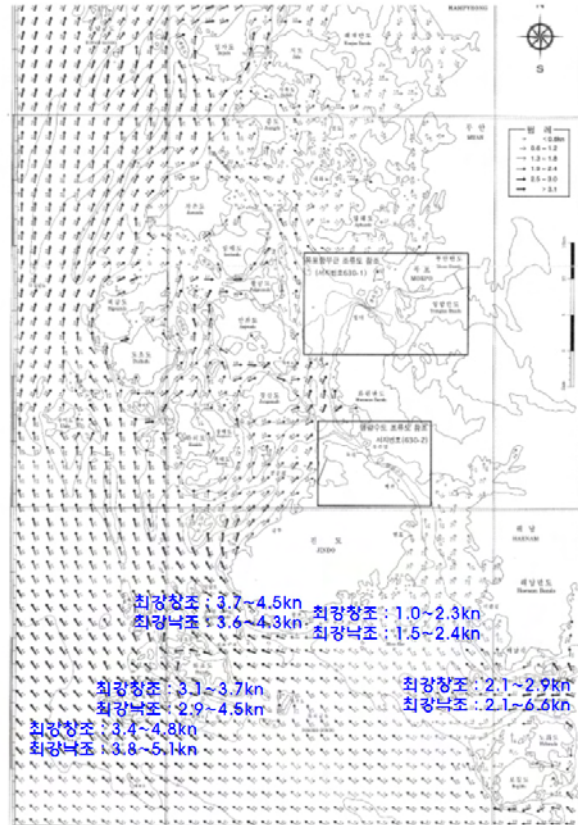
가) 여수에서 완도

도서가 가장 많이 산재해 있는 다도해로서 여러 갈래의 크고 작은 수도를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 그 유황이 매우 복잡하고 유속은 강하며, 국부적이기는 하나 초도, 손죽도 부근에서는 환류가 일어나 순간적으로 강한 흐름이 발생한다. 전반적으로 반일주조류가 우세하며 북부해역은 대체로 일조부등이 작아서 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나며, 도서가 산재해 있는 곳에서는 전류시를 전·후하여 조목이 형성되었다가 유속의 성쇠에 따라 조목 또한 성쇠한다.

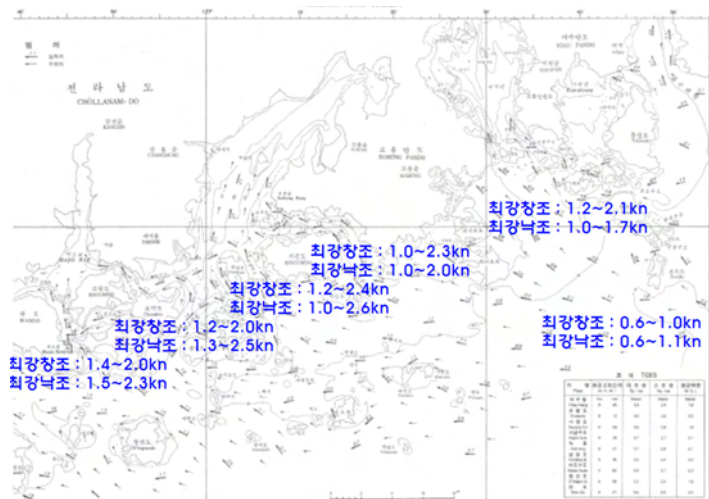
나) 부산에서 여수

부산항은 일반적으로 반일주조형의 왕복성 조류가 주축을 이루고 주류대를 벗어난 지점에서는 유속도 미약하고 반류 또는 환류하는 등 매우 복잡한 유황을 보이며 중앙부해역의 진해만은 반일주조가 우세하고 규칙적인 창, 낙조류가 일어나지만 유속은 약한 편이다. 삼천포부근은 대방 수도에서 가장 강한 흐름이 있으며 외해는 반일주조가 우세한 혼합조 형태의 왕복성조류가 주축을 이루고 거제도 동측 해역에서는 대조기와 소조기의

유황이 풍부하고 특히 소조기에는 북동류의 흐름이 강하게 나타나 편류하는 현상이 있다.



(a) 서남해안



(b) 남해안

그림 3-1-24. 각 해역에 발달하는 조류특성

3. 대상수역 선정

기존 패류양식장의 구조를 개선하여 생산성을 향상시키기 위하여, 우선 바지락이나 꼬막 양식이 성공적으로 이루어지고 있는 기존양식장을 위주로 시험어장을 물색하였다. 그 결과, 바지락은 고흥 남성리 지역, 꼬막은 고흥 계매에서 활발하게 양식되고 있었으며, 다목적 이용 복합양식은 적지조사를 수행하여 선정하였다.

기존 패류양식장은 아무런 구조 없이 말뚝으로 경계부만 표시하고 수행하고 있는데, 이에 따라 초기에 종패유실, 밀식, 환경악화 등의 문제를 연속적으로 발생시켜, 어업인의 소득증대에 큰 부담으로 작용하고 있어 패류양식장의 구조개선은 양식장 경계부에 경계석을 쌓아 인위적으로 surf zone을 만들어 환경을 개선하거나, 물을 가두어 패류의 섭식 기회를 더 주면 생산성이 높아질 것으로 예상되고 있다.

이러한 기본적인 아이디어를 바탕으로 3개 지역(고흥 남성리, 고흥 계매, 무안 도리포)의 시험어장을 선정하고, 기본적인 환경조사와 구조 개선을 도출하였다(그림 3-1-25).

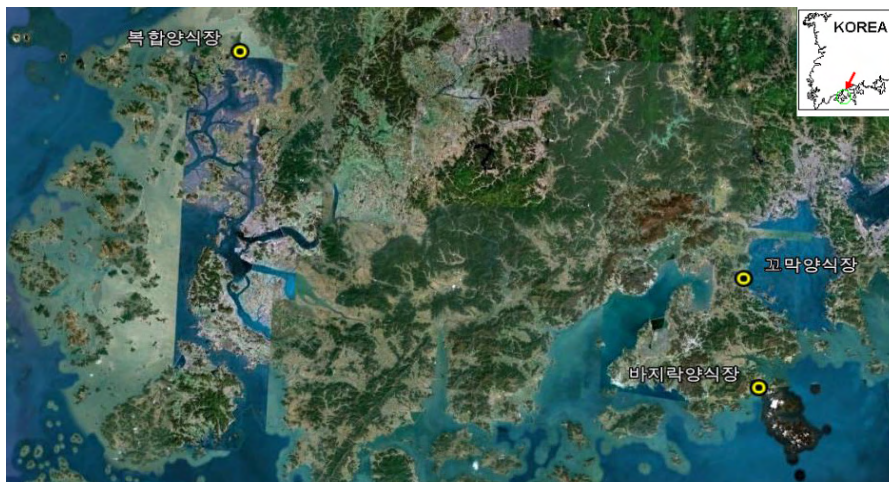
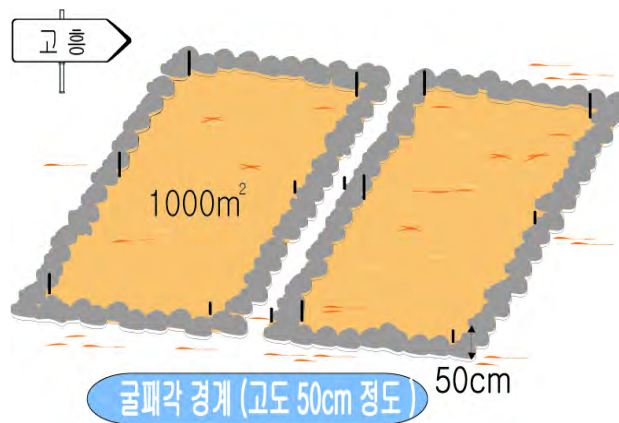


그림 3-1-25. 3개 지역의 시험어장(바지락, 꼬막, 복합)

가. 바지락

바지락양식은 우리나라 서해안과 남해안의 전 연안에서 이루어지고 있다. 가장 많은 바지락이 양식되고 있는 지역은 전라북도 고평만 지역이며, 이곳에서는 어떠한 구조물이 없이 바지락을 양식하고 있어, 전술한 바와 같이 종패유실, 밀식, 환경악화 등의 문제가 발생하고 있었다. 그러나 전남 고흥 남성리는 고평만이나 다른 지역의 양식장과는 다르게 경계부에 굴폐각을 쌓아 양식장을 구획하고 있었다(그림 3-1-26). 그 이외에도 남성리 어업인들은 자체적으로 굴폐각이나 모래 등을 살포하여 양식이 잘 될 수 있도록 많은 노력을 하고 있었다.

그 결과, 남성리에서는 1,000~1,500m²의 바지락양식장에서 연간 1,000만원 정도의 소득을 창출하여 성공모델로 자리 잡고 있었으며 남성리 바지락양식장의 구체적인 특징은 굴패각을 넣은 양파망으로 높이 50cm의 정도의 독을 쌓으며, 이때 양파망에 들어 있는 굴패각 사이에는 해수의 유통이 원만하게 이루어졌다. 또 만조시에는 굴패각으로 된 경계 부에서 파쇄대가 형성되어 용존산소가 증가하고, 배후부는 와류가 발생하여 바지락 산란철에 바지락 부유유생의 유입이 가능할 뿐만 아니라, 종패가 유실되는 것을 막을 수 있었다. 또한 바지락 양식장을 구획함에 따라 관리가 용이하고 패류 양식장의 다목적 활용이 가능하였다. 그러나 패류양식장을 굴패각으로 모두 쌓는다고 하면, 어장 여건에 따라 작업 환경이 불편할 수 있다는 단점도 내포하여 경계석의 재료에 대한 준비도 필요한 상황이었다. 따라서 고흥 남성리의 바지락 양식장 장점을 바탕으로 개선된 패류양식장 구조를 만들고, 동시에 주변에 대조구를 설치하여 구조의 안전성 및 바지락 생산성 차이를 조사하였다.



(a) 패류양식장 구조 모식도

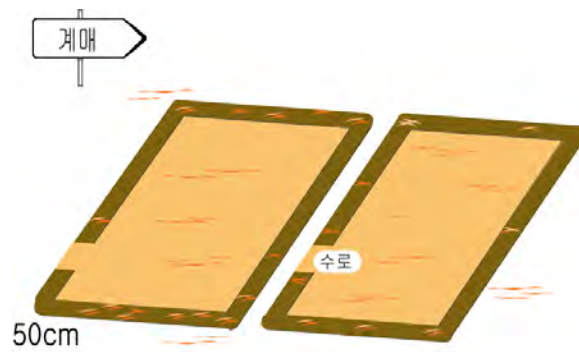


(b) 패류양식장 전경

그림 3-1-26. 고흥군 바지락 양식장 구조 및 전경

나. 꼬막

꼬막은 주로 전남의 갯벌에서 생산되며, 전남은 전국 생산량의 98%를 차지하며, 지역 특산물로 자리매김하고 있다. 꼬막은 펄질에서만 서식하는 패류로 연간 500억 정도가 생산되고 있는데, 최근에는 그 생산량이 급격하게 감소하고 있다. 고흥 계매 지역은 보성 벌교와 인접하고 있고, 꼬막의 생산은 벌교보다 오히려 더 많이 생산되고 있는 지역으로 꼬막양식장도 바지락양식장과 마찬가지로 어떠한 구조물 없이 정해진 양식장 안에 종패를 살포하고 성장할 때까지 기다렸다가 채취하고 있으나 생산량이 급감하고 있는 가운데 패류양식장의 구조개선을 통해 종패유실을 막고, 생산성향상을 도모할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 고흥 계매양식장의 경우도 펄로 독을 쌓고, 구조의 지속성 및 생산성을 파악하기로 하였으며 고도 50cm 내외의 낮은 독은 간소 시에도 30cm 내외의 수심을 유지시켜 식물플랑크톤의 생산을 유지시켜 꼬막이 24시간 먹이 섭취가 가능하도록 할 수 있을 것으로 예측되어, 그 가능성을 조사하기로 하였다. 꼬막양식장은 기존에 접근이 어려워 관찰이 용이하지 못한 단점을 보완하여, 고흥군 계매 신직마을에 인접한 해안에 해수의 체류시간을 길게 유지할 수 있는 시험포를 조성하였다(그림 3-1-27).



(a) 패류양식장 구조개선 모식도



(b) 패류양식장 구조개선 전경

그림 3-1-27. 계매 꼬막 양식장 시험포구조 및 전경

다. 다목적 이용 복합양식

갯벌에서의 다목적 이용 복합어장은 과거에도 여러 번 시도되었지만, 아직까지 활성화되어 있지는 않다. 복합어장은 한 공간에서 두 가지 품종을 양식함으로써 공간이용을 극대화할 뿐만 아니라 소득증대도 도모할 수 있다. 서해안 복합양식 및 구조개선 시험어장 선정은 전남 갯벌 연안 18개소(그림 3-1-28)의 선행연구조사를 바탕으로 환경조사를 연장 실시하여 얻은 환경분석결과 자료를 바탕으로 2개 지역을 선정하였으며, 이 두 지역을 비교분석하여 서해안 시험어장을 최종 선정하였다.



그림 3-1-28. 갯벌 연안 환경조사 정점

(1) 시험어장 선정을 위한 갯벌연안 환경조사결과

(가) 기온, 강수량, 영산강하구 담수배출량

전남 연안 6개 권역을 대표할 수 있는 영광과 목포지역의 2008~2009년 동안 기온을 살펴보면 각각 $-0.4\sim 26.2^{\circ}\text{C}$, $1.6\sim 25.9^{\circ}\text{C}$ 로 두 지역간 비교시 겨울철에 영광이 낮은 기온을 보이고는 큰 차이를 보이지 않았다(그림 3-1-29).

강수량의 경우 2008년에는 목포 948.8mm, 879.7mm를 기록하였으며, 2009년에는 목포와 영광지역에 각각 1,088.4mm, 1,192.7mm의 강수를 보였으며, 강수패턴이 2008년에는 6월에, 2009년에는 7월에 집중되는 경향을 보였다(그림 3-1-30).

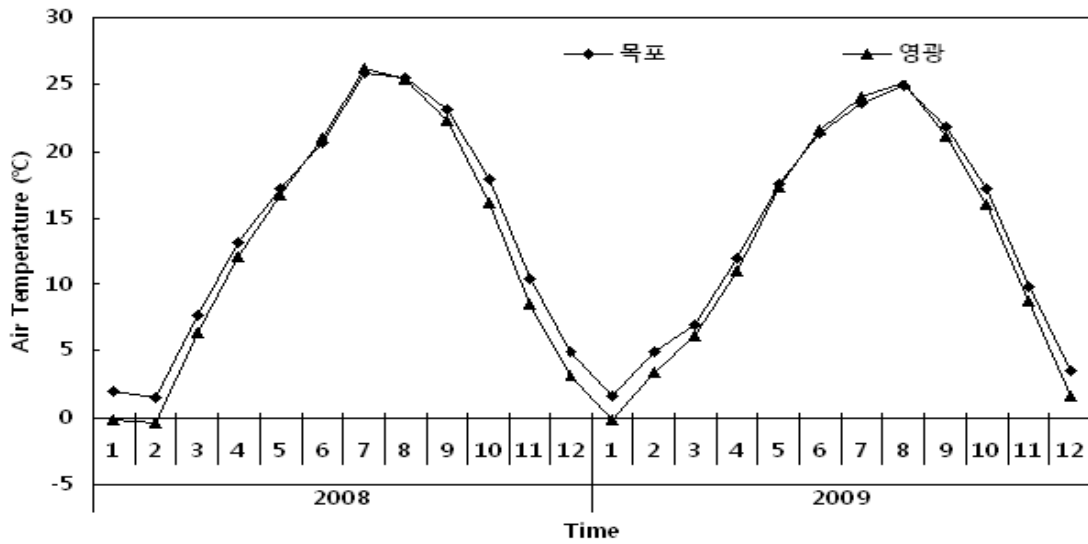


그림 3-1-29. 2008~2009년 목포, 영광 지역의 월별 기온 분포

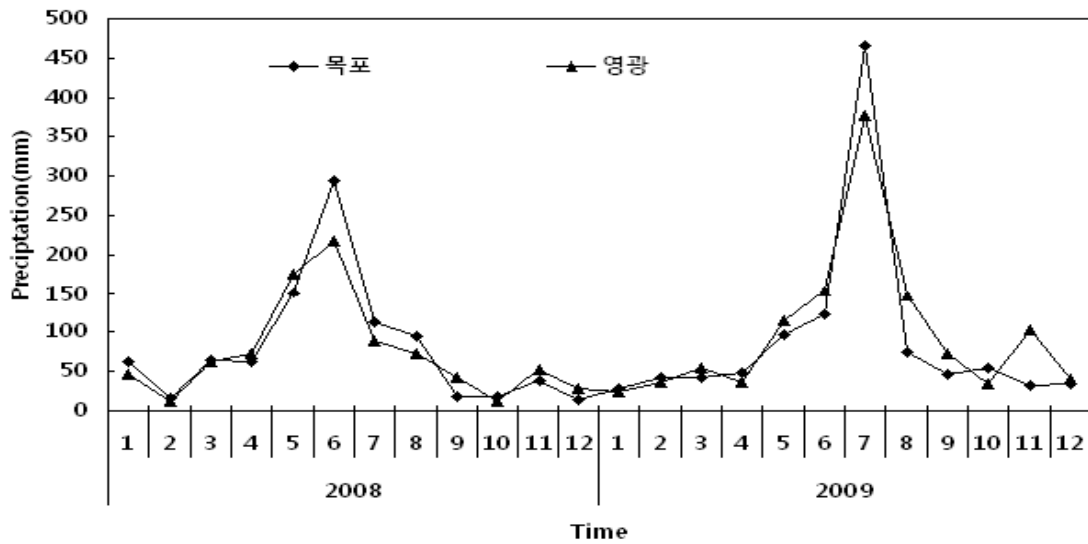


그림 3-1-30. 2008~2009년 목포, 영광 지역의 월별 강수량

전남 남서해역은 영산강이 위치하고 있어 영산강 하구로부터 배출되는 담수는 이 지역에 큰 수질 및 수산생물에 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 2008~2009년 동안 배출량은 각각 $1,041,722 \times 10^3$ ton, $1,269,482 \times 10^3$ ton 이었으며, 강수패턴과 같이 2008년에는 6월, 2009년에는 7월에 가장 높은 담수유출량을 보였다(그림 3-1-31).

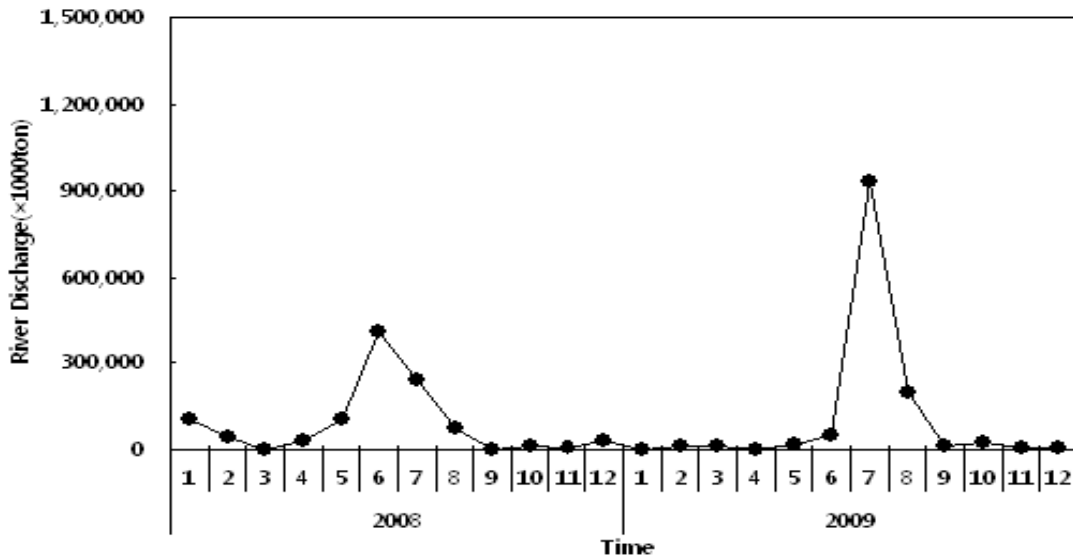


그림 3-1-31. 2008~2009년 영산강하구 월별 담수 배출량

(나) 수질환경

수온은 조사기간동안 영산강하구 5.6~29.3℃(평균 16.4℃), 무안만 2.1~30.8℃(평균 16.6℃), 탄도만 1.3~29.9℃(평균 15.9℃), 함평만 2.0~32.2℃(평균 16.7℃), 신안지도 4.0~27.3℃(평균 15.0℃), 영광해역 2.6~31.1℃(평균 17.5℃)로 수로지역이 많은 신안지도해역이 낮고, 영광해역이 높게 나타났다(그림 3-1-32).

염분은 조사기간동안 영산강하구 4.6~32.1psu(평균 26.5psu), 무안만 15.6~32.8psu(평균 29.9psu), 탄도만 24.4~34.3psu(평균 31.2psu), 함평만 21.2~32.9psu(평균 31.1psu), 신안지도 30.0~32.8psu(평균 31.9psu), 영광해역 10.5~33.1psu(평균 30.0psu)로 시기적으로 강수량이 높은 여름철에 저염현상을 보였으며, 지역적으로는 영산강 담수유출이 직접적으로 이루어지는 영산강 하구에서 가장 낮았고, 담수유출이 이루어지는 시기에는 일시적으로 염분이 크게 하락하였다(그림 3-1-33).

수소이온농도(pH)는 조사기간동안 조사해역 전체적으로 7.4~8.8(평균 8.0)의 범위를 보였으며 조사해역 특성상 영산강 하구에서 담수유출이 높았던 여름철 시기에 낮은 값을 보였다(그림 3-1-34).

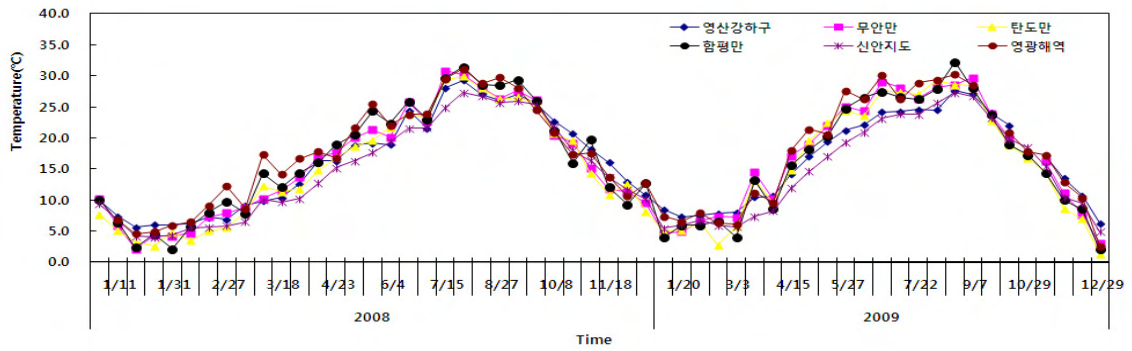


그림 3-1-32. 2008~2009년 월별 수온 변동

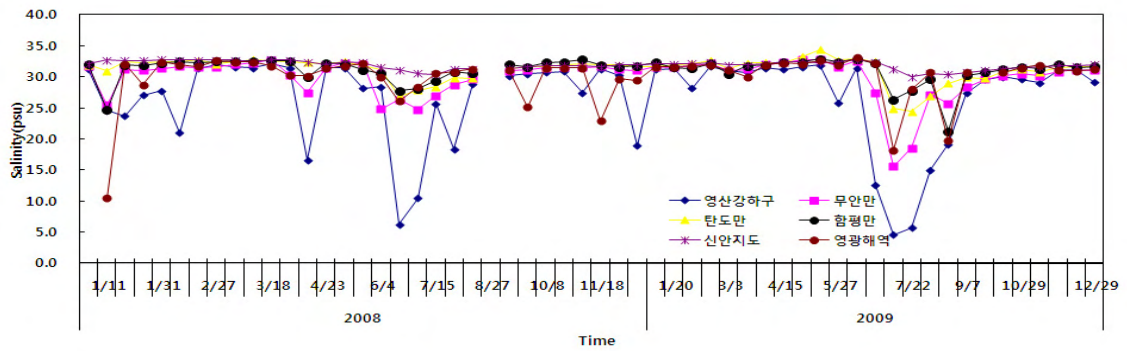


그림 3-1-33. 2008~2009년 월별 염분 변동

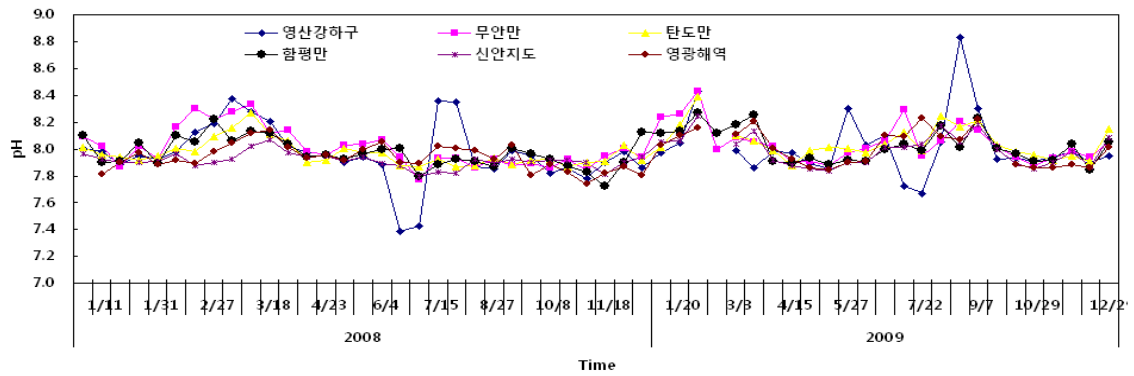


그림 3-1-34. 2008~2009년 월별 수소이온농도는(pH) 변동

용존산소(DO)는 조사기간 동안 영산강하구 5.1~13.3 mg/l (평균 9.4 mg/l), 무안만 6.2~13.3 mg/l (평균 9.2 mg/l), 탄도만 6.2~13.1 mg/l (평균 9.0 mg/l), 함평만 6.3~12.9 mg/l (평균 9.0 mg/l), 신안지도 6.5~11.6 mg/l (평균 8.9 mg/l), 영광해역 6.1~11.8 mg/l (평균 8.6 mg/l)로 지역적으로 큰 차이를 보이지 않았지만 영광해역에서 평균적으로 낮았으며, 계절적으로는 수온이 낮은 겨울철에 높고, 수온이 높은 여름철에 낮은 경향을 보였다(그림 3-1-35).

부유물질(SS)은 조사기간 동안 영산강하구 1.8~50.8 mg/l (평균 7.6 mg/l), 무안만 5.3~220.0 mg/l (평균 30.0 mg/l), 탄도만 2.6~335.0 mg/l (평균 25.1 mg/l), 함평만 7.9~642.3 mg/l (평균 66.6 mg/l), 신안지도 16.5~324.2 mg/l (평균 94.3 mg/l), 영광해역 14.1~1,262.0 mg/l (평균 225.1 mg/l)로 지역적으로 볼때 외해에 오픈되어 있는 영광해역, 신안지도해역에서 높았으며, 영산강 하구 해역에서는 가장 낮고, 조간대가 발달한 함평만, 무안만, 탄도만에서는 일시적으로 높은 값을 보이기도 하였다. 시기적으로 특별한 경향을 보이지 않았다(그림 3-1-36).

화학적산소요구량(COD)은 조사기간 동안 영산강하구 0.6~3.9 mg/l (평균 1.8 mg/l), 무안만 1.3~3.5 mg/l (평균 1.7 mg/l), 탄도만 0.9~2.3 mg/l (평균 1.5 mg/l), 함평만 1.1~2.7 mg/l (평균 1.7 mg/l), 신안지도 0.7~2.5 mg/l (평균 1.3 mg/l), 영광해역 0.9~2.9 mg/l (평균 1.6 mg/l)로 평균적으로는 해역수질생활환경기준 II 등급 수준을 보였다(그림 3-1-37). 지역적으로는 영산강 하구와 인접한 무안만에서 영산강 하구 담수유출 높은 시기에 3 mg/l 이상의 높은 값을 보이기도 하였다.

용존무기질소(DIN)는 조사기간동안 영산강하구 0.14~3.10 mg/l (평균 0.74 mg/l), 무안만 0.06~1.61 mg/l (평균 0.37 mg/l), 탄도만 0.05~1.11 mg/l (평균 0.24 mg/l), 함평만 0.15~1.79 mg/l (평균 0.41 mg/l), 신안지도 0.13~0.47 mg/l (평균 0.24 mg/l), 영광해역 0.14~1.27 mg/l (평균 0.40 mg/l)로 직접적인 담수배출이 있는 영산강 하구 지역에서 높고, 폐쇄적인 만은 평균적으로 비슷한 수준을 나타냈으며, 강수량이 높은 시기에 높은 값을 보였다(그림 3-1-38).

용존무기인(DIP)은 조사기간 동안 영산강하구 0.01~0.11 mg/l (평균 0.04 mg/l), 무안만 0.01~0.09 mg/l (평균 0.03 mg/l), 탄도만 0.01~0.07 mg/l (평균 0.03 mg/l), 함평만 0.02~0.12 mg/l (평균 0.04 mg/l), 신안지도 0.02~0.05 mg/l (평균 0.03 mg/l), 영광해역 0.01~0.09 mg/l (평균 0.04 mg/l)로 DIN과 유사하게 직접적인 담수배출이 있는 영산강 하구 지역에서 높고, 폐쇄적인 만은 평균적으로 비슷한 수준을 나타냈으며, 계절적으로는 강수량이 높은 시기에 높은 값을 보였다(그림 3-1-39).

엽록소-a(chl-a)는 조사기간 동안 영산강하구 0.03~83.38 µg/l (평균 8.09 µg/l), 무안만 0.23~28.20 µg/l (평균 6.36 µg/l), 탄도만 0.34~21.78 µg/l (평균 3.99 µg/l), 함평만 0.03~45.26 µg/l (평균 6.62 µg/l), 신안지도 0.27~12.31 µg/l (평균 4.35 µg/l), 영광해역 1.24~30.42 µg/l (평균 11.66 µg/l)로 영광해역에서 다소 높은 경향을 보였으며, 그 외에는 평균적으로 큰 차이를 보이지 않았고 영산강 하구에서 83.38 µg/l 의 높은 값

은 담수 배출의 직접적인 영향에 의한 것으로 나타났다. 시기적으로는 2008년에 2월과 4월에 높은 경향을 보이고 그 이후로는 큰 변동성을 보이지 않는다, 2009년 여름철과 가을철에 두 번의 피크를 보였다(그림 3-1-40).

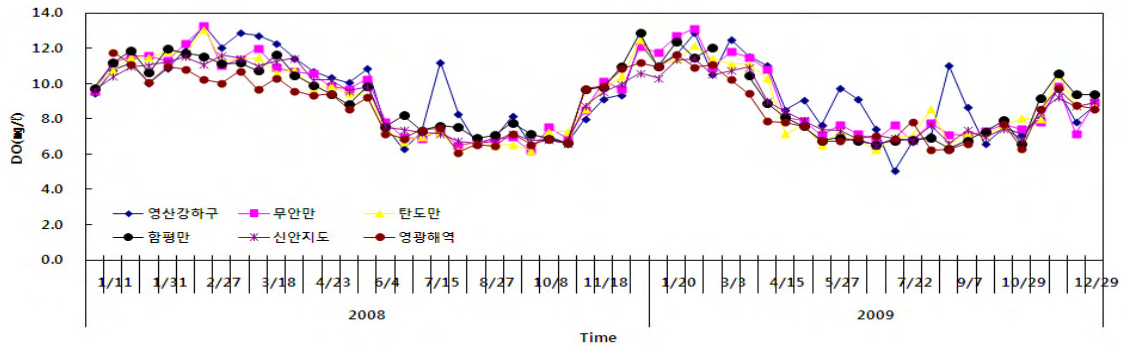


그림 3-1-35. 2008~2009년 월별 용존산소(DO) 변동

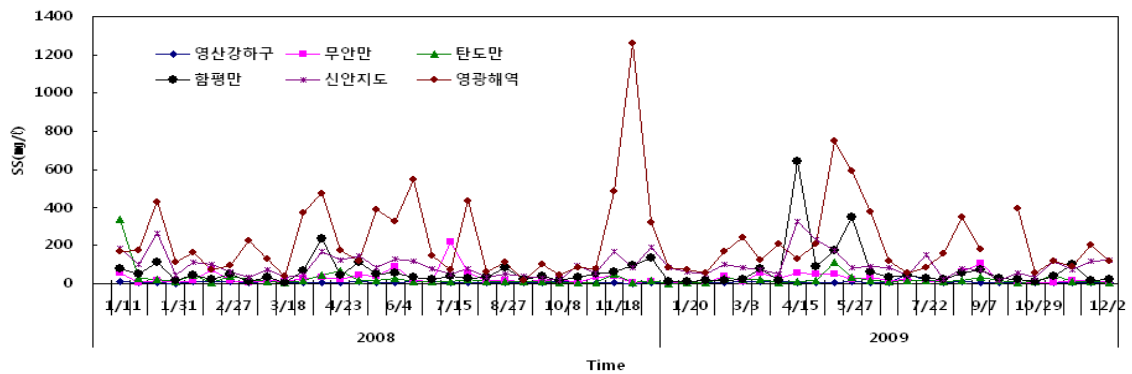


그림 3-1-36. 2008~2009년 월별 부유물질(SS) 변동

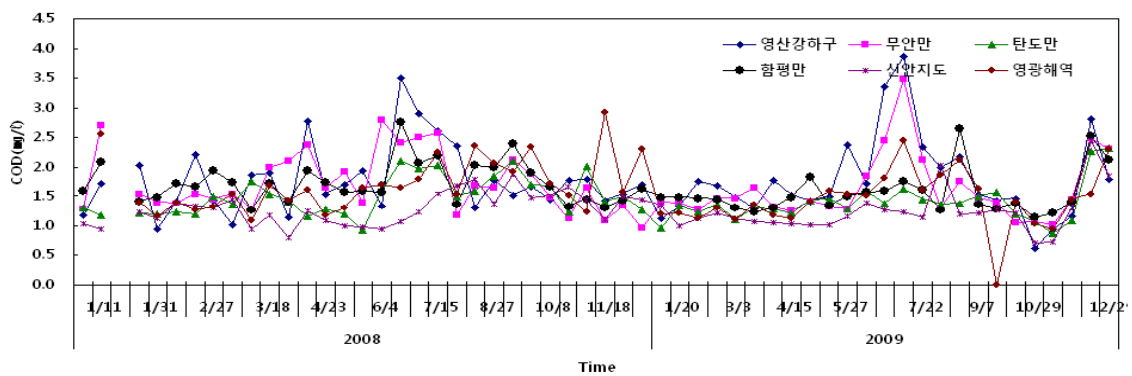


그림 3-1-37. 2008~2009년 월별 화학적산소요구량(COD) 변동

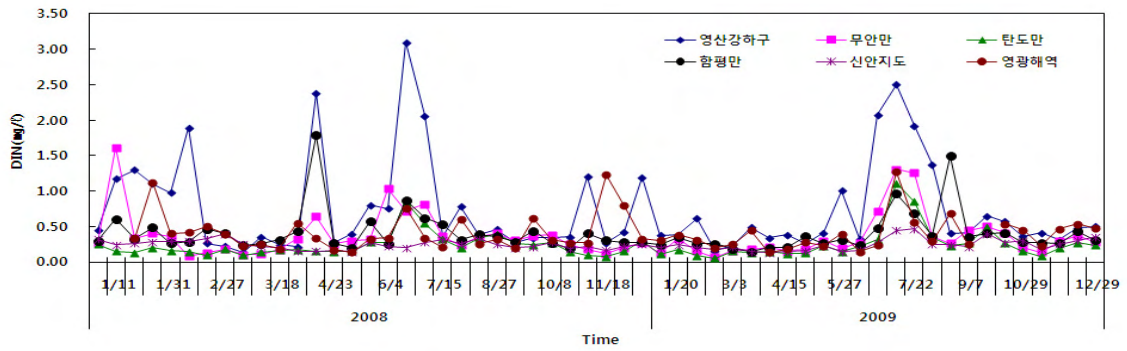


그림 3-1-38. 2008~2009년 월별 용존무기질소(DIN) 변동

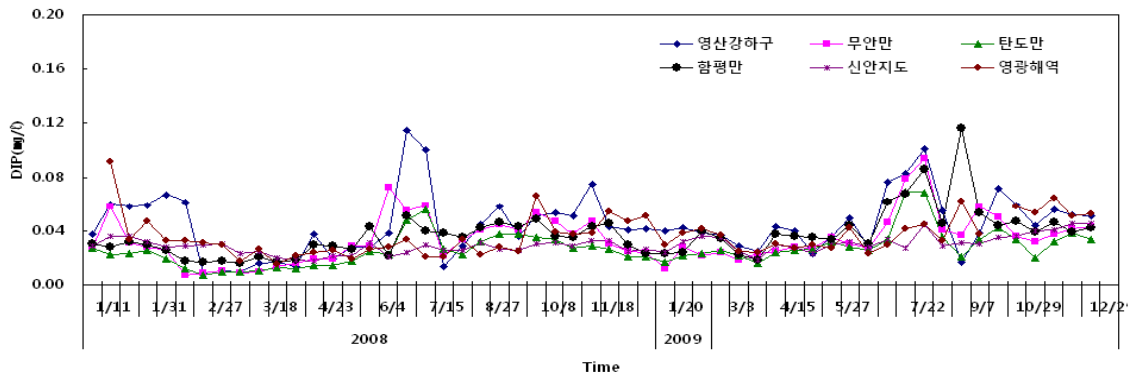


그림 3-1-39. 2008~2009년 월별 용존무기인(DIP) 변동

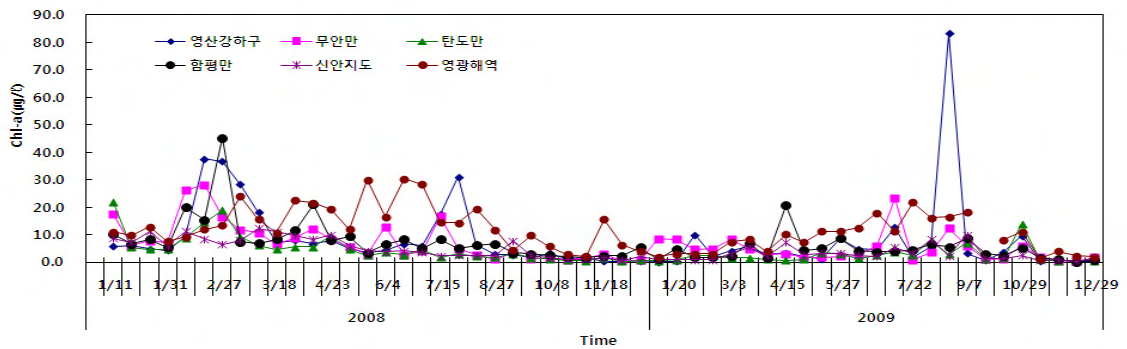


그림 3-1-40. 2008~2009년 월별 엽록소-a(chl-a) 변동

(다) 저질환경

계절별로 무안만, 탄도만, 함평만, 영광해역, 신안지도 갯벌 연안 해역에 저질환경을 조사한 결과를 살펴보면 다음과 같다.

저질퇴적물에서 분석된 강열감량(IL)은 무안만 4.3~7.8%(평균 5.8%), 탄도만 2.0~5.9%(평균 4.0%), 함평만 2.0~6.6%(평균 4.1%), 신안지도 3.6~6.9%(평균 5.6%), 영광해역 1.0~5.4%(평균 3.1%)로 미국 EPA 퇴적물 기준인 5%를 일시적으로 초과한 값을 보였으며, 영광해역, 탄도만, 함평만 해역에서 평균적으로 다소 낮게 나타났다(그림 3-1-41).

조사기간 동안 저질 화학적산소요구량(COD)은 무안만 7.4~15.5 mg/g(평균 10.3 mg/g), 탄도만 3.7~12.7 mg/g(평균 8.0 mg/g), 함평만 3.8~14.8 mg/g(평균 8.4mg/g), 신안지도 7.8~18.8 mg/g(평균 12.1 mg/g), 영광해역 3.7~18.1 mg/g(평균 8.3 mg/g)로 일본퇴적물 환경기준인 20 mg/g 이하 수준을 보였으며, 지역적 분포는 IL과 유사하게, IL이 다소 낮은 영광, 탄도만, 함평만에서 낮게 나타났다(그림 3-1-42).

조사기간 동안 분석된 평균 산취발성황화물(AVS)은 무안만 0.02 mg/g, 탄도만 0.02 mg/g, 함평만 0.01 mg/g, 신안지도 0.01 mg/g, 영광해역 0.01 mg/g 로 일본퇴적물 환경기준인 0.2 mg/g 에 크게 못 미치는 수준으로 양호한 저질환경상태를 보였다(그림 3-1-43).

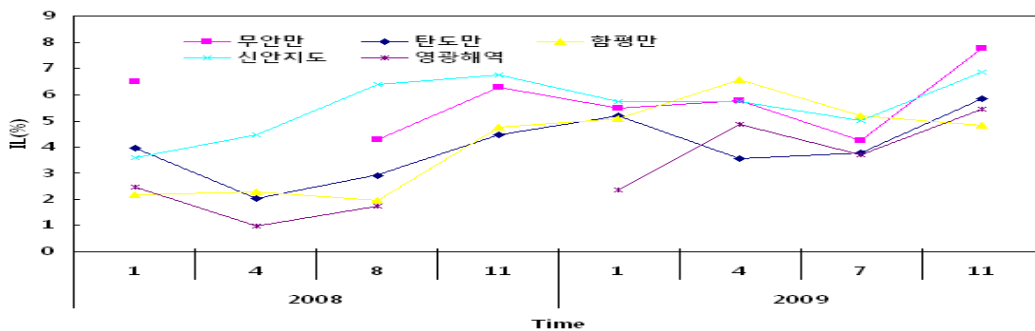


그림 3-1-41. 2008~2009년 계절별 저질 강열감량(IL) 변동

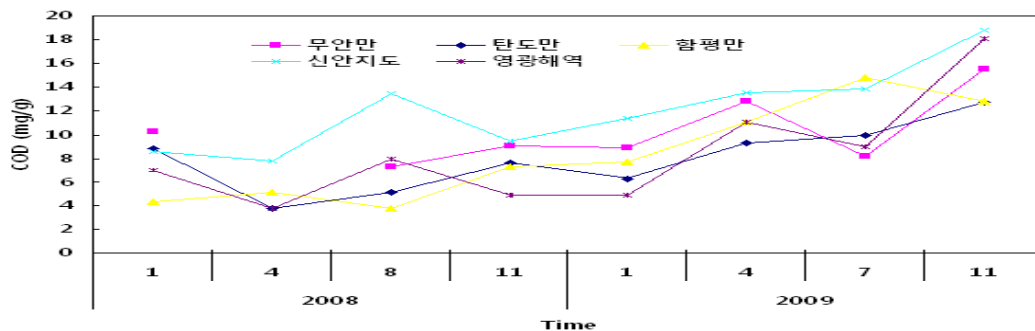


그림 3-1-42. 2008~2009년 계절별 저질 화학적산소요구량(COD) 변동

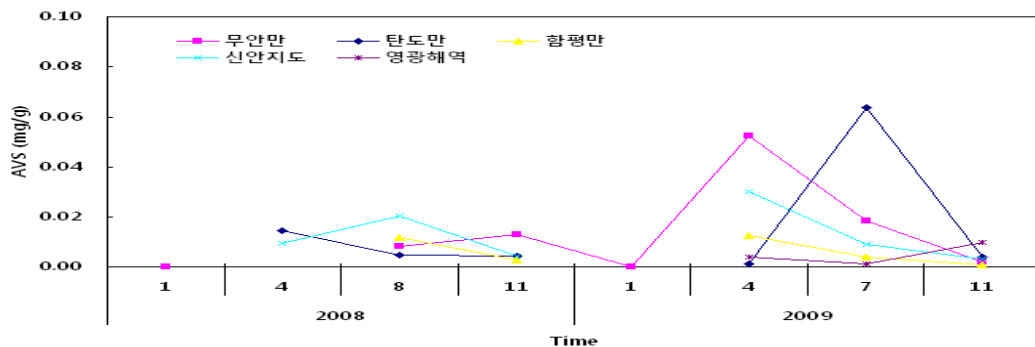


그림 3-1-43. 2008~2009년 계절별 저질 산취발성황화물(AVS) 변동

(2) 복합양식 및 패류양식 구조개선 모델 서해안 적용을 위한 시험어장 후보지 비교분석

2008년, 2009년 동안 갯벌 해역에 대한 모니터링 결과를 바탕으로 시험어장 후보지를 선정하였다. 표 3-1-13은 2008년에서 2009년까지 18개 정점을 바탕으로 각 해역별 환경요소 평균결과 값이다. 환경조사를 통해 나타난 결과를 살펴보면 무안만 해역은 영산강 하구에 인접해 있어 직접적으로 영산강 하구의 담수유출에 영향을 받아 수질환경에 있어 DIN, COD가 다소 높았으며, 염분 변동이 심하게 나타났다. 저질환경에 있어서는 IL 및 COD가 높은 수준을 보여주었다. 신안지도해역은 수질은 양호한 환경을 보여주고 있으나, 저질환경에 있어 IL과 COD가 높은 값을 보였다. 영광해역은 양호한 저질환경을 보이고 있고, 수질환경은 평균적인 수준을 유지하고 있으나, 외해와 바로 연결된 해역으로 부유물질 함량이 높고, 변동 또한 크게 나타났다(그림 3-1-36). 탄도만 및 함평만은 반폐쇄적인 해역으로 저질환경 및 수질환경은 양호한 수준을 보였다.

표 3-1-13. 갯벌연안해역의 조사해역별 수질 및 저질환경 비교(2008~2009년)

구 분	항 목	무안만	탄도만	함평만	신안지도해역	영광해역	비고
수질환경	COD(mg/ℓ)	1.7	1.5	1.7	1.3	1.6	
	DIN(mg/ℓ)	0.37	0.24	0.41	0.24	0.40	
	DIP(mg/ℓ)	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	
	DO(mg/ℓ)	9.2	9.0	9.0	8.9	8.6	
저질환경	IL(%)	5.8	4.0	4.1	5.8	3.1	
	COD(mg/g)	10.3	8.0	8.4	12.1	8.3	

위와 같은 결과를 최종적으로 시험어장 후보지에 대해서는 탄도만과 함평만 해역으로 복수 선정하여 이에 대하여 비교 조사 분석을 통하여 최종 1개소를 선정하였다. 두 만 중 후보조사지는 기존에 양식이 이루어지고 있는 지역을 찾아 비교 조사 분석하였다(그림 3-1-44). 탄도만의 경우 가입리와 함평만의 경우 도리포 해역 정점에서 예전에 투석식 굴양식을 해왔었다. 이에 대한 비교조사를 살펴보면 다음과 같다. 수질환경의 경우 두 해역 비슷한 수준을 보이고 있으나 시기적으로 한 달 가량의 차이는 있지만 염록소-a의 경우 도리포 해역에서 다소 높은 것으로 분석되었다(표 3-1-14).

저질환경의 경우 IL, AVS는 두 지점 모두 양호한 상태를 보였으나 COD는 가입리 지역에서 도리포 지역 보다 높은 값을 보였다. 그리고 표층 저질에서 측정된 염록소-a는 탄도만 가입리해역이 함평만 도리포 해역에 비해 높은 값을 보였다(표 3-1-15).

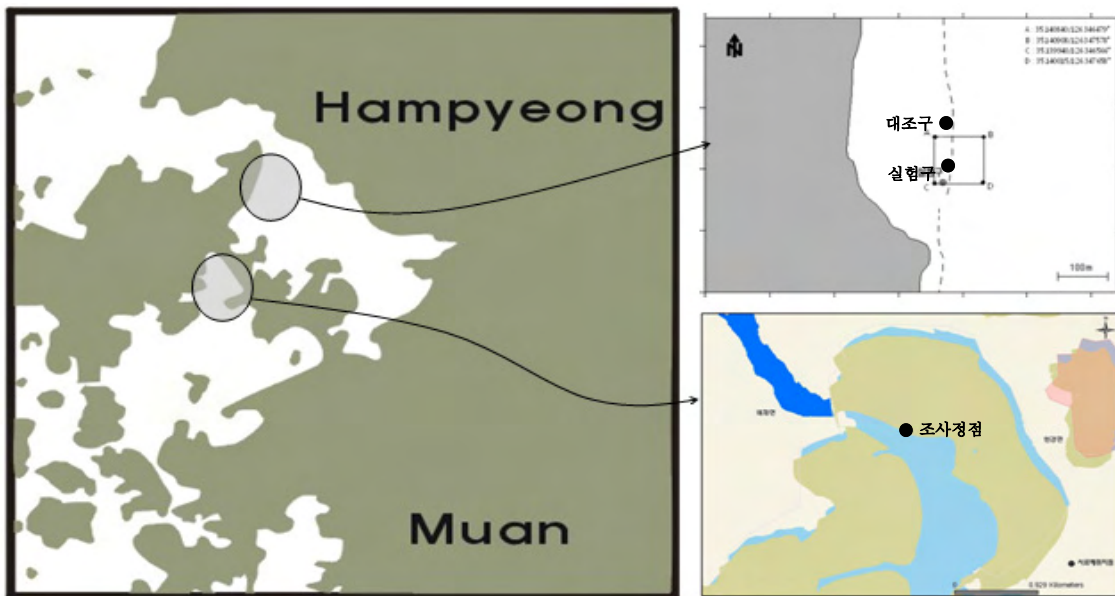


그림 3-1-44. 시험어장 후보지 및 조사 정점

표 3-1-14. 탄도만 가입리 및 함평만 도리포 수질환경 조사결과

조사지점 및 조사일	수온 (°C)	염분 (‰)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	TN (mg/ℓ)	TP (mg/ℓ)	Chl-a (μg/ℓ)	
가입리	4.22	15.67	32.51	7.95	7.73	1.46	0.126	0.022	0.64
도리포	5.14	20.23	32.43	7.85	7.43	1.73	0.200	0.034	2.00

표 3-1-15. 탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저질퇴적물 조사결과

구 분	함수율 (%)	IL (%)	AVS (mg/g)	COD (mg/g)	Chl-a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
가입리	38.20	4.43	0.019	12.77	13.79	
도리포	실험구	25.89	5.07	0.005	3.83	6.94
	대조구	44.72	4.19	0.022	6.20	4.47

퇴적상의 경우 탄도만 가입리 지역은 sand 함량이 52.31%로 가장 높고, 함평만 도리포 해역은 실험구에서 gravel, sand, silt가 각각 약 30% 차지하며 대조구에서는 gravel 함량이 10.93%로 감소하면서 sand, silt, clay는 각각 45.15%, 29.48%, 14.46%로 다양한 퇴적상을 보였다(표 3-1-16).

표 3-1-16. 탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저질퇴적물 입도 분석결과

구 분	평균입도 (ϕ)	gravel (%)	sand (%)	silt (%)	mud (%)
가입리	4.31	-	52.31	23.28	24.41
도리포	실험구	30.84	20.41	32.86	15.88
	대조구	10.93	45.14	29.48	14.46

※ gravel>2mm(-1 ϕ), sand 2mm~0.063mm(4 ϕ), silt 0.063mm~0.004mm(8 ϕ), mud 0.004mm>

저서동물상의 경우 탄도만 가입리 해역에서는 총 10종이 출현하였으며 단위면적당 출현개체수는 189마리로 연체동물이 41.18%를 차지하였다. 함평만 도리포 해역의 경우 실험구 해역에서는 9종이 출현하였으며 생물밀도는 단위면적당 156마리였으며, 연체동물 출현이 57.14% 이었으며, 대조구에서는 출현종수가 10종으로 생물밀도는 단위면적당 600마리로 가장 높고 연체동물이 94.44%로 우점 하였다(표 3-1-17, 표 3-1-18).

표 3-1-17. 탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저서생물 분석결과

구 분	출현 종수	출 현 개체수 (/m ²)	동물군에 따른 출현 개체수(/m ²)		
			연체동물	갑각류	갯지렁이류
가입리	10	189	78(41.18%)	44(23.53%)	67(35.29%)
도리포	실험구	9	89(57.14%)	33(21.43%)	33(21.43%)
	대조구	10	600	567(94.44%)	22(3.70%)

※ 갯지렁이류 중 미등정종은 종수에 포함되지 않았음

(3) 시험어장 선정 및 공고

상기의 환경 및 저서생물상 비교 결과 환경학적으로는 함평만 해역이 다소 양호한 수준을 보이고 있으며, 서식하는 저서생물 또한 높게 나타났다. 시험어장 선정에 있어 지역 어민의 참여 및 호응도 또한 중요하다. 두 지역에 대한 어장도를 검토해본 결과 탄도만 가입리 시험어장 후보지 해역은 대부분 마을 어장이 조성되어 있어 좋은 시험어장 선정에 있어 주민들과의 호응을 얻기가 어려웠다. 그러나 함평만의 경우 시험어장 후보지는 어장이 분포하고 있지 않아 새로운 시험어장으로 개발할 수 있는 사회적 조건을 갖추고 있다. 또한 이곳은 예전에 마을에서 투석식 굴 양식장으로 사용된 곳이기도 하며(그림 3-1-46), 배후지에서 담수 유입이 원활히 이루어 질 수 있는 조건을 갖추고 있어(그림 3-1-47) 시험어장으로 운영하기에 좋은 조건이며 최종적으로 함평만 도리포 해역에 대해 시험어장(0.1km²)으로 최종 선정하여 공고하였다(그림 3-1-48).

표 3-1-18. 탄도만 가입리 및 함평만 도리포 저서생물출현종

출 현 종	가입리 개체수(m ³)	도리포-실함구 개체수(m ³)	도리포-대조구 개체수(m ³)
연체동물			
이매패류	67	56	44
굴 <i>Crassostrea gigas</i>	11	-	-
바지락 <i>Ruditapes philippinarum</i>	11	56	11
민띠접시조개 <i>Moerella rutila</i>	44	-	33
고둥류	11	33	522
댕가리 <i>Batillaria cumingii</i>	-	22	22
비틀이고둥 <i>Cerithieopsilla cingulata</i>	-	-	411
왕좁쌀무늬고둥 <i>Reticunassa festiva</i>	-	11	-
기타1 Gastropoda	11	-	-
기타2 Gastropoda	-	-	78
기타3 Gastropoda	-	-	11
환형동물			
갯지렁이류	67	33	11
두토막눈썹 참갯지렁이 <i>Perieneris aibulnitensis</i>	11	11	11
앞빛갯지렁이 <i>Lagis bocki</i>	56	11	-
참미갑갯지렁이 <i>Glycera decipiens</i>	-	11	-
절지동물			
갑각류	44	33	22
연갑류	44	22	22
칠게 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	11	11	-
새우류 <i>Macrura</i>	11	-	11
옆새우류 <i>Amphipoda</i>	11	11	11
쿠마류 <i>Cumacea</i>	11	-	-
만갑류	-	11	-
줄따개비 <i>Balanus reticulatus</i>	-	11	-
기타	-	-	11



그림 3-1-45. 함평만 도리포 시험어장 후보지에서 과거에 운영하였던 투석식 굴양식장



그림 3-1-46. 함평만 도리포 시험어장 후보지의 배후지로부터 담수 유입 갑문



그림 3-1-47. 시험어장 공고판

제2절 해역의 특성

1. 물리환경

가. 지형

(1) 바지락 양식장(남성리)

남성리 갯벌은 전라남도 고흥군 남성리에 위치하여 남쪽으로는 나로대교가 있고, 북쪽으로는 옥강리가 있으며 나로대교 하부의 수로를 통해 남북으로 이동하는 흐름이 주 흐름이다. 특히 이 주 흐름을 중심으로 나로대교의 북측 수로는 동서로 차폐영역(와류영역)이 형성되어 갯벌이 형성되고 있으며, 서측의 갯벌이 크게 발달하며, 패류양식장도 대부분 이 지역에 분포되어 있다. 대상해역의 수심은 나로대교를 남북으로 소통하는 20m 이상의 주 수로를 벗어나면 대부분의 패류양식장이 있는 지역은 조건대 지역으로 1:500의 경사를 가지는 것으로 조사 되었다(그림 3-2-1). 북측으로 갈수록 완만하고 낮은 수심형태를 보이며, 남측으로는 갯골이 발달한 지형을 따라 수로형태의 지형이 나타난다(그림 3-2-2).

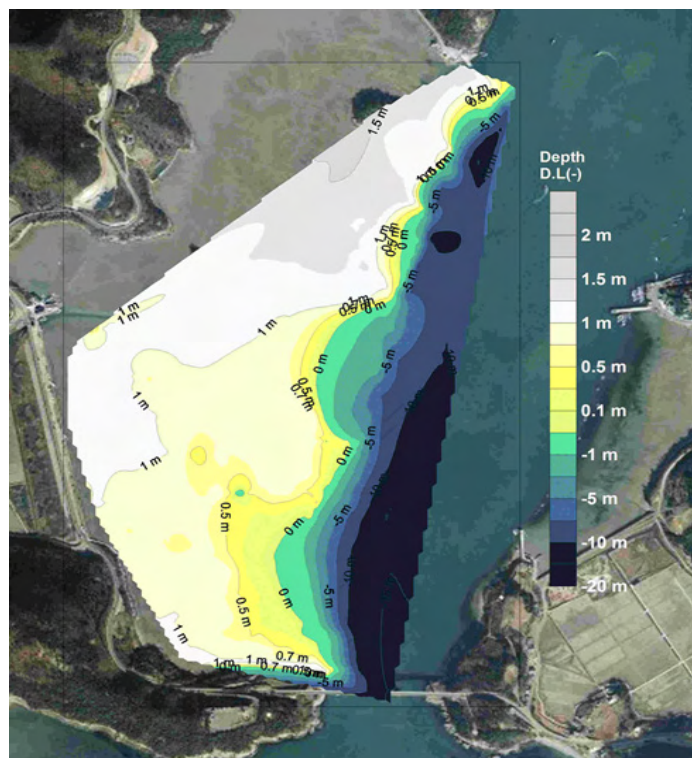
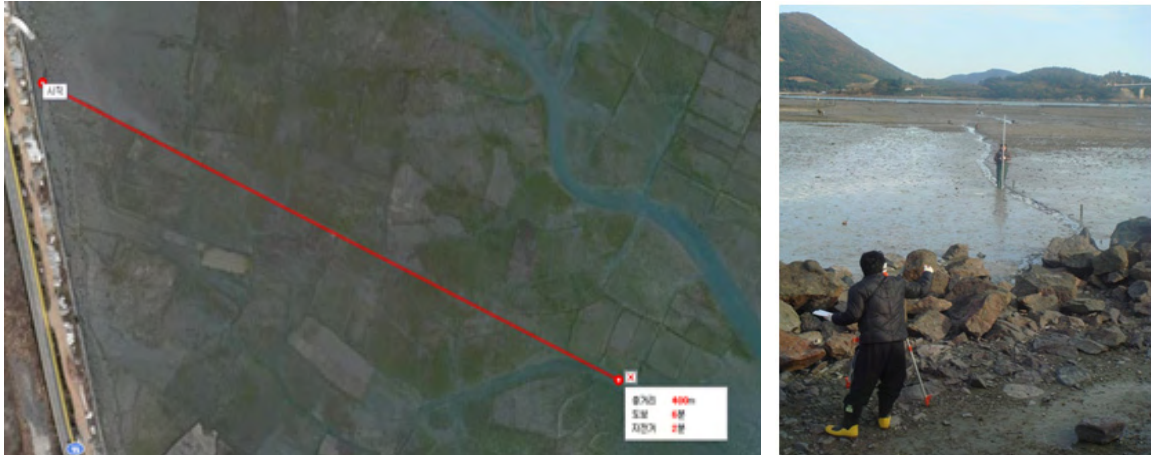
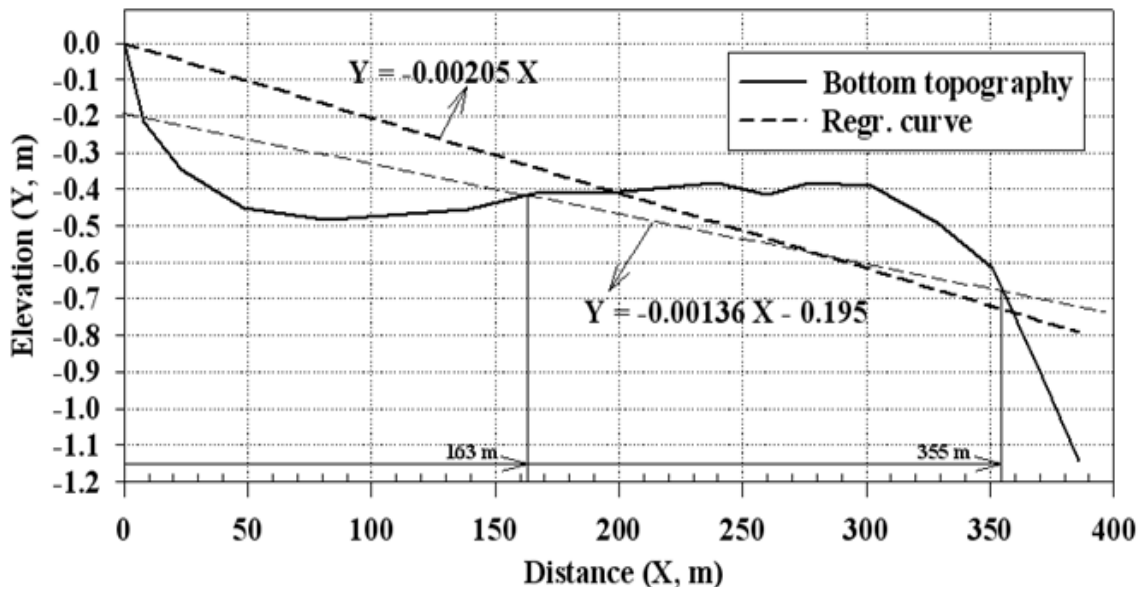


그림 3-2-1. 남성리 패류양식장의 수심조사 결과



(a) 종단측량 기선



(b) 종단측량 결과

그림 3-2-2. 남성리 패류양식장의 종단측량 결과

(2) 꼬막 양식장(계매리)

계매리는 여자만 남서부 백일도 북서쪽에 위치한 조간대 패류양식장으로 폭이 2km 가 넘는 갯벌이 발달하여 상당히 완만한 지형을 가지고 있으며, 여자만 내에서 발달하는 퇴적물 및 유기물의 공급이 원활하여 패류양식장으로서 좋은 조건을 가지고 있다. 외해로부터는 여자만 내측에 위치하여 외해로부터 발달된 영향은 적으며, 주로 여자만 내에서 발달하는 외력조건에 영향을 받는다.

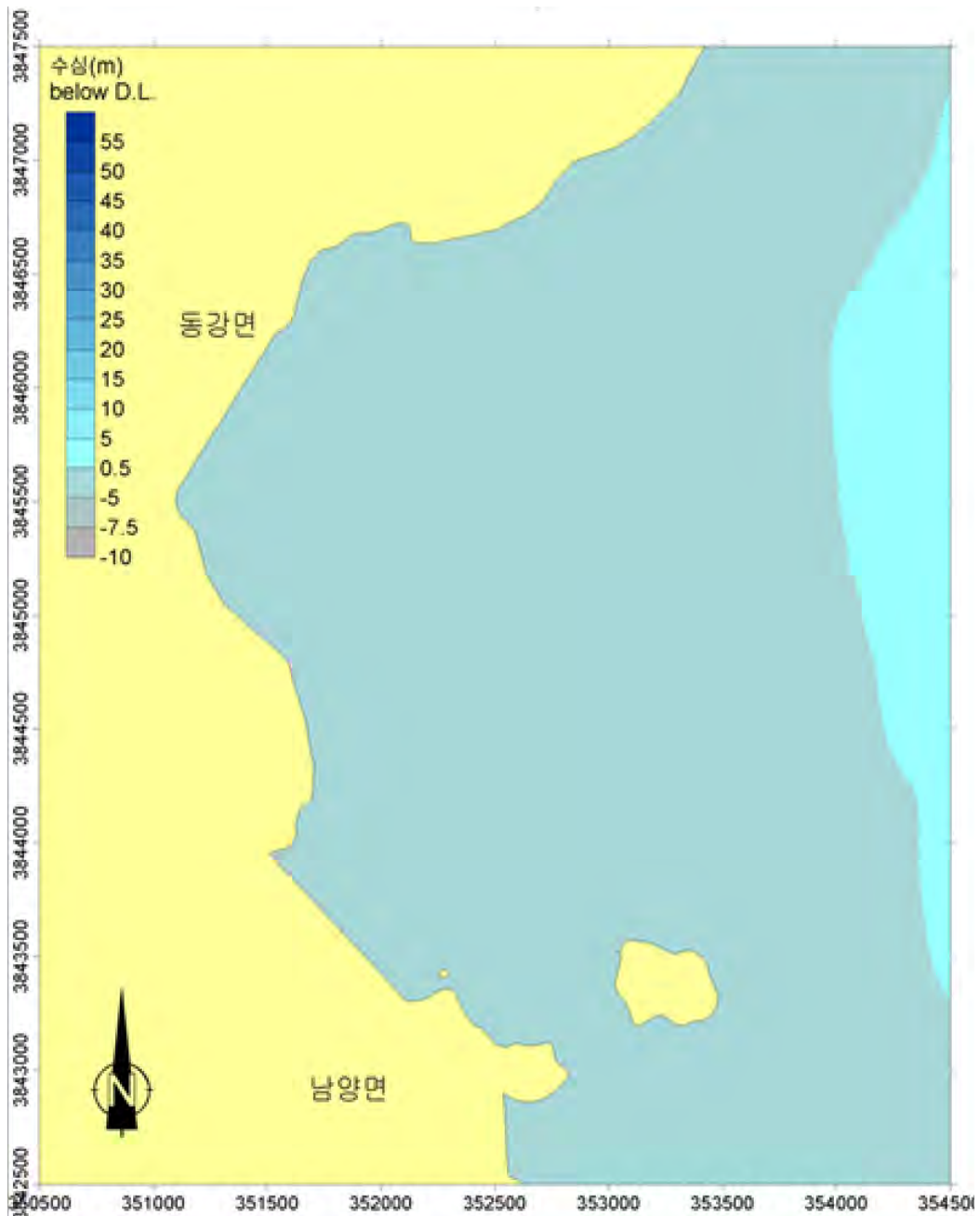


그림 3-2-3. 계매리 패류양식장 수심도

(3) 다목적 이용 복합양식장(도리포)

도리포 패류양식장은 전라남도 무안군과 함평군으로 둘러싸인 함평만의 입구에 위치하여, ㄱ자형태의 곡부에 위치하여 있다. 특히 전면의 함평만으로 이어지는 수로는 수심과 폭이 크게 발달하여 외해로부터 직접적인 외력의 영향은 적을 수 있으나, 수로형 지형의 특성과 도리포 전면에 발달하는 깊은 수심의 지형은 외력의 전파 및 취송거리에 의한 풍파의 발생을 야기할 수 있다. 또한 수로형 지형으로 조류의 왕복성분이 강하며, 도리포 수로측에도 강한 왕복류가 발생하며, 대상해역에는 와류성분이 발달한다.

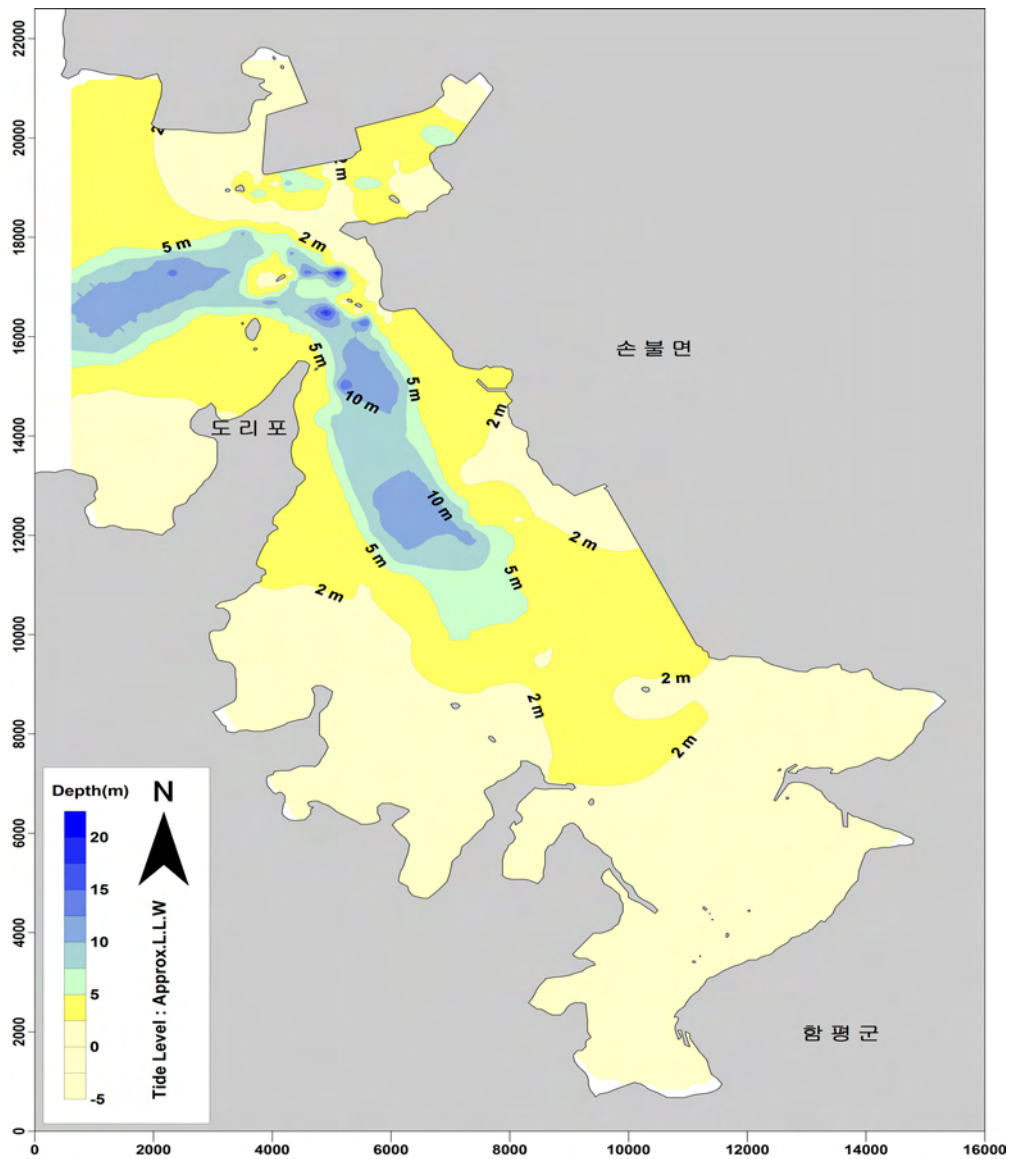


그림 3-2-4. 도리포 패류양식장 수심도

나. 해수유동

(1) 실험 목적

패류양식장의 구조/배치 설계를 위한 조류력 산정을 위하여 해수유동 특성을 파악하였다.

(2) 실험 내용 및 방법

해수유동 실험은 간석지 패류양식장의 구조/배치 설계를 위한 예정 시험지 주변 해역의 해수유동 변화를 파악하고 외력 해석 및 분석을 하는데 그 목적이 있다. 수치실험의 경우 대상해역을 포함하는 광역의 해수유동특성을 파악, 상세역 해수유동실험은 실제 대상해역을 포함하는 시설물 설치 예정지의 외력특성을 파악 및 분석을 통하여 적지를 선정하기 위하여 수행하였다. 본 장에서 수행한 해수유동 실험 개요를 표 3-2-1에 제시하였다.

표 3-2-1. 해수유동실험 개요

항 목		내 용
실험 목적		대상영역을 포함하는 해역의 해수유동특성 파악
사용 모델		EFDC (미국 VIMS 개발)
격자 구성	모델 범위	대상해역을 포함하는 영역 : 16km × 22.6km
	격자 간격	가변격자 : 25m ~ 200m 크기의 직교 격자체계
	격자 수	170 × 228 EA
모의기간		15일 이상
계산시간 간격		CFL안정조건을 고려한 1초
실험안별 입력 및 외력조건		조석외력조건 : M2, S2, K1, O1의 주요 4대 분조

(가) 사용 모델

1) 모델 개요

해수유동 수치모형실험에 사용된 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모형은 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질수송을 모의할 수 있는 3차원 수치모델링 시스템이다. 미국 Virginia 연안 및 하구 연구를 위한 장기 연구사업의 일환으로 미국 VIMS(Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었다. 대학, 연구기관, 국가기관 및 엔지니어링업체 등에서 널리 사용되어 성능이 검증된 수치모델이며, 특히 미국 환경청(US EPA) 공인 모델로 지정되어 있다.

2) 지배방정식

EFDC 모델은 연속방정식과 수평·수직방향 운동방정식, 열·염보존 방정식 그리고 퇴적물을 포함한 물질보존방정식들로 구성되어 있다. 열·염보존 방정식은 밀도차에 의한 경압력에 의하여 운동방정식과 연계되어 있다.

이 모델은 수직방향으로 σ 좌표계를 사용하고, 수평방향으로는 직선 또는 곡선 직교좌표계를 사용한다. Mellor and Yamada(1982)의 level 2.5 turbulence closure scheme을 사용하며, mass conservation scheme을 사용한 조건대 처리가 가능하다(Hamrick, 1994; Hamrick and Moustafa, 2001). 수평 난류확산 계수의 산정에는 Smagorinsky type diffusivity를 사용한다. 유체정역학적 가정과 Boussinesq 근사를 적용하면 기본방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

연속방정식

$$\frac{\partial m\zeta}{\partial t} + \frac{\partial m_y Hu}{\partial x} + \frac{\partial m_x Hv}{\partial y} + \frac{\partial mw}{\partial z} = 0$$

운동방정식

$$\frac{\partial mHu}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u u) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v u) + \frac{\partial}{\partial z}(m w u) - \left(m f + v \frac{\partial}{\partial x} m_y - u \frac{\partial}{\partial y} m_x \right) H v$$

$$= -m_y H \frac{\partial}{\partial x} (g\zeta + p) - m_y \left(\frac{\partial h}{\partial x} - z \frac{\partial H}{\partial x} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(m H^{-1} A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + Q_v$$

$$\frac{\partial mHv}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u v) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v v) + \frac{\partial}{\partial z}(m w v) + \left(m f + v \frac{\partial}{\partial x} m_y - u \frac{\partial}{\partial y} m_x \right) H u$$

$$= -m_x H \frac{\partial}{\partial y} (g\zeta + p) - m_x \left(\frac{\partial h}{\partial y} - z \frac{\partial H}{\partial y} \right) \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(m h^{-1} A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + Q_v$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -gH(\rho - \rho_0)\rho_0^{-1} = -gHb$$

상태방정식

$$\rho = \rho(p, S, T)$$

물질보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(mHS) + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHuS) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvS) + \frac{\partial}{\partial z}(mwS) = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1}A_b \frac{\partial}{\partial z}S) + Q_S$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(mHT) + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHuT) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvT) + \frac{\partial}{\partial z}(mwT) = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1}A_b \frac{\partial}{\partial z}T) + Q_T$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(mHC) + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHuC) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvC) + \frac{\partial}{\partial z}(mwC) \\ = \frac{\partial}{\partial z}(mH^{-1}A_b \frac{\partial C}{\partial z} + \omega C) + mHR_c + Q_C \end{aligned}$$

여기서, u, v : 직교하는 곡선좌표계 x, y 에서의 수평 유속

m_x, m_y : 곡선좌표계 임의거리 $ds^2 = m_x^2 dx^2 + m_y^2 dy^2$ 을 만족시키는 metric tensor의 대각성분의 제곱근 ($m^2 = m_x m_y$)

w : 변환된 무차원 연직좌표계 z 에서의 수직 유속성분

H : 총 수심 (=h+ ζ)

h : 기준면하 수심

ζ : 기준면상 수위

p : 수심 z 에서 기준수압 ($\rho_0 g H(1-z)$)과의 차를 ρ_0 로 나눈 값

f : Coriolis parameter

A_v : 수직 난류점성계수

A_b : 수직 난류확산계수

Q_u, Q_v : 운동량의 source-sink 항

ρ : 밀도

T, S : 수온, 염분

b : 부력

ω : 침강속도

C : 용존 또는 부유물질의 농도

Q_T, Q_S : 수평 난류확산 및 수온과 염분의 source-sink 항

R_C, Q_C : 수평 난류확산 및 생화학적 또는 외부 source-sink 항

3) 수치해법

위 기본방정식을 해석하기 위하여 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수, 수평·수직 경계조건, 그리고 생성-소멸항이 필요하다. 이 중 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수를 산정하기 위하여 2차 난류 운동량 마감 모델(turbulence closure model)이 사용된다(Mellor and Yamada, 1982; Galperin et al., 1988).

$$A_v = \phi_v q \ell = 0.4(1 + 36R_q)^{-1}(1 + 6R_q)^{-1}(1 + 8R_q)q\ell$$

$$A_b = \phi_b q \ell = 0.5(1 + 36R_q)^{-1}q\ell$$

$$R_q = \frac{gH\partial_z b}{q^2} \frac{\ell^2}{H^2}$$

여기서, ℓ : 난류 길이
 q : 난류 강도
 R_q : Richardson number
 b : 부력
 ϕ_v, ϕ_b : 안정도 함수
 ∂_z : 층간의 거리

안정도 함수는 수직 혼합 또는 수직 밀도성층 환경에서의 수송 작용에 관여한다. 모델결과로 얻어진 난류길이와 난류강도로부터 다음과 같이 수직 난류점성계수와 수직 난류확산계수가 계산된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHq^2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_y H u q^2) + \frac{\partial}{\partial y}(m_x H v q^2) + \frac{\partial}{\partial z}(m w q^2) \\ & = \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1} A_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + Q_q + 2mH^{-1} A_v \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + 2mgA_b \frac{\partial b}{\partial z} - 2mH(B_1 \ell)^{-1} q^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial mHq^2\ell}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(m_yHuq^2\ell) + \frac{\partial}{\partial y}(m_xHvq^2\ell) + \frac{\partial \ell}{\partial z}(mwq^2\ell) \\ &= \frac{\partial}{\partial z} \left(mH^{-1}A_q \frac{\partial q^2\ell}{\partial z} \right) + Q_1 + mH^{-1}E_1\ell A_v \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) \\ & \quad + mgE_1E_3\ell A_b \frac{\partial b}{\partial z} - mHB_1^{-1}q^3(1+E_2(\kappa L)^{-2}\ell^2) \end{aligned}$$

$$L^{-1} = H^{-1}(z^{-1} + (1-z)^{-1})$$

여기서, B_1, E_1, E_2, E_3 는 실험상수이다.

운동량 및 물질의 생성-소멸항인 수평난류점성 및 수평난류 확산항은 모델격자보다 작은 규모의 유동현상을 묘사하며, 습지에 의한 저항, 단주기 표면중력파에 의한 wave Reynolds' stress, 고파랑 규모의 제트에 의하여 형성되는 운동량 생성 등도 고려할 수 있다. 수평난류 점성항 및 수평난류 확산항은 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_u &= \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ Q_v &= \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ Q_{T,S,C} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial(T,S)}{\partial y} \right] \end{aligned}$$

여기서, A_M : 수평 난류점성계수

A_H : 수평 난류확산계수

수평난류 점성계수와 수평난류 확산계수 산정은 격자 크기와 유속 변형에 의해 결정되는 Smagorinsky식(Smagorinsky, 1963)을 이용한다.

$$A_M = C \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2}$$

여기서, 상수 C 는 0.10~0.20의 값이 사용되며, 계산격자가 충분히 작은 경우 무시될 수 있다(Oey et al., 1985a, b). Smagorinsky 식은 격자의 크기가 작아질수록, 그리고 유속 경사가 작을수록 수평 난류점성계수가 감소한다(Mellor, 1998).

이 모델은 staggered grid에 속하는 Arakawa C grid를 사용한다. 기본방정식의 수치해는 유한차분법(finite difference method)과 질량 및 부피 보존을 위한 유한체적법(finite

volume method)을 사용한다. 수심, 잉여압력, 해저면 경사의 차분화시 2차 정확도를 갖는 중앙차분법(centered-discretization)을 사용한다. 운동방정식에서 Coriolis와 curvature 항은 2차 정확도를 갖는 에너지 보존 기법 (energy conserving scheme)을 사용하며 (Arakawa and Lamb, 1977), 외부 모드 (external mode) 계산시 수평 방향으로, 내부 모드(internal mode) 계산시 수직 방향으로 음해법을 적용하여 계산시간을 단축시킬 수 있다.

시간 미분항 역시 2차 정확도를 갖는 three-time-level, leap-frog 기법을 사용하며, 반음해법을 적용한다. Three-time-level 기법 사용 시 발생하는 time step splitting을 억제하기 위하여 two-time-level의 trapezoidal step을 첨가하는 trapezoidal leap-frog 기법을 사용한다. 그리고 빠르게 전파하는 외부 중력파를 계산하는 외부 모드(external mode)와 수직적 구조를 계산하는 내부 모드 (internal mode)를 분리하여 계산 효율성을 높였다.

물질보존방정식의 이류항을 전방차분법(upwind-difference)으로 해석하면 안정적인 결과를 주고 음의 농도를 발생시키지 않는 장점이 있으나, numerical diffusion이 과도하게 발생하고 공간적으로 1차의 낮은 정확도를 갖는 단점이 있다. 반면에 중앙차분법(centered-difference)으로 해석하면 2차의 정확도를 가지지만 농도 경사가 큰 해역에서 불안정한 결과를 보이고 음의 농도를 발생시킬 수 있는 단점이 있다.

따라서 본 모델에서는 정확도를 높이고 음의 농도가 발생하지 않는 MPDATA (Smolarkiewicz and Clark, 1986)를 사용한다. MPDATA 기법은 1차의 정확도를 갖는 전방차분법을 사용하는 첫 번째 step과 numerical diffusion을 줄이기 위한 두 번째 step으로 구성되어 있다. 시공간에 대하여 적어도 2차의 정확도를 가지며, 시간에 대하여 최대 3차, 공간에 대하여 최대 5차의 정확도까지 가질 수 있다.

4) 경계조건

가) 수평 경계조건

개방경계의 접선 방향 유속 성분은 0으로 지정된다. 유동이 모델영역 외부로 전파될 때는 개방경계에 직각인 속도 성분을 운동방정식에서 이류항과 수평와동항을 무시한 나머지 항들만으로 계산한다. 육지 경계조건으로 육지에 직각인 유속 성분은 없다고 가정한다.

나) 수직 경계조건

① 해수면 경계

해수면에서 연직 방향의 유속은 없는 것으로 한다. 그리고 바람응력에 의한 수표면 전단응력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$K_v H^{-1} \partial_z (u, v)_{z=1} = (\tau_{sx}, \tau_{sy}) = c_s \sqrt{U_w^2 + V_w^2} (U_w, V_w)$$

$$c_s = 0.001 \rho_a \rho_w^{-1} (0.8 + 0.065 \sqrt{U_w^2 + V_w^2})$$

여기서, U_w, V_w : x, y 방향 풍속(수표면 10 m 상)

τ_{sx}, τ_{sy} : 바람 응력

c_s : 바람 응력계수

ρ_a : 공기 밀도

ρ_w : 해수 밀도

② 해저면 경계

해저면에서 수직한 방향의 유속은 0으로 지정된다. 저면 전단응력은 다음과 같이 계산된다.

$$K_v H^{-1} \partial_z (u, v)_{z=0} = (\tau_{bx}, \tau_{by}) = c_b \sqrt{U_1^2 + V_1^2} (U_1, V_1)$$

$$c_b = (\kappa^{-1} \ln(\Delta_1 H / 2z_0))^{-2}$$

여기서, c_b : 저면 마찰계수

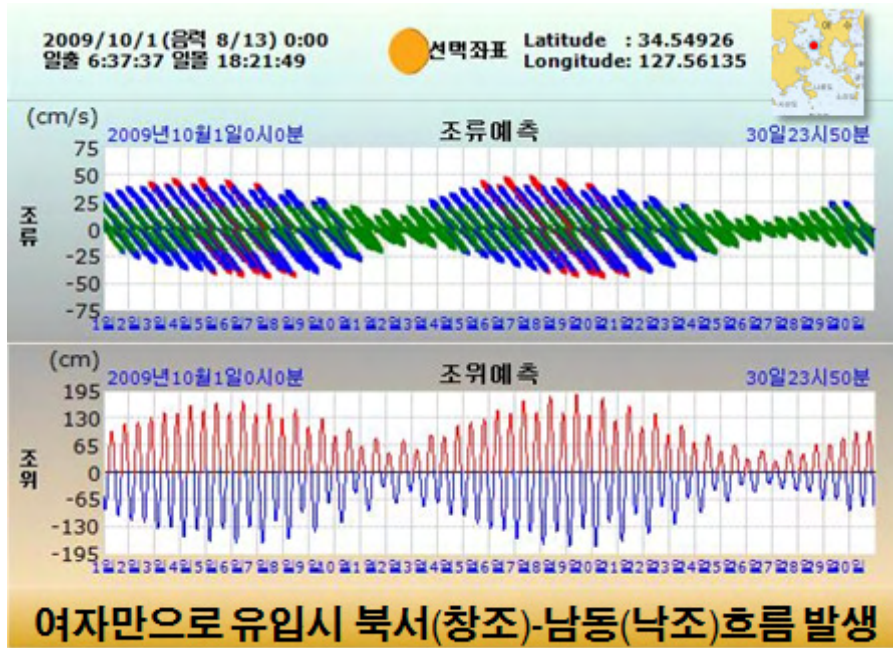
κ : von Karman 상수

Δ_1 : 저층 무차원 두께

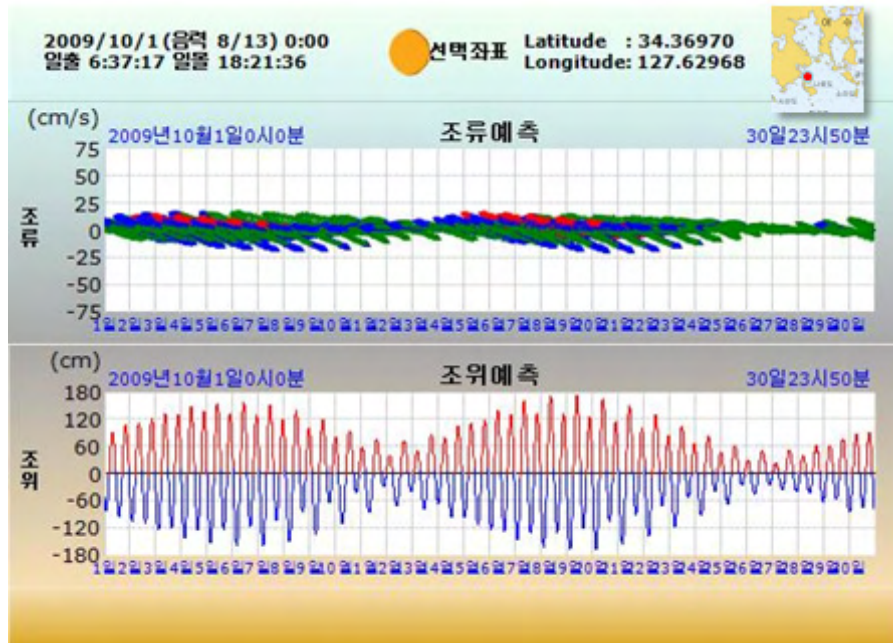
z_0 : 조도

(나) 대상해역의 개요

남성리 외해의 경우 조류의 주 흐름은 동(낙조)-서(창조)방향의 왕복흐름이 발생하며, 계매리 외해의 경우 여자만으로 유입되는 조류의 영향을 받으며 북서(창조)-남동(낙조)의 흐름이 발생하고 있다(그림 3-2-5). 그리고 도리포의 경우 무안으로 입사하는 외해의 영향을 받으며, 도리포해역에서는 남(창조)-북(낙조)의 흐름이 발생하고 있다.

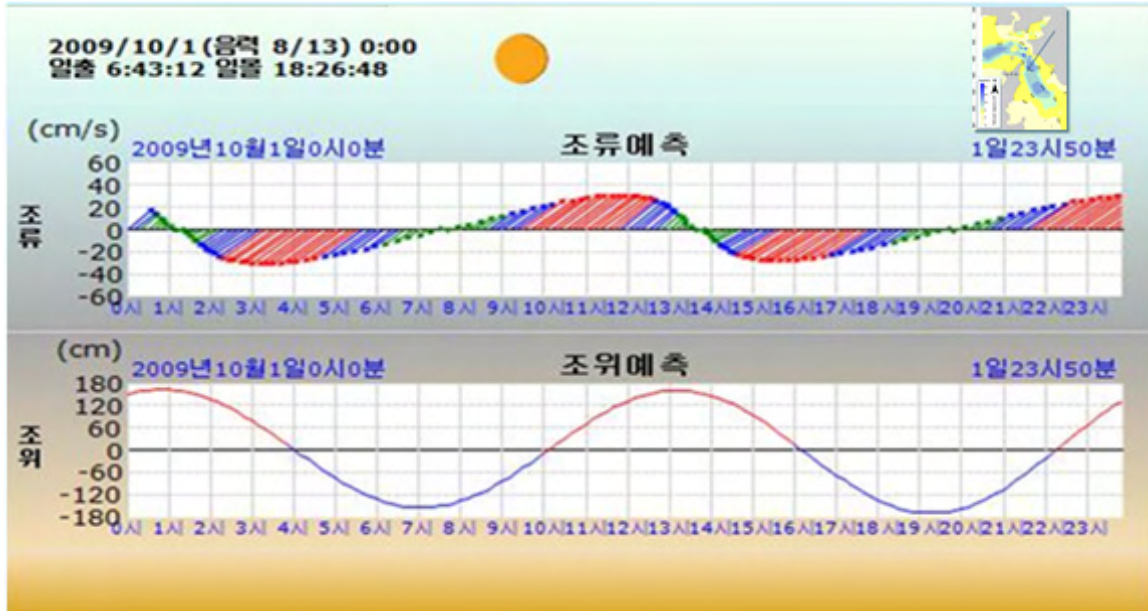


(a) 고흥 남성리



(b) 계매해역

그림 3-2-5. 조류개황



(c) 도리포 해역

그림 3-2-5. 계속

(다) 실험 결과

남성리 해역의 경우는 대상해역 남측에서 최대 1 m/s 이상의 강한 흐름이 나타나며, 패류양식장 전면을 따라 최대 0.5 m/s의 흐름이 보인다. 그리고 연안에서 16.0~23.7 cm/s, 수로측에서 31.5~42.4 cm/s의 흐름이 보인다(그림 3-2-6, 그림 3-2-7).

계매의 경우 여자만으로 입사하는 1 m/s 이상의 흐름 영향을 받으나 대상해역은 조간대내에 위치하여 상대적으로 유속이 느리게 나타나 약 7.5~9.2 cm/s의 흐름이 나타났다.

도리포 해역의 경우 창조류시 외해에서 입사하는 조류가 도리포 끝단에서 수로가 좁아짐에 의하여 돌아들어오는 현상이 보이며(그림 3-2-8, 그림 3-2-9) 유속이 10~20 cm/s의 흐름이 나타났다. 그리고 낙조시에 창조류시와는 방향이 반대이며 상대적으로 강한 유속이 나타나고, 유속이 20~31 cm/s 정도가 나타났다(그림 3-2-10, 그림 3-2-11).

남성리, 계매 및 도리포 대상해역에서의 설계유속을 정리하여 나타낸 것이 그림 3-2-12이다.

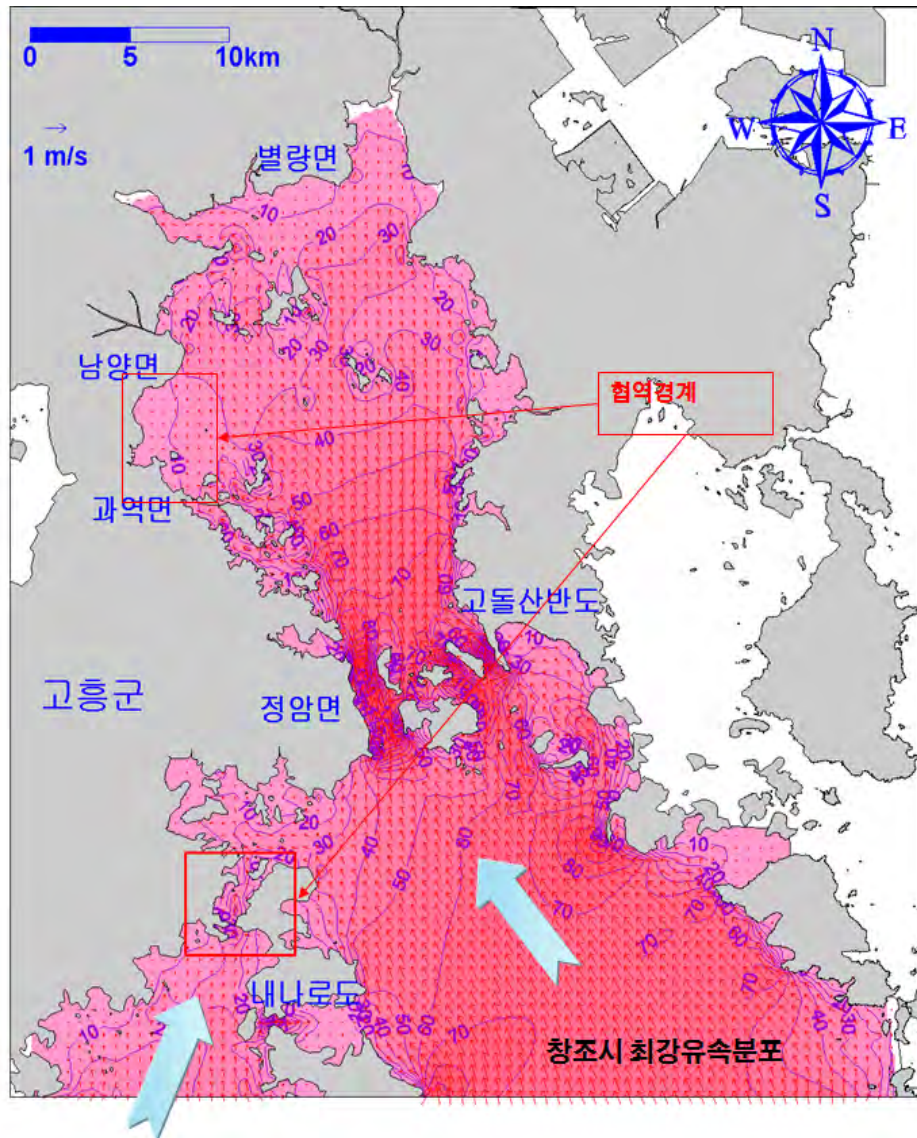


그림 3-2-6. 고흥 남성리 및 계매해역의 최강 창조류 분포도

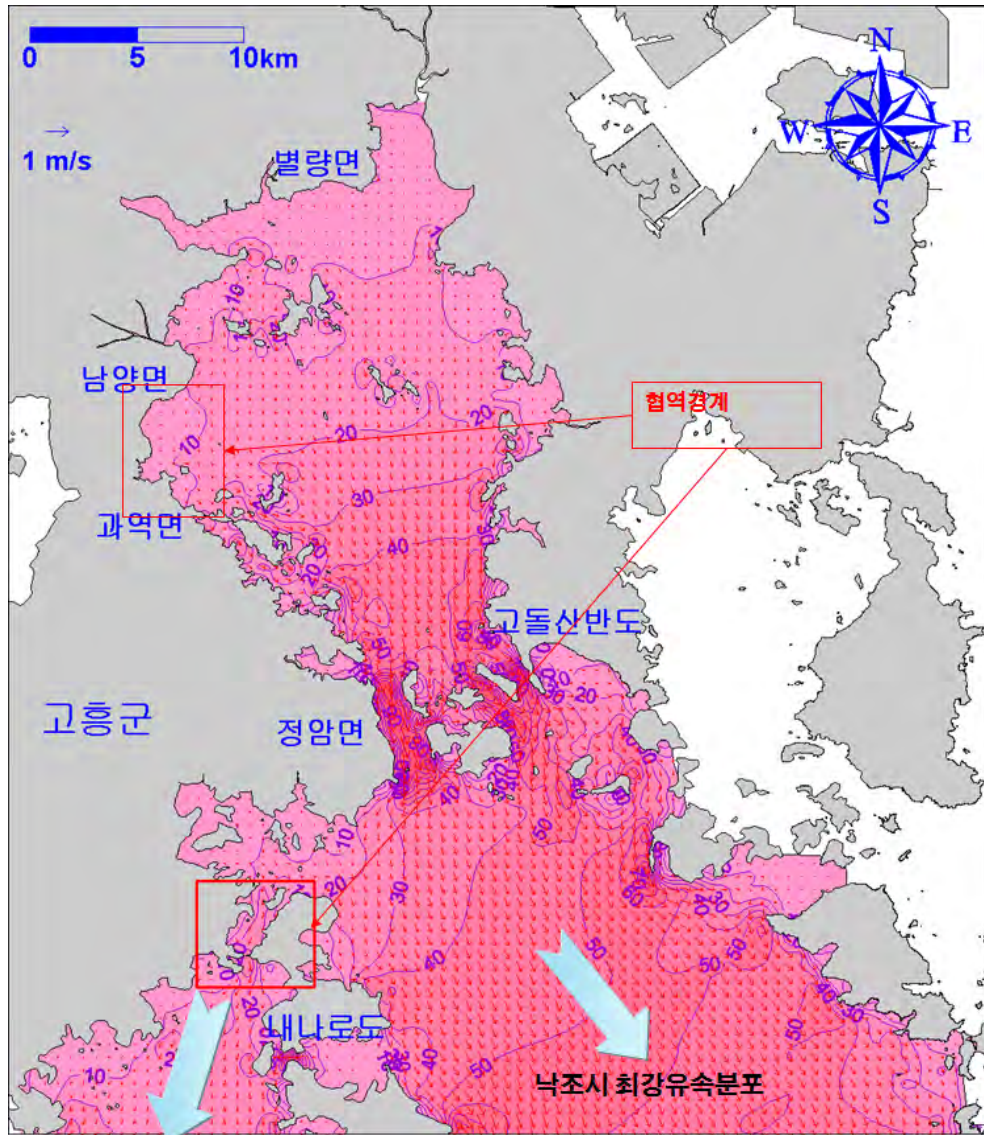


그림 3-2-7. 고흥 남성리 및 계매해역의 최강 낙조류 분포도

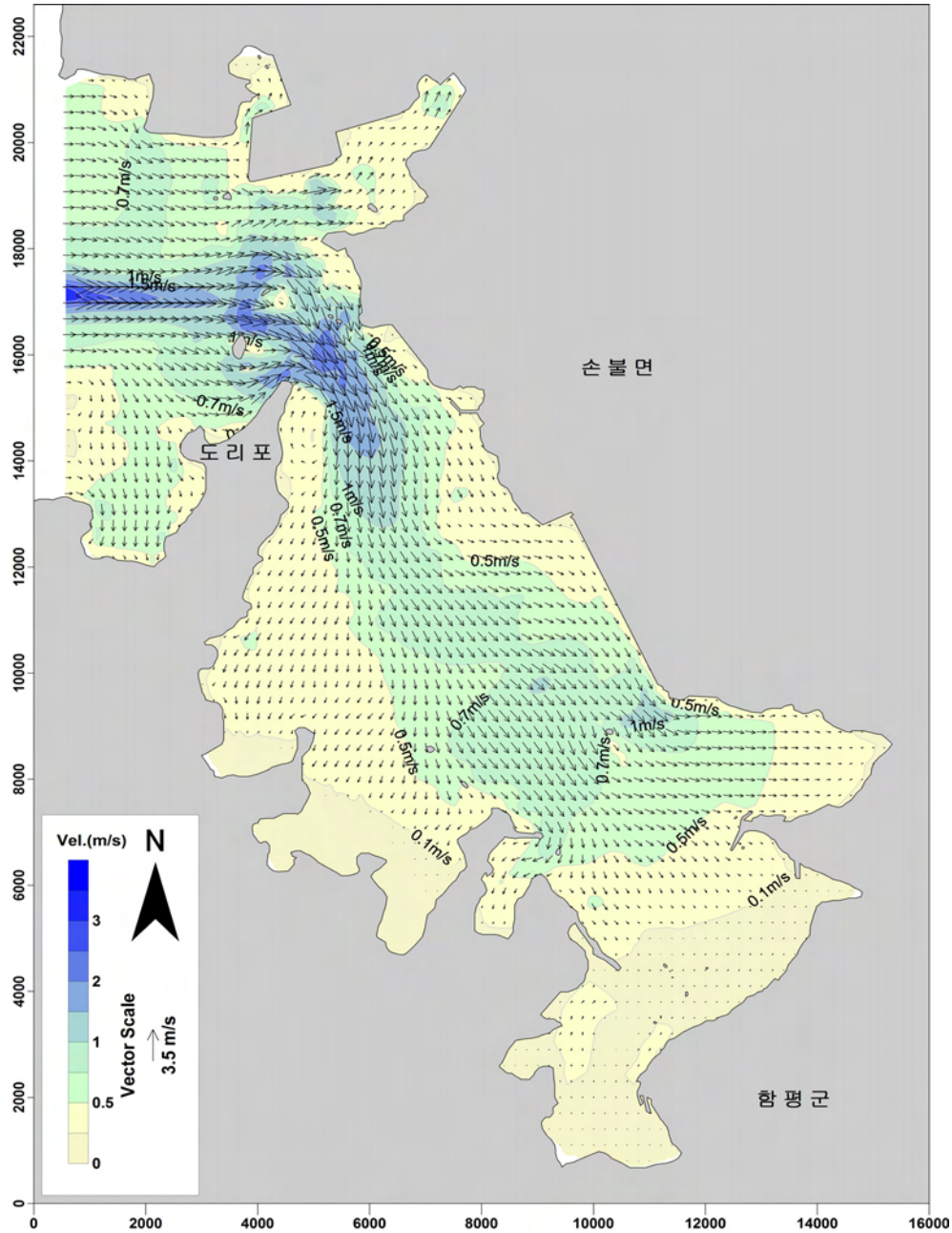


그림 3-2-8. 도리포해역의 최강 창조류벡터도

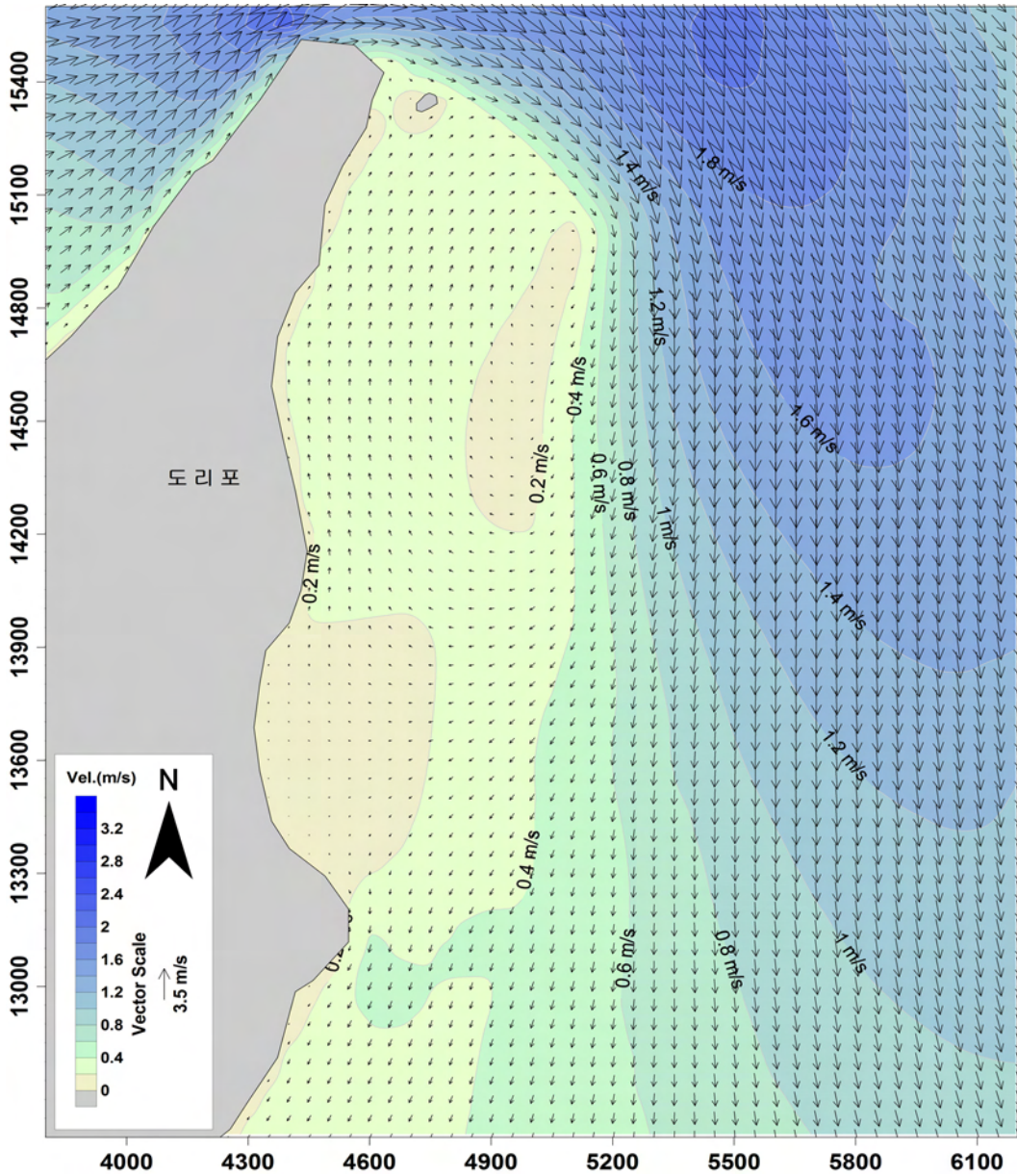


그림 3-2-9. 도리포해역의 최강 창조류벡터도(상세역)

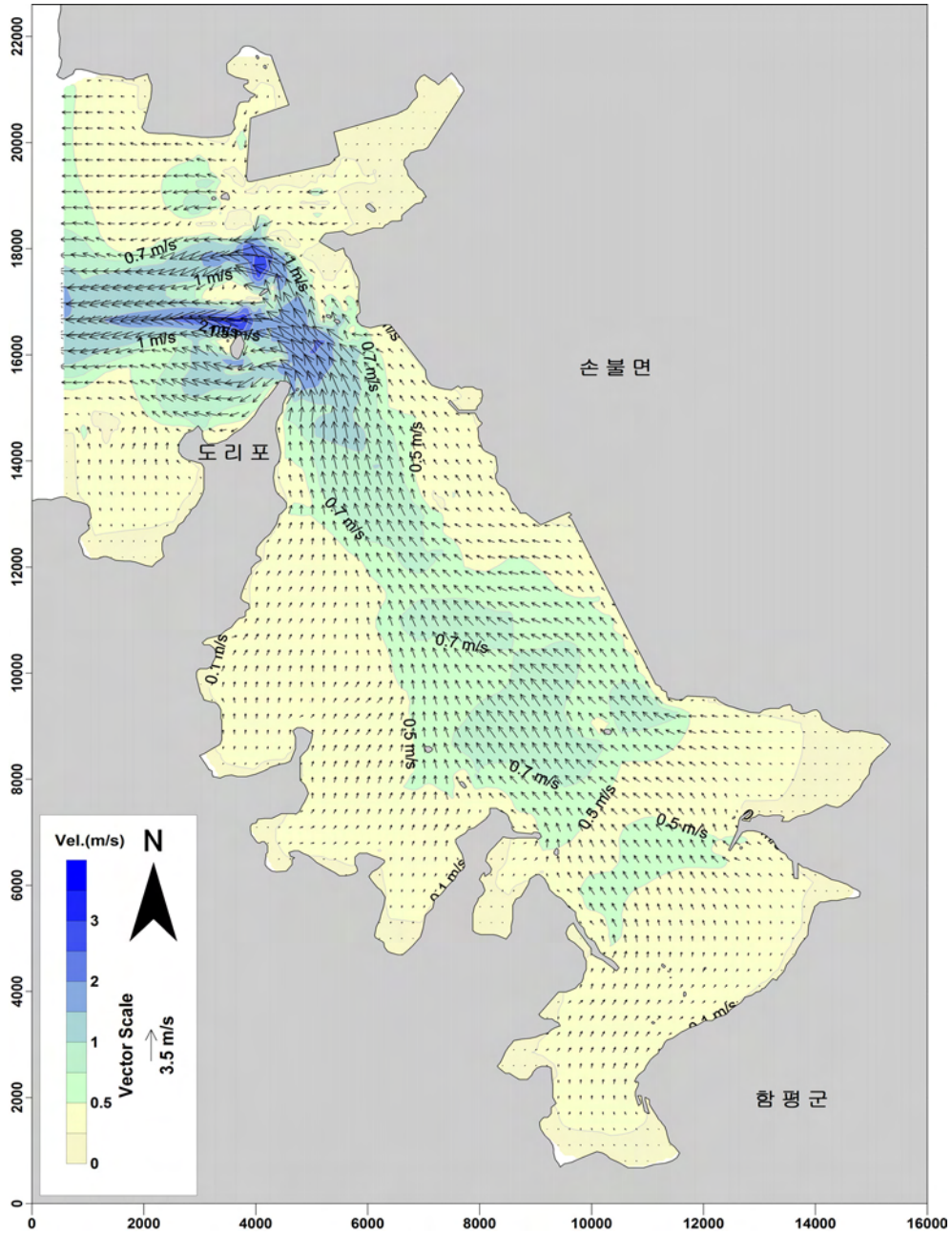


그림 3-2-10. 도리포해역의 최강낙조류벡터도

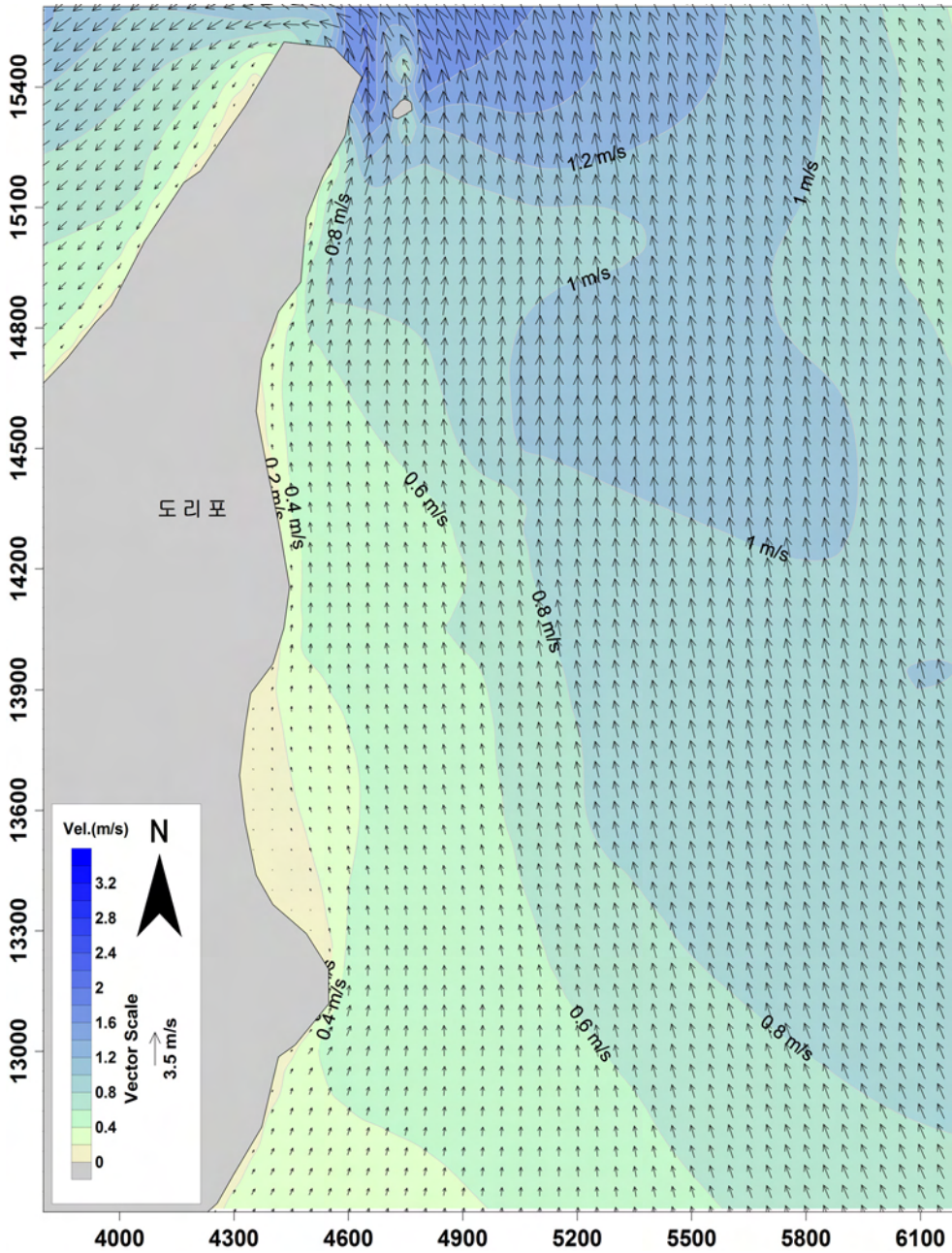


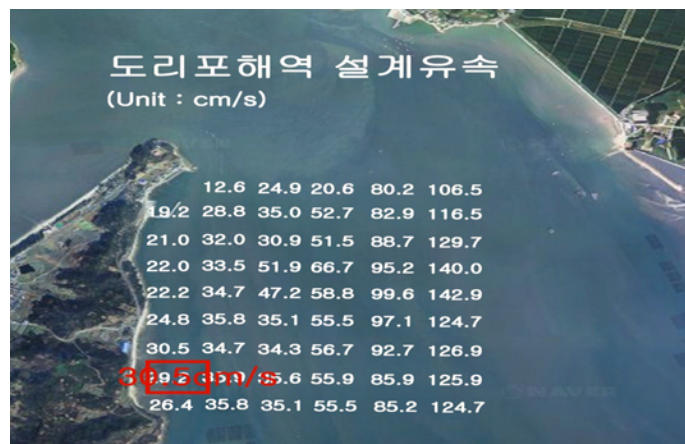
그림 3-2-11. 도리포해역의 최강낙조류벡터도(상세역)



(a) 남성리 해역 설계유속



(b) 계매리 해역 설계유속



(c) 도리포 해역 설계 유속

그림 3-2-12. 남성리, 계매, 도리포해역의 설계유속 분포

다. 파랑

(1) 실험 목적

간석지 패류양식장의 구조/배치 설계를 위한 외력 산정을 위하여 심해설계파 및 평상파를 산출하였다.

(2) 실험 방법

(가) 실험장치 및 재료

SWAN 파랑시뮬레이션 프로그램을 이용하여 남성리, 계매리 및 도리포 영역에 대한 설계파 및 평상파를 산정하고자 하였다. 파랑변형 수치실험은 Delf Hydraulic에서 개발한 제 3세대 파랑모형인 SWAN version 40.72를 사용하였다. 본 모형은 풍파 발생 및 발달(Wind generation), 흐름과 수심에 의한 굴절(Refraction), 구조물에 의한 회절(Diffraction), 수심에 의한 쇄파(Wave breaking), 저면 마찰(Bottom friction)에 의한 에너지 감쇄, 천수변형(Shoaling) 및 파랑의 비선형 상호작용(Quadruplet, Triad wave and wave interaction)에 대한 적용이 가능하다.

SWAN 모델은 spectral actional balance 방정식을 기본으로 하며 다음과 같다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

여기서 N 은 파랑작용밀도(Action density)라고 하며, 에너지밀도를 각주파수로 나눈 E/σ 과 같다. 기본 방정식에서 첫 번째 항은 시간에 따른 에너지의 변화를 나타내며 정상모드를 사용한 본 실험에서는 생략된다. 그리고 두 번째와 세 번째 항은 2차원 공간상에서의 파랑에너지의 전파를 의미하며, 네 번째는 수심 및 흐름의 변화에 따른 각주파수의 이동(Shifting)효과를 나타내고 있으며, 다섯 번째는 수심 및 흐름에 의한 굴절을 의미한다. 우측항의 S_{tot} 는 파랑에너지의 발생(Generation) 및 감쇄(Dissipation) 그리고 재분배(Redistribution)에 관련된 모든 물리적 과정들을 포함한 원천항(Source/sink terms)을 의미하며, 아래의 식으로 표현이 된다.

$$S_{tot} = S_{\in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds.w} + S_{ds.b} + S_{ds.br}$$

원천항 S_{tot} 는 풍파발생(S_{\in}), 파랑에너지의 비선형이동(S_{nl3} , S_{nl4}), 백파(White-capping),

해저면 마찰 및 쇄파로 인한 에너지 감쇠($S_{ds.w}$, $S_{ds.br}$, $S_{ds.br}$)로 구성되어 있으며, SWAN 모형에서는 각 항에 대한 다양한 경험식 및 옵션들을 소개하고 있다. 최신버전의 SWAN 모형은 위상분리 접근법 (Phase-decoupled approach) (Holthuijsen et al., 2003)을 바탕으로 파향에 따라 파랑에너지의 공간적인 재분배함으로써 파랑의 회절효과를 고려하고 있다.

본 모형으로부터 유의파고 H_s 와 평균주기 T_m 는 다음과 같이 스펙트럼 모멘트에 의해 산정하였다.

$$H_s = 4\sqrt{m_0}, \quad T_m = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}, \quad \text{where } m_n = \int_0^\infty f^n E(f)df$$

수치모형영역에 입사파랑경계와 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 적용하였다. 입사파랑경계는 유의파고와 침투주기에 의한 JONSWAP 주파수 스펙트럼 (Hasselmann et al., 1973)과 미쯔야수의 방향분산도인 $\cos^m \theta$ 을 사용하여 개경계조건을 정의하였으며, 해안선을 포함한 그 외의 모든 경계에서는 파랑에너지를 흡수하거나 경계로 통과시켜 파랑이 계산영역으로 다시 입사하지 않는 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 지정하였다. 수치계산시 주파수 0.04 Hz~1.0 Hz에서 34개, 방향은 36개로 분할하여 총 1224개 성분파로 구성된 스펙트럼을 고려하였다.

수치모형실험에서는 굴절, 회절, 천수와 더불어 천해역에서 발생하는 비선형 파랑 상호작용인 Triads, 그리고 파형경사에 의해 발생하는 백파(Whitcapping)로 인한 파랑에너지 감쇠를 계산에 고려하였다. 또한 수심에 따른 쇄파현상은 쇄파지수 H/h 가 0.6인 조건을 사용하였으며, 저면마찰에 따른 에너지 감쇠는 JONSWAP의 상수인 $0.038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ (Hasselmann et al., 1973)을 사용하였다. 모든 계산은 정상모드(Stationary mode)로 실시하였다.

(나) 실험 절차

남성리해역은 외해로부터 입사해오는 파랑의 영향을 직접적으로 받으며, 특히 하절기의 열대성 저기압에 의한 태풍의 영향권으로 폭풍해일의 영향으로 인한 피해가 큰 해역이다. 대상해역 주변의 외력환경 평가를 목적으로 기상요소를 고려한 설계파 및 평상파 조건에 대해 파랑변형 수치모의 실험을 수행하였다. 또한 계매리해역은 여자만의 서측에 위치한 해역으로 외해에서 입사하는 파랑의 영향이 낮을 것으로 판단되며, 바람요소에 의한 여자만의 취송거리에 따라서 평상파가 발달하는 해역의 특성을 고려하여 설계파 및 평상파를 계산하였다. 그리고 도리포의 경우 무안으로 입사하는 파랑이 회절하는 영역에 속하므로, 이러한 특성을 고려한 설계파 및 평상파의 실험을 실시하였다.

수치실험 조건은 심해설계파의 경우 50년빈도 심해설계파랑조건(KORIDI, 2005)과 방향별 최대풍속(장기파랑산출집, 1997)을 이용하였으며, 평상파의 경우 월별 평균유의파는 연안격자점 No. 40(장기파랑산출집, 1997)과 여수기상관측소에서 관측된 월별평균풍속(2002~2008)을 사용하였다(표 3-2-2)

심해설계파랑의 탁월 심해파향은 SE와 SSE방향이었다. 그리고 평상파의 조건에서 파고는 1~5월과 10~12월은 0.8m 내외, 6~9월은 1m 내외였다. 주기는 1~5월과 10~12월은 4~5sec 내외, 6~9월은 5~6sec 내외였다. 그리고 풍속은 1~3월과 9~12월은 5~6 m/s, 4~8월은 4~5 m/s였다. 탁월파향은 1~3월은 NW, 4~7월은 S, 8~10월은 NE, 11~12월은 NW 계열이다.

풍향은 1월~5월 SW계열, 6월~9월은 SE, NE계열이었고, 10월~12월 NW계열이었다(그림 3-2-15).

표 3-2-2. 파랑실험 개요

항 목		내 용
실험 목적		간석지 패류양식장의 구조/배치설계를 위한 파랑 외력 산정
사용 모델		SWAN (Delft Hydraulics, ver. 40.72)
격자 구성	격자 간격	설계파 : 100 m 크기의 직교 격자체계 평상파 : 100 m 크기의 직교 격자체계
	해수면	설계파 : 약최고고조면 3.5 m(사양도) 평상파 : 평균해수면 1.75 m(사양도)
실험안별 입력 및 외력조건		심해설계파 : 50년 빈도 심해설계파 조건(KORIDI, 2005) 풍파 발생조건 : 방향별 최대풍속 (장기파랑산출집, 1997) 평상파 : 월별 평균유의파(연안격자점 No. 40, 1979~2001) 월별 평균풍속(여수기상관측소, 2002~2008)

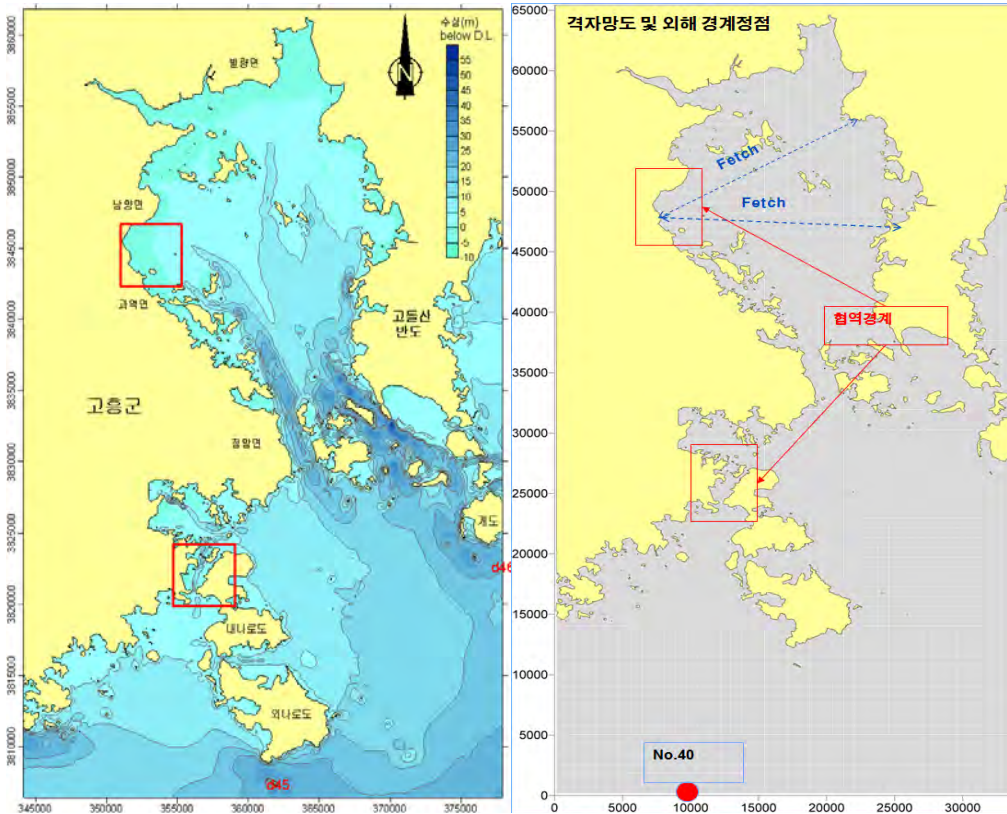


그림 3-2-13. 남성리 및 계매리 대상해역

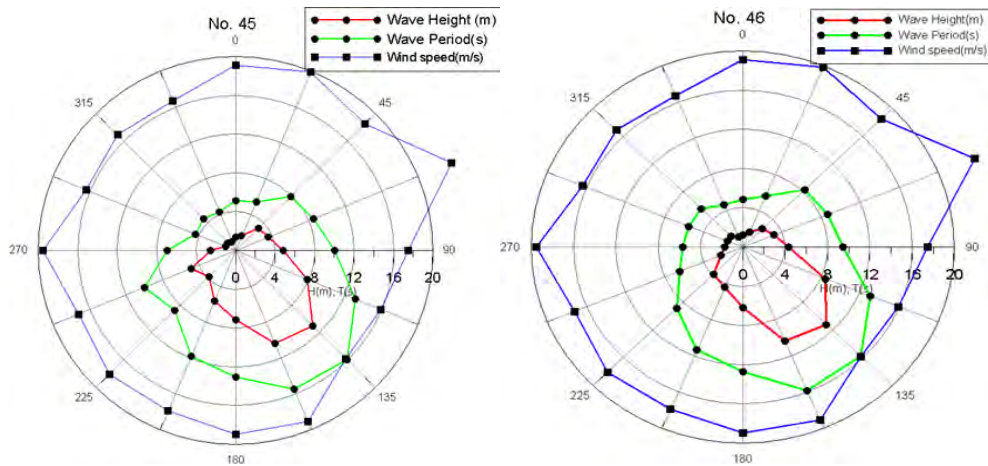
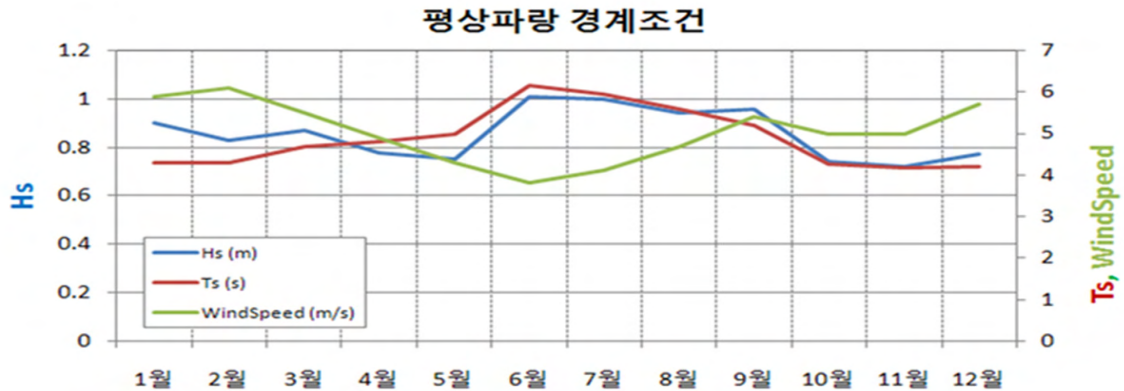


그림 3-2-14. 남성리 및 계매리해역의 심해설계파 입사파랑조건



	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
파향	NNW	NNW	NW	S	S	S	S	ENE	ENE	ENE	NNW	NNW
풍향(고흥)	WNW	NNW	WNW	WNW	WNW	S	ESE	SE	NE	NW	NW	WNW

그림 3-2-15. 남성리 및 계매리해역의 평상파조건

(3) 실험 결과

남성리해역의 경우 심해설계파고가 1.2m까지 나타났으며, 주기는 3.5sec 정도로 나타났다(그림 3-2-16). 파향은 NW 계열의 파랑이 입사하는 것으로 나타났다(그림 3-2-17). 평상파의 경우 파고가 0.3m, 주기가 6.0sec 정도로 나타났다.

계매해역의 경우 심해설계파고가 1.1m까지 나타났으며, 주기는 3.0sec 정도로 나타났다(그림 3-2-18). 파향은 W, NW 계열의 파랑이 입사하는 것으로 나타났다(그림 3-2-19). 평상파의 경우 파고가 0.15m, 주기가 2.0sec 정도로 나타났다.

도리포해역의 경우 심해설계파고가 1.5~2.0m까지 나타났으며, 주기는 4.0sec 정도로 나타났다. 평상파의 경우 파고가 0.0.5m까지, 주기가 3.5sec 정도로 나타났다.

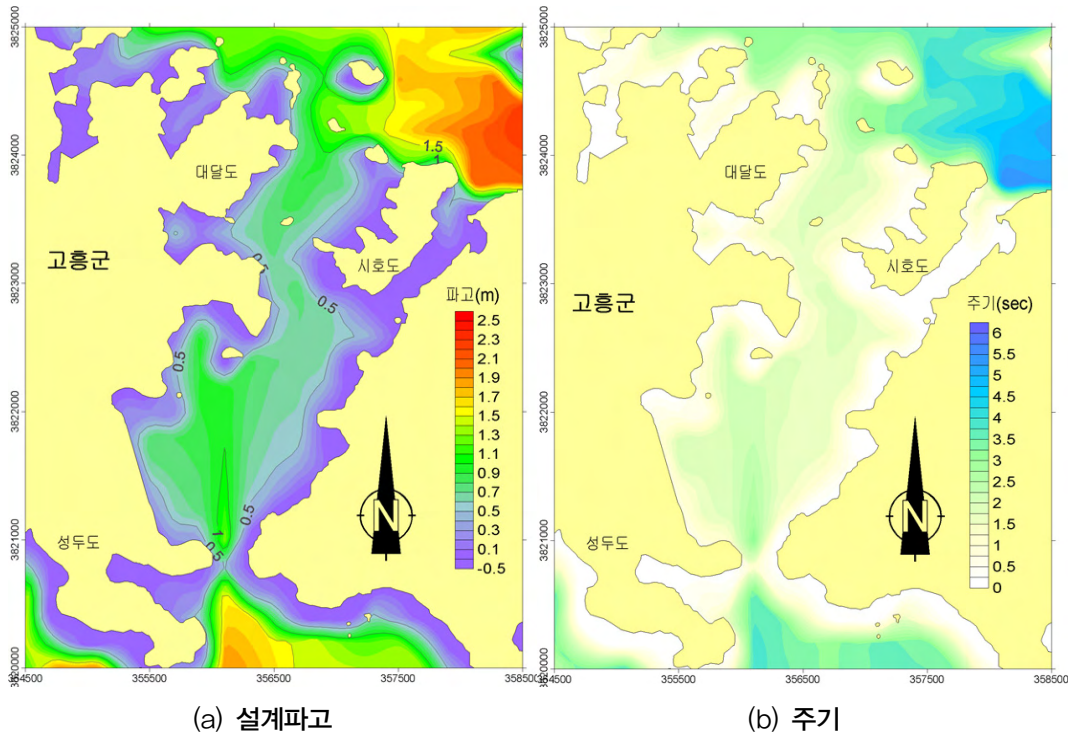


그림 3-2-16. 고흥 남성리해역의 심해설계파 파고 및 주기

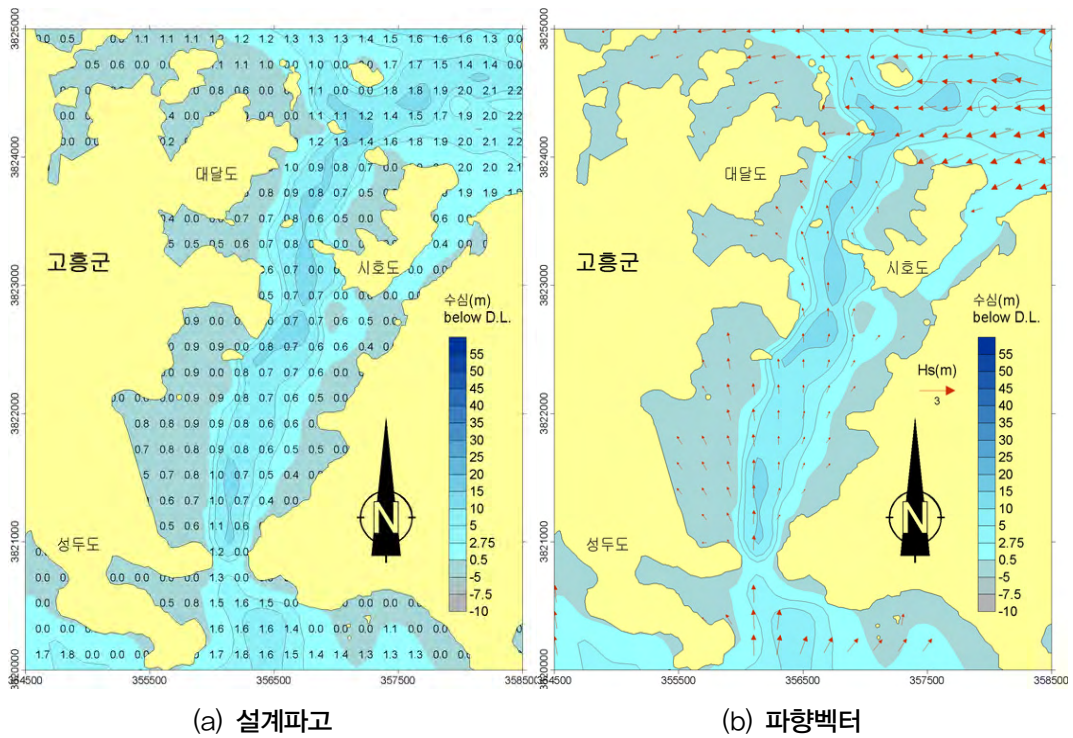


그림 3-2-17. 고흥 남성리해역의 심해설계파 파고 및 파향벡터도

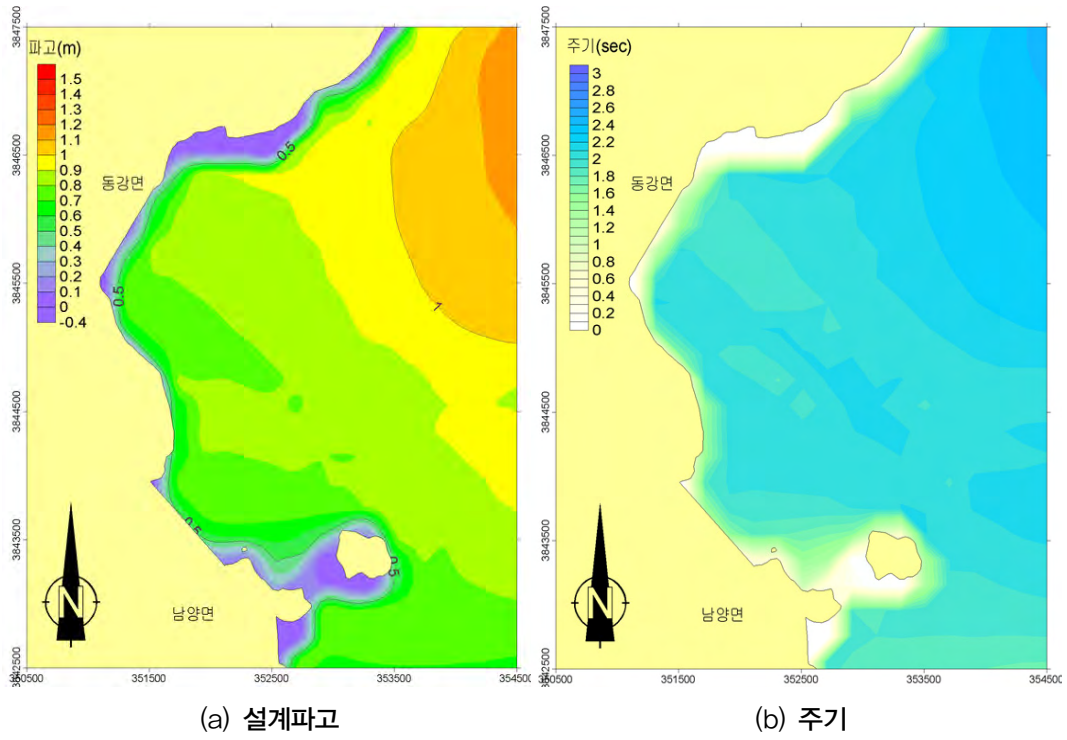


그림 3-2-18. 고흥 계매리해역의 심해설계파 파고 및 주기

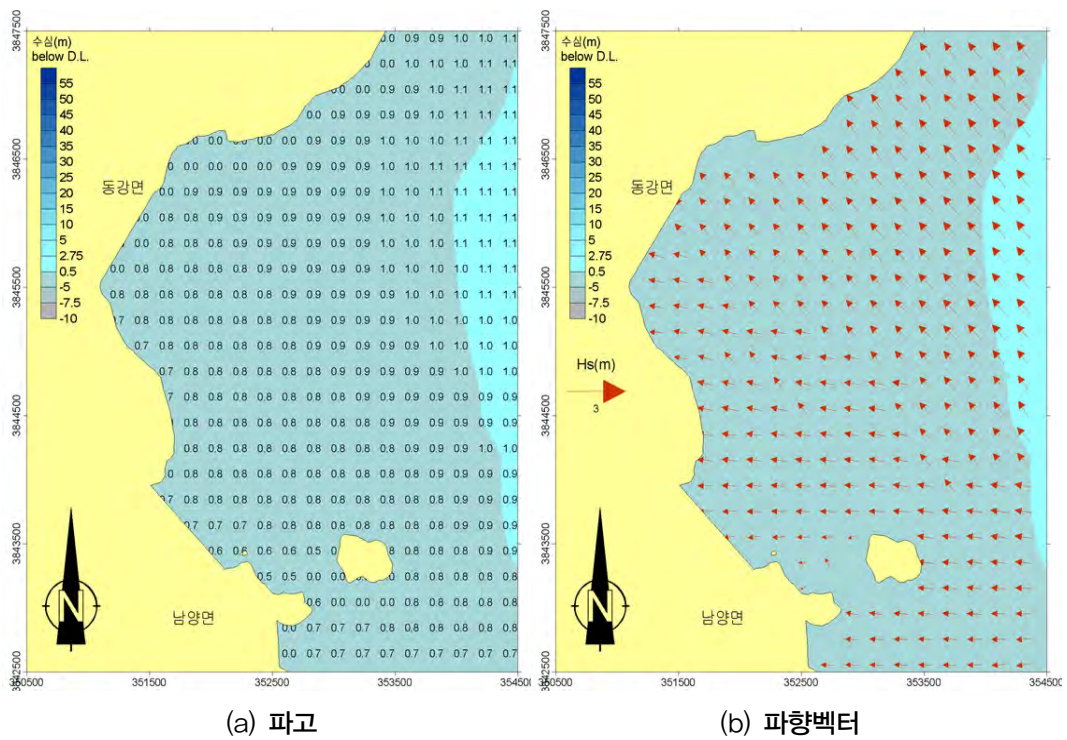


그림 3-2-19. 고흥 계매리해역의 심해설계파 파고 및 파향벡터도

이상의 해수유동 및 파랑에 대한 외력산출 시뮬레이션 결과를 정리하면 다음 표 3-2-3과 같다.

표 3-2-3. 외력산정 실험 결과

지역		남성리	계매리	도리포	비고
대조차		3.3	3.3	4.8	
심해설계파 (50년)	파고(m)	~1.2	~1.1	1.5~2.0	
	주기(sec)	3.5	3.0	4.0	
평상파	파고(m)	~0.3	0.15	~0.5	
	주기(sec)	6.0	2.0	3.5	
해수유동	유속(m/s)	0.4	0.1	0.3	

라. 물리환경 현장조사

(1) 바지락 양식장(남성리)

남성리해역의 해수유동을 조사하기 위해서 25시간 정점관측을 실시하였다. 조사는 나로대교 북서측 방파제 북측 해역이며, 2010년 11월 24일부터 25일까지 Compac-EM(ALEC)을 이용하여 25시간 동안 관측하였다(그림 3-2-20).

조사결과 조류의 주방향은 남동측에서 북서측 방향을 주축으로 왕복류의 형태를 보이며, 유속은 40 cm/sec 이하로 주로 20 cm/sec 부근의 값이 주로 나타났으며, 유향은 150°에서 200°사이의 값이 주로 나타났다(그림 3-2-21~22).

이는 나로대교로 향하는 흐름이 강하고 오래도록 나타나고 있음을 나타내어 준다.

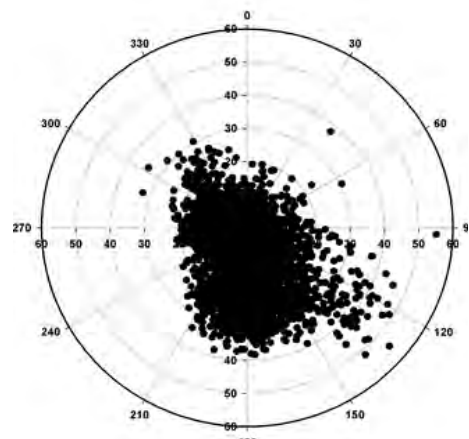


그림 3-2-20. 대상해역(남성리) 내 25시간 정점관측 위치

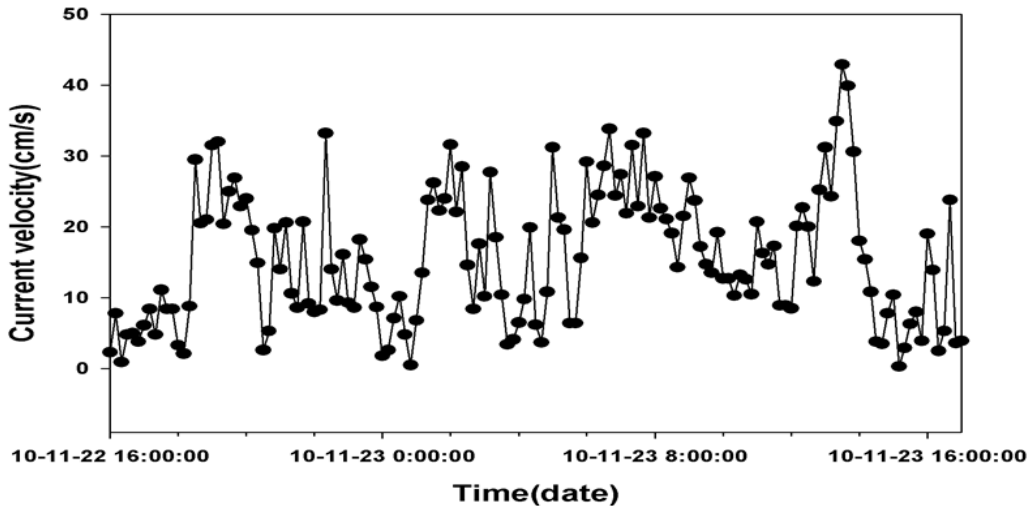


그림 3-2-21. 시간별 유속 변화

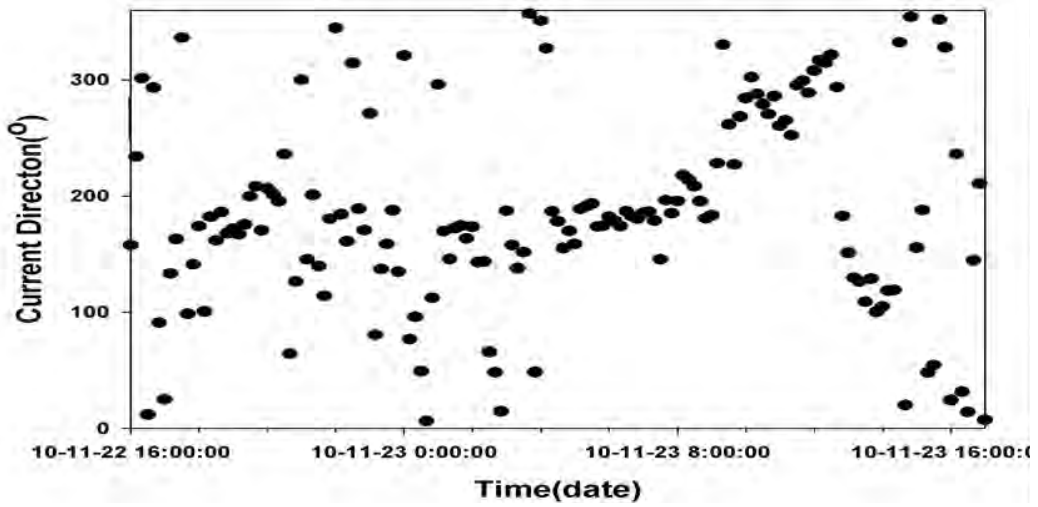


그림 3-2-22. 시간별 유향 변화

(2) 다목적 이용 복합양식장(도리포)

복합양식어장의 환경조사는 시험어장 선정 후 선정된 시험어장에서의 시설물 배치를 위하여 시험어장의 해양환경특성 정밀조사를 실시하였다. 정밀조사 정점은 그림 3-2-23과 같다.

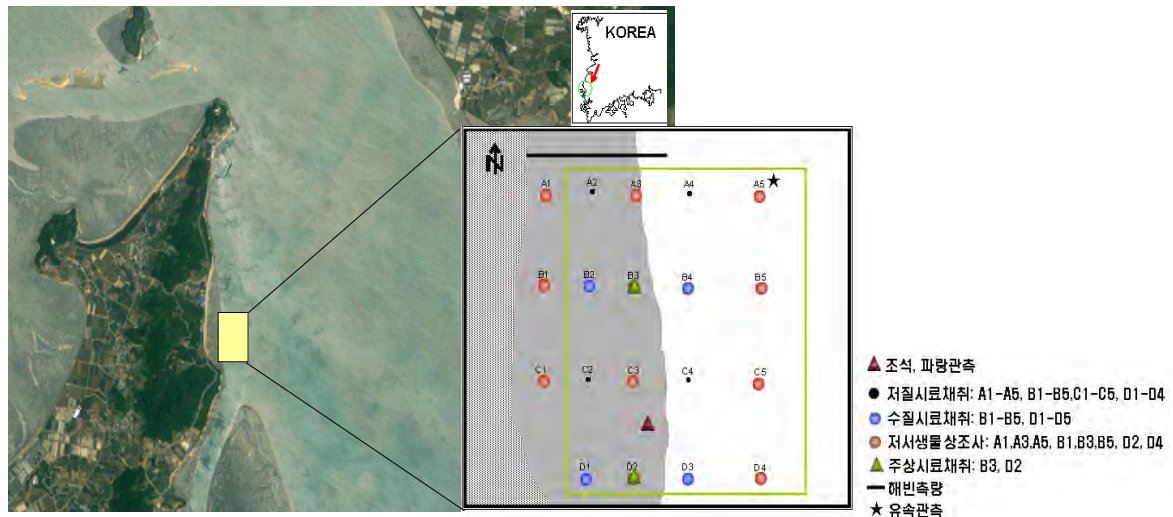


그림 3-2-23. 복합양식장 시험어장 환경정밀조사 정점

함평만 복합양식장 시험어장의 물리환경특성을 파악하기 위하여 RCM-9을 이용한 대조기 및 소조기 동안 25시간 조류속 관측, RBR-TWR을 이용하여 한 달 동안 파랑 관측 및 조위계를 이용하여 조석을 관측 등 현장조사를 중점적으로 실시하였다.

(가) 조석

시험어장 저조선에서 관측된 조위관측결과는 그림 3-2-24로, 대조기에는 조차가 6m, 소조기에는 조차가 4m 내외로 관측되었으며, 반일주조 및 일조부등의 특성을 보였다. 한 달 동안 관측한 결과 값을 바탕으로 TASK-2000 PACKAGE을 이용해 조화분해 결과 값은 표 3-2-4로, 반일주조 성분의 진폭이 가장 크게 나타났으며 M₂분조가 S₂분조에 비해 두 배 이상 값을 보였다. 그림 3-2-25는 함평만 시험어장 저조선에서의 노출시간으로, 저조선에서는 대조기에 대기 노출 시간이 최대 150분을 보이고 있으며, 소조기에는 60분 동안 최대 노출이 이루어지는 것으로 나타났고, 저조선에서 50cm 위에서는 대조기에 최대 260분 동안 대기에 노출되었으며, 소조기에도 150분 정도 대기에 노출되는 것으로 조사되었다.

(나) 조류

그림 3-2-26은 시험어장에서 관측된 대조기, 소조기에 관측된 조류흐름을 벡터도로 표

시하였으며, 저조 후 2시간 후 최강유속에 도달하고 다시 감소하는 경향을 보이고 있으며 낙조류 지속시간이 창조류에 비해 약 1시간 정도 긴 조류 비대칭 구조를 보이고 있다.

그림 3-2-27은 관측된 조류 scatter map으로, 유향은 남북방향이 패턴을 강하게 보이고 있으며 창조류에 비해 낙조류가 강한 낙조우세 현상을 보이고, 대조기 최강유속은 창조시 51 cm/sec, 낙조시 66 cm/sec 이었으며, 소조기에는 최강유속은 창조시 34 cm/sec, 낙조시 45 cm/sec 이었다.

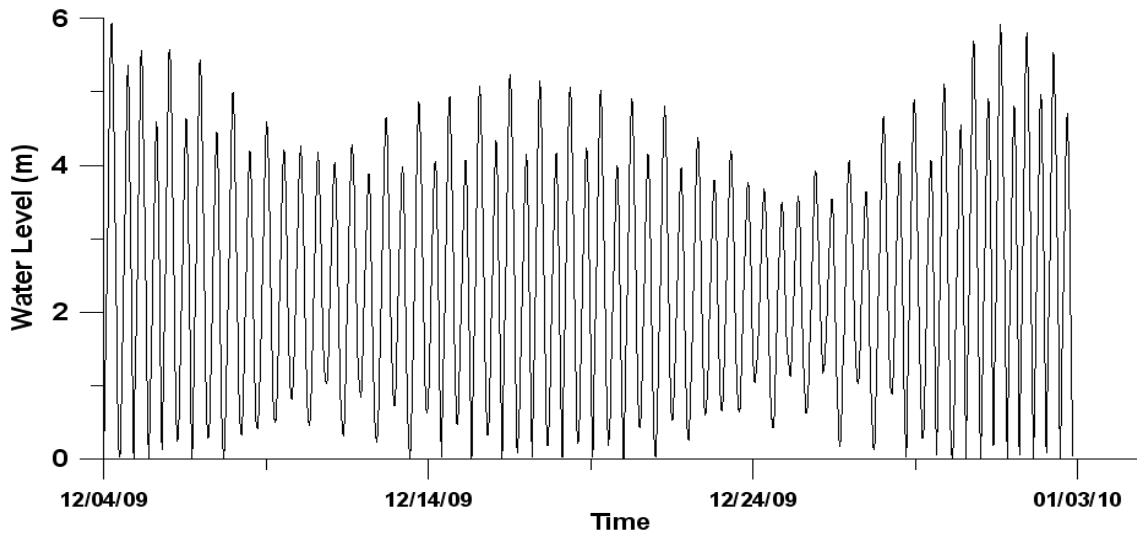


그림 3-2-24. 시험어장의 조위 관측결과

표 3-2-4. 시험어장 조화분해결과

4대분조	진폭(m)	지각(°)	비 고
M ₂	1.9841	60.588	
S ₂	0.7145	115.103	
K ₁	0.3155	266.368	
O ₁	0.2229	230.781	

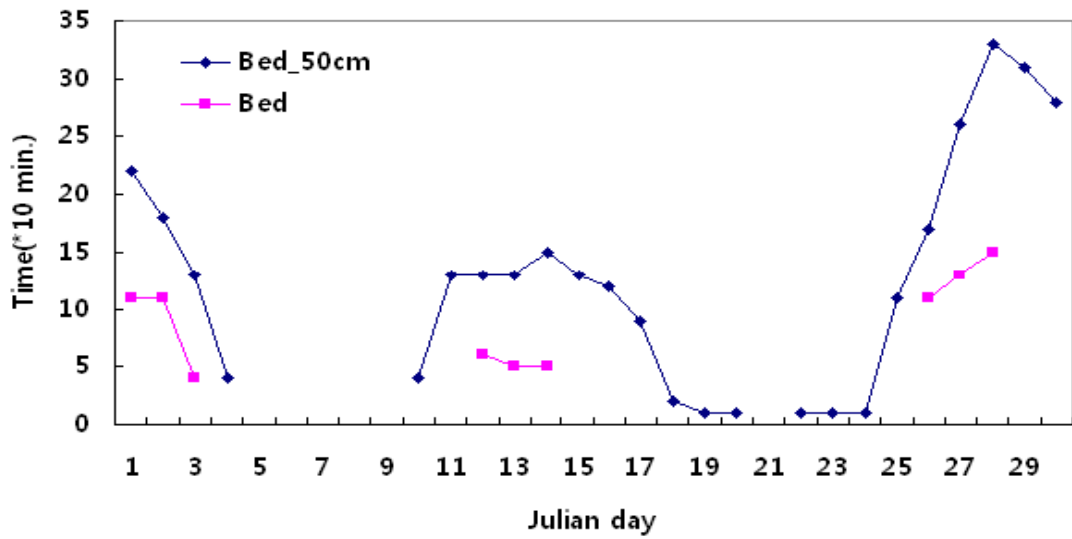


그림 3-2-25. 시험어장 저조선에서 노출시간

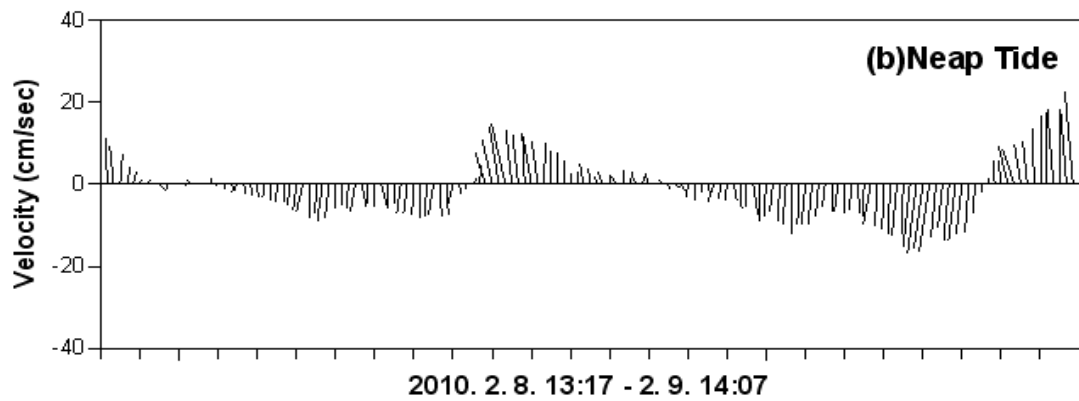
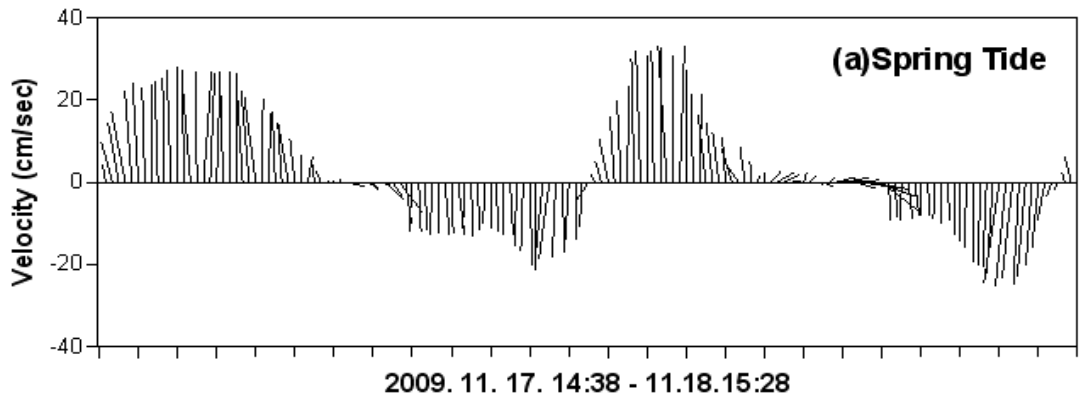


그림 3-2-26. 함평만 시험어장 조류 vector map

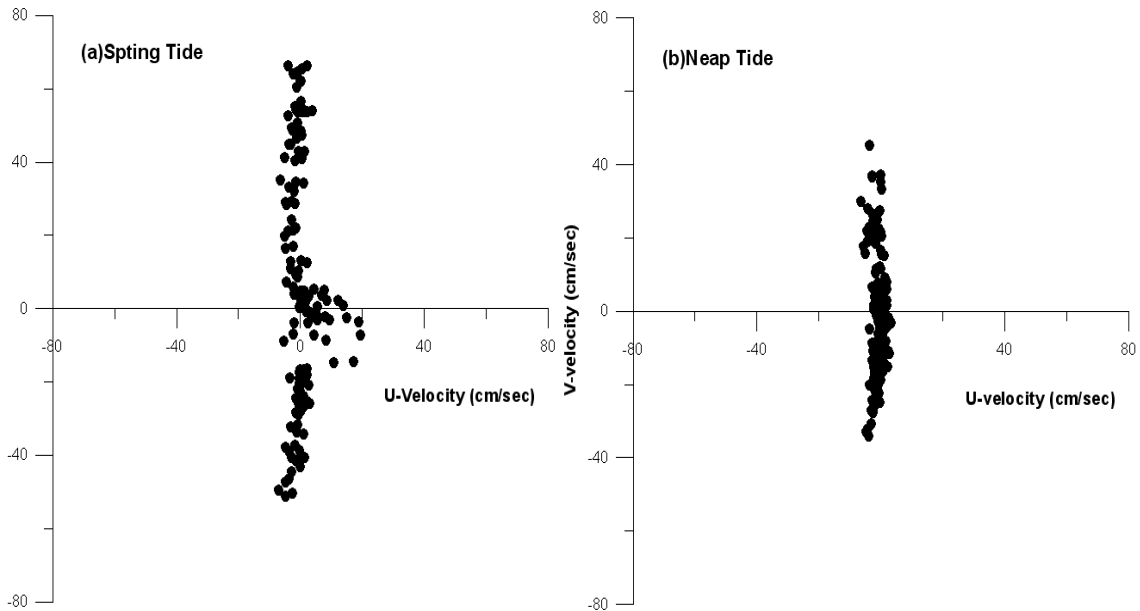


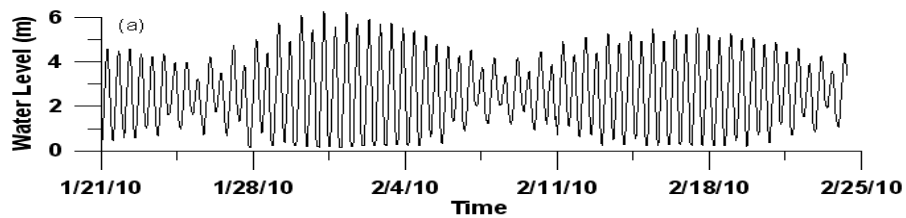
그림 3-2-27. 함평만 시험어장 조류 scatter map

(다) 파랑

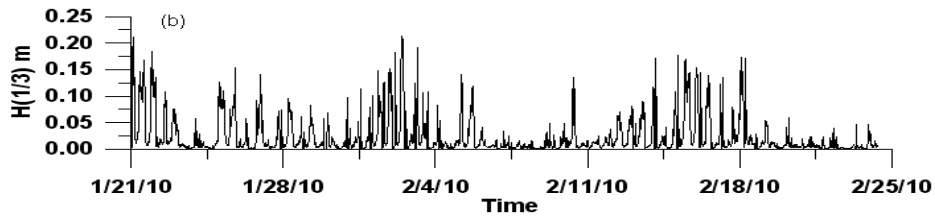
그림 3-2-28은 시험어장에 계류한 파랑계이며, 그림 3-2-29는 시험어장 저조선에서 관측한 파랑 조사결과로, 파랑관측기간 동안 조석은 그림 3-2-29의 (a)와 같이 반일주조에 대조, 소조기가 뚜렷이 나타났다. 유의파고는 대조기에 최대 0.21m를 보였으며, 주기는 대부분 10초 이하였다. 소조기에는 0.05m 이하 유의파가 10~60초 사이의 주기를 가지는 것으로 관측되었는데, 이는 관측기간 동안 강한 동풍이 불고 난후 동풍이 멈춘 후 발생하는 것으로 나타났으나 파고가 크지 않아 큰 의미를 가지 않는 것으로 분석되었다.



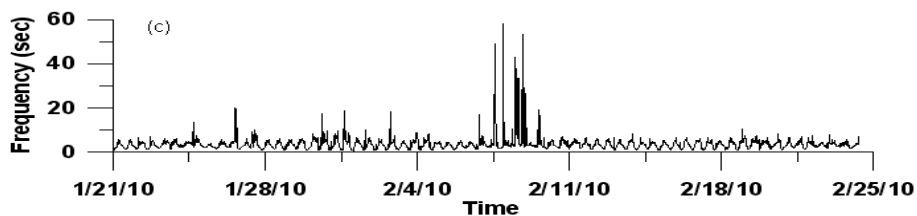
그림 3-2-28. 저조선에 설치한 파랑계(RBR-TWR)



(a) 조석



(b) 유의파고



(c) 주기

그림 3-2-29. 함평만 시험어장 파랑 관측 및 분석결과

2. 수질

가. 조사해역

선정된 대상수역의 환경특성을 조사하고자 바지락 양식장은 고흥군 포두면 남성리, 꼬막 양식장은 고흥군 동강면 계매리, 복합양식장은 무안군 도리포를 중심으로 조사를 추진하였다. 그림 3-2-30~32에 고흥 남성리와 계매리의 수질과 퇴적환경의 조사정점을 나타내었으며, 함평만 도리포 조사정점은 그림 3-2-23과 같다.

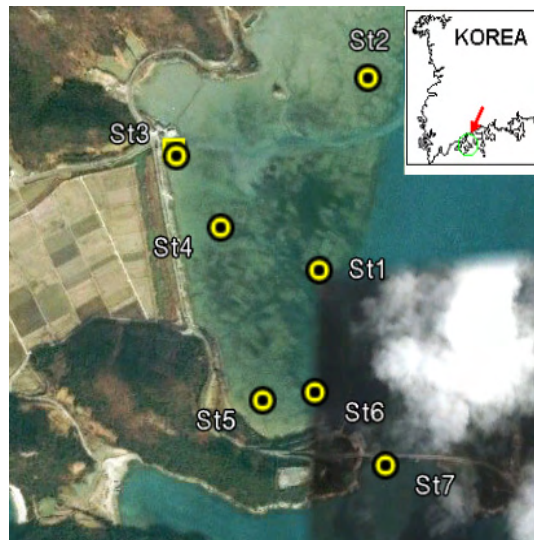


그림 3-2-30. 바지락 시험어장의 수질환경조사 정점

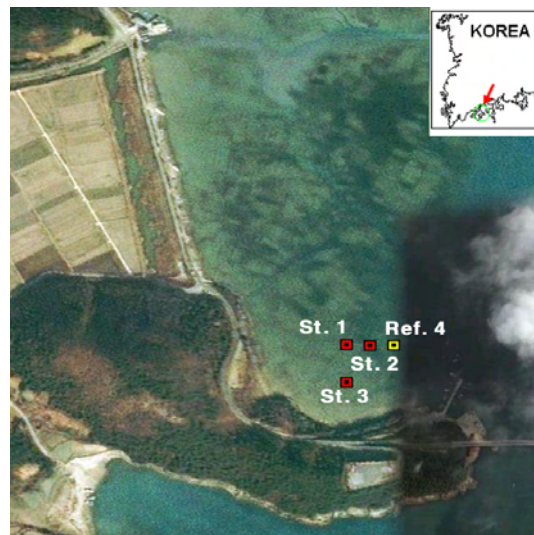


그림 3-2-31. 바지락 시험어장의 퇴적환경조사 정점

표 3-2-5. 바지락 시험어장의 조사정점 좌표

수질 정점				
정점	위도	경도	위도(도)	경도(도)
St.1	34° 31 ' 31.7 "	127° 25 ' 45.9 "	34.52547	127.42942
St.2	34° 31 ' 52.3 "	127° 25 ' 51.8 "	34.53119	127.43106
St.3	34° 31 ' 43.5 "	127° 25 ' 26.6 "	34.52875	127.42406
St.4	34° 31 ' 36.0 "	127° 25 ' 32.7 "	34.52667	127.42575
St.5	34° 31 ' 17.7 "	127° 25 ' 38.8 "	34.52158	127.42744
St.6	34° 31 ' 18.7 "	127° 25 ' 45.7 "	34.52186	127.42936
St.7	34° 31 ' 11.1 "	127° 25 ' 55.3 "	34.51975	127.43203
퇴적물 정점				
정점	위도	경도	위도(도)	경도(도)
St.1	34° 31 ' 20.8 "	127° 25 ' 41.7 "	35.52244	127.42825
St.2	34° 31 ' 20.0 "	127° 25 ' 43.3 "	35.52222	127.42869
St.3	34° 31 ' 17.4 "	127° 25 ' 41.5 "	34.52150	127.42819
Ref.4	34° 31 ' 20.1 "	127° 25 ' 45.0 "	35.52225	127.42917

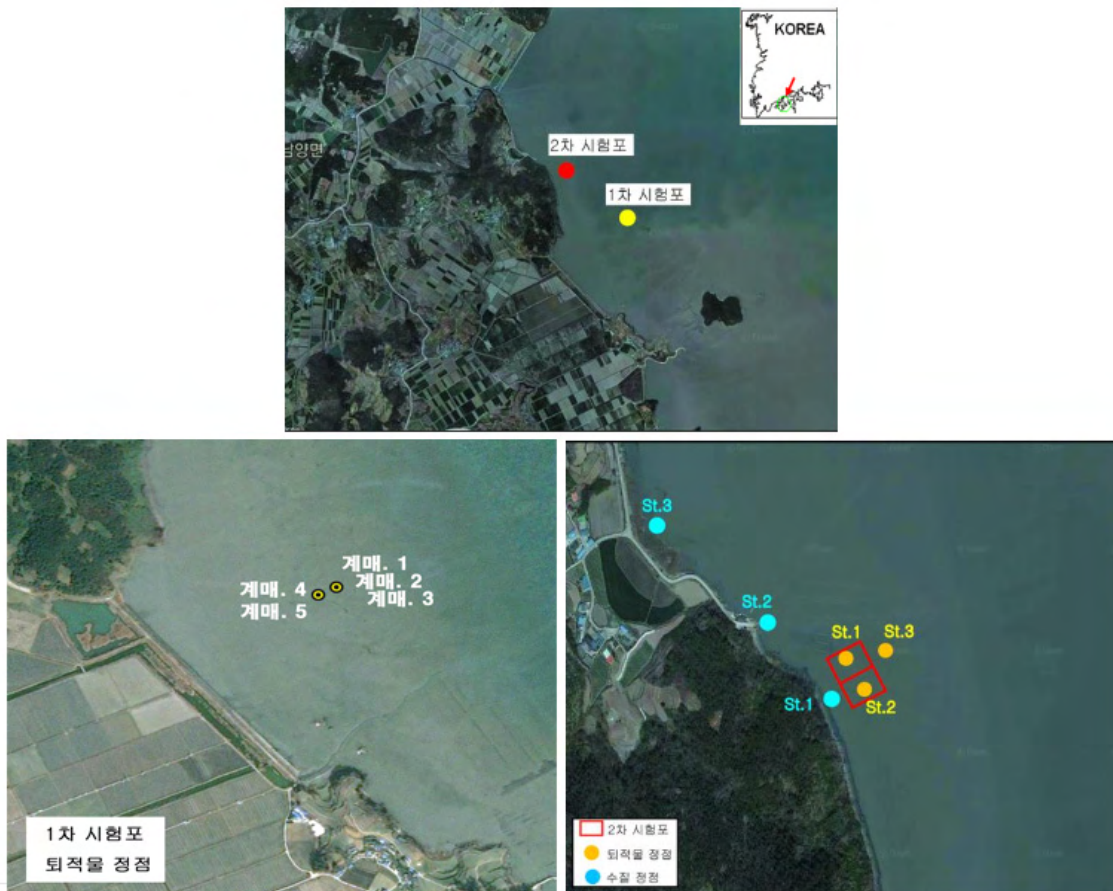


그림 3-2-32. 꼬막 시험어장의 환경 조사 정점

꼬막양식장의 경우 시험포를 연안과 인접한 해역으로 옮겨와 그림 3-2-32에 표시하였고 꼬막양식장인 1차 시험포에서 별도로 현재 운영하고 있는 꼬막양식장에서의 생산량을 측정하여 본 시험포와 비교 평가하고자 하였다.

표 3-2-6. 고흥 계매 꼬막 시험어장의 조사정점 좌표

수질정점			퇴적물 정점		
St.1	34° 44 ' 5.71 "	127° 22 ' 41.92 "	St.1	34° 44 ' 7.60 "	127° 22 ' 42.59 "
St.2	34° 44 ' 9.00 "	127° 22 ' 37.84 "	St.2	34° 44 ' 6.12 "	127° 22 ' 43.74 "
St.3	34° 44 ' 13.02 "	127° 22 ' 30.86 "	St.3	34° 44 ' 7.91 "	127° 22 ' 44.86 "

나. 조사방법

(1) 수온, 염분, 용존산소(DO)

수온, 염분, 용존산소는 현장에서 CTD(YSI 6600EDS), RBR-CTD를 이용하여 관측하였다.

(2) 부유물질(SS)

미리 무게를 측정한 유리섬유여과지(GF/C)로 해수시료를 여과 후, 103~105℃에서 건조하여 여과 전후의 무게차이로부터 계산하며, 여과 마지막 단계에서 초순수로 탈염하여 염분에 의한 무게오차를 방지한다.

(3) 화학적 산소요구량(COD)

해수시료를 알칼리성으로 하여 강산화제인 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 100℃ 수욕 상에서 60분간 가열반응 시킨 후, 요오드화칼륨과 황산을 넣어 소비되고 남은 산화제에 의하여 유리된 요오드의 양을 측정하여 산소량으로 나타냈다.

(4) 총질소(TN), 총인(TP)

총질소(TN)와 총인(TP)은 여과하지 않은 해수시료에 강산화제인 과황산칼륨을 넣고, 고압증기멸균기에서 120℃ 2기압으로 가열반응 시킨 후, 각각 질산성 질소(NO₃⁻-N)와 인산 인(H₃PO₄-P)의 분석방법에 따라 비색 정량하였다.

(5) 용존무기 영양염류(Dissolved inorganic nutrients)

영양염(NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, HPO₄²⁻-P)은 채수된 시료를 25mm GF/F filter를 통과시켜, 여액을 20ml plastic병에 담아 dry ice에 냉동 운반하여 분석 시까지 냉동 보관 후, Parsons et al.(1984) 방법에 준하여 Autoanalyzer (TRAACS 2000, Bran-Luebbe)를 이용하여 측정하였다.

(가) 질산염(NO_3^-) : 시료를 Cu-Cd 컬럼에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨 다음, 아질산 이온 분석방법과 같은 방법으로 발색시켰다.

(나) 암모니움(NH_4^+) : 시료에 phenol과 sodium nitroprusside 혼합용액 및 sodium citrate와 sodium dichlorophenol indophenol 혼합용액을 가하여 발색시켰다.

(다) 인산염(PO_4^{3-}) : 시료에 ammonium molybdate, potassium antimonyl tartrate와 황산의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid로 환원시켜 발색시켰다.

(6) 엽록소-a(Chlorophyll-a)

엽록소-a 농도측정은 해수 2ℓ를 25mm GF/F filter로 여과하여 90% acetone 용액에 -20℃의 냉암소에서 24시간 동안 추출한 후, UV-Vis spectrophotometer(Unicam 4-100)를 이용하여 750, 663, 645, 630nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다(Parsons et al., 1984).

다. 조사결과

(1) 바지락 양식장(남성리)

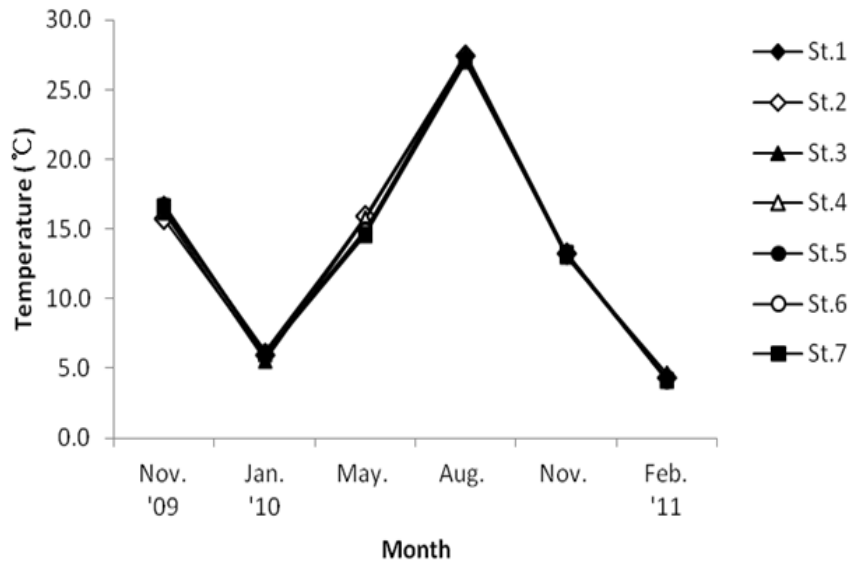
남성리 바지락 양식장의 계절별 해양환경특성조사를 위해 2009년 11월(추계), 2010년 1월(동계), 2010년 5월(춘계), 8월(하계), 11월(추계), 2011년 2월(동계)에 총 7정점에서 조사를 실시하였으며 구조물 설치 후 2011년 11월과 2012년 1월, 2월, 3월에 조사를 실시하였다.

수온의 경우 2009년 11월에 15.7~16.8℃, 2010년 1월에 5.6~6.2℃, 5월에 14.6~15.9℃, 8월조사시 27.0~27.6℃, 2010년 11월조사시 13.0~13.2℃, 2월조사시 4.1~4.6℃ 범위를 나타냈다. 1차년도보다 2차년도에 수온이 내려간 것을 확인할 수 있었으며 춘계에 정점 간 수온차가 1.3℃로 가장 크게 나타났으며 전체적으로 0.5℃ 내외로 유사한 수온분포를 보였다(그림 3-2-33).

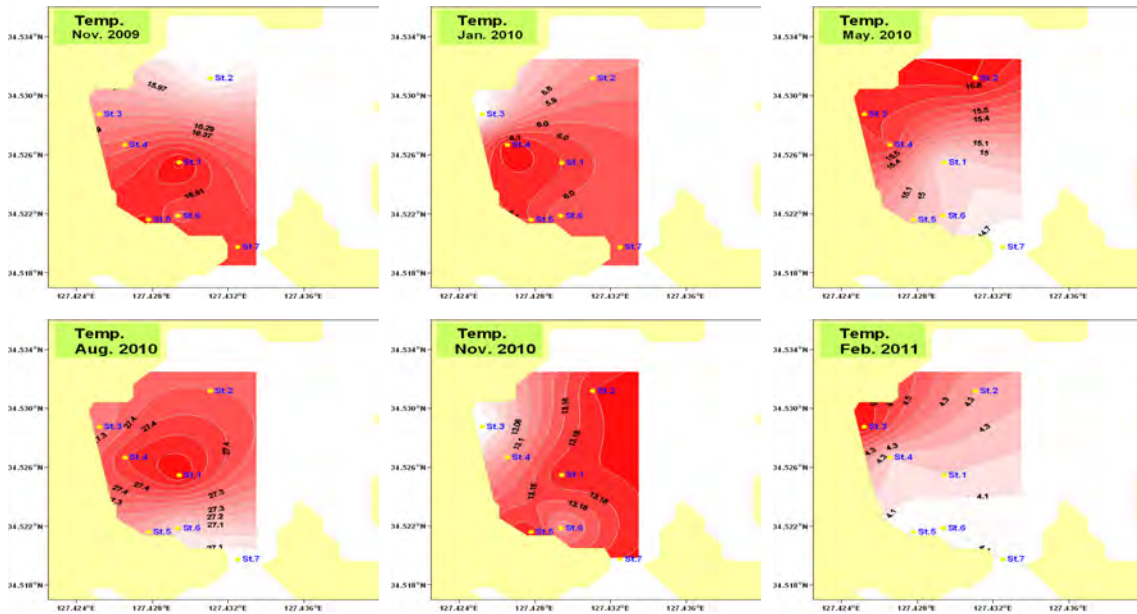
염분은 2009년 추계에 32.5~32.7psu, 2010년 동계에 33.5~33.7psu, 춘계에 32.9~33.5psu, 하계에 31.1~31.6psu, 추계에 31.6~32.6psu, 2011년 동계에 32.1~33.7psu 범위를 보였다. 1차년도에 염분변화가 크지 않은데 반해 2차년도 조사시에는 정점별 농도차가 다소 나타났으며 2010년 8월과 11월 조사시 낮은 염분을 나타냈고 2010년 1월과 2011년 2월 동계조사시 33psu 이상으로 나타나 상대적으로 고염을 보였다. 수평분포는 2009년 11월과 2010년 1월에는 북부해역에서 낮은 수온을 보였고 추계(11월)조사 시에는 수문이 위치한 St. 3에서 낮은 농도를 나타낸 것을 제외하면 대체로 수심이 깊은 남부해역의 St. 7에서 수온이 낮게 나

타났다(그림 3-2-34).

염분은 수온과 달리 겨울철에는 조사해역 중앙에 St. 4에서 낮게 나타났으며 가을철에는 연안에 인접한 해역에서 높게 나타났다. 상대적으로 바지락 양식장은 추계 조사를 제외하고 상대적으로 염분이 다소 낮게 나타났다.

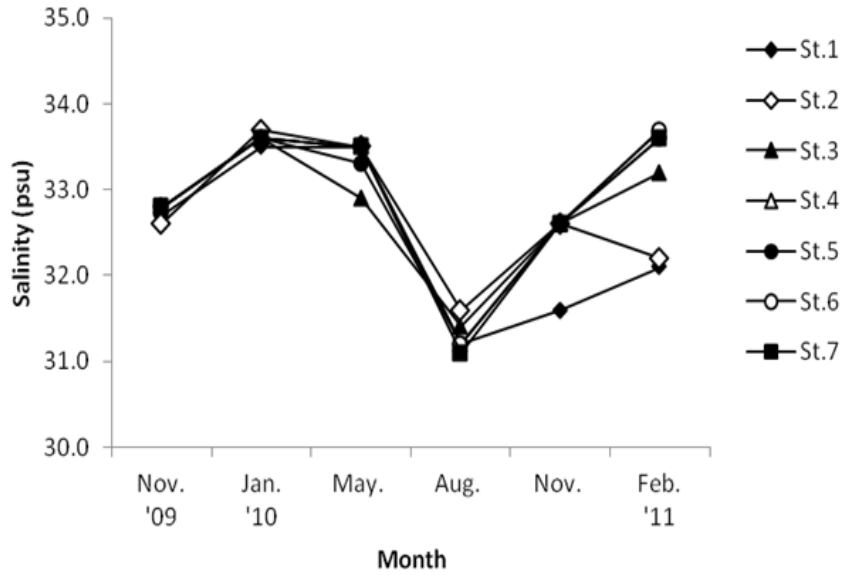


(a) 수온변화

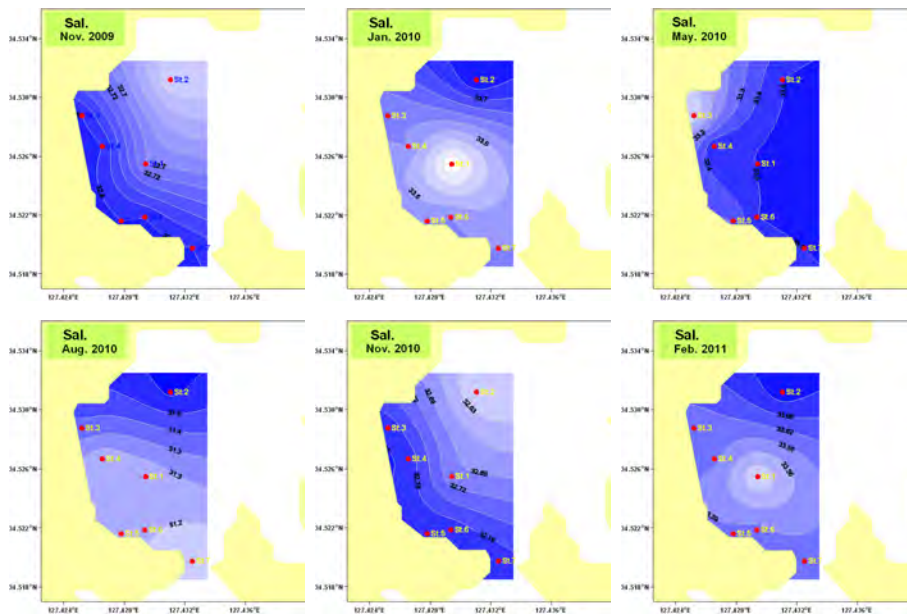


(b) 수온분포

그림 3-2-33. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 수온변화 및 수평분포



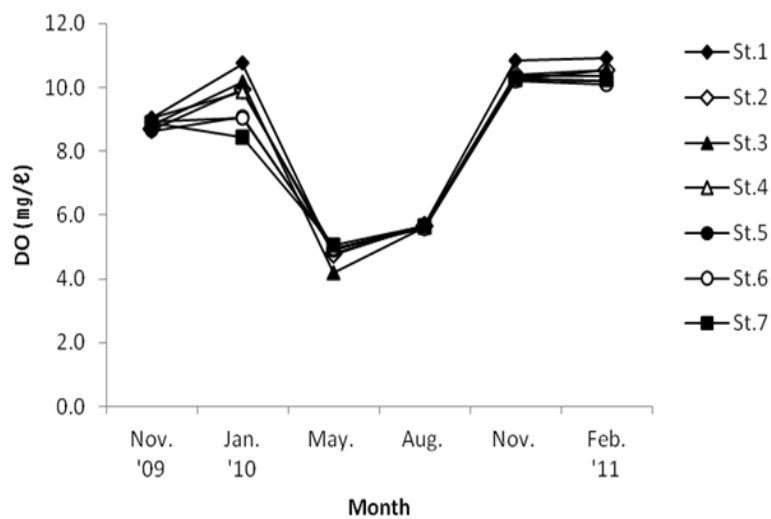
(a) 염분변화



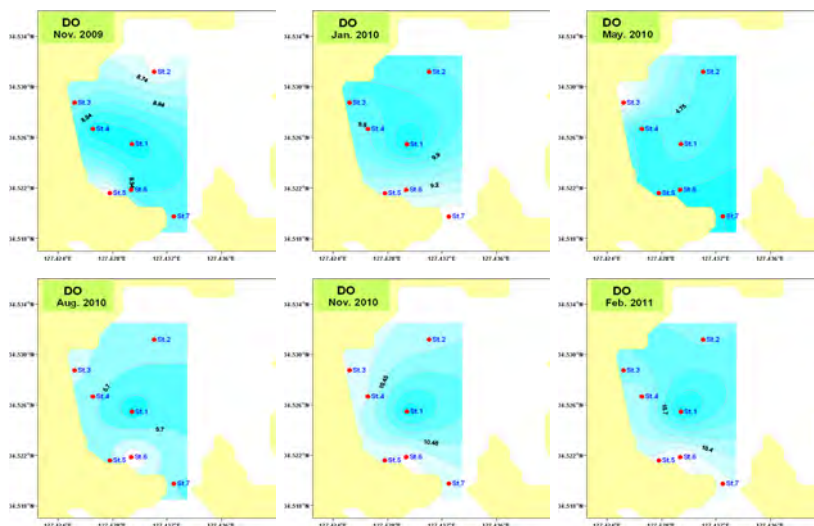
(b) 염분 분포

그림 3-2-34. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 염분의 변화 및 수평분포

DO는 2009년 11월 조사시 8.64~9.03(평균 8.86) mg/ℓ, 2010년 1월에 8.43~10.75(평균 8.92) mg/ℓ, 5월조사시 4.19~5.05(평균 4.80) mg/ℓ, 8월조사시 5.57~5.71(평균 5.64) mg/ℓ, 11월에 10.21~10.83(평균 10.37) mg/ℓ, 2011년 2월에 10.09~10.91(평균 10.41) mg/ℓ 범위를 나타냈다. 수온이 낮게 나타난 11월과 2월 조사시 DO가 높은 농도를 보였고, 5월에는 낮은 수온에도 불구하고 DO가 가장 낮게 나타났으며 해역 수질도 Ⅲ등급을 나타냈다(그림 3-2-35, 표 3-2-7). 정점별 농도차이가 크지 않은 반면 계절에 따른 농도변화가 크게 나타났다. 전반적으로 담수의 유입이 있는 St. 3과 바지락 양식장이 위치한 St. 5, 6에서 DO가 낮은 농도를 보였다.



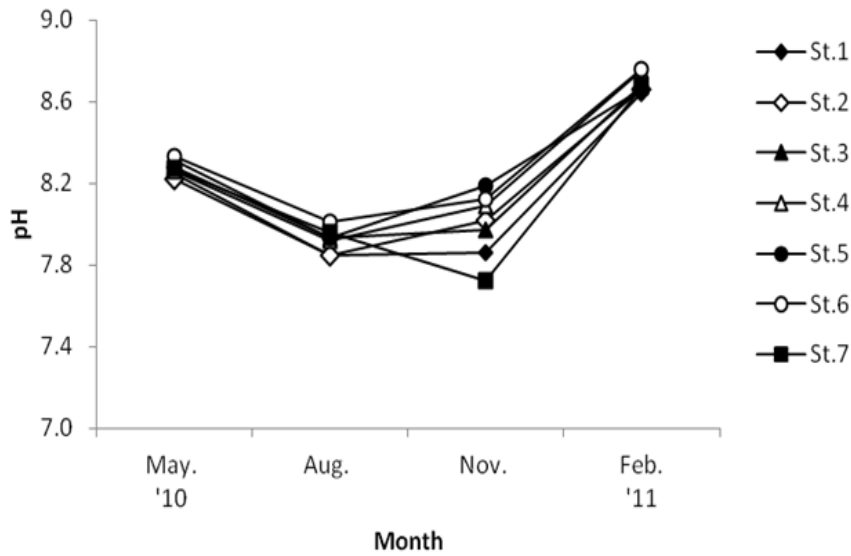
(a) 용존산소 변화



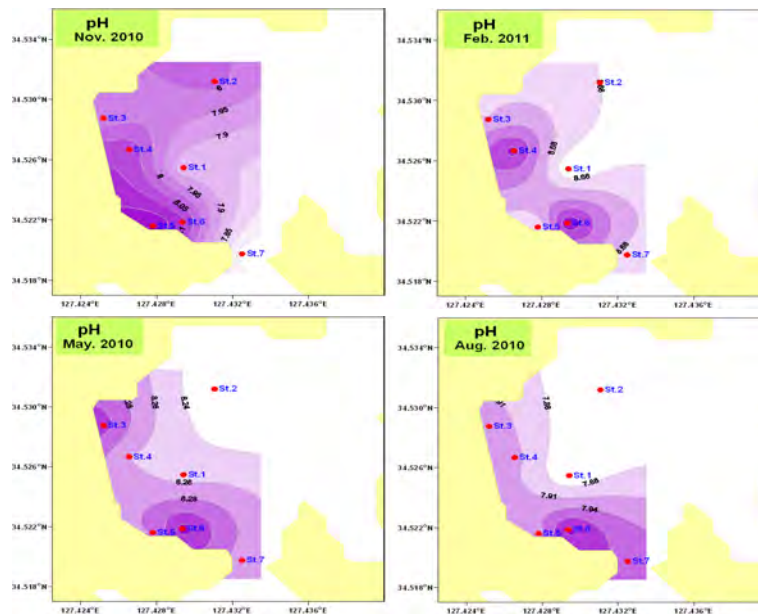
(b) 용존산소 분포

그림 3-2-35. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 용존산소의 수평분포

pH는 춘계에 8.22~8.33(평균 8.27), 하계에 7.85~8.01(평균 7.92), 추계에 7.72~8.19(평균 8.00), 동계에 8.64~8.76(평균 8.69) 범위를 보였으며, 다른 조사 시기에 비해 상대적으로 하계에 가장 낮고 동계에 높게 나타났다. 수평분포는 DO와는 달리 바지락 양식장이 밀집한 St. 5, 6과 다소 연안과 인접한 정점에서 상대적으로 높게 나타났다(그림 3-2-36).



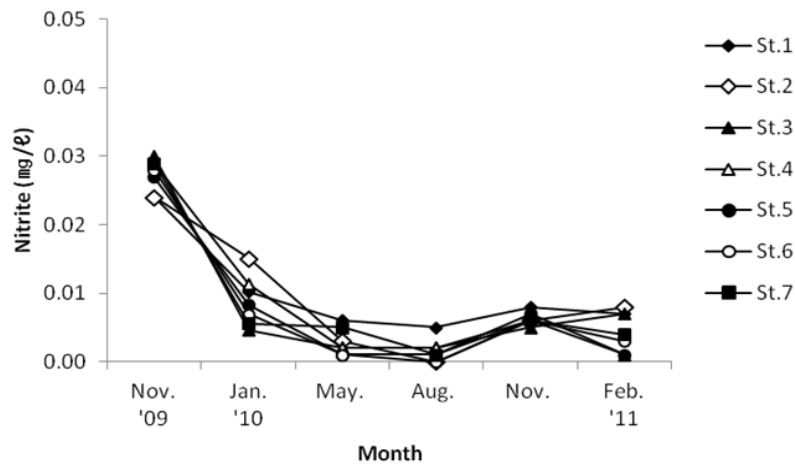
(a) 수소이온농도 변화



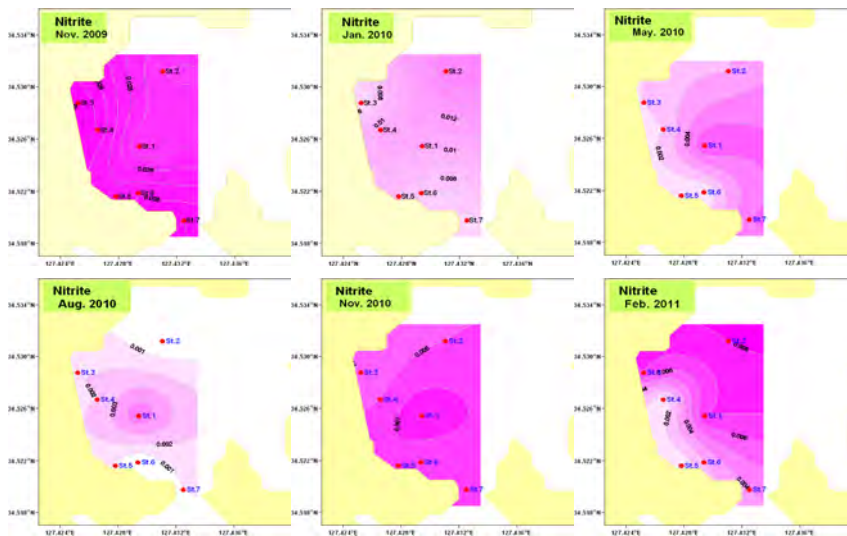
(b) 수소이온농도 분포

그림 3-2-36. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 수소이온의 변화 및 수평분포

아질산염은 2009년 11월조사시 0.024~0.03(평균 0.027) mg/ℓ, 2010년 1월조사시 0.005~0.015(평균 0.009)mg/ℓ, 5월조사시 0.001~0.006(평균 0.003) mg/ℓ, 8월조사시 0.000~0.005(평균 0.002) mg/ℓ, 11월조사시 0.005~0.008(평균 0.006) mg/ℓ, 2011년 2월조사시 0.001~0.008(평균 0.004) mg/ℓ 범위를 보였다. 2009년 11월조사시 평균 5배 이상 매우 높은 농도를 보였고 연안과 인접한 해역에서 높은 농도를 보였고 2010년 8월 하계에 가장 낮은 평균농도를 보였다. 2009년 조사를 제외하고 아질산염은 대부분 St. 1 또는 St. 2에서 높은 농도를 보였으며 St. 1의 경우 계절별 농도변화가 크지 않고 최대값을 나타냈다(그림 3-2-37). 아질산염은 최대값을 보인 추계를 제외하면 바지락 양식장과 인접한 St. 5와 6에서 낮은 농도를 보였으며 연안과 인접한 해역에서 낮은 농도를 보였다.



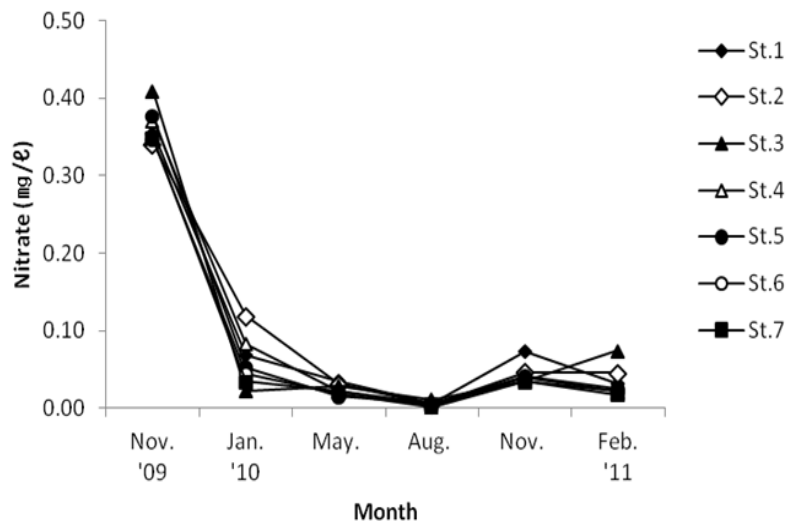
(a) 아질산염 변화



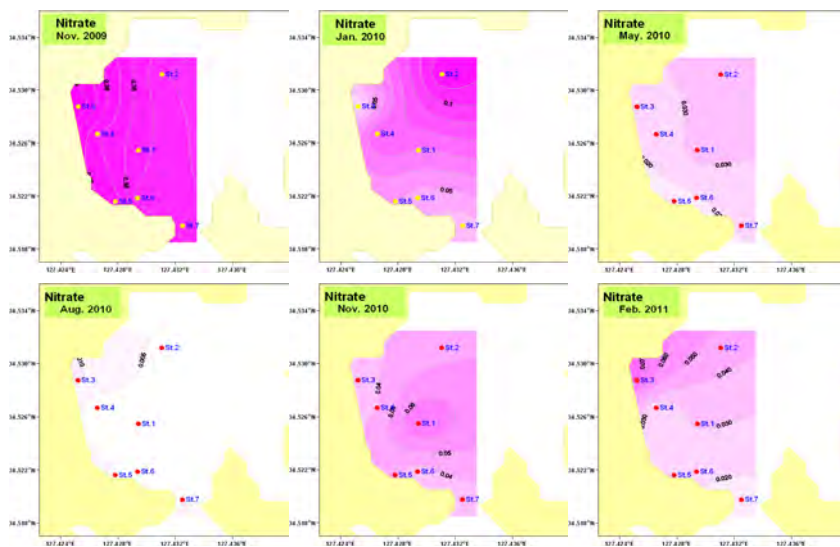
(b) 아질산염 분포

그림 3-2-37. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 아질산염의 수평분포

질산염도 아질산염과 마찬가지로 2009년 11월조사시 가장 높은 농도를 보였으며 연안이 인접하고 바지락 양식장이 위치한 해역에서 높은 농도를 보였다. 또한 아질산염과 같이 St. 1에서 높은 농도를 보였으나 8월과 2월조사시에는 수문이 위치한 St. 3에서 높은 농도를 나타냈다(그림 3-2-38). 질산염의 농도범위는 2009년 11월조사시 0.34~0.41(평균 0.36) mg/ℓ, 2010년 1월조사시 0.02~0.12(평균 0.06) mg/ℓ, 5월조사시 0.015~0.035(평균 0.024) mg/ℓ, 8월조사시 0.001~0.011(평균 0.005) mg/ℓ, 11월조사시 0.034~0.073(평균 0.043) mg/ℓ, 2011년 2월조사시 0.017~0.074(평균 0.034) mg/ℓ 범위를 보였다.



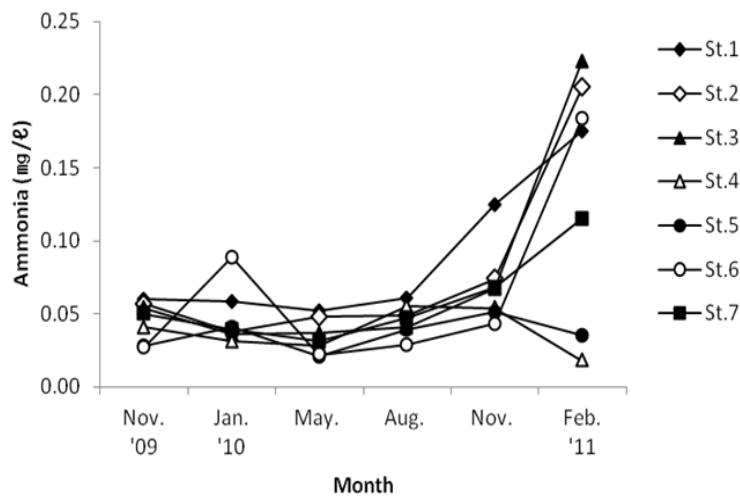
(a) 질산염 변화



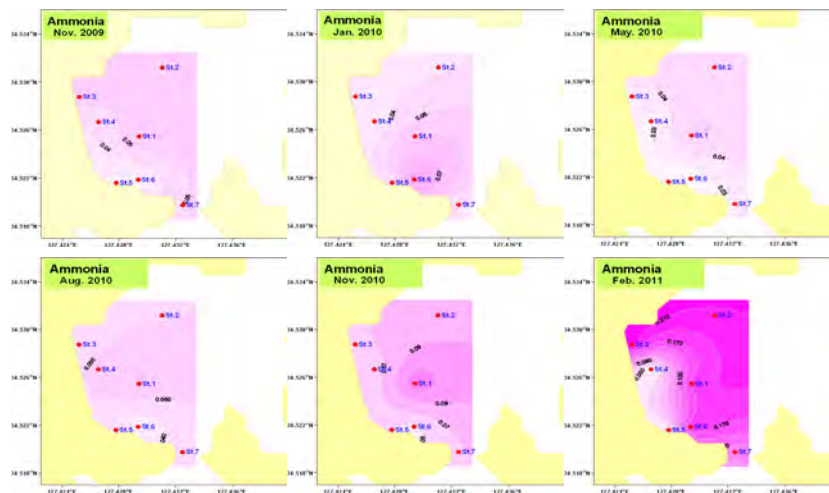
(b) 질산염 분포

그림 3-2-38. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 질산염의 수평분포

암모니아의 농도는 2009년 11월조사시 0.027~0.060(평균 0.045) mg/ℓ, 2010년 1월조사시 0.031~0.089(평균 0.048), 5월조사시 0.021~0.052(평균 0.034) mg/ℓ, 8월조사시 0.029~0.061(평균 0.046) mg/ℓ, 11월조사시 0.043~0.125(평균 0.069) mg/ℓ, 2011년 2월 0.018~0.223(평균 0.136) mg/ℓ 범위로 2011년 2월조사시 현저히 높은 농도를 보였고 수문이 위치한 St. 3에서 가장 높은 농도를 나타냈다(그림 3-2-39). 대체로 St. 1에서 높은 농도를 나타내 연안에 인접한 정점보다 다소 떨어진 해역에서 높은 농도를 보였고 연안에 인접한 해역은 낮게 나타났다. 그러나 두 번의 동계조사 때에는 바지락양식장이 위치한 St. 5와 6에서 높은 농도를 보였다.



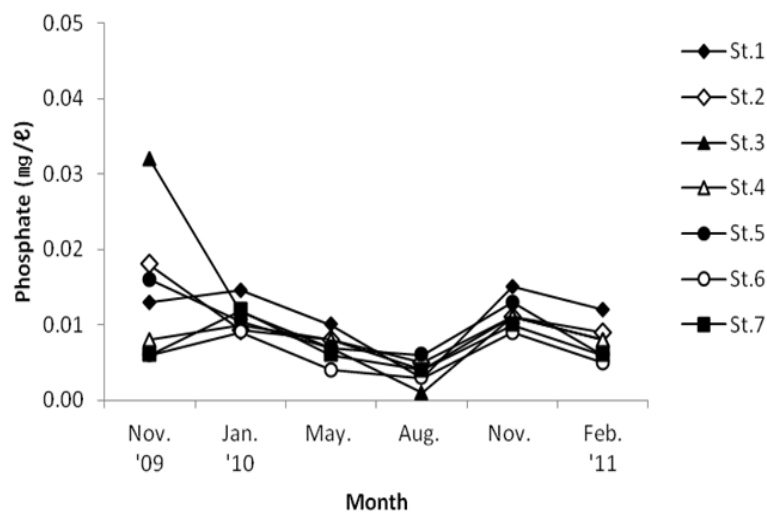
(a) 암모니아염 변화



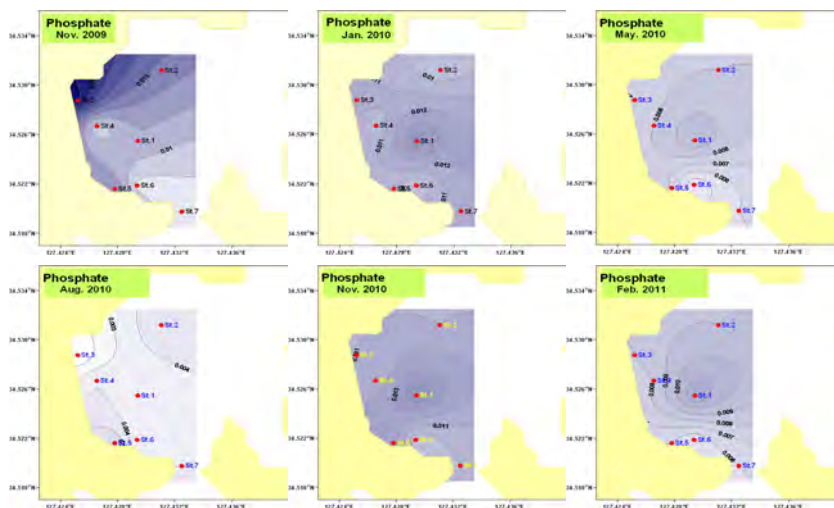
(b) 암모니아염 분포

그림 3-2-39. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 암모니아염의 수평분포

인산염의 농도범위는 2009년 11월조사시 0.006~0.032(평균 0.014)mg/ℓ, 2010년 1월에 0.009~0.015(평균 0.011) mg/ℓ, 5월에 0.004~0.010(평균 0.007) mg/ℓ, 8월에 0.001~0.006 (평균 0.004) mg/ℓ, 11월에 0.009~0.015(평균 0.011) mg/ℓ, 2011년 2월조사시 0.005~0.012 (평균 0.008) mg/ℓ 범위를 보였다. 질산염과 마찬가지로 하계조사 시 가장 낮고 2009년 11월조사시 가장 높은 평균농도를 나타냈다(그림 3-2-40). 인산염은 수문이 위치한 St. 3에서 전반적으로 낮은 농도를 보였으나 2009년 11월조사시 가장 높게 나타났으며 다른 조사시기에는 St. 1에서 최대값을 나타냈다. 또한 바지락양식장이 위치한 정점은 인산염이 다소 낮게 나타났다.



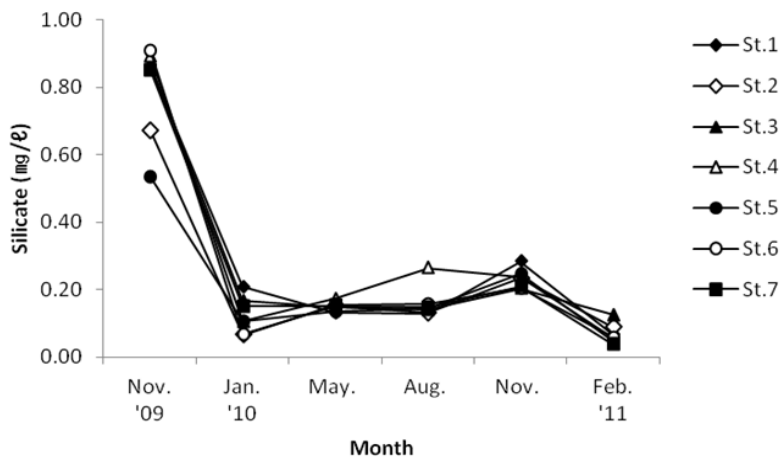
(a) 인산염 변화



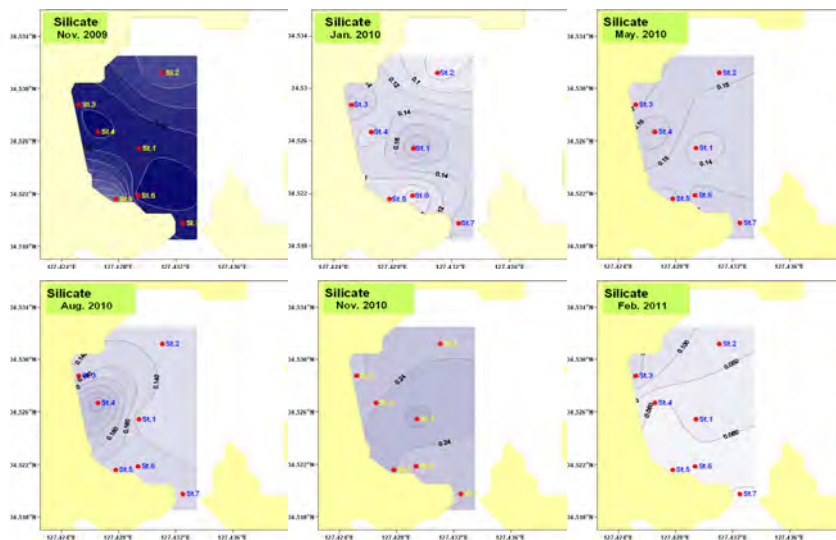
(b) 인산염 분포

그림 3-2-40. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 인산염의 수평분포

규산염의 농도범위는 2009년 11월에 0.53~0.91(평균 0.79) mg/l, 2010년 1월조사시 0.07~0.21(평균 0.13) mg/l, 5월조사시 0.132~0.173(평균 0.149) mg/l, 8월조사시 0.128~0.264(평균 0.159) mg/l, 11월조사시 0.203~0.283(평균 0.231) mg/l, 2011년 2월조사시 0.037~0.126(평균 0.068) mg/l 범위를 나타냈다. 규산염도 영양염이 높게 나타난 2009년 11월조사시 가장 높은 농도를 나타냈고 타계절 보다 동계 조사시 3배 이상 낮은 농도를 나타냈다(그림 3-2-41). 정점별 농도차이는 2009년과 2010년 1월조사시 0.4 mg/l 이하의 차이를 보였으며 이를 제외한 대부분의 정점별 농도차는 크게 나타나지 않았다. 바지락 양식장이 위치한 St. 5와 St. 6은 낮은 농도를 보였으나 다른 정점과 큰 차이를 보이지는 않았다.



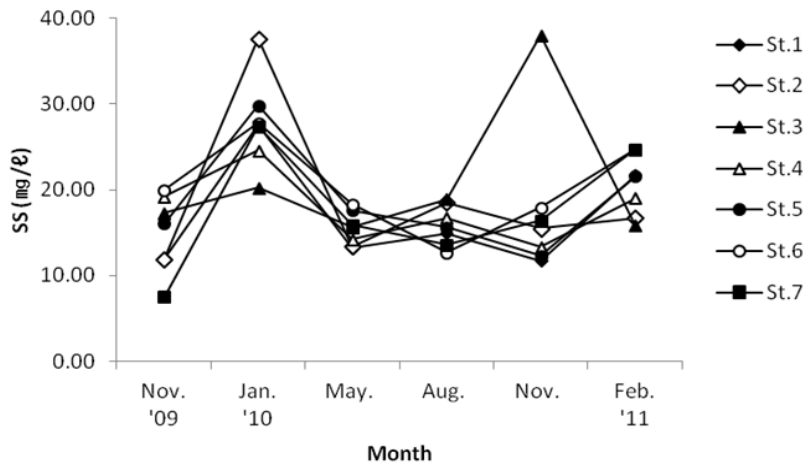
(a) 규산염 변화



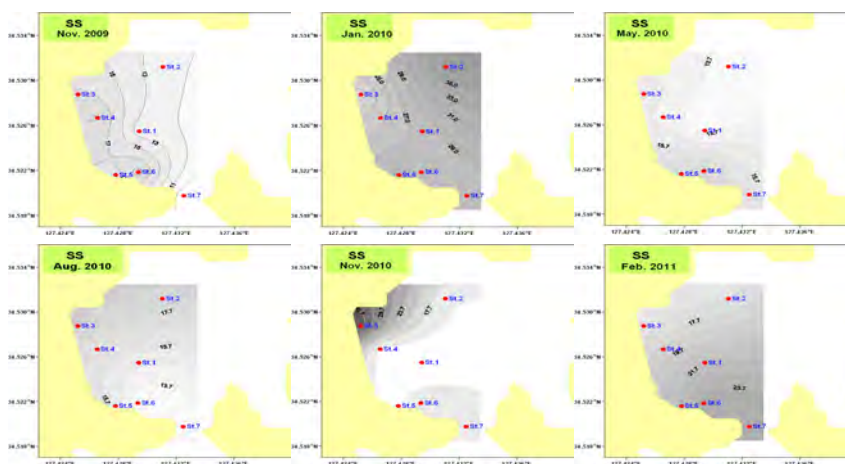
(b) 규산염 분포

그림 3-2-41. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 규산염의 수평분포

SS의 계절 조사의 경우 2009년 11월조사시 7.5~20.0(평균 14.9) mg/l, 2010년 1월조사시 20.2~37.6(평균 27.9) mg/l, 5월조사시 13.2~18.3(평균 15.5) mg/l, 8월조사시 12.7~18.9(평균 15.8) mg/l, 11월조사시 11.7~38.0(평균 17.9) mg/l, 2011년 2월조사시 15.8~24.7(평균 20.6) mg/l 범위를 보였다. 최대값은 2010년 11월조사시 수문이 위치한 St. 3에서 최대값을 나타냈으며 평균보다 10 mg/l 높은 농도였고 2010년 1월조사시 St. 2에서도 최대값을 보였으며 평균보다 20mg/l로 매우 높은 농도를 보였다. 전반적으로 11월과 1월조사시 부유물질의 농도차이가 각 정점에서 크게 나타났으며 나머지 계절에는 정점별 농도차가 유사하게 나타났고 최대값을 보인 조사 시기를 제외하고 전반적으로 유사한 농도분포를 보였다(그림 3-2-42). 수평분포는 바지락 양식장이 위치한 해역에서는 5월과 8월 조사를 제외하고 평균보다 다소 높은 농도를 보였다.



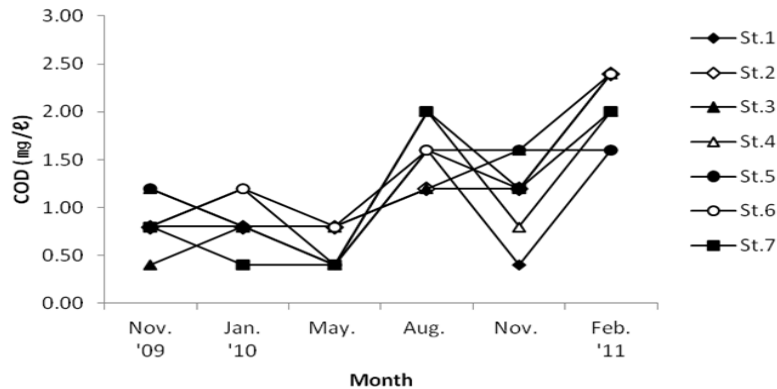
(a) 부유물질 변화



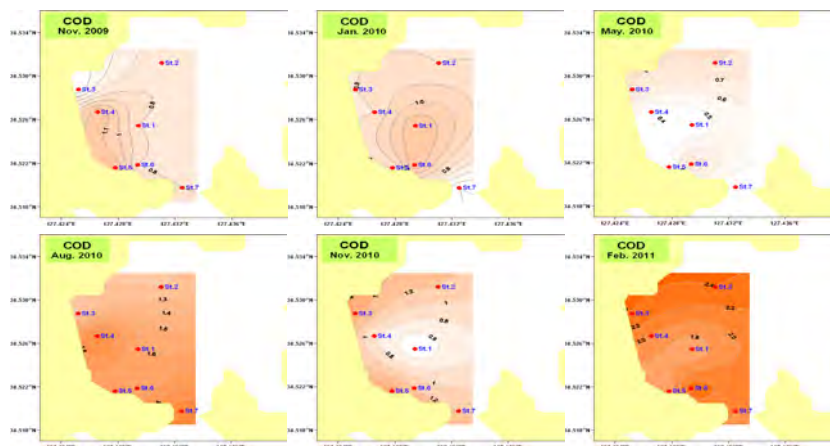
(b) 부유물질 분포

그림 3-2-42. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 부유물질의 수평분포

COD는 2009년 11월과 2010년 1월조사시에는 0.4~1.2(평균 0.9) mg/ℓ, 2010년 5월조사시 0.4~0.8(평균 0.6) mg/ℓ, 8월조사시 1.2~2.0(평균 1.6) mg/ℓ, 11월조사시 0.4~1.6(평균 1.1) mg/ℓ, 2011년 2월조사시 1.6~2.4(평균 2.1) mg/ℓ 범위를 보여 5월 조사까지 농도 변화가 크지 않고 일정하게 나타났으나 점차로 증가하는 양상을 보였다. 2010년 8월과 2011년 2월조사시 높은 농도를 보였고 최대값은 주로 동계와 추계에는 바지락 양식장이 위치한 St. 5와 St. 6에서 나타났으며 동계에는 조사해역에서 떨어진 St. 1과 2에서도 높은 농도를 보였다(그림 3-2-43). 춘계 농도가 조사해역에서 유사하게 나타났으며 8월조사시에는 St. 4와 7에서 최대값을 나타냈고 바지락 양식장에서는 평균농도를 나타냈다. 조사해역에서의 해역수질등급은 2009년 11월, 2010년 1월과 5월조사시에는 I 등급을 보였으며 2010년 8월과 11월조사시에는 최대값을 보인 정점에서 II 등급을 보이고 나머지 해역은 I 등급의 양호한 수질을 보였다. 단 2011년 2월에는 전해역에서 II 등급을 나타냈다(표 3-2-7).



(a) 화학적산소요구량 변화

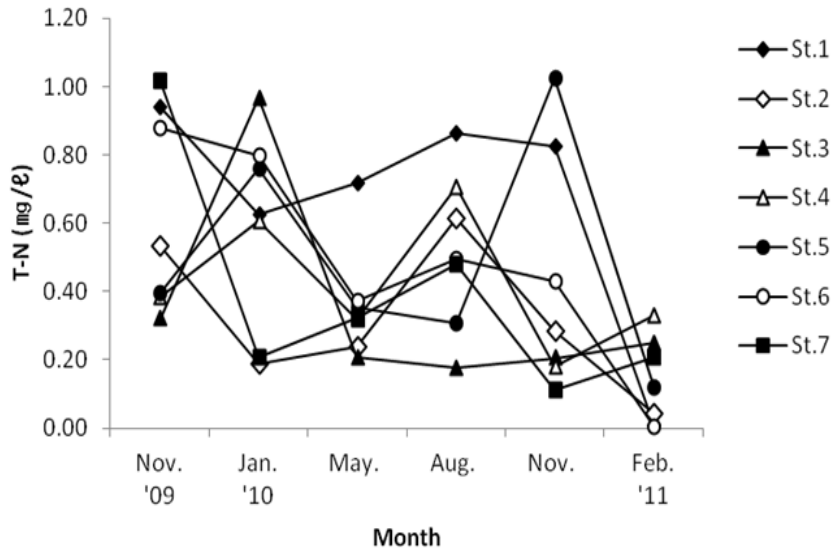


(b) 화학적산소요구량 분포

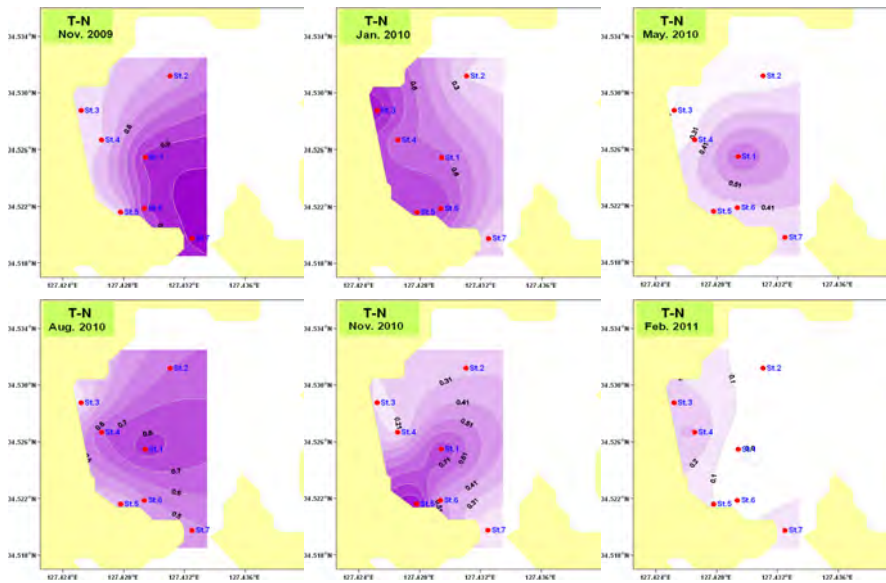
그림 3-2-43. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 화학적산소요구량의 수평분포

TN은 2009년 11월 조사시 0.32~1.02(평균 0.64) mg/ℓ, 2010년 1월에 0.19~0.97(평균 0.59) mg/ℓ, 5월조사시 0.21~0.72(평균 0.36) mg/ℓ, 8월조사시 0.18~0.86(평균 0.52) mg/ℓ, 11월에 0.11~1.02(평균 0.44) mg/ℓ, 2011년 2월에 0.01~0.33(평균 0.14) mg/ℓ 범위를 나타냈다. 최대값은 추계조사시 바지락 양식장이 위치한 St. 5와 남부해역의 St. 7에서 높은 농도를 보였으며 2011년 2월에 바지락양식장이 인접한 St. 6에서 최소값을 나타냈다(그림 3-2-44). 조사시기별 평균농도는 2009년 11월 > 2010년 1월 > 8월 > 11월 > 5월 > 2011년 2월 순으로 나타났다. 계절에 따른 농도차는 크지 않은 반면 정점별 농도차를 다소 보였는데 가을철에는 남부에서 높은 농도를 보였고 동계에는 육지와 인접한 해역에서 다소 높고 5월과 8월에는 St. 1에서 높은 농도를 나타냈다. 바지락 양식장이 인접한 정점은 주로 가을철에 높게 나타났다. 해양수질 등급표에 따른 수질 등급 판정의 기준에 의하면 2011년 2월조사시 전해역에서 I 등급을 보였고, 2009년 11월조사시 St. 3과 2010년 1월조사시 St. 2와 St. 7에서 I 등급을 나타낸 것을 제외하고 전 해역에서 II~III등급에 해당되 부영양화 현상을 보였다. 나머지 조사시기에는 III등급을 보인 St. 1과 St. 4(8월), St. 5(11월)을 제외하고 I~II등급에 해당되었다(표 3-2-7).

TP는 2009년 11월 조사시 0.028~0.043(평균 0.034) mg/ℓ, 2010년 1월에 0.023~0.038(평균 0.030) mg/ℓ, 5월조사시 0.014~0.028(평균 0.020) mg/ℓ, 8월조사시 0.010~0.027(평균 0.018) mg/ℓ, 11월에 0.006~0.056(평균 0.020) mg/ℓ, 2011년 2월에 0.011~0.021(평균 0.015) mg/ℓ 범위를 나타냈다. TP도 TN과 마찬가지로 최대평균은 2009년 11월조사시 나타났다 추계 조사시 바지락 양식장이 위치한 St. 5에서 높은 농도를 보였고 2010년 11월에는 북부해역의 St. 1에서 최대값을 나타냈다(그림 3-2-45). 조사시기별 평균농도는 전반적으로 유사한 농도범위를 보였으나 2009년 11월 > 2010년 1월 > 5월, 11월 > 8월 > 2011년 2월 순으로 나타났다. 2010년 1월, 5월, 11월에는 TP와 유사한 형태의 수평분포를 보여 최대값과 최소값이 같은 정점에서 나타났으며 2009년 11월에 바지락 양식장에서 TN이 높게 나타난 반면 TP는 최소값을 보였으며 여름철은 이와 반대의 경향을 보였다. TP는 전반적으로 바지락양식장이 위치한 정점에서 TP가 다소 낮게 나타나고 있었다. TP의 해양수질 등급표에 따른 수질 등급은 대체로 I 등급을 보였으며 TN과 마찬가지로 높은 농도를 보인 2009년 11월과 2010년 1월조사시 바지락양식장과 St. 3, St. 4, St. 7에서 II등급을 보였으며 2010년 11월조사시 St. 1에서 III등급을 보였다(표 3-2-7).

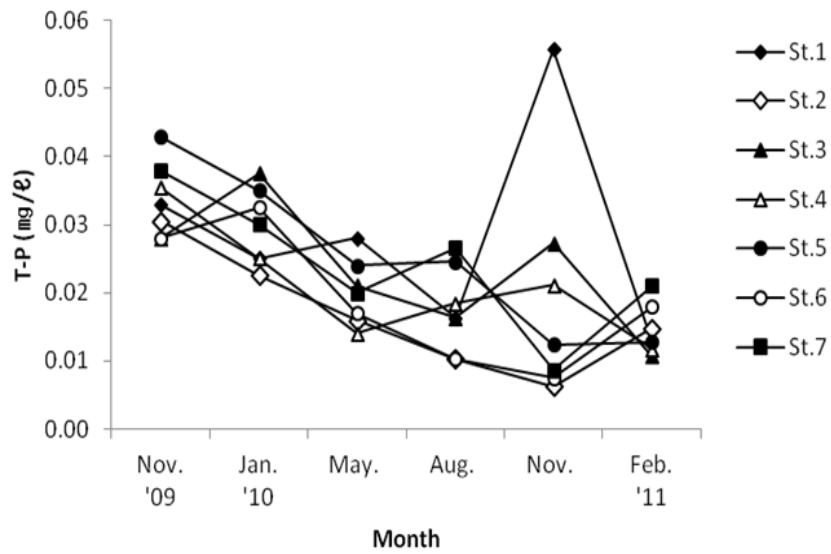


(a) 총질소 변화

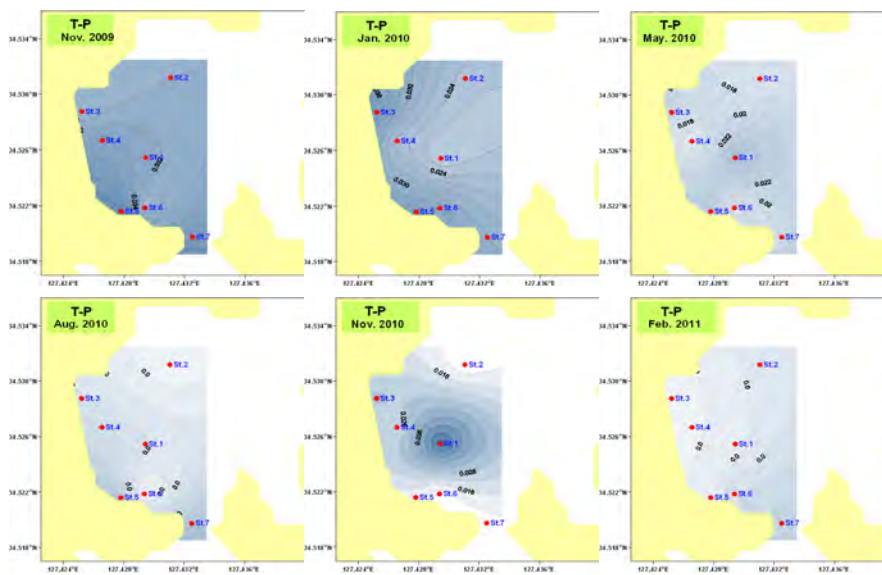


(b) 총질소 분포

그림 3-2-44. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 총질소의 수평분포



(a) 총인 변화



(b) 총인 분포

그림 3-2-45. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 총인의 수평분포

Chl-*a*는 2009년 11월조사시 2.21~2.76(평균 2.50) $\mu\text{g}/\ell$, 2010년 1월에 4.59~9.16(평균 7.06) $\mu\text{g}/\ell$, 5월조사시 1.19~3.58(평균 2.41) $\mu\text{g}/\ell$, 8월조사시 0.79~2.29(평균 1.36) $\mu\text{g}/\ell$, 11월조사시 1.00~1.34(평균 1.16) $\mu\text{g}/\ell$, 2011년 2월조사시 4.41~5.00(평균 4.74) $\mu\text{g}/\ell$ 범위를 나타냈다. 전반적으로 동계 조사시 2배 이상의 높은 농도를 나타냈으며 수평분포는 5월 조사를 제외하면 대체로 패류양식장이 밀집된 St. 5, St. 6에서 높은 농도를 보였으며 물바지락 작업을 하는 나로대교 부근의 St. 7에서도 다소 높은 농도를 나타냈다(그림 3-2-46).

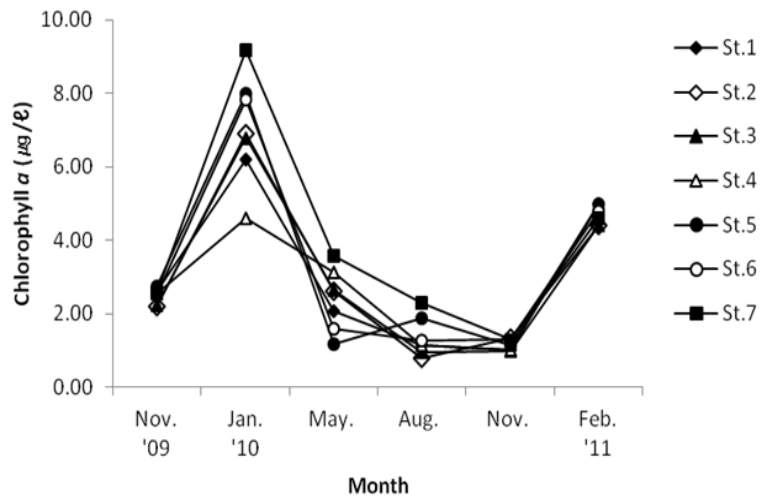
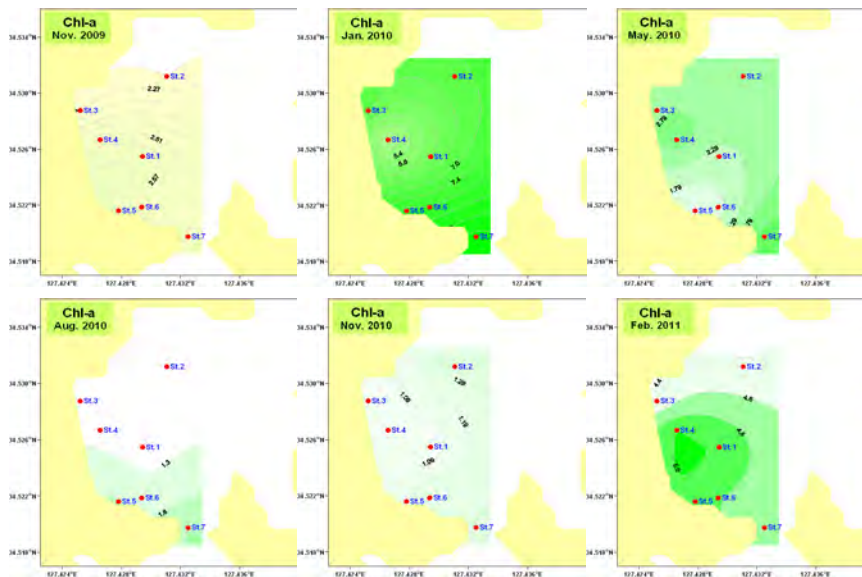
(a) 엽록소-*a* 변화(b) 엽록소-*a* 분포그림 3-2-46. 고흥 남성리 주변해역의 조사시기별 엽록소-*a*의 수평분포

표 3-2-7. 우리나라의 해역환경기준 (환경부, 2009)

〈환경정책기본법 시행령 별표1; 환경기준 - 해역; 생활환경〉

등급	수소이온 농도(pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	용존산소량 (DO) (mg/L)	대장균군수 (MPN/ 100ml)	용 매 추출유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총 인 (mg/L)
I	7.8~8.3	1 이하	7.5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5~8.5	2 이하	5 이상	1000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5~8.5	3 이하	2 이상	-	-	1.0 이하	0.09 이하

해역의 수질을 해역이용 목적에 따라 효율적으로 관리하기 위하여 수질기준을 I, II, III등급으로 나누어 관리하고 있다. I등급 해역 수질은 수산생물의 서식 및 산란에 적합한 수질을 말하며, II등급 해역은 해수욕, 관광 및 여가선용에 적합한 해역이고, III등급 해역은 공업용 냉각수 및 선박정박에 이용할 수 있는 해역을 말한다.

그러나 환경부기준은 육지의 영향을 크게 받는 연안역을 대상으로 한 것으로서 연안역과 환경이 다른 외해역에 대한 기준치는 없는 실정이기 때문에 외해역에 대한 기준의 설정이 필요하다.

(2) 꼬막 양식장 (계매리)

꼬막 양식장은 기존에 접근이 어렵고 관찰이 용이하지 못한 단점을 보완하여 고흥군 계매 신직마을에 인접한 해안에 해수의 체류시간을 길게 유지할 수 있는 시험포를 조성하기 위하여 2009년 추계조사를 실시하였다. 그러나 시험포 이전으로 2010년 동계, 춘계, 하계 조사는 영광염산에서 실시하였고 2010년 11월부터 다시 계매리의 연안해역에 구조물을 설치 가능하여 현장모니터링을 재실시하였다.

2009년 추계조사는 간조시 꼬막양식장내 얇은 수로가 위치한 곳의 물을 채수하여 수질조사를 하여 각 항목의 농도가 매우 나타났다. 2009년 11월 수질조사 결과 수온은 9℃, 염분은 33psu, DO는 8.6 mg/l 를 나타냈으며, 펄로 구성되어 SS가 높게 나타났음에도 불구하고 Chl-a가 7.98 μg/l 로 상대적으로 매우 높게 분석되었다. 영양염은 아질산염의 경우 0.011 mg/l, 질산염은 0.367 mg/l, 암모니아염은 0.286 mg/l, 인산염은 0.014 mg/l, 규산염은 3.748 mg/l 로 높게 나타났으며 TN은 1.06 mg/l, TP는 0.085 mg/l 로 해양수질 등급은 TN은 III등급, TP는 II등급에 해당되었으나 본 수질자료는 꼬막양식장에서 고인물을 조사한 것으로 농축된 영양염을 측정된 것으로 기준치 이상의 높은 농도를 보일 수 있다. 그러나 수질의 오염도를 나타내는 COD의 경우 0.4 mg/l 로 매우 낮게 나타났다(표 3-2-7~8).

2010년 11월 조사는 1차년도에 조사한 꼬막양식장이 위치한 해역에서 시험포가 위치할 연안에 가까운 해역의 수질을 조사하였다. 그 결과 추계조사시 수온은 8.8℃, 염분은 32.1psu, DO는 11.03 mg/ℓ, pH는 8.11를 나타냈으며, 작년 꼬막 양식장에서 측정한 자료에 비해 염분이 낮고 DO가 높게 나타났다. 2011년 2월 동계에는 수온은 2.4℃, 염분은 33.0psu, DO는 8.95 mg/ℓ, pH는 8.25를 나타내 추계보다 염분이 높고 DO는 감소하여 나타났다. SS는 2009년 1차 시험포로 선정된 해역은 펄로 구성되어 부유물질이 높게 나타났음에도 불구하고 Chl-*a*가 상대적으로 매우 높게 분석되었으나 시험포가 설치되기 직전의 2010년 11월조사시에는 Chl-*a*의 농도는 이보다 매우 낮게 나타났으며 시험포가 설치된 후 동계조사에는 Chl-*a*의 농도가 증가하여 나타났다.

대체로 꼬막양식장이 위치한 1차 시험포 해역 보다 연안에 인접한 2차 시험포 부근의 정점에서 SS, TP, TN, 영양염 및 Chl-*a*가 모두 낮게 나타났으나 오염도를 나타내는 척도인 COD는 꼬막양식장에 비해 육상으로부터의 오염물 유입이 용이한 연안에서 4배가량 높은 농도를 보여 해양수질 등급 일반항목에서 II등급에 해당되었다.

연안에 위치한 2차 시험포는 2010년 11월은 시험포가 생성되기 전이며 2011년 2월은 시험포가 생성된 후의 자료이다. 조사결과 추계보다 동계조사시 SS는 5배가량 증가하였고 Chl-*a*도 3배가량 높은 농도를 보였으며 TP, TN, 영양염은 인산염과 규산염을 제외하고 질소계 영양염도 동계에 높은 농도를 보였으나 1차 시험포인 꼬막양식장에서 보인 농도보다 낮은 농도였다. 또한 시험포와 인접한 St. 1과 나머지 대조정점을 비교한 결과 시험포가 위치한 해역에 비해 대조해역에서 대부분 높은 농도를 보였으며 SS와 아질산염, 암모니아염은 시험포에서 약간 높은 농도를 보였으나 계절변화에 비해 농도차가 크지 않았다. 전반적으로 시험포가 설치된 St. 1과 나머지 정점에서 질산염을 제외하고 영향을 크게 보이지 않아 수질은 시험포 설치로 인한 영향은 확인 할 수 없었으며 계절적 영향에 의한 농도변화가 나타난 것으로 보였다.

표 3-2-8. 고흥 계매 주변의 일반수질 조사항목의 측정값

구 분		SS [mg/l]	Chl- <i>a</i> [μg/l]	TP [mg/l]	TN [mg/l]	COD [mg/l]	영양염(mg/L)				
							NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SiO ₂
Nov. 2009	1차시험포 (수로)	378.6	7.98	0.085	1.06	0.4	0.011	0.367	0.286	0.014	3.748
Nov. 2010	St.1	15.6	1.13	0.015	0.32	1.6	0.005	0.016	0.072	0.016	0.416
	St.2	17.6	1.13	0.016	0.31	1.6	0.003	0.026	0.026	0.015	0.492
Feb. 2011	St.1	75.0	2.68	0.026	0.04	1.6	0.006	0.043	0.178	0.005	0.083
	St.2	69.5	3.36	0.037	0.54	1.6	0.004	0.111	0.093	0.005	0.130
	St.3	65.6	3.39	0.028	0.01	2.0	0.006	0.054	0.131	0.005	0.058

(3) 다목적 이용 복합양식장(도리포)

시험어장의 수질환경특성을 파악하기 위하여 정밀조사를 실시하였으며, 수질조사정점은 그림 3-2-24와 같으며 2009년 9월, 11월, 2010년 1월에 조사를 실시하였다. 이후 조사는 시험어장운영에 대한 생산성 진단과 동일하게 대조구와 실험구를 중심으로 실시하였다. 그림 3-2-47은 복합양식 및 구조개선 서해안 시험어장에서 관측한 수온, 염분, Chl-*a* 및 DO에 대한 조사시기별 연직구조로, 조사기간 동안 전체적으로 수온, 염분 약층은 나타나지 않았으며, 수온의 경우 여름철(9월)에 조간대(정점B2)에서 다소 높으나, 겨울철에는 조하대(정점 B5)에서 높은 경향을 보였다. 염분은 강수량이 감소하는 겨울철로 갈수록 증가하여 32psu대를 회복하였다. Chl-*a*는 여름철에 표층에서 다소 변동이 심하나, 유광대 수심 이하에서는 큰 변화를 보이지 않았으며, 조하대 측에서 조간대 보다 다소 높은 패턴을 보였다. DO는 수온과 반대로 겨울철로 갈수록 값이 높았고 가을철에는 조하대, 겨울철에는 조간대지역에서 DO 값이 높았다. 그림 3-2-48은 조사해역에서 관측된 수온, 염분, Chl-*a*와 DO의 평균값에 대한 계절변동을 보여주는 결과로, 수온 하강 및 강수 감소가 나타나는 겨울철로 갈수록 용해도가 증가하여 DO는 증가하였으며, 염분은 여름철 저염에서 고염으로 회복되었다. Chl-*a*는 여름철에 높았으며 겨울철에 낮은 경향을 보였다.

시험어장에서의 영양염류의 계절별 변화를 살펴보면 암모니아는 평균 0.045~0.098 mg/ℓ로 계절별로 큰 변화를 보이지 않았으며, 아질산염은 평균 0.007~0.013 mg/ℓ 값을 보였다. 질산염은 평균 0.094~0.330 mg/ℓ으로 겨울철에 낮게 나타났으며, 인산염은 평균 0.021~0.055 mg/ℓ 값을 보였다. 규산염은 0.434~0.535 mg/ℓ으로 계절적으로 큰 차이를 보이지 않았다(그림 3-12-49). N/P ratio는 7.3~17.5로 여름과 겨울철에 낮은 값을 나타내었고 이 지역에서 주로 질소가 기초생산성에 제한 인자로 작용할 수 있는 것으로 사료된다(그림 3-2-50).

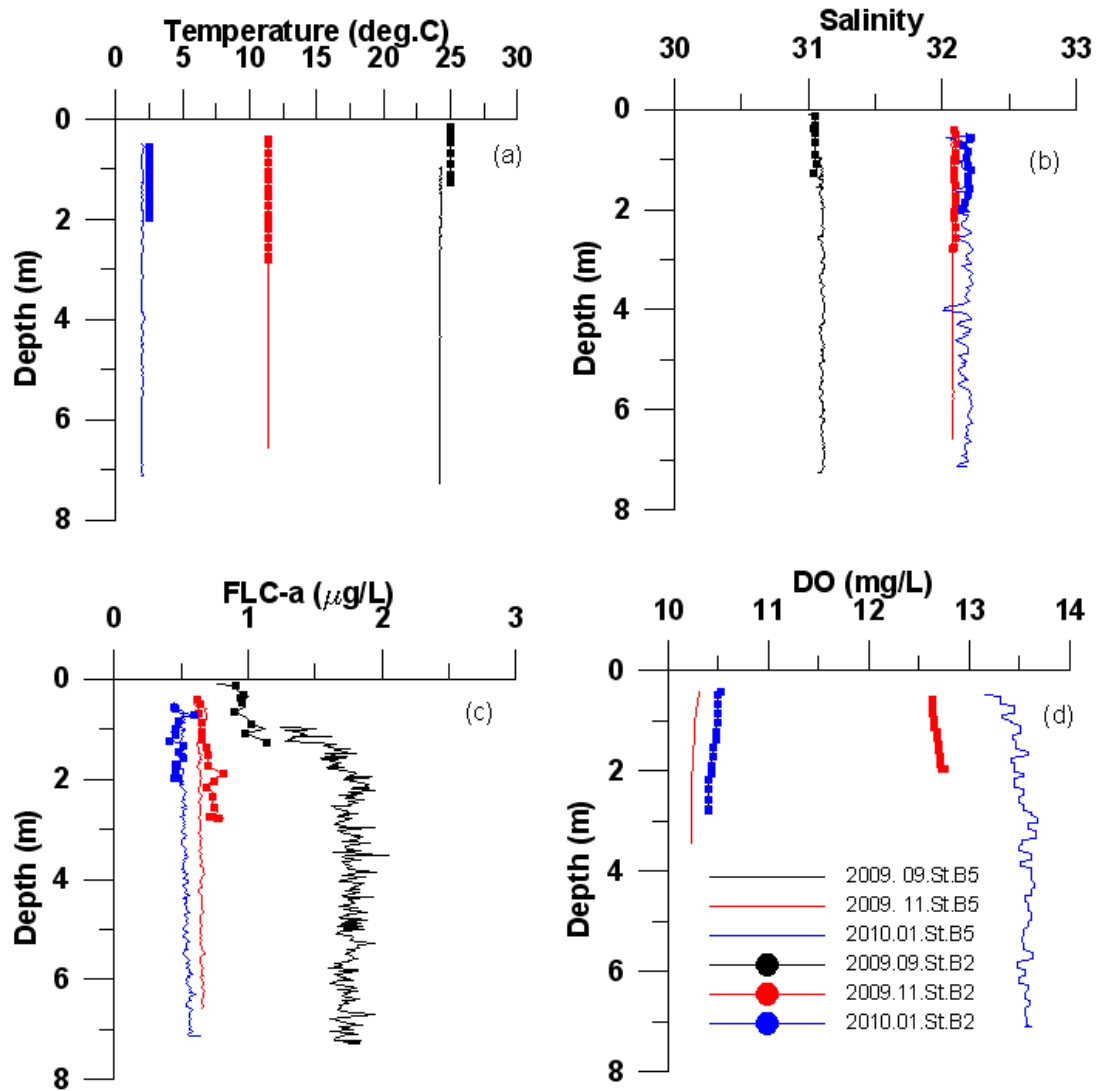


그림 3-2-47. 시험어장의 조간대 및 조하대 지역에서 수온, 염분, 엽록소-*a*, 용존산소 연직구조의 계절 변화

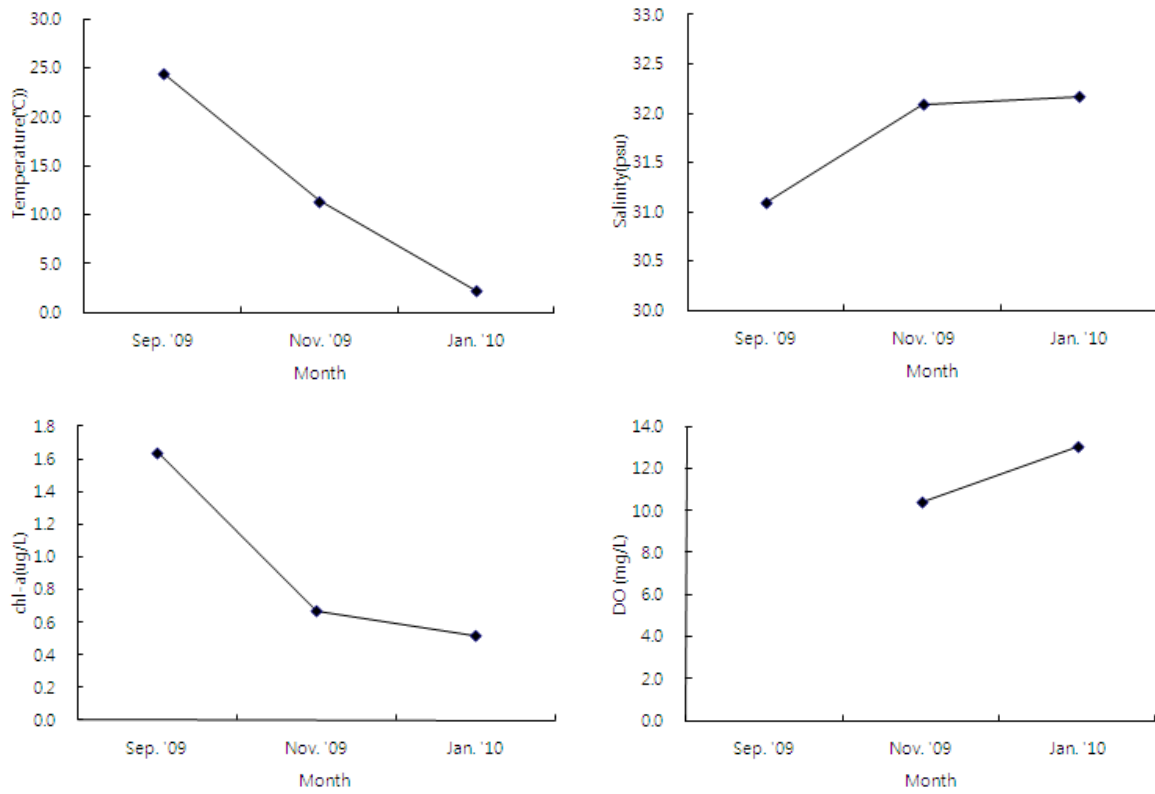


그림 3-2-48. 수온, 염분, 엽록소-a, 용존산소 계절 변동

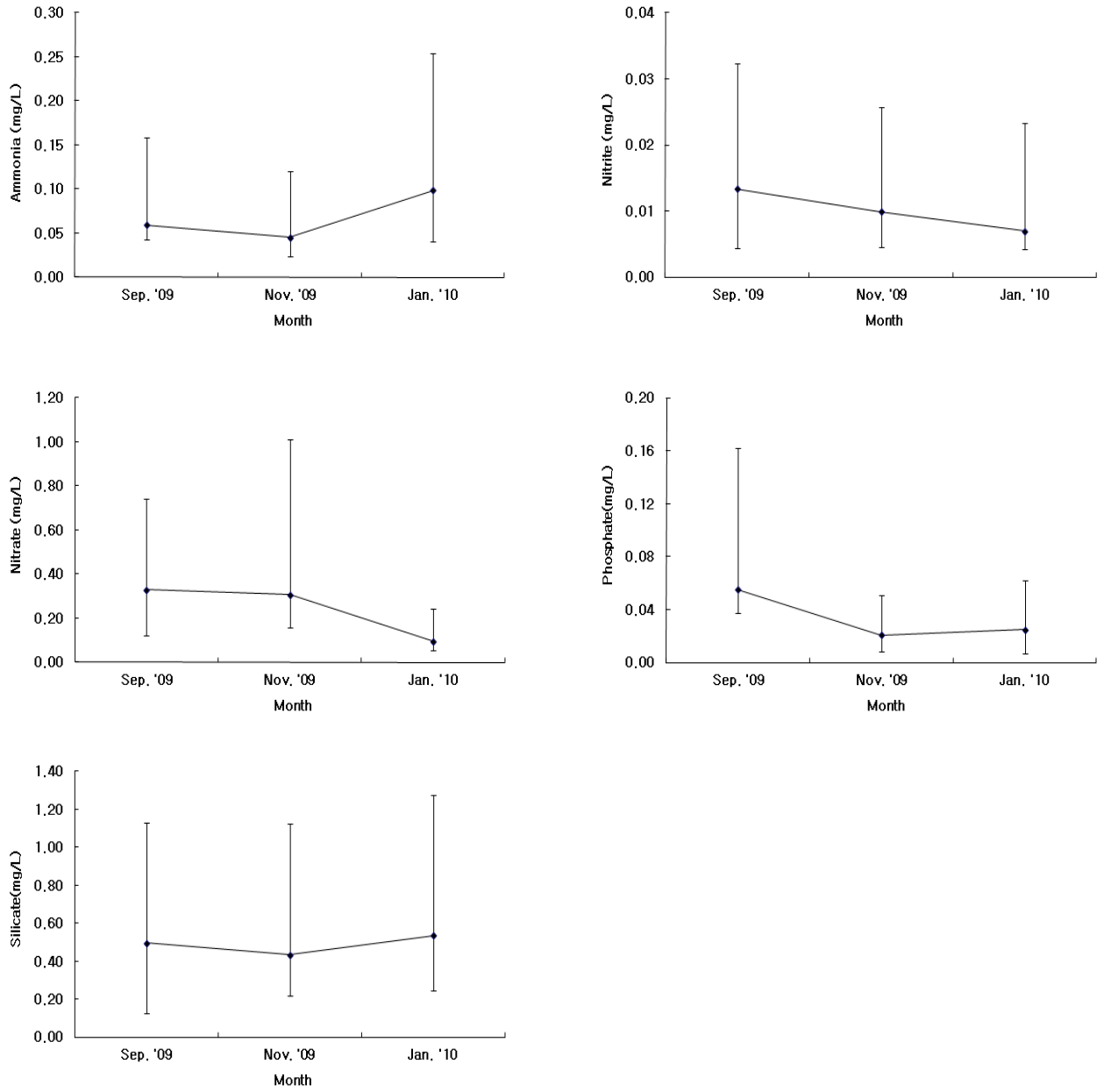


그림 3-2-49. 시험어장에서 암모니아, 아질산염, 질산염, 인산염, 규산염 영양염류 계절변화

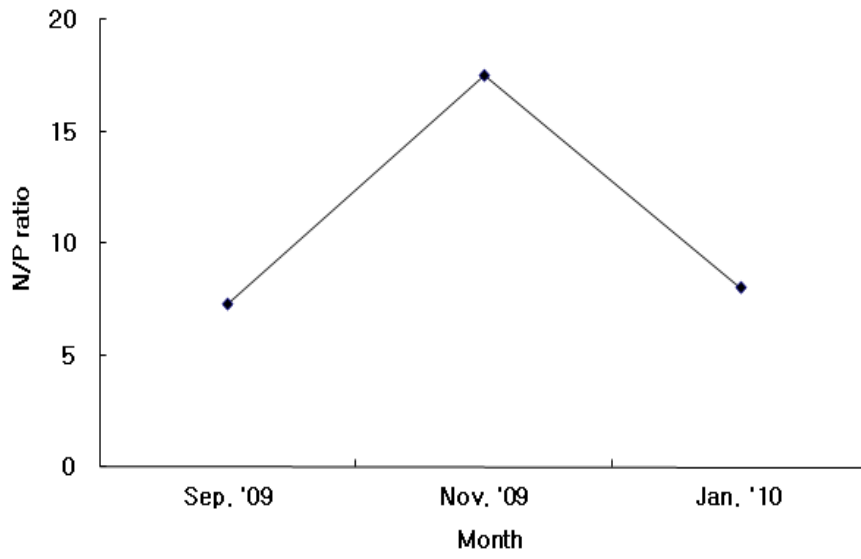


그림 3-2-50. 시험어장에서 N/P ratio 계절 변화

3. 저질

가. 조사 방법

(1) 입도분석

패류양식장의 표층퇴적물에서 최상부 2cm에서 시료를 채집하여 실험실로 운반하였다. 전 처리한 시료 약 20~30g를 채취하여 용량 500ml 유리 비커에 담아 과산화수소(H₂O₂)를 서서히 가하면서 유기물을 제거하고, 과산화수소와 유기물의 반응이 더 이상 일어나지 않으면 시료를 hot plate에서 가열하여 남아있는 과산화수소를 제거하였다. 과산화수소를 제거한 시료는 염산(10% HCl)으로 CaCO₃를 제거한 후 증류수를 이용하여 세척하고, 4Φ (62.5 μm) 체로 걸러, 사질과 니질 퇴적물을 분리하고 분리된 사질 퇴적물은 오븐에서 건조하여 각 크기별로 체질(dry sieving)한 후 무게를 측정하고, 니질은 2% 칼콘(Calgon; Hexasodium metaphosphate) 용액을 첨가한 후 자동입도분석기(Sedigraph 5100)를 이용하여 분석하였다.

상기 실험실에서 얻은 결과 값으로부터 입도특성을 파악하기 위하여 평균입도(Mz), 분급(分級; Sorting, SI), 왜도(歪度; Skewness, SKI), 첨도(尖度; Kurtosis, KG)를 계산하였다(Folk & Ward, 1957). 각 입도특성은 다음에 의해 계산하였고, 식에서 ΦX는 X percent에서의 입도(mm)의 역수에 2를 지수로 한 log값을 취한 것이다.

$$\Phi_x = \log_2 \left(\frac{1}{\text{size}(mm)} \right) \quad (1)$$

평균 입도 (Mz)는 16%, 50%, 84%의 입도를 산술평균한 값이다.

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (2)$$

분급(分級; Sorting, SI)은

$$S_I = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \quad (3)$$

왜도(歪度; Skewness, SKI)는 정규분포인가(0에 가까울수록), 아니면 미세한 입자 쪽 (fine fraction; - 값), 또는 조립한 입자쪽(coarse fraction; + 값)으로 tailing이 일어나고 있는가를 나타냈다.

$$S_{KI} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (4)$$

첨도(尖度; Kurtosis, KG)는 값이 클수록 입도 분포 curve가 얼마나 중앙값 부근에 밀집되어 있는가를 나타낸다.

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})} \quad (5)$$

(2) 저질 화학적산소요구량(COD)

습시료 약 1g의 무게를 정확히 취하여 250ml 삼각플라스크에 담고 0.1N 과망간산칼륨용액 100ml와 10%수산화나트륨용액 5ml넣고 잘 흔들고 시료와 시약이 담긴 플라스크를 1시간 동안 중탕한 후 실온에서 식히고, 10% 요오드화칼륨용액 10ml와 4% 아지드나트륨용액 한 방울을 넣었다. 증류수를 가해 500ml로 만들고 유리섬유여과지로 여과하고, 여과용액 100ml를 30% 황산용액을 넣고 잘 흔든 다음 0.1 N 티오황산나트륨 용액으로 적정하였다.

(3) 강열감량(IL)

채취한 시료를 냉동 건조하여, 곱게 분마한 시료 약 30g을 미리 무게를 측정한 도가니(crucible)에 담고 다시 무게를 소수점 4자리까지 정확히 측정하며, 시료에 있는 수분을 제거하기 위하여 약 50~60℃의 온도로 오븐에서 약 3시간 정도 건조시켰다. 건조 후 다시 한 번 무게를 측정하고 무게차이가 없는 시료는 전기로(microwave furnace) 안에서 550℃의 온도로 24시간 동안 가열한 다음, 상온에서 식히고 무게를 측정하여 가열 전과 가열 후의 무게 차이를 강열감량으로 계산한다.

나. 조사 결과

(1) 바지락 양식장(남성리)

(가) 입도분석

바지락양식장이 위치한 남성리 주변해역의 표층퇴적물 정점은 그림 3-2-32에 나타냈다(그림 3-2-51). 입도분석 결과 2009년 추계조사에서 gravel이 0.00~53.80(평균 11.34)%, sand가 8.16~26.32(평균 14.78)%, silt가 22.81~52.22(평균 35.43)%, clay가 15.23~40.10(평균 22.91)%로 silt, clay, sand, gravel의 함량순으로 존재하였다. 특히 연안과 가장 인접한 St. 3에는 50% 이상이 굵은 모래로 구성되어 있어 Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 mG(muddy gravel)로 나타났으나 전체적으로는 sM(sandy mud)이 우세하게 나타났다(그림 3-2-52). 평균입도는 0.63~7.12(평균 4.02) Φ 의 범위로, 대조구에서는 굵은 모래가, 나머지 정점에서는 조립질 silt와 중립질 silt가 우세하게 나타났다(표 3-2-9).

2010년 동계 조사에서는 gravel은 0.00~5.81(평균 1.70)%, sand는 14.15~18.39(평균 13.23)%, silt는 27.59~47.15(평균 30.84)%, clay가 35.79~55.73(평균 36.19)%로 clay, silt, sand, gravel의 함량 순으로 나타나 동계에는 추계 때보다 clay의 함량이 증가하였다. 추계조사와 같이 St. 3에서 gM(gravelly mud)로 나타났고 St. 1에서 (g)M (slightly gravelly

mud), 나머지 정점에서 sM(sandy mud)로 나타났다(그림 3-2-53). 평균입도는 6.10~7.87(평균 7.23) Φ 의 범위로 전반적으로 퇴적물의 입도변화는 추계보다 겨울철에 세립질 퇴적물이 가입되고 있음을 보여주었다(표 3-2-10).

2010년 춘계조사에서 표층퇴적물은 St. 1, 2는 바지락 패각 등의 양이 많아 입도분석 자료를 얻지 못하고 St. 3의 분석 내용만을 나타냈다. St. 3은 굵은 모래가 덮인 정점으로 gravel이 19.97%, sand가 19.57%, silt가 45.35%, clay가 15.12%로 silt, gravel, sand, clay의 함량 순으로 구성되어 있어 Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 gM(gravelly mud)으로 나타났다(그림 3-2-54). 이는 추계와 동계조사와 같았다. 그러나 평균입도는 3.28 Φ 로 세립사와 극세립사가 우세하게 나타났으며 추계조사보다는 세립하고 동계조사보다는 다소 조립한 것으로 나타났다(표 3-2-11).

2010년 하계 조사에서 입도분석 결과 gravel은 0.00~24.11(평균 6.30)%, sand는 6.30~24.44(평균 14.13)%, silt는 42.69~56.85(평균 48.13)%, clay가 26.89~41.26(평균 31.45)%로 silt, clay, sand, gravel의 함량 순으로 추계조사와 일치하였다. 나타났다. 타조사시기와 마찬가지로 St. 3에서 gravel의 함량이 높게 관찰되었으며 5월 춘계 때보다 sand의 함량은 감소한 반면 clay의 함량은 증가하여 나타났다. Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 St. 1은 (g)M(slightly gravelly mud), St. 2와 대조해역인 Ref.4는 sM(sandy mud), St. 3에서 gM(gravelly mud)으로 나타났고 평균입도는 4.21~7.21 Φ 로 극조립 silt에서 중립silt가 우세하게 나타났다(그림 3-2-55). 2010년 추계 조사에서 입도분석결과 gravel은 0.00%, sand는 14.08~27.12(평균21.63)%, silt는 53.06~61.69(평균 56.34)%, clay가 18.07~30.16(평균 22.03)%로 2009년 추계조사와 같은 순으로 silt > clay > sand > gravel로 나타났다. 그러나 silt 함량은 2009년보다 증가한 것으로 나타났다. Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 전 정점에서 sM(sandy mud)으로 나타났고 평균입도는 5.66~6.69 Φ 로 전체적으로 조립실트가 우세하게 나타났다(그림 3-2-56). 전반적으로 퇴적물의 입도변화는 춘계보다 하계에 세립질 퇴적물이 가입되고 있음을 보여줬다.



그림 3-2-51. 고흥 남성리 현장조사 주변

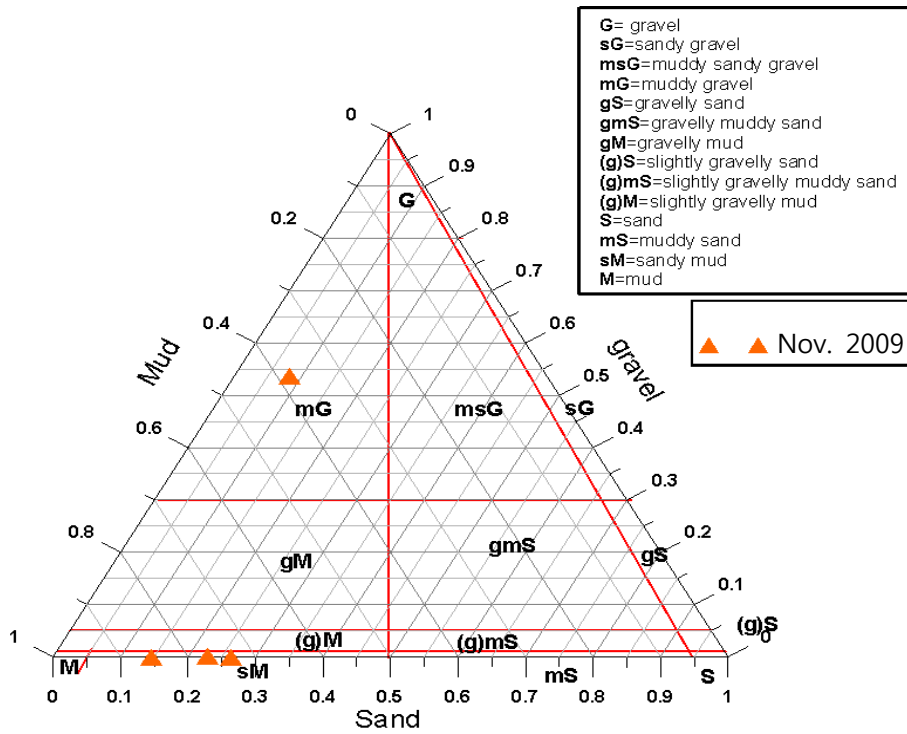


그림 3-2-52. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2009년 11월)

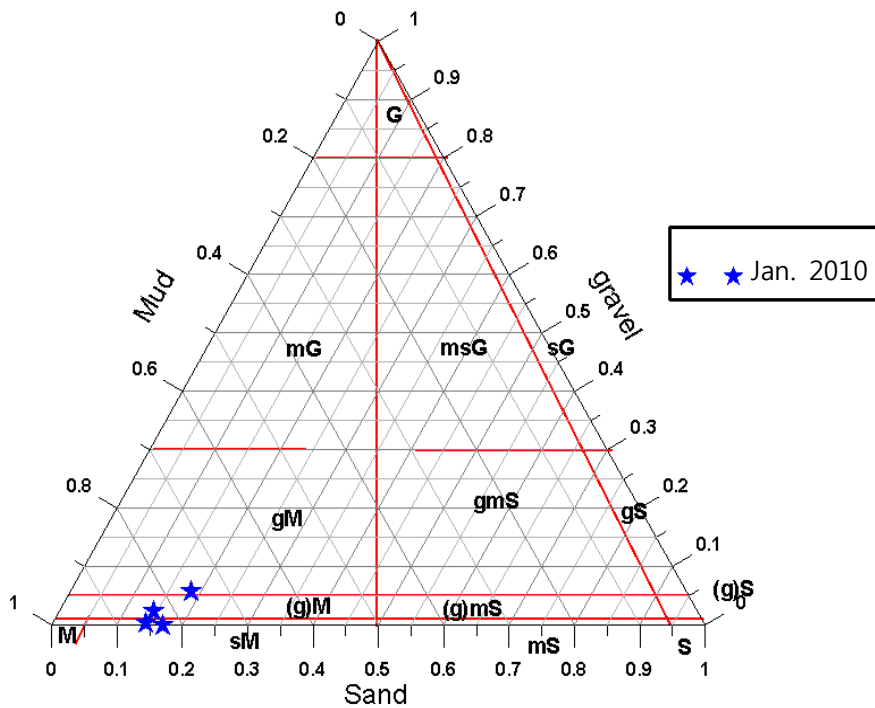


그림 3-2-53. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2010년 1월)

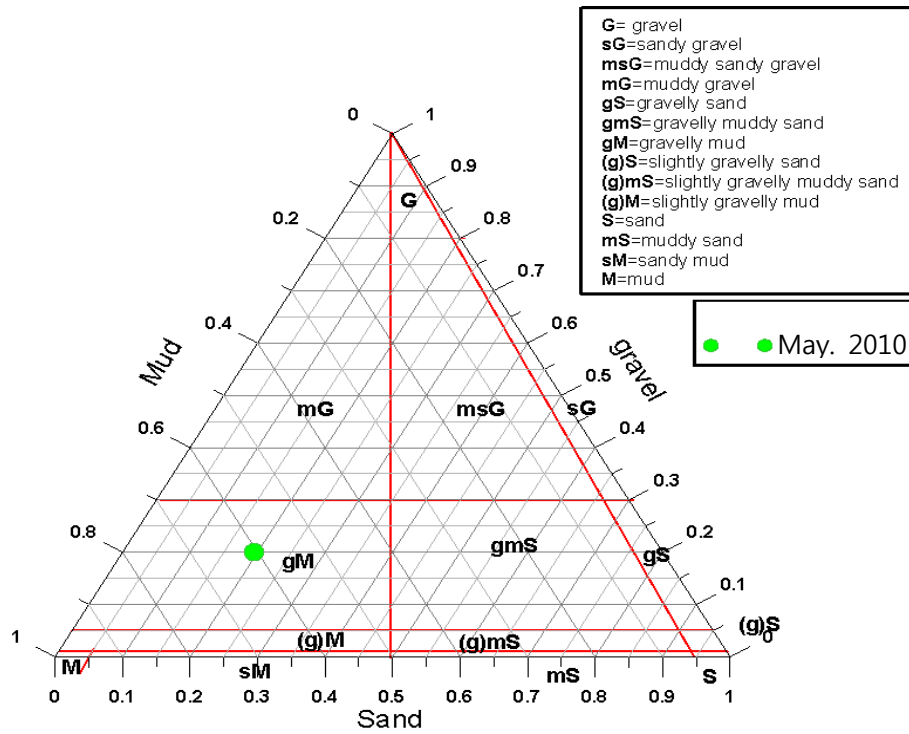


그림 3-2-54. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2010년 5월)

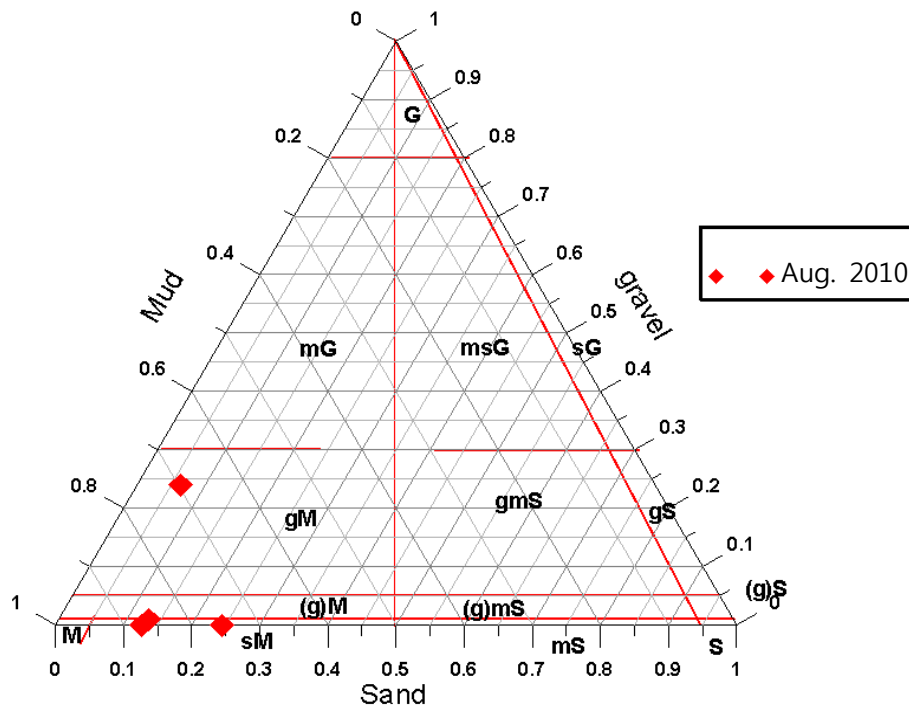


그림 3-2-55. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2010년 8월)

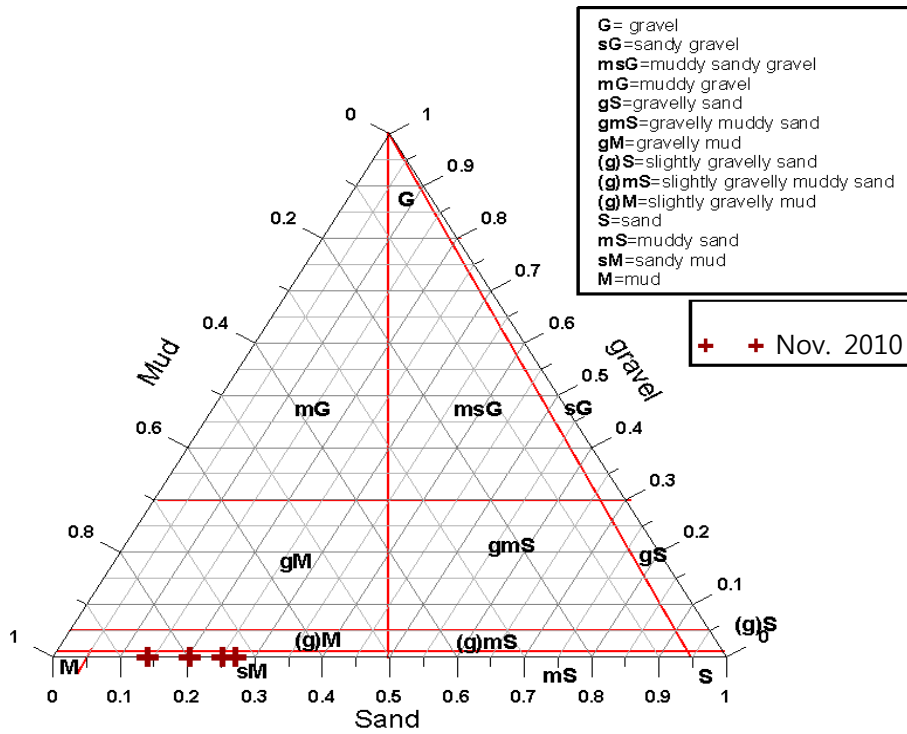


그림 3-2-56. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2010년 11월)

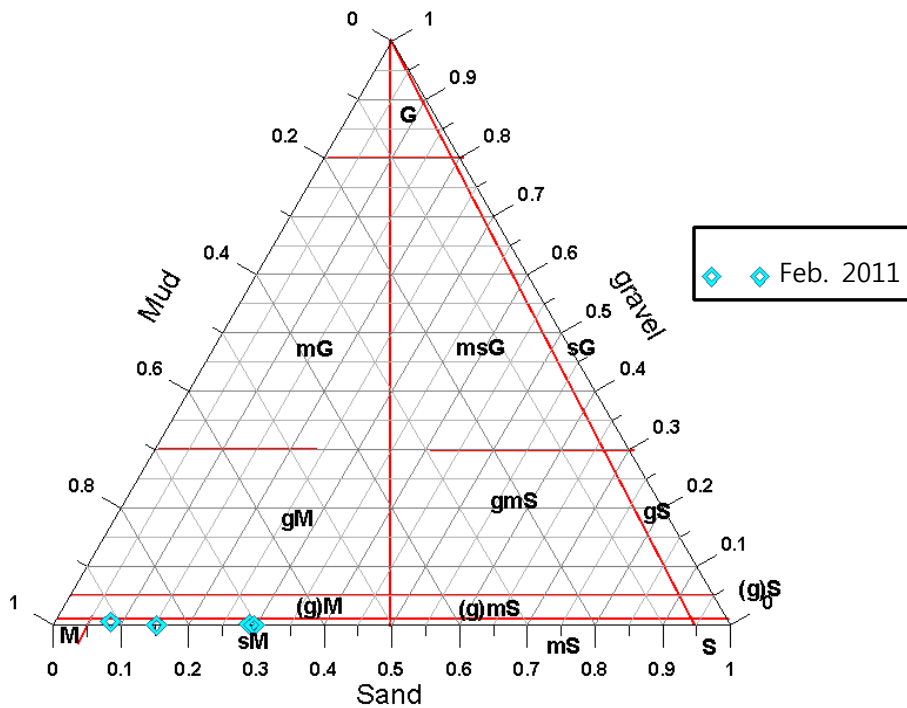


그림 3-2-57. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 분류 (2011년 2월)

표 3-2-9. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포(2009년 11월)

구분	Composition(%)				Textural parameter (Φ)				Sediment Type
	gravel	sand	silt	clay	Mz	SI	SKI	KG	
St. 1	0.09	14.49	45.33	40.10	7.12	2.79	-0.15	1.26	sM (Sandy mud)
St. 2	0.17	22.83	52.22	24.79	5.80	2.83	0.06	1.01	sM (Sandy mud)
St. 3	53.80	8.16	22.81	15.23	0.63	4.75	1.00	0.60	mG (muddy gravel)
Ref. 4	0.00	26.32	48.79	24.89	5.73	2.79	0.05	0.89	sM (Sandy mud)
최소값	0.00	8.16	22.81	15.23	0.63	2.79	-0.15	0.60	
최대값	53.80	26.32	52.22	40.10	7.12	4.75	1.00	1.26	
평균값	11.34	14.78	35.43	22.91	4.02	2.77	0.24	0.79	

표 3-2-10. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포(2010년 1월)

구분	Composition(%)				Textural parameter (Φ)				Sediment Type
	gravel	sand	silt	clay	Mz	SI	SKI	KG	
St. 1	2.35	14.34	27.59	55.73	7.87	3.54	-0.46	0.90	(g)M (lightly gravelly mud)
St. 2	0.36	14.15	36.52	48.97	7.80	3.21	-0.13	0.80	sM (Sandy mud)
St. 3	5.81	18.39	38.43	37.37	6.10	4.63	-0.28	1.16	gM (gravelly mud)
Ref. 4	0.00	17.06	47.15	35.79	7.14	3.25	0.16	0.84	sM (Sandy mud)
최소값	0.00	14.15	27.59	35.79	6.10	3.21	-0.46	0.80	
최대값	5.81	18.39	47.15	55.73	7.87	4.63	0.16	1.16	
평균값	2.13	15.99	37.42	44.46	7.23	3.66	-0.18	0.93	

표 3-2-11. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 입도분포

구 분		Composition(%)				Textural parameter (Φ)				Sediment Type
		gravel	sand	silt	clay	Mz	SI	SKI	KG	
May. 2010 (춘계)	St.3	53.80	8.16	22.81	15.23	0.63	4.75	1.00	0.60	(g)M (slightly gravelly mud)
Aug. 2010 (하계)	St.1	1.07	13.17	44.49	41.26	7.209	2.700	-0.169	0.970	(g)M (slightly gravelly mud)
	St.2	0.00	12.59	56.85	30.56	6.856	2.517	0.003	1.038	sM (sandy mud)
	St.3	24.11	6.30	42.69	26.89	4.206	4.977	-0.403	0.816	gM (gravelly mud)
	Ref. 1	0.00	24.44	48.47	27.08	6.436	2.720	0.156	0.827	sM (sandy mud)
Nov. 2010 (추계)	St.1	0.00	25.09	54.86	20.04	5.701	2.471	0.222	0.902	sM (sandy mud)
	St.2	0.00	14.08	55.76	30.16	6.689	2.539	0.082	0.907	sM (sandy mud)
	St.4	0.00	20.23	61.69	18.07	5.662	2.403	0.157	1.086	sM (sandy mud)
	Ref. 2	0.00	27.12	53.06	19.82	5.731	2.509	0.093	0.870	sM (sandy mud)
Feb. 2011 (동계)	St.1	0.00	1.52	17.02	81.46	8.72	0.99	-0.15	1.13	M (mud)
	St.2	0.00	1.05	30.84	68.11	8.15	1.53	-0.38	1.16	M (mud)
	St.4	0.00	1.30	57.44	41.27	7.51	1.76	0.00	0.81	M (mud)
	Ref. 2	0.00	1.97	34.94	63.10	7.85	1.42	-0.45	1.40	M (mud)

(나) 저질 화학적산소요구량(COD)

바지락 양식장의 표층 퇴적물의 COD는 2009년 추계조사에서 10.5~15.0(평균 12.2) mg/g , 2010년 동계 조사에서 3.0~6.5(평균 4.7) mg/g , 춘계조사에서 5.2~8.8(평균 6.9) mg/g , 2010년 하계 조사에서 1.6~10.8(5.4) mg/g , 추계에 0.4~11.6(평균 4.9) mg/g , 2011년 동계에 4.0~8.8(평균 6.6) mg/g 로 나타났다(표 3-2-12). 계절별 평균 농도는 2009년 추계조사 시 최대값을 보였으며 2010년 5월, 2011년 2월, 2010년 하계, 추계, 동계조사 순으로 나타났다(그림 3-2-58). 2009년 추계조사시 전해역에서 10 mg/g 이상의 COD를 나타내 타 조사시기보다 약 2배가량 매우 높게 나타났다. 특히 St. 1에서 높은 농도를 보였는데 다른 정점에 비해 clay함량이 높게 나타났고 2010년 11월조사시 St. 4에서 최소값을 보였으며 이때는 clay함량이 가장 낮았다. 표층 퇴적물의 COD는 구조물이 설치된 St. 1과 2의 패류양식장에서는 평균 6 mg/g 이상의 값을 나타냈으며 구조물이 설치되지 않은 대조구에서 대체로 낮은 농도를 보였다.

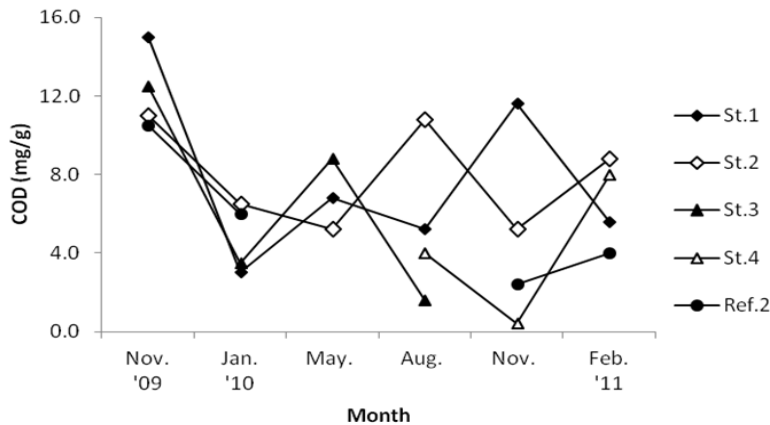


그림 3-2-58. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 COD

(다) 강열감량(IL)

강열감량은 2009년 추계조사에서 1.36~3.21(평균 2.22)%, 2010년 동계조사에서 2.33~4.22(평균 3.40)%, 춘계조사에서 5.28~8.54(평균 7.13)%, 하계조사에 2.14~8.50(평균 5.53)%, 추계조사에 2.61~3.42(평균 3.20)%, 2011년 동계조사에서 2.64~3.71(3.23)%로 나타났다. 계절적 평균농도는 2010년 5월조사시 유기물 함량이 가장 높게 나타났고 St. 2에서 높은 농도를 보였으며 gravel 함량이 높은 St. 3에서 가장 낮은 농도를 나타냈다. 다음으로 2010년 하계>동계>2011년 동계>추계>2009년 추계 순으로 평균농도를 나타냈고 조사 시기별 COD와 비교한 결과 다소 반대적인 성향을 보여 최소값을 보인 2009년 추계에 COD는 최대평균농도를 보였다(그림 3-2-59). 패류양식장 안의 구조물이 설치된 구역은 춘계조사시 높은 농도를 나타냈고, 추계와 동계에 낮은 농도를 보였고 대조해역에서는 퇴

적물 COD와 마찬가지로 낮은 농도를 보였다.

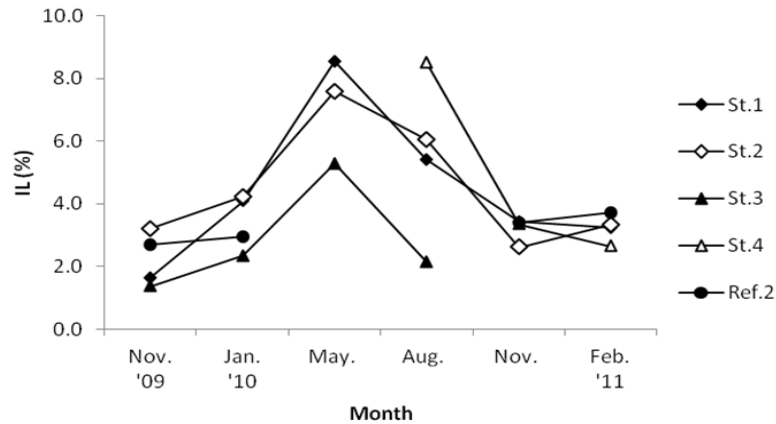


그림 3-2-59. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 강열감량

(라) 저질엽록소-a(Chl-a)

2009년 11월 추계조사에서 3.14~16.27(평균 7.19) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 2010년 1월 동계조사에서 7.91~24.80(평균 16.57) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 5월 춘계조사에서 11.15~12.26(평균 11.52) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 8월 하계에 1.36~4.54(평균 3.50) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 11월 추계에 3.24~7.01(평균 5.51) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 2011년 2월 동계에 5.60~7.78(평균 6.77) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 나타났다. 전반적으로 최대값은 2010년 1월조사시 St. 3과 St. 2에서 나타났으며 2010년 춘계조사를 제외하면 2배 이상의 높은 평균 농도를 보였다(그림 3-2-60). 최소값은 2010년 8월에 St. 3에서 나타났으며 2회의 동계조사를 제외하면 St. 3은 모두 최소값을 보였다. 또한 저질엽록소-a는 구조물이 위치한 St. 1보다 구조물이 설치되지 않은 대조해역에서 최대값을 나타냈으나 농도차이는 크지 않았다. 이는 바지락에 의한 소비도 영향이 있을 것으로 생각된다.

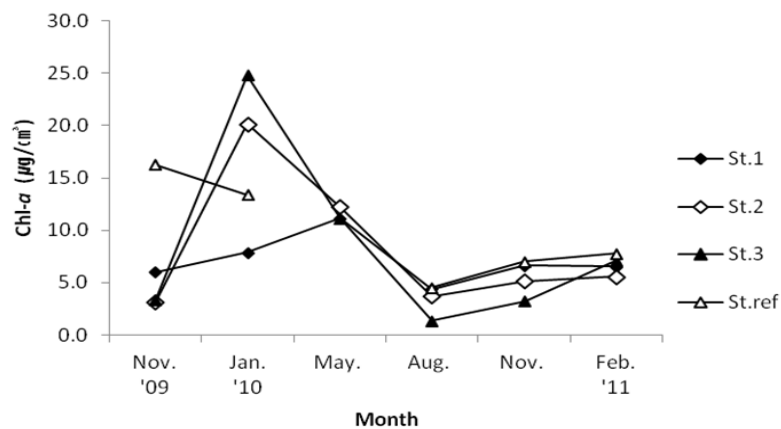


그림 3-2-60. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 저질엽록소-a

표 3-2-12. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값

구 분	저질염록소-a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		COD ($\text{mg O}_2/\text{g.dry}$)		COD(%)		함수율(%)		강열감량(%)	
	Nov. 2009	Jan. 2010	Nov. 2009	Jan. 2010	Nov. 2009	Jan. 2010	Nov. 2009	Jan. 2010	Nov. 2009	Jan. 2010
St.1	6.02	7.91	14.99	3.00	1.50	0.30	47.30	43.54	1.64	4.08
St.2	3.14	20.17	10.99	6.49	1.10	0.65	38.42	45.77	3.21	4.22
St.3	3.33	24.80	12.50	3.50	1.25	0.35	25.27	42.80	1.36	2.33
Ref. 4	16.27	13.41	10.50	5.99	1.05	0.60	36.18	35.38	2.69	2.95
최소값	3.14	7.91	10.50	3.00	1.05	0.30	25.27	35.38	1.36	2.33
최대값	16.27	24.80	14.99	6.49	1.50	0.65	47.30	45.77	3.21	4.22
평균값	7.19	16.57	12.24	4.75	1.22	0.47	36.79	41.87	2.22	3.40

표 3-2-13. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값

조사 시기	조사 정점	저질염록소-a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	COD ($\text{mg O}_2/\text{g.dry}$)	COD(%)	함수율(%)	강열감량(%)
May. 2010 (춘계)	St.1	11.15	6.80	0.68	59.79	8.54
	St.2	12.26	5.20	0.52	70.20	7.57
	St.3	11.16	8.80	0.88	69.19	5.28
Aug. 2010 (하계)	St.1	4.38	5.20	0.52	63.71	5.41
	St.2	3.70	10.79	1.08	57.26	6.06
	St.3	1.36	1.60	0.16	55.73	2.14
	St.4	4.54	4.00	0.40	56.34	8.50
Nov. 2010 (추계)	St.1	6.63	11.59	1.16	48.834	3.42
	St.2	5.17	5.20	0.52	41.443	2.61
	St.3	패류양식장 운영 사정으로 정점에서 제외				
	St.4	3.24	0.40	0.04	43.941	3.35
	Ref.2	7.01	2.40	0.24	45.951	3.40
Feb. 2011 (동계)	St.1	6.56	5.60	0.56	37.05	3.23
	St.2	5.60	8.79	0.88	34.84	3.32
	St.4	7.14	8.00	0.80	41.90	2.64
	Ref.2	7.78	3.99	0.40	40.47	3.71

(2) 꼬막 양식장

(가) 입도분석

고흥 계매 주변 해역의 표층퇴적물의 조사정점은 그림 3-2-33에 나타냈으며 2009년 11월조사시 입도분석 결과 sand함량이 3.15~8.96(평균 6.26)%로 매우 낮은 함량을 차지했고 silt와 clay는 각각 18.58~30.40(평균 24.71)%, 65.23~72.46(평균 69.03)%로 clay의 함량이 대부분을 차지했다. 또한, gravel은 나타나지 않았다. Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 전체적으로 sand가 가미된 Mud sM(sandy mud), M(mud)로 구성되어 나타났다(그림 3-2-61~62, 표 3-2-14).

평균입도(Mz)의 공간적 분포는 7.91~8.19(평균 8.06) Φ 로 극세립실트와 세립실트로 구성된 퇴적상을 나타냈다. 분급도(SI; Sorting)는 1.59~1.94(poorly sorted)(평균 1.79) Φ 로 전반적으로 분급이 저조하게 나타났으며 왜도(SKI; Skewness)는 -0.58(very coarse-skewed)~-0.19(coarse-skewed)(평균 -0.39) Φ 로 대부분의 정점에서 강한 음성왜도(very coarse-skewed)로 나타났다. 또한 전체 퇴적물 중에서 대부분 음의 왜도를 갖는 것으로 보아 본 연구해역의 왜도를 결정하는 것은 세립한 퇴적물이 조립한 퇴적물보다 중요한 것으로 나타났다. 침도는 1.80~5.25(평균 3.05) Φ 로 대부분 중앙값에 밀집되어 있었다. 2010년 11월 시험포 예정지역의 입도분석결과는 gravel은 0.00~0.57(평균 0.19)%, sand는 0.83~1.52(평균 1.26)%, silt는 48.21~53.60(평균 50.18)%, clay가 45.57~49.83(평균 48.37)%로 silt > clay > sand > gravel의 함량 순으로 나타났으며 꼬막양식장과는 달리 clay보다 silt의 함량이 매우 높게 나타났고 gravel함량도 일부 정점에서 나타나 퇴적물 성상이 다르게 나타났다. Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 전 정점에서 M(mud)로 나타났고 평균입도는 7.16~7.62(평균 7.36) Φ 로 꼬막양식장보다 조금 더 조립한 세립 silt가 우세하게 나타났다.

시험포가 설치되고 3개월 후 2011년 2월에는 gravel은 나타나지 않았으며 sand는 0.48~1.19(평균 0.94)%, silt는 5.92~40.39(평균 21.19)%, clay가 58.63~92.97(평균 77.87)%로 clay > silt > sand 함량 순으로 나타났고, 꼬막양식장의 퇴적물구성은 sand가 1.19%, silt가 19.61%, clay가 79.19%로 나타나 시험포 내부와 꼬막양식장의 입도비율이 유사하게 나타났으며 특히 St. 1(A해역)보다 St. 2(B해역)와 매우 유사하게 나타났다. 시험포 외부는 silt함량이 높고 clay함량이 매우 낮게 나타났으며 St. 1의 A해역은 clay함량이 높게 나타나 세립한 꼬막양식장에서보다 현저하게 많은 양이 나타났다. Folk's 분류법에 의한 퇴적물종류는 전 정점에서 M(mud)로 나타났고 평균입도는 7.51~8.72(평균 8.06) Φ 로 세립한 silt와 극세립silt가 우세하게 나타났다.



그림 3-2-61. 고홍 계매 현장조사 주변

전반적으로 평균입도(M_z)의 공간적 분포는 시험포 조성 후 St. 1은 8.15 Φ St. 2는 8.72 Φ 로 증가하여 극세립 silt로 구성된 퇴적상을 나타냈다. 분급도(SI; Sorting)는 0.99~1.53(poorly sorted) Φ 로 전반적으로 분급이 저조하게 나타났다. 왜도(SKI; Skewness)는 -0.38(very coarse-skewed)~-0.15(coarse-skewed) Φ 로 대부분의 정점에서 강한 음성왜도(very coarse-skewed)로 나타났고 첨도는 1.13~1.16 Φ 로 대부분 중앙값에 밀집되어 있었다(표 3-1-20).

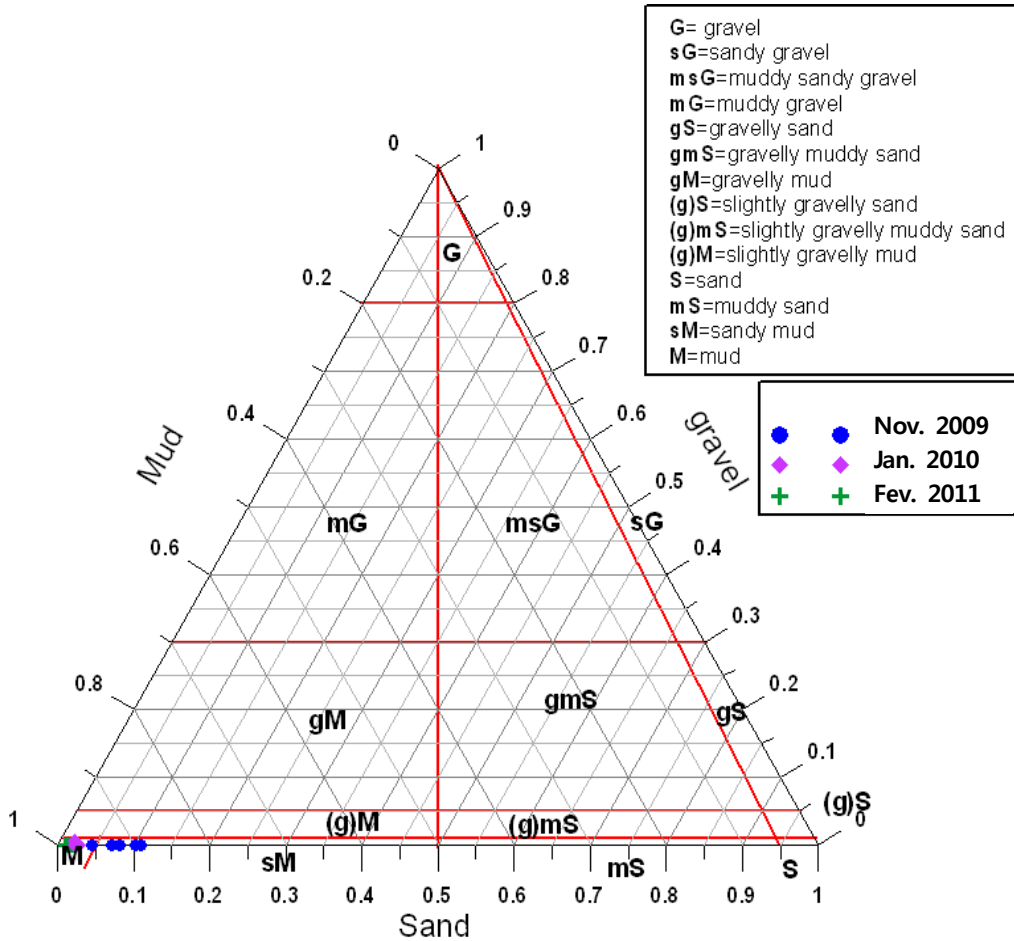


그림 3-2-62. Folk & Ward 방법에 의한 고흥 계매, 남성리 주변 해양퇴적물의 분류

표 3-2-14. 고흥 계매 주변 해양퇴적물의 입도분포

구 분		Composition(%)				Textural parameter (Φ)				Sediment Type
		gravel	sand	silt	clay	Mz	SI	SKI	KG	
Nov. 2009	계매1	0.00	7.50	27.27	65.23	7.91	1.94	-0.54	2.13	sM (Sandy mud)
	계매2	0.00	6.35	22.50	71.15	8.13	1.81	-0.32	3.18	sM (Sandy mud)
	계매3	0.00	8.96	18.58	72.46	8.05	1.93	-0.58	5.25	sM (Sandy mud)
	계매4	0.00	5.32	24.82	69.86	8.19	1.69	-0.32	2.90	sM (Sandy mud)
	계매5	0.00	3.15	30.40	66.45	8.04	1.59	-0.19	1.80	M (mud)
Nov. 2010	St.1	0.00	0.83	53.60	45.57	7.16	1.94	0.23	0.93	M (mud)
	St.2	0.00	1.44	48.73	49.83	7.31	1.95	0.22	0.96	M (mud)
	St.3	0.57	1.52	48.21	49.71	7.62	1.70	0.42	1.63	M (mud)
Feb. 2011	St.1	0.00	1.11	5.92	92.97	8.72	0.99	-0.15	1.13	M (mud)
	St.2	0.00	0.48	18.82	80.71	8.15	1.53	-0.38	1.16	M (mud)
	St.3	0.00	0.98	40.39	58.63	7.51	1.76	0.00	0.81	M (mud)
	계매5	0.00	1.19	19.61	79.19	7.85	1.42	-0.45	1.40	M (mud)

(나) 저질 화학적산소요구량(COD)

표층 퇴적물의 COD는 2009년 11월 고흥 계매에서 13.5~14.5(평균 14.1) mg/g범위를 보였으며 2010년 11월에 5.2~10.8(평균 7.7) mg/g, 2011년 2월조사시 4.8~14.0(평균 8.7) mg/g 범위를 나타냈다(표 3-2-15). 2009년 꼬막양식장에서는 평균 14.0 mg/g으로 높은 농도를 보였으며 시험포 예정지에서는 낮은 농도를 보였고, 시험포 조성 후 2월에는 2배 이상 증가한 것으로 나타났다. 단 2월조사시에는 11월에 종패를 살포하였고 올해 가장 추운 날씨로 인해 꼬막 대부분이 동사하여 시험포 내부에서만 농도가 크게 증가한 것으로 보여진다(그림 3-2-63).

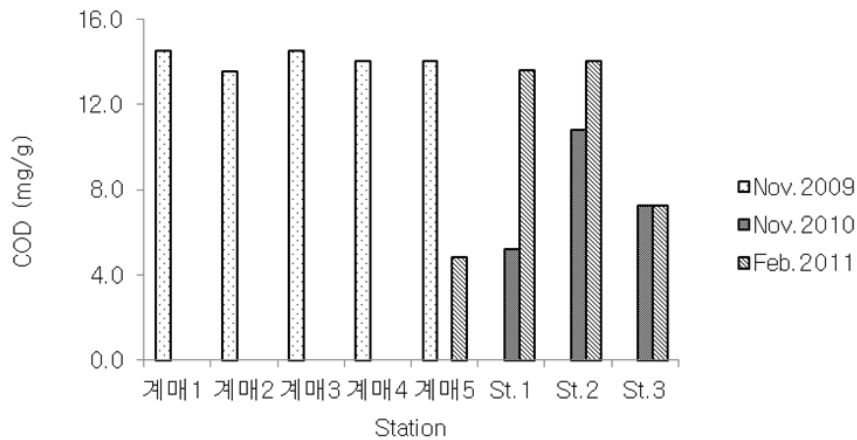


그림 3-2-63. 고흥 계매 주변 해양퇴적물의 화학적산소요구량

(다) 강열감량(IL)

강열감량은 2009년 11월조사시 고흥 계매에서 1.6~3.7(평균 2.88)% 범위를 보였으며, 퇴적물 COD가 전 정점에서 일정한 값을 보이는데 반해 강열감량은 정점별 농도차이가 나타나 COD와 큰 상관성을 보이지 않았다. 시험포 조성 전인 2010년 11월에는 3.71~4.58(평균 4.22)%, 시험포 조성 후 2011년 2월에는 1.58~3.98(평균 2.65)% 범위를 보여 조성 초기에는 유기물 함량이 높게 나타난 반면 시험포 조성 후 유기물 함량이 크게 감소하였으며 꼬막 양식장과 유사한 농도를 나타냈다(그림 3-2-64).

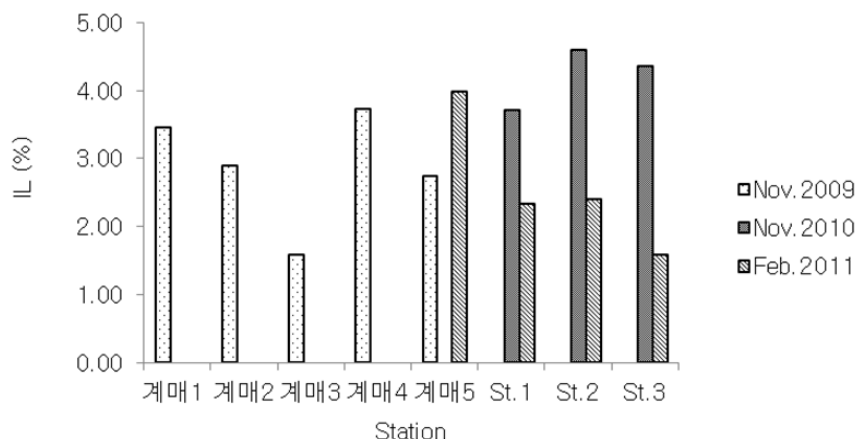


그림 3-2-64. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 강열감량

(라) 저질염록소-a

저질염록소-a는 2009년 11월조사시 고흥 계매에서 5.29~6.13(평균 5.71) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 범위를 나타냈고, 2010년 11월에는 2.79~3.17(평균 2.96) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 2011년 2월에는 8.56~14.05(평균 11.30) $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 범위를 나타냈다. 시험포전과 비교하여 시험포 조성 후 시험포 내부의 St. 1, 2에서 저질염록소-a가 증가하였으며 시험포 외부의 대조구에서도 다소 높은 값을 보였으며 동일한 계절의 구조류는 연안에 인접한 해역보다 연안과 떨어진 꼬막양식장에서 다소 높은 값을 나타냈으며 추운 겨울철에 농도가 증가하였다(그림 3-2-65).

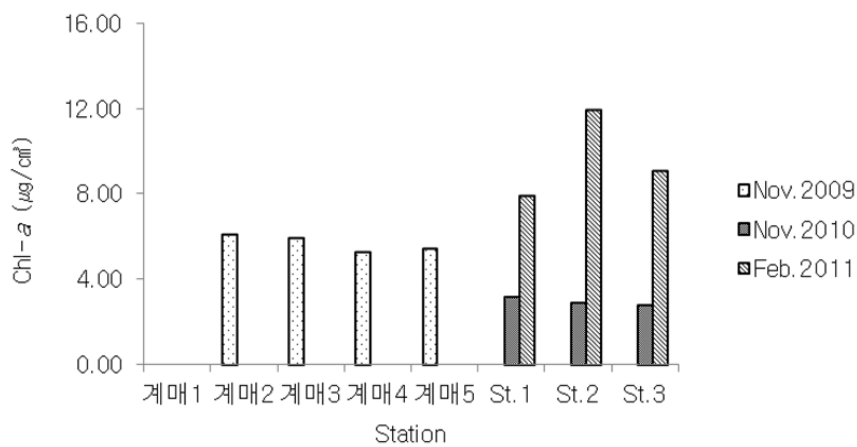


그림 3-2-65. 고흥 남성리 주변 해양퇴적물의 저질염록소-a

표 3-2-15. 고흥 계매 주변 해양퇴적물 조사항목의 측정값

조사 시기	조사 정점	저질염록소-a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	COD ($\text{mg O}_2/\text{g.dry}$)	COD(%)	함수율(%)	강열감량(%)
Nov. 2009	계매1	N.D	14.49	1.45	55.31	3.46
	계매2	6.13	13.49	1.35	53.64	2.89
	계매3	5.96	14.50	1.45	55.04	1.59
	계매4	5.29	13.99	1.40	53.78	3.72
	계매5	5.47	14.00	1.40	48.23	2.74
Nov. 2010	St.1	3.174	5.19	0.52	52.104	3.714
	St.2	2.904	10.80	1.08	51.536	4.584
	St.3	2.790	7.20	0.72	53.733	4.352
Feb. 2011	St.1	7.928	13.59	1.36	51.67	2.33
	St.2	11.926	13.98	1.40	47.56	2.40
	St.3	9.052	7.20	0.72	49.21	1.58
	계매5	N.D	4.80	0.48	46.12	3.98

(3) 다목적 이용 복합양식장(도리포)

함평만 복합양식장 시험어장 저질환경 특성을 파악하기 위하여 표층퇴적물, 주상시료 정밀조사 및 해빈조사를 실시하였다. 표층퇴적물은 그랩을 이용하여 채취하였으며, 주상시료는 PVC파이프를 이용하여 1 m 깊이를 채취하였고, 해빈조사는 광파측량기를 이용하였다.

(가) 표층입도 및 지형고도

그림 3-2-66~68은 복합양식 및 구조개선 서해안 시험어장 표층의 입도에 대한 계절 변화이다. 조립질인 gravel은 여름철에서 겨울철로 갈수록 30%대에서 10%대로 감소한 경향을 보여 주고 있으며, sand 또한 gravel과 계절변화가 유사하였으며, 반면에 세립질인 mud는 40%대로 여름철 분포에 비해 겨울철에 분포면적이 증가하였다. 이 지역에서는 퇴적물의 계절변동이 뚜렷이 나타나는 것으로 조사되었다.

공간적 특성을 살펴보면 조하대로 갈수록 세립질 특성을 보이고 있으며 조간대 지역에서는 해안선에서 조립질인 gravel과 sand 함량이 높게 나타났다. 조간대 지역중 정점 B2에서는 조립질 함량이 다소 낮고, 정점 D3를 중심으로 조립질인 sand 함량이 높은 경향을 보였다.

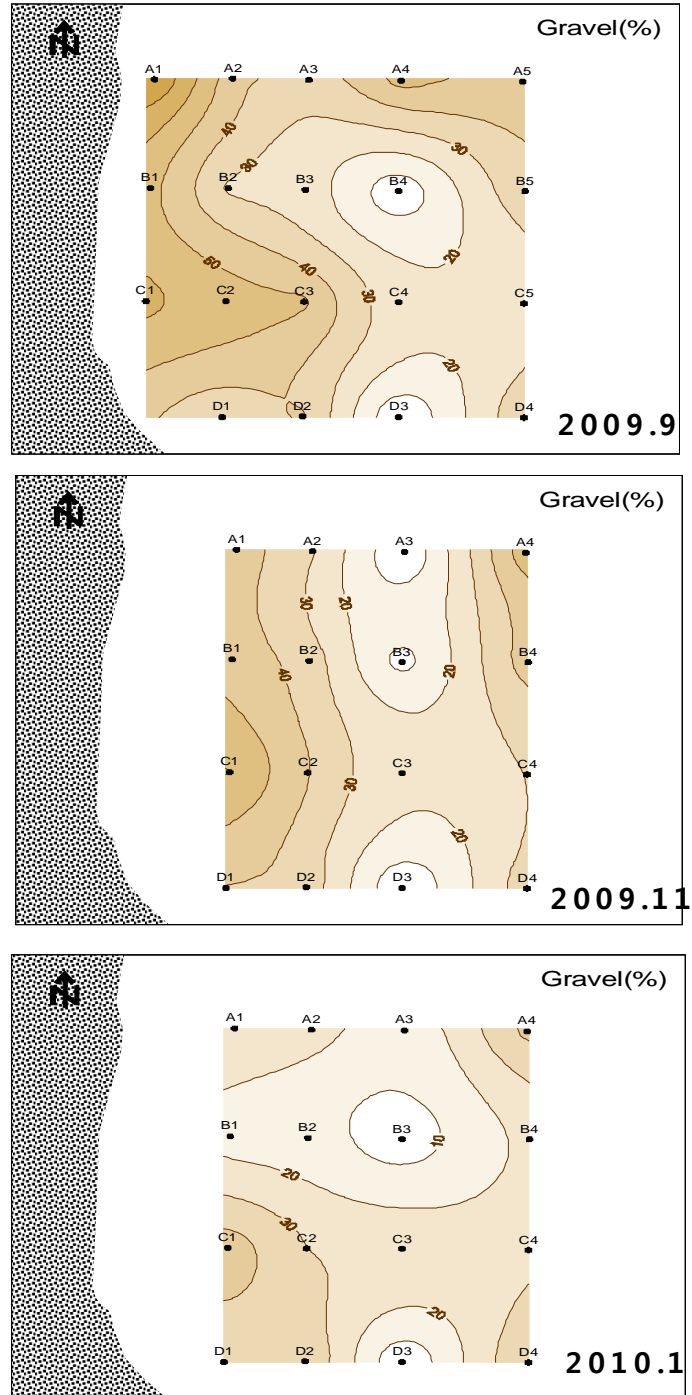


그림 3-2-66. 시험어장 표층 퇴적물의 gravel 함량 변동

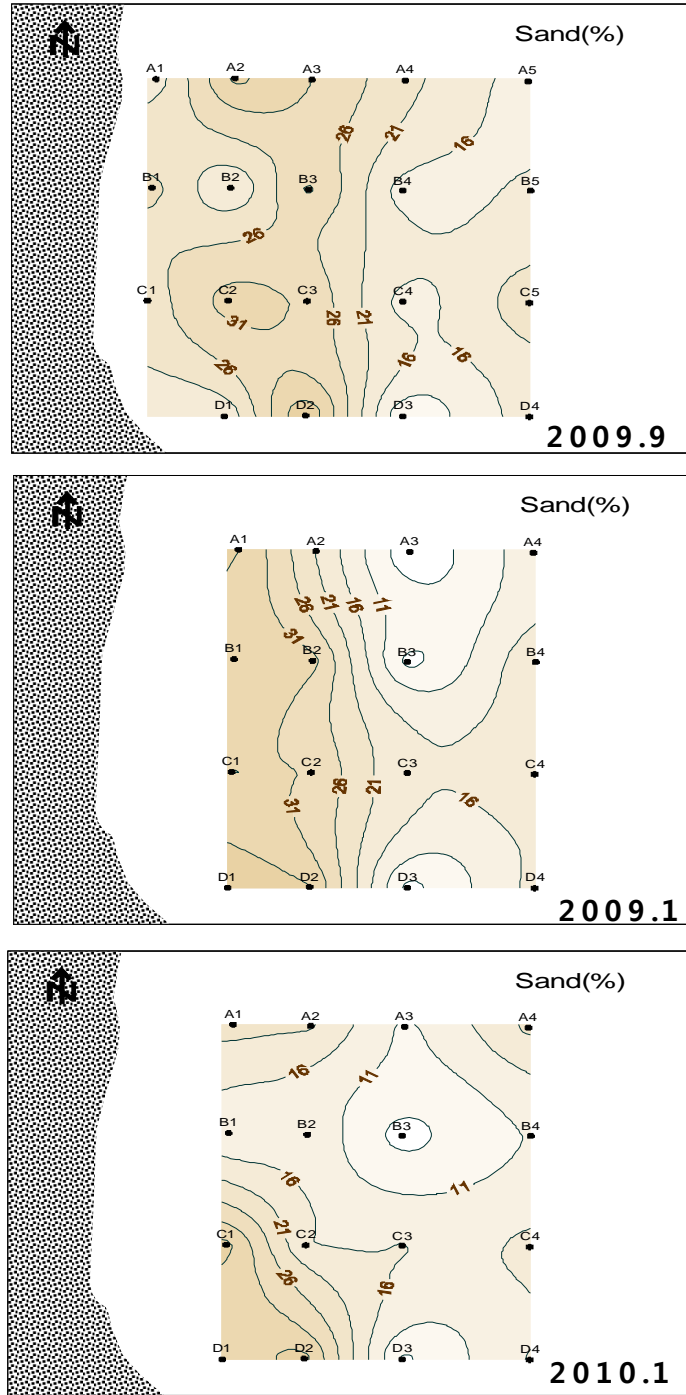


그림 3-2-67. 시험어장 표층 퇴적물의 sand 함량 변동

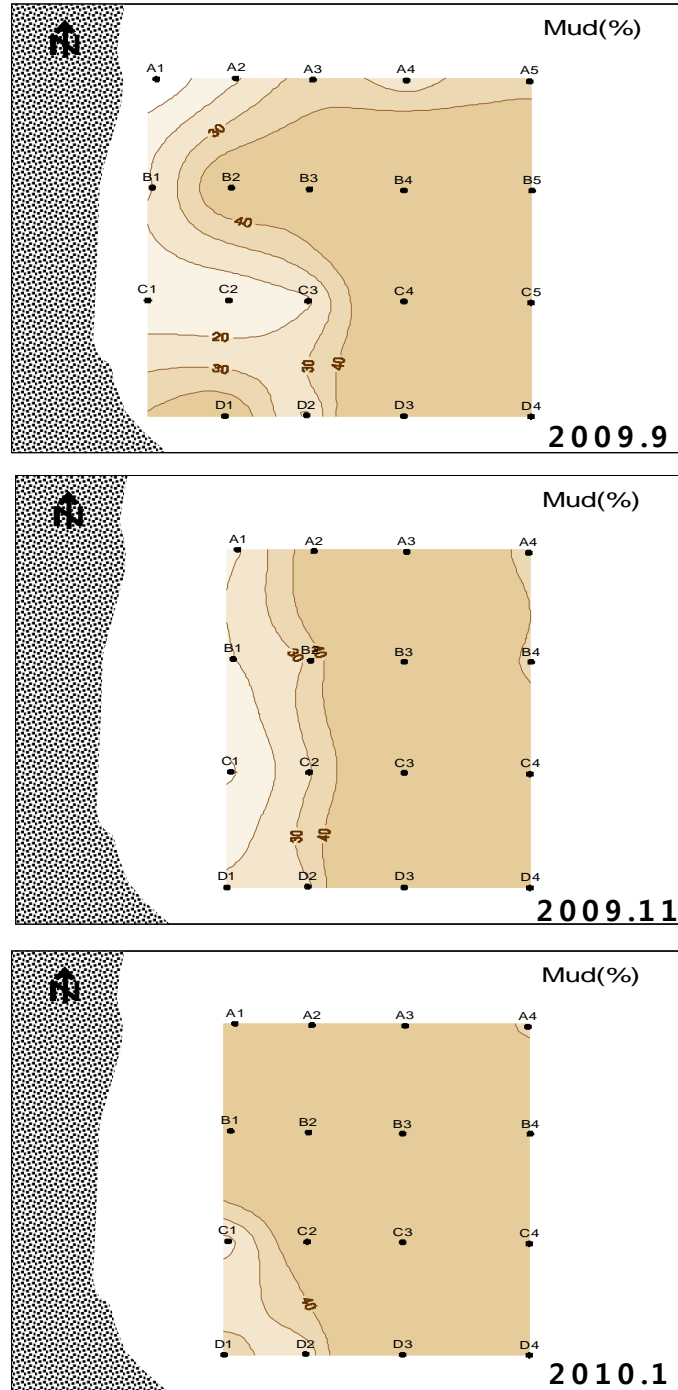


그림 3-2-68. 시험어장 표층 퇴적물의 mud 함량 변동

시험어장의 지형고도변화는 그림 3-2-69과 같다. 전체적으로 2.5%의 기울기를 보이고 있으며, 대조시 해안선에서 간조선까지 263 m의 폭을 가지고 고도 기울기는 2.5%를 가지는 것으로 분석되었다. 해안선에서 23 m까지는 급격한 13.7%의 경사를 가지며, 23m에서 간조선 까지는 4.01 m의 고도차를 보이며 해안선 부근보다는 1.7% 완만한 경사도를 보였다.

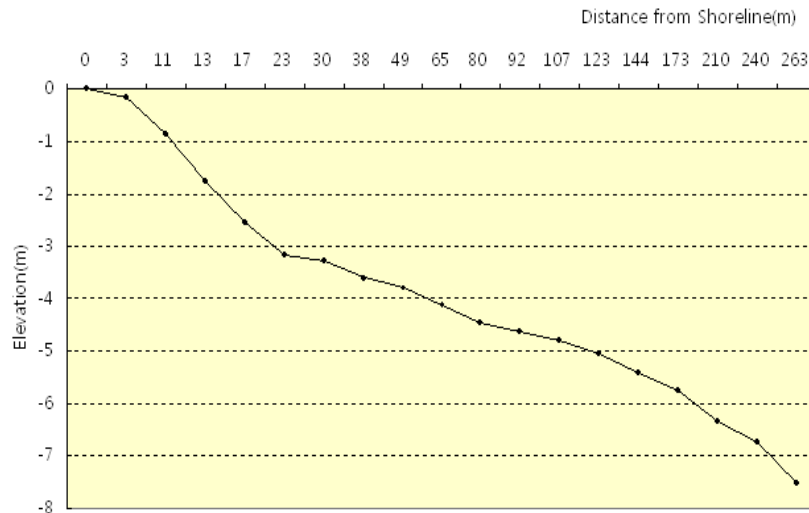


그림 3-2-69. 시험어장 고도변화

(나) 주상시료 분석

시험어장의 저질의 연직적인 특성을 살펴보기 위하여 퇴적물의 입도 분포가 대표적으로 구별되는 정점 B3와 D2지점에 대하여 주상시료를 채취하여 분석하였다(그림 3-2-70).

채취한 주상시료 단면은 그림 3-2-71과 같다.

정점 D2 지점의 연직별 입도분포를 살펴보면 표층에서 40cm 깊이 까지는 조립질 함량이 50~70%를 보이고 있으나, 그 밑으로는 세립질의 함량이 65%까지 증가하였다(그림 3-2-72).

IL은 표층에서 3.54%로 40cm 깊이로 가면서 감소하다가 세립질이 늘어나는 40-50cm 층에서 3.65%로 증가하였다(그림 3-2-73). COD는 표층에서 40cm 까지 범위에서는 15-20cm 층에 6.69 mg/g 높은 값을 보이나, 40-50cm 층에서 7.77 mg/g으로 증가하였다. AVS는 표층에서 15cm 층까지 미량으로 검출되다가 세립질 함량이 높고 가장 깊은 층인 40-50cm 층에서 0.05 mg/g 으로 가장 높았다.

전체적으로 볼 때 국가별환경기준인 IL 5%(미국EPA기준), COD 20 mg/g(일본기준), AVS 0.2 mg/g(일본기준)에 훨씬 이하인 양호한 환경상태였다.

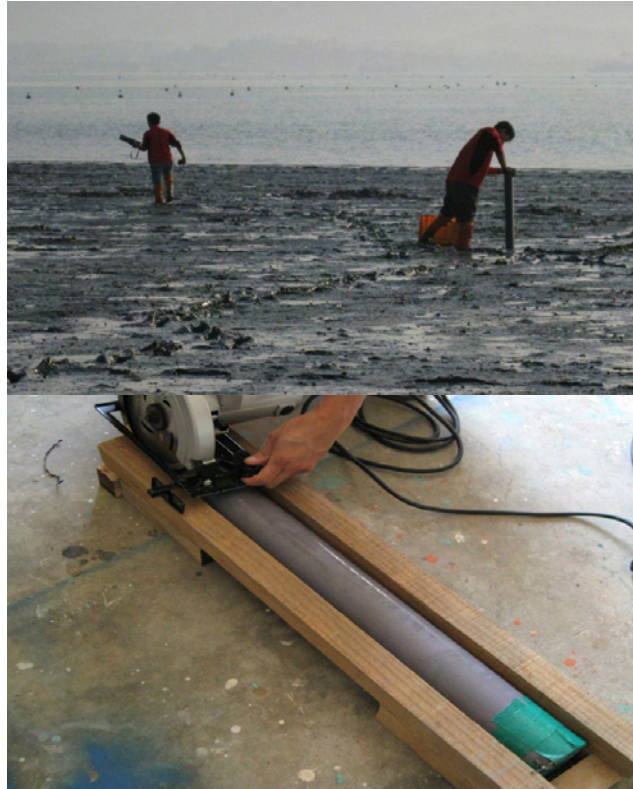
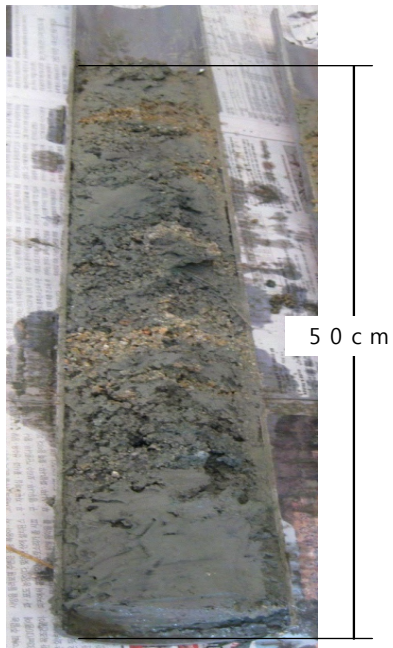


그림 3-2-70. 주상시료 채취 및 전처리

정 점 D 2



정 점 B 3

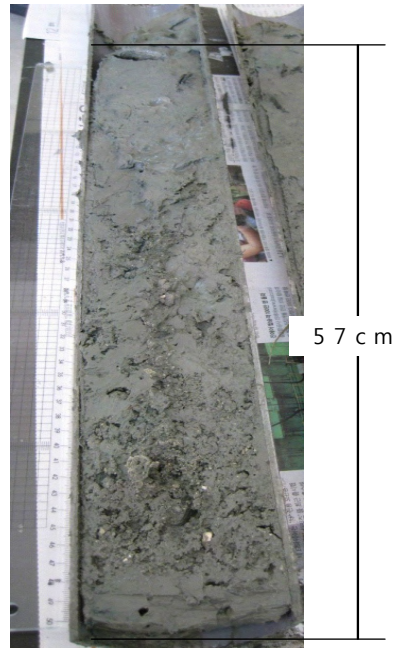


그림 3-2-71. 주상시료 단면

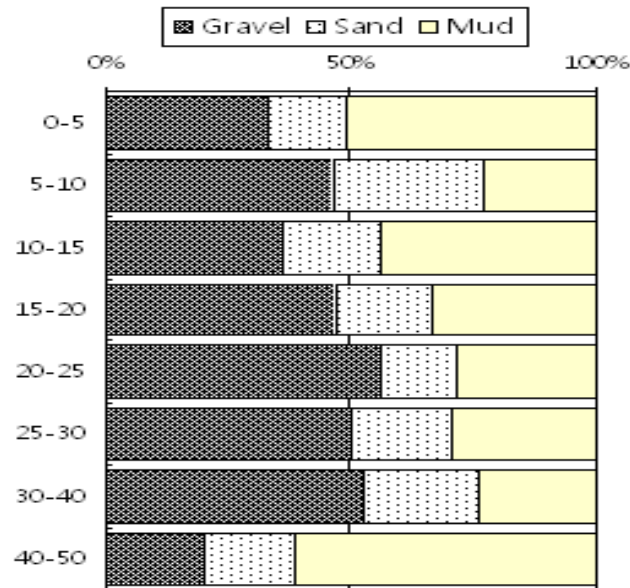


그림 3-2-72. 정점 D2의 입도 분석결과

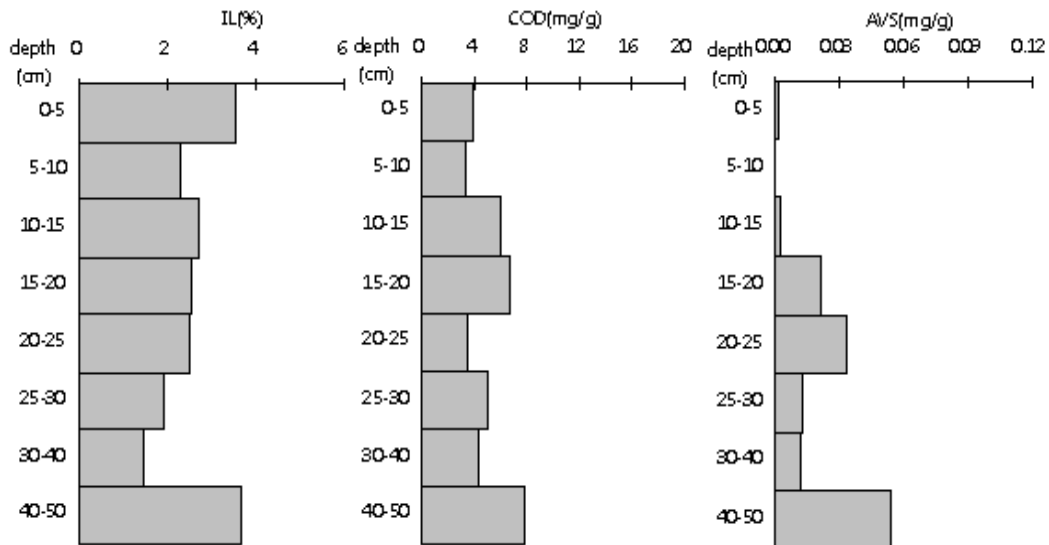


그림 3-2-73. 정점 D2의 주상시료 저질환경 상태

정점 B3 지점은 정점 D2와 아주 큰 차이를 보였다. 연직별 입도분포를 살펴보면 표층에서 20cm 깊이 가까이는 세립질 함량이 70~80% 이었으며 20-30 cm 층에서 50-55 cm 까지 조립질 함량이 70%가까이 증가하다 제일 깊은 층인 55-57 cm 층에서는 세립질 함량이 70%로 증가하였다(그림 3-2-74). IL은 표층에서 5.53%로 50-55 cm 층에서 1.96%로 이 층까지는 감소하다가 세립질이 늘어나는 55-57cm 층에서 3.87%로 증가였다. COD는

전 층에서 큰 변화를 보이지 않으며 7.93~13.80 mg/g으로 분석되었다. AVS는 15-20 cm 층에서 가장 높은 0.08 mg/g을 보였으며 표층에서 중간 깊이 까지 증가하다가 다시 감소하는 분포를 보였다(그림 3-2-75). 전체적으로 볼 때 국가별환경기준인 IL은 표층에서 10 cm 깊이까지는 5%(미국EPA기준)를 조금 상회하나, COD와 AVS는 각각 20 mg/g(COD 일본기준), 0.2 mg/g(AVS일본기준)에 훨씬 못 미치는 양호한 환경상태였다.

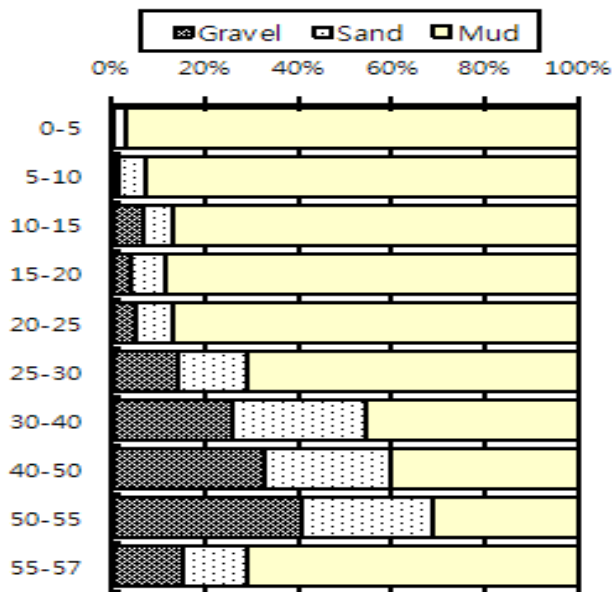


그림 3-2-74. 정점B3의 주상시료 입도 분석결과

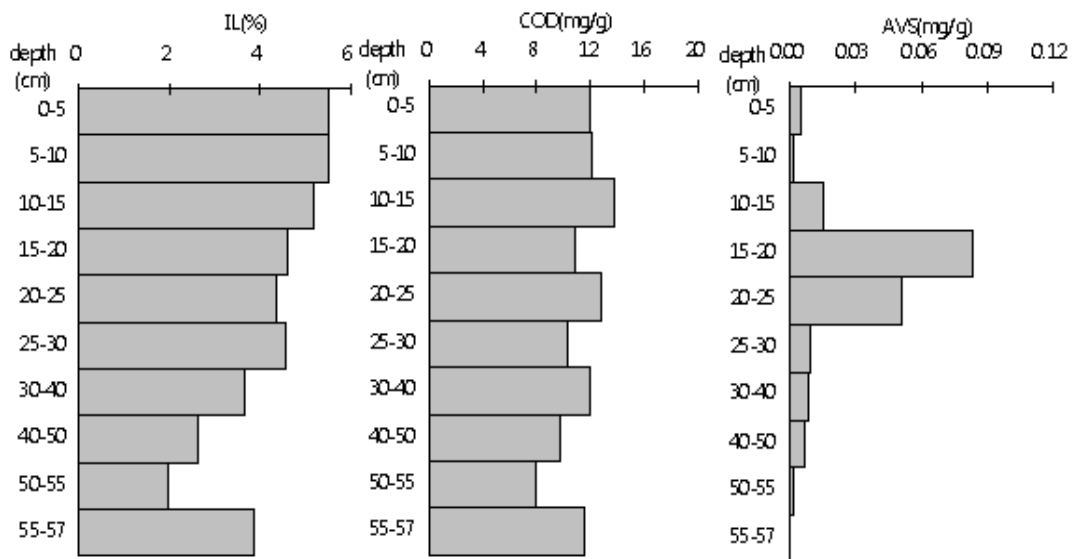


그림 3-2-75. 정점B3 주상시료의 저질환경 상태

(다) 표층 저질환경

시험어장의 표층 퇴적물의 환경상태를 조사하였다. 조사결과를 살펴보면 IL의 경우의 조하대 쪽이 조간대보다 높은 4~5%수준을 보였으며, 조간대 지역에서는 1~3% 수준으로 양호한 상태로 계절적인 큰 변동은 나타나지 않았다(그림 3-2-76).

시험어장 표층 퇴적물 COD는 계절적으로 공간 분포 변화가 심하지만, 10 mg/g 이하로 일본의 환경기준인 20 mg/g 크게 못 미치는 양호한 환경상태를 나타내었다(그림 3-2-77). 시험어장 표층 퇴적물 AVS는 계절적으로 공간 분포 변화가 크지 않았고 정점 D3지점에서 상대적으로 높은 값을 보이지만 일본의 퇴적물 환경기준인 0.2 mg/g 크게 못 미치는 양호한 환경상태를 나타내었다(그림 3-2-78). 시험어장 표층 퇴적물 chl-*a*는 공간적으로 B2, B3 지점에서 높고 조간대 정점 보다는 조하대 정점이 높게 나타났다. 계절적으로는 가을철보다 겨울철이 높은 값을 보였다(그림 3-2-79).

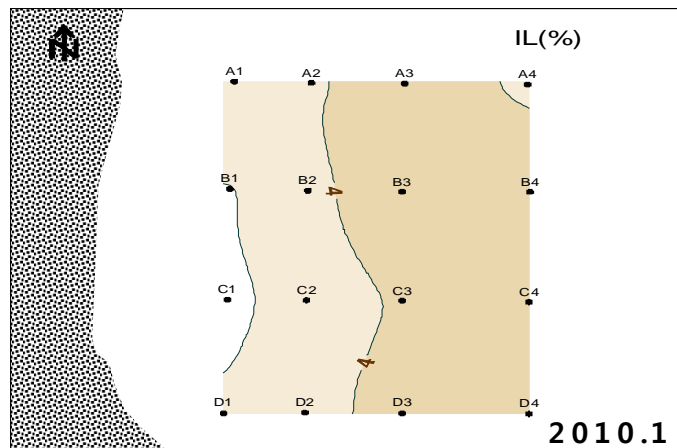
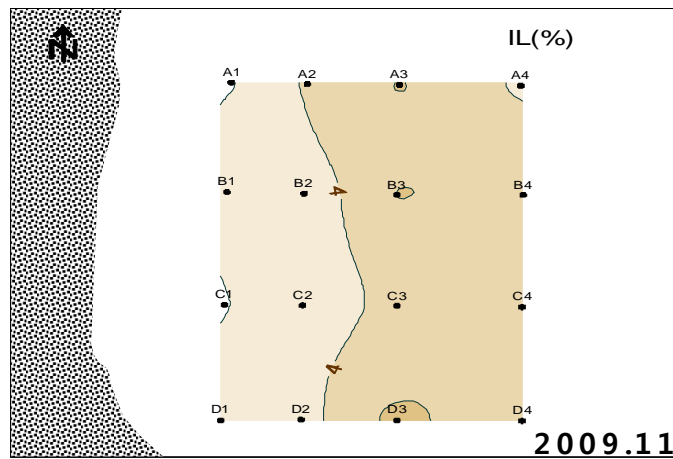
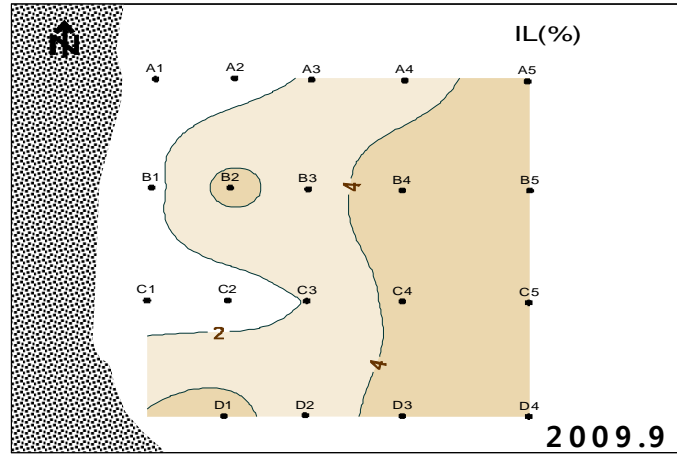


그림 3-2-76. 함평만 시험어장의 표층퇴적물 강열감량(IL)분포 및 계절 변화

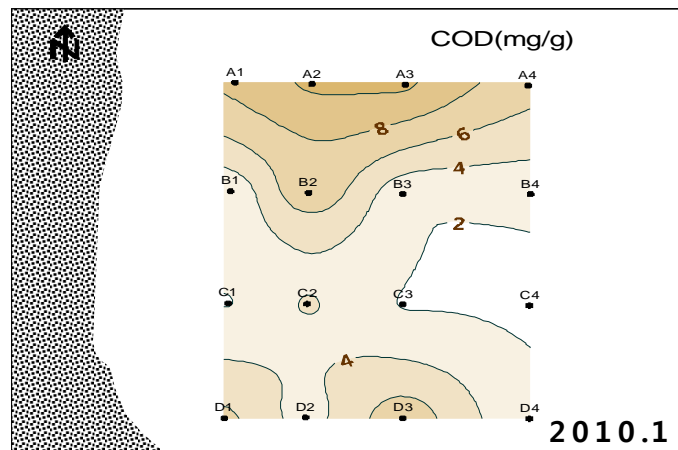
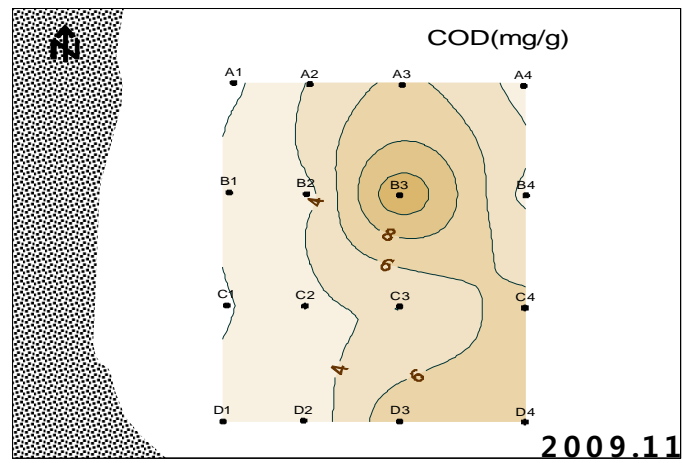
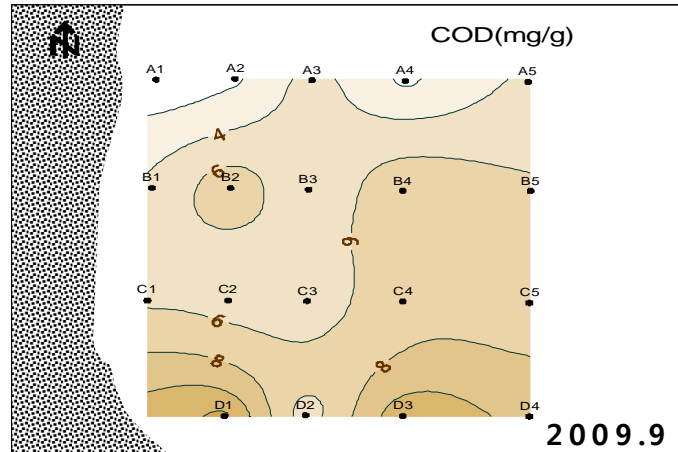


그림 3-2-77. 함평만 시험어장의 표층퇴적물 화학적산소요구량(COD)분포 및 계절 변화

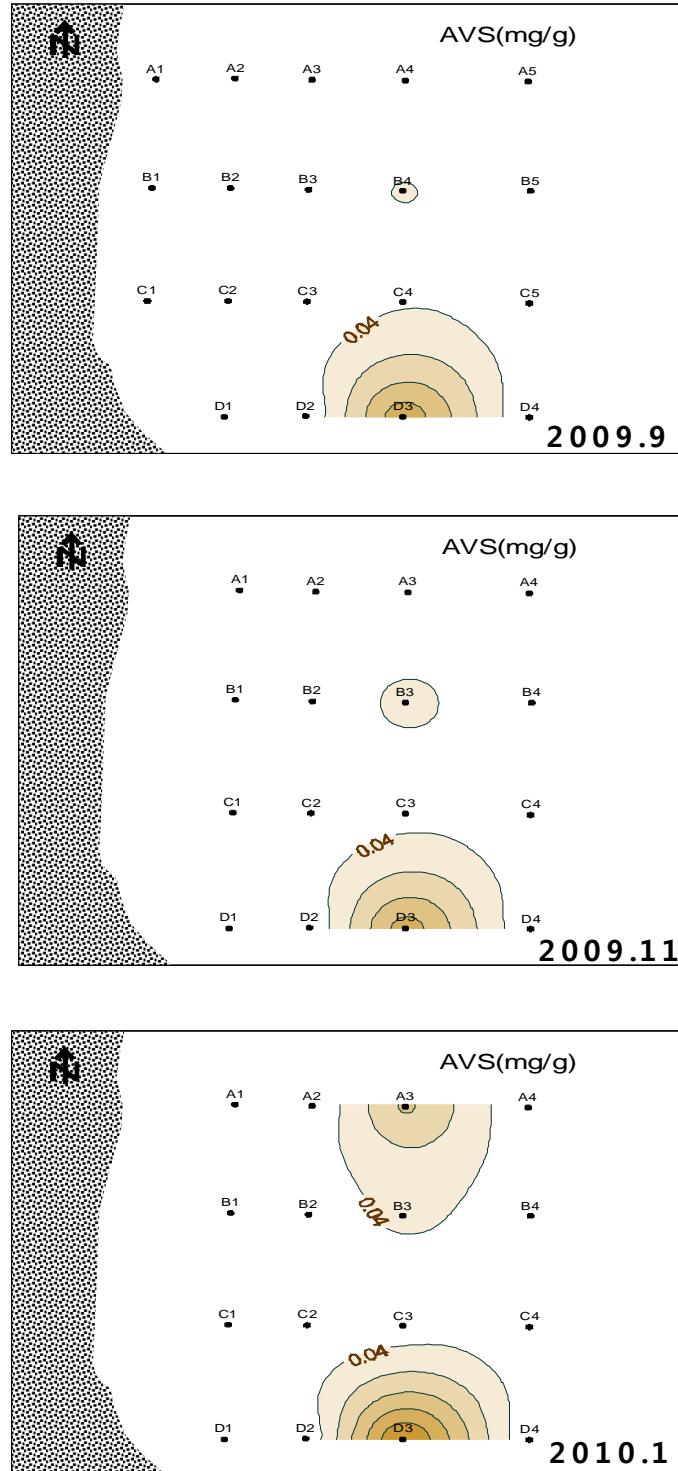


그림 3-2-78. 함평만 시험어장의 표층퇴적물 산화발성황화물(AVS)분포 및 계절 변화

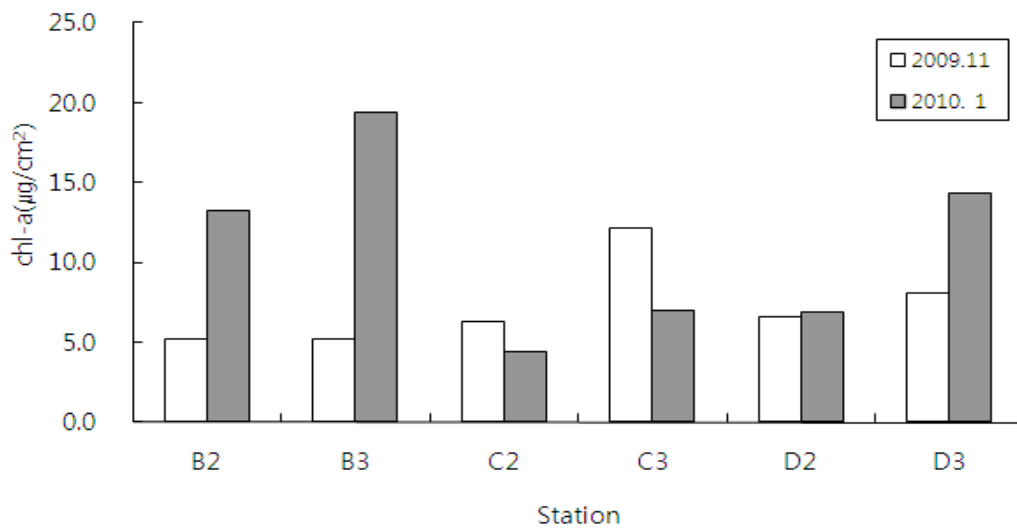


그림 3-2-79. 함평만 시험어장의 표층퇴적물 엽록소-a 변화. B2, C2, D2 정점은 조건대, B3, C3, D3 정점은 조하대 정점임

4. 생물

가. 조사방법

(1) 식물플랑크톤

조사해역의 부유생물 군집 조사를 위하여 현장에서 채집한 해수시료를 1ℓ 용 폴리에틸렌 표본병에 넣어 Lugol 용액으로 최종농도가 0.4% 되도록 고정하고 실험실에서 고정된 해수시료를 침전법에 의하여 24시간 침전시킨 후 상등액을 버리고 농축된 시료를 사용하여 정량과 정성 분석하였다. 시료의 농축은 Siphone을 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 100~200ml가 되도록 농축하여 검경 시료로 사용하였다. 정량분석을 위하여 농축된 시료를 균일하게 희석한 후 1ml를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 광학현미경 (BX41, Olympus)의 150배에서 엽록체를 함유하고 있는 세포를 계수한 후 해수의 단위체적당 세포수를 플랑크톤 현존량으로 환산하였다. 정성분석을 위하여 농축된 시료를 적당량 slide glass위에 놓고 400~1,000배하에서 검정·동정하였다. 시료의 분류 및 동정은 심(1994), Cupp(1943), Dodge (1982), Chihara and Murano(1997), Tomas(1997) 등의 참고문헌을 이용하였다. 우점종의 선별은 전체 현존량의 5% 이상 생물량을 기록한 종들을 대표적인 우점종으로 정리하였다. McNaughton (1968)의 정의에 따라 각 정점의 식물플랑크톤 현존량 중에서 가장 많은 비율을 차지하는 것을 최우점종으로, 그 다음을 아우점종으로 선정하였다. 식물플랑크톤 군집을 분석하여 생태계의 기능을 이해하기 위하여 종다양성 지수 (species diversity index), 균등성 지수 (evenness index), 풍부도 지수 (richness index)를 각각 구하였고, 풍부도 지수(R)는 Margalef(1958)의 공식에 따라 산출하였다.

$$R = \frac{S-1}{\ell_n N}$$

여기서 N은 식물플랑크톤 현존량이고, S는 출현종수이다.

종다양성 지수 (H')는 Shannon and Weaver (1963)의 아래의 식을 이용하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left[\frac{N_i}{N} \cdot \ell_n \frac{N_i}{N} \right]$$

여기서 N은 식물플랑크톤 현존량이고, n_i 은 각 종이 차지하는 세포수이다.

균등성 지수 (e)는 Lloyd and Ghelard(1964)와 Pielou(1966)의 식을 이용하였다.

$$e = \frac{H'}{\ell_n S}$$

여기서 H'는 종다양성 지수이고 S는 출현종수이다.

(2) 저서생물

저서동물의 채집은 채집면적이 0.25 m²인 방형구를 이용하여 그림 3-2-23, 3-2-31, 3-2-32에 나타난 각해역의 조사정점에서 5cm 깊이에서 채집하였으며, 현장에서 0.5mm 망목의 체(sieve)로 걸러내어 남은 잔존물을 10%의 중성 포르말린으로 고정 후 실험실로 운반하였다. 현장에서 채집한 샘플의 표본은 해부현미경 하에서 분류한 뒤, 해부현미경과 광학현미경을 이용하여 동정하였다. 동정된 각 종에 대하여 개체수와 생체량(습중량)을 측정하였으며, 이 값들은 단위 면적(m²)당 개체수와 생체량으로 환산한 뒤 생태학적 분석에 적용하였다. 다모류에 대한 동정은 백(1989)의 분류체계를 중심으로 하였고, 계와 새우는 김 (1973)의 분류체계를 중심으로 동정하였다.

군집분석을 위해 종 다양성지수 H' (Pielou, 1969), 풍부도지수 R' (Margalef, 1958), 균등도 J' (Pielou, 1975, 1977) 등을 이용하였고, 이들 지수의 계산식은 다음과 같다.

종 다양성 지수 Shannon-Wiener Function (Pielou, 1969)

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$$

(S: 출현 종수, Pi: 총 출현 개체수(N)에 대한 i번째 종의 개체수 (ni)의 비율(ni/N))

균등도 지수 (Pielou, 1975) $J' = H' / H' \max = H' / \ln S$

종 풍부도 지수 (Magalef, 1958) $R' = (S-1) / \ln(N)$ N: 총 출현개체수

나. 조사결과

(1) 바지락 양식장(남성리)

(가) 식물플랑크톤

1) 출현종 및 현존량

조사해역의 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량은 표 3-2-15~18과 같다. 2009년 11월 조사해역에서 출현한 식물플랑크톤은 총 40종으로 규조류(Bacillariophyceae) 26종으로 65.0%, 황금색조류(Chrysophyceae) 2종으로 5.0%, 남조류(Cyanophyceae) 1종으로 2.5%, 와편모류(Dinophyceae) 9종으로 22.5%, 유글레나류(Euglenophyceae) 2종으로 5.0%로 조사되었고, 동정하지 못한 종이 1종 출현하였다(그림 3-2-80). 총 현존량은 270 cells/ml로 나타났고 각 정점별 평균 현존량은 39 cells/ml로 조사되었다. 패류양식장이 위치한 St. 5에서 현존량이 52 cells/ml로 가장 많았으며, 수문이 위치한 St. 3에서 20 cells/ml로 가장 낮은 현존량을 나타냈다(그림 3-2-81). 출현종수도 마찬가지로 St. 5에서 17종으로 가장 많은 종이 출현하였고, St. 3에서 9종으로 가장 적게 출현하였다.

2010년 1월조사시에는 출현한 식물플랑크톤은 총 규조류(Bacillariophyceae) 51종이 조사되었지만 다른 분류군은 동정되지 않았으며, 총 현존량은 782 cells/ml, 각 정점별 평균 현존량은 112 cells/ml로 조사되었다. St. 7에서 205 cells/ml로 가장 높은 현존량을 나타냈고, St. 2가 78 cells/ml로 가장 낮은 현존량을 보였다. 출현종수의 경우 St. 2와 St. 7에서 21종으로 가장 많은 출현종수를 나타냈고 St. 1에서 12종으로 가장 적은 출현종수를 나타냈다.

2010년 5월조사시 출현한 식물플랑크톤은 총 31종으로 규조류(Bacillariophyceae) 26종으로 83.9%, 갈색편모조(Cryptophyceae) 2종으로 6.5%, 와편모류(Dinophyceae) 2종으로 6.5%, 녹조강(Chlorophyceae) 1종으로 3.2%로 조사되었다. 총 현존량은 392 cells/ml로 나타났고 각 정점별 평균 현존량은 55 cells/ml로 조사되었다. 패류양식장주변과 남부해역의 St. 6과 St. 7에서 72 cells/ml로 현존량이 가장 많았으며, 북부해역의 St. 1에서 40 cells/ml로 가장 낮은 현존량을 나타냈다. 출현종수도 마찬가지로 현존량이 가장 낮은 St. 1에서 8종으로 적었으며 St. 7에서 가장 많은 종이 출현하였다. 단 패류양식장이 위치한 St. 5에서도 9종으로 종이 적게 출현하였다.

2011년 8월조사시 출현한 식물플랑크톤은 총 55종으로 규조류(Bacillariophyceae) 45종으로 81.8%, 와편모류(Dinophyceae) 10종으로 18.2%로 조사되었고, 총 현존량은 3,043 cells/ml, 각 정점별 평균 현존량은 55 cells/ml로 조사되었다. 패류양식장주변의 St. 6에서 595 cells/ml로 현존량이 가장 많았으며, 수로가 위치한 St. 3에서 282 cells/ml로 가장 낮은 현존량을 나타냈다. 출현종수는 St. 4에서 36종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 현존량이 낮게 나타난 St. 3에서 25종으로 가장 적게 출현하였다.

표 3-2-16. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 (cells/mL)

Division	species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>	2	3	2	2	6	3	2	
	<i>Asterionella kariana</i>				2				
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>				2	2			
	<i>Chaetoceros</i> sp.					2			
	<i>Coscinodiscus nodulifera</i>							2	
	<i>Coscinodiscus perforatus</i>	2		2			3	3	
	<i>Coscinodiscus rothii</i>					2			
	<i>Coscinodiscus</i> sp.		3	3	2	3	5	5	
	<i>Coscinodiscus stellaris</i>			2	2				
	<i>Coscinodiscus vivante</i>		3						
	<i>Cyclotella comensis</i>		2		5	3		3	
	<i>Melosira juregensii</i>					2	2	2	
	<i>Melosira</i> sp.			2					
	<i>Navicula</i> sp.	2	3		2	3		3	
	<i>Nitzschia closterium</i>	4					5		
	<i>Nitzschia seriata</i>	4							
	<i>Nitzschia sigma</i>	2	2			5	2	2	
	<i>Nitzschia</i> sp.						3		
	<i>Odontella aurita</i>					3		5	
	<i>Pleurosigma elongatum</i>	2					2		
	<i>Rhizosolenia</i> sp.		2				2		
	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	4					3		
	<i>Thalassiosira punctigera</i>							2	
	<i>Thalassiosira rotula</i>	6					3	2	
	<i>Thalassiosira</i> sp.					3	3	6	
	<i>Thalassiosira subtilis</i>				3		2		
	Chrysophyceae	<i>Dictyocha fibula</i>			2				
		<i>Dictyocha speculum</i>		2					
Cyanophyceae	<i>Microcystis</i> sp.		2	2					
Dinophyceae	<i>Alexandrium catenella</i>		3		5				
	<i>Alexandrium</i> sp.					5		3	
	<i>Ceratium furca</i>	4							
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	2							
	<i>Glenodinium</i> sp.	2					3		
	<i>Gymnodinium</i> sp.	2	2						
	<i>Prorocentrum micans</i>					2	2	3	
	<i>Prorocentrum</i> sp.	6	2			5	5	3	
	<i>Protoperidinium</i> sp.	2							
	Euglenophyceae	<i>Euglena</i> sp.				2			
<i>Trachelomonas</i> sp.			2	2		2		2	
Other		2							
Total (cells/mL)		48	31	20	29	52	45	45	

표 3-2-17. 2010년 1월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 (cells/mL)

Division	species	1	2	3	4	5	6	7	
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>			3					
	<i>Asterionella kariana</i>	7	7	10	8	10	10	15	
	<i>Bacteriastrum comosum</i>		2					5	
	<i>Chaetoceros affinis</i>			3	3		3	5	
	<i>Chaetoceros debilis</i>	2	2						
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>		2						
	<i>Chaetoceros socialis</i>							5	
	<i>Chaetoceros</i> sp.	12	7	3		15	13	18	
	<i>Cocconeis pellucida</i>				13				
	<i>Coscinodiscus centralis</i>						3		
	<i>Coscinodiscus concinnus</i>						3		
	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>					5			
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>			7					
	<i>Coscinodiscus pseudomarginatus</i>							5	3
	<i>Coscinodiscus radiatus</i>						3		8
	<i>Coscinodiscus rothii</i>							3	5
	<i>Coscinodiscus</i> sp.					3	5	8	8
	<i>Coscinodiscus stellaris</i>				3				
	<i>Coscinodiscus vivante</i>			5	3				
	<i>Cyclotella comensis</i>	5			3				
	<i>Detonula pumila</i>			2					
	<i>Ditylumbrightwellii</i>				3				
	<i>Eucampia zodiacus</i>			7	10	15	15	10	20
	<i>Fragilaria striatule</i>	19							
	<i>Licmophora abbreviata</i>			2			3		
	<i>Melosira</i> sp.						3		
	<i>Navicula</i> sp.			2		3	5	3	8
	<i>Navicula viridula</i>	2				3		3	15
	<i>Nitzschia closterium</i>	7							
	<i>Nitzschia longissima</i>								
	<i>Nitzschia palea</i>				5			3	
	<i>Nitzschia pungens</i>				15				
	<i>Nitzschia seriata</i>	19	2			18	13	10	20
	<i>Nitzschia sigma</i>		2				5	3	
	<i>Nitzschia socialis</i>			2					
	<i>Nitzschia</i> sp.						3	8	
	<i>Odontella aurita</i>			2					
	<i>Pleurosigma elongatum</i>			2	3				5
	<i>Pseudonitzschia fragillissima</i>			2					
	<i>Rhizosolenia pungens</i>	2			5	3			
	<i>Rhizosolenia</i> sp.			7				8	13
	<i>Skeletonemacostatum</i>	10	7	10	10	10	10	10	20
	<i>Thalassiosira anguste</i>			2					
<i>Thalassiosira baltica</i>			5						
<i>Thalassiosira eccentrica</i>							3		
<i>Thalassiosira hyalina</i>	2				3				
<i>Thalassiosira leptopus</i>						8	5	13	
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	2				3				
<i>Thalassiosira punctigera</i>								3	
<i>Thalassiosira rotula</i>						3		3	
<i>Thalassiosira</i> sp.					5	8	10	10	
Total (cells/mL)		89	78	79	95	118	118	205	

표 3-2-18. 2010년 5월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 (cells/mL)

Division	species	1	2	3	4	5	6	7
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>				4			
	<i>Amphiprora sp.</i>			4	4		2	
	<i>Asterionella kariana</i>							4
	<i>Chaetoceros sp.</i>							2
	<i>Coscinodiscus perforatus</i>	4	2	2	2	2	2	
	<i>Coscinodiscus sp.</i>						4	4
	<i>Cyclotella comensis</i>			8		6	4	4
	<i>Dictyocha speculum</i>					2		
	<i>Ditylumbrighwellii</i>			2	4	4		
	<i>Eucampia zodiacus</i>	4						
	<i>Leptocylindrus sp.</i>	4				2	4	
	<i>Melosira juregensii</i>			4				
	<i>Melosira sp.</i>						2	
	<i>Navicula sp.</i>	4	6	8				2
	<i>Nitzschia closterium</i>			8	2			4
	<i>Nitzschia pungens</i>		4					
	<i>Nitzschia sigma</i>			4				
	<i>Nitzschia sp.</i>	4			2			2
	<i>Pleurosigma sp.</i>			2	2			
	<i>Pleurosigma angulatum</i>		2					
	<i>Pleurosigma elongatum</i>		2				2	2
	<i>Rhizosolenia pungens</i>	4					4	2
<i>Skeletonemacostatum</i>	10	6	12	14	16	20	14	
<i>Synedra sp.</i>		2						
<i>Thalassiosira hyalina</i>		6				2	2	
<i>Thalassiosira sp.</i>	6	12		4	2	2		
Chlorophyceae	<i>Schroederia indica</i>			2				
Dinophyceae	<i>Alexandrium minutum</i>							8
	<i>Prorocentrum sp.</i>				2			
Cryptophyceae	<i>Chroomonas sp.</i>						2	4
	<i>Cryptomonas sp.</i>		6	8	4	16	24	18
Abundance (cells/mL)		40	48	64	44	52	72	72
Number of species		8	10	12	11	9	12	14

표 3-2-19. 2010년 8월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 (cells/mL)

Division	species	1	2	3	4	5	6	7
Bacillariophyceae	<i>Bacteriastrum comosum</i>							16
	<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	6		1	3	2	7	24
	<i>Chaetoceros affinis</i>					9		
	<i>Chaetoceros brevis</i>	19	8	9	12	13	3	10
	<i>Chaetoceros concarvicornis</i>							4
	<i>Chaetoceros costatus</i>	116	101	74	112	149	228	142
	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	38	12	15	67	8	31	52
	<i>Chaetoceros danicus</i>	4	6	10	3	2	10	9
	<i>Chaetoceros debilis</i>			10		19	23	12
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	17	14	27	14	6	16	9
	<i>Chaetoceros didymus</i>		3	5	4	2	16	

표 3-2-19. 계속

Division	species	1	2	3	4	5	6	7	
Bacillariophyceae	<i>Chaetoceros lascinosus</i>	17	46	21	30	64	68	74	
	<i>Chaetoceros pelagicus</i>	32	40	27	35	32	37	34	
	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	4	1	3	4	3	6	5	
	<i>Chaetoceros sp.</i>	21	8	20	17	21	53	41	
	<i>Chaetoceros teres</i>						4	2	
	<i>Chroomonas sp.</i>	2		1	3				
	<i>Coscinodiscus sp. (small)</i>	1							
	<i>Cylindrotheca closterium</i>		1		2	1	1		
	<i>Diploneis sp.</i>		1						
	<i>Eucampia zodiacus</i>	5		2	4	4		3	
	<i>Hemiaulus sinensis</i>						2		
	<i>Lauderia borealis</i>	2			4	1			
	<i>Leptocylindrus danicus</i>			7	12	2	3		
	<i>Leptocylindrus minimum</i>			1	12		4	5	
	<i>Navicula membranacea</i>		1		9				
	<i>Navicula sp. (med)</i>	4	1	4	3	4	3	3	
	<i>Navicula sp. (small)</i>				1	0	1	0	
	<i>Nitzschia delicatissima</i>	14	14		34	22	17	31	
	<i>Nitzschia pungens</i>	17	13		24	23	19	0	
	<i>Nitzschia seriata</i>	8	1		8	6	11	28	
	<i>Nitzschia sp. (large)</i>							18	
	<i>Pleurosigma rectum</i>		1	1	1	1		1	
	<i>Rhizosolenia alata f. gracilis</i>					3	3	1	
	<i>Rhizosolenia delicatula</i>						3	2	
	<i>Rhizosolenia setigera</i>	1	1						
	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>		6				4		
	<i>Skeletonema costatum</i>	29		7	16		8	6	
	<i>Stephanopyxis turris</i>						3	2	
	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	1		6	12	4	4		
	<i>Thalassiosira rotula</i>						2		
	<i>Thalassiosira sp. (30um)</i>					1			
	<i>Thalassiosira sp. (small)</i>	3	5	4	2	6	1	1	
	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>			2	5	1	1	3	
	<i>Thalassiothrix longissima</i>	2	1	1			1	1	
	Dinophyceae	<i>Ceratium furca</i>	17	28	24	21	13		14
		<i>Ceratium fusus</i>		1			1		
		<i>Ceratium macroceros</i>				1			
		<i>Gymnodinium sp. (med)</i>		1			1		
		<i>Gymnodinium sp. (small)</i>	1		1		1	1	1
		<i>Gyrodinium sp. (med)</i>				1	0	0	0
		<i>Gyrodinium sp. (small)</i>	1	1		2	1	1	1
<i>Noctiluca scintillans</i>			1		1				
<i>Prorocentrum triestinum</i>		1					1	1	
<i>Protoperidinium sp.</i>					1				
Abundance (cells/mL)		40	48	64	44	52	72	72	
Number of species		8	10	12	11	9	12	14	

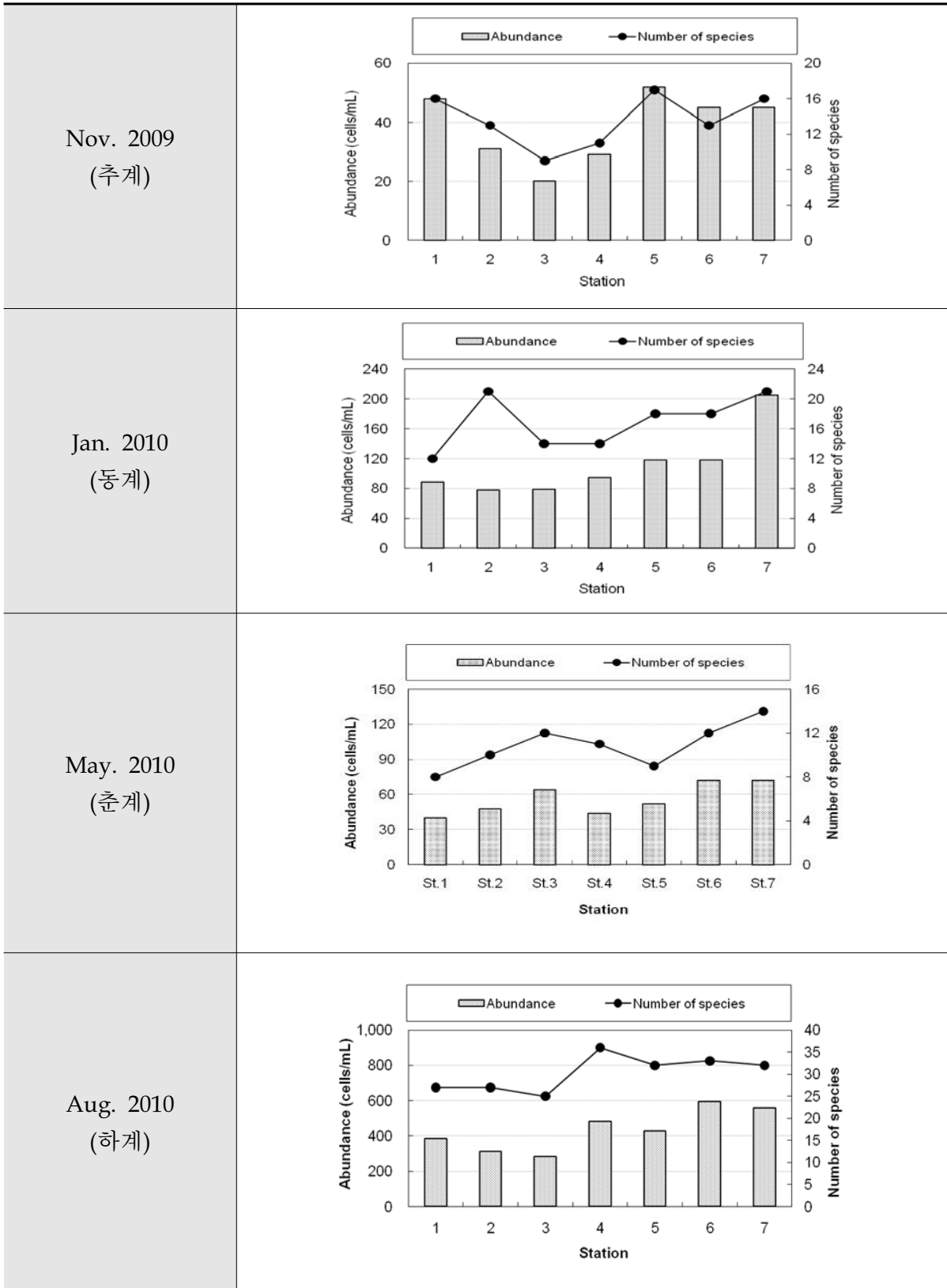


그림 3-2-80. 계절에 따른 식물플랑크톤의 정점별 현존량 및 출현종수 분포



그림 3-2-81. 계절에 따른 정점별 식물플랑크톤 종조성 변화

2) 우점종 출현현황

2009년 추계조사시 최우점종은 규조류인 *Coscinodiscus sp.*와 와편모조류인 *Prorocentrum sp.*로 전체의 7.8%의 우점율을 보여 우점도가 크게 높지 않았으며, 아우점종은 규조류인 *Achnanthes longipes*로 7.4%로 최우점종과 우점도가 큰 차이를 보이지 않았다. 각 정점별 우점종 현황은 St. 1에서는 규조류인 *Thalassiosira rotula*와 와편모조류인 *Prorocentrum sp.*가 우점하였고, St. 2와 St. 3에서는 출현종이 거의 비슷하였고, St. 4에서는 규조류인 *Cyclotella comensis*와 와편모조류인 *Alexandrium catenella*, St. 5에서는 규조류인 *Achnanthes longipes*, St. 6은 규조류인 *Thalassiosira sp.*, St. 7에서는 규조류인 *Coscinodiscus sp.*와 *Odontella aurita*가 우점하였다(그림 3-2-82).

2010년 동계 조사에서 최우점종은 규조류인 *Nitzschia seriata*가 전체의 10.5%로 우점하였으며, 규조류인 *Eucampia zodiacus*와 *Skeletonema costatum*가 9.8%로 아우점하였다. 정점별 우점종 현황은 St. 1에서 *Fragilaria striatule*와 *Nitzschia seriata*, St. 3에서 *Nitzschia pungens*, St. 4는 *Nitzschia seriata*, St. 5에서 *Chaetoceros sp.*와 *Eucampia zodiacus*, St. 6에서 *Chaetoceros sp.*, St. 7에서는 *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia seriata*와 *Skeletonema costatum*가 우점종으로 나타났다.

2010년 춘계조사에서 최우점종은 규조류인 *Skeletonema costatum*가 23.5%로 우점하였으며, 갈색편모조인 *Cryptophyceae*가 19.4%로 아우점하였다. 각 정점별 우점종 현황은 St. 2에서 규조류인 *Thalassiosira sp.*이 우점한 것을 제외하면 나머지 정점에서는 규조류인 *Skeletonema costatum*가 우점하였다.

2010년 하계조사에서 최우점종은 규조류인 *Chaetoceros costatus*가 30.3%로 우점하였으며, 아우점종은 *Chaetoceros lascinio*가 10.5%로 나타났다. 각 정점별 우점종 현황은 최우점종은 모두 *Chaetoceros costatus*로 나타났으며 St. 1과 St. 4는 *Chaetoceros curvisetus*, St. 2와 St. 5, 6, 7은 *Chaetoceros lascinosus*, St. 3은 *Chaetoceros pelagicus*가 그 다음으로 우점하였다. 전체적으로 우점종은 5월과 8월조사시 우점도가 높게 관찰되고 11월과 2월조사시에는 다양한 종이 출현하여 우점도가 낮게 나타났다.

3) 생태 지수

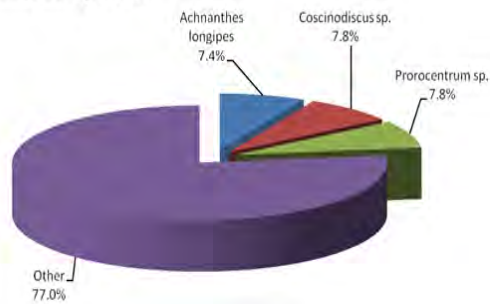
2009년 11월 조사해역의 식물플랑크톤 풍부도 지수는 평균 3.45이며, 균등도지수는 평균 0.98, 종다양성지수는 평균 2.53, 우점도지수는 평균 0.06을 나타내었으며, 균등도지수와 우점도지수의 경우에는 정점간의 큰 변화를 보이지 않고 유사한 결과를 나타내고 있었다(표 3-2-20).

2010년 1월 조사에서 식물플랑크톤 풍부도 지수는 평균 3.39이며, 균등도지수는 평균 0.92, 종다양성 지수는 평균 2.60, 우점도지수는 평균 0.08으로 나타나 생태지수결과를 토대로 각 정점별 군집구조의 안정성을 살펴보면, St. 2가 풍부도지수, 균등도지수, 종다양성지수 결과가 상대적으로 높고 우점도 지수가 낮아 타 정점에 비하여 안정된 군집구조였으며, St. 1이 가장 불안한 군집구조를 보였다.

2010년 5월, 조사해역의 식물플랑크톤의 생태지수 분석결과는 표 3-2-20과 같고, 풍부도 지수는 평균 2.45, 균등도지수는 평균 0.89, 종다양성 지수는 평균 2.10 우점도지수는 평균 0.14로 나타나 추계와 동계조사보다 종다양성 지수가 감소하여 다소 균집구조가 불안정해졌음을 지시하였으며 이에 반해 우점도 지수는 증가하였다.

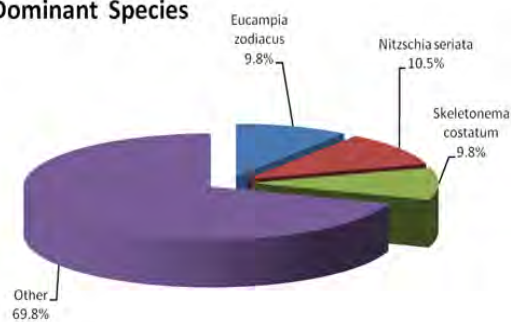
2010년 8월, 조사해역의 식물플랑크톤의 생태지수 분석결과는 표 3-2-19와 같고, 풍부도 지수는 평균 2.45, 균등도지수는 평균 0.89, 종다양성 지수는 평균 2.10 우점도지수는 평균 0.14로 나타나 추계와 동계조사보다 종다양성 지수가 감소하여 다소 균집구조가 불안정해졌음을 지시하였으며 이에 반해 우점도 지수는 증가하였다.

Dominant Species



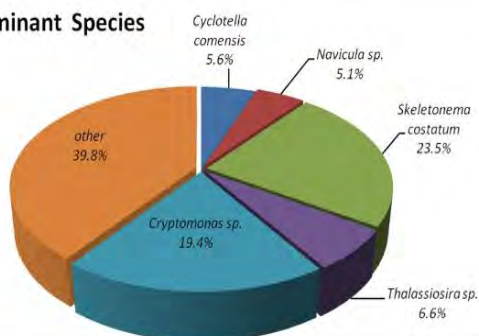
(a) 2009년 11월

Dominant Species



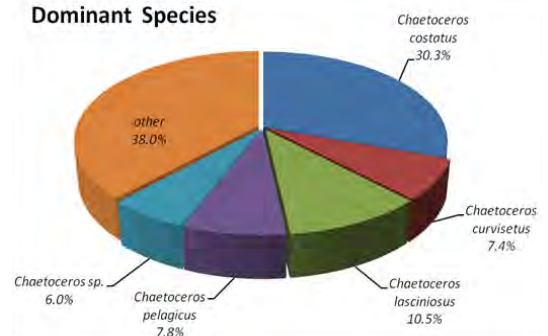
(b) 2010년 1월

Dominant Species



(c) 2010년 5월

Dominant Species



(d) 2010년 8월

그림 3-2-82. 계절에 따른 식물플랑크톤의 우점종 출현현황

표 3-2-20. 2009년 11월 식물플랑크톤의 정점별 생태지수

정점 \ 생태지수	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	종다양성지수 (H')	우점도지수 (D)	
Nov. 2009	1	3.87	0.96	2.67	0.06
	2	3.49	0.99	2.54	0.05
	3	2.67	0.99	2.18	0.07
	4	2.97	0.97	2.32	0.08
	5	4.05	0.97	2.75	0.05
	6	3.15	0.97	2.50	0.07
	7	3.94	0.98	2.72	0.05
	평균	3.45	0.98	2.53	0.06
Jan. 2010	1	2.45	0.87	2.16	0.13
	2	4.59	0.94	2.87	0.05
	3	2.98	0.93	2.44	0.09
	4	2.85	0.91	2.40	0.10
	5	3.56	0.93	2.70	0.07
	6	3.56	0.95	2.76	0.06
	7	3.76	0.94	2.85	0.06
	평균	3.39	0.92	2.60	0.08
May. 2010	1	1.90	0.97	2.01	0.12
	2	2.33	0.92	2.12	0.12
	3	2.65	0.93	2.31	0.10
	4	2.64	0.90	2.16	0.13
	5	2.03	0.82	1.80	0.20
	6	2.57	0.79	1.96	0.19
	7	3.04	0.88	2.31	0.12
	평균	2.45	0.89	2.10	0.14
Aug. 2010	1	4.37	0.77	2.54	0.13
	2	4.52	0.71	2.33	0.15
	3	4.25	0.80	2.59	0.11
	4	5.66	0.78	2.81	0.10
	5	5.12	0.70	2.43	0.16
	6	5.01	0.68	2.37	0.18
	7	4.90	0.76	2.64	0.11
	평균	4.83	0.74	2.53	0.13

4) 군집분석

2009년 추계조사에서 식물플랑크톤의 출현종과 개체수에 근거한 군집분석 결과는 그림 3-2-20과 같다. 유사도에 의한 군집은 크게 2개 그룹으로 구분되고 St. 1, 5, 7, 6이 A 그룹, 나머지 St.인 2, 3, 4가 B그룹으로 분류되었다. A그룹은 97% 이상의 유사도를, B그

룹은 95% 정도의 유사도를 보였으며, A와 B그룹의 유사도는 약 92%로 높게 나타났다(그림 3-2-83).

2010년 동계 조사에서 식물플랑크톤의 출현종과 개체수에 근거한 군집분석 결과는 유사도에 의한 군집은 크게 4개 그룹으로 구분되며 A그룹은 St. 7, B그룹은 St. 5, 6, C그룹은 St. 1, 4, D그룹은 St. 2, 3이 분류되었다. B그룹은 100%의 유사도를 나타내었는데 이는 두 정점에서 유사한 종들이 출현되었음을 의미하며, C그룹은 96%, D그룹은 약 95%의 유사도를 나타냈다.

2010년 춘계 조사시 유사도에 의한 군집은 크게 40%이상의 유사도를 나타냈으며 크게 2그룹으로 St. 1, 2(A그룹)와 나머지 정점(B 그룹)으로 구분되었다. 2010년 하계에는 이와는 달리 전체적으로 67% 이상의 유사도를 나타냈으며 크게 A그룹은 St. 6, 7, B그룹은 나머지 정점으로 분류되었다. 춘계와 하계조사 때에는 각 정점에서의 유사도가 낮게 나타남을 확인할 수 있었다.

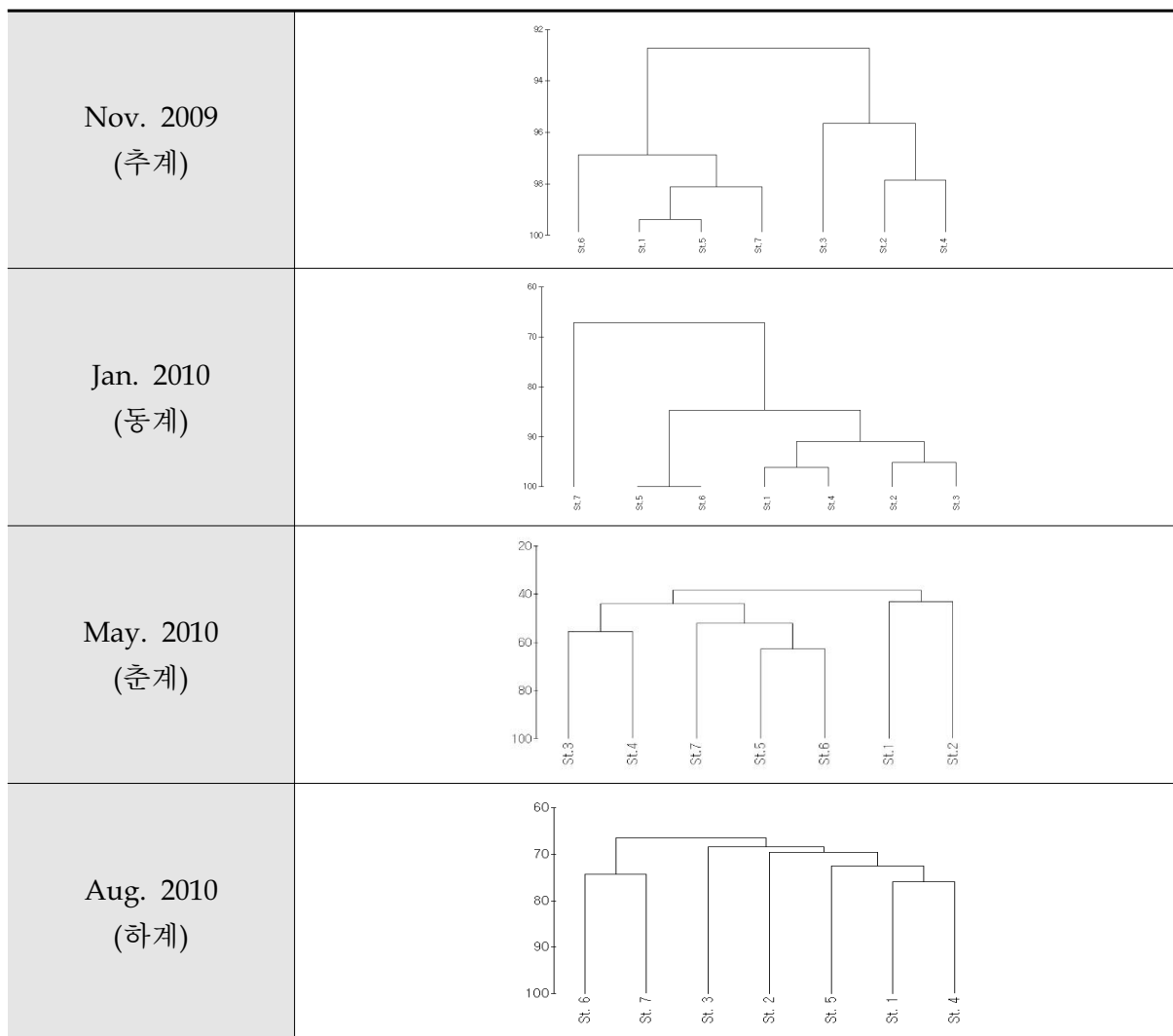


그림 3-2-83. 식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도

(나) 저서생물

1) 군집구성

2009년 추계조사에서 저서동물의 조사 결과 총 3개 동물문에서 31종, 312개체가 출현하여 평균 서식밀도는 324.9 개체/m²로 나타났다(표 3-2-21). 가장 우점한 동물군은 다모류로서 전체 출현동물의 56.7%를 차지하였고, 그 다음으로 연체동물 34.3%, 갑각류는 9%의 순이었으며, 서식밀도는 우점순에 따라 184.3 개체/m², 111.4 개체/m², 29.2 개체/m²였다. 대형저서동물 군집의 총 생물량은 683.4g으로 연체동물이 678.1g/m²(99.2%)으로 가장 높았고, 다모류가 2.9g/m²(0.4%), 갑각류가 2.5 g/m²(0.4%)를 차지하였다(그림 3-2-84).

2010년 동계조사에서는 총 4개 동물문에서 30종, 361개체가 출현하였고, 추계조사와 동일하게 가장 우점한 동물군은 다모류였고, 전체 출현동물의 57.9%를, 그 다음으로 연체동물이 34.3%, 갑각류가 7.5% 차지하였고, 성구동물문 0.3%가 새로 출현하였다. 전체 저서동물의 평균 서식밀도는 동계조사에서 1,282.0 개체/m²로 약 4배 증가하여 나타났고, 다모류의 서식밀도는 742.2 개체/m², 연체동물의 서식밀도는 440.3 개체/m², 갑각류의 서식밀도는 95.9 개체/m², 성구동물문은 3.6 개체/m²였다(그림 3-2-85).

저서동물 군집의 총 생물량은 709.8g으로 단위면적당 생물량은 2,520.5g/m²였고, 가장 높은 비중은 연체동물이 2,478.8g/m²(98.3%)였고, 다모류가 34.0g/m²(1.3%), 갑각류가 7.5g/m²(0.3%), 성구동물이 0.2g/m²를 차지하였다.

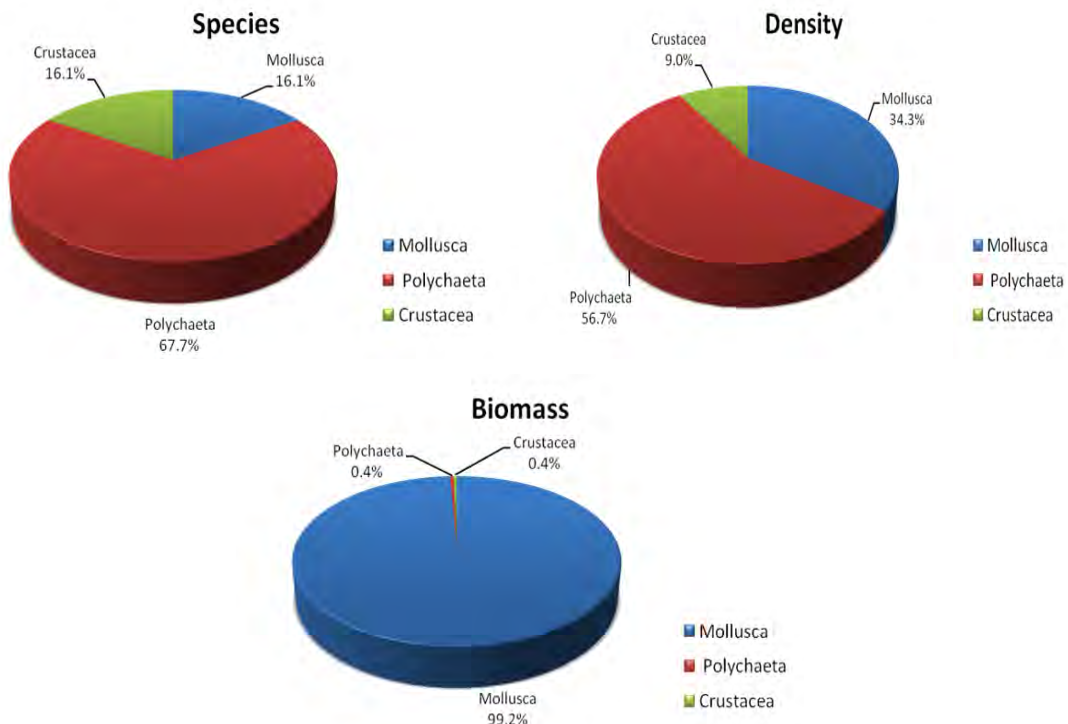


그림 3-2-84. 고흥 남성리 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집구성(2009년 11월)

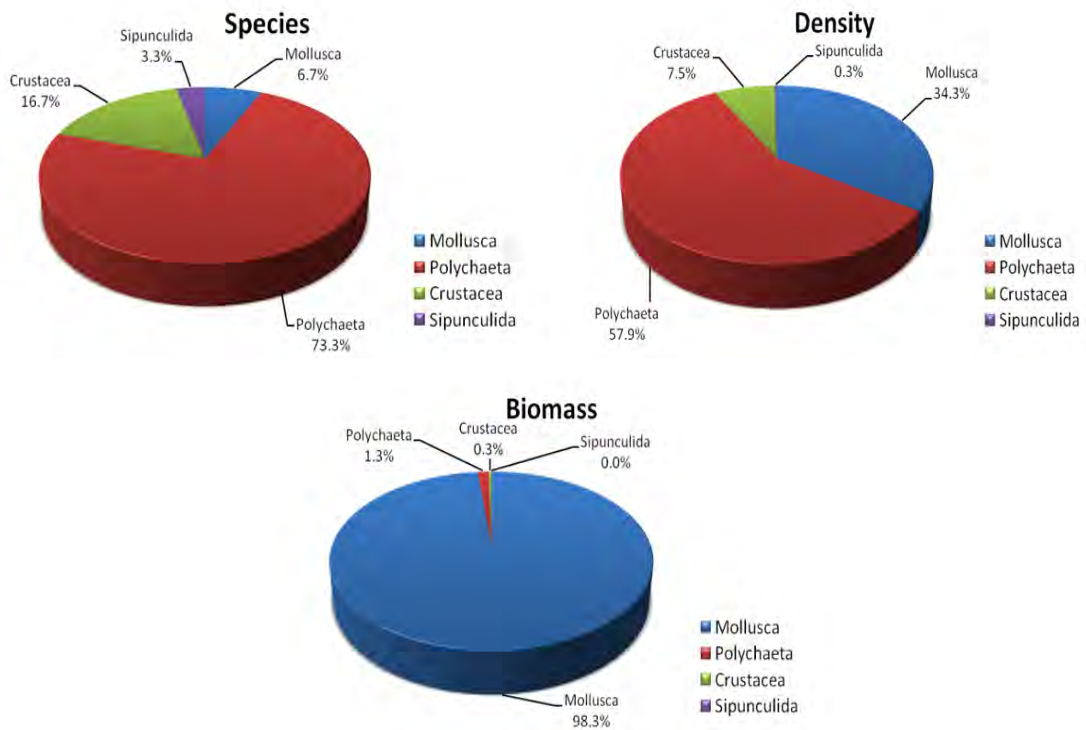


그림 3-2-85. 2010년 2월에 고흥 남성리 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집구성 비율

표 3-2-21. 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 분류군별 종수, 서식밀도 및 생물량

	Taxa /Parameter	Species	Individual	Density (Ind./ m ²)	Biomass	Biomass (g/ m ²)
Nov. 2009	Mollusca	5	107.0	111.4	651.2	678.1
	Polychaeta	21	177.0	184.3	2.8	2.9
	Crustacea	5	28.0	29.2	2.4	2.5
	Total	31	312.0	324.9	656.3	683.4
Feb. 2010	Mollusca	1	1	3.6	698.0	2,478.8
	Polychaeta	2	124	440.3	9.6	34.0
	Crustacea	22	209	742.2	2.1	7.5
	Sipunculida	5	27	95.9	0.1	0.2
	Total	30	361	1282.0	709.8	2,520.5

상기 결과는 서해 경기만의 368~550 개체/m² (Shin et al., 1989, 1992b), 남해 진해만의 1,045~1,441 개체/m² (Hong, 1987; KORDI, 1993), 동해 영일만의 2,085 개체/m² (Shin et al., 1992a)와 비교하면 추계조사 결과는 서해의 경기만보다 낮은 수준이며 동계조사 결과는 남해 진해만의 평균수준을 나타낸 것이다.

2) 우점종

2009년 추계조사에서는 총 17종이 1%이상의 우점종으로 출현하였으며 이중 연체동물

이 2종, 다모류가 14종, 갑각류가 1종이었고, 가장 우점한 종은 추계조사와 동일하게 바지락으로 98 개체가 출현하여 전체의 31.4%를 나타냈고 나머지 다모류인 *Lumbrineris longifolia*가 44 개체가 출현하여 14.1%로 나타났다. 나머지 종들은 10% 미만으로 출현하였다(표 3-2-22).

2010년 동계조사에서는 총 11종이 1%이상의 우점종으로 출현하였으며 이중 연체동물이 1종, 다모류가 8종, 갑각류가 2종이었다. 가장 우점한 종은 추계조사와 동일하게 바지락으로 121 개체가 출현하여 전체의 33.5%를 나타냈고 나머지 다모류인 *Prionospio sp.*가 57 개체가 출현하여 15.8%, *Heteromastus filiformis*가 39 개체로 10.8% 순으로 나타났고, 나머지 종들은 10% 미만으로 출현하였다(표 3-2-23).

표 3-2-22. 2009년 11월 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 우점종

Taxa / St.	St. 1	St. 2	St. 3	Ref. 4	SUM	%
Mollusca						
<i>Nassariidae unid.</i> (좁쌀무늬고둥과)	3	0	2	0	5	1.6
<i>Ruditapes philippinarum</i> (바지락)	93	0	5	0	98	31.4
Polychaeta						
<i>Anaitides koreana</i>	0	5	0	2	7	2.2
<i>Aricidea sp.</i>	1	0	0	4	5	1.6
<i>Glycera chirori</i>	7	2	4	11	24	7.7
<i>Glycinde sp.</i>	0	6	2	11	19	6.1
<i>Haploscoloplos elongatus</i>	0	2	1	1	4	1.3
<i>Heteromastus filiformis</i>	1	2	0	2	5	1.6
<i>Lumbrineris longifolia</i>	9	15	0	20	44	14.1
<i>Nephtys polybranchia</i>	0	6	0	6	12	3.8
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	0	9	0	7	16	5.1
<i>Platynereis bicanaliculata</i>	4	0	0	0	4	1.3
<i>Praxillella affinis</i>	0	2	0	1	3	1.0
<i>Prionospio sp.</i>	1	2	0	6	9	2.9
<i>Prionospio pinnata</i>	0	3	0	1	4	1.3
<i>Sternaspis scutata</i>	0	10	0	1	11	3.5
Crustacea						
<i>Macrophthalmus japonicus</i> (칠게)	5	5	10	3	23	7.4

표 3-2-23. 2010년 1월 남성리에서 출현한 저서동물 군집의 우점종

Taxa / St.	St. 1	St. 2	St. 3	Ref.4	sum	%
Mollusca						
<i>Ruditapes philippinarum</i> (바지락)	33	80	6	2	121	33.5
Polychaeta						
<i>Eteone sp.</i>	2	2	1		5	1.4
<i>Glycera chirori</i>	6	5	5	13	29	8.0
<i>Heteromastus filiformis</i>	9	9	9	12	39	10.8
<i>Lumbrineris longifolia</i>	3	8	1	13	25	6.9
<i>Platynereis bicanaliculata</i>	2	1	1		4	1.1
<i>Polydora sp.</i>		1		3	4	1.1
<i>Prionospio sp.</i>	12	35		10	57	15.8
<i>Tharyx sp.</i>	10	8	4	4	26	7.2
Crustacea						
<i>Macrophthalmus japonicus</i> (칠게)	4	4	7	3	18	5.0
<i>Amphipoda sp. 3</i>	4				4	1.1

3) 지역적 분포현황

2009년 추계조사에서 가장 풍부한 군집조성을 보인 정점은 대조구로 21종, 85 개체, 평균 서식밀도는 354 개체/m²였지만, 생물량은 St. 1에서 서식밀도 541 개체/m², 생물량 2,337.5 g/m²로 가장 높게 나타났고, 서식밀도가 가장 낮은 곳은 St. 3에서 6개체였고, 생물량은 St. 2에서 3.5 g/m²으로 가장 낮게 나타났다(그림 3-2-86).

2010년 동계조사에서 가장 풍부한 군집조성은 St. 2와 대조구에서 20종으로 나타났고 St. 2에서 평균서식밀도는 2,122. 개체/m², 생물량은 5,963.8 g/m²로 가장 풍부하게 나타났다. 그러나 대조구에서는 바지락이 거의 나타나지 않고 다모류가 다수종을 차지하고 있었다(그림 3-2-87).

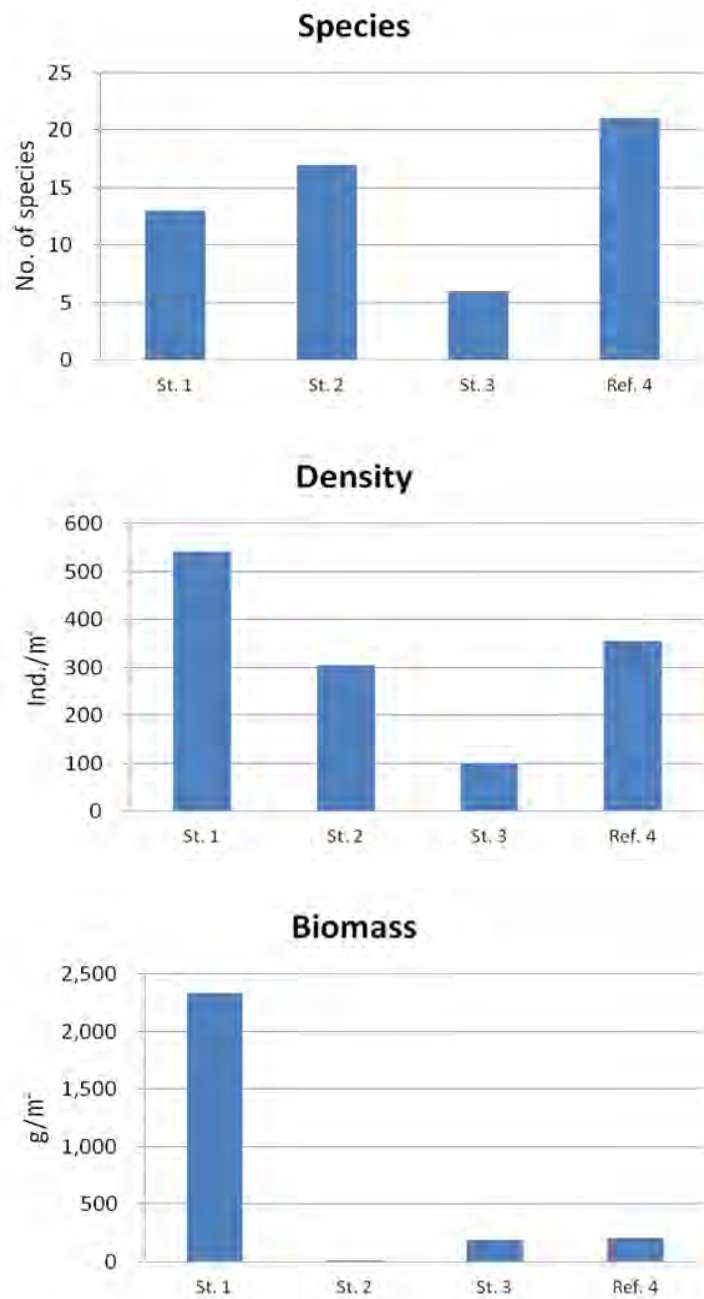


그림 3-2-86. 2009년 11월 고흥 남성리의 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물 군집의 종수, 서식밀도 및 생물량

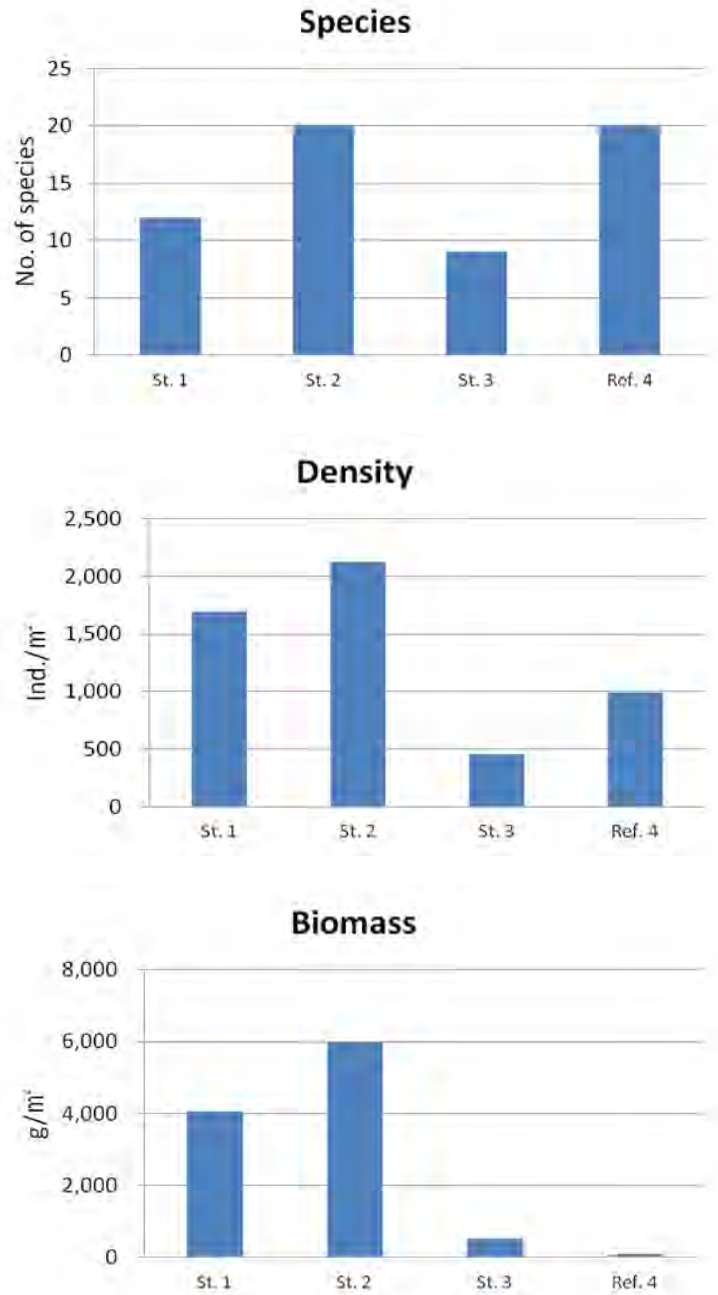


그림 3-2-87. 2010년 2월 고흥 남성리의 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물 군집의 종수, 서식밀도 및 생물량

4) 균집지수 및 유사도 지수

2009년 추계조사에서 종다양성지수는 대조구인 Ref. 4에서 2.53으로 가장 높게 나타났고, St. 1에서 1.22로 가장 낮게 나타났으며, 종균등도 지수는 St. 2에서 0.88로 가장 높고, St. 1에서 0.47로 가장 낮게 나타났다. 종풍부도지수도 종다양성지수와 동일하게 대조구에서 생물량이 가장 높게 나타났다(표 3-2-24).

2010년 동계 조사에서 종다양성지수는 추계 조사와 동일하게 대조구에서 2.50으로 최대값을 나타냈고, St. 2에서 1.76으로 최소값을 나타냈다. 종균등도 지수는 평균 0.87로 전반적으로 유사한 값을 나타냈으나 다양성지수가 가장 낮았던 St. 2의 경우 0.59로 매우 낮은 값을 나타냈다. 종풍부도는 다양성지수와 마찬가지로 대조구인 Ref.4에서 가장 높고, St. 1정점에서 가장 낮은 값을 보였다. 2009년 11월조사시 저서생물의 유사도는 전체적으로 85% 이상을 나타냈으며 St. 1를 제외하고 95% 이상의 유사도를 보였다(그림 3-2-88). 2010년 2월조사시에도 마찬가지로 85% 이상의 유사도를 보였으며 St. 1과 St. 2와 St. 3, Ref. 4가 유사한 분포를 보였다(그림 3-2-89).

표 3-2-24. 2009년 11월(추계)와 2010년 1월(동계)의 남성리에서 출현한 저서동물의 생태지수

구 분	Station	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	종다양성지수 (H')	우점도지수 (D)
Nov. 2009	St. 1	2.02	0.86	1.98	0.52
	St. 2	3.73	-	1.76	0.71
	St. 3	2.25	0.87	1.91	0.43
	Ref. 4	4.39	0.83	2.50	0.34
Feb. 2010	St. 1	2.47	0.47	1.22	0.78
	St. 2	3.73		2.49	0.34
	St. 3	1.57	0.86	1.54	0.63
	Ref. 4	4.50	0.83	2.53	0.36

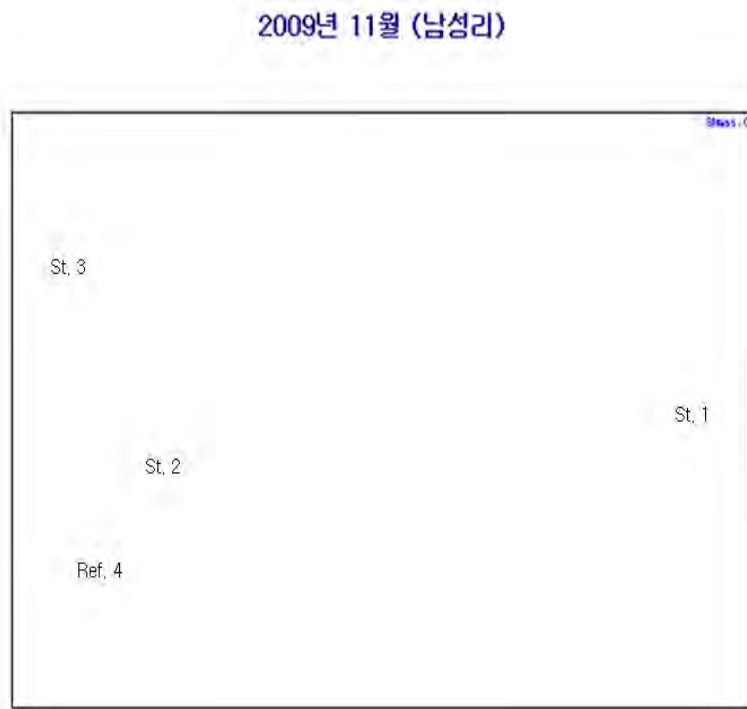
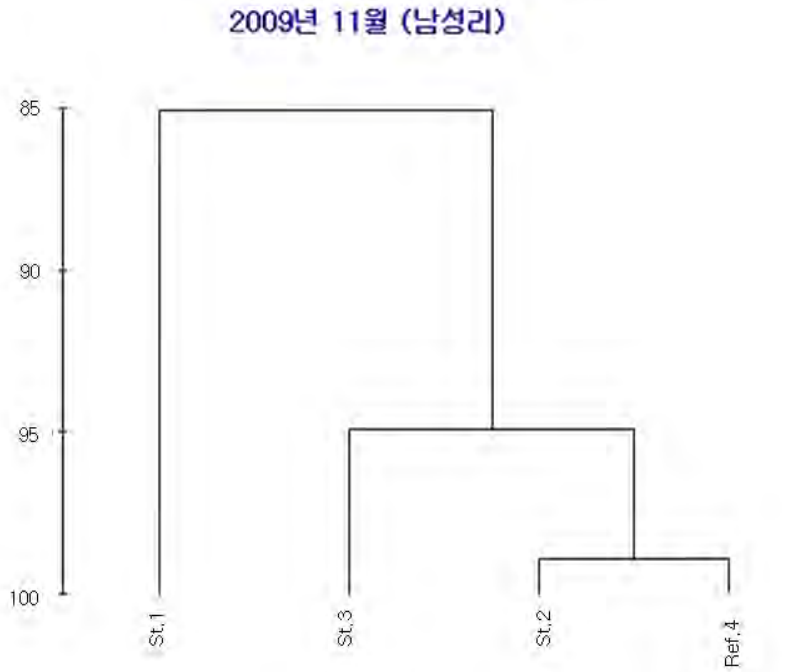
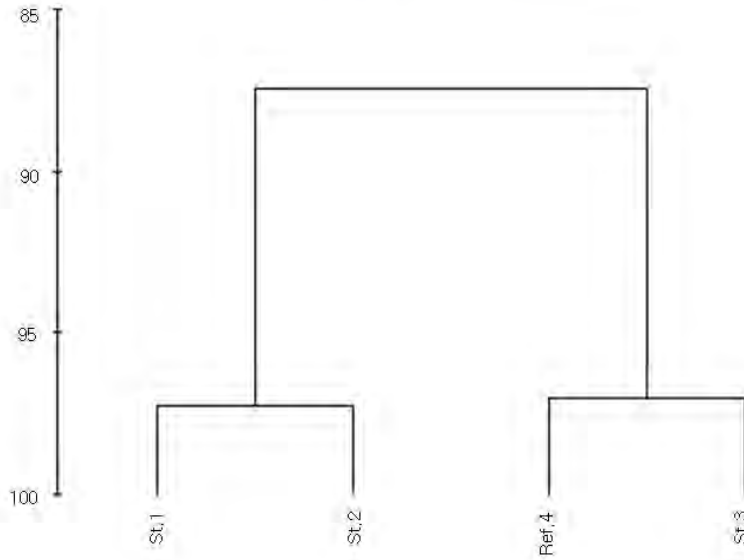


그림 3-2-88. 2009년 11월 고흥 남성리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법

2010년 02월 (남성리)



2010년 02월 (남성리)

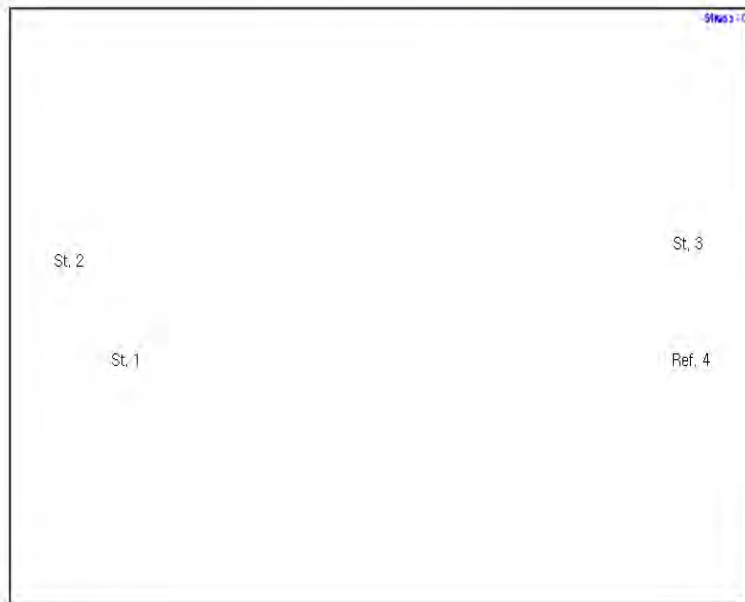


그림 3-2-89. 2010년 1월 고흥 계매리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법

(2) 꼬막 양식장(계매리)

(가) 식물플랑크톤

1) 출현종 및 현존량

조사해역의 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량은 표 3-2-25~27과 같다. 2009년 11월 꼬막양식장에서 출현한 식물플랑크톤은 총 19종으로 확인되었으며, 분류군별로는 규조류(Bacillariophyceae)가 14종으로 73.7%, 와편모류(Dinophyceae)가 5종으로 26.3%로 조사되었고 총 현존량은 94 cells/ml로 나타났다. 2010년 11월 시험포를 조성할 해역으로 연안과 인접하여 노출시간이 꼬막양식장에 비해 오래 지속되는 곳으로 꼬막이 자생하지 않는 해역임을 명시하며 시험포가 설치되기 전의 식물플랑크톤 종조성을 분석하였다(표 3-2-25).

본 조사해역에서 출현한 식물플랑크톤은 총 14종으로 규조류만이 확인되었고 총 현존량은 63 cells/ml로 나타났다(표 3-2-26). 그리고 시험포를 조성하고 2011년 2월 조사시 출현한 식물플랑크톤은 총 33종으로 확인되었으며, 분류군별로는 규조류(Bacillariophyceae)가 29종으로 87.9%, 와편모류(Dinophyceae)가 4종으로 12.1%로 조사되었고 총 현존량은 6,877 cells/ml로 나타났다. 조사해역 모두 식물플랑크톤 분류군별 분포양상은 규조류에 의한 점유율이 높게 나타나고 있었다(표 3-2-27).

표 3-2-25. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(꼬막양식장) (cells/ml)

Division	species	계매
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>	6
	<i>Coscinodiscus pseudomarfinita</i>	4
	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	8
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	6
	<i>Navicula</i> sp.	4
	<i>Nitzschia longissima</i>	2
	<i>Nitzschia seriata</i>	6
	<i>Nitzschia sigma</i>	2
	<i>Nitzschia</i> sp.	6
	<i>Pleurosigma elongatum</i>	4
	<i>Stauroneis membranacea</i>	2
	<i>Thalassiosira punctigera</i>	6
	<i>Thalassiosira rotula</i>	6
	<i>Thalassiosira</i> sp.	8
Dinophyceae	<i>Ceratium furca</i>	2
	<i>Glenodinium</i> sp.	6
	<i>Prorocentrum micans</i>	8
	<i>Prorocentrum</i> sp.	6
	<i>Proto-peridinium</i> sp.	2
Abundance (cells/ml)		94
Number of species		19

표 3-2-26. 2010년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(2차 시험포) (cells/mL)

Division	species	St. 1	St. 2	합계
Bacillariophyceae	<i>Chaetoceros costatus</i>		1	1
	<i>Chaetoceros debilis</i>		17	17
	<i>Chroomonas</i> sp.	3	5	9
	<i>Ditylum brightwellii</i>		1	1
	<i>Eucampia zodiacus</i>		4	4
	<i>Navicula</i> sp. (med)	1		1
	<i>Nitzschia seriata</i>		1	1
	<i>Skeletonema costatum</i>		8	8
	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	2	1	2
	<i>Thalassiosira rotula</i>	1	3	3
	<i>Thalassiosira</i> sp. (30um)		1	1
	<i>Thalassiosira</i> sp. (small)	3	4	7
	<i>Gymnodinium</i> sp. (small)		1	2
	<i>Gyrodinium</i> sp. (small)	1	3	4
Abundance (cells/mL)		11	52	63
Number of species		7	13	14

표 3-2-27. 2011년 2월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량(2차 시험포)

(cells/ml)

Division	species	St. 1	St. 2	St. 3	합계
Bacillariophyceae	<i>Chaetoceros costatus</i>	26	41		67
	<i>Chaetoceros danicus</i>			1	1
	<i>Chaetoceros decipiens</i>		6		6
	<i>Chaetoceros lascinosus</i>		6	6	12
	<i>Chaetoceros sp.</i>	8	8		16
	<i>Chroomonas sp.</i>	2	10	4	16
	<i>Coscinodiscus sp. (small)</i>	1		2	3
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	5		4	8
	<i>Diploneis sp.</i>			1	1
	<i>Ditylum brightwellii</i>	1	1	1	3
	<i>Eucampia zoodiacus</i>	71	124	39	233
	<i>Lauderia borealis</i>			7	7
	<i>Leptocylindrus danicus</i>		6		6
	<i>Leptocylindrus minimum</i>	14	33	12	59
	<i>Navicula sp. (med)</i>	9	4	13	27
	<i>Navicula sp. (small)</i>	2	1	1	5
	<i>Nitzschia delicatissima</i>	3	3	5	11
	<i>Nitzschia pungens</i>		2	6	8
	<i>Pleurosigma angulatum</i>			1	1
	<i>Pleurosigma normanii</i>	6		1	7
	<i>Pleurosigma rectum</i>	1	3	2	6
	<i>Rhizosolenia setigera</i>	2			2
	<i>Skeletonema costatum</i>	1,421	1,106	3,433	5,960
	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	9	20	88	118
	<i>Thalassiosira gravida</i>	6	6	5	17
	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	29	53	52	134
	<i>Thalassiosira rotula</i>		4		4
	<i>Thalassiosira sp. (30um)</i>	4	2	1	7
	<i>Thalassiosira sp. (small)</i>	6	64	50	120
Dinophyceae	<i>Gymnodinium sp. (small)</i>	1		1	2
	<i>Gyrodinium sp. (large)</i>		2		2
	<i>Gyrodinium sp. (med)</i>		1		1
	<i>Gyrodinium sp. (small)</i>	2	2	1	5
Abundance (cells/ml)		1,629	1,509	3,739	6,877
Number of species		22	24	25	33

2) 우점종 출현현황

2009년 11월의 최우점종은 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*, *Thalassiosira sp.*, 와편모조류인 *Prorocentrum micans*로서 최우선하였으나 8.5%로 높은 우점율을 보이지 않았으며 아우점종도 6.4%로 8종이나 나타났다(그림 3-2-90).

2010년 11월 시험포 예정지역의 최우점종은 *Chaetoceros debilis*로 전체의 27.9%를 차지하였고, 아우점종은 *Chroomonas sp.*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira sp. (small)*로서 각각 14.1%, 12.2%, 11.0%로 나타났다.

2011년 2월에는 최우점종은 chain을 형성하는 크기가 작은 *Skeletonema costatum*로 전체의 86.7%를 차지하여 대부분을 차지하였고, 아우점종은 *Eucampia zodiacus*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Thalassiosira sp. (small)*로서 각각 3.4%, 2.0%, 1.7%로 소량으로 나타났다.

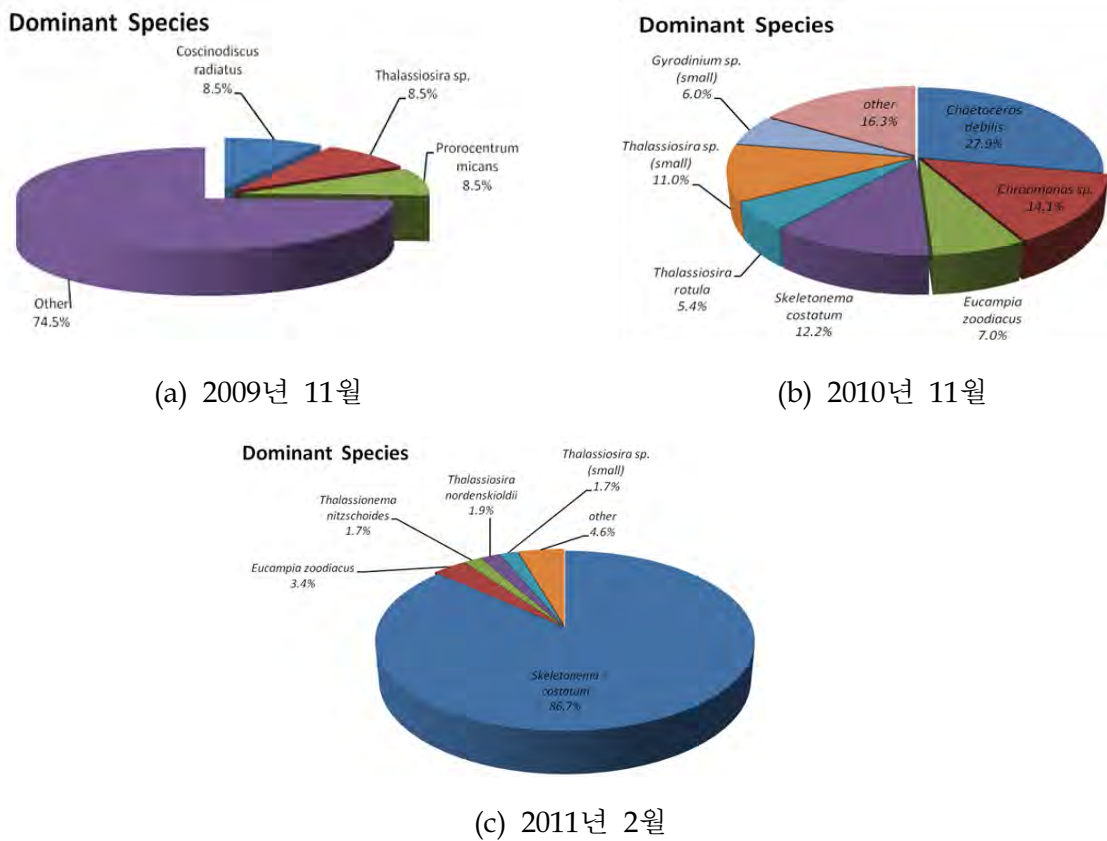


그림 3-2-90. 식물플랑크톤의 우점종 출현현황

3) 생태 지수

2009년 11월조사시 계매의 풍부도 지수는 3.96, 균등도지수는 0.97, 종다양성지수는 2.85, 우점도지수는 0.05로 나타났으며, 이를 남성리 평균생태지수와 비교해 본 결과 풍부도지수는 평균보다 다소 높은 값을 보였으며 나머지 항목은 유사하게 나타났다(표 3-2-28). 2010년 11월은 풍부도 지수가 평균 2.58, 균등도지수가 0.88, 종다양성지수가 1.89, 우점도지수는 0.14로 나타났으며 꼬막 양식장보다 종다양성지수가 매우 낮게 나타나 다소 군집구조가 불안정하게 나타났다. 2011년 2월조사시에는 종풍부도지수와 종다양성지수가 각각 평균 2.97, 0.77로 증가하여 다소 안정된 군집구조를 보였으나 *Skeletonema costatum*의 절대 우점으로 인하여 균등도 지수가 매우 낮게 나타난 반면 우점도는 매우 높게 나타났다.

표 3-2-28. 2009년 11월 식물플랑크톤의 정점별 생태지수

조사 시기	정점	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	종다양성지수 (H')	우점도지수 (D)
Nov. 2009	계매	3.96	0.97	2.85	0.05
Nov. 2010	St. 1	2.09	0.93	1.67	0.13
	St. 2	3.07	0.82	2.10	0.16
	평균	2.58	0.88	1.89	0.14
Feb. 2011	St. 1	2.84	0.22	0.68	0.76
	St. 2	3.14	0.37	1.18	0.55
	St. 3	2.92	0.14	0.46	0.85
	평균	2.97	0.24	0.77	0.72

(나) 저서동물

1) 군집구성

2009년 11월 계매 주변의 저서동물 조사 결과 총 3개 동물문에 속하는 13종, 359개체가 출현하였다(표 3-2-29). 가장 우점 출현한 동물군은 연체동물(Mollusca)로서 전체 출현동물의 개체수중 86.1%를 차지하였고, 다음은 다모류(Polychaeta) 13.6%, 갑각류가(Crustacea) 10.0%의 순이었다. 전체 저서동물의 평균 서식밀도는 299 개체/m²이었다. 연체류의 서식밀도는 257.4 개체/m², 다모류의 서식밀도는 40.8 개체/m², 갑각류의 서식밀도는 0.8 개체/m²이었다. 총생물량은 54.2 g으로 단위면적당 생물량은 45.1 g/m²였다. 가장 높은 비중을 차지한 분류군은 연체동물로 41.3 g/m²(91.4%)였고, 다음으로 갑각류가 2.8 g/m²(6.1%), 다모류는 1.1 g/m²(2.5%)였다(그림 3-2-91).

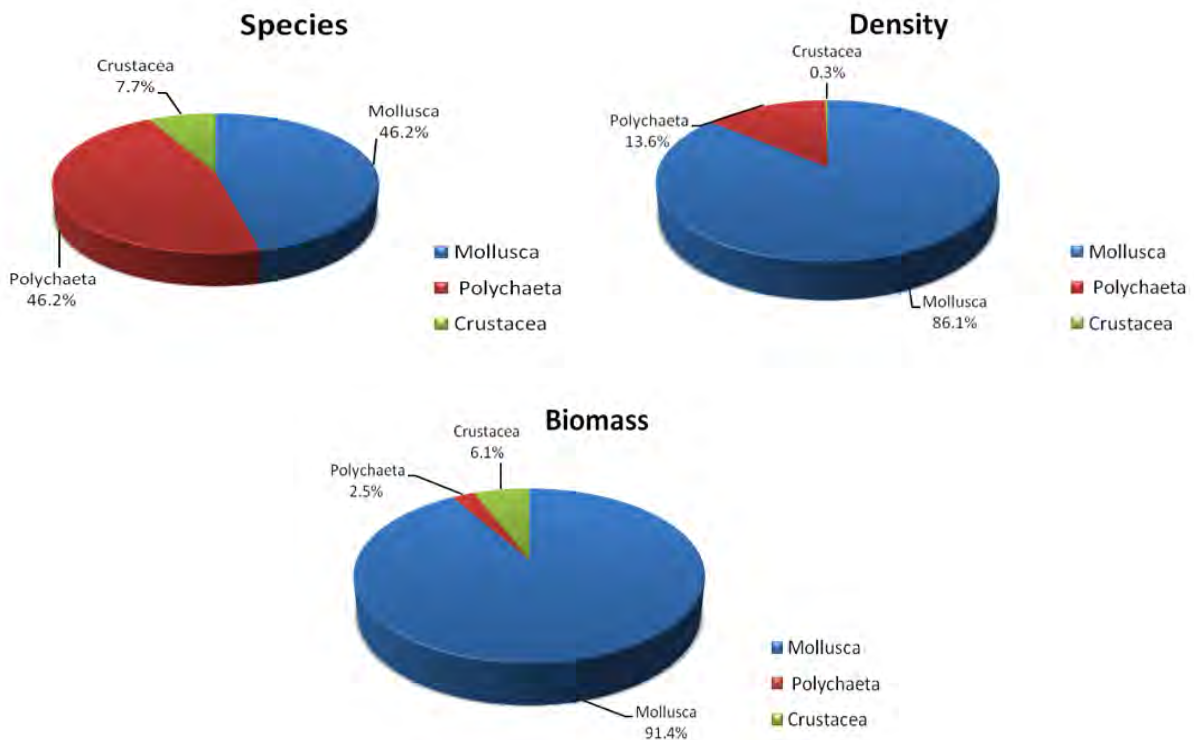


그림 3-2-91. 2009년 11월에 고흥 계매 주변해역에서 출현한 저서동물 군집의 군집구성 비율

표 3-2-29. 2009년 11월(추계)에 출현한 저서동물 군집의 분류군별 종수, 서식밀도 및 생물량

구 분	Taxa /Parameter	Species	Individual	Density (Ind./ m ²)	Biomass	Biomass (g/ m ²)
계매 Nov, 09	Mollusca	6	309.0	257.4	49.6	41.3
	Polychaeta	6	49.0	40.8	1.3	1.1
	Crustacea	1	1.0	0.8	3.3	2.8
	Total	13	359.0	299.0	54.2	45.1

2) 우점종

2009년 11월 계매에서 출현한 대형저서동물 중 1% 이상의 출현개체수를 차지한 우점종은 7종이었다. 이중 연체동물이 4종, 다모류가 3종이 우점종에 포함되었다. 가장 많은 개체수를 보인 종은 연체동물의 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*)로 262 개체가 출현하여 전체의 73.0%로 대부분을 차지했고, 연체동물인 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 22개체, 다모류인 *Prionospio sp.*가 19개체, *Heteromastus filiformis*가 18 개체로 5% 이상을 나타냈다(표 3-1-30).

표 3-2-30. 2009년 11월 계매에서 출현한 저서동물 군집의 우점종

Taxa / St.	계매1	계매2	계매3	계매4	계매5	SUM	%
Mollusca							
<i>Batillaria cumingi</i> (땡가리)	19		2	1		22	6.1
<i>Bullacta exarata</i> (민챙이)	5					5	1.4
<i>Naticidae unid.</i> (구슬우렁이과)					15	15	4.2
<i>Scapharca subcrenata</i> (새꼬막)	65	84	113			262	73.0
Polychaeta							
<i>Glycera chirori</i>	2			1	2	5	1.4
<i>Heteromastus filiformis</i>			3	13	2	18	5.0
<i>Prionospio sp.</i>				19		19	5.3

3) 지역적 분포현황

2009년 11월 고흥군 계매에서 가장 풍부한 균집조성을 보인 곳은 St. 4로 8종이 나타났다. 그러나 개체수가 39개체로 다른 정점에 비해 많지 않아 서식밀도는 162 개체/m²였다. 반면 서식밀도가 가장 높은 정점은 계매 3정점으로 3종이 나타났고 개체수의 대부분은 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)이었다. 생물량 최대값은 빈약한 균집조성에도 불구하고 계매1 정점에서 나타났다(그림 3-2-92).

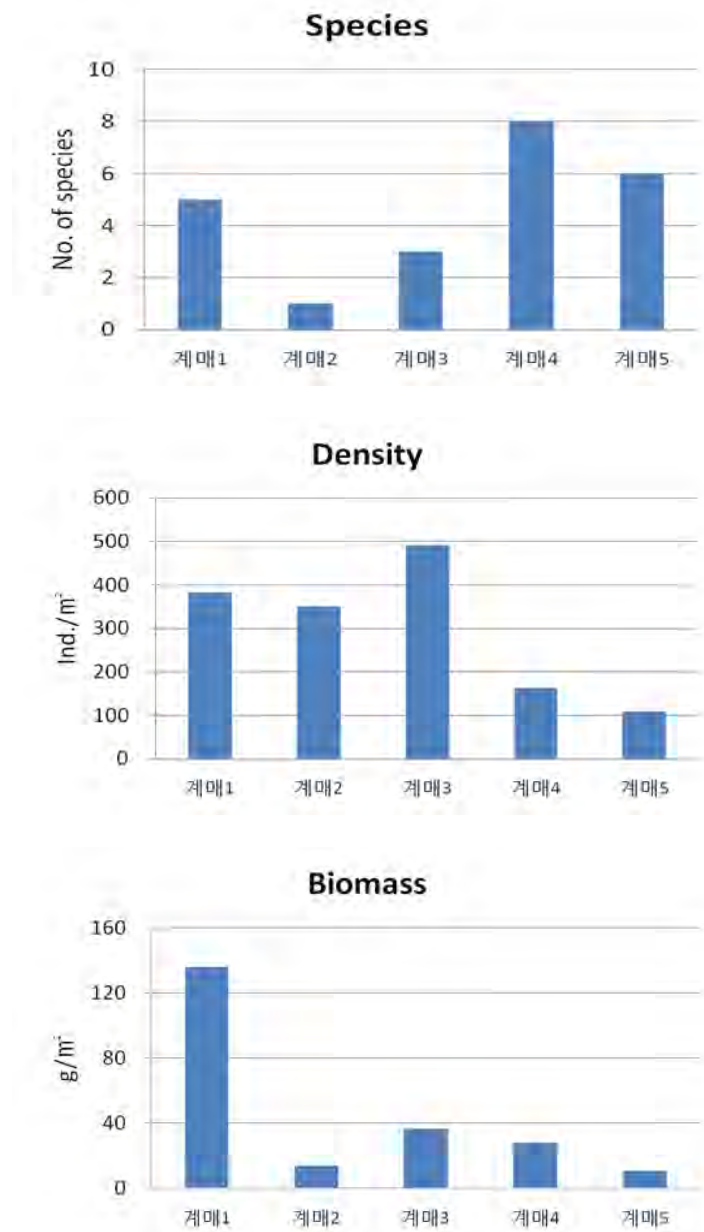


그림 3-2-92. 2009년 11월 고흥 계매의 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물 균집의 종수, 서식밀도 및 생물량

4) 군집지수 및 유사도 지수

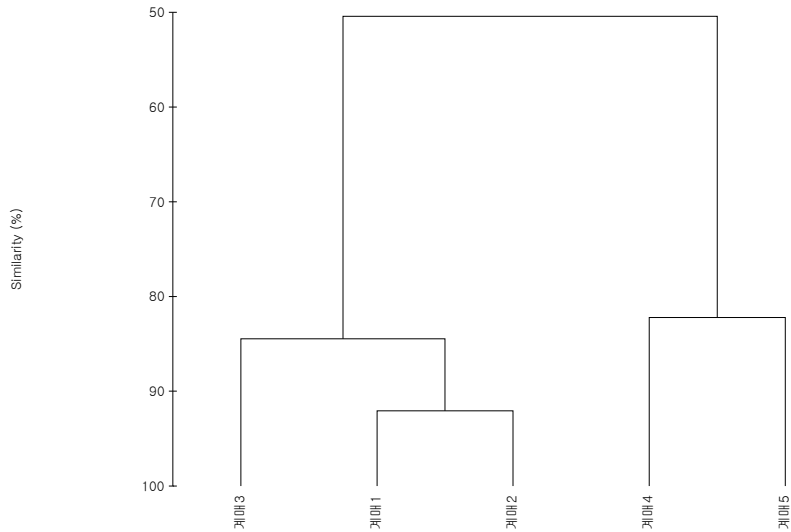
2009년 11월에 계매에서 출현한 대형저서동물 군집의 종다양성지수, 평균등도지수 및 종풍부도 지수는 다음과 같다. 종다양성지수 (H')는 계매 5에서 1.36으로 가장 높은 값을 보였고, St. 3에서 연체동물의 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)의 다량 출현으로 인해 높은 서식밀도에도 불구하고 가장 낮은 종다양성을 보였다. 계매 2는 새꼬막이 다량 출현하였으나 1종만 나타나 군집지수 계산에서 제외하였다. 평균등도지수는 계매 5에서 0.76으로 가장 높게 나타났다(표 3-2-31). 종풍부도지수는 계매 4에서 1.91로 가장 높게 나타났고, 계매 2에서 0.9로 가장 낮은 값을 보였다.

대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용하여 유사도지수를 구해본 결과, 본해역은 크게 2개의 그룹으로 구분되었고, 계매 1, 2, 3에서 새꼬막이 다량 출현하여 유사도지수 85%로 그룹을 형성하였고, 계매 4, 5에서 유사도지수 82%의 그룹을 형성하였다(그림 3-2-93).

표 3-2-31. 2009년 11월 계매에서 출현한 저서동물의 생태지수

	Station	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	종다양성지수 (H')	우점도지수 (D)
계매 Nov, 09	계매1	0.88	0.54	0.86	0.91
	계매2	0.00		0.00	1.00
	계매3	0.42	0.19	0.20	0.98
	계매4	1.91	0.64	1.34	0.82
	계매5	1.53	0.76	1.36	0.65

2009년 11월 (계매리)



2009년 11월 (계매리)



그림 3-2-93. 2009년 11월 고흥 계매리에서 출현한 대형저서동물 군집의 개체수 자료를 이용한 Cluster 분석 및 MDS 배열법

(3) 다목적 이용 복합양식장

(가) 식물플랑크톤

1) 종조성 및 현존량

2009년 9월, 11월과 2010년 1월 조사에서 측정된 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량을 표 3-2-32~34에 나타냈다.

2009년 9월조사시 Bacillariophyceae(규조류)은 46종, Dinophyceae(와편모조류) 8종, Cryptophyceae(갈색편모조류) 1종, Chlorophyceae(녹조류) 1종, Euglenophyceae(유글레나류) 1종, 그 외 종 1종으로 총 58종이 조사되었다. 본 조사시기에는 규조류는 80%, 와편모조류는 15.4%, 갈색편모조류 2.2%, 녹조류, 그 외종 0.9%, 유글레나류가 0.3%를 차지하였다. 각 정점별 평균 현존량은 73 cells/ml로 나타났으며, 정점별 현존량 및 출현종수는 그림 3-2-94과 같고 최소값은 C3에서 39 cells/ml, 최대값은 D4 106 cells/ml로 현존량이 가장 많이 나타났다. 출현종수는 최소값은 현존량과 마찬가지로 C3에서 13종으로 나타났으나 최대종수는 B3에서 26종으로 가장 많은 종이 출현하였다.

2009년 11월조사시에는 Bacillariophyceae(규조류)은 45종, Dinophyceae(와편모조류) 12종, Cryptophyceae(갈색편모조류) 1종, 그 외 1종이 조사되어 총 59종이 조사되었다. 전체 출현량 중 규조류는 81.8%, 와편모조류는 17.3%, 갈색편모조류는 0.6%를 차지했고 그 외 나머지 종이 0.3%를 나타냈다. 각 정점별 평균 현존량은 83 cells/ml로 나타났으며, 최소값은 A2에서 71 cells/ml, 최대값은 B2에서 101 cells/ml로 출현하였으며 출현종수는 이와 달리 A4, C4에서 18종으로 가장 낮았고, D4에서 27종으로 가장 많은 종이 출현하였다 (그림 3-2-95).

2010년 1월조사시 Bacillariophyceae(규조류)은 41종, Dinophyceae(와편모조류) 2종, Cryptophyceae(갈색편모조류) 2종, Chrysophyceae(황금빛 조류) 1종이 출현하여 총 46종이 조사되었다. 본 조사시기에는 규조류는 90%, 와편모조류는 2.4%, 갈색편모조류 4.9%, 황금빛 조류 2.6%를 차지하였다. 각 정점별 평균 현존량은 87 cells/ml로 나타났으며, 정점별 현존량 및 출현종수는 표 3-2-33과 같다. 현존량이 가장 낮은 정점은 A2에서 38 cells/ml, 가장 높은 정점은 B4 157 cells/ml로 나타났고, 출현종수는 현존량과 마찬가지로 A2에서 13종으로 최소값, B4에서 24종으로 최대값을 나타냈다.

전반적으로 도리포시험어장에서는 규조류가 80% 이상을 차지했고, 와편모조류와 갈색편모조류가 매 조사시기마다 출현하였으며, 11월조사시 출현종수는 타계절에 비해 높았던 반면 현존량은 578 cells/ml로 가장 낮았고 1월에는 이와 반대로 출현종수는 가장 낮은 반면 현존량은 699 cells/ml로 가장 높게 나타났다.

표 3-2-32. 2009년 9월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 (cells/mL)

Division	species	A3	A5	B3	B5	C3	C5	D2	D4	
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>			3						
	<i>Achnanthes longipes</i>							2		
	<i>Amphiprora sp.</i>			3			2			
	<i>Asterionella glacialis</i>							3		
	<i>Bacteriastrum comosum</i>						2			
	<i>Caloneis sp.</i>				4					
	<i>Chaetoceros brevis</i>			2	3					
	<i>Chaetoceros danicus</i>		2							
	<i>Chaetoceros sp.</i>			2			2	2		
	<i>Coscinodiscus concinnus</i>	2								
	<i>Coscinodiscus perforatus</i>		2	2						
	<i>Coscinodiscus pseudomarfinita</i>								2	5
	<i>Coscinodiscus radiatus</i>						4	2	3	3
	<i>Coscinodiscus sp.</i>				6	4			5	2
	<i>Coscinodiscus stellaris</i>				2					
	<i>Coscinodiscus vivante</i>				2	4				
	<i>Cyclotella comensis</i>	4	5	3						3
	<i>Ditylium sol</i>			2						
	<i>Ditylumbrighwellii</i>								3	2
	<i>Leptocylindrus danicus</i>					3		5		3
	<i>Leptocylindrus sp.</i>				2					2
	<i>Navicula sp.</i>	4		2					5	3
	<i>Nitzschia closterium</i>	5	7			6		7	7	5
	<i>Nitzschia palea</i>	2	3							3
	<i>Nitzschia pungens</i>	2	5			3				
	<i>Nitzschia seriata</i>	9		15	1	9	12	12	12	2
	<i>Nitzschia socialis</i>					3				
	<i>Nitzschia sp.</i>	4	2				2	4	2	3
	<i>Odontella mobiliensis</i>					3				
	<i>Odontella sinensis</i>				2					

표 3-2-32. 계속

Division	species	A3	A5	B3	B5	C3	C5	D2	D4
	<i>Pleuosiema</i> sp.				4				
	<i>Pleurosigm ambrosianum</i>			2					
	<i>Pleurosigma angulatum</i>				3				
	<i>Pleurosigma elongatum</i>	2	7		12	2	5	13	15
	<i>Pseudonitzschia fragillissima</i>					2			
	<i>Rhizosolenia</i> sp.							3	
	<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>		2					2	3
	<i>Skeletonemacostatum</i>						2		5
	<i>Stephanopyxis turris</i>		2	2	3	2	4	8	7
	<i>Thalassiosira anguste</i>		2						
	<i>Thalassiosira hyalina</i>			2					
	<i>Thalassiosira leptopus</i>		3						
	<i>Thalassiosira punctigera</i>							3	7
	<i>Thalassiosira rotula</i>			2		2	4	2	2
	<i>Thalassiosira</i> sp.	4	9	7	4	6	7	8	5
	<i>Thalassiothrix</i> sp.	2							
Chlorophyceae	<i>Closterium Kuetzingii</i>						5		
Cryptophyceae	<i>Cryptomonas</i> sp.			2	4	4	4		
Dinophyceae	<i>Alexandrium minutum</i>		2						2
	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	2	2			2	2		3
	<i>Alexandrium</i> sp.	5	5	3	3	2	7	7	3
	<i>Heterocapsa triquerta</i>		2	2					
	<i>Prorocentrum compressum</i>		2		3				
	<i>Prorocentrum micans</i>			2				3	
	<i>Prorocentrum</i> sp.	2					5	2	5
	<i>Protoperidinium</i> sp.		5	2		2		3	3
Euglenophyceae	<i>Trachelomonas</i> sp.			2					
	other		2	2	3				
	TOTAL	46	69	73	71	39	80	99	100

표 3-2-33. 2009년 11월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량

(cells/ml)

Division	species	A2	A4	B2	C2	C4	D2	D4
Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>					4		
	<i>Amphiprora</i> sp.					5		
	<i>Bacteriastrum minus</i>				5			
	<i>Caloneis</i> sp.						2	
	<i>Chaetoceros brevis</i>						2	
	<i>Chaetoceros concavicornis</i>						2	
	<i>Chaetoceros danicus</i>				2			
	<i>Chaetoceros debilis</i>	1			2			
	<i>Chaetoceros socialis</i>			2				
	<i>Chaetoceros</i> sp.	3		2	4	4	5	
	<i>Coscinodiscus concinnus</i>	1			2			
	<i>Coscinodiscus perforatus</i>				5	5		
	<i>Coscinodiscus pseudomarfinita</i>		2	2		2	5	3

표 3-2-33. 계속

Division	species	A2	A4	B2	C2	C4	D2	D4
Bacillariophyceae	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3	7	5		2	2	2
	<i>Coscinodiscus rothii</i>	3	3	3		5	2	2
	<i>Coscinodiscus sp.</i>	4	3	3	2	4	4	5
	<i>Coscinodiscus vivante</i>				2			
	<i>Cyclotella comensis</i>		2		2		2	3
	<i>Ditylumbrighwellii</i>	3						
	<i>Leptocylindrus danicus</i>	3				2		3
	<i>Leptocylindrus sp.</i>	1			5	4		2
	<i>Navicula sp.</i>		3			2		5
	<i>Navicula viridula</i>		2					
	<i>Nitzschia closterium</i>	3	7	5	4	4	4	3
	<i>Nitzschia longissima</i>	1						2
	<i>Nitzschia palea</i>	1	2	5				
	<i>Nitzschia pungens</i>	1		2			2	
	<i>Nitzschia seriata</i>	9	13	10	12	20	2	10
	<i>Nitzschia sigma</i>				2			2
	<i>Nitzschia socialis</i>				2			2
	<i>Nitzschia sp.</i>		2	2				3
	<i>Odontella sinensis</i>					2		
	<i>Pleurosigma angulatum</i>	1					2	
	<i>Pleurosigma elongatum</i>	7	5	12		10	9	10
	<i>Rhizosolenia sp.</i>				2			
	<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>			3				3
	<i>Skeletonemacostatum</i>	3			4		2	2
	<i>Stephanopyxis turris</i>			5	4		4	
	<i>Thalassiosira anguste</i>			2				
	<i>Thalassiosira leptopus</i>			7				
	<i>Thalassiosira nitzschioides</i>							2
	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>							2
	<i>Thalassiosira punctigera</i>		2	2				2
	<i>Thalassiosira rotula</i>		2	2	4	2	2	3
	<i>Thalassiosira sp.</i>		5	8	5	7	4	3
	Cryptophyceae	<i>Cryptomonas sp.</i>				2		2
Dinophyceae	<i>Alexandrium catenella</i>	1						
	<i>Alexandrium minutum</i>	1						
	<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	3	5	2			4	2
	<i>Alexandrium sp.</i>	6	8	8	9	5	2	5
	<i>Glenodinium sp.</i>	1						
	<i>Heterocapsa triquerta</i>			2				
	<i>Prorocentrum compressum</i>	1		5				
	<i>Prorocentrum micans</i>	4			5			3
	<i>Prorocentrum pentagonum</i>							2
	<i>Prorocentrum sp.</i>		3		4		2	2
	<i>Prorocentrum trietinum</i>	1						
	<i>Protoperidinium sp.</i>			3				
	other			2				
	TOTAL		71	74	101	87	88	65

표 3-2-34. 2010년 1월 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량

(cells/mL)

Division	species	A2	A4	B2	B4	C2	C4	D2	D4	
Bacillariophyceae	<i>Bacteriastrum minus</i>				3					
	<i>Biddulphia reticulata</i>				3					
	<i>Chaetoceros sp.</i>							2		
	<i>Cocconeis pellucida</i>				6					
	<i>Coscinodiscus jonesianus</i>			8	9	4	4			
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	2		3		2	2	4		
	<i>Coscinodiscus nodulifera</i>							2		
	<i>Coscinodiscus perforatus</i>	5		6					2	
	<i>Coscinodiscus pseudomarfina</i>								2	
	<i>Coscinodiscus radiatus</i>		10						6	15
	<i>Coscinodiscus rothii</i>		5		3	2	2			
	<i>Coscinodiscus sp.</i>	4	5	6	14		4	2	2	
	<i>Coscinodiscus stellaris</i>				6					
	<i>Cyclotella comensis</i>	2			3	6				
	<i>Ditylumbrightwellii</i>	4	7	8		2	7	6	5	
	<i>Leptocylindrus adriaticus</i>		2							
	<i>Leptocylindrus danicus</i>					3		2	2	5
	<i>Leptocylindrus sp.</i>	2	7	3	6			2	6	7
	<i>Licmophora abbreviata</i>						2			
	<i>Melosira sp.</i>		2							
	<i>Navicula sp.</i>	2	2	6			4	4	6	5
	<i>Navicula viridula</i>						2	2	2	
	<i>Nitzschia closterium</i>					9		4		5
	<i>Nitzschia longissima</i>						2			
	<i>Nitzschia palea</i>					3				
	<i>Nitzschia seriata</i>		12	3	18			7	9	7
	<i>Nitzschia sigma</i>	2					2	2		2
	<i>Nitzschia socialis</i>			3			2		2	
	<i>Nitzschia sp.</i>		2	6				2	6	5
	<i>Paralia sulcata</i>	4	10	13			8	13	18	10
	<i>Pleurosigma sp.</i>					6	2			
	<i>Pleurosigma elongatum</i>					20	2			
	<i>Rhizosolenia pungens</i>					3				
	<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>						2			
	<i>Skeletonemacostatum</i>					6				
	<i>Thalassionemanitzschioides</i>						2			
	<i>Thalassiosira nitzschioides</i>									2
	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>		2	3	3			7		2
	<i>Thalassiosira punctigera</i>	4	7	6	3				2	2
	<i>Thalassiosira rotula</i>	4	2	3	6			4	6	7
<i>Thalassiosira sp.</i>	4		8	6	6	2	2			
Chrysophyceae	<i>Dictyocha fibula</i>		2	6		2	4	2	2	
Cryptophyceae	<i>Chroomomas sp.</i>		2				2	6		
	<i>Cryptomonas sp.</i>	2	5	3	6	2	4	2		
Dinophyceae	<i>Prorocentrum compressum</i>				6					
	<i>Prorocentrum micans</i>				11					
TOTAL		38	88	88	157	53	85	96	90	

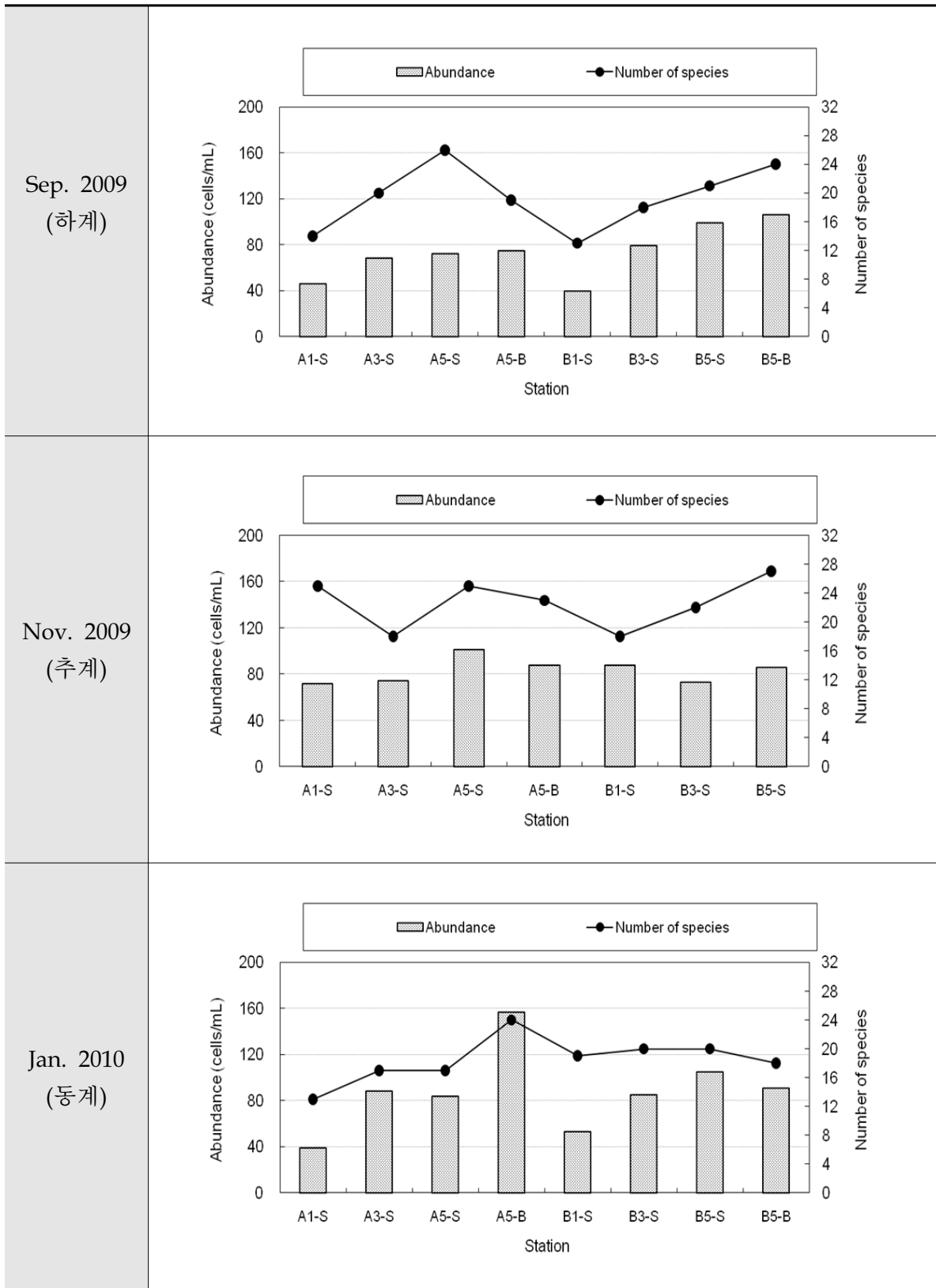


그림 3-2-94. 식물플랑크톤의 정점별 현존량 및 출현종수 분포

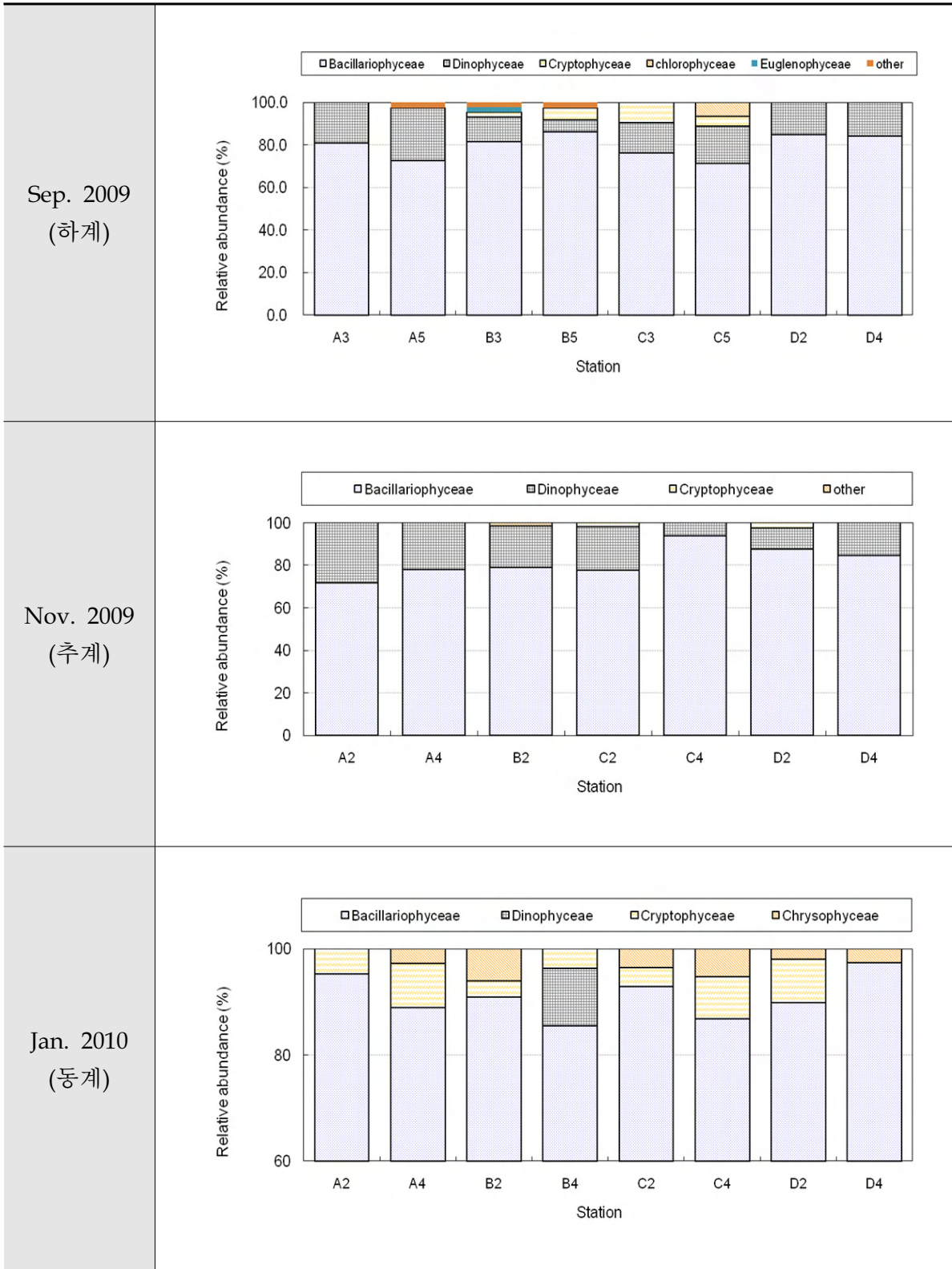


그림 3-2-95. 정점별 식물플랑크톤 종조성 변화

2) 우점종 출현현황

2009년 9월, 11월, 2010년 1월조사시 우점종 현황을 그림 3-2-96에 나타내었다. 2009년 9월조사시 최우점종은 규조류인 *Nitzschia seriata* 13.3%로 우점하였으며, 차우점원은 규조류인 *Pleurosigma elongatum*가 9.7%로 차지하였다. 이 외에 5%이상의 종은 *Thalassiosira sp.* 8.4%, *Nitzschia closterium* 6.4%, *Alexandrium sp.* 6.0%로 나타났다. 2009년 11월조사시 최우점종 현황은 규조류인 *Nitzschia seriata*가 14.7%로 우점하였으며, 규조류인 *Pleurosigma elongatum*가 9.0%로 차우점하였으며 5% 이상의 종으로는 *Alexandrium sp.* 7.5%, *Thalassiosira sp.* 5.7%로 나타났다. 2010년 1월조사시 최우점종은 *Paralia sulcata* 10.6%로 나타났으며 *Nitzschia seriata* 7.8%로 차우점하였다. 5%이상 종으로는 *Ditylum brighwelli* 5.5%, *Coscinodiscus sp.* 5.3%로 나타났다. 전반적으로 규조류가 최우점종으로 나타났으며 특히 *Nitzschia seriata*가 9월 11월 조사시기 모두 최우점하는 것으로 나타났으며, 와편모조류인 *Alexandrium sp.*도 9월, 11월조사시 5% 이상으로 높은 농도를 보임. 시기적으로 9월과 11월은 유사한 종분포를 보였고 1월조사시에는 다른 양상을 보였다.

3) 생태 지수

2009년 9월, 11월, 2010년 1월에 조사해역의 식물플랑크톤의 생태지수 분석결과를 표 3-2-35에 나타냈다. 풍부도 지수는 현존량이 높게 나타난 11월조사시 평균 4.88로 가장 높게 나타났고 9월, 2010년 1월 순으로 나타났음. 각 조사시기별로 최대값은 B3(9월), D3(11월), B4(1월)에서 나타났고, 최소값은 C3(9월), C4(11월), A2(1월)로 나타났다. 균등도지수는 전반적으로 0.93으로 유사하게 나타났으며 2010년 1월조사시 A2 정점에서 0.97로 최대값을 나타냈다. 종다양성지수는 9월조사시 2.77, 11월조사시 2.94, 1월조사시 2.68로 나타나 9월조사시 가장 높게 나타났다. 우점도지수는 각 조사시기순으로 0.63, 0.57, 0.72로 나타나 1월 동계조사시 상대적으로 높게 나타났다. 종다양성 지수와 균등도 지수는 정점간의 유사한 분포를 보이고, 계절별로도 큰 변화를 보이지 않은 반면 풍부도 지수는 1월 조사가 나머지 조사보다 전반적으로 낮은 값을 보였다. 이러한 생태지수결과를 토대로 각 정점별 군집구조의 안정성을 살펴보면, 2009년 11월의 D3가 풍부도지수, 균등도지수, 종다양성지수 결과가 상대적으로 높고 우점도 지수가 낮아 타 정점에 비하여 안정된 군집 구조였으며, St. 1이 가장 불안한 군집구조를 보였다.

4) 군집분석

2009년 9월과 11월 조사에서 식물플랑크톤의 출현종과 개체수에 근거한 군집분석 결과는 그림 3-2-110~112와 같다. 9월 조사시 유사도에 의한 군집은 최하 40% 이상의 유사도를 보였으며 D2, D4가 70%로 가장 유사하게 나타났고 C3, C5가 65%가량 유사도를 나타냈다. 2009년 11월 조사에서 식물플랑크톤의 출현종과 개체수에 근거한 군집분석 결과는 A4, D4가 65%로 가장 유사하게 나타났고 위 정점과 D2 > B2 > C4 > A2 > C2(45%) 순으로 유사성을 나타냈다. 2010년 1월조사시에는 B2, C4가 70%로 가장 유사하게 나타났으며 위 그룹과 D2가 68%의 유사성을 나타냈고 A4, D4가 65%로 유사성을 보였다.

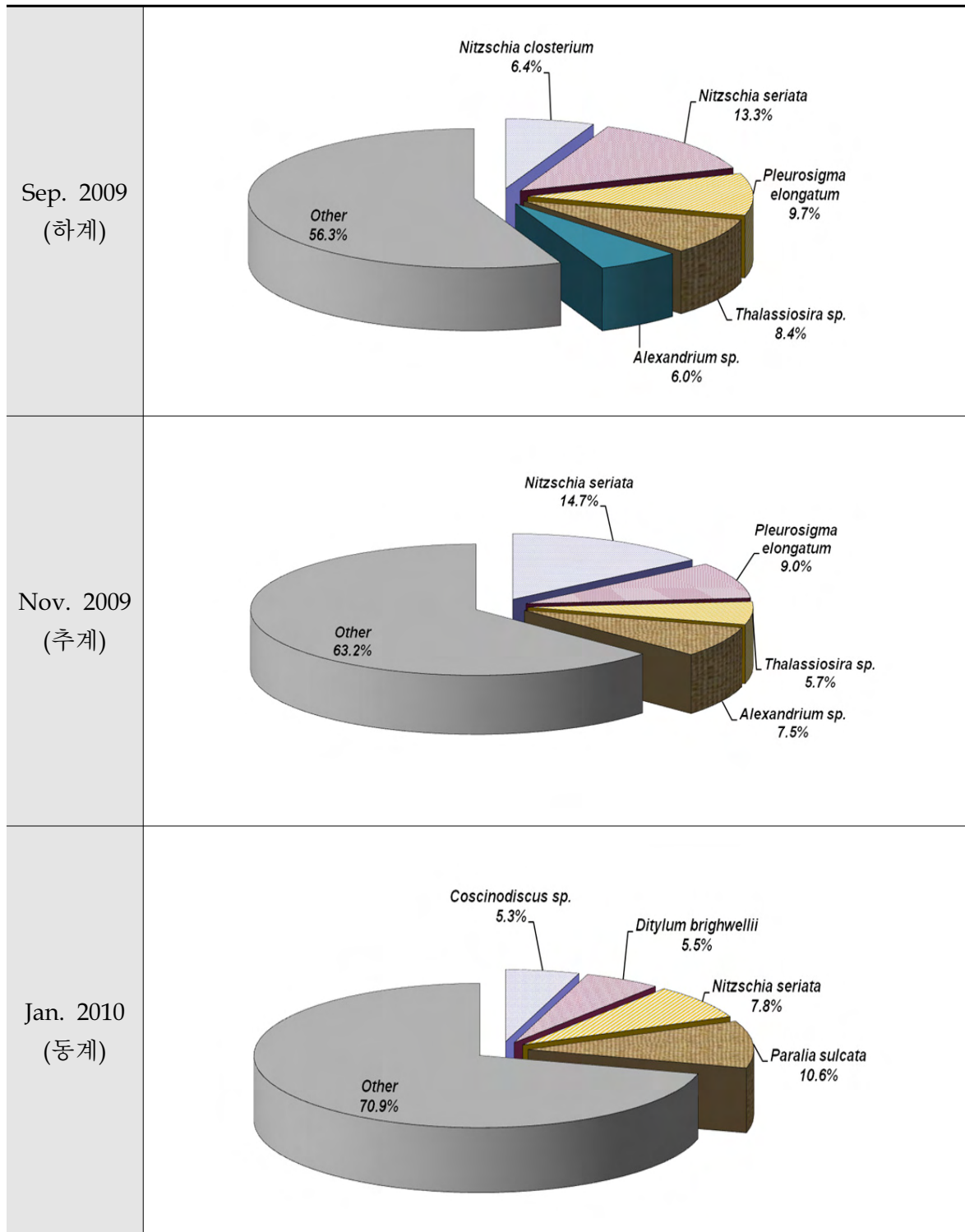


그림 3-2-96. 식물플랑크톤의 우점종 출현현황

표 3-2-35. 식물플랑크톤의 정점별 생태지수

정점 \ 생태지수		풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	종다양성지수 (H')	우점도지수 (D)
Sep. 2009	A3	3.34	0.95	2.51	0.73
	A5	4.46	0.94	2.83	0.54
	B3	5.76	0.92	3.02	0.57
	B5	4.20	0.93	2.73	0.67
	C3	3.23	0.93	2.39	0.87
	C5	3.87	0.95	2.74	0.61
	D2	4.36	0.93	2.83	0.60
	D4	4.95	0.94	3.00	0.51
	평균	4.27	0.94	2.77	0.63
Nov. 2009	A2	5.72	0.92	2.95	0.50
	A4	3.93	0.93	2.96	0.69
	B2	5.17	0.93	3.02	0.48
	C2	4.89	0.95	2.98	0.49
	C4	3.80	0.91	2.62	0.84
	D2	4.85	0.94	2.91	0.54
	D3	5.80	0.95	3.14	0.42
	평균	4.88	0.93	2.94	0.57
Jan. 2010	A2	3.23	0.97	2.50	0.63
	A4	3.61	0.92	2.62	0.74
	B2	3.57	0.96	2.72	0.63
	B4	4.52	0.93	2.98	0.55
	C2	4.47	0.95	2.80	0.55
	C4	4.34	0.93	2.81	0.60
	D2	4.11	0.92	2.76	0.68
	D4	3.80	0.93	2.68	0.72
	평균	3.80	0.93	2.68	0.72

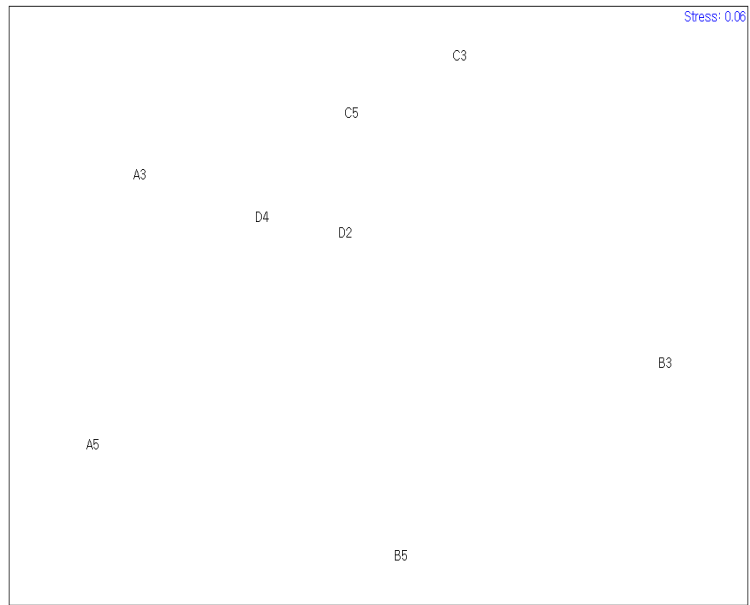
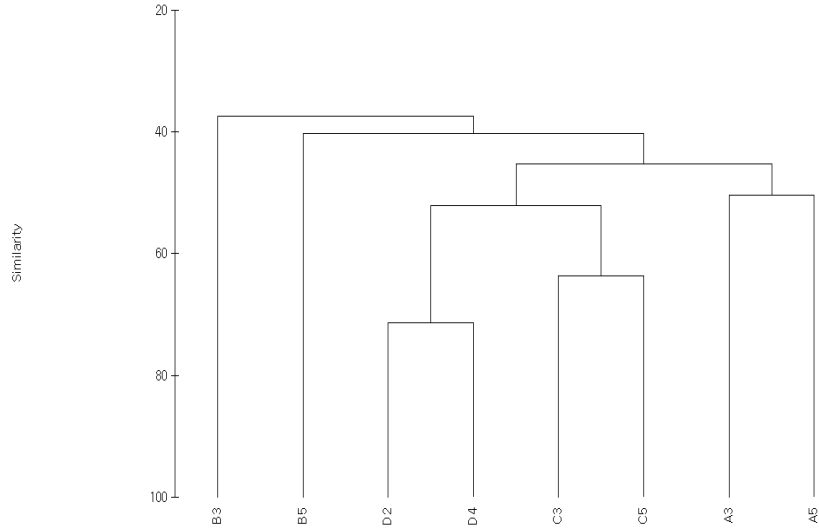


그림 3-2-97. 식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS (2009년 9월)

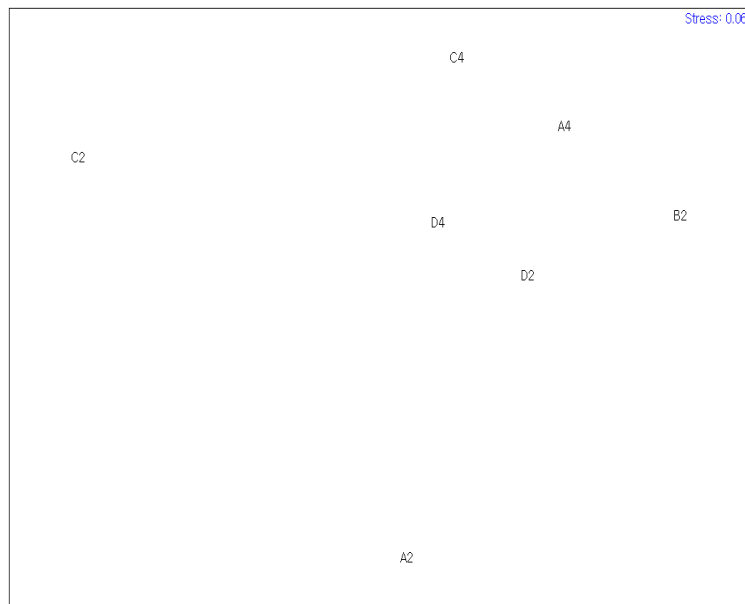
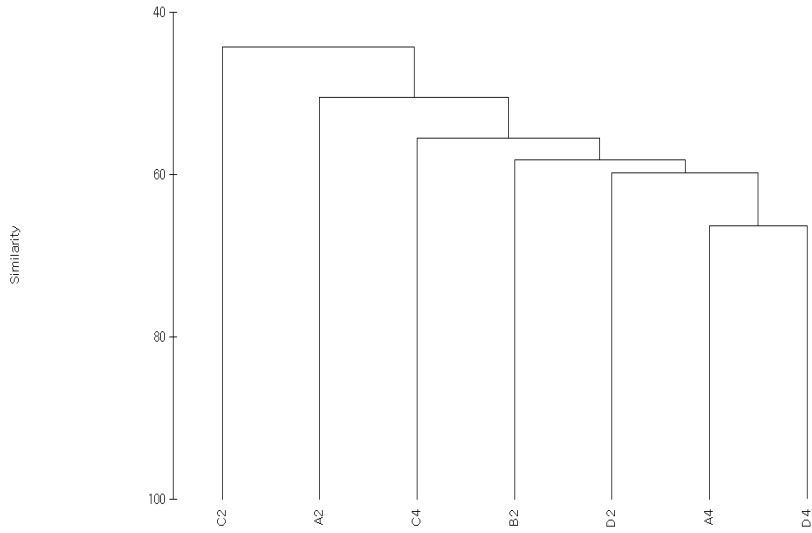


그림 3-2-98. 식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS (2009년 11월)

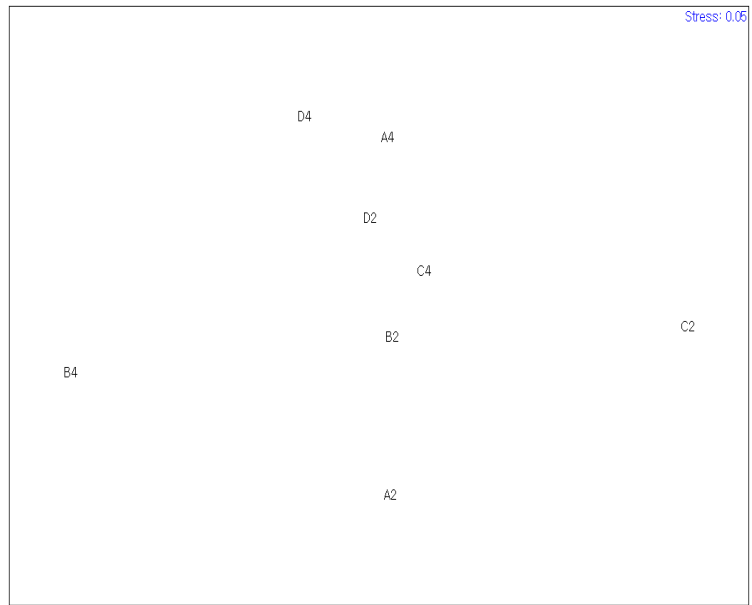
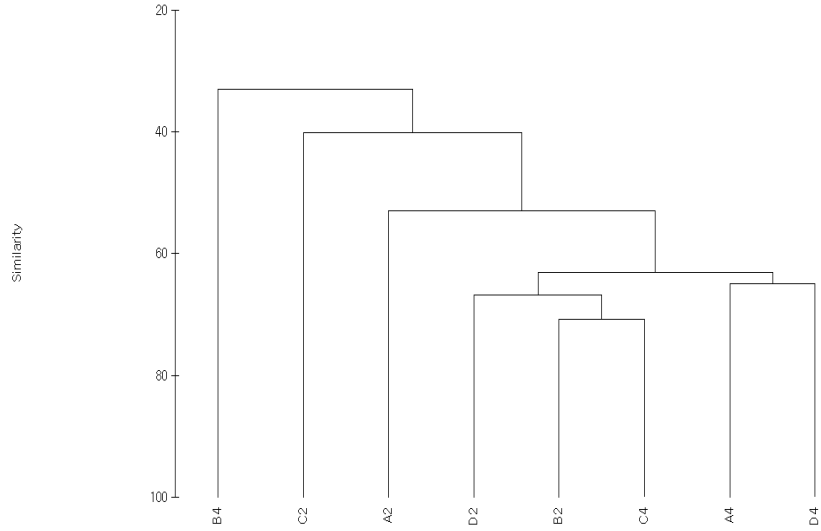


그림 3-2-99. 식물플랑크톤의 정점간 유사도에 의한 집괴분석 결과 수지도와 MDS (2010년 1월)

(나) 저서생물

함평만 도리포 시험어장에서 저서동물의 계절별 출현양상을 살펴보면 여름철 총출현 개체수는 913.79 ind./m², 총생물량은 229.93 g/m² 이었다(표 3-2-36). 출현종 조성비는 연체동물과 갑각류가 대부분이었으며, 계류가 27.01%로 가장 높았으며, 고동류가 22.63%, 단각류 19.71%, 이매패류 13.14%를 차지하였으며, 생물량으로는 이매패류가 51.99%로 가장 많은 높은 조성비를 가졌다(표 3-2-37). 가을철 총출현개체수는 904.20 ind./m², 총생물량은 217.47 g/m² 이었다(표 3-2-38). 출현종 조성비는 연체동물과 갑각류가 대부분이었으며, 고동류가 31.39%로 가장 높았으며, 단각류가 28.47%, 이매패류가 12.41%를 차지하였으며, 생물량으로는 이매패류가 38.49%로 가장 많은 높았으며 그 다음으로는 고동류 30.68%, 성계류가 19.21%를 차지하였다(표 3-2-39). 겨울철 총출현개체수는 844.80 ind./m², 총생물량은 167.24 g/m² 이었다(표 3-2-40). 출현종 조성비는 연체동물과 갑각류가 대부분이었으며, 고동류가 24.22%로 가장 높았으며, 단각류가 23.44%, 이매패류가 13.28%를 차지하였으며, 생물량으로는 이매패류가 69.10%로 가장 많은 높았으며 그 다음으로는 고동류 17.72%를 차지하였다(표 3-2-41). 공간적 분포를 살펴보면 조간대 지역 보다는 조하대 지역에서 출현종 수가 많게 나타났다(그림 3-2-100).

표 3-2-36. 시험어장 여름철(2009. 9) 저서생물 출현 개체수 및 생물량

구 분	갯지렁이류 Polychaeta	연체동물 Mollusca			갑각류 Crustacea						극피동물 Echinodermata			합계
		이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	계류 Brachyura	새우류 Macrura	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	따개비류 Cirripedia	집게류 Anomura	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea		
총개체수 (ind./m ²)	120.06	206.77	13.34	246.79	20.01	180.09	26.68	26.68	20.01	46.69	6.67	913.79		
총생물량 (g/m ²)	22.79	62.96	1.62	5.65	0.34	0.53	0.07	0.13	0.53	15.70	0.07	229.93		

표 3-2-37. 시험어장 여름철(2009. 9) 저서생물 출현 개체수 및 생물량의 조성비(%)

구 분	갯지렁이류 Polychaeta	연체동물 Mollusca			갑각류						극피동물		
		이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	계류 Brachyura	새우류 Macrura	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	따개비류 Cirripedia	기타 Others	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea	
총개체수	13.14	22.63	1.46	27.01	2.19	19.71	2.92	2.92	2.19	5.11	0.73		
총생물량	9.91	27.38	0.71	2.46	0.15	0.23	0.03	0.06	0.23	6.83	0.03		

표 3-2-38. 시험어장 가을철(2009. 11) 저서생물 출현 개체수 및 생물량

구 분	연체동물 Mollusca			갑각류 Crustacea							극피동물 Echinodermata			합계
	갯지렁이류 Polychaeta	이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	게류 Brachyura	새우류 Macrura	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	파개비류 Cirripedia	집게류 Anomura	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea		
		112.2	283.8	6.6	26.4	6.6	257.4	26.4	52.8	92.4	33	6.6		
총개체수 (ind./m ²)													904.20	
총생물량 (g/m ²)	19.34	83.62	66.73	0.20	3.10	0.20	0.86	0.13	1.19	0.26	41.78	0.07	217.47	

표 3-2-39. 시험어장 가을철(2009. 11) 저서생물 출현 개체수 및 생물량의 조성비(%)

구 분	연체동물 Mollusca			갑각류 Crustacea							극피동물 Echinodermata		
	갯지렁이류 Polychaeta	이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	게류 Brachyura	새우류 Macrura	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	파개비류 Cirripedia	기타 Others	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea	
		12.41	31.39	0.73	2.92	0.73	28.47	2.92	5.84	10.22	3.65	0.73	
총개체수													0.03
총생물량	8.89	38.45	30.68	0.09	1.43	0.09	0.39	0.06	0.55	0.12	19.21	0.07	217.47

표 3-2-40. 시험어장 겨울철(2010. 1) 저서생물 출현 개체수 및 생물량

구 분	갯지렁이류 Polychaeta		연체동물 Mollusca			갑각류 Crustacea						극피동물 Echinodermata		합계
	이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	게류 Brachyura	쿠마류 Cumacea	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	따개비류 Cirripedia	기타 Others	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea			
총개체수(ind./m ²)	112.2	204.6		19.8	6.6	198	59.4	72.6	125.4	39.6	6.6	844.80		
총생물량(g/m ²)	115.57	29.63		3.10	0.07	0.79	0.53	3.50	0.26	3.63	0.53	167.24		

표 3-2-41. 시험어장 겨울철(2010. 1) 저서생물 출현 개체수 및 생물량의 조성비(%)

구 분	갯지렁이류 Polychaeta			연체동물 Mollusca			갑각류 Crustacea						극피동물 Echinodermata	
	이매패류 Bivalvia	고둥류 Gastropoda	기타 Others	게류 Brachyura	쿠마류 Cumacea	단각류 Amphipoda	등각류 Isopoda	따개비류 Cirripedia	기타 Others	성게류 Echinoidea	불가사리류 Ophiuroidea			
총개체수(ind./m ²)	13.28	24.22	0.00	2.34	0.78	23.44	7.03	8.59	14.84	4.69	0.78			
총생물량(g/m ²)	69.10	17.72	0.00	1.85	0.04	0.47	0.32	2.09	0.16	2.17	0.32			

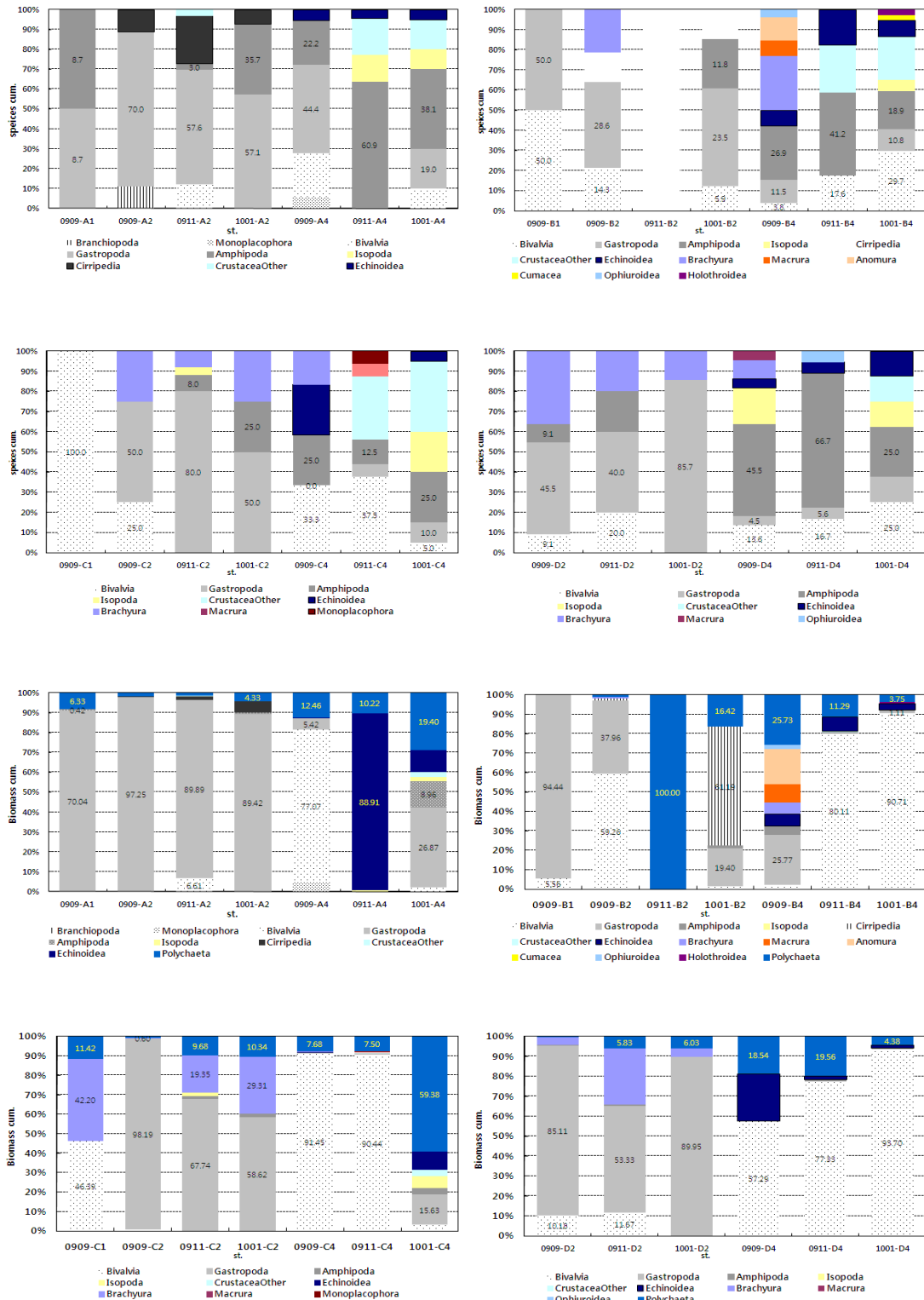


그림 3-2-100. 시험어장 출현 저서생물의 시기별, 지점별 출현종/출현량 조성비. A1, A2, B1, B2, C1, C2, D2 정점 조간대, A4, B4, C4, D4 정점 조하대

제3절 패류양식장의 구조/배치 개선

1. 갯벌둑 패류양식시설 설계를 위한 설계인자 검토

본 연구에서는 세 가지 패류양식 구조물을 대상으로 적용성과 효과 그리고 개선안에 대한 검토를 실시하였고, 주요 세 가지 형식은 기존의 현지 양식현황 분석과 중국의 패류양식기술을 종합적으로 고려하여 바지락, 꼬막 그리고 다목적 이용 복합양식에 대한 구조물을 개발/개선코자 하였다.

패류양식의 효과적인 개선을 위해서는 생산성에 영향을 미치는 인자에 대한 분석을 통해 그 결과를 최적화 시키는 방향으로 진행된다. 본 연구에서는 바지락 및 꼬막 그리고 굴과의 복합양식을 주요 대상으로 하였다.

패류양식시설의 설계에서 가장 패류의 성장에 영향을 주는 것은 후술하는 주요 설계인자 들이며, 그중에서 직접적인 생산성과 관련되는 인자는 지형을 통한 노·간출특성과 종패의 보호를 통한 생산성 증대이다. 이외에도 시설물의 안정성 및 수질적인 면 등 다양한 요소가 있지만 지역적으로 큰 차이를 보이는 경우가 대부분이다.

따라서 본 연구에서의 패류양식구조물의 주요 기능성은 노·출선의 확보, 다시 말하면 “간출시에 얼마나 패류양식장의 수위를 유지할 수 있는가?”와 “종패의 유실 방지를 위한 기존 갯벌둑의 기능을 어떻게 표준화 하고, 극대화 할 수 있는가?”이었다. 이러한 질문에 대해 대상으로 하는 패류의 서식지 특성을 고려하여 바지락양식장은 사니질의 투수성 저질에 사용되는 경계둑의 개발/개선, 꼬막양식장의 경우 니질의 저질에 수위유지를 위한 갯벌두렁구조물의 개선, 다목적 이용복합양식의 경우 수평망식 굴과 바지락과의 복합양식 구조개선을 주요 목표로 하였다.

갯벌둑의 경우 기존의 굴패각 망태를 이용함으로써 발생하는 저질개선의 효과도 함께 고려되어야 하며, 갯벌두렁의 경우 니질의 특성상 지반지지력을 고려한 구조물의 설계가 효과적일 것으로 판단된다. 그리고 복합양식의 경우 양식시설이 수중에 시설되어 외력에 노출되는 경우가 많으므로 이에 대한 고려도 중요하다.

가. 기존 패류양식장 경계구조물

(1) 형상

본 연구의 구조형식 개선의 대상해역인 남성리 패류양식장의 기존 패류양식시설의 형식은 그림 3-3-1과 같다. 양식장에는 망태시설물을 이용하여 수로를 강제적으로 만들거나 자연 갯골이 혼용되어 있으며, 패류양식장에 사용되는 망태는 1단 또는 2단으로 쌓아서 수로와 양식장을 구분하였다.

그림 3-3-1에서 Type 1은 갯골을 경계로 사용하는 경우이며, Type 2는 하부에 골을 판후 상부에 굴패각을 충전한 망태를 연속적으로 적재하여 사용하는 경우이다. Type 3과

Type 4는 2열의 경계구조물 사이에 수로를 확보하여 노·간출 시의 해수 순환을 용이하게 하였으며, 경계구조물은 굴패각 내장 자루 혹은 자연석을 사용하였다. Type 5는 굴패각 내장 자루를 적재하는 형태이며, 경계둑의 높이를 높임으로서 종패유실의 방지 및 체류 시간의 지속효과를 기대 할 수 있다.

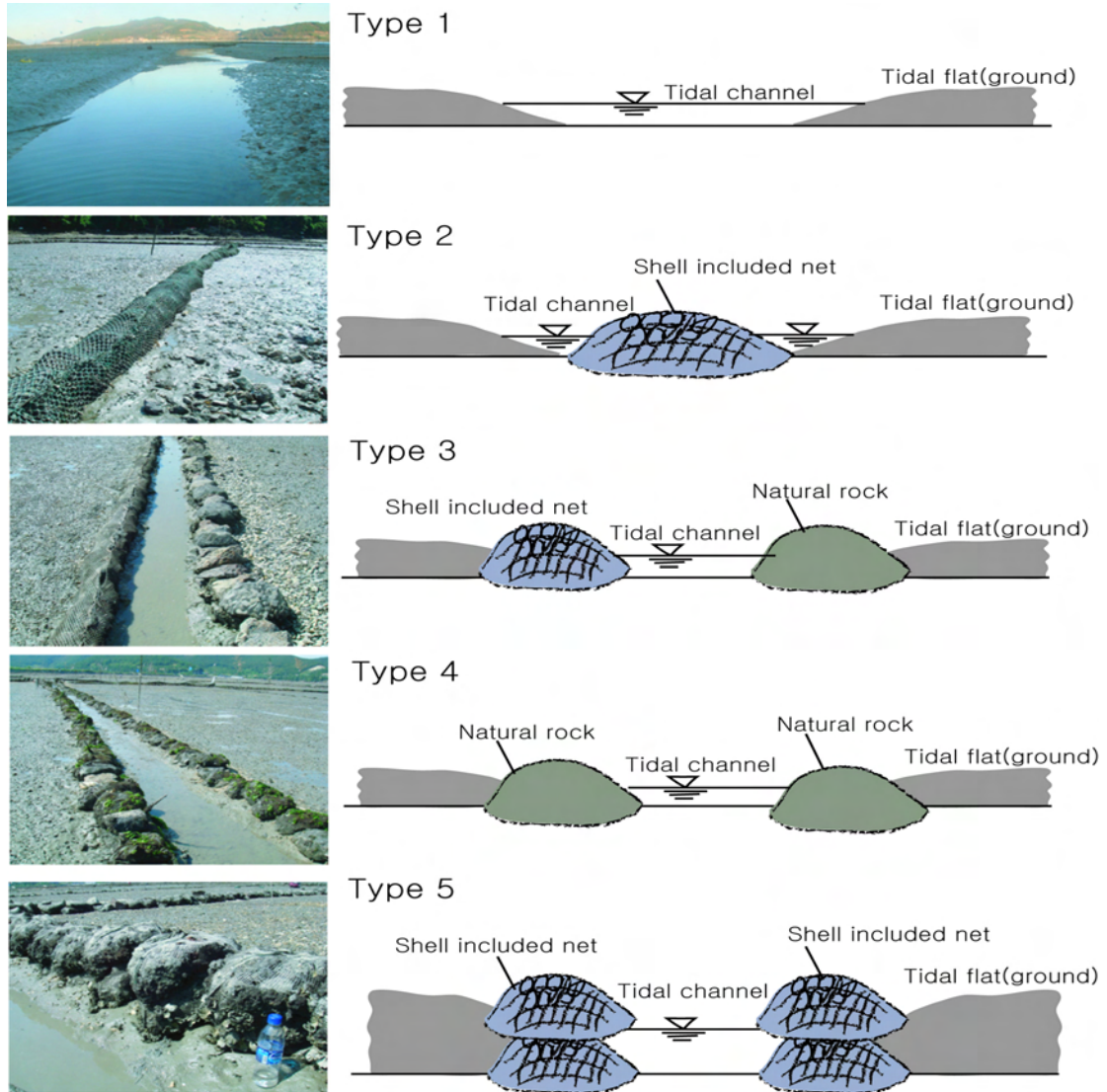


그림 3-3-1. 남성리 패류양식장의 대표적 구조형식

(가) 자루적재형

자루적재형은 가장 일반적으로 해역내에서 사용되고 있는 형식으로 주로 패류양식장의 경계둑으로 사용하고 있으며, 경계둑을 이용하여 수로를 형성하여 패류양식장내의 해수가 원활하게 소통되도록 하였다. 경계둑 내부의 지반고는 대부분 20cm 내외로 수로보다 높게 성토 되어있었으며, 자루는 나일론을 이용한 망태에 굴패각 혹은 석재와 같은 충전재를 이용하고 있었다.

자루적재형은 적재하고자하는 재료가 부족한 패류양식장의 특성과 저질 및 종패의 유실을 일부 걸러주는 역할을 위해 주로 굴패각을 이용하고 있었다. 또한 고중량으로 인한 시공성면에서도 어려움이 있으며, 굴패각 자루의 적재 시 니질의 혼입으로 인해 체체가 더욱 견고해지고 고중량화 되는 특징은 보이나, 태양의 자외선으로 인한 나일론 혹은 자루의 부식으로 내구성이 약한 것이 한계로 보인다(그림 3-3-2).



그림 3-3-2. 자루적재형 갯벌경계둑의 모습

(나) 경계석형

경계석형은 직경 40~50cm 정도 되는 돌을 이용하여 경계석으로 이용하는 방식으로 자외선에 의한 부식의 문제는 없으나 유공이 많아 종패의 유실 및 재료원의 부족한 단점이 있다. 또한 경계석의 적재를 위해서는 기본적인 안식각이 필요하게 되므로 설치 면적이 증가하는 문제를 보인다(그림 3-3-3).

내구성은 높은 장점이 있으므로 일반적으로 자루적재형과 경계석형을 병행하는 방법도 많이 사용되고 있었다.



그림 3-3-3. 경계석형의 갯벌경계둑의 모습

(다) 지주식

지주식은 최소한으로 경계둑 면적이 소요되기 위해 사용되는 방법으로 지주 목재 혹은 강재의 기둥을 이용하여 경계의 위치를 표시한 후 자루적재형 혹은 경계석형을 조합하여 최소한의 소요면적과 경계둑의 높이를 확보하는 방법이다(그림 3-3-4).

연약지반의 한계로 지주의 지지강도가 낮을 경우 경계둑이 전도되는 단점을 가지고 있다.



그림 3-3-4. 지주식 경계둑의 모습

(2) 소재

갯벌양식장 경계둑의 소재로는 대부분 굴폐각을 이용하고 있으며, 저질개선제로 대부분 활용 되고 있다. 굴폐각은 환경 개선 측면에서 저질개선제의 역할을 할 수 있으며, 주요 효용으로는 산성화된 토양의 개량, 강열감량(IL), 화학적산소요구량(COD) 감소, 복토재로 활용 시 중금속 흡착력 증대(일반토양보다 흡착력이 높고 탈착도가 낮아 안정적)인 특징을 보인다.

이러한 효과는 비료산업에도 적용되어 산성화된 토양을 중화시키며, 병충해방지, 수확증대, 무공해로 각종 농산물에 대한 광범위하게 사용되고 있다. 특히 칼슘의 흡수력 우수하다.

그러나 굴폐각을 이용할 경우 성형성이 낮아 주로 자루를 이용하여 굴폐각을 채운 후 적재하여 갯벌둑으로 사용하고 있다. 따라서 신형갯벌둑의 경우 굴폐각의 효과를 극대화하고, 자루가 가지는 성형성과 부족한 내구성을 만족할 수 있는 소재 및 형상이 적용되어야 할 것이다.

(3) 배치

갯벌양식장의 배치는 기존의 경계둑이 가지는 패류양식장의 경계의 역할에 주로 사용되며, 따라서 기존의 관행적인 경계둑의 배치는 단순히 개인의 양식장 영역 표시에 국한되어 있다(그림 3-3-5).

특히 해역 내에서의 경험적인 생산성을 고려하여 양식장의 배치를 계획하고자 하더라도 기존의 확정된 경계에 대한 한계로 배치에 대한 개념은 근본적으로 고려되지 않고, 경계내의 각 개인 양식장의 저질개선 및 종패 살포에 노력하고 있는 실정이다.

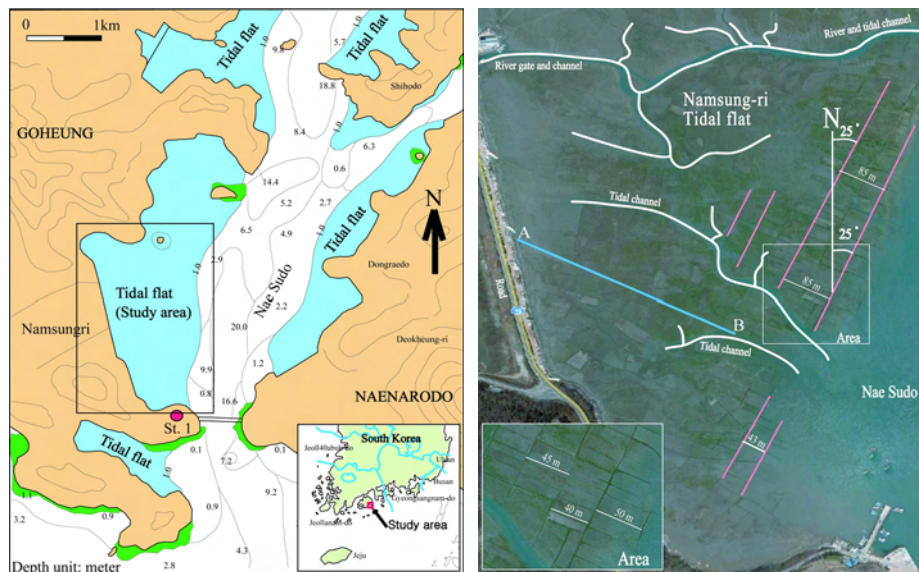


그림 3-3-5. 고흥 남성리 패류양식장 및 위성사진을 통한 양식장 배치 현황

나. 해양환경인자

(1) 기상

고흥관측소의 30년(1971~2000)의 평년값을 검토한 결과, 기온은 8월에 평균 25.50℃를 보이며, 강수량은 7월에 가장 높은 값으로 보였다. 평균풍속은 동계에 상대적으로 높은 값을 보였으며, 하계에 강우 지속시간이 높게 나타났다(표 3-3-1).

표 3-3-1. 고흥기상관측소의 장기기상관측자료(1971~2000)

요소		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
기온(℃)	평균	1.20	2.60	7.00	12.70	17.30	21.10	24.80	25.80	21.40	15.70	9.10	3.30
	최고	6.90	8.50	13.20	19.10	23.40	26.20	29.10	30.50	26.90	22.20	15.60	9.80
	최저	-3.80	-2.70	1.00	6.20	11.10	16.50	21.40	21.80	16.40	9.50	3.20	-2.20
강수량(mm)		29.20	48.20	78.80	137.50	151.40	231.50	250.50	249.40	148.50	54.80	51.00	21.70
강수계속시간(hr)		43.04	51.72	63.49	73.37	78.31	98.36	91.62	68.60	53.33	36.61	38.41	27.74
소형증발량(mm)		52.50	58.50	92.10	116.30	141.50	128.50	133.10	151.10	115.00	101.20	66.80	52.70
평균풍속(m/s)		1.60	1.70	1.70	1.60	1.40	1.30	1.40	1.40	1.20	1.10	1.30	1.40
평균습도(%)		67.50	66.70	66.50	66.80	69.50	76.00	80.30	77.70	75.00	69.90	70.10	69.50
평균증기압(hPa)		4.60	5.10	6.70	10.00	13.70	19.10	25.40	26.00	19.30	12.50	8.30	5.50
일조합(hr)		186.20	185.20	217.60	235.50	254.30	212.70	210.20	239.70	214.90	227.60	188.30	188.30
평균일사량(MJ/m ²)		17.26	22.81	27.01	31.98	37.65	33.77	31.88	34.12	29.48	25.62	19.25	16.46
안개계속시간(hr)		7.31	9.43	5.96	4.99	8.43	14.87	10.04	6.69	5.62	4.89	7.22	4.55
전운량(할)		4.10	4.40	5.00	5.10	5.00	6.60	6.80	5.60	5.30	3.90	3.90	3.50
해면기압(hPa)		1024.1	1022.7	1019.6	1015.6	1011.9	1008.0	1007.3	1008.0	1012.6	1018.6	1022.4	1024.7
최저초상온도(℃)		-7.40	-6.10	-1.80	3.50	8.70	14.60	20.10	20.30	14.40	6.30	-0.30	-5.90
지면온도(℃)		2.00	3.90	8.90	15.50	21.00	24.80	28.00	29.00	24.10	17.70	9.80	3.70
강수일수	0.1mm 이상	6.30	6.50	8.40	8.70	9.00	10.60	12.80	10.80	8.20	5.10	6.30	4.50
	1.0mm 이상	4.00	4.50	6.60	7.30	7.60	9.10	10.50	9.20	6.60	4.10	4.70	2.80
폭풍일수							0.00	0.10	0.10				0.00
부조일수		2.70	2.80	3.40	2.70	2.90	3.70	3.60	2.30	2.10	1.50	1.70	1.80
지중온도(℃)	5cm	2.40	4.10	8.70	14.90	20.40	24.00	27.20	28.50	23.70	17.70	10.40	4.50
	10cm	2.60	4.00	8.30	14.30	19.60	23.30	26.50	28.00	23.60	17.80	10.80	4.90
	20cm	3.40	4.40	8.20	13.80	18.70	22.40	25.70	27.40	23.60	18.20	11.70	5.90
	30cm	4.00	4.60	8.10	13.40	18.40	21.90	25.20	27.10	23.70	18.70	12.40	6.70
	50cm	5.70	5.60	8.20	12.50	17.10	20.80	24.10	26.20	24.10	19.60	14.20	8.80
	1.0m	7.70	6.80	8.30	11.70	15.70	19.20	22.40	24.80	23.80	20.20	15.80	11.00

(2) 지형/저질

남성리 부근의 저질은 “갯벌 생태계조사 및 지속가능한 이용방안 연구”(해양수산부, 2001)의 자료에 따르면 펄갯벌로 대상 양식장내에는 니질이 65% 이상의 값을 보이고 있다. 분급도는 2.63을 보이며, 기질형태는 < 2mm이하의 갯벌이다(표 3-3-2).

남성리 방조제 앞의 A지점의 경우 silt와 clay가 대부분을 나타내었으며, B지점의 경우 대부분 사질이었다.

표 3-3-2. 패류양식장 저질특성

조사지점	평균 입도 (Phi)	분급도 (Phi)	조성비 Sediment composition(%)				퇴적상 (Facies) by Fork	서식지 유형	기질형태	경사도	
			Gravel	Sand	Silt	Clay					
남성리 방조제앞 (A지역)	1	-0.51	2.41	45.50	53.89	0.61	-	sG	펄갯벌	갯벌 (<2mm)	평탄 (0-5°)
	2	7.14	2.63	-	5.15	65.64	29.22	M			
	3	1.59	2.51	3.78	88.70	2.52	4.99	(g)S			
덕양 방조제 (B지역)	1	8.16	3.49	2.04	9.88	32.58	55.49	(g)sM	펄갯벌	갯벌 (<2mm)	평탄 (0-5°)
	2	7.01	2.91	-	13.29	55.97	30.74	sM			

자료: 해양수산부(2001), 갯벌 생태계조사 및 지속가능한 이용방안 연구
조사지점: 2001. 11. 04

(3) 노·간출

남성리 패류양식장의 지형특성 및 침수시간을 살펴보고자 해수 유출입 패턴을 video 촬영을 통한 영상을 이용하여 실시하였다(그림 3-3-6).

창조시는 2009년 11월 19일 6시 46분부터 7시 46분까지 매 10분 간격, 낙조시는 동일 14시 40분부터 17시 20분 사이에 조사되었다.

그림 3-3-6과 같이 해수유출입 패턴 조사결과를 나타낸 것으로 간출완료 후 다음 침수시까지의 소요시간은 약 180 분으로 나타났으며, 따라서 남성리 양식장의 경우 약 3시간이 대기상태로 노출되는 것으로 확인되었다.

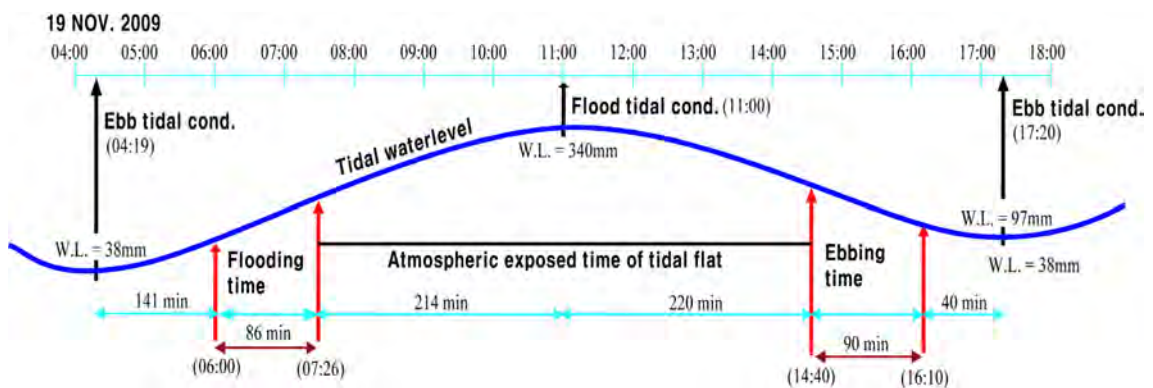


그림 3-3-6. 남성리 패류양식장의 침수/간출 패턴 조사결과

남성리 패류양식장 지형의 구조분석을 실시하였다. 그림 3-3-7은 남성리 패류양식장의 전경사진과 아울러 구조분석결과를 요약하여 제시하였다.

방조제 인근의 양식장의 경우 양식장으로의 활용도가 낮아서 경계의 구분이 명확하지 않았고, 조류와 파랑은 약하게 발달하여 안정적인 외력조건을 가지고 있으나, 생산성은 낮았다. B지역의 경우 패류양식의 생산성이 상대적으로 좋아 명확한 경계를 구분하여 사용하고 있었으며, 조류와 파랑에 개방된 지형적인 특징으로 고중량 및 해수순환을 고려한 양식시설의 보강이 필요한 것으로 판단된다.



그림 3-3-7. 남성리 패류양식장의 구조분석 결과

(4) 해수순환

대상해역의 해수순환특성을 파악하기 위해 해수유동 시뮬레이션과 함께 현장모니터링을 실시하였다.

현장 모니터링은 대조기 창낙조시에 대해 장기 모니터링을 실시하였으며, 각 시간대별 해수면의 변동을 계측하여 유향을 분석하였다.

수면변동은 창조시와 낙조시에 대해 반대의 형태를 보이며, 창조시에는 갯골로 수류가 먼저 상승하며, 갯골방향으로 뿜죽한 수면변화를 보였으며, 낙조시에도 갯골의 수면이

늦게 감소하여 창낙조시의 해수순환은 거의 반대의 특성을 보였다. 그러나 내상해역의 북서측 방조제 측의 경우 지반고가 인근보다 낮아서 tidal pond와 같은 잔류되는 수위가 보였으나 지속적으로 발달하지는 않아서 pond를 이루지는 못하였다(그림 3-3-8~10).

간조시에 경계를 이루는 양식장을 기준으로 간출시간이 3시간 정도 확보가 되고 있음을 확인할 수 있었다.

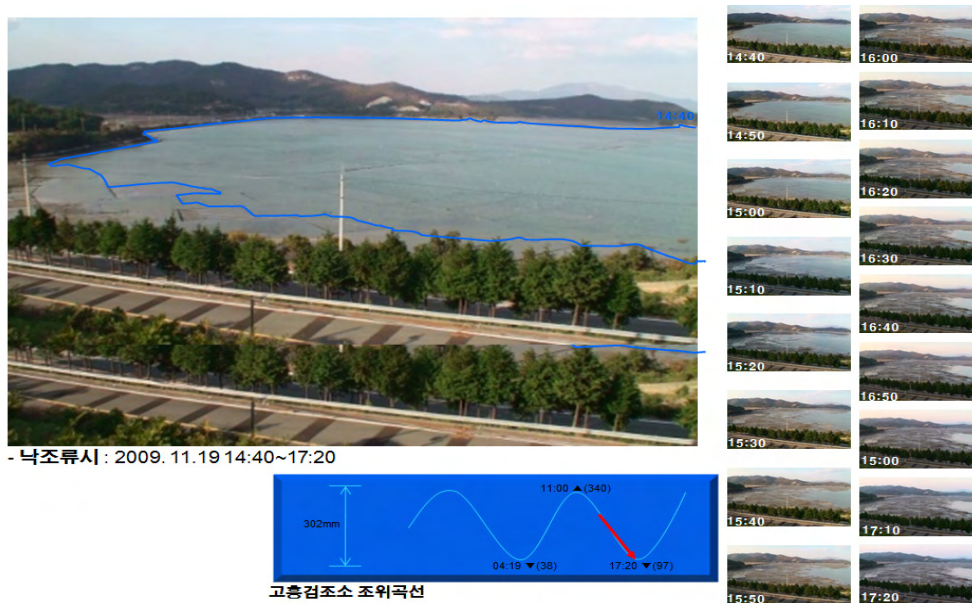


그림 3-3-8. 대조기(낙조시) 남성리 패류양식장의 시간대별 수면 변동 모니터링

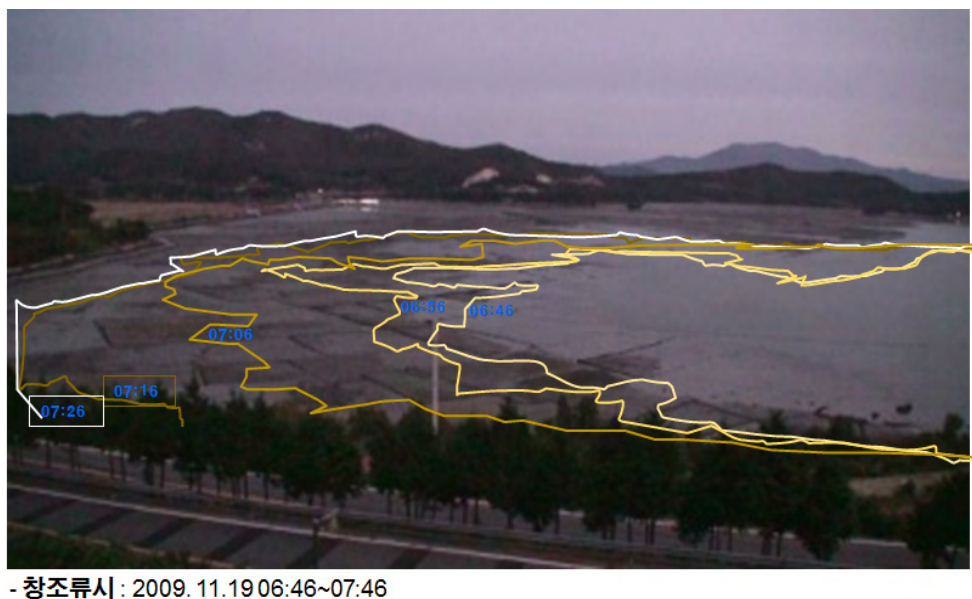


그림 3-3-9. 대조기(창조시) 남성리 패류양식장의 시간대별 수면 변동

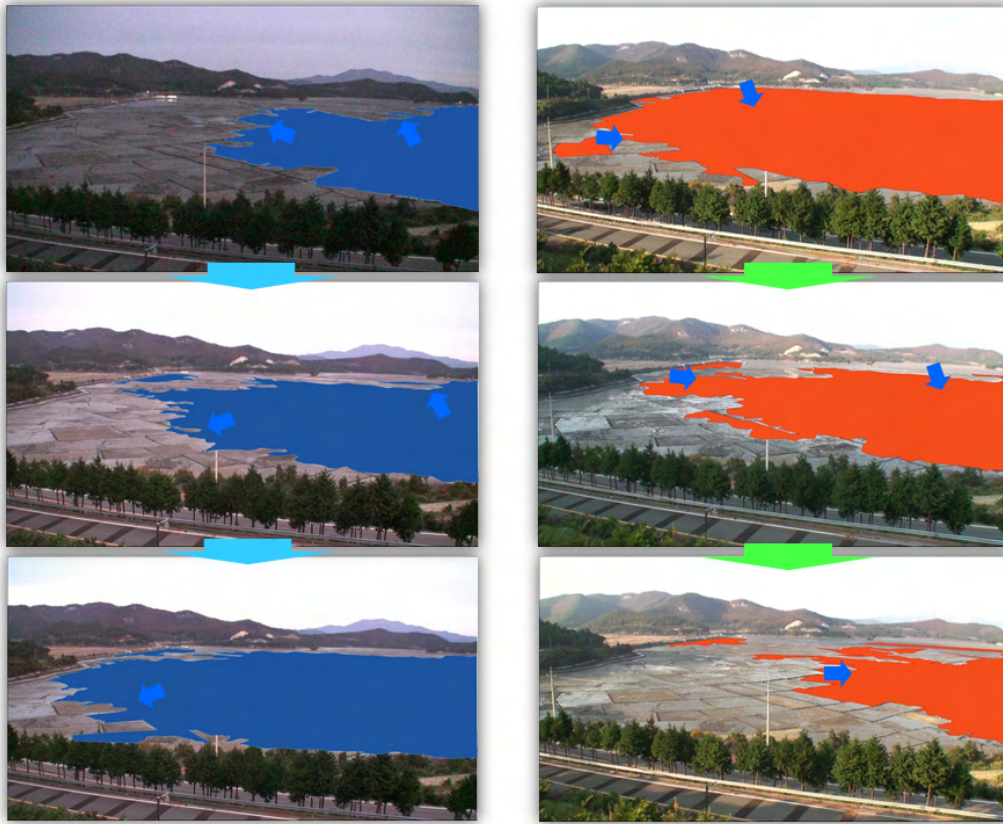


그림 3-3-10. 대조기 남성리 패류양식장의 수면 변동 패턴

(5) 하천유입

대상해역으로 유입하는 하천은 그림 3-3-11과 같이 방조제 갑문(선착장 남측)을 통한 유입과 선착장 북측의 배수로를 통해 유입하는 2곳이며, 유입된 하천수는 서(W)에서 동(E)으로 유출되는 지형특성을 가진다.

남측의 경우 갑문의 2.5m 높이에 3.0m 폭의 갑문이 4개 존재하였으며, 북측 갑문의 경우 폭 1.5m에 높이 1.5m의 배수구가 존재하였다. 해역의 서측에 위치한 방조제로 유입하는 하천이 존재하며, 유역면적은 1.92km²이다(그림 3-3-12). 해역의 강우량과 증발량 그리고 유역면적으로 고려하여 일별 하천유량을 산정하는 Tank 모델을 이용하여 직렬로 배치된 4개의 Tank를 구성하여 홍수 유출(단기유출, 2일 이내), 지표수유출(1주일 정도) 및 1년 정도의 지하수 유출을 재현한 결과 홍수시에도 0.6 m³/sec 이하의 유입량을 보였다(그림 3-3-13).

이러한 결과 대상해역에는 유입하천의 영향이 크지 않을 것으로 판단되며, 유입하천을 중심으로 발달된 갯골의 지형적인 영향이 클 것으로 판단된다.



그림 3-3-11. 남성리 패류양식장내로 유입하는 소하천



그림 3-3-12. 대상해역 유입하천의 유역면적

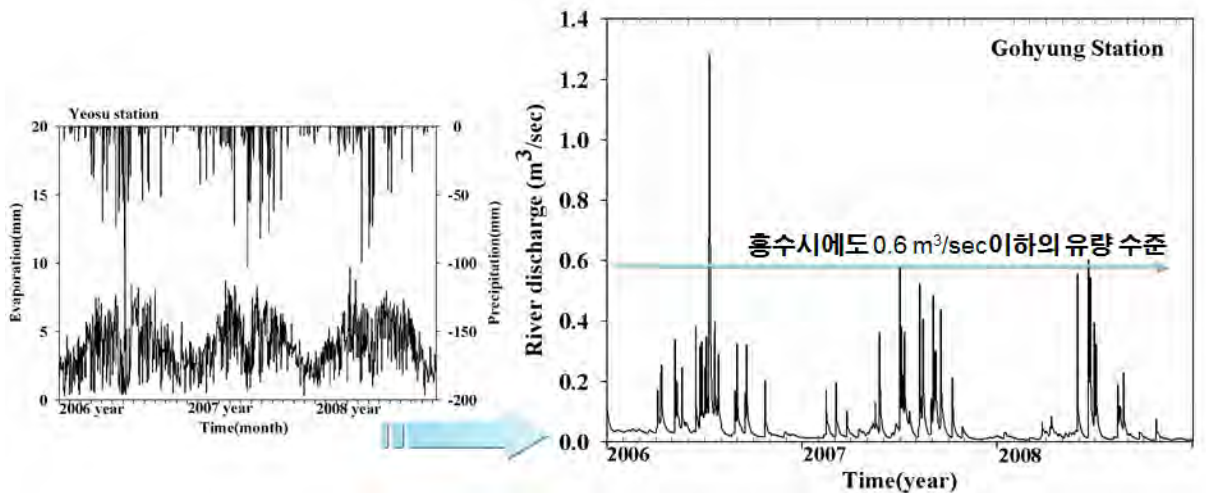


그림 3-3-13. 유입하천의 유입량 변동

(6) 생산성

현지의 어민 및 전문가들의 현장 청취결과를 통해 대상해역의 생산량의 상대적인 양호지점을 파악하였다.

조사결과 생산성이 양호한 지역은 지반고가 낮아서 간조시 수면에 가까운 양식장이 양호한 생산성을 보이는 것으로 판단되었으며, 방조제 측은 상대적으로 가장 낮은 생산성을 보였다. 이러한 결과는 갯벌둑의 설계시 양식장의 노출시간을 최소화 하는 것이 중요할 것으로 판단되며, 이때 투수성이 높은 저질과 구조물의 상호작용을 고려하여 경계둑의 설계가 이루어 져야 할 것으로 판단된다(그림 3-3-14).



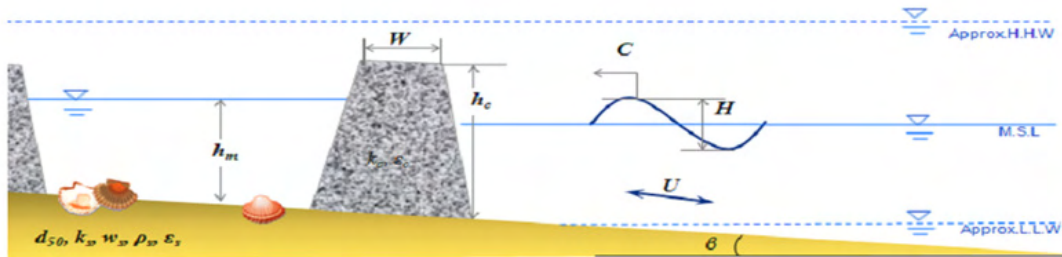
그림 3-3-14. 대상해역(남성리) 바지락 생산성의 청취결과

다. 수리학적 인자

갯벌둑에 작용하는 외력과 그에 따른 구조물의 상호관계를 파악하기 위해 갯벌둑의 설계를 위한 수리학적 인자 분석하였으며, 각 인자들은 다음과 같다.

구조물의 설계인자는 구조물의 기하학적 형상에 관한 치수가 주된 인자이며, 저면조건은 해저경사, 수심 해저질 밀도 등 다양한 요소를 고려할 수 있다. 입사파랑은 파고와 주기를 대상으로 하며, 조류의 경우 조위와 유속 유향을 주된 설계인자로 검토 할 수 있다(그림 3-3-15).

각 인자들 중 대부분은 안정성 수리모형실험에 포함되어 나타나는 현상이지만, 투수성에 관한 문제는 안정성 실험상에서 나타나기 어려우므로 투수성에 관한 특성 분석은 투수계수 실험장치를 제작하여 그 상대적 특성을 검토하였다.



$$Q\{D, h_m, P \dots\} = f_{structure}\{W, h_c, k_c, \epsilon_c \dots\} + f_{seabed}\{\beta, h, \rho_s, w_s, d_{50}, k_s, \epsilon_s, \dots\} + f_{wave}\{H, T, C, \theta_w \dots\} + f_{tide}\{\Delta h, U, \theta_t, \rho_w \dots\}$$

Q 해양생물 총생산량	Structure	Seabed	Wave	Tide+ Current
D: 노출시간 h _m : 시설내의 평균수심 P: 일조량	W: 구조물 폭 h _c : 구조물 높이 k _c : 구조물 투수율 ε _c : 구조물 유공성 - 말둑일 경우 h _c : 말둑높이 φ: 말둑직경 Δd: 말둑간격	β: 해저경사 h: 수심 ρ _s : 해저질 밀도 w _s : 저질 침강속도 d ₅₀ : 저질중간입경 k _s : 해저질의 투수율 (permeability) ε _s : 해저질의 유공성 (porosity)	H: 파고 T: 주기 C: 파속 θ _w : 파향	Δh: 조위 U: 유속 θ _t : 유향 ρ _w : 해수밀도

그림 3-3-15. 갯벌둑 주요 설계인자

(1) 투수성

본 연구에서 논의 되고 있는 굴폐각 사석, 모래에 대한 상대적인 투수성을 검토하기 위해 투수계수 실험장치를 제작하여 각 재질의 투수성을 검토하였다.

(가) 실험장치

투수계수실험장치는 양쪽 높이가 각각 2.0m, 0.8m이며, 수두차가 1.2m인 정수두 실험장치로 수두 상단에는 웨어를 설치하여 수두가 높은 부분으로부터 낮은 부분으로 일정한 흐름을 유지 할 수 있도록 하였다(그림 3-3-16).

실험관의 지름은 300mm로 관경이 지속적으로 유지할 수 있도록 하였으며, 중앙하부의 수평관에 실험용 시료를 충전하여 투수계수를 실험하였다.



그림 3-3-16. 투수계수 실험장치

(나) 실험방법

본 연구에 사용된 매질은 총 3종류로, 모래, 사석, 현장에서 채취된 굴패각이다. 각 매질을 투수계수실험장치에 설치하여 일정한 유량이 통과한 시간을 측정하였다.

실험은 재질별로 3회 실험을 실시하여 평균값을 이용하였으며, 빈관의 조건에서 유량이 통과한 시간을 기준으로 상대적인 유량의 변화를 계측하여 속도비를 제시하였다.

그림 3-3-17은 실험재료의 모습이다. 사석은 일반 자갈로 입경이 30mm에서 40mm의 자갈을 이용하였으며, 모래는 50% 통과중량백분이 0.18mm로 세사를 이용하였다. 굴패각은 일차 분쇄하여 입경이 30mm정도가 되도록 하였으며, 균질한 패각형상을 유지하기에는 한계가 있었다.



(a) 사석(d50 = 30mm~40mm)



(b) 모래(d50=0.18mm)



(c) 패각분

그림 3-3-17. 투수계수 실험에 사용된 재료

(다) 실험결과

실험결과 투수계수 장치에 설치된 각 매질을 통과한 시간은 빈관, 굴폐각, 자갈, 모래의 순으로 빠르게 나타났으며, 빈관에 대한 투수비는 모래의 경우 12.8%, 자갈의 경우 24.8%, 굴폐각의 경우 37.3%의 값을 나타냈다.

이러한 결과는 갯벌두렁의 설계시 현장 구조물 전후의 침·퇴적 및 간출시 수위유지를 위한 필수적인 검토요소가 된다. 굴폐각 자체의 경우 투수성이 크므로 수위유지에는 한계가 있는 재료로 보이나 다공질 갯벌둑 혹은 경계구조물과 조합하여 시설할 경우 저질개선을 위한 굴폐각의 역할은 확보할 수 있을 것을 사료된다.

표 3-3-3. 실험결과

	통과시간(sec)	유량(m ³ /sec)	유속비(/빈관)
빈관	2.5	0.00760	1.00000
모래	19.5	0.00097	0.12821
자갈	10.1	0.00188	0.24752
굴폐각	6.7	0.00284	0.37313

(2) 침·퇴적

갯벌둑 구조물의 설치 시 발생하는 구조물 부근의 침퇴적 현상을 파악하기위해 Ryu(1998)에 의한 연구결과를 검토하였다. 본 대상해역의 저질조건이 니질의 세사이므로 평상파랑 및 유속에 의한 침퇴적이 일어나기 쉽다(그림 3-3-18).

특히 파랑에 의한 구조물이 노출 될 때에는 세굴이 발생하기 쉬우며, 물속에 잠겨있는 경우 퇴적이 발생하기 쉽다. 대체적으로 구조물이 수중에 있을 경우가 많은 해역의 특성상 주로 퇴적이 발생하기 쉬우나 구조물의 형상 및 연결에서 발생하는 문제로 인해 국소 유출류가 발생하게 되면 국소세굴을 야기할 수도 있다.

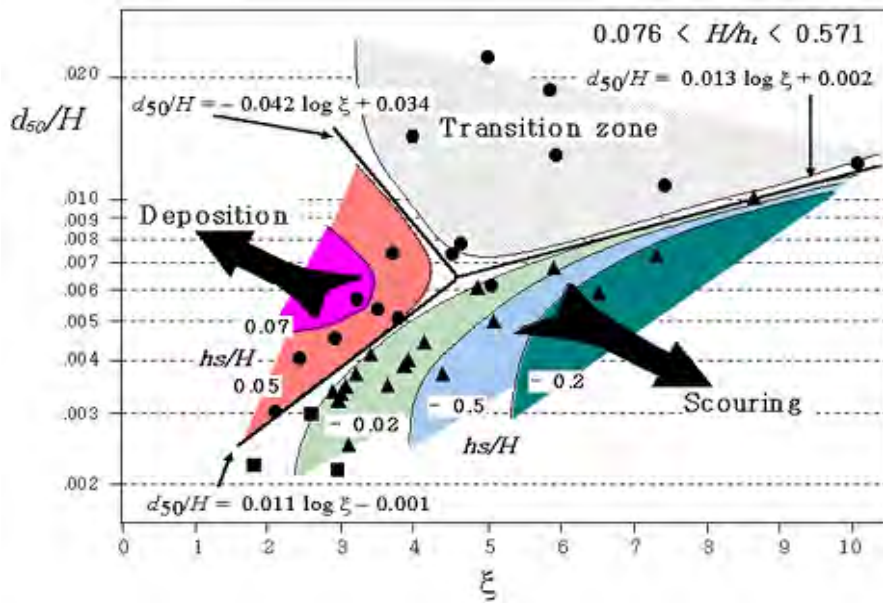


그림 3-3-18. 저질입경에 따른 구조물의 침퇴적 특성

2. 바지락 양식장 갯벌둑 개발

가. 갯벌둑 최적 형상 시뮬레이션(Cadmas-Surf)

갯벌둑의 형상개발을 위해서 전술한 다양한 설계요소들을 이용하여 검토하였고, 수치 모형실험(Cadmas-Surf), 수리모형실험을 통하여 기능성과 안정성을 검토하였다.

갯벌둑의 개발을 위한 갯벌둑의 최적경사를 도출하기 위해 작용파랑에 대한 사면상에 작용하는 파압특성을 검토하였다.

실험조건은 단순한 직각삼각형의 형상에 대해 파랑이 작용하는 경사면의 각도는 30°, 45°, 60°조건에 대해 발생하는 사면상의 파압분포를 검토하였다. 그림 3-3-19는 수치계산 조건의 모식도를 나타내고 있다.

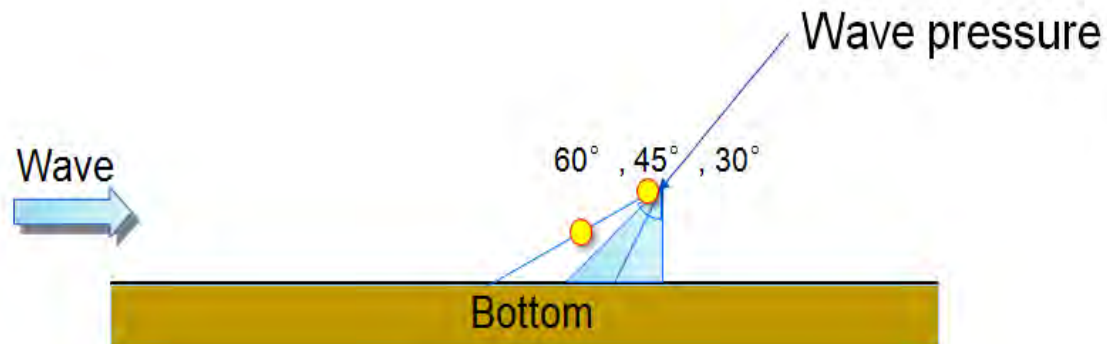


그림 3-3-19. 갯벌둑의 최적형상특성 도출을 위한 수치시뮬레이션 모식도

(1) 수치파동수로(CADMAS-SURF) 실험 방법

(가) 모델의 개요

본 연구는 갯벌둑 주변의 수리특성을 재현하기 위한 해석방법으로 수치파동수로(CADMAS-SURF) 수치모형을 구축하여 입사파랑에 따른 갯벌둑 주변의 파압을 계산하였다.

본 연구에서 구축되어진 수치파동수로(CADMAS-SURF)수치모형의 주요 특징은 다음과 같다.

- 자유표면이 다가함수(多價函數)로 되는 복잡한 흐름을 해석의 대상으로 한다.
- 2차원 비압축유체의 Navier-Stokes방정식과 연속식을 기초방정식으로 한다.
- 자유표면 해석모델에 VOF법을 적용한다.
- Porous모델을 사용하여 형상근사정도를 높인다.
- 셀단위로 임의의 위치에 구조물과 경계조건을 설정할 수 있는 것으로 한다.

- 조파모델로서 조파경계 및 조파소스의 두 가지를 적용한다.
- 조파함수로서, Stokes과 등의 6종류를 적용한다.
- 무반사모델로 Sommerfeld의 방사경계와 에너지 감쇠대 두 가지를 채용한다.
- 기포 및 물방울의 처리로서 TimerDoor법을 적용한다.

(나) 지배방정식

수치과동수로의 기초방정식에는 2차원 비압축성 점성유체를 대상으로 한 연속식과 Navier-Stokes방정식을 Porous모델을 근거하여 확장한 다음의 식을 이용하였다.

◦ 연속방정식

$$11 \frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = S_p$$

◦ 운동방정식

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x u u}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w u}{\partial z} = - \frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \{ \gamma_x \nu_e (2 \frac{\partial u}{\partial x}) \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \gamma_z \nu_e (\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}) \} - D_x u + S_u - R_x$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x u w}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w w}{\partial z} = - \frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \{ \gamma_x \nu_e (\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}) \} + \frac{\partial}{\partial z} \{ \gamma_z \nu_e (2 \frac{\partial w}{\partial z}) \} - D_x w + S_w - R_z - \gamma_v g$$

여기서, t 는 시간, x, z 는 수평, 연직좌표, u, w 는 유속의 수평, 연직성분, ρ 는 밀도, p 는 압력, ν_e 는 분자동점성계수와 와동점성계수의 합, g 는 중력가속도, γ_v 는 공극률, γ_x, γ_z 는 수평, 연직방향의 면적투과율이다.

$\lambda_v, \lambda_x, \lambda_z$ 는 C_M 을 관성력계수로 한다면 다음과 같이 나타내며, 우변 제2항이 구조물로 부터 받은 관성력의 효과를 나타낸다.

$$\lambda_v = \gamma_v + (1 - \gamma_v) C_M$$

$$\lambda_x = \gamma_x + (1 - \gamma_x) C_M$$

$$\lambda_z = \gamma_z + (1 - \gamma_z)C_M$$

또한, 다공질체로부터의 저항력 R_x, R_z 는 다음과 같이 C_D 를 저항력계수로 하여 유속의 제곱에 비례하는 형으로 모델화하였다.

$$R_x = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta x} (1 - \gamma_x) u \sqrt{u^2 + w^2}$$

$$R_z = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta z} (1 - \gamma_z) w \sqrt{u^2 + w^2}$$

이때 $\Delta x, \Delta z$ 는 수평, 연직방향의 격자간격이다.

자유표면해석모델에는 범용성이 높고, 복잡한 표면형상이 해석 가능한 VOF (Volume of Fluid)법을 채용하였다. Porous모델에 기초하는 VOF함수 F 의 이류방정식은 다음과 같다.

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = S_F$$

전술한 식에서 나타낸 S_p, S_u, S_w, S_F 는 조파소스에 관한 항으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_p = q(z, t)$$

$$S_u = uq(z, t)$$

$$S_w = wq(z, t) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial q(z, t)}{\partial z}$$

$$S_F = Fq(z, t)$$

여기서 $q(z, t)$ 는 $x = x_s$ 의 위치에서의 격자간격을 Δx_s 로 하여 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$q(z, t) = 2 \frac{U(x, t)}{\Delta x_s}$$

계산방법은 연속방정식과 운동방정식을 반복 계산하여 매 시간간격마다 미지수인 u , w , p 를 결정하며 이들을 난류모델에 입력하여 와점성계수를 구한다. 그리고 u , w 를 F의 이류방정식에 입력하여 수면곡선을 추적한다. 또한 원하는 조파소스를 입력하여 수치파동수로 내에 파동장을 u , w , p , F로 결정하며 계산종료 시간까지 반복계산을 수행하는 절차를 가진다.

(다) 계산조건

계산조건은 표와 같이 조파된 파랑은 stokes wave이고 open boundary condition을 갖는다. 또한 계산시간 간격은 0.005sec이며 계산수심은 25cm, 50cm이다. 입사파의 주기는 1.9sec이고 파고는 5~10cm의 범위를 갖는다. 구조물의 조건은 전면경사가 30°, 45°, 60°의 조건으로 계산이 수행되었으며, 재질은 불투과성 조건을 적용하였다.

표 3-3-4. 계산조건

Wave generation	Boundary conditions	Time step(sec)	h (cm)	T1/3 (sec)	H1/3 (cm)	Angle (°)	
stokes wave	Open	0.005	25	1.9	5	30	
					8		
			50		5		
					10		
			25		5		45
					8		
					5		
			50		10		
					25	5	60
						8	
			50		5		
					10		

(2) 계산결과

그림 3-3-20부터 그림 3-3-31까지는 각 실험조건에서의 사면상에 작용하는 유속의 벡터를 나타내고 있다.

구조물의 하부(Front)와 상부(Real)의 위치에서 파압계산결과를 정리하였다. 구조물의 각도가 30°인 경우 하부의 파압은 189.24~267.77 Pa의 범위를 갖고, 상부의 파압은 137.74~273.78 Pa의 범위를 갖는다. 구조물의 각도가 45°인 경우 하부의 파압은 138.66~273.78 Pa의 범위를 갖고, 상부의 파압은 110.78~294.4 Pa의 범위를 갖는다. 구조물의 각

도가 60°인 경우 하부의 파압은 147.02~285.53 Pa의 범위를 갖고, 상부의 파압은 101.74~263.43 Pa의 범위를 갖는다(표 3-3-5).

실험결과에서 45°조건인 경사가 사면상에서는 가장 낮은 파압을 보이고, 사면의 끝단에서는 60°일 때 비교적 가장 양호한 파압의 발생을 보였다(그림 3-3-32~33).

구조물 상부를 진행한 파랑은 배후에서 와동이 발생하고 있으며, 이러한 와동은 갯벌둑의 형상 내부에 투수층을 두어 투수층은 굴패각을 충전하여 투수성에 의한 종패의 유실 방지 및 굴패각의 저질개선효과에 효과적일 것으로 판단된다.

이러한 결과는 갯벌둑의 형상을 개발할 때 둑의 외곽경사조건으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3-3-5. 계산결과

h (cm)	T1/3 (sec)	H1/3 (cm)	Angle (θ)	Wave pressure(Pa)		
				Front	Real	
25	1.9	5	30	200.4	199.47	
		8		199.92	137.74	
50		5		189.24	173.62	
		10		267.77	299.95	
25		45	5	138.66	110.78	
			8	210.74	205.91	
50			5	190.34	179.31	
			10	273.78	294.4	
25			60	5	147.02	101.74
				8	223.55	151.65
50	5			189.26	160.97	
	10			285.53	263.43	

time=9.0000E+00
vel =8.2823E-01
→

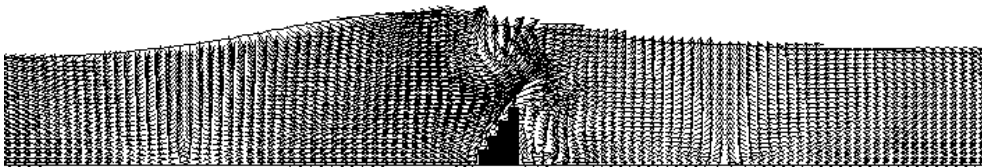


그림 3-3-20. 계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=30^\circ$)

time=1.1000E+01
vel =7.8750E-01
→



그림 3-3-21. 계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=30^\circ$)

time=5.0000E+00
vel =1.4330E-01
→

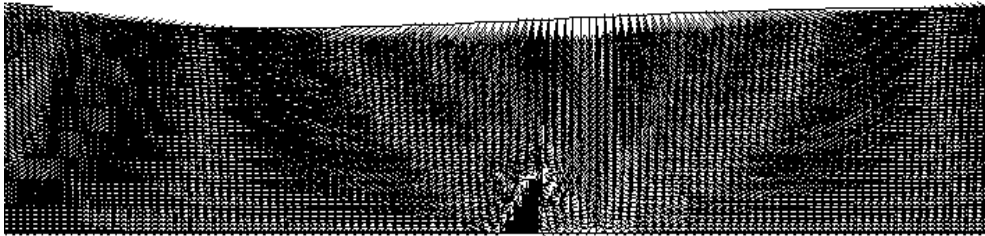


그림 3-3-22. 계산장면($h=50\text{cm}$, $H=5\text{cm}$, $\Theta=30^\circ$)

time=1.2000E+01
vel =6.0123E-01
→

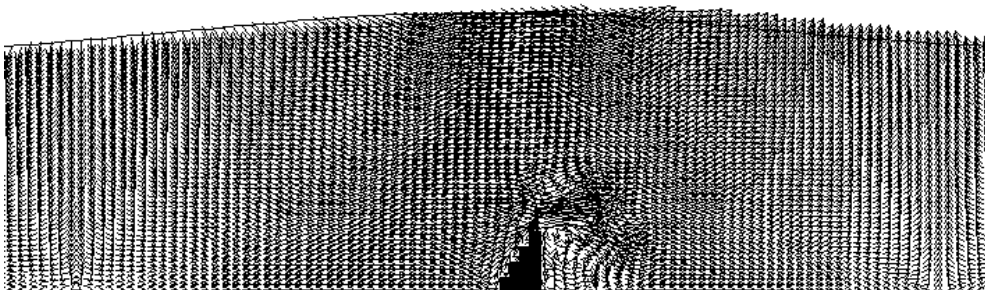


그림 3-3-23. 계산장면($h=50\text{cm}$, $H=10\text{cm}$, $\Theta=30^\circ$)

time=5.0000E+00
vel =2.2926E-01
→

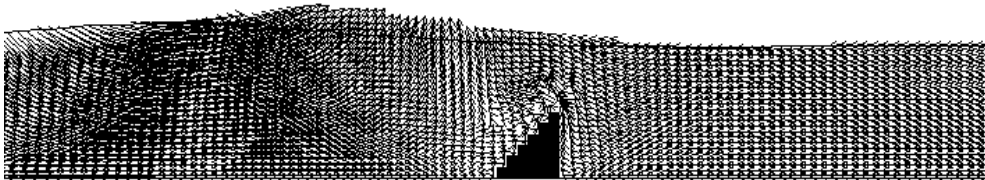


그림 3-3-24. 계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=45^\circ$)

time=5.0000E+00
vel =4.3426E-01
→

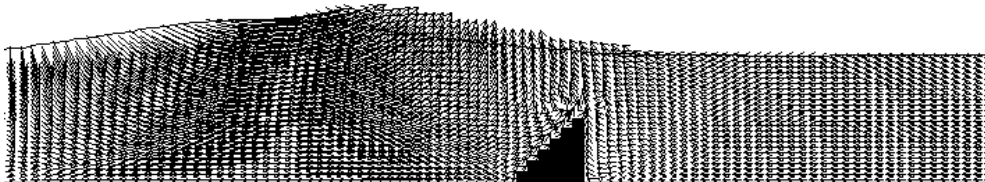


그림 3-3-25. 계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=45^\circ$)

time=4.0000E+00
vel =1.3575E-01
→

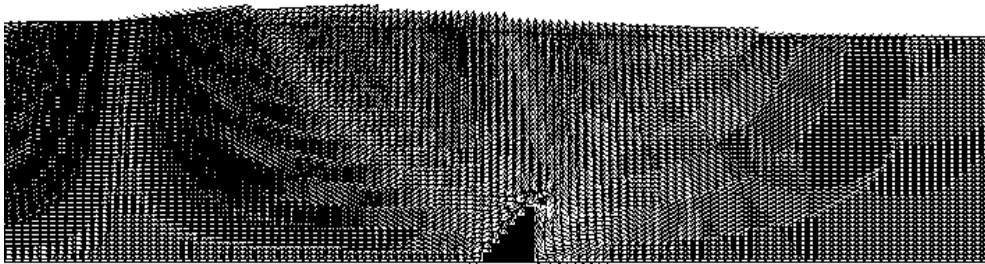


그림 3-3-26. 계산장면($h=50\text{cm}$, $H=5\text{cm}$, $\Theta=45^\circ$)

time=1.0000E+01
vel =6.5490E-01
→

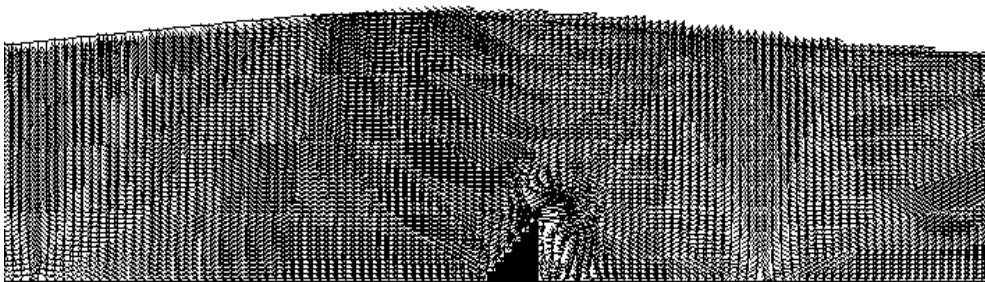


그림 3-3-27. 계산장면($h=50\text{cm}$, $H=10\text{cm}$, $\Theta=45^\circ$)

time=5.0000E+00
vel =2.3009E-01
→

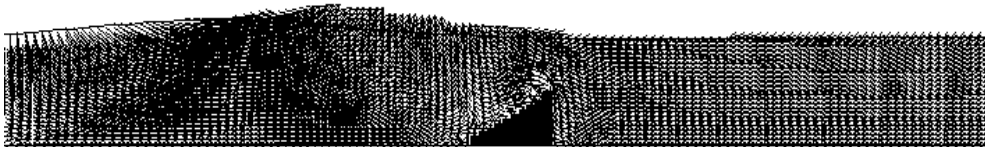


그림 3-3-28. 계산장면(h=25cm, H=5cm, $\theta=60^\circ$)

time=5.0000E+00
vel =4.3426E-01
→

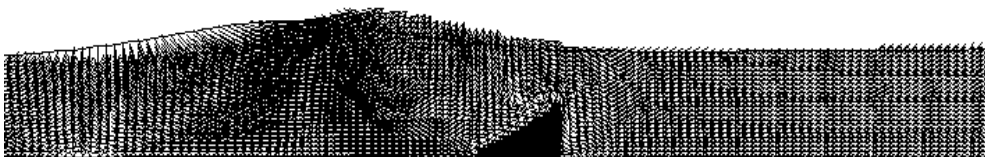


그림 3-3-29. 계산장면(h=25cm, H=8cm, $\theta=60^\circ$)

time=4.0000E+00
vel =1.3575E-01
→

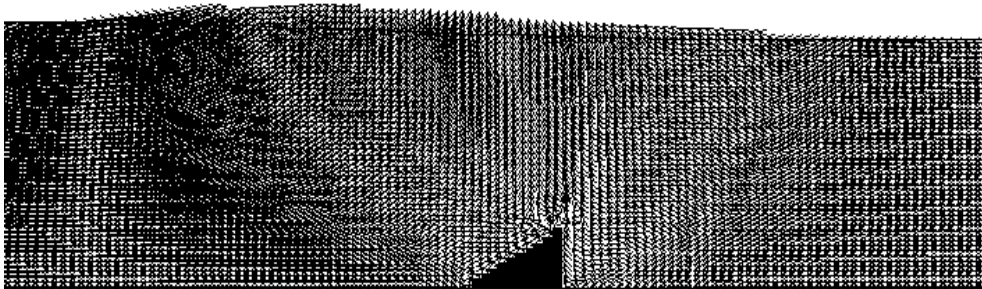


그림 3-3-30. 계산장면(h=50cm, H=5cm, $\Theta=60^\circ$)

time=6.0000E+00
vel =4.2159E-01
→

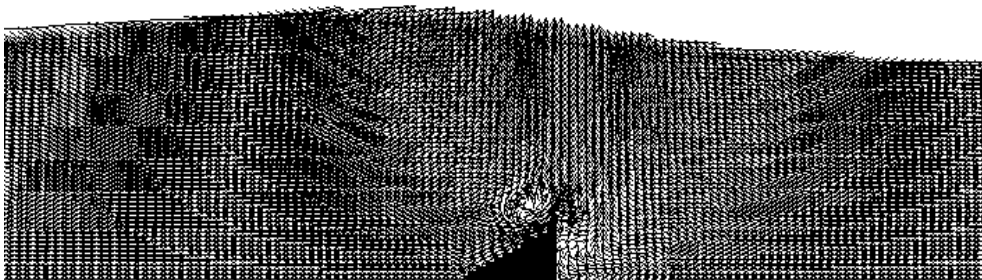


그림 3-3-31. 계산장면(h=50cm, H=10cm, $\Theta=60^\circ$)

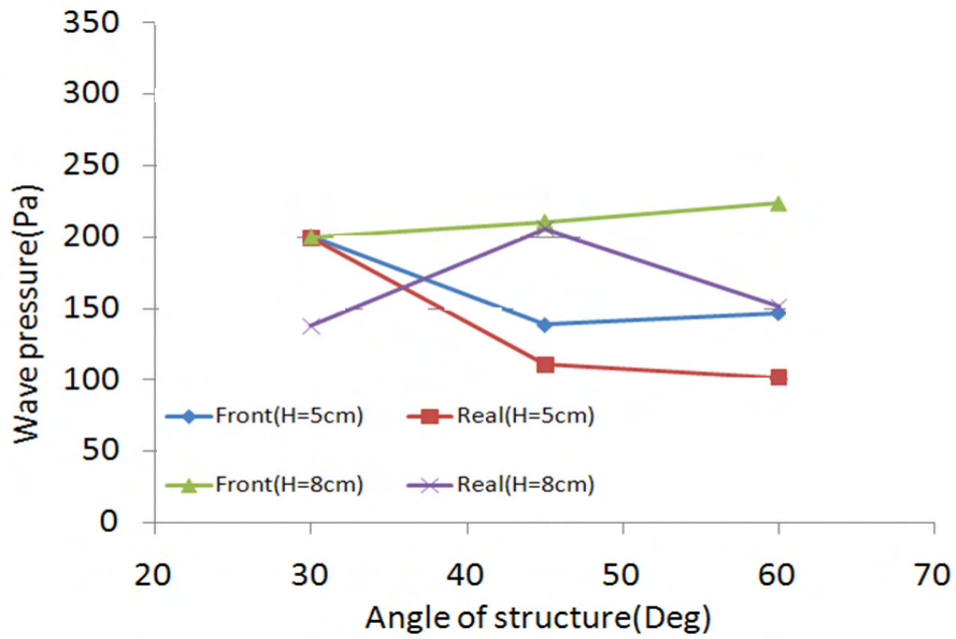


그림 3-3-32. 계산결과(h=25cm)

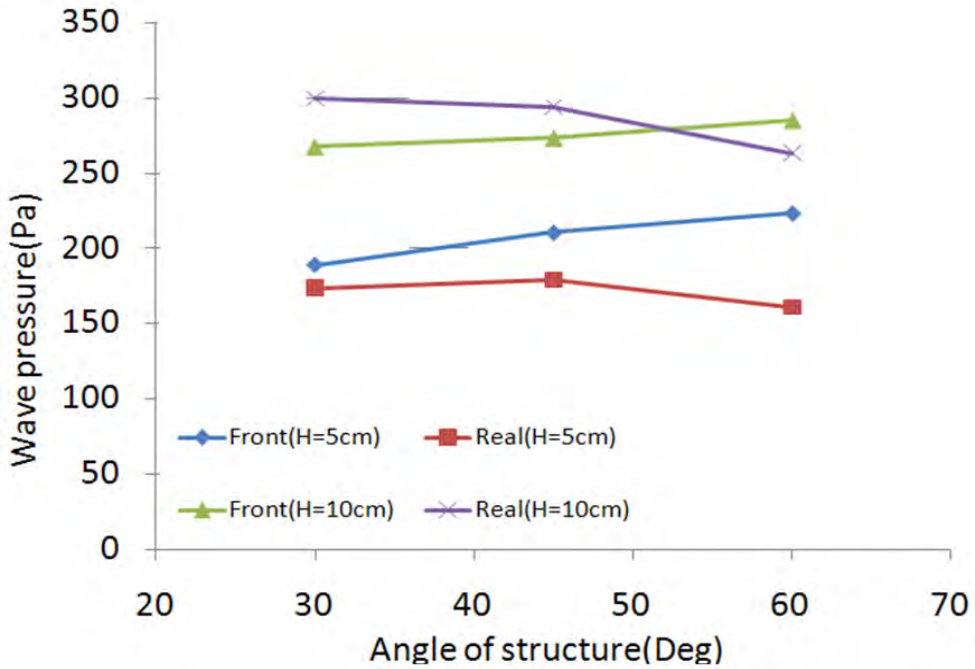


그림 3-3-33. 계산결과(h=50cm)

나. 갯벌둑 안정성 수리모형실험

(1) 실험시설

(가) 단면수로 및 조파기

수리모형실험은 폭 1.0m, 높이 1.0m, 길이 35m의 수로에서 수행되었다. 단면수로에는 전기서보피스톤식 조파기가 설치되어 있으며, 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다.

수로 내에서 구조물설치로 인한 반사파와 조파관에서 발생하는 재반사를 효과적으로 제어하기 위해 단면수로는 수로 폭 1.0m를 폭 0.5m와 폭 0.5m로 분할하였다. 분할된 수로에서 단면모형은 전면 폭 0.5m의 수로에 설치하여 제반 자료를 취득하고, 후면 폭 0.5m의 수로에서는 입사파의 설정 및 보정을 수행한다(그림 3-3-34).

단면수로는 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있으며, 전면 중앙 25m구간을 강화유리로 처리하여 실험장면 관찰이 용이하도록 되어있다.

또한, 조파관 전면에 용량식 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 독취된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에는 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장치가 설치되어 있다.

본 실험에 사용된 조파기는 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 각각의 성분파에 대해 임의의 스펙트럼 값을 입력하여 조파할 수 있으며, 파고계, 파압계 및 유속계 등을 연결하여 동시에 32채널의 데이터를 얻을 수 있다.

수로내에 제체를 설치할 경우, 월파 및 투과파 등에 의해 제체 전·후 수면의 차이가 순간적으로 발생할 수 있으며, 이러한 수위차이는 수로 양 끝단으로 연결된 파이프와 폭 0.5m의 후면 수로를 통하여 제체 전·후면의 수위가 동일하게 유지된다.

본 단면 수리모형실험에 사용된 단면수로의 제원 및 기능을 요약하면 표 3-3-6과 같다.

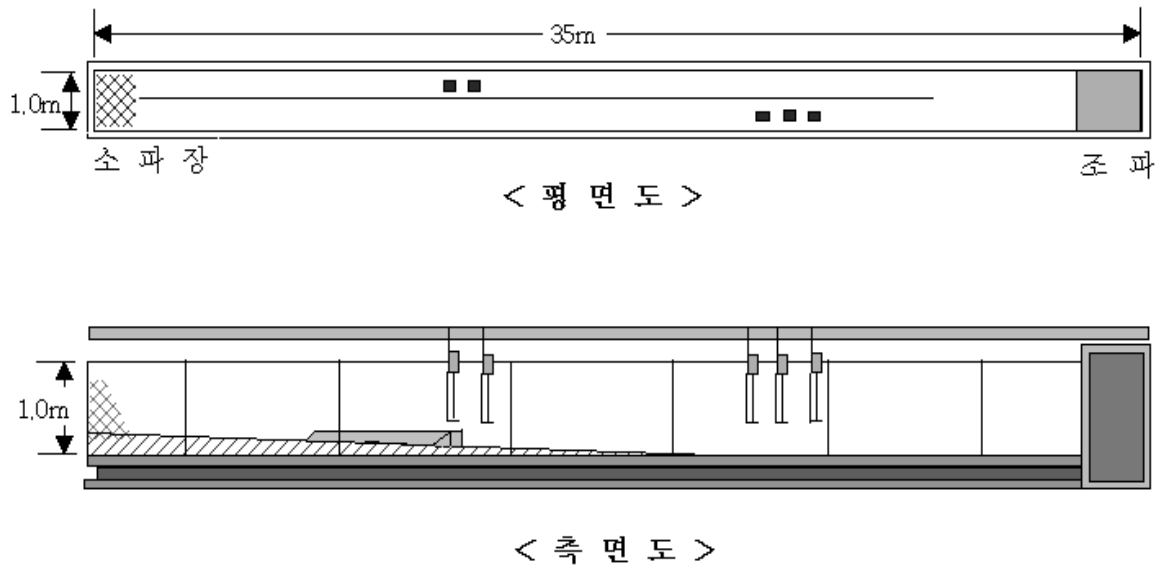


그림 3-3-34. 단면수로 모식도

표 3-3-6. 단면수로 및 조파기 특성

구 분		실험 시설 및 장비	비 고
수로 제 원		35m(L)×1.0m(W)×1.0m(H)	
조파기 성 능	조파판 크기	1.0m(W)×1.0m(H)	
	최대파고	0.25	
	재현주기	0.5 sec ~ 2.5 sec	
	최대수심	0.8 m	
	구동방법	전기서보피스톤식	

(나) 계측장비 및 주변장치

1) 계측 및 분석시스템

컴퓨터, 증폭기 및 A/D converter로 구성되어 있으며, 실험과 제원에 따라 생성된 조파신호를 조파기로 송신하고, 파고계로부터 독취된 자료를 주파수 스펙트럼 및 파고 등으로 분석하는 기능을 하는 장치이다.

- 해석컴퓨터 : 개인용컴퓨터(PC)로서 실험자료의 취득과 조파기의 제어 및 자료분석에 사용되며, 조파신호 생성, 자료독취 및 독취자료의 분석에 사용되었다.
- 증폭기 : 분석정도를 향상시키기 위해 파고계의 미세 전압을 증폭하는 장치이다.
- 제어장비 : 컴퓨터에서 생성된 조파신호와 조파판 변위신호를 합성하여 구동부 제어기에 송신하는 장치이다.
- 자동레벨 : 모형의 설치 및 정확한 수준점의 적용을 위해 자동레벨을 이용하여 모형설치 및 수위변동을 검토하여 실험의 정도를 높게 하였다.

2) 계측장비

- 파고계 : 실험과 설정 및 실험파고 계측에 사용된 파고계는 용량식 파고계(모델명 CHT4-50)로서 길이가 50cm이고 측정범위는 $0 \sim \pm 25\text{cm}$ 이며, 평면 수리모형실험시 15대의 파고계를 운용하였다.
- A/D, D/A converter : 데이터 독취를 위해 파고 계측기로부터 전송된 아날로그 신호를 이산화하여 디지털 값으로 변환하고(A/D), 목표스펙트럼에 의해 생성된 디지털 조파신호를 아날로그 형태로 변환(D/A)하는 장치이다.
- Camcorder, VTR, TV 및 카메라 : 실험과정의 모니터링, 촬영, 편집 및 결과분석을 위해 사용되었다.

3) 소파시설

모형실험은 유한한 수조에서 수행되므로 구조물과 수조벽면 등에서 실제와 관계없는 반사파가 발생하게 된다. 본 실험 시 수조벽면은 유공블럭과 다공질 소파제로 피복하여 반사파 발생을 최소화하였으며, 조파기 후면에는 스테인리스 재질의 소파시설을 배치하여 반사파를 최소화 하였다.

대상해역 외의 주변지형 및 구조물에서 발생한 반사파가 조파판에서 재반사 되는 것을 최소화하기 위해 소파제 및 쇄석을 설치하여 재반사를 최소화 하였다.

(2) 모형의 축척과 제작

(가) 일반사항

수조의 바닥에는 현지의 해저대표경사를 고려하여 모레를 이용하여 저면을 설치하였다.

조파관 전면에서 모형수심이 시작되는 곳까지 수평 약 8m 이상의 일정수심 구간을 두었으며, 이는 조파기에 의해서 발생된 파가 일정수심을 전파하며 발달할 수 있는 거리를 두기 위한 것이다.

모형 제작 시 현 실정을 감안하고, 가능한 한 상사 재현성을 고려하여 정교한 작업을 수행하였다.

(나) 축척 및 상사율

모형의 축척과 제작은 실험의 목적, 실험수조, 실험시설 및 실험장비 등의 규모와 성능을 종합적으로 고려하여 선택되지만 가장 중요한 것은 실험의 목적에 따라 원형에서의 수리현상이 모형에서 가장 잘 재현될 수 있어야 한다.

본 과업에서는 수심, 조위, 해저경사, 설계파, 구조물의 마루높이, 모형제작 영역, 실험수조의 크기 등을 종합적으로 고려하여 연직 및 수평방향의 축척을 1:10으로 한 정상모형을 사용하였다.

모형은 Froude 상사법칙을 적용하여 원형을 축소하여 제작하였으며, 사용된 상사율을 요약하면 아래 표 3-3-7과 같다.

모형실험의 결과를 원형에 적용하려면 모형과 원형 사이에는 수리학적 상사가 성립되어야 하며, 수리학적 상사법칙은 모형실험에서 측정된 여러 물리량을 원형에 적용할 때의 환산율을 규정한 것이다.

원형과 모형에서 완전상사를 이룬다는 것은 실질적으로 불가능하다 할 수 있으며, 실제의 수리현상에서 하나 혹은 몇 개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이므로 지배적인 힘 하나만을 고려하는 것이 일반적이다.

유체가 받는 외력으로는 압력, 중력, 점성력, 표면장력, 탄성력 등이 있으며, 유체에 작용하는 주요 외력이 중력인 경우에는 Froude 상사법칙이 적용되고, 점성력이 흐름을 지배하는 경우에는 Reynolds 상사법칙이 적용된다.

해양구조물과 관련된 수리모형실험은 자유수면을 갖는 파랑실험이므로 중력이 유체의 운동을 지배한다. 따라서, 모형과 원형 사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배되며, 제반 인자는 Froude 상사율에 의거 축소하였다.

시간축척을 $M_T = T_p/T_m$, 거리축척을 $M_L = L_p/L_m$, 수심축척을 $M_h = h_p/h_m$, 파고축

척을 $M_H = H_p/H_m$ 이라 할 때 Froude 상사법칙에 의해

$$M_L = M_h = M_H = M_T^2$$

이며, 평면실험에서는 1/10 축척의 모형을 사용하였기 때문에

$$M_L = M_h = M_H = 10$$

이므로, $M_T = \sqrt{10}$ 이다. 즉,

$$L_p = 10L_m, h_p = 10h_m, H_p = 10H_m, T_p = \sqrt{10} T_m$$

임을 알 수 있다.

또한, 원형과 모형에서의 유체의 밀도와 단위중량이 같다고 가정하면 중량(W)과 힘(F)의 상사율은 $M_W = M_F$ 이다. 따라서,

$$M_W = M_F \Rightarrow W_p/W_m = F_p/F_m = [L_p/L_m]^3 = 10^3$$

이므로, $W_p = 10^3 W_m$ 으로 주어진다.

표 3-3-7. Froude 상사법칙 적용 예

항 목	기 호	축 척	예	원 형	모 형
길 이	L_r	L_r	1/10	10m	1m
수 심	h_r	L_r	1/10	10m	1m
파 고	H_r	L_r	1/10	1.0m	10cm
파 장	λ_r	L_r	1/10	10m	1m
주기와 시간	T_r	$L_r^{1/2}$	$(1/10)^{1/2}$	6.00sec	1.89sec

- 모형제작

모형 갯벌둑은 현장의 구조물을 재현하기 위하여 사석 입자를 이용하여 공극률 0.5인 조건으로 제작하였다.

(3) 실험조건

(가) 조위 및 수심

금번 수리모형실험에 적용한 실험수심은 남성리, 계매리, 도리포의 수심과 조위를 고려하여 0.3 m ~ 4.4 m의 범위의 수심을 적용하였다.

(나) 실험과 설정

실험파랑조건은 남성리, 계매리, 도리포의 현장파랑 조건을 적용하여 평상파 6sec, 심해설계파 3.5sec의 주기를 갖는 파랑에 대한 실험을 수행하였다.

실험파랑조건은 표 3-3-8과 같고 불규칙파의 조파순서는 그림 3-3-35와 같은 과정을 적용하여 재현하였다.

표 3-3-8. 실험파랑제원

단면	실험과	파랑조건			파랑조건		
		h (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	h (cm)	T1/3 (sec)	H1/3 (cm)
다공질 갯벌дук	0.3	3.5	0.12	3.0	1.11	1.2	
			0.13			1.3	
			0.14			1.4	
			0.15			1.5	
			0.16			1.6	
			0.17			1.7	
		6.0	0.14	1.90	1.4		
			0.15		1.5		
			0.17		1.7		
			0.18		1.8		
			0.19		1.9		
			0.23		2.3		
	1.8	3.5	0.1	18.0	1.11	1	
			0.2			2	
			0.31			3.1	
			0.42			4.2	
			0.52			5.2	
			0.63			6.3	
		6.0	0.22	1.90	2.2		
			0.3		3		
			0.39		3.9		
			0.48		4.8		
			0.57		5.7		
			0.66		6.6		

표 3-3-8. 계속

단면	실험파	파랑조건			파랑조건		
		h (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	h (cm)	T1/3 (sec)	H1/3 (cm)
다공질 갯벌둑	3.33	3.5	0.25	33.3	1.11	2.5	
			0.37			3.7	
			0.47			4.7	
			0.62			6.2	
			0.71			7.1	
			0.77			7.7	
		6.0	0.38		1.90	3.8	
			0.47			4.7	
			0.54			5.4	
			0.65			6.5	
			0.75			7.5	
			0.95			9.5	
	4.8	3.5	0.28	48.0	1.11	2.8	
			0.37			3.7	
			0.51			5.1	
			0.62			6.2	
			0.7			7	
			0.78			7.8	
		6.0	0.35		1.90	3.5	
			0.45			4.5	
			0.55			5.5	
			0.66			6.6	
			0.77			7.7	
			0.96			9.6	

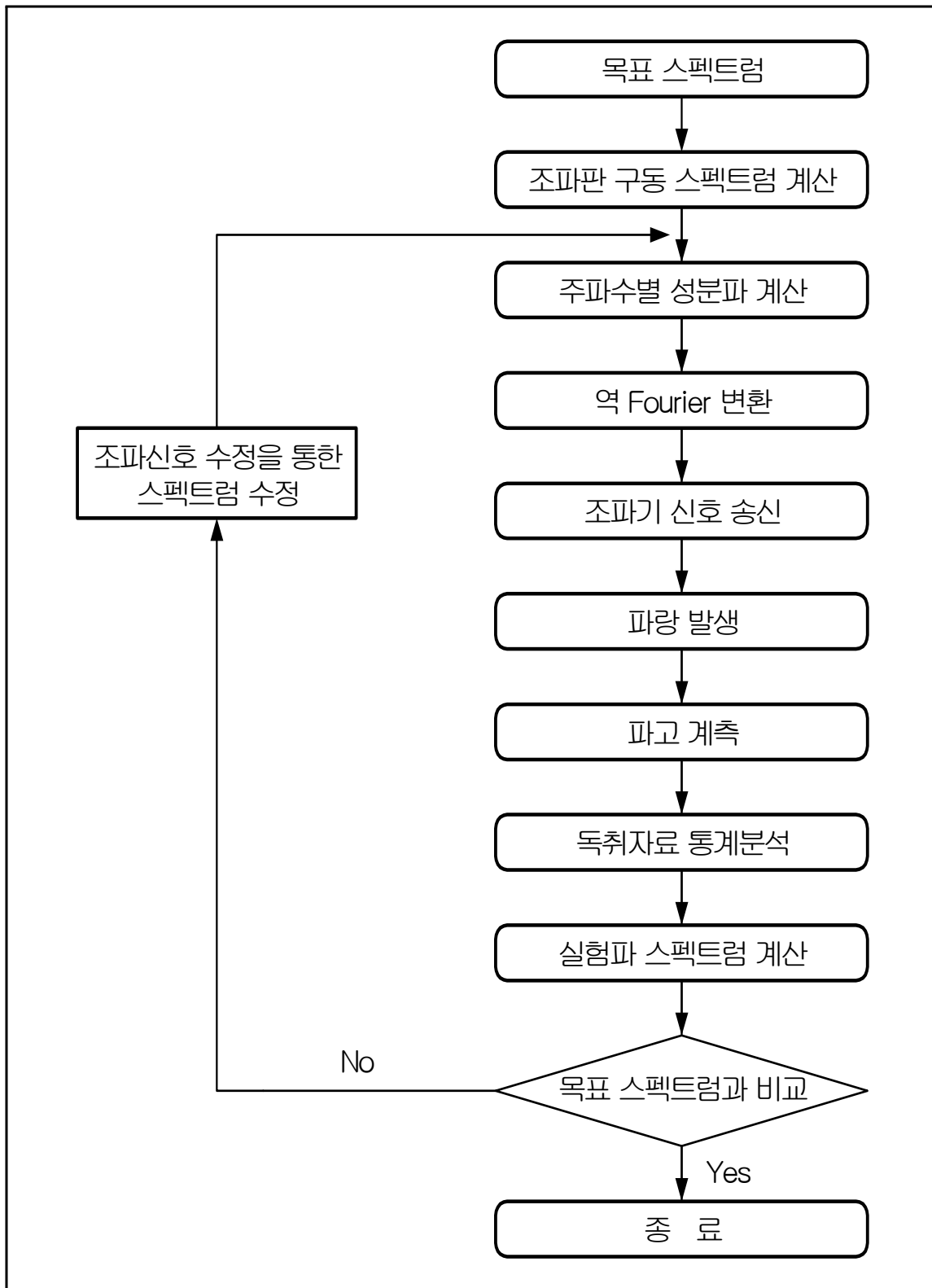


그림 3-3-35. 불규칙파의 조파순서

(4) 실험항목

(가) 안정성

실험에 사용된 다공질 갯벌둑의 안정성은 수로의 유리면에 구조물의 위치를 표시한 후, 내습파에 의한 다공질 갯벌둑의 움직임을 육안 및 비디오 레코더를 이용하여 관찰하였다.

본 실험에서는 구조물의 전도 및 활동을 고려하여 안정성을 분석하였다.

(나) 구조물 전후 저면변화

파랑에 의한 구조물 전후의 저면변화는 안정성에 영향을 미치는 요소이므로 매우 중요하다.

(5) 실험안

(가) 일반 다공질 갯벌둑

본 실험에 사용된 기존 다공질 갯벌둑은 하부폭이 3.0cm 상부폭이 2.0cm이며 높이가 5.0cm인 사다리꼴 형태이다. 구조물의 폭은 5.0cm이다(그림 3-3-36).

(나) 개선 다공질 갯벌둑

본 실험에 사용된 개선 다공질 갯벌둑은 하부폭이 5.0cm 상부폭이 3.0cm이며 높이가 5.0cm인 사다리꼴 형태이다. 기존 다공질 갯벌둑과 달리 구조물 상부에서 상부로 홈이 있고 구조물의 폭은 5.0cm이다(그림 3-3-37).



그림 3-3-36. 기존 다공질 갯벌독의 설치모습



그림 3-3-37. 개선 다공질 갯벌독의 설치모습

(6) 실험결과

(가) 일반 다공질 갯벌둑의 실험결과

1) 안정성 실험결과

일반 다공질 갯벌둑에 대한 안정성 실험 검토 결과는 표 3-3-9와 같다. 안정성은 수심이 0.3m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우 파고가 0.12~0.17m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고, 주기가 6.0sec인 경우 파고가 0.14~0.19m인 범위에서 안정한 것으로 나타났으며 파고가 0.23m인 조건에서 불안정하였다.

수심이 1.8m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우 파고가 0.1~0.42m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고 파고가 0.52m 이상인 조건에서 불안정하였다. 또한 주기가 6.0sec인 경우 파고가 0.22~0.39m인 범위에서 안정한 것으로 나타났으며 파고가 0.48m 이상인 조건에서 불안정하였다.

수심이 3.33m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우 파고가 0.25~0.62m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고, 파고가 0.71m인 조건에서 동요가 발생하였으며, 파고가 0.77m 이상인 조건에서 불안정하였다. 주기가 6.0sec인 경우 파고가 0.38~0.54m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고, 파고가 0.65m인 조건에서 동요가 발생하였으며, 파고가 0.75m 이상인 조건에서 불안정하였다.

수심이 4.8m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우 파고가 0.28~0.62m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고, 파고가 0.70m인 조건에서 동요가 발생하였으며, 파고가 0.78m 이상인 조건에서 불안정하였다. 주기가 6.0sec인 경우 파고가 0.35~0.55 m인 범위에서 안정한 것으로 나타났고, 파고가 0.66m인 조건에서 동요가 발생하였으며, 파고가 0.77m 이상인 조건에서 불안정하였다.

표 3-3-9. 일반 다공질 갯벌둑 실험결과

단면	실험과		실험결과				
	h (m)	과랑조건	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	안정성	저면변화	
일반 다공질 갯벌둑	0.3	3.5		0.12	안정		
				0.13	안정		
				0.14	안정		
				0.15	안정		
				0.16	안정		
				0.17	안정		
			6.0		0.14	안정	
				0.15	안정		
				0.17	안정		
				0.18	안정		
				0.19	안정		
				0.23	불안정(전도)		
	1.8	3.5		0.1	안정		
				0.2	안정		
				0.31	안정		
				0.42	안정		
				0.52	불안정(전도)		
				0.63	불안정(전도)		
			6.0		0.22	안정	
				0.3	안정		
				0.39	안정		
				0.48	불안정(전도)		
				0.57	불안정(전도)		
				0.66	불안정(전도)		

표 3-3-9. 계속

실험과 단면	파랑조건			실험결과	
	h (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	안정성	저면변화
일반 다공질 갯벌둑	3.33	3.5	0.25	안정	
			0.37	안정	
			0.47	안정	
			0.62	안정	
			0.71	불안정(동요)	
			0.77	불안정(전도)	
		6.0	0.38	안정	
			0.47	안정	
			0.54	안정	
			0.65	불안정(동요)	
			0.75	불안정(전도)	
			0.95	불안정(전도)	
	4.8	3.5	0.28	안정	
			0.37	안정	
			0.51	안정	
			0.62	안정	
			0.7	불안정(동요)	
			0.78	불안정(전도)	
		6.0	0.35	안정	
			0.45	안정	
			0.55	안정	
			0.66	불안정(동요)	
			0.77	불안정(전도)	
			0.96	불안정(전도)	

(나) 개선 다공질 갯벌둑의 실험결과

1) 안정성 실험결과

개선 다공질 갯벌둑의 실험결과 안정성은 수심이 0.3~4.8m인 조건에서 주기가 3.5sec인 경우와 주기가 6.0sec인 경우 모든 실험범위에서 안정하게 나타났다(표 3-3-10).

그림 3-3-38부터 그림 3-3-51까지는 각 실험조건에 대한 수리모형실험결과 사진이다.

표 3-3-10. 개선 다공질 갯벌둑 실험결과

단면	실험과	파랑조건			실험결과
	h (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	안정성	
개선 다공질 갯벌둑	0.3	3.5	0.12	안정	
			0.13	안정	
			0.14	안정	
			0.15	안정	
			0.16	안정	
			0.17	안정	
		6.0	0.14	안정	
			0.15	안정	
			0.17	안정	
			0.18	안정	
			0.19	안정	
			0.23	안정	
	1.8	3.5	0.1	안정	
			0.2	안정	
			0.31	안정	
			0.42	안정	
			0.52	-	
			0.63	-	
		6.0	0.22	안정	
			0.3	안정	
			0.39	안정	
		0.48	안정		
		0.57	-		
		0.66	-		

표 3-3-10. 계속

단면	실험과	파랑조건			실험결과
		h (m)	T1/3 (sec)	H1/3 (m)	안정성
개선 다공질 갯벌둑	3.33	3.5	0.25	안정	
			0.37	안정	
			0.47	안정	
			0.62	안정	
			0.71	안정	
			0.77	안정	
		6.0	0.38	안정	
			0.47	안정	
			0.54	안정	
			0.65	안정	
			0.75	안정	
			0.95	안정	
	4.8	3.5	0.28	안정	
			0.37	안정	
			0.51	안정	
			0.62	안정	
			0.7	안정	
			0.78	안정	
		6.0	0.35	안정	
			0.45	안정	
			0.55	안정	
		0.66	안정		
		0.77	안정		
		0.96	안정		

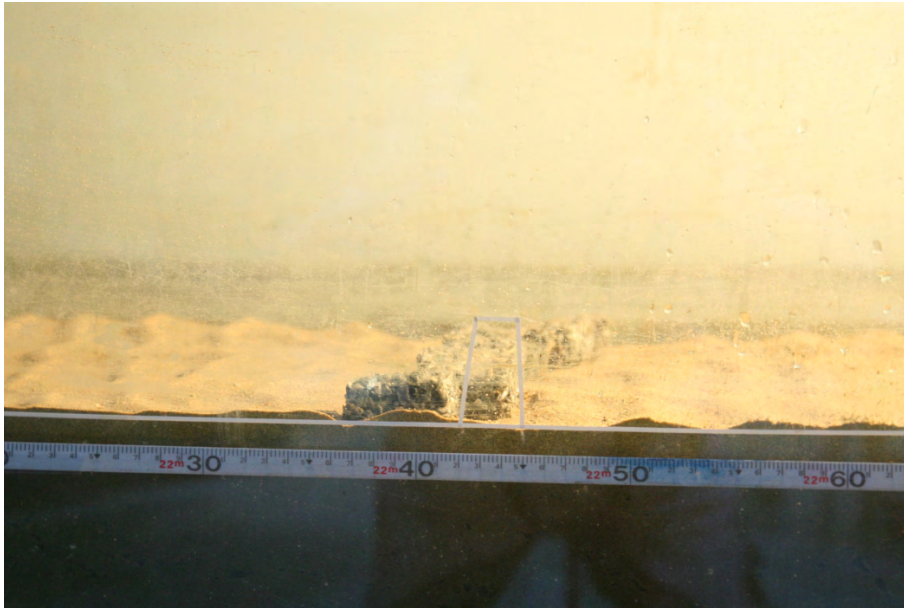


그림 3-3-38. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=0.3m)



그림 3-3-39. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=0.3m)

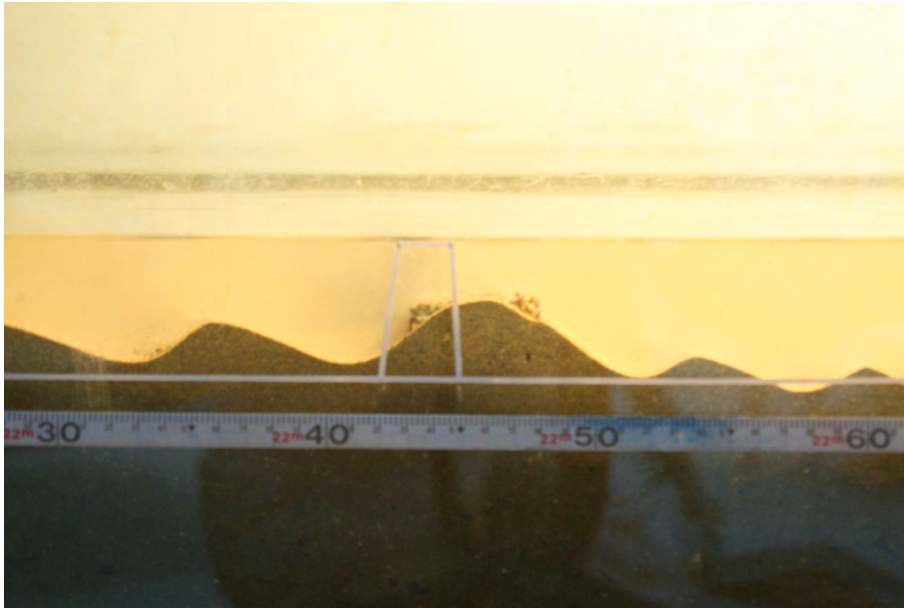


그림 3-3-40. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=1.8m)



그림 3-3-41. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=1.8m)



그림 3-3-42. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면(h=3.33m)

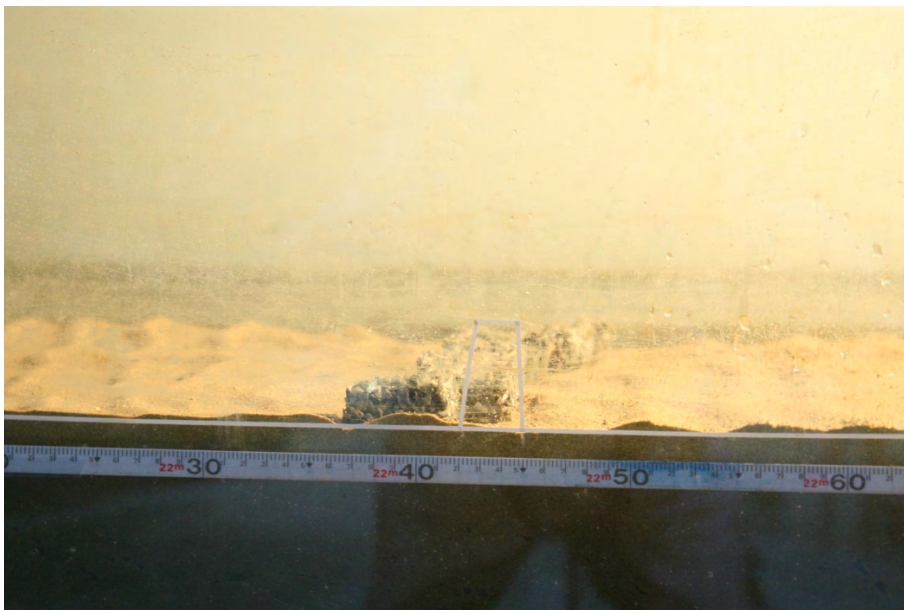


그림 3-3-43. 기존 다공질 갯벌둑 실험장면(h=4.8m)

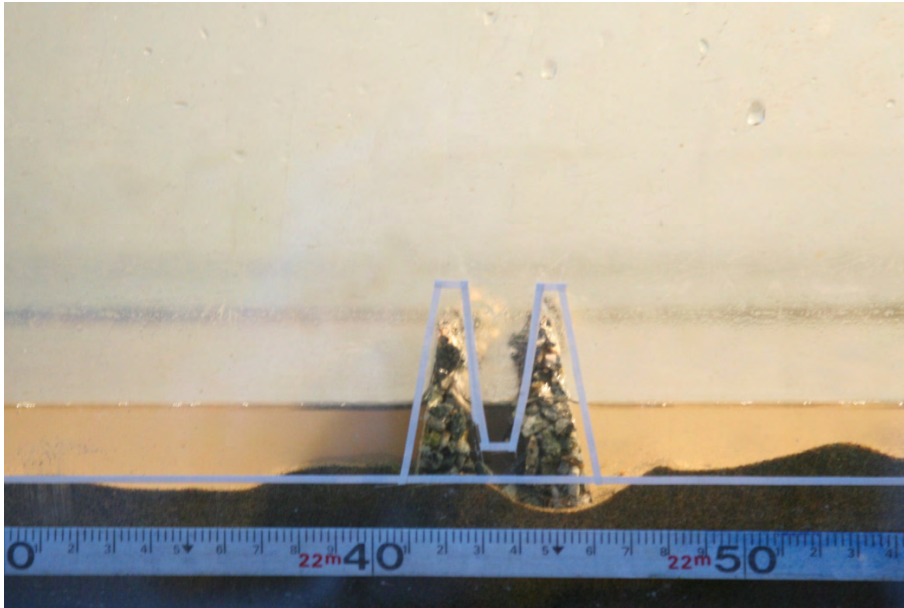


그림 3-3-44. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1($h=0.3m$)

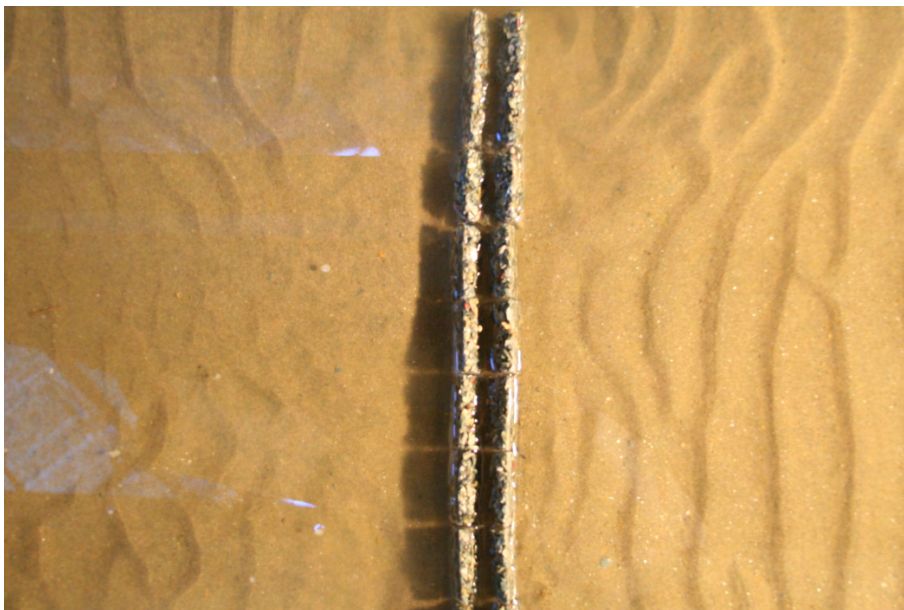


그림 3-3-45. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2($h=0.3m$)

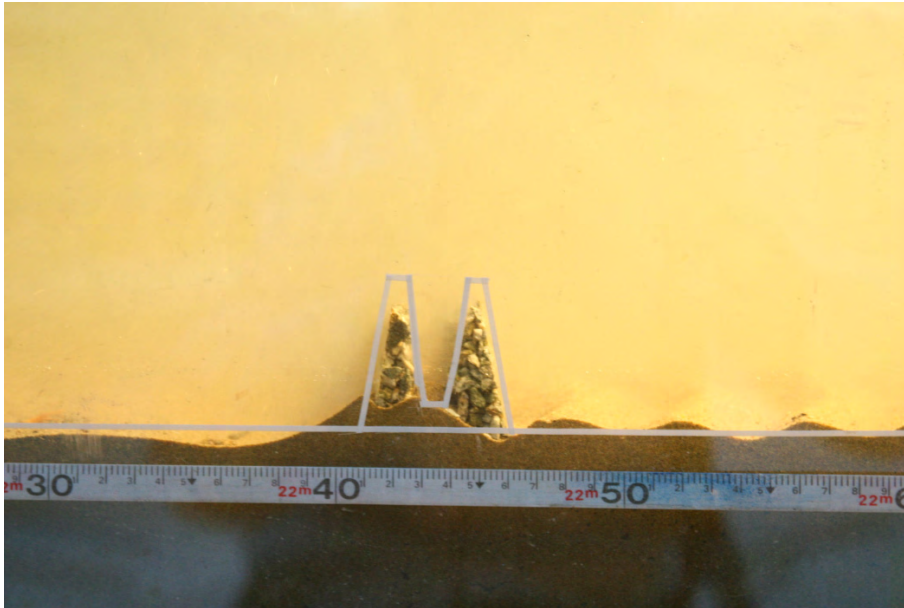


그림 3-3-46. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=1.8m)

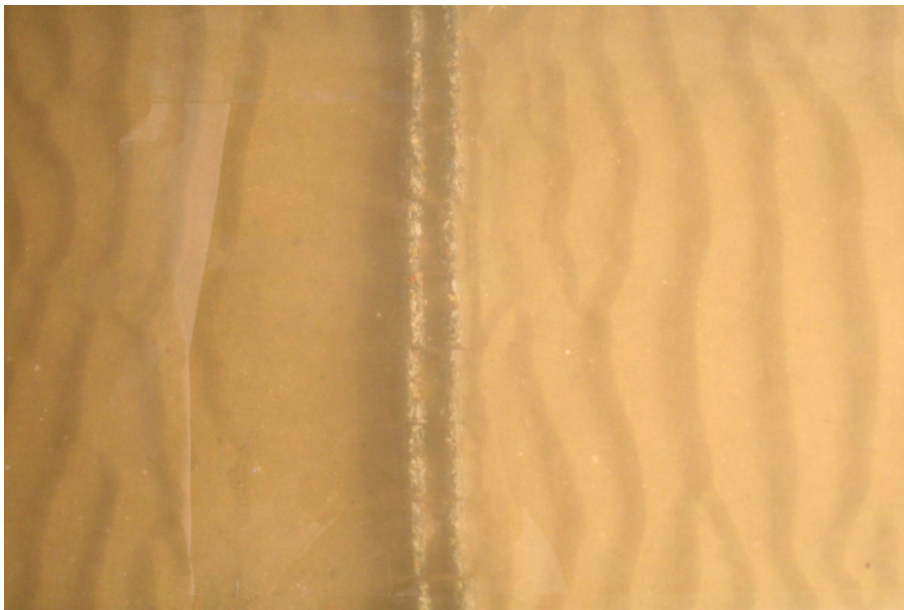


그림 3-3-47. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=1.8m)

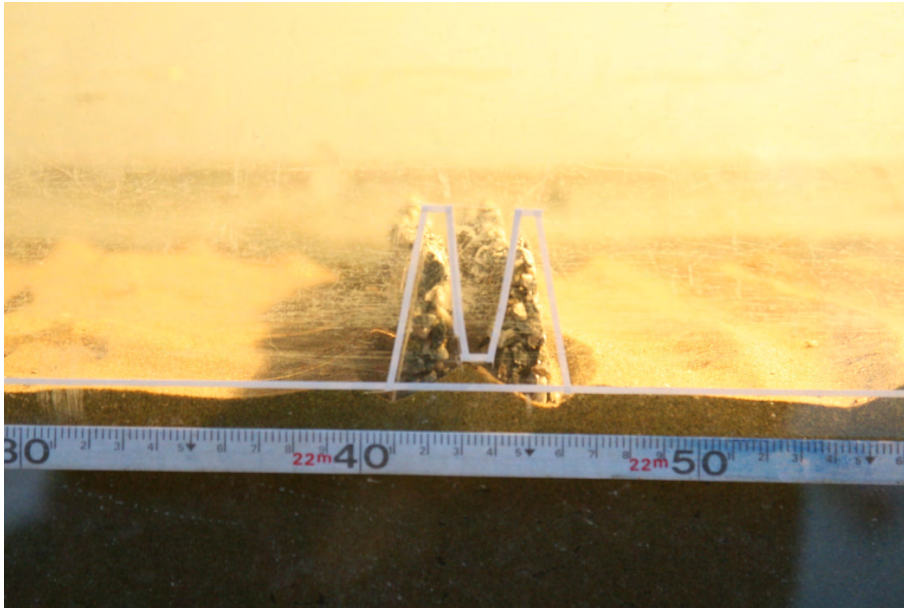


그림 3-3-48. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1($h=3.33m$)



그림 3-3-49. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2($h=3.33m$)

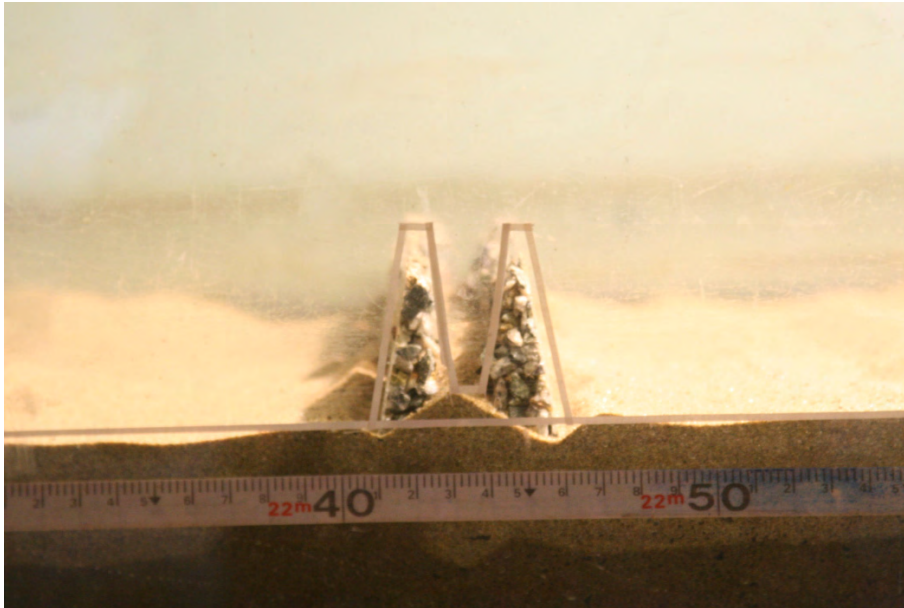


그림 3-3-50. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-1(h=4.8m)

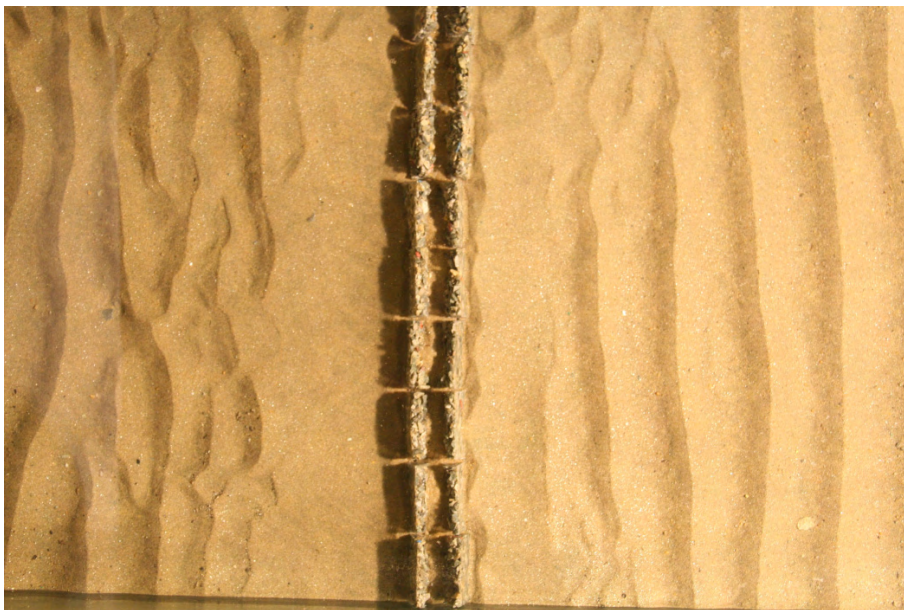


그림 3-3-51. 개선 다공질 갯벌둑 실험장면-2(h=4.8m)

(7) 시공성 검토

갯벌둑의 시공은 해역의 특성상 매일 두 번씩 해역으로 물이 드나들고 있으므로 시공의 시간적인 제약을 가지고 있다. 또한 영세한 패류양식어민의 입장을 고려할 때 시공 시 많은 인력 동원을 공사비로 직결되므로 이러한 시공성에 대한 검토도 중요한 요소이다. 시공성의 확보를 위한 주요 조건은 다음과 같다.

먼저 이동시 갯벌둑의 중량은 15kg 이하의 단품이어야 할 것이다. 일반적인 남성성인의 기준으로 갯벌을 이동할 때 15kg 정도가 넘게 되면 갯벌에서의 이동성과 작업성은 현저하게 저하되며, 특히 작업하는 대상이 어민이 직접하게 될 경우 실제 중량은 10kg 이하가 되어야 효과적인 시공성을 확보 할 수 있을 것이다.

이러한 경우 갯벌둑의 중량은 작용하는 외력에 대한 안정성의 문제가 야기 될 수 있다. 따라서 현장에 갯벌둑의 시설 후 중량물을 적재하여 안정중량을 확보할 수 있어야 하며, 갯벌둑의 형상은 내침하성을 가져야 한다.

갯벌둑의 소재는 기존 자루형태의 굴패각과 같이 내구성의 부족으로 파괴가 되지 않은 내부식성의 재질을 사용하여야 한다.

이러한 시공상의 문제적으로 고려할 때 소재를 경량화 하며, 굴패각의 효과를 효과적으로 이용하기 위해서는 합성수지를 이용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이때 소재의 가격은 기존의 소재와 비교할 때 내구년수를 증대 시켜서 초기 투자비용에 대한 장기적 경제성을 만족하는 조건이어야 한다.

(8) 갯벌둑 형상제안

바지락양식장의 다공질 갯벌둑형상에 대한 안정성 실험을 통해서 세로 0.5m, 가로 0.3m의 다공질 갯벌둑형태는 전도에 불리한 형상임을 파악하였고 개선된 형상을 위해서 저면면적을 0.5m로 확대하고, 확대 시 유발되는 체중중량의 증가를 저감하기 위해 다공질 갯벌둑의 형태를 U자 형태로 하여 내부를 비워 이곳에는 굴패각을 탑재하여 작용과랑 혹은 조류의 소통시 저질개선효과를 증대토록 하고자 하였다.

또한 다공질 갯벌둑의 제작 폭을 축소하여 전체 갯벌둑의 중량을 감소하게 하였다. 특히 체체의 두께를 5cm로 제한하여 중량 증가를 감소시켰다. 그림 3-3-52는 개선된 다공질 갯벌둑의 모식도를 나타낸다.

저면은 요철로 하여 수평활동 및 저면접지력을 향상시켰으며, 전술한 바와 같이 수위의 유지가 생산성향상에 중요한 문제이면 다공질 갯벌둑의 형태가 아닌 콘크리트를 이용하여 불투수성재질로 교체하는 방안도 유리할 것으로 판단된다.

갯벌두렁의 경우 외부의 경사면으로 파랑이 작용하게 됨으로 가장 적은 파압과 안정적인 설계기준의 수립이 중요하였다. 따라서 경사면의 각도는 65°가 가장 유리한 파압의 발생조건임을 확인할 수 있었고, 이때 의 파압은 실험실 조건에서 300 Pa 정도였다. 이러한 조건에서 갯벌두렁의 안정조건을 확보하기 위해서는 지표면 부근에서 모멘트가 가

장 크게 발생할 것으로 판단됨으로 이에 대한 보강이 필요할 것으로 사료된다.

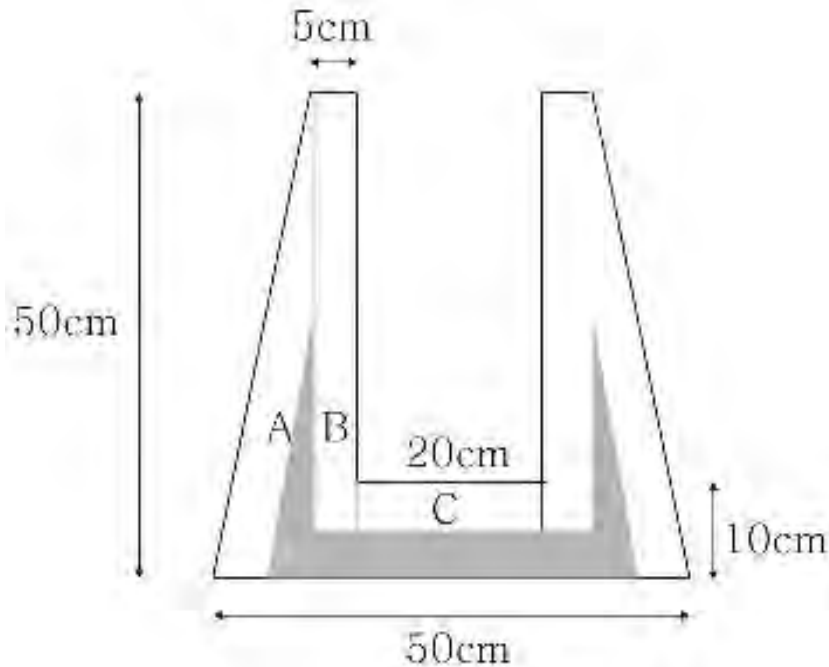


그림 3-3-52. 다공질 갯벌둑 형상(1차)

다. 저질개선효과 실험

지구온난화, 기상이변 및 해수면상승 등 전지구적인 변화와 지역적인 해황변화로 연안침식은 전국가적으로 심각한 수준에 도달하고 있다. 또한 연안개발 및 방조제 건설로 인해 모래 유실이나 퇴적물 이동균형이 무너져 연안의 지형 및 저질변화가 크게 초래되고 있다. 이러한 것은 궁극적으로는 서식생물의 변화를 가져온다. 특히 바지락은 모래질이 많은 곳에서 서식하는데 이러한 지형 및 퇴적변화에 크게 영향을 받는다고 할 수 있다. 특히 종패발생에 있어 부착기질로 모래는 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 모래유실과 환경오염 등으로 바지락 양식장은 크게 줄어들고 있다. 이러한 시점에 바지락 양식장을 보호하기 위한 방법은 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 유실되는 모래를 양식장에 보강하거나 새로운 저질개선을 통한 신규 바지락 양식장을 조성하는 것이다. 모래를 보강하는 것은 현재 모래가 지속적으로 유실된다는 관점으로 본다면 궁극적인 방법이라 할 수 없다.

본 연구에서는 굴양식으로 발생되는 폐각을 이용하여 바지락 양식장을 저렴하게 조성할 수 있는 새로운 방법을 찾아보고자 한다.

(1) 재료 및 방법

바지락 서식에는 일반적으로 모래 70~80%, 펄 20~30% 지역이 좋은 서식저질조건으로 알려져 있지만, 모래 유실 및 해역에서의 골재채취로 인한 모래 감소 등으로 바지락 양식에 좋지 않은 조건이 형성되어 있다. 본 연구에서는 바지락이 서식하기 힘든 니질 조간대에서의 굴 패각을 투입한 저질 구조개선을 통해 새로운 바지락 양식어장으로 조성하는 데 목적이 있으며, 굴 패각 투입에 따른 효과 및 살포량을 살펴보고자 하였다.

저질구조개선에 대한 추진은 1차적으로 우선 실내시험을 통해 니질에 굴패각을 첨가가 실제 바지락 서식에 가능한지 저질구조개선 효과를 검증하고, 현장에서의 실제적인 효과를 재검증하였다. 이에 대한 산업화 Pilot 규모에서 효과검증은 제3절 생산성 진단에서 추진하였으며, 이번 절에서는 저질구조개선 조건을 도출하였다.

1차적으로 실내실험을 추진하기 위하여 다음 그림과 같이 갯벌 수조를 제작하였다(그림 3-3-53). 갯벌 수조의 크기는 35cm(H)×30cm(W)×50cm(L)이며, 1시간 노출에 5시간 침수할 수 있도록 컨트롤 장치를 부착하였으며, 바닥 2cm 두께로 산호사를 깔고 스펀지로 덮은 후 실험용 저질을 쌓아 올렸다. 실험수는 길이 50cm 중 10cm 부분에 실험사육수를 받아 바닥에서 산호사를 거쳐 물이 차오르도록 하였으며, 물이 모두 차는데 30분이 걸리도록 하고, 배수하는 데 30분 걸리도록 하여 완만하게 유수 흐름을 조절하였다. 저질구성은 부피를 기준으로 실험구 1은 펄 20%, 굴 패각 80%, 실험구 2는 펄 20%, 왕모래(2mm) 30%, 굴 패각 50%로 조성하였으며, 대조구(control)는 펄 20%, 모래 80%로 구성하였다. 실험구는 3반복 실험구 배치를 하였다. 실험대상종 바지락은 완도에서 채취한 것으로 사용하였으며 평균 각장크기는 23.38mm, 전중량은 2.84g이며, 실험구별 살포량 실험은 대조구에는 5 ton/ha 기준으로 30마리를 입식하였다. 실험수온은 18℃를 유지하였으며, 실험기간은 50일이었고, 먹이생물은 *Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana*를 같은 비율로 혼합하여 10×10⁴ cells/ml/day 농도로 오전(10시)와 저녁(6시)로 분할하여 공급하였다. 초기와 50일 경과 후 실험구 내 바지락에 대하여 전장, 전중량을 측정하여 변화량을 살펴보았다.

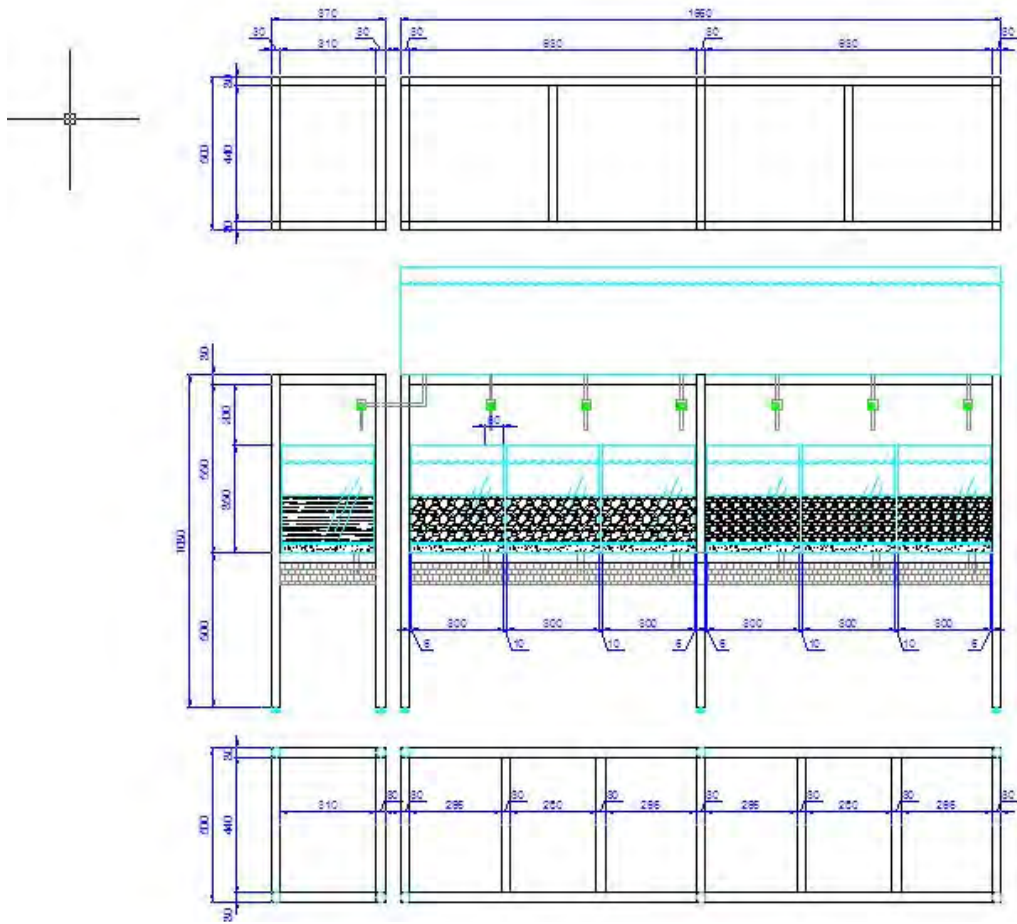


그림 3-3-53. 갯벌수조 제원 및 시설전경

2차 현장 재검증 실험은 1월부터 4월까지 4개월간 실시하였다. 현장에 0.5m×0.5m 크기로 시험구를 설정하였으며, 저질조성을 니질로 한 대조구와 저질조성이 니질인 곳에 굴패각 첨가량을 달리하여 굴패각을 25%첨가한 실험구 1, 50% 첨가한 실험구 2, 80% 첨가한 실험구 3으로 하여 ha 당 5톤 기준으로 바지락을 입식한 후 성장도 및 생존율을 살펴 보았다(그림 3-3-54).



(a) 굴패각 운반



(b) 시험구 조성

그림 3-3-54. 바지락의 저질개선 시험구 조성 과정

(2) 실험결과

실험구 1에서 바지락의 전장은 $23.45 \pm 0.11\text{mm}$ 에서 $24.23 \pm 0.11\text{mm}$ 로 0.77mm 성장하였으며, 실험구 2에서 바지락의 전장은 $23.32 \pm 0.06\text{mm}$ 에서 $24.11 \pm 0.09\text{mm}$ 로 0.78mm 성장하였고 대조구에서는 바지락의 전장은 $23.35 \pm 1.27\text{mm}$ 에서 $24.15 \pm 1.27\text{mm}$ 로 0.8mm 성장하였다. 전중량은 실험구 1에서는 $2.85 \pm 0.03\text{g}$ 에서 $3.45 \pm 0.02\text{g}$ 로 0.60g 증가하였으며, 실험구 2에서는 $2.82 \pm 0.04\text{g}$ 에서 $3.42 \pm 0.03\text{g}$ 로 0.60g 성장하였고 대조구에서는 $2.89 \pm 0.54\text{g}$ 에서 $3.49 \pm 0.54\text{g}$ 로 0.63g 성장하였다. 이번실험에서대조구와 저질개선을 한 실험구의 변화폭은 거의 비슷하였다(그림 3-3-55). 이는 50일간의 성장기간으로 뚜렷한 차이는 없지만 굴패각을 첨가한 조건에서 우선 바지락이 생존가능하다는 것을 알 수 있었다.

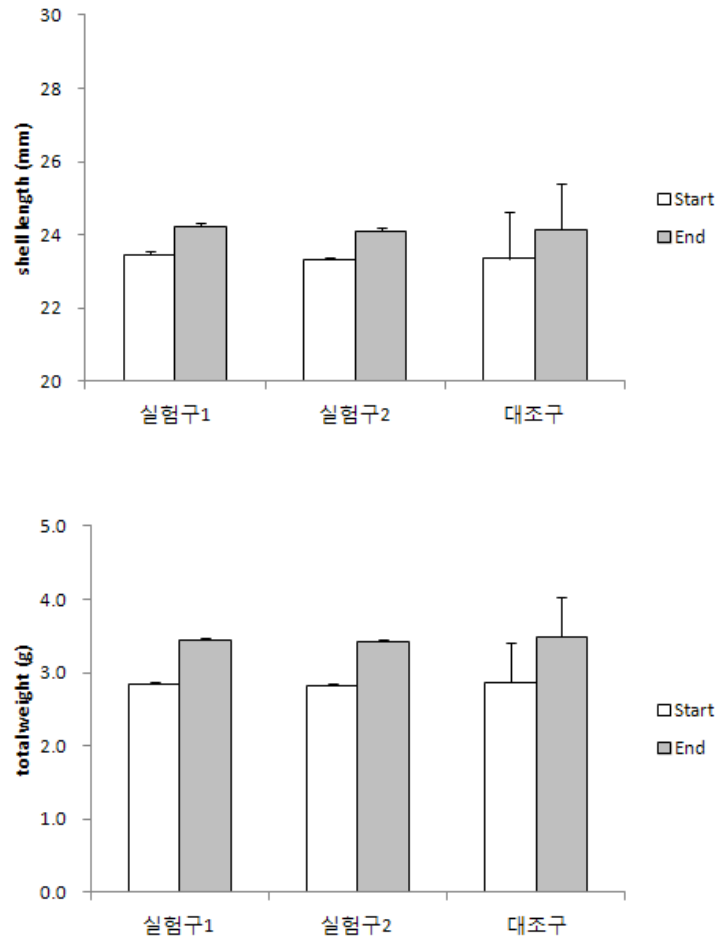


그림 3-3-55. 바지락 실험 전·후의 각장 평균 및 평균 무게

저질구조개선에 대한 현장 시험포 실험을 실시한 결과를 살펴보면 생존율은 대조구에서 34%, 실험구 1은 54%, 실험구 2는 80%, 실험구 3은 세달 후 모두 폐사하였다. 각장 변화를 살펴보면 대조구는 $34.57 \pm 1.81\text{mm}$ 에서 $37.69 \pm 2.17\text{mm}$, 실험구 1은 $32.42 \pm 0.19\text{mm}$ 에서 $35.04 \pm 0.84\text{mm}$, 실험구 2는 $31.38.57 \pm 0.81\text{mm}$ 에서 $36.57 \pm 0.12\text{mm}$, 실험구 3은 $30.83 \pm 2.09\text{mm}$ 에서

32.22±1.38mm로 성장하였다(그림 3-3-56). 각각 각장 성장량은 대조구는 3.13±1.60mm, 실험구 1은 2.62±0.65mm, 실험구 2는 5.19±0.15mm, 실험구 3은 1.39±1.09mm로 실험구 3은 전량 폐사하여 성장도가 가장 적었으며, 대조구는 성장도가 균일하지 않았다(그림 3-3-57). 전중량 변화를 살펴보면 대조구는 10.40±2.01g에서 13.12±1.97g, 실험구 1은 7.38±0.15g에서 9.87±0.32g, 실험구 2는 7.13±0.03mm에서 9.90±0.07g, 실험구 3은 5.57±0.46g에서 6.73±0.91g로 성장하였다(그림 3-3-58). 각각 전중량 증가량은 대조구는 2.72±2.31g, 실험구 1은 2.49±0.30g, 실험구 2는 2.77±0.09g, 실험구 3은 1.16±0.97g로 실험구 3은 전량 폐사하여 성장도가 가장 적었으며, 대조구는 각장 성장과 같이 성장도가 균일하지 않았다(그림 3-3-59). 전체적으로 볼 때 굴패각 50% 범위에서 바지락 성장에 양호한 것으로 분석되었다. 이러한 조건을 기반으로 현장 실용화 진단을 추진하였다.

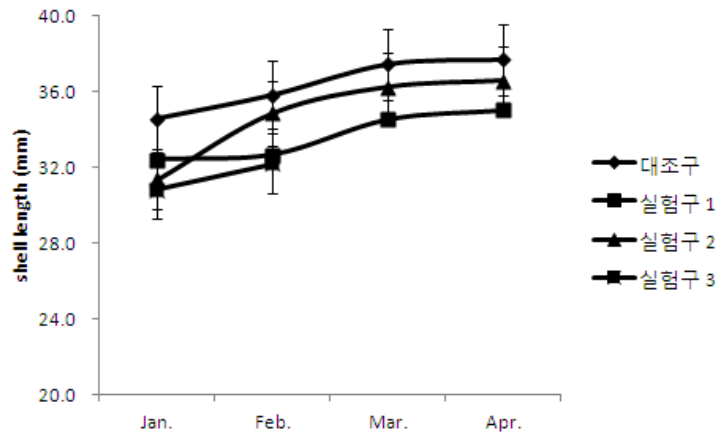


그림 3-3-56. 저질구조개선 현장 진단 실험 각장 변화

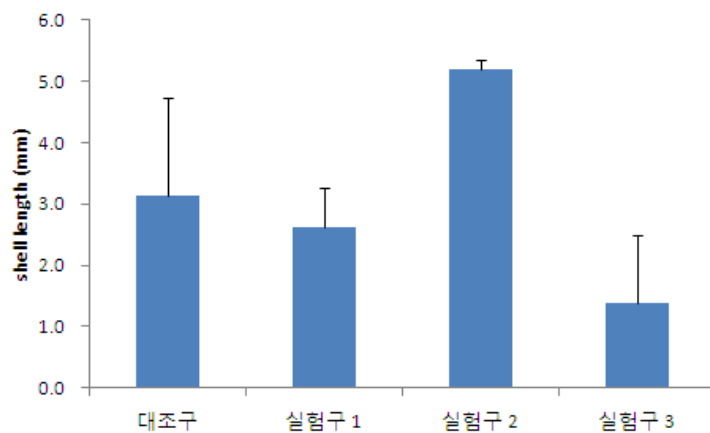


그림 3-3-57. 저질구조개선 현장 진단 실험 각장 증가량

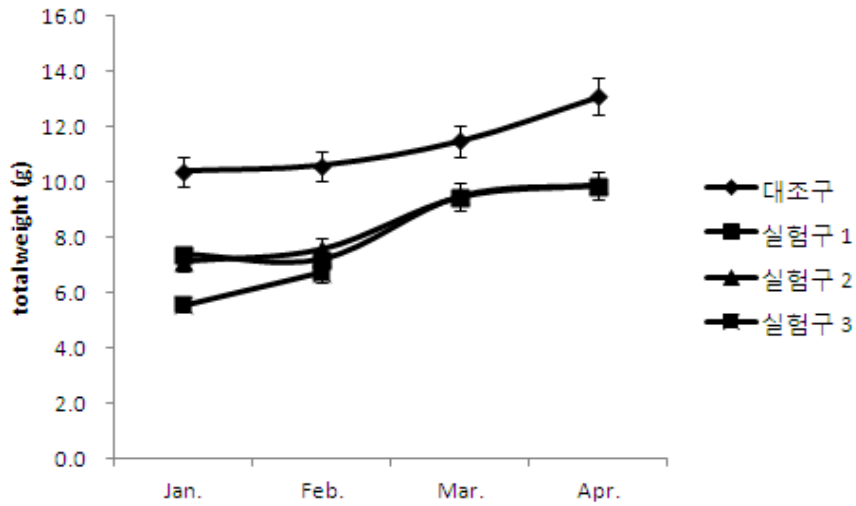


그림 3-3-58. 저질구조개선 현장 진단 실험 총중량 변화

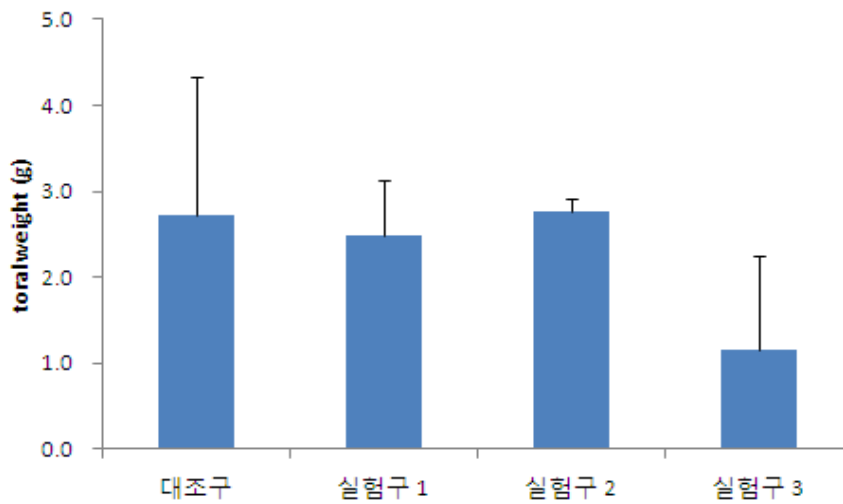


그림 3-3-59. 저질구조개선 현장 진단 실험 총중량 증가량

3. 갯벌 두렁

국내 꼬막양식장의 표준 설계는 단지 양식장을 구분하는 정도로 말뚝이외에는 어떠한 구조도 설치하지 않고 생산을 하고 있다. 그러나 중국의 경우 양식장 운영이 가장 규모화되어 있으며 생산량이 많은 나라로 꼬막양식장뿐 아니라 패류양식장에 갯벌을 쌓아 경계둑을 설치하여 양식을 수행하고 있다(그림 3-3-60). 이와 같은 방법은 패류양식장관리와 생산을 용이하게 낮은 독을 쌓아 구획하는데 간조시에 조간대가 노출되면 물속의 플랑크톤을 섭식할 수 없게 되는데, 독을 쌓아 간조시에도 30cm 내외의 수심을 유지시켜 광합성작용을 활발하게 하고, 양식패류에게는 24시간 동안 먹이섭식 기회를 제공하여 생산성을 높이는 것이다.

따라서 꼬막양식장의 수위유지가 중요한 문제이며, 이에 따른 구조물의 안정성의 문제가 중요하다. 이를 위해 1차적으로는 가두고 해수가 체류하는 시간을 높이는데 중점을 두어 중국기술을 그대로 이용하여 갯벌둑을 시설하여 중국의 꼬막양식장 시스템을 벤치마킹 하고자 하였다(그림 3-3-60).



그림 3-3-60. 중국의 갯벌둑을 이용한 꼬막양식장과 꼬막종패 사진

2차적으로는 파랑에 의해 독이 붕괴되지 않고 연성갯벌에서 해수를 가두는데 중점을 두고 갯벌두렁을 만들어 특허를 출원하였으며, 현장에서 갯벌두렁 설치 후 문제점 등을 보완하여 갯벌두렁의 여러 가지 모형과 재질을 변화시켜 구조물을 설치하였다(그림 3-3-61). 또한 꼬막양식장의 경우 연안에서 1~2km가량 떨어진 하부 조간대로 설치 및 관찰이 용이하지 않아 연안에 인접한 유희지인 상부조간대에 구조물을 설치하여 꼬막이 자생하지 않는 연안해역에서도 꼬막을 육성 할 수 있는 양식기술을 개발하고자 하였다.

특히 니질의 지반지지력은 다른 저질조건에 비해서 취약한 조건을 가지고 있으며, 수위의 유지를 위해서 발생하는 정수압과 외력에 의해 발생하는 동수압이 동시에 작용할 경우 구조물의 안정성 및 기능성에 치명적인 문제점을 야기할 수 있다.

따라서 니질의 패류양식장을 대상으로 하는 경우 판재형식의 갯벌두렁을 이용하여 일차적인 차수효과를 검토하였고, 장기적으로는 지오투브와 같은 자중에 의한 연성구조물을 이용하여 수위유지를 하는 것이 효과적일 것으로 예상 되었다. 그러나 지오투브의 경우 시공성과 기능성에 기존의 형식은 한계가 있으므로 이에 대한 개선된 형식의 적용도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 연성갯벌의 구조물을 설치과정과 기존의 꼬막양식장과 대조구를 지정하여 수질과 저질 환경의 변화 그리고 꼬막의 성장가능성을 조사하였다.

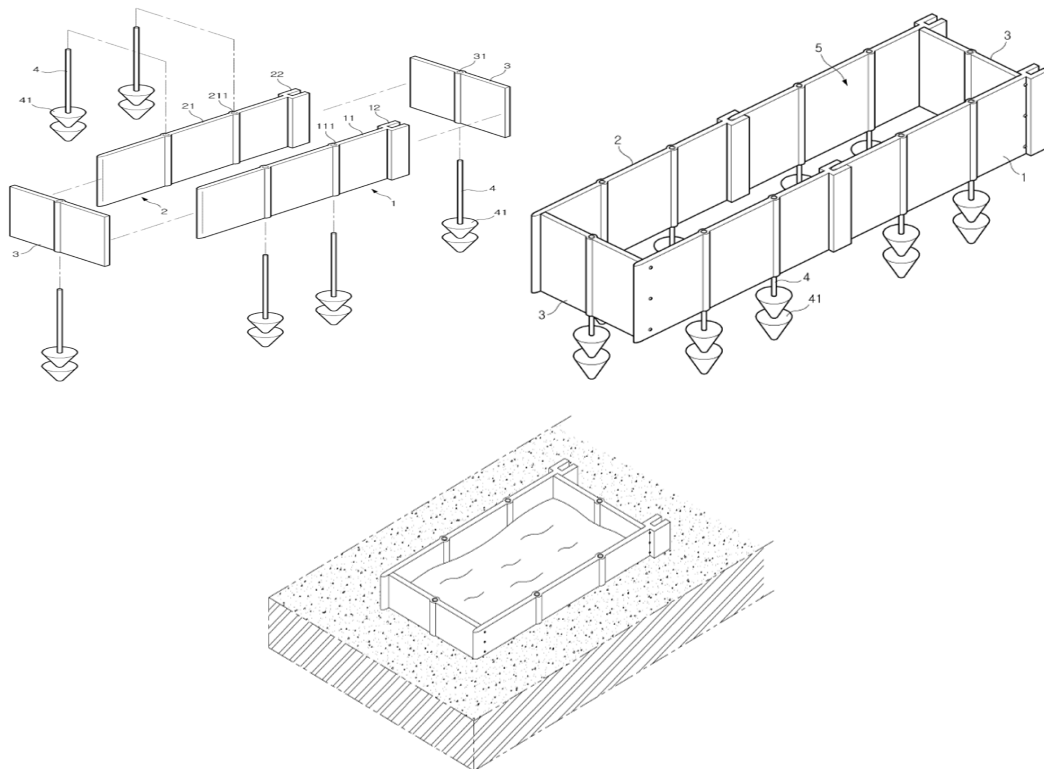


그림 3-3-61. 해수를 저장하기 위한 갯벌두렁 특허출원

4. 다목적이용 복합양식

갯벌에서는 단순한 2차원적인 평면 형태의 양식이 이루어지고 있다. 바지락, 꼬막 등 종패를 살포하여 성체로 성장하였을 때 채취하는 형태를 띠고 있다. 수산업에서는 바다공간을 입체적으로 사용하는 복합양식을 개발하여 왔다. 주로 표층과 수중에는 해조류, 저서면에서는 패류를 양식하는 형태가 대부분이다. 최근에는 다영양단계 양시기법까지 등장하여 좀 더 고차원적인 복합양식이 수행되고 있다(표 3-3-11).

최근 들어 갯벌에서는 수평망식 굴양식기술이 개발되어 사용되고 있다. 갯벌에서 50 cm 높이에 수평상을 설치하여 3배체 개체굴을 양식하는 기술로 유럽과 미국 등에서 많이 사용되고 있는 기술이다. 본 연구에서는 이러한 수평망식 양식기술을 이용하여 갯벌 저서면까지 입체적으로 활용하여 생산성을 높일 수 있는 양식기술을 개발하고자 한다.

표 3-3-11. 복합양식 종류 및 특성

복합양식	품 종	양식 방법	어장 수심	시설 규모	시설비율
김&바지락	김	건홍식 (지주망홍)	7m 이내	규격: 100㎡당 1책(1.8×40m) 수량: 10~25책	10~25%
	바지락	살포식(간석지)		1ha당 종묘 3.5~7ton 살포	90%이상
다시마& 우렁쟁이	다시마	수하식(연승)	30m 이내	규격: 50㎡당 1줄 (100m) 수량: 10~20줄	5~10%
	우렁쟁이	수하식(연승)			
다시마& 전복	다시마	수하식(연승)	30m 이내	규격: 50㎡당 1줄(100m) 수량: 10~20줄	
	전복	수하식(연승)			
김&동죽	김	건홍식 (지주망홍)	7m 이내	규격: 100㎡당 1책(1.8×40m) 수량:10~25책	10~25%
	동죽	살포식(간석지)		1ha당 종묘 3.5~7ton 살포	90%이상
다시마& 전복 (투석식)	다시마	수하식(연승)	30m 이내	규격: 50㎡당 1줄(100m) 수량: 10~20줄	5~10%
	전복	투석식(천해)		1hqa당 투석량 2,500개이상(1개당 20kg이상) 및 종묘 2만마리 이상 살포	90%이상
툫&전복	툫	수하식(연승)	30m이내	규격: 50㎡당 1줄(100m) 수량: 10~20줄	5~10%
	전복	수하식(연승)			
미역& 우렁쟁이	미역	수하식(연승)	30m이내	규격: 50㎡당 1줄(100m) 수량: 10~20줄	5~10%
	우렁쟁이	수하식(연승)			
툫&전복 (투석식)	툫	수하식(연승)	규격: 50㎡당 1줄(100m) 수량: 10~20줄	5~10%	
	전복	투석식(천해)	1ha당 투석량 2,500개 이상(1개당 20kg이상) 및 종묘 2만마리 이상 살포	90%이상	

가. 수평망식 양식시설방안 및 규격

갯벌의 입체적으로 다목적 이용할 수 있는 복합양식기술 개발을 위하여 수평망식 양식시설을 이용하였다. 개체굴 양성장 시설물의 적정 공간 확보 및 배치는 생존률 향상 및 우량종 생산과 매우 중요하다. 적지면적 내의 시설 구간과 구간사이의 간격은 양성망의 설치와 채취작업을 고려하여 약 1.5m 간격을 유지하여야 한다. 또한 어장시설 및 작업관리를 위한 장비 반입을 위하여 4~6m 폭의 통로구간을 배치한다.

수평망식 시설의 1세트의 규격은 1.0m(W)×2.65m(L)×0.6m(H)로 양성망 5개가 올라간다. 그리고 양성망 규격은 105cm×55cm로 종패 3~5cm 크기로 220개체가 들어간다.

나. 수평망 양식시설 배치

(1) 국외사례

수평망식 굴양식시설은 유럽 등지에서 Oyster Rack으로 알려져 있다. 특히 프랑스에서 많이 이루어지고 있으며, 프랑스 노르망디의 경우 1ha 당 6,000망 즉 1,200세트를 설치하여 양식하고 있는데 세트폭 1m, 세트간격 1.1m, 어장통폭 3.4m로 1열당 20세트를 연결하여 60열을 배치한다. 이 경우 시설비율은 어장의 약 33%를 차지한다(그림 3-3-62).

(2) 국내사례

국내의 경우 현행 면허규칙에서 정하는 어장면적에 대한 시설 면적 비율은 5~10%로 1ha 면적 내에서 시설량을 171~343세트로 규정된다. 그러나 현장에서는 540세트 시설규모를 요구하고 있다. 1열 세트 간 간격 1.5m, 2열 세트 간 간격 6.67m, 구간거리 10m로 하여 배치하는 것이 작업의 편리성과 해수의 흐름을 원활하게 하여 집약적인 양식시설이 가능하게 되며, 먹이의 균등 섭취 기회 조성으로 양식생물의 생산성 향상 및 노동의 편의성을 확보할 수 있다(그림 3-3-63).

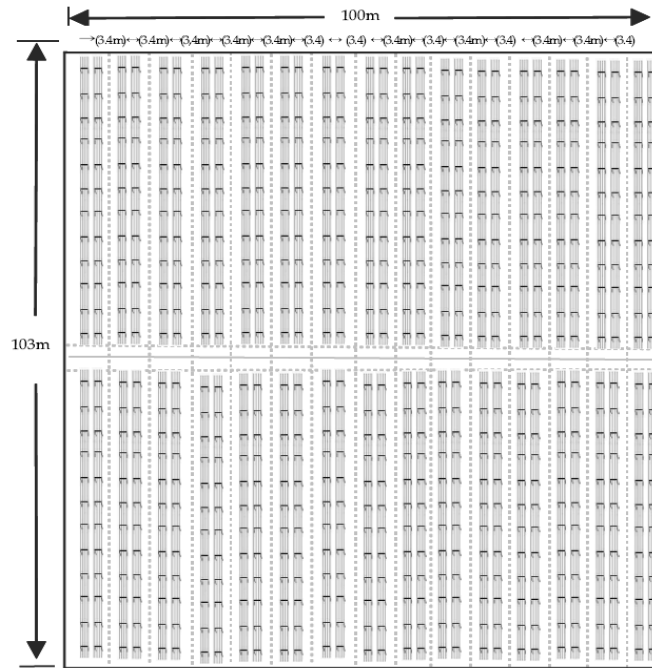


그림 3-3-62. 프랑스 로르망디 수평망 양식시설 배치 개념도(1,200 세트/ha)

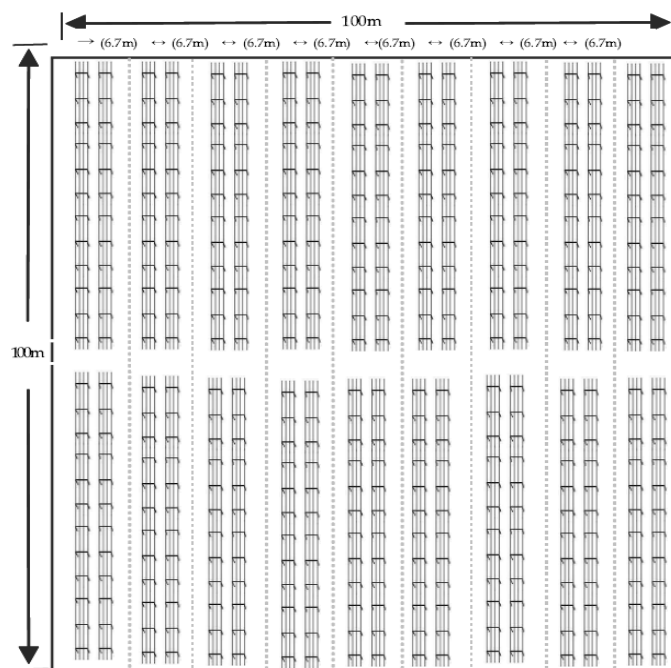


그림 3-3-63. 국내 수평망식 양식시설 배치 개념도(540 세트/ha)

다. 현장시설

수평망굴 양식시설에 대한 적지는 제3장 제1절에 제시하였다. 금번조사에서 나타난 적지는 함평만 도리포 해역으로 과거에 투석식 굴양식이 이루어진 곳이다(그림 3-3-64). 이곳에 수평망굴 양식시설을 1ha 조성하였다(그림 3-3-65).



그림 3-3-64. 수평망식 양식시설 시설위치



그림 3-3-65. 수평망식 양식시설 시설 전경

갯벌위에 수평망식 양식시설 조성방법을 살펴보면 다음과 같다.

수평망식 양식시설을 제조공장에서 해상 운반하여 시설장소에 배열 작업시 작업이 방해되지 않도록 투하하여 분산 배치한다(그림 3-3-66).



그림 3-3-66. 수평망식 양식설 현장 운반

시설배치도면에 의해 사전에 세트 간격, 통로, 구간 등을 줄로 구획하여 배치되도록 종과 횡을 맞춘다. 세트가 20개씩 포개어 분산 투하되어 있으므로 세트 분리작업을 실시하여 분리한 세트를 2인 1조씩 현장 이동 분산한다. 세트를 안전하게 유지할 수 있도록 세트당 2개 세트간 15cm 정도 교차로 겹쳐진 부위에 말목을 박아 세트를 고정하여 구획한 데로 배치한다(그림 3-3-67). 설치된 수평망식 양식시설위에 양성망에 종묘를 입식하여 양성망을 수평망식 시설에 설치한다(그림 3-3-68). 망당 수용밀도는 250개(1~3cm) → 220개(80~100g) → 150개(100~150g) → 70~100개(150g이상)으로 조절한다.



그림 3-3-67. 수평망식 양식시설 설치



그림 3-3-68. 양성망 설치 및 입식완료

라. 수평망 양식시설을 이용한 다목적 입체 양식 개념

갯벌 조간대에서의 입체양식 개념은 수평망식 양식시설과 조간대 저질타입에 맞는 패류의 품종을 선정하여 입체적 양식으로 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 강구하였다. 이러한 입체 양식은 궁극적으로 2차원적인 조간대 이용을 3차원적으로 이용하고 이에 따라 조간대의 생산성을 향상시킬 수 있을 것으로 보고 있다.

(1) 실험시설 및 연구방향

서해안 함평만에서 다목적 이용 복합양식 구조개선 가능성 진단을 위하여 2009년 11월에 수평망식 양식시설을 기본 모델로 시설하였다(그림 3-3-69). 수평망식 양식시설에는 개체굴이 입식 되었으며, 시설 위치는 저조선에 설치하였다. 연구방향은 수평망식 양식시설에 의한 치패발생 효과를 일차적으로 살펴보고, 수평망식 시설과 구조 개선안을 복합한 복합양식 방안을 도출하여 서해안에 패류양식장 구조개선 모형의 적용 가능성과 복합양식에 의한 조간대 양식공간의 적극적인 활용가능성을 위한 기본 개념을 살펴보았다.



그림 3-3-69. 복합양식을 위한 시험어장 수평망식 양식시설 시설 전경

(2) 구조개선 사례와 수평망식 양식시설을 이용한 입체양식 시설방안

서해 함평만 복합양식구조개선 시설은 남해안 고흥 남성리의 사례를 응용하여 개선하였다. 구조물은 파랑 및 조류에 의한 외력에 견고하게 견디어야 하고, 이러한 시설은 바지락을 대상으로 하므로 대상 생물종의 먹이섭취 시간을 늘릴 수 있는 방안으로 시설 방향을 강구하였다. 그림 3-3-70에서와 같이 외해에서 입사하는 파랑은 직각적인 구조물에는 바로 반사되어 구조물에 강한 외력을 줄 수 있다. 남성리에서 적용하고 있는 경계구획 방안은 파랑이 입사할 경우 경계둑의 많은 공극에 의해 일부 파랑의 힘은 흡수되어 안정적으로 유지될 수 있다. 그리고 경계둑 안쪽에 판을 되어 해수를 가두고, 해수가 빠져나가는 것을 지연시킬 수 있어 먹이섭취 기회를 연장해 줄 수 있다(그림 3-3-71). 이러한 것을 바탕으로 복합양식과 구조개선 방안의 기본 모식도는 그림 3-3-72과 같다.

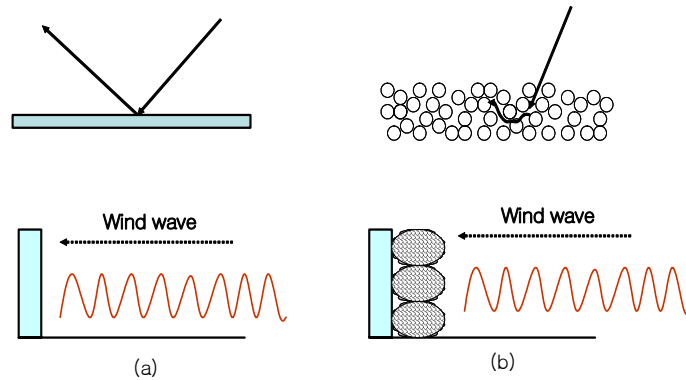
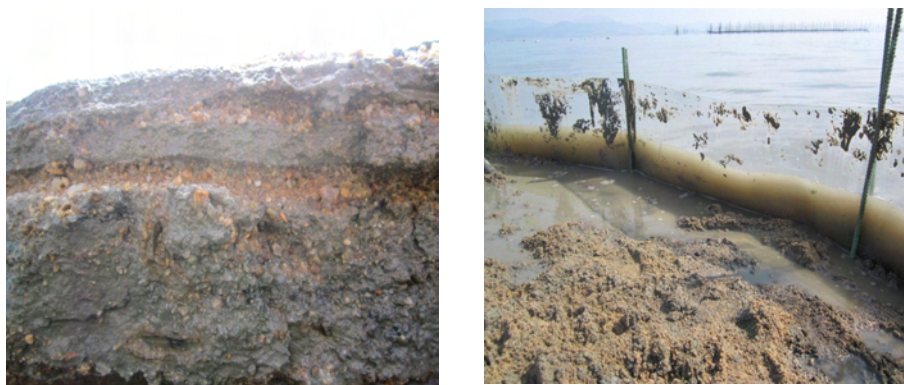


그림 3-3-70. 경계둑 설치시 외력에 대한 기본모형



(a) 설치지역의 연직퇴적상

(b) PC 재질 경계판

그림 3-3-71. 경계판 설치시 효과

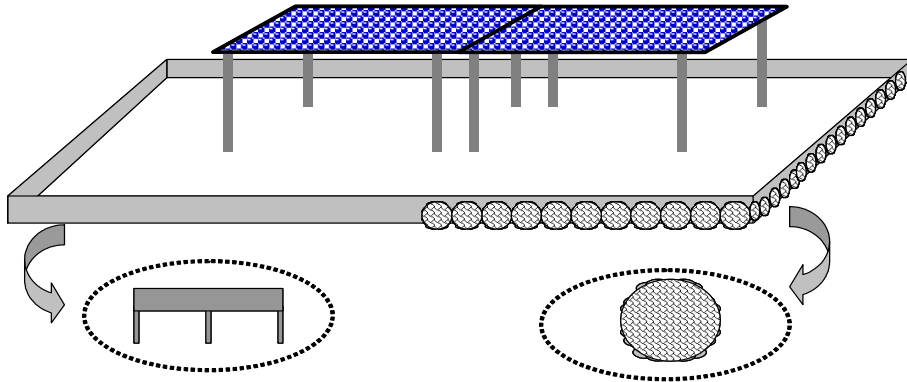


그림 3-3-72. 경계둑 설치 및 수평망식 양식시설 복합양식 구조개선 모식도

제4절 패류양식시설 기능개선 진단

1. 구조물 진단

가. 다공질 갯벌둑 및 저질구조개선

바지락(*Ruditapes philippinarum*)은 한국, 중국, 일본과 미국 북서해안과 유럽국가 들의 갯벌에서 널리 분포하는 종으로 갯벌 패류 생산량에 있어 큰 비중을 차지하고 있다. 바지락은 담수의 영향을 받으면서 간출시간 2~3시간 선에서 수심 3~4m에 주로 서식하며 바지락 양식장은 사질과 저질이 적절하게 혼합되어 있는 곳이 좋다. 국내 바지락 양식장은 경기도 연안에서 1910년에 시작되어 본격적인 양식은 1980년대로 알려져 있으며 바지락 양식장 표준설계는 개방된 해역에 단지 말뚝 경계표시만 되어 있어 치패 유실이 크다. 또한 연안개발, 지구온난화, 해수면 상승 등으로 연안지형 변화가 근래에 들어 가속화되어 바지락 양식장의 생산성이 저하되고 이용가치가 떨어지고 있다. 본 연구에서는 치패 유실 방지 및 바지락 양식장 생산성향상을 위하여 경계둑 구조물 및 저질구조 개선에 대한 현장 진단을 살펴보았다.

(1) 재료 및 방법

바지락 양식장에서 치패유실 방지 및 니질 조간대의 바지락 양식장으로 전환시키기 위해 우선 구조물 진단을 추진하였다. 시험포는 고흥 남성리 양식장을 이용하였다(그림 3-4-1). 경계둑 구조물은 친환경 폴리우레탄 소재를 이용하여 경계둑을 제작하여 양식장 외부테두리로 배치하였으며 조성된 면적은 71m×18m이며, 저질 구조개선을 위하여 상기 면적에 저질구조개선의 실험조건에서 노출전 첨가기준 50%를 준하여 2~3cm 분쇄한 굴패각을 50ton을 넣어 주었다. 이에 대한 수리학적 안정성 여부를 살펴보았다.



그림 3-4-1. 다공질 갯벌둑을 이용한 경계둑 조성 및 저질개선 바지락 양식장

(2) 시설의 제작 및 설치

경계둑 구조적 안정성을 현장 진단하기 위하여 양식장에 경계둑 제작 설치한 방법은 다음과 같다.

고흥 남성리 바지락 양식장 구조물에 쓰일 자재들은 그림 3-4-2와 같이 굴패각, 건물 폐자재(자갈), 자갈 및 폴리우레탄 염료 등을 혼합할 수 있는 기계 및 염료와 경계석의 구조물을 만드는데 쓰이는 합판 등이 필요하다.



그림 3-4-2. 남성리 바지락 양식장 구조물에 쓰일 자재



그림 3-4-3. 양식장의 구조물(경계석) 만드는 과정

양식장 구조물(경계석)은 그림 3-4-3과 같이 합판으로 경계석의 구조물 틀을 만들고 구조물이 움직이지 않게 고정시키며, 고정시킨 구조물 틀에 폴리우레탄 염료와 혼합된 자갈을 넣은 후 하루 정도 경화하여 틀을 경계석에서 떼어내어 만들었다. 만들어진 경계석은 양식장 현장으로 운반하여 현장에 투하하여 배치하여야 한다. 경계석을 바지락 양식장 시험포까지 운반하기 위하여, 만조시 배를 이용하여 시험포까지 운반하였으며, 저조시 깃발달린 대나무로 경계석 투하시점을 표시하여 경계석을 투하하였다.



(a) 선박으로 경계석운반



(b) 경계석 운반



(c) 경계석 설치 전경

그림 3-4-4. 양식장의 구조물(경계석) 설치하는 과정

시험포에서 경계석을 쉽게 운반하기 위하여 경계석 바닥에 두꺼운 천을 감싸고 로프로 경계석을 묶어 철타봉으로 사람들이 운반하기 좋게 만들었다. 저조시 경계석에 묶인 로프로 철타봉을 넣어, 사람들이 경계석을 운반하여 시험포를 설치하였다. 1차 년도에는 경계둑을 이용하여 완전히 폐쇄하지 않고 구조물의 안정성을 살펴보았다. 경계둑은 높이가 50cm로 파랑과 조류에 의해 전도되지 않고 안정적으로 유지되었다. 특히 경계둑은 2010년 8월 태풍 덴무 통과시에도 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 2차 년도에는 경계둑 높이를 40cm로 낮추어 현장에 일반 다공질 갯벌둑과 사다리꼴타입의 개선된 갯벌둑을 시공하여 양식장을 완전히 폐쇄하였다(그림 3-4-5). 일반 다공질 갯벌둑의 경우 친환경 폴리우레탄 소재로 경계둑에는 굴치패 및 파래가 많이 부착하는 현상을 보였다.



그림 3-4-5. 완성된 바지락 시험포

(3) 갯벌둑 현장실험 결과

현장시공결과 갯벌둑 각 갯벌둑의 중량이 60kg에 육박하여 시공상의 결정적인 문제가 발생하였으며, 시공의 어려움으로 인해 구조물의 효과적인 설치가 어려워 단차가 발생하였으며(그림 3-4-7), 이러한 갯벌둑간의 단차는 해수의 소통을 야기하여 해수소통이 발생하는 갯벌둑하부에서는 세굴이 발생하여 갯벌둑이 전도되는 피해도 발생하기도 하였다(그림 3-4-8). 특히 50cm의 갯벌둑의 높이는 구조물 내외의 수위차를 야기하여 유출속도의 증가를 야기하기도 하였다(그림 3-4-9).

갯벌둑의 결합소재인 폴리우레탄 결합제의 경우 이끼 혹은 해조류가 많이 부착한 결과를 보아서는 생물학적으로는 효과적인 소재일 것으로 판단된다.



그림 3-4-6. 다공질 갯벌둑과 갯벌경계둑의 현장시공사진



그림 3-4-7. 시공시 시공단차의 발생



그림 3-4-8. 갯벌독사이 해수유출에 의한 세굴발생



그림 3-4-9. 세굴로 인한 구조물의 전도

나. 꼬막 양식장

패류양식장의 개선을 위한 부분으로 꼬막은 초기에는 꼬막양식장의 생산량을 증가시키기 위한 방법으로 구조물을 설치하여 해수 중의 먹이생물이 양식장에 머무르는 시간을 길게 하여 먹이의 양을 증가시키는데 중점을 두고 시험포를 조성하였다. 그러나 꼬막 양식장의 위치가 해안과 멀리 떨어진 하부조간대부근에 위치하고 펼지역으로 연성저질조간대에서 자생하기 때문에 구조물을 운반하고 인력이 양식장까지 이동하는데도 많은 시간과 힘이 소요되었다. 뿐만 아니라 조석시간에 따라 작업시간 정해져 있기 때문에 구조물을 설치하는데 충분한 시간확보가 어려워 구조물을 안전하게 설치할 수 없었다. 따라서 2차 년도에는 꼬막양식장의 위치를 하부조간대까지 이동하지 않고 유희지로 있는 조간대를 이용해 해수를 저장할 수 있는 구조물을 설치하여 노출시간 및 먹이생물 등의 변화를 줘 환경을 개선하여 새로운 어장조성이 가능한지를 실험하였다.

(1) 구조개선양식장 실용화 진단

하부조건대의 꼬막양식장에서 연안에 인접한 유희지인 상부조건대에 양식장을 조성하는 과정을 소개하며 현장시공을 통해 제기된 문제점 및 보완사항을 정리하여 최종적인 시공방법을 도출하고자 하였다.

1차적으로 기존의 꼬막양식장은 말뚝을 경계로 하는 것 이외에는 어떠한 시설물도 설치하지 않고 있어 구조물을 설치하기 전 펄로 독을 설치하여 중국과 유사한 형태로 구조를 만들어 안정성을 관찰하였다. 펄독은 직접 인력을 동원하여 30cm 정도의 높이를 쌓고, 주변에 해수가 빠질수 있도록 골을 만들어 주었다(그림 3-4-10). 그러나 인위적으로 만든 펄독은 파도에 의해 그 경계가 붕괴되거나 퇴적물의 계절 변동에 의해 경계둑 부근에 퇴적물이 집적되어 경계가 불분명해지는 문제점을 보여주었다(그림 3-4-11). 중국의 경우 펄이 상대적으로 점도가 높고 퇴적물의 계절 변동도 우리나라보다 크지 않아 그 구조가 유지될 수 있으며 충분한 노동 인력을 보유하고 있어 수시로 구조물을 유지, 관리 할 수 있기 때문에 상기 구조가 적용 될 수 있었다. 그러나 우리나라에서는 펄의 낮은 점성과 높은 퇴적물변동 그리고 노동력의 부족으로 상기 구조를 장기적으로 운영할 수 없었다.



그림 3-4-10. 고흥 계매에 펄독으로 꼬막양식장의 경계를 조성한 모습



그림 3-4-11. 펄독의 경계부가 퇴적물이 집적되어 구분이 어렵게 된 모습

따라서 펼득이 붕괴되는 것을 방지하고자 펼득에 관모형을 덮어 씌워 경계면을 유지하도록 하였다. 이때 관모형의 구조물은 그림 3-4-12에서 보는 바와 같이 서로 연결시킬 수 있도록 양쪽에 홈이 있으며 PE재질을 사용하였다. 그러나 갯벌에서 두 개의 구조물을 연결하기 위해 맞물리어 구조물에 힘을 가하면 바닥이 가라앉고 다른 한쪽 면이 들리는 현상이 발생하여 구조물을 안정적으로 설치하는데 많은 시간과 노동력이 소요되었다(그림 3-4-13).

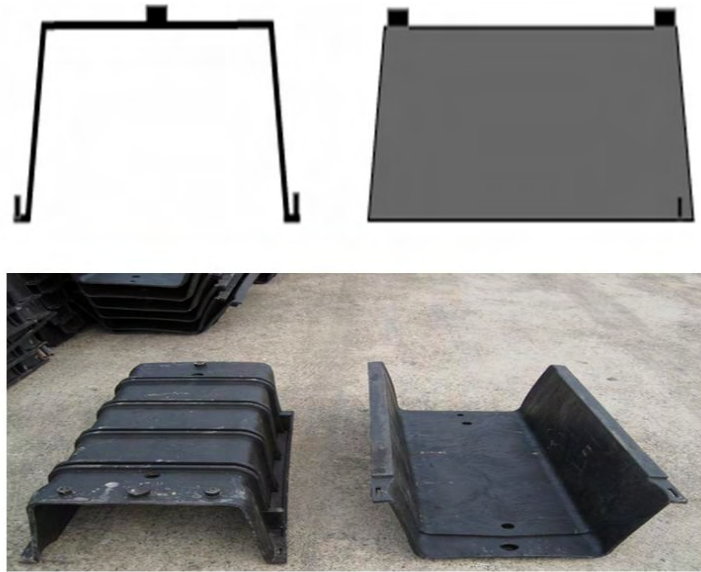


그림 3-4-12. 갯벌두렁 구조물 모습(500mm × 300mm × 1,100mm)

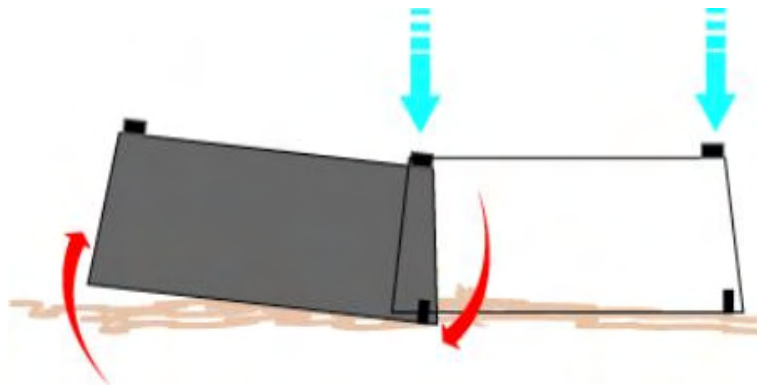


그림 3-4-13. 갯벌두렁 구조물의 뒤틀림 현상

두 구조물을 연결하고 난 후 양쪽 사이의 경계면에 실리콘을 주입하려 했으나, 양 구조물 사이의 경계면이 많이 벌어지며, 홈을 맞출 때 경계면 사이에 펄로 인해 실리콘 주입이 불가하였고 피스를 이용하여 구조물을 고정하려 하였으나 위쪽부분을 제외하고 양면만 고정시켰다. 또한 구조물 작성시 작업자들의 이동으로 주변의 펼상대가 죽필이 되 30cm 이상 쌓아놓은 득이 흘러내리고 구조물 모형상 양끝 모서리부분은 빈공간이 형성되

어 구조물 안을 갯펄로 채우기 어려웠다. 따라서 그림 3-4-14와 같이 비료푸대를 이용하여 빈 공간을 막고 피스로 고정시켜 구조물을 설치하였다(그림 3-4-15).



그림 3-4-14. 갯벌두렁 구조물 설치 시 빈 공간 처리 모습



그림 3-4-15. 갯벌두렁 현장 구조물 설치 작업

그러나 이 또한 설치 후 구조물이 갯펄 속에 파묻히거나 관 안에 매워 놓은 필이 부패하여 주변에 영향을 줌으로 독을 입체적인 형태가 아닌 판형태로 변경하여 시험포를 설치하고자 하였다. 이를 위해 굴곡이 있는 판과 1자형 판을 일부 설치하였으며 원통을 이용해 물의 투수성을 확인하는 과정을 거쳤다(그림 3-4-16). 직경 20cm, 높이 30cm의 원통을 시험포 설치 후 물을 담아 투수성 정도를 알아본 결과 30분경과 후에도 물의 양은 변화가 없었으며 시험포 설계시 경계둑을 견고하게 만들면 해수의 체류시간이 장시간 지속될 것으로 생각되었다. 구조물의 자재는 최종적으로 아래와 같이 PE관과 PE판넬을 이용하였으며 PE관은 1/2로 절단하여 빨속에 설치하고자하였다(그림 3-4-17).



그림 3-4-16. 1/4로 절단된 PE관, 시험포 설치 장소에서의 물 투수성 실험

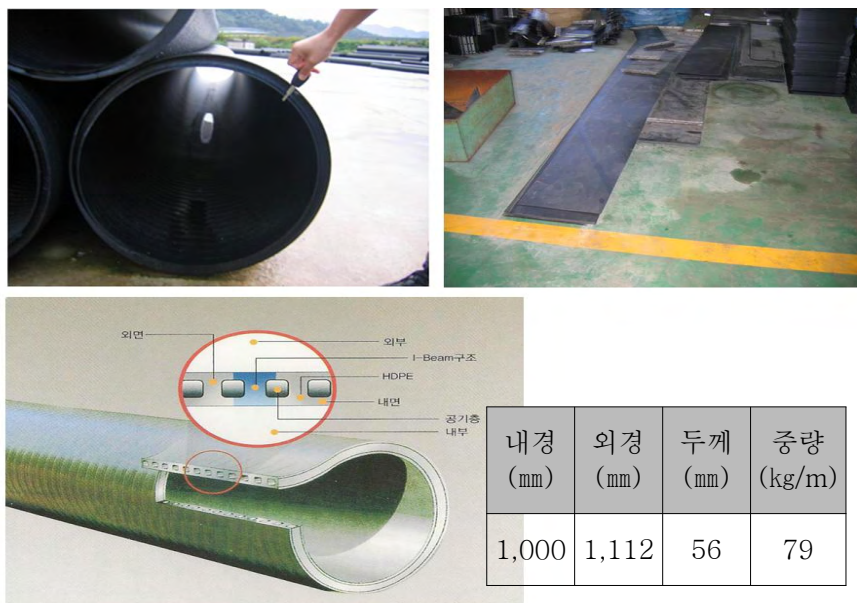


그림 3-4-17. 시험포 현장 구조물에 쓰일 PE관(내경 1000mm × 두께) 및 PE판넬(4000mm × 500mm)

시험포의 모형은 직사각형 구조이며 해수의 유입이 있는 면은 굴곡이 있는 유선형 모형의 판을 설치하여 물리적 영향을 극소화하고자 하였다. 시험포의 구조도는 그림 3-4-18에 나타냈다.

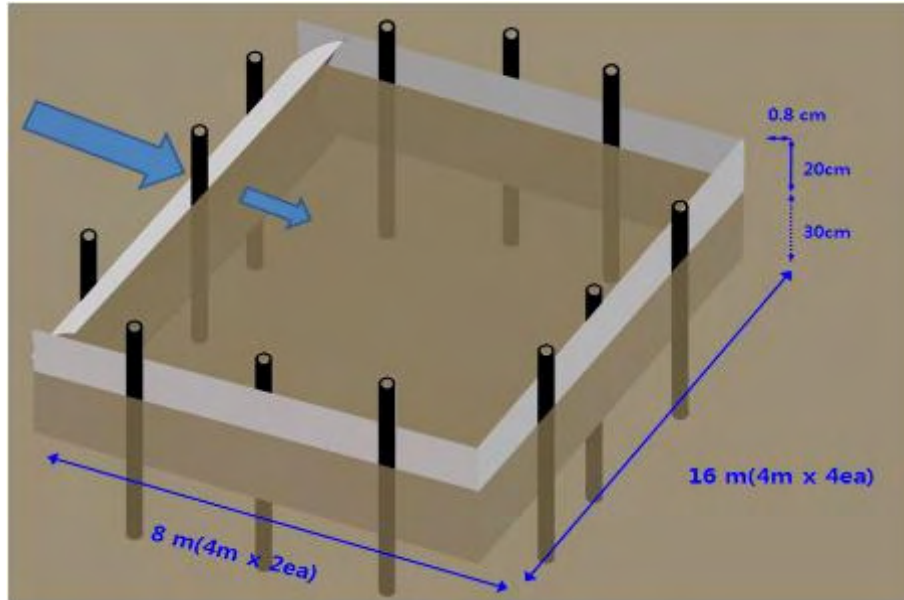


그림 3-4-18. 시험포 설치 구조도

2차년도 초기까지는 시험포를 기존의 꼬막양식장에 설치하여 연안에서 1~2km가량 떨어진 갯벌까지 자재를 운반하기 위해 만조시 PE판넬(L×H×T; 4,000×500×8mm), PE관(L×D; 4,000×1,000mm)은 바지선을 이용하여 설치할 장소까지 배로 운반하였고, PE판과 PE관을 지지해줄 대나무와 모서리 부분을 연결해줄 앵글 등은 펄배로 이동시켰다(그림 3-4-19).



그림 3-4-19. PE판넬 및 PE관 운반모습

첫 번째로 1/2 PE관 설치의 펴 속에 이를 밀어 넣었으나 30~40 cm가량만 들어가 삼을 이용하여 갯벌을 약 70~80cm를 파내고 이를 고정하였으며 대나무를 이용하여 PE관의 앞뒤에 꽂아 넣어 고정하였다(그림 3-4-20). 다음으로 PE판넬 설치는 2인 1조로 널배에 실어 이동시키고 이를 설치하였다. PE관에 비해 두께가 얇은 PE판넬은 길이에 비해 상대적으로 두께가 얇아 바람에 펄럭거렸으며, 펴 속에 넣었을 때도 판넬이 반듯하지 않고 물결 모양으로 휘어졌으며 판과 판 사이가 벌어지는 현상이 발생하였다. 대나무를 사용하여 판넬사이의 간격을 좁히려 하였으나 판넬사이의 간격이 존재하였고 판넬의 모서리 부분은 1m의 앵글로 마무리하고 앵글위에 피스나사를 이용하여 고정하였다(3-4-21~22).

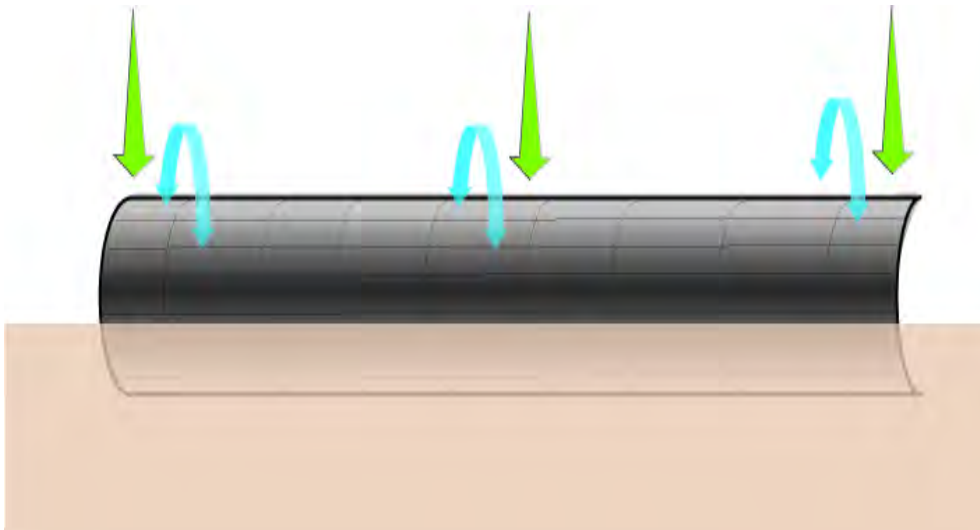


그림 3-4-20. PE관 설치



(a) PE판넬 고정



(b) PE판넬 설치 중

그림 3-4-21. PE판넬 설치 모습



그림 3-4-22. 대나무(판과 판사이)와 앵글(판의 모서리)를 이용한 PE판넬 고정

그러나 이 구조물 또한 문제점을 발견할 수 있었는데 PE관 설치시 많은 시간이 소요 되 조석으로 인한 작업시간이 정해져 있어 PE관 설치 시간이 충분하지 않아 완벽한 마무리를 하지 못하였으며 설치 후 기상악화로 인해 2차 작업을 하지 못하여 PE관과 PE판넬이 육상으로 떠내려 왔다(그림 3-4-23). 고정역할을 하는 부분이 1.5 m의 대나무밖에 없었고, 작업을 하면서 펄 주위가 약해지는 현상도 발생하여 이 같은 결과를 초래하였다.



그림 3-4-23. 시험포에서 떠내려온 PE관 및 PE판넬

따라서 충분한 작업시간 보유와 접근성이 용이한 지역에 시험포를 설치하여 구조물의 관찰 및 보완이 가능하도록 상부조건대 연안에 유희지를 개간하고자 하였다. 이를 위해 기존의 시험포 설치방법을 기초로 하여 구조물을 조금 보완하고 새로운 모형의 구조물을 가미하여 시험포를 설치하였다. 기존의 4m의 PE판넬을 3m로 하여 기존방법보다 운

반과 설치가 용이하도록 하였으며 1.5m의 대나무를 대신하여 강도가 높고 길이가 긴 2m의 FRP 봉을 사용하였으며 수량도 2배가량 더 사용하였다.

초기 조성한 현장보다 가까워진 시험포의 경계둑 자재는 선박을 이용하지 않고 펠배 위에 스티로폼을 올리고 그 위에 PE판넬을 올려 현장까지 세 사람이 밀고 들어갔으며 FRP봉과 다른 자재는 육상에서 가까운 해안가까지 운반하여 옮겼다. 또한 시험포를 직사각형 모형으로 반듯하게 잡기 위해 1m 별로 표시한 로프(100m)를 FRP 봉에 감아 직사각형모양으로 만든 후 시험포 틀을 잡았다(그림 3-4-24). 그 후 스티로폼위에 올려진 3m의 PE판넬을 설치할 장소에 하나씩 내려놓고 다른 인력은 이 PE판넬을 로프로 만든 직사각형 시험포 틀에 맞춰 펠 속에 30cm 이상 고정하였다. 또한 초기에 PE판을 몸으로 밀어 넣는데 반해 이번 작업 시에는 PE판넬 위에 각목 등을 덧대 해머를 이용하여 단번에 넣어 고정하고자 하였다. 이때 해수면으로 나오는 PE판넬의 높이는 15cm를 남기고 모두 펠 속으로 깊이 박아 넣었다(그림 3-4-25).



그림 3-4-24. 2인1조 PE판넬을 펠 속에 고정하는 작업



(a) FRP봉으로 고정



(b) PE판넬 고정

그림 3-4-25. PE판넬 고정 작업 과정

시험포는 32m × 28m(0.0896 ha)의 크기로 2개의 시험포를 설치하였으며, PE판넬은 2개 시험포에 총 78개를 사용하였다. PE판넬을 고정시킨 FRP 재질의 봉은 39개를 사용하였고 두 시험포의 중앙부분에는 FRP 봉을 고정하지 않았다(그림 3-4-26). PE판넬의 각 모서리 부분(ㄱ)의 처리는 각목을 모서리에 덧대어 나사피스(SUS)로 고정하려 하였으나, 나사피스가 PE판넬을 뚫지 못하였다.

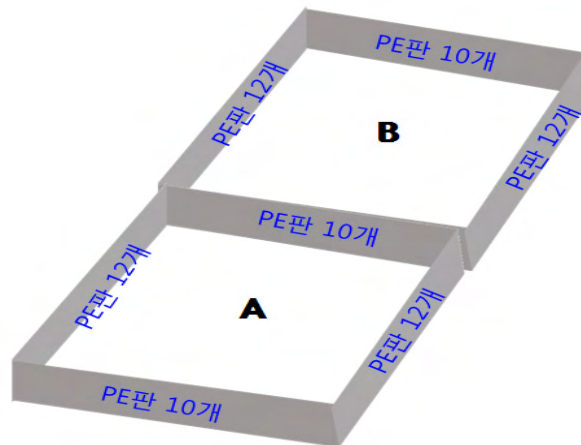


그림 3-4-26. 11월 8일 설치한 시험포 모형도

1차적으로 작업을 마무리하고 다음날 시험포를 관찰한 결과 간조시에 시험포 안에 물이 고여 있었으나 저조시 시험포 밖에까지 물이 빠져나가자 시험포 안의 해수는 3분가량 체류하였으며, 시험포의 모양과 형태는 유지하였으나 1차적으로 고정작업이 이루어지지 않아 5군데의 PE판넬이 손실되었으나 바로 재설치하였다(그림 3-4-27). 체류된 물은 대부분 판넬과 판넬사이로 빠져나갔으나 군데군데 웅덩이가 생기며 해수가 남겨진 부분이 나타났다(그림 3-4-28). PE판넬은 B지역에서 유실되었는데 이는 A지역의 바닷쪽 부분은 35cm 이상 펄 속에 고정하였으나 B지역은 육지와 갯벌의 경사도를 고려하여 25~30cm 정도 고정하여 유실이 이루어 졌다.

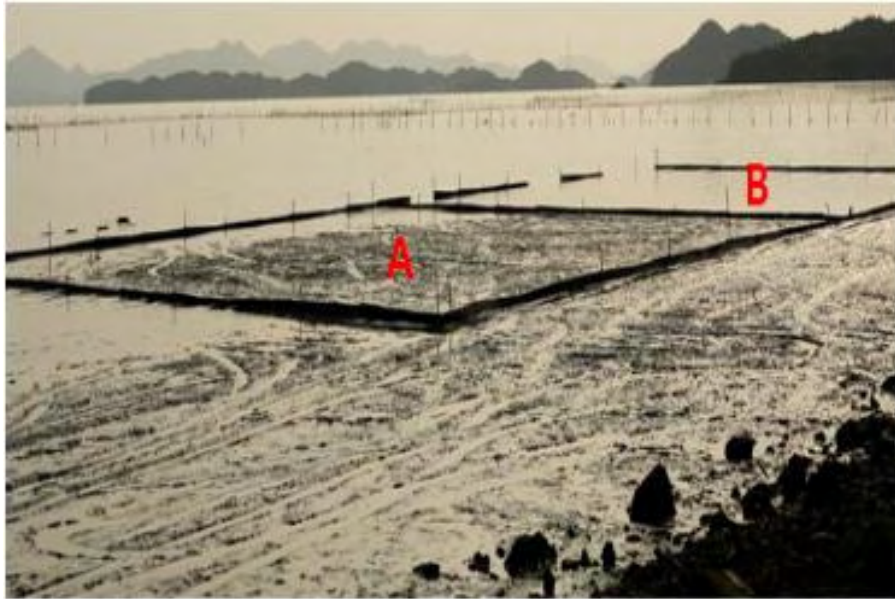


그림 3-4-27. 2차 시험포 설치후 PE판넬 유실 모습



그림 3-4-28. PE판넬 사이의 웅덩이

PE판넬 사이의 공극을 없애고자 T-이음기둥을 제작하여 설치하고, 판넬에 구멍을 뚫어 보르와 너트를 사용해 벌어진 틈을 없앴다(그림 3-4-29). T-이음 기둥은 3m의 동일 재질의 판넬을 절반으로 잘라, 한끝을 갯벌에 잘 들어가도록 화살표 모양으로 잘라 만들었다. 10mm의 SUS I-볼트와 너트를 사용하였으며 볼트와 너트에는 스프링 와셔를 넣었다. 판넬의 윗부분과 아랫부분에 볼트를 설치하여 간격을 줄였다. 또한 FRP봉은 PE판넬과 U-볼트를 이용하여 연결시켰다(그림 3-4-30).



그림 3-4-29. T이음기둥 설치 및 계획도



(a) T-이음기둥 설치



(b) PE판넬 연결

그림 3-4-30. T-이음기둥설치 및 PE판넬 연결 모습

그러나 이 또한 문제가 발생하였는데 육지쪽을 바라보는 판넬은 자리를 잘 잡고 있는 반면 해수와 접해있는 부분은 해류방향과 같은 방향으로 설치되어 PE판넬 밑부분의 펄이 깔려나가 파랑에 의해 전체적으로 PE판넬이 넘어갔다(그림 3-4-31). 또한 구조물을 고정 및 보완 작업을 계속적으로 하면서 갯벌의 액상화 현상이 발생해 지반이 약해진 것도 한 원인으로 보여진다.



그림 3-4-31. 갯벌에 넘어진 PE판넬

위 시험포에는 꼬막의 생산성실험을 위해 종패가 뿌려진 상태였기 때문에 본 시험포를 계속적으로 보수를 하여 유지해야만 했기 때문에 본 시험포에 방수천을 덧씌워 해수를 가두고자 하였다. 바람에 방수천이 날리는 것을 방지하기 위해 로프를 이용하여 방수천을 묶어 고정하고 대나무로 고정시켰다. 방수천 작업 후 고조시 시험포를 확인한 결과, 방수천이 펄 속으로 잘 들어가지 않은 부분은 방수천이 물에 떠오르는 현상이 발생하였으나 물의 체류시간은 30~40분 동안 체류하였다(그림 3-4-32). 즉 시험포를 조성한 후 내부에 물의 체류시간을 늘리기 위하여 지속적인 보강 작업을 하였으나, 대부분 물의 체류시간이 30분 미만이며, 또한 소조기에는 시험포까지 물이 들어오지 않는 기간이 있었다.



그림 3-4-32. 방수천 작업후 시험포에 갇힌 물

1, 2차년도 of 조사 기간 동안은 본 시험포를 유지하였으나 단단한 형태로 구조물을 만들었을 때 오히려 문제점이 많이 발생하여 꼬막종패의 생산성 조사를 위해 소규모 시험포를 조성하였으며, 파랑의 영향을 줄이고자 방수천만을 이용하여 설치하였다. 초기에는 둘레가 16m의 원형구조로 방수천을 재단하여 방수목을 지지대로 사용하였다(그림 3-4-33). 기본 도안에서는 파랑 및 풍랑으로 인해 팔각형 구조로 도안을 하였으나 갯벌에서 정확한 위치 및 작업인원 부족으로 모형을 원형으로 잡았다. 설치시 방수천을 원형으로 펼치고 2m 강목을 갯벌에 고정시킨 후 로프를 나무강목에 못을 박아 1차 고정시키고 로프로 다시 한 번 고정시켰다(그림 3-4-34). 간조 시와 만조 시 시험포를 관찰한 결과 기존의 시험포보다 물의 체류시간이 길게 유지되었다(그림 3-4-35).

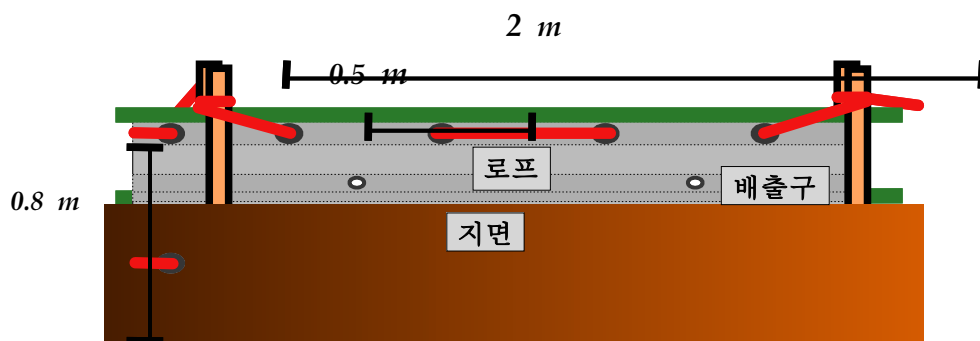


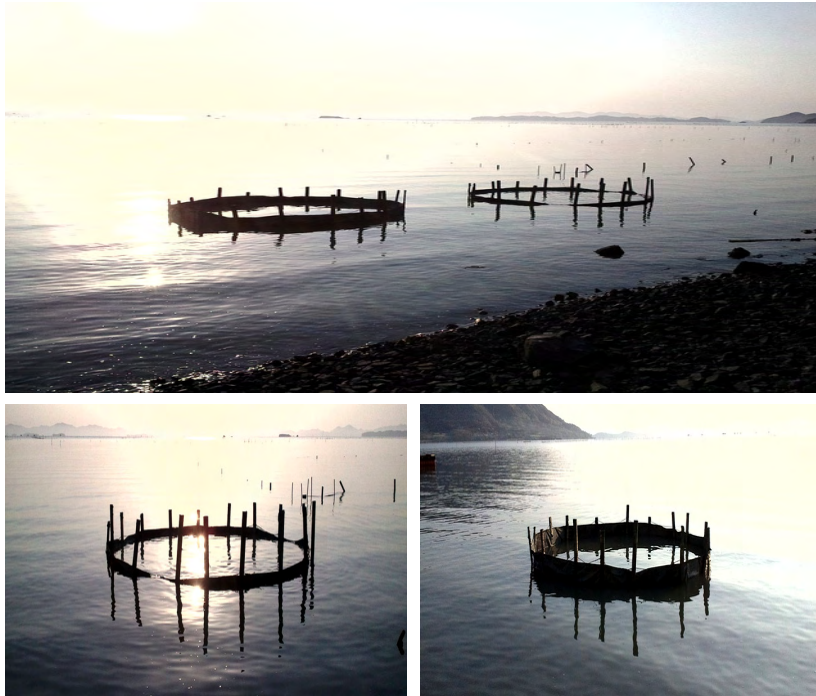
그림 3-4-33. 고히계매 설치 자재 및 구조물 도안



그림 3-4-34. 방수천을 이용한 소규모 시험포 설치



(a) 간조시



(b) 만조시

그림 3-4-35. 방수천 설치 후 간조와 만조시 모습

시험포를 설치하고 30일 경과 후 시험포는 두 개 중 하나는 물이 고이지 않았으며 방수천내부와 외부에 5~10cm 정도 파여 있었고 방수천 주의에서 살포한 참꼬막 종패가 발견되지 않아 대부분 유실된 것으로 보였다. 그러나 물이 체류한 다른 한쪽은 초기에 꼬막종패가 모두 잠입한 상태로 양호하게 유지되고 있었다(그림 3-4-36).



(a) 방수천 안쪽 고인물



(b) 갯벌 파임

그림 3-4-36. 방수천 설치 후 30일 경과 후 모습

시험포 2개중 물이 고이지 않은 시험포를 보완하기 위해 방수천이 들리지 않도록 방수천 아래 구멍을 내고 돌망태를 달아 다시 설치하였다(그림 3-4-37). 만조시와 간조시 시험포를 확인한 결과 방수천 안의 물 깊이는 약 30cm이상의 깊이를 유지하였으며 시간당 5cm정도 물이 빠져 3시간 이상의 체류시간을 보였다(그림 3-4-38). 단, 방수천의 배부름 현상이 발생하여 오랜 기간 시험포를 유지할 수 없었다(그림 3-4-39).

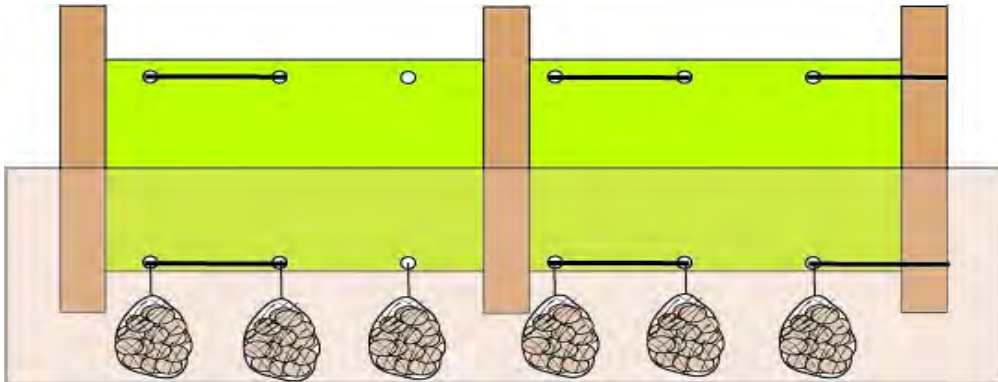


그림 3-4-37. 4차 작업시 방수천 설치 도안



(a) 간조시



(b) 만조시

그림 3-4-38. 방수천 설치 후 간조와 만조시 모습



(a) 배부름 현상



(b) 외부전경

그림 3-4-39. 방수천안의 물의 깊이와 외부 전경

또 다른 방법으로 방수천 위쪽에 부이를 달아 자연스럽게 물이 들어왔을 때 시험포의 모형이 잡혀 물이 가뉘지고 간조시 방수천 안의 압력에 의해 물이 남아있도록 하는 방법도 함께 시도하였다(그림 3-4-40). 이때 방수천 아랫부분에 돌망태를 담은 대신 재단을 하여 호스를 끼워 넣고 그 안에 현장에서 돌을 채워 무게감과 둥근모양이 만들어지도록 하였다. 설치하는 위 모형을 펴로 옮겨 펼친 후 방수천에 들어있는 호스부분에 압력을 가하여 펴 속으로 밀어 넣으면 설치가 쉽게 되 많은 사람이 필요 없이 혼자서도 시험포를 충분히 설치 할 수 있었다. 그 후 지지대는 방수천이 모양을 잡을 수 있도록 방수천 주변에 꽂아주었으며 방수천과는 고정하지 않았다. 이또한 만조와 간조시 구조물을 확인한 결과 간조시 약 15~20cm 정도로 위 시험포보다 수위는 다소 낮게 나타났으나 체류시간은 유사하게 나타났다(그림 3-4-41).

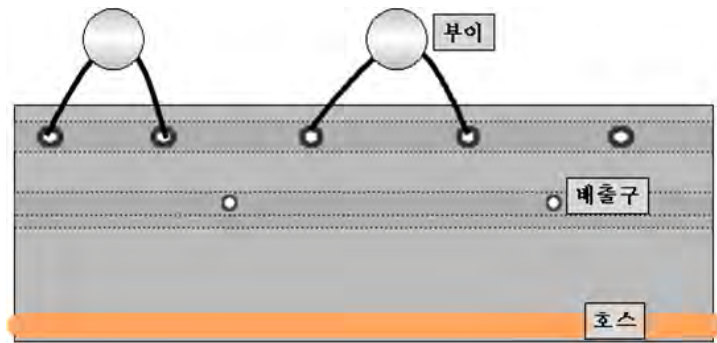


그림 3-4-40. 방수천 설치 도안과 설치 전경

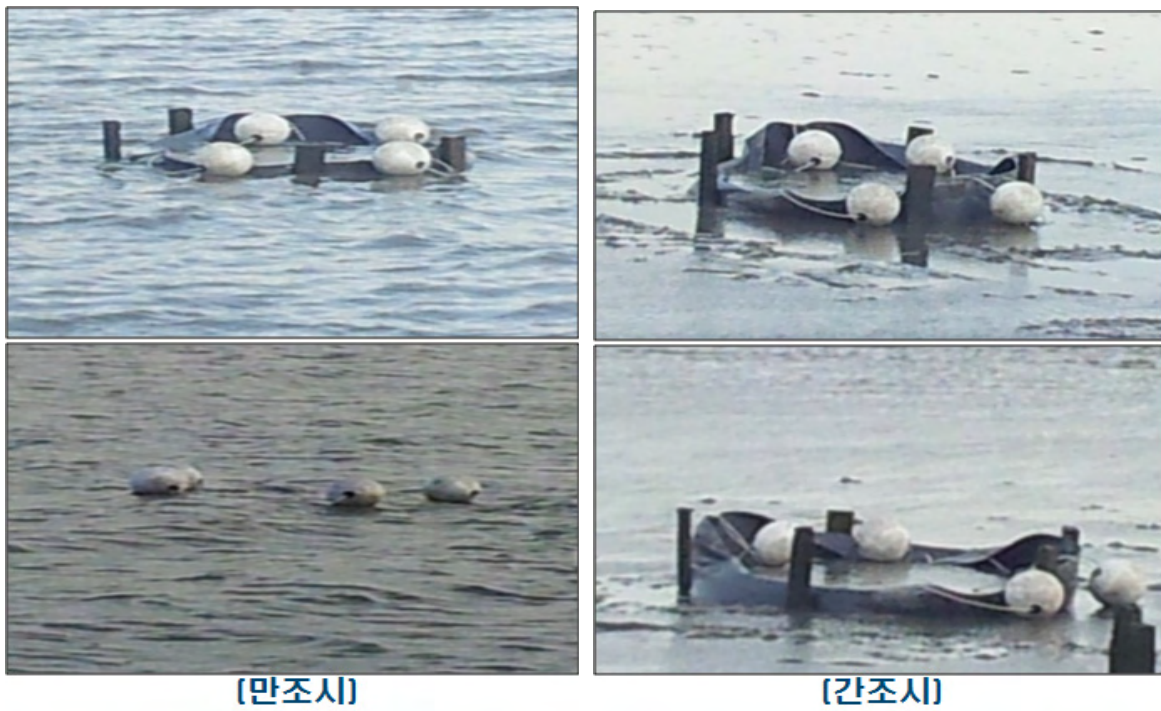


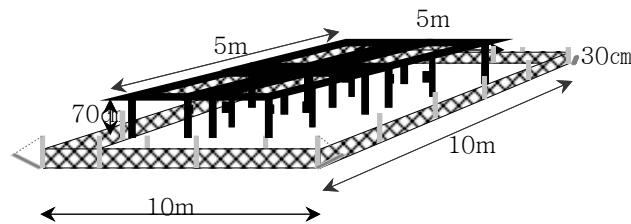
그림 3-4-41. 방수천 설치 후 간조와 만조시 모습

다. 다목적이용 복합양식

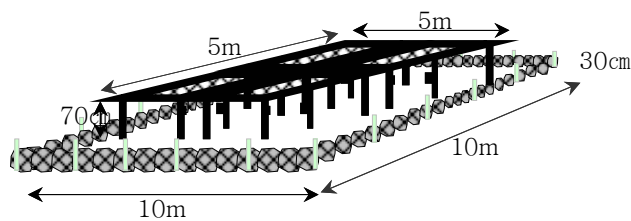
조간대의 입체적 이용을 위한 기본 시설개념은 수평망식 양식시설과 경계둑을 조성하여 조간대 저질 바로 위 공간에서는 굴 생산, 조간대 저서면에서는 저질에 적합한 패류 품종을 생산하여 생산성과 공간이용을 높이는 방법이다. 수평망식 양식시설은 이미 프랑스 등에서 많이 사용되고 있는 방법으로 국내에 적합하도록 개선되었다. 이것에 조간대 입체양식에 있어 치패 유실 방지를 위한 경계 설치방향성을 살펴보고 그 개념에 맞추어 시공하였으며, 양식에 있어 시설의 안정성을 확인하기 위하여 구조물에 대한 모니터링을 2년간 실시하였다.

(1) 재료 및 방법

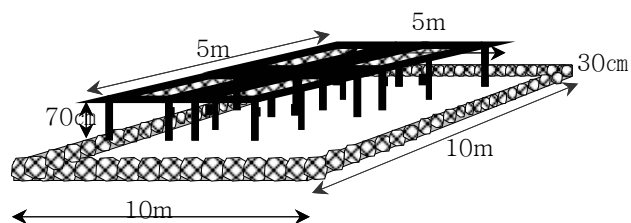
현장에서의 구조적 진단을 위하여 다음과 같은 Pilot 모델을 강구하였다. 도피 및 치패 유실 방지를 위한 그물망 타입, 굴패각을 활용한 망을 제조하여 경계구획을 설정하는 형태, 그리고 굴패각망에 PC 판을 안쪽에 설치하여 물빠짐을 지연시키는 형태의 3가지 타입을 고안하였으며, 크기는 10m×10m가 되도록 하였다(그림 3-4-42).



(a) 그물망+수평망식양식시설



(b) 굴패각 둑 경계구획+수평망식양식시설



(c) 굴 패각 둑 + PC판 + 수평망식양식시설

그림 3-4-42. 서해안 시험어장 패류양식장 복합양식 구조개선 시설 실험 모식도

시설위치는 함평만 도리포 연안으로 수평망식 양식시설 적지인 지역에 A구역과 B구역으로 나누어 두 세트 시설하였으며, A구역은 사니질 분포지역이며, B구역은 니질 분포 지역이다. 시설위치 좌표와 위치도는 표 3-4-1과 그림 3-4-43과 같다.

표 3-4-1. 수평망식 양식시설 및 복합양식 구조개선 Pilot 모형 시설 위경도 좌표

구 분		위도(N)	경도(E)	비고
A구역	좌상	35° 8' 35.00 "	126° 20' 45.00 "	
	우하	35° 8' 31.00 "	126° 20' 47.00 "	
B구역	좌상	35° 8' 31.00 "	126° 20' 45.00 "	
	우하	35° 8' 27.00 "	126° 20' 47.00 "	

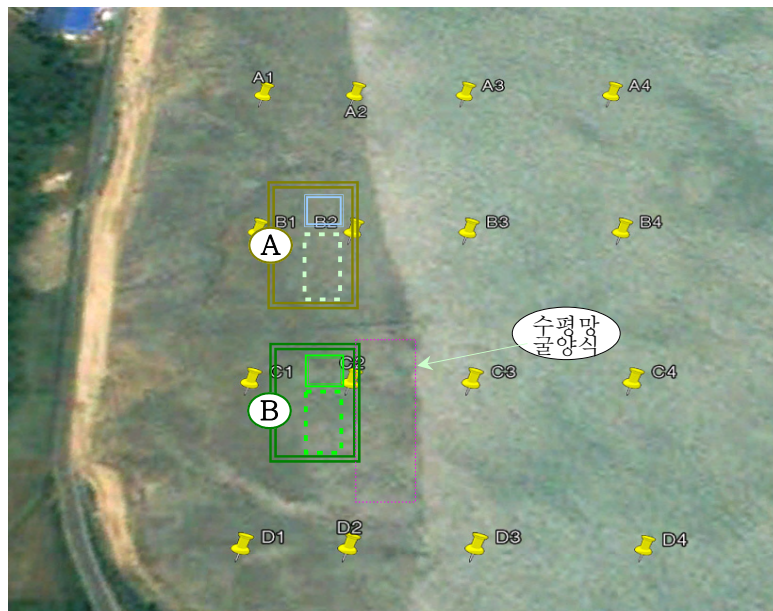


그림 3-4-43. 수평망식 양식시설 및 복합양식 구조개선 Pilot 모형 시설 위치

다목적이용 입체양식 Pilot 모델 기본 개념에 따라 적지조사 현장에 시공하였다. 복합양식 구조개선 경계둑을 시설하기 위하여 여수시에서 직접 굴 패각을 운반하여 굴 망태를 제작, 함평만으로 운반하여, 선박을 이용 굴 망태와 수평망식 양식시설을 시험어장으로 운반 2010년 2월 27일에서 3월 17일 까지 15일 동안 복합양식 구조개선 Pilot 모형을 시설하였다(그림 3-4-44~47).



그림 3-4-44. 복합양식구조개선 Pilot 모형 시설을 위해 준비한 굴망태



그림 3-4-45. 복합양식구조개선 Pilot 모형 시설을 위해 시험어장으로 운반중인 수평망양식시설



(a) 굴패각을 경계둑 설치 전경



(b) PC판 설치 전경

그림 3-4-46. 서해안 시험어장 패류양식장 구조개선 시설 작업전경



(a) 그물망 설치



(b) 굴패각경계둑 시설



(c) 굴패각 + 경계판(PC판) 설치

그림 3-4-47. 서해안 시험어장 패류양식장 구조개선 설치 전경

(2) 연구결과

기본 시설인 수평망식 양식시설의 안정성 모니터링은 2009년 11월부터 2010년 3월까지 4개월 동안 안정적으로 유지되고 있어 시설의 침하도 보이지 않았다(그림 3-4-48).



그림 3-4-48. 서해 함평만 시험어장에 시설 4개월 후 수평망식 양식시설 상태

1차적으로 함평만 다목적 이용 입체양식 구조개선 방안 Pilot 모형을 2010년 3월 17일부터 15일 동안 안정성 실험을 현장에서 실시하였다. 실험결과 조류방향과 직각인 부분에 대해서 Pilot 모형의 굴망태를 이용한 경계둑 시설 지역은 안정적인 상태를 유지하였으나, 저조선에 따라 시설된 굴 패각 망태 등은 입사되는 파랑에 의해 안정적인 구조를 유지하지 못하는 것으로 나타났다(그림 3-4-49~50). 특히 해수를 가두기 위한 PC 판넬은 쉽게 판을 고정시키는 지지목이 빠져나와 보다 안정적인 방안이 요구 되었다. 그물망은 그물아래 부분을 잡아주는 무게추가 가벼워 물살과 바람에 휩싸여 감아올려져 버려 좀더 무거운 추 정착이 필요한 것으로 판단되었다. 또한 굴 패각망은 생각보다 비중이 낮아 조류에 무너지는 경향이 나타나 이에 대한 고정 보강이 필요한 것으로 판단되었다.



▷PC판 + 굴 패각독

- 해안선 수직방향의 두렁에서 굴 패각 2단까지 시험포안쪽으로 무너짐
- PC판은 지지목이 뽑힘



▷굴 패각독

- 재료 부족으로 중단된 시험포, 피해 여부 확인 불가.



▷그물망

- 해안선 수직방향의 그물망이 밧줄위로 넘어가 떠있는 상태

그림 3-4-49. 함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 Pilot 모델 시설 A구역의 구조개선안 모니터링 결과



▷PC판 + 굴 패각 독

- 해안선 수직방향의 PC판 일부에서 나사못으로 고정된 부분이 터짐
- 두렁 맨 위(3단)의 패각 묶음이 시험포 안쪽으로 쓸림



▷굴 패각독

- 해안선 수직방향의 굴 패각두렁이 2단까지 시험포 안쪽으로 무너짐



▷그물망

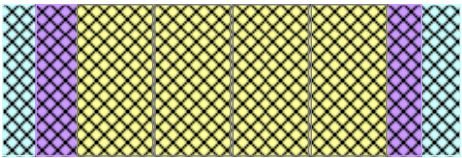
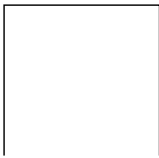
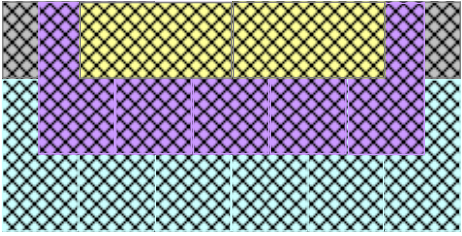
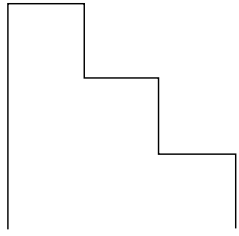
- 해안선 수직방향의 그물망이 밧줄위로 넘어가 떠있는 상태

그림 3-4-50. 함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 Pilot 모델 시설 B구역 구조개선안 모니터링 결과

위의 결과를 종합하여 분석한 결과 함평만 시험어장의 복합양식 구조개선 Pilot 모형의 안정성 모니터링 결과 파랑에 안정적인 구조를 가지지 못하는 것으로 나타나 보강 개선이 필요하였으며 굴 패각 독 및 PC판, 그물망 에 대한 보수보강을 다음과 같이 실시하였다.



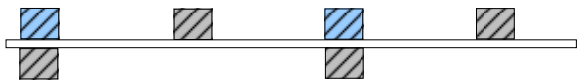
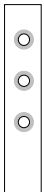
PC판 및 굴 패각 독 보강 방법은 단순 3단으로 적재된 굴 패각 두둑을 해안선과 수직방향의 두둑을 계단식(1, 2, 3단)으로 적재하여 입사하는 파랑의 외력에 충분히 견딜 수 있도록 개선하도록 하였으며, 굴패각의 무너짐을 방지하기 위하여 그물망을 이용하여 견고하게 쌓아 안정토록 하였다(표 3-4-2).

표 3-4-2. B구역 굴 패각 독 보강 개념 및 모식도

구 분	방 법	굴 패각 독 단면
보강 전		
보강 후		

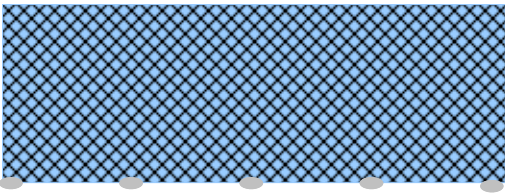
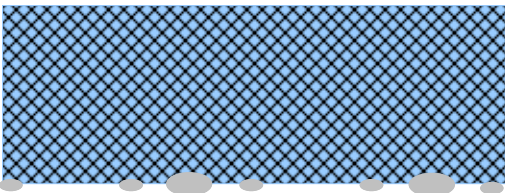
PC판 보강방법은 굴 패각 안쪽에 설치하는 PC판의 경우 고정하는 나사못에 와셔를 끼워 접지 단면적을 확대하고, 시험포 안쪽에 지주목을 보강하도록 하였다(표 3-4-3).

표 3-4-3. 굴 패각 안에 설치하는 PC 판 고정 보강 방법 및 모식도

구 분	방 법	비 고
보강 전		
보강 후		

그물망 보강 방법은 20cm 간격으로 200g의 추를 설치했던 그물망에 50cm 마다 500g의 추를 추가 부착하여 파랑과 조류에 의해 그물이 들리지 않도록 하였다(표 3-4-4).

표 3-4-4. 그물망 설치 보강 방법 및 모식도

구 분	방 법	비 고
보강 전		
보강 후		

시험포 배치 방법은 전후 시험포 조성에 관한 방법은 그림 3-4-51과 같다. 앞전에는 경계둑 안에 수평망식 양식시설이 들어서는 방법을 선택하였지만 이번 배치에서는 수평망식 양식시설 사이에 시험포를 조성하고 수평망식 양식시설의 파랑 감쇄효과를 올리도록 하였다.

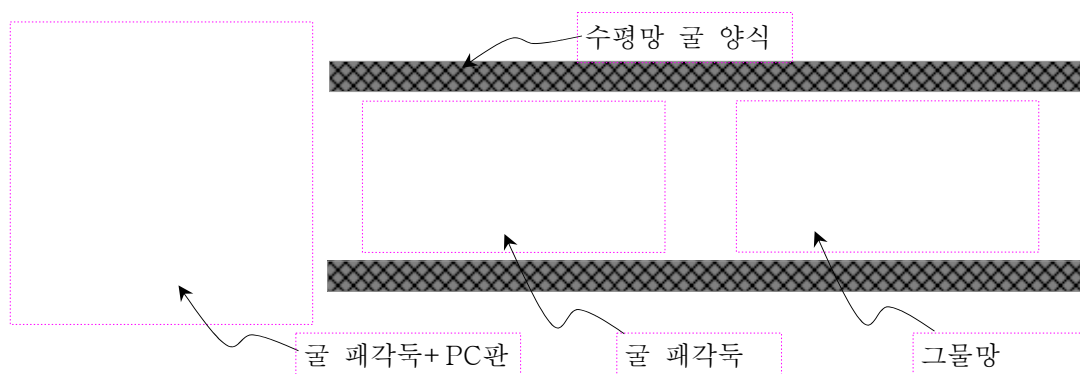


그림 3-4-51. 수평망식 양식시설 + 바지락 복합양식 조성 모식도

수평망식 굴양식시설 지역에 입체양식을 추진하기 위하여 굴패각을 이용하여 외부경계부 구조개선을 2009년 1차 연구기간에 시설하였으나, 해역의 파랑과 바람에 의해 구조물의 파괴가 일어났으며 이에 대한 보수보강 시설을 위와 같이 2010년 4월에 실시하였다. 보강된 구조개선복합양식 시험시설은 2010년 9월 1일 곤파스 태풍 이전까지는 구조물의 형태를 지속적으로 유지하였으나, 곤파스 태풍이 시험어장을 통과한 후 시설 유지가 곤란

하였다(그림 3-4-52). 2차 연구는 다목적 이용 복합양식의 생산성을 살펴보기 위하여 고흥 남성리 다공질 갯벌둑을 이용한 경계둑 안에 시설하였으며, 시설물의 안정성은 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다(그림 3-4-53).



▷PC판 + 굴 패각 두렁

- 해안선 수직방향의 물막이 펜스를 철근과 그물망로 보강 하였음에도 서해의 파랑에너지 특히 태풍의 에너지에 견디지 못함.



▷굴 패각두렁

- 굴 패각두렁 시험포의 굴망이 여기저기 흩어짐.



▷그물망

- 철근 구조물인 굴 수평망 구물이 태풍에 영향을 받았으며, 함께 설치한 그물망 시험포 또한 형태를 알아볼 수 없게 파손됨.

그림 3-4-52. 곤파스 태풍에 의한 구조물 피해 결과



그림 3-4-53. 고흥 남성리 구조개선 패류양식장 입체양식 시설

2. 생산성 진단

가. 다공질 갯벌둑 경계둑 설치 및 저질구조개선

조간대 패류 양식은 많은 종패 투입으로 인해 양식장의 생산성이 저하되고, 대량폐사로 인해 환경오염 등 악순환이 되풀이 되고 있다. 이번 연구에서는 양식장의 환경과 생산성을 향상시키고자 경계둑과 니질 조간대를 바지락 양식이 가능한 저질개선 연구를 추진하였다. 본 연구에서는 패류양식장 생산성 향상을 위해 개발된 경계둑과 저질개선에 대한 가능성 진단 및 현장실용화 진단을 추진하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 향후 우리나라 조간대에 분포한 패류양식장의 생산성 향상 효과를 적용 가능한 여부를 판단하고자 하였다.

(1) 재료 및 방법

조간대 경계둑 설치 및 굴패각을 이용한 저질구조개선을 위한 시험어장은 고흥 남성리 해역으로 이곳에 71m×18m 크기의 구조개선 다공질 갯벌둑을 이용한 경계둑을 시공하였으며, 2~3cm 크기의 굴패각을 50톤 넣고 조성하였다(그림 3-4-54). 구조개선된 지역에서의 양식 가능성 진단을 위하여 5m×5m의 구조개선된 실험구와 같은 크기의 니질조간대 대조구를 설정하여 5톤/ha 기준으로 평균 각장 18.44mm, 평균 전중량 0.94g의 전남 고흥군 연안에서 생산된 바지락 종패를 입식하였으며 2010년 5월에서 2012년 4월까지 바지락의 성장도 및 생존율을 모니터링 하였다. 실험 1년간은 계절별 조사를 실시하였으며, 2011년 5월부터 2012년 4월까지는 월 1회 조사를 하였다.



그림 3-4-54. 구조개선 바지락 양식 시험어장 위치도

가능성 진단 모니터링을 바탕으로 현장 실용화 실험을 추진하였다. 구획된 시험구에 전북부안군에서 생산된 평균 각장 17.50mm, 평균 전중량 1.00g 바지락 종패 1ton(7.5 ton/ha)을 2011년 5월에 입식하였으며 2012년 4월까지 채취된 바지락에 대한 생물학적 변수 측정 및 생존율을 조사하였다.

바지락 조사는 0.3m×0.3m 방형구를 이용하여 채집하여 냉장상태로 실험실로 옮긴 후 버니어캘리퍼스로 각장을 0.01mm 단위까지 측정하였고, 무게는 0.1g까지 측정하였으며 식 1에 의해 비만도를 조사하였다.

$$\text{비만도} = \frac{\text{육중량(g)}}{\text{패각 건조중량(g)}} \quad (\text{식 1})$$

(2) 조사결과

(가) 가능성 진단 실험

구조개선 된 시험어장에서 바지락의 양식 가능성에 대한 진단실험을 실시한 결과를 살펴보면 다음과 같다. 구조개선된 실험구와 니질 조건대 양식 시험이 이루어진 대조구간 바지락 생존율은 대조구의 경우 바지락 입식 한 후 13개월 동안 생존하였으며 14개월째인 2011년 7월에 모두 사망하였다. 대조구는 실험구에 비해 빠른 사망률을 보여주었으나 실험구는 완만한 사망률 보이고 2년 후 최종 생존율은 40% 이었으며 경계둑 설치로 초기 종패유실은 거의 없는 것으로 확인되었다(그림 3-4-55).

실험구와 대조구간 각장 변화를 살펴보면 니질로 이루어진 대조구는 입식 13개월 후인 2011년 6월에 31.65±3.65mm 이었으며, 최종완료 시기에 실험구는 37.21±3.59mm이었다. 실험구 바지락의 각장은 시간이 경과함에 따라 양호한 성장을 보였으며, 굴 패각을 넣어

준 실험구와 굴 패각을 넣어주지 않은 대조구간의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다(그림 3-4-56). 실험생물의 중량 변화를 살펴보면 대조구는 13개월 동안 $6.97 \pm 2.97\text{g}$ 으로 성장하였으며, 실험구는 $9.12 \pm 3.78\text{g}$ 이었다(그림 3-4-57). 대조구 생존기간을 기준으로 두 시험구 간 큰 차이는 없었다. 실험기간 동안 비만도를 살펴보면 0.38~0.68로 1~2월에 증가하여 가장 높고 서서히 감소하기 시작하여 10~11월에 최저 경향을 나타내었다(그림 3-4-58).

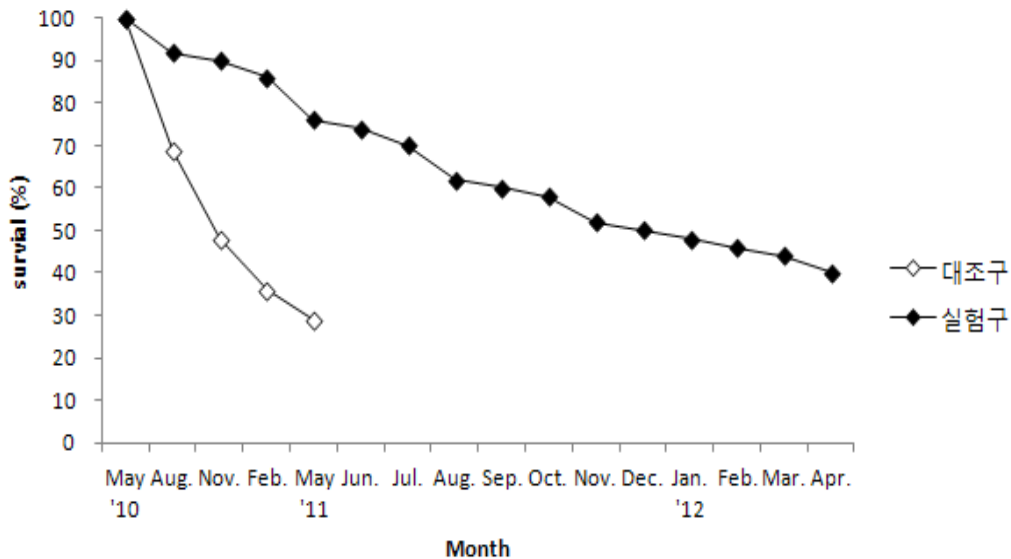


그림 3-4-55. 구조개선 된 시험어장의 대조구 및 실험구 바지락 생존율 변화

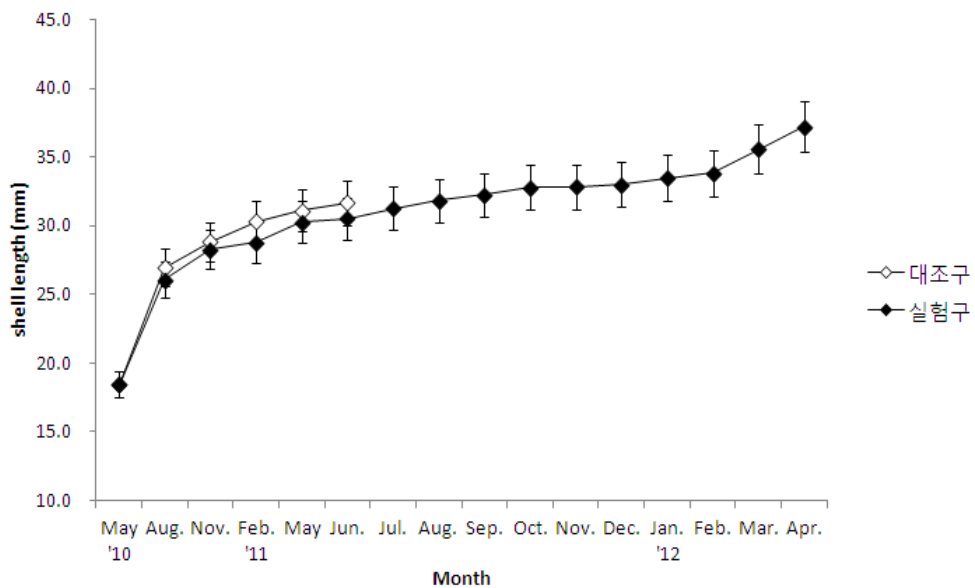


그림 3-4-56. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 각장 성장 변화

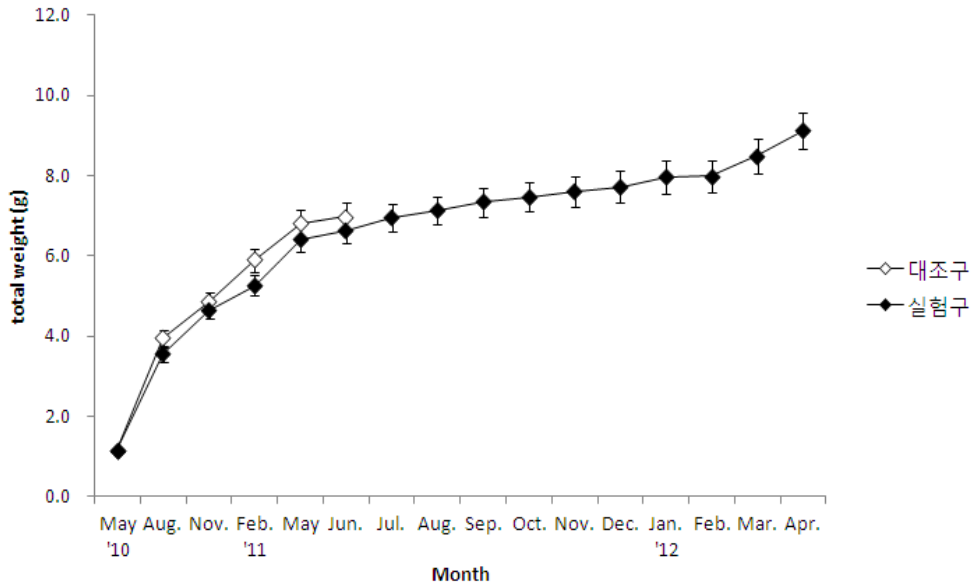


그림 3-4-57. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 중량 변화

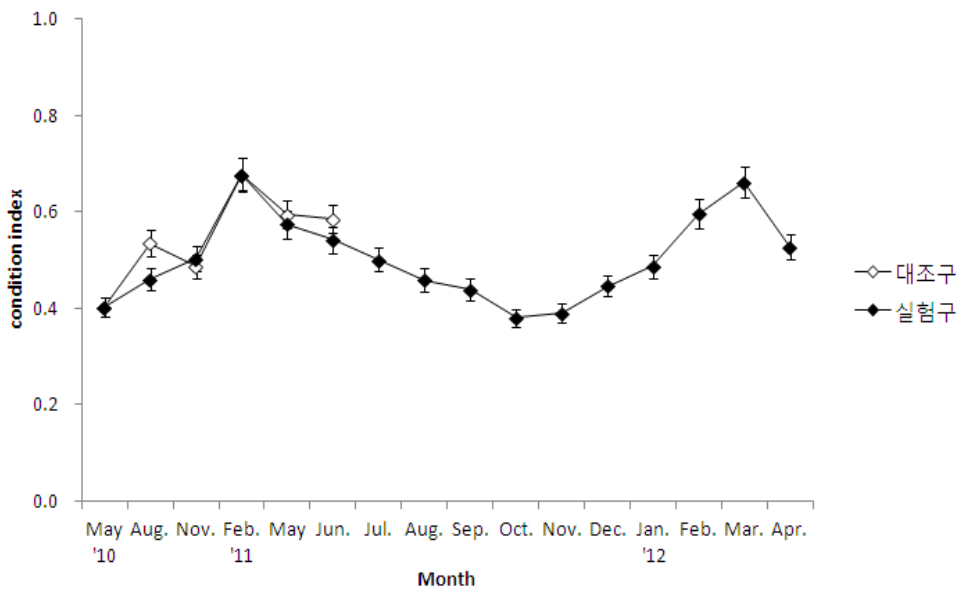


그림 3-4-58. 구조개선 된 바지락 시험어장의 대조구 및 실험구 비만도 변화

(나) 현장 실용화 진단 실험

1차적으로 종패 살포한지 한달 후 종패 유실율을 살펴보았다. 종패 살포 후 5회 조사한 방형구 내 바지락 종패는 평균 66개체 이었으며, 한달 후 조사시에는 62개체로 경계둑에 의해 유실율이 없는 것으로 나타났다.

구조 개선된 패류양식장의 현장 실용화 실험을 실시하였다. 실험기간 동안 조사결과를 살펴보면 각장은 $17.50 \pm 1.89 \sim 33.65 \pm 1.66$ mm로 꾸준한 성장을 보였다(그림 3-4-59). 전중량은 $1.00 \pm 0.32 \sim 7.06 \pm 1.59$ g으로 10월에 12월 사이 중량성장이 둔화되는 경향을 보였다(그림 3-4-60). 비만도는 0.40~0.71로 가능성 진단 실험에서와 같이 1~3월에 높은 값을 보이고 10~12월에 낮은 경향을 보였다(그림 3-4-61). 실험기간 동안 생존율은 70%이었다(그림 3-4-62).

(3) 경제성 분석

바지락 서식이 적합한 지역은 지역에 따라 차이가 있으나 사질 니토나 역사질 니토이며 분급이 매우 불량한 퇴적물에서 바지락의 서식량이 많을 것이라 하였으며(Lee et al. 1999) 서해안 주요 바지락 양식장 28개소의 퇴적물 분석 결과에서는 바지락 서식밀도가 높은 어장의 퇴적물은 역니질사, 약역니질사로 나타났다(국립수산과학원 서해수산연구소, 2010). 본 연구는 치패 유실방지와 니질조건대의 새로운 바지락 양식장 조성을 위한 구조개선 연구를 살펴보았다. 경계둑 설치에 따라 초기 종패 입식 후 종패 유실은 거의 없는 것으로 조사되었다. 저질구조개선에서는 대조구인 니질조건대에서 바지락 서식은 7.7%/월의 빠른 사망률을 보였으며 굴패각을 첨가한 실험구는 2.5%/월 사망률을 보였다. 현장 실용화 진단과 가능성 진단에서 지역별 바지락 종패의 상이한 성장도를 보였다. Kang et al. (2000) 은 평균 각장 13.8 ± 0.04 mm, 전중 0.5 ± 0.08 g의 고흥산 바지락 치패를 가막만과 진해만에서 12개월간 양성한 결과, 가막만에서 각장 35.4 ± 1.22 mm, 전중 10.0 ± 0.61 g, 진해만에서 각장 31.9 ± 1.72 mm, 전중 7.8 ± 0.41 g으로 가막만이 더욱 바지락성장에 좋은 것으로 지역차이를 보였으나, Lee et al. (1996) 은 13개월간 전남 승주 바지락 양식장에서 전장 2.30 ± 0.05 cm 하동산, 1.32 ± 0.02 cm 울산산, 1.24 ± 0.03 cm 고창산 산지별 바지락 성장도 시험을 실시한 결과 하동산 3.29 ± 0.02 cm, 울산산 3.15 ± 0.02 cm 고창산, 3.18 ± 0.02 cm 으로 고창산과 울산산이 성장에 유의한 차이를 보였다. 따라서 바지락 서식 환경과 종패 산지에 따라 다른 성장도를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 가능성 진단 실험에서 사용된 고흥 연안 바지락 종패의 성장은 Yoon et al(2011)이 제시한 고흥 연안 바지락 성장식($SL_t = 51.01(1 - e^{-0.1738(t+1.07)})$)과 유사한 성장 패턴을 보였다. 가능성 진단과 현장 실용화 진단 바지락의 성장도 차이는 앞에서 살펴본 바와 같이 연구지역의 환경차이와 종패의 산지에 의한 것으로 보인다.

바지락 패류양식장 구조개선에 따른 경제성을 살펴보면 약 400평 규모 구조개선 바지락 양식장 조성에 따른 비용은 다공질 갯벌둑을 이용한 경계둑 200m 설치시 20,000,000원이 들어가며, 그 외 작업인부임, 장비 및 선박 사용료로 2,000,000원 소요되어 종패구입을 합하여 24,000,000원이 소요된다(표 3-4-5).

구조개선 시험어장의 생산성 및 생존율을 적용할 경우 종패 1톤의 생존율은 40%이며 평균 중량은 9.12g 으로 총생산량은 3,648kg으로 kg 당 3,500원 판매가를 적용할 경우 12,768,000원의 조수입을 올릴 수 있어 3년 내에 투자비용을 충분히 회수 할 수 있다.

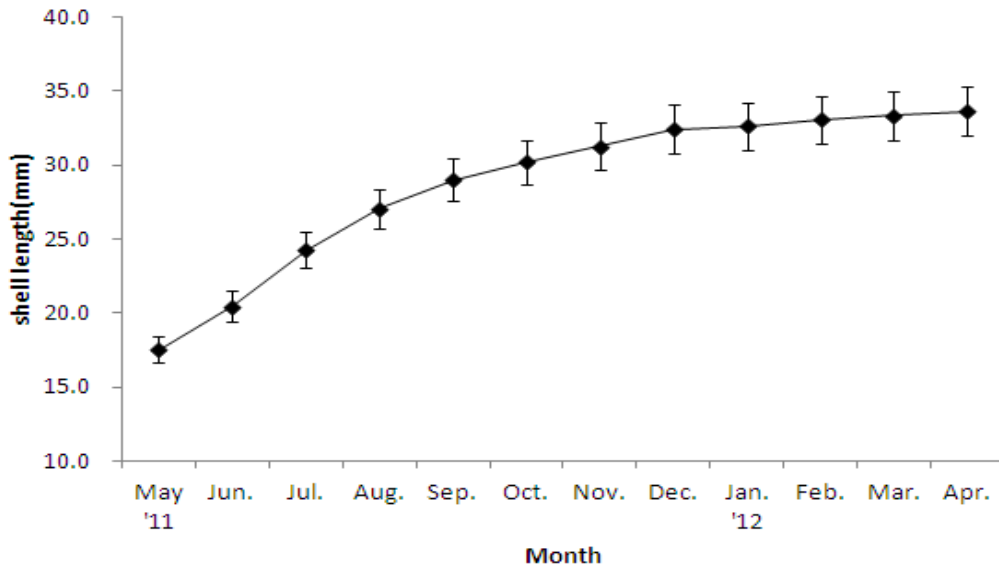


그림 3-4-59. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 각장 성장 변화

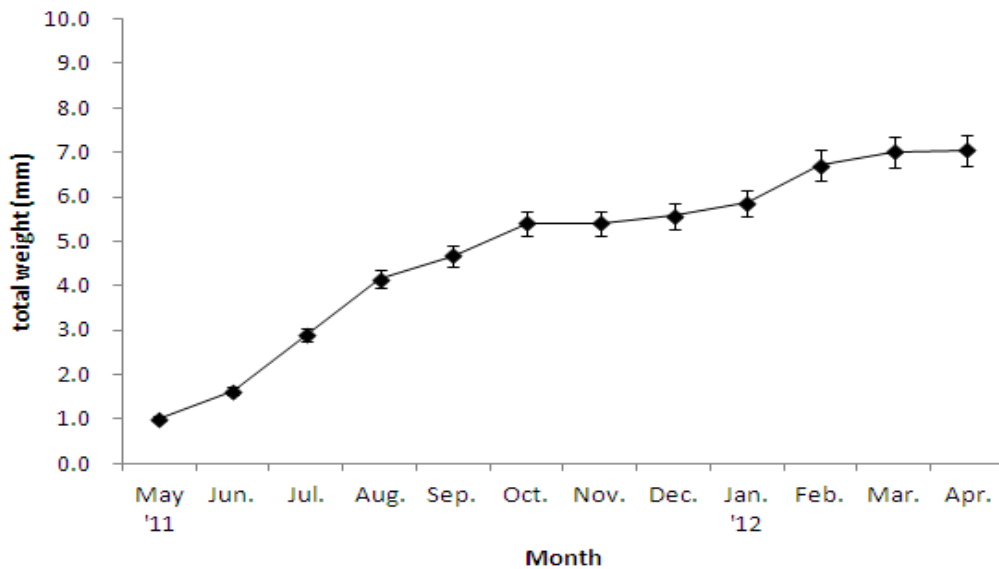


그림 3-4-60. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 중량 변화

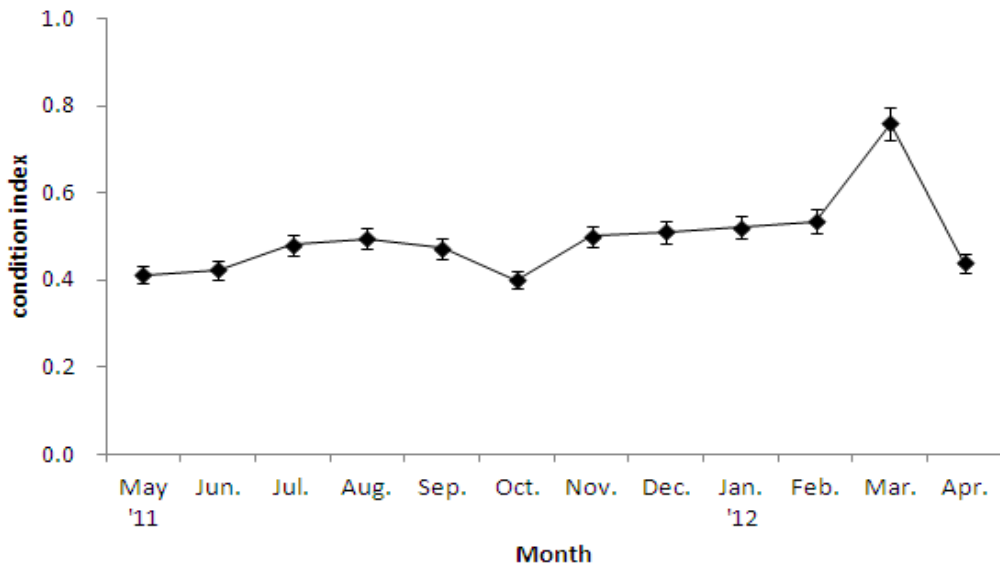


그림 3-4-61. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 비만도 변화

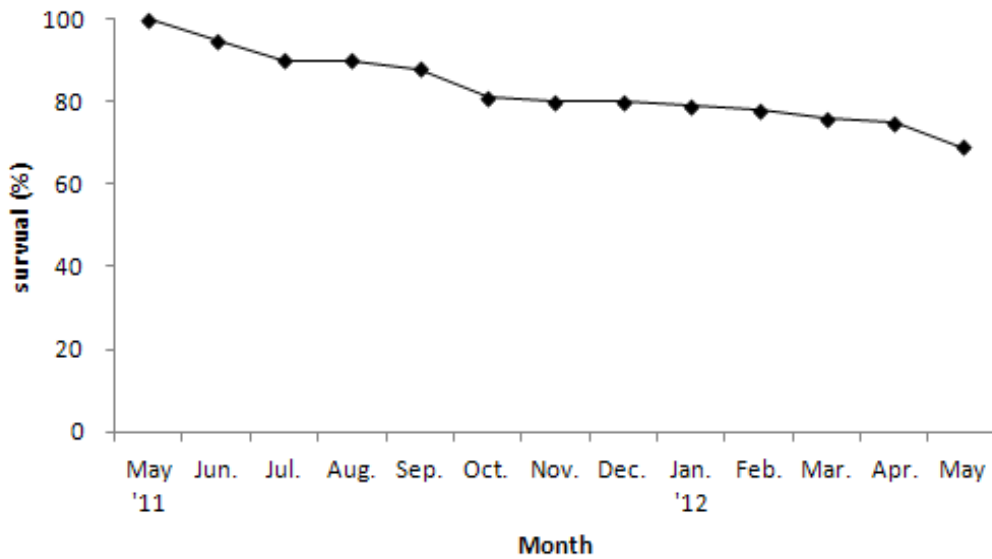


그림 3-4-62. 구조개선 패류양식장 현장실용화진단 실험 바지락 생존율 변화

표 3-4-5. 다공질 갯벌둑 및 굴패각을 이용한 양식장 구조개선 조성 비용

구 분		규 모	금 액(원)
구 조 개 선 양 식 장	경계둑제조설치	200m	20,000,000
	굴패각 투입작업 인부임	50ton	1,000,000
	종 패 구 입	1ton	2,000,000
	장 비 사 용 료	25ton 덤프	500,000
	선 박 임 차 비	5ton	500,000
계			24,000,000

나. 꼬막양식장

(1) 꼬막종패 입식 1차 조사

2010년 10월부터 PVC 평판으로 갯벌 펜스를 설치하여 2010년 11월 8일 시험포의 보완작업등을 거쳐 설치한 시험포 A와 B에 꼬막종패를 입식하여 성장도를 살피고자 하였으나 1차조사시 이레 없는 한파로 시험포의 꼬막종패는 전량 폐사하였으며 전국적으로 꼬막양식장의 종패도 대부분이 폐사한 것으로 보도화되었다. 따라서 1차 조사는 동파하기 전의 꼬막양식장의 일부 꼬막을 조사하여 성장도를 확인하고 꼬막 살포량 실험을 위한 Guillard 모델 실험에서도 연안에서 구조물을 설치하므로 꼬막양식장 운영의 가능성을 확인한 결과만을 제시하였다. 따라서 2차현장 조사를 2011년 4월 29일 실시하였으며 시험포 규모는 1차시기보다 소규모로 시험포를 설치하고 꼬막 종패를 입식하여 꼬막의 생산성을 진단하였다.



그림 3-4-63. 1차 시험포 조성에 쓰일 꼬막종패 입식(1차; 2010년 11월)

1차 조사(2010년 11월 8일)에는 시험포 규격을 0.09(32m x 28m) m²로 하여 시험포A와 B를 조성하였으며 꼬막 종패 살포량은 한 시험포 당 300kg으로 총 600kg의 꼬막을 살포하였다(그림 3-4-63). 시험포에 살포한 꼬막종패의 크기는 0.9~1.3(평균 1.1)cm로 입식비율은 3.35 ton/ha로 하였으며 이는 국립수산과학원에서 명시한 표준 살포량인 3.5~7 ton/ha에 다소 못 미치는 양이나 이는 꼬막의 각장이 1~1.5cm일 경우로 다소 시험포에 살포한 꼬막보다 큰 종패를 기준으로 한 양으로 입식비율을 낮추어 살포하였다. 이와 동시에 시험포의 꼬막 입식률을 결정하기 위해 Guiland 모델 실험을 함께 시행하였다. 꼬막종패를 입식하고 15일 후 시험포 보수 작업시기인 11월 23일에 시험포안의 꼬막을 살펴보았을 때에는 채에 대다수 생존해 있는 것을 확인하였다(그림 3-4-64). 그러나 2011년 2월 16일 조사 시에는 1시간동안 1mm 채로 10~15번 정도의 채질을 하였으나 시험포A와 B에서 채집한 개체는 20개체 미만이었으며 대부분 폐사한 꼬막과 꼬막 껍질만 발견되었다(그림 3-4-65). 또한 PE판넬 사이로 빠져나가 시험포 밖에서 일부 폐사한 꼬막이 발견되기도 하였다.



그림 3-4-64. A, B 시험포에서 채취한 꼬막

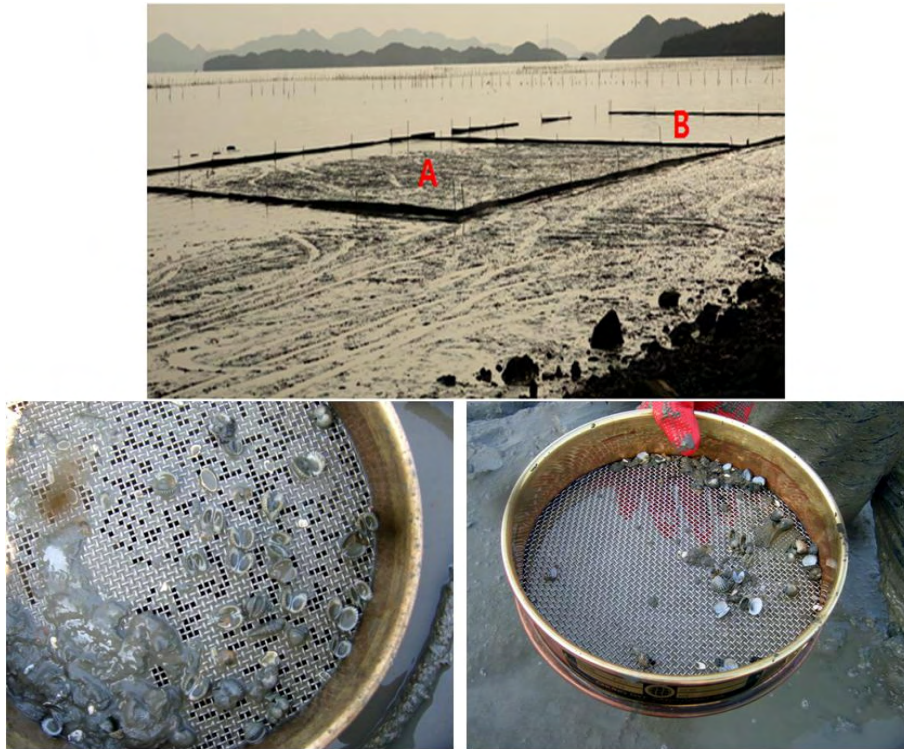


그림 3-4-65. 시험포 안에서 폐사한 꼬막 모습(좌 : A 시험포, 우 : B 시험포)

이 같은 원인은 기상청 자료에 따르면 꼬막종패를 살포한 11월에는 평균기온이 3.2~12.5℃로 나타났고 그 이후로 12월에 -3.8~8.4℃, 2011년 1월부터는 평균기온이 영하 -6℃까지 크게 낮아져 시험포의 꼬막이 2월조사시에는 전량 폐사한 것으로 나타났다(그림 3-4-66~67). 대조해역인 꼬막양식장에 살포한 꼬막도 대부분이 폐사하였으며 고흥 계매의 현지 양식장에서도 2010년 11월에 뿌린 꼬막종패들은 대부분 폐사(동사)하였다고 한다.

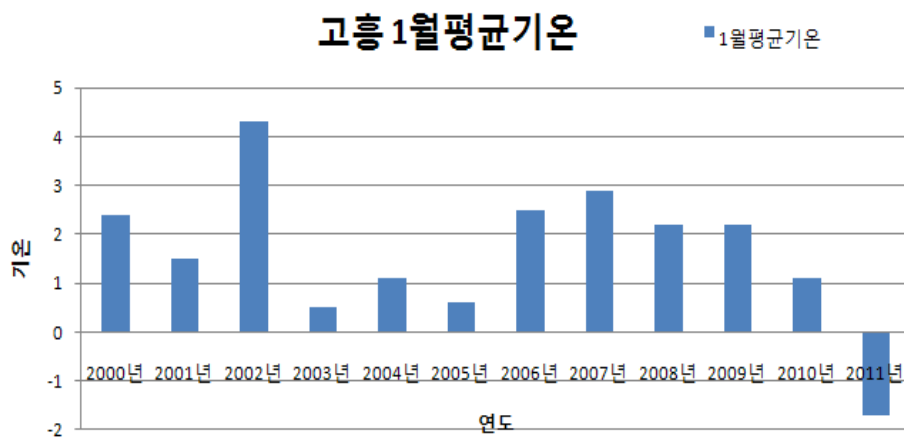


그림 3-4-66. 2000년~2011년 1월 고흥의 평균 기온 기상청 www.kma.go.kr.



그림 3-4-67. 고흥 시험포 갯벌 주변의 얼음

대조구인 꼬막양식장에 일부 살아있는 개체를 초기 살포시의 꼬막종패와 비교한결과 초기 꼬막의 성상은 각장(L)은 0.7~1.0(평균 0.8)mm이고, 전중량(W)은 0.34~0.81(평균 0.52)g, Condition index는 0.32~0.46(평균 0.39), $(W/L^3)*10^3$ 는 0.27~0.52(평균 0.36), S_w/S_L*100 은 6.67~8.33(평균 7.23)의 꼬막을 사용하였으며 대조해역에서 발견한 일부 꼬막은 각장은 11.0~13.3(평균 11.8)mm, 전중량은 0.44~0.66(평균 0.51)g, Condition index는 0.31~0.57(평균 0.46), 비만도는 0.22~0.43(평균 0.32)로 나타났다(그림 3-4-68). 대조해역에서 각장은 평균 0.3mm가량 증가하였으나 전중량은 0.01g 감소하였다. 건강도 지수는 초기 상태보다 다소 증가한 것으로 나타났으나 비만도 지수는 감소하였다.

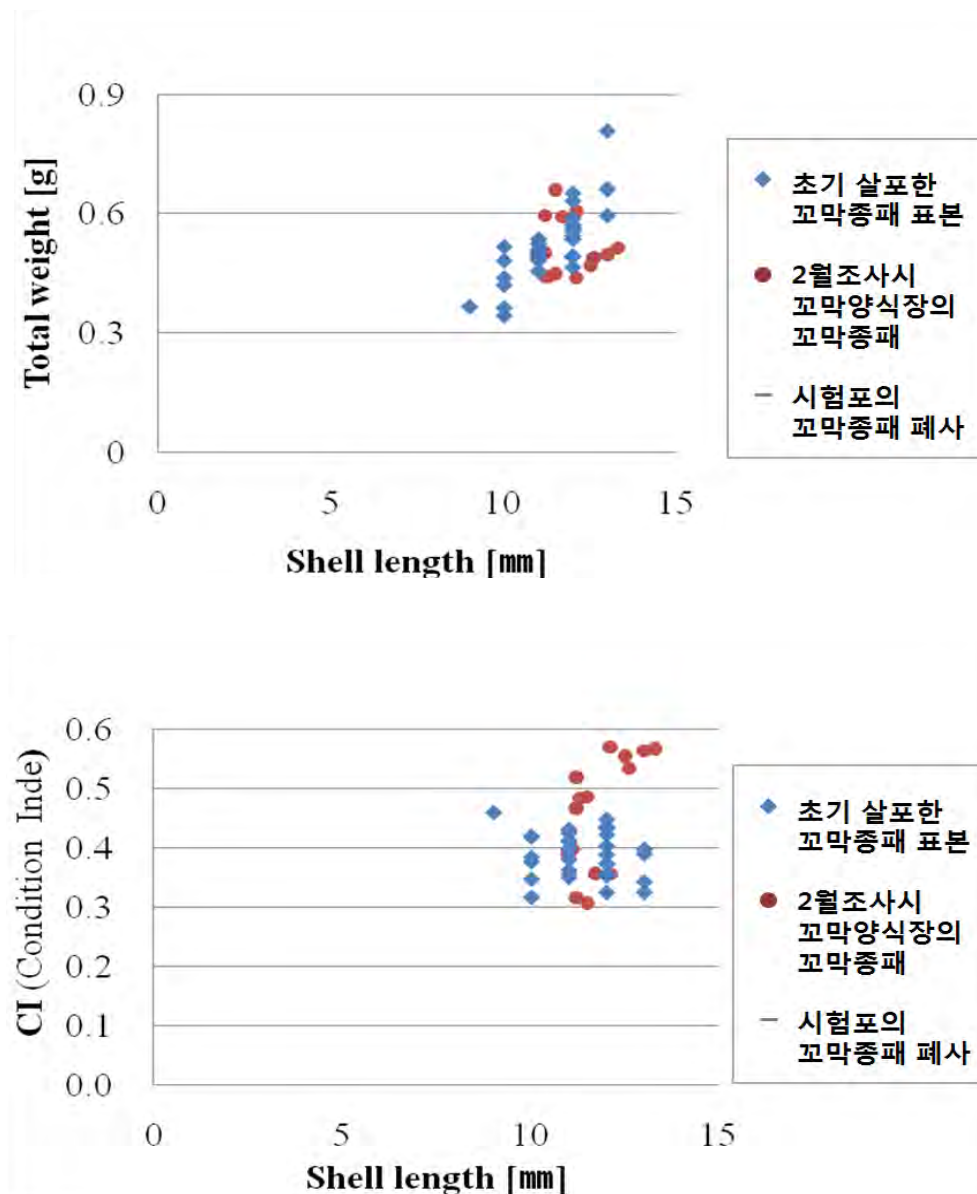


그림 3-4-68. 2010년 11월 살포한 꼬막 종패와 2010년 2월에 대조구인 꼬막양식장에서 채집한 꼬막의 각장(mm), 전중량(g), 건강도 지수(CI), 비만도(W/L3)

또한 꼬막치패 살포량 실험을 위한 Guiland 모델을 하기 위해 시험포 앞에 설치할 시험구를 준비하였으며, 시험구는 바닥을 원형으로 자르고 입구둘레의 손잡이 부분에 구멍을 뚫어 1m 50cm의 지지대를 넣을 수 있게 하였다. 꼬막은 국립수산과학원 표준입식률을 기준으로 하여 1.5 ton/ha, 3 ton/ha, 6 ton/ha, 12 ton/ha로 하여 설치하였다(표 3-4-6, 그림 3-4-69~70).

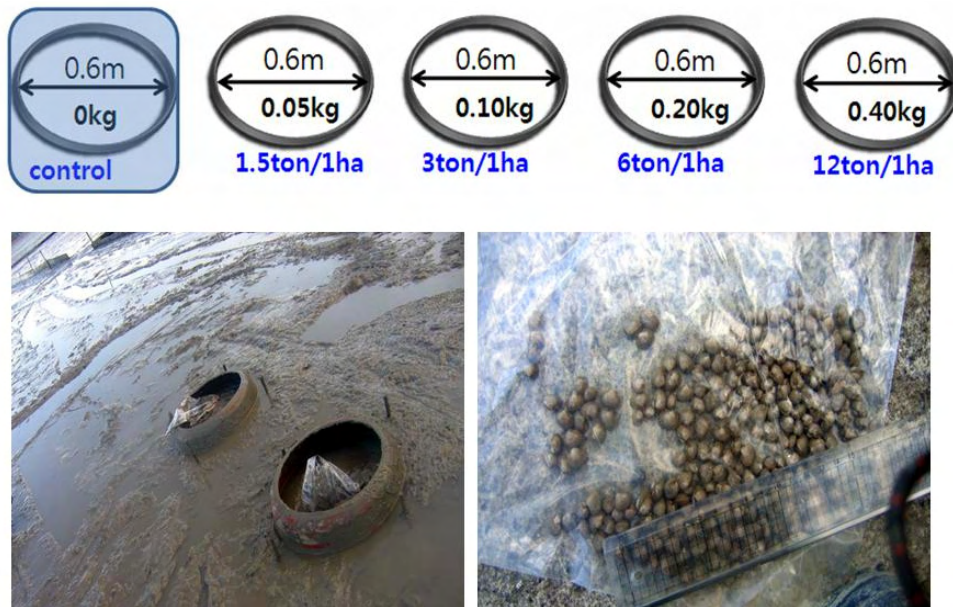


그림 3-4-69. Guiland 모델의 꼬막 입식량

표 3-4-6. Guiland 모델의 꼬막 입식량

	실험항목	입식비율	직경	면적	꼬막입식량	개체수
		ton/ha	m	m ²	kg	(개)
1	Control	0	0.65	0.33	0	-
2	1.5 ton/ha	1.5	0.65	0.33	0.05	82
3	3 ton/ha	3	0.65	0.33	0.10	193
4	6 ton/ha	6	0.65	0.33	0.20	387
5	12 ton/ha	12	0.65	0.33	0.40	714



그림 3-4-70. Guiland 모델 시험구안의 모습

11월 23일에 설치된 모형을 4개월 후 살펴본 결과 3개에 대야를 제외하고 모두 물이 차있었다. 이때 물이 차있지 않은 곳에서는 평균 3~5개체 정도가 죽어 있었으며 물이 있는 나머지 대야에는 대부분의 꼬막이 생존해 있었다(그림 3-4-71~72).



그림 3-4-71. Guiland 모델 시험구안의 꼬막 모습



그림 3-4-72. 꼬막종패 입식 4개월 후 시험구 안의 모습

2011년 2월 16일 시험구안의 물이 든 시험구에서는 2~3개체의 꼬막이 채집되었고 대부분 폐사하였다. 이는 같은 시기에 한파로 인해 시험포A와 B에서 꼬막종패가 전량 폐사한 것보다 양호한 결과로 넓은 시험포보다 해수를 체류 시키는 시간이 길었던 시험구에서는 꼬막의 생존율이 더 높았다는 것을 확인 할 수 있었다. 본 실험을 통하여 꼬막의 살포량을 결정지을 수는 없었으나 간접적으로 물이 체류하는 시간이 길었을 때 양호한 환경을 조성하는 것을 간접적으로 알 수 있었다(그림 3-4-73).



그림 3-4-73. 물이 든 시험구의 꼬막 모습

따라서 그림 3-4-74과 같이 체류시간을 좀 더 길게 유지할 수 있도록 구조물의 재질을 변경하여 시험포를 소규모로 설치하고 꼬막종패를 2011년 4월 29일 2차적으로 살포하였다. 두 개의 구조물에 3kg의 참꼬막 치패를 각각 1.5kg씩 나누어 살포하여 0.7 ton/ha의 비율로 표준살포량에 못미치게 종패를 살포 하였다. 참꼬막의 크기는 각장(L)은 $16.62 \pm 1.84\text{mm}$ 이고, 전중량(W)은 $1.47 \pm 0.42\text{g}$, 비만도($W/L^3 \times 10^3$)는 0.31 ± 0.02 의 꼬막을 사용하였다.



그림 3-4-74. 2차 시험포 조성에 쓰일 꼬막종패 입식(2차; 2011년 4월)

2011년 9월 15일 실험구와 대조구(시험포 2개중 1개의 구조물이 철거되어 대조구로 만들었음)의 꼬막 각장은 $18.64 \pm 1.26\text{mm}$, $16.53 \pm 1.42\text{mm}$ 로 나타났으며 전중량은 시험포가 $2.15 \pm 0.47\text{g}$, 대조구가 $1.62 \pm 0.36\text{g}$ 으로 관찰되었다. 4개월이 넘는 기간 동안 구조물이 설치된 시험포에서 각장은 평균 2.03mm 가량, 전중량은 0.68g 성장하였으며 대조구는 초기와 유사한 크기와 중량을 보였다(그림 3-4-75). 13일 후 9월 28일 꼬막양식장의 꼬막을 채집한 결과 각장이 $21.46 \pm 0.9\text{mm}$, 전중량이 $3.10 \pm 0.39\text{g}$ 을 나타내 초기 입식했을 때보다 각장은 4.84mm , 중량은 1.63g 성장하여 시험포보다 각장은 평균 2배가량 증가하였고 전중량은 2배 증가해 전중량의 차이가 크게 나타났다. 꼬막의 건강도지수는 시험포가 0.23 ± 0.01 , 대조구가 0.26 ± 0.05 , 양식장이 0.34 ± 0.005 로 나타나 양식장에서 가장 높게 나타났으며, 비만도는 시험포가 0.34 ± 0.06 , 대조구가 0.35 ± 0.03 , 양식장이 0.31 ± 0.02 로 양식장에서 오히려 더 낮고 연안에 위치한 시험포와 대조구에서 높게 나타났다.

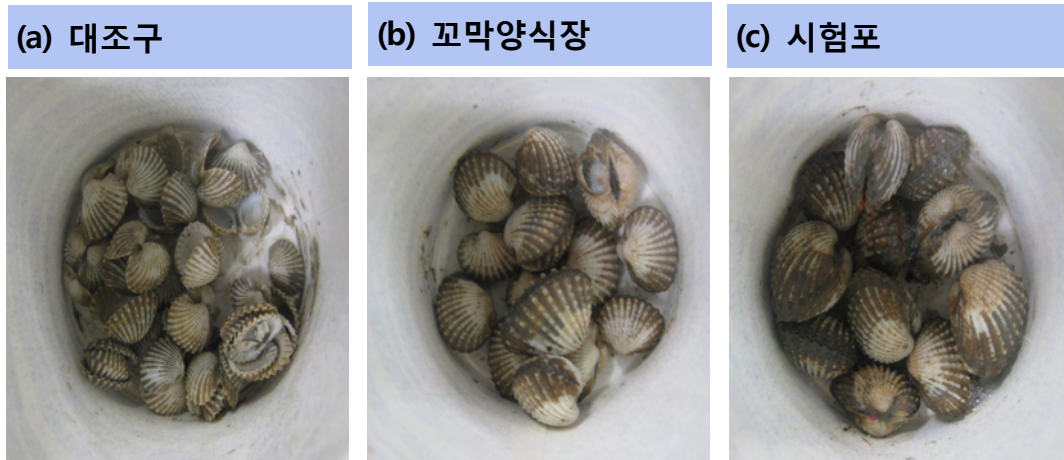


그림 3-4-75. 2011년 9월 28일 대조구와 시험포에서 채집한 꼬막종패

3개월 후인 2011년 12월 14일 시험포의 꼬막을 조사한 결과 각장이 $20.93 \pm 1.05\text{mm}$, 전중량이 $2.87 \pm 0.35\text{g}$ 으로 지난 조사보다 성장한 것을 관찰할 수 있었으나 양식장의 꼬막과 비교하면 3개월 전의 크기와 중량이 유사하게 나타나 양식장보다 시험포에서 성장이 더디게 진행되었다. 그러나 구조물이 설치되지 않은 대조구에서는 꼬막의 빈패각이 발견되고 꼬막을 찾을 수 없어 전량 폐사한 것으로 보여져 꼬막이 자생하지 않는 해역에 구조물을 설치하면 꼬막을 성장시킬 수는 있으나 성장속도가 빠르지 않음을 확인 할 수 있었다. 이는 앞서 말했듯이 본 시험포에 해수가 체류하였으나 사리 때는 물이 차지 않은 날도 많아 먹이생물 등이 충분히 공급되지 않아 성장이 다소 느려지는 영향도 있을 것이라고 생각된다. 시험포의 경우 7개월간의 각장에 따른 전중량의 성장은 기울기가 0.29로 나타났으며 꼬막양식장은 0.32로 각장에 비해 중량 성장이 크게 나타남을 확인할 수 있었으며 상관성(R^2)은 0.87, 0.96으로 매우 높게 나타났다(그림 3-4-76~77).

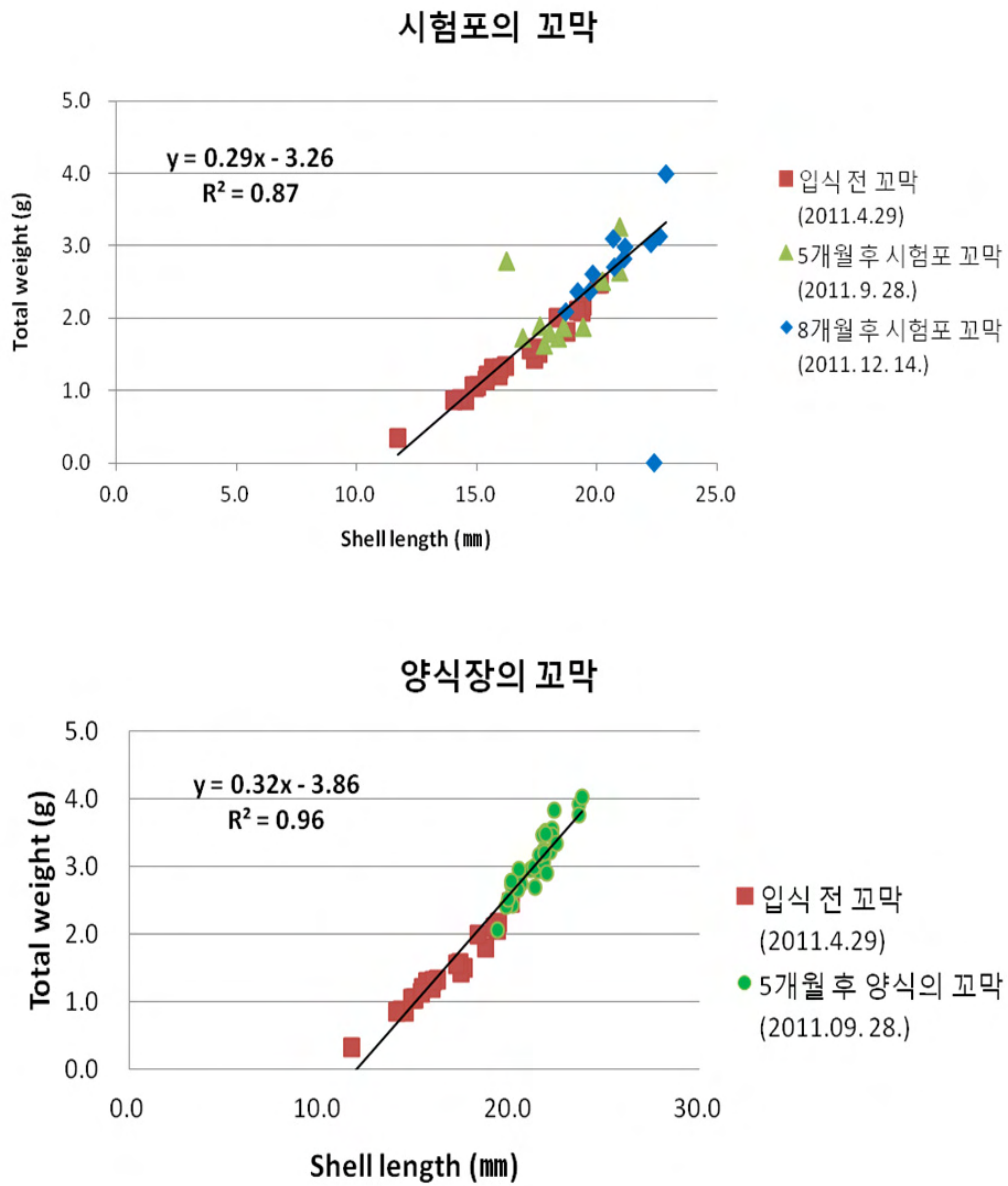


그림 3-4-76. 시험포와 꼬막양식장에서 5개월간 육성한 꼬막의 각장(mm), 전중량(g) 변화

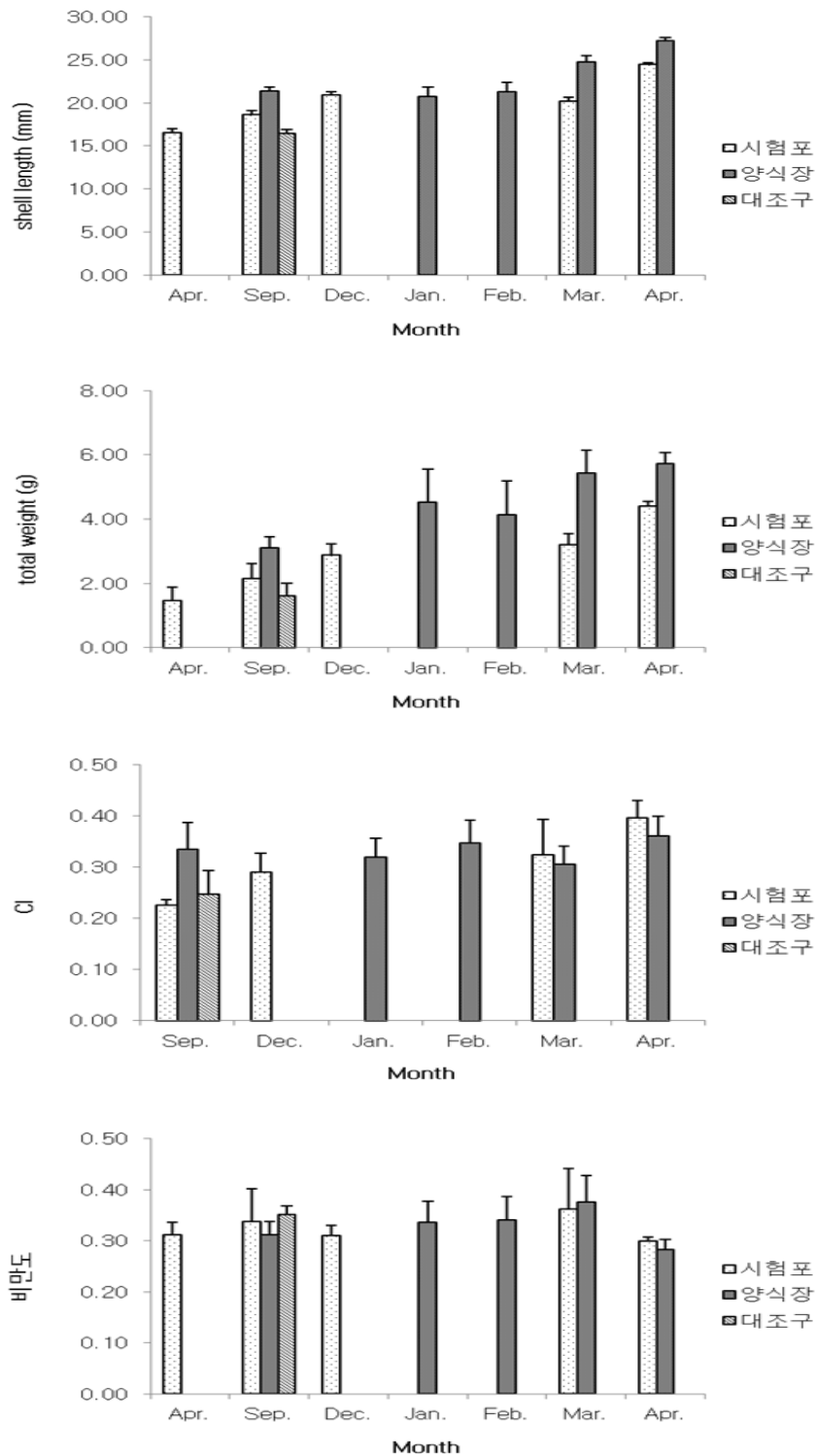


그림 3-4-77. 시험포, 대조구, 양식장의 꼬막의 평균 각장(mm), 전중량(g), 건강도 지수, 비만도 변화

2012년도에는 1월부터 4월까지 매월 꼬막의 성장도를 조사 하였으며 시험포의 경우 꼬막의 양을 고려하여 3, 4월만 채집하여 조사하였다. 시험포는 3월조사시 각장은 20.27±0.66mm, 전중량은 3.19±0.37g, 건강도지수는 0.32±0.07, 비만도는 0.36±0.08로 나타났고, 4월조사시 각장은 24.42±0.78mm, 전중량은 4.34±0.19g, 건강도지수는 0.31±0.06, 비만도는 0.30±0.02이었다. 전체적으로 시험포는 4월에 입식한 꼬막이 12월까지의 점층적인 성장을 보이다 3월에는 중량만 다소 증가하고 4월에는 각장만 증가하였고 1년 동안 총 각장 성장은 평균 7.81mm, 전중량은 2.87g 성장하였다(그림 3-4-77). 이에 반해 꼬막양식장은 3월조사시 각장은 24.75±1.44mm, 전중량은 5.42±0.73g, 건강도지수는 0.31±0.03, 비만도는 0.38±0.05로 나타났고, 4월조사시 각장은 25.82±1.24mm, 전중량은 5.311±0.52g, 건강도지수는 0.27±0.07, 비만도는 0.30±0.02이었다. 꼬막양식장도 2월까지의 높은 성장률을 보이다 3월과 4월에는 큰 변화를 나타내지 않았으며 1년 동안 총 각장 성장은 평균 9.21mm, 전중량은 평균 3.64 g 성장하여 시험포보다 양식장에서 각장, 전중량 모두 높은 성장을 보였다(그림 3-4-78). 그러나 건강지수는 3월과 4월에는 시험포에서 높게 나타났으며 비만도는 유사한 값을 보였다. 비만도는 시험포와 꼬막양식장 모두 9월, 12월, 3월까지의 1차 함수인 직선식으로 성장식이 나왔다면 7개월 이후 3월 조사까지는 각장보다 중량성장률이 높게 나타나 지수성장을 보였으며 4월에는 각장성장을 하였다(그림 3-4-78). 전반적으로 시험포보다 양식장의 꼬막 성장이 빠르게 진행되었으나 시험포의 경우 꼬막이 자생하지 않는 유희지로서 구조물을 설치함으로 꼬막의 성장을 가능하게 했다.

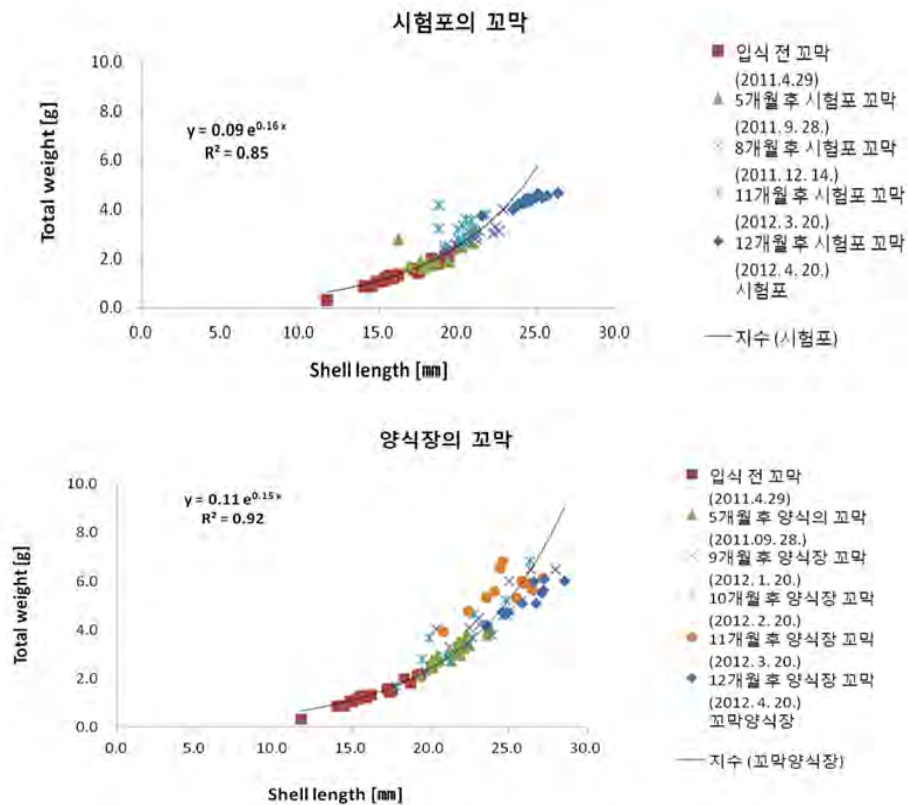


그림 3-4-78. 시험포와 꼬막양식장에서 1년간 육성한 꼬막의 각장(mm), 전중량(g) 변화

꼬막 패류양식장 구조개선에 따른 경제성을 살펴보면 단위구획을 0.25ha 규모의 구조개선 꼬막 양식장 구성에 따른 비용은 지오투브 설치 시 시공비를 포함하여 1m 당 100,000원으로 0.25ha에 20,000,000원이 소요되며 평균 15mm의 꼬막종패가 24만원/20kg으로 1톤 살포시 초기 투자비용이 총 32,000,000원이 소요된다(표 3-4-7). 본 조사시 15mm의 꼬막종패의 전중량은 평균 1.5g으로 시험포에서 1년에 약 3g씩 성장하여 3년이면 10.5g으로 꼬막모패로서의 판매가 가능하다. 따라서 현지 꼬막 모패의 판매가인 24만원/20kg으로 하였을 때 무게가 초기보다 7배로 84,000,000원을 회수할 수 있으며 바지락과 마찬가지로 생존율을 50%로 가정해도 42,000,000원으로 초기 투자비용을 회수할 수 있다. 또한 본 가정이 4 ton/ha 기준으로 표준살포량 기준을 증가시키면 최대 21,000,000원 수익을 얻었다.

표 3-4-7. 갯벌펜스를 이용한 양식장 구조개선 조성비용

구 분		단가	규모	금 액(원)
구조개선 양식장 초기 투자비용	지오투브설치비	10만원/m	200m	20,000,000
	종패구입(평균 15mm)	24만원/20kg	1 톤	12,000,000
	소 계			32,000,000
최대 생산량	꼬막 모패 판매가	24만원/20kg	7 톤 (3년 후)	84,000,000

다. 다목적이용 복합양식

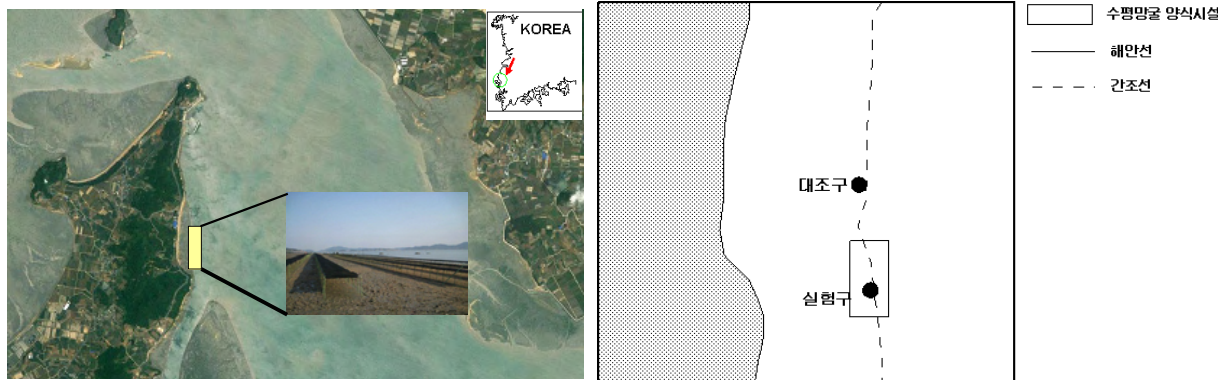
갯벌의 생산성 향상 및 패류양식장의 새로운 양식 패러다임을 만들기 위하여 조간대와 조간대 위 지역의 공간의 입체 이용을 시도해 보았다. 조간대의 입체적 이용을 위한 시설은 수평망식 양식시설과 경계둑을 조성하여 수평망식 양식시설에서는 굴 생산, 조간대 저서면에서는 저질에 적합한 패류 품종을 생산하여 생산성과 공간이용을 높이는 방법이며 추가적으로 수평망식 양식시설에서 패류 종패 발생 유도 효과가 있는 것이다. 본 연구에서는 수평망식 양식시설을 이용한 양식지역에서 이러한 것에 대한 생산성진단을 실시하여 효용성 여부를 살펴보았다.

(1) 재료 및 방법

다목적 이용 복합양식 시험은 2009년에 적지조사를 시행하여 선정된 무안군 해제면 도리포 지선 수평망식 굴양식시설을 시공한 곳에서 2010년 4월부터 11월 까지 1차 실시하였다. 시험포 운영기간동안 시험어장과 대조구를 설정하여 조사를 추진하였다(그림 3-4-79).

함평만 도리포 시험운영기간 동안에는 수평망식 양식시설의 개체굴 성장과 시설지역 주변에서 종패발생 여부를 살펴보았다. 2차 시험은 고흥 남성리 시험포에 다목적 이용 복

합양식 시험포를 조성하여 수평망식 개체굴 양식과 바지락의 복합양식이 가능한지를 살펴보기 위하여 2011년 11월부터 2012년 4월까지 개체굴의 성장 및 바지락 성장을 살펴보았다(그림 3-4-80).



(a) 시설위치도

(b) 조사정점

그림 3-4-79. 다목적 이용 입체 양식 시설위치도 및 조사정점

고흥 남성리 다목적 이용 복합양식 시설은 굴패각을 이용한 저질개선된 71m×18m 양식장에 다공질 블록을 이용한 경계둑을 설치하여 바지락 생산성 향상 현장진단을 추진 중인 구조개선 된 시험어장에 수평망식 양식시설 4세트를 시설하였으며, 양성망 20개를 설치하였고, 양성망에는 약 2cm 내외 크기의 3배체 굴(*C. gigas*) 종패 200개씩 입망하였다. 수평망 양식시설 설치 후 개체굴 성장과 바지락 성장을 살펴보았다.



그림 3-4-80. 고흥 남성리 다목적 이용 복합양식 생산성 진단 위치도

(가) 개체굴 성장도/생존률 조사

1차적으로 함평만 도리포 시험어장 수평망식 굴양식 시설에 2009년 11월에 대(100mm 이상), 중(70~80mm), 소(50mm미만) 크기로 입식한 3배체 참굴에 대하여 2010년 4월부터 2010년 11월까지 생존율과 성장도를 조사하였으며 측정항목은 각장, 각고, 각폭, 육중량, 건중량이었다.

측정된 상기항목을 이용하여 비만도를 아래식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{비만도} = \{ \text{육중량(g)} / \text{각장(mm)} \times \text{각고(mm)} \times \text{각폭(mm)} \} \times 1,000$$

고흥남성리 시험어장에 개체굴에 대해서는 2011년 11월부터 2012년 5월까지 생존율과 성장도를 조사하였다.

(나) 치패발생효과 조사

함평만 도리포 수평망식 굴양식시설의 치패발생효과를 분석하기 위하여 0.3m×0.3m 방형구를 이용하여 수평망식 양식시설내 실험구와 수평망식 굴양식시설 외부에 있는 대조구에서 바지락 출현을 2010년 1월부터 11월 까지 매월 1회씩 조사하였으며, 출현한 저서생물은 계절별 조사를 실시하였다.

채집한 바지락에 대해서는 각장, 각고, 각폭을 버니어캘리퍼스로 이용하여 0.01mm 크기 까지 측정하였고 각장을 이용하여 크기별 출현 특성을 분석하였다.

(다) 바지락 성장 조사

수평망식 굴양식시설과 복합양식이 이루어지는 고흥 남성리 시험어장의 바지락에 대한 성장도를 조사하였다. 바지락은 2011년 5월 전북 부안군에서 구입한 종패(각장 18cm 내외) 입식하였다. 현장실용화 진단 시험포에 수평망식 양식시설이 시설된 바로 아래지역 실험구와 설치되지 않은 지역을 대조구로 설정하여 바지락 성장조사를 실시하였다. 바지락 조사는 0.3m×0.3m 방형구를 이용하여 채집하여 냉장상태로 실험실로 옮긴 후 버니어캘리퍼스로 각장, 각고, 각폭을 0.01mm 단위까지 측정하였고, 무게는 0.1g까지 측정하였으며 식 1에 의해 비만도를 조사하였다.

(2) 연구결과

(가) 함평만 도리포 시험어장

1) 개체굴(3배체 참굴) 성장도 및 생존율

가) 성장도

복합양식의 가능성을 진단하기 위하여 수평망식에 대(100mm), 중(70~80mm), 소(50mm이하) 크기로 입식한 3배체 개체굴(참굴)의 성장도 및 생존율을 살펴보았다.

그림 3-4-81은 3배체 개체굴의 체장 대 체중 상관곡선으로 $y = 9E-05x^{3.0424}$ 의 상관곡선식을 보여주며, 상관성이 높은 것으로 나타났다. 4월부터 11월까지 조사기간 동안 대형 크기로 분류된 3배체 개체굴의 전장 성장은 4월 $113.85 \pm 10.88\text{mm}$ 에서 11월 $134.09 \pm 11.19\text{mm}$

로 20.24mm 성장하였으며(그림 3-4-82), 각고는 4월 61.93±6.19mm에서 11월 76.93±7.63mm로 14.99mm(그림 3-4-83), 각폭은 38.54±4.34mm에서 11월 43.55±4.28mm로 5.01mm 성장하였다(그림 3-4-84). 전중량은 4월 171.60±22.91g에서 11월 236.77±36.92g로 65.16g 중량이 증가하였고(그림 3-4-85), 건중량으로는 전중량과 달리 육질부가 4월 7.86±1.92g에서 11월 4.69±1.19g으로 감소하는 패턴을 보였고, 9월에 2.96±1.03g으로 가장 낮았다(그림 3-4-86). 비만도는 4월 초기에 0.09에서 11월에 0.05이었으며, 5월 가장 높은 0.16이었으며 7월 이후 비만도는 낮게 나타났다(그림 3-4-87).

실험생물 중간패인 3배체 참굴의 4월부터 11월까지 조사 기간 동안 전장 성장은 4월 79.58±7.41mm에서 11월 100.02±6.96mm로 20.49mm 성장하였으며(그림 3-4-88), 각고는 4월 41.50±3.70mm에서 11월 63.22±7.41mm로 21.72mm(그림 3-4-89), 각폭은 29.53±3.65mm에서 11월 34.36±3.42mm로 4.83mm 성장하였다(그림 3-4-90).

전중량은 4월 57.67±10.57g에서 11월 119.58±14.12g로 61.90g 중량이 증가하였다(그림 3-4-91). 건중량으로는 전중량과 달리 육질부가 4월 3.10±0.82g에서 11월 2.86±0.98g으로 감소하는 패턴을 보였고, 9월에 1.72±0.64g으로 가장 낮았으며, 5월, 6월에 3.95±1.23, 3.80±1.64g으로 최대값에 도달한 후 감소하다가 10월부터 다소 증가하는 추세를 나타내었다(그림 3-4-92). 비만도는 4월 초기에 0.12에서 11월에 0.06이었으며, 4월 가장 높은 이후로 9월에 가장 낮은 값으로 감소하다가 10월 이후 다소 증가하는 경향을 보였다(그림 3-4-93).

실험생물의 가장 작은 크기인 소형패 3배체 참굴의 4월부터 11월까지 조사 기간 동안 전장 성장은 4월 53.78±8.22mm에서 11월 73.64±8.75mm로 19.26mm 성장하였으며(그림 3-4-94), 각고는 4월 29.39±3.47mm에서 11월 45.94±3.75mm로 16.55mm(그림 3-4-95), 각폭은 18.23±3.10mm에서 11월 26.87±1.98mm로 8.64mm 성장하였다(그림 3-4-96).

전중량은 4월 15.53±7.02 g에서 11월 43.92±7.08g로 28.39g 중량이 증가하였다(그림 3-4-97). 건중량으로는 전중량과 달리 육질부가 4월 0.71±0.27g에서 11월 0.80±0.22g 큰 변동성을 보이지 않았으나, 9월에 가장 낮았다(그림 3-4-98). 비만도는 4월 초기에 0.10에서 11월에 0.06이었으며, 4월 가장 높은 이후로 7월부터 10월 사이에 낮은 값을 유지하다가 11월에 다소 증가하는 경향을 보였다(그림 3-4-99).

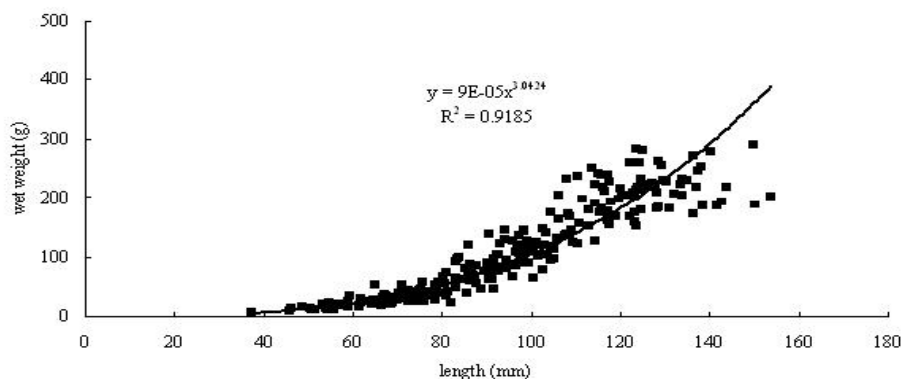


그림 3-4-81. 함평만 도리포 시험어장 3배체 개체굴(참굴) 체장 대 체중 상관곡선

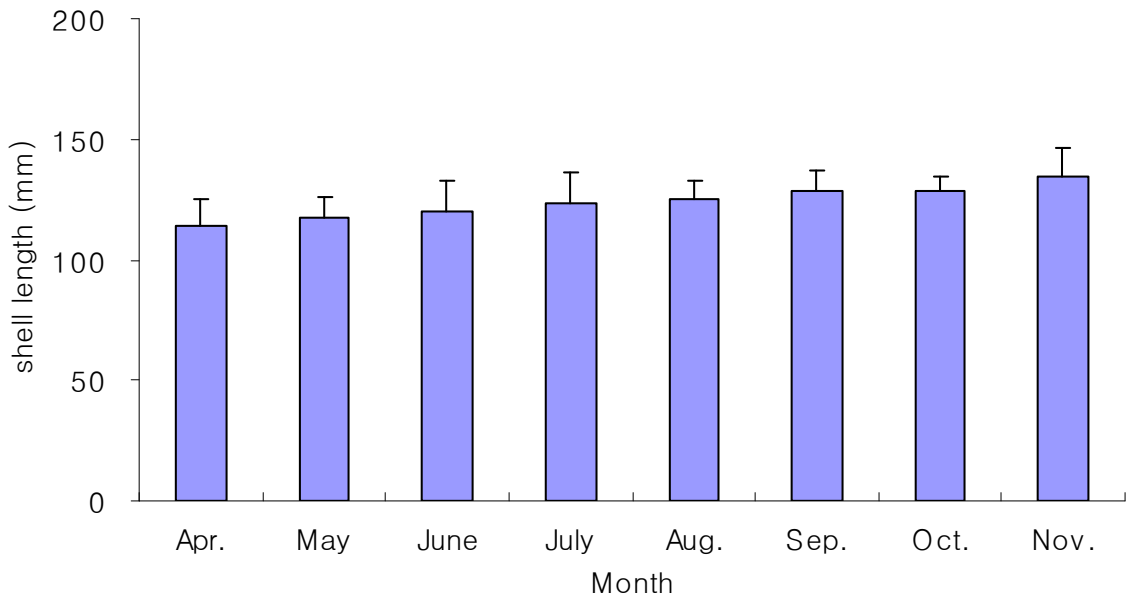


그림 3-4-82. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 체장 성장 변화

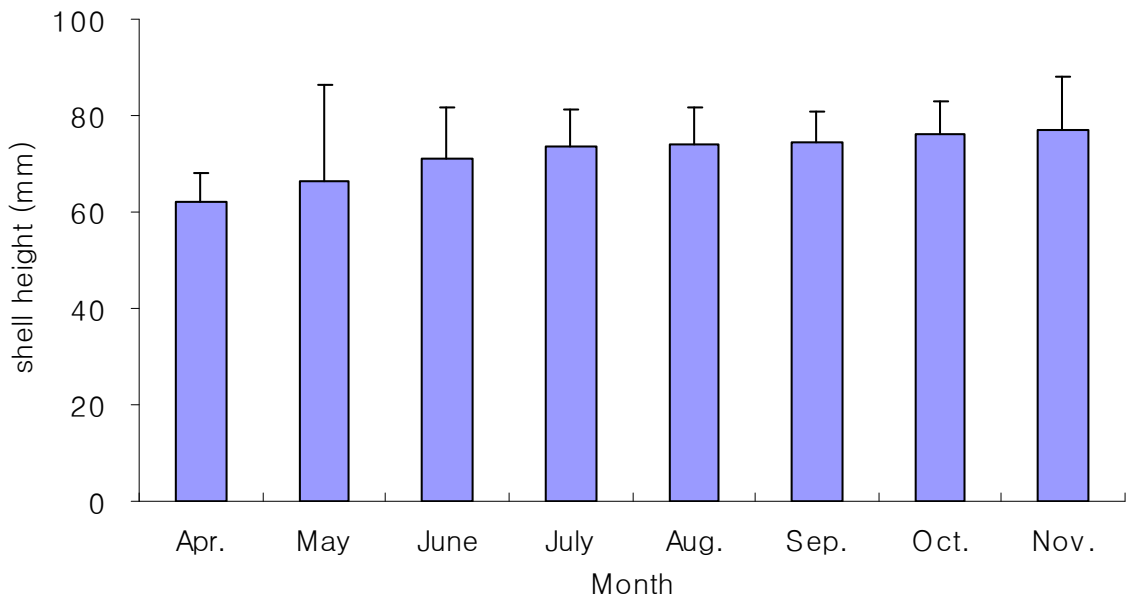


그림 3-4-83. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 성장 변화

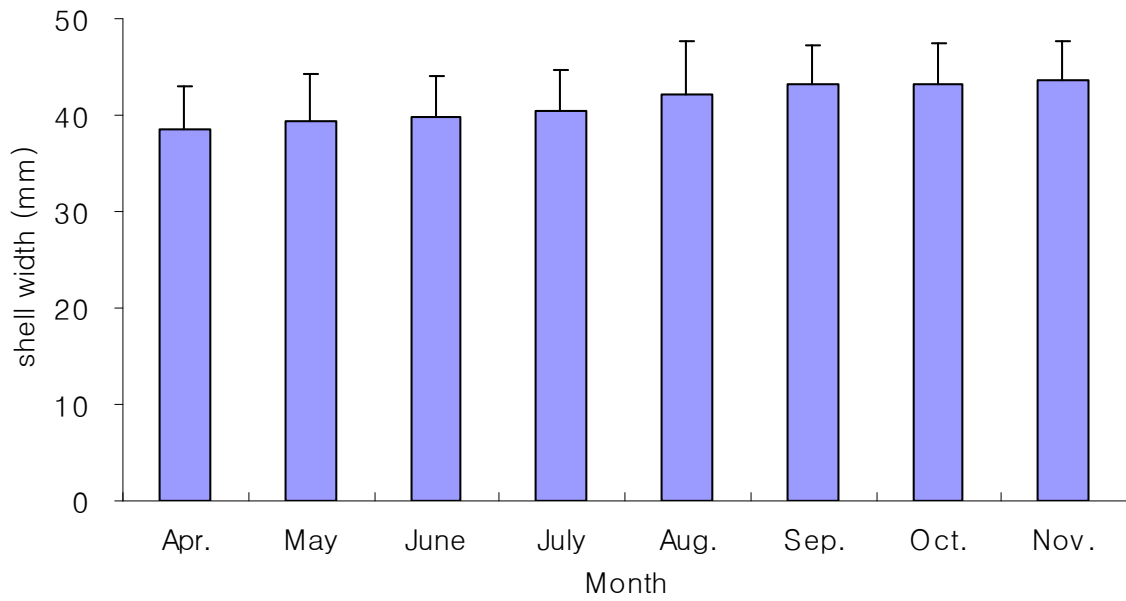


그림 3-4-84. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 각폭 성장 변화

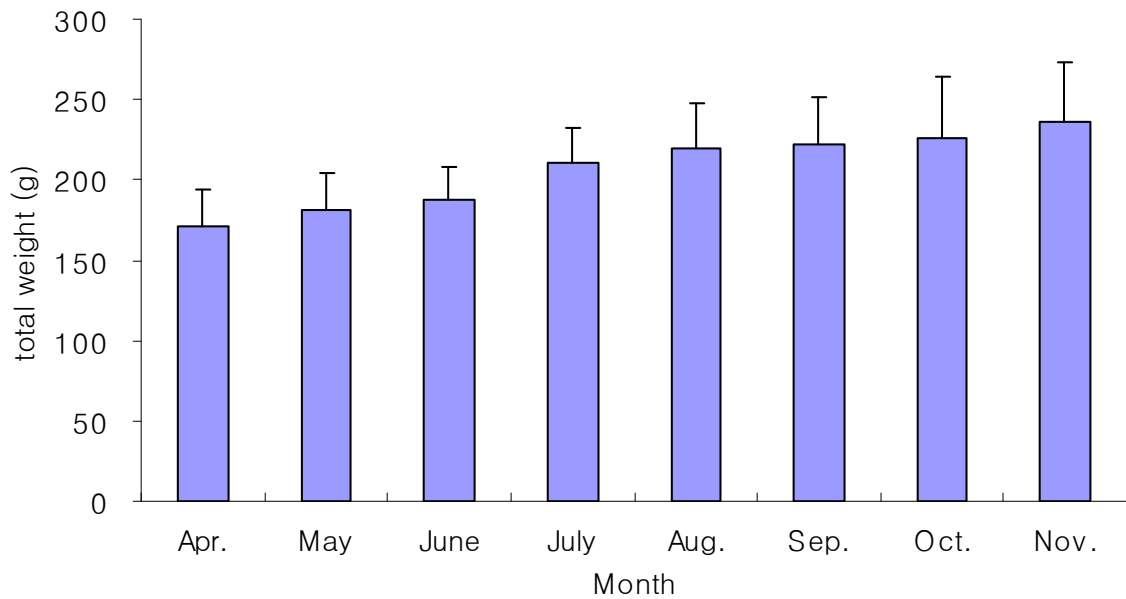


그림 3-4-85. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 전중량 변화

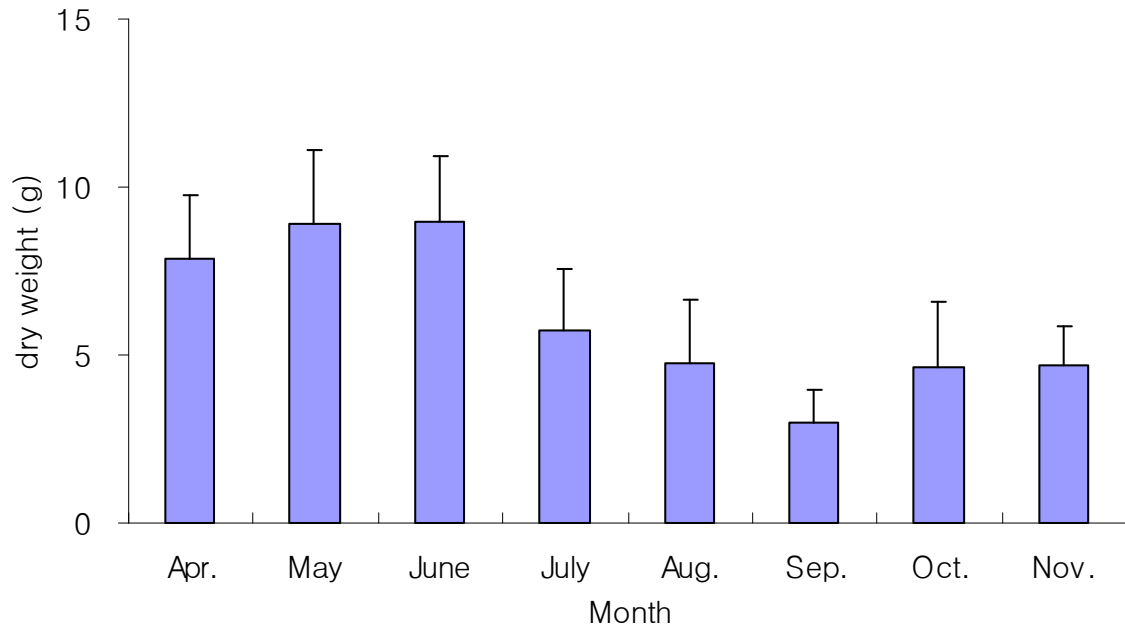


그림 3-4-86. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화

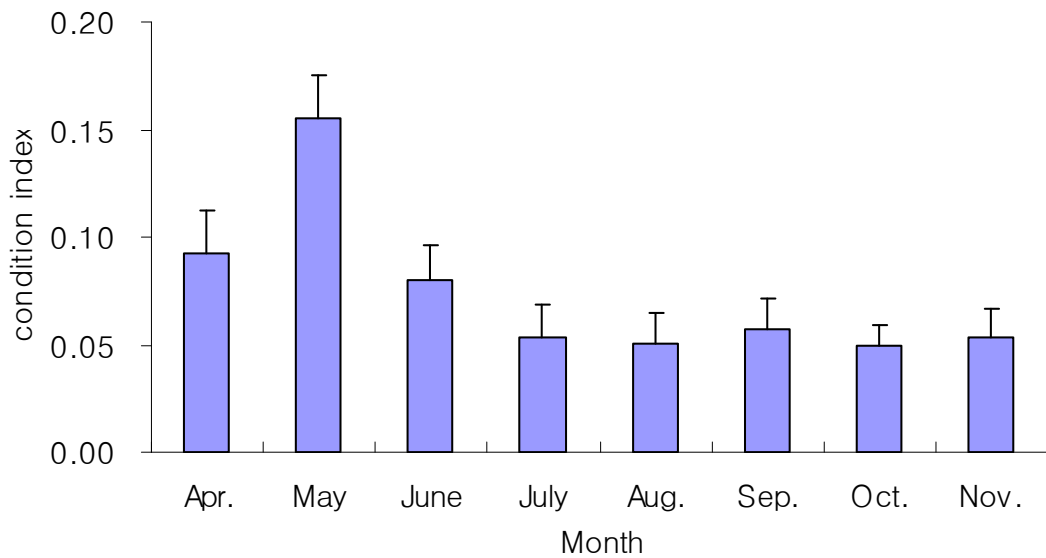


그림 3-4-87. 함평만 도리포 시험어장 대크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화

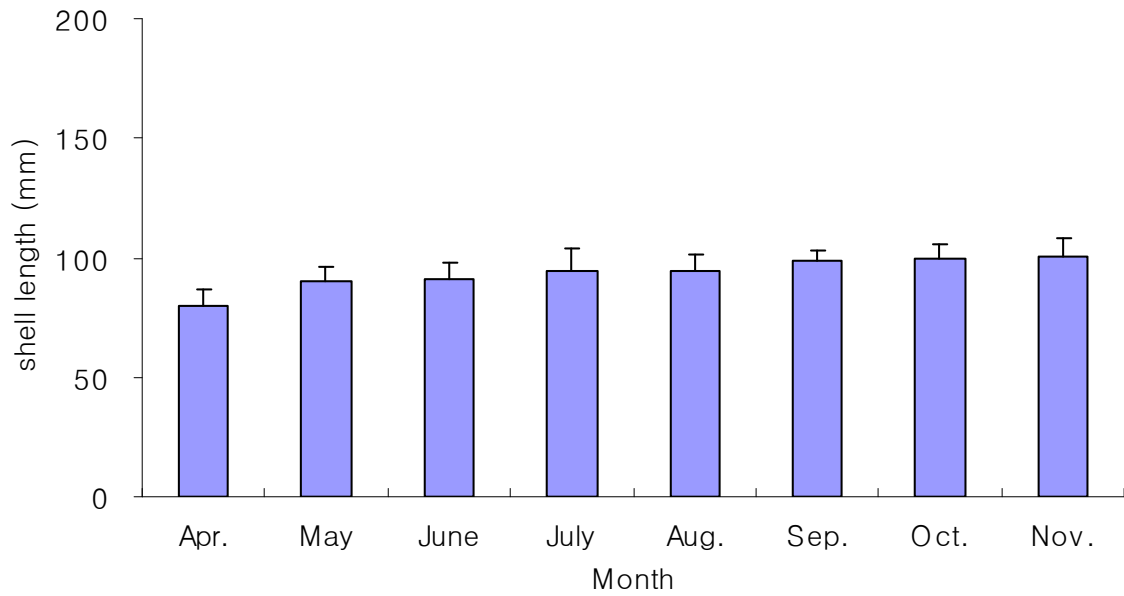


그림 3-4-88. 함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 전장 변화

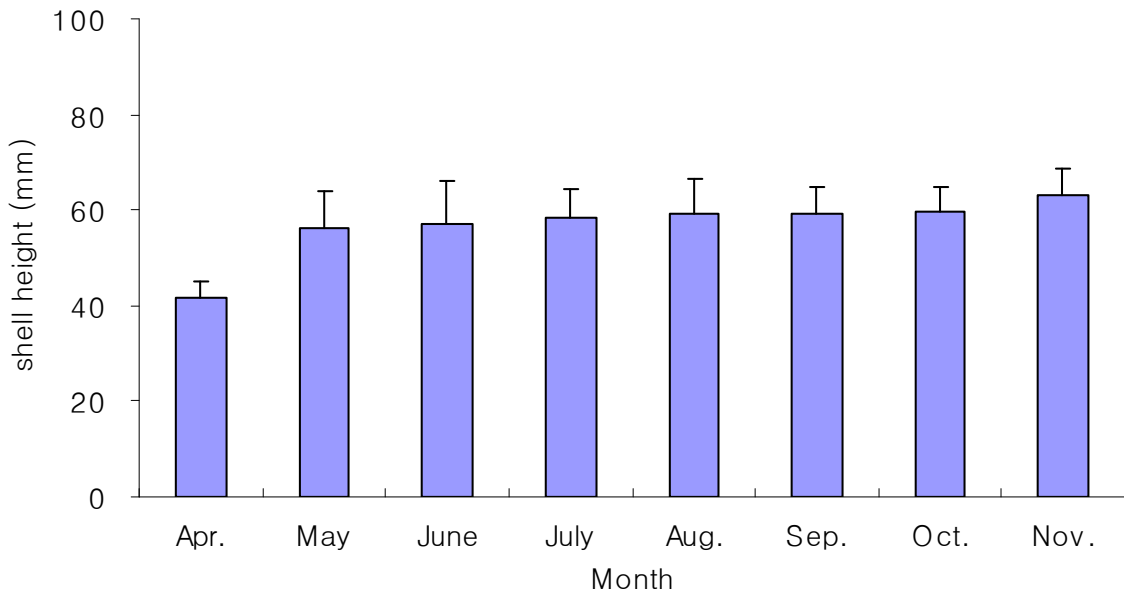


그림 3-4-89. 함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 변화

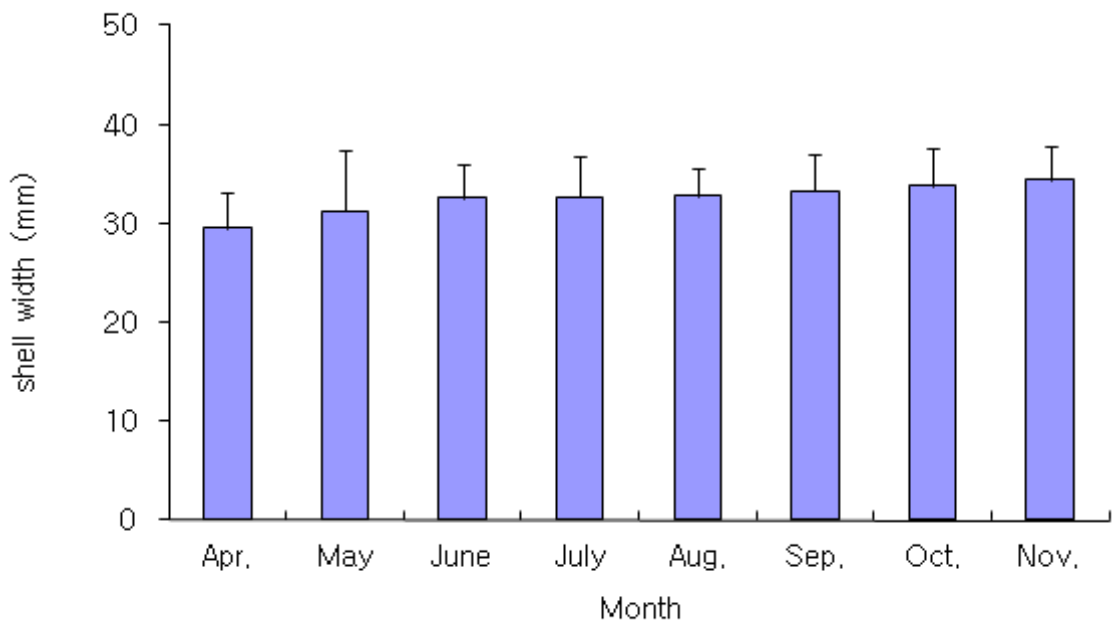


그림 3-4-90. 함평만 도리포 시험어장 종크기 3배체 개체굴(참굴) 각폭 변화

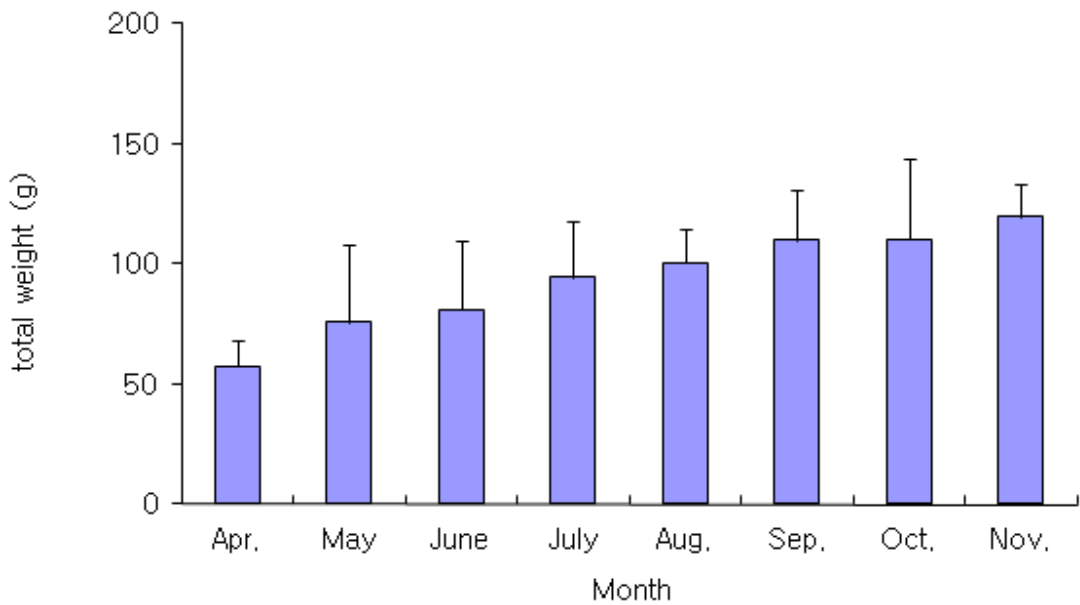


그림 3-4-91. 함평만 도리포 시험어장 종크기 3배체 개체굴(참굴) 전중량 변화

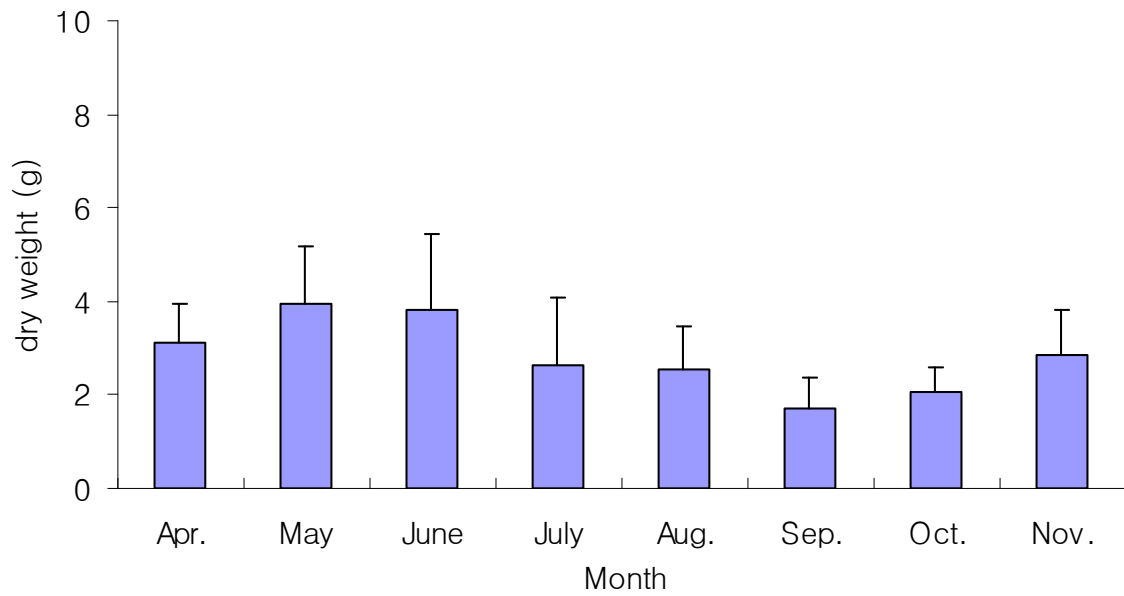


그림 3-4-92. 함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화

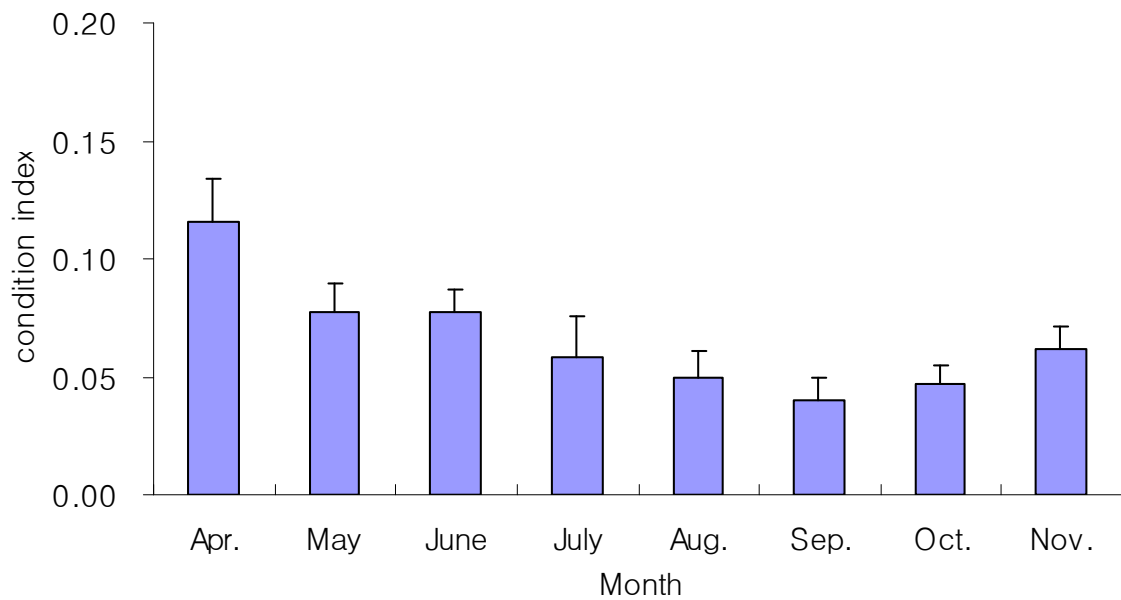


그림 3-4-93. 함평만 도리포 시험어장 중크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화

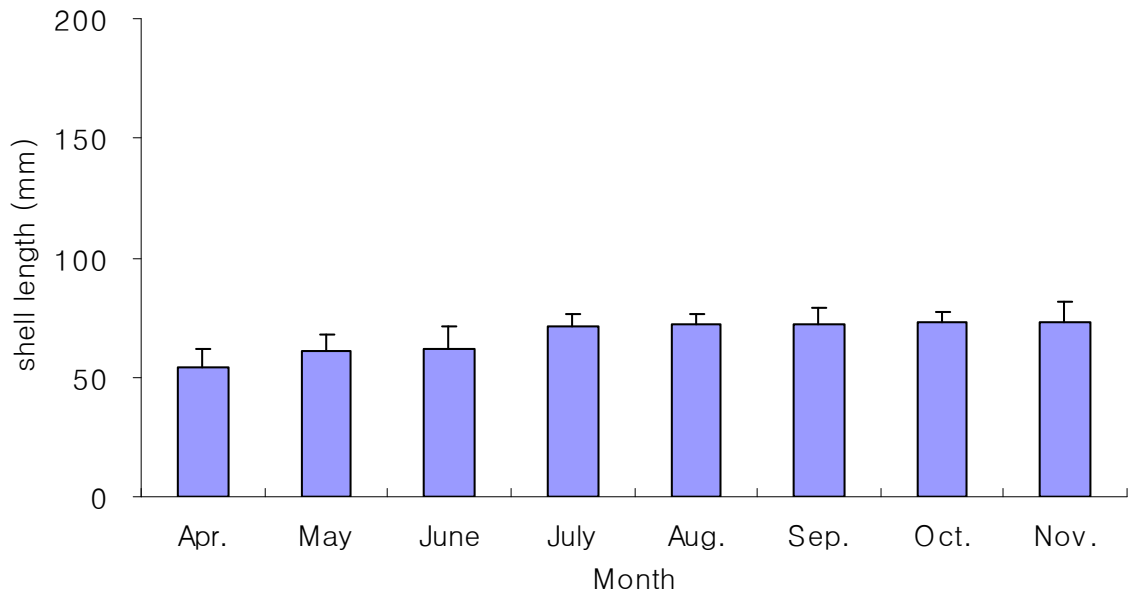


그림 3-4-94. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 전장 변화

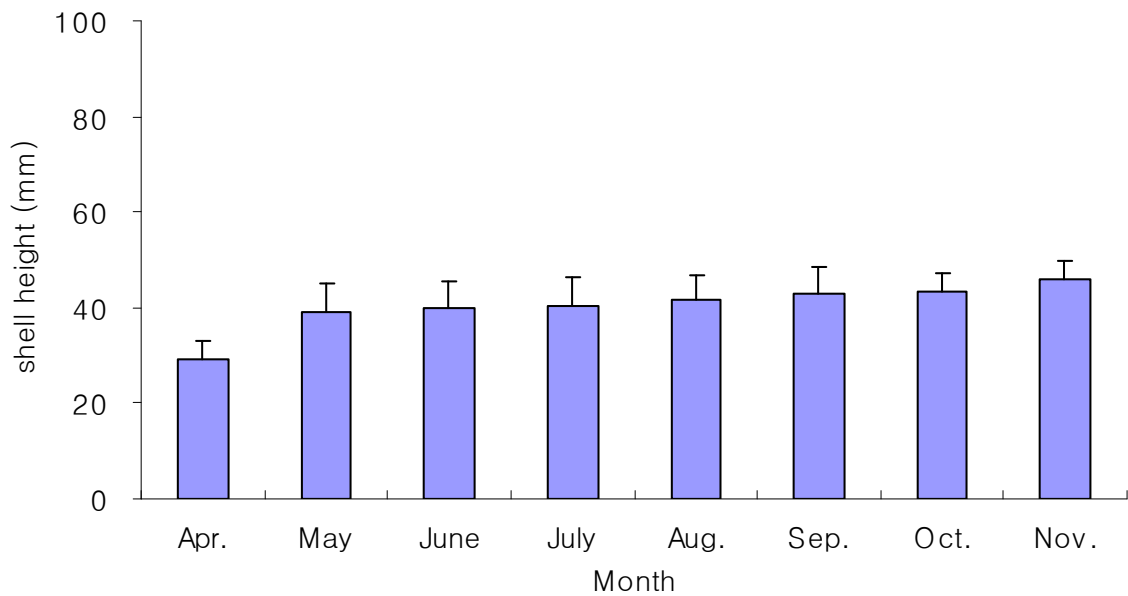


그림 3-4-95. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 각고 변화

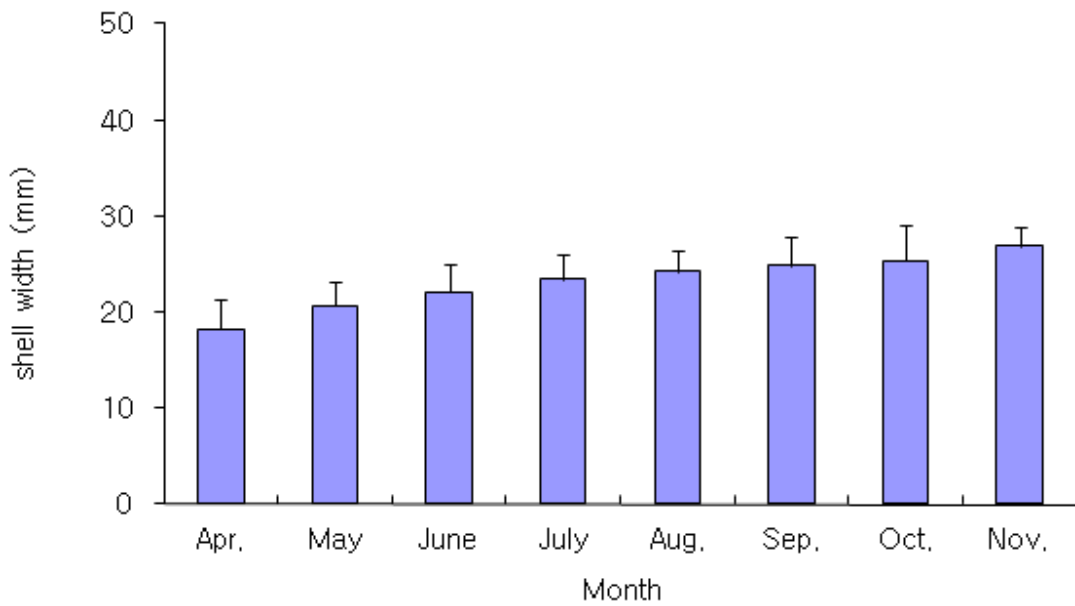


그림 3-4-96. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체군(참굴) 각폭 변화

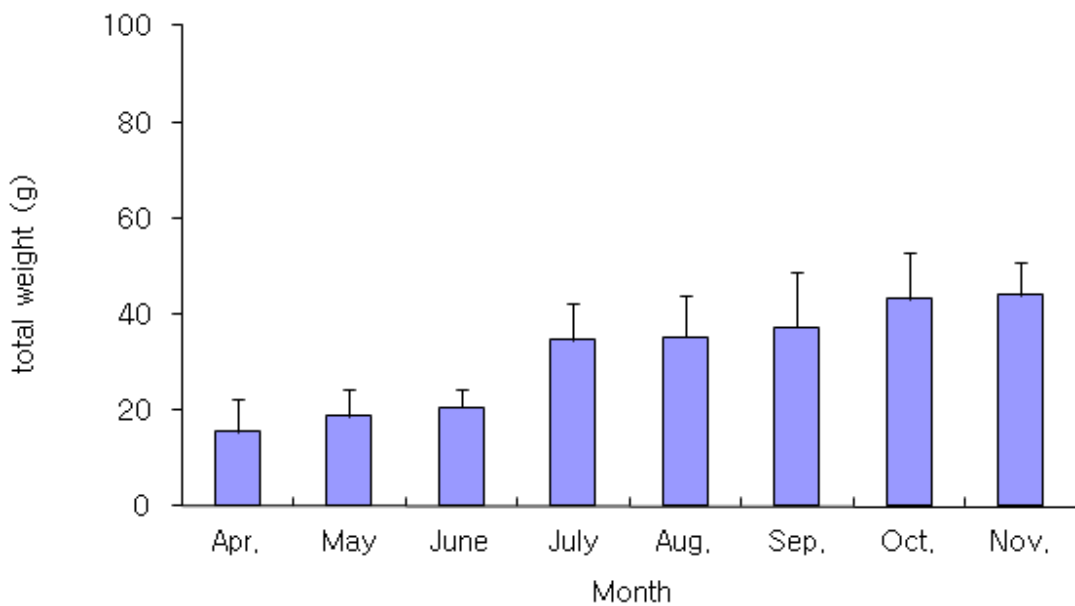


그림 3-4-97. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체군(참굴) 전중량 변화

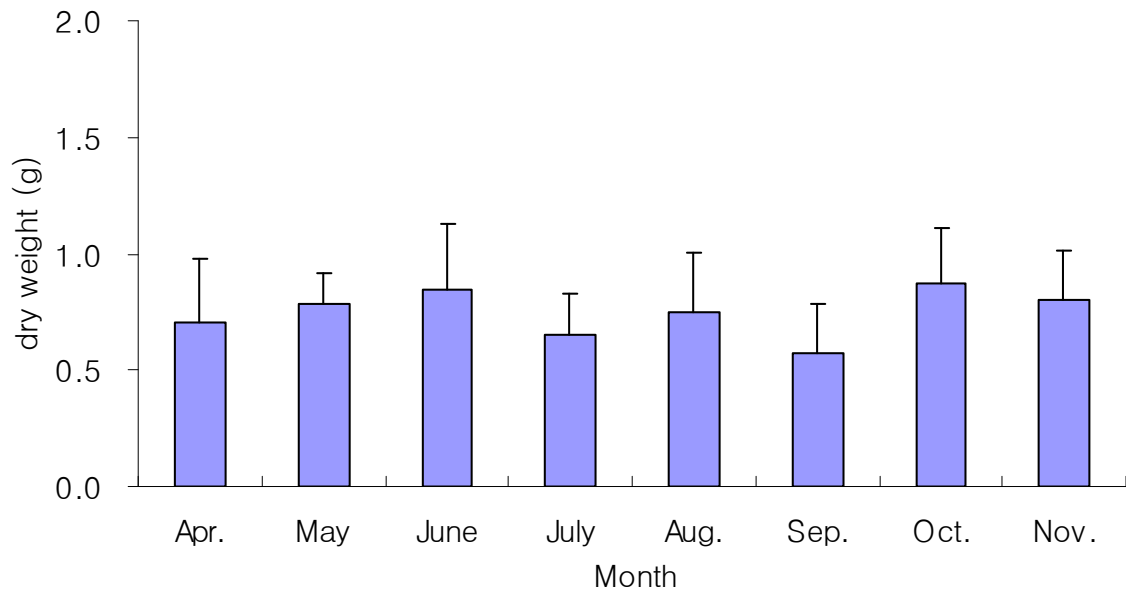


그림 3-4-98. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 건중량 변화

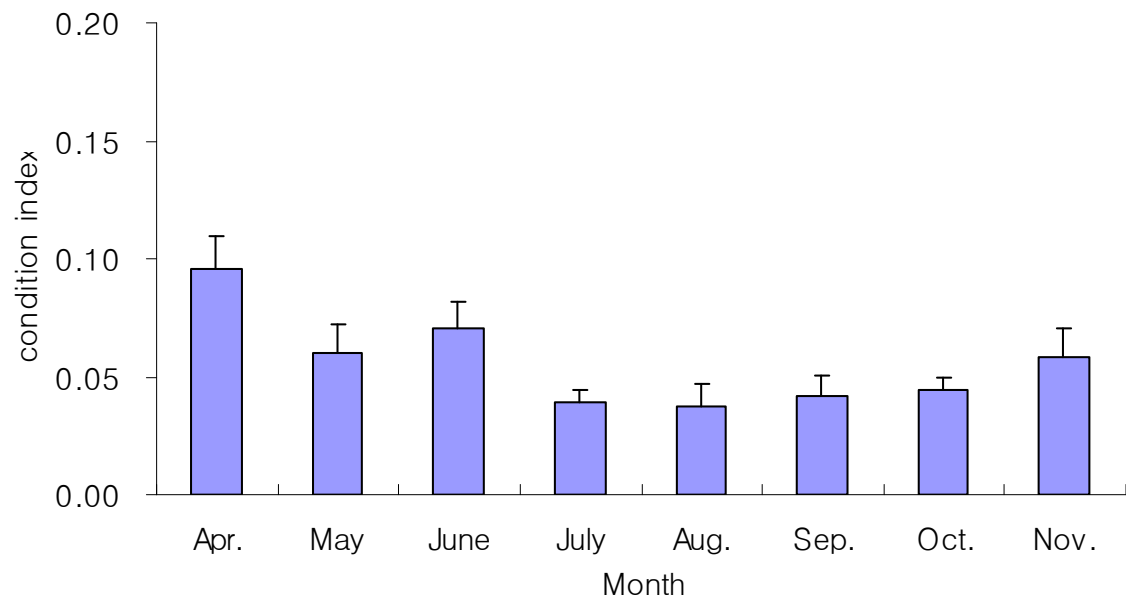


그림 3-4-99. 함평만 도리포 시험어장 소크기 3배체 개체굴(참굴) 비만도 변화

나) 생존율

2009년 11월 초기 입식 후 한달이 지난 12월에 조사한 대, 중, 소 크기의 3배체 개체 굴의 폐사율은 각각 3%, 5%, 4%이었다. 3배체 개체굴 시험양식의 생존율을 2010년 9월 28일부터 10월 12일 까지 4회 조사하였다. 2010년 9월 28~29일 조사시에는 기존의 3배체 개체굴 폐사율은 중 48%, 소 73%이었다. 2010년 10월 조사에서는 전체적으로 소 폐사율은 90%까지 나타났으며, 중은 56%까지 나타났다. 2010년 9월 1일에 이곳 도리포 시험어장 옆으로 곤파스 태풍이 직접 통과하였으며 특히 9월부터 11월 사이에 1,028~3,086 mg/l로 부유물질 농도가 매우 높게 나타나, 시험생물인 굴의 여과식에 많은 영향을 주었을 것으로 사료된다.

2) 치패발생

시험어장의 조사정점 2곳에서 계절별로 조사한 저서생물상 출현양상을 살펴보면 바지락이 우점종으로 출현량의 대부분을 차지하였으며, 기타 복족류, 고동류, 갑각류, 극피동물, 갯지렁이류 등이 출현하였다(표 3-4-8~9). 전체 출현개체수 중 바지락 개체수는 4회 조사동안 2,622개체로 87.5% 비중을 차지하였다.

2월의 출현비중은 실험구 정점에서 76.0%, 대조구 정점에서 68.4%, 5월의 경우 실험구 정점에서 96.0%, 대조구 정점에서 87.9%, 8월에는 두 지점에서 바지락만 출현하였으며, 11월에는 실험구에서만 37.0% 출현하고 대조구 정점에서는 출현하지 않았다. 생물량에서도 출현개체수와 비슷하게 바지락이 차지하는 비중이 절대적으로 높았다. 시험어장은 바지락이 절대적으로 우점하는 어장인 것으로 나타났다.

수평망식 굴양식시설에 따른 바지락출현양상을 1월부터 11월까지 출현양상을 살펴보았다. 개체 전장과 총체중과의 관계는 그림 3-4-100과 같으며, 조사한 두 지점 모두 좋은 상관성을 보여준다. 지점별 출현양상을 살펴보면 수평망식 굴양식시설이 설치된 곳에서(실험구 정점) 바지락의 출현이 대조구 정점보다 훨씬 많았다(그림 3-4-101). 실험구 정점에서는 4월과 5월에 출현개체수가 많았으며, 2차적으로 7월과 8월에도 2차 개체수 증가를 보였으며 9월 이후 출현개체수가 감소하였다. 대조구 정점에서도 실험구 정점과 비슷한 경향을 보이며, 10월부터는 바지락이 출현하지 않고 변동성은 실험구 정점에 비해 크지 않았다. 조사기간 동안 바지락 출현수는 실험구 정점 4,856 개체이며, 대조구 정점에서는 1,622 개체로 실험구에서 3배 많았다. 출현개체의 크기별 출현변동양상을 살펴보기 위해 0.5mm 크기별로 월별 출현도수분포도를 작성하였다. 실험구 정점에서는 1월부터 5월 사이에 10mm이하 크기 개체수 비중이 크지만 6월부터 9월까지는 10~35mm사이의 개체수 비중이 높았으며, 9월부터는 5mm이하의 초기 크기의 개체 출현비중이 높았다. 이는 이번 봄철 산란의 치패가 가입된 것으로 판단된다(그림 3-4-102). 대조구 정점에서도 실험구 정점과 비슷한 양상을 보였으나, 치패발생 가입은 뚜렷하지 않았다(그림 3-4-103).

표 3-4-8. 함평만 도리포 시험어장 저서생물 출현종 및 개체수(ind./m²)

출 현 종		동계 (2월)		춘계 (5월)		하계 (8월)		추계 (11월)	
		실험구	대조구	실험구	대조구	실험구	대조구	실험구	대조구
연체동물									
부족류									
바지락	<i>Ruditapes philipinnarum</i>	244	167	800	400	789	144	78	
기타		11							11
복족류	Gastropoda	11	22	22				89	
환형동물									
다모류	Polychaeta	11	55	11	55				
절지동물									
갑각류									
게류	Brachyura							11	
단각류	Amphipoda		22					22	
만각류	Cirripedia		22						
극피동물									
거미불가사리류	Ophiuroidea							11	

표 3-4-9. 함평만 도리포 시험어장 저서생물 생물량(g/m²)

출 현 종		동계 (2월)		춘계 (5월)		하계 (8월)		추계 (11월)	
		실험구	대조구	실험구	대조구	실험구	대조구	실험구	대조구
연체동물									
부족류									
바지락	<i>Ruditapes philipinnarum</i>	514.4	5.6	974.2	389.7	2,267.2	488.1	214.4	
기타		1.1							
복족류	Gastropoda	1.1	3.3	1.1				11.1	1.1
후새류									
민칭이	<i>Bullacta exarata</i>								
환형동물									
다모류	Polychaeta	1.1	10.0	1.1	10.0			1.1	1.1
절지동물									
갑각류									
게류	Brachyura							1.1	
단각류	Amphipoda		1.1					1.1	
만각류	Cirripedia		1.1						
극피동물									
거미불가사리류	Ophiuroidea							1.1	

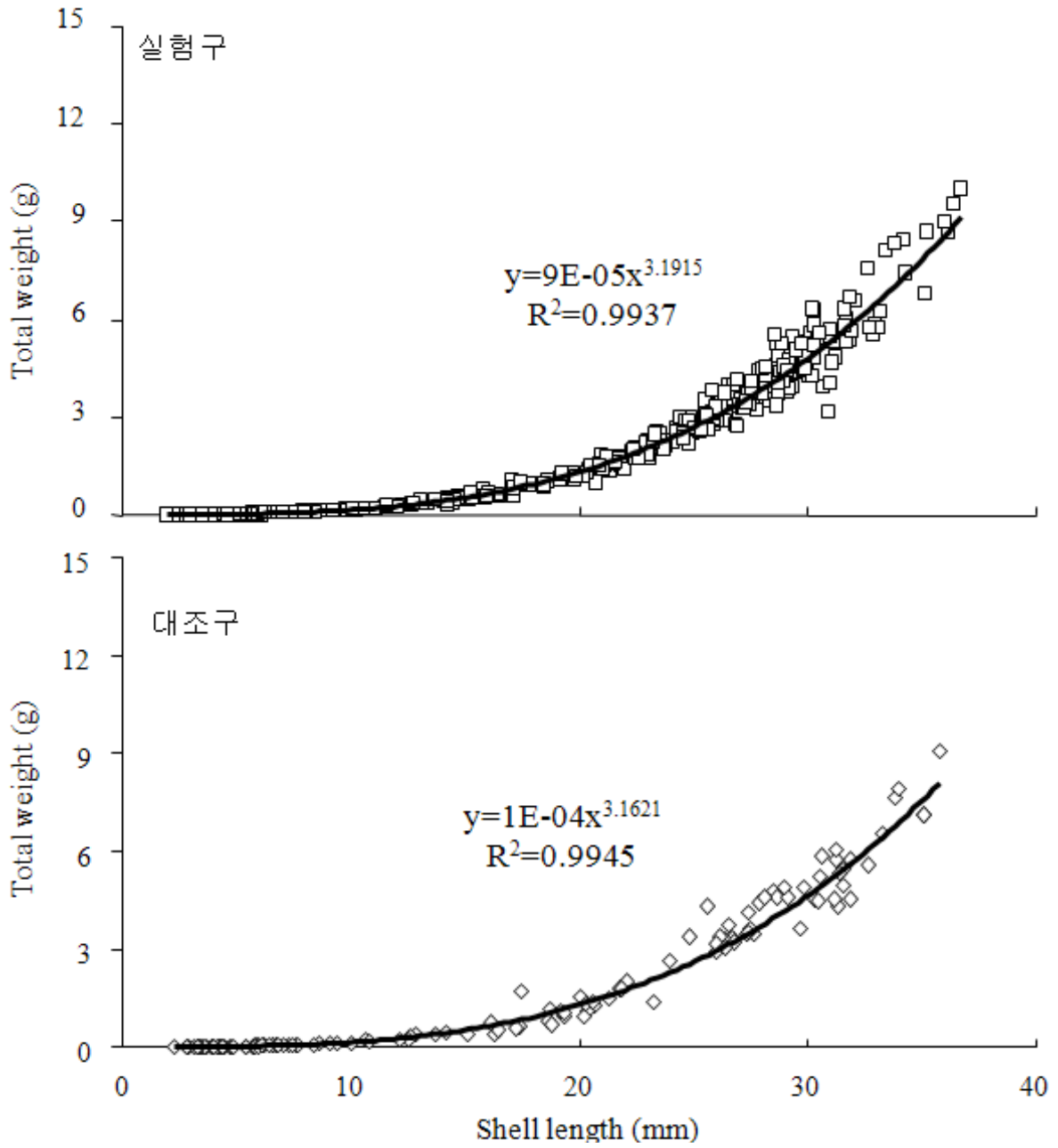


그림 3-4-100. 함평만 도리포 시험어장에서 출현한 바지락 전장 대 전중량 상관곡선

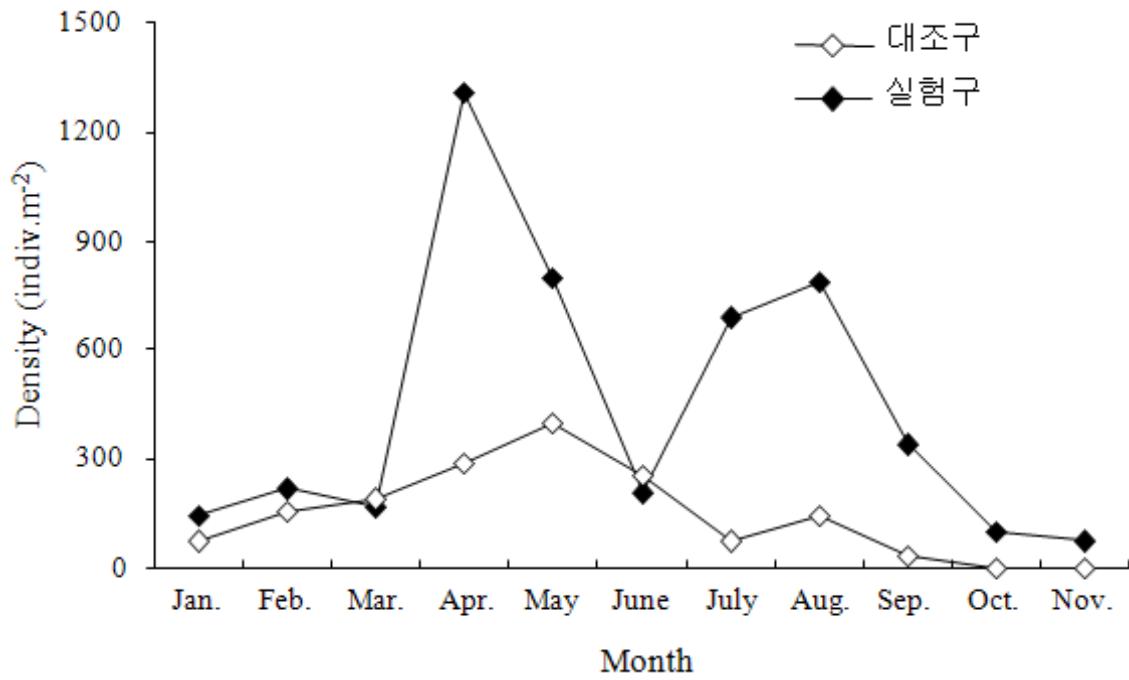


그림 3-4-101. 함평만 도리포 시험어장에서 월별 바지락 출현양상

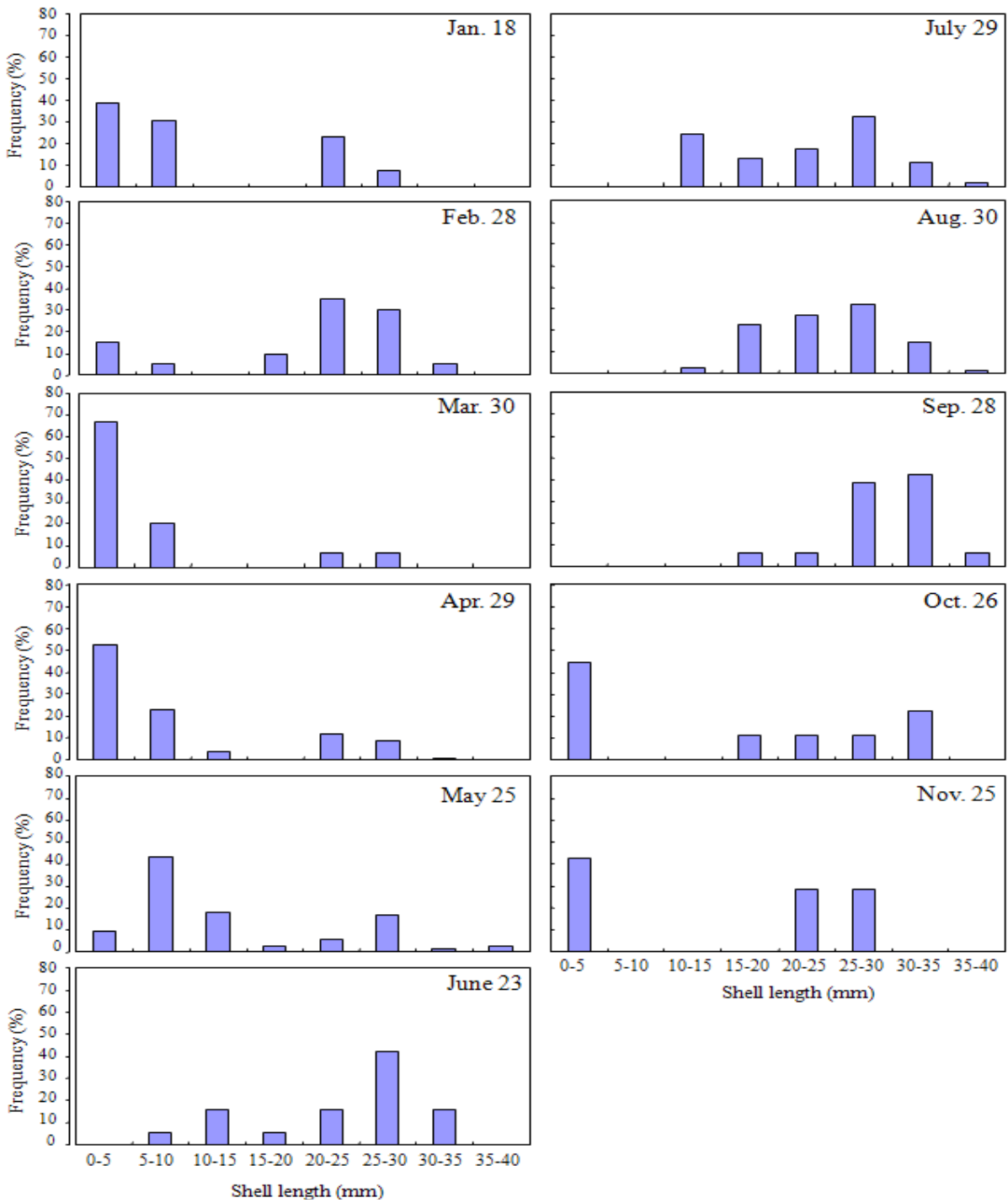


그림 3-4-102. 함평만 도리포 시험어장 정점 실험구에서 바지락 개체 출현양상

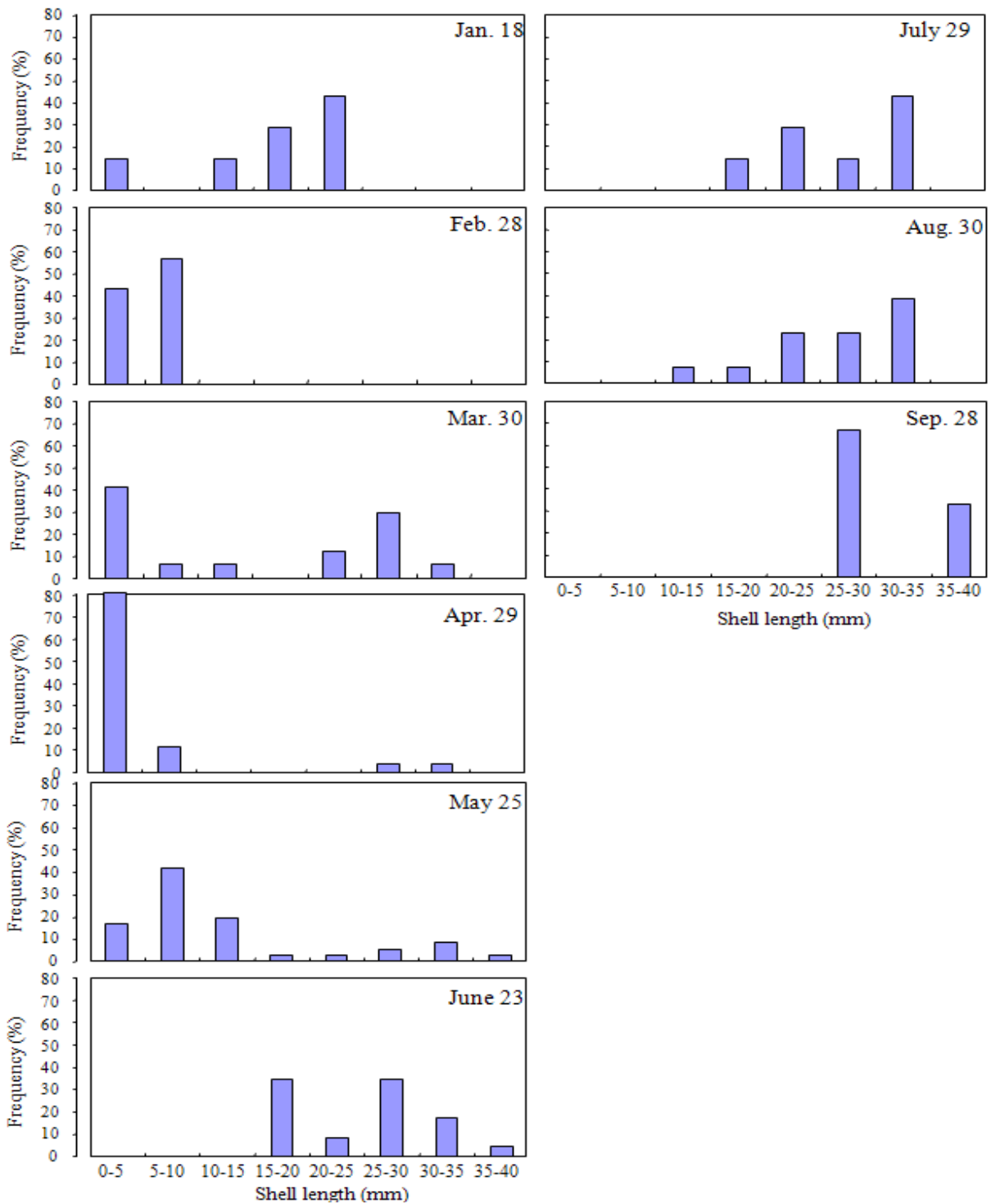


그림 3-4-103 함평만 도리포 시험어장 정점 대조구에서 바지락 개체 출현양상

(나) 고흥 남성리 시험어장

1) 개체굴

수평망식 양식시설과 바지락 양식의 복합양식의 가능성 진단을 위하여 남성리 시험어장에 수평망식 양식시설을 설치하고, 3배체 굴(*C. gigas*)를 양성기에 입망하였다.

굴의 성장도를 살펴보면 조사기간 동안 3배체 개체굴의 전장 성장은 31.86±3.13mm에서 42.58±5.30mm(그림 3-4-104), 각고는 17.58±1.05mm에서 21.54±1.66mm(그림 3-4-105), 각폭은 10.79±1.14mm에서 14.12±1.46mm(그림 3-4-106)로 조사기간이 동계 짧은 기간은 큰 성장은 보이지 않았다. 전중량은 3.23±0.27g에서 7.00±2.10g(그림 3-4-107)으로 큰 성장을 보이지 않았으며, 비만도는 0.08~0.66으로 3월 들어 비만도가 크게 증가하였다(그림 3-4-108). 생존율은 80%로 초기 폐사외에 특별한 폐사 경향은 보이지 않았다.

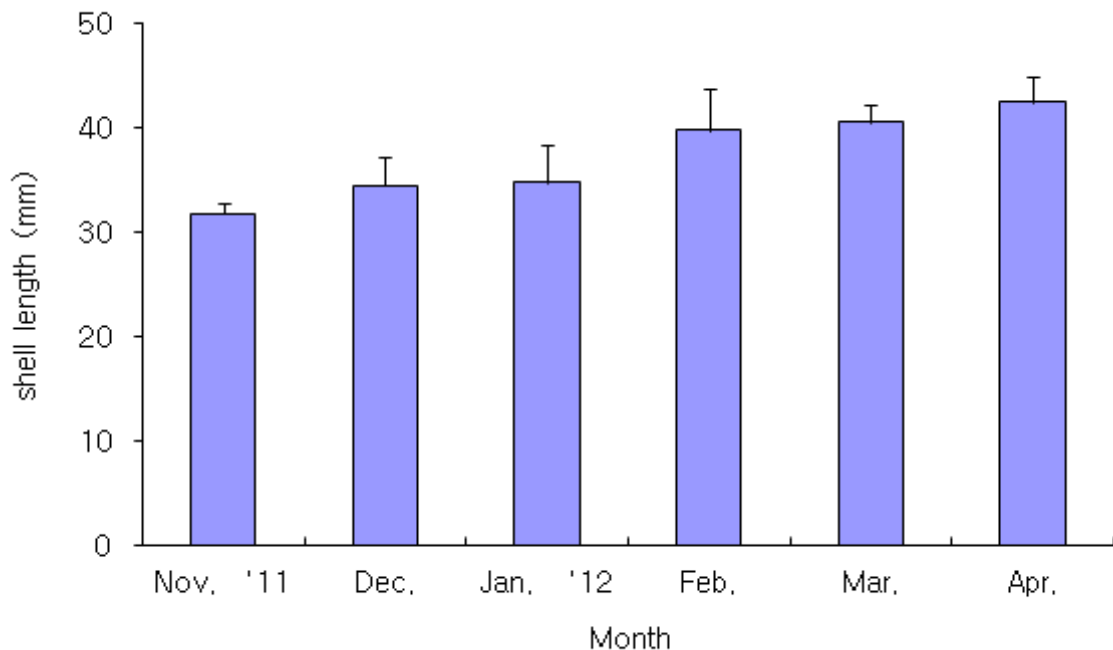


그림 3-4-104. 남성리 복합양식 시험어장 개체굴 전장 성장

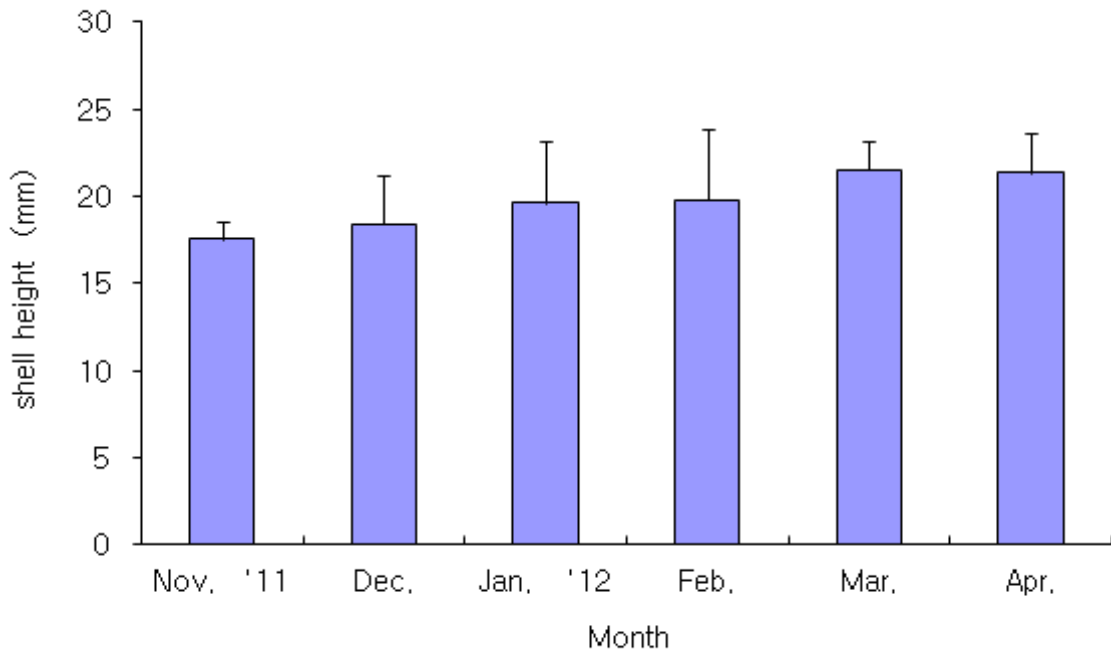


그림 3-4-105. 남성리 복합양식 시험어장 개체굴 각고 성장

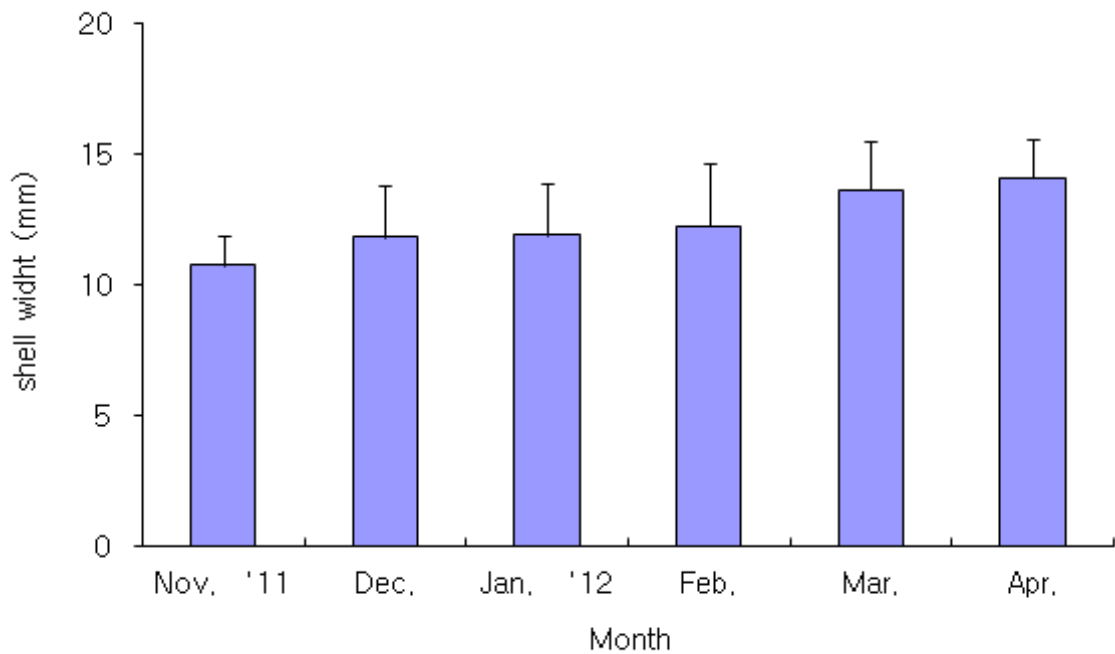


그림 3-4-106. 남성리 복합양식 시험어장 개체굴 각폭 변화

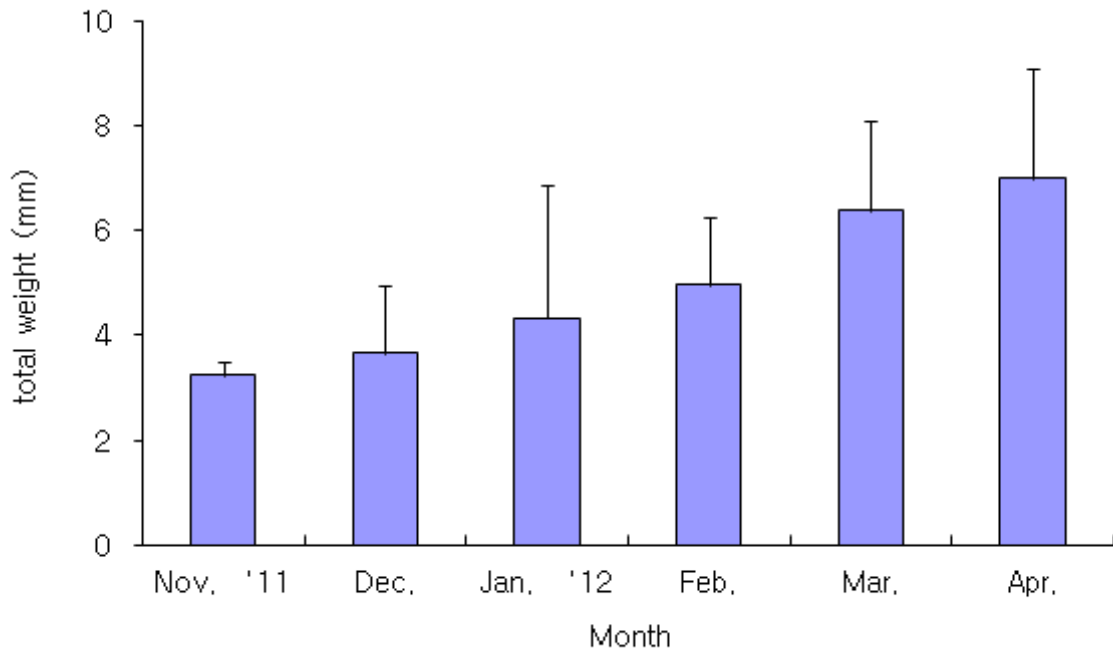


그림 3-4-107. 남성리 복합양식 시험어장 개체굴 전중량 변화

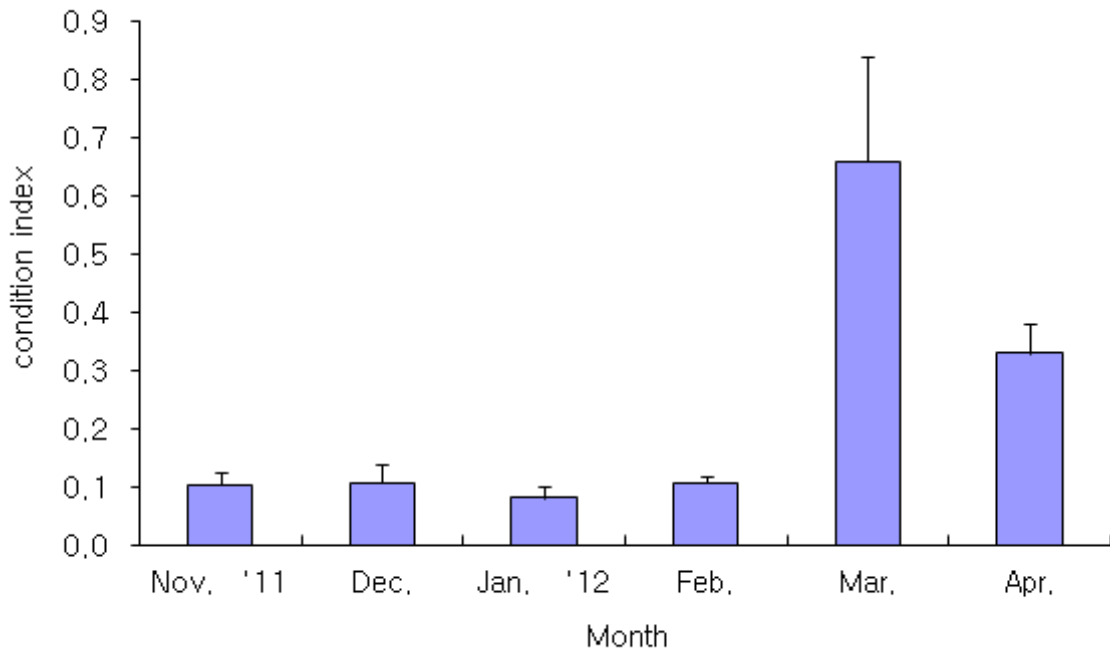


그림 3-4-108. 남성리 복합양식 시험어장 개체굴 비만도 변화

2) 바지락

수평망식 개체굴 양식시설을 설치한 실험구와 설치하지 않은 대조구간의 바지락 성장도를 살펴보았다. 전장은 실험구에서 $30.93 \pm 2.61 \sim 36.08 \pm 1.58\text{mm}$, 대조구에서 $31.27 \pm 2.98 \sim 33.65 \pm 1.15\text{mm}$ 로 두 구간에서 유의한 차이를 보이지 않았지만($P > 0.05$) 실험구 바지락이 다소 성장하는 것으로 나타났다(그림 3-4-109).

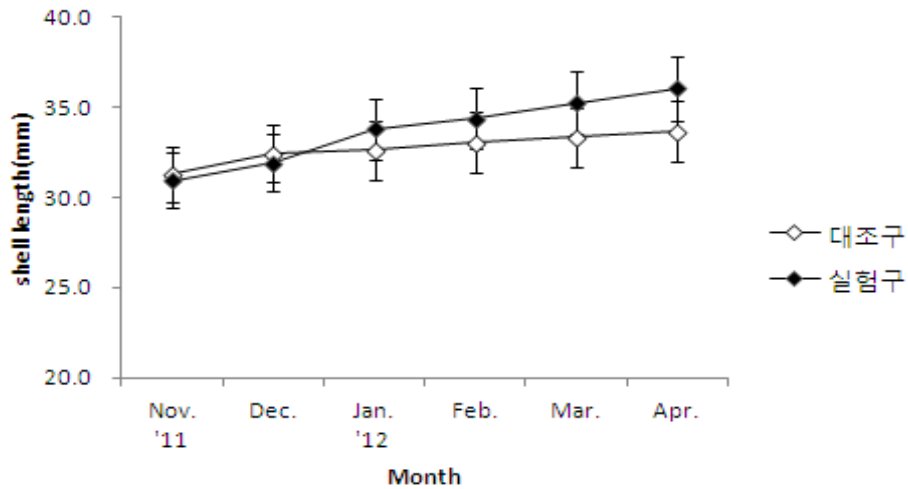


그림 3-4-109. 남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 전장 성장 변화

전중량은 실험구에서 $5.48 \pm 0.92 \sim 9.26 \pm 2.36\text{g}$, 대조구에서 $5.35 \pm 1.08 \sim 7.06 \pm 1.59\text{g}$ (그림 3-4-110)으로 두 구간 큰 차이는 없는 것으로 나타났지만 실험구에서 다소 높은 것으로 나타났다.

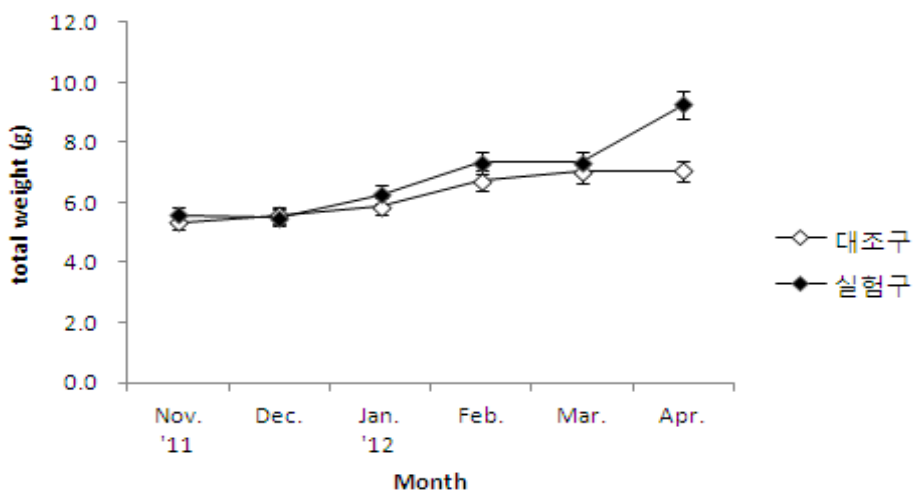


그림 3-4-110. 남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 중량 성장 변화

비만도는 실험구에서 0.49~0.71, 대조구에서 0.50~0.76으로 두 구간사이에서 뚜렷한 차이는 없는 것으로 나타났으며, 3월에 들어 비만도는 가장 높게 나타났다(그림 3-4-111).

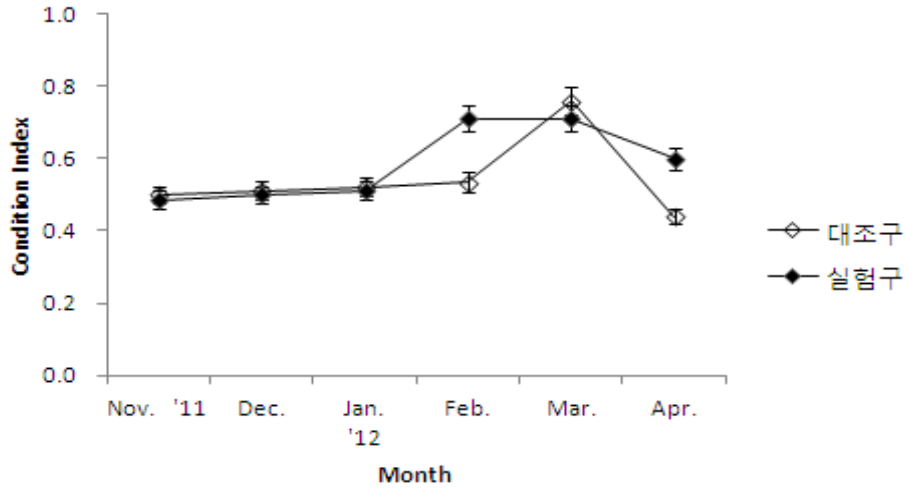


그림 3-4-111. 남성리 다목적이용 복합양식 시험어장 바지락 비만도 성장 변화

(다) 경제성 분석

갯벌의 다목적 이용 복합양식에 대한 경제성 분석을 실시하였다. 현재 수평망식 양식 시설은 1set 시설시 종패구입비 포함 60만원이 소요된다. 시설규모는 어장면적에 대한 시설 면적 비율은 5~10%로 1ha 면적내에서 시설량을 171~343세트로 규정된다. 340세트로 규정할 경우 종패는 510,000개가 들어가며 총시설비는 204,000,000원이 소요된다. 또한 경계둑 설치에 따른 비용은 400m 길이에 40,000,000원 바지락 종패 구입비 10,000,000원으로 전체 254,000,000원이 소요된다. 수확은 시설하고 양식시작한 후 2년이 지나야 가능하므로 개체굴의 경제성은 2년 후 340 세트에서 사전 시험진단 50% 생존율을 고려할 경우 120g 크기의 255,000개체를 생산할 수 있으며 개당 가격을 250원으로 할 경우 63,750,000원의 수입을 올릴 수 있다. 이것은 대략 6년 정도 비용회수 기간이 필요하지만 실제적으로 시설은 반영구적으로 사용할 수 있어 장기적으로는 투자 전망이 좋다고 할 수 있다. 또한 초기 투자비용의 부담이 크므로 저단가 소재를 사용할 경우 시설비용은 30%로 줄어 들 수 있어 단기간 안에 초기 투자비용 회수가 가능한 것으로 나타났다(그림 3-4-112).

바지락은 2년 평균 중량은 9.12g 바지락의 40% 생존율을 적용할 경우 총생산량은 18,240kg 으로 kg 당 3,500원 판매가를 적용할 경우 63,840,000원의 조수입을 올릴 수 있고 2년 후에는 개체굴 판매 금액을 더할 경우 투자비용을 회수 할 수 있다.

표 3-4-10. 다공질 블록 및 골패각을 이용한 양식장 구조개선 조성 비용

구 분		규 모	금 액(원)
다목적 이용 복합양식	경계독제조설치	400m	40,000,000
	수평망시설 설치	340세트	204,000,000
	바지락종패구입	5톤	10,000,000
	계		254,000,000



그림 3-4-112. 저비용 소재를 활용한 수평망식 양식시설 예

3. 양식환경변화 진단

가. 다공질 블록 경계둑 설치 및 저질구조개선

바지락의 생산성을 높이기 위하여 시험어장에 경계둑 구조개선과 굴폐각을 투입한 저질구조개선을 실시하였다. 자연적인 양식어장에 구조물 설치 및 굴폐각 투입은 환경에 변화를 가져 올 수 있어 연구에서는 이러한 부분에 대한 정량적인 평가가 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 구조개선에 따른 환경 변화를 살펴보았다.

(1) 수질환경

(가) 재료 및 방법

구조개선 실험구와 니질 조간대의 대조구를 설정하여 가능성 진단이 이루어지는 곳은 인접한 지역이므로 수질환경에 대해서는 실험구 지점에서 조사를 실시하였다(그림 3-4-113). 2010년 5월부터 2011년 2월까지 계절별로 조사를 하였으며, 2011년 5월부터 2012년 4월까지 매월 조사를 추진하였다. 수온, 염분, DO, pH는 다항목측정기를 이용하여 현장에서 관측하였으며, COD, DIN, DIP, Chl-*a*에 대해서는 조사지점에서 표층시료를 채취하여 실험실로 운반하여 해양환경공정시험법(2010)에 따라 분석하였다.



그림 3-4-113. 남성리 시험어장 환경 조사 정점

(나) 조사결과

고흥 남성리 시험어장에서 시험연구기간 동안 관측한 수온, 염분, pH, DO 변화는 그림 3-4-114~그림 3-4-117과 같으며, 조사기간 동안 기상자료로는 시험어장과 인접한 고흥 기상대의 기온, 강수량 관측값을 표 3-4-11에 나타내었다. 시험기간 동안 수온은 4.20~27.60℃으로 조사기간 동안 겨울철인 2011년 2월에 가장 낮았으며, 여름철인 7, 8월에 가장 높았으며 이는 기상변화에 따라 수온변동양상을 보여주고 있다(그림 3-4-114). 기온도 1월에 가장 낮았으며, 7~8월에 가장 높은 시기로 나타났다(그림 3-4-115). 염분은 30.51~35.49 psu로 강수량이 적은 갈수기인 겨울철과 봄철에 고염분 상태를 유지하였으며, 풍수기인 7~8월에 높은 강우로 인하여 염분이 크게 떨어졌다(그림 3-4-116). pH는 7.85~8.65로 가을철에 낮고 겨울철에 증가하여 서서히 감소하는 경향을 보였다(그림 3-4-117). DO는 4.77~10.91 mg/ℓ로 월별 변화 특성을 살펴보면 수온과 기온이 낮은 겨울철에 용존산소값이 높고, 수온이 높은 여름철에 DO값은 낮은 경향을 보여, 기체의 용해도와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

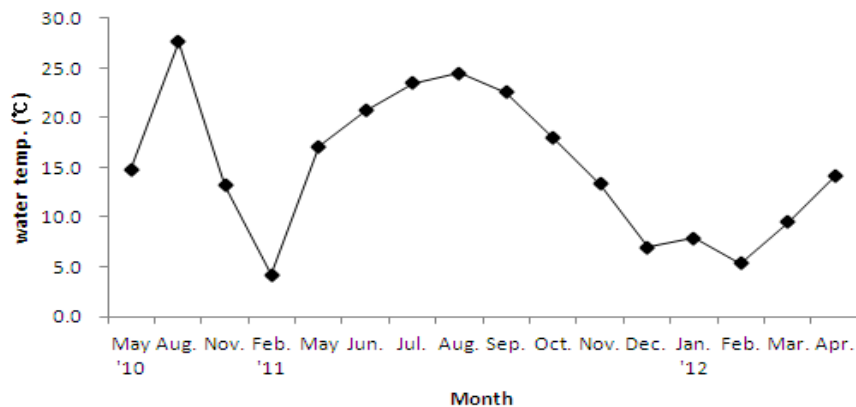


그림 3-4-114. 고흥 남성리 시험어장 수온 변동

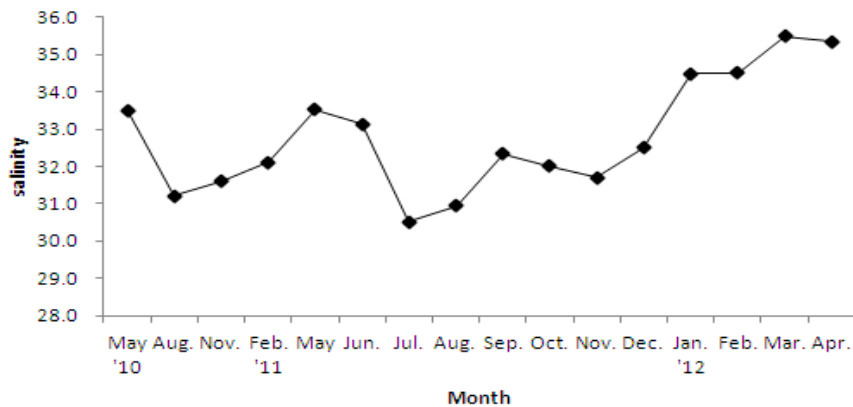


그림 3-4-115. 고흥 남성리 시험어장 염분 변동

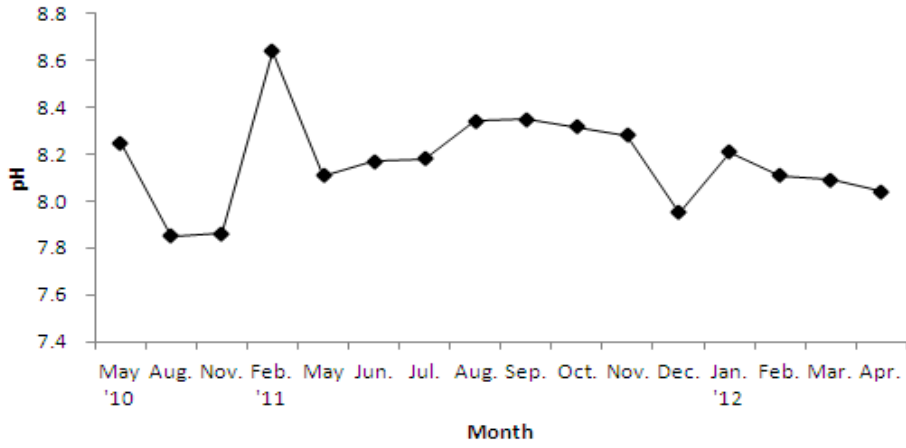


그림 3-4-116. 고흥 남성리 시험어장 pH 변화

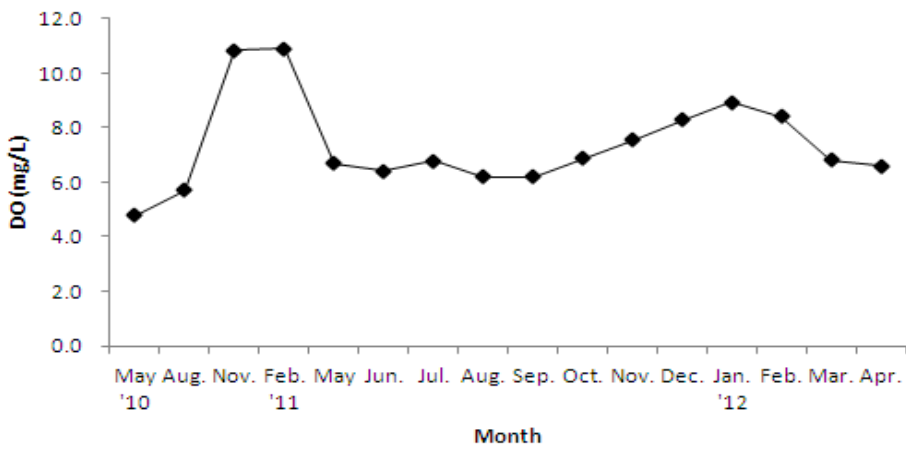


그림 3-4-117. 고흥 남성리 시험어장 DO 변화

표 3-4-11. 목포기상청 2010년 평균기온 및 강수량 관측값

구분	2010년			2011년								2012년				
	5	8	11	2	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
평균 기온(°C)	17.1	27.1	8.2	3.6	17.7	21.9	25.9	25.5	22.4	15.3	12.8	2.8	1.3	1.2	7.2	12.7
강수량 (mm)	170.7	324.3	7.0	85.5	158.9	226.5	424.6	409.7	25.2	45.2	182.1	8.6	9.5	36.7	170.0	252.5

COD는 0.40~3.60 mg/ℓ 로 계절별 변동은 보이지 않으나 계속 증가추세를 보이고 있다(그림 3-4-118). DIN은 0.01~0.88 mg/ℓ 로 6월에서 9월 사이는 낮은 농도를 보이나 겨울철과 가을철에 다소 높은 값을 보였다(그림 3-4-119). DIP는 0.0001~0.06 mg/ℓ 로 DIN 과 비슷한 계절 변동을 보였다(그림 3-4-120). Chl-a는 0.19~6.80 μg/ℓ 로 겨울철과 가을철에 다소 낮고 여름철에 높은 경향을 보였다(그림 3-4-121).

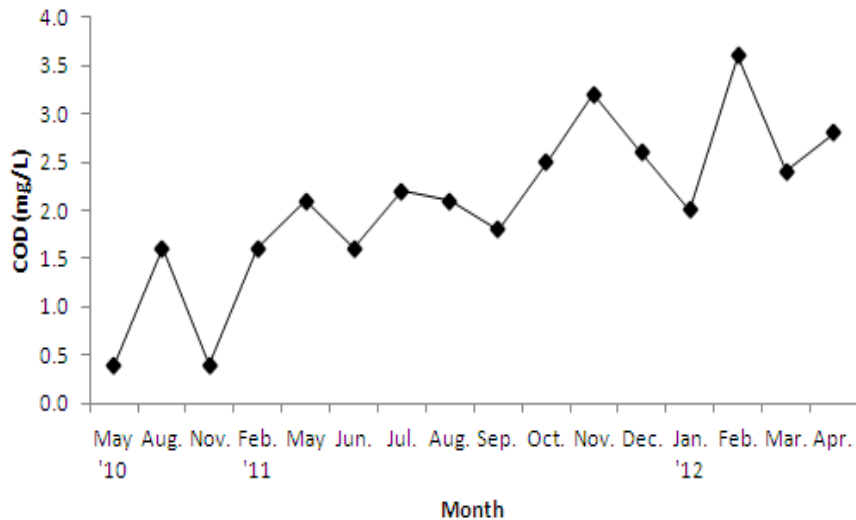


그림 3-4-118. 고흥 남성리 시험어장 COD 변화

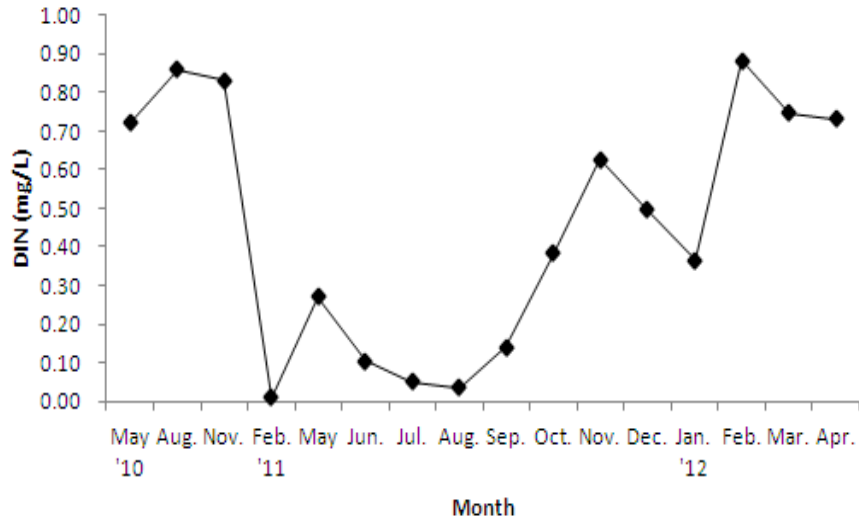


그림 3-4-119. 고흥 남성리 시험어장 DIN 변화

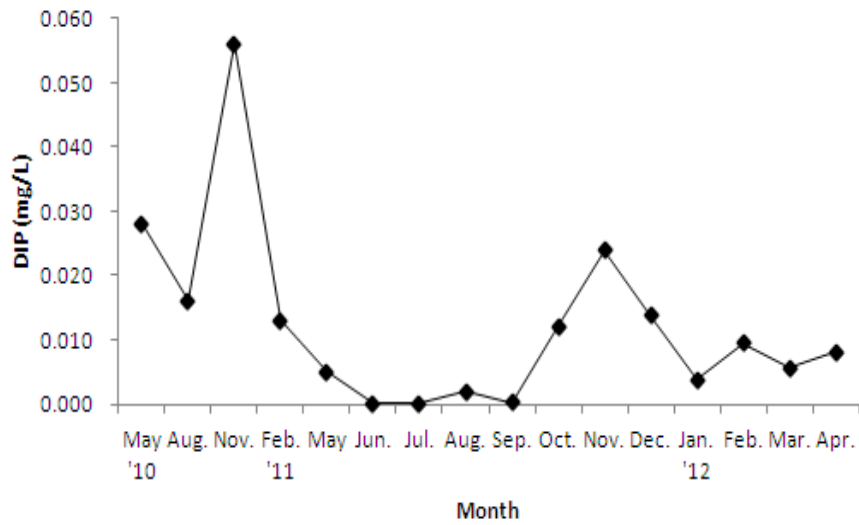


그림 3-4-120. 고흥 남성리 시험어장 DIP 변화

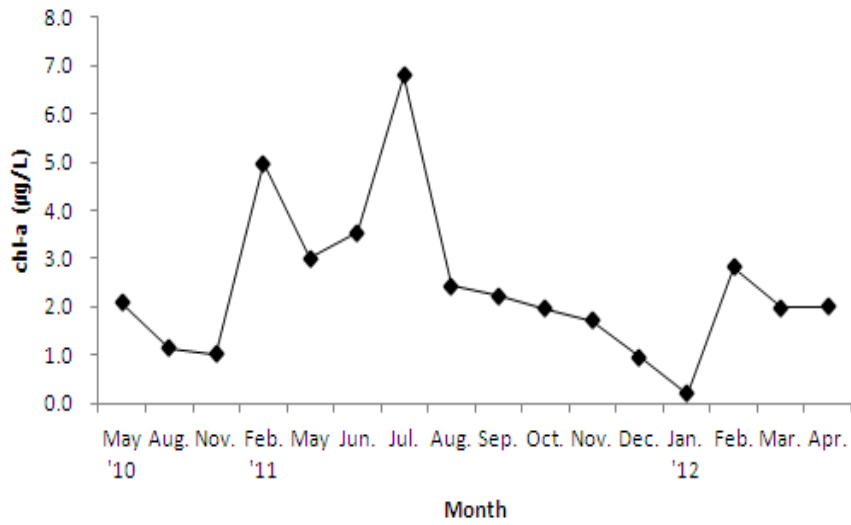


그림 3-4-121. 고흥 남성리 시험어장 Chl-a 변화

관측된 수질자료를 바탕으로 시험어장의 환경상태를 해역수질생활환경기준으로 살펴보면, DO는 I ~ III 등급, COD는 I ~ III 등급 수준으로 나타났다.

(2) 저질환경

(가) 재료 및 방법

구조개선에 따른 저질환경에 대해서 구조개선 가능성 진단이 이루어진 실험구와 대조구에서 시료를 채취하여 분석하였다(그림 3-4-122). 채취된 시료에 대해서는 함수율, 입도, 저질 화학적산소요구량(COD), 강열감량(IL), 산취발성황화물(AVS), 저질염록소-a를 해양환경공정시험법(2010)에 의해 실내 분석하였다.

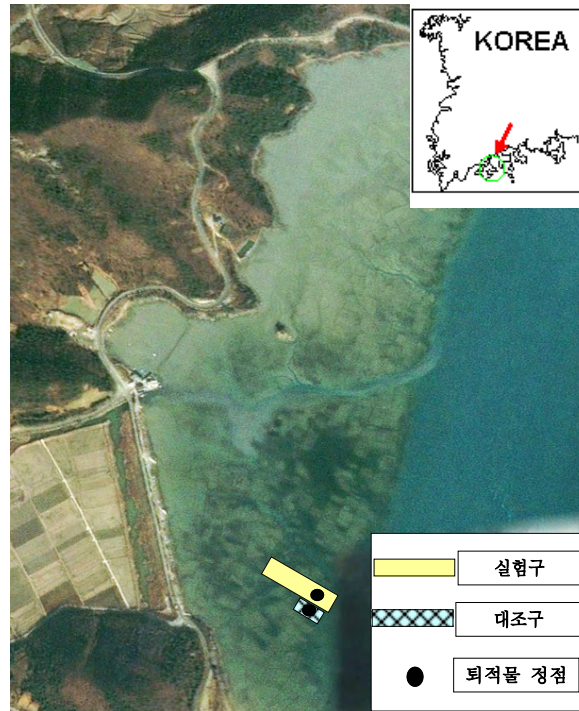


그림 3-4-122. 고흥 남성리 구조개선 시험어장 저질 환경 조사 위치도

(나) 조사결과

시험어장의 입도를 살펴보면 실험구 정점에서는 5.70~8.21 Φ 로 평균 7.12 Φ 이었으며, 대조구 정점에서는 5.73~7.85 Φ 로 평균 6.67 Φ 이었으며, 계절별로는 여름철에 다소 세립하고, 여름철에 조립한 경향을 보였지만 큰 차이는 없었다(그림 3-4-123). 실제적으로 굴폐각을 투입한 실험구에서는 입도분석시 탄산염을 제거하므로 굴폐각에 대한 실제 입도결과는 알 수 없다. 그래서 별도로 굴폐각의 입도 조성 효과를 알아보기 위해 탄산염을 제거하지 않고 입도분석을 한 결과를 살펴보면 실험구 정점에서 탄산염 제거전에는 4.31 Φ 이었던 입도는 2.32 Φ 로 조립해 졌으며, 대조구 정점에서는 4.68 Φ 로 나타나, 대조구에 비해 다소 조립한 상태로 퇴적물의 공극이 확대될 수 있음을 알 수 있었다(그림 3-4-124).

두 시험구간 정점별 함수율을 살펴보면 실험구 정점에서 36.63~63.71% 대조구 정점에서 34.23~69.19%로 퇴적물 내 함수율은 실험구에서 다소 높지만 큰 차이를 보이지 않았으며 월별 차이를 보였다(그림 3-4-125). IL은 실험구 정점에서 2.96~8.54%, 대조구 정점에서 2.14~5.89%로 정점 실험구가 다소 높게 나타났으나, 시간이 경과하면서 대조구와 비슷한 경향을 보였다(그림 3-4-126). COD는 실험구 정점에서 5.20~31.81 mg/g, 대조구 정점에서 0.40~25.45 mg/g로 실험구에서 대조구에 다소 높게 나타났지만 시간이 경과하면서 강열감량과 같이 대조구와 비슷한 경향을 보였다.(그림 3-4-127). AVS는 실험구 정점에서 0.01~0.26 mg/g, 대조구 정점에서 0.001~0.08 mg/g로 실험구에서 대조구에 비해 높은 값을 보였다(그림 3-4-128). 퇴적물 표층 엽록소-a는 실험구 정점에서 4.38~11.50 μg

/cm³, 대조구 정점에서 1.36~11.60 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 로 겨울철과 봄철에 높고 여름철과 가을철 낮은 경향을 나타내었다(그림 3-4-129). 전체적으로 대조구는 저질환경특성은 국제환경기준(강열감량 5%미국EPA, COD 20 mg/g, AVS 0.2 mg/g, 일본)에 비해 II에서 일부기간을 제외하고는 기준아래의 양호한 환경상태를 보였으며 실험구에서는 환경기준을 상회하는 것으로 나타났으나, 기간이 경과하면서 점진적으로 대조구와 비슷한 경향을 보였다. 특히 초기 유기물 함량 및 AVS는 높은 수치를 나타내는데 이는 굴폐각의 유기물 분해와 공극의 증가로 인해 유기물질이 체류할 수 있는 공간이 상대적으로 늘어나므로써 유기물 산화로 인해 유기물과 AVS 값이 일시적으로 높은 것으로 사료되며, 시간이 경과하므로써 유기물 분해로 인해 서서히 자연 상태로 전환되는 경향을 보였다.

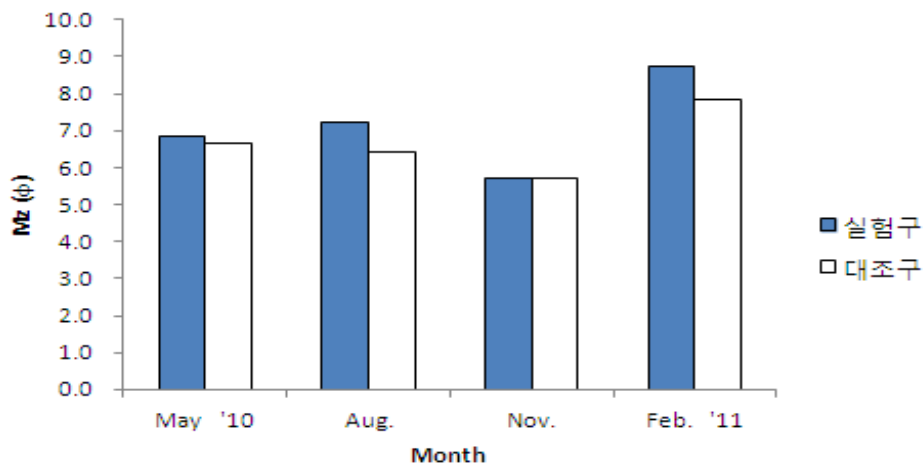


그림 3-4-123. 남성리 시험어장 입도 분석결과

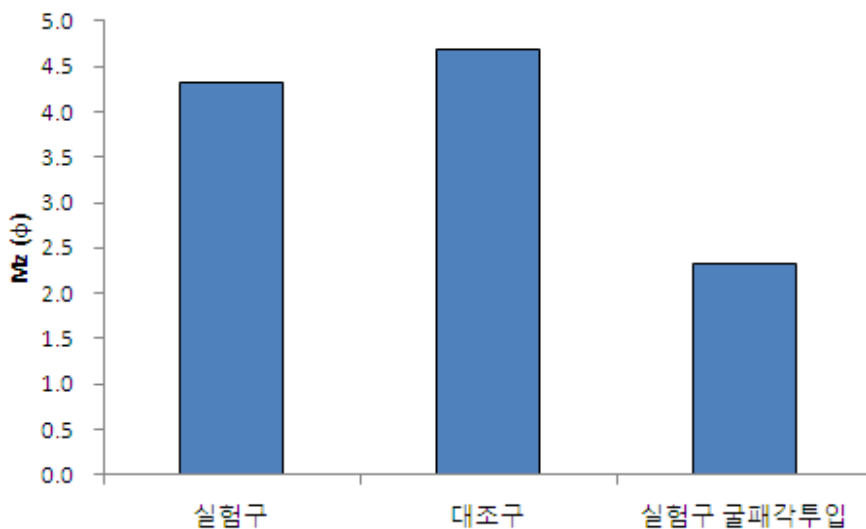


그림 3-4-124. 남성리 시험어장 굴폐각 투입에 따른 입도 조성 변화

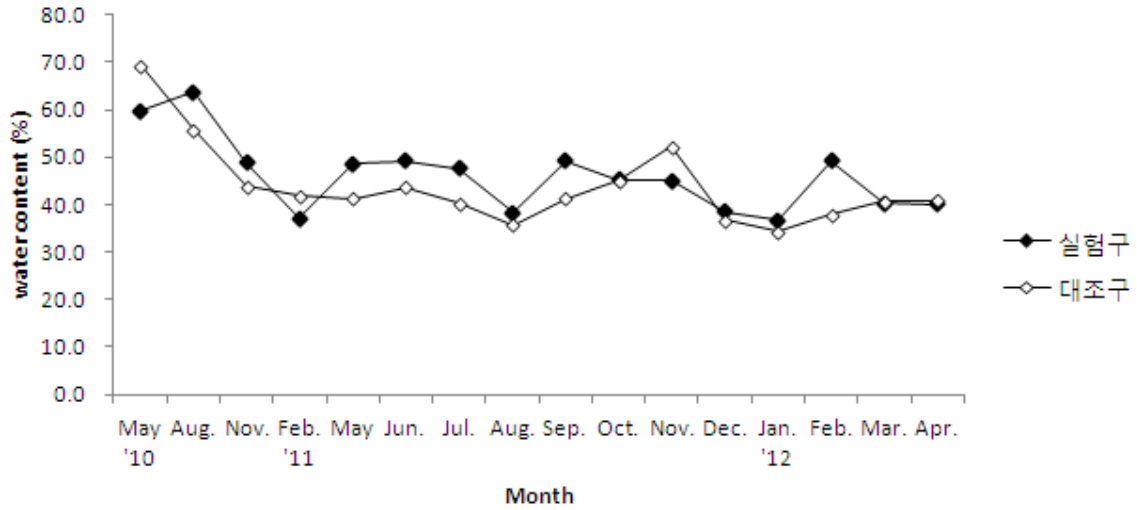


그림 3-4-125. 남성리 시험어장 함수율 분석결과

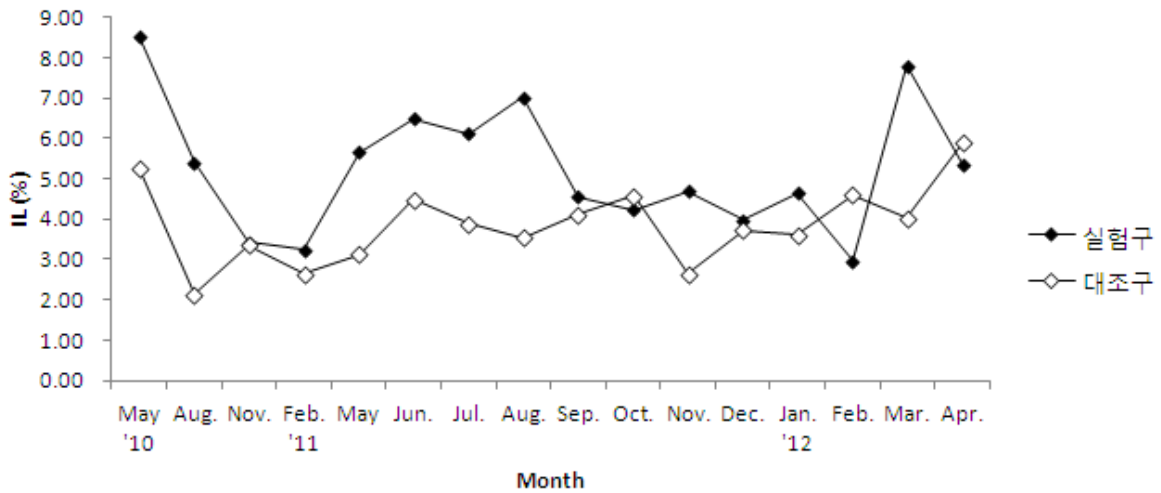


그림 3-4-126. 남성리 시험어장 강열감량 분석결과

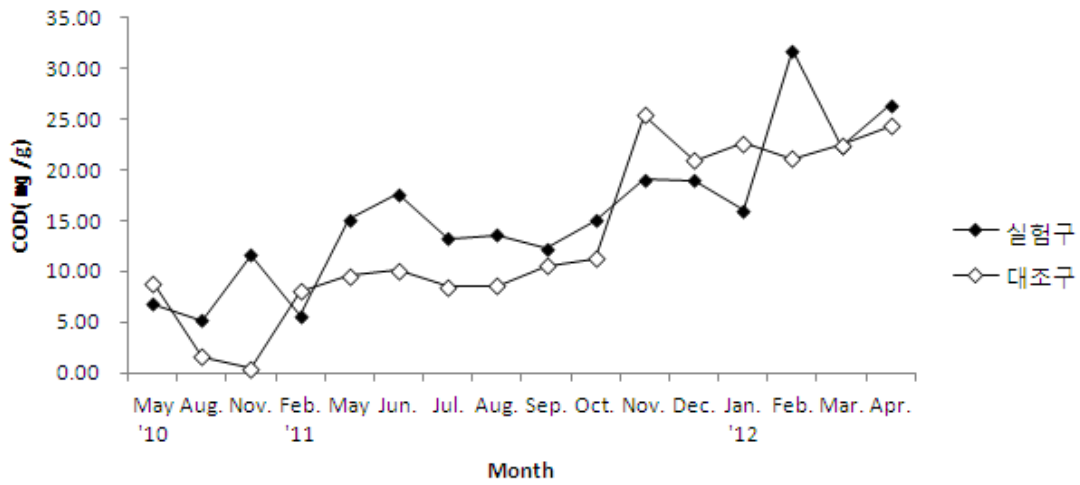


그림 3-4-127. 남성리 시험어장 저질화학적산소요구량 분석결과

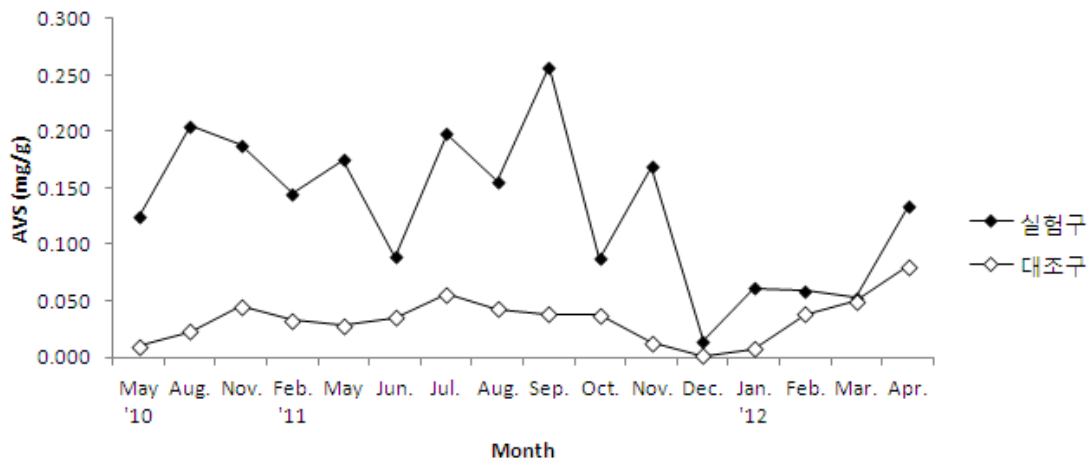


그림 3-4-128. 남성리 시험어장 산취발성황화물 분석결과

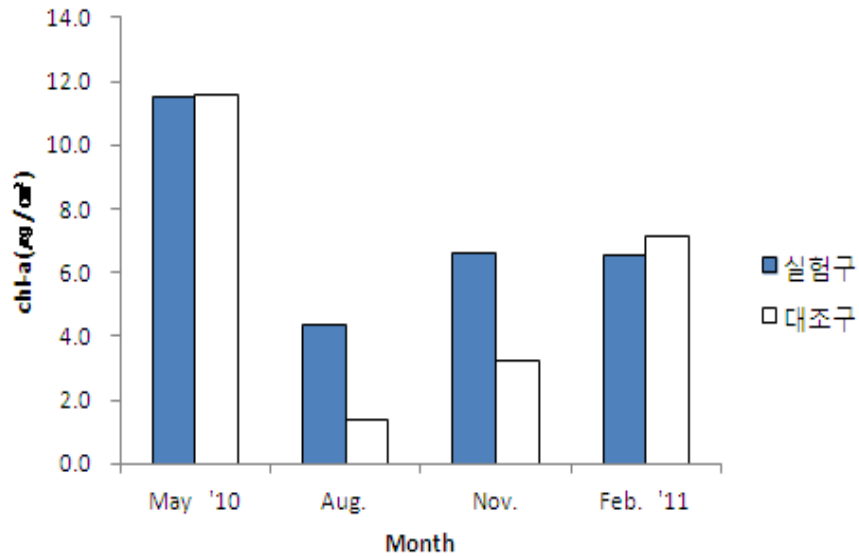


그림 3-4-129. 남성리 시험어장 저질염록소-a 분석결과

나. 꼬막양식장

연안과 멀리 떨어져 접근하기 힘든 기존의 꼬막양식장이 아닌 연안과 인접한 해역의 경계구조물을 설치하여 일정시간 수위확보를 하여 꼬막양식의 가능성을 시험하였다. 연성 지반인 갯벌에 구조물을 조성하기 위해 여러 차례 시험포 조성을 시도하고 보완하여 실험하였다. 조사 정점은 수질의 경우 구조물 설치 후 시험포에 채워지는 해수의 상태를 확인하기 위해 수질조사를 실시하였다. 만조 시 해수를 대조구로 하였으며 간조 시 시험포에 채워진 해수를 시험포, 꼬막양식장에 채워진 물을 꼬막양식장으로 나타냈다. 저질시료도 시험포, 대조구, 꼬막양식장으로 나뉘었으며 구조물을 설치하였을 때 변화된 환경을 비교하였다. 위에서 기술한 바와 같이 2010년 10월부터 PVC 평판으로 갯벌 두령을 설치하였으나 2010년 11월에 설치한 시험포에 꼬막종패를 입식할 수 있었으며 이 시기부터의 조사 결과를 나타냈다(그림 3-4-130). 또한 1차조사시에 이례 없는 한파로 인해 꼬막종패 대부분이 폐사하여 2011년 4월 소규모로 시험포를 설치하고 꼬막 종패를 입식하였으며 현장 조사는 12월부터 다시 시작할 수 있었다.



그림 3-4-130. 꼬막 시험어장의 환경 조사 정점

(1) 수질환경 변화

본 자료는 대조구를 제외하고 시험포와 꼬막양식장의 경우 고인물을 채수하여 측정하였다. 조사기간은 2011년 12월부터 2012년 4월까지 총 5개월의 자료이다. 수온은 조사기간 동안 4.1~13.6℃를 나타냈으며 염분은 29.2~33.1 psu를 나타냈다.

SS는 26.5~1,088.0 mg/ℓ 범위를 보였으며 대조구에 비해 시험포와 꼬막양식장은 고여 있는 물로 농도가 높게 나타났다. COD는 만조시 측정된 대조구의 경우 2.8~5.6 mg/ℓ로 III 등급의 높은 농도를 보였으며 시험포는 0.8~22.4 mg/ℓ로 3월 조사를 제외하면 I~II 등급으로 낮게 나타났다(그림 3-4-131). 양식장도 마찬가지로 3월 조사를 제외하고 I~III 등급을 보였다. 2011년 조사한 대조구와 2012년 자료와 비교하면 농도가 2배가량 증가하여 나타났다. 그러나 전반적으로 COD는 높은 농도를 보였으나 이는 꼬막양식장에서도 기준치 이상의 매우 높은 농도를 보여 꼬막이 생활하는데는 영향이 없는 것으로 보여졌다.

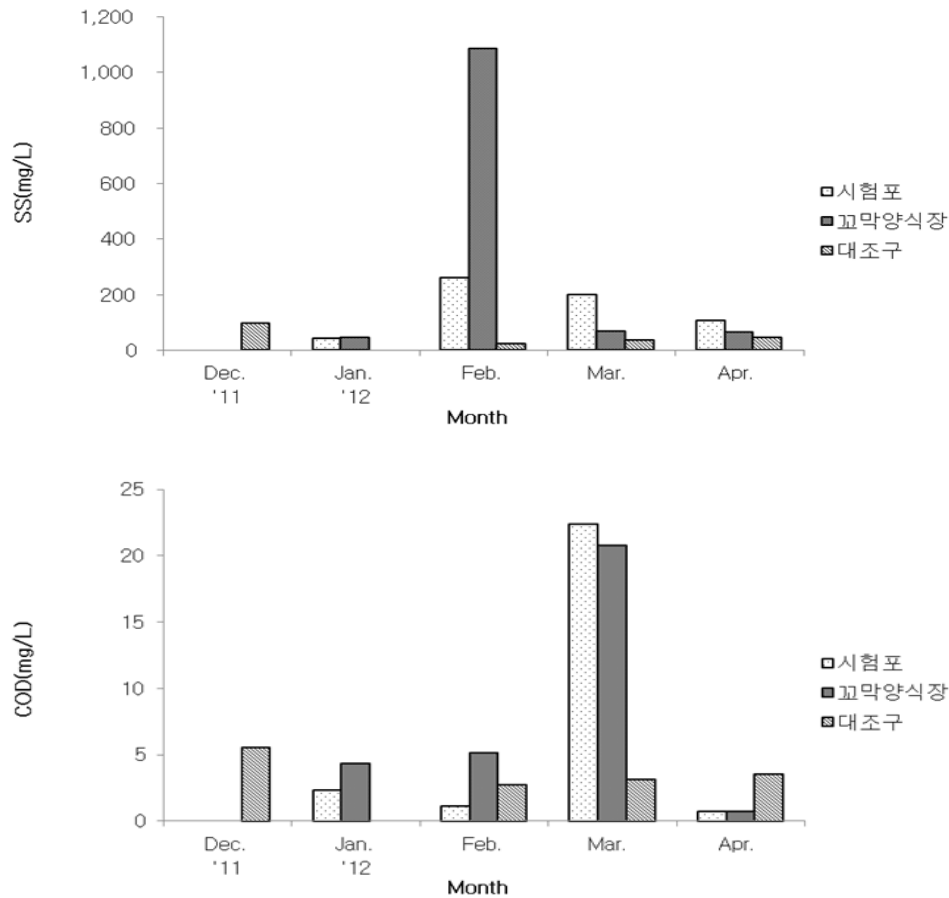


그림 3-4-131. 고흥 계매리 시험포 주변과 양식장의 부유물질, 화학적산소요구량 변화

TN은 0.36~1.69 mg/ℓ를 보였으며 시험포는 전조사시기에 1.5 mg/ℓ 미만의 농도를 보였고 꼬막양식장은 1.5 mg/ℓ 이상의 농도를 보였으며 대조구는 0.4~1.1 mg/ℓ로 II~III 등급을 나타내 양식장에서 매우 높은 농도를 보였다(그림 3-4-132). 2011년 조사한 대조구와 2012년 자료와 비교하면 COD와 마찬가지로 농도가 2배가량 증가 하였다. TP는 0.01~0.32 mg/ℓ 범위를 보였고 3월과 4월에는 전해역에서 I~II 등급을 나타냈으나 나머지 조사시기에는 꼬막양식장에서만 등급 이상의 높은 농도를 보이고 시험포와 대조구는 III 등급을 나타냈다. Chl-*a*는 1.73~3.54 μg/ℓ로 시험포에서 2월 조사를 제외하고 꼬막양식장에서 높은 농도를 보였으며 3월과 4월에는 대조구에서 높은 농도를 보였다. TP와 Chl-*a*는 2011년 조사한 대조구의 농도와 본 조사시기에 측정된 자료와 유사한 농도범위를 나타냈다. 다소 연안에 인접하고 오랜시간 고여 있는 해수로 수질의 오염도가 매우 높게 나타났으나 이는 꼬막양식장에서도 이와 유사하게 나타나 꼬막이 생활하는데는 큰 영향이 없을 것으로 생각된다.

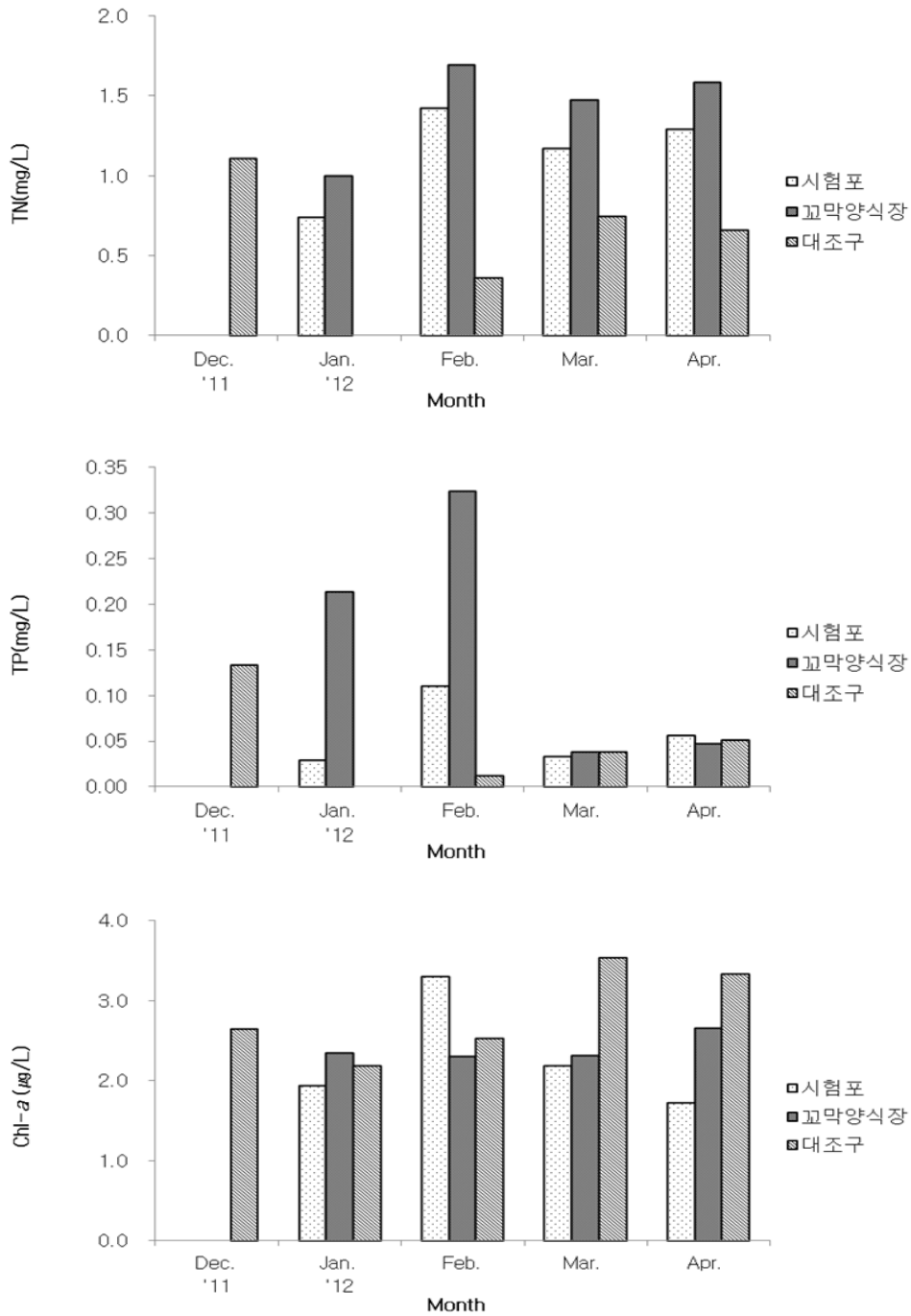


그림 3-4-132. 고흥 계매리 시험포 주변과 양식장의 총질소, 총인, 엽록소-a 변화

(2) 저질환경

(가) 입도분포

1차적으로 2010년 11월에 시험포에 종패를 입식하고 4개월경과 후 2011년 2월에 시험포와 대조해역의 퇴적물 변화를 살펴본 결과 조성기간이 짧았으나 입도의 차이가 크게 나타났다. 조성 초기에는 정점 1, 2, 3 모두 silt가 평균 50.18%로 유사한 성상을 나타냈지만, 4개월 후 2월 조사 시에는 시험포 내에서는 silt는 19% 이하로 크게 감소하고 clay 성분이 80~93%로 2배 이상 크게 증가하였다(그림 3-4-133). 반면, 시험포 바깥해역에 위치한 대조구는 clay 성분이 58.63%로 과거보다 약간 증가하였으나 시험포와는 달리 silt의 함량이 높게 나타나 시험포와는 차이를 보였다. 또한 초기에 대조구와 시험포 B와 유사한 입도분포를 보인 반면 2월 조사시에는 대조구와 시험포와는 확연한 차이를 확인할 수 있었다(그림 3-4-134, 표 3-4-12). 평균 입도도 시험포 조성 전 7.16~7.62(평균 7.36) Φ 로 세립실트가 우세하였으나 시험포 조성 후 7.51~8.72(평균 8.06) Φ 로 세립한 실트에서 극세립실트가 점차로 우세하게 나타나 구조물로 인해 시험포로 유출입 되는 물의 유속이 감소하고 구조물에 바닷물이 체류하는 시간이 증가하여 퇴적물 성상의 영향을 준 것으로 생각된다.

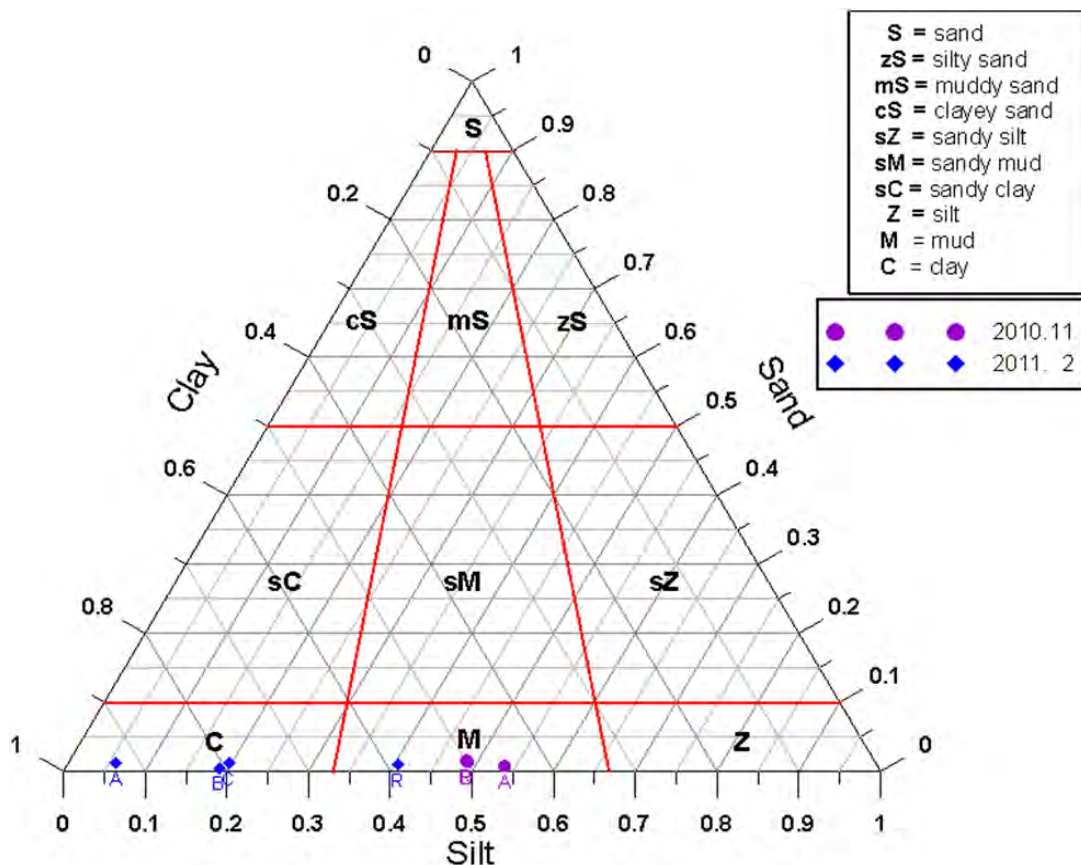


그림 3-4-133. 1차 꼬막 입식 후 퇴적물변화
(시험포A: A, 시험포B: B, 대조구: R, 꼬막양식장: C)

1차조사의 경우 동파로 인해 계속적인 퇴적환경변화를 시험하지 못해, 시험포와 매우 인접한 해역에 2차적으로 소규모 시험포를 재설치하여 조사하였다. 1차 시기에는 꼬막양식장에서 silt보다 clay함량이 70% 이상 높게 나타났는데 반해 2차조사시에는 전시기의 평균값이 sand가 1%, silt가 55%, clay가 44%로 오히려 silt의 함량이 높게 나타났다. 시험포 내부에서는 sand가 12%, Silt가 40%, 점도가 48%로 꼬막양식장과 달리 sand와 clay가 높은 함량을 차지했으며 대조구는 sand가 9%, silt가 39%, clay가 51%로 시험포와 큰 차이를 보이지 않았다(그림 3-4-134, 표 3-4-11). 이는 2월조사시 시험포와 대조구를 포함하여 연안에서 sand함량이 갑자기 크게 증가하여 전체평균이 높게 나타난 것을 제외하면 시험포는 clay보다 실트함량이 높고 대조구는 clay가 높게 나타나고 있었다. 이는 꼬막양식장만을 놓고 비교하면 구조물을 설치한 시험포가 꼬막양식장과 다소 형질이 유사해 지는 것을 확인 할 수 있었으나 1차조사시기와는 다른 결과를 보였다. 이는 시험포의 규모가 작아져 2차 시험포에서는 변화가 미비하게 나타났으며 구조물 주변의 패임 현상으로 조립한 물질이 높게 나타나기도 하였다. 또한 계절적 영향으로 연안에서 멀리 떨어진 꼬막양식장도 연안에 위치한 시험포와 마찬가지로 1차 조사시기에 입도가 세립해지고 2차 시기에 점차로 조립해지는 것을 관찰 할 수 있었다.

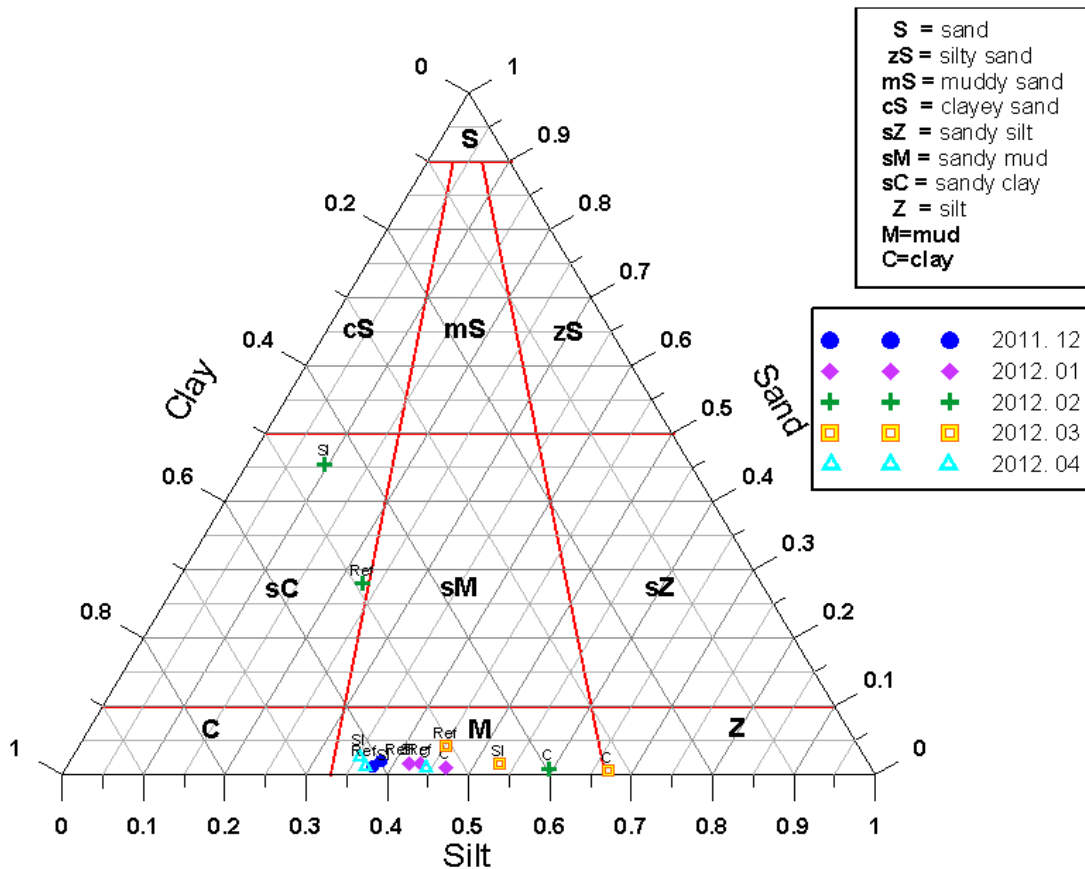


그림 3-4-134. 2차 꼬막 입식 후 퇴적물변화(시험포: SI, 대조구: Ref, 꼬막양식장: C)

표 3-4-12. 고흥 계매 주변 해양퇴적물의 입도분포

구분		Composition(%)				Textural parameter (Φ)				Sediment Type
		Gravel	Sand	Silt	Clay	Mz	SI	SKI	KG	
Dec. 2011	시험포(SI)	0.00	1.14	37.66	61.20	7.94	2.29	0.14	0.79	M (mud)
	대조구(Ref)	0.00	1.91	38.24	59.85	7.84	2.30	0.15	0.82	M (mud)
	구시험포A	0.00	8.04	37.69	54.27	7.54	2.76	0.01	1.12	M (mud)
	구시험포B	0.00	1.93	39.40	58.68	7.79	2.30	0.16	0.83	M (mud)
Jan. 2012	시험포(SI)	0.00	1.66	41.86	56.48	7.83	2.37	0.18	0.78	M (mud)
	대조구(Ref)	0.00	1.65	43.29	55.06	7.63	2.18	0.16	0.81	M (mud)
	구시험포A	0.00	1.32	56.22	42.46	7.03	2.29	0.28	0.86	sM (Sandy mud)
	구시험포B	0.00	1.94	34.74	63.32	7.98	2.29	0.10	0.82	M (mud)
	꼬막양식장(C)	0.00	1.02	46.65	52.33	7.52	2.11	0.21	0.89	M (mud)
Feb. 2012	시험포(SI)	0.00	45.57	9.54	44.89	4.92	3.63	-0.42	0.70	sM (Sandy mud)
	대조구(Ref)	0.00	27.97	22.96	49.07	5.73	3.57	-0.37	0.82	sM (Sandy mud)
	구시험포A	0.00	17.64	37.27	45.09	6.09	3.83	-0.25	1.37	sM (Sandy mud)
	꼬막양식장(C)	0.00	0.85	59.42	39.73	6.87	2.22	0.32	0.98	M (mud)
Mar. 2012	시험포(SI)	0.00	1.67	53.01	45.31	7.39	2.17	0.39	0.90	M (mud)
	대조구(Ref)	0.00	4.20	45.10	50.69	7.56	2.21	0.29	1.19	M (mud)
	구시험포A	0.00	27.08	8.69	64.23	5.89	3.68	-0.44	0.89	sM (Sandy mud)
	꼬막양식장(C)	0.00	0.57	66.81	32.62	6.56	2.30	0.48	1.04	M (mud)
Apr. 2012	시험포(SI)	0.00	2.68	35.29	62.03	7.92	2.36	0.05	0.77	
	대조구(Ref)	0.00	1.24	36.65	62.11	7.91	2.32	0.12	0.81	
	구시험포A	0.00	1.29	34.06	64.65	8.04	2.32	0.09	0.78	
	꼬막양식장(C)	0.00	0.99	44.23	54.78	7.64	2.43	0.18	0.75	

(나) 저질 화학적산소요구량(COD)

표층퇴적물의 오염도를 나타내는 COD는 1차 조사시기에 2010년 11월 시험포를 조성하고 각 시험포를 조사한 결과 5.2 mg/g, 14.0 mg/g를 보였으며 대조구는 7.2 mg/g로 나타났다. 위 시험포에 꼬막종패를 입식하고 4개월 후 2011년 2월에는 꼬막을 입식한 시험포에서만 COD가 증가한 것을 관찰 할 수 있었으며 대조구에서는 농도변화가 없었다(그림 3-4-135). 같은 시기에 꼬막양식장의 농도는 5.0 mg/g 미만으로 초기 시험포를 조성할 때보다 매우 낮은 농도를 보였다. 2009년 11월 동일지점과 주변에서 평균 14.0 mg/g 이상의 높은 농도를 보여 꼬막종패에는 큰 영향이 없을 것으로 생각된다. 시험포를 소규모로 설치한 2차 조사시에는 꼬막이 입식되어 있는 상태로 꼬막양식장에 비해 시험포와 대조구의 농도가 높게 나타났으며 4월조사시에는 꼬막양식장과 유사한 농도를 보였다(그림 3-4-136). 그러나 전반적으로 본 시험포가 꼬막양식장보다 대조구와 유사한 농도분포를 보이고 있었다. 1차시기의 저질 COD와 비교한 결과 대조구는 2차조사시 증가했으며 꼬막양식장과 시험포는 1차 조사보다 낮은 농도를 보였다.

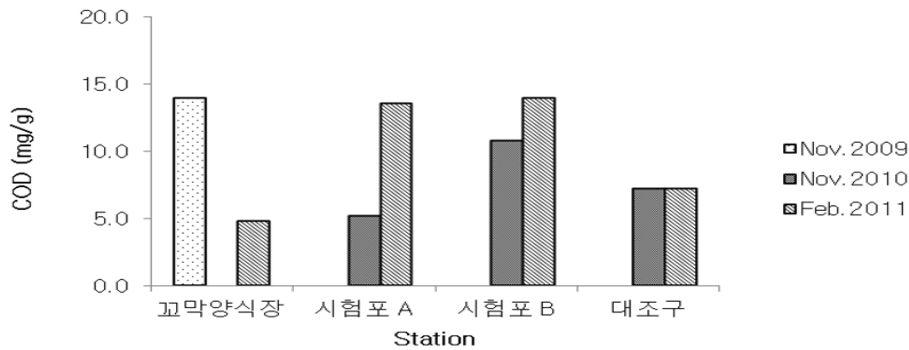


그림 3-4-135. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 화학적산소요구량 변화

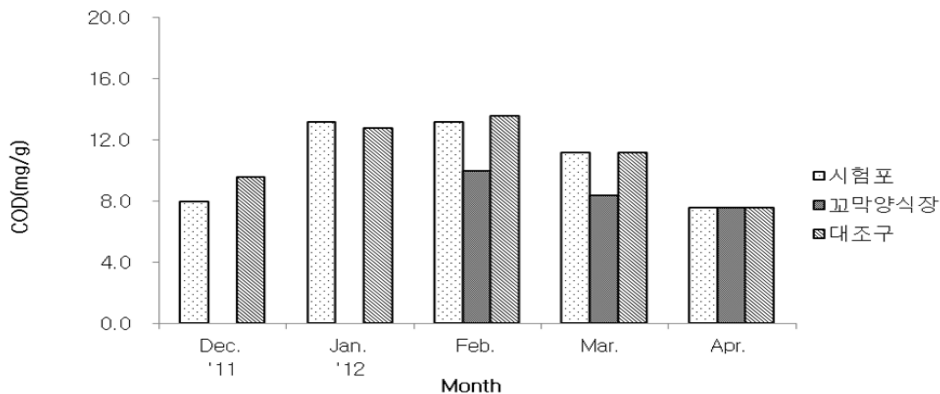


그림 3-4-136. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 화학적산소요구량 변화

(다) 강열감량(IL)

유기물 함량을 지시하는 IL은 1차조사시 시험포에서 3.7%, 4.6%의 범위로 나타났으며 대조구도 4.4%로 유사한 범위를 보였다. 꼬막종패를 입식하고 4개월 후에는 대조구를 포함하여 전반적으로 농도가 2배 가량 감소하였으며 대조구에서 감소폭이 다소 높게 나타났다. 이 시기에 꼬막양식장은 농도가 4.0%로 2009년 11월 기초조사 시기보다 다소 높게 나타났으며 시험포가 위치한 연안해역과 비교해서는 높은 농도를 보였다(그림 3-4-137). 2차 조사시기에는 1차시기보다 2012년 4월조사를 제외하면 2배가량 낮은 농도를 보였으며 저질 COD와 마찬가지로 연안해역보다 꼬막양식장에서 낮은 농도를 나타냈고 대조구보다 시험포에서 약간 높은 농도를 보였다(그림 3-4-138).

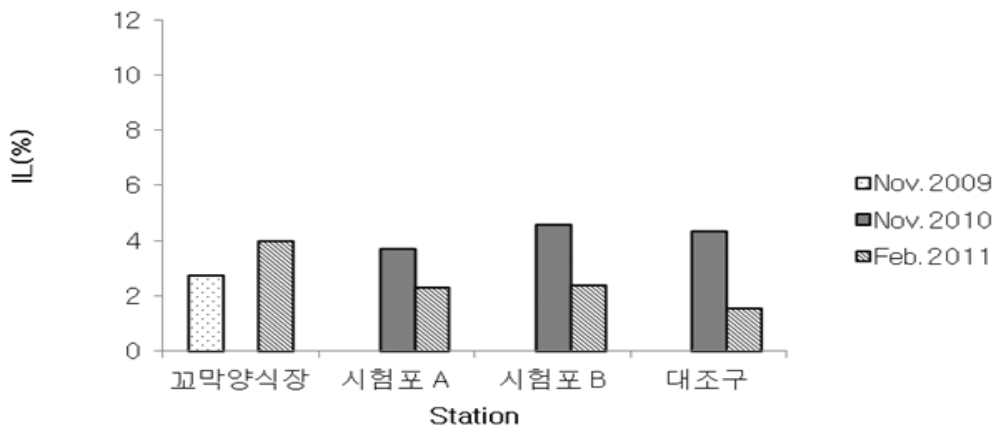


그림 3-4-137. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 강열감량변화

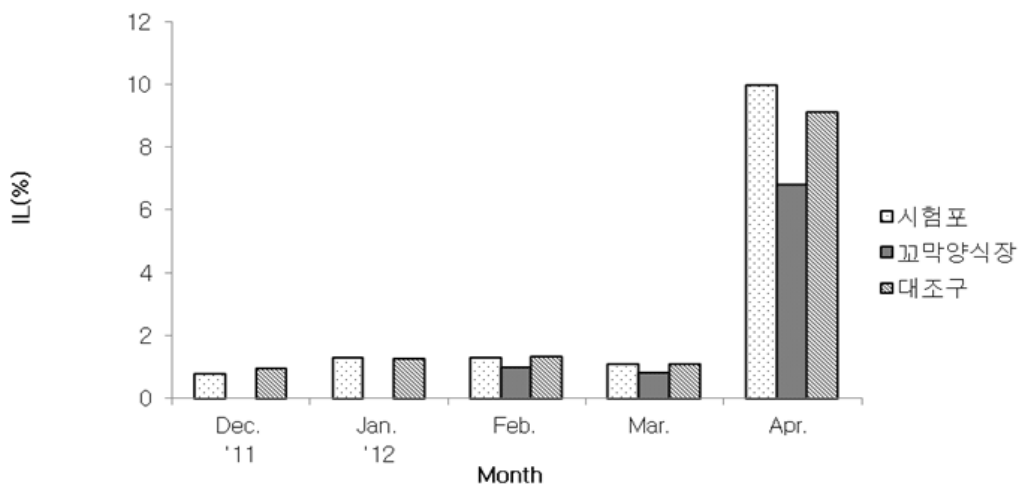


그림 3-4-138. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 강열감량변화

(라) 저질 엽록소-a(Chl-a)

먹이생물의 척도인 저질 Chl-a는 초기 시험포와 대조구에서 2.8~3.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 농도를 보인 후 4개월 후 시험포에서 8.0, 11.9 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보여 시험포 A해역은 2.5배, 시험포 B지역은 4배가량 크게 증가하였다. 그러나 대조해역에서도 마찬가지로 3배가량 증가하여 다소 계절적 영향으로 기인된 것으로 보인다. 꼬막양식장의 저질 Chl-a는 11월조사 시 평균 5.5 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 을 나타냈다(그림 3-4-139).

2차조사시 저질 Chl-a는 꼬막양식장에서의 샘플링이 3월과 4월에만 가능하여 12월부터 2월까지의 대조구와 비교하였다. 시험포의 경우 12월 조사까지는 대조구보다 시험포에서 많은 양이 출현하였으나 1월과 2월은 대조구와 유사하게 나타났다. 전체적으로 3월조사 시 가장 많은 양이 관찰되었으며 시험포에서 최고값을 보였다. 4월에는 다른 조사시기와 유사한 양이 출현하였고 꼬막양식장에서 약간 높은 농도를 보였으나 전반적으로 유사한 농도분포를 보였다(그림 3-4-140).

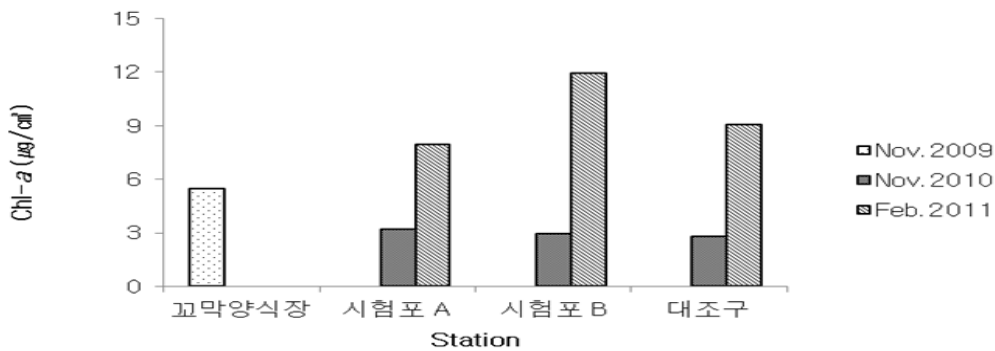


그림 3-4-139. 1차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 엽록소-a 변화

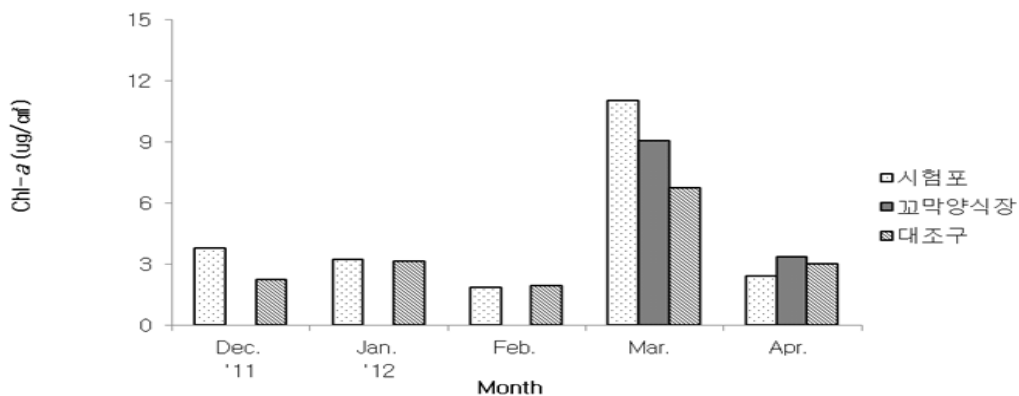


그림 3-4-140. 2차조사시 시험포 주변과 양식장 저질의 엽록소-a 변화

다. 다목적이용 복합양식

갯벌에서의 패류양식장의 효율적 이용을 유도하고, 생산성을 높이기 위해 다목적 이용 입체양식기술 가능성에 대한 진단 연구를 추진하였다. 생산성 향상뿐만 아니라 갯벌 패류양식장의 환경변화 또한 눈여겨 보아야할 항목이다. 본 조사에서는 다목적 이용을 위한 입체 양식 시험포에서 입체양식에 의한 환경변화를 살펴보고 진단하였다.

(1) 수질환경

(가) 재료 및 방법

다목적 이용 입체양식은 두 지역에서 순차적으로 이루어졌다. 2010년 1~11월까지는 수평망식 양식시설에 의한 패류 치패 발생효과를 보기 위하여 함평만 도리포에서 1차 이루어졌으며, 2011년 11월부터 2012년 4월까지 수평망식 개체굴 양식과 바지락 양식의 복합효과를 보기 위하여 고흥 남성리 시험포에서 2차 이루어졌다(그림 3-4-141). 고흥 남성리 시험포의 수질환경 조사는 앞에서 제시한 “다공질 블록 경계둑 설치 및 저질구조개선” 시험과 동일 기간내에 이루어졌으며 조사결과는 앞에 제시한 결과와 같다. 여기에서는 함평만 도리포 시험어장에서 수질변화를 살펴보았다. 수질조사는 대조구와 실험구의 위치가 크게 떨어져 있지 않아 실험구 위치에서 채취된 수질시료를 해양환경공정시험법(2010)에 의해 실내 분석하였다.

(나) 조사결과

함평만 도리포 시험어장에서 관측한 수온, 염분, Chl-*a* 월별변화는 그림 3-4-142와 같으며, 조사기간 동안 기상자료로는 시험어장과 인접한 목포기상대의 기온, 강수량 관측값을 표 3-4-13에 나타내었다.



그림 3-4-141. 함평만 도리포 다목적 이용 입체양식 환경 조사 위치도

표 3-4-13. 목포기상청 2010년 평균기온 및 강수량 관측값

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
평균 기온(°C)	1.1	3.7	6.4	10.0	16.5	21.4	24.8	27.1	23.0	15.6	9.0	3.5
강수량 (mm)	27.6	98.2	88.7	140.5	99.5	52.9	264.4	344.2	126.7	39.2	10.0	43.8

시험기간 동안 수온은 3.75~27.97°C으로 1월에 가장 낮았으며, 7, 8월에 가장 높았다. 기상변화에 따라 수온변동양상을 보여주고 있다. 기온도 1월에 가장 낮았으며, 7~8월에 가장 높은 시기로 나타났다. 염분은 19.53~31.84 psu로 겨울철과 봄철에 고염분 상태를 유지하였으며, 7~8월에 집중강우로 인하여 염분이 크게 떨어졌다. 봄철에 다른 해에 비해 다소 강수량이 높았으며 특히 4월에 예년에 비해 많은 강수로 인해 29 psu의 염분이 낮은 특성을 보았다. Chl-a 는 1.77~29.03 $\mu\text{g}/\ell$ 1월과 5월, 6월에 매우 낮고 10월에 가장 높았다. 월별 변화 패턴은 1월에서 3월까지 급격히 증가한 후 5, 6월 급격히 감소하여 7, 8월에 낮은 상태가 지속되다가 9월, 10월에 크게 증가한 후 11월에 급격히 떨어지는 변동 특성을 보였다. 즉 봄철, 가을철 대발생 현상을 보였다.

DO, COD, DIN, DIP, SS의 월별 변동특성은 그림 3-4-143과 같다. DO는 5.71~10.78 mg/ℓ로 2월에 가장 높고, 7월에 가장 높았으며 월별 변화 특성을 살펴보면 수온과 기온이 낮은 겨울철에 DO값이 높고, 수온이 높은 여름철에 낮은 경향을 보여, 기체의 용해도와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. COD는 1.15~2.90 mg/ℓ로 2월에 가장 높고, 1월에 가장 낮았으며, 4월부터 2 mg/ℓ 이하수준을 유지하였다.

DIN은 0.139~0.857 mg/ℓ으로 6월에 가장 낮고, 7월에 가장 높았다. 월별 변화를 살펴보면, 봄철에 낮은 농도를 유지하다 여름철 집중강우와 함께 농도가 높아지며 서서히 낮아지는 경향을 보였다. DIP는 0.011~0.078 mg/ℓ로 봄철에 다소 낮으며, 겨울, 여름, 가을철에 높은 수준을 보이는 경향을 나타냈었다.

SS는 10~3,086 mg/ℓ로 2월에 가장 낮고, 10월에 가장 높았으며, 이 해역은 일시적으로 높은 SS를 보여주는 해역으로 나타났다. 2월과 5월, 6월에 낮은 부유물질 농도를 보였으며, 특히 9월과 10월, 11월에 고농도의 값을 유지하였다. 1월에서 6월까지 조사 분석된 TN, TP는 각각 0.370~0.473 mg/ℓ, 0.014~0.058 mg/ℓ로 DIP, DIN과 동일 분석기간 동안과 비교할 경우 비슷한 변화 양상을 보였다(표 3-4-13).

관측된 수질자료를 바탕으로 시험어장의 환경상태를 해역수질생활환경기준으로 살펴보면, DO는 I~III 등급, COD는 II~III 등급, TN은 II 등급, TP는 I~III 등급 수준으로 나타났다(표 3-4-14).

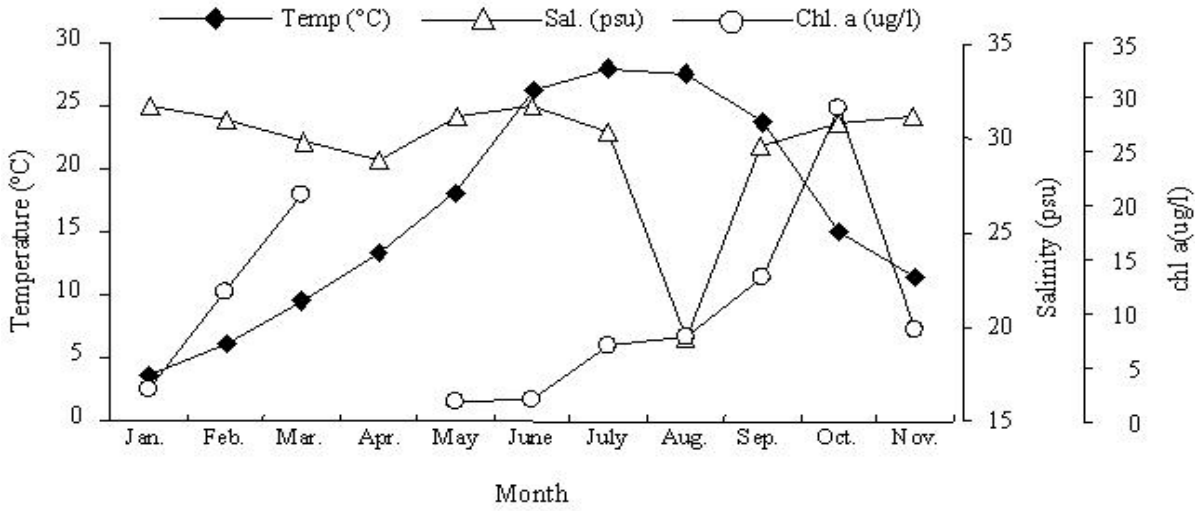


그림 3-4-142. 함평만 도리포 시험어장 수온, 염분, 엽록소-a 변화

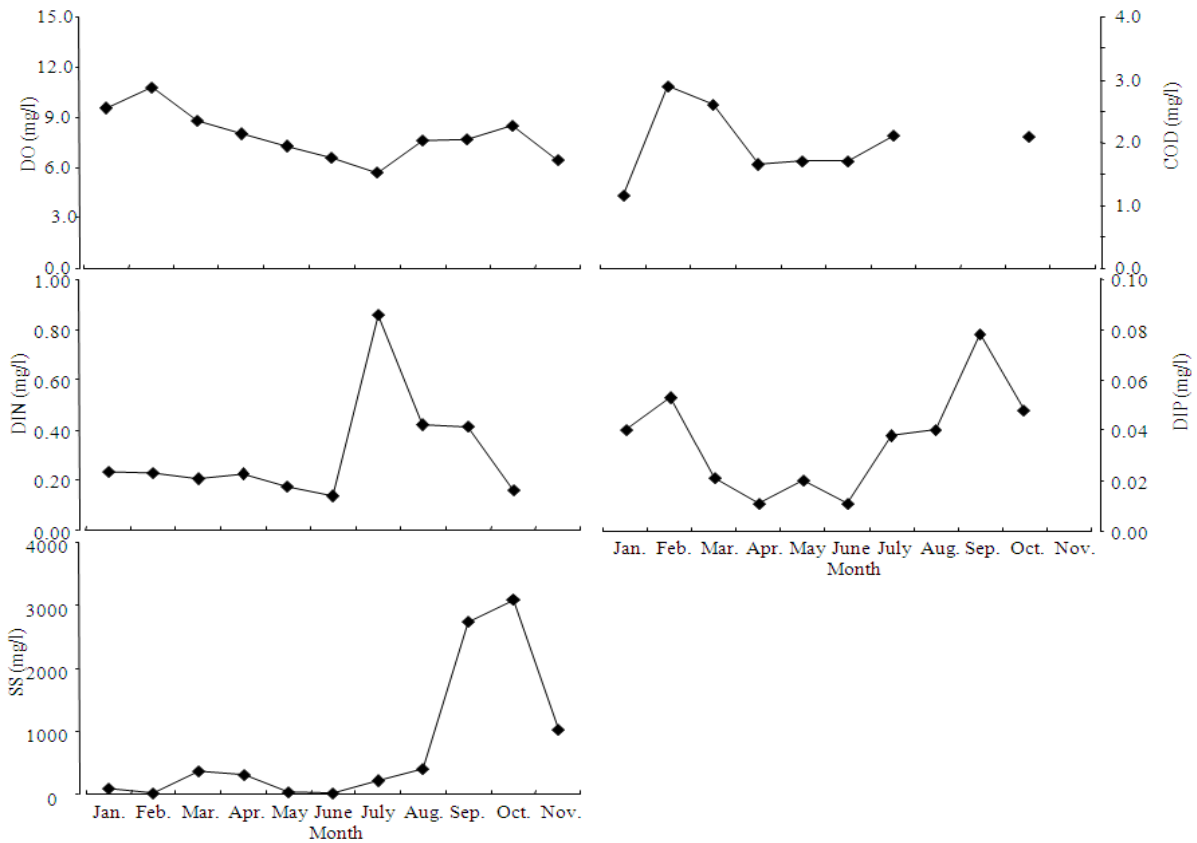


그림 3-4-143. 함평만 도리포 시험어장 용존산소, 화학적산소요구량, 용존무기질소, 용존무기인, 부유물질 변화

표 3-4-14. 2010년 시험어장 환경상태

항 목	해역수질생활환경기준		관측값
DO (mg/ℓ)	I	7.5이상	5.71~10.78 I ~ III
	II	5이상	
	III	2이상	
COD (mg/ℓ)	I	1이하	1.15~2.90 II ~ III
	II	2이하	
	III	4이하	
TN (mg/ℓ)	I	0.3이하	0.370~0.473 II
	II	0.6이하	
	III	1.0이하	
TP (mg/ℓ)	I	0.03이하	0.014~0.058 I ~ III
	II	0.05이하	
	III	0.09이하	

(2) 저질환경

(가) 재료 및 방법

수질환경 조사와 마찬가지로 저질환경 조사는 다목적 입체 양식이 이루어진 두 지역에서 조사하였다. 조사기간은 2011년까지는 함평만 도리포 시험어장에서 이루어졌으며(그림 3-4-141), 2011년 11월부터 2012년 4월까지 고흥 남성리 시험어장에서 조사 분석 하였다(그림 3-4-144). 저질시료는 실험구와 대조구 두 지점에서 퇴적물 시료를 채취하였으며 채취된 시료에 대해서는 해양환경공정시험법(2010)에 의해 실내 분석하였다.

(나) 조사결과

1) 함평만 도리포 시험어장

평균입도 월별 변화를 살펴보면 실험구 정점에서는 1.36~7.62 Φ, 대조구 정점에서는 0.34~3.23 Φ으로 정점 실험구에서 대조구에 비해 다소 세립하며, 여름철에 퇴적물 입도는 세립화되는 경향을 보였으며, 봄과 가을, 겨울에는 다소 조립하였다(그림 3-4-145). 지점별 gravel, sand, mud 함량비 변화를 살펴보면, 실험구 정점에서는 gravel 1.95~45.82%, sand 3.80~41.00%, mud 17.47~94.25%로 6~9월 사이에 mud 함량은 크게 증가하고 gravel과 sand 함량은 감소하는 경향을 보였다(그림 3-4-146). 대조구 정점에서는 gravel 33.56~50.47%, sand 18.23~35.63%, mud 14.61~47.40%로 5~8월 사이에 mud 함량은 증가하고 gravel과 sand 함량은 감소하는 경향을 보였으며, 정점 실험구 정점에 비해서는 변화폭이 크지 않았다(그림 3-4-146).

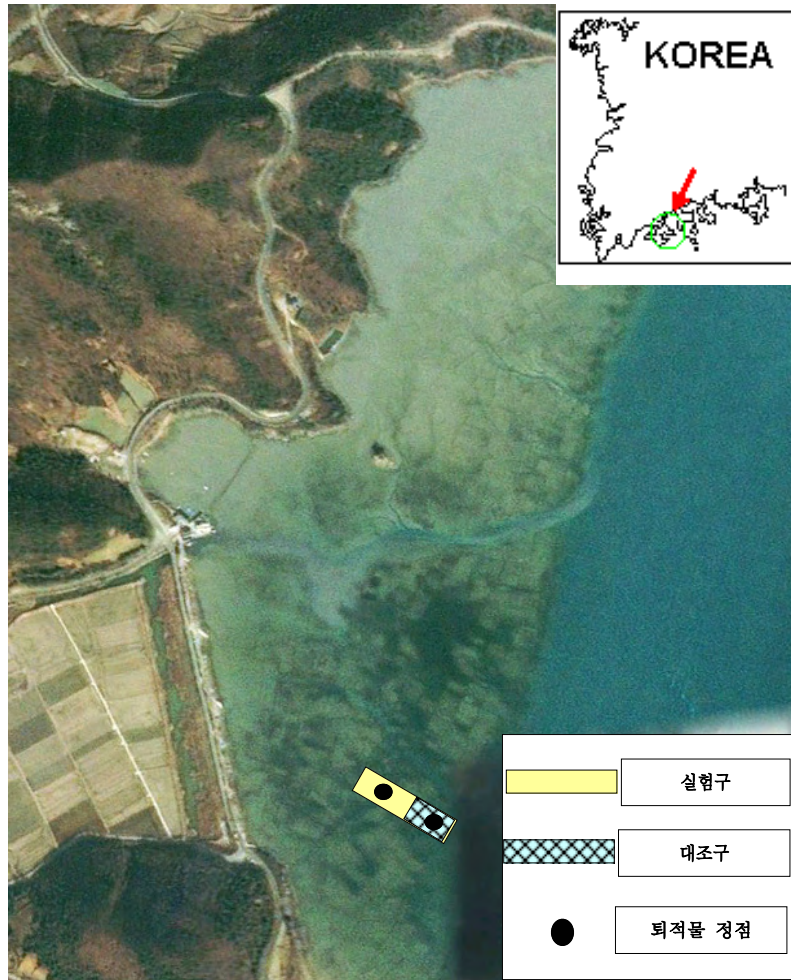


그림 3-4-144. 고흥 남성리 다목적 이용 입체양식 저질 환경 조사 위치도

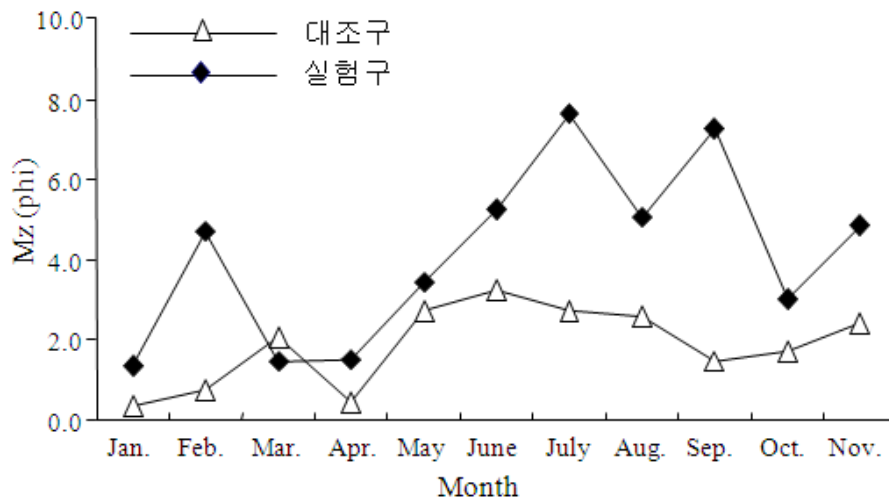


그림 3-4-145. 시험어장 평균입도 월별 변화

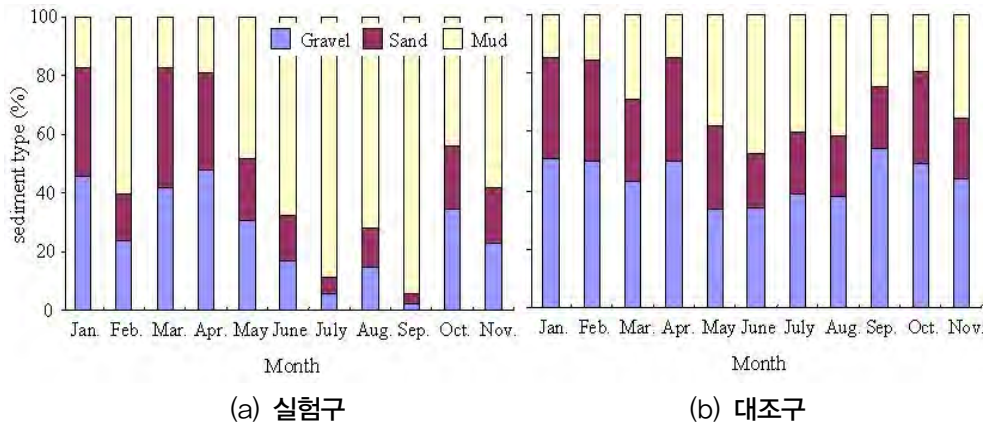


그림 3-4-146. 시험어장 퇴적물 Gravel, Sand, Mud 성분비율 변화

정점별 함수율을 살펴보면 실험구 정점에서 18.97~49.64% 대조구 정점에서 16.61~33.81%로 퇴적물 내 함수율은 세립질인 정점 실험구에서 정점 대조구에 비해 다소 높고, 특히 9~10월 사이에 두정점간 차이가 컸다(그림 3-4-147). IL은 실험구 정점에서 1.99~6.78%, 대조구 정점에서 1.75~4.67%로 세립질 함량이 높은 정점 실험구가 다소 높게 나타났으며, 월별 변화를 살펴보면 정점 실험구에서는 여름철에 다소 높았지만, 정점 대조구에서는 5, 6월에 다소 높은 경향을 보이고 여름철에 감소하는 변화를 보였다(그림 3-4-148). 저질COD는 실험구 정점에서 1.90~11.22 mg/g, 대조구 정점에서 1.02~11.64 mg/g로 정점 실험구에서는 3월부터 9월까지 지속적으로 증가하는 패턴을 보였으며, 정점 대조구에서는 IL 변화와 유사하게 5, 6월에 다소 높은 경향을 보이고 여름철에 감소하는 변화를 보였다(그림 3-4-149). AVS는 실험구 정점에서 0.000~0.007 mg/g, 대조구 정점에서 0.000~0.006 mg/g로 정점 실험구와 정점 대조구에서 큰 변화를 보이지 않았다(그림 3-4-150). 퇴적물 표층 Chl-a는 실험구 정점에서 3.94~42.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 대조구 정점에서 0.56~17.86 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 봄철, 가을철 대발생 경향을 나타내었다(그림 3-4-151). 전체적으로 저질 환경특성은 국제환경기준(강열감량 5%미국EPA, COD 20 mg/g, AVS 0.2 mg/g, 일본)에 비해 IL에서 일부기간을 제외하고는 기준아래의 양호한 환경상태를 보였으며 수평양식 양식시설이 설치된 실험구와 대조구에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

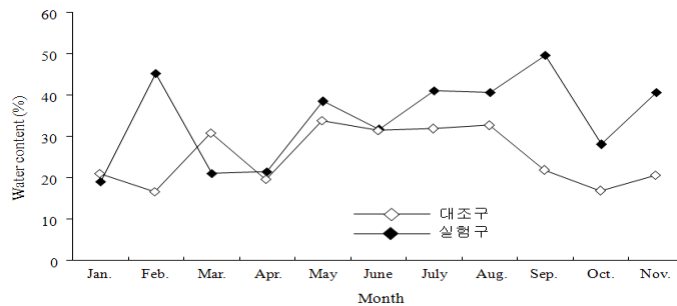


그림 3-4-147. 시험어장 퇴적물 함수율 변화

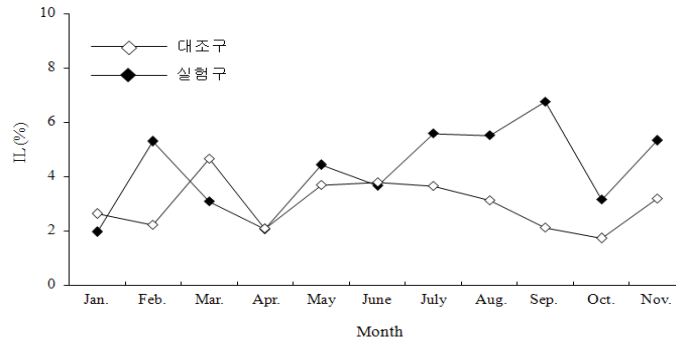


그림 3-4-148. 시험어장 퇴적물 강열감량(IL) 변화

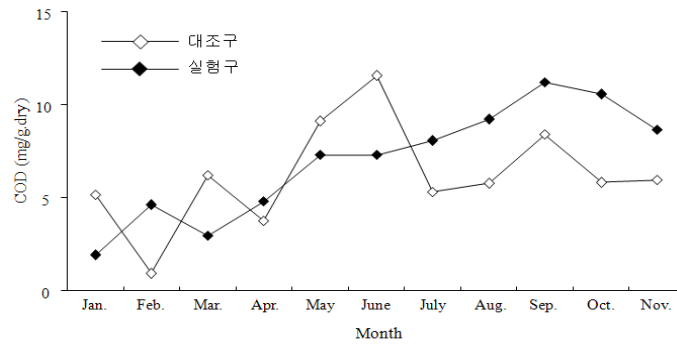


그림 3-4-149. 시험어장 저질 화학적산소요구량(COD) 변화

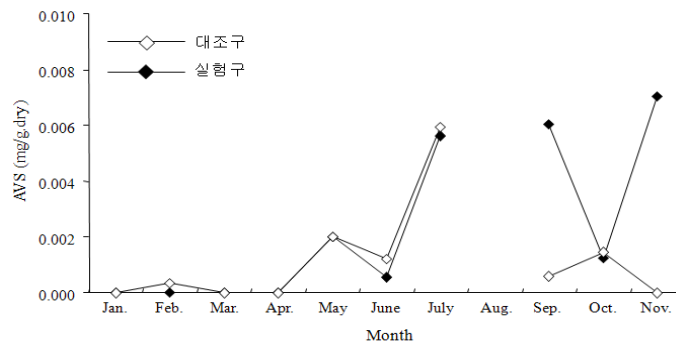


그림 3-4-150. 시험어장 퇴적물 산취발성황화물(AVS) 변화

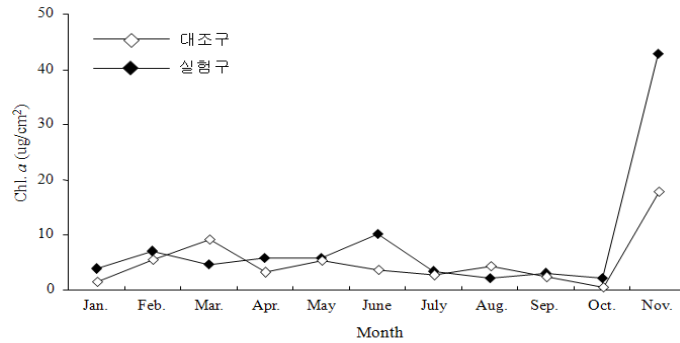


그림 3-4-151. 시험어장 퇴적물 표층 저질염록소-a(Chl-a) 변화

2) 고흥 남성리 시험어장

수평망식 개체군 양식시설지역 실험구와 설치되지 않은 대조구의 저질환경을 살펴 보면 월별 함수율의 변동범위는 실험구간별 뚜렷한 차이가 없었으며, 2011년 11월에서 2012년 2월까지의 결과중에서 11월은 45.03~52.16%로 함수율이 가장 높았으며 12월이 정점별 36.60~38.48%로 함수율이 가장 낮았다(그림 3-4-152).

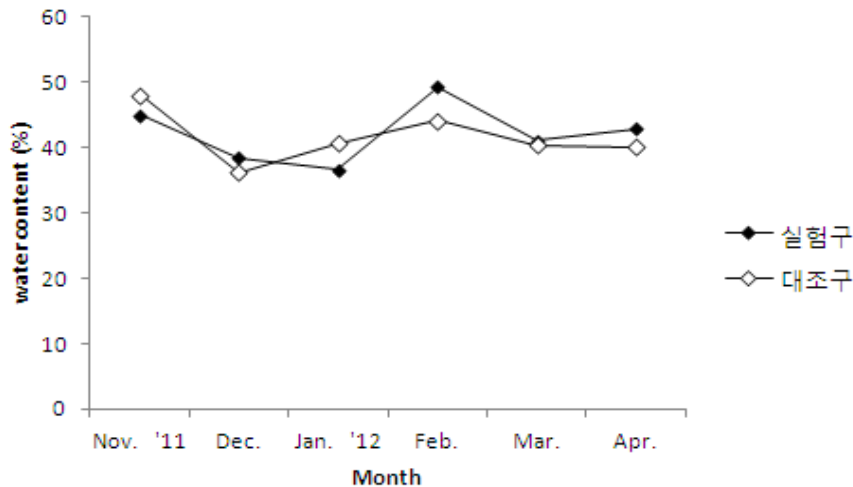


그림 3-4-152. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장의 퇴적물 함수율 비교

저질중의 유기물 중 산화되기 쉬운 부분의 양을 구하기 위하여 과망간산칼륨으로 산화시키고, 그 산소소비량을 화학적 산소요구량이라 하는데, 저질 중에 유기물이 많아지게 되면 산소소비량 또한 많아지기 때문에 오염의 지표로서 중요하게 이용되고 있다. 실험기간동안 화학적 산소요구량의 변동범위는 2월에 채집된 저질을 제외한 2011년 11월, 2012년 1월과 2월 저질에서 실험구의 저질COD는 21.35~28.99 mg/g으로 비교적 높은 값을 나타냈고 반대로 대조구에서 16.03~31.81 mg/g로 다소 낮은 값을 나타냈지만 두 시험구간 유의차는 없었다(그림 3-4-153). 유기물 함량의 상대적 지표를 나타내는 IL의 값의 변

동범위는 함수율과 마찬가지로 2011년 11월에 가장 높았으며 12월에 가장 낮았다. 덧붙여 시험구간 IL값을 비교해보면 개체굴 양식이 이루어지고 있는 실험구에서 4.80~7.78%, 대조구 2.96~4.81%로 실험구에서 다소 높았지만 유의차는 없었다(그림 3-4-154). 저질 Chl-*a*는 실험구에서 5.08~22.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 대조구 6.36~15.61 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 겨울철 12월 1월에 높은 값을 나타냈고, 2월 들어 감소한 후 회복 추세를 보였으며 실험구에서 다소 높았다(그림 3-4-155). 전체적으로 볼 때 수평망식 굴양식 이루어지고 있는 실험구에서는 국제적환경기준을 다소 상회하는 값을 보이고 있지만 바지락의 서식에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

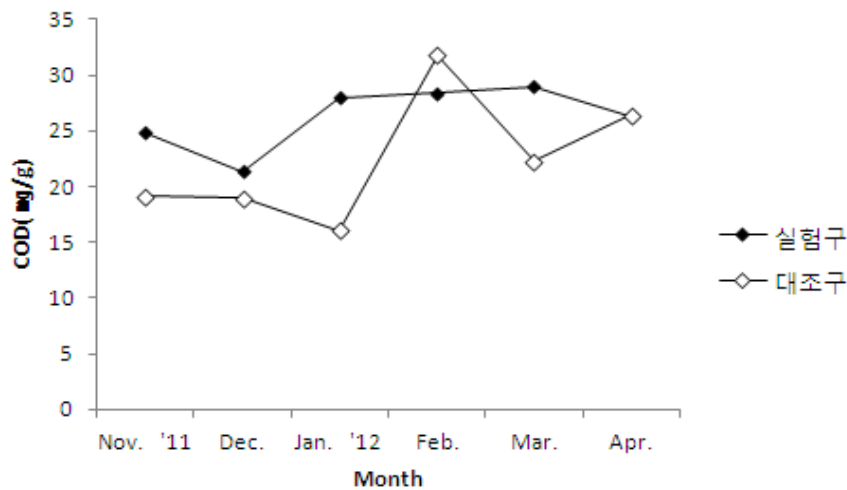


그림 3-4-153. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 화학적산소요구량 비교

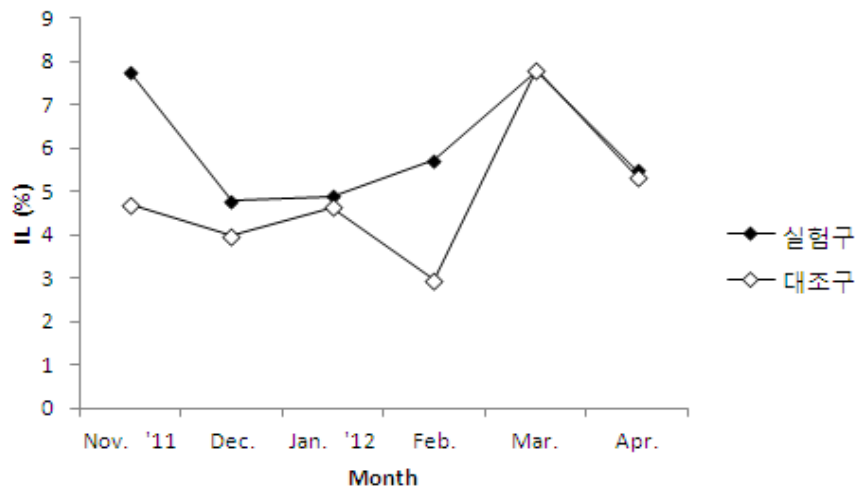


그림 3-4-154. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 강열감량 비교

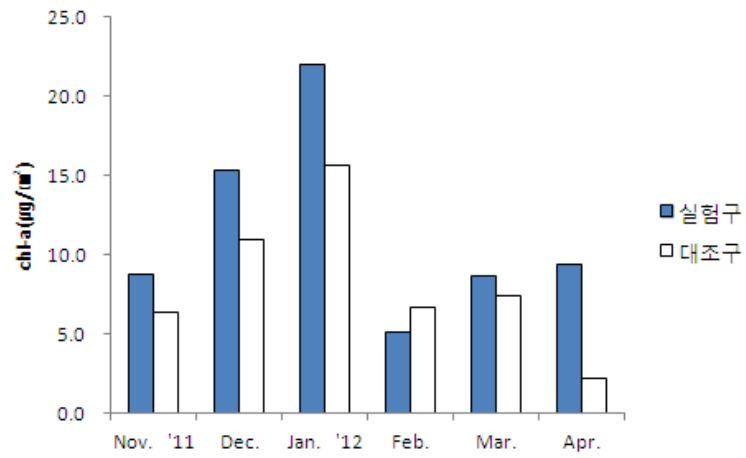


그림 3-4-155. 남성리 다목적 이용 입체양식 시험어장 저질의 엽록소-a 비교

제5절 대상 생물의 생리 및 생화학적 분석

1. 생리 및 생화학적 조성 비교

가. 바지락

(1) 건강도 지수 (Condition index)

(가) 실험 방법

2010년 11월, 2011년 2월, 12월, 2012년 1월, 2월, 3월, 4월에 각 두 정점에서 채집하여 얻어진 바지락의 quality를 알아보기 위해 각 개체의 각장을 측정 후 개각하여 패각 내 육질부가 차지하는 정도를 알아보는 건강도 지수(condition index)를 조사하였다. 바지락의 패각과 조직의 건중량을 구하기 위해 조직과 패각을 각각 분리하여 60℃에서 이틀간 건조 한 후 측정 하였다.

바지락의 건강도 지수는 Mann and Glomb(1978)의 방법에 따라 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$CI(\text{condition index}) = \frac{\text{꼬막의 조직 건중량(g)}}{\text{꼬막 패각 건중량(g)}} \times 100$$

(나) 실험 결과

표 3-5-1~2는 두 정점에서 채집한 바지락의 월별 각장, 조직, 패각의 건중량과 이를 이용해 구한 건강도 지수 결과이다. 복합양식을 하고 있는 다목적 이용복합 양식장의 초기 12월의 바지락의 건강도 지수는 최소 3.97에서 최대 9.24의 분포를 보였고 평균은 7.30으로 나타났다. 그 후 1월부터 4월까지 6.94, 9.84, 14.52, 13.3의 분포를 보였고 바지락 양식만 하고 있는 구조개선 패류 양식장은 12월부터 4월까지 7.47, 7.47, 8.13, 12.73, 20.44의 분포를 보여 다목적 이용복합 양식장 보다는 더 높은 건강도 지수를 보였다.

그림 3-5-1~3은 두 정점에서 채집한 바지락의 월별 각장, 조직 건중량과 건강도 지수를 비교한 그래프이다. 두 정점에서 채집된 바지락의 각장은 시간이 따라 증가 하는 경향을 보였으나 굴 복합 양식이 같이 이루어지고 있는 다목적 이용복합 양식장에서 채집된 바지락이 구조개선 패류 양식장에서 채집된 바지락보다 더 큰 각장을 가지고 있었다. 또한 채집 된 바지락의 조직 건중량 또한 시간에 따라 더 무거워져 조직 건중량 또한 각장의 크기와 비례하게 증가함을 확인 할 수 있었다.

그러나 건강도 지수는 구조개선 패류 양식장에서 채집 된 바지락이 다목적 이용복합 양식장에서 채집 된 바지락보다 더 높게 나타났다.

표 3-5-1. 바지락(다목적 이용 복합양식장)의 각장, 패각 건중량, 조식 건중량, 건강도 지수

	SL(mm)		dry tissue(g)		dry shell(g)		condition index	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Nov. 2011	30.29	1.97	0.21	0.09	3.15	0.37	6.30	1.93
Jan. 2012	31.93	2.11	0.25	0.07	3.71	0.72	6.94	2.08
Feb. 2012	33.83	2.18	0.53	0.14	3.69	0.75	14.52	2.99
Mar. 2012	36.08	2.24	0.57	0.21	4.29	0.99	13.30	3.48
Apr. 2012	37.13	1.15	0.57	0.05	4.29	0.17	9.84	0.79

표 3-5-2. 바지락(구조개선 패류양식장)의 각장, 패각 건중량, 조식 건중량, 건강도 지수

	SL(mm)		dry tissue(g)		dry shell(g)		condition index	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Nov. 2011	32.23	5.47	0.34	0.15	3.95	1.64	7.47	0.82
Jan. 2012	32.45	2.46	0.27	0.10	3.66	0.57	7.47	2.62
Feb. 2012	33.06	1.98	0.44	0.18	3.51	0.54	12.73	5.66
Mar. 2012	34.66	2.26	0.52	0.17	4.06	0.89	20.44	6.71
Apr. 2012	34.78	1.27	0.33	0.06	4.07	0.19	8.13	1.03

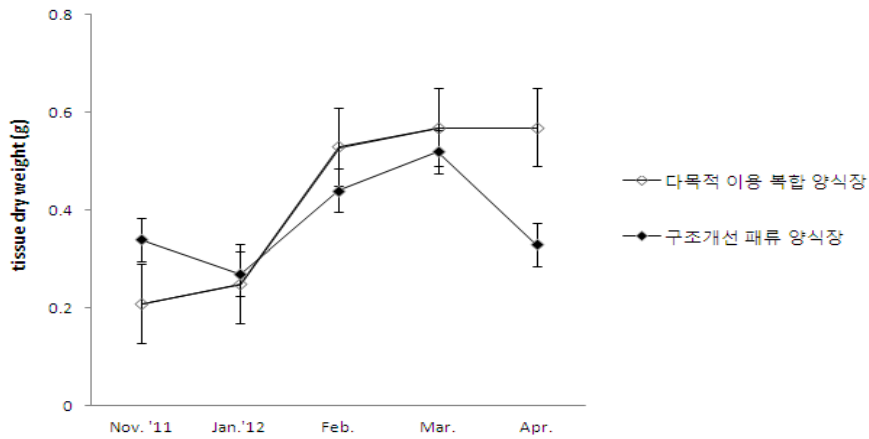


그림 3-5-1. 바지락 각장 변화

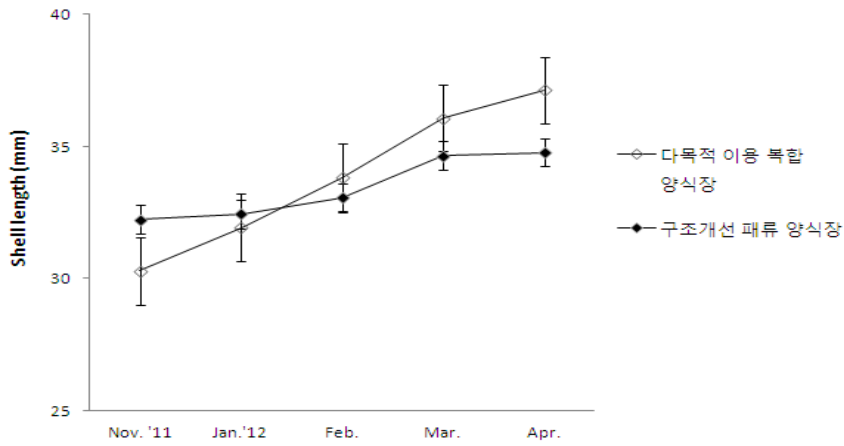


그림 3-5-2. 바지락 조직 건중량 변화

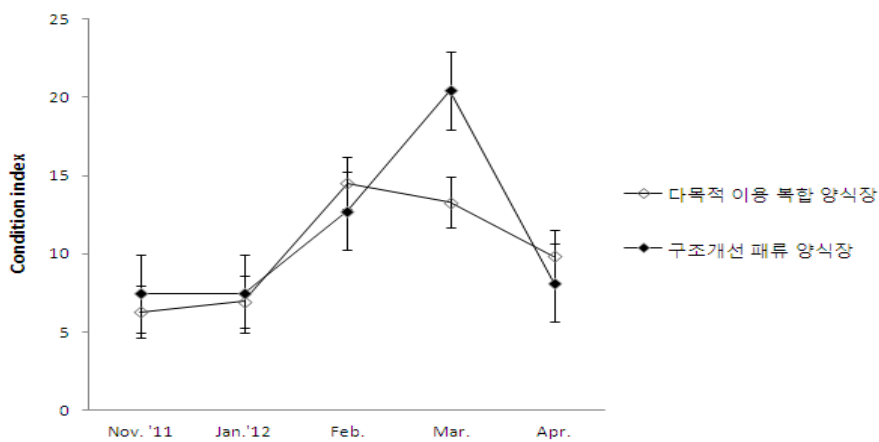


그림 3-5-3. 바지락 건강도 지수 변화

(2) 여수율(Clearance rate)

(가) 실험 방법

여수율은 단위시간당 직경이 $4\mu\text{m}$ 이상인 입자가 제거된 물의 양으로 정의되며 본 연구에서 바지락의 여수율은 일정 부피의 해수 내 부유 플랑크톤의 제거 속도를 이용하여 측정하였다. 여수율의 측정법은 정수식과 유수식이 있으나 연구의 편의상 정수식을 이용하였다. 이 때 배양액내 부유 플랑크톤농도의 균일화를 위해 일정한 속도로 자석교반기를 회전시켜 배양액을 균질화 시켜 주었고 격자모양의 플라스틱판을 이용해 바지락과 교반기의 거리를 유지하여 바지락이 받는 스트레스를 최소화 하였다. 모든 여수율 실험에서, 실험 진행 중 조류 농도를 쉽게 알기 위해 실험 전 배양된 조류의 농도를 Hemocytometer를 이용해 계수 한 후 1×10^3 , 1×10^4 , 5×10^4 , 1×10^5 , 5×10^5 로 희석했다. 그 후 형광측정기를 이용하여 형광값을 구한 후 형광값과 조류 농도와의 검정선을 작성하였고 실험 진행 중에는 조류를 직접 계수 하지 않고 형광값을 측정하여 실험 시간을 단축 하였다.

바지락의 여수율에 공통적으로 사용 된 식물플랑크톤(조류) *Phaeodactylum tricornutum*, *Tetraselmis suecica*는 이때패류의 일반적인 먹이로 잘 알려져 있으며 대량배양이 가능하여 먹이생물로 많이 사용되고 있다. *P. tricornutum*과 *T. suecica* 배양액은 $0.45 \mu\text{m}$ 여과지로 여과시킨 후, 멸균하여 사용하였고 멸균 해수의 1000mL당 f/2 media 0.175mL을 넣어주었다. 수온 18°C , 염분 32~33psu해수에서 적당한 밀도를 유지하며 배양되었고 조도는 형광등을 이용하여 높여주었다.

1) 먹이 별 여수율

바지락은 실험 일주일 전 실험실로 가져와 패각의 이물질을 깨끗이 씻어주었으며 필터 해수(32~33psu, 18°C)가 담긴 수조에서 순치되었으며 실험 조건으로 순치 되었다. 순치 과정에서 이틀째 날과 네 번째 날에 먹이로 *P. tricornutum* (규조류)를 공급 해주었고 그 이후 실험조건의 표준화를 위해 실험 전날 까지 먹이를 공급하지 않았다.

바지락의 먹이 별 여수율 측정은 총 6개의 1L비커에서 각 먹이생물별로 바지락 한 개체씩 총 6개체를 선택 한 후 실험생물을 700ml의 여과시킨 배양액에 넣고 총 3개의 비커에는 5×10^3 의 *P. tricornutum*을 다른 3개의 비커에는 *T. suecica* 을 1×10^4 의 농도로 넣어 주었다(그림 3-5-4).

다음, 실험생물이 패각을 열고 여과를 시작한 순간을 초기 플랑크톤농도($t=0$)으로 하고, 배양액의 플랑크톤의 농도를 약 60분간 연속적으로 측정하였다. 플랑크톤 농도의 측정은 형광측정기를 이용하였으며 시료 채취 직후 최단 기간 내에 실시하였다. 또한 형광값을 측정하여 바지락에 의해 해수내의 플랑크톤 농도가 감소하고 있음을 확인하며 실험을 진행하였다.

플랑크톤 농도(C_t)는 아래의 식과 같이 시간(t)에 따라 지수적으로 감소하였다.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-b^* \cdot t}$$

C_t : 플랑크톤 농도(cell ml^{-1})
 C_0 : 실험시작 시의 플랑크톤 농도(cell ml^{-1})
 b^* : 기울기
 t : 실험진행 시간(h)

이렇게 구해진 기울기를 이용하여 바지락의 개체별 여수율(CR_{ind})과 무게에 따른 여수율(CR_{wt})을 아래의 식과 같이 계산 하였다.

$$CR_{\infty} (L \cdot h^{-1}) = V \cdot b^*$$

$$CR_{wt} (L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}) = V \cdot b^* \cdot W^{-1}$$

V : 배양액 부피(ℓ)
 W : 육질부 건조량(g)

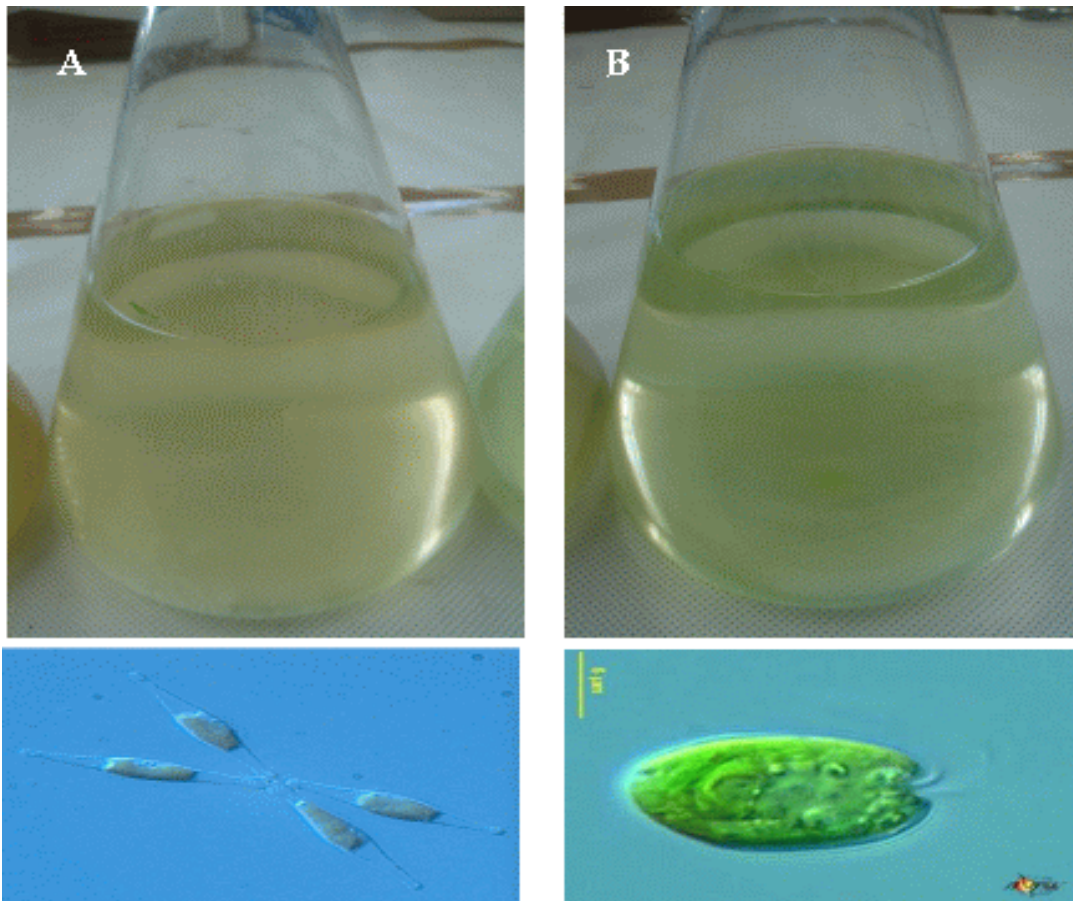
(a) *P. tricornutum*(b) *T. suecica*

그림 3-5-4. 먹이 별 여수율에 사용 된 플랑크톤

2) 수온 별 여수율

바지락은 먹이 별 여수율 측정과 마찬가지로 실험 일주일 전 실험실로 가져와 패각의 이물질을 깨끗이 씻어주었으며 필터 해수(32~33psu, 18℃)가 담긴 수조에서 순치되었으며 이후 실험 온도(6, 14, 20℃)로 서서히 순치하면서 배양 수온의 변화는 하루 2℃를 넘지 않도록 하였다.

바지락의 수온 별 여수율 측정은 해수 온도를 각각 6, 14, 20℃로 조절하였으며, 연속적으로 수온을 측정하여 수온이 해당 범위를 벗어나지 않도록 하였다. 해수 온도별로 각각 5개의 1L비커에서, 총 15개의 비커에서 이루어 졌다. 실험생물을 700ml의 여과시킨 배양액에 넣고 *P. tricornutum*의 농도는 1×10^5 로 맞춰 주었다.

다음 과정은 1) 먹이별 여수율과 동일하다.

3) 개체 크기 별 여수율

개체 크기 별 여수율 측정에 사용된 바지락 앞선 여수율 실험들과 같이 순치되었으며 본 실험에서는 각장을 기준으로 작은개체(각장 32.33 ± 0.33 mm), 큰 개체(각장 39.30 ± 0.54)로 나누었고 평균 건중량은 각각 1.50 ± 0.05 g, 1.27 ± 0.04 g이었다.

모든 비커에는 각각 2×10^5 cells/ml의 농도로 *P. tricornutum*을 첨가하였으며 이후 여수율을 측정하였다. 바지락의 개체 크기별 여수율 측정은 14℃와 18℃, 두 농도에서 각각 작은 개체, 큰 개체를 나누어 진행하였고 개체 크기별 여수율은 1L비커에 바지락 두 개체씩 12개체를 선택한 후 700ml의 여과시킨 해수에 넣어 측정하였다.

다음 과정은 1) 먹이별 여수율 측정과 동일하다(그림 3-5-5).



그림 3-5-5. 바지락의 온도 별 여수율 측정

(나) 실험 결과

1) 먹이 별 여수율

바지락의 *P. tricornutum*에 대한 무게당(건중량) 여수율($L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)은 1.64에서 2.18 $L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보여 평균적으로 1.91 ± 0.38 (평균 \pm 표준편차) 였으며 3.18에서 3.70

$L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보인 *T. suecica*에 대한 여수율 보다 낮게 나타났다(표 3-5-3). 반면 무게를 고려한 여수율(CR_{wt})은 개체의 무게를 고려하지 않은 개체 여수율(CR_{ind})을 건중량으로 나눈 값으로 CR_{wt} 은 바지락 개체의 건중량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 전반적으로 *T. suecica*에 대한 여수율이 높은 편이었는데 이 때 최대 여수율은 약 $3.70 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 으로 측정되었다.

2) 온도 별 여수율

실험 조건 중 가장 낮은 온도인 $6 \sim 7^{\circ}C$ 에서 바지락의 무게당(건중량) 여수율($L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)은 0.05에서 $0.60 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보여 평균적으로 0.27 ± 0.16 (평균 \pm 표준편차)였으며 0.19에서 $2.38 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보인 $14 \sim 15^{\circ}C$ 에서의 여수율과 0.67에서 $3.03 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보인 $19 \sim 20^{\circ}C$ 에서의 여수율 보다 낮게 나타났다(표 3-5-4, 그림 3-5-6).

바지락은 수온이 증가함에 따라 여수율이 증가하는 경향을 보였으며 $6 \sim 7^{\circ}C$ 조건과 $14 \sim 15^{\circ}C$ 조건간에 통계적으로도 유의 한 차이를 보였다. ($p=0.016 < 0.05$), 또한 $6 \sim 7^{\circ}C$ 조건과 $19 \sim 20^{\circ}C$ 조건간에도 통계적으로 매우 유의함을 알 수 있었다($p=0.000 < 0.05$). 그러나 $14 \sim 15^{\circ}C$, $19 \sim 20^{\circ}C$ 각각의 조건에서는 바지락의 여수율에 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 실험은 수온이 증가함에 따라 이매패류의 여수율도 증가한다는 많은 연구 결과와 일치하며 특히 변온동물인 바지락이 저온에서 대사과정에 부정적 영향을 받는다는 점과도 상응하는 결과이다.

표 3-5-3. 먹이별 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율

Species	SL(mm)		dry tissue(g)		$CR_{ind}(L \cdot h^{-1})$		$CR_{wt}(L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1})$	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>P. tricornutum</i>	4.01	0.52	0.11	0.02	0.22	0.08	1.91	0.38
<i>T. suecica</i>	3.92	0.35	0.10	0.02	0.35	0.05	3.44	0.37

표 3-5-4. 온도별 여수율 측정 시 바지락의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율, 개체 무게당 여수율

Temperature ($^{\circ}C$)	SL(mm)		dry tissue(g)		$CR_{ind}(L \cdot h^{-1})$		$CR_{wt}(L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1})$	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
6~7	36.48	1.05	0.46	0.03	0.12	0.07	0.27	0.16
14~15	35.98	1.84	0.44	0.16	0.48	0.32	1.19	0.85
19~20	36.14	1.57	0.45	0.05	0.81	0.45	1.79	0.95

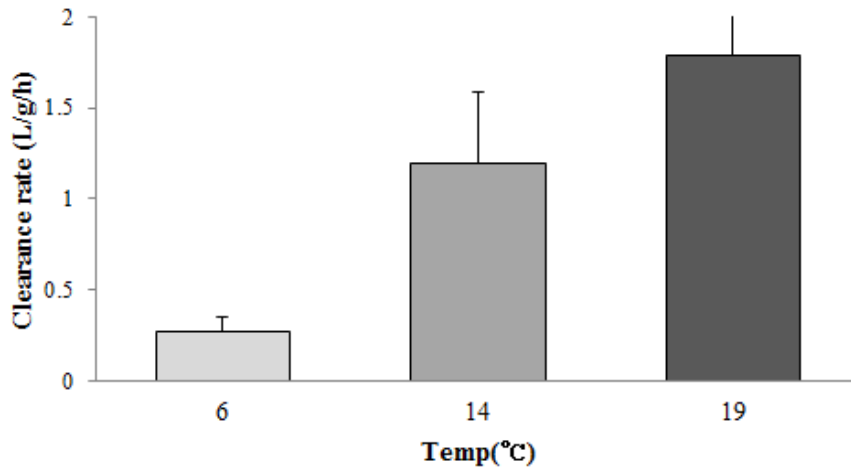


그림 3-5-6. 바지락의 온도별 여수율

3) 크기 별 여수율

바지락의 크기별 여수율은 14, 18°C의 두 수온에서 바지락을 큰 개체와 작은개체로 나눠 측정하였다. 14°C에서 바지락 큰 개체의 무게당(건중량) 여수율($L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)은 0.19에서 $1.92 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위를 보이며 평균적으로 0.94 ± 0.77 (평균±표준편차) 였으며 같은 온도의 작은 개체에서는 0.59에서 $2.38 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 범위로 나타났으며 평균적으로는 1.47 ± 0.67 (평균±표준편차)정도로 나타났다. 또한 18°C에서는 바지락 큰 개체의 여수율($L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)은 0.70 ± 0.69 (평균±표준편차), 작은 개체의 여수율은 1.90 ± 2.29 (평균±표준편차)로 나타났다(그림3-5-7, 표3-5-5).

여수율에 대한 개체크기의 영향은 14, 18°C의 모든 실험 온도에서 무게가 증가함에 따라 여수율이 감소하는 경향을 통해 확인 할 수 있었다.

개체의 크기는 수온과 마찬가지로 생물의 신진대사율과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 개체크기가 증가할수록 여수율이 감소하는 결과가 일반적이다. 이와 같은 관계는 개체의 크기가 증가할수록 단위무게당 대사요구량이 낮아 여수율이 감소한다고 설명될 수 있으며 또한 개체크기에 대한 아가미 표면적의 비가 개체 크기가 증가함에 따라 감소하기 때문에 그에 따른 여수율도 감소한다는 보고도 있다. 수온이 증가할수록 여수율이 증가하고 개체의 크기는 작을수록 여수율이 높다는 연구가 대부분이나 어떤 요인이 더 큰 영향을 미치는 지에 대해서는 알려져 있지 않다.

표 3-5-5. 바지락의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율

Temperature (°C)		SL(mm)		dry tissue(g)		CR _{ind} (L·h ⁻¹)		CR _{wt} (L·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
14	Large	40.85	1.84	0.59	0.06	0.54	0.94	0.94	0.77
	Small	31.12	1.01	0.29	0.03	0.42	0.18	1.47	0.67
18	Large	39.30	1.50	0.54	0.05	0.40	0.41	0.70	0.69
	Small	32.33	1.27	0.33	0.04	0.58	0.66	1.90	2.29

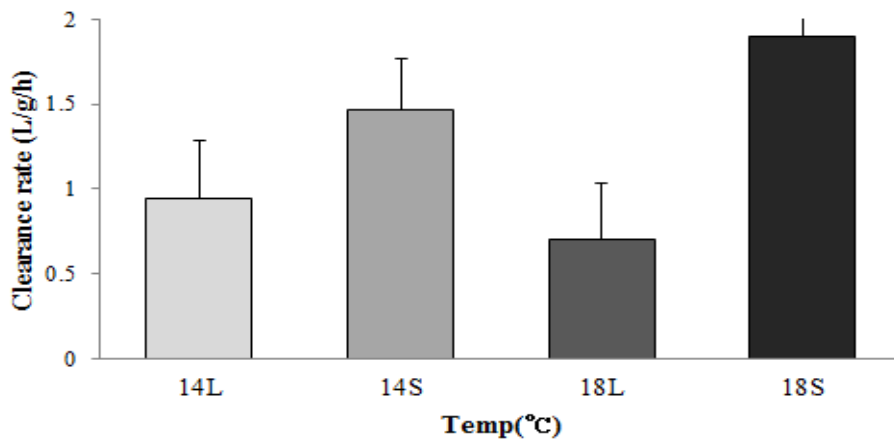


그림 3-5-7. 바지락의 크기별 여수율

(3) 호흡률(Respiration rate)

(가) 실험 방법

바지락의 호흡율은 온도별(6, 14, 20℃) 여수율 측정에 사용하였던 개체들을 이용하여, 정적인 방법으로 측정하였다. 측정 전 실험실과 실험에 사용되는 해수의 온도를 실험온도로 맞춰 주기 위해 연속적으로 온도를 측정 하였다.

실험은 15 l (10 × 30 × 100cm³) 크기의 용기에 해수를 가득 채운 후, 500 ml 광구병을 잠기게 하여 용존산소 측정기(YSI)를 이용하여 초기 값을 측정하였고, 실험구 마다 각각 3 개체의 실험생물을 각 광구병에 옮긴 후, 기포가 생기지 않게 잘 밀봉하여 4시간 후에 감소된 산소농도를 측정하였다. 각 처리군 별로 3회의 반복수를 두어 분석하였다. 다음과 같은 계산식을 이용하여 호흡율을 구하였다.

$$RR = \frac{(C_0 - C_1) \cdot V}{B(t_0 - t_1)}$$

c_0 와 c_1 : 초기 산소농도 값과 실험이 끝난 후 산소농도 값
 V : 호흡계 내의 해수 부피
 B : 바지락의 건중량
 t_0 와 t_1 : 측정 시간

(나) 실험 결과

바지락의 호흡률은 대체적으로 온도의 증가에 따라 호흡률도 증가하는 경향을 보였다. 6℃ 실험에서는 평균적으로 실험생물의 단위 중량당 0.208 O₂ mg/h을 나타내고, 호흡률의 범위는 0.202~ 0.210 O₂ mg/h을 나타냈고 14℃ 실험에서는 평균 0.540 O₂ mg/h, 20℃ 실험에서는 평균적으로 0.763 O₂ mg/h로 가장 높은 호흡률을 보였다(그림 3-5-8).

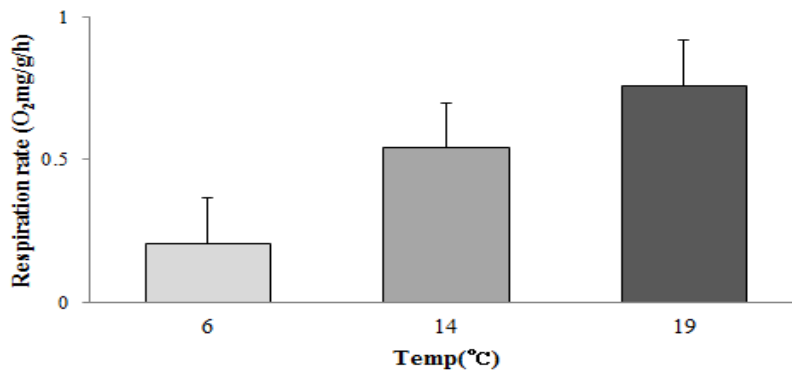


그림 3-5-8. 온도별 바지락의 호흡률 결과

(4) 성장잠재력(Scope for growth)

(가) 실험 방법

모든 생물체들은 성장이나 몸을 유지하기 위하여 외부로부터 영양분을 섭취하여 세포, 조직, 기관 등을 유지 및 기능화하기 위해 에너지원으로 사용한다. 이때 패류 또한 섭취된 에너지는 몸을 유지하거나 활동하는데 쓰이는 대사, 배설 및 분비를 통해서 소비되고, 적정 대사량 보다 많은 에너지를 섭취했을 경우, 성장 또는 에너지 저장과 같은 형태로 체내에 남겨지게 된다.

만약 성장잠재력이 양의 값이면 외부로부터 영양분을 섭취하여 성장과 생식에 이용하기 위한 에너지원으로 되었다는 것을 알 수 있고 음의 값을 나타내면 성장과 생식을 위한 에너지보다 신진대사로 인한 손실된 에너지가 더 많다는 것을 반영한다. 성장을 위해 가용한 에너지(P: quantity produced as tissues or for reproduction)를 계산하기 위하여, 에너지 방정식의 생리학적 성분을 다음과 같은 에너지 등가량으로 환산하였다.

$$C = \text{Clearance rate} \times \text{particle concentration} \times \text{energy of } P.\text{tricornutum}$$

$$A = C(Jh_{-1}) \times \text{absorption efficiency}$$

$$SFG = A - \text{respiration rate}$$

본 실험에서 실험먹이로 사용된 *P. tricornutum*의 에너지는 16.32 J/mg라고 가정되었으며(Widdows, 1978), 산소의 에너지 전환계수는 Small & Widdows(1994)가 사용한 13.98 Jmg/O₂을 적용하였다.

바지락의 성장잠재력은 온도 별 구배를 주어 측정 한 여수율과 입자 농도 등을 이용하여 성장잠재력 계산식에 대입하여 구하였다.

(나) 실험 결과

바지락의 성장은 서식 환경의 특성과 스트레스에 영향을 받으며, 이러한 성장을 측정함에 있어 직접적인 방법보다는 에너지 습득(섭이율)과 에너지소비(산소소비율, 암모니아 분비율) 사이의 균형을 반영하는 생리적 상수 SFG를 사용하여 평가한다.

본 연구에서 바지락의 온도에 따른 SFG는 호흡률과 같이 수온이 증가 할수록 성장잠재력 또한 증가하는 경향을 보였다. 6℃에서는 SFG가 4.97(J/g/h), 14℃에서는 24.8(J/g/h)로 나타났으면 가장 높은 온도인 20℃에서는 48.78(J/g/h)로 SFG가 가장 높게 나타났다(그림 3-5-9).

성장 잠재율은 흡수한 에너지에서 호흡과 암모니아 분비하는데 소비한 에너지를 제외한 여분의 에너지로써 잠재적으로 성장과 생식활동을 할 수 있는 에너지를 나타낸다. 본 연구의 결과는 바지락의 일반적인 대사에 관한 예측과 일치한다.

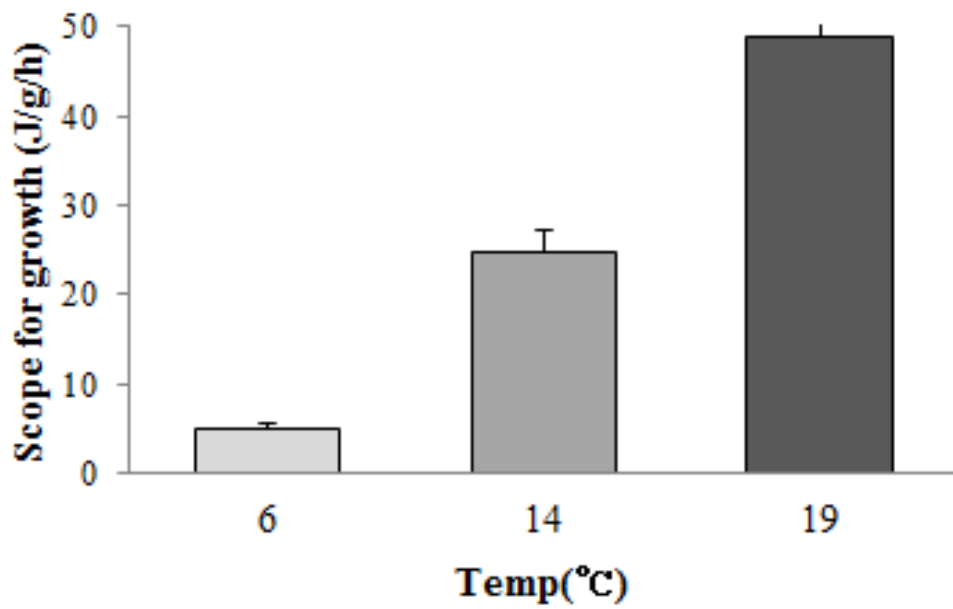


그림 3-5-9. 바지락의 온도별 성장잠재력 결과

(5) 생화학적 조성 비교

(가) 실험 방법

1) 조지질 함량(%)

식품의 지질 함량은 일반적으로 에테르 추출물로 나타낸다. 에테르 추출물 중에는 유지 이외에 지방산, 인지질, 리포이드, 알코올류, 왁스류, 알칼로이드, 유기산, 정유(essential oil), 지용성 색소 등이 함유되어 있기 때문에 조지방(crude fat)또는 지질이라 한다. 본 실험에서 사용한 Soxhlet 추출법은 건조된 시료에 적합하고, Majonnier 추출법은 액체, 반고체 및 산분해에 의해 액체로 조제한 시료에도 널리 이용된다. 추출용매로는 에테르, 석유에테르, *n*-헥산, 클로로포름, 메탄올 등이 쓰인다.

먼저 12월부터 4월까지 두 정점에서 채집 해 온 바지락 2개체를 동결건조 하여 분말로 만든 후 약 2g을 원통거름종이에 취한다음 탈지면으로 얇게 덮고 비커에 넣어 100~105℃에서 2~3시간 건조 한 후 원통거름종이를 데시케이터에서 냉각한 다음 추출관에 장착했다.

미리 100~105℃에서 1시간 정도 건조하여 항량을 구해둔 지질수기에 2/3량의 에테르를 넣은 후 냉각관, Soxhlet 추출관 및 수기를 연결하고 50~60℃(80방울/분)에서 8~16시간 추출했다(에테르가 증발되어 감소하면 냉각관 상부에서 공급했다). 추출이 끝나면 Soxhlet 추출장치를 분리하여 핀셋으로 원통거름종이를 꺼낸 다음 남은 에테르는 전량 회수하고 수시의 내용물을 항온수조나 회전증발 농축기에 의해 건조하였다. 마지막으로 수기 외부를 면포로 닦아내고 90~105℃에서 1시간동안 건조한 다음 30분간 냉각 후 칭량하였다(그림 3-5-10~11).

$$\text{조지방 (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{S} \times 100$$

W_0 : 수기 무게

W_1 : 지질 추출 후 수기 무게

S : 시료 무게



그림 3-5-10. 바지락 조지질 측정 중 Soxhlet 추출기에 장착할 원통여과지

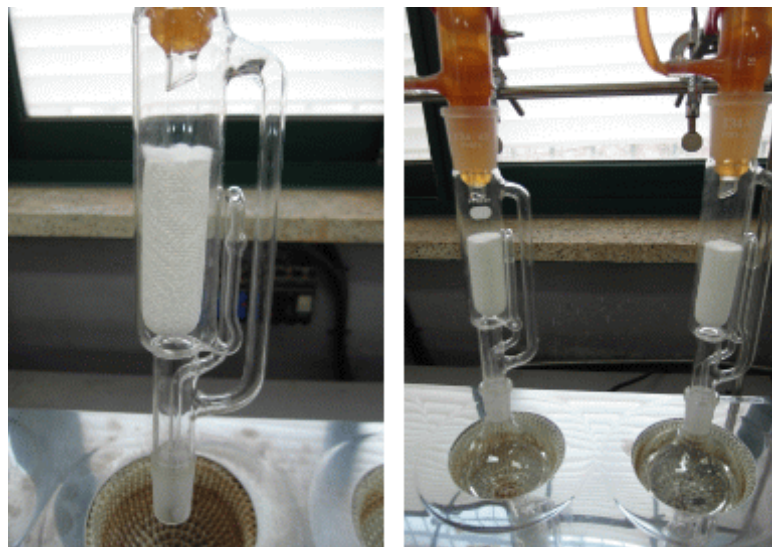


그림 3-5-11. Soxhlet 추출기에 원통여과지를 장착한 모습

2) 조단백질 함량(%)

단백질의 평균적인 조성을 보면 탄소(52%), 수소(7%), 산소(23%), 질소(약 16%), 유황(약 2%) 등으로 되어 있는데, 일반적으로 식품 시료의 질소 함량을 구해 질소계수를 곱한 것을 조단백질 함량으로 하여 본 연구에서는 평균 질소계수를 6.25로 하였다.

단백질 함량을 구하는 여러 방법 중 본 연구에서는 매크로켈달법(macro-Kjeldahl method)을 이용하여 5개월동안 매일 채집한 바지락의 단백질 함량을 측정하였다.

먼저 바지락 시료를 분해하기 위해 약 1g을 정확하게 취하고 분해촉진제 3g을 연이어 취하여 폴리에틸렌 필름이나 질소를 함유하지 않은 종이에 싸서 플라스크의 목부분 기벽에 묻지 않게 주의해서 넣었다. 그 후 진한 황산 20ml를 서서히 가하여 시료와 잘 혼합하였다. 분해용 플라스크를 분해대에서 천천히 온도를 상승시키면서 가열하기 시작하였고, 가스(유독)는 수류펌프로 통풍실에서 배기하였다. 분해액이 청색이 되면 추가로 1시간 더 가열하였으며 서서히 돌려 흑색물질이 황산에 잠기게 하였다. 냉각 후 물 30ml로 플라스크의 안벽을 씻으면서 황산을 희석했고 깔때기를 통해 250ml 메스플라스크에 옮긴 후, 분해 플라스크의 내부를 3~4회(각 20ml) 물로 씻어 옮긴 다음 표선(250ml)을 맞춰 주었다.

분해된 시료가 든 단백질튜브를 킬달질소측정기구(JP SELECTA, SP/PRO-NI TRO)의 증류부분에 고정시킨 후 강 알칼리성이 수산화나트륨을 단백질분해튜브에 주입하였다(그림 3-5-17). 반응하여 나온 암모니아 기체들은 처음에는 열로 인해 위로 올라갔으나 냉각수로 인해 중화부분으로 가라앉게 되면서 연결시킨 삼각플라스크 속에 있던 봉산에 포집되었다. 삼각 플라스크 안에는 봉산과 지시약을 함께 넣었기 때문에 약한 염기성을 띠는 암모니아가 지시약에 반응하면서 용액의 색깔이 푸른색으로 변했다(그림 3-5-12~13). 킬달 질소측정기구(JP SELECTA, SP/PRO-NI TRO)의 질산 수율은 21.2%였다.

시료의 분해, 증류 및 중화를 마친 후 적정을 하였다. 삼각플라스크에서 얻어진 용액이 붉은색으로 변할 때까지 0.1N-H₂SO₄ 표준용액으로 적정하였다. 이 때 뷰렛을 사용하였고 콕을 이용하여 삼각플라스크 안으로 떨어지는 0.1N-H₂SO₄ 표준용액을 조절하였으며 적정하는데 사용된 0.1N-H₂SO₄ 표준용액의 부피는 0.4ml로 측정되었다.

시료의 전질소량은 아래의 공식을 통해 구할 수 있었다.

$$\text{조단백질(\%)} = \frac{0.0014008 \times (V_0 - V_1) \times f \times D \times N \times 100}{S}$$

V_0 : blank test (공실험)의 0.1N-NaOH 소비 ml 수

: 본 실험에 필요한 0.1N-NaOH 소비 ml 수

f : 0.1N-NaOH 표준 용액의 역가 (factor)

S : 시료(sample)의 채취량

D : 희석배수

N : 6.25 (질소 환산계수)

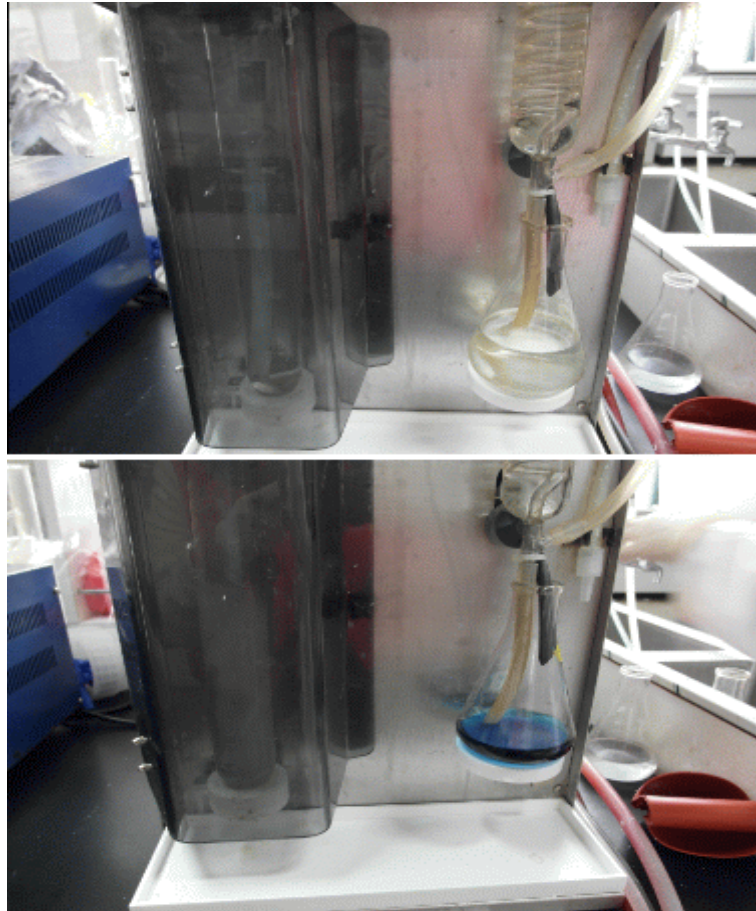


그림 3-5-12. 킬달질소측정기구(JP SELECTA, SP/PRO-NI TRO)



그림 3-5-13. 지시약에 반응하여 푸른색을 띠

3) 수분 함량(%)

바지락의 수분함량은 상압가열 건조법을 이용하여 구하였다. 본 실험에서 바지락의 증발을 쉽게 하기 위해 칼로 절개 해 표면적을 넓혀 주었다. 본 실험에서 사용된 상압가열건조법은 수분을 유일한 휘발 성분으로 보고 건조전과 건조후의 중량차를 수분량으로 보며 가열하는 동안 시료 성분이 화학적인 변화 없이 모두 휘발한다는 조건을 전제로 하는데 가열에 불안정하거나 휘발하는 성분이 함유된 경우에는 부적당하다. 그러나 온도나 압력 등이 크게 문제가 되지 않을 경우에는 일반적으로 가장 많이 사용되는 방법으로 건조온도를 105~110℃로 해 주었다.

수분 함량 측정에 앞서 수분 수기를 전기정온건조기(Dry oven)에 넣고 1~2시간 건조한 후, 건조기(Desiccator)에 30분간 방랭하는 과정 거쳤고 수분수기의 항량을 0g으로 한 후, 약수저를 이용하여 2g을 기준으로 하여 시료를 수분수기에 옮겨 담았다.

시료가 담긴 수분수기를 건조기(Dry oven)에 넣어 1시간 동안 건조한 후 건조기(Desiccator)에 30분 방랭시켰다.

시료의 수분 함량을 측정하기 위해 아래와 같은 공식을 이용하였다.

$$\text{시료의 수분(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100$$

W0 : 수분수기의 항량

W1 : 수분수기에 시료를 담은 무게

W2 : 건조 후 수분수기와 시료의 무게

4) 회분

식품을 태울 때 남는 재의 시료에 대한 %를 회분 또는 조회분이라 한다. 이것은 무기성분의 총량과는 일치하지 않는데, 그 까닭은 식품 시료를 400~600℃에서 가열하면 유기물은 격렬하게 산화 분해되어 여러 가지 가스(수증기, 수소, 탄산가스, 암모니아, 아황산가스 등)를 생성하면서 타르상으로 되고 곧 탄화 되는가 그 동안에 유기물과 결합된 양이온은 탄산염이 되고, 일부는 공존하는 음이온과 반응하여 인산염과 황산염이 되며, 또한 염소 등의 휘발성 무기물은 휘산 되므로 조성이 다르게 되기 때문이다.

본 연구에서 회분을 정량하기 위해 전기로에 의한 직접회화법을 사용 하였다. 각 정점에서 채집해 온 바지락3개체씩을 항량이 구해진 회화용기에 넣어 550~600℃의 범위의 일정한 온도에서 2시간 동안 회화시켰다. 회화가 끝난 후 실온으로 방냉 후 시료가 담긴 회화용기의 무게를 재 아래의 공식에 넣어 조회분을 구하였다.

$$\text{회분}(\%) = \frac{W_1 - W_0}{S} \times 100$$

W0 : 도가니의 항량
 W1 : 회화 후의 도가니 + 회분(g)
 W2 : 시료의 무게

5) 탄수화물

$$\text{탄수화물}(\%) = 100 - \text{조지질}(\%) - \text{조단백질}(\%) - \text{회분}(\%) - \text{수분}(\%)$$

(나) 실험 결과

바지락의 생화학적 조성은 12월부터 4월까지 총 5번에 걸쳐 채집된 바지락개체를 정점별로 나누어 측정하였다. 수분, 탄수화물, 단백질, 지질, 그리고 회분함량 중 수분이 차지하는 비율이 75.77~79.29% 정도로 가장 높게 나타났으며 이는 일반적인 연구들과 비슷했다. 각 정점별 그리고 월별로 수분함량은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(표 3-5-6). 바지락의 유기성분을 제외한 무기성분인 회분은 1월에 두 정점에서 채집된 바지락에서만 1.61, 1.84%로 약간 낮게 나타났고 1월을 제외한 다른 시료에서는 2.15~2.65%으로 거의 일정한 분포를 보였다.

수분함량과 제외한 일반성분(탄수화물, 단백질, 지질, 회분)의 비율은 단백질, 탄수화물 지질함량 순이었다(그림 3-5-14). 또한 두 정점에서 성장한 바지락과 시중에서 판매되는 일반적인 바지락들과 비교 해보았을 때도 동일한 순으로 각 성분들이 추출 되었다.

표 3-5-6. 바지락의 생화학적 조성

sampling date	sampling site	Moisture (%)	Protein(%)	Carbohydrate(%)	Lipid(%)	Ash(%)
Nov. 2012	a	75.30	14.78	6.83	0.70	2.39
	b	75.42	14.15	7.13	1.00	2.30
Jan. 2012	a	75.77	14.29	7.83	0.50	1.61
	b	75.64	14.83	7.01	0.69	1.84
Feb. 2012	a	79.29	10.91	6.29	0.86	2.65
	b	76.40	11.80	8.50	0.96	2.34
Mar. 2012	a	76.30	13.19	7.56	0.80	2.15
	b	76.30	13.42	7.31	0.79	2.18
Apr. 2012	a	77.51	12.18	6.25	0.89	3.17
	b	75.10	13.44	7.13	0.78	3.55
c		75.37	12.98	7.12	0.57	3.96

a : 다목적 이용복합 양식장

b : 구조개선 패류 양식장

c : 대조구

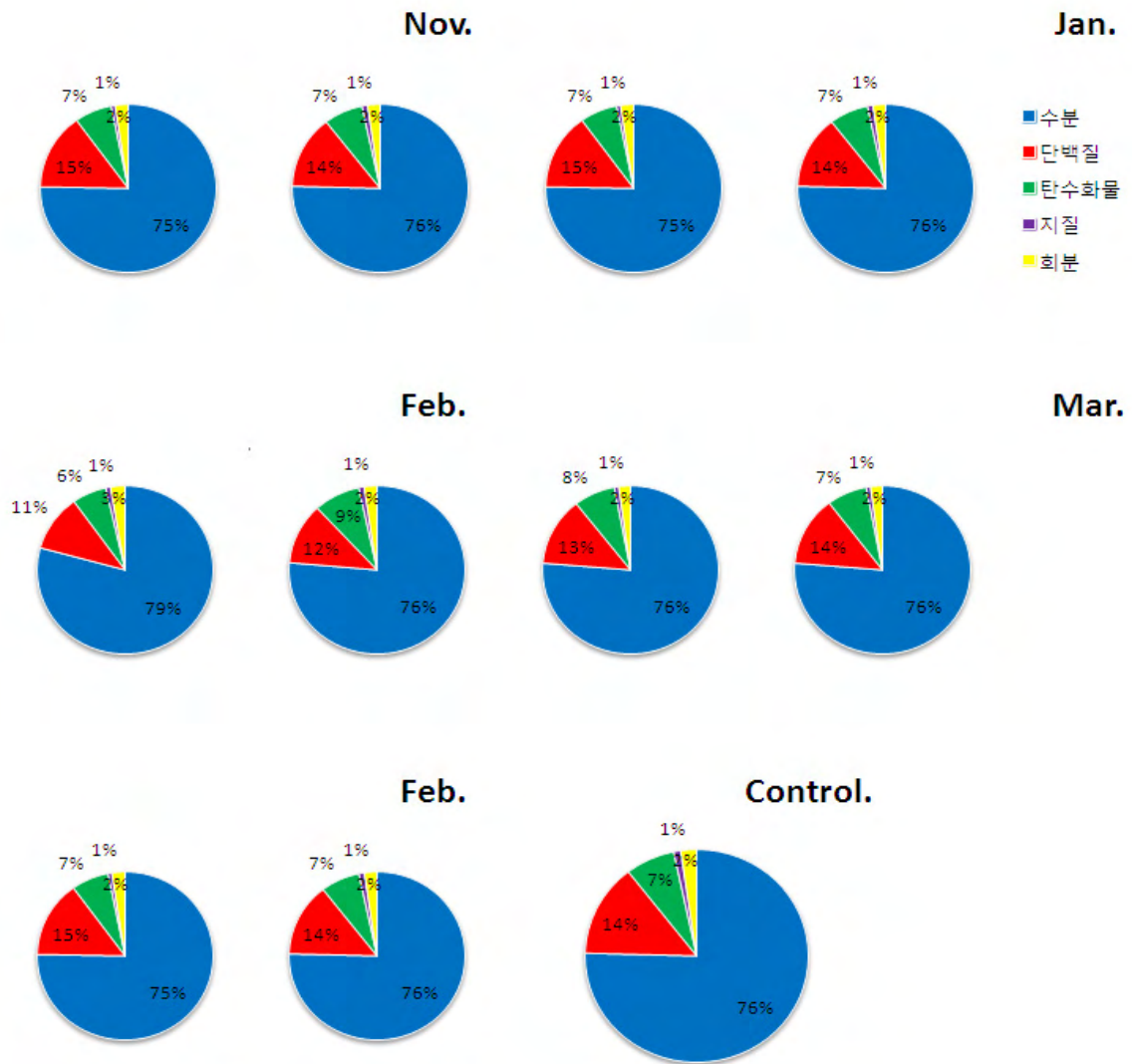


그림 3-5-14. 바지락의 일반성분 비교

(6) 유기오염물질-폴리염화비페닐류(PCBs)

(가) 실험 방법

해양생물은 동결건조된 약 2g을 속실렛장치를 이용하여 추출하였다. 사용된 용매는 디클로로메탄과 헥산 혼합용매(3:1) 200ml이며, 추출시간은 16시간이었다. 추출된 시료는 회전증발농축기를 이용하여 약 5ml로 농축하였다. 생물 시료에 포함된 지방 성분을 제거하기 위하여 GPC(Gel permeation chromatography) 칼럼을 사용하였다. 50g의 Bio-beads S-X3로 유리칼럼에 충전 후 마지막 부분을 0.5g의 실리카겔로 연결하였다. 시료를 주입 후 디클로로메탄과 헥산 혼합용매(1:1) 200ml을 이용하여 1차 100ml은 버리고 2차 분획된 100ml을 분석대상 시료로 사용하였다.

이러한 방법으로 추출을 한 후 분석을 위해 본 샘플들을 정제를 하였다. 정제용 내부표준물질을 주입한 후 다층 실리카겔용 칼럼을 이용하여 정제하였다. 다층 실리카겔용 칼럼에는 칼럼 아래에서부터 무수황산나트륨(1cm), 2% 수산화칼륨이 함유된 실리카겔(3g), 중성 실리카겔(1g), 44% 황산이 함유된 실리카겔(4g)과 22% 황산이 함유된 실리카겔(4g), 중성 실리카겔(1g), 무수황산나트륨(1cm) 순으로 충전물을 충전한 후 시료를 주입하여 헥산 200ml로 용출하였다. 용출이 끝난 시료는 회전증발농축기를 이용하여 약 5ml로 농축하였다. 시료전처리 흐름도는 그림 3-5-15에 나타내었다.

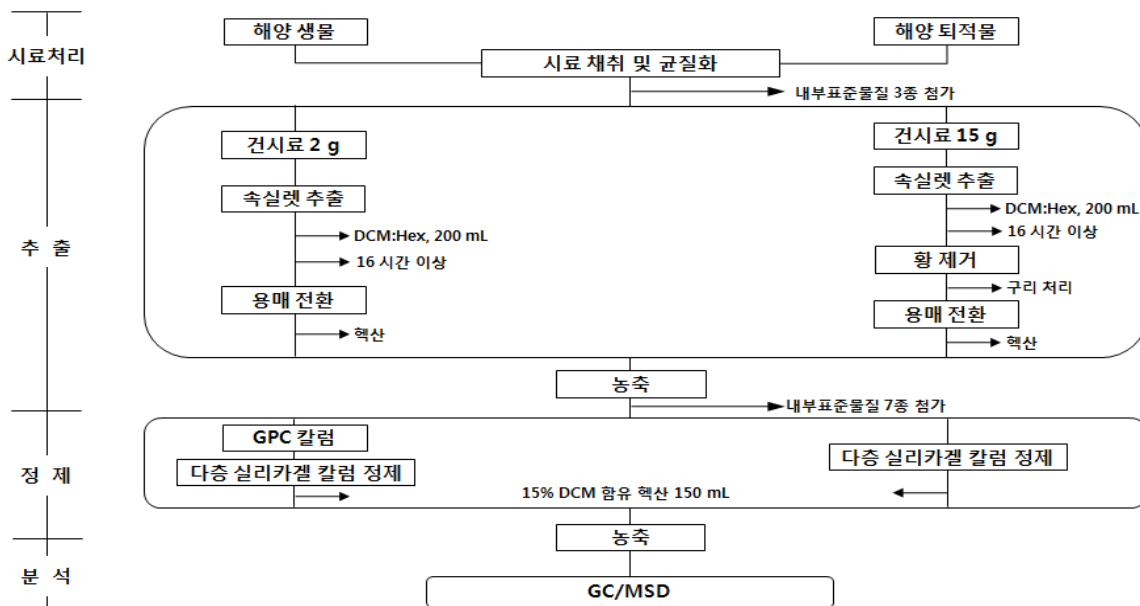


그림 3-5-15. 폴리염화비페닐류(PCBs) 분석을 위한 전처리 흐름도

(나) 실험 결과

남성리 다목적이용복합양식장과 구조개선패류양식장에서 채집한 바지락과 일반양식장에서의 바지락은 분석결과 모두 검출이하의 값을 보였다.

나. 꼬막

(1) 건강도 지수(Condition index)

(가) 실험 방법

1) 1차 조사

꼬막의 1차 조사는 2010년 11월, 2011년 2월에 이루어 졌으며 구조물이 설치 된 처리군과 대조군 2정점에서 채집이 이루어졌으나 대조군에서는 꼬막 종패가 모두 폐사 하여 실험을 진행 할 수 없었다. 처리군에서 채집하여 얻어진 꼬막의 quality를 알아보기 위해 각 개체의 각장을 측정 한 후 개각하여 패각 내 육질부가 차지하는 정도를 알아보는 건강도 지수(condition index)를 조사하였다. 건강도 지수는 바지락의 건강도 지수와 동일하게 구하였다.

2) 2차 조사

2차 조사는 2011년 4월에 종패를 살포 하였고 6개월 후인 2011년 11월, 2012년 1, 2, 3, 4월 채집하여 1차 조사와 같은 방법으로 건강도 지수를 구하였다.

(나) 실험 결과

1) 1차 조사

표 3-5-7은 1차 조사시에 구조물이 설치 된 처리군에서 채집한 꼬막의 월별 각장, 조직, 패각의 건중량과 이를 이용해 구한 건강도 지수 결과이다. 11월 꼬막의 건강도 지수는 최소 1.27에서 최대 4.01의 분포를 나타냈다.

2월 꼬막의 건강도 지수는 1.72에서 3.32의 분포를 보였다. 평균적으로는 2월의 건강도 지수가 더 높은편으로 나타났으나 꼬막의 각 개체별 차이가 크게 나타나 11월과 2월, 월별 간 차이는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

표 3-5-7. 1차조사 시 꼬막의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수

	SL(mm)		dry tissue(g)		dry shell(g)		condition index	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Nov. 2010	11.0	1.18	0.009	0.005	0.357	0.124	2.30	0.65
Apr. 2011	11.8	0.74	0.070	0.008	0.356	0.012	2.80	0.45

2) 2차 조사

표 3-5-8은 2차 조사시에 구조물이 설치된 처리군에서 채집한 꼬막의 월별 각장, 조직, 패각의 건중량과 이를 이용해 구한 건강도 지수 결과이다.

2011년 4월 처리군과 일반양식장에 같은 사이즈의 종패를 살포 하였고 6개월 뒤인 11월부터 2월까지의 일반양식장의 꼬막을 채집 할 수 없어 계매리의 처리군에서 채집한 꼬막만 건강도 지수만 구하였다.

4월 두 양식장에 살포된 꼬막은 약 16.62mm 정도의 각장을 가지고 있었고 건중량은 0.10g, 패각중량은 약 1.23g으로 건강도 지수는 8.89로 측정되었다. 11월에 처리군에서 채집된 꼬막은 각장이 약 20.82mm로 6개월 전보다 4mm 정도 성장하였으며 건중량은 0.12g으로 약 0.01g 정도 성장하였다. 그 후 시행된 1월, 2월, 3월, 4월 채집에서는 거의 동일한 각장과 건중량을 보였다. 건강도 지수 또한 초기 2011년 4월, 8.89정도로 높게 나타난 것을 제외하면 2012년 1월부터 4월까지 4.72~4.87정도로 비슷하게 나타났다.

처리군과 일반양식장의 비교는 3월, 4월 채집시에만 이루어 졌는데 계매리 양식장(처리군)에서 채집된 꼬막은 각장이 19.95mm, 건중량이 0.15g로 일반양식장에서 성장한 꼬막보다 조금 작은 사이즈를 보였으나 건강도 지수는 4.72, 4.87로 비슷한 값을 보였다(그림 3-5-16~18).

1월 20일 채집 시 까지 꼬막의 각장이나 건중량이 증가하였으나 2월, 3월에 채집된 꼬막의 각장이나 건중량이 약간 감소하는 경향을 보였는데 이는 1월 이후 강추위로 인해 꼬막의 개체들이 많이 동사해 신뢰할 만한 결과를 얻지 못한 것으로 예상된다.

표 3-5-8. 2차조사 시 꼬막의 각장, 패각 건중량, 조직 건중량, 건강도 지수

		SL(mm)		dry tissue(g)		dry shell(g)		condition index	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Apr. 2010	a	16.62	2.18	0.10	0.00	1.23	0.37	8.89	2.82
Nov. 2011	a	20.82	1.19	0.12	0.03	2.59	0.57	4.72	0.08
Jan. 2012	a	24.15	2.14	0.19	0.04	3.91	0.77	4.84	0.04
Feb. 2012	b	21.89	2.73	0.15	0.07	3.09	1.35	4.73	0.16
Mar. 2012	a	19.95	0.81	0.12	0.02	2.57	0.32	4.72	0.05
	b	23.67	1.63	0.22	0.04	4.45	0.78	4.87	0.04
Apr. 2012	a	24.39	1.37	0.20	0.01	3.41	0.91	5.00	0.02
	b	25.03	1.17	0.20	0.02	3.92	0.39	5.45	0.49

a : 시험포

b : 대조구

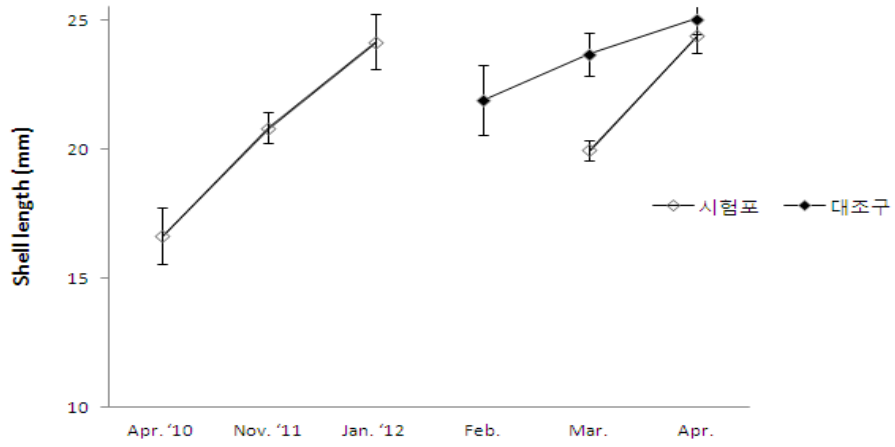


그림 3-5-16. 꼬막 각장 변화

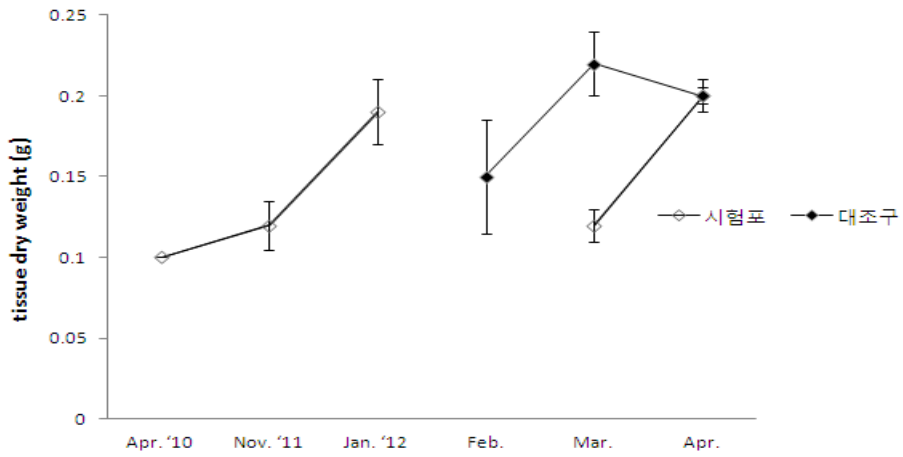


그림 3-5-17. 꼬막 조직 건중량 변화

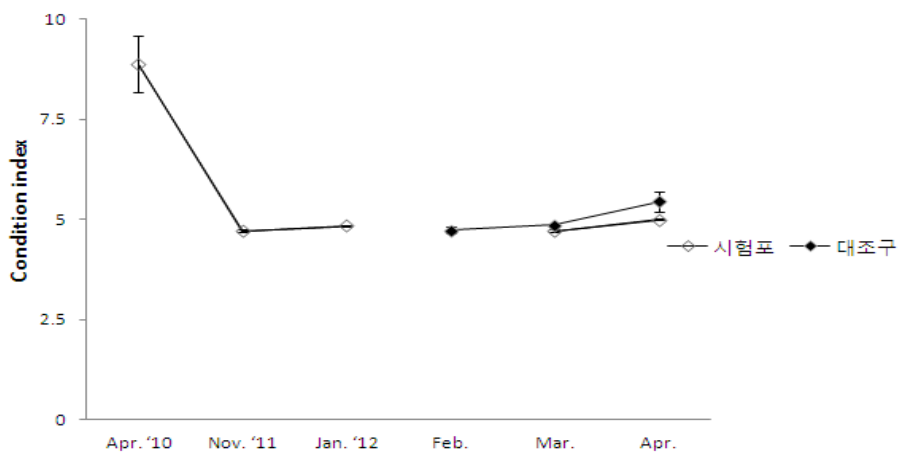


그림 3-5-18. 꼬막 건강도 지수 변화

(2) 여수율(Clearance rate)

(가) 실험 방법

1) 1차 조사(2011년 11월, 2012년 2월)에서 채집된 꼬막 여수율 비교

실험 대상종인 꼬막은 2010년 11월, 2011년 2월에 채집된 직후 즉시 실험실로 운반하였다. 채집된 꼬막은 각장이 9.8mm에서 13.4mm의 크기를 가졌고 채집된 후 3일 내에 실험에 이용되었다. 꼬막은 실험실 내에서 실험 전까지 필터 해수(32~33psu, 18°C)가 담긴 수조에서 순치되었다. 꼬막은 순치 과정에서 먹이를 공급하지 않았고 정수식으로 사육되었다.

실험에 사용된 꼬막의 각장(평균±표준편차)은 $11.3\pm 0.23\text{mm}$, 건중량은 $1.32\pm 0.03\text{g}$ 의 크기를 가졌다. 꼬막의 건중량은 패각을 제외한 육질부만을 건조기에 넣어 60°C에 이틀간 건조하여 구하였다. 또한 이번연구에서 꼬막은 크기를 그룹으로 나누지 않고 사용하였다.

여수율은 단위시간당 직경이 $4\mu\text{m}$ 이상인 입자가 제거된 물의 양으로 정의되며 본 연구에서 꼬막의 여수율은 바지락의 여수율과 동일하게 일정 부피의 해수 내 부유 플랑크톤의 제거 속도를 이용하여 측정하였다. 여수율의 측정법은 정수식과 유수식이 있으나 연구의 편의상 정수식을 이용하였다. 이 때 배양액내 부유 플랑크톤농도의 균일화를 위해 기포 발생기를 설치해 주었고 발생정도를 일정하게 조정해 주었다.

바지락의 여수율의 경우 격자모양의 플라스틱판을 이용해 바지락이 받는 스트레스를 최소화 하였으나 꼬막종패의 여수율 측정에서는 꼬막의 개체 크기가 너무 작아 격자 모양의 플라스틱판을 설치하지 못하였다.

꼬막의 여수율은 11월과 2월 채집 후 두 차례 측정되었으며 총 5개의 1L비커에 꼬막 다섯 개체씩 총 25개체를 선택한 후 꼬막을 500ml(32psu, 18°C)의 여과시킨 해수에 넣고 모든 비커에는 각각 5×10^4 각 cells/ml의 농도로 *P. tricornutum*를 첨가해 준 후 여수율을 측정 하였다(그림 3-5-18).

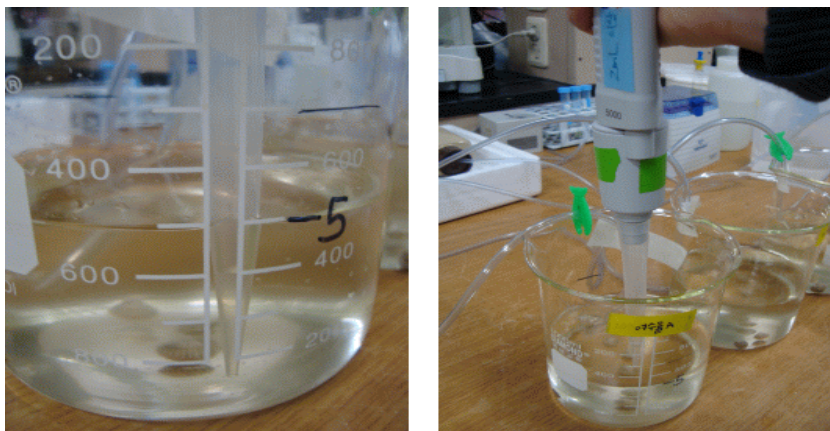
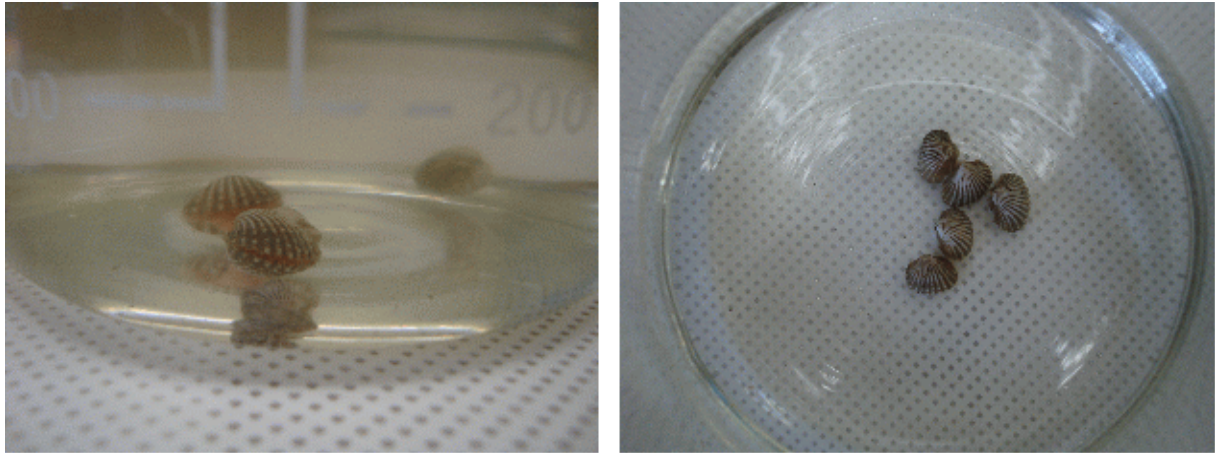


그림 3-5-19. 꼬막의 월 별 여수율 측정하는 모습



(a) t=0

(b) t=60

그림 3-5-20. 꼬막의 수온 별 여수율 측정

2) 크기 별 여수율 측정

꼬막 크기에 따른 여수율의 차이를 비교해 보기 위해 앞의 1차조사 때 채집 된 바지락의 여수율 실험과 모두 동일하게 실험을 준비 하여 진행 하였다. 작은 사이즈의 꼬막은 약 15mm였고 큰 사이즈의 꼬막은 평균 25mm 정도의 사이즈를 갖는 것으로 측정 되었다.

여수율 측정 과정은 1) 과 동일하다.

(나) 실험 결과

1) 1차 조사(2011년 11월, 2012년 2월)에서 채집 된 꼬막 여수율 비교

11월 채집으로 얻어진 꼬막의 *P. tricornutum* 에 대한 무게당(건중량) 여수율($L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)은 평균적으로 1.77 ± 0.18 (평균 \pm 표준편차)였으며 평균 $1.38 L \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$ 의 여수율을 보인 2월 채집 된 꼬막의 여수율과 큰 차이가 없었다(표 3-5-9). 여수율을 측정하기 위해 20~30분 간격으로 해수 내의 먹이량을 측정하여 먹이량이 감소함도 확인 할 수 있었다(그림 3-5-20). 이는 11월 이후 2월 채집까지는 불과 3개월 정도로 차이가 나지 않아 꼬막의 여수율에 큰 차이를 줄만한 환경적 요인이 없었던 것으로 예상된다. 반면 무게를 고려한 여수율(CR_{wt})은 개체의 무게를 고려하지 않은 개체 여수율(CR_{ind})을 건중량으로 나눈 값으로 CR_{wt} 은 바지락 개체의 건중량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다(그림 3-5-21).

표 3-5-9. 월 별 꼬막의 평균 각장, 건중량, 시간당 여수율과 개체 무게당 여수율

	SL(mm)		dry tissue(g)		CR _{ind} (L·h ⁻¹)		CR _{wt} (L·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Nov. 2011	11.0	1.18	0.22	0.03	0.39	0.18	1.77	0.76
Feb. 2012	11.8	0.74	0.23	0.02	0.32	0.22	1.38	0.93

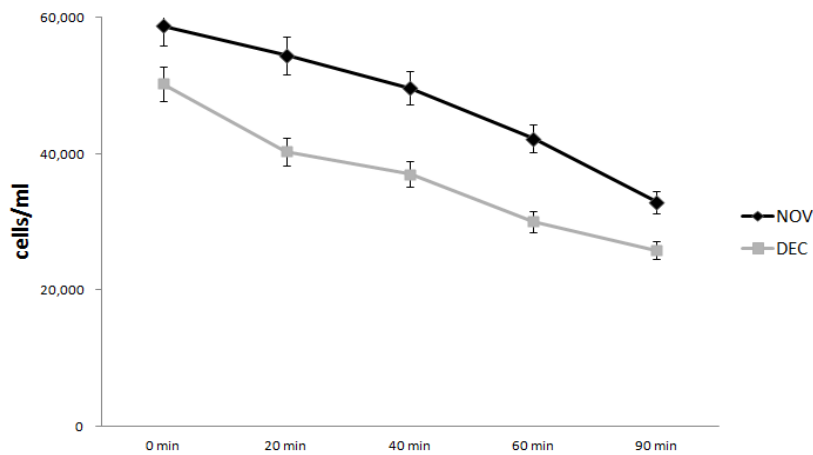


그림 3-5-21. 여수율 측정 시 먹이의 감소량

2) 꼬막의 여수율 측정(일반 양식장)

개체 크기가 작은 꼬막의 경우 꼬막의 무게당(건중량) 여수율(L·g⁻¹·h⁻¹)은 평균 0.89 L·g⁻¹·h⁻¹ 정도였으며 개체 크기가 작은 꼬막의 경우 1.67 L·g⁻¹·h⁻¹ 정도로 일반적인 이때 패류 여수율 결과와 마찬가지로 개체크기가 작을수록 더 높은 여수율 값을 보였다(표 3-5-10).

표 3-5-10. 일반적인 꼬막(성체)의 평균 각장, 건중량, 개체 무게당 여수율

SL(mm)		dry tissue(g)		CR _{wt} (L·g ⁻¹ ·h ⁻¹)	
Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
15.02	0.51	0.31	0.12	1.67	0.36
25.37	1.05	0.42	0.35	0.89	0.23

(3) 생화학적 조성 비교

(가) 실험 방법

- 조지질, 조단백질, 수분, 회분, 탄수화물

꼬막의 생화학적 조성을 비교하기 위해 분석 전 패각과 조식을 분리 하여 동결건조(그림3-5-22) 한 후 막자사발을 이용하여 분말 형태로 만들어 주었고 모든 성분은 바지락의 생화학 조성 측정과 같은 방법으로 측정하였다(그림 3-5-22).

(나) 실험 결과

꼬막의 생화학적 조성은 11월부터 3월까지(12월 제외) 총 4번에 걸쳐 처리군에서 채집된 꼬막 개체를 랜덤하게 선택하여 측정 하였다. 바지락과 마찬가지로 수분, 탄수화물, 단백질, 지질, 그리고 회분함량 중 수분이 차지하는 비율이 76.30~85.08% 정도로 가장 높게 나타났으며 이 결과는 기존의 연구들과 비슷했다. 각 정점별 그리고 월별로 수분함량은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(표 3-5-11). 꼬막의 유기성분을 제외한 무기성분인 회분은 모든 측정에서 2.1~2.5%로 거의 비슷하게 나타나 뚜렷한 차이가 없었다.

수분함량과 제외한 일반성분(탄수화물, 단백질, 지질, 회분)의 비율은 단백질, 탄수화물 지질함량 순이었다.

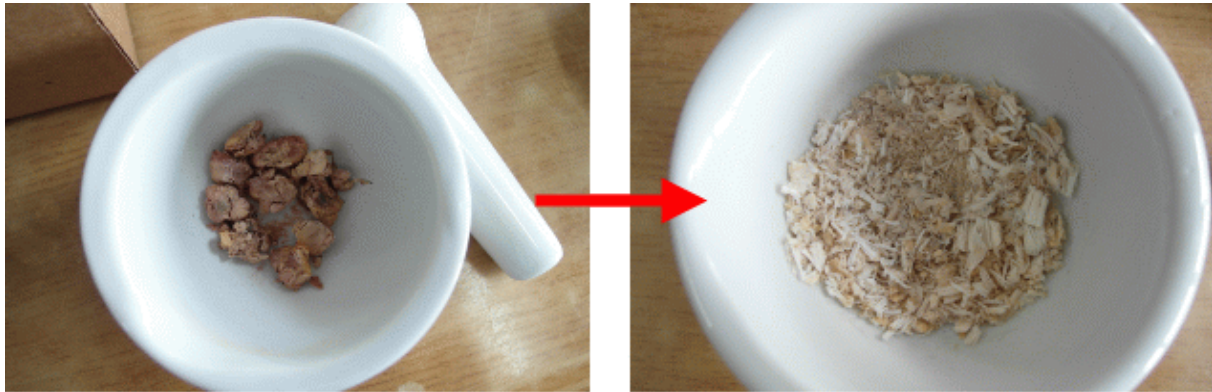


그림 3-5-22. 생화학조성 분석 전 동결건조 후 분말상태로 만드는 모습

표 3-5-11. 꼬막의 생화학적 조성

sampling date	sampling site	Moisture (%)	Protein(%)	Carbohydrate(%)	Lipid(%)	Ash(%)
Nov. 2011	시험포	76.30	12.99	7.73	0.84	2.13
Jan. 2012	시험포	83.23	10.70	3.49	0.42	2.15
Feb. 2012	대조구	85.08	10.80	1.46	0.20	2.46
Mar. 2012	시험포	84.15	8.72	4.01	0.76	2.35
	대조구	82.47	6.98	7.74	0.32	2.48
Apr. 2012	시험포	84.02	7.87	4.02	0.89	3.20
	대조구	82.37	7.25	6.34	0.72	3.32

2. 패류종별 먹이섭식 양식 및 효율측정

가. 바지락

(1) 탄소동화효율 (Assimilation efficiency)

(가) 실험 방법

1) 먹이 별 탄소동화효율

본 실험은 1월 st. 2에서 채집 된 바지락으로 진행되었으며 바지락은 실험 일주일 전 실험실로 가져와 필터 해수(33~35psu, 18°C)가 담긴 수조에서 5일간 순치하였다. 순치 과정에서 바지락의 먹이로 *P. tricornutum* (규조류), *T. suecica* (녹조편모류), *P. minimum*(와편모조류)와 *H. triquetra*(와편모조류)를 섞어서 공급하였고 그 이후 실험 전날 까지 먹이를 공급하지 않았으며 실험의 편의를 위해 정수식으로 사육하였다.

먹이공급과 탄소흡수동화효율 실험에 사용된 미세 조류 *P. tricornutum*와 *T. suecica*는 바지락의 주된 먹이로써 대량 배양이 가능하여 먹이 생물로 많이 사용되고 있다. 이 미세 조류 한국미세조류은행에서 분양받아 배양 하였으며 한국연안적조생물인 *P. minimum*와 *H. triquetra*는 한국해양연구원에서 분양받아 배양하였다.

실험구와 대조구에 사용된 조류의 배양액은 0.45 μm 여과지로 여과시킨 후, 멸균하여 사용하였고 멸균 해수의 1000ml당 f/2 media 0.175ml을 넣어주었다. *P. tricornutum*와 *T. suecica*는 수온 20°C에서, *P. minimum*와 *H. triquetra*는 *P. tricornutum*와 *T. suecica*보다 성장속도가 느려 성장을 촉진시키기 위해 23°C에서 배양되었으며 모든 식물플랑크톤은 32~33psu해수에서 적당한 밀도를 유지하며 배양되었고 조도는 형광등을 이용하여 높여주었다.

또한 탄소흡수동화효율을 알아보기 위한 연구에서는 방사성 동위원소 C^{14} 을 첨가한 후 3일간 배양시켰는데 조류의 배양 속도를 높이기 위해 기포발생기를 설치하여 공기를 공급해 주었다. 동화율 실험에 사용된 조류의 농도 측정은 방사성 오염의 위험이 있어 형광측정기를 직접 사용 하지 못하였기 때문에 배양용기, 배양용액의 양, 접종시킨 조류의 양 등 모든 조건을 동일하게 갖춘 상태에서 C^{14} 의 첨가유무만 달리 하여 2개로 나눠 각각 배양한 후 2개로 나누어진 조류가 항상 같은 상태라는 것을 전제하여 C^{14} 를 첨가하지 않은 쪽의 조류의 형광값을 측정하여 실험에 사용 될 적절한 조류농도를 결정지었다.

실험생물인 바지락의 먹이 생물 별 탄소흡수동화효율 측정을 위해 먼저 바지락의 섭식이 이루어 졌다. 먹이섭식 과정에서는 정수식을 사용하였는데 이는 방사성동위원소 (C^{14}) 오염수의 위험성과 처리의 어려움 때문에 오염수의 양을 줄이기 위해서였다. 이 때 각각의 비커에 일정한 세기의 기포발생기를 설치해 배양액 내 부유플랑크톤을 균일화 시켜줌과 동시에 일정한 공기를 공급해 주었다. 또한 플라스틱판을 이용해 바지락이 기포발생기에 의해 받는 스트레스를 최소화 하였다.

탄소흡수동화효율 측정은 총 12개의 1L비커에서 이루어 졌다. 한 개의 비커 당 바지락 2개체씩을 넣어 실험을 진행하였으며 실험에 사용된 바지락은 24마리를 선택하였다. 실험에 사용된 조류는 방사성동위원소(C^{14})를 첨가하여 약 3일간 배양된 후 실험직전 배양액을 centrifuge tube에 넣고 원심분리(4300rpm, 10분) 시켜 몽쳐있는 조류를 제외한 centrifuge tube내에 들어있는 원심분리한 배양액의 윗부분을 덜어낸 후 비커로 재부유시켜주었다. 또한 원심분리가 잘 되지 않았던 *H. triquetra* 종은 membrane filter를 통해 여과시켜 주어 배양액 내 해수에 용존 되어있는 C^{14} 의 영향을 최소화 하고 식물플랑크톤 자체에 표지된 C^{14} 만을 이용하였다.

위와 같은 방법으로 *P. tricornutum*의 탄소흡수동화효율을 측정하기 위한 3개의 비커에는 조류의 농도를 9×10^4 로 맞추주었고 같은 방법으로 각각 4개씩의 비커에는 *T. suecica* 을 5×10^4 , *P. minimum*는 5×10^4 , *H. triquetra*는 3×10^4 의 농도로 맞춰 주었다. 한편, 바지락을 넣지 않은 총 4개의 비커는 각 먹이생물별 대조구로 두었다(그림 3-5-23).

탄소흡수동화효율 측정을 위한 먹이섭식은 실험생물이 패각을 열고 여과를 시작한 순간을 시작으로 60분간 진행되었다. 대조구를 포함한 각각의 실험구에서 10분, 30분, 60분에 1ml의 샘플을 채취해 식물플랑크톤의 양의 변화를 확인함으로써 바지락의 섭식이 제대로 이루어지고 있는지를 간접적으로 파악하였다.

섭식실험이 끝난 약 60분 후 바지락의 배설물을 받기 위해 바지락을 비커에서 꺼내어 깨끗한 해수가 들어있는 수조로 옮겼는데 이때 수조는 3개를 사용해 한 곳에는 *P. tricornutum*와 *T. suecica*를 섭식한 바지락을 각각 넣어 주었으며 다른 한 수조에는 *P. minimum* 섭식한 바지락, 그리고 또 다른 수조에는 *H. triquetra*를 섭식한 바지락을 분리하여 담았다. 그 후 바지락을 한 개체씩 배설물 채집을 위해 mesh(109 μ m size, 90 μ m)로 고정된 유리병에 담았다(그림 3-5-24).

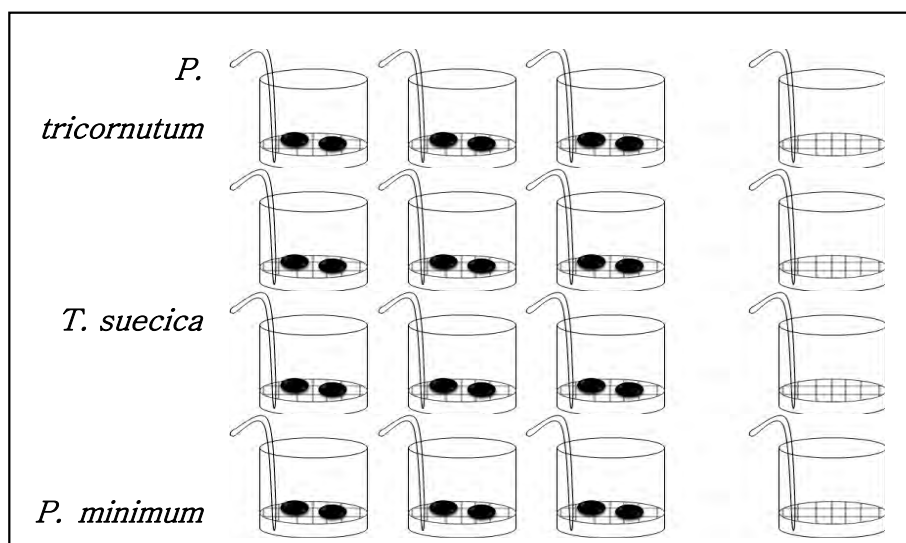


그림 3-5-23. 먹이별 탄소동화효율 측정 실험을 도식화함

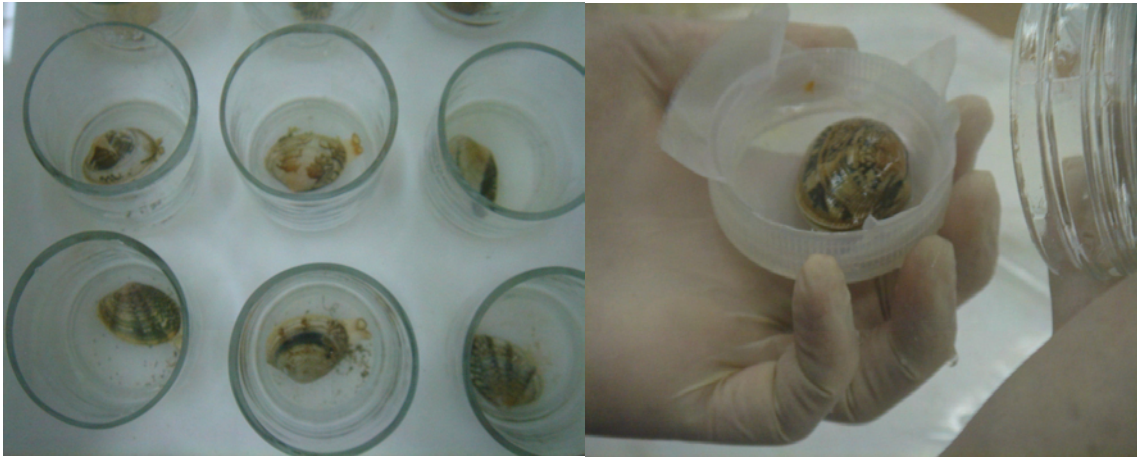


그림 3-5-24. 먹이별 탄소동화효율 측정 중 배설물 채집

이후 바지락의 배설활동을 촉진시키기 위해 C^{14} 로 오염되지 않은 깨끗한 조류를 일정량 첨가 해 주었으며 이때 첨가한 조류는 각각 수조별로 실험에 쓰인 *P. tricornutum* 와 *T. suecica* 그리고 *P. minimum*와 *H. triquetra*를 섞어 공급해 주었다. 또한 배설물을 받는 작업은 먹이섭식 이후 1시간부터 48시간까지 어느정도의 간격을 유지하며 연속적으로 이루어졌으며 이 시간동안 기포발생기를 설치해 공기를 공급해주었다.

일정시간동안 채집된 배설물은 C^{14} activity 측정을 위해 vial에 각각 담아 cocktail(Ultima Gold, Packard) 8ml를 첨가하여 Voltex mixer로 충분히 균질하게 섞었다. 또한, 48시간 동안 바지락이 배설물을 배출 한 후 바지락 육질부 내에 축적되어 있는 C^{14} activity를 측정하기 위해 바지락의 패각으로부터 육질부를 분리하고 수분을 Kimwipe® 로 제거한 다음 세포분쇄기를 이용하여 분쇄하였다. 충분히 균질하게 분쇄된 육질부를 약 0.05g씩 분취한 후 vial에 담아 배설물 내의 C^{14} activity 측정을 위한 방법과 같은 방법을 취했다. 이 과정을 통해 얻어진 배설물 내, 바지락 조직 내의 C^{14} activity 값으로 탄소흡수동화효율을 구할 수 있다(Yang, 2006).

$$\text{Assimilation(\%)} = \frac{\text{tissue}}{\text{tissue} + \text{feces}} \times 100$$

Assimilation : 탄소흡수동화효율
 tissue : 바지락의 육질부 내 C^{14} activity
 feces : 48시간동안 바지락의 내 C^{14} activity

2) 부유사 농도 별 탄소동화효율

바지락의 탄소 동화효율은 각 비커당 부유사농도에 변화를 주어 부유사 농도에 따른 탄소 동화효율을 측정해 보았다. 비커 내 부유물질로는 입자가 가는 퇴적물을 4φ 채로

고르게 걸러 주어 사용하였고 농도가 너무 진한 경우 원하는 양을 정확히 얻을 수 없어 일정량 희석하여 사용하였다.

먹이 농도별 탄소흡수동화효율 측정과 마찬가지로 가장 먼저 바지락의 섭식과정이 이루어 졌으며 정수식을 사용하였다. 섭식이 진행되는 동안 각각의 비커에 자석교반기를 설치 해 주어 해수내의 플랑크톤과 퇴적물이 고르게 분포할 수 있게 해 주었다. 먹이별 탄소흡수동화효율 측정 때와는 달리 퇴적물이 어느 정도의 밀도를 가지고 있어 기포발생기로는 제대로 균질화 되지 않았기 때문에 바지락의 섭식에 피해를 최소화 하는 범위 내에서 자석교반기를 약하게 자석교반기 회전시켜 배양액을 균질화 시켜 주었고 또한 플라스틱판을 이용해 바지락과 자석 교반기의 거리를 유지해 주어 바지락이 받는 스트레스를 최소화 해주었다(그림 3-5-26).

탄소흡수동화효율 측정은 총 10개의 1L비커에서 이루어 졌다. 한 개의 비커 당 바지락 3개체씩을 넣어 실험을 진행하였으며 실험에 사용된 바지락은 18마리를 선택하였다.

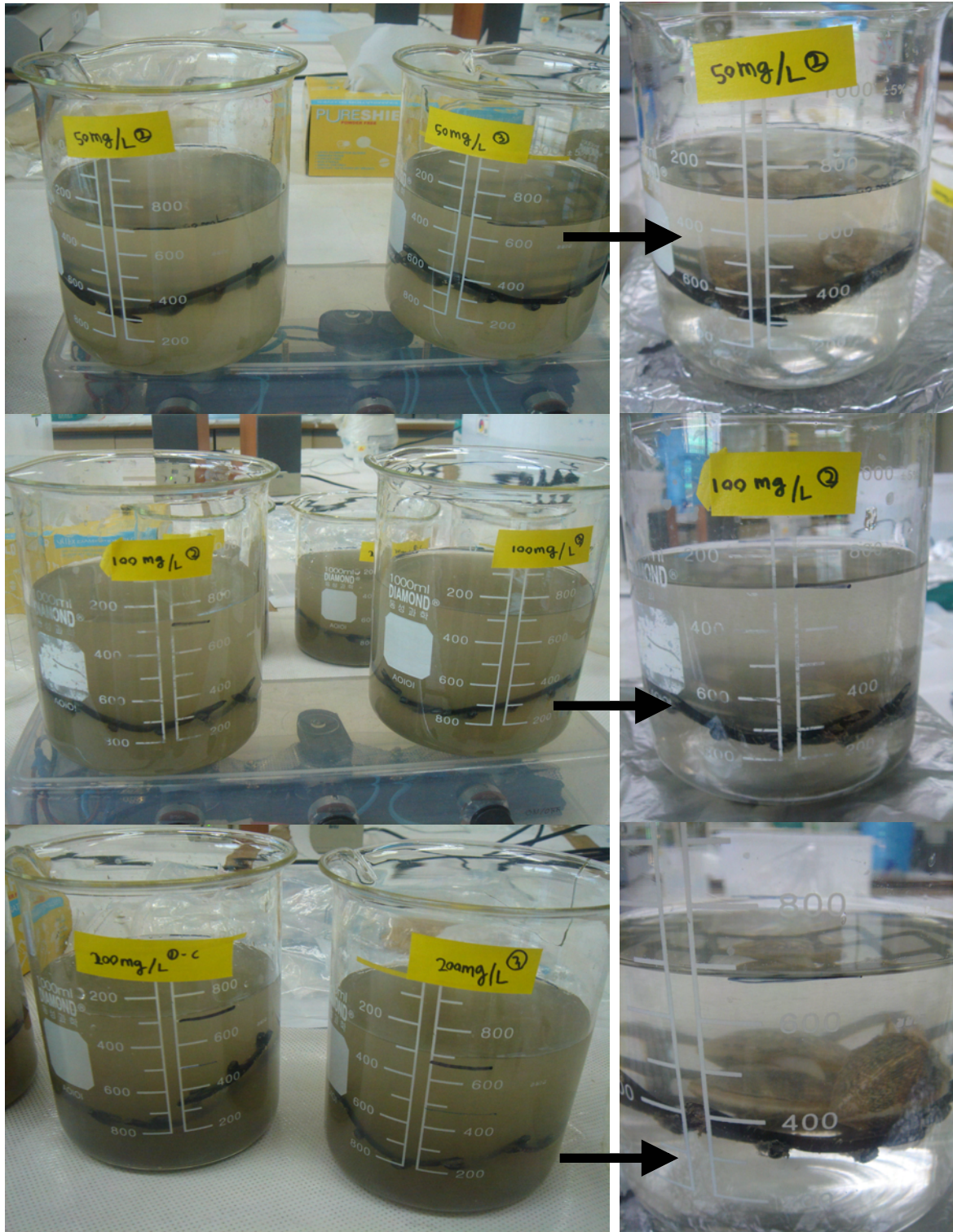
실험에 사용된 조류로는 *P. tricornutum*를 선택하였다. *P. tricornutum*을 앞선 실험과 같은 방법으로 처리 해 주었고 농도는 1×10^5 으로 맞춰주었다. 그 후 2개씩의 비커에는 식물플랑크톤과 함께 각각 농도가 다른 부유물질을 첨가해 주었고 농도구배는 50 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/l로 하였다.

패각을 열고 여과를 시작한 순간을 시작으로 60분간 진행되었다. 대조구를 포함한 각각의 실험구에서 0분, 30분, 60분에 1ml의 샘플을 채취해 식물플랑크톤의 양의 변화를 확인하였고 미리 무게를 잰 GF/F 여과지에 대조구와 실험구의 해수를 1ml씩 여과하여 퇴적물의 무게변화를 파악함으로써 바지락의 식물플랑크톤과 퇴적물을 섭식하는 정도를 확인하였다.

섭식실험이 끝난 후 바지락의 배설물 채집을 위해 바지락을 꺼내어 깨끗한 해수가 들어있는 수조로 옮겨 주었고 그 후 바지락을 한 개체씩 윗부분과 아랫부분이 30 μ m mesh로 고정 된 유리병에 담았다. 퇴적물의 입자크기가 매우 작아 퇴적물이 mesh를 통해 빠져나갈 수 없도록 퇴적물의 입자크기보다 더 작은 size의 mesh를 사용하였다.

바지락의 배설활동을 촉진시키기 위해 섭식 실험이 끝난 후 C^{14} 로 오염되지 않은 깨끗한 *P. tricornutum*을 넣어주었고 배설물 채집 작업은 먹이섭식 이후 1시간부터 48시간 까지 연속적으로 이루어졌으며 이 시간동안 기포발생기를 설치해 공기를 공급해주었다(그림 3-5-25).

이후의 탄소동화효율 측정방법은 먹이별 탄소동화효율에 기술한방법과 모두 동일하다.



(a) 섭식전

(b) 섭식후

그림 3-5-25. 부유사농도 별 탄소동화효율 측정

(나) 실험 결과

1) 먹이 별 탄소동화효율

시간의 먹이생물을 섭식한 바지락의 탄소동화효율을 측정하기 위해 48시간동안 채집된 배설물의 C^{14} activity 값은 상대적으로 후반보단 초반에 높게 나타난 후 후반부로 갈수록 낮아졌으며 이 양상은 대부분의 바지락에서 비슷하게 나타났다.

바지락은 총 4가지의 먹이생물 중 각각 한 종의 먹이생물을 1시간 동안 섭식하였고 그에 따른 탄소동화효율은 아래와 같다(그림 3-5-26).

먼저 일반적인 바지락의 먹이종인 *P. tricorutum* 을 섭식한 총 6마리의 바지락의 탄소흡수동화효율은 67.83%에서 78.16%의 범위를 보였으며 평균적으로 $73.39 \pm 2.51\%$ (평균 \pm 표준편차)의 탄소동화효율을 보였으며 총 6마리의 탄소동화효율의 차이가 크기 않아 대체적으로 동화율이 균일하게 나타났다. *T. suecica*에 대한 탄소동화효율은 42.54~53.63%의 범위를 보였고 평균적으로 46.68 ± 4.82 (평균 \pm 표준편차)였다. *T. suecica*의 경우 이를 섭식한 총 6마리의 바지락의 탄소동화효율 결과가 각 개체별 차이가 다른 종에 비해 상대적으로 큰 편으로 나타났다

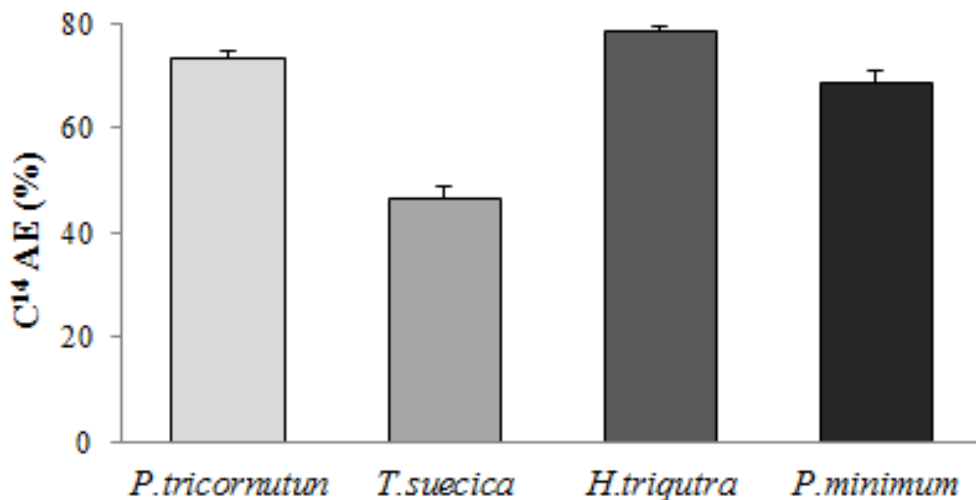


그림 3-5-26. 먹이 별 탄소동화효율 결과

다음으로 한국연안생물로 알려진 *H. triquetra*, *P. minimum*을 섭식한 바지락의 탄소흡수동화효율이다. *H. triquetra*을 섭식한 바지락의 탄소동화효율은 71.78~82.07%로 $78.42 \pm 2.64\%$ (평균 \pm 표준편차)의 분포를 보였으며 *P. minimum*는 56.38~79.87%로 $68.94 \pm 4.00\%$ (평균 \pm 표준편차)의 결과를 얻었다.

총 4종의 식물플랑크톤을 각각 섭식한 바지락에서 나타난 탄소동화효율에서 *T. suecica*종이 다른 3종의 탄소동화효율과 유의한 차이를 보였다. 그러나 나머지 3종의 경우는 탄소동화효율의 유의한 차이를 보이지 않았다.

이 결과 바지락의 일반적인 먹이로 잘 알려진 2종과 한국연안적조생물 2종 중 *T. suecica*를 제외한 3종에서는 근사한 탄소동화효율을 가짐을 확인하였다.

많은 연구들에서는 적조생물로 알려진 많은 종들은 이매패류의 여수율과 동화효율에 영향을 미치며 그것은 바지락의 생리, 생태에까지도 영향을 주는 것으로 알려졌다. 그리하여 본 연구에서도 적조생물이 바지락의 탄소동화효율에 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상 하였으나 본 연구의 결과에서는 오히려 두 종의 적조생물의 탄소동화효율은 상대적으로 높은 편에 속하였다. 이는 적조생물의 농도가 5×10^4 , 3×10^4 정도로 낮아 바지락의 탄소동화효율을 감소시키는 것과 같은 부정적인 영향을 끼치지 않았으며 덧붙여 바지락의 식물플랑크톤 섭식시간이 오직 한시간으로 굉장히 짧았다는 것도 감안해야 할 점이다.

먹이생물의 농도는 *P. tricornutum*은 9×10^4 으로 맞춰주었고 *T. suecica* 을 5×10^4 , *P. minimum*는 5×10^4 , *H. triquetra*는 3×10^4 의 농도 맞추어 주었다. 먹이로 사용된 식물플랑크톤의 농도가 각각 차이가 나는 것은 같은 시기, 같은 농도에서 접종시킨 후 같은 환경에서 배양시켰으나 각각의 식물플랑크톤은 그들의 성장률이 최고가 되는 최적조건이 모두 같지 않아 C^{14} 에 표지시킨 후 3일간의 배양 후 최종 농도를 완벽히 동일하게 맞추는 것은 불가피 하였다.

4종의 식물플랑크톤을 각각 섭식한 바지락의 탄소동화효율은 *H. triquetra*에서 가장 높게 나타났으며 그 다음으로 *P. tricornutum*, *P. minimum*, *T. suecica*순이었다.

본 연구에서는 이 결과를 식물플랑크톤의 개체크기와 관련지어보았다. *H. triquetra*는 실험에 사용된 식물플랑크톤 4종 중 개체크기가 $21 \sim 32 \mu\text{m}$ 로 가장 컸으며 그 뒤를 이은 *P. tricornutum*, *P. minimum*은 $16 \sim 23 \mu\text{m}$, $15 \sim 23 \mu\text{m}$ 으로 앞서 언급한 3종의 식물플랑크톤 개체크기는 비슷했다. 또한 탄소동화효율이 가장 낮게 나타난 *T. suecica* 는 $7 \sim 11 \mu\text{m}$ 로 개체 크기가 가장 작았다. 이것은 식물플랑크톤의 개체크기와 관련지어 식물플랑크톤의 세포벽에 의한 영향으로 추측하였다. 식물플랑크톤의 개체크기가 작은 경우는 큰 경우보다 비슷한 농도 혹은 체적에서 상대적으로 더 많은 세포벽을 갖게 되며 세포벽은 세포 내의 물질보다 더욱 단단한 물질들로 이루어져 있는데 이것은 세포내 물질보다 소화하기 더 어려우며 소화되는데 소요되는 시간 또한 더욱 길다.

이를 통해 개체크기가 가장 작은 *T. suecica* 는 탄소동화효율이 가장 낮고 개체크기가 이보다 큰 *H. triquetra*, *P. tricornutum*, *P. minimum*의 탄소동화효율이 상대적으로 높게 나타난 현상을 설명 가능 하다.

먹이생물 별 탄소동화효율을 측정해봄으로서 총 4종의 먹이생물 중 *H. triquetra*, *P. tricornutum*, *P. minimum*는 *T. suecica* 보다 바지락에 더 양질의 먹이임을 알 수 있다.

2) 부유사 농도 별 탄소동화효율

부유사 농도에 따른 바지락의 탄소동화효율은 총 다섯 개의 다른 농도(0 mg/ℓ, 50 mg/ℓ, 100 mg/ℓ, 200 mg/ℓ, 300 mg/ℓ)에서 측정되었다. 먼저 부유사가 부재한 0 mg/ℓ에서는 $27.39 \pm 13.73\%$ (평균±표준편차)의 탄소동화효율을 보였으며 50 mg/L에서는 $40.83 \pm 9.65\%$ (평균±표준편차), 100 mg/ℓ에서는 $30.13 \pm 7.23\%$ (평균±표준편차)의 결과를 얻었다. 또한 200 mg/ℓ에서는 $33.89 \pm 9.30\%$ (평균±표준편차), 300 mg/ℓ에서는 $32.70 \pm 12.24\%$ 의 탄소동화효율을 보였다(그림 3-5-27). 이번 실험에서는 본 연구의 50 mg/ℓ의 농도에서만 다른 농도들과 유의한 차이를 보였으며 나머지 농도에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 그동안 많은 연구들에서 어느 한계점 농도 이하에서 부유사 농도가 존재했을 경우 농도가 낮을 때 보다 오히려 농도가 높은 경우에 바지락을 비롯한 이매패류의 대사에 긍정적 영향을 줄 수 있다고 하였는데, 이것과 일치된 결과로 볼 수 있을 것이다.

덧붙여 부유사가 부재한 0 mg/ℓ 농도에서의 탄소동화효율과 실험 조건 중 가장 고농도인 300 mg/ℓ의 농도구배에서는 바지락의 개별차가 매우 크게 나타남을 통해 바지락 개체간의 동화 능력차에 의해 탄소동화효율이 좌우되는 것으로 보인다.

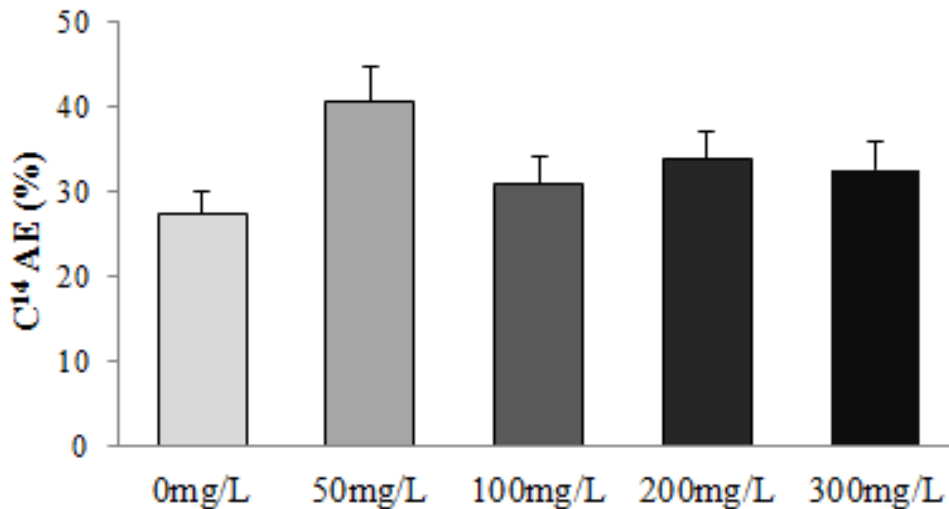


그림 3-5-27. 부유사 농도별 탄소동화효율 결과

나. 꼬막

(1) 탄소동화효율(Assimilation efficiency)

(가) 실험 방법

1) 1차 조사(2011년 11월)에서 채집 된 꼬막의 탄소동화효율

실험생물인 꼬막의 탄소동화효율 측정을 위해 이루어지는 선행되어지는 먹이섭식 과정에서 여수율과 마찬가지로 정수식을 사용하였는데 이는 방사성동위원소(C^{14}) 오염수의 위험성과 처리의 어려움 때문에 오염수의 양을 줄이기 위해서였다. 이때 각각의 비커에 일정한 세기의 기포발생기를 설치해 배양액 내 부유플랑크톤을 균일화 시켜줌과 동시에 일정한 공기를 공급해 주었다. 또한 여수율 측정 때와 마찬가지로 꼬막의 개체 크기가 너무 작아 격자 모양의 플라스틱판을 설치하지 못하였다.

꼬막의 1차 조사는 11월과 2월, 총 2번의 채집이 이루어 졌는데 탄소동화효율은 11월 채집이후에만 측정되었다. 2월 꼬막 채집 시 꼬막의 대다수가 동사하여 실험이 이루어질 만한 충분한 양이 채집되지 않아 실험이 정상적으로 진행되지 못하였다.

꼬막의 탄소동화효율 측정은 총 6개의 1ℓ 비커에서 이루어 졌다. 한 개의 비커 당 꼬막 다섯 개체씩을 넣어 실험을 진행하였으며 실험에 사용된 꼬막은 총 30마리를 선택하였다. 실험에 사용된 조류는 방사성동위원소(C^{14})를 첨가 하여 약 3일간 배양된 후 실험 직전 배양액을 centrifuge tube에 넣고 원심분리 (7000rpm, 10분, 그림 3-5-28) 시켜 상층액을 덜어낸 후 깨끗한 해수로 재부유 시켜 비커에 넣어 주었다. 먹이생물로 사용된 *P. tricornutum*은 여수율 측정 때와 마찬가지로 5×10^4 cells/ml의 농도로 첨가해 주었다(그림 3-5-29).

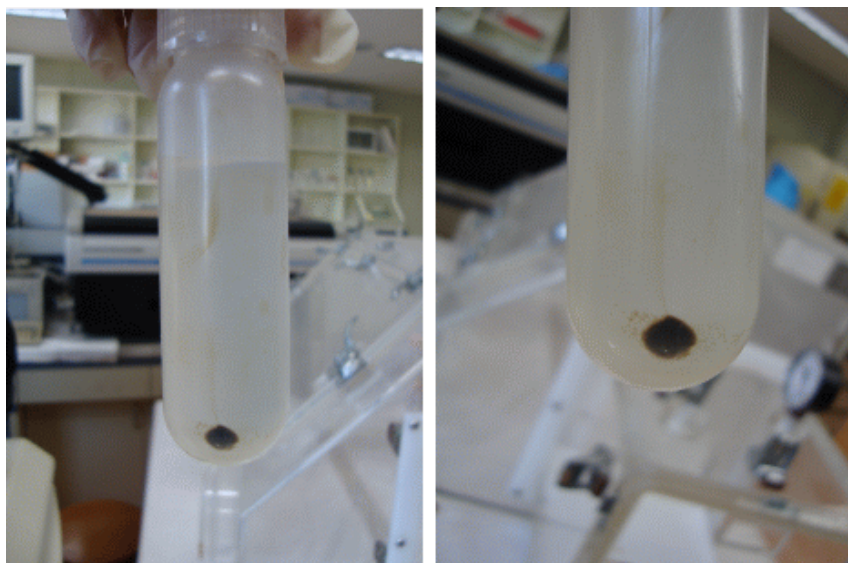


그림 3-5-28. 원심분리 한 C^{14} 표지 된 조류

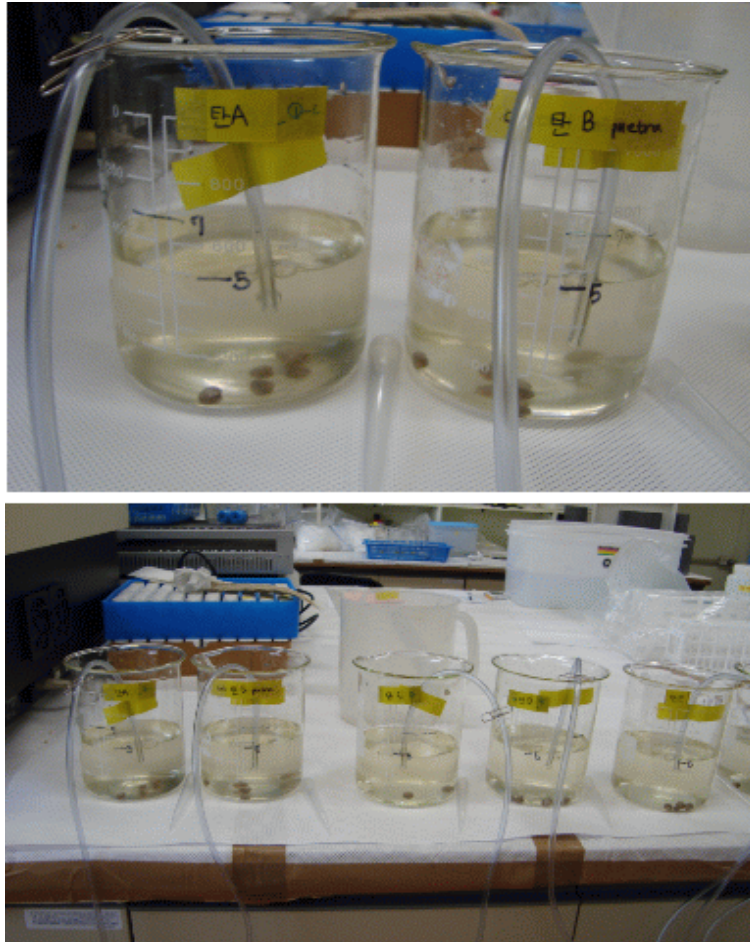


그림 3-5-29. 꼬막의 탄소동화효율 측정

탄소동화효율 측정을 위한 먹이섭식은 꼬막이 패각을 열고 여과를 시작한 순간을 시작으로 60분간 진행되었다(그림 3-5-30). 60분 후 꼬막의 배설물을 받기 위해 비커에서 밖으로 꺼낸 후 꼬막을 각각 다섯 개체씩(동일한 비커 내에서 섭식을 한 것) 깨끗한 해수가 들어있는 새로운 하나의 수조에 순서별로 놓아두었다(그림 3-5-30). 이 때 꼬막은 각각 한 개체씩 아랫부분이 mesh(46 μ m size)로 고정된 유리병에 담았다. 이후 꼬막의 배설활동을 촉진시키기 위해 C¹⁴로 오염되지 않은 깨끗한 조류를 일정량 첨가해 주었으며 이 때 첨가한 조류는 실험에 쓰인 *P. tricornutum*를 충분히 공급해 주었다. 또한 배설물을 받는 작업은 먹이섭식 이후 1시간부터 72시간까지 연속적으로 이루어졌으며 이 시간동안 기포 발생기를 설치해 공기를 공급해주었다.

꼬막의 섭식이 끝난 후 일정 시간동안 받아진 배설물은 바지락의 탄소동화효율과 같은 방법으로 측정되었다.

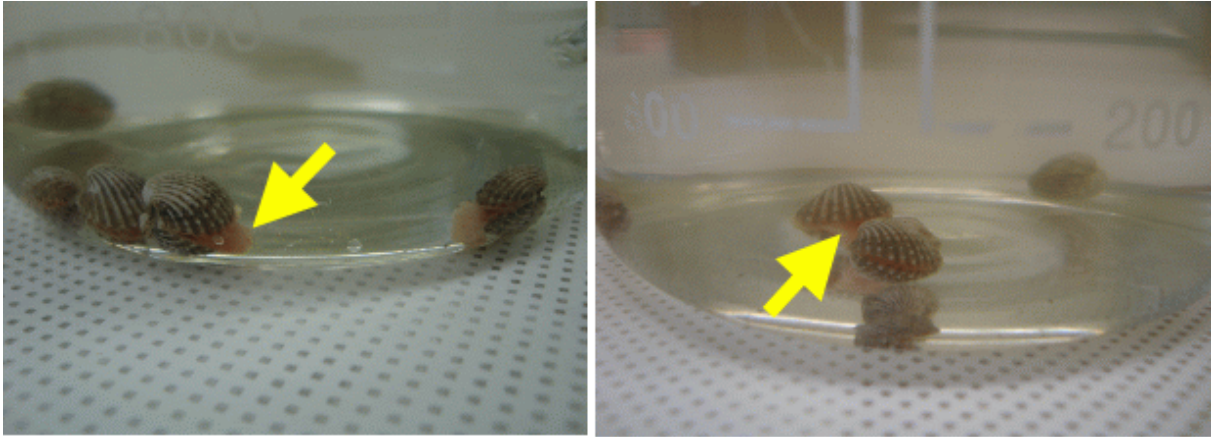


그림 3-5-30. 꼬막의 탄소 동화 효율 측정 (여과)

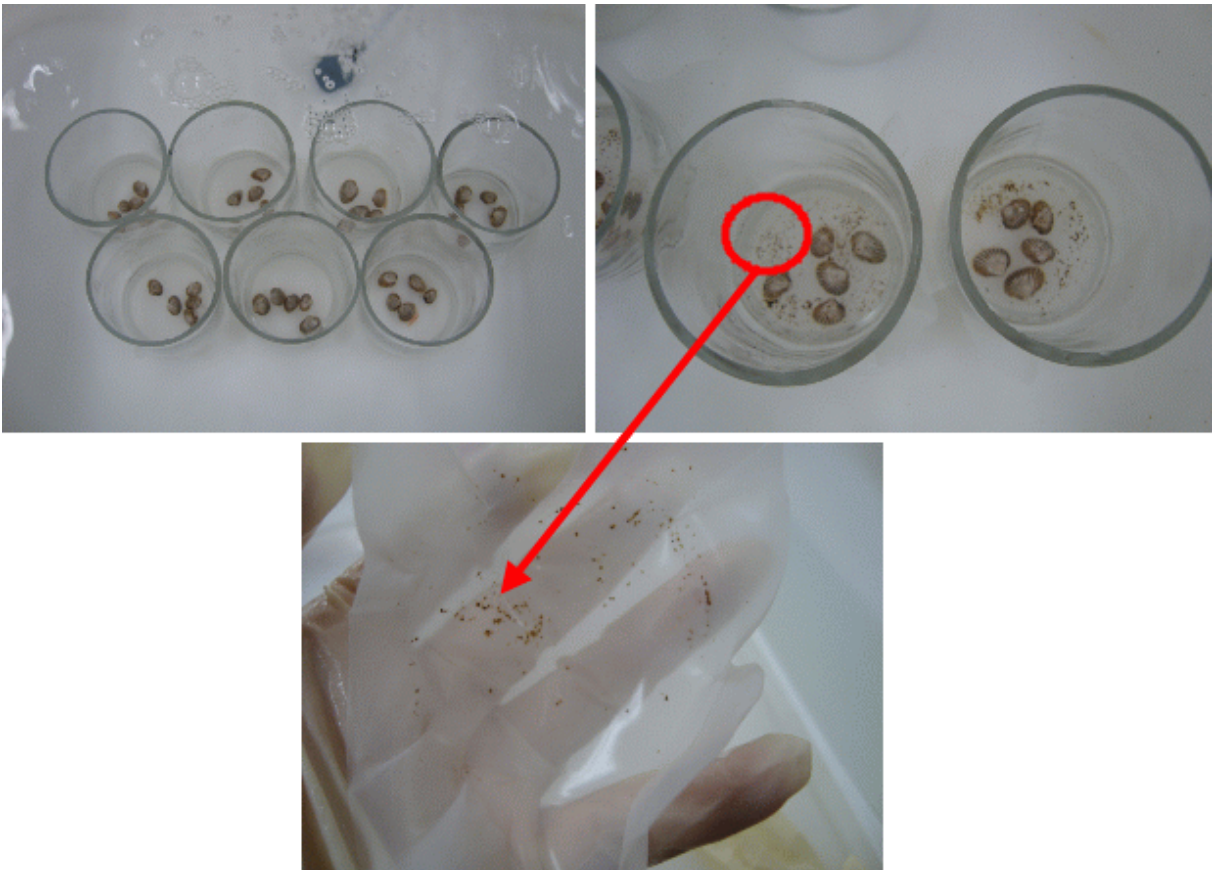


그림 3-5-31. 먹이별 탄소동화효율 측정 중 배설물 채집, 배설물

2) 꼬막의 탄소동화효율(일반양식장)

본 연구에서 구조물이 설치되지 않은 대조구에 살포하였던 꼬막이 겨울동안 모두 동사하여 처리군과 대조구의 꼬막을 비교하는 것이 불가능했기 때문에 처리군에서 성장해 온 꼬막과 일반적으로 양식되어 시중에 판매되는 꼬막을 구입 해 탄소동화 효율을 구해 보았다. 구입 한 꼬막은 앞선 꼬막의 여수율 측정과 마찬가지로 실험 일주일 전 실험실로 가져와 패각의 이물질을 깨끗이 씻어주었으며 필터 해수(32~33psu, 18℃)가 담긴 수조에 서 순치되었다. 계매리에서 성장하고 있는 꼬막과 일반적으로 양식되어 판매되는 꼬막과의 탄소동화효율을 비교하기 위해 이번 실험을 진행 하였다.

(나) 실험 결과

1) 1차 조사(2011년 11월)에서 채집 된 꼬막의 탄소동화효율

바지락의 탄소동화효율을 측정하기 위해 먹이섭식 후 72시간동안 연속적으로 채취된 바지락의 배설물 내 C^{14} activity 값은 초기에 가장 높게 나타난 후 시간에 따라 점차 감소되는 형태를 나타냈다(그림 3-5-32).

꼬막의 탄소동화효율은 37.67~65.97%의 분포를 보였으며 평균적으로 $47.15 \pm 9.86\%$ (평균±표준편차)였다.

2) 꼬막의 탄소동화효율(일반양식장)

본 연구에서 측정한 일반양식장에서 성장한 꼬막의 탄소동화효율은 59.02~62.29%로 대부분 60% 내외의 동화효율을 보였다.

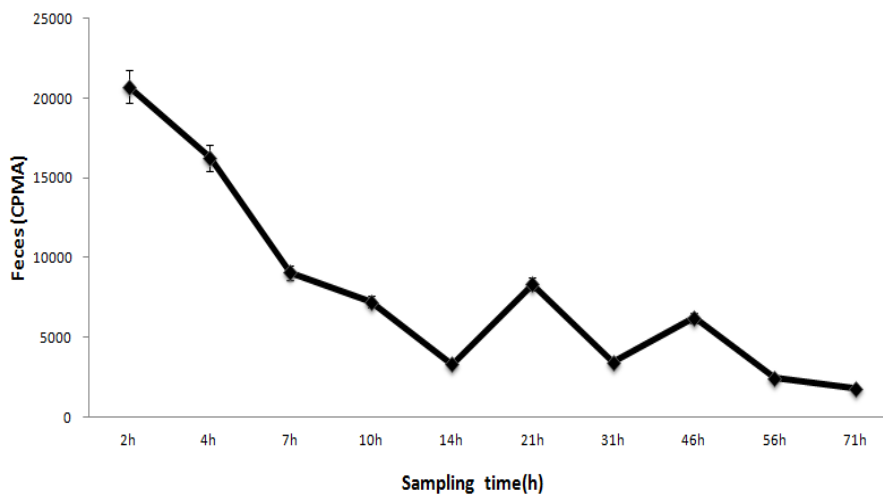


그림 3-5-32. 배출 된 배설물의 C14 activity

3. 대상생물의 적정 종패 살포량

생물이 섭취한 먹이는 소화관에서 소화 혹은 동화가 되어 생물의 성장, 생식, 신진대사에 이용이 되고 소화가 되지 않은 물질은 배설된다. 이때 섭취한 먹이의 흡수된 정도를 동화율이라 하며 이는 생물의 성장, 호흡 및 동화효율 등의 에너지 수지는 에너지 흐름의 역학적 구조를 이해하고 생태계의 기능을 파악하는데 있어 유용한 수단이다.

본 연구에서는 이러한 생물의 탄소흡수동화효율과 고흥 남성리, 계매리의 환경특성을 이용하여 적정 살포량을 구하였다.

가. 바지락

본 연구에서 탄소동화효율은 각장이 $36.14 \pm 1.57\text{mm}$, 건중량은 $0.45 \pm 0.05\text{g}$ 의 크기를 가진 바지락을 사용 하였고 최적의 조건에서 리터 당 $0.25\text{mg}(1 \times 10^5 \text{ cell/L})$ 의 먹이를 제공하였을 때, 리터 당 0.18mg 의 먹이를 흡수 하였고 이를 통해 얻어진 탄소동화효율은 67.8~78.6%으로 평균 73.2%였다.

본 연구지역(남성리)에서 평균 수심이 3m인 1ha면적의 양식장을 기준으로 바지락이 먹이로 사용 할 수 있는 저질염록소-a를 포함한 식물플랑크톤 양은 489.01~735.85g로 나타났다. 이는 2011년 12월부터 2012년 4월까지 월별로 측정된 결과를 통해 얻어졌으며 리터 당 0.016g에서 0.024g으로 환산이 가능하다.

바지락이 섭식하는 식물플랑크톤의 양이 평형상태를 이룬다는 조건하에 바지락이 하루 12시간을 섭식하면 0.004g의 먹이를 섭식 할 수 있게 되며 본 연구지역에서는 리터당 총 8개체~12개체 정도가 존재 할 경우 최적의 환경에서 성장 할 수 있다. 이를 바지락총중량으로 환산해 1ha당 1.5~2ton의 종패를 살포 할 경우 바지락이 최적의 환경에서 성장 할 수 있을 것으로 예상 된다. 그러나 이는 바지락의 먹이가 식물플랑크톤으로 국한 되었을 경우와 해수 내에 퇴적물이 섞이지 않은 식물플랑크톤만 존재하는 경우이기 때문에 이 경우 바지락의 탄소동화효율이 70%정도가 되며, 먹이 이용도가 굉장히 높았을 경우에 해당 되는 결과이다. 그러나 실제 해양환경은 식물플랑크톤만 존재하거나 혹은 퇴적물이 없는 환경은 존재하지 않기 때문에 이러한 조건들을 고려하여 환경내 부유입자(seston)이 존재하는 경우의 바지락의 탄소동화효율을 고려하여 적정살포량을 다시 계산하면 바지락은 하루에 0.002g의 먹이를 섭식하게 되며 본 연구지역에서는 리터당 총 16개체에서 24개체 정도가 같은 공간에서 성장할 수 있게 된다. 이를 바지락 총중량으로 환산하면 1ha당 살포 가능한 치패량은 3.5~5ton정도로 예상 가능하다.

나. 꼬막

본 연구에서 꼬막의 탄소동화효율은 각장이 $11.8 \pm 1.57\text{mm}$, 건중량은 $0.07 \pm 0.01\text{g}$ 의 크기를 가진 꼬막 치패를 사용 하였으며 바지락을 사용 하였고 식물플랑크톤만 존재 하는 조

건에서 리터 당 0.09mg(5×10^4 cell/L)의 식물플랑크톤(먹이)를 제공 하였을 때, 리터 당 0.04mg의 먹이를 흡수하였고 이를 통해 얻어진 탄소동화효율은 평균 60.6%였다.

본 연구지역(계매리)에서 남성리에서와 같이 평균 수심이 3m인 1ha면적의 양식장을 기준으로 꼬막의 먹이로 사용할 수 있는 저질엽록소-*a*를 포함한 식물플랑크톤 양은 430.01~900.85g정도로 추정된다. 이는 2011년 11월부터 2012년 4월까지 월별로 측정한 결과를 통해 얻어졌으며 리터 당 14.7~30.5mg으로 환산이 가능하다.

꼬막이 섭식하는 식물플랑크톤의 양이 평형상태를 이룬다는 조건하에 꼬막이 바지락과 마찬가지로 하루 12시간을 섭식한다고 하면 꼬막은 하루 동안 0.034g의 먹이를 섭식할 수 있다. 이를 미루어 볼 때, 본 연구지역에서는 꼬막 치패는 리터당 총 12~45개체 정도가 먹이 경쟁 없이 최적의 환경에서 성장할 수 있다. 이를 꼬막 총중량으로 환산하면 최적살포량은 1ha당 1.45~4.1ton 정도로 예상된다.

제6절 생산성 향상을 위한 패류양식시설 제안

이상의 현장실험과 설계요소를 고려한 결과들을 종합적으로 고려하여 바지락 양식장의 패각 내장형 투수성 갯벌둑과 꼬막양식장에 대해서는 지오투브형 갯벌둑을 본 연구의 결과로서 제안코자 한다.

1. 패각 내장형 갯벌갯벌둑(바지락)

패각 내장형 갯벌갯벌둑은 남성리 패류양식장에 시설된 다공질 갯벌둑 및 U형 갯벌둑의 현장실험결과를 통해 발생한 문제점을 고려하여 수정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

구조물의 높이는 갯벌둑의 중량과 안정성 그리고 구조물 내외부의 수위차이를 야기하므로 기존 50cm에서 30cm로 축소하였다. 저면폭은 기존 50cm를 유지하였으며, 길이는 80cm로 하였다. 갯벌둑의 소재는 합성수지를 이용한 PE계열 소재를 사용하였다. 실험에는 아크릴을 이용하여 제작하였으나 PE를 이용한 대량생산의 경우 제작단가를 현저하게 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

갯벌둑의 내부에는 내측의 유공부 하단까지는 뿔 혹은 몰타르를 이용하여 저부에 중량을 확보하며, 상부에는 굴패각을 속채움 하여 굴패각의 양식장 개선효과를 반영하도록 하였다.

갯벌둑의 내측에는 유공을 설치하여 갯벌둑의 상부로 유훈류된 흐름이 굴패각을 통과하여 양식장 내로 유입하도록 하였으며, 해수의 유출입은 니질과 함께 혼입되어 시간의 경과와 함께 더욱 강도와 중량이 증가 될 것으로 판단된다.

굴패각의 충전시에는 소형 자루형 망을 이용하여 속채움하면 시공성도 확보할 수 있을 것이다.

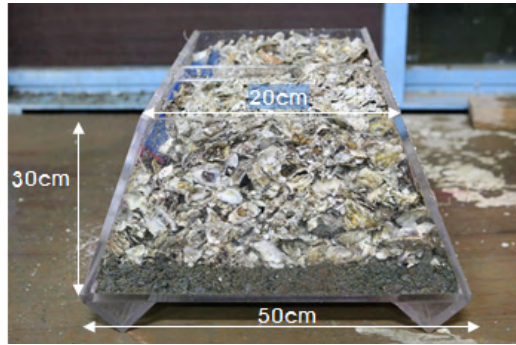
갯벌둑의 하부에는 삼각의 요철과 평탄면을 설치하여 갯벌둑 시설시 침하를 최소화 하게 하였다.

이러한 갯벌둑의 적용성을 판단하기 위해 원형 규격의 수리모형실험을 실시하여 그 안정성과 기능성을 검토하였다. 실험에 사용한 구조물은 높이 50cm 40m, 30cm에 대해 검토하였으며, 실험파랑은 실험수심은 40cm 실험파랑은 $H1/3 = 5\text{cm}$, 10cm , 15cm , $T1/3 = 2.5\text{sec}$, 3.0sec 에 대해 검토하였다. 저질조건은 $d50 = 0.18\text{mm}$ 의 사질을 이용하였다.

실험결과 높이 50cm 조건에서는 파고($H1/3$) 15cm, 주기($T1/3$) 2.5sec에서 활동하는 결과를 보였으나 30cm에서는 안정한 결과를 보였다.

실험결과 사진에서 동일 수심조건을 기준으로 구조물의 높이가 바뀌는 조건은 해역에서 조위가 변하면서 구조물의 상부에 작용하는 유훈류특성을 나타낼 수 있다.

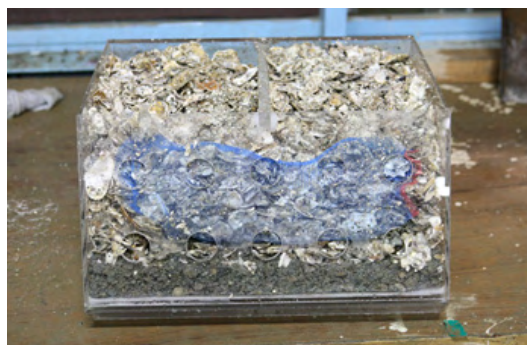
실험결과 전면 경사면을 소상한 파랑은 월류하여 속채움재인 패각의 유출을 발생시키며, 이대 수위변동이 계속 일어난다는 조건에서는 구조물의 높이가 30cm인 경우가 가장 안정적인 것으로 분석이 되었다. 따라서 구조물의 높이는 해역의 특성에 맞게 효과적으로 구성하는 것이 좋으나, 기본적으로는 구조물의 높이를 낮게 설계하는 것이 효과적일 것이다.



(a) 측면



(b) 경사



(c) 정면

그림 3-6-1. 패각내장형 투수성 갯벌둑의 모습



(a) $h = 50\text{cm}$



(b) $h = 40\text{cm}$



(c) $h = 30\text{cm}$

그림 3-6-2. 패각내장형 투수성 갯벌독의 월류특성

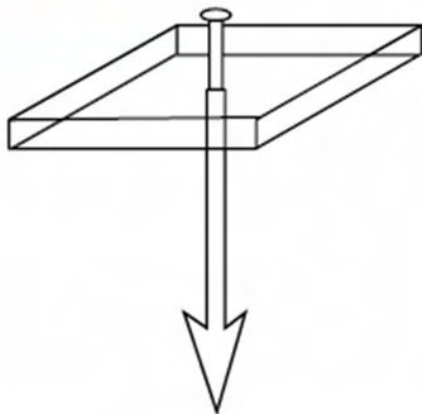
2. 지오투브형 갯벌둑(꼬막)

패류양식장의 생산성향상을 위한 갯벌 두렁 및 갯벌두렁에 대한 투수계수 및 안정성을 수리모형실험과 수치시뮬레이션을 통해 검토하였다.

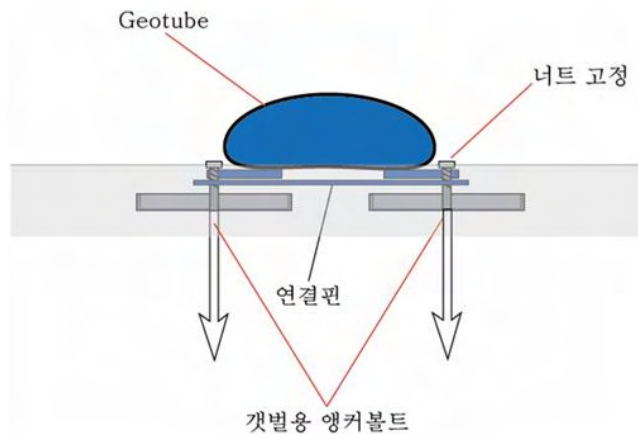
패류양식장 내의 수위유지를 위한 갯벌두렁의 다양한 개선과정을 통해서 갯벌두렁의 적용성과 한계를 검토하였다. 갯벌의 액상화 및 지반지지력의 한계, 또한 작업성과 외력의 발생에 의한 유체력에 대한 원인이 주된 문제였으며, 각각의 문제에 대한 개별적인 대응과 종합적인 개선책의 수립이 필요할 것으로 판단된다.

이러한 갯벌에서의 구조물설치는 갯벌에서의 지반지지력 확보가 중요한 문제가 된다. 따라서 기존에 제안되었던, 곡면, 평판 등의 다양한 시공사례가 있지만, 갯벌용 앵커볼트를 이용한 지반지지력의 확보와 상부구조물의 결합방식이 유리할 것으로 판단된다. 갯벌용 앵커의 용량은 상부구조물에서 요구하는 지지력을 대상으로 설계되어야 할 것이다. 그림 3-6-3은 갯벌용 앵커의 모식도이다.

갯벌용 앵커볼트



(a) 갯벌용 앵커갯벌둑



(b) 앵벌용 앵커갯벌둑 결합예(Geo tube)

그림 3-6-3. 갯벌용 앵커갯벌둑의 예.

그림 3-6-4는 본 지오투브를 현장에 설치하기전 실험소에서 시공 테스트를 하는 장면으로 튜브의 폭은 80cm, 높이는 30cm를 보였다.

이러한 사전테스트 결과를 이용하여 현장에 시공 결과, 지오투브에 의한 간출시간의 지연효과는 충분할 것으로 판단되며, 갯벌앵커에 의한 형상유지시 장기적인 튜브의 안정성도 확보 할 수 있을 것으로 판단된다(그림 3-6-5).



그림 3-6-4. 지오투브의 시설사진(실험실)



그림 3-6-5. 지오투브의 현장시설사진

제7절 갯벌독의 설계/시설 매뉴얼 수립

1. 적지선정 및 해역평가

가. 지형

갯벌독의 설치 시 지형조건은 외해로 완만한 조건을 유지하여야 하며, 시설지 주변에 급격한 수심변화가 없는 곳이 유리하다. 주변의 급격한 지형의 변화는 조류속과 파랑의 이상적인 변화가 야기되어 시설된 구조물의 안정조건을 초과하게 되어 초기 설계시의 안정성 및 기능성을 상실하는 경우가 발생할 수 있다.

나. 흐름

갯벌이 발달하는 지역은 일반적으로 조류가 강한 곳이 많으며, 하천 혹은 해류에 의한 항류성분에 의한 지속적인 잔차류성분이 발생하는 지역의 경우 세굴 혹은 퇴적에 의한 기능성 상실이 야기될 수 있으므로 인근의 항류 흐름에 대한 검토가 중요하다.

다. 파랑

갯벌 구조물의 안정성과 기능성에 가장 민감하게 영향을 미치는 요소는 파랑으로 대상해역의 파랑조건에 대한 검토는 중요하며, 특히 외해로 직접 개방된 해역의 경우 파랑에 대한 안정성의 검토가 중요 특히 파랑과 흐름이 공존하여 작용하는 경우 심각한 피해를 야기할 수 있으므로 다양한 해양외력에 대한 검토가 필요하다.

라. 수질환경

해역의 수질환경은 양식대상종을 중심으로 고려되어야 할 것이며, 구조물과 직접적인 상호관계는 적다. 그러나 구조물의 성치로 인해 양식장내의 수질변화를 야기한다든지, 변화를 초래할 경우 현장에서 즉각적인 조치가 필요하며, 장기적으로 방치할 경우 기능성 및 양식장의 기능에도 피해를 줄 수 있으므로 주의 깊은 모니터링이 필요하다.

주로 유기물의 유입원, 이동과 관련된 고려가 중요하며, 해역내의 물질순환에 대한 고려 또한 패류양식장의 생산성 향상에 영향을 줄 것으로 판단된다.

2. 패류양식시설의 설계 및 유지관리

가. 시설설계 메뉴얼

(1) 형상

구조물의 형상은 기본적으로 가로에 대한 세로의 비가 5:3의 비를 확보하여야 하며, 외력의 발달이 현저히 작은 해역의 경우 5:5의 비를 적용할 수 도있다. 이때 구조물의 중량도 함께 증고하여야 하며, 활동 및 전도에 대한 안정성의 검토가 필요하다.

배후면의 유출공은 30%이상을 확보하는 것이 필요하며, 이는 굴패각의 종류와 상태에 따라 각 유공의 크기를 조정할 수 있으나 전체 유공율은 30%이상이 확보되는 것이 효과적일 것이다.

구조물의 천단은 간출시간이 3시간 이하가 유지되는 높이를 확보할 수 있는 조건이 되어야 한다.

(2) 재질

구조물의 재질은 패류양식장의 생산성에 영향을 주지 않는 소재를 사용하여야 하며, 현재 일반적으로 PE재질을 사용하나, 향후 무해한 향상된 소재의 개발시에는 추가적인 적용도 가능 할 것으로 판단된다.

특히 구조물의 재질은 사출성형이 가능한 가소성 수지이어야 하며, 사출성형으로 인한 대량생산을 전제로 고려되어야 한다.

갯벌둑간의 연결은 연결판을 이용하여 연결하여 갯벌둑을 이용한 양식장 조성 후 양식장내의 종패의 유실을 막는 동시에 해수의 교환으로 인한 양식장 내의 수질을 유지할 수 있는 조건을 만족하여야 한다.

속채움재는 패류양식장의 저질 개선 및 종패 유실을 막을 수 있는 기능을 가지고 있어야 하며, 해수에 노출시 경화되지 않고 서서히 용출되는 특성을 가진 소재가 좋을 것이다. 물론 환경성에 대해 용출 실험 및 양식안정성을 확보한 소재를 사용하여야 한다.

소재는 다공질을 유지하고 있어서 해수가 유입시 용출 및 해수교환이 원활하게 이루어 지도록 하여야 한다.

(3) 배치

패류양식장의 배치는 초기 패류양식장의 배치시에는 해역의 흐름방향을 최대한 이용하여 해수교환이 안정적으로 이루어 지도록 하는 것이 중요하며, 이미 시설된 경계둑의 구조물은 구조물의 높이를 효과적으로 이용하여 생산성을 증대 시킬 수 있어야 한다.

나. 유지/관리

패류양식장에 사용되는 갯벌 구조물의 유지관리는 가장 단순하여야 하며, 문제 발생시 대처가 간단하여야 한다. 따라 본 구조물의 설계단계에서 해역의 자연환경에 유연하게 대응할 수 있는 설계가 중요하다.

(1) 세굴

구조물의 세굴은 작용하는 외력조건에 의해 발생할 수 있는 현상으로 저질을 치환하지 않는 이상, 해역의 외력조건을 단순한 형태로 하지 않는 이상 발생할 수 있는 가능성이 높다. 이러한 세굴은 일반적으로 장기적으로 발생하게 되므로 기부에 세굴방지공 개념 굴패각 혹은 조립질의 사석을 피복하여 세굴이 아닌 퇴적을 유도하는 것도 효과적인 것이다.

그러나 지속적인 세굴의 발생은 갯벌독의 기능성에도 영향을 미칠 수 있으므로 초기 설치이후 안정적인 평형단면이 유지될 때 까지 지속적인 갯벌독 내외부의 기부에 대한 모니터링이 중요하다.

(2) 침하

구조물의 침하는 초기의 급속 침하와 장기적인 장기 침하가 발생 될 수 있으며, 구조물의 급속침하를 방지하기 위해서는 초기 설치시 구조물의 하부에 굴패각과 같은 저질개량제를 투입하여 일부 지반개량효과를 얻을 수 도 있다. 장기 침하의 경우 지반지지력의 상대적인 차이로 인한 부등침하가 발생하기 쉬우므로 사실 초기에 갯벌독 설치 지역에 대한 균질한 지반개량은 어렵다. 따라서 구조물의 설치 시 연직으로 갯벌독이 설치되도록 하고, 갯벌독간의 신축이음을 이용하여 부등침하에 대한 보수 보강이 가능하도록 하는 것이 중요할 것이다.

(3) 투수성

갯벌독의 투수성은 지속적인 해수교환 및 니질의 침적 등으로 그 투수성이 감소하는 것이 일반적이며, 이에 대한 대책은 치환의 방법밖에는 없을 것이다. 따라서 속채움재를 자루망에 넣어 속채움을 한다면 치환 시 용이한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

투수성의 검토는 월류되는 형상에서 확인 할 수 있으며, 제체 내부가 매몰되어 월류되는 수위가 제체를 통과하지 않고 월류할 때 보완을 검토하여 할 것이다.

이러한 보수 및 보완의 시기는 해역별로 자연환경에 따라 차이를 보일 수 있으므로 지속적인 관심과 모니터링이 중요하다.

(4) 부식

갯벌독의 부식의 문제는 합성수지의 경우 대부분이 태양의 자외선에 의한 강도저하로 이야기 할 수 있으며, 이러한 문제는 초기 재료의 선택과 규격에 대한 설계 단계에서 내구성을 확보하는 재질, 두께가 적용되어야 하며, 내구년수의 경과시에는 교체를 통해 그 기능성과 안정성을 확보할 수 있어야 한다.

제8절 종합 및 결론

갯벌의 고유 기능 중 하나인 패류생산을 활성화시키기 위해서는 무엇보다도 현재 패류양식장의 문제점을 정확히 파악한 후, 기존의 패류양식장 구조를 개선하는 것이 필요하다. 왜냐하면 지난 40년 동안 패류양식장에서는 종패유실, 밀식, 어장의 노후화, 생산성 감소, 종패부족, 집단폐사 등 다양한 문제들이 매년 발생하고 있는데, 아직까지 적절한 대책을 수립하지 못하고 있기 때문이다. 기존 패류양식장의 구조와 방법은 단순히 경계부에 말뚝만 박고, 종패를 살포한 다음 자연에 의존하여 성패크기로 양성한 다음 채취하고 있다. 이와 같은 패류양식장의 운영 방법은 상기 문제를 일으키는 주요 원인으로 판단되므로, 본 연구에서는 기존의 패류양식장을 개선하고 정형화된 틀로 디자인하여 각종 패류를 지속적으로 대량 생산할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

간석지에서의 패류양식장 구조개선 설계 인자를 도출 하였으며, 다공질 블록을 이용한 갯벌둑과 갯필 펜스, 다목적이용 복합양식을 개발 방향으로 접근하였다.

우선 기본적으로 갯벌둑 개발에 있어서 수리모형 실험 및 현장 시공을 통한 모니터링 결과를 바탕으로 우리나라 간석지 패류양식장(바지락)에 적합한 구조모형을 도출하였다. 구조물의 형태는 U타입으로 높이는 갯벌둑의 중량과 안정성 그리고 구조물 내외부의 수위차이를 야기하므로 30cm, 저면폭은 50cm, 길이는 80cm로 하는 것이 좋은 것으로 나타났다. 갯벌둑의 소재는 합성수지를 이용한 PE계열 소재를 사용하고, 갯벌둑의 내부에는 내측의 유공부 하단까지는 빨 혹은 몰타르를 이용하여 저부에 중량을 확보하며, 상부에는 굴패각을 속채움 하여 굴패각의 양식장 개선효과를 반영하도록 하였다. 또한 갯벌둑의 내측에는 유공을 설치하여 갯벌둑의 상부로 율류된 흐름이 굴패각을 통과하여 양식장 내로 유입하도록 하였으며, 해수의 유출입은 니질과 함께 혼입되어 시간의 경과와 함께 더욱 강도와 중량이 증가 될 것으로 판단되며 갯벌둑의 하부에는 삼각의 요철과 평탄면을 설치하여 갯벌둑 시설시 침하를 최소화 하도록 하였다.

연성조간대 패류양식장을 위한 갯벌펜스의 경우는 다양한 소재로 물막음을 시도하였으나 연성저질의 액상화로 구조물의 안정성을 확보하기 힘들었으며 시공상의 불편성이 많이 초래되었다. 기존 중국 스타일의 갯벌두렁은 파랑과 조류에 의해 유실되는 결과를 보였다. 이러한 부분을 쉽게 해결하기 위해 지오투브 형태의 구조물을 도출하였으며, 이에 대한 시공성 및 안정성이 수리모형 실험 및 현장실험에서 확보되어 연성조간대에서 지오투브형태의 갯벌두렁을 사용하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

다목적이용을 위한 복합양식 개념은 조간대의 입체적 이용으로 생산성을 향상시키는 것을 목적으로 수평망식 양식시설은 저질기반 안정성이 확보되어야 하므로 수평망식 굴양식시설과 바지락과 입체양식이 바람직한 것으로 나타났다.

도출된 패류양식장 구조개선 방안을 바탕으로 현장시험포를 조성하여 생산성 및 환경변화 진단 시험을 실시하였다.

우선 니질조건대를 바지락 양식장으로 활용가능하게 하고, 또한 과도한 종패살포로 인한 문제점을 개선 보완하기 위한 구조개선 연구를 추진하였다. 구조개선 방향을 도출하고 도출된 결과를 가지고 활용 가능성을 진단하고 이에 대한 현장실용화를 증명하였다. 우선 경계둑을 활용한 구획화를 통하여 치패유실방지와 유실방지에 대한 안정감으로 종패의 과다살포를 막을 수 있었으며, 이는 순차적으로 패류양식장의 생산성 향상으로 이어질 수 있었다. 또한 니질조건대를 바지락 양식장으로 전환하기 위한 저질구조개선 시험을 실시하였으며 이에 대한 저질구조개선 조건은 굴패각을 활용저질 구조개선 현장 실용화 시험을 통해서도 굴패각 50% 첨가한 조건에서 양호한 성과를 확보할 수 있었다. 경계둑 시설 조건과 저질구조개선 조건을 활용하여 가능성 진단 및 현장 실용화 진단 시험을 2년에 걸쳐 실시한 결과 구조개선 비용을 2년내에 회수할 수 있어 경제성이 확보되었다. 또한 갯벌에서는 단순한 2차원적인 평면 형태의 양식을 입체적으로 사용하는 복합양식을 개발하기 위하여 새로운 방안을 모색하였다. 복합양식 방안은 Oyster rack 시설을 이용하여 저면에는 바지락 양식과 상부에는 개체굴 양식이 효과적으로 작용할 것으로 분석되었으며 부가시설에 있어서도 경계둑 설치를 같이 병행 할 경우 복합양식이 안정적이고 효과적일 것으로 나타났으며 이에 대한 효과를 살펴보았다. 복합양식 시설을 설치할 경우 지역에 순기능으로 추가적인 바지락 치패 유입이 많은 것으로 나타났으며, 현장 실용화 시험에서는 현재 수평망식 Oyster rack 초기 투자비용회수에 생산주기 대략 3회전이 필요하지만, 저비용 소재를 사용할 경우 시설비는 30%로 줄어들 수 있어 단기간에 투자비용을 회수 할 수 있는 것으로 나타났다. 구조개선 시설에 따른 환경변화는 굴패각 투입으로 인해 다소 유기물이 대조구에 비해 높았지만 시간이 경과하면서 자연적인 환경으로 수렴하는 것으로 나타났다.

향후 패류양식장의 상기와 같은 구조개선과 단지개선을 할 경우 기업화/규모화와 연계시켜 패류대량생산으로 더 높은 소득을 창출시키고, 일부 소규모로 조성된 패류양식장은 주말어장으로 활용하여 어촌활성화와 어업인의 소득증대에 기여할 수 있을 것을 기대된다.

연성조건대의 패류양식장 구조개선에 대해서는 꼬막을 대상으로 실시하였다. 꼬막의 경우 우리나라 서해안과 남해안 내만 간석지의 수심 2~3m에서 간조시 5~6시간 노출선의 빨질에 서식한다(Yoo, 2000). 즉 일정한 환경조건이 갖추어진 해역에서만 자생하고 있으며 이를 꼬막양식장으로 하여 꼬막을 생산하고 있다. 현재 인공종묘생산을 위한 연구가 진행중이며 어느 정도 성공하여 기술을 적립해 나가고 있으나 종패의 크기를 키우기 위한 중간육성장의 개발은 시행되고 있지 않으며 기존의 꼬막양식장도 자연에 의존하여 수동적으로 생산을 하고 있다. 따라서 본 연구는 패류양식장의 생산성 향상을 위해 해수가 갯벌에 머무는 체류시간을 길게 유지하여 더 많은 먹이섭식 기회를 제공하도록하고, 노출시간을 조절하여 상부조건대의 유희지에서도 꼬막양식이 가능한지를 실험하였다. 첫째로 구조물 진단을 한 결과 연성갯벌에서 구조물을 설치하고 고정하는 작업에 여러 가지 문제점들이 발견되었으며 이를 보완해 나가는 작업과정을 기술하여 구조물 설치 시 이를 참조 할 수 있도록 하였으며 최적의 구조물로 지오투브를 제시하였다. 꼬막의 생산성은

기존의 꼬막양식장과 구조물 설치된 시험포와 대조해역으로 구분하여 꼬막 종패를 살포한 결과 해수가 채워진 시험포에서는 꼬막이 생존해 있었으며 물이 채워지지 않은 시험포에서는 빈패각만 발견되 전량 폐사한 것으로 나타났다. 따라서 해수의 체류시간을 길게 유지하고자 하였다. 또한 기존의 꼬막양식장과 시험포에 각장이 10~15mm가량의 꼬막종패를 입식하고 1년 동안 꼬막을 조사한 결과 시험포의 꼬막종패는 각장은 총 7.81mm 성장하였고 전중량이 2.87g 증가하였으며, 건강도지수는 0.4 이하로 꼬막양식장보다 시험포에서 높게 나타났으며, 비만도는 0.33으로 나타났다. 이에 반해 꼬막양식장은 각장은 총 9.21mm, 전중량이 3.64g으로 시험포보다 성장이 빠르게 나타났으며 건강도지수와 비만도지수는 양식장과 시험포가 유사한 값을 보여 유희지에서의 꼬막양식이 가능한 것으로 보여진다. 구조개선에 따른 환경변화는 수질의 경우 고인물을 조사하였는데 시험포, 꼬막양식장, 대조구 모두 유사한 농도분포를 보였는데 총인과 총질소는 꼬막양식장에서 높은 농도를 보였으며 엽록소-*a*는 시험포 조성 초기에는 시험포에서 높은 농도를 보였으나 시간이 경과 후 대조구에서 높은 농도를 나타냈으나 전반적으로 수질환경변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 퇴적물 환경은 초기 실트함량이 높았던데 반해 시험포 설치 후 꼬막양식장과 저질환경이 유사하게 점토의 함량이 증가하였으며 점차로 약간 조립해 졌으나 이는 꼬막양식장도 마찬가지로 나타나 계절적 영향을 받는 것으로 보여졌다. 저질 화학적산소요구량과 강열감량은 꼬막양식장보다 시험포에서 높은 농도를 보여 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보이며 먹이생물의 지시자인 저질엽록소-*a*는 시험포에서 높게 나타나 양식장으로서의 양호한 환경으로 조사되었다.

결과적으로 본 시험포가 위치한 해역은 유희지로 어촌의 새로운 수입원으로 역할이 가능할 것으로 보이며 구조물 설치비용과 종패구입비용을 제외하면 충분히 경제성이 있을 것으로 보여진다. 또한 연안에 인접해 접근성이 용이하여 노령화된 어촌의 어민들이 관리가 쉽고 체험학습장과 관광코스로의 연계 또한 가능 할 것으로 보인다.



| 제4장 | 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절. 1차년도

제2절. 2차년도

제3절. 3차년도

제4장

목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 1차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	관련분야에의 기여도	
	추진전략	- 1차년도 : 패류양식장의 구조개선 및 안정성 방안 도출 - 2차년도 : 구조개선 Case 별 현장 진단 평가 및 최적 실증모형 도출 - 3차년도 : 최적 구조개선 방안에 대한 실증진단 실험			
1차 연도 (2009~ 2010)	갯벌양식어장수산 자원생태환경 평가 및 구조개선안 도출	국내 패류양식장 현황과악	100	- 국내 패류양식장의 현장으로 사항 및 문제점 파악	
		패류양식시험어장 대상지 적지 조사 및 환경평가	100	- 시험어장 대상지 적지조사를 위한 환경조사 및 수산자원생태학적 시험어장 후보지 가능성 진단 평가 - 구조개선 시험어장 시설을 위한 대상지 정밀 환경조사	
		패류양식어장구조개선 및 다목 적 이용방안 도출	100	- 국내외 패류양식어장 구조개선 사례조사 - 국내외 구조개선 양식장 현장 모니터링 - 패류양식장 구조개선안 도출 및 Pilot 모델 시설 및 운영 평가	
	※목 표 : 패류 양 식 시 험 어 장 선 정 및 구 조 개 선 방 안 도 출	먹이생물에 따른 패류양식장 적지판단	활성화된 바지락양식장의 먹이 생물 구조 분석	100	- 바지락양식장의 계절별 기초생산 력 평가 - 산란철의 먹이생물 군집 분석
			활성화된 꼬막양식장의 먹이생 물 구조분석	100	- 꼬막양식장의 계절별 기초생산력 평가 - 산란철의 먹이생물 군집 분석
	생물생리 및 생화학적 분석	대상 생물의 먹이 섭식 양식과 먹이 중에 따른 섭식 효율 측정	100	- 바지락을 이용하여 먹이섭식 양식 을 파악함 - 식물플랑크톤 중별 탄소동화률 측정	
	간석지 패류 양식장의 구조/ 배치설계를 위한 수리학적 평가	해양물리환경 평가	100	- Swan model을 이용한 심해/천해 설계파랑 수치모의실험 - EFDC model을 이용한 광역/상세 역 해수유동 수치모의실험	
		설계인자 인자 도출 및 검토	100	- 양식생산량에 미치는 구조물, 지반, 외력(파랑, 조류) 인자 도출	
		해수순환특성 평가	100	- 패류양식장 조차/조류속 변화와 구조물 폭/투수율 변화에 따른 유속 감소율 수치모의실험	

제2절 2차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	관련분야에의 기여도
2차 연도 (2010~ 2011) ※목 표 : 패류 양 식 어 장 구조 개 선 Pilot 모 델 현장 진단 및 문 제 점 도 출 , 개선	패류양식어장 구조개선 Pilot 모형 생산성 평가	구조개선 Pilot 모형 시험어장 환경모니터링	100	- 조사지역 : 시험어장 3개소 고흥남성리, 계매리, 무안 도리포 - 조사내용 : 수질환경, 저질환경 조사 분석
		구조개선 Pilot 모형 시험어장 자원생산성 조사	100	- 도출된 패류양식장 구조개선 시험 포 운영 및 현장애로사항, 개선방 안 도출 · 갯벌두렁 시설 : 300평 2개소 · 다공질 블록 시설 : 200평 1개소 · 다목적이용 복합양식 시설 : 1권역(1ha) - 구조개선 Pilot 시험 평가 · 생존율, 성장률, 치폐발생효과 조사
		패류양식어장 저질 개선 기술 개발(굴 패각 이용 바지락 서식 저질 조성 효과 분석)	100	- 굴패각 투입에 따른 바지락 생존, 성장 실내실험 진단 - 굴패각을 이용한 바지락 양식어장 현장예비시험진단
	생물생리 및 생화학적 분석	생물의 건강도 지수, 호흡률, 성장잠재력 산정	100	- 바지락, 꼬막 여수율, 건강도지수, 호흡률, 성장잠재력 조사 분석
	먹이생물량에 따른 종패 살포량 평가	먹이생물량 분석 종패살포량 평가	100	- 시험해역의 먹이생물량 및 종류 등 질적 평가 - 먹이생물량의 변동 특성 분석 및 환경수용능력 평가

제3절 3차년도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	관련분야에의 기여도
3차 년도 (2011~ 2012)	구조개선 패류 양식시스템 기술정립	구조개선 패류양식어장 시스템 현장 실용화 진단	100	- 구조개선 시험어장의 생산성 및 경제성 비교 현장실험 분석 · 갯벌두렁구조개선모형: 고흥 계매리 · 다공질 블록 구조개선모형 : 고흥 남성리 · 다목적 이용 복합양식모형 : 고흥 남성리 - 패류양식장 구조개선 설계 및 운영관리 사항 도출
	구조개선 시험양식장 환경모니터링	구조개선 Pilot모형 시설 시험 어장 환경모니터링	100	- 수질환경, 저질환경 특성 조사 및 분석 - 식물성플랑크톤 등 먹이생물 조사 - 저서생물상 조사
	한국형 패류양식장 개선안 제시, 패류 양식장의 관리지침 개발	패류 양식장의 구조 안정성 향상 을 위한 개선안	100	- 개선된 양식장 외부 경계 구조물 의 수리특성 실험 - 개선된 양식장 외부 경계 구조물 의 현장 성능 테스트
		패류 양식장의 기능성 향상을 위한 개선안 도출	100	- 시험구 패류양식장내·외부의 해수순환 특성 - 경계구조물에 의한 패류양식장 내부의 유출시간 특성실험 - 시험구 현장모니터링
		해양생물의 생태적 특성 및 해양 물리환경 특성(해양파랑·해수유 동·퇴적환경)을 고려한 패류양식 장 시설의 설계 및 배치안 개발	100	- 패류양식장 구조시설/배치설계 지침 작성 - 최적 설계 Manual 작성
	생물생리 및 생화학적 분석	생물의 건강도지수, 호흡률, 성장 잠재력 산정	100	처리군 생물의 생리적 특성 비교
		생화학적 조성(지질, 단백질, 탄수화물) 분석	100	처리군 생물의 생화학적 조성



| 제5장 |

연구개발 성과 및 성과활용 계획

제5장

연구개발 성과 및 성과활용 계획

본 연구의 최종 목표는 패류양식장의 구조개선을 통하여 생산성을 향상 시키는 데 있다. 우리나라 조간대에서는 다양한 패류양식이 이루어지고 있다. 패류양식은 특별한 에너지 투입이 들어가지 않는 녹색성장사업이라 할 수 있다. 현재 국내 패류양식장의 총 면적은 45,352ha이며, 2009년 기준으로 패류의 총 생산량은 4만 톤 정도이며, 금액으로는 6,500억 원 규모이나 2009년과 2008년을 비교하면, 2009년에 패류의 가격은 전체적으로 35% 정도 증가하였다. 그렇지만 패류는 갯벌에서 생산되는 특징으로 인하여 생산량 증대에 한계를 가지고 있고, 그 수요는 지속적으로 증가하고 있는 추세로 현재의 패류양식장 문제점을 파악하고 구조개선이 필요한 시점이다.

현 패류양식장은 경계를 위한 표지 말뚝설치 외에는 자연 상태에 그대로 유지하고 있다. 특히 종패를 살포한 경우 어민들은 종패유실을 염려하여 다량의 종패를 살포하여 대량폐사 및 환경악화로 이어지는 악순환을 반복하여 생산성이 크게 저하되고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고자 구조개선을 위한 환경외력인자 파악, 수리모형 실험, 가능성 진단 및 실용화 진단 시험 등을 거쳐 생산성을 높이는 성과를 거둘 수 있었다.

연구결과를 요약해 보면 종패 유실 방지를 위한 경계둑을 설치하여 종패유실을 거의 없도록 하였으며, 경제적이고, 친환경적인 경계둑 제조 및 시설 배치를 수리모형실험을 통하여 도출하였고, 현장 적용을 통해 수정 개선하였다. 또한 바지락 서식이 어려운 니질 조간대를 굴패각을 활용하여 새로운 양식어장으로 전환할 수 있는 방안을 도출하였으며, 꼬막양식이 이루어지는 곳에서 버려진 상부조간대에 갯벌펜스 등을 활용한 새로운 어장 조성 방안을 마련하여, 바다멀리 있는 양식장까지 이동해야하는 수고를 덜고 노동력 절감 및 안전사고 위험요소를 제거할 수 있도록 하였다. 더불어 조간대의 이차원 평면적 이용을 넘어서 입체적인 복합양식 시스템을 제안하여 조간대의 활용과 생산성을 높일 수 있는 가능성을 제시하였다. 이러한 연구결과를 현장에 적용하여 생산성 향상을 확인하였고, 2년 내에 경제성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 사업에서 도출된 주요 연구결과를 효율적으로 활용하기 위하여

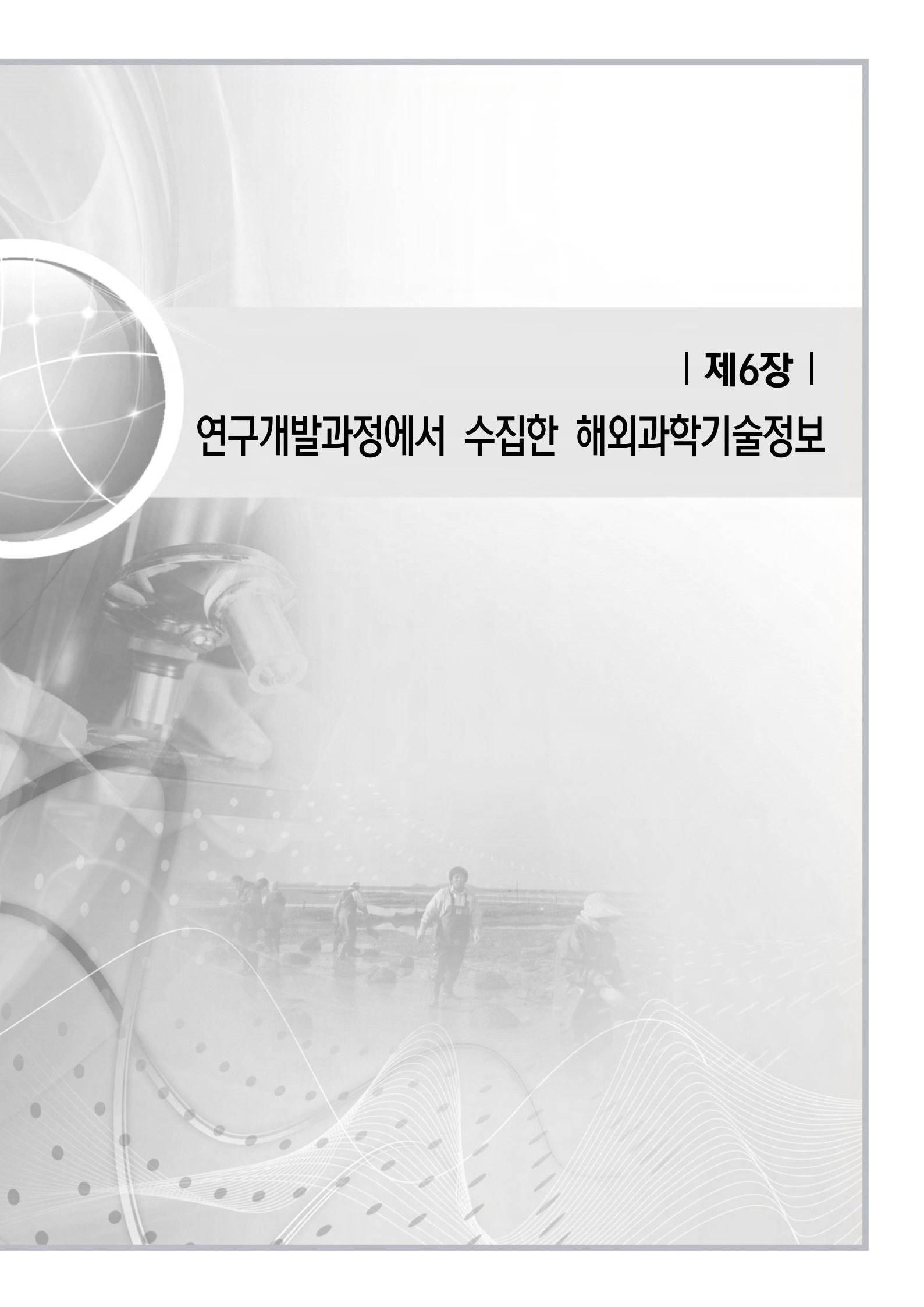
현장실험을 통해 증명된 결과를 세미나, 학회발표, 관련 잡지 투고 등을 통하여 지속적으로 홍보함으로써 패류양식장 구조개선을 적극 유도한다.

개발된 기술을 민간기업에 이전하고 대량생산으로 구조개선 비용을 낮추고 어민들이 경제적으로 쉽게 설치할 수 있도록 유도한다.

또한 어장의 구획화를 통한 규모화/기업화가 될 수 있도록 어장 재배치 사업 등에 활용하고, 주말 관광객의 증가로 인해 어촌 활성화를 이끌어 낼 수 있도록 소규모의 도시민 주말양식어장 조성 등에 활용될 수 있도록 한다.

귀어하는 어민들의 새로운 소득원이 될 수 있도록 귀어가에 대한 사전정보제공 및 교육을 통해, 귀어가의 소득 증대 및 어촌으로의 인구 유입을 유도할 수 있도록 한다.

본 연구결과를 각 대학의 해양수산정책 최고경영자과정 또는 벤처 대학 및 공무원교육원에 교육과정으로 소개하여 정책적인 면에서 제도적 장치가 마련될 수 있도록 추진할 계획이다.



| 제6장 |

연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제6장

연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

중국의 경우 조방적인 규모의 패류양식이 이루어지고 있다. 중국은 육상식 수조와 축제식 양식장에서 바지락 치패를 대량생산 한다. 대련장하 패류센터(북방)에서는 육상 수조에서 유생 산란한 후 수조에서 수 mm 까지 양성 축제식 양식장에서 중간육성을 추진한다(그림 6-1-1). 바지락 산란시기를 인위적으로 3월초로 앞당겨 육상수조에서 산란시켜 600 μ m 정도까지 양성, 호지에서 1cm 크기까지 중간 육성하고 1년에 3~4cm 크기까지 양성한다(그림 6-1-2).



그림 6-1-1. 중국 장하 패류센터



(a) 산란

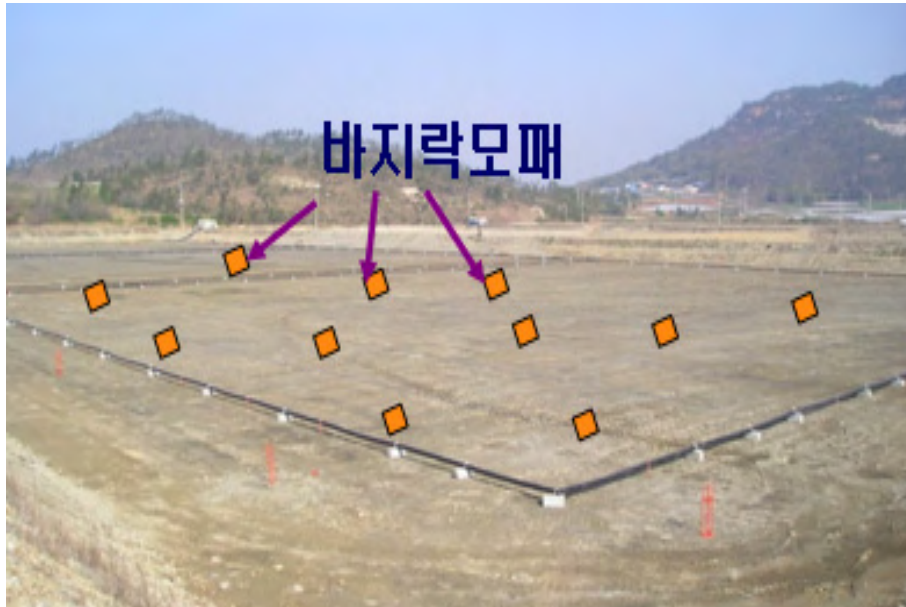
(b) 실내육성

(c) 중간육성장

그림 6-1-2. 중국 장하 지역 바지락 종묘생산

중국 남방에서는 특히 바지락 종패 생산의 경우 독을 이용한 경계구획을 한 축제식 내부에서 종묘생산이 이루어지고 있다. 대표적인 중국 바지락 종묘생산지는 복건성인데 이곳에서는 1월에 바지락 모패를 축제식에 직접 입식하여 그곳에서 치패 30만개/1kg 생산 인근의 축제식 양식장으로 분산시키며 상기 과정을 2~3차례 실시하여 밀도를 낮추

있다(그림 6-1-3). 중간육성 관리에 있어서도 펼지역에서는 50cm 내외의 펼둑을 쌓아 종패 유실방지와 함께 양식을 추진한다(그림 6-1-4).



(a) 모패 입식 개념도



(b) 종묘생산 축제식 양식장

그림 6-1-3. 중국 복건지역의 바지락 종패생산을 위한 축제식 양식장

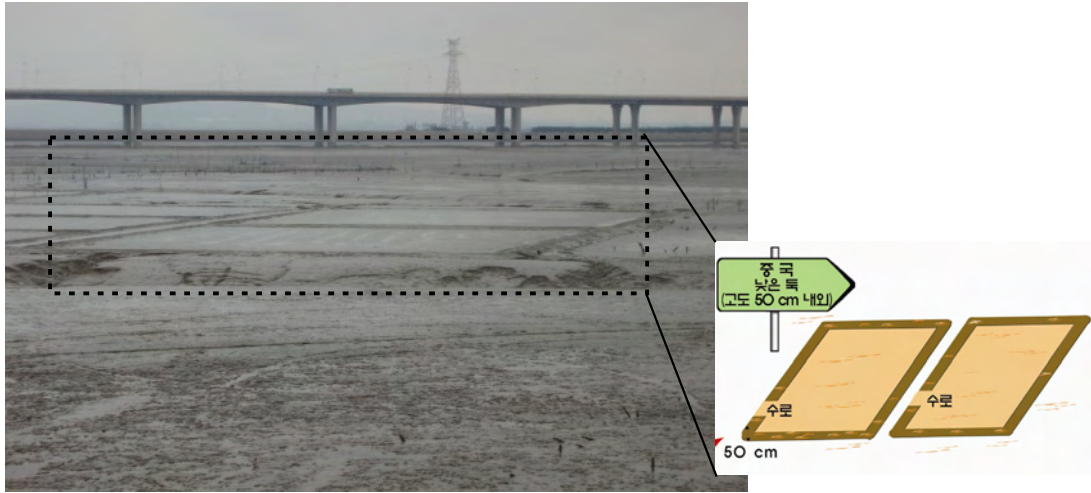
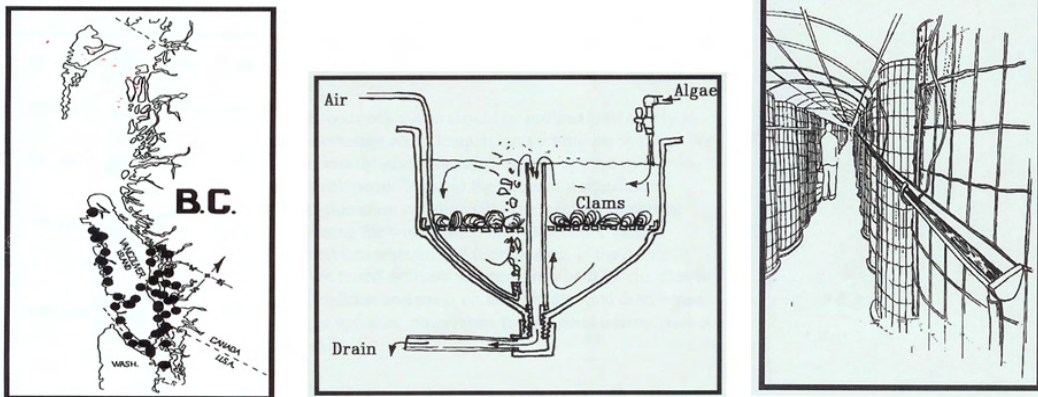


그림 6-1-4. 중국 패류양식장 경계구획 예

북미의 경우 1990년대 Canada British Columbia 지방에서 양식기술 확립되었다. 철저한 소독, 배설물제거, 흐름조절 그리고 수질관리를 바탕으로 종묘생산이 이루어지고 유생의 밀도 : 2~5 개체/ml, 먹이생물의 공급밀도 30,000~50,000 cell/ml를 유지한다(그림 6-1-5).



(a) Canada British Columbia (b) 종묘생산수조개념도 (c) 먹이생물 발생 및 공급 개념도

그림 6-1-5. 북미 지역 바지락 종묘생산 개념도

유럽은 1974년 미국 태평양 연안에서 프랑스로 양식을 위하여 이식되어 프랑스, 스페인 및 이탈리아의 파도바, 베네치아 지역에서 바지락 종묘가 생산되고 있다. 보통 북미와 유럽에서의 생산주기는 생식단계와 종묘생산으로 시작된다(그림 6-1-6). 자연산 종패를 수집하거나 또는 부화장에서 생산된 종패를 사용하여 양식한다. 바지락은 일반적으로 크기가 2~3mm인 종패를 조간대 해저에 살포하여 양식한다. 종패는 부화장에서 생산된 종패나 자연산 종패를 활용한다. 치패는 폐각에 의하여 보호가 되나, 선별과정에서 조심하지 않

으면 파괴되기 쉽다. 본격적인 양식을 시작하기 전 치패를 각장이 10~15mm의 크기로 육성하여 종묘로 사용하기도 한다. 이 경우 다소 큰 치패(6~7mm)의 밀도를 3,000 미/m²로 하여, 망목이 4mm인 그물자루(1.5m x 2m)에 넣어 바닥에 놓아둔다. 치패양육의 또 다른 방법으로는 각장이 4~5mm인 치패를 10,000 미/m²의 밀도로 하여 망으로 덮은 나무틀 위에 놓고 물 속에 쌓아 놓거나(주로 이태리에서 많이 사용됨), 또는 주로 아일랜드에서 많이 사용하는 방법으로 나무틀을 망으로 덮거나, 그물자루에 넣어 대조 시의 수심에 만들어 놓은 거대에 매달아 놓기도 한다. 성장함에 따라 슈아 내어 밀도를 점진적으로 줄여주어야 한다. 치패 양육기간 중 양식장에서는 본격적인 양식을 위하여 게 등과 같은 포식동물을 제거하는 준비작업을 하여야 한다. 초기 양식기간 중 채반에서도 양식이 가능하나, 바지락은 바닥에서의 성장률이 빠르다. 북미에서는 대부분이 FLUPSYS과 같은 용승부상 체계를 사용하는데, 이는 종패가 담겨있는 용기를 뗏목의 중앙에 일렬로 매달아 놓고 프로펠라나 수차를 활용하여 해수가 용승하게 하는 방법이다. 모든 바지락이 균일한 크기로 자라게 하기 위해서는 분망을 하여 주어야 한다. 분망을 하여주지 않으면, 일부만이 크게 자라 상업성이 떨어진다. 각장이 10~15mm가 되면 양식장에 살포할 수 있는 크기이다. 강한 해풍, 파고 및 조석조류의 영향이 적은 조간대가 양식적지이다. 대안으로서는 크기가 400m²인 굴 양식 호지도 양식에 활용될 수도 있다. 바지락 양식을 위해서는 바닥이 모래, 펄로 되어 있거나, 죽은 조개 껍질이 있는 곳이어야 한다. 바지락 자체는 다양한 형태의 저질에서도 생존 및 성장이 가능하나, 저질이 너무나 연질이면 관리를 위한 접근과 종패 살포, 관리 및 수확에 기계를 제대로 활용할 수 없는 단점이 있다. 종패 살포 전에 종패 살포 장소를 적절히 정리하고, 포식동물을 제거하여야 한다. 양식장에 구획을 만들고 살포한 종패 위에 망을 덮고, 망을 고정시켜 놓으면 게나 해조류(海鳥類)에 의한 포식을 어느 정도 방지할 수 있다.

성장률과 생존률은 밀도 종속적, 즉 입식밀도에 의하여 결정된다. 각장이 10~15mm인 경우 m²당 200~300 미의 비율로 살포한 후, 망목이 4mm인 망(폭 1.5m, 길이 300m)으로 덮어 주어 타 동물체에 의한 과도한 포식을 방지하여 주는 것이 일반적인 관례이다(그림 6-1-7). 유럽에서는 살포와 동시에 골을 만들고 자동적으로 망을 덮어 주는 장비가 개발되어 활용하고 있다. 이러한 보호망은 부착생물과 퇴적물을 제거하여 주어야 하며, 포식동물의 상황도 관찰하고 있어야 한다. 양식장의 부양력에 따라 상이하나, 2~3년 양식하면 각장이 40mm로 양식된다. 중국에서는 입식밀도가 종묘의 크기와 퇴적물의 종류에 따라 상이하나, 일반적으로 5~10mm인 종패를 ha당 3,500만 미의 밀도로 입식 시킨다. 중국에서는 망으로 덮지 않는 것이 관례이다.

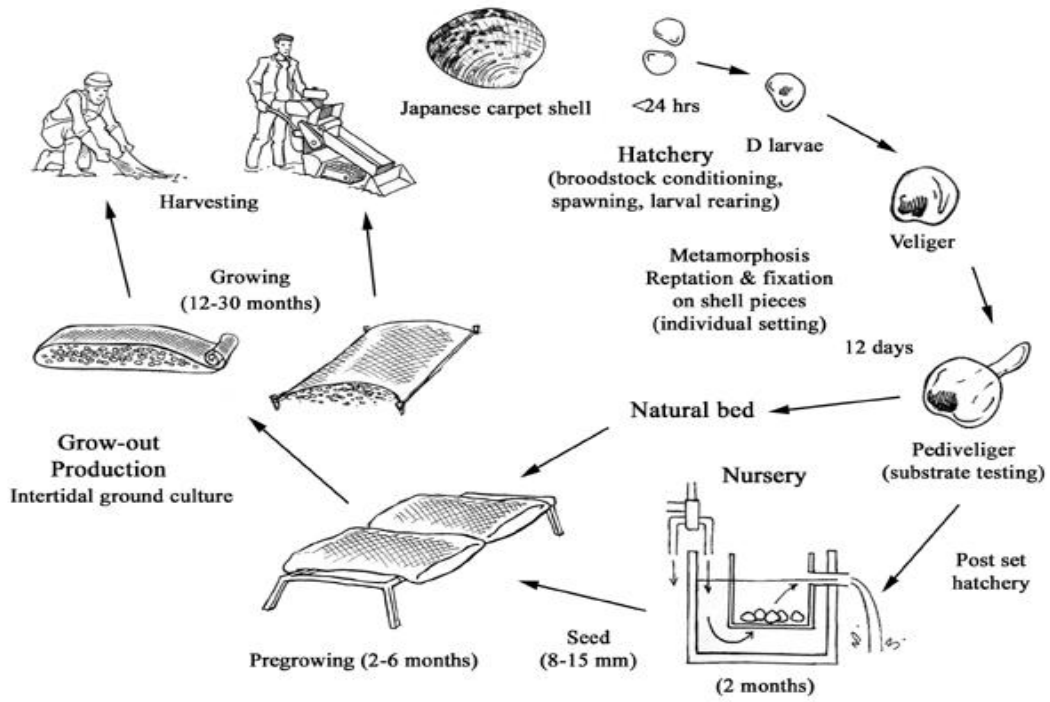


그림 6-1-6. 북미와 유럽의 바지락 양식 생산주기 모식도



그림 6-1-7. 종패 살포 후 해적생물로부터 보호하기 위한 보호망 설치

수확에 있어서는 대부분 수작업에 의한 노동으로 하는 방법이 일반적이다(그림 6-1-8).



(a) 일본 구마모토



(b) 중국 청도

그림 6-1-8. 일반적인 바지락 수확과정

최근에는 많은 나라에서 바지락 수확과정에서 기계화를 도입하고 있다. 일본 세토나 이카이에서는 바지락 수확을 기계화하여 많은 노동력을 절감하고 있다(그림 6-1-9). 유럽에서 수확은 모두에서 갈퀴나 기계를 사용하여 수확한다. 유럽에서는 흡입장비, 엘레베이터 드레지 등도 사용한다. 또한 측면에 컨베이어를 장착한 트랙터로 저질을 경운 하면서 등급 별로 수확을 하기도 한다. 이와 같은 장비를 사용하면 시간당 600 kg이상을 수확할 수 있다(그림 6-1-10).



그림 6-1-9. 일본 세토나이카이 바지락 수확 기계화 시설


전 세계적으로 갯벌을 소유하고 있는 프랑스와 미국, 호주는 어획자원이 줄어들면서 점차 잡는 어업에서 기르는 양식어업으로 전환하고 있으며, 특히 갯벌을 통한 친환경 고부가가치의 첨단 생물산업육성에 심혈을 기울이고 있다. 미국의 경우 갯벌 참굴의 인공종묘 생산기술과 중간육성 종묘생산기술이 개발되어 있으나 대량생산에 임하지 못하고 있다. 갯벌 양식산업에 성공한 프랑스의 경우 갯벌에서 참굴 1품종으로만 생산자 가격 기준으로 연간 약 2조 2500억 원의 소득을 올리고 있고 남아프리카공화국은 프랑스로부터 갯벌참굴 양식방법을 도입하여 생산된 굴을 일본에 수출하고 있다. 프랑스의 갯벌참굴 양식 면적은 18,000ha에 달하나 고밀도 시설 기준을 적용할 경우 32,000ha에 해당한다(그림 6-1-11).



그림 6-1-10. 유럽지역의 바지락 기계화 수확장비



그림 6-1-11. 프랑스 갯벌에서의 굴양식업

The background features a collage of images: a globe in the top left, a microscope in the middle left, and a group of people working in a field in the center. The text is overlaid on a semi-transparent grey bar.

| 제7장 | 참고문헌

제7장

참고문헌

- 강경호, 김영훈, 안승진, 한찬배, 박해중, 2007. 패류 인공종묘 생산시 이용되는 *Isochrysis galbana*의 냉동보존 및 먹이효과.
- 국립수산과학원 서해수산연구소 (2007). 태안군 중부해역의 바다목장 적지조사.
- 국립수산과학원 (2009). 서해태안 바다목장 생태기반조성을 위한 개념설계 및 배치기법 개발.
- 국립수산과학원 서해수산연구소, (2010) 태안어장 정밀조사 및 복원사업. 498pp.
- 국립수산과학원 갯벌연구소, (2011) 태안군 유류피해지역 채묘환경 개선사업. 93pp.
- 국립수산진흥원 (1992). 한국연안 인공어초의 자원조성 효과에 관한 연구. 수산사업보고, 95: 1-89
- 국립수산진흥원 (1995). 인공어초 어장 기본조사 자료집. 1-191
- 기상청 (1959~2004). 기상연보.
- 김도희, 이경선, 2008. 연안에서의 바지락 폐사 원인규명에 관한 연구
- 김진희, 유명숙, 장묘인, 1998. 꼬막조개과 정자의 미세구조비교.
- 김철원, 고강희, 2004. 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 먹이 섭취에 미치는 수온과 염분의 영향.
- 김철원, 허성범, 1998. 대량배양에 적합한 *Tetraselmis* 종의 선택.
- 김훈수, 1973. 한국동식물도감 - 제 14권 동물편 (집게, 게류)-. 문교부, 694 pp.
- 농림수산식품부, (2010) 2010 농림수산식품 통계연보. 457pp.
- 농림수산식품부, (2011) 갯벌 참굴 시범 연구사업. 267pp.
- 마경화, 진영국, 이정식, 2002. 구리에 대한 꼬막의 생존 및 조직학적 변화.
- 마경화, 주자영, 강승완, 이정식, 2000. 꼬막의 정소 구조 및 정세포 분화.
- 문태석, 신윤경, 정민민, 고창순, 2001. 꼬막, *Tegillarca granosa*(Linnaeus)의 공기노출에 따른 생리적 반응.
- 문태석, 정민민, 신윤경, 양문호, 고창순, 장영진, 2004. 꼬막 *Tegillarca granosa*(Linnaeus)의 산란유발 및 난 발생과 초기 유생 사육.
- 박광재, 송재희, 한현섭, 오해중, (2010) 서해안 봄철 바지락 폐사현황 및 원인. FSAK 2010, 39pp.
- 박경일, 박홍식, 김종만, 박영제, 홍재상, 최광식, 2006. 유세포 분석기를 이용한 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 면역력 측정.
- 배수환, 1986. 우리나라 꼬막양殖業의 發祥과 發達過程
- 백승호, 이주연, 이해옥, 한명수, 2008. 태안 조간대에 서식하는 참굴과 바지락의 먹이특성

- 에 관한 연구.
- 백의인, 1989. 한국동식물도감 -제 31권 동물편 (갯지렁이)-. 문교부, 764 pp.
- 송재희, 최옥인, 고병설, 권대현, 조영조, 천상준, 김태우, 2006. 가을철 바지락 자연서식지 특성 및 염분별 바지락의 반응.
- 신윤경, 문태석, 2005. 꼬막, *Tegillarca granosa*의 수온내성과 생리적 변화.
- 신윤경, 문태석, 고창순, 김성연, 2000. 꼬막, *Tegillarca granosa*의 염분감소에 따른 생리적 변화.
- 신윤경, 문태석, 위종환, 2002. 꼬막, *Tegillarca granosa*의 용존산소 변화에 따른 생리적 반응.
- 신윤경, 이승주, 김병균, 오봉세, 민광식, 2006. 서해안산 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 염분에 의한 생리적 반응.
- 심재형, 1994 한국동식물도감. 제34권 해양식물플랑크톤, 교육부.
- 양송이, 2006. 바지락(*Ruditapes philippinarum*)과 재첩(*Corbicula fluminea*)의 여수율과 nonylphenol 흡수율의 관계. 석사학위논문, 전남대학교.
- 유성규, (2000) 천해양식. 구덕인쇄소. 부산, 262pp.
- 이남주, 장영진, 1998. 꼬막, *Anadara granosa bisenensis*의 생식주기와 산란유발.
- 이원찬. 2001. 패류 양식장 어장환경용량 산정 모델 개발 및 적용
- 이순우, 왕순영, 한경남, 2001. 수온 변화와 개체크기에 대한 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 최적 성장에 대한 연구.
- 이찬원, 권영택, 부민호, 권혁보, 양기섭. 2000. 남해연안 패류양식장의 부영양화 특성
- 장묘인, 김엘리아, 유명숙, 2001. 사천만산 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 생식주기.
- 정우진, 조상만, 이상준, 서진형, 2006. 한산 진두연안의 바지락 양식장 적정관리에 관한 연구.
- 조영현, 김윤, 류청로, 이경식, 이인태, 윤한삼, 전수경. 2010. 고흥 남성리 패류양식장의 지형 구조와 저서생물 현장 조사
- 조창환, 양한변, 박경양, 염말구, 양한섭. 1982. 鎮海灣 貝類養殖場 의 底質 에 關한 研究
- 조창환, 박경양. 1983. 고성·자란만 패류양식장 저지의 부영양화
- 조태진, 이상배, 김석윤, 2001. 바지락 양식장의 저질 환경 분석.
- 중앙기상대 (1984). 한국태풍 80년보. p35~36
- 한국해양연구원 (2005.12). 전해역 심해설계과 추정 보고서 II. BSPE95100-1767-2. p37
- 해양수산부 (1997). 장기과량산출자료집, p80
- 해양수산부. 2001. 패류 양식장에서 지속적인 생산성 유지를 위한 최적 생산 기술 개발 p196
- 해양수산부, (2010) 해양환경공정시험방법.
- Anderson, G. J. (1982) Comments on the settlement of manila clam spats (*Tapes philippinarum*) at Filucy Bay, Washington, USA. *Journal of Shellfish Research*, 2: 115.
- Arakawa, A. and V. R. Lamb (1997) Computational design of the basic dynamical

- process of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, 17: 173-265
- Booij, N. et al. (2004). SWAN Cycle III version 40.41 - User Manual, Delft University of Technology.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation. *J. Geophysical Research*, 104(C4): p.7649-7666.
- Chang, K. I., K. Kim, S. W. Lee and T. B. Shim, (1995). Hydrography and sub-tidal current in the Cheju Strait in Spring. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 30: 203-215.
- Chihara, M and M. Murano, 1997. *An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan*. Tokai University Press, Tokyo, 31-483.
- Cupp, E.E., 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. of Oceanogr., Univ. Calif.*, 5: 1-237
- Dodge, J.D., 1982. *Marine dinoflagellates of the British Isles*. Her Majesty's Office. London, 214 pp.
- Folk, R. L., P.B. Andrews, and D. W. Lewis. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. and Geophys.* 13:937-968.
- Folk, R. L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river. A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27: 3-27.
- Galperin, B., Kantha, L. H., Hassid, S. and Rosati, A. (1988) A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows, *Journal of the Atmospheric Science*, 45: 55-62.
- Hamrick, J. M. (1994) Linking hydrodynamic and biogeochemical transport and transformation models for estuarine and coastal waters, *Estuarine and coastal modeling III*: 591-608.
- Hamrick, J. M. and Moustafa (2001a) Development of the Everglades wetland hydrodynamic model, Part I: Model formulation and physical process representation. Submitted to *Water Resource Research*.
- Hamrick, J. M. and Moustafa (2001a) Development of the Everglades wetland hydrodynamic model, Part I II: Computational implementation of the model. Submitted to *Water Resource Research*.
- Hasselmann, K. et al. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deutsche*

- Hydrografische Zeitschrift Supp., 12(A8). p80
- Holthuijsen, L.H., Hermann A. Booij, N., (2003). Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering*, 49(4), p79
- J. Widdows, 1978. Physiological indices of Stress in *Mytilus Edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 58:125-142
- Kang, K.H., J.Y. Chang and Y.H. Kim, (2000) Growth comparison of short neck clams, *Tapes philippinarum* between the two culturing areas. *Korean Journal of Malacology*, 16(1-2): 49-54 (in Korean).
- Kim, C.G., Kim, H.S, Baik, C.I. (2008). Design of artificial reefs and their effectiveness in the fisheries of eastern asia. *American Fisheries Society Symposium*, Vol. 49, p.933-942.
- Lee, C.S., Y.S. Choi and Y.R. Cho, (1999) Stocking density and culturing environment of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*). *Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*, 56: 177-186 (in Korean).
- Lee, Y.H., Y.J. Chang, H.K. Lim and G.S. Chung, (1996) Comparison of growth and survival rate in shortnecked clams, *Ruditapes philippinarum* from different seedling production areas. *Journal of Aquaculture*, 9(3): 223-232 (in Korean).
- Lloyd, M. and R.J. Ghelard, 1964. A table for calculating the equitability component of species diversity. *J. Anim. Ecol.*, 33: 421-425.
- Loosanoff, V. L. and H. C. Davis (1963) Rearing of bivalve mollusks, *Advances marine biology academic press*, 1: 100-112
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71.
- McNaughton, S.J., 1967. Structure and function in California grasslands. *Ecology*, 49: 962-972.
- Mellor, G. L. and Yamada, T. (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Review of Geophysical Space Physics*, 20: 851-875.
- Mellor, G. L. (1998) User's guide for a three-dimensional, Primitive equation, Numerical Ocean Model. Atmospheric and Ocean Science Program, Princeton University, Princeton, NJ.
- Oye, G. L. Mellor and R. I. Hires (1985a) A three-dimensional simulation of the Huston-Raritan estuary, I: Description of model and model simulations. *J. Phys. Oceanography*, 15: 1676-4692
- Oye, G. L. Mellor and R. I. Hires (1985b) A three-dimensional simulation of the Huston-Raritan estuary, III: Salt flux analyses. *J. Phys. Oceanography*, 15: 1711-1720
- Park, K.I. and K.S. Choi, (2001) Spatial distribution of the protozoan parasite *Perkinsus*

- sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Korea. *Aquaculture*, 203: 9-22.
- Park, K.I., K.S. Choi and J.W. Choi, (1999) Epizootiology of *Perkinsus* sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Komsoe bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 32: 303-309 (in Korean).
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon, Oxford. 173pp.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Pielou, E.C., 1977. *Mathematical Ecology*. Wiley, New York.
- Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. and Booij, N. (1999). A third-generation wave model for coastal regions 2. Verification. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4): 7667.
- Roger Mann, Stephen J. Glomb, 1978. The effect of temperature on growth and ammonia excretion of the Manila clam *Tapes japonica*. *Estuarine and Coastal Marine Science.*, 6:335-339
- Shannon, C.E., and W. Weaver, 1963. Diversity indices. In Ludwig, J.A., and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons, pp. 89-92.
- Shin, S. H. (1996) Growth and production of short-necked clam (*Tapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang bay. Master Thesis, Yosu National University, Yosu, Korea, 118 pp.
- Smaal. A.C., J. Widdows, 1994. The scope for growth of bivalves as an integrated response parameter in biological monitoring. *CRC Press*.pp.247-267
- Smagorinsky, J., (1986) General circulation experiments with the primitive equations, Part I: the basic experiment. *Mon. Wea. Rev.*, 91: 99-152
- Smolarkiewicz, P. K. and T. L. Clack (1986) The multidimensional positive definite advection transport algorithm: further development and applications. *Journal Comp. Phys.*, 67: 396-438
- Suk, M. S., Hong, G. H., Chung, C. S., Chang K.I., and Kang D.J., (1996). Distribution and Transport of Suspended Particulate Matter, Dissolved Oxygen and Major Inorganic Nutrients in the Cheju Strait. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 31(2): 55-63.
- Tomas, C.R., 1997. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press. Oxford, 858 pp.
- Yoon, H.S., Y.K. An, S.T. Kim, S.D. Choi, (2011) Age and Growth of the Short Necked *Ruditapes philippinarum* on the South Coast of Korea