

BSPM33900-1717-3

GOVP1200612831
T0013313

통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서 (3단계 1차년도 보고서)

Studies on the Development of Marine
Ranching Program in Tongyeong, Korea

2005. 12

주 관 연구 기관
한국해양연구원



해양수산부
MINISTRY OF MARITIME AFFAIRS & FISHERIES

제 출 문

해양수산부장관 귀하

본 보고서를 “통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업” 과제의 3단계 1차년도 최종보고서로 제출합니다.

2005. 12.

주 관 연 구 기 관 명 : 한국해양연구원
총 괄 연 구 책 임 자 : 김 종 만
협동연구기관명(책임자): 한국해양수산개발원(류정곤)
상명대학교(이진환)
부경대학교(장창익)

■ 분야별 세부책임자 및 참여연구원

□ 어장조성 및 관리 : 세부책임자 강 래 선

한국해양연구원 : 김종만, 이순길, 박철원, 명정구, 홍경표, 노충환, 박홍식, 박찬홍, 심원준, 오재룡, 김경태, 김은수, 조성록, 홍상희, 임운혁, 정지현, 김남숙, 하성용, 박판수, 박준건, 신진선, 이현정, 윤민상, 장시훈, 박찬홍, 추용식, 현상민, 권수재, 김창환, 박은순, 김은경, 이광자, 박준영, 팽우현, 김민석, 노봉호, 최희정, 최승민, 오승용, 장요순, 강돈혁, 백상규, 이학철, 조선형, 박정호, 김지영, 이종욱, 윤병선, 한정미, 임주백, 이천희, 최동문

국립수산과학원 : 김창길, 정도훈, 김호상, 태종환, 김연진, 최혜련

상명대 : 이진환, 김말남, 방효주, 이선희, 박성환, 김미선, 김경은, 한연희, 주형민, 권오윤, 이정선, 조용희, 김형년, 임아현, 주상범

여수대 : 한경호, 김춘철, 김승한, 노성삼

부경대 : 장창익, 윤상철, 나종현, 이종희, 박희원, 권유정, 강충배, 태종환, 강경하, 최재훈

(주)선도소프트 : 오정희, 권오영, 조우익, 조은진, 백선일

□ 자원증대 및 관리 : 세부책임자 명 정 구

한국해양연구원 : 김종만, 이순길, 박철원, 안국전, 강래선, 홍경표, 노충환, 박홍식, 박용주, 김민석, 최희정, 노봉호, 강돈혁, 오승용, 장요순, 임주백, 김지영, 백상규, 이학철, 박정호, 조선형, 최동문, 윤병선, 이종욱, 한정미, 이천희, 정태운, 정종범, 강충배, 김완수, 김봉채, 최복경, 허형택, 김병남, 김현욱, 박정의, 윤성민, 최원선, 김관석, 황선영, 이윤호, 최현우, 이민경, 유정화

경상대 : 김남길, 김승오, 김인애, 신설호, 곽우석, 최우진, 김정훈, 최준호, 박춘성

부경대 : 강용주, 권대현, 박경동, 이해원, 김정현, 신현욱, 태종완, 강주석

여수대 : 황두진, 박주삼, 김동연, 강원진

강릉대 : 전중균, 태종완, 강주석

교토대 : 田中 克, 山下 洋, Kai. Yoshiaki

□ 이용 및 관리기술 : 세부책임자 류 정 곤

해양수산개발원 : 류정곤, 강종호, 김대영, 김도훈, 안재현, 김수진, 김수현, 김정협, 정혜란, 나미애, 전희성, 이승진

(주)이티카운슬 : 노영희, 김재석, 한교남, 오희택

요 약 문

I. 제 목

통영해역의 바다목장화 개발연구 용역 사업 (3단계 1단계 보고서)

II. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 새로운 해양 질서의 정립과 함께 원양 어장은 축소되고 있으며 남획과 연안오염으로 말미암아 연근해의 수산 자원은 고갈되어 왔으나 경제 발전과 함께 국민들의 수산물에 대한 수요는 점차 증가하고 있어 국내 수산업의 존립 기반마저 흔들리고 있는 실정이다. 또 수입 자유화에 따른 외국으로부터의 수산물 대량 수입은 경제 기반이 취약한 국내 영세 어민들의 생존권마저 위협할 것으로 판단되어 이에 대비한 종합적인 대책이 절실한 때이다.

앞으로 해양생물 자원을 개발하고 그러한 자원의 지속적인 생산을 위해서는 지금까지의 어촌개발 사업이나 자원 증대 사업을 포함하는 보다 종합적인 연구 사업수행이 요구되고 있다. 현재의 증·양식 사업보다 해양생물자원의 지속 가능한 높은 생산력을 유지하고 바다를 최대한 이용하기 위한 해양공학 등의 기술을 활용한 어장 조성 등으로 환경 파괴 없이 환경친화적인 자원 잠재력 증대 사업이 바다목장 사업인 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 사업은 3단계 1차년도 사업(8년차 사업)으로서, 1단계와 2단계 사업에서 개발된 기술의 “적용 및 효과 조사” 및 향후 바다목장을 위한 매뉴얼 작성을 목표로 하였다. 연구 분야는 크게 1) 어장 조성 분야 2) 자원 조성 분야 3) 바다목장의 이용·관리로 나누었으며, 분야별 주요 연구 개발 내용은 아래와 같다.

첫째, 어장 조성 분야

(환경 특성)

- 생태계 특성파악
- 환경호르몬
- 서식지 특성분석
- 생태계모델 개발
- 관측자료 표준화 및 DB구축

(어장 조성)

- 해저지형
- 인공어초

둘째, 자원 조성 분야

- 대상생물의 방류 효과
- 해중립 조성, 종묘생산 및 이식기술
- 방류 효과 조사 및 자원조사
- 자원조성 매뉴얼 작성

셋째, 이용·관리 분야

- 수산자원관리수면 이용·관리실태 조사
- 바다목장 이용관리계획 수립 및 실행
- 어획물 브랜드화 및 유통체제 구축
- 사후 투자 효과분석
- 이용관리 매뉴얼 작성

IV. 연구개발결과

1. 목장해역의 생태계특성

이화학적 환경특성

2005년 5월부터 11월까지의 물리화학적 환경요인 중 수온은 최저 14.3℃(5월)에서 최고 24.4℃(8월)까지 변화하여 대기의 영향을 받고 있었다. 염분은 32.1~35.7‰의 변화로 11월에 낮고 봄철과 여름철에 높았다. 한편, 여름철에 태풍으로 인하여 표층과 저층수의 수직 혼합으로 염분약층은 일어나지 않았다. pH는 7.90~8.27의 범위를, 용존산소량은 9.00~14.62 mg · ℓ⁻¹, 부유물질은 2.7~19.2mg · ℓ⁻¹의 범위를 나타내었다. 월별 평균 투명도는 5월에 3.3m, 8월에 7.5m, 11월에 5.3m를 보였다. 화학적산소용구량은 5, 8, 11월 모두 해역 수질 1급수에 해당하는 수치였다. Chlorophyll-a의 농도는 최저 0.4 1.7μg · ℓ⁻¹에서 최고 1.4 μg · ℓ⁻¹를 보였으며, 월별 평균 chlorophyll a의 농도는 5월에 표층과 저층에서 각각 1.7 μg · ℓ⁻¹와 1.4μg · ℓ⁻¹를, 8월에 0.9μg · ℓ⁻¹와 0.7μg · ℓ⁻¹를, 11월에는 2.1μg · ℓ⁻¹와 1.4μg · ℓ⁻¹를 나타내어 표·저층의 농도가 11월을 제외하고 차이가 크지 않았다.

2000년부터 2005년까지의 물리·화학적 환경요인의 조사결과는 중 평균 수온은 표층과 저층에서 각각 18.3℃와 17.2℃를, 염분은 32.3‰와 33.1‰을, 용존산소는 5.71mg · ℓ⁻¹와 5.31mg · ℓ⁻¹를, pH는 8.15와 8.13을, 부유물질은 16.18mg · ℓ⁻¹와 17.96mg · ℓ⁻¹를, 투명도는

4.5m를, chlorophyll *a*는 $2.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 와 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 였다. 2000년부터 2005년까지 본 해역은 물리·화학적 환경으로 부영양화 기준치와 비교하면 증영양화 해역으로 판명되었다.

2005년도 미생물의 월별 증속영양 균체수는 8월에 5월과 11월에 비하여 많이 검출되었다. 즉, 5월의 표층수와 저층수에서 균체수는 각각 $4.7 \times 10^2 \sim 5.9 \times 10^3 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 와 $4.3 \times 10^1 \sim 6.6 \times 10^2 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$, 8월에는 $1.1 \times 10^3 \sim 4.4 \times 10^3 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 와 $2.0 \times 10^1 \sim 2.0 \times 10^2 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$, 11월에는 $2.5 \times 10^1 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1} \sim 3.7 \times 10^2 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 와 $2.3 \times 10^1 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1} \sim 5.1 \times 10^2 \text{cfu} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 나타났다. 2002~2005년 사이의 종조성에서 공통적으로 분리된 세균은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4로서 이들이 통영 바다목장 해역의 우점종으로 출현하였다.

생물군집특성

2005년도 조사에서 식물플랑크톤 군집은 돌말류 71 분류군, 와편모조류 6 분류군 그리고 규질편모조류 2 분류군이었으며, 총 출현분류군의 90% 정도가 돌말류였다. 식물플랑크톤군집의 출현종수는 계절별, 정점별 차이가 있었으며, 5월에 최저 13종 (정점 3의 저층)에서 최고 34종 (대조구의 저층)까지, 8월에는 최저 21종 (대조구의 표층)에서 최고 34종 (정점 4의 표층)까지, 11월에는 최저 5종 (정점 10의 표층)에서 최고 25종 (정점 1의 저층)까지 다양하게 변화하고 있었다. 식물플랑크톤 현존량의 변화는 최저 $1.29 \times 10^4 \text{cells} \cdot \ell^{-1}$ (5월 정점 8의 저층)에서 최고 $3.76 \times 10^5 \text{cells} \cdot \ell^{-1}$ (11월 정점 1의 표층)까지 변화폭이 컸다. 월별 변화는 5월에 $1.29 \sim 4.21 \times 10^4 \text{cells} \cdot \ell^{-1}$, 8월에 $3.60 \sim 8.62 \times 10^4 \text{cells} \cdot \ell^{-1}$ 그리고 11월에 $0.43 \sim 3.76 \times 10^5 \text{cells} \cdot \ell^{-1}$ 의 범위를 보이고 있었다. 우점종은 5월, 8월과 11월에 표층과 저층에서 *Chaetoceros constrictus*, *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*, *Pseudonitzschia pungens*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp. 등 이었다.

2001~2005년까지의 월별 동물플랑크톤 평균 개체수의 변화는 2002년 10월에 가장 낮은 344 indiv./m³을 보였고, 2001년 8월 가장 높은 25,182 indiv./m³을 보였다. 년별 및 계절별 개체수의 변화경향은 2001년 8월부터 12월까지, 2002년 7월부터 10월까지 각각 동절기로 접어들면서 감소 추세를 나타내었다. 2005년도의 동물플랑크톤군집의 월별 출현종수는 월별 차이가 심하여 5월에 평균 18종이었고, 8월에 25종, 11월에는 23종으로 5월에 가장 빈약한 종조성을 나타내었다. 월별 평균 출현 개체수는 5월 720 indiv./m³, 8월 1,852 indiv./m³, 11월에 816 indiv./m³로 변화하였다. 2005년 주요 출현종은 단연 요각류였으며, 분류군이 큰 것은 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 극피동물(echinodermates), 유형류(larvaceans) 등이었다. 월별 우점종은 5월에 요각류 *Oithona similis*였으며, 그 다음으로 우점한 종들도 역시 요각류 *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이었다. 8월에 우점종은 이매패류의 초기부착 유생이었다. 이 종은 그 밀도가 전체 동물 그것의 47.6 %에 해당하는 정도여서 요각류를 전부 합친 것보

다 더 높은 밀도를 보였다. 11월에는 요각류 *Calanus sinicus*였으며, 그 다음으로 유형류의 *Oikopleura dioica*였다.

2005년 7월부터 10월까지 통영의 바다목장화 대상지역인 통영 연안에서 난·자치어와 어류상의 분포를 난·자치어네트와 삼중자망, 소형기선저인망을 이용하여 채집을 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 부유성 난은 총 8개 분류군으로, 주둥치가 전체 출현량의 24.10%를 차지하여 가장 우점하였다. 자치어는 총 5목 10과 14종이 출현하였고, 그 가운데 멸치가 전체 출현량의 54.13%를 차지하여 가장 우점하였으며, 다음으로 미역치가 17.63%를 차지하였다. 삼중자망에 의해 채집된 어류의 경우 총 1,061개체로써 1강 5목 18과 25종이 출현하였다. 그 중 농어목 어류가 9과 10종으로 가장 많이 출현하였다. 저인망의 경우 총 38,540개체로 2강 7목 23과 33종이 출현하였고, 그 중 농어목 어류가 10과 11종으로 가장 많이 출현하였다.

환경호르몬

통영바다목장 중심해역 내에서 표층퇴적물 및 진주담치를 채취하여, PCB 화합물(동위체 22종), 유기주석화합물(부틸주석화합물 3종), 노닐페놀, 비스페놀A를 분석하였다. 조사대상 표층퇴적물 및 진주담치 체내에 잔류하는 유기오염물질의 경우 전반적으로 전국연안의 농도와 비교하여 중간값 또는 그 이하의 값을 보였다. 단, 조사 자료가 희박한 노닐페놀과 비스페놀A의 경우 연안에서 조사된 값과 유사한 범위를 보였으나, 우리나라 하천 및 외국에서 보고된 농도에 비해서는 현저히 낮은 값을 보였다. 노닐페놀과 비스페놀A를 제외한 나머지 오염물질의 경우 전국 연안과 비교하여 이들 물질의 주 오염원으로부터는 거리를 두고 있는 해역임을 보여주고 있다. 하지만 선박기인의 유기주석화합물의 경우 전국 연안과 비교하여 중간값을 일부 상회하는 농도가 검출되었을 뿐만 아니라 선진국의 퇴적물 권고기준을 일부 초과하고 있다. 한편 생물체 중 진주담치에 잔류하는 조사대상 유기오염물질의 경우 선진국에서는 제시하는 수산물 안전기준 이하의 값을 보여, 통영바다목장화 중심해역에서 생산되는 수산물 중에 잔류하는 유기오염물질로 인한 인체위해성은 없는 것으로 판단되었다. 단, PCBs의 경우 생태독성평가기준을 일부 상회하는 시료가 있었으며, TBT 체내 농도 역시 일부 시료에서 고등류의 임포섹스를 유발할 수 있는 수준 이상으로 검출되었다.

2005년 5월 25-26일에 통영 바다 목장화 주변 해역의 22개 정점 표층 퇴적물과 20개 정점 진주담치에 대하여 중금속(알루미늄, 크롬, 구리, 아연, 카드뮴, 납, 수은) 오염을 측정하였다. 통영 바다 목장화 주변 해역 퇴적물의 중금속은 조사해역의 북서부와 미륵도 연안에서 높은 경향이였다. 중금속은 AI과 높은 상관성을 보여 간접적으로 입도의 영향이 크게 작용하고 있었다. 카드뮴과 수은은 ERL이하였지만 크롬은 총 16개 정점, 구리는 총 7개 정점에서 ERL을 초과하였다. 정점 1은 4개 원소가 ERL을 초과하는 등 가장 오염

도가 높았다. 진주담치의 중금속 농도는 정점 3, 15, 20에서 다소 높은 경향이었고, 카드뮴-아연, 납-구리, 수은-카드뮴 간에는 서로 양호한 정의 상관성을 보였다. 1990년 우리 나라 연안 평균 농도에 비하여 크로뮴과 아연, 카드뮴은 약간 낮았지만 구리, 납, 수은은 높았다. 진주담치의 크로뮴, 납, 수은의 최대 농도도 우리 나라와 호주, EU의 기준보다 낮았다.

서식지 특성분석

통영바다목장의 효율적 어장조성과 자원방류를 위해 1999년부터 2003년까지 계절별 해양환경과 생물군집 자료를 바탕으로 바다목장 해역의 서식지를 구분하였다. 통영바다목장 해역은 크게 암반서식지 및 연성저질 서식지로 구분되었다. 암반서식지의 우점종은 해조류 (*Ulva pertusa*, *Myagropsis myagroides*, *Gelidium amansii*, *Codium fragile* and *Ecklonia stolonifera*) 및 부착동물 (*Balanus trigonus*, *Serpula vermicularis*, *Corophium* sp., and *Halocynthia roretzi*)이며, 대개 수심 6 m 이내에 분포하였다. 연성저질 서식지는 크게 5가지(Type A, B, C, D, E)로 구분되었다. Type A의 경우 연명포구로부터 장두도 사이에 위치한 곳으로 수심 38~47 m이며, 표층 총질소는 26.7 μ M, 표층 부유물질은 12.8 mg/L, 평균입도는 4.6, 퇴적물의 총탄소는 2.9 mg/g이다. 우점종은 식물플랑크톤, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum*, 동물플랑크톤, *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*, 그리고 연성저질저서동물 *Lumbrineris longifolia*, *Capitella capitata*이다.

생태계 모델

본 연구에서는 생태계 기반 자원관리 시스템, 자원조성 시스템과 자원관리 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 생태계 기반 자원관리 시스템에서는 자가구성법(self-organizing mapping, SOM)을 적용하여 이전 연구에서 수행한 생물군 그룹핑의 적합성을 과학적인 근거에서 검증하였고, 생태계 구조 모델을 사용하여 바다목장조성 이전과 이후의 통영 생태계의 구조를 파악하였으며 생태계 역학 모델을 사용하여 생태계 내 생물군의 양적 변동을 구명하고 환경수용량을 추정하였다. 또한, 잠재생산력 평가를 위해 어획강도에 따른 자원량을 예측하였다. 자원조성 시스템에서는 개체군 분석 모델을 사용하여 대상어종의 자원조성 목표량 및 환경수용량을 추정하였다. 자원관리 시스템에서는 생물학적 기준점과 생태계 구조 및 기능을 고려한 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델을 사용하여 바다목장 대상종의 ABC를 추정하였다.

관측자료 표준화 및 DB구축

본 연구에서는 기존의 통영바다목장 연구과정 및 7년(1998~2004)동안 지속되어온 연구결과 중 바다생물에 가장 중요한 환경요인인 해양물리환경 조사자료를 종합하고 재정리하여 정밀검토를 수행하였는바, 연구결과에 대한 이해도를 높일 수 있도록 연구정보를 데이

터베이스화 하였다. 데이터베이스는 공간데이터와 콘텐츠 데이터로 구분하였는데 공간데이터 구축은 조사결과 데이터를 월별/계절별로 정리한 종합 매트릭스표를 이용하여 그래프 및 GIS분석주제도(공간분석 기법 사용)를 구축하였다. 콘텐츠 데이터는 지금까지 통영에서 수행되어온 주요 연구에 대한 자료를 체계적으로 종합하고 분류한 것으로 알기 쉽게 정리하였다. 본 연구를 통하여 그간 매년 연속적으로 수행한 조사, 연구결과 데이터를 기반으로 계절별, 월별 해양환경변화 패턴 분석용 기초자료로 제공할 수 있으며, 통영바다목장 조성사업에서 사용된 주요 기술을 정리하여 추후 신규 바다목장 조성 시 지침역할을 할 수 있는 데이터로 활용할 수 있다.

2. 어장 조성 기술

해저지형

통영 바다목장화 해역 중 미륵도-곤리도-만지도해역의 다중빔 정밀 음향 측심기를 이용하여 얻은 수심자료와 육지지형 수치자료를 통합 처리하여 등수심도 및 3차원 해저지형도를 작성하였다. 연구지역은 강한 조류의 흐름으로 인해 조사지역 곳곳에 수심이 깊은 해저골이 나타나며 미륵도 남쪽의 조도수도를 중심으로 하는 동서방향의 해저골과 이 수도 위쪽의 작은섬들 사이에 나타나는 소규모의 해저골들로 나눌 수 있고 이 해저골들은 모두 조도수도의 빠른 조류의 영향을 받은 것으로 판단된다. 가장 깊은 수심은 약 -55 m 정도로 만지도 북서쪽에 나타나며 만지도 서쪽의 외해와 이어진다. 해저골을 제외한 조사지역의 전체적인 평균수심은 약 -30 m 내외를 나타내며 섬 주변으로 가면서 점차 얕아지고 섬 가까이에서 급한 경사면을 이루면서 육지와 이어진다. 해저지형이 -10 ~ -20 m 정도의 얕은 수심을 보이는 섬 주변의 해안에서는 양식장들이 많이 분포하고 있다. 이 조사지역은 3차원 지형도에서 볼 수 있듯이 곳곳에 인공어초군으로 판단되는 지역이 분포하고 있다. 2005년 9월에 경남 통영지역 바다목장화 연구지역(미륵도 주변해역)에서 31개의 표층퇴적물을 통해 지질 및 지화학 분석을 실시하였다. 표층 퇴적물은 크게 2개의 퇴적체(역질, 니질)로 구분이 가능하다. 대부분의 해역은 세립한 니질 퇴적물로 구성되었으며, 만지도 주변해역 및 조도수로 해역만 역질 퇴적물이 분포하고 있다. 퇴적물 내의 유기탄소 함량은 비교적 낮은 값을 보이고 있으며(0.69~1.18% (0.96%)), 탄산염은 7.07~37.64%로 역질퇴적체가 분포하는 지역에서 주로 나타나고 있다. C/N 비가 5.01~6.99로 나타난 것으로 보아, 모든 퇴적물이 해양의 생물에 의해 생성된 유기물이 퇴적된 것으로 나타났다. 황화수소 가스의 함량은 0.5~195.8 ppm으로 전 해역이 200 ppm 이하의 오염되지 않은 상태를 나타내고 있다.

인공어초

본 연구에서는 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초 (다기능고층

어초)의 적지분석, 동 어초의 제작공법, 시설된 대형어초의 효과에 대해서 수행하였다. 통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 지역 (Site B)의 최강유속은 0.8 kn이며, 저질은 니질로 구성되어 있다. 동 지역의 탄성파의 두께는 10-30m이며, 바다 저면에서 80cm 까지의 깊이까지의 전단강도 값은 1.28 - 5.47 kpa이다. 이들 조건은 어초의 자중이 약 58톤으로 비교적 무거운 것이나, 단위면적 당 하중이 크지 않아 침하의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다. 동 어초의 적정시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하는 방법이다. 시공법과 관련해서는 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터 이탈되지 않도록 시설하는 방법과 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하여 시설하는 방법도 고려해 볼 필요가 있다.

3. 자원 조성 기술

방류효과

방류어의 성장

방류 조피볼락은 재포한 후 서식처별 성장을 조사하였다. 20개월령일 때 재포한 조피볼락의 평균 전장과 체중은 대장두도 주변이 19.9cm와 149.2g, 곤리도 주변이 20.8cm와 141.7g 그리고 축도(유도) 주변이 18.7cm와 97.0g이었다. 만 2세어에 도달했을 때 방류 조피볼락의 평균 전장과 체중은 대장두도 주변이 25.5cm와 235.4g, 곤리도 주변이 25.2cm와 185.0g 그리고 축도(유도) 주변이 16.6cm와 173.0g이었다. 번식 시기에 도달한 35개월령일 때 평균 전장과 체중은 대장두도 주변이 30.8cm와 433.0g, 곤리도 주변이 30.2cm와 411.7g, 축도(유도) 주변이 30.3cm와 411.0g이었다. 서식처별 일일 성장률은 대장두도 주변이 0.468%/일로서 다른 두 서식처에 비해 높은 값을 보였다. 방류 볼락의 성장을 같은 해역에 설치한 가두리 양식어와 비교하였다. 24개월령일 때 평균 체중은 방류어가 132.4g 그리고 양식어는 147.7g이었다. 36개월령일 때의 평균 전장과 체중은 방류어가 19.6cm와 218.2g 그리고 양식어는 20.2cm와 245.2g이었다. 일일 성장률은 36개월령까지 방류어가 0.471%/일로서 양식어(0.485%/일)에 비해 낮은 값을 보였다.

방류어의 건강도

방류어의 건강도를 판정하기 위하여 혈액학적 분석을 실시하였다. 방류어와 양식어의 헤모글로빈과 헤마토크리트를 조사한 결과, 방류어는 양식어에 비해 유영성, 활동성 및 산소 소비량이 뛰어나 조혈 기능이 양호한 것으로 조사되었다. 총단백, 포도당, 알부민 그리고 총콜레스테롤을 조사한 결과 방류어와 양식어간 차이가 없었다. 방류어와 양식어간 젖산탈수소효소, 트랜스아미나제, 요소질소, 알칼리성 포스파타제, 크레아티닌 그리고 칼슘을

월별로 조사한 결과, 두 계통간 간 기능, 근육 조직 및 장관 활성화는 차이가 없었으나 고수온기에 선발 계통은 조혈기인 신장 기능이 활성화 되고 수온 상승기에 사료 섭식이 더 활발함을 알 수 있었다.

방류어의 성숙

방류 불락을 대상으로 성숙도를 조사하였다. 완숙 시기 불락 암컷의 평균 간중량지수, 생식소 중량 지수, 내장 중량 지수 그리고 비만도는 각각 $1.1 \pm 0.4\%$, $22.5 \pm 4.7\%$, $27.8 \pm 4.2\%$ 그리고 23.9 ± 2.1 였다. 방류 불락(평균 체중: $374.2 \pm 88.0\text{g}$)의 평균 포란수는 $60,579 \pm 9,078$ 개였으며, 어체중당 알 수는 평균 165.0개였다.

조피볼락의 이동범위와 일주행동

2005년 7월 27일과 11월 1일부터 각각 1주일간 통영바다목장 주변에서 어획된 자연산 조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 15마리(성어; 전장: 33.0-43.0 cm; 체장: 27.5-38.0 cm; 체중: 440-1180 g)를 체내표지법으로 표지하고 방류하여 음향 텔레메트리로 조피볼락의 이동범위와 일주행동을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하계(7월 27일)에 어획장소 및 그 주변(거리 850 m)에 방류한 조피볼락 10마리 중 2마리(표지번호: 64, 76)는 방류 후 하루 동안에 약 2 km를 이동하였으며, 나머지는 방류 후 1주일 동안 방류장소로부터 반경 500 m를 벗어나지 않았다. 추계(11월 1일)에 어획장소에 방류한 조피볼락 5마리는 모두 방류 후 1주일 동안 방류장소 주변(반경 500 m이내)에 머물렀다.

2. 하계와 추계에 방류한 조피볼락은 야간의 수평적인 행동범위가 주간보다 넓었으며, 추계보다는 하계의 수평적인 행동범위가 넓었다. 조피볼락의 연직방향의 일주행동을 보면 대체로 주간보다는 야간에 얕은 수층으로 이동하는 경향이 있었고, 특히 일출 후 보다 깊은 곳으로 이동하여 약 5시간 정도 일정한 깊이를 유지하는 행동을 보였다.

방류한 조피볼락은 대체로 방류 후 36시간 이상이 경과한 때부터 안정적인 연직방향의 행동을 보였다.

3. 음향표지어 (표지번호 34, 70 및 88)는 야간보다는 주간에 인공 또는 자연의 수중 구조물에서 은신하는 경우가 많고, 어획지점으로 돌아온 후부터의 정착한 시간이 길수록 구조물 등에서의 은신 시간이 길어지는 것을 알 수 있었다.

해삼

통영바다목장 해역에 위치한 대장두도 인근에 대한 해삼의 분포양상 및 성장을 조사한 결과 방류초기 어린해삼의 경우 주로 암반해역을 서식처로 하고 있었으며, 이후 성장함에 따라 가두리해역 등 연질기저로 이동하는 것으로 판단된다. 또한 이러한 서식처에 따른 분포는 계절에 따라서도 일어나는 것으로 보이며, 여름철 높은 수온을 피하기 위한 하잠

(summer sleeping)에 의한 것으로 보인다. 서식처 유형 및 해역 곳곳에 위치한 인공적인 구조물에 대한 조사결과에서 나타났듯이 체장이 50 mm 내외인 방류해삼의 경우 주로 지형적으로 보호된 지역을 선호하고 있었으며, 따라서 단순한 연질기저보다는 상대적으로 입체적인 서식처 구조를 보이는 암반해역에서 대부분이 서식하는 것으로 판단된다. 가두리해역 및 연질기저해역에서 출현한 방류해삼의 경우 대부분 담치류의 폐각이나 인공적인 구조물에 의해 상대적으로 보호된 지역에서 출현하였다. 따라서 해삼의 방류에 있어서 암반해역 뿐만 아니라 공간 다양성 측면에서 뛰어난 가두리해역에 대해서도 방류를 시도해 볼 가치가 있을 것으로 판단된다. 또한 통영바다목장해역에서 출현하는 해삼의 연령구조가 2세군에 집중되어 있으며, 봄철인 5월 이후부터 이후 연령군의 해삼이 출현하는 것으로 나타났다.

방류 현황

본 과제 수행 기간(1998년부터 2005년까지) 동안 통영 바다목장 대상 해역 내 방류한 종묘는 조피볼락, 볼락, 감성돔, 참돔, 넙치, 전복 그리고 해삼의 7종으로서 마리수는 각각 4,054,317마리, 2,043,655마리, 2,177,000마리, 302,500마리, 52,000마리, 107,000마리 그리고 100,000마리로서 총 8,836,472마리였다. 이중 이번 사업 기간 중 방류한 어종은 조피볼락, 볼락 그리고 감성돔으로서 방류 마리수는 각각 576,000마리, 731,955마리, 그리고 323,000마리로서 총 1,630,955마리였다.

해중립 조성기술

1998년에 시작된 통영바다목장사업의 한 부분으로 어류 또는 무척추동물의 서식지인 해중립의 효율적 조성방법을 연구해 왔다. 본 사업의 1단계인 1998년부터 2000년까지는 바다목장해역의 해조군집을 광범위하게 조사함으로써 해중립을 이룰 수 있는 해조류의 선정, 이들 해조류의 생물학적 특성과 생태(생활사, 성장양상, 번식주기, 공간분포, 개체군 동태 등) 파악, 그리고 이들 해조류가 해중립에 적합한 종인가에 대한 평가를 수행하였다. 본 사업의 2단계인 2001년부터 3차년도 1단계에 해당하는 금년도까지는 해중립 조성용 시설물에서 발달하는 해조류 및 부착동물군집조사를 통한 어초효과, 인공어초에 인위적으로 이식된 대형 갈조류의 지속성, 해중립 조성용 시설물의 적지선정, 그리고 이식용 종묘의 생산과 이식방법에 대해 연구해왔다. 본 보고서에서는 2001년부터 현재까지의 연구결과를 정리하여 수록하였다.

어초효과조사

효과조사는 해중립 조성을 위해 투입된 6개 시설물(곰피를 이식한 장두도 해조어초(Type I), 해조류를 이식하지 않은 장두도(Type II), 저도 해조어초(Type III), 장두도의 테

트라포드 및 자연석(Type IV), 곤리도 해조어초(Type V), 그리고 연명에 시설된 복합형 어초(Type VI)의 상부와 측면에 부착한 해조류 및 부착동물의 종류와 종류별 현존량을 2004년 4월, 7월, 10월, 그리고 2005년 1월 네 차례에 걸쳐 조사하였다. 투입된 6개 시설물에 착생한 부착생물의 종수와 생물량은 시설물간 큰 차이를 보였다. 또한 통영바다목장해역에서 해중립조성을 위해 적합종이라 알려진 곰피의 생물량 역시 시설물간 큰 차이를 보였다. 곰피는 곰피를 인위적으로 이식한 장두도 해조어초(Type I)와 자연석 및 테트라포드(Type IV)의 상부에서 주로 출현함을 볼 수 있었다. 4월 곤리도 해조어초(Type V)와 7월, 10월 그리고 1월 장두도 해조어초(Type II)와 같은 일부 시설물에서도 상부와 측면에 곰피가 착생하는 것으로 관찰되었지만 그 생물량은 30 g-wet wt/0.25m² 이하로 대단히 낮았다. 이것은 해중립 조성용 시설물에서 곰피 중심의 해중립 조성을 위해서는 인위적인 이식이 반드시 수행되거나 또는 시설물 투입 시 장소선정이 대단히 중요함을 시사한다. 연명 앞 복합형(Type VI)은 2004년 1월에 투입되었다. 본 조사결과, 2004년 4월에는 부착생물의 생물량이 극히 미미하였다. 그러나 시간이 경과할수록 부착생물의 생물량이 증가하여, 2005년 1월에는 생물량이 상부의 경우 1370 g-wet wt/0.25m²에 이르렀다. 이것은 해중립 조성을 위한 시설물에서 해조류 또는 부착동물이 안정적으로 정착하기 위해서는 최소 1년의 시간이 소요됨을 나타낸다. 곰피를 이식하지 않은 해조어초 중 특히 저도와 곤리도의 시설물은 전 계절에 걸쳐 곰피, 구멍갈파래, 미역, 잎꼬시래기와 같은 해조류의 생물량이 극히 낮은 것은 어초상부와 측면에서 해조류를 섭식하는 등근성게의 높은 밀도와 상관성이 있는 것으로 풀이된다. 이러한 해석은 등근성게와 해조류의 분포를 통해 알 수 있다. 등근성게의 경우 저도와 곤리도의 시설물에서만 출현하며, 이들 어초에서는 해조류의 생물량이 극히 낮음을 볼 수 있다. 이 결과는 안정적인 해중립을 조성을 위해서는 장소에 따라 해조류를 섭식하는 초식자의 영향을 고려하여야 함을 시사한다. 한편, 장두도 해조어초(Type I, II)의 상부에 형성된 해조군집이 인접된 자연암반생물군집과 어느 정도 유사한 가를 알기 위해 출현종수와 생물량을 비교한 결과, 해조류의 종수는 자연암반생물군집에 비해 유의하게 낮았으나, 생물량은 비교되는 세 집단 간 유의한 차이가 없었다. 마찬가지로 장두도 해조어초(Type I, II)에 착생한 부착생물의 생물량과 인접된 연성저질생물의 생물량을 비교한 결과, 해조어초에 착생한 부착생물의 생물량(436~1077 g-wet wt/ 0.25m²)이 연성저질생물군집의 생물량(90~187 g-wet wt/0.25m²)에 비해 현저하게 높은 것으로 나타났다.

인공어초에 이식된 대형 갈조류의 지속성

2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곰피 개체군의 성장 및 생존을 2005년 9월까지 분석하였다. 감태의 크기는 hyperbola의 형태로 증가함을 볼 수 있는데, 이식 후 약 10개월이 경과한 최대 2002년 9월에 평균 45cm로 최대에 이르렀고, 이후에는 가을철 번식에 따른 계절적 소장에 의해 오르내림을 반복하였다. 개체수는

이식이후 반지수적(negative exponential)으로 감소하였고, 이식 후 약 14개월이 지난 2003년 2월에는 2~3개체/0.25m²만이 존재하였다. 2004년 가을에 새로운 개체들이 가입함으로써 개체수가 약간 증가하여 2005년 9월까지 10개체/0.25m² 정도가 분포하였다. 곰피의 크기는 역시 hyperbola의 형태로 증가함을 볼 수 있는데, 이식 후 약 10개월이 경과한 2002년 9월에 평균 55cm로 최대에 이르렀고, 이후에는 가을철 번식에 따른 계절적 소장에 의해 오르내림을 반복하였다. 개체수는 감태와 마찬가지로 이식이후 반지수적으로 감소하였고, 이식 후 약 12개월이 지난 2002년 11월에는 2~3개체/0.25m²만이 존재하였으나, 2003년 이후부터는 새로운 개체들이 가입하여 2005년 9월 최대 10개체/0.25m²가 분포하였다. 이 처럼 장두도 주변 해조어초에 인위적으로 이식된 감태와 곰피는 성장과정에서 종내경쟁(intraspecific competition)과 초식 등의 요인으로 인해 개체수는 줄어드나, 줄어든 개체수는 번식, 가입, 생장으로 이어지는 일련의 과정을 통해 다시 회복되었고, 이는 장두도 주변 해조어초에서 이 두 종의 개체군 크기가 지속적으로 유지됨을 의미한다.

해중림 조성용 시설물의 적지선정

해중림 조성을 위한 시설물 투입의 적지를 판정하기 위해 동일한 시기에 서로 다른 장소(장두도, 저도, 곤리)에 투입된 콘크리트 해조어초에서 발달되는 해조군집의 특성과 어초 주변의 환경특성을 상관하여 분석하였다. 해조군집의 특성은 앞서 시설물간 효과비교에서 얻어진 자료(시설물 II, III, V의 상부 측 해조군집의 종수 및 생체량)를 활용하였다. 세 지점의 환경자료로서 2005년 5월에 수온, 용존산소, 탁도, NH₄, NO₂, NO₃, PO₄, 부유물질, 광량분포, 퇴적물의 입도와 탄소 및 질소, 그리고 유속을 측정하였다. 각 계절에 세 어초에서 출현하는 종은 9종 이하였으며, 2004년 4월을 제외하고는 장두도에서 출현종수가 가장 많았다. 종수와 마찬가지로 2004년 4월을 제외하고는 장두도에서 현존량이 가장 높았다. 어초 위 현존량과 해조류에 미치는 주요 환경요인(유속, 탁도, 퇴적물의 입도조성, 그리고 퇴적물의 유기물 함량)간의 관계를 몇 개의 변수로 줄이고, 각 정점이 이들 변수와 갖는 상관관계를 알기 위해 주성분분석(Principal component analysis)을 실시한 결과, 저도는 유속이 빠르고, 자갈이 많고, 유속에 의한 퇴적물의 재부유로 탁도가 높은 곳으로 나타났다. 따라서 해조어초에 부착한 해조군집의 현존량에서 저도의 현존량이 가장 낮았던 것은 다른 두 곳에 비해 상대적으로 빠른 유속과 퇴적물의 빈번한 재부유로 인해 해조류의 착생과 성장이 어려웠던 것으로 풀이되었다. 반면 곤리도는 유속이 느려, 사질 퇴적물이 쌓이는 곳으로 해안에서 파도에너지로부터 보호된 곳으로 곤리도에서 대부분의 계절 동안 해조류의 현존량이 장두도보다 낮은 것은 해수유동에 약하기 때문인 것으로 풀이되었다. 이상을 종합해 볼 때, 향후 통영바다목장해역에서 해중림 조성을 위해 시설물이 계속 투입되기 위해서는 장두도와 같은 환경을 지닌 곳이 가장 바람직 할 것이다. 그 환경으로는 유속이 평균 15 cm/s 정도로 적당하고, 탁도가 낮으며, 퇴적물이 모래보다는 사패질 퇴적물로 이루

어진 수심 6m 이내일 것이다.

종묘의 생산과 이식방법

종묘의 생산과 이식방법은 이 지역에서 우점하는 곰피를 대상으로 실시하였다. 연구내용은 곰피의 포자, 배우체, 어린 포자체의 수온과 광량의 요구량을 파악하는 것이었다. $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 수온 4단계(5, 10, 15, 20°C)에서 3일간 발아율을 조사한 결과, 발아율은 10~15°C에서 가장 좋았다. $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 수온 4단계(5, 10, 15, 20°C)에서 2주간 배양하여 관찰한 암배우체의 성장상태(세포수)는 15~20°C에서 가장 좋았다. 수온 15°C 광량 4단계(5, 10, 20, $40\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)에서 발아율은 광량 간 뚜렷한 차이가 없었다. 수온 15°C 광량 4단계(5, 10, 20, $40\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)에서 암배우체의 성장상태(세포수)는 10~20°C에서 가장 좋았다. 종묘의 이식방법에 관한 연구는 첫째 어느 정도의 밀도가 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 둘째 어떤 수심 층이 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 셋째 어느 크기의 종묘를 현장에 이식하여야 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가와 같은 내용을 중심으로 수행되었다. 2002년 2월과 2003년 2월에 곰피종묘(평균엽장 1.4mm)를 서로 다른 밀도(70, 140, 400, 800개체/100cm²)로 부착판(50 x 50 cm)에 감아 수심 2m에 양성하고 5개월 동안 성장시킨 후 가장 큰 20개체를 선택하여 개체의 크기(frond length)와 중량을 비교한 결과, 개체의 성장은 종묘의 밀도에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 2002년 2월과 2003년 2월에 채묘줄에 착생한 곰피종묘(평균엽장 1.4mm)를 일정한 밀도(150 개체/100cm²)로 부착판(50 x 50 cm)에 감고 서로 다른 수심(해면 하 2, 5, 8m)에 5개월 동안 성장시킨 후 가장 큰 20개체를 선택하여 개체의 크기(frond length)를 비교한 결과, 개체의 성장은 수심에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났다. 개체의 성장은 수심 2m에서 가장 좋았고, 수심이 깊어질수록 좋지 못한 것으로 나타났다. 2002년 11월 중순과 2003년 1월 중순에 서로 다른 크기(2002년 11월: 0.3mm, 2003년 1월: 1.4mm)로 양성된 곰피의 성장양상을 2003년 7월까지 조사한 결과, 두 집단간의 평균크기의 차이는 유의한 차이를 보이지 않았고, 이는 이식 시기는 개체성장과 큰 관련을 가지지 않음을 시사한다.

해조류 이식법에 의한 복합 해조장 조성

이식용 해조류는 탁도가 비교적 높은 통영시 연명리 연안에서 채집하였다. 이식 해조류의 상대 성장율은 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*), 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 명주도박(*Grateloupia sparsa*), 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 외톨개모자반(*Myagropsis myagroides*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 넓칭각(*Codium latum*), 미끈뽀대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 미야베모자반(*Sargassum miyabei*), 개그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 청각(*Codium fragile*)의 순으로 나타났다. 이들 해조류를 통영바다 목장 해역에 시설된 어초에 이식한 결과 이들 해조류는 부유물질이 많고 투명도가 낮은

통영연안의 어초시설 주변에서 잘 성장하는 것으로 나타났으며 따라서 이들 해조류를 이 해역에 집중 번식 조장 시키는 전략이 필요할 것으로 생각되었다.

자원조사

어구조사

본 연구에서 2005년 불락의 추정자원량은 2,682,120마리(110,375,294g)으로 2004년 1,919,821마리(64,697,513g)보다 자원량이 증가하였다. 최대지속적생산량(MSY)은 52,875,284,682g였으며 이때의 노력량(f_{MSY})는 1,284,870마리였다. 그리고 표지 재포획에 의해 추정된 2005년도의 조피불락의 추정 자원량은 3,548,321마리(799,480,071g)로 2004년 2,954,049마리(502,226,009g)보다 자원량이 증가하였다. 최대지속적생산량(MSY)은 358,266,994g(약 358톤)마리, 이때의 노력량(f_{MSY})는 1,5901,180마리이며 가입 당 생산량 분석에서 추정된 어획개시연령($t_c=0.9338$)을 기준으로 순간어획사망계수가 0.3170/year일 때의 가입당 생산량은 16.73g이며 현재의 추정된 F 값이 0.31일때 최대 가입 당 생산량을 얻기 위해서는 어획개시연령을 1.5세로 높여야한다.

어탐조사

수중음향 이용한 수산 자원의 분포 및 자원량을 추정하는 방법은 연근해 및 원양 자원 조사의 대표적인 방법 가운데 하나이다. 이 방법은 음향 시스템 구축 및 관련 전문가 양성의 초기 단계에 많은 비용과 시간이 소요되지만 전통적인 어구 채집 방법에 비해 비용 대 효과 측면에서 많은 장점을 가지고 있어 일본, 노르웨이 등 수산 선진국에서 사용하고 있다. 이 연구에서는 이와 같은 음향조사의 장점을 이용하여 통영바다목장해역 일대에서 음향자원조사를 실시하여 동계에 자연 상태에서 서식하고 있는 어류 및 부유생물의 주요 분포위치 및 분포강도에 관한 조사를 2005년 2월 3일과 2월 24일 실시하였다. 또, 인공어초와 같은 해양구조물 내에 서식하고 있는 어류와 해양생물에 대해서는 음향을 이용하여 현존량을 추정하는 것은 매우 어렵다. 그러나 대상생물이 생태학적 특성 즉 주야 연직 운동이나 계절적 활동성 등을 고려한 인공어초 주변의 생활 패턴을 조사하여 현존량을 추정하는 기술을 개발하고자 하였다. 이를 위해 인공어초 직상에 어군탐지기를 고정시킨 다음 음향을 이용한 어초주변의 어류 및 해양생물 위치 분포를 파악하였다. 한편, 1999년 이후 통영바다목장해역에 있어서 조피불락, 참돔, 감성돔, 등의 어류를 방류하였다. 이후 바다목장해역에 있어서 이들 어종의 증감이나, 해양생태계의 증감을 파악하는 것도 주요한 연구 목적이다. 이를 위해 지금까지 음향을 이용하여 조사한 자료를 정리하여 연간 수산자원의 분포 변화를 파악하여 보았다.

잠수조사

2000년부터 2004년 8월까지 연대도 연안 4개 정점과 각종 실험구조물에서의 주기적인 자원량 추적 조사 결과, 볼락은 2000년에 16마리, 2001년에 172마리, 2002년에는 296마리로 증가하였으며 2003년에는 5~25cm 급이 총 197마리가 확인되었고, 2004년 5~21cm 급 389마리가 확인되어 2000년에 비하면 약 24배 가까이 증가한 것으로 추정되었다. 2005년에는 5~20 cm 급 602마리가 관찰되어 6년간의 조사 중 최고치를 기록하였다. 또한 연대도에서의 6년간 조사에서 나타난 볼락 자원량의 생체량을 살펴보면 2000년에는 502g, 2001년에는 3,545.4g이었던 것이 2005년에는 18,693g 으로 약 37배 정도 증가되었다. 각종 수중 구조물에서의 자원 조성 모니터링은 1단계에 이어서 3단계 1차 년도까지(2005년)의 각종 수중 구조물에서의 어류의 출현 현황, 어류상 및 자원 조성 현황을 모니터링하고 있다. 볼락이 가장 많이 출현한 구조물은 연안다목적어초로 m^3 당 평균 11.26마리/ m^3 으로 계산되었으며 생체량으로는 457.00 g/ m^3 이었다. 그 다음으로는 팔각반구형어초 중형이 2.89마리/ m^3 , 84.68 g/ m^3 , 인조해조장(2.74마리/ m^3 , 50.36 g/ m^3), 팔각반구형어초 개량형(2.06마리/ m^3 , 55.28 g/ m^3), PP어초(1.35마리/ m^3 , 90.30g/ m^3), 선박어초(1.25마리/ m^3 , 132.21 g/ m^3), 연약지반형어초(1.07마리/ m^3 , 82.90 g/ m^3)의 순이었다. 생체량도 연안다목적어초가 가장 높은 값을 나타내었으며 그 다음으로는 선박어초, PP어초, 팔각반구형어초 중형, 연약지반형어초, 팔각반구형어초 개량형, 인조해조장 순이었다. 단위 공간 당 마리수가 1.25마리에 불과했던 선박어초의 생체량이 132.21 g 으로 높은 것은 20~30cm급 대형어들이 다수 확인되었던 결과이다. 조피볼락의 개체수가 가장 많았던 곳은 수중 방류가 이루어져 방류어인 0세어의 서식 밀도가 높았던 인조해조장으로 2.86마리/ m^3 으로 가장 높은 값을 나타내었다. 방류 후 집중적으로 서식하였던 인조해조장을 제외하면 2005년 7월 현재 평균값이 연약지반형어초 0.70마리/ m^3 , 연안다목적어초 0.61마리/ m^3 , 콘크리트 상자형어초 0.60마리/ m^3 , 선박어초 0.58마리/ m^3 , 팔각반구형 소형어초에서 0.54마리/ m^3 순이었다. 그 외, PP어초와 팔각반구형어초 개량형이 각각 0.38마리/ m^3 , 0.25마리/ m^3 순으로 단위 공간 당 작은 마리수를 보였다. 한편, 2005년 7월 현재까지 평균값으로는 콘크리트 상자형어초에서 160.9 g/ m^3 의 가장 높은 생체량을 보였는데 이는 25~35 cm 급 대형어들의 출현에 기인한 결과이다. 그 다음으로는 선박어초에서 156.9 g/ m^3 , 대장두도의 북쪽 연안 암반 위에 설치되어 항상 다양한 크기의 조피볼락이 관찰되었던 연약 지반형 어초에서 142.8 g/ m^3 , 팔각반구형어초 소형에서 120.84 g/ m^3 , 연안다목적어초에서 82.5 g/ m^3 을 나타내었다. 2005년 7월 현재 어초에서는 새끼를 가진 40 cm 급 조피볼락이나 20 cm 전후의 볼락 어미들이 많이 관찰되고 있어 통영바다 목장해역에서는 이미 2~3년째 방류자원에 의한 재생산이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서 보호수면내 어초와 그 외곽의 해역에서의 자원량은 상당히 달라져 있을 것으로 추정되어 2005년 3단계 사업에서는 전 목장해역을 대상으로 구조물별 자원량에 대한 정밀조사와 아울러 대수심 어초 및 인근 해역으로의 자원 이동 및 변

동 등에 대하여 계절별, 수심대별, 어초별 다양한 요소를 고려한 종합조사가 되어야 할 것이다.

서식환경 판별이 가능한 마커의 개발

바다목장화사업 연구의 일환으로 서식지 차이에 따른 바이오마커의 개발 가능성을 찾고자 본 연구를 실시하였다. 조피볼락을 대상으로 하였고, 1차 실험에서는 양식산과 방류산의 일반성분, 근육 조직감, 비만도, 간중량지수, 혈액 중 GOT, GPT 효소 활성, 약물대사 효소계 (cytochrome P450 농도, NADPH-cytochrome P450 reductase 활성, NADH-cytochrome b5 reductase 활성, glutathione s-transferase; GST 활성) 및 항산화효소계 (superoxide dismutase, catalase, glutathione reductase, glutathione peroxidase)를 비교하였으며, 2차 실험에서는 양식산, 방류산, 자연산을 대상으로 하여 조사하였다. 그 결과, 양식산과 방류산 조피볼락에서 약물대사효소계가 유의적인 차이를 보였기에 서식환경을 구분 지을 수 있을 마커로서의 활용가능성이 있었고, 또한 항산화효소 중에서는 방류산이 양식산보다 유의적으로 높았던 GR이 우선 검토되어야 할 것이라 여겨진다.

유전자원조사

볼락 방류용 종묘의 유전적 다양성과 방류 후 추적조사를 위해 방류용 종묘와 자연집단의 볼락 미토콘드리아DNA 조절영역의 염기서열에 있어서 차이를 분석하였다. 자연집단에 비해 방류용 종묘의 haplotype 다양도와 염기다양도는 약간 낮게 나타났다. 본 연구 결과는 방류용 볼락 종묘의 경우, 미토콘드리아DNA를 유전학적 marker로 이용하여 방류후의 추적조사에 이용할 수 있음을 시사하고 있다.

자원조성 매뉴얼 작성

본 매뉴얼 작성 작업은 그간의 연구사업 수행과정을 통하여 자원조성 기술 부분에 필요한 세부 항목의 작업 지침으로 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

4. 바다목장 이용·관리

통영바다목장 사업은 1998년도부터 시작하여 2004년 2단계 바다목장 조성사업을 완료하고, 2005년 현재 3단계 1차년도 사후관리체제 구축으로 접어들어 사업의 종료를 눈앞에 두고 있다. 바다목장 3단계 사업은 지금까지 추진되어 온 바다목장 사업을 마무리하는 단계로서 바다목장사업의 투자효과를 분석하고 사업 종료 이후 바다목장의 관리 및 이용에 대한 기본 방침을 정하는 단계이다. 이에 따라 본 장은 동 사업추진의 경제적 효과를 분석하고 조성된 자원의 지속적 이용을 위한 합리적이고 효율적인 사후관리체제의 정착방안을 검토하였다.

통영바다목장은 보호수면 및 수산자원관리수면의 지정, 관리이용협의회 및 자율관리어업위원회의 설립 등으로 관리이용 분야에서 괄목할만한 진전을 이루어 왔다고 평가할 수 있다. 실제로 어획량 모니터링의 결과, 수산자원관리수면 내에 수산자원이 많이 서식하고 있으며 지속적인 자원관리를 한다면 지속적인 어업생산이 가능할 것으로 판단된다. 어업인들 또한 자주적인 관리가 뒷받침된다면 바다목장이 성공하리라는 인식을 가지고 있다.

조사된 바에 따르면 2005년 외줄낙시의 평균어획량은 2,739kg(관리수면 내 1,571kg, 관리수면 외 1,167kg), 1척당 평균 수입은 36,662천 원으로 전년 보다 증가한 것으로 나타났다. 또한 간접효과의 분석결과로서 유어낙시객 1인 1회시 지불금액은 97,135 ~113,260원으로, 관광객 1인당 1회 방문시 지불금액은 104,628~110,958원으로 나타났다.

그러나 현재 통영바다목장의 이용·관리체제를 살펴보면, 이용·관리체제의 큰 틀은 구축되었지만 아직까지 지자체 및 자율관리어업위원회의 관리능력이 미약하여 중앙정부의 존적 성향을 벗어나고 있지 못하는 등 이용·관리체제의 역할과 능력에 한계를 드러내고 있다. 따라서 향후 이용·관리체제의 강화 및 원활한 기능을 위해서는 현실적이고 다각적인 방안의 모색이 필요하며, 그 출발점으로써 어업인의 건전한 참여의욕을 이끌어내는 것이 무엇보다 중요하다.

한편, 통영바다목장산 어획물의 부가가치를 제고하기 위해 상표등록이 이루어졌으며, 직판장의 설립도 추진 중에 있다. 또한 바다목장을 통해 조성된 수산자원의 일부를 통영 지역의 특성을 살린 어업의 소득으로 이용하는 방안을 검토하였는데, 구체적으로는 유어장 시설 설치, 바다목장 관광패키지 상품화, 바다목장 홍보관 설치 등에 대한 내용에 대해서도 검토하였다.

V. 연구 개발 결과의 활용 계획

3단계 1차년도 연구를 통하여 1단계 및 2단계와 당해연도에서 개발된 기술을 실행역에 적용하였고, 효과 조사를 실시하였다. 지금까지의 연구 개발의 결과는 본 사업의 목표인 “통영해역 바다목장 조성”을 성공적으로 달성하기 위하여 활용할 계획이다. 또한 궁극적으로는 현재 추진 중인 “전남 다도해형 바다목장 기반 조성 사업”과 동·서·제주형 바다목장 개발 사업”을 위한 모델로 활용할 계획이다.

SUMMARY

I. Title of the Study

Studies on the Development of Marine Ranching Program in Tongyeong, Korea

II. Significance and Objectives of the Study

The production of Korean fisheries has been stagnant in spite of modernization of fishing gears and enhanced fishing efforts. Both coastal and distant water fisheries have been suffered from the decline of the fishery stocks and degraded fishing ground. To meet ever-increasing demand of fishery products, it is essential to promote the mariculture industry intensively. It is, therefore, a pressing task to improve the sustainable productivity of the coastal fisheries through the promotion of the marine ranching systems.

The objective of this study is to establish the marine ranching systems in Korean coastal regions and development of resources management techniques.

III. Contents and Scope of the Study

1. Development to habitat improvement

(Ecosystem of the ranching area)

- Physicochemical characteristics of the ranching area
- Community structure of all biota in the ranching area
- Identification of habitat types
- Ecosystem modelling
- Distributional patterns of polychlorinated biphenyls (PCBs)
- Exhibitional GIS implementation and development of web site

(Habitat improvement)

- Topography of the ranching area
- Construction of fish habitats using artificial reefs

2. Annexation of fish stock and management

- Seed releasing and evaluation
- Construction of submarine forests
- Assessment of target-fish resources
- Manuals on annexation of fish stock and management techniques

3. Use and Management of Marine Ranching

- Survey on the actual condition of utilization and management of marine ranching area
- Constructing system on utilization and management of marine ranching
- Analysis of indirect effectiveness of marine ranching program

IV. Results of study

1. Ecosystem of the ranching area

Physicochemical factors

Water temperature changed from minimum 14.3°C (May 2005) to maximum 24.4°C (Aug. 2005) and it was entirely under the influence of the air temperatures. Salinity varied from minimum 32.1‰ (Nov. 2005, St. 7-B) to maximum 35.7‰ (Aug. 2005, St. 4-B), and halocline was not formed in Autumn because of no effect of the heavy rain and strong typhoon. Dissolved oxygen ranged from 9.00~14.62 mg/L, pH 7.90~8.27 and SS 2.7~19.2 mg/L. Mean transparency was 3.3m in May, 7.5m in August and 5.3m in November. Chlorophyll *a* concentrations varied from minimum 0.4 µg/ℓ (Aug. 2005) to maximum 3.0 µg/ℓ (Nov. 2005). Monthly mean chlorophyll *a* was 1.7µg/ℓ in May, 0.9 µg/ℓ in August and 2.1 µg/ℓ in November at the surface and 1.4 µg/ℓ in May, 0.7 µg/ℓ in August and 1.4 µg/ℓ in November at the bottom.

As a results of the mean values of physicochemical environmental factors during the period from 2000 to 2005, water temperature was 18.3°C and 17.2°C, salinity 32.3‰ and 33.1‰, dissolved oxygen 5.71 mg/ℓ and 5.31 mg/ℓ, pH 8.15 and 8.13, suspended solid 16.18 mg/ℓ and 17.96 mg/ℓ, transparency 4.5m and the concentration of chlorophyll *a* 2.75 µg/ℓ and 1.67 µg/ℓ at the surface and bottom, respectively. Therefore, water quality of the marine ranching ground of Tongyeong was meso-trophic levels compared with the literatures and this study.

Biological community structure

Heterotrophic bacteria were detected in August more than in the sea water

harvested in May and November. That is to say, heterotrophic bacterial cell numbers at the surface and at the bottom were $4.7 \times 10^2 \sim 5.9 \times 10^3$ cfu \cdot ml⁻¹ and $4.3 \times 10^1 \sim 6.6 \times 10^2$ cfu \cdot ml⁻¹ in May, respectively. They were $1.1 \times 10^3 \sim 4.4 \times 10^3$ cfu \cdot ml⁻¹ and $2.0 \times 10^1 \sim 2.0 \times 10^2$ cfu \cdot ml⁻¹ in August, and 2.5×10^1 cfu \cdot ml⁻¹ \sim 3.7×10^2 cfu \cdot ml⁻¹ and 2.3×10^1 cfu \cdot ml⁻¹ \sim 5.1×10^2 cfu \cdot ml⁻¹ in November. *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3 and *Sphingomonas paucimobilis* TY4 inhabited all the sea water examined between 2002 ~ 2005 indicating that they were the dominant species in the marine ranching ground of Tongyeong coastal sea waters.

Phytoplankton communities composed of 71 diatoms (89.9%), 6 dinoflagellates (7.6%) and 2 silicoflagellates from May to November 2005. Number of phytoplankton species extensively varied by months and stations; ranging from 13 taxa (St. 3-B) to 34 taxa (Control) in May, 21 taxa (St. Control-B) to 34 taxa (St. 4-S) in August and 5 taxa (St. 10-S) to 25 taxa (St. 1-B) in November 2005. Phytoplankton standing crops extensively varied from minimum 1.29×10^4 cells \cdot l⁻¹ (May, St. 8-B) to maximum 3.76×10^5 cells \cdot l⁻¹ (Nov., St. 1-S), and monthly standing crops showed $1.29 \sim 4.21 \times 10^4$ cells \cdot l⁻¹ in May, $3.60 \sim 8.62 \times 10^4$ cells \cdot l⁻¹ in August and $0.43 \sim 3.76 \times 10^5$ cells \cdot l⁻¹ in November. During the studies, phytoplankton dominant species were various by months and stations, but the diatoms *Chaetoceros constrictus*, *Ch. compressus*, *Ch. curvisetus*, *Ch. socialis*, *Pseudonitzschia pungens*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp. were predominant from May to November 2005.

Monthly mean abundance of zooplankton communities during the period from 2000 to 2005 varied from minimum 344 indiv./m³ (Oct., 2002) to maximum 25,182 indiv./m³ (Aug., 2001). The patterns of annual and seasonal fluctuation were to decrease individuals in winter, while to increase populations in spring and autumn.

In the year of 2005, monthly mean number of zooplankton species 18 taxa in May, 25 taxa in August and 23 taxa in November. Monthly mean abundances were 720 indiv./m³ in May, 1,852 indiv./m³ in August and 816 indiv./m³ in November. The most dominant zooplankton species was copepods, and cnidarians, crustaceans, polychaetes, chaetognaths, echinodermites, larvaceans were dominated. Monthly dominant species was *Oithona similis* in May, early bivalve larvae in August and *Calanus sinicus* in November. However, dominant species in August was early bivalve larvae occupied to 47.5% in total abundances.

To investigate of the fish fauna in the Tongyeong coastal waters of where is the area of Marine ranching in Tongyeong, the ichthyoplanktons and fishes were sampled

by plankton net and trammel nets, small scale trawl from July to October, 2005. During the study, the collected fish eggs were identified into 8 species. The most dominant species was *Leiognathus nuchalis* accounted for 24.10% of the total. The collected larvae and juveniles were identified into 5 orders, 10 families and 14 species. The most dominant species was *Engraulis japonicus* accounted for 54.13% of the total, followed by *Hypodytes rubripinnius*(17.63%). The fishes collected by trammel nets were 1,061 individuals of the total, identified into 1 classes, 5 orders, 18 families and 25 species. The most dominant order fish was Pleuronectiforme comprising 9 species, 10 families. By beam trawl were 38,540 individuals of the total, identified into 2 classes, 7 orders, 23 families and 33 species. The most dominant order fish was Pleuronectiforme comprising 10 species, 11 families.

Distributional patterns of environmental hormone

Polychlorinated biphenyl (PCBs; 22 congeners), organotins (3 butyltins), nonylphenol and bisphenol A were quantitatively determined in surface sediment and mussel samples from Tongyong Marine Ranching Area (TMRA). Concentrations of these target chemicals in the study area are approximately close to or less than the median values of nationwide coastal monitoring study. In case of, nonylphenol and bisphenol A, there are limited number of data along the coast of Korea. The concentrations found in this study are similar to those from several other bays. However, nonylphenol and bisphenol A levels in the study area are much less than those found in rivers in Korea and other developed countries. PCBs and tributyltin (TBT) concentrations and their distribution patterns in this study indicates that TMRA are located a certain distance from major input sources for these contaminants. However, TBT concentrations in some of sediment samples exceeds sediment quality screening value proposed in USEPA. All the chemicals levels in mussels are far below the safety guideline for protecting human health. PCB and TBT concentrations in some samples are over ecotoxicological guideline, which indicates probable effects of these chemicals on relatively sensitive marine organisms.

Surface sediments and mussels were collected from 22 sites and 20 sites along the Tongyoung coastlines, respectively. The samples were analyzed 7 metals(Al, Cr, Cu, Zn, Cd, Pb, and Hg) in order to assess the heavy metal pollution. Heavy metal concentrations in the sediments were high in the northwestern parts of the study area and the coast of Miryuk island. Heavy metal concentrations are well correlated to Al

concentrations. The facts indicates that heavy metals in the surface sediments in the study area were mainly controlled by the grain size. Cd and Hg in the sediments never exceeded the ERL values. On the other hand, the Cr concentrations of 16 sites exceeded the ERL value, The Cu concentration of 7 sites exceeded the ERL value, The highest concentrations of heavy metals are observed at St. 1, which exceeded the ERL values of Cr, Cu, Zn and Pb. Elevated concentrations of heavy metals in the mussels were shown at Sts. 3, 15 and 20. In this study, Cd concentrations were highly related to Zn($R=0.866$) and also to Hg(0.636). Close relationship($R=0.842$) was found between Cu and Pb. compared with other data from domestic country, Cr, Zn and Cd concentrations of this study are relatively low. The maximum concentrations of heavy metals(Cr, Pb, and Hg) are lower than the criteria of Korea, Australia and EU.

Identification of habitat types

To get habitat information on Tongyeong Marine Ranching area, habitat types were identified using the physicochemical and biological data, which were seasonally obtained during the period from 1999 to 2003. The area was divided to two habitats, rocky and soft-bottom habitats. The dominant species of rocky habitats were seaweed species (*Ulva pertusa*, *Myagropsis myagroides*, *Gelidium amansii*, *Codium fragile* and *Ecklonia stolonifera*) and sessile animals (*Balanus trigonus*, *Serpula vermicularis*, *Corophium* sp., and *Halocynthia roretzi*) and these organisms were distributed upto 6m below datum. The soft-bottom habitats were categorized into five subgroups. Type A was located in the area between Yeanmyoung and Jangdudo and had the depth range from 38 to 47m. In this area, the mean concentration of total nitrogen and suspended sediment in the surface layer was 26.7 μ M and 12.8mg/L, respectively. The mean phi of sediment and the total carbon concentration of sediment were 4.6 and 2.92.9mg/g, respectively. Dominant species were phytoplankton, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis* and *Skeletonema costatum*, zooplankton, *Oithona similis* and *Paracalanus indicus*, and macrobenthos, *Lumbrineris longifolia* and *Capitella capitata*.

Ecosystem modeling

In this study, we conducted studies on the ecosystem-based fisheries resource management system, resource enhancement system and population management system. In the ecosystem-based fisheries resource management system, we evaluated the grouping of the Tongyeong ecosystem component using a self-organizing mapping

(SOM) technique and analyzed changes in the ecosystem structures before and after marine ranching activities using the ecosystem structure model. we estimated changes in the quantity of organisms and the carrying capacity of the ecosystem using the ecosystem dynamic model. Also, to understand the potential production of the ecosystem, we projected biomasses by functional group under the various fishing intensities based on the dynamic model. In the resource enhancement system, we estimated the optimum number of juveniles of for stock enhancement juveniles of and the carrying capacity using population models. In the population management system, we developed the ABC (acceptable biological catch) estimation model considering biological reference points and the function of the ecosystem. Finally we estimated ABC of target species in the Tongyeong marine ranching ecosystem using the ABC estimation model.

Exhibitional GIS implementation and development of website

In this research, we review and codify the physical oceanographical data that created or gathered through the Tong-Young Marine Ranching Program Research Project(1998~2004), because the physical oceanography has very close connection with marine biology. And we make a database that consisted with research information to make result of research more useful and easily accessible. We make two kinds of database that Spatial Database and Content Database. In case of spatial database, First we try to codify the data produced in 7 years research project into tabular data format in seasonal and monthly classification. Next, we make some charts and analysis map using IDW(Inverse Distance Weighted) method in GIS Spatial Analysis from seasonal data and monthly created data. In case of content database, we make a content that easily understandable from the data and information that created during the whole Tong-Young Marine Ranching Program Research Project.

Through this research, we can serve the time-series basic data that can be used as factor for change analysis in research area. And codify the technology that used in Tong-Young Marine Ranching Program Research Project to make more useful in other case of marine ranching system in other area.

2. Habitat improvement

Topography of the ranching area

This study acquired precise seabed bathymetry data using multi-beam echo sounder

at Mireukdo-Gonrido-Manjido area of the marine ranching area in Tongyeong. We complete a bathymetry contour map and three dimensional seafloor topography maps using seabed bathymetry and land data.

There are submarine troughs in several places of this study area owing to strong tidal currents and water depth in these troughs is deeper than surroundings. A trough at the southern part of Budo and a trough at the southern part of Chukdo relate to submarine channel, called Jodosudo at the southern part of Mireukdo. There are some small troughs between small islands at the southeastern part of Gonrido. They reflect fast tidal currents in Jodosudo. The northwestern part of Manjido is -55 m in the deepest water depth and extends to the open sea in the western part of Manjido. Excluding troughs, the average water depth of this study area is about -30 m and the bathymetry is shallower at near shore area approaching toward land with a steep slope. Coastal areas around islands varies -10 ~ -20 m in water depth and many fishery farms are distributed in these areas. Three dimensional seafloor topography map shows artificial fishery reefs in several seabed places of this study area.

Total 31 surface sediments were sampled from the ranching area and sedimentological and geochemical analysis were done. The surface sediments of the ranching area were divided into two sedimentary facies. Fine sediment, almost consist of mud sediment was distributed for the most part of ranching area. The coastal area around the Manji Island and Chodo channel have characterized by the coarse sediments including gravel or/and showed rocky bottom. Organic carbon of the sediment showed less than few percent(the highest value 1.18%, and lowest value 0.69%), and carbonate content varied between 7.07 to 37.64% in the mud sediment. C/N ratio of the organic matter showed lower than 10 in all sediment samples suggesting that organic matter is fully derived from biogenic organic matters which are generated from the plankton productivity in situ. The content of hydrogen sulfide ranged from 0.5 to 195.8 ppm, showing that is not polluted on the based of environmental criteria of hydrogen sulfide, which is generally 200 ppm.

Construction of fish habitats using artificial reefs

This study carried out three subsubjects; site selection, manufacturing and installing method development, and effectiveness survey of multifunctional high-storied reef at Tongyeong marine ranching area in the province of Kyongnam, Korea. The maximum current of the expected installation area (Site B) is 0.8 knot. The sediment of Site B

where a multifunctional high-storied reef (15×15×15 m) will be installed is composed of mud, and the thickness of identical acoustic profile is as deep as about 10 to 30 m. But the shear strengths of the sediment in the depth of 80 cm from seafloor ranged from 1.28 to 5.47 kPa. Although the reef weight is as heavy as 58 tonnage, as the weight per an area is as low as 0.27 kg/cm², the settlement caused by its own weight will not be deep. The multifunctional high-storied reef is 15 metres in high and composes of three parts. The lower portion, which extends 5 m upward from the bottom, was designed for rockfish and caters to their preference for face structures, and the 5 to 10 m portion is was made for porgy, which prefer a frame structure. The section of 10 to 15 m was designed for yellow tail and spanish mackerel, and compose of tetrahedron which each face is attached with a steel plate to disrupt the current. The reef is separately manufactured made in three parts; the bottom, the middle and the upper part. And then finished parts are assembled into a reef. The movement of a reef from manufacturing place to a barge is made by large crane, and installation is safely done by suspension method. Also the other method is to tow a reef with buoyage attached to the bottom to the installation area by a tug.

3. Annexation of fish stock and management

Seed releasing fish evaluation

Growth of released fish

Growth of released black rockfish and dark banded rockfish was evaluated. At 20 months old, mean total length and body weight of captured fish were 19.9cm and 149.2g around Daejangdu-do, 20.8cm and 141.7g around Gonri-do and 18.7cm and 97.0g around Chuk-do (Yu-do), respectively. At 24 months old, mean total length and body weight of captured fish were 30.8cm and 433.0g around Daejangdu-do, 30.2cm and 411.7g around Gonri-do and 30.2cm and 411.0g around Chuk-do (Yu-do), respectively. The specific growth rate of released black rockfish captured around Daejangdu-do was superior than other two sites.

At 4 months old, mean body weight of released and cultured dark banded rockfish was 132.4g and 147.7g, respectively. At 36 months old, mean total length and body weight of released dark banded rockfish were 19.6cm and 218.2g, as was smaller than cultured dark banded rockfish (20.2cm and 245.2g, respectively). The specific growth rate was 0.471%/day in released and 0.485%/day in cultured.

Histochemical Analysis

Histochemical analysis was conducted for health assessment of released black rockfish. In hemoglobin and hematocrit analysis, released fish was superior activity and hematogenesis ability than those of cultured fish.

There were no differences in total protein, glucose, albumin and total cholesterol between released and cultured fish.

Reproductive indices

Reproductive indices of released dark banded rockfish female were evaluated in maturing season. The mean hepatosomatic index, gonadosomatic index, visceral somatic index and fatness were $1.1\pm 0.4\%$, $22.5\pm 47\%$, $27.8\pm 4.2\%$ and 23.9 ± 2.1 , respectively.

Mean number of eggs per female and per gram body weight of released dark banded rockfish (mean body weight : $374.2\pm 88.0\text{g}$) were $60,579\pm 9,078$ and 165.0 , respectively.

The movement range and diurnal behavior of wild black rockfishes

The movement range and diurnal behavior of 20 individual of wild black rockfishes (*Sebastes schlegeli*) (adult; total length: 33.0-43.0 cm; body length: 27.5-38.0 cm; weight: 440-1180g) sonic tagged internally by surgical method were measured with acoustic telemetry in and exterior of the marine ranching area of Tongyeong for 1 week from 27 July, 2005 and 1 November, 2005. The results of study are as follow:

1. Two fishes (Tag No. 64 and 76) released at the caught point and near 850m away from it in summer (27 July) moved approximately 2 km for a day. The others did not move away it within 500 m radius for a week after releasing. Most five fishes released at the caught point in autumn (1 November) stayed near the point within 500 m radius.

2. For the sonic tagged wild black rockfishes tagged in summer and autumn, the horizontal movement range in night-time was wider than in day-time. Furthermore, the horizontal movement range in summer was wider than in autumn. As for the vertical diurnal behavior of the wild black rockfish, it was likely to move shallower water level by night than day. Especially, it was shown that it moved to deeper water after sunrise and than definitely stayed for 5 hours. The released black rockfishes were shown the stable behavior in the vertical direction.

3. It was found that sonic tagged three black rockfishes (Tag No. 33, 70 and 88) were hidden more frequently and longer time in the nature or artificial structures during the

day-time than during the night-time, and the longer the stayed duration after returning at the caught point the longer the hide time around the underwater structures.

sea cucumber

This study examined the distributional patterns and growth pattern of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) in Tongyeong marine ranching area. A total of 189 individuals of the released sea cucumbers occurred around Daejangdudo, in Tongyeong during the study area. The abundance of the species at the sea cage site (13 ± 3 ind./ 20m^2) was significantly higher than at the reef site (8 ± 4 ind./ m^2) and the soft sediment site (4 ± 1 ind./ m^2). The spatial difference in its abundance was due to the behavior character of this species. The sea cucumbers, sampled in marine ranching area, could be divided into four age groups.

Status of release

The status of juveniles of marine organisms released in Tongyeong marine ranching area were total 7 species and 8,836,472 individuals during the marine ranching program. The species and number of juveniles released were 4,054,317 fish of black rockfish (*Sebastes schlegeli*), 2,043,655 fish of dark-banded rockfish (*Sebastes inermis*), 2,177,000 fish of black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*), 302,500 fish of red sea bream (*Pagrus major*), 52,000 fish of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), 107,000 individuals of abalone (*Haliotis gigantea*) and 100,000 individuals of sea cucumber (*Stichopus japonicus*), respectively. Among them above mentioned, juveniles of marine organisms released for the current studies were total 1,630,955 individuals, 576,000 fish of black rockfish (*Sebastes schlegeli*), 731,955 fish of dark-banded rockfish (*Sebastes inermis*) and 323,000 fish of black sea bream (*Acanthopagrus schlegeli*), respectively.

Subtidal algal forests

As a part of Tongyeong Marine Ranching Program started in 1998, we have been developing methods to construct subtidal algal forests, which will play an important role as habitats for fishes and invertebrates. During the period from 1998 to 2000, we investigated followings: 1) inventory of large brown algal species likely to be used as algal forests, 2) identification of biology and ecology of the species, 3) evaluation of fitness of the species as fish habitats. In contrast, during the period from 2001 to 2005, we investigated followings: 1) seaweed and sessile animal assemblages on the artificial reefs, 2) stability of kelp populations

developed from the transplanted juveniles to the surface of concrete artificial reefs, 3) the best sites for the deployment of artificial reefs and 4) methods on seed production and transplant of the species. Here, we report the study results obtained for the five years.

Seaweed and sessile animal assemblages on the artificial reefs

The seaweed and sessile animal assemblages settled on the 6 types of artificial reefs, which were deployed for constructing subtidal marine forests between March 2002 and January 2004 (Type 1: concrete artificial reefs in Jangdudo, on which juveniles of *Ecklonia stolonifera* were transplanted, Type II: concrete artificial reefs in Jangdudo, Type III: concrete artificial reefs in Chodo, Type IV: tetrapod and rocks, Type V: concrete artificial reefs in Gonrido and Type VI: steel reefs). The number of species and biomass of the plants and animals were apparently different between the 6 types. In addition, biomass of *E. stolonifera*, which has been known as a suitable algal species for submarine forests, was also highly variable between the 6 types. *E. stolonifera* sporophytes occurred on the upper part of Type I and IV, indicating that choosing a proper site or transplanting *Ecklonia* juveniles on artificial reefs are an important procedure to construct *Ecklonia* forests in this area. In April 2004, biomass of seaweeds and sessile animals on Type VI, which was deployed in January 2004, was less than 30 g-wet wt/0.25m². In January 2005, however, biomass on the reef reached to ~1400 g-wet wt/0.25m², indicating that 1 year is the minimum time needed to settle sessile organisms on artificial reefs. On Type III and V, biomass of seaweed species was very low due to the effect of the grazer, *Strongylocentrotus nudus*. This suggests that the effects of grazers should be considered before constructing submarine forests. To address the effectiveness of artificial reefs for constructing submarine forests, we compared the diversity and biomass of sessile organisms settled on Type I and II to those of the adjacent hard-bottom habitats. The number of species on the two reefs was significantly lower than that of the adjacent hard-bottom habitats, but biomass was not significantly different between the three habitats. Similarly, we compared the biomass of sessile organisms settled on Type I and II to that of the adjacent soft-bottom habitats. Biomass on the two type of artificial reefs (436~1077 g-wet wt/ 0.25m²) was apparently higher than that of the adjacent soft-bottom habitats (90~187 g-wet wt/0.25m²).

Stability of transplanted kelp populations on concrete artificial reefs

The growth and survival of the two kelp species, *Ecklonia cava* and *Ecklonia stolonifera*, which were transplanted to the surface of concrete artificial reefs adjacent to Jandudo were investigated from November 2001 to September 2005. The frond length of *E. cava* increased

with a hyperbolic pattern. The frond length reached its maximum (45cm, mean value) in September 2002 (10 months after transplant) and thereafter fluctuated due to the seasonal reproductive phenology. The density of *E. cava* decreased with a negative exponential pattern and less than 2 individuals per 0.25m² remained in February 2003 (15 month after transplant). However, its density was recovered to ca. 10 individuals/ 0.25m² in September 2005 due to the successful recruitment of juveniles produced during the autumn of 2004. Similarly, the frond length of *E. stolonifera* was increased with a hyperbolic pattern. The frond length reached its maximum (55cm, mean value) in September 2002 (10 months after transplant) and thereafter fluctuated due to the seasonal reproductive phenology. The density of *E. cava* decreased with a negative exponential pattern and less than 3 individuals per 0.25m² remained in November 2002 (12 month after transplant). However, its density was recovered from February 2003 and reached ca. 10 individuals/ 0.25m² in September 2005 due to the successful recruitment of juveniles produced during the autumn of 2002. These results indicate that although the density of the kelp species exponentially decreases due to the intraspecific competition and grazing, the population could be maintained by annual recruitment events.

The best sites for the deployment of artificial reefs

To get the insight into the best sites for the construction of submarine forests, we investigated the biomass of seaweed species on the concrete reefs deployed at three different sites (Jangdudo, Chodo and Gonrido) and the physicochemical factors (water temperature, dissolved oxygen, turbidity, nitrogen, suspended solid, light intensity, sediment composition, total carbon and nitrogen of sediment and water current) surrounding them. In most season, the biomass of seaweeds was highest at Jangdudo. Principal Components Analysis, which was used to reduce environmental variables to fewer principal components and examine the relationships between the 3 sites in terms of these components, showed that water current and sediment composition can explain more than 65% of total variance and the physicochemical environment of the three sites was remarkably different in terms of these variables. Chodo located in the channel between two small islets had the highest water speed (>24cm/s), gravel composition and turbidity. In contrast, Gonrido showed the lowest water speed (<5cm/s) and the highest sand composition. Taken together, the best sites for the construction of submarine forests should have the physicochemical environment observed at Changdudo (water current: 15cm/s, turbidity: low, sediment: muddy sand with a small part of gravel).

Methods on seed production and transplant of the species

The light and temperature requirements of the kelp *Ecklonia stolonifera* were investigated. The germination rates of spores observed 3 days after inoculation was the highest at the temperature from 10°C to 15°C when they were cultivated under $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ light condition, but was not significantly different between 5 and 40 $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ when they were cultivated under 15°C. The growth rates of gametophytes observed 2 weeks after inoculation was the highest at the temperature between 10°C and 15°C when they were cultivated under $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ light condition and at the light range between 10 and 20 $\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ when they were cultivated under 15°C.

To get an insight into the proper density of seeds for transplanting, *E. stolonifera* juveniles (1.4mm in mean frond length) were deployed with four different densities (70, 140, 400, 800 individuals/100cm²) at the depth of 2m in February 2002 and 2003 and their growth was monitored for 5 months by measuring the frond length and weight of the 20 largest plants. Overall, their growth was not affected by the density treatment.

To get an insight into the proper depth for the growth of transplanted juveniles, *E. stolonifera* juveniles (1.4mm in mean frond length) with the same density (150 individuals/100cm²) were deployed at three different depths (2, 5, 8m) in February 2002 and 2003 and their growth was monitored for 5 months by measuring the frond length of the 20 largest plants. The growth rate of *E. stolonifera* juveniles was the highest at 2m depth and the lowest at 8m.

To get an insight into the proper size for transplanting, *E. stolonifera* juveniles with two different sizes (0.3 and 1.4mm) were deployed at the depth of 2m in February 2003 and their growth was monitored for 5 months by measuring the frond length of the 20 largest plants. The growth rate of *E. stolonifera* juveniles was not significantly different between the two size treatments.

Construction of submarine forests using transplanting techniques

Marine algae for transplantation were collected from Yonmyung coast in Tongyeong. Relative growth rates (RGR) of transplanted seaweeds were high in the order named *Sargassum horneri*, *Ecklonia stolonifera*, *Pachymeniopsis lanceolata*, *Grateloupia sparsa*, *Gracilaria textorii*, *Myagropsis myagroides*, *Gymnogongrus flabelliformis*, *Codium latum*, *Dictyopteris divaricata*, *Sargassum miyabei*, *Dilophus okamurae*, *Codium fragile*. The optimal algae for underwater forest in Tongyeong coasts are considered as the genus *Codium*,

Ecklonia, *Dilophus*, *Dictyopteris*, *Sargassum*, *Grateloupia*, *Gracilaria*, *Myagropsis* and *Gymnogongrus* involving other annual and perennial seaweeds.

Estimation of fish resources

Fishing gear

Total stock size of *Sebastes inermis* estimated with methods of diving search was the number of 2,682,120 (110,375,294g) in 2005, increased than 1,919,821(64,697,513g) in 2004. MSY is 52,875,284,682g, f_{MSY} is the number of 1,284,870. and Total stock size of *Sebastes schlegeli* estimated with the method of tagging recapture was 3,548,321(799,480,0719g) in 2005, increased than 2,954,049(502,226,009g) in 2004.

The current yield-per-recruit at 0.3170 /year of fishing mortality was 16.73 g. fishing efficiency estimated by fishing gear in study point was 0.0690. The yield-per-recruit analysis showed maximum yield per recruit was achieved at 1.5 years of the first capture with present coefficient of fishing mortality.

The species composition and monthly variation with of fish assemblage in the water off Tongyeong-Si Sanyang Mun Minam-Ri were studied using set net one time per month from June to October 2005. During the studying period, a number of individuals was 6,400 and the biomass was 357,996g, of which 43 species under 32 families of the 12 orders were collected.

The fish assemblages predominantly consisted of *Trachurus japonicus*, which accounted for 86.06% in number of individuals and 67.07% in biomass.

Hydroacoustic methods

The hydroacoustic methods which is one of the famous methods to estimate biomass and distribution of the fisheries resource in the coast and ocean. It is necessarily many cost and time to construct of the systems and educate the specialist at the first step. It has been used in the fisheries advanced nation like Japan and Norway, because it is efficient more than other methods as fishing as fishing gear.

The acoustic survey carried out in the Kollido and Manjido to understand spatial distribution and strength of the fisheries resources around marine ranching area in Tongyeong were conducted on 3 February 2005, and 24 February 2005.

And also the acoustic investigation carried out around artificial reef using the echo sounder. It is very difficult to measurement the fish school, because there are alived inside or approached of the artificial reef. So, It is necessary that high frequency and

high resolution for measurement of fisheries in the artificial reef. Moreover, we carried out analysis that annually variation of the vertical and horizontal distribution of fisheries resource using the acoustic survey data.

SCUBA diving

For the estimated rock fishes stock at the coast of Yondae-do, the study have done at the four site by the research SCUBA diving from 2000 to 2005. As a result, *Sebastes inermis* increased in number 16 individuals in 2000, 172 individuals in 2001, 296 individuals in 2002, and 197 individuals(5 to 25cm in total length) in 2003, 389 individuals(5 to 21cm in total length) in 2004 and 602 individuals(5 to 20cm in total length) in 2005. There were yearly a fluctuation in quantity but, these increased 37 times more than 2000 year. We observed the fish fauna and population size in the underwater structures by July 2005. Among experimental reefs, highest individual number and biomass of *Sebastes inermis* was recorded in the multi-functional artificial reef (11.26 inds/m³, 457.00 g/m³). Next ones were the new steel artificial reef (Medium type) (2.89 inds/m³, 84.68 g/m³), the artificial seaweed reef (2.74 inds/m³, 50.36 g/m³) the new steel artificial reef (remodel type) 2.06 inds/m³, 55.28 g/m³), PP artificial reef (1.35 inds/m³, 90.30 g/m³), the ship reef (1.25 inds/m³, 132.21 g/m³), flat type steel reef (1.07 inds/m³, 82.90 g/m³). *Sebastes schlegeli* was respectively recorded in the artificial seaweed reef(2.86 inds/m³, 50.36 g/m³), the flat type steel reef (0.70 inds/m³, 142.8 g/m³), the multi-functional artificial reef (0.61 inds/m³, 82.5 g/m³), the concrete (box) artificial reef (0.60 inds/m³, 160.9 g/m³), the ship reef (0.58 inds/m³, 156.9 g/m³), the new steel artificial reef (small type) (0.54 inds/m³, 120.84 g/m³).

Biomarkers to discriminate different stocks

As part of a 'Tongyong Marine Ranching Program', rockfish (*Sebastes schlegeli*) biomarkers were investigated to discriminate different stocks. The three groups of feral, cultured and stocked rockfish fish were analyzed for common composition (moisture, crude protein, crude lipid, and ash), muscle rheology, fatness index and hepatosomatic index. In addition, detoxifying enzyme activity of mixed function oxygenase system (cytochrome P450, NADPH-cytochrome P450 reductase, NADH-cytochrome b5 reductase and glutathione s-transferase) and anti-oxidation enzyme system (superoxide desmutase, catalase, glutathione reductase, glutathione peroxidase) were determined. Mixed function monooxygenase demonstrated a significant difference

between cultured and stocked fish. Among the anti-oxidation enzymes, glutathione reductase activity was significantly higher in stocked fish than in cultured fish. Therefore, mixed function oxygenase and glutathione reductase might be considered as biomarkers for discriminating different fish stocks.

Investigate genetic diversity

To investigate genetic diversity and post-release sampling of hatchery-reared *Sebastes inermis*, DNA sequence variation in the mitochondrial DNA control region of wild and cultured populations of *S. inermis* have been analysed. Compared to wild populations, hatchery populations showed slightly lower genetic diversity and lower nucleotide diversity. The results demonstrated that mitochondrial DNA control region of the reared *S. inermis* is available as a genetic marker.

Manual for resource composition

A large number of experiments and feasibility studies have been conducted. The purpose of this compendium is to guideline, by experiment, all approved annexation of fish stock and management.

4. Use and management of marine ranching

Tongyeong Marine Ranching Program is coming to an end of the 8th-year program next year. Year 2005 is the first year of the third stage which requires an evaluation of the Program and establishment of a post management system. This year we carried out the followings in order to evaluate the Program and establish the post management system: ① research on the utilization and management of marine ranching site, ② investments and accomplishments, ③ operation of fishermen in the marine ranching site, ④ development of value-added fish products harvested from the site, ⑤ economic evaluation of direct and indirect effects of the Program, ⑥ establishment of the post management system after the end of the Program.

There has been remarkable progress so far in designating a marine protected area and a fisheries resource management zone, and establishing the management and utilization committee and the autonomous fisheries committee in order to accomplish sustainable utilization and management goals of Tongyeong Marine Ranching Program. According to the monitoring of the fish landings from the site, fishermen's landings have increased greatly and we can guess the fish stocks in the site has also increased

a lot. It would be possible to keep sustainable production as long as the fish stocks are managed as before. Fishermen also began to realize the Marine Ranching Program will be successful if voluntary resource management settles down in the site.

In 2005, the average landing of the pole and line fishery was 2,739kg in total(1,571kg in the marine ranching site) and the average revenue of each vessel was 36,662 thousand won. Both of them increased compared to those in 2004, while the profit rate remained at the similar level in 2004 despite the rapid increase in the oil price.

Even though the management and utilization system was established, it has not settle down yet. The members of the autonomous fisheries committee still expect the central government's financial support. Successful Marine Ranching Program requires the change of fishermen's behavior towards voluntary resource conservation and utilization since fishermen have to manage the resource by themselves after the end of the Program. Therefore the Program should shift from the central government's leading to fishermen's leading. In the longrun the cost of the Program should be recovered by the fishermen themselves by taxing the use of the fish resource.

여 백

목 차

표 목차	xliii
그림 목차	xlix
제 1 장 서 론	1
제 2 장 생태계 특성	5
제 1 절 해역의 환경요인	5
1. 서론	5
2. 재료 및 방법	5
가. 수중 생태계의 물리·화학적 환경요인	5
3. 결과 및 토의	7
가. 수중 생태계의 물리·화학적 환경요인	7
제 2 절 생물의 구성원과 생물량	25
1. 서론	25
2. 재료 및 방법	25
가. 조사시기 및 장소	25
나. 미생물	26
다. 식물플랑크톤	26
라. 동물플랑크톤	27
마. 난, 자치어	27
바. 유영동물	28
3. 결과 및 토의	28
가. 미생물	28
나. 식물플랑크톤	33
다. 동물플랑크톤	48
라. 난, 자치어	62
마. 유영동물	65
바. 연도별 출현 양상	73

제 3 절 환경호르몬	76
1. 서론	76
2. 재료 및 방법	78
가. 유기독성물질 오염	78
나. 중금속 오염	88
3. 결과 및 토의	91
가. 유기독성물질 오염	91
나. 중금속 오염	114
4. 결론	132
제 4 절 서식지 특성분석	134
1. 서론	134
2. 재료 및 방법	134
가. 자료 획득	134
나. 서식지 유형구분 및 해역의 생태특성	135
다. 해양환경특성의 연간변화	135
3. 결과 및 토의	135
가. 암반서식지	135
나. 연성저질 서식지	138
다. 해양환경특성의 연간변화	144
제 5 절 생태계 모델	148
1. 서론	148
2. 재료 및 방법	148
가. 생태계 분석 모델	148
나. 생태계 내 대상개체군 분석 모델	148
3. 결과 및 토의	149
가. 생태계 기반 자원관리 시스템	149
나. 자원조성 시스템	169
다. 자원관리 시스템	176
제 6 절 관측자료 표준화 및 DB 구축	181
1. 서론	181
2. 재료 및 방법	181

3. 결과 및 토의	182
가. 콘텐츠 데이터 구축	182
나. GIS 공간데이터 구축	184
다. 웹사이트 갱신	194
제 7절 요약 및 결론	195
참고문헌	199
제 3 장 어장 조성 기술	209
제 1 절 해저지형	209
1. 서론	209
2. 재료 및 방법	211
가. 해저지형도 작성	211
나. 해저퇴적물의 퇴적 환경과 지화학적 특성	226
3. 결과 및 토의	228
가. 해저지형도 작성	228
나. 해저퇴적물의 퇴적 환경과 지화학적 특성	239
제 2 절 인공어초	249
1. 서론	249
2. 재료 및 방법	250
가. 통영바다목장 내 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석	250
나. 통영바다목장 내 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법	250
다. 시설된 대형어초의 효과조사	253
3. 결과 및 토의	254
가. 통영바다목장 내 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석	254
나. 통영바다목장 내 수심 40 m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법	261
다. 시설된 대형어초의 효과조사	264
제 3 절 요약 및 결론	265
참고문헌	268

제 4 장 자원 조성 기술	269
제 1 절 방류 효과	269
1. 서론	269
2. 재료 및 방법	270
가. 방류어의 성장	270
나. 방류어의 건강도	270
다. 방류어의 성숙	271
라. 조피블락의 이동범위와 일주행동	271
마. 해삼	274
바. 방류 현황	274
3. 결과 및 토의	274
가. 방류어의 성장	274
나. 방류어의 건강도	279
다. 방류어의 성숙	280
라. 조피블락의 이동범위와 일주행동	288
마. 해삼	294
바. 방류 현황	302
제 2 절 해중립 조성기술	303
1. 서론	303
2. 재료 및 방법	305
가. 조성된 해조장의 효과분석	305
나. 조성된 해중립의 지속성 분석	309
다. 적지선정	309
라. 실내배양 및 이식기술	310
마. 자연 해조류 이식법에 의한 복합 해조장 조성	311
3. 결과 및 토의	311
가. 조성된 해조장의 효과분석	311
나. 조성된 해중립의 지속성 분석	320
다. 적지선정	323
라. 실내배양 및 이식기술 종합	326
마. 복합 해조장 조성용 해조류의 생장	335

제 3 절 자원조사	338
1. 서론	338
2. 재료 및 방법	339
가. 어구조사	339
나. 어탐조사	342
다. 잠수조사	347
라. 서식환경 판별이 가능한 마커의 개발	348
마. 유전자원조사	352
3. 결과 및 토의	353
가. 어구조사	353
나. 어탐조사	362
다. 잠수조사	371
라. 서식환경 판별이 가능한 마커의 개발	401
마. 유전자원조사	414
제 4 절 자원조성 매뉴얼 작성	418
1. 서론	418
2. 대상 선정	419
가. 기술 목표	419
나. 대상기술내용	419
제 5 절 요약 및 결론	444
참고문헌	446
제 5 장 바다목장 이용 · 관리	455
제 1 절 서론	455
제 2 절 통영바다목장 추진실적 및 계획	457
1. 바다목장 단계별 추진경과	457
2. 바다목장 투자실적	458
제 3 절 바다목장수면 이용 · 관리 실태	460

1. 바다목장 해역의 수산 현황	460
가. 어가 및 어업 인구	460
나. 어선척수	460
다. 어업권 어업의 현황	461
라. 어촌계 소득 추이	462
2. 수산자원관리수면의 이용	463
가. 수산자원관리수면의 이용 실태	463
나. 어선어업의 조업 실태	464
다. 어종별 주어기	465
라. 어획량 모니터링	466
제 4 절 바다목장 이용·관리 체제 구축	469
1. 현행 통영바다목장의 이용·관리 체제	469
가. 보호수면	469
나. 수산자원관리수면	469
다. 자율관리어업위원회	471
라. 이용관리협의회	472
2. 통영바다목장의 사후관리체제 구축 방향	473
가. 해역관리	474
나. 어업자원관리	476
다. 어업 외 소득 증대	478
제 5 절 수산물 유통체제 구축 및 브랜드화	482
1. 양륙항 지정	482
2. 바다목장 수산물 직판장의 설치	483
3. 바다목장 수산물 직판장의 운영(안)	484
4. 주요사업	485
가. 브랜드 표시	485
나. 물량조절	486
다. 협약점 사업	486
라. 활어 직판 사업	486
마. 인터넷, 전화주문 등 직거래 판매	487
5. 예산 추진(안)	487
6. 바다목장 상표등록 추진 경과	488

제 6 절 바다목장 직·간접효과 분석	490
1. 직접효과 분석 -외출낚시어업의 경영수지-	490
가. 어획량과 어획금액	490
나. 수입과 지출	491
다. 자산 및 부채	491
라. 재무지표 분석	492
2. 간접효과 분석 -유어낚시 및 관광-	494
가. 유어낚시	494
나. 관광객	501
다. 간접효과 분석	507
제 7 절 결론	509
참고문헌	511
부록	513

여 백

표 목 차

표 2-1-1.	2005년 통영 바다목장 해역에서 물리·화학적 환경요인의 월별 변화	9
표 2-1-2.	2005년 통영 바다목장 해역에서 영양염류의 월별 변화	18
표 2-1-3.	2005년 통영바다목장 해역에서 화학적 산소 요구량의 월별변화	22
표 2-1-4.	2005년 통영 바다목장 해역에서 Chlorophyll <i>a</i> 의 월별 변화	23
표 2-2-1.	통영 바다목장 해역의 종속영양세균 군집의 종조성	30
표 2-2-2.	통영 바다목장 해역의 종속영양세균의 형태적, 생화학적 특성 및 동정	31
표 2-2-3.	2005년 통영 바다목장 해역에서 출현한 식물플랑크톤군집의 분류군	34
표 2-2-4.	2000-2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤의 주요 우점종의 년/월별 변화	43
표 2-2-5.	2005년 5월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도	51
표 2-2-6.	2005년 8월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도	52
표 2-2-7.	2005년 11월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도	54
표 2-2-8.	통영해역에서 채집된 부유성 난의 출현량('05, 7)	63
표 2-2-9.	통영해역에서 채집된 부유성 난의 출현량('05 10)	63
표 2-2-10.	통영해역에서 채집된 자치어의 출현량('05 7)	64
표 2-2-11.	통영해역에서 채집된 자치어의 출현량('05 10)	65
표 2-2-12.	통영해역에서 부어류의 분류군('05, 7 ~ '05, 10)	65
표 2-2-13.	통영주변해역의 부어류의 종조성('05, 7 ~ '05, 10)	68
표 2-2-14.	통영해역에서 저어류의 분류군 ('05, 7~'05, 10)	69
표 2-2-15.	통영주변해역의 저어류의 종조성('05, 7 ~ '05, 10)	72
표 2-2-16.	2001년부터 2005년까지의 저인망에 의해 채집된 어류의 연간 출현양상	73
표 2-3-1.	폴리염화비페닐 분석을 위한 가스크로마토그래프의 분석조건	83
표 2-3-2.	분석대상 폴리염화비페닐 동위체 종류	83
표 2-3-3.	유기주석화합물 분석을 위한 가스크로마토그래프의 분석조건	86
표 2-3-4.	분석대상 노닐페놀 및 비스페놀A의 질량분석분석을 위한 내부표준물질 및 정량화 이온 종류	87
표 2-3-5.	노닐페놀과 비스페놀A 분석을 위한 가스크로마토그래프-질량분석기의 분석 조건	87
표 2-3-6.	표층퇴적물 중 PCB 화합물의 농도	92
표 2-3-7.	진주담치 중 PCB 화합물의 농도	97
표 2-3-8.	통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 유기주석화합물 잔류 농도	104

표 2-3-9. 통영목장화 중심해역 진주담치 중 유기주석화합물 잔류 농도	106
표 2-3-10. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 노닐페놀 및 비스페놀 A 잔류 농도	110
표 2-3-11. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물의 지화학 성분 분석 결과	115
표 2-3-12. 퇴적물내의 지화학 성분들 간의 상관계수	118
표 2-3-13. 통영 및 우리나라 연안 표층 퇴적물의 중금속 농도	123
표 2-3-14. 통영목장화 중심해역 진주담치 중의 중금속 분석 결과	126
표 2-3-15. 통영 및 우리나라 연안의 혼합속 중의 중금속 농도	130
표 2-3-16. 미국의 퇴적물에 대한 중금속 가이드라인	131
표 2-3-17. 수산물에 대한 중금속의 국내외 허용 기준	132
표 2-4-1. 통영바다목장해역 암반서식지유형별 군집특성	137
표 2-4-2. Type A 지역의 환경특성	141
표 2-4-3. Type A 지역의 생물군집	142
표 2-4-4. Type B 지역의 환경 특성	142
표 2-4-5. Type B 지역의 생물 분포 특성	143
표 2-4-6. Type C 지역의 환경 특성	143
표 2-4-7. Type C 지역의 생물 분포 특성	143
표 2-4-8. Type D 지역의 환경 특성	144
표 2-4-9. Type E 지역의 환경 특성	144
표 2-4-10. Type D와 Type E 지역의 생물 분포 특성	144
표 2-5-1. 통영 생태계 내 그룹별 종조성	157
표 2-5-2. 통영 생태계의 바다목장 조성 이전의 기본입력파라미터	159
표 2-5-3. 통영 생태계의 바다목장 조성 이전의 생물군별 먹이조성비	160
표 2-5-4. 통영 생태계의 바다목장 조성 이후의 기본입력파라미터	162
표 2-5-5. 통영 생태계의 바다목장 조성 이후의 생물군별 먹이조성비	163
표 2-5-6. 통영 생태계 내 생물군별 환경수용량 추정치	169
표 2-5-7. 통영 생태계의 생물학적 허용어획량 추정방법	179
표 2-6-1. GIS DB 구축을 위한 재료 및 용도	182
표 3-1-1. 다중빔 음향 측심에 사용된 주요 장비 제원	220
표 3-1-2. 표층퇴적물의 입도 특성	241
표 3-1-3. 표층퇴적물의 지화학적 특성	243
표 3-2-1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도	256
표 3-2-2. 용접 외관 검사 기준	262
표 3-2-3. 강제어초의 부식허용량	263
표 4-1-1. 통영바다목장에서 방류한 음향표지 자연산 조피볼락의 개요	273

표 4-1-2.	출산시기의 불락 암컷 요약	283
표 4-1-3.	2005년 11월 측정한 음향표지어에 대한주간과 야간의 평균 탐지 횟수	294
표 4-1-4.	3단계 1차년도 사업 기간 동안 통영 바다목장 해역 내 방류 현황	302
표 4-2-1.	효율적인 해중립 조성을 위한 연구내용	304
표 4-2-2.	통영 바다목장해역에 투입된 해중립 조성용 시설물 현황	305
표 4-2-3.	2005년 4월에 조사된 통영바다목장해역에 해중립 조성용 6개 시설물의 상부에 부착한 해조류 및 부착동물의 현존량	313
표 4-2-4.	2004년 7월에 조사된 통영바다목장해역에 해중립 조성용 6개 시설물의 측면에 부착한 해조류 및 부착동물의 현존량	313
표 4-2-5.	2004년 10월에 조사된 통영바다목장해역에 해중립 조성용 6개 시설물의 상부에 부착한 해조류 및 부착동물의 현존량	314
표 4-2-6.	2005년 4월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상	315
표 4-2-7.	2005년 7월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상	316
표 4-2-8.	2005년 10월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상	317
표 4-2-9.	장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 일반수질 및 저질환경특성	324
표 4-2-10.	장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 퇴적물의 입도특성	324
표 4-2-11.	4단계 수온에서 배양된 포자의 발아율에 대한 분산분석	326
표 4-2-12.	4단계 수온에서 배양된 암배우체의 성장률 분산분석	327
표 4-2-13.	4단계 광량에서 배양된 포자의 발아율에 대한 분산분석	328
표 4-2-14.	4단계 광량에서 배양된 포자의 발아율에 대한 분산분석	329
표 4-2-15.	밀도에 따른 곰피 포자체의 성장 분산분석	331
표 4-2-16.	수심에 따른 곰피 포자체의 성장 분산분석	332
표 4-2-17.	6월과 7월 두 집단에서 가장 큰 20개체를 선택하여 분산분석한 결과	334
표 4-3-1.	계량어군탐지기의 매개변수	344
표 4-3-2.	통영바다목장에서의 음향을 이용한 수산자원 분포조사 현황	347
표 4-3-3.	2005년의 통영바다목장의 불락의 연령군별 추정 자원량	353
표 4-3-4.	통영 조사지역의 조피불락, 불락의 최대지속어획량과 생물학적 허용 어획량과 적정노력량	353
표 4-3-5.	2004, 2005년의 통영바다목장의 표지 방류법을 이용한 조피불락의 연령군별 추정 자원량	354
표 4-3-6.	통영 조사지역의 조피불락, 불락의 최대지속어획량과 생물학적 허용	

어획량과 적정노력량	355
표 4-3-7. 통영의 정치망에 채집된 어류의 목, 과, 종별 출현 종 수	359
표 4-3-8. 통영의 정치망에 채집된 어류의 개체 수 및 생체량	360
표 4-3-9. 2005년 8월 연대도 조사 정점별 어종의 출현 현황	373
표 4-3-10. 1999년부터 2005년까지 연대도 각 조사정점에서의 출현 어종 수와 몇몇 수산 어종의 출현 현황	374
표 4-3-11. 연대도 주변 불락의 연도별 자원량 변동	374
표 4-3-12. 만지도 부근 수중에 설치된 인조해조장에서 확인된 어종 목록	376
표 4-3-13. 부도 부근 수중에 설치된 피라미드 강제 육성용 어초에서 확인된 어종	377
표 4-3-14. 대장두도 남쪽 연안의 수중에 설치된 다목적 연안 어초에서 확인된 어종 ...	378
표 4-3-15. 부도 북쪽 연안의 수중에 설치된 콘크리트 어초에서 확인된 어종	380
표 4-3-16. 대장두도 북쪽 연안의 수중에 설치된 선박어초에서 확인된 어종	381
표 4-3-17. 대장두도 연안 강제어초 부근에서 확인된 어종	384
표 4-3-18. 대장두도 연안 소형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종	385
표 4-3-19. 중형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종	386
표 4-3-20. 대형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종	387
표 4-3-21. 개량형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종	388
표 4-3-22. 어초 종류별 자원상태	398
표 4-3-23. 방류산과 양식산 조피불락의 근육 중 일반성분의 비교	401
표 4-3-24. 방류산과 양식산 조피불락 근육의 rheology parameters 비교	402
표 4-3-25. 불락 방류어의 미토콘드리아DNA 유전자형 염기배열	415
표 4-3-26. 불락 자연집단 미토콘드리아DNA 유전자형의 염기배열	416
표 4-3-27. 불락 방류어와 자연집단의 유전적 다양성 비교	417
표 4-4-1. 건강 종묘 판정을 위한 기본적 요소	422
표 4-4-2. 음향순치 결과 분석을 위한 평가 항목	432
표 4-4-3. 2004, 2005년도 통영바다목장 내 조피불락 자원량	443
표 5-2-1. 통영바다목장 단계별 추진실적 및 향후 계획	457
표 5-2-2. 통영바다목장의 투자실적	459
표 5-2-3. 인공어초 및 종묘방류실적	459
표 5-3-1. 통영바다목장 어가 및 인구	460
표 5-3-2. 어선척수	461
표 5-3-3. 연도별 어업권의 추이	461
표 5-3-4. 바다목장 해역 내 11개 어촌계별 호당 평균소득 추이	462
표 5-3-5. 수산자원관리수면의 조업 현황	463

표 5-3-6.	수산자원관리수면 내 연안어선의 조업 현황	464
표 5-3-7.	어종별 주어기	465
표 5-3-8.	수산자원관리수면의 어획량 모니터링 결과	467
표 5-4-1.	통영바다목장 조성 이후 사후관리 업무 및 담당기관	475
표 5-5-1.	수산물 직판장 설치대안	483
표 5-5-2.	직판장의 시설 내역	484
표 5-5-3.	직판장의 운영(안)	485
표 5-5-4.	소요 예산(안)	487
표 5-5-5.	투자 계획(안)	488
표 5-6-1.	외출낚시의 어종별 평균 어획량 및 어획금액	490
표 5-6-2.	외출낚시의 수입과 지출	491
표 5-6-3.	외출낚시의 자산 및 부채 현황	492
표 5-6-4.	주요 재무지표	493
표 5-6-5.	통영지역 설문대상자의 인구통계학적 특징	494
표 5-6-6.	출조지역	495
표 5-6-7.	출조장소	495
표 5-6-8.	출조지역 선호 이유	496
표 5-6-9.	연간 출조 횟수	496
표 5-6-10.	통영 출조 횟수	496
표 5-6-11.	낚시 여행지 결정 요소	496
표 5-6-12.	낚시에 투자하는 시간과 금액	496
표 5-6-13.	낚시 여행타입	496
표 5-6-14.	동반 여행객 수	497
표 5-6-15.	동반객 유형	497
표 5-6-16.	출조 기간 및 실제 낚시 시간	498
표 5-6-17.	이용한 숙박시설	498
표 5-6-18.	총 여행시간 및 이용 교통수단	498
표 5-6-19.	1인당 출조경비	498
표 5-6-20.	항목별 금액 평균 및 비율	499
표 5-6-21.	항목별 금액 평균 및 비율	499
표 5-6-22.	1회 출조 시 어획하는 어획량	500
표 5-6-23.	필요한 편의시설	500
표 5-6-24.	목장 조성 혜택에 대한 의견	500
표 5-6-25.	바다목장에 대한 방문 의향	500

표 5-6-26. 희망 방문 횟수	501
표 5-6-27. 통영지역 설문대상자의 인구통계학적 특징	502
표 5-6-28. 방문 횟수표	502
표 5-6-29. 동반자 유형	502
표 5-6-30. 동반자 수	503
표 5-6-31. 교통수단	503
표 5-6-32. 소요시간	503
표 5-6-33. 방문 유형	503
표 5-6-34. 숙박시설	504
표 5-6-35. 방문 목적	504
표 5-6-36. 목적지 선택의 중요도	504
표 5-6-37. 1인당 여행경비	504
표 5-6-38. 항목별 금액 평균 및 비율	505
표 5-6-39. 재방문 의사	505
표 5-6-40. 재방문 의사가 없는 이유	505
표 5-6-41. 바다목장 방문 의향	505
표 5-6-42. 희망 방문횟수	506
표 5-6-43. 희망 동반자	506
표 5-6-44. 희망 방문시기	506
표 5-6-45. 희망 방문기간	506
표 5-6-46. 희망 소비금액	507

그림 목차

그림 2-1-1.	2005년도 통영 바다목장 해역에서 물리·화학적 환경요인의 조사 정점	6
그림 2-1-2.	2000년~2005년의 통영바다목장에서 수온 및 염분의 변화	8
그림 2-1-3.	2000년~2005년의 통영바다목장에서 pH 및 용존산소량의 변화	13
그림 2-1-4.	2000년~2005년의 통영바다목장에서 부유물질 및 투명도의 변화	16
그림 2-1-5.	2000년~2005년의 통영바다목장에서 Chlorophyll <i>a</i> 의 변화	24
그림 2-2-1.	2005년 통영바다목장 해역의 계절별 종속영양세균의 개체수	29
그림 2-2-2.	2005년 통영 바다목장 해역에서 월별/정점별 출현종수	35
그림 2-2-3.	2000~2005년 통영 바다목장 해역에서 년/월별 출현종수	36
그림 2-2-4.	2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 현존량의 월별 변화	37
그림 2-2-5.	2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 현존량의 월별 변화	38
그림 2-2-6.	2005년 5월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성	40
그림 2-2-7.	2005년 8월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성	41
그림 2-2-8.	2005년 11월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성	42
그림 2-2-9.	2000~2005년 통영바다목장 주변해역에서 주요 우점종의 변화	46
그림 2-2-10.	2000~2005년 통영바다목장 주변해역에서 식물플랑크톤 우점종의 사진	47
그림 2-2-11.	2000~2005년 통영해역에서 발생한 적조횃수	48
그림 2-2-12.	2005년 5월에 통영해역에 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포	49
그림 2-2-13.	2005년 8월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포	50
그림 2-2-14.	2005년 11월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포	53
그림 2-2-15.	2005년 5월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 우점종의 분포	55
그림 2-2-16.	2005년 8월에 통영해역에 출현한 이매패류 유생의 분포	56
그림 2-2-17.	2005년 11월에 통영해역에 출현한 요각류 우점종의 분포	57
그림 2-2-18.	2005년 11월에 통영해역에 출현한 유형류 <i>O. dioca</i> 의 분포	57
그림 2-2-19.	2005년 11월에 통영해역에서 출현한 탈리아강 동물의 분포	58
그림 2-2-20.	2005년 11월에 통영해역에서 출현한 모악류의 분포	58
그림 2-2-21.	2005년 8월에 통영해역에서 출현한 자포동물 두 종의 분포	59
그림 2-2-22.	2005년 8월에 통영해역에서 출현한 요각류 우점종의 분포	60
그림 2-3-1.	통영목장화 중심해역 주변의 표층퇴적물 시료채취 정점도	79
그림 2-3-2.	통영목장화 중심해역 주변의 진주담치 시료채취 정점도	80
그림 2-3-3.	폴리염화비페닐의 개략적인 분석과정	82
그림 2-3-4.	유기주석화합물의 개략적인 분석과정	85

그림 2-3-5. 노닐페놀과 비스페놀A의 개략적인 분석과정	86
그림 2-3-6. 통영목장화 중심해역 주변의 표층퇴적물 시료채취 정점도	88
그림 2-3-7. 통영목장화 중심해역 주변의 진주담치 시료채취 정점도	89
그림 2-3-8. 표층퇴적물 중 PCB 화합물의 공간분포	94
그림 2-3-9. 표층퇴적물 중 총 PCB 화합물의 농도에 대한 개별동위체의 구성비	94
그림 2-3-10. 전국연안통영목장화 중심해역과 통영바다목장화 중심해역 표층퇴적물 중 PCB 농도 비교	95
그림 2-3-11. 통영목장화 중심해역, 화옹만, 보성만, 가막만 PCB 농도비	95
그림 2-3-12. 진주담치 중 PCB 화합물의 공간분포	99
그림 2-3-13. 퇴적물과 진주담치 중 PCB 화합물 농도비교	99
그림 2-3-14. 진주담치 내 총 PCB 화합물의 농도에 대한 개별 동위체의 구성비	100
그림 2-3-15. 전국연안과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 PCB 농도 비교	101
그림 2-3-16. 미국 NOAA에서 제시한 퇴적물권고기준과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 PCB농도 비교	102
그림 2-3-17. OSPAR Commission에서 제시한 생태독성평가기준과 바다목장 해역 내 진주담치 중 PCB농도 비교	102
그림 2-3-18. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 유기주석 화합물의 공간분포	104
그림 2-3-19. 전국연안과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 TBT 농도 비교	105
그림 2-3-20. 통영목장화 중심해역 진주담치 체내 유기주석 화합물의 공간분포	107
그림 2-3-21. 전국연안과 통영목장화 중심해역 이매패류 체내 TBT 농도 비교	107
그림 2-3-22. 미국 환경청에서 제시한 퇴적물의 TBT 스크리닝 값과 바다목장 해역 내 표층퇴적물 중 TBT 농도 비교	109
그림 2-3-23. 전문가들이 제시하는 인체건강 보호를 위한 생체내의 TBT 잔류농도 허용 권고치	109
그림 2-3-24. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 노닐페놀의 공간분포	111
그림 2-3-25. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 비스페놀A의 공간분포	111
그림 2-3-26. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 노닐페놀과 비스페놀A의 농도비교	111
그림 2-3-27. 통영목장화 중심해역과 국내연안해역의 표층퇴적물 중 노닐페놀 농도비교	112
그림 2-3-28. 통영목장화 중심해역과 울산해역의 표층퇴적물 중 비스페놀A 농도비교 ..	113
그림 2-3-29. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물 중 유기물 지표의 농도 분포	116
그림 2-3-30. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물 중 중금속 농도 분포	119
그림 2-3-31. 퇴적물내 AI과 중금속들의 상관관계	122
그림 2-3-32. 통영목장화 중심해역 진주담치의 패각 외형 자료	124

그림 2-3-33.	통영목장화 중심해역 진주담치 생체 중의 중금속 농도 분포	127
그림 2-4-1.	통영바다목장해역 서식지유형 구분을 위한 조사정점	136
그림 2-4-2.	저서생물자료를 바탕으로 한 nMDS 분석	140
그림 2-4-3.	연질기저 저서생물자료를 바탕으로 한 nMDS 분석	140
그림 2-4-4.	nMDS 분석 결과 구분된 통영바다목장해역의 각 서식지 유형	141
그림 2-4-5.	DIN의 표층과 하층에서의 계절별 변화	145
그림 2-4-6.	DO의 표층과 하층에서의 계절별 변화	145
그림 2-4-7.	SS의 표층과 하층에서의 계절별 변화	145
그림 2-4-8.	Chlorophyll-a의 표층과 하층에서의 계절별 변화	146
그림 2-4-9.	퇴적환경의 2001년~2003년도까지의 계절별 변화	146
그림 2-5-1.	생태계 기반 자원관리 시스템	150
그림 2-5-2.	생태계 모델 분석도	151
그림 2-5-3.	생태계의 구조와 생태계 모델에 사용되는 기본 입력파라미터	152
그림 2-5-4.	통영 바다목장해역도	154
그림 2-5-5.	자가구성법을 이용한 통영 바다목장 생태계 생물군 그룹핑	156
그림 2-5-6.	통영 생태계의 구조와 영양학적 상호작용을 나타내는 관계도	165
그림 2-5-7.	통영 해역의 바다목장 조성 이전과 이후의 생태계 구조 변화	166
그림 2-5-8.	어획이 없을 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션	167
그림 2-5-9.	어획이 바다목장조성 이전 수준일 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션	168
그림 2-5-10.	어획이 두배로 증가했을 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션	170
그림 2-5-11.	수산자원조성 시스템	171
그림 2-5-12.	TAC 추정 시스템	178
그림 2-6-1.	월별 해양환경 변화 - 수온	182
그림 2-6-2.	월별 해양환경 변화 - 염분도	183
그림 2-6-3.	월별 해양환경 변화 - pH	183
그림 2-6-4.	계절별 해양환경 변화 - 수온	183
그림 2-6-5.	계절별 해양환경 변화 - 부유물질	184
그림 2-6-6.	계절별 해양환경 변화 - 저서생물 개체수	184
그림 2-6-7.	위성영상데이터의 보정절차	185
그림 2-6-8.	위성영상 작업 후 결과화면	185
그림 2-6-9.	3차원 해저지형 구축과정	186

그림 2-6-10. 위성영상 작업 후 결과화면	186
그림 2-6-11. 정점데이터 생성과정	187
그림 2-6-12. 표면의 표현방법	188
그림 2-6-13. 보간방법들의 차이	189
그림 2-6-14. 정점영역생성	189
그림 2-6-15. 통영바다목장 IDW 생성영역	190
그림 2-6-16. 영상보정 완료	190
그림 2-6-17. IDW 분석의 사전옵션 설정	191
그림 2-6-18. IDW 작업설정	191
그림 2-6-19. IDW 분석작업 완료	192
그림 2-6-20. 결과화면 설정	192
그림 2-6-21. 분석 완료화면	193
그림 2-6-22. 분석결과 서비스화면	193
그림 2-6-23. 웹페이지 서비스화면	194
그림 3-1-1. 통영 바다목장화 해역도	210
그림 3-1-2. 디지털이징한 해도 예	212
그림 3-1-3. 1996년 한국해양연구원에서 작성한 통영지역의 등수심도	213
그림 3-1-4. 육지등고선 추출을 위한 수치지형도 예	214
그림 3-1-5. 통영 바다목장화 해역 조사구역도	215
그림 3-1-6. 정밀해저지형조사 축선도	216
그림 3-1-7. Trimble DGPS 안테나	218
그림 3-1-8. DGPS 운영 및 항해관리 컴퓨터	218
그림 3-1-9. Seabat 9001 다중빔 음향측심기	220
그림 3-1-10. 다중빔 음향트랜스듀서를 배 옆에 부착하여 예인하는 모습	222
그림 3-1-11. 다중빔 음향자료 현장 실시간 자료획득 모습	222
그림 3-1-12. MB Max에서 잡음제거. x표가 필터에서 확인된 잡음을 표시	223
그림 3-1-13. Hypack 프로그램에서 음속자료 입력하는 모습	224
그림 3-1-14. Hypack 프로그램에서 Patch Test 보정 모습	225
그림 3-1-15. 표층퇴적물 채취 정점도	227
그림 3-1-16. 바다목장화 해역 해저-육지통합 등고선도	230
그림 3-1-17. 바다목장화 해역 수직 상공에서 바라본 3차원 지형	231
그림 3-1-18. 남쪽 30°상공에서 바라본 바다목장화 해역 3차원 지형	232
그림 3-1-19. 남서쪽 30°상공에서 바라본 바다목장화 해역 3차원 지형	233
그림 3-1-20. 바다목장화 조사해역의 등고선도	235

그림 3-1-21. 남쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형	236
그림 3-1-22. 서쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형	237
그림 3-1-23. 동쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형	238
그림 3-1-24. 표층퇴적물의 입도분포	239
그림 3-1-25. 표층퇴적물의 분포 퇴적상	240
그림 3-1-26. 표층퇴적물의 총탄소 함량 분포도	244
그림 3-1-27. 표층퇴적물의 탄산염 함량 분포도	245
그림 3-1-28. 표층퇴적물의 총유기탄소 함량 분포도	246
그림 3-1-29. 총유기탄소와 총질소의 관계	247
그림 3-1-30. 표층퇴적물의 황화수소 가스 함량 분포도	247
그림 3-1-31. 총유기탄소와 황화수소 가스의 관계	248
그림 3-2-1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역	251
그림 3-2-2. 바다목장 조성지 내의 B지역에서 코어시료 채취위치	252
그림 3-2-3. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도	255
그림 3-2-4. 통영해역에서 1997년 채집된 유, 치자어의 어초성 분류	257
그림 3-2-5. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류	258
그림 3-2-6. 다기능고층어초의 형상	259
그림 4-1-1. 실험해역과 장치의 배치	272
그림 4-1-2. 방류 조피볼락의 서식처별 성장	275
그림 4-1-3. 방류 조피볼락의 서식처별 일일 성장률	276
그림 4-1-4. 방류 조피볼락의 서식처별 최종 비만도	277
그림 4-1-5. 볼락 방류어와 양식어의 체중 성장	278
그림 4-1-6. 볼락 방류어와 양식어의 기간별 일일 성장률	278
그림 4-1-7. 방류 볼락의 서식처별 최종 비만도	279
그림 4-1-8. 조피볼락 방류어와 양식어의 헤마토크리트와 헤모글로빈 값	279
그림 4-1-9. 조피볼락 방류어와 양식어의 Total protein과 글루코즈 값	280
그림 4-1-10. 조피볼락 방류어와 양식어의 ALP, BUN, Ca 그리고 Creatine 값	281
그림 4-1-11. 출산시기와 미성숙 볼락 암컷의 간중량지수, 생식소중량지수, 내장중량지수 및 비만도의 비교	282
그림 4-1-12. 출산시기 볼락 암컷의 간중량지수와 생식소중량지수의 관계	283
그림 4-1-13. 출산시기의 볼락 암컷 어체중과 포란 수와의 관계	284
그림 4-1-14. 출산시기의 볼락 암컷 전장과 포란 수와의 관계	284
그림 4-1-15. 출산시기의 볼락 암컷 난소와 포란 수와의 관계	285
그림 4-1-16. 출산시기 볼락 암컷의 난경과 어체중과의 관계	286

그림 4-1-17. 출산시기 불량 암컷의 난경과 전장과의 관계	286
그림 4-1-18. 출산시기 불량 암컷의 난경과 생식소 무게와의 관계	287
그림 4-1-19. 출산시기의 불량 암컷과 수컷의 내장중량지수와 비만도 비교	288
그림 4-1-20. 하계에 방류한 음향표지어의 이동범위	289
그림 4-1-21. 추계에 방류한 음향표지어의 이동범위	290
그림 4-1-22. 하계에 방류한 음향표지어의 주간행동 및 야간행동	291
그림 4-1-23. 추계에 방류한 음향표지어의 주간행동 및 야간행동	292
그림 4-1-24. 하계에 방류한 음향표지어의 연직방향 일주운동	292
그림 4-1-25. 어획장소 주변의 연직 수온분포	293
그림 4-1-26. 시간대별 음향표지어 탐지 횟수 변화	294
그림 4-1-27. 서식기질에 따른 해삼의 출현 개체수	295
그림 4-1-28. 조사기간 동안 각 서식처에서 출현한 해삼의 빈도	296
그림 4-1-29. 출현한 해삼의 생체량과 체장간의 상관관계	297
그림 4-1-30. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 조사시기별 크기 빈도	298
그림 4-1-31. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 조사시기별 생체량 빈도	299
그림 4-1-32. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 크기에 따른 연령분포 빈도	300
그림 4-1-33. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 생체량에 따른 연령분포 빈도	301
그림 4-1-34. 통영바다목장내에 위치한 연명어초계의 계절별 해삼 수확량	302
그림 4-2-1. 2003년에 보완 설계된 콘크리트 해조어초	306
그림 4-2-2. 2003년 3월에 곤리도에 설치된 복합형 어초	306
그림 4-2-3. 해중립용 해조어초, 테트라포드, 자연석, 복합형 해조장의 시설위치	307
그림 4-2-4. 2003년 1월 해조어초에 실내에서 생산된 곰피 종묘의 이식 과정	308
그림 4-2-5. 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 해조류의 장기간 변화	318
그림 4-2-6. 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 생체량 변화	319
그림 4-2-7. 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태의 생장 및 생장	320
그림 4-2-8. 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 곰피의 생장 및 생장	321
그림 4-2-9. 2001년 11월 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곰피의 생장상태	322
그림 4-2-10. 장두도, 저도, 곤리도에 투입된 해조어초 상부 해조군집의 출현종수	323
그림 4-2-11. 장두도, 저도, 곤리도에 투입된 해조어초 상부 해조군집의 현존량	323

그림 4-2-12. 주성분분석에 의한 장두도, 저도, 곤리도의 환경특성 분석	325
그림 4-2-13. 곰피포자를 $10 \mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{S}^{-1}$ 에서 수온 4단계로 3일간 배양하여 관찰한 발아율	326
그림 4-2-14. 곰피포자를 $10 \mu\text{E} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{S}^{-1}$ 에서 수온 4단계로 2주간 배양하여 관찰한 암배우체의 세포수	327
그림 4-2-15. 곰피포자를 수온 15°C 에서 광량 4단계로 3일간 배양하여 관찰한 발아율	328
그림 4-2-16. 곰피포자를 수온 15°C 에서 광량 4단계로 3일간 배양하여 관찰한 암배우체의 세포수	329
그림 4-2-17. 서로 다른 밀도압으로 수심 3m에 양성된 곰피 포자체의 성장	330
그림 4-2-18. 동일한 밀도로 서로 다른 수심에서 양성된 곰피 포자체의 성장	331
그림 4-2-19. 11월과 1월에 크기 0.3mm 및 1.4mm로 양성된 곰피의 엽장빈도 분포	333
그림 4-2-20. 2002년 11월과 2003년 1월에 서로 다른 크기로 양성된 곰피 엽장의 월별 변화	334
그림 4-2-21. 통영 연안 세라믹어초에 이식시킨 해조류의 상대성장을	335
그림 4-2-22. 세라믹어초위에 이식시킨 후의 해조류 생육상태	336
그림 4-3-1. 채집지역의 모식도	341
그림 4-3-2. 음향 자원 조사 정선	343
그림 4-3-3. 계량어군탐지기 설치 모식도	344
그림 4-3-4. 인공어초 주변에 있어서 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 모식도	345
그림 4-3-5. 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 정선	346
그림 4-3-6. 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 정선	347
그림 4-3-7. 연대도 연안의 어류자원 조사정점	348
그림 4-3-8. 바다목장에서 어획된 조피볼락의 연령비와 추정된 자원량의 연령비 비교	355
그림 4-3-9. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 어획개시에 따른 가입당 생산량 곡선	356
그림 4-3-10. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 순간 어획사망계수에 따른 가입당 생산량 곡선	357
그림 4-3-11. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 등생산량 곡선	357
그림 4-3-12. 2005년 6월부터 10월까지 통영에서 채집된 어류의 월별변화	361
그림 4-3-13. 수산 자원의 수직 분포도	363
그림 4-3-14 수산 자원의 수평 분포도	363
그림 4-3-15. 수산 자원의 수직 분포도	364
그림 4-3-16. 수산 자원의 수평 분포도	365
그림 4-3-17. 수산 자원의 수직 분포도	365
그림 4-3-18. 음향을 이용한 인공어초 주변의 수산 자원 조사	366

그림 4-3-19. 음향을 이용한 인공어초 주변의 수산 자원 조사	367
그림 4-3-20. 음향자료를 이용한 하계 수산자원 수직 분포의 연간 변화	368
그림 4-3-21. 음향자료를 이용한 하계 수산자원 수평 분포의 연간변화	368
그림 4-3-22. 음향자료를 이용한 동계 수산자원 수직 분포의 연간 변화	369
그림 4-3-23. 음향자료를 이용한 동계 수산자원 수평 분포의 연간변화	370
그림 4-3-24. 인공어초 주변 해역에서의 어군행동 조사	370
그림 4-3-25. 인공어초 주변 해역에서의 어군행동 조사	371
그림 4-3-26. 최근 연대도 연안 불락의 자원량 변화	375
그림 4-3-27. 선박어초에서의 불락류 개체수 변화	383
그림 4-3-28. 각종 실험 수중구조물에서 수중 관찰된 어류의 월별 종 수 변화	389
그림 4-3-29. 각 실험용수중구조물에서 관찰된 불락 마리 수의 월별 변화	390
그림 4-3-30. 각 실험용수중구조물에서 관찰된 불락 생체량의 월별 변화	390
그림 4-3-31. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피불락 마리 수의 월별 변화	391
그림 4-3-32. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피불락 생체량의 월별 변화	391
그림 4-3-33. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 불락의 단위 공간 당 마리 수	396
그림 4-3-34. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 불락의 단위공간당 생체량	396
그림 4-3-35. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피불락의 단위 공간 당 마리 수	397
그림 4-3-36. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피불락의 단위 공간 당 생체량	398
그림 4-3-37. 바다목장 해역에 암반분포와 인공구조물 설치 해역	400
그림 4-3-38. 방류산과 양식산 조피불락의 비만도의 비교	402
그림 4-3-39. 방류산과 양식산 조피불락의 간 중량지수의 비교	402
그림 4-3-40. 방류산과 양식산 조피불락의 체장 또는 체중과 비만도와의 상관성	403
그림 4-3-41. 방류산과 양식산 조피불락의 체장 또는 체중과 간중량지수와의 상관성 ..	404
그림 4-3-42. 양식산과 방류산, 자연산 조피불락 혈장의 삼투질 농도의 비교	404
그림 4-3-43. 방류산과 양식산 조피불락의 간장 약물대사효소계의 비교	405
그림 4-3-44. 양식산과 방류산, 자연산 조피불락의 간장 약물대사효소계의 비교	406
그림 4-3-45. 방류산과 양식산 조피불락의 신장 약물대사효소계의 비교	407
그림 4-3-46. 방류산과 양식산 조피불락의 아가미 약물대사효소계의 비교	408
그림 4-3-47. 방류산과 양식산 조피불락의 간장 중 항산화효소계의 비교	410
그림 4-3-48. 방류산과 양식산 조피불락의 신장 중 항산화효소계의 비교	411
그림 4-3-49. 방류산과 양식산 조피불락의 아가미 중 항산화효소계의 비교	412
그림 4-3-50. 방류산과 양식산-1, 자연산 조피불락의 간장 중 항산화효소계의 비교	413
그림 5-4-1. 통영바다목장의 수면관리	470
그림 5-4-2. 통영바다목장 관리이용의 조직별 역할 분담체계	473

그림 5-4-3. 통영바다목장 어업 외 소득 증대 방안	478
그림 5-5-1. 삼덕항의 바다목장 수산물 직판장 후보지 현황	482
그림 5-5-2. 바다목장 인증마크 및 부착상표	485
그림 5-5-3. 바다목장 협약점 부착 간판	486

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

전 세계의 각 연안국이 바다를 자국 영토의 일부로 인식하고 있는 현재 우리나라의 연안의 생물자원은 우리들의 고급 수산 단백질 공급원으로서가 아니라 앞으로 후손에게 물려줄 유산의 하나인 것이다. 지난 수십 년간 남획과 연안 오염으로 말미암아 연근해의 수산 자원이 고갈되어 와 일부 생물 종은 심각한 현상을 들어내고 있는 실정이지만 최근 새로운 해양 질서의 정립과 함께 원양 어장은 축소된 반면에 국민들의 수산물에 대한 수요는 점차 증가하고 있어 국내 수산업의 존립 기반마저 흔들리고 있는 실정이다.

지구상의 바다에 살고 있는 해양생물 자원은 대부분 인류가 이용할 수 있는 것이고 또 지금까지의 이용 가능한 목적 생물(수산생물)의 수가 적다고는 하지만 연안 생태계 내에서는 환경과 생물, 생물과 생물 서로간의 밀접한 관계를 갖고 있어 미래의 새로운 자원을 개발하고 그 자원의 지속적인 생산을 위해서는 보다 종합적인 연구 사업 수행이 요구되었다.

가까운 일본에서는 60년대부터 연안목장화 사업을 시작하여 환경 제어, 어초 제작, 음향급이 시스템 개발 등 다양한 분야의 기술을 접목하여 80년대에는 20여 개소에 달하는 해양목장을 운영 중에 있으며, 2000년대에는 1,200만 톤의 수산물 생산을 목표로 투자 계획을 세워놓고 있다. 한편, 유럽의 노르웨이에서는 60년대 대서양연어를 대상으로 목장화 사업을 시작으로 80년대에 들어와서는 대구, 바다가재 등을 대상으로 사업을 추진 중에 있다. 그 외에도 미국, 뉴질랜드, 중국 등지에서도 인류의 마지막 자원 보고인 바다의 생산력을 최대한 이용하려는 노력의 하나로 바다목장화 사업을 계획, 추진 중에 있다.

우리나라에서는 1970년대 연근해 어업진흥계획을 시작으로 80년대에는 연안 어장 바다목장화 사업(1982-89)을 추진한 바 있으며 인공 어초 시설, 인공 종묘 방류, 증양식 어업 개발, 내수면 어업 촉진 및 어장 환경 보전 등에 필요한 여러 가지 사업을 지방자치단체 중심으로 추진하고 있다. 그러나 이러한 사업은 대부분 산발적으로 이루어져 왔으며 많은 부분이 어촌 정비 사업에 치우쳐져 있어 종합적인 계획 아래 연안의 잠재력 증진이란 목표에는 달하여 있지 못한 실정이다.

이러한 시점에서 통영 해역을 중심으로 한 바다목장화 사업은 바다에서의 수산물 생산 자체를 제조업적 생산시스템의 개념으로 이해하는 한편 지금까지의 단순한 채포(catching), 또는 양식(culture)이 아니라 계획적 생산과 기업적 경영시스템 개념 하에 발전시키려는 종합적인 연구 사업으로서 앞으로 우리나라 연안의 생산력을 회복하고 환경 친화적인 연안 어업을 활성화하여 어민 소득 증대에도 기여할 수 있는 유일한 방법으로 생각된다.

즉, 현재의 증양식 사업보다 해양 생물자원의 지속 가능한 높은 생산력 유지와 이용

을 고도화하기 위한 해양 공학 등의 기술을 활용한 바다 생산 잠재력을 되살리려는 연구가 바로 바다목장화 사업인 것이다.

또한 바다목장화 사업을 통하여 우리 바다의 종합적인 이용-관리 체제를 확립하고, 효율적인 자원관리 및 수산물의 지속적인 생산을 통한 어업인 소득향상을 도모할 뿐만 아니라 양식업, 연안수산업 및 해양건축, 토목 등 관련 산업의 육성 및 기술발전을 촉진하고, 1차 산업 중심의 수산업을 해양공학 및 생명공학 등과 연계한 고부가가치 산업으로 발전시켜 경쟁력 있는 어업기반을 구축하게 된다.

따라서, 본 연구는 대상 해역의 환경, 생태적인 특징을 파악하고 앞으로의 변화를 예측함으로써 자원 증대를 도모하고 과도한 어장 조성 등에 따른 환경 파괴를 지양하는 그야말로 환경 친화적인 연구 사업을 추진하여 궁극적으로는 어민들 스스로 자신의 텃밭인 바다를 지키고 관리할 수 있는 시스템을 구축하여 명실상부한 바다목장을 만들어 내는데 그 최종 목적이 있다.

본 사업은 3단계 1차년도 사업(8년차 사업)으로서, 1단계와 2단계 사업에서 개발된 기술의 “적용 및 효과 조사” 및 향후 바다목장을 위한 매뉴얼 작성을 목표로 하였다. 연구 분야는 크게 1) 어장 조성 분야 2) 자원 조성 분야 3) 바다목장의 이용·관리로 나누었으며, 분야별 주요 연구 개발 내용은 아래와 같다.

첫째, 어장 조성 분야

(환경 특성)

- 생태계 특성파악
- 환경호르몬
- 서식지 특성분석
- 생태계모델 개발
- 생태계 자료 표준화 및 DB구축

(어장 조성)

- 해저지형
- 인공어초

둘째, 자원 조성 분야

- 대상생물의 방류 기술
- 해중립 조성, 종묘생산 및 이식기술
- 방류 효과조사 및 자원조사
- 자원조성 매뉴얼 작성

셋째, 이용·관리 분야

- 수산자원관리수면 이용·관리실태 조사
- 바다목장 이용관리계획 수립 및 실행
- 어획물 브랜드화 및 유통체제 구축
- 사후 투자 효과분석
- 이용관리 매뉴얼 작성

제 2 장 생태계의 특성

제 1 절 해역의 환경요인

제 2 절 생물의 구성원과 생물량

제 3 절 환경호르몬

제 4 절 서식지 특성분석

제 5 절 생태계 모델

제 6 절 관측자료 표준화 및 DB 구축

제 7 절 요약 및 결론

참고문헌

제 2 장 생태계의 특성

제 1 절 해역의 환경요인

1. 서론

1994년 UN이 해양법 조약 발효 후 각국은 200해리 수역에서 「잡는 어업에서 기르는 어업」으로 수산자원 이용 방법이 전환되고 있다. 우리나라에서도 연안의 해양생물 자원을 지속 가능한 높은 생산력으로 유지시키면서, 환경 친화적으로 자원 잠재력을 증대시키는데 초점을 두고 있다.

해양생태계의 구성요소는 물리·화학적 환경요인과 생물학적 구성요소인 생산자, 소비자, 분해자로 이루어져 있으며, 이들이 하나의 시스템을 이루어 상호 작용 및 반작용으로 생태학적인 기능을 발휘하고 있다. 해역에서 물질 순환은 질소 및 인과 같은 영양염류와 각종 미량 원소 등이 기초 생산자에 의해 광합성을 통한 유기질 형태로 전환되면서 시작된다. 기초 생산자는 수온, 염분, 광량, 해류, 영양염류 등에 의해 크게 영향을 받으며, 먹이연쇄의 가장 기본이 된다. 이러한 기초 생산자는 저차 소비자에서 고차 소비자에 이르기까지 자원량 증감의 중요한 요인이 되고 있다.

생물군집에 영향을 미치는 각종 환경요인은 복잡하게 유기적으로 기능을 발휘하고 있으며, 해역의 최적 생태계 관리를 위하여 환경요인은 가장 기본적으로 조사되어야 할 분야이며, 효율적인 생물자원 관리를 위해서는 장기적인 조사가 필요하다.

본 조사는 통영 바다목장 해역의 환경요인을 파악하여 앞으로의 변화를 예측함으로써 자원 증대 및 관리를 도모하고, 궁극적으로 환경 친화적인 바다목장을 조성하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 수중 생태계의 물리·화학적 환경요인

(1) 조사시기 및 장소

제 1차는 2005년 5월 7~10일에, 제 2차는 8월 3~6일에, 제 3차는 10월 30일~11월 2일에 통영 바다목장 해역의 11개 정점(대조구 포함)의 표층과 저층에서 물리·화학적 환경요인 조사를 아래와 같이 각각 수행하였다(그림 2-1-1).

(2) 조사방법

수온, 염분 및 용존산소량은 T-S meter (YSI-85)로, 수소이온농도는 휴대용 pH

meter(YSI-60)로 현장에서 각각 측정하였다. 부유물질의 농도는 사전에 무게를 측정한 여과지에 시수 1ℓ를 여과한 후 이를 건조기(105℃)에서 24시간 건조시킨 다음 다시 무게를 측정하여 최초의 여과지 무게를 뺀 값으로 하였으며, 투명도는 Secchi disk(직경=30cm)를 이용하여 육안으로 측정하였다. 영양염류(NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, SiO₂-Si)는 시수를 van Dorn 채수기로 채수하여 현장에서 Millipore membrane(0.45μm)으로 여과한 해수를 드라이아이스로 급속 냉장한 후, 실험실로 운반하여 Parsons *et al.*(1984)과 Grasshoff *et al.*(1983)의 방법으로 정량 분석하였다. Chlorophyll *a*는 시수 1ℓ를 선상에서 membrane (Millipore, 0.45μm, d=45mm, HA type)으로 여과한 후, 여과지를 냉암소 보관하여 실험실로 옮겨 90% acetone에서 24시간 동안 색소를 추출하였다. 이 추출한 상등액을 취하여 UV/VIS Spectrophotometer (Shimadzu, UV-1700)에서 흡광도를 측정한 후 Chlorophyll *a*의 농도를 정량하였다(UNESCO/SCOR, 1966).

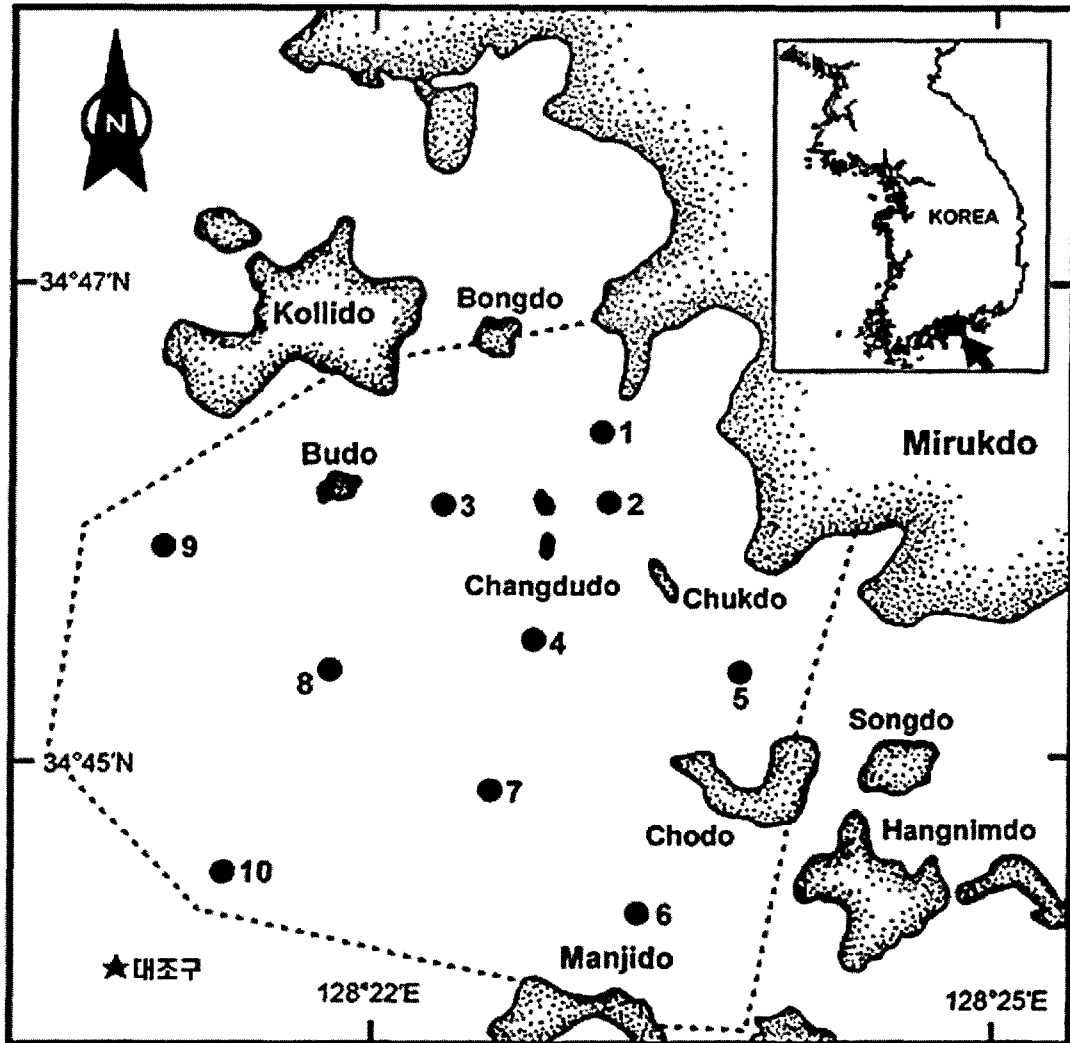


그림 2-1-1. 2005년도 통영 바다목장 해역에서 물리·화학적 환경요인의 조사 정점.

3. 결과 및 토의

가. 수중생태계의 물리·화학적 환경요인

(1) 수온

2000년~2004년의 수온 변화는 표층에서 최저 9.5℃(2004년 2월)에서 최고 25.0℃(2003년 8월)로 평균 18.3℃를 보였으며, 저층에서는 최저 9.4℃(2004년 2월)에서 최고 23.6℃(2003년 8월)로 평균 17.2℃로 평균 표, 저층간의 차이가 1.1℃를 나타내었다(그림 2-1-2). 2001년~2005년의 계절별 평균 수온은 표층에서 봄철 13.8℃, 여름철 22.7℃, 가을철 21.6℃, 겨울철에 11.9℃를 보였으며, 저층에서는 봄철 13.6℃, 여름철 19.7℃, 가을철 19.8℃, 겨울철에 11.7℃로 여름철에 형성되었던 수온약층이 가을 및 겨울로 갈수록 소실되는 전형적인 온대 해역의 특성을 나타내었다.

2005년도의 수온은 5월에 표층에서 14.3~15.3℃로 평균 14.5℃를 보였으며, 저층에서는 14.2~14.4℃로 평균 14.3℃를 보여 표, 저층 간 0.2℃의 차이로 수평적, 수직적 분포가 거의 균일하였다(표 2-1-1). 한편, 2000년 4월에는 표층과 저층에서 평균 13.0℃와 12.9℃를 나타내었다(한국해양연구소, 2000). 8월의 수온은 표층에서 23.5~24.4℃로 평균 23.9℃를 보였으며, 저층에서는 17.0~20.2℃로 평균 17.9℃를 보여 표, 저층 간 6.0℃의 차이로 높은 수온약층이 형성되었다. 기존 조사와 비교해 보면 2003년 8월에 표층에서 24.5~25.4℃로 평균 25.1℃를 보였으며, 저층에서는 22.3~24.0℃로 평균 23.6℃를 보여 표, 저층 간 1.5℃의 차이로 큰 변화를 보이지 않았다(한국해양연구원, 2003). 또한 2002년 8월에는 표, 저층 간 수온차이가 1.3℃로 본 조사와 같이 수온약층이 형성되지 않았으며(한국해양연구원, 2002), 2001년 8월의 수온의 차이는 평균 6.2℃로 수온약층이 형성되었다(한국해양연구원, 2001). 11월의 수온은 표층에서 18.2~18.8℃로 평균 18.4℃를 보였으며, 저층에서는 17.3~18.4℃로 평균 18.0℃를 보여 표, 저층 간 0.4℃의 차이로 여름에 형성되었던 수온약층이 약화되어 수평적, 수직적 분포가 균일한 양상을 보였다. 기존 조사와 비교하면 2003년 10월에는 표층과 저층에서 0.3℃의 큰 차이를 보이지 않았고(한국해양연구원, 2003), 2000년 10월에 22.0℃, 2001년 10월에 19.0℃, 2002년 10월에 21.1℃로 유사한 값을 보였으며, 수평적 분포도 비슷하였다(한국해양연구소, 2000; 한국해양연구원, 2001; 2002). 2004년의 9월에는 22.2℃, 11월에는 17.3℃로 수괴의 균일한 혼합에 따라 표, 저층의 차이가 나타나지 않았으며 (한국해양연구원, 2004), 이는 본 조사와도 일치하는 결과를 보였다. 또한 본 조사에서는 바다목장 해역내의 물리화학적 환경요인과 비교할 수 있는 외해의 대조구 정점을 처음으로 선정하였으나, 수온의 경우 10개 정점의 변화와 큰 차이를 보이지 않았다.

결과적으로 2005년은 태풍의 영향을 크게 받지 않았으며 5월에서 8월로 갈수록 높은 대기기온에 따른 표층의 수온상승의 영향으로 수온약층이 형성되었으며, 가을철인 11월에는 수괴 혼합이 이루어지는 양상을 보여 기존의 결과와 유사하였다.

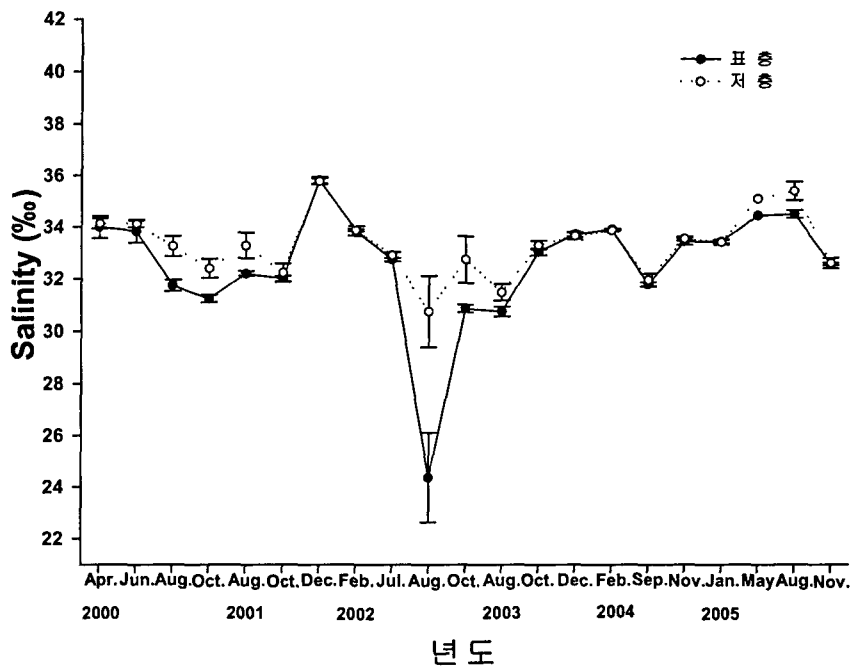
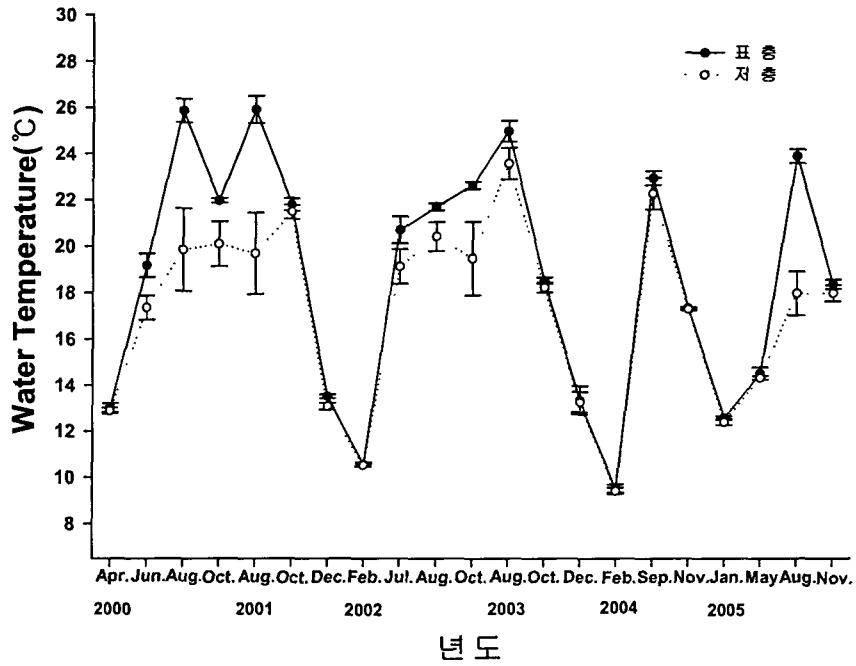


그림 2-1-2. 2000년~2005년의 통영바다목장에서 수온 및 염분의 년/월별 변화

표 2-1-1. 2005년 통영 바다목장 해역에서 물리·화학적 환경요인의 월별 변화

	2005년 5월						2005년 8월						
	WT	Sal	pH	DO	SS	Trans.	WT	Sal	pH	DO	SS	Trans.	
표 층	1	14.4	34.5	8.07	10.33	16.4	3.2	23.7	33.7	8.19	9.79	15.4	7.5
	2	14.4	34.0	8.06	10.30	15.0	2.7	23.7	34.2	8.21	9.50	13.4	7.5
	3	14.4	34.6	8.06	10.29	17.2	3.1	23.7	34.0	8.22	9.51	12.8	7.0
	4	14.5	34.1	8.07	10.98	16.8	2.4	24.0	34.1	8.20	9.25	13.8	7.5
	5	14.5	34.7	8.05	11.37	15.8	2.7	24.0	34.2	8.19	9.50	14.4	7.0
	6	14.3	34.2	8.08	9.67	15.6	3.0	23.5	34.1	8.24	9.40	15.0	6.5
	7	14.4	34.1	8.09	10.09	14.6	3.4	24.0	34.0	8.27	9.58	14.8	8.0
	8	14.5	34.0	8.10	10.17	15.8	3.6	23.5	34.1	8.21	9.61	17.0	6.5
	9	14.5	34.9	8.08	10.15	17.4	3.6	24.0	33.9	8.24	9.82	14.8	6.5
	10	14.5	34.6	8.11	10.08	15.4	3.4	24.3	33.3	8.24	9.32	15.2	9.0
대조구	15.3	35.3	8.11	9.98	18.0	4.1	24.4	34.5	8.21	9.36	14.4	9.5	
평균	14.5	34.45	8.08	10.31	16.2	3.2	23.9	34.01	8.20	9.51	14.6	7.5	
저 층	1	14.3	35.1	8.05	10.47	15.2	-	18.1	35.3	8.02	9.62	15.8	-
	2	14.4	35.0	8.07	10.47	17.2	-	18.0	35.2	8.02	9.31	16.0	-
	3	14.3	35.3	8.06	10.25	14.0	-	17.6	35.1	8.01	9.74	16.2	-
	4	14.4	35.2	8.07	11.19	17.0	-	17.6	35.7	8.00	9.01	17.0	-
	5	14.4	35.1	8.07	11.26	19.8	-	17.6	35.2	8.03	9.00	19.0	-
	6	14.3	35.1	8.08	9.72	29.6	-	20.2	35.0	8.06	8.64	16.4	-
	7	14.4	35.0	8.10	10.00	16.4	-	19.2	35.1	8.06	8.94	16.0	-
	8	14.2	35.2	8.08	10.34	16.0	-	17.6	35.3	8.05	9.59	18.8	-
	9	14.3	35.1	8.63	10.21	16.8	-	17.6	35.3	8.02	9.79	16.4	-
	10	14.2	35.1	8.10	10.13	14.6	-	17.0	35.3	8.02	9.00	16.4	-
대조구	14.4	35.2	8.10	10.23	16.0	-	17.1	35.4	8.03	9.57	19.2	-	
평균	14.3	35.13	8.13	10.39	17.5	-	18.0	35.26	8.00	9.29	17.0	-	

※ Indicators: WT; Water temperature, Sal; Salinity, DO; Dissolved oxygen, SS; Suspended solids, Trans; Transparency
 ※ Unit: WT; °C, Sal; ‰, DO; mg · ℓ⁻¹, SS; mg · ℓ⁻¹, Trans; m

표 2-1-1. 계속

		2005년																	
		11월																	
		WT	Sal	pH	DO	SS	Trans.							WT	Sal	pH	DO	SS	Trans.
	1	18.3	32.6	7.97	12.22	8.1	5.55	1	18.2	32.6	7.97	11.82	8.2	-					
	2	18.3	32.6	7.98	12.51	8.1	4.5	2	18.2	32.6	7.98	12.78	8.2	-					
	3	18.3	32.6	7.98	12.41	10.2	5.5	3	18.1	32.5	7.97	14.30	7.7	-					
	4	18.3	32.5	7.99	13.14	7.7	5.5	4	17.9	32.7	7.97	12.82	8.4	-					
	5	18.2	32.6	8.00	12.16	13.4	5.0	5	18.1	32.6	7.98	12.17	8.7	-					
표	6	18.3	32.6	7.93	13.60	7.7	4.5	저	6	18.2	32.6	7.96	13.37	8.3	-				
층	7	18.2	32.6	7.94	13.83	4.7	7.0	7	18.4	32.1	7.97	13.68	8.8	-					
	8	18.2	32.6	7.95	13.98	9.4	5.5	8	18.1	32.6	7.98	14.45	7.0	-					
	9	18.4	32.6	7.96	14.33	7.5	5.0	9	17.3	32.8	7.95	13.64	11.0	-					
	10	18.7	32.5	7.96	14.62	3.3	5.0	10	17.4	32.8	7.97	13.83	9.1	-					
	대조구	18.8	32.5	7.96	13.65	2.7	5.0	대조구	17.8	32.8	7.90	12.85	8.6	-					
	mean	18.4	32.6	7.97	13.31	7.5	5.3	mean	18.0	32.6	7.96	13.20	8.5	-					

※ Indicators: WT; Water temperature, Sal; Salinity, DO; Dissolved oxygen, SS; Suspended solids, Trans; Transparency
 ※ Unit: WT; °C, Sal; ‰, DO; mg · ℓ⁻¹, SS; mg · ℓ⁻¹, Trans.; m

(2) 염분

2000년~2004년의 염분 변화는 표층에서 최저 24.4‰(2002년 8월)에서 최고 35.8‰(2001년 12월)로 평균 32.3‰의 변화를 보였으며, 저층에서는 최저 30.8‰(2002년 8월)에서 최고 35.8‰(2001년 12월)로 평균 33.1‰의 표, 저층간의 차이가 0.8‰로 저층이 높은 양상을 보였다(그림 2-1-2). 계절별 평균 염분은 봄철에 표층과 저층에서 각각 35.3‰과 35.4‰로 차이가 없었으며, 여름철에 각각 31.4‰와 33.1‰로 집중 강우에 따른 육수의 유입에 의해 표층이 낮은 농도를 보였으며, 가을철에는 각각 32.1‰과 32.8‰, 겨울철에는 표층과 저층에서 공히 34.1‰를 나타내었다. 따라서 본 조사해역의 염분은 여름철 집중 강우 및 태풍에 따른 표층의 저염분 형성에 따른 염분약층(halocline)이 형성되었고, 겨울철에는 점차 소실되는 경향을 나타내었다.

2005년의 월별 평균 염분은 5월에 표층과 저층에서 각각 34.45‰, 35.13‰로 저층이 높았으며(표 2-1-1), 이는 2000년 4월의 표, 저층에서 비교적 고염분인 35.3‰을 보여 유사한 양상을 나타내었다(한국해양연구소, 2000). 8월 표층에서 염분은 33.3~34.5‰, 저층에서는 35.0~35.7‰로 저층이 평균 1.25‰ 높았다. 이는 조사 2-3일 전에 폭우와 강풍으로 인한 강수량에 기인한 것으로 판단된다. 이는 예년의 경우, 2003년 8월에는 표층에서 평균 30.8‰과 저층에서 평균 31.5‰로 저층의 약간 높았다. 또한 2002년 8월 통영 연안해역의 집중강우에 따른 주변 섬들과 육지에서의 담수유입에 따라 표층 평균 24.4‰로 매우 낮았다(한국해양연구원, 2002). 이와 같이 8월의 표층의 상대적 저염분은 여름철 장마 및 태풍의 영향을 크게 받는 것으로 판단되며, 저층에서는 수심에 따라 안정된 수괴로 비교적 높은 염분을 보이는 것으로 판단된다. 11월에 표층에서 32.5~32.6‰로 평균 32.6‰을 나타내 수평적으로 매우 균일하였으며, 저층에서는 32.1~32.8‰의 범위로 평균 32.6‰로 정점별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 표층과 거의 차이를 보이지 않아 수직적으로 일양하였다. 2003년 10월에는 본 조사와 달리, 표층과 저층에서 각각 평균 33.0‰, 평균 33.3‰로 저층이 높은 양상을 보였다(한국해양연구원, 2003). 2004년 11월에는 표층에서 33.4‰, 저층에서 33.6‰로 금년 11월의 조사와 유사한 양상을 나타내었다(한국해양연구원, 2004). 또한 대조구와 바다목장 조사 정점간의 염분의 변화를 비교하면 거의 차이가 없었다.

결과적으로 본 조사 기간 중의 염분은 예년 조사와 마찬가지로 봄철에 높은 농도를 보였으며, 8월에 상대적으로 낮은 농도는 장마 및 태풍의 영향에 기인한 것으로 풀이된다. 전반적으로 바다목장 해역은 전형적인 내만으로 해류의 영향보다는 표층의 경우 강수량에 의해 변화된다고 사료된다.

(3) pH

2000년~2004년의 pH는 표층에서 최저 7.94(2002년 7월)에서 최고 8.55(2004년 2월)로 평균 8.15를 나타내었고, 저층에서는 최저 7.92(2002년 10월)에서 최고 8.54(2004년 2월)로

평균 8.13을 보였으며, 표, 저층간의 차이가 0.2를 나타내어 큰 차이를 보이지 않았다(그림 2-1-3). 계절별 양상은 봄철에 평균 표층에서 8.11, 저층에서 8.15로 저층이 높았으며, 여름철에 평균 표층과 저층에서 각각 8.14와 8.11로 표층이 높은 양상을, 가을철에 각각 8.19와 8.07, 겨울철에 8.23과 8.23으로 표, 저층이 동일한 양상을 나타내었다. 이렇게 봄철을 제외하고 전 계절에 걸쳐 표층이 높은 양상을 나타내어 표층의 높은 식물플랑크톤의 현존량의 영향을 간접적으로 시사하고 있었다.

2005년도의 pH는 5월에 표층에서 최저 8.05(정점 5)에서 최고 8.11(정점 10, 대조구)로 평균 8.08을 보였으며, 저층에서 최저 8.03(정점 9)에서 최고 8.11(대조구)로 평균 8.07을 보였다(표 2-1-1). 이는 2000년 봄철인 4월의 표층과 저층에서 평균 pH인 8.13과 8.17보다 낮은 농도를 보였으나 2005년에는 표, 저층의 간의 큰 차이를 보이지 않았다. 2000년 봄철 저층이 높은 농도를 나타내는 차이를 보였다(한국해양연구소, 2000). 8월의 pH의 변화는 표층에서 최저 8.19(정점 1)에서 최고 8.27(정점 7)로 평균 8.22를 보였으며, 저층에서 최저 8.00(정점 4)에서 최고 8.06(정점 5와 6)으로 평균 8.03을 보여 표층이 1.9 높았다. 기존 연구결과와 비교하면 2003년 8월에 표·저층에서 각각 평균 8.40과 8.34(한국해양연구원, 2003), 2001년도 8월의 표층과 저층에서 각각 8.12, 8.03을(한국해양연구원, 2001), 2002년 8월에는 각각 8.06과 7.97로(한국해양연구원, 2002), 본 조사와 같이 표층이 유사한 양상을 나타내었고 2000년 8월의 표층에서 8.14, 저층에서 8.21로 저층이 높은 양상을 나타내었으나(한국해양연구소, 2000) 대부분 봄철의 pH는 표층이 높은 양상을 나타내고 있었다. 11월의 표층에서는 최저 7.93(정점 6)에서 최고 8.00 (정점 5)으로 평균 7.97을 보여 정점 간에 유사하였고, 저층에서는 최저 7.95(정점 9)에서 최고 7.98(정점 2, 5, 8)로 평균 7.96으로 표층과 같이 정점별 일정한 양상을 보였다. 또한 표층과 저층의 수심별 차이는 0.01로 거의 차이를 보이지 않았다. 이는 2003년 10월의 표층과 저층에서 평균 8.25로 동일한 양상을 보였으나 2005년보다 높은 값을 나타내었다(한국해양연구원, 2003). 한국해양연구원(2001)에 따르면 10월에 표층에서 8.04, 저층에서 8.03을 보였고, 2002년 10월에는 표층에서 7.98~8.03, 저층에서 7.84~8.01의 범위로(한국해양연구원, 2002) 금번 조사와 유사한 양상을 나타내었다.

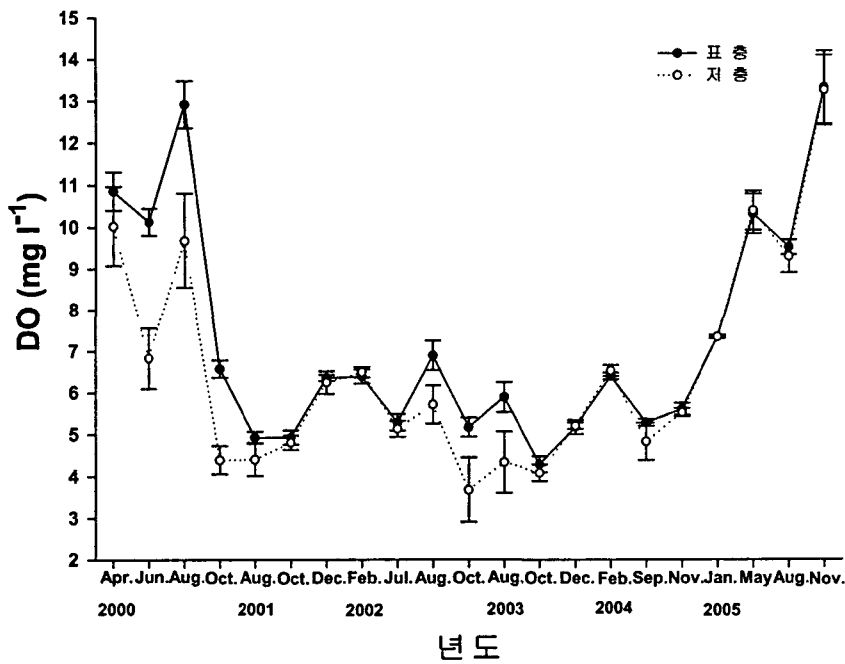
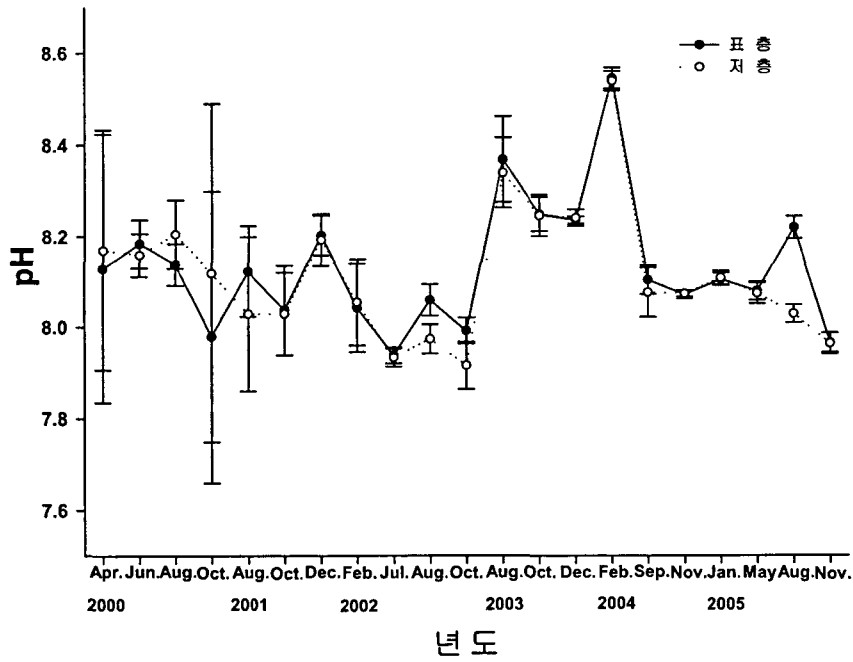


그림 2-1-3. 2000년~2005년의 통영바다목장에서 pH 및 용존산소량의 년/월별 변화

(4) 용존산소량

2000년~2004년의 용존산소는 표층에서 최저 $4.29\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2003년 10월)에서 최고 $13.00\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2000년 8월)로 평균 $5.71\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서는 최저 $3.89\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2002년 10월)에서 최고 $10.34\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2000년 4월)로 평균 $5.31\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 표, 저층간 평균치는 큰 차이를 보이지 않았다(그림 2-1-3). 계절별 평균 용존산소량은 봄철에 표층과 저층에서 각각 $10.86\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 와 $10.03\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 높았으며, 여름철에 각각 $8.22\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 과 $6.34\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 표층이 높았다. 가을철에는 표층과 저층에서 각각 $5.25\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 과 $4.53\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 겨울철에는 각각 $6.33\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, $6.36\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 여름철에 표층의 높은 용존산소량이 가을철로 갈수록 낮아졌고 겨울철에 약간 높아졌다.

2005년도의 용존산소량은 5월에 표층에서 $9.67\sim 11.37\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $10.31\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서 $9.72\sim 11.26\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $10.39\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 표, 저층간 차이가 거의 없었다(표 2-1-1). 이는 2000년 봄철인 4월의 용존산소량은 표층에서 $10.86\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 $10.03\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로(한국해양연구소, 2000) 본 조사와 유사한 양상을 나타내었다. 8월의 용존산소량은 표층에서 $9.25\sim 9.79\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $9.51\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서 $8.64\sim 9.74\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $9.29\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 표층이 다소 높았다. 기존 조사를 보면 2000년 8월에 평균 $9.99\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (한국해양연구소, 2000), 2001년 8월에 평균 $5.02\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (한국해양연구원, 2001), 2002년 8월의 표층에서의 $6.89\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 와 저층에서의 $5.71\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 이었다(한국해양연구원, 2002). 2003년 8월에 표층에서 평균 $5.88\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서 평균 $4.33\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 표, 저층간이 $1.55\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 의 차이를 보여 비록 농도는 낮으나 본 조사와 유사한 양상을 보였다. 11월의 용존산소의 변화를 보면 표층에서 $12.16\sim 14.62\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $13.31\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서 $11.82\sim 14.45\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $13.25\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 표, 저층이 일정하였다. 이는 2003년 10월에는 표층에서 평균 $4.29\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 평균 $4.09\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 나타내었다. 2000년 10월에 평균 표층에서 $6.57\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 $4.39\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 본 조사 기간보다 높은 표층의 용존산소량을 보였고(한국해양연구소, 2000), 2001년 10월에는 표층에서 $4.93\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 $4.80\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를(한국해양연구원, 2001)과, 2002년 10월에 표층에서 평균 $5.17\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서 평균 $3.67\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를(한국해양연구원, 2002) 보여 본 조사에서 2배 이상 높은 농도를 보였다.

(5) 부유물질

2000년~2004년의 부유물질은 표층에서 최저 $8.03\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2003년 12월)에서 최고 $19.54\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2000년 6월)로 평균 $16.18\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서는 최저 $8.98\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2003년 12월)에서 최고 $21.53\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (2000년 6월)로 평균 $23.96\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였다(그림 2-1-4). 계절별 양상은 봄철에 평균 표층에서 $21.16\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 $21.27\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 차이가 없었으며, 여름철에 평균 표층에서 $17.07\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 평균 $18.86\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 가을철에는 각

각 $16.31\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, $20.34\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 겨울철에 각각 $15.72\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, $16.22\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 전체적으로 저층이 높았다.

2005년의 부유물질 농도는 5월에 표층에서 $15.00 \sim 18.00\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $16.18\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 $14.60 \sim 29.60\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 까지 평균 $17.51\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 저층이 표층에 비해 $1.30\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 가 높았다(표 2-1-1). 특히 정점 6의 저층에서는 $29.60\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 높은 부유물질 농도를 나타내었는데 이는 조사정점 가운데 가장 낮은 수심으로 저층 수계의 해류의 이동에 따른 용승이 하나의 이유로 작용했다고 판단된다. 2000년 봄철 4월 표층과 저층에서 평균 $21.16\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 과 $21.27\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 거의 차이가 나타나지 않은 반면, 본 조사에는 저층에서 높은 양상을 나타내었다. 8월의 부유물질 농도는 표층에서 $12.80 \sim 17.00\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $14.64\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 $15.80 \sim 19.20\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 까지 평균 $17.02\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 저층이 높은 양상을 나타내었다. 기존 조사와 비교하면 2003년 8월에는 표층과 저층에서 각각 평균 $12.80\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 과 평균 $13.40\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 2002년 8월에 표층 평균 $19.5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 와 저층 평균 $21.5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 (한국해양연구원, 2002), 금번 조사와 같이 저층이 높은 양상을 보였다(한국해양연구원, 2003). 11월의 부유물질의 변화양상은 표층에서 $2.70 \sim 13.40\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $7.53\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 $7.00 \sim 11.00\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 까지 평균 $8.55\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 저층이 높은 양상을 나타내었다. 이번 조사보다 2004년 11월에 표층에서 평균 $15.7\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서 평균 $14.7\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 높은 농도를 나타내었다. 또한 2003년 10월에는 본 조사와 같이 표층과 저층에서 각각 평균 $15.7\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 와 $18.6\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 을, 2001년 10월에는 표층에서 $14.4 \sim 18.7\text{mg} \cdot \ell^{-1}$, 저층에서 $14.8 \sim 18.7\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를(한국해양연구원, 2001), 2002년 10월의 부유물질 농도는 표층에서 $16.8 \sim 19.6\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 였으며, 저층에서는 $18.2 \sim 27.8\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 금번 조사보다 높은 양상을 나타내었다(한국해양연구원, 2002). 대조구와 바다목장 조사정점의 비교는 5월과 8월에는 큰 차이를 보이지 않아 동일 해역으로 나타났으나 11월의 조사의 경우 표층에서 정점 10 및 대조구가 각각 $3.30\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 과 $2.70\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 외해로 갈수록 점차 낮아지는 양상을 보였다.

결과적으로 본 조사 기간 중의 부유물질 농도는 거의 비슷하였으며, 표층이 저층보다 높은 양상을 나타내었다. 또한 본 조사해역은 낮은 수심과 빠른 유속으로 인한 저층 퇴적물의 용승작용이 활발하지 않으며(한국해양연구소, 2000), 담수유입이 많은 금강 하구역(이와 양, 1997)이나 광양만(조 등, 1994), 득량만(이와 이, 1999), 여자만(이와 윤, 2000)등의 높은 부유물질 농도를 보이지 않아, 육상으로부터 유입원이 크지 않은 것으로 판단되며, 오히려 식물플랑크톤 현존량과 상시 조사 해역의 저층에서 일어나는 부유사의 이동이 부유물질 농도에 영향을 미친다고 판단된다.

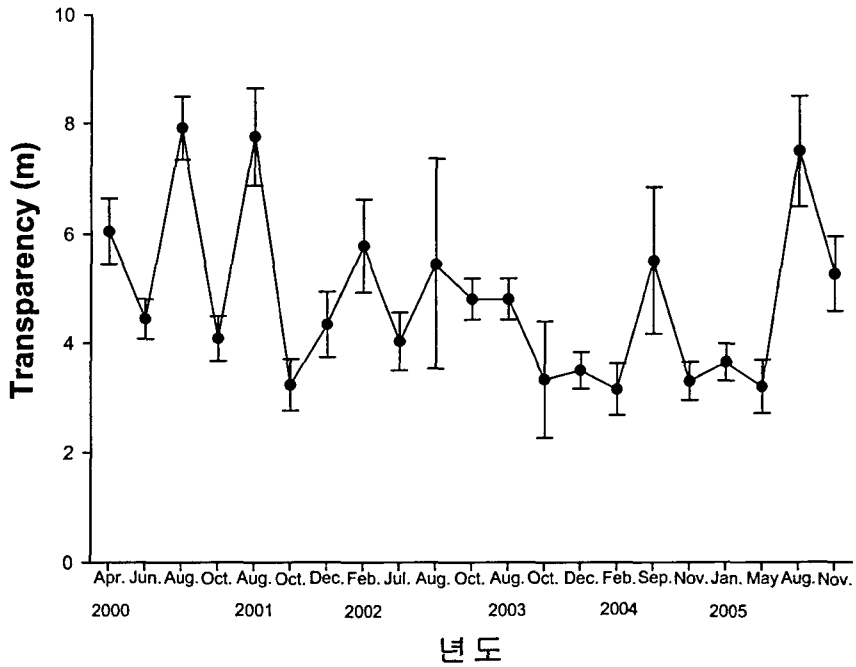
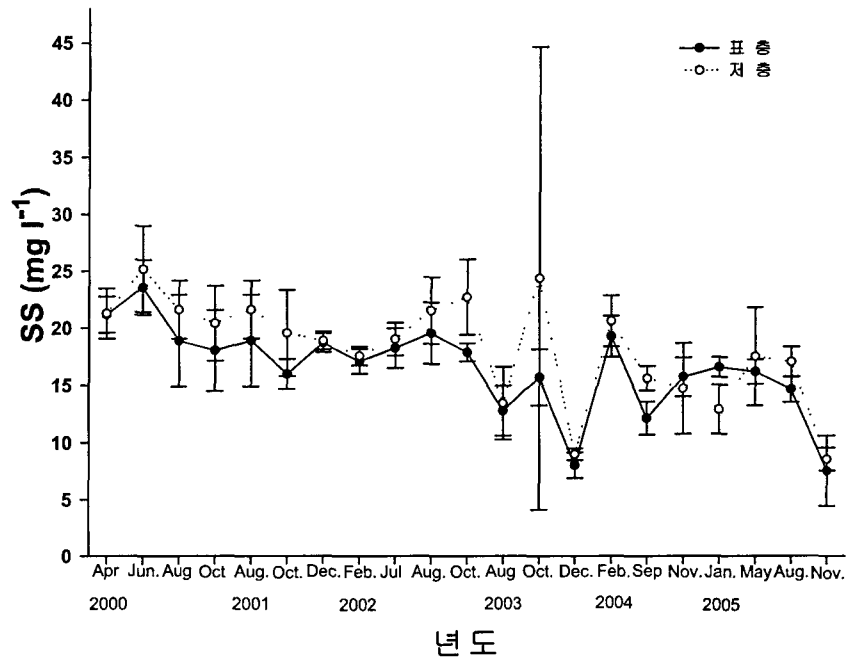


그림 2-1-4. 2000년~2005년의 통영바다목장에서 부유물질 및 투명도의 년/월별 변화

(6) 투명도

2000년~2004년의 투명도는 최저 3.2m(2001년 10월, 2004년 2월)에서 최고 7.8m(2000년 8월)로 평균 4.5m를 보였다(그림 2-1-4). 계절별 평균 투명도는 봄철에 6.1m, 여름철에 6.0m, 가을철에 3.7m, 겨울철에 4.3m로 여름철에 가장 높은 양상을 보인 반면, 식물플랑크톤 대발생을 나타내는 가을철에 가장 낮은 값을 보였다.

2005년의 월별 평균 투명도는 5월 3.0m, 8월 7.5m, 11월에 5.5m였다. 특히 대조구와 비교하면 5월과 11월에는 큰 변화를 보이지 않았으나 8월에는 정점 10과 함께 9.5m의 투명도를 보이고 있어 외해에서 높은 투명도를 보였다. 이와 같이 투명도는 표층에서 입자성 물질의 양을 나타내어(Stigebrandt, 1991), 생물학적 생산에서 어떠한 변화들을 평가할 수 있는 간접적인 방법으로 인정되고 있으나, 간편한 방법에도 불구하고 조사자의 위치, 물분자, 입자성 물질, 광 반사량, 구름의 상태, 풍속 및 유속 등의 많은 변화에 따라 그 측정치는 달라진다(Sanden and Hakansson, 1966). 본 조사해역은 외부 담수 및 해류의 영향을 크게 받지 않는 내만성 해역으로 상시 발생하는 부유물질과 식물플랑크톤 현존량에 큰 영향을 미친다고 판단된다(정, 2002).

(7) 영양염류

질산염: 5월의 질산염은 표층에서 최저 0.28 μ M(정점 6)에서 최고 9.90 μ M(정점 5)로 평균 3.45 μ M을 보였고 저층에서는 최저 1.32 μ M(정점 7)에서 최고 13.36 μ M(대조구)까지 평균 4.82 μ M로 저층에서 더 높은 질산염의 농도를 보였다(표 2-1-2). 8월의 질산염은 5월과 유사하게 최저 0.15 μ M(정점 2)에서 최고 13.28 μ M(정점 10)로 평균 2.86 μ M을 보였고 저층에서는 최저 2.65 μ M(정점 7)에서 최고 12.13 μ M(대조구)까지 평균 8.61 μ M로 저층에서 더 높은 질산염의 농도를 보였다. 11월의 질산염 또한 표층에서 최저 3.69 μ M(정점 10)에서 최고 13.73 μ M(정점 2)로 평균 7.61 μ M을 보였고 저층에서는 최저 6.02 μ M(정점 1)에서 최고 14.74 μ M(대조구)까지 평균 9.26 μ M로 저층에서 더 높은 질산염의 농도를 보였다. 본 해역에서의 질산염은 5월과 8월에는 평균 3.15 μ M로 유사한 양상을 나타냈으나 11월에는 7.61 μ M로 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 2000년의 평균 농도(7.16 μ M)와 유사하였으며 (한국해양연구소, 2000), 2001년에는 평균 15.59 μ M로 높은 양상을 보였다(한국해양연구원, 2001).

암모니아: 5월의 암모니아는 표층에서 최저 0.35 μ M(정점 3)에서 최고 2.96 μ M(정점 6)로 평균 1.41 μ M을 보였고 저층에서는 최저 0.97 μ M(정점 7)에서 최고 2.47 μ M(정점 4)까지 평균 1.68 μ M로 표, 저층의 차이가 거의 나타나지 않은 반면 8월의 암모니아 농도의 변화는 표층에서 최저 0.74 μ M(정점 1)에서 최고 3.94 μ M(정점 9)로 평균 2.24 μ M을 보였고 저층에서는 최저 0.78 μ M(정점 3)에서 최고 4.82 μ M(정점 6)까지 평균 2.74 μ M로 저층에서 더

표 2-1-2. 2005년 통영바다목장 해역에서 영양염류의 월별 변화

	2005년					2005년					
	5월					8월					
	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si	
표 층	1	2.307	0.939	2.515	0.157	2.160	0.433	4.559	0.743	0.725	11.483
	2	1.171	0.389	2.345	0.984	23.868	2.269	0.151	2.597	1.741	14.413
	3	0.950	2.653	0.353	0.612	23.868	0.204	1.737	2.372	1.414	17.040
	4	0.878	1.424	1.851	0.751	24.025	0.176	2.387	2.507	1.904	16.843
	5	0.614	9.903	2.219	0.551	23.240	1.683	0.759	2.307	1.197	13.176
	6	1.150	0.289	2.964	0.157	2.921	0.219	3.466	1.697	0.683	15.626
	7	0.950	2.153	0.757	0.861	23.885	2.204	0.431	2.781	1.481	16.905
	8	0.514	4.274	0.164	0.703	23.695	0.111	1.673	2.836	1.227	17.249
	9	0.392	3.103	0.487	0.838	23.790	1.104	1.180	3.944	1.704	19.265
	10	0.414	6.067	1.376	0.406	23.695	1.626	13.285	1.892	0.979	10.278
대조구	0.564	6.732	0.461	0.070	0.391	0.426	1.851	0.922	0.719	11.356	
평균	0.900	3.448	1.408	0.554	17.777	0.950	2.8617	2.236	1.252	14.876	
저 층	1	2.135	5.396	2.121	0.871	24.079	4.811	11.351	2.791	2.194	21.982
	2	1.028	1.889	1.259	0.541	23.856	4.947	6.987	1.175	1.862	26.429
	3	1.557	3.760	1.645	0.987	24.112	5.133	6.230	0.785	2.261	28.784
	4	1.021	8.960	2.479	0.825	23.810	3.833	11.898	0.995	1.523	32.543
	5	0.600	2.174	2.273	0.167	2.574	2.576	12.137	1.215	0.550	24.652
	6	0.578	1.632	2.381	1.026	24.134	4.119	7.623	4.827	1.958	20.291
	7	0.857	1.317	0.972	0.664	24.129	4.526	2.644	3.013	2.303	23.285
	8	1.028	6.867	1.304	0.783	24.013	4.233	7.309	4.100	2.242	26.155
	9	0.835	2.524	1.636	0.725	24.215	3.476	8.401	2.076	1.463	28.465
	10	0.414	5.117	1.169	0.538	2.073	2.154	12.086	5.596	2.448	25.136
대조구	2.057	13.36	1.268	0.748	24.341	3.904	8.073	3.556	2.206	28.611	
평균	1.101	4.819	1.682	0.716	20.122	3.974	8.6130	2.739	1.910	26.030	

표 2-1-2. 계속.

		2005년														
		11월														
		NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si						NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
표 층	1	3.681	9.638	0.004	1.342	13.072	1	3.274	6.024	0.294	2.872	26.279				
	2	3.296	13.731	0.803	1.590	13.206	2	3.217	7.924	0.504	2.619	24.067				
	3	4.431	2.324	11.295	1.989	20.715	3	3.953	9.381	3.187	3.623	27.476				
	4	4.838	11.031	4.642	1.626	19.233	4	3.796	6.974	2.541	3.791	23.673				
	5	4.210	11.324	2.426	3.543	11.933	5	3.910	8.238	1.311	5.436	23.598				
	6	3.974	11.252	1.259	1.906	12.670	저 층	6	4.117	7.545	0.329	3.133	20.246			
	7	3.453	4.138	0.338	2.242	11.665		7	3.524	7.966	1.080	5.290	26.767			
	8	3.096	6.988	0.338	1.879	19.039		8	3.281	8.202	0.724	3.444	22.726			
	9	4.560	5.652	2.145	2.583	18.503		9	2.610	13.602	0.013	4.724	34.148			
	10	4.867	3.695	1.933	2.883	15.949		10	2.817	11.231	0.812	5.656	31.732			
	대조구	4.024	3.988	0.171	2.060	12.532	대조구	2.888	14.738	0.268	4.872	19.858				
	평균	4.039	7.615	2.305	2.149	15.320	평균	3.399	9.257	1.006	4.133	25.506				

높은 암모니아의 농도를 보였다(표 2-1-2). 11월의 농도의 변화는 최저 0.01 μ M(정점 1)에서 최고 11.29 μ M(정점 3)로 평균 2.31 μ M을 보였고 저층에서는 최저 0.01 μ M(정점 9)에서 최고 3.18 μ M(정점 3)까지 평균 1.01 μ M로 8월의 저층이 높은 농도를 보인 것과 달리 표층이 1.20 μ M의 높은 농도를 나타내었다. Goldman and Gilbert(1983)에 따르면 식물플랑크톤의 DIN(dissolved inorganic nitrogen)의 흡수 농도는 10.0 μ M 이하로, 조사해역의 평균 농도는 표층에서 6.62 μ M과 저층에서 9.37 μ M로 표층이 낮은 농도를 보이고 있으며, 특히 5월과 8월에 5 μ M 이하의 낮은 농도를 보여 질소원이 식물플랑크톤 성장에 제한요인으로 작용하였을 것으로 판단되며, 吉田(1973)에 의하면 24~140 μ M을 부영양화 수역으로 정의한 것과 비교할 때, 본 해역은 질소원만을 대상으로 중영양화 수역으로 판단된다. 이는 2000년 기준 조사(한국해양연구소, 2000)와 비교 시 낮은 부영양화 수역으로 판정한 것에 비해 금년과 비교 시 질소원의 농도가 낮아져 해수의 수질이 상승한 것으로 판단된다. 그러나 이 같은 수질은 각 환경요인의 영향을 크게 받으므로 지속적인 상시 Monitoring에 따른 기초 조사 자료의 획득에 따라 변화 양상을 예측할 수 있는 system 구축이 필요하다고 판단된다.

인산염: 5월의 인산염은 표층에서 최저 0.07 μ M(대조구)에서 최고 0.98 μ M(정점 2)로 평균 0.55 μ M을 보였고 저층에서는 최저 0.54 μ M(정점 10)에서 최고 1.02 μ M(정점 6)까지 평균 0.72 μ M로 표, 저층의 차이가 거의 나타나지 않은 반면 8월의 인산염의 농도 변화는 표층에서 최저 0.68 μ M(정점 6)에서 최고 1.90 μ M(정점 4)로 평균 1.25 μ M을 보였고 저층에서는 최저 0.55 μ M(정점 5)에서 최고 2.45 μ M(정점 10)까지 평균 1.91 μ M로 저층에서 더 높은 인산염의 농도를 보였다. 11월의 농도의 변화는 표층에서 최저 2.32 μ M(정점 3)에서 최고 13.73 μ M(정점 2)로 평균 7.61 μ M을 보였고 저층에서는 최저 6.02 μ M(정점 1)에서 최고 14.74 μ M(대조구)까지 평균 9.26 μ M로 8월과 같이 저층이 높은 농도를 보였다(표 2-1-2). 본 조사에서는 11월이 가장 높은 인산염의 농도를 보였으며, 이는 가장 높은 식물플랑크톤 현존량과 높은 상관성을 보이고 있었으며, 기존 조사와의 비교에서는 여름철에 높은 인산염의 농도를 보인 강(1998)과 이(1999), 정(2001)의 여름철 통영과 남해의 높은 인산염 분포와 차이를 나타내고 있었다. 또한 빈영양화 해역에서 인산염의 흡수량인 0.14~0.18 μ M(Perry and Eppley, 1981)보다 높은 농도를 보여, 인산염에 따른 식물플랑크톤 발생의 제한 인자로 작용하지 않을 것으로 판단되고, 吉田(1973)의 인산염의 부영양화 기준치인 30~100 μ M보다 훨씬 못 미쳐 통영해역은 본 조사기관에서 조사가 시행된 2000년 이후 금년 조사까지 빈 영양화 해역이라 사료된다.

규산염: 5월의 규산염은 표층에서 최저 0.35 μ M(대조구)에서 최고 23.88 μ M(정점 7)로 평균 17.78 μ M을 보였고 저층에서는 최저 2.07 μ M(정점 10)에서 최고 24.34 μ M(대조구)까지 평균 20.12 μ M로 저층이 높은 농도를 보였고 8월의 규산염의 농도 변화는 표층에서 최저 10.27 μ M(정점 10)에서 최고 19.27 μ M(정점 9)로 평균 14.87 μ M을 보였고 저층에서는 최저 20.28 μ M(정점 6)에서 최고 32.54 μ M(정점 4)까지 평균 26.03 μ M로 5월과 같이 저층에서 더 높은 규산염의 농도를 보였다(표 2-1-2). 11월의 농도의 변화는 표층에서 최저 11.66 μ M(정점 7)에서 최고 20.72 μ M(정점 3)로 평균 15.32 μ M을 보였고 저층에서는 최저 19.86 μ M(정점 대조구)에서 최고 34.14 μ M(정점 9)까지 평균 25.51 μ M로 5, 8월과 같이 저층이 높은 농도를 보였다. 이는 기존 조사와 비교 시 2003년 8월에 표층에서 평균 6.47 μ M을 보였고, 저층에서 평균 14.15 μ M을 나타내어 저층이 높은 양상을 보여 본 조사와 유사한 양상을 나타내었으나 농도에 본 조사가 약 2배가 높은 양상을 나타내었다. 또한 2002년 8월에 표층과 저층에서 각각 평균 37.24 μ M과 28.55 μ M로 본 조사와 유사한 농도를 보였으나 본 조사에서는 저층이 상시 높은 농도를 보였으나 2002년 조사는 표층이 높은 양상을 나타내는 특이점을 가지고 있었다. 가을철 규산염의 농도를 기존 조사와 비교 시, 2002년 10월의 표층과 저층에서 각각 평균 4.58 μ M과 21.28 μ M의 금년 11월 조사와 같이 저층이 높은 농도를 보였으며(한국해양연구원, 2002). 또한 규산염은 식물플랑크톤의 주요 분류군중의 하나인 돌말류에 주요 영양원중의 하나로 구성비는 1:1의 흡수율을 가지고 있다. 그러

나 본 해역에서 규산염과 DIN의 농도비를 비교해 보면 규산염이 높은 농도를 보이고 있어, DIN에 따라 식물플랑크톤 발생에 제한 요인으로 작용할 것으로 판단되며, 이는 위 고찰에서도 언급한 바와 같이 DIN의 절대 농도 대 규산염의 비로 본 조사해역에서 식물플랑크톤 제한요인으로 작용할 것을 뒷받침 하고 있다.

영양염류는 식물플랑크톤의 직접적인 영향을 주는 환경요인으로(Perkins 1974; Howarth 1988; Mingazzini *et al.* 1990; Taylor *et al.* 1995; Cha *et al.* 1998), 성장을 제한하며 시·공간적 분포에 영향을 주는 중요 화학적 환경요인으로 해양 생태계 기능 파악에 있어 중요 정보를 제공한다. 연안해역의 영양염류의 유입은 (1) 하천수에 의한 유입 (2) 해저퇴적층의 용승에 따른 확산, (3) 외부로부터의 유입 등을 들 수 있다(Hong *et al.* 1995). 이런 영양염류의 유입에 비추어 볼 때, 본 해역의 영양염류의 유입은 크게 통영시 소하천 유입수와 인근 양식장등에서의 먹이원의 분해에 따른 영양염의 공급으로 판단된다.

(8) 화학적 산소요구량

2005년도 화학적 산소요구량(COD)은 표층에서 최저 $0.076\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (8월 정점 3과 8)에서 최고 $1.897\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (5월 정점 3)로 변화하였으며, 5월, 8월, 11월 평균은 $0.685\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였다. 저층에서는 최저 $0.074\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (8월 정점 1)에서 최고 $2.860\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ (8월 정점 4)까지 변화하였으며, 같은 기간 평균은 $0.580\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 표, 저층 간에 큰 차이를 보이지 않았다(표 2-1-3).

5월에 표층에서 $0.077\sim 1.897\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.630\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서 $0.111\sim 1.313\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.559\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 표, 저층간이 $0.071\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 의 차이를 보였다. 8월에 표층에서 $0.076\sim 1.300\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.584\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서 $0.074\sim 2.860\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.675\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 저층이 표층보다 약간 높았다. 11월에는 표층에서 $0.161\sim 2.014\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.842\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 $0.080\sim 1.369\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $0.505\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 표층이 $0.337\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 이나 높은 농도를 보였다. 한편, 바다목장화 해역과 대조구의 화학적 산소요구량은 연안 안쪽에 위치한 정점에서 상대적으로 높은 농도를 나타내었고, 대조구에서는 낮게 나타났으나, 두 위치 모두 양호한 수질을 나타내고 있었다. 따라서 2005년 5, 8, 11월의 통영바다 목장화 해역에서 화학적 산소 요구량은 수질등급 1급수에 해당하는 값을 보였다.

표 2-1-3. 2005년 통영바다목장 해역에서 화학적 산소 요구량의 월별변화

월	정 점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	대조구	평균
		2005년5월	표 층	0.542	0.232	1.897	0.077	0.503	1.045	0.813	0.077	1.084	0.542
	저 층	1.313	0.196	1.546	0.587	0.699	0.233	0.233	0.196	0.111	0.922	0.116	0.559
8월	표 층	0.458	0.229	0.076	0.764	0.535	0.306	0.688	0.076	0.917	1.070	1.300	0.584
	저 층	0.074	0.540	0.159	2.860	0.773	0.858	1.080	0.233	0.540	0.074	0.232	0.675
11월	표 층	0.402	0.563	0.241	0.725	2.014	0.322	1.852	0.161	0.886	1.208	0.886	0.842
	저 층	0.483	0.161	0.725	1.369	0.644	0.563	0.322	0.402	0.080	0.569	0.241	0.505

(9) Chlorophyll a

2000년~2004년의 Chlorophyll a는 표층에서 최저 $0.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (2002년 2월)에서 최고 $8.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (2002년 8월)로 평균 $2.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 저층에서는 최저 $0.9\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (2001년 8월)에서 최고 $4.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (2003년 10월)로 평균 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 표층이 저층에 비해 $1.1\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 높은 양상을 보였다(그림 2-1-5). 계절별 평균값은 봄철에 표층과 저층에서 각각 $2.2\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 과 $1.6\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 저층이 낮은 양상을 보였으며, 여름철에 표층이 $4.0\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$, 저층이 $1.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를, 가을철에는 표층이 $3.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$, 저층이 $2.38\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 표층이 평균 약 2배 이상의 높은 양상을 보인 반면, 겨울철에는 표층이 $1.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$, 저층이 $1.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 표, 저층의 차이가 크지 않았다.

2005년 5월에 표층에서 최저 $1.0\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 6)에서 최고 $2.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 9)로 평균 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였으며, 저층에서 최저 $1.0\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (대조구)에서 최고 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 1과 2)로 평균 $1.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 나타내었다(표 2-1-4). 이와 같이 5월에 표층이 저층보다 $0.3\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 높은 양상을 보였다. 이는 2000년 4월에 표층과 저층에서 각각 $2.2\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 와 $1.6\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로(한국해양연구소, 2000), 2005년 5월과 같이 표층이 높은 양상을 보였다. 8월에는 표층에서 최저 $0.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 8)에서 최고 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 6)로 평균 $0.9\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였으며, 저층에서는 최저 $0.3\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 9)에서 최고 $1.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 6)까지 평균 $0.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 5월과 같이 표층이 저층보다 높은 양상을 보였으며 금년도 조사 중 가장 낮은 농도를 보였다. 또한 기존 조사를 보면 2003년 8월에 표층에서 평균 $1.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였으며, 저층에서 평균 $2.6\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 본 조사와 달리 저층이 높은 양상을 보였다(한국해양연구원,

2003). 11월의 변화는 표층에서 최저 $1.3\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 3)에서 최고 $3.0\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 1과 6)로 평균 $2.1\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였으며, 저층에서 최저 $0.6\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 9와 10)에서 최고 $2.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (정점 3)로 평균 $1.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 나타내었다. 2004년 9월에 표층에서 평균 $3.1\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였으며, 저층에서는 평균 $2.7\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 표층이 높은 농도를 보여 본 조사와 비교 시 표, 저층의 농도 변화는 유사하였으나 본 조사에서 농도가 낮은 양상을 보였다. 또한 2004년 11월에는 표층에서 평균 $1.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를, 저층에서는 평균 $1.5\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여, 2005년과 달리 표, 저층간의 농도구배를 나타내지 않았다(한국해양연구원, 2004). 2004년 11월의 변화와 같이 2003년 10월에도 표층에서 $4.1\sim 5.6\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $4.8\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 정점간의 큰 차이를 나타내지 않았고, 저층에서는 $2.9\sim 7.9\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 평균 $4.4\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 본 조사기간과 유사하게 표, 저층간의 차이가 크지 않았다. 이와 같이 2005년의 Chlorophyll *a* 농도가 기존 조사에 비해 낮은 이유는 상대적인 가뭄과 태풍의 영향이 크게 나타나지 않아 식물플랑크톤의 대발생을 나타나게 하는 Blooming Trigger mechanism(급속한 영양염류 유입, 태풍 등의 물리적 요인에 따른 여름철 수온약층 파괴에 따른 수계 혼합)이 발생되지 않은 것으로 판단된다.

표 2-1-4. 2005년 통영 바다목장 해역에서 Chlorophyll *a*의 월별 변화(단위: $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$)

월	정 점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	대조구	평균
		2005년	표 층	1.4	1.4	2.0	1.7	1.4	1.0	2.3	2.4	2.5	1.7
5월	저 층	1.7	1.7	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.4	1.0	1.4
8월	표 층	0.7	1.7	0.7	1.4	0.7	1.7	1.0	0.4	0.7	0.7	0.7	0.9
	저 층	1.4	0.4	0.4	0.7	0.5	1.7	1.4	0.4	0.3	0.7	0.4	0.7
11월	표 층	3.0	2.0	1.3	2.0	1.9	3.0	2.0	2.0	2.4	2.0	1.7	2.1
	저 층	1.4	1.3	2.5	1.0	1.5	2.0	1.6	1.7	0.6	0.6	0.8	1.4

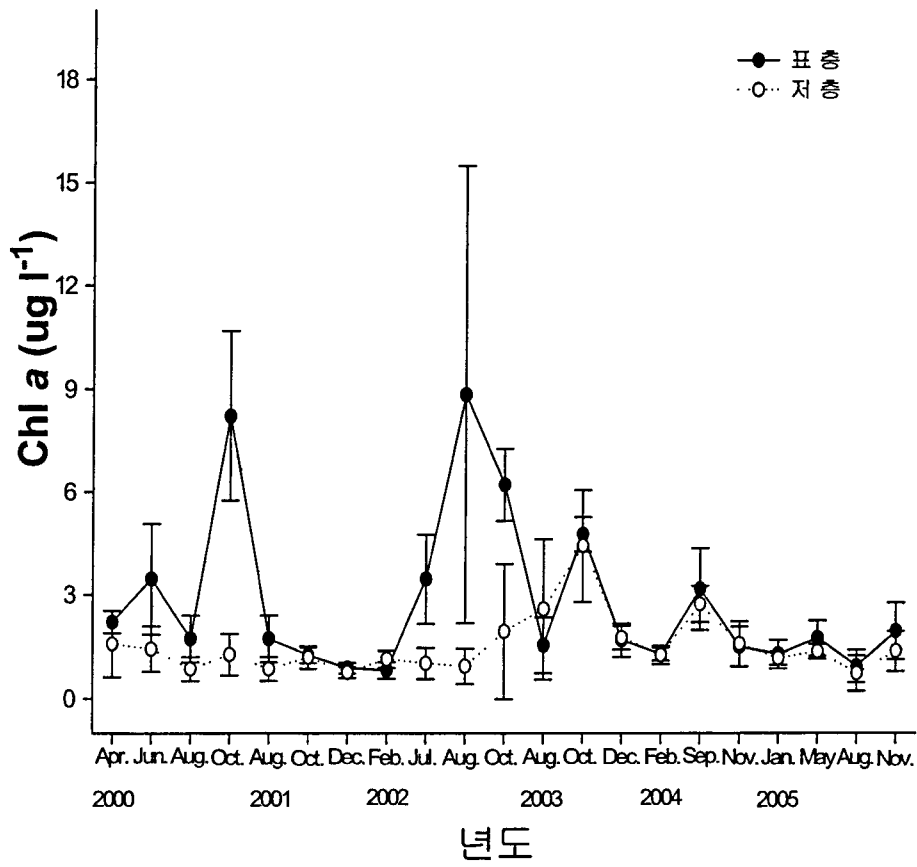


그림 2-1-5. 2000년~2005년의 통영바다목장에서 Chlorophyll a의 년/월별 변화

제 2 절 생물의 구성원과 생물량

1. 서론

해양생물 자원의 지속 가능한 높은 생산력을 유지하면서 환경 친화적으로 자원 잠재력을 증대하려는 것이 바다 목장화 사업의 궁극적인 목적이다(한국해양연구소, 1998). 즉, 바다목장 대상해역의 생태계를 구성하는 모든 요인의 항상성을 유지하면서 수서 자원 생산량을 극대화하는 것이 기본 목표이다. 따라서 대상 해역에 분포하고 있는 생물들의 군집구조와 상호관계를 이해하는 것은 인위적인 생물자원의 첨가와 수확에 대해 생태계가 갖는 수용능력을 평가하는 기초가 될 것이며, 이는 효율적인 자원관리에 유용한 정보를 제공할 것이다. 해양생태계의 구조는 비생물적 환경요소와 생물적 요소로 구성되어 있으며, 생물요소는 생산자, 소비자, 분해자로 이루어져 있으며, 이들이 잘 조직화된 하나의 시스템으로 기능을 발휘하고 있다(Odum, 1971). 연안 해역에서는 주요 생산자는 돌말류, 와편모조류, 그 외 미세조류로 구분이 되며, 환경요인과 함께 광합성에 의해 생성된 유기물질이 먹이망을 통해 고차생산자에게 에너지를 어떻게 얼마나 전달되는가에 대한 이해가 중요하다. 해양 생태계 내에서 기초 생산력을 제공하며 생태계를 지탱하는 근간이 되는 것이 식물플랑크톤이다. 또한 1차 소비자인 동물플랑크톤은 식물플랑크톤이 광합성에 의해 만들어진 유기물을 소비하고, 유용 자원생물의 먹이가 되어, 결과적으로 상위 영양 단계로 에너지 공급하는 연결고리 역할을 한다. 생태계 내에서 종속영양세균은 분해자로서 생태계 유지를 위한 물질의 순환과 에너지의 흐름에 중요한 역할을 담당하며(Odum, 1989), 수생생태계에서는 분해자의 역할 외에도 먹이사슬을 연결하는 중요한 생물상이다(Pace and Orcutt, 1981). 종속영양세균의 생장은 물리·화학적인 요인과 수계의 영양상태 및 식물플랑크톤의 분비물질에 의하여 영향을 받으므로(Wimpenny *et al.*, 1980; Azam *et al.*, 1983; Fukami *et al.*, 1990), 종속영양세균 군집의 계절별 변동이 예상된다.

본 연구는 통영바다목장 해역에서 기초생산자인 식물플랑크톤, 1차 소비자인 동물플랑크톤 및 분해자인 종속영양세균을 조사하여 목장화 해역의 적절한 생물생산에 기여할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 조사 시기 및 장소

미생물, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤의 조사는 물리·화학적 환경요인과 같은 시기와 장소에서 각각 수행하였다(그림 2-1-1).

나. 미생물

(1) 조사 시기, 장소 및 시료 채취

2005년 5월과 8월 그리고 11월 통영바다목장 해역 6개 정점(2, 3, 5, 7, 9 및 대조구)의 표층수와 저층수에서 호기성 중속영양세균의 생균수를 조사하였다. 해수 시료는 van Dorn water sampler를 이용하여 채수하였으며, 표층수 시료는 표층 수심 1m 사이에서, 저층수 시료는 저층 1 m 상층에서 각각 채수하였다. 채수된 각 시료는 멸균된 conical tube에 담아 4℃ 이하를 유지하면서 실험실로 운반한 후 즉시 균체수 측정실험에 사용하였다.

(2) 중속영양세균의 개체수 측정

채수된 해수 시료는 김과 이(1998)의 방법에 따라 제조한 희석용액(해수무기염용액)으로 단계희석한 후 seawater nutrient agar(SWNA)배지에 각각 0.1ml씩 분주·도말하고 15±2℃에서 5±2일간 배양한 후 배지 상에 출현한 집락수(colony forming unit ; cfu)를 평판계수법(Allena 등, 2005)에 따라 계수하였다. 세균수의 계측 결과는 반복실험의 평균값과 표준편차로 제시하였다.

(3) 중속영양세균의 동정 및 종조성 조사

2005년 8월 정점 2의 표층수로부터 중속영양세균의 개체수를 측정한 평판배지에서 콜로니를 선별하여 순수 분리하여 gram염색성과 형태적 특성을 조사하고 VITEK Microbe Identification System(BioMerieux)을 이용하여 생화학적 특성에 따라 각 균주를 동정하여 종조성을 조사하였다.

다. 식물 플랑크톤

식물 플랑크톤은 2005년 5월, 8월, 11월에 물리·화학적 환경요인과 같은 11개 정점(대조구 포함)의 표층과 저층에서 시수 1ℓ를 채수하여, 선상에서 5% 중성 포르말린으로 고정 후 실험실로 운반하였다. 운반된 시수는 24시간이상 침전시킨 후, 상등액을 siphon으로 버리고 150~200ml로 농축하여 공시시료로 하였다. 정량분석은 공시시료를 균일하게 섞은 후 1ml을 취하여 Sedgwick- Rafter Counting Chamber에 넣고 광학현미경(Zeiss Axioscope) ×200하에서 3회 계수한 후 평균치를 구하여 단위 체적 당 세포수를 현존량으로 환산하였다. 정성분석은 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 methylene blue 또는 fuchsin으로 염색한 후 100~1000배하에서 검경·동정하였다. 시료의 분류 및 동정에 있어서 Cupp(1943), 小久保(1955), Brunel(1962), Hendey(1964), Simonsen(1974), Dodge(1982), Round *et al.*(1990), 山路(1991), Hasle and Syvertsen(1996) 등의 참고문헌을 이용하였다. 한편 크기가 작아 광학현미경에서 동정하기 어려운 돌말류는 전자현미경으

로 동정하기 위하여 세포내 유기물을 제거하였다(Hasle and Fryxell, 1970). 유기물을 제거한 표본은 aluminum stub에 고정하고 건조시켜 gold-palladium으로 코팅(JEOL, MSC-101) 후 주사전자현미경(SEM, JEOL 5600LV)으로 동정하였으며, 우점종은 사진을 촬영하였다. 또한 외부골격이 규산질이 아닌 외편모조류는 2% glutaraldehyde로 고정시킨 후, osmic acid(OsO₄)의 최종농도가 1~2%가 되도록 부가하여 실내에서 1~2시간 동안 고정하였다(Reimann *et al.*, 1980). 이후 Et-OH series로 탈수하여 isoamylacetate로 치환시켜 Critical Point Dryer (SPI, Dry-CPD)로 건조시킨 후 주사전자현미경에서 검경·동정하였다.

라. 동물 플랑크톤

동물플랑크톤 시료는 식물플랑크톤과 같은 시기에 같은 정점에서 채집하였다. 시료의 채집은 Kitahara형의 Net(구경 18 cm, 망목 100 μ m)를 사용하였으며, 가능한 저층에서 표층까지 균등하게 예망하였다. 채집은 불균등 분포 등에 의한 오차를 줄이기 위하여 한 정점에서 3~5회 반복 실시하였고, 시료는 선상에서 500ml 폴리에틸렌 병에 넣고 포르말린 용액으로 최종농도가 4%가 되도록 고정한 후 실험실로 운반하였다. 정량분석은 Folsom 타입의 분할기구로 균등하게 분할한 시료 가운데 일정량(1/50~1/25)을 Bogorove 계수판에 넣고 해부현미경(SZX 12, Olympus)에서 각 동물 군에 따라 계수하였다. 동물플랑크톤의 밀도는 5회 이상 반복하여 단위 체적내의 개체수(ind m^{-3})로 환산하여 표현하였다. 요각류 종의 정확한 동정을 위하여 해부할 필요가 있을 경우 hollow slide에 lactic acid 또는 glycerin 등을 떨어뜨린 후 시료를 올려놓고 시료를 부드럽게 해서 해부하거나 뚜렷하게 부속지의 형태를 볼 수 있도록 하여 광학현미경(BX51, Olympus)으로 관찰하였다. 모악동물의 경우, 성숙개체의 동정을 위하여 필요에 따라 Methylene blue 또는 Borax carmine등으로 염색하여 관찰하였으며, 미성숙개체의 동정은 광학현미경 하에서 안색소의 형태에 따라 동정하였다(Nagasawa and Marumo, 1976; Yoo and Kim, 1996).

마. 난, 자치어

본 조사에 사용된 난, 자치어 Net는 RN 80Net(망구 직경 80cm, 측장 320cm, 망목 0.54mm)를 사용하였고, 정량적 분석을 위하여 망구 입구에 유속계(General oceanics, Inc.)를 부착하였으며, 예망속도는 약 1.5 knot로 이동하면서 표층(0~1m) 및 중층(3~4m)을 네트로 10분간 수평으로 예망하였다. 자치어 채집에 관한 일반적인 사항들은 Smith and Richardson(1977)에 따랐고, 채집한 표본은 선상에서 5% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반한 후 해부현미경(Nikon SMZ-100)을 이용하여 자치어만을 분리한 후 동정하였다. 자치어 동정과 검색에는 정(1977), 沖山(1988)을 참고하였으며, 분류체계 및 학명은 Nelson (1994) 및 한국동물분류학회(1997)에 따랐고, 채집된 어류를 출현종 수, 개

체 수(1,000m³)를 산출하여 양적인 변동을 비교하였다.

바. 유영동물

(1) 부어류

부어류의 어획 방법으로는 삼중자망을 사용하였고, 삼중자망은 높이가 2m, 그물눈은 안그물이 66mm, 바깥그물이 606mm이며, 한 폭의 길이가 30m였고, 오후 5시 전후에 5폭을 투망한 후 다음날 오전 6시경에 인망하여 어류를 채집하였다. 삼중자망에 의해 포획된 모든 어류는 현장에서 분류하였고, 일부 분류가 되지 않은 종은 중성 Formalin 10% 액에 고정하여 실험실로 운반한 후 종을 분류 하였고, 길이와 무게를 측정하였다. 채집된 어류의 종 분류는 정(1986), 김 등(1994), 김 등(2001) 및 Masuda *et al.*(1984)에 따랐으며, 국명 및 학명 사용은 한국동물분류학회(1997)에 따랐다.

(2) 저어류

저어류의 조사는 소형 어선을 이용하였고, 채집에 사용된 그물은 길이 20m, 너비 5m 및 높이1m의 크기로 그물의 양끝은 긴 쇠파이프 관이 연결되어 있으며, 그물이 바닥에 닿도록 하여 채집하였다. 채집시 어선의 속도는 평균 3km/h를 유지하면서 예인하였으며, 1회당 1시간씩 채집을 실시하여 총 채집면적은 15,000m²에 달하는 면적을 조사하였다. 어망에 채집된 어류를 현장에서 분류하였고, 일부 분류가 되지 않은 종은 중성 Formalin 10% 액에 고정하여 실험실로 운반한 후, 종 분류를 하였고, 길이와 무게를 측정하였다. 채집된 어류의 종 분류는 정(1986), 김 등(1994), 김 등(2001) 및 Masuda *et al.*(1984)에 따랐으며, 국명 및 학명 사용은 한국동물분류학회(1997)에 따랐다.

3. 결과 및 토의

가. 미생물

(1) 종속영양세균의 개체수

2005년 5월과 8월 통영바다목장 해역 6개 정점의 표층과 저층에서 각각 분리한 종속영양세균의 개체수를 그림 2-2-1에 제시하였다. 5월에 표층수의 균체수는 $4.7 \times 10^2 \sim 5.9 \times 10^3$ cfu · ml⁻¹, 저층의 균체수는 $4.3 \times 10^1 \sim 6.6 \times 10^2$ cfu · ml⁻¹ 범위로 검출되었다. 이는 김 등(2004)이 보고한 2000년 4월의 조사치보다 0.9~1.5배 더 많은 균체수이며, 저층은 정점에 따라 2.2배 정도 더 적거나 또는 유사하였다. 이는 5월이 하계에 접어드는 시기여서 4월보다 수온이 상승한 때문으로 사료된다. 8월 표층의 균체수는 $1.1 \times 10^3 \sim 4.4 \times 10^3$ cfu · ml⁻¹, 저층은 $2.0 \times 10^1 \sim 2.0 \times 10^2$ cfu · ml⁻¹의 범위였으며 2003년 8월에 보고된 균체수보다 표층수는 3~3.5배, 저층수는 28~57배 더 적게 검출되었다. 이는 시료 채취 전날까지 계속된 통영 일대의 집중호우와 태풍주의보로 인한 층상화 영향과 육지로부터의 지표수 유입의 영

향으로 2003년 8월 보고된 종속영양세균의 균체수 보다 감소된 것으로 사료된다. 2000~2003년, 2005년에는 모두 8월에 통영바다목장 해역의 표층수 균체수 조사가 실시되었는데 2000년 8월이 $1.2 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^5$ cfu · ml⁻¹로 가장 최고치가 검출되고 해를 거듭할수록 점차 감소하는 추세를 보여 2005년 8월에는 $1.1 \times 10^3 \sim 4.4 \times 10^3$ cfu · ml⁻¹의 가장 최저치가 검출되었다. 저층수의 균체수 또한 연차적으로 감소되어 2002년 8월에는 5.2×10^3 cfu · ml⁻¹, 2003년 8월에는 3.1×10^3 cfu · ml⁻¹ 및 2005년 8월에는 1.2×10^2 cfu · ml⁻¹로 나타났다. 11월 표층의 균체수는 $2.5 \times 10^1 \sim 3.7 \times 10^2$ cfu · ml⁻¹, 저층은 $2.3 \times 10^1 \sim 5.1 \times 10^2$ cfu · ml⁻¹로 2004년 11월 보고된 표층 및 저층수의 균체수보다 각각 1.9배 및 3배가량 더 높은 균체수를 보였다. 이태리 북부 이오니아 해의 종속영양세균수의 변화 요인이 수온이라고 보고한 Loredana 등(2004)의 보고와 마찬가지로 통영 바다목장 해역도 매년 조사에서 8~9월의 세균수가 가장 많이 검출되었으며, 수온의 영향으로 판단된다.

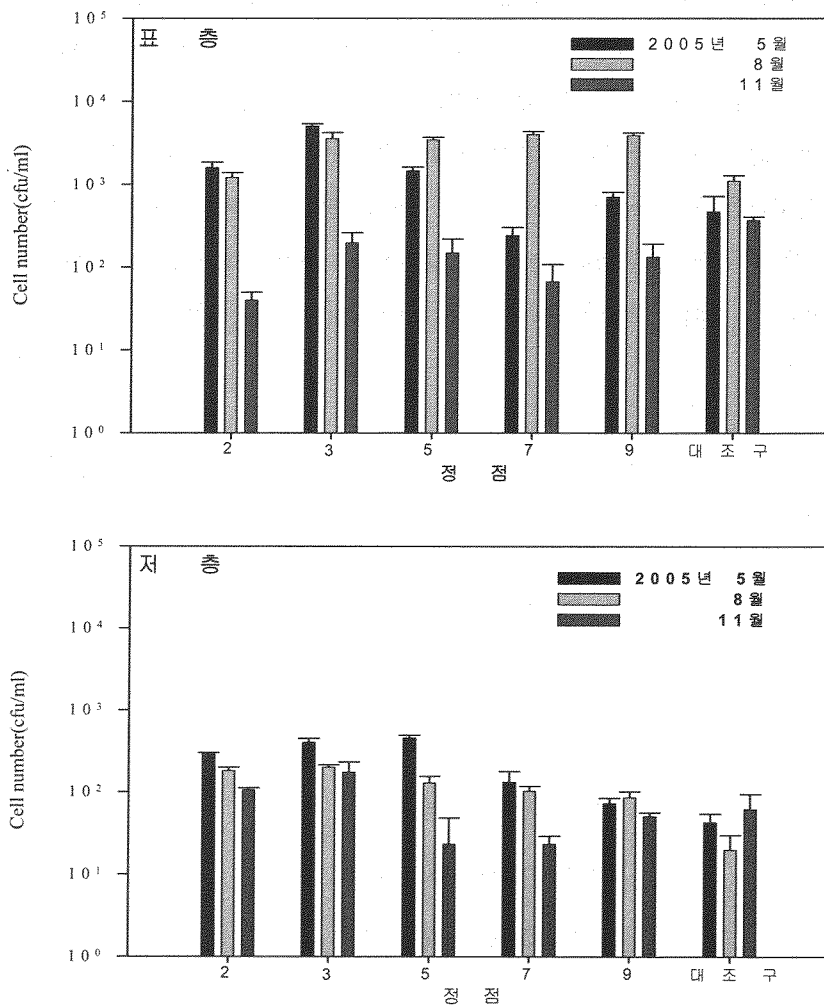


그림 2-2-1. 2005년 통영바다목장 해역의 계절별 종속영양세균의 개체수.

(2) 종속영양세균의 동정 및 종조성

2005년 8월 정점 2의 표층수에서 종속영양세균의 종조성을 조사한 결과는 표 2-2-1과 표 2-2-2에 제시하였으며, 결과는 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3, *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10의 7종이 동정되었다. 2002년 10월에는 정점 2에서 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4가 출현하였고(김 등, 2004), 2003년 8월에는 정점 2에서 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Pseudomonas stutzeri* TY2, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Burkholderia mallei* TY5, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Pasteurella multocida* TY7, *Comamonas acidovorans* TY8, *Actinobacillus ureae* TY9 및 *Chryseobacterium indologenes* TY10이, 2004년 9월에는 정점 5에서 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3, 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4, *Pasteurella haemolytica* TY6, *Chryseobacterium indologenes* TY10이 검출되었다. 따라서 2002~2005년까지 종조성에서 공통적으로 분리된 세균은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4로서 이들이 통영 바다목장 해역의 우점종으로 사료된다.

해양종속영양세균 군집의 종조성은 지정학적 위치와 환경조건에 의하여 다양성을 나타내며, 이(1987)와 이 등(1990)은 *Pseudomonas* spp.가 해양 환경의 우점종이라고 보고하였다. 최 등(2000)은 1999년 군산 내만에서 *Vibrio* spp., *Pseudomonas* spp., *Aeromonas* spp., *Moraxella* spp., *Escherichia coli*, *Bondetella* spp., *Alcaligenesis* spp., *Staphylococcus* spp., *Flavobacterium* spp.의 출현을 보고한 바 있다.

표 2-2-1. 통영 바다목장 해역의 종속영양세균 군집의 종조성(2005년 8월)

Heterotrophic bacteria
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1
<i>Pseudomonas stutzeri</i> TY2
<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3
<i>Sphingomonas paucimobilis</i> TY4
<i>Burkholderia mallei</i> TY5
<i>Pasteurella haemolytica</i> TY6
<i>Chryseobacterium indologenes</i> TY10

표 2-2-2. 통영 바다목장 해역의 중속영양세균의 형태적, 생화학적 특성 및 동정
(2005년 8월)

Characteristics	Strain TY 1	Strain TY 2	Strain TY 3	Strain TY 4
Gram stain	G-	G-	G-	G-
Shape	rod (0.7~0.8)	rod (0.7~0.8)	rod (0.9~1.6)	rod (0.5~1.0)
Size(diameter×length,μm)	×(2.0~3.0)	×(1.4~2.8)	×(1.5~2.5)	×(1.5~3.0)
Growth in an enriched media	+	+	-	+
Oxidase test	+	-	-	+
Hydrolysis of urea	-	-	+	-
Oxidation of carbohydrate;				
Glucose	+	+	-	+
Lactose	-	-	-	+
Maltose	-	-	-	-
Mannitol	-	+	-	-
Xylose	+	-	-	+
Lysine decarboxylase reaction	-	-	-	-
Ornithine decarboxylase reaction	-	-	-	-
Arginine dihydrolase reaction	+	-	-	-
Utilization of malonate	+	+	-	-
Utilization of acetamide	-	-	-	-
Utilization of citrate	+	+	-	-
Hydrolysis of esculin	-	-	-	-
Growth with polymyxin B	-	-	-	-
Production of H ₂ S	-	-	-	-
Plant indican reaction	-	-	-	-
Fermentation of carbohydrate and sugar derivative;				
L-Arabinose	+	-	-	-
Glucose	-	-	-	-
Inositol	-	-	-	-
Sorbitol	-	-	-	-
Raffinose	-	-	-	-
Rhamnose	-	-	-	-
Sucrose	-	-	-	-
Adonitol	-	-	-	-
Glucose fermentation with specific inhibitor;				
2,4,4' -trichloro-2' -hydroxy - diphenylether	+	-	-	-
p-Coumaric	+	-	-	-
ONPG Fermentation	-	-	-	+
Identified name	<i>Pseudomonas fluorescens</i> TY1	<i>Pseudomonas stutzeri</i> TY2	<i>Acinetobacter lwoffii</i> TY3	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> TY4
Confidence by VITEK system(%)	95	91	99	96

표 2-2-2. 계속

Characteristics	Strain TY5	Strain TY 6	Strain TY 10
Gram stain	G-	G-	G-
Shape	rod	rod	rod
Size(diameter×length,μm)	(0.7~0.8) ×(2.0~3.0)	(0.3~1.0) ×(1.0~2.0)	(0.5) ×(1.0~3.0)
Growth in an enriched media	+	+	+
Oxidase test	+	+	+
Hydrolysis of urea	-	-	-
Oxidation of carbohydrate;			
Glucose	+	+	+
Lactose	+	-	-
Maltose	+	-	+
Mannitol	-	+	-
Xylose	-	-	-
Lysine decarboxylase reaction	-	-	-
Ornithine decarboxylase reaction	-	-	-
Arginine dihydrolase reaction	-	-	-
Utilization of malonate	-	-	-
Utilization of acetamide	-	-	-
Utilization of citrate	-	-	-
Hydrolysis of esculin	-	-	-
Growth with polymyxin B	-	-	-
Production of H ₂ S	-	-	-
Plant indican reaction	-	-	-
Fermentation of carbohydrate			
and sugar derivative;			
L-Arabinose	-	-	+
Glucose	-	-	-
Inositol	-	+	-
Sorbitol	-	-	-
Raffinose	-	+	-
Rhamnose	-	-	-
Sucrose	-	+	-
Adonitol	-	+	-
Glucose fermentation with			
specific inhibitor;			
2,4,4' -trichloro-2' -hydroxy	-	-	-
- diphenylether	-	-	-
p-Coumaric	-	-	-
ONPG Fermentation	-	-	-
Identified name	Burkholderia mallei TY5	Pasteurella haemolytica TY6	Chryseobacterium indologenes TY10
Confidence by VITEK system(%)	94	88	92

나. 식물플랑크톤

(1) 종조성 및 출현종수

2005년 5월 표층에서 출현한 식물플랑크톤 군집은 총 45분류군으로 돌말류 41종류, 와편모조류 4종류로 구성되어 있었다. 저층에서는 총 36분류군으로 돌말류 34종류, 와편모조류 2종류로 표층과 유사한 양상을 보였다. 8월 표층에서 출현한 식물플랑크톤 군집은 총 59분류군으로 돌말류 51종류, 와편모조류 6종류, 규질편모조류 2종류였으며, 저층에서는 총 62분류군으로 표층과 유사하였으며, 이 중 돌말류는 32속 56종으로 중심목 39종, 우상목 17종으로 중심목 출현이 우세하였다. 11월 표층에서 출현한 식물플랑크톤 군집은 총 36분류군으로 돌말류 35종류, 규질편모조류 1종류였으며, 저층에서는 돌말류 38종류, 와편모조류 1종류, 규질편모조류 1종류 등 총 40분류군이였다(표 2-2-3). 이러한 결과는 2000-2004년 통영 바다목장해역의 식물플랑크톤 군집 분포 중 돌말류가 차지하는 비율이 거의 유사하였고(한국해양연구소, 2000; 한국해양연구원, 2001; 2002; 2003; 2004), 남해안의 득량만과 광양만에서 돌말류의 높은 출현율을 보인 것과 일치하였다(이와 이, 1999; 조 등, 1994). 또한 조사해역에서 중심목 돌말류가 절대적으로 출현하여 전형적인 연안 해양환경의 양상을 보였다(Round, 1980).

출현종수는 2005년 5월 표층에서 최저 14종(정점 8)에서 최고 34종(대조구)까지 다양한 출현을 보였다(그림 2-2-2). 저층은 최저 13종(정점 3)에서 최고 22종(정점 5)로 표층보다 낮은 출현 종수를 보였으며, 정점별 차이는 크게 보이지 않았다. 이는 본 조사해역에서 기존 조사 자료와 비교 시 2000년 4월에 출현한 종수는 최저 25종(정점 1)에서 최고 41종(정점 4)이 출현하였으며, 저층은 최저 23종(정점 10)에서 최고 37종(정점 6)으로(한국해양연구소, 2000) 금년 조사 시의 출현종수가 낮게 나타났다. 금년 8월의 출현종수는 표층에서 최저 21종(대조구)에서 최고 34종(정점 4)으로 5월에 비해 높은 출현종수를 보였으며, 저층에서는 평균 29종으로 표층과 유사한 출현종수를 보였다. 기존 조사와 비교하여 보면, 2000년 8월에 출현한 종수는 표층에서 평균 18종, 저층에서 평균 21종을 보였고(한국해양연구소, 2000), 2001년 8월에는 표층에서 평균 22종, 저층에서 26종을 보였다(한국해양연구원, 2001). 2002년 7월과 8월, 2003년 8월에는 각각 표층에서 평균 16, 14, 16종이 출현하였으며, 저층에서는 평균 12, 10, 14종이 출현하여 본 조사와는 달리 여름철에 낮은 출현종수를 보였다(한국해양연구원, 2002; 2003). 11월 표층에서는 최저 5종(정점 10)에서 최고 19종(정점 2)로 평균 12종이 출현하였으며, 저층에서는 최저 8종(정점 7)에서 최고 25종(정점 1)로 평균 13종이 출현하여 표, 저층간의 차이가 거의 없었다. 2001년 10월에는 표층과 저층에서 각각 평균 28종과 22종이 출현 하였으며, 2003년 10월에는 표층에서 최저 30종(정점 9)에서 최고 61종(정점 2)으로 평균 39종이 출현 하였고, 저층에서는 평균 31종으로 본 조사보다 높은 출현종수를 보였다(한국해양연구원, 2001; 2003). 2000년에서 2004년간 식물플랑크톤 종수의 변화는 7종에서 29종으로 큰 변화를 보이고 있었다.

(그림 2-2-3). 특히 가을철에 높은 출현종수를 보이고 있으며 겨울철에 낮은 양상을 보이고 있었다. 이는 저층에서도 표층의 변화와 같이 유사하였다.

표 2-2-3. 2005년 통영 바다목장 해역에서 출현한 식물플랑크톤군집의 분류군

구 분			표 층							저 층								
			목	아목	과	속	종	변종	품종	미	목	아목	과	속	종	변종	품종	미
돌말류	중심목	2005년 5월	1	3	9	16	27	·	1	·	1	3	7	10	20	·	1	·
		8월	1	3	9	16	37	1	1	·	1	3	10	17	39	·	1	·
		11월	1	3	9	14	24	·	·	·	1	3	8	12	22	·	·	·
	우상목	2005년 5월	1	2	5	13	14	1	·	·	1	2	4	13	14	1	·	·
		8월	1	2	4	9	12	·	·	·	1	2	5	15	17	·	·	·
		11월	1	2	3	6	11	·	1	1	1	2	4	10	16	·	·	1
와편모조류	2005년 5월	2	·	4	4	4	·	·	·	2	·	2	2	2	·	·	·	
	8월	3	·	5	5	6	·	·	·	2	·	3	3	4	·	·	·	
	11월	·	·	·	·	·	·	·	·	1	·	1	1	1	·	·	·	
규질편모조류	2005년 5월	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	
	8월	1	·	1	2	2	·	·	·	1	·	1	2	2	·	·	·	
	11월	1	·	1	1	1	·	·	·	1	·	1	1	1	·	·	·	

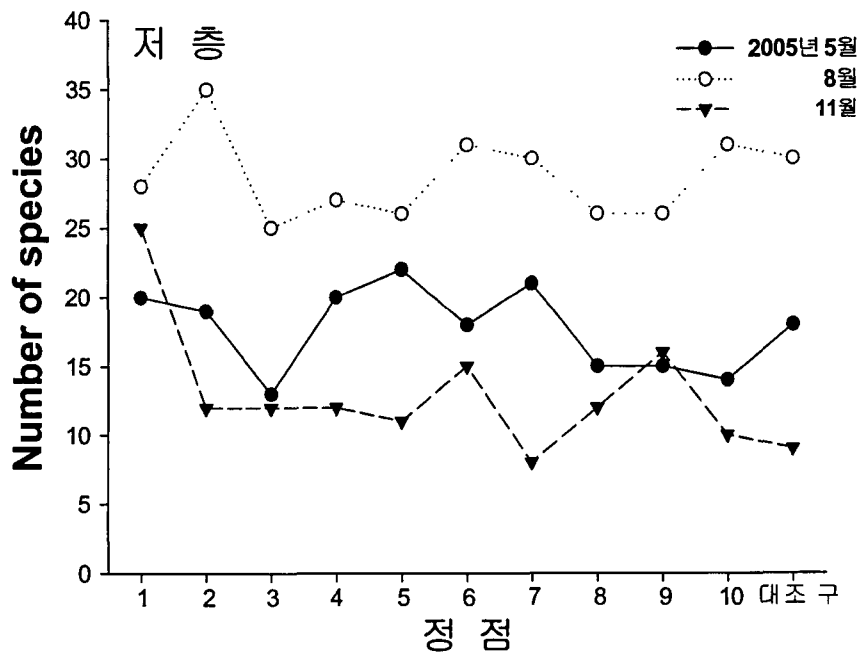
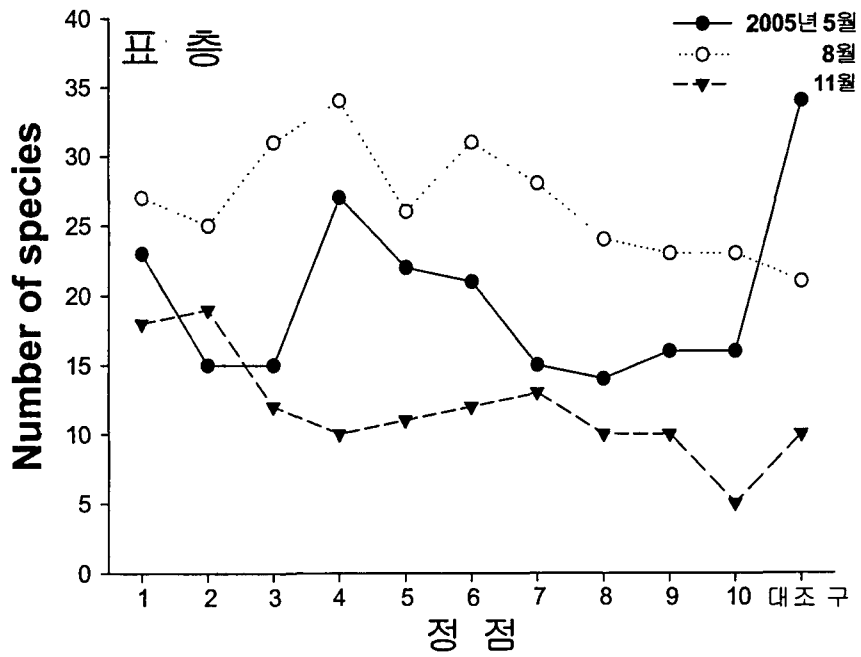


그림 2-2-2. 2005년 통영 바다목장 해역에서 월별/정점별 출현종수.

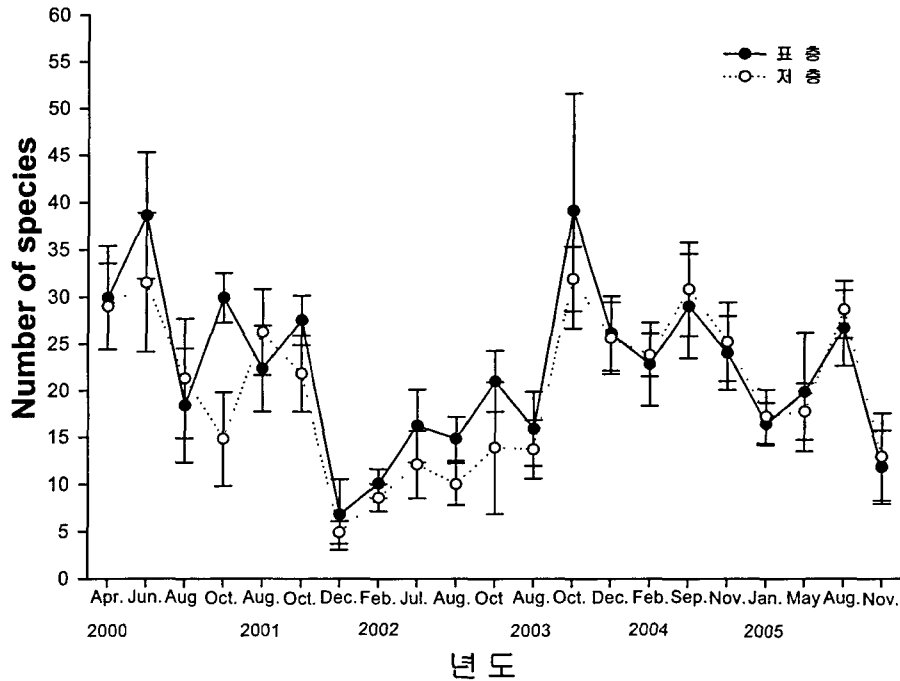


그림 2-2-3. 2000~2005년 통영 바다목장 해역에서 년/월별 출현종수.

(2) 현존량

2005년 5월 표층의 식물플랑크톤 현존량은 최저 1.56×10^4 cells \cdot l^{-1} (정점 1)에서 최고 9.31×10^4 cells \cdot l^{-1} (대조구)로 평균 3.32×10^4 cells \cdot l^{-1} 를 보였으며, 저층에서는 최저 1.29×10^4 cells \cdot l^{-1} (정점 8)에서 최고 4.21×10^4 cells \cdot l^{-1} (정점 4)로 평균 2.77×10^4 cells \cdot l^{-1} 로 전반적으로 매우 낮은 현존량을 보였다(그림 2-2-4). 이는 2000년 봄철 4월의 표층에서 평균 2.03×10^5 cells \cdot l^{-1} 과, 저층에서 평균 2.17×10^5 cells \cdot l^{-1} 로 본 조사보다 낮았다. 8월의 식물플랑크톤 현존량도 표층에서 최저 3.60×10^4 cells \cdot l^{-1} (정점 9)에서 최고 8.62×10^4 cells \cdot l^{-1} (정점 2)로 평균 6.40×10^4 cells \cdot l^{-1} 을, 저층에서는 평균 4.54×10^4 cells \cdot l^{-1} 로 5월과 같이 표층이 낮았다. 2003년 8월에는 표층에서 평균 4.34×10^5 cells \cdot l^{-1} , 저층에서는 평균 3.72×10^5 cells \cdot l^{-1} 로 본 조사보다 높은 현존량을 보였다(한국해양연구원, 2003). 11월에는 표층에서 최저 0.89×10^5 cells \cdot l^{-1} (대조구)에서 최고 3.76×10^5 cells \cdot l^{-1} (정점 1)로 평균 2.10×10^5 cells \cdot l^{-1} 를 보여 내해보다 외해가 낮은 현존량을 보였다. 저층에서는 최저 0.43×10^5 cells \cdot l^{-1} (정점 10)에서 최고 2.67×10^5 cells \cdot l^{-1} (정점 8)로 평균 1.33×10^5 cells \cdot l^{-1} 로 표층보다 낮은 현존량을 보여 8월의 현존량의 정점별 변화와 유사하게 나타났다. 기존 조사와 비교하여 보면 2000년 10월에는 표층과 저층에서 각각 평균 14.42×10^5 cells \cdot l^{-1} 와 2.69×10^5 cells \cdot l^{-1} 를 보였으며, 2002년 10월에는 표층에서 평균 13.92×10^5 cells \cdot l^{-1} 를 보였으며, 저층에서는 평균 3.69×10^5 cells \cdot l^{-1} 를 보여 본 조사

보다 높은 현존량을 보였다(한국해양연구소, 2000; 한국해양연구원, 2002). 2004년 11월에는 표층에서 최저 $0.79 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ (정점 10)에서 최고 $2.85 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ (정점 7)로 평균 $1.90 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고 저층은 최저 $1.20 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ (정점 10)에서 최고 $2.58 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ (정점 1)로 평균 $1.84 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 를 보여 본 조사와 유사한 현존량을 보였다(한국해양연구원, 2004).

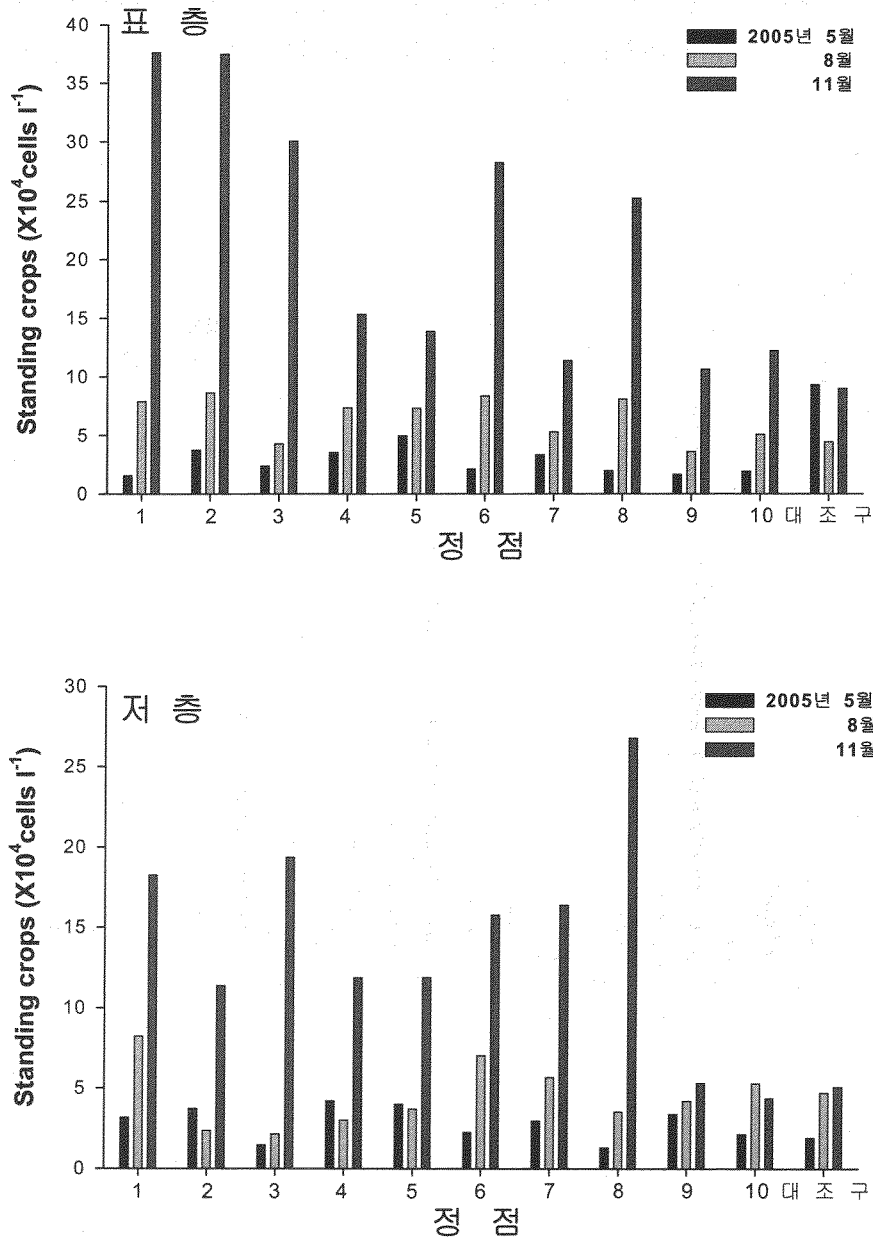


그림 2-2-4. 2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 현존량의 월별 변화.

결과적으로 본 해역에서의 식물플랑크톤 현존량은 가을철에 $10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 이상의 현존량을 보였으며(그림 2-2-5), 전반적으로 표층이 저층보다, 내해가 외해보다 높은 현존량을 보였다. 일반적으로 연안해역은 봄과 가을철 돌말류에 의한 대발생으로 높은 현존량을 보이는 Bimodal pattern을 나타내고 있다(Nybakken, 1993). 그러나 통영해역에서는 봄철의 대발생은 그리 높지 않다. 다만, 가을철의 식물플랑크톤 대발생은 다른 계절의 변화와 달리 대폭발과 같은 양상을 나타내고 있는 실정이다. 이는 수온의 상승과 영양염류의 충분한 공급에 따른 결과라 판단되며, 연근해 식물플랑크톤 변동을 이해하고자 할 때에는 Bimodal pattern 보다 Unimodal pattern이 더 강한 의미를 부여할 수 있다고 판단된다.

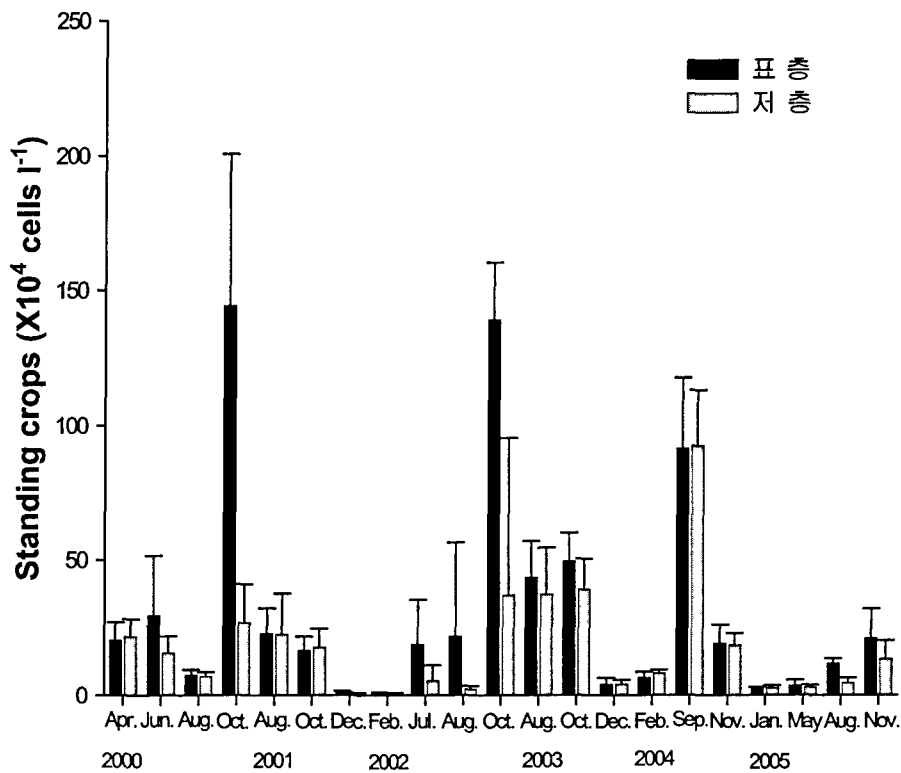


그림 2-2-5. 2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 현존량의 월별 변화.

(3) 우점종 및 생태학적 특성

2005년 5월에 식물플랑크톤의 우점종은 표층에서 *Thalassionema nitzschioides*가 제 1우점종으로 20.96%의 우점율을 보였으며, 다음으로 *Thalassiosira* sp.가 12.00%를 차지하여 위 2종이 전체 32.96%로 표층의 우점종이라 할 수 있다. 저층에서는 *Chaetoceros constrictus*가 15.15%를 차지하였고, *Chaetoceros compressus*가 12.88%로 제 2우점종을 차지하였다(그림 2-2-6). 8월에는 표층에서 *Chaetoceros curvisetus*가 15.15%로 제 1우점을 하였으며, *Pseudonitzschia pungens*가 10.92%로 제 2우점을 하였다. 저층에서는 *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros curvisetus*가 각각 27.59%와 17.59%로 우점을 하였다(그림 2-2-7). 표 2-2-4에서 보는 바와 같이 2000년 8월에는 *Pseudonitzschia pungens*, *Chaetoceros curvisetus*가 우점을 하였으며, 2001년 8월에는 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros decipiens*가 우점을 하였고, 2003년 8월에는 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros compressus*가 우점을 하였다(한국해양연구소, 2000; 한국해양연구원, 2001; 2003). 이는 본 조사와 매우 유사한 결과로서, 여름철에 본 조사해역은 *Chaetoceros curvisetus*와 *Chaetoceros compressus*가 대표적인 우점종이라 할 수 있다. 11월에는 표층과 저층에서 *Chaetoceros socialis*가 각각 65.51%와 54.55%로 제 1우점을 하였으며, *Chaetoceros curvisetus*가 12.34%와 14.45%로 제 2우점종을 차지하였다(그림 2-2-8). 기존 조사와 비교하여 보면 *Chaetoceros socialis*는 2001년 10월에 표층과 저층에서 47.93%와 47.13%로 제 1우점을 차지하였고, 2002년 가을철 남해안 주요 대발생종인 *Chaetoceros socialis*가 표층과 저층에서 각각 평균 32.37%와 25.81%의 우점율을 보인 것과 유사한 경향을 보였다(표 2-2-4). 이와 같이 5년간의 우점종의 변동 추이를 볼때 봄철에는 *Leptocylindrus danicus* 및 *Chaetoceros curvisetus*, 여름철에는 *Pseudo-nitzschia* spp. *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus*, 가을철에 *Chaetoceros socialis* 및 *Chaetoceros curvisetus*와 겨울철에 *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros curvisetus* 및 *Paralia sulcata*가 주요 우점 출현하는 것으로 파악되었다(그림 2-2-9).

본 조사기간 중 8월과 11월에 주요 우점종인 *Chaetoceros curvisetus*는 우리나라 연안 해역에서 빈번히 출현하는 종으로 알려져 있으며(Lee, 1995), 우리나라에서는 강 하구, 만, 연안 및 외해에서 고루 분포한다(심과 이, 1979; Yoo and Lee, 1979; 유와 이, 1982; Shim and Lee, 1983; 심 등, 1991). 진해만에서 1979년 8월부터 1980년 9월까지 적조원인생물로 기록될 정도로 최우점종으로 출현하였으며, 이때의 최적 환경은 수온 20.3~24.8°C, 염분 23.62~25.49‰, 수소이온농도 8.4~8.5, 용존산소량 5.45~9.59mg · ℓ⁻¹이었다(이 등, 1981). 본 종은 1990년 10월 인천항 선거에서 47.7%의 우점율을 나타낸 바 있다(이, 1992). 1998년 8월에도 여자만과 득량만에서 적조를 일으켰으며, 이때의 수온은 23.8~26.9°C, 염분은 24.2~27.0‰이었다(이와 이, 1999; 이와 윤, 2000). 따라서 본 종은 우리나라 연안에서 보편적으로 출현하고 초가을부터 우점종으로 나타나고 있는 것으로 알려져 있다. 2000년에는 *Chaetoceros curvisetus*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Dictyocha speculum*등이 우점하였고

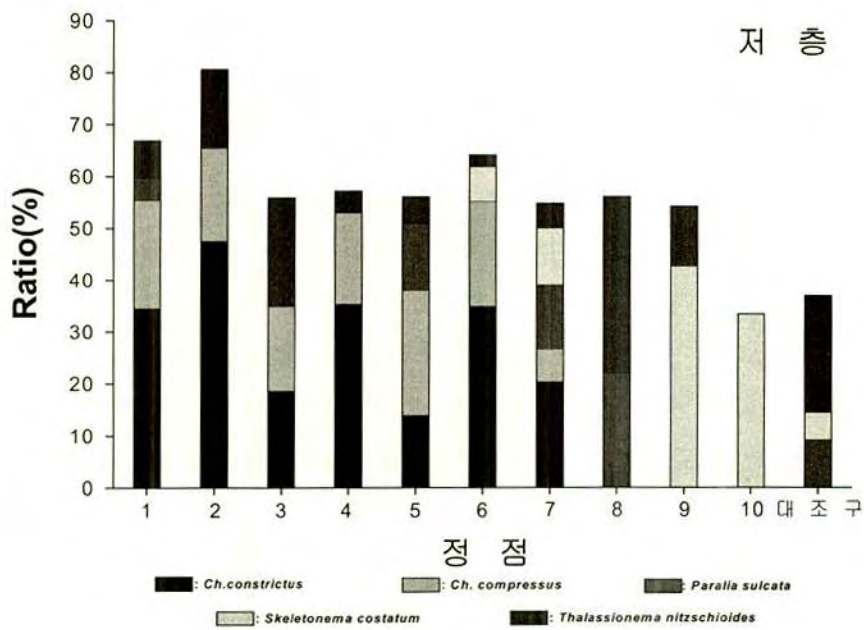
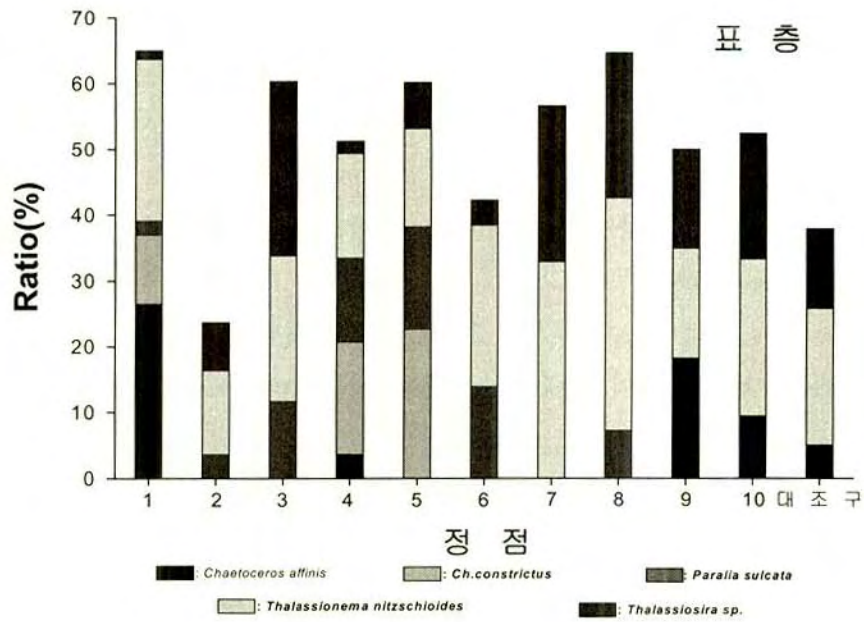


그림 2-2-6. 2005년 5월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성.

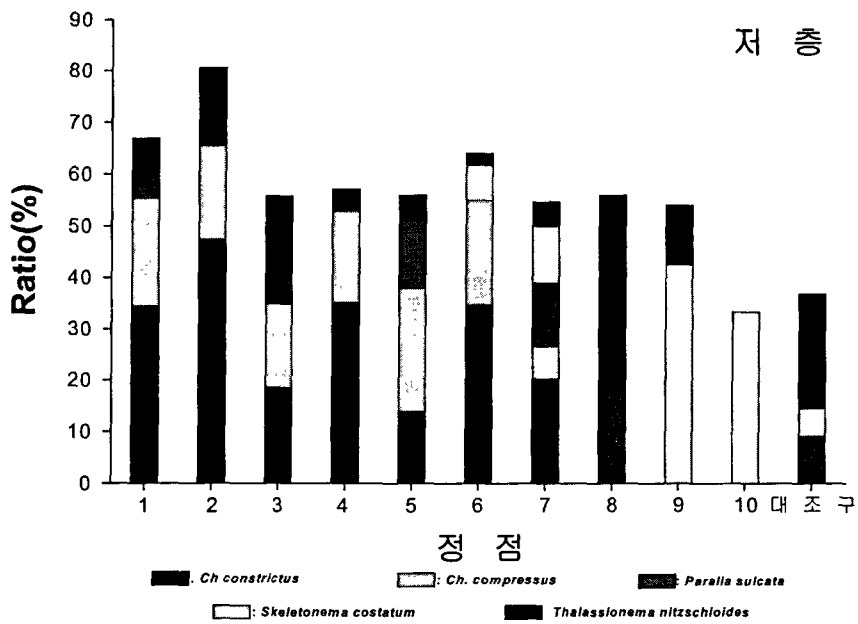
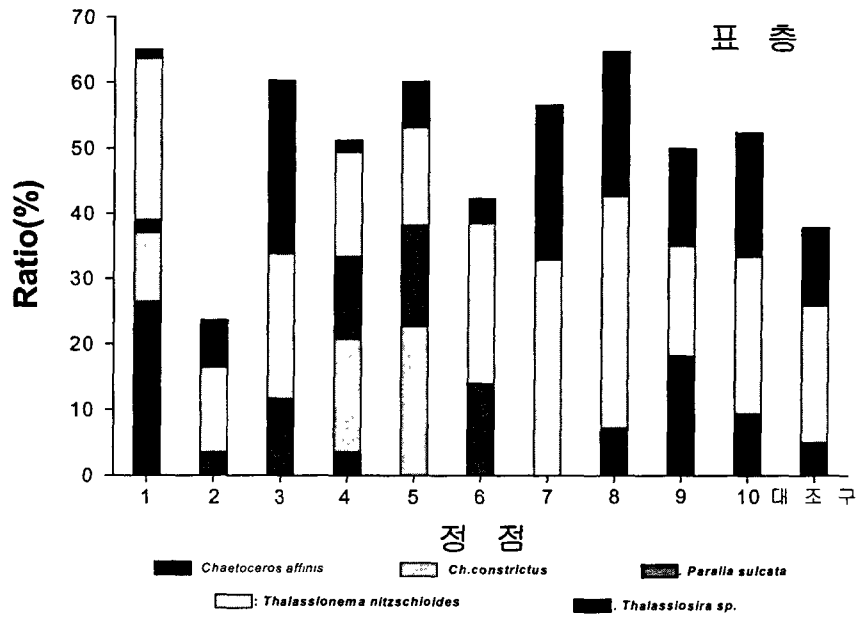


그림 2-2-6. 2005년 5월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성

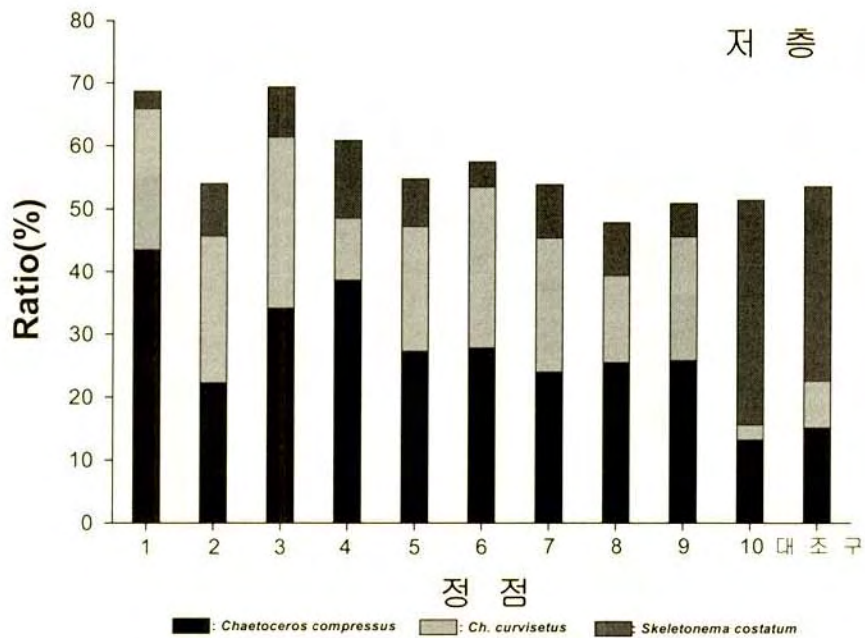
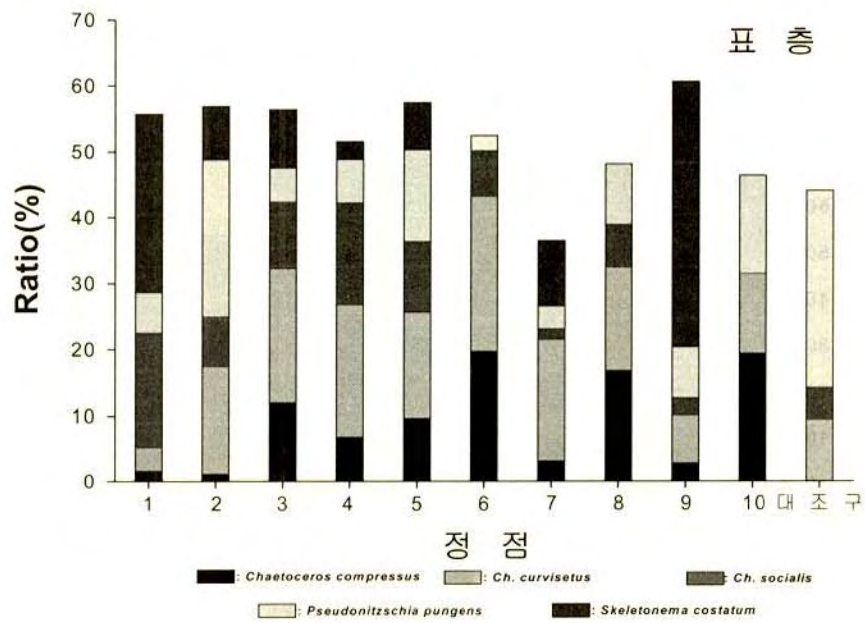


그림 2-2-7. 2005년 8월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성.

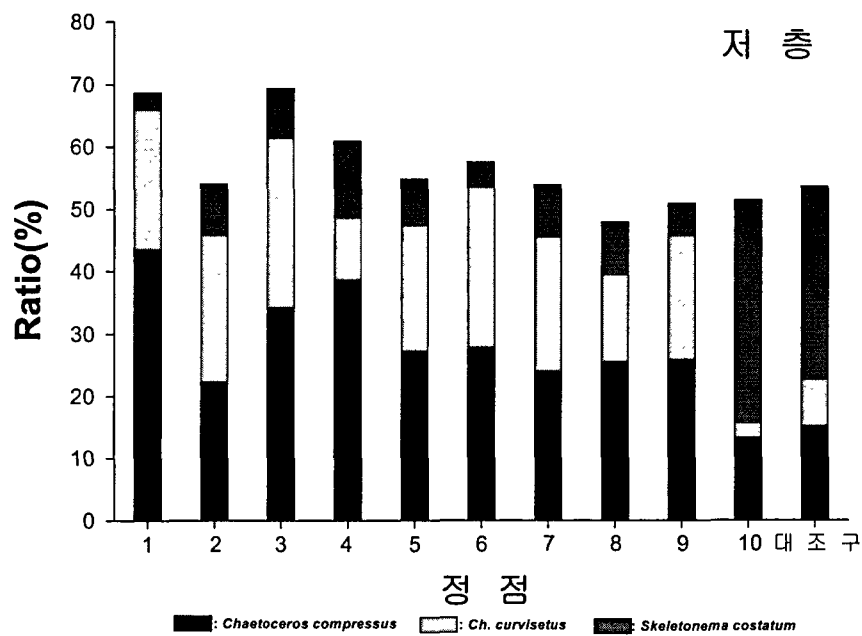
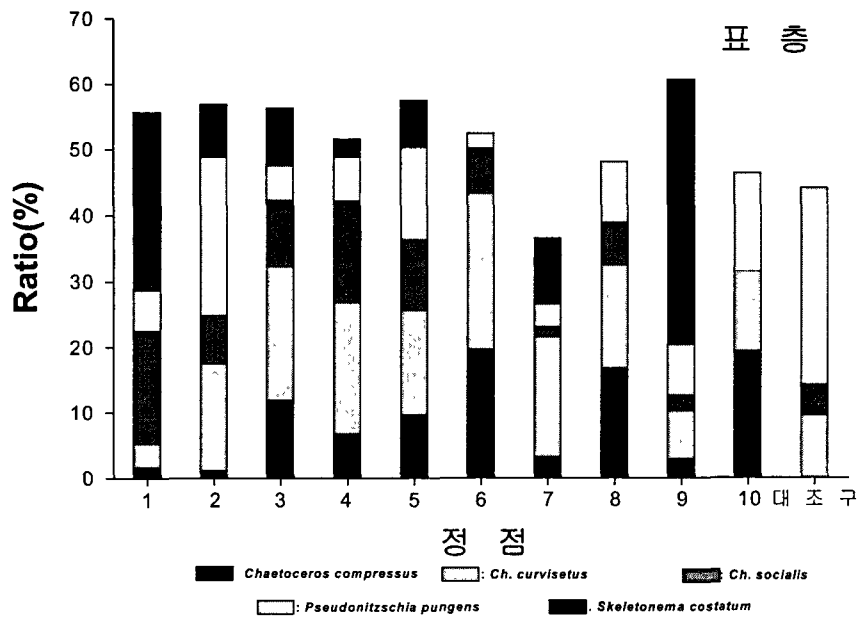


그림 2-2-7. 2005년 8월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성

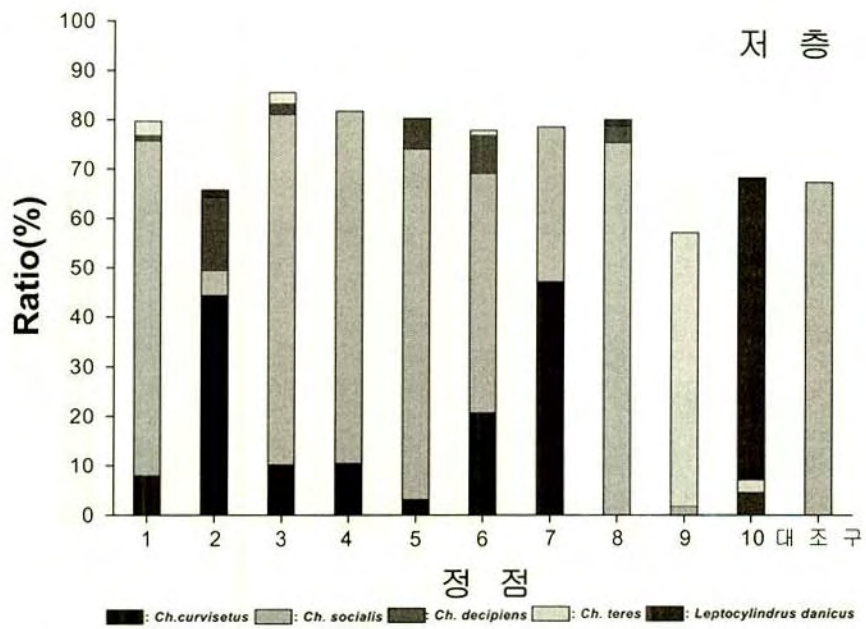
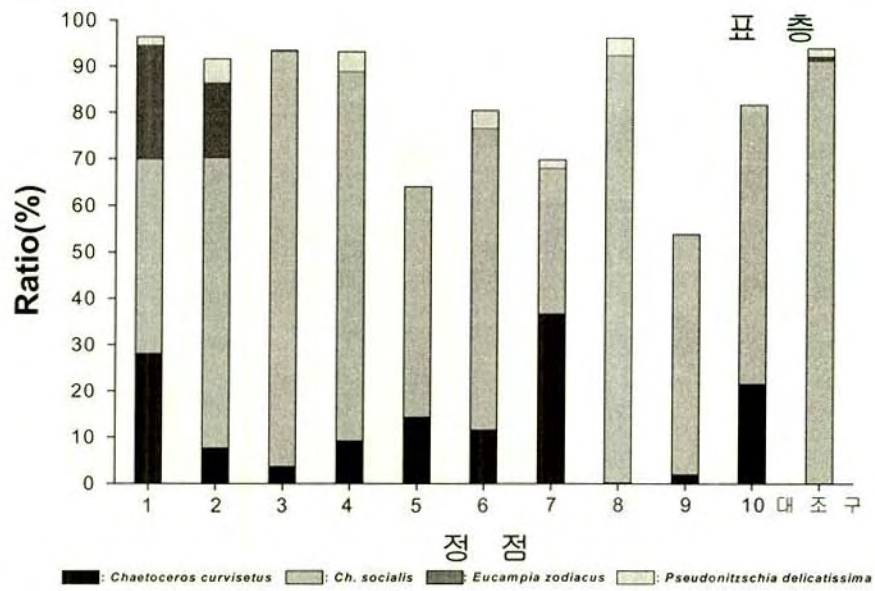


그림 2-2-8. 2005년 11월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성.

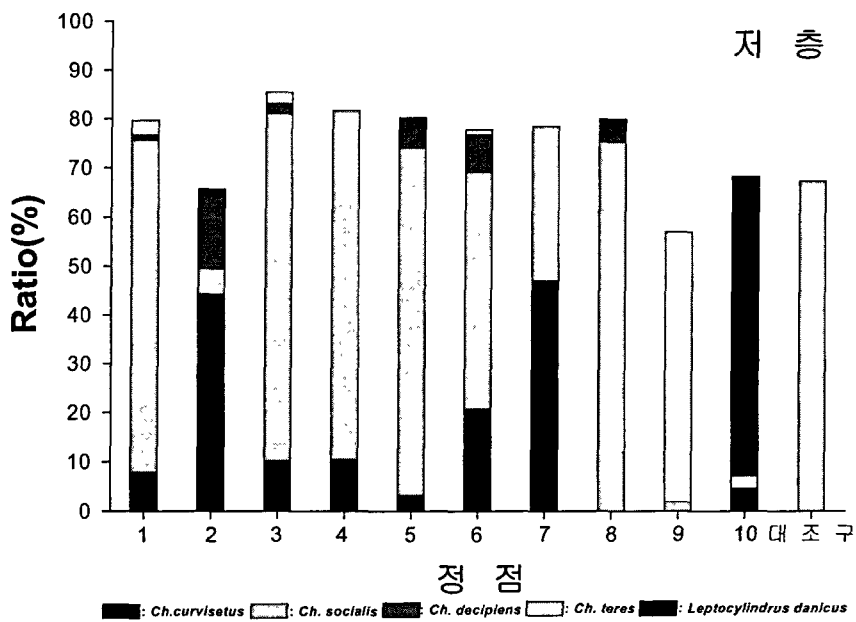
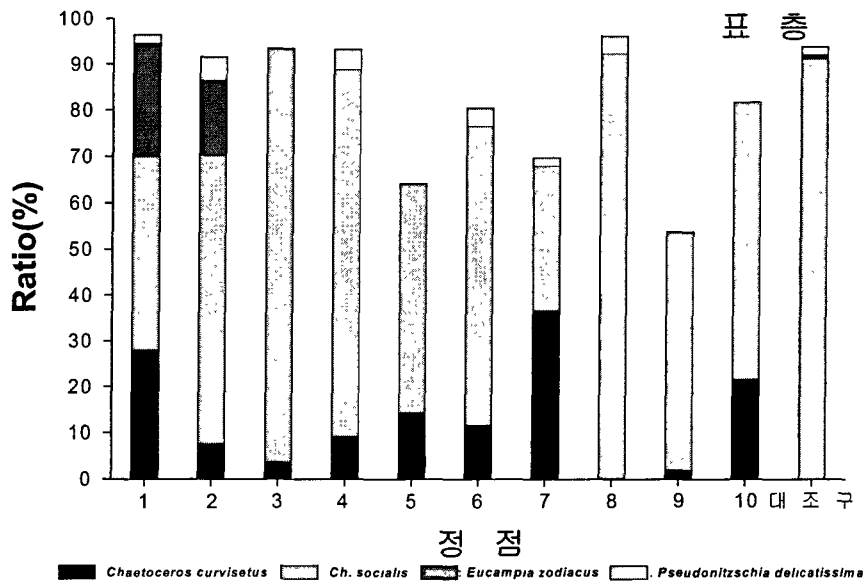


그림 2-2-8. 2005년 11월 통영 바다목장 해역에서 주요 식물플랑크톤 우점종의 조성

표 2-2-4. 2000-2005년 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤의 주요 우점종의 년/월 별 변화

년/월		제1우점종	비율	제2우점종	비율
2000년 4월	표층	<i>Leptocylindrus danicus</i>	70.19%	<i>Eucampia zodiacus</i>	3.12%
	저층	<i>Leptocylindrus danicus</i>	59.25%	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	6.14%
6월	표층	<i>Leptocylindrus danicus</i>	17.79%	<i>Chaetoceros decipiens</i>	17.10%
	저층	<i>Leptocylindrus danicus</i>	16.16%	<i>Chaetoceros decipiens</i>	13.22%
8월	표층	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	14.48%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	14.02%
	저층	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	46.14%	<i>Dictyocha speculum</i>	5.39%
10월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	22.90%	<i>Skeletonema costatum</i>	14.34%
	저층	<i>Skeletonema costatum</i>	33.15%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	23.58%
2001년 8월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	30.99%	<i>Chaetoceros atlanticus</i>	13.14%
	저층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	27.33%	<i>Chaetoceros decipiens</i>	20.98%
10월	표층	<i>Chaetoceros socialis</i>	47.93%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	15.25%
	저층	<i>Chaetoceros socialis</i>	47.13%	<i>Lauderia annulata</i>	7.15%
12월	표층	<i>Paralia sulcata</i>	18.80%	<i>Chaetoceros socialis</i>	16.96%
	저층	<i>Paralia sulcata</i>	14.01%	<i>Skeletonema costatum</i>	12.63%
2002년 2월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	26.95%	<i>Chaetoceros socialis</i>	12.39%
	저층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	29.04%	<i>Chaetoceros socialis</i>	19.19%
7월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	39.52%	<i>Chaetoceros lacinosus</i>	16.22%
	저층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	36.03%	<i>Chaetoceros lacinosus</i>	12.06%
8월	표층	<i>Gyrodinium impudicum</i>	76.20%	<i>Skeletonema costatum</i>	12.14%
	저층	<i>Skeletonema costatum</i>	40.80%	<i>Paralia sulcata</i>	9.68%
10월	표층	<i>Chaetoceros socialis</i>	32.37%	<i>Chaetoceros compressus</i>	17.66%
	저층	<i>Skeletonema costatum</i>	28.77%	<i>Chaetoceros socialis</i>	25.81%
2003년 8월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	25.46%	<i>Chaetoceros compressus</i>	21.68%
	저층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	35.82%	<i>Chaetoceros debilis</i>	18.18%
10월	표층	<i>Skeletonema costatum</i>	14.43%	<i>Thalassiosira sp1.</i>	9.86%
	저층	<i>Skeletonema costatum</i>	17.24%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	8.16%

표 2-2-4. 계속

년/월		제1우점종	비율	제2우점종	비율
12월	표층	<i>Skeletonema costatum</i>	16.09%	<i>Paralia sulcata</i>	13.62%
	저층	<i>Skeletonema costatum</i>	19.57%	<i>Paralia sulcata</i>	10.86%
2004년 2월	표층	<i>Chaetoceros compressus</i>	17.83%	<i>Chaetoceros difficilis</i>	10.81%
	저층	<i>Chaetoceros compressus</i>	26.97%	<i>Skeletonema costatum</i>	13.74%
9월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	27.78%	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	10.97%
	저층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	25.59%	<i>Skeletonema costatum</i>	12.90%
11월	표층	<i>Chaetoceros debilis</i>	27.20%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	22.31%
	저층	<i>Chaetoceros debilis</i>	28.23%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	26.32%
2005년 1월	표층	<i>Paralia sulcata</i>	21.15%	<i>Thalassiosira</i> sp2.	9.78%
	저층	<i>Paralia sulcata</i>	24.18%	<i>Thalassiosira</i> sp2.	12.91%
5월	표층	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	20.96%	<i>Thalassiosira</i> sp.	12.00%
	저층	<i>Chaetoceros constrictus</i>	21.62%	<i>Chaetoceros compressus</i>	12.88%
8월	표층	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	15.15%	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	10.92%
	저층	<i>Chaetoceros compressus</i>	27.59%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	17.59%
11월	표층	<i>Chaetoceros socialis</i>	65.51%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	12.34%
	저층	<i>Chaetoceros socialis</i>	54.55%	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	14.45%

(한국해양연구원, 2001; 2002) *Chaetoceros curvisetus*는 본 조사해역의 상시 우점종으로 파악되었다(그림 2-2-9; 2-2-10). 또한 *Skeletonema costatum*은 연안성 출현종으로 우리나라 전역에서 계절에 관계없이 매우 빈번하게 출현하는 종으로 알려져 있으며(Lee, 1995), 본 조사에서도 계절에 상관없이 주요 우점종으로 출현하고 있었다(한국해양연구소, 1999, 2000; 한국해양연구원, 2001). 진해만에서 1980년 9월에 $1.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 정도였고(이 등, 1981), 1979년 8월에 고리 원자력 발전소 주변해역에서 발생한 적조 시 현존량은 $7.9 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 이었다(Huh et al., 1979). 박(1980)은 1979년 4월 진해만에서 *Skeletonema costatum*이 $2.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 의 적조발생을 보고한 바 있다.

1980년 12월 득량만에서 전 해역에서 평균 현존량이 $2.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 이었으며, 이의 98%를 차지하는 *Skeletonema costatum* 단 일종에 의한 적조가 발생되었다(이와 허, 1983). 1990년 8월 4일에도 인천항 선거내 표층의 전 해역에서 식물플랑크톤 현존량이 $0.7 \sim 1.25 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 범위의 심각한 황갈색의 적조가 발생되었으며, 이때의 원인종은 전 현존량의 59.9%를 차지하는 *Skeletonema costatum*으로 단일종에 의한 단독상 적조(simple-phase red tide)였다(이와 변, 1991; 이, 1992). 또한 1992년 6, 10, 12월 서천화력

발전소 주변해역에서도 제 1우점종으로 출현한 바 있다(이와 이, 1997). 외국의 사례를 보면 *Skeletonema costatum* 현존량의 수준은 미국 동부의 Long Island 연안에서 $4.0 \times 10^8 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$, 일본의 시모노세키에서는 $5.0 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 가 각각 보고되었다(飯塚, 1963). 한편 본 조사해역에서 겨울철에 제 1우점종으로 기록된 *Paralia sulcata*는 전 세계의 범존종으로 알려져 있을 뿐 아니라 해수의 교란이 심한 해역에서 봄과 겨울에 널리 분포하는 종으로 알려져 있다(小久保, 1995; Brunel, 1962; 山路, 1991). *Paralia sulcata*는 우리나라 서해 및 인천연안에서 우점종으로 널리 알려져 있으며(倉茂, 1943; 정과 이, 1977; 한국해양연구소, 1980; 장과 심, 1986; Choi and Shim, 1988), 바다목장 해역에 8월 집중 호우와 태풍에 의한 수괴의 교란이 있어 저층에서 전형적으로 우세한 *Paralia sulcata*가 우세하게 출현한 것으로 판단된다.

이와 같이 본 해역에서의 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros debilis*, *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata*(그림 2-2-10)로 내만 연안성 해역의 주요 우점종으로 조사해역이 내만의 연안성 해역임을 강하게 나타내고 있었다(Round, 1981).

(4) 통영해역에서의 적조발생

2000~2005년 동안 통영 주변해역에서 발생한 적조의 횡수는 년 평균 약 5회로 2000년에 6회, 2001년 5회, 2002년과 2003년에 각각 3회, 2004년에 10회였다(그림 2-2-11). 통영해역에서 나타난 주요 적조원인생물로는 2000년에는 *Heterosigma akashiwo* (5, 6월), *Prorocentrum micans*(5, 11월), *Cochlodinium* sp.(8, 10월) 등이 2001년에는 *Heterosigma akashiwo*(6월), *Prorocentrum micans*(1월,6월), *Prorocentrum triestinum*(7월), *Cochlodinium polykrikoides*(8월) 등이, 2002년에는 *Akashiwo sanguinea*(8월), *Prorocentrum* sp.(8월), *Cochlodinium polykrikoides*(8월) 등이 2003년엔 *Akashiwo sanguinea*(6월), *Proro. dentatum*(7월), *Cochlodinium polykrikoides*(8월) 등이 2004년엔 *Heterosigma akashiwo*(5, 6월), *Prorocentrum dentatum*(6, 7월), *Akashiwo sanguinea*(6월), *Protoperidinium* sp.(7월), *Mesodinium rubrum*(7, 11월), *Cochlodinium polykrikoides*(8월) 등이 주로 적조를 발생하고 있었으며(www.nfrdi.re.kr), 조사기간 중 적조의 발생 시기는 주로 초 여름인 8월 초와 태풍 발생 후인 늦여름 (8월 말)에 집중적으로 일어나고 있으며 적조원인생물의 출현 변화는 다양하지 않으나, 적조 발생 빈도 및 발생 양상은 점차 산발적으로 일어나고 있었다.

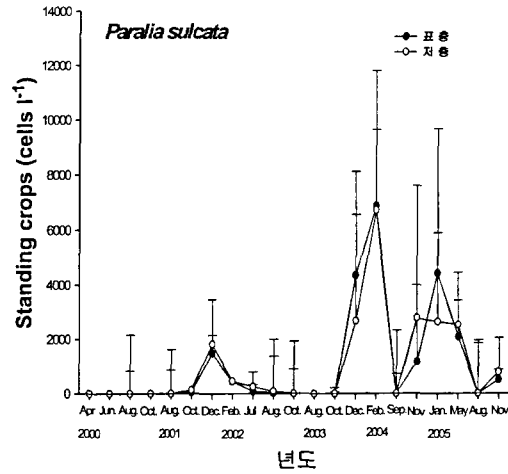
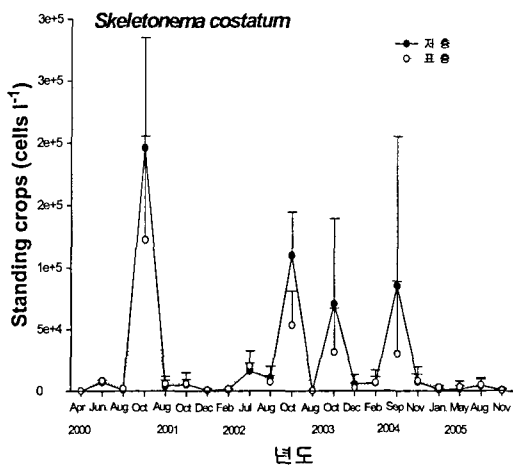
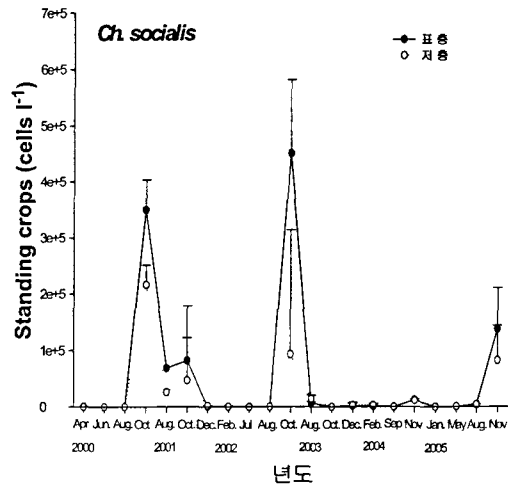
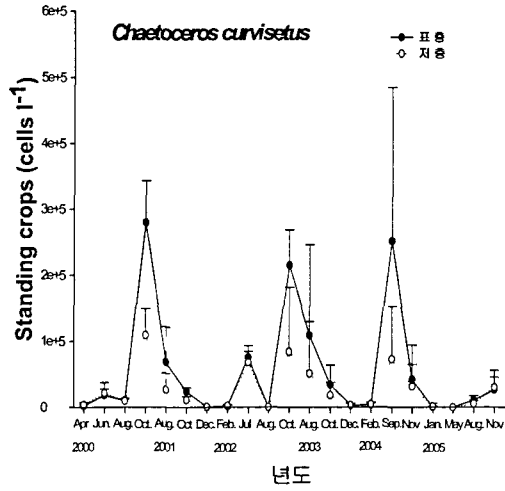


그림. 2-2-9. 2000~2005년 통영바다목장 주변해역에서 주요 우점종의 년/월별 변화

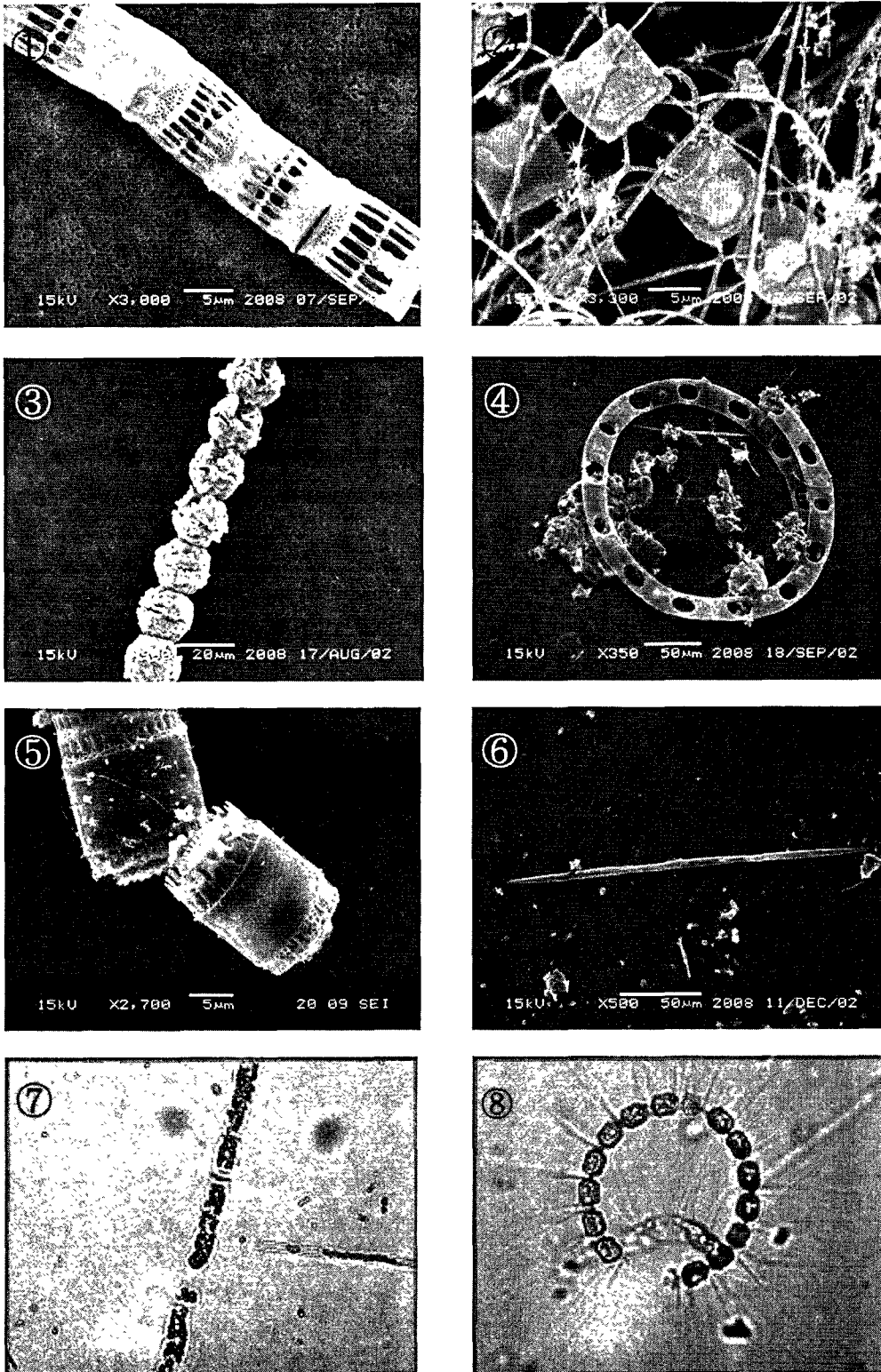


그림 2-2-10. 2000~2005년 통영바다목장 주변해역에서 식물플랑크톤 우점종의 사진.

(①: *Skeletonema costatum*, ②: *Chaetoceros socialis*, ③: *Cochlodinium polykrikoides*, ④: *Eucampia zodiacus*, ⑤: *Paralia sulcata*, ⑥ *Pseudo-nitzschia pungens*, ⑦: *Ch. curviusetus*, ⑧: *Leptocylindrus danicus*)

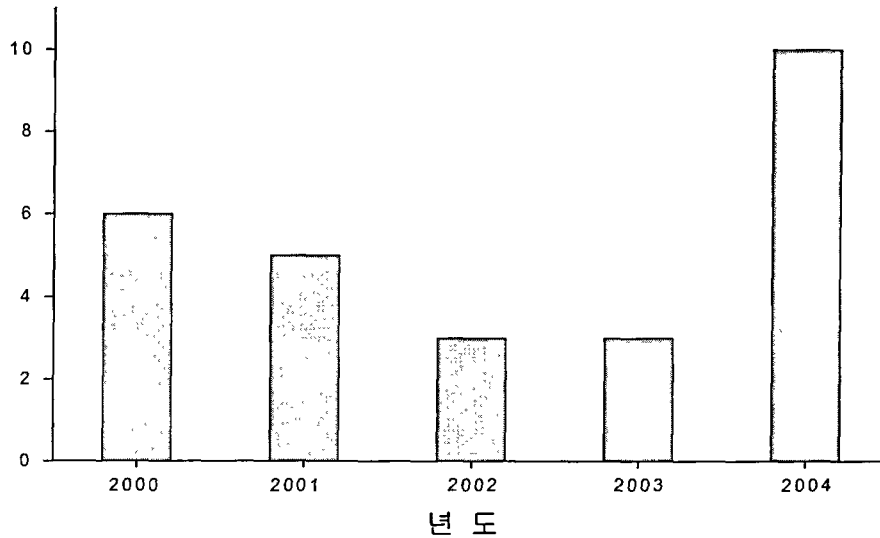


그림 2-2-11. 2000~2005년 통영해역에서 발생한 적조횟수(자료: 국립수산과학원).

다. 동물플랑크톤

(1) 종조성 및 개체수

2005년 5월에 출현한 동물플랑크톤 군집은 18종과, 종 구분이 어렵고 복수의 종들이 포함되었을 가능성이 높은 다섯 분류군의 유생들이 포함되었다. 출현한 동물 전체는 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물 chaetognaths), 극피동물(echinodermates), 유형류(larvaceans) 등의 큰 분류군으로 나눌 수 있었으며, 이 가운데 갑각류에는 요각류(copepods), 패충류(ostracods), 그리고 여러 종류의 미동정된 유생들이 포함되었다(그림 2-2-12). 요각류는 가장 다양하게 종이 구성되어 모두 12 종이 출현하였으며, 이 외에 미동정된 유생들도 포함되었다. 자포동물 히드로충강의 동물은 Siphonophora 목(目)에 속하는 동물 한 종과 Anthomedusae 목의 종류 두 종이 출현하였으며, 패충류, 모악동물, 유형류는 각각 한 종이 출현하였다. 이들 종들은 개체수 밀도가 아주 낮은 종들을 제외하면, 모든 정점에서 큰 차이 없이 출현하여, 조사 해역이 종 분포가 매우 균등하였다.

동물플랑크톤의 출현 개체수 밀도(풍도, abundance)는 476 ind m^{-3} (대조정점 cont.)에서 $1,058 \text{ ind m}^{-3}$ (정점 1)의 범위를 보여, 패치상의 분포를 하는 낮에 채집된 동물플랑크톤으로서는 정점에 따른 변화폭이 그리 크지 않았다(표 2-2-5). 전체적으로는 평균 720 ind m^{-3} 여서 망목 $100 \mu\text{m}$ 의ネットで 채집한 시료로서는 보통의 밀도를 보였다. 요각류가 전체 정점에서 가장 우점하는 동물군이었으며, 그 밀도는 전체 동물 밀도의 89.8 %에 해당하였다. 이 동물군은 대체로 미륵도에 가까운 정점들 1, 2, 4, 5, 그리고 가장 북서쪽의

정점 9와 바깥쪽의 대조 정점 10에서 더 높은 밀도를 보였으며, 부도와 가까운 정점 3, 남쪽의 정점들 6, 7, 8에서 밀도가 더 낮았다. 다른 동물군의 경우도 정점에 따라 밀도의 변화가 관찰되었으나, 특별한 경향성을 보이지 않고 조사해역 전체에서 비교적 균등하다고 할 수 있는 분포양상을 보였다.

8월에 출현한 동물플랑크톤 군집에는 25 종의 종 구분이 가능한 종들과 복수의 종이 혼재할 가능성이 높은 미동정된 7 개 분류군들이 포함되었다. 출현한 동물들은 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 유형류(larvaceans) 등의 큰 분류군으로 나눌 수 있었으며(그림 2-2-13), 이 가운데 갑각류에는 지각류(cladocerans), 요각류(copepods), 패충류(ostracods), 난바다곤쟁이류(euphausiids)와 여러 종류의 미동정된 유생들이 포함되었다. 요각류는 가장 다양하여 모두 15 종이 출현하였으며, 미동정된 nauplius 유생도 포함되었다. 지각류는 두 종만이 출현하였고, 난바다곤쟁이류, 패충류는 각각 한 종만 출현하였다. 자포동물에는 Siphonophora 목 한 종, Leptomedusae 한 종, 그리고 미동정되었으나 한 종으로 보이는 Anthomedusae가 출현하였으며, 모악동물과 유형류는 각각 한 종씩 출현하였다. 동물플랑크톤의 출현 개체수 밀도는 평균 1,853 ind m⁻³이었으나, 전체 정점에서 691 ind m⁻³- 5,626 ind m⁻³의 범위를 보여 정점에 따라 큰 차이를 보였다(표 2-2-6).

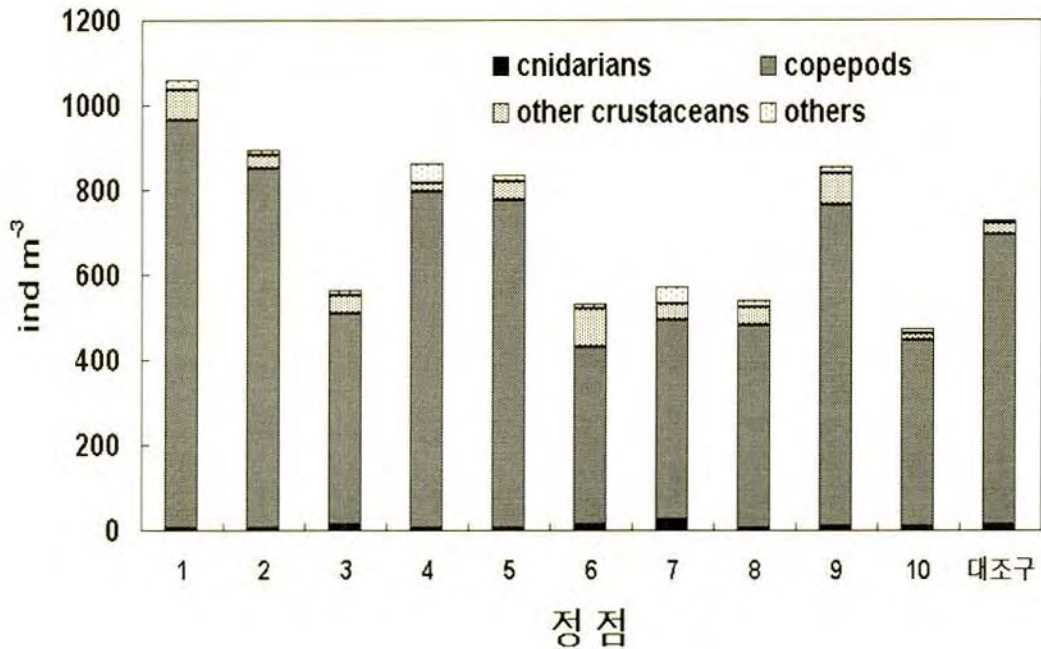


그림 2-2-12. 2005년 5월에 통영해역에 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포.

정점 9와 바깥쪽의 대조 정점 10에서 더 높은 밀도를 보였으며, 부도와 가까운 정점 3, 남쪽의 정점들 6, 7, 8에서 밀도가 더 낮았다. 다른 동물군의 경우도 정점에 따라 밀도의 변화가 관찰되었으나, 특별한 경향성을 보이지 않고 조사해역 전체에서 비교적 균등하다고 할 수 있는 분포양상을 보였다.

8월에 출현한 동물플랑크톤 군집에는 25 종의 종 구분이 가능한 종들과 복수의 종이 혼재할 가능성이 높은 미동정된 7 개 분류군들이 포함되었다. 출현한 동물들은 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 유형류(larvaceans) 등의 큰 분류군으로 나눌 수 있었으며(그림 2-2-13), 이 가운데 갑각류에는 지각류(cladocerans), 요각류(copepods), 패충류(ostracods), 난바다곤쟁이류(euphausiids)와 여러 종류의 미동정된 유생들이 포함되었다. 요각류는 가장 다양하여 모두 15 종이 출현하였으며, 미동정된 nauplius 유생도 포함되었다. 지각류는 두 종만이 출현하였고, 난바다곤쟁이류, 패충류는 각각 한 종만 출현하였다. 자포동물에는 Siphonophora 목 한 종, Leptomedusae 한 종, 그리고 미동정되었으나 한 종으로 보이는 Anthomedusae가 출현하였으며, 모악동물과 유형류는 각각 한 종씩 출현하였다. 동물플랑크톤의 출현 개체수 밀도는 평균 1,853 ind m⁻³이었으나, 전체 정점에서 691 ind m⁻³- 5,626 ind m⁻³의 범위를 보여 정점에 따라 큰 차이를 보였다(표 2-2-6).

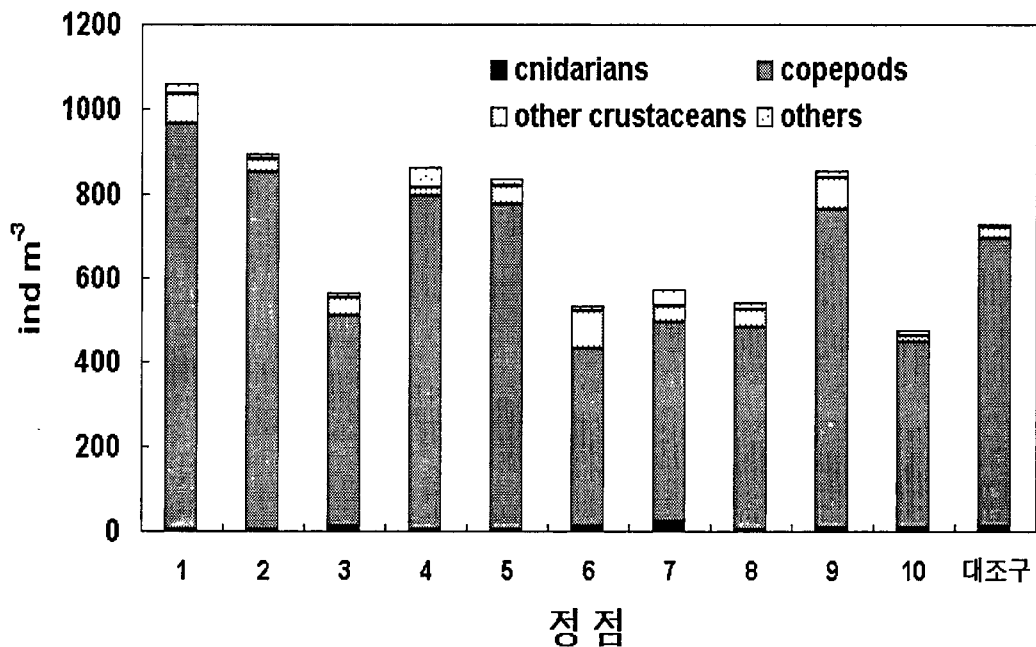


그림 2-2-12. 2005년 5월에 통영해역에 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포.

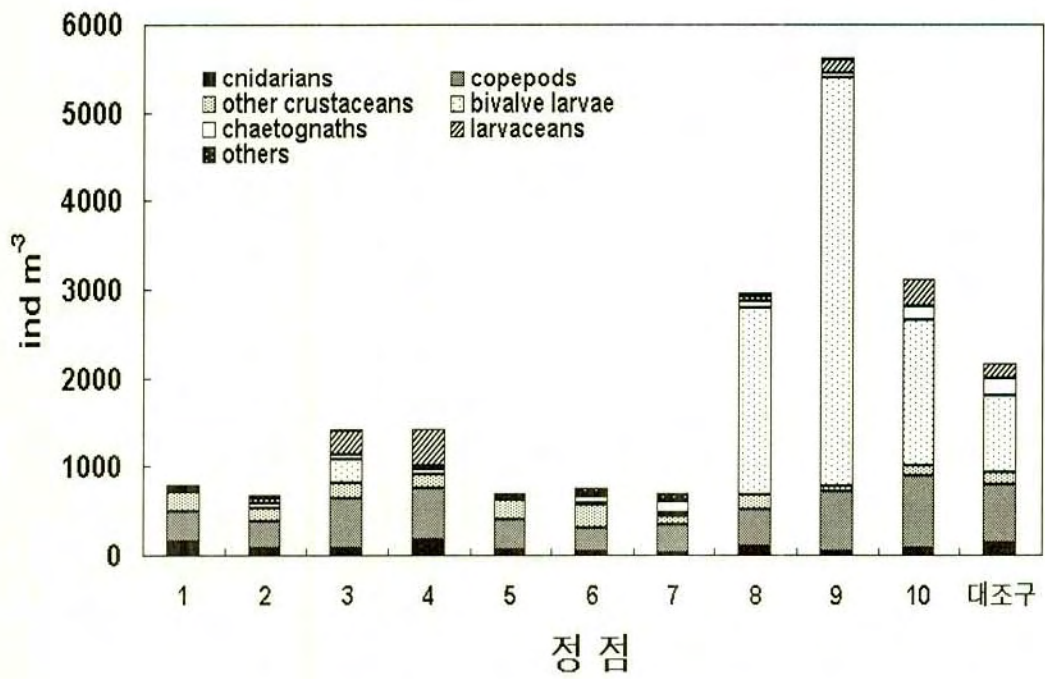


그림 2-2-13. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포.

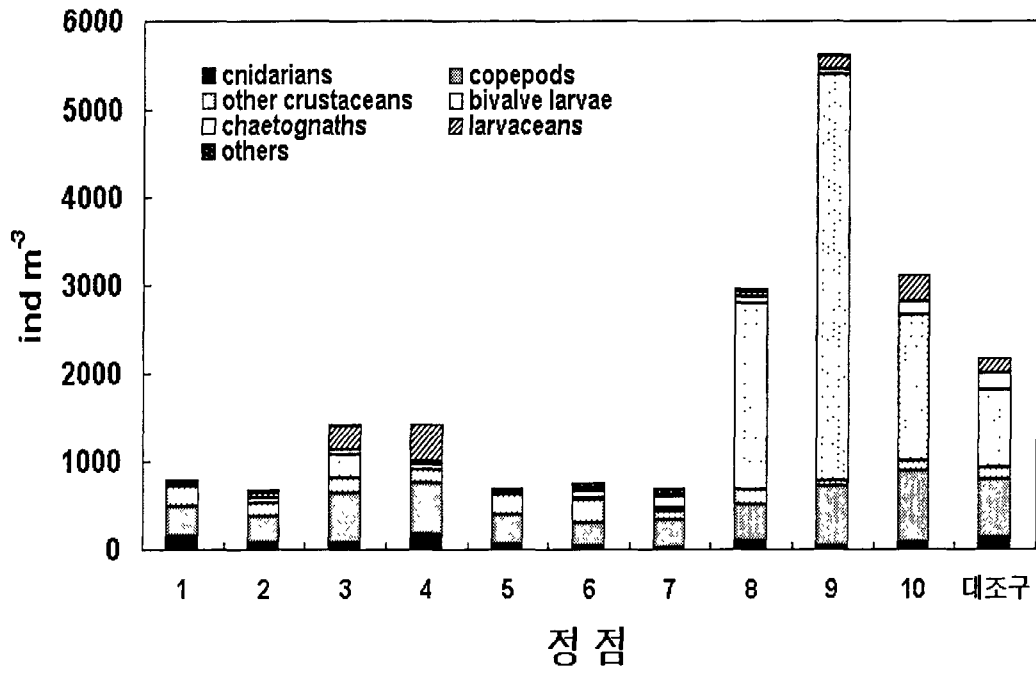


그림 2-2-13. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포

표 2-2-5. 2005년 5월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도(ind m⁻³)

분류군 및 정점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	대조 구	평균
Cnidaria												
<i>Diphyes chamissonis</i>	3	5	10	2	2	8	25	3	6	8	10	7.5
<i>Euphysa aurata</i>	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0.4
other anthomedusae	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0.4
Copepoda												
<i>Acartia omorii</i>	20	6	6	2	12	4	2	9	2	0	1	5.9
<i>Acrocalanus gibber</i>	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0	2	2.0
<i>Calanus sinicus</i>	59	62	109	80	55	25	79	52	278	120	103	93.0
<i>Centropages abdominalis</i>	1	3	8	4	4	6	21	10	13	11	17	9.0
<i>Clausocalanus furcatus</i>	3	0	0	0	0	0	0	1	10	1	3	1.7
<i>Corycaeus affinis</i>	48	63	93	55	134	49	79	102	51	83	110	78.8
<i>Corycaeus sp. copepodites</i>	3	3	2	2	7	8	2	1	10	21	41	9.3
<i>Euchaeta plana</i>	0	2	10	0	2	0	0	8	5	6	6	3.6
<i>Oithona davisae</i>	0	0	0	0	5	2	26	2	1	0	1	3.4
<i>Oithona similis</i>	599	401	149	392	203	207	79	141	61	81	135	222.7
<i>Paracalanus crassirostris</i>	33	51	9	136	106	57	74	43	70	28	73	61.8
<i>Paracalanus parvus</i>	18	2	10	41	79	4	4	8	11	22	29	20.8
copepod nauplius larvae	174	251	101	81	160	44	101	102	245	65	162	135.3
Ostracoda												
<i>Euchoncoecia pacifica</i>	1	0	3	2	1	2	5	9	2	1	1	2.6
crustacean larvae, nauplius	64	25	40	13	43	68	25	18	71	11	25	36.5
decapod larvae, zoea	6	6	1	2	1	17	12	15	1	1	3	6.0
polychaete larvae	4	3	6	6	9	6	7	0	1	1	2	4.1
Chaetognatha												
<i>Sagitta crassa</i>	3	1	0	0	2	0	9	0	2	3	2	2.0
Echinodermata, larvae	0	2	5	0	0	2	0	0	0	0	1	0.9
Appendicularia												
<i>Oikopleura dioica</i>	17	7	2	41	6	4	23	14	16	8	2	12.8
Total	1058	895	565	862	837	532	574	540	856	476	730	720.4

표 2-2-6. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도(ind m⁻³)

분류군 / 정점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	대조 구	평균
Cnidaria												
<i>Diphyes chamissonis</i>	21	11	15	42	12	12	22	53	24	55	120	35.2
<i>Obelia plana</i>	121	56	65	125	42	23	5	42	9	10	6	45.8
<i>Proboscidactyla flavicirrata</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0.6
other Anthomedusae	0	0	0	0	0	0	1	0	5	2	2	0.9
Cladocera												
<i>Evadne tregestina</i>	12	6	2	10	5	4	1	0	5	2	4	4.6
<i>Podon polyphemoides</i>	52	42	52	61	43	21	23	10	6	2	1	28.5
Copepoda												
<i>Acartia omorii</i>	15	22	20	12	5	1	5	20	2	4	1	9.7
<i>Acartia steueri</i>	2	6	6	51	2	10	6	12	5	10	5	10.5
<i>Acrocalanus gibber</i>	12	4	12	3	6	5	10	2	8	10	5	7.0
<i>Calanus sinicus</i>	25	12	75	12	10	23	56	42	44	9	52	32.7
<i>Centropages abdominalis</i>	1	5	10	16	62	82	5	2	6	10	8	18.8
<i>Clausocalanus furcatus</i>	1	2	0	0	4	10	2	10	22	16	25	8.4
<i>Corycaeus affinis</i>	12	22	13	52	12	10	4	6	10	2	9	13.8
<i>Euchaeta plana</i>	10	2	3	4	6	0	5	10	22	13	9	7.6
<i>Labidocera rotunda</i>	12	5	6	4	10	2	0	0	2	0	0	3.7
<i>Oithona davisae</i>	5	5	10	52	82	12	20	42	12	6	1	22.5
<i>Oithona plumifera</i>	0	2	0	0	0	0	2	10	0	4	5	2.1
<i>Oithona similis</i>	22	26	52	12	3	12	42	12	42	12	6	21.9
<i>Paracalanus crassirostris</i>	5	10	2	3	2	5	2	10	2	3	9	4.8
<i>Paracalanus parvus</i>	121	52	212	262	42	29	23	165	421	555	498	216.4
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	52	121	15	52	63	10	5	12	11	6	6	32.1
copepod nauplius larvae	52	12	132	62	42	55	132	66	79	165	25	74.7
Euphausiacea												
<i>Euphausia pacifica</i>	1	6	10	6	3	12	2	1	5	10	6	5.6
Ostracoda												
<i>Euchonchoecia pacifica</i>	1	0	0	0	5	0	12	0	0	2	12	2.9
banacle larvae	121	52	42	12	111	212	4	122	5	75	65	74.6
decapod larvae, zoea	34	26	5	12	10	2	10	5	2	12	5	11.2
other crustacean larvae, nauplius	12	25	55	45	42	26	32	21	22	8	42	30.0
bivalve larvae	2	52	261	52	5	2	52	2120	4621	1652	873	881.1
polychaete larvae	12	52	18	5	10	65	65	42	21	5	10	27.7
Chaetognatha												
<i>Sagitta crassa</i>	5	12	65	46	10	87	121	65	49	154	198	73.8
echinoderm larvae	2	1	0	0	0	0	4	12	0	0	0	1.7
Appendicularia												
<i>Oikopleura dioica</i>	52	42	261	412	52	36	29	55	162	295	164	141.8
Total	799	691	1419	1425	701	768	702	2969	5626	3110	2172	1852. 9

11월에 출현한 동물플랑크톤 군집은 확실히 동정이 가능한 23 종과, 종 구분이 어렵고 복수의 종들이 포함되었을 가능성이 높은 네 분류군의 유생들이 포함되었다. 출현한 동물 전체는 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 미색동물(urochodates), 유형류(larvaceans) 등의 큰 분류군으로 나눌 수 있었으며(그림 2-2-14), 이 가운데 갑각류에는 요각류(copepods)와 여러 종류의 미동정된 유생들이, 미색동물에는 탈리아강(Thaliacea)의 두 종과 유형강(Larvacea) 한 종이 포함되었다. 요각류는 가장 다양하게 종이 구성되어 모두 17 종이 출현하였으며, 미 동정된 유생들이 다수 포함되었으나 동정된 성체들이나 copepodite 유생들의 더 어린 개체들인 것으로 생각되었다. 자포동물 히드로충강의 동물은 Siphonophora 목(目)에 속하는 동물 한 종이 출현하였으며, 모악동물, 탈리아류는 각각 두 종, 유형류는 한 종이 출현하였다. 이들 종들은 개체수 밀도가 아주 낮은 종들을 제외하면 모든 정점에서 큰 차이 없이 출현하여, 종 분포의 면에서 조사 해역은 상당히 균등한 편이었다(표 2-2-7). 동물플랑크톤의 출현 개체수 밀도(풍도, abundance)는 평균 817 ind m⁻³이었으나, 전체 정점에서 460 ind m⁻³(정점 5) - 1,244 ind m⁻³(정점 9)의 범위를 보여 정점에 따라 큰 차이를 보였다. 대체로 미륵도에 가까운 정점들에서 밀도가 낮은 편이었으며, 가장 북서쪽의 정점 9와 바깥쪽의 정점 10, 대조 정점 등에서 더 높은 밀도를 보였으며, 부도와 가까운 정점 3이나 남쪽의 정점들 6, 7, 8 등은 중간 정도의 밀도를 보였다. 동물플랑크톤이 패치상의 분포를 하는 낮에 채집한 점 외에, 이번 조사에서 우점한 요각류와 미색동물 종들 가운데 외양성 종들이 많아 조사 지역의 바깥쪽 정점들에서 더 높은 밀도를 보인 점도 큰 이유였다.

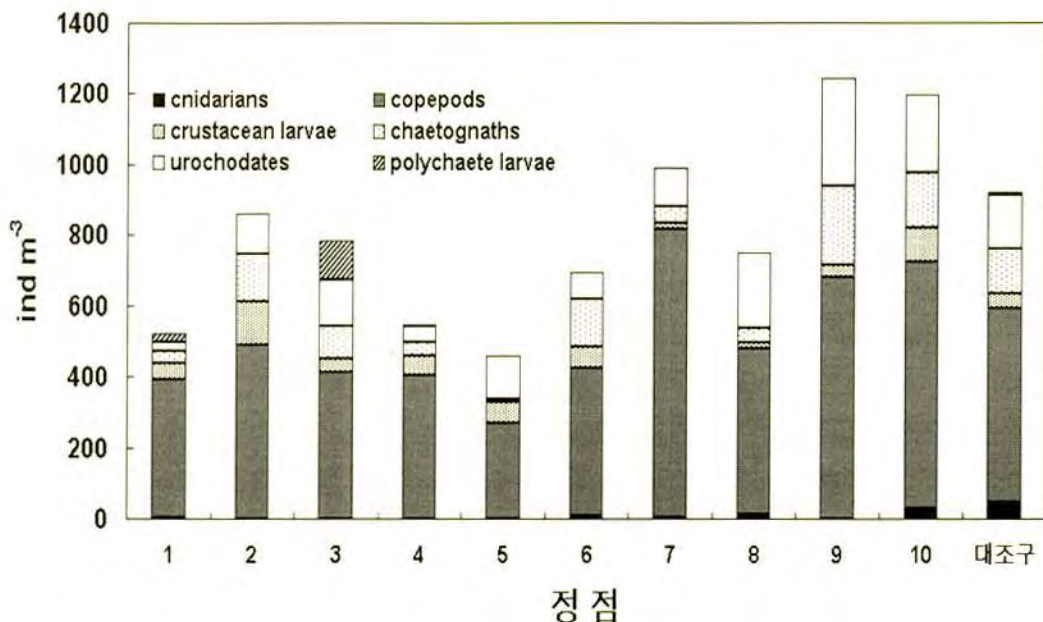


그림 2-2-14. 2005년 11월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포.

11월에 출현한 동물플랑크톤 군집은 확실히 동정이 가능한 23 종과, 종 구분이 어렵고 복수의 종들이 포함되었을 가능성이 높은 네 분류군의 유생들이 포함되었다. 출현한 동물 전체는 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 미색동물(urochodates), 유형류(larvaceans) 등의 큰 분류군으로 나눌 수 있었으며(그림 2-2-14), 이 가운데 갑각류에는 요각류(copepods)와 여러 종류의 미동정된 유생들이, 미색동물에는 탈리아강(Thaliacea)의 두 종과 유형강(Larvacea) 한 종이 포함되었다. 요각류는 가장 다양하게 종이 구성되어 모두 17 종이 출현하였으며, 미 동정된 유생들이 다수 포함되었으나 동정된 성체들이나 copepodite 유생들의 더 어린 개체들인 것으로 생각되었다. 자포동물 히드로충강의 동물은 Siphonophora 목(目)에 속하는 동물 한 종이 출현하였으며, 모악동물, 탈리아류는 각각 두 종, 유형류는 한 종이 출현하였다. 이들 종들은 개체수 밀도가 아주 낮은 종들을 제외하면 모든 정점에서 큰 차이 없이 출현하여, 종 분포의 면에서 조사 해역은 상당히 균등한 편이었다(표 2-2-7). 동물플랑크톤의 출현 개체수 밀도(풍도, abundance)는 평균 817 ind m⁻³이었으나, 전체 정점에서 460 ind m⁻³(정점 5) - 1,244 ind m⁻³(정점 9)의 범위를 보여 정점에 따라 큰 차이를 보였다. 대체로 미륵도에 가까운 정점들에서 밀도가 낮은 편이었으며, 가장 북서쪽의 정점 9와 바깥쪽의 정점 10, 대조 정점 등에서 더 높은 밀도를 보였으며, 부도와 가까운 정점 3이나 남쪽의 정점들 6, 7, 8 등은 중간 정도의 밀도를 보였다. 동물플랑크톤이 패치상의 분포를 하는 낮에 채집한 점 외에, 이번 조사에서 우점한 요각류와 미색동물 종들 가운데 외양성 종들이 많아 조사 지역의 바깥쪽 정점들에서 더 높은 밀도를 보인 점도 큰 이유였다.

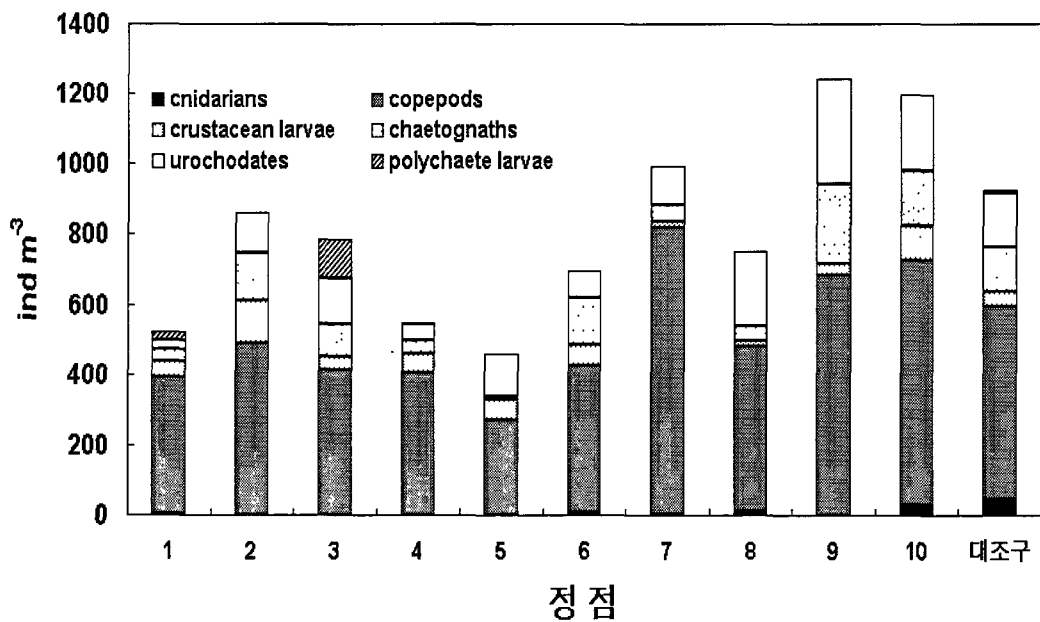


그림 2-2-14. 2005년 11월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 주요 분류군의 분포.

표 2-2-7. 2005년 11월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 밀도(ind m⁻³)

taxonomic category & species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	대조구	평균
Cnidaria												
<i>Diphyes chamissonis</i>	4	1	0	0	0	10	4	13	1	30	45	9.8
Copepoda												
<i>Acartia omorii</i>	3	12	34	51	12	3	10	24	2	12	2	15.0
<i>Acartia steueri</i>	3	3	14	25	31	9	123	23	54	89	51	38.6
<i>Acrocalanus gibber</i>	4	0	0	0	0	2	10	3	1	21	2	3.9
<i>Calanus sinicus</i>	23	121	211	65	37	11	123	54	165	228	275	119.4
<i>Canthocalanus pauper</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	12	3	5	2.0
<i>Centropages abdominalis</i>	23	0	0	0	2	12	7	3	11	8	2	6.2
<i>Clausocalanus furcatus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	12	4	0	1.7
<i>Corycaeus affinis</i>	23	4	2	1	1	1	12	4	3	1	12	5.8
<i>Corycaeus speciosus</i>	0	0	0	0	0	0	0	10	2	7	2	1.9
<i>Euchaeta plana</i>	0	0	1	0	1	2	1	1	0	0	2	0.7
<i>Hemicyclops japonicus</i>	6	12	31	1	0	0	0	1	3	2	0	5.1
<i>Oithona davisae</i>	32	121	22	14	43	26	111	143	211	23	11	68.8
<i>Oithona plumifera</i>	1	5	10	12	4	12	55	43	12	3	21	16.2
<i>Oithona similis</i>	13	111	21	54	13	15	33	9	10	2	10	26.5
<i>Paracalanus crassirostris</i>	11	21	12	13	65	24	3	3	122	45	28	31.5
<i>Paracalanus parvus</i>	121	11	36	57	49	67	323	123	11	211	75	98.5
<i>Temora stylifera</i>	0	45	0	0	0	0	0	12	32	25	42	14.2
copepod nauplius larvae	121	22	21	111	13	232	3	10	21	11	10	52.3
crustacean nauplius larvae	12	3	3	3	12	3	4	5	12	6	2	5.9
crustacean zoea larvae	34	121	34	54	44	56	11	13	21	90	40	47.1
polychaete larvae	23	0	111	6	0	0	0	0	0	2	8	13.6
Chaetognatha												
<i>Sagitta crassa</i>	34	121	45	34	11	132	45	8	112	67	24	57.5
<i>Sagitta enflata</i>	2	12	45	2	1	1	1	34	112	90	102	36.5
Thaliacea												
<i>Salpa fusiformis</i>	2	3	1	1	0	0	0	0	12	34	10	5.7
<i>Doliolum denticulatum</i>	1	0	0	0	0	12	32	43	12	6	75	16.5
Appendicularia												
<i>Oikopleura dioica</i>	23	111	132	45	121	67	80	167	278	178	67	115.4
Total	522	860	786	549	460	697	992	750	1244	1198	923	816.5

(2) 우점종

2005년 5월에 가장 우점한 종은 요각류 *Oithona similis*였으며, 그 다음으로 우점한 종들도 역시 요각류 *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이었다. *Paracalanus* 속 요각류들은 이 지역에서 흔히 높은 밀도를 보이지만, 이번의 경우는 앞의 종들에 비해 다소 낮은 밀도를 보였으며, 그 가운데 소형종 *P. crassirostris*의 밀도가 더 높았다. *Oithona similis*는 정점 1, 2, 4 등 미루도에서 멀지 않은 정점들에서 밀도가 높았다(그림 2-2-15). 이번 조사에서 비교적 대형종인 *C. sinicus*의 밀도는 상당히 높았으며, 정점 9에서 가장 높고, 정점 3, 10, 그리고 대조정점 등에서 더 높은 밀도를 보여, 이 종이 외양역에 가까운 지역에 분포하는 특성을 잘 반영하였다. 그러나 *Paracalanus* spp.와 *C. affinis*는 뚜렷하게 지역에 따른 패턴이 없이 비교적 고른 분포를 하였다.

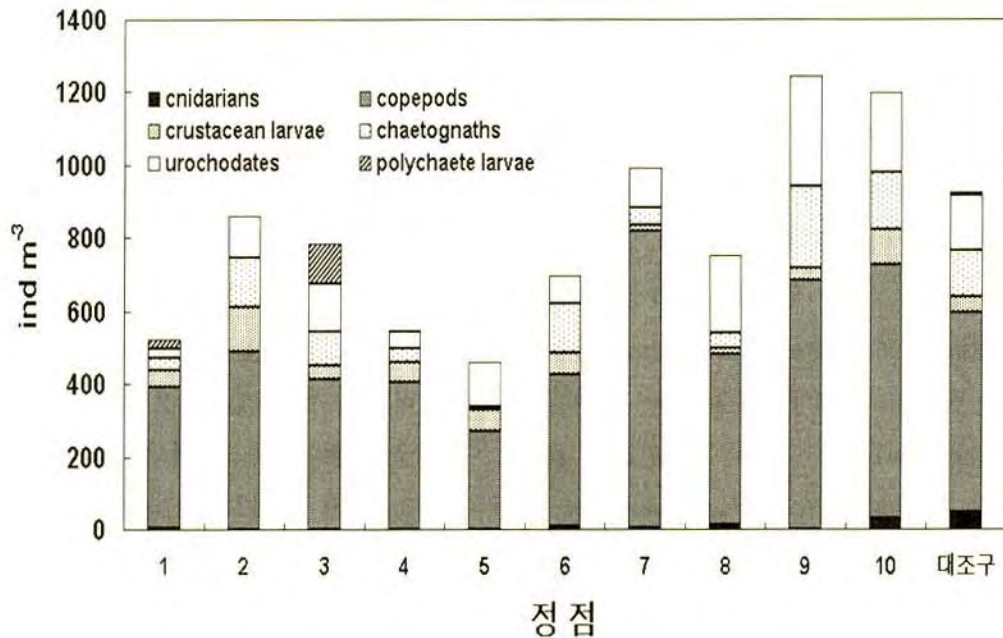


그림 2-2-15. 2005년 5월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 우점종의 분포.

8월에 가장 우점한 동물군은 동정은 되지 않았으나 한 종의 것으로 보이는 이매패류의 초기부착 유생이었다. 이 종은 그 밀도가 전체 동물 그것의 47.6%에 해당하는 정도여서 요각류를 전부 합친 것보다 더 높은 밀도를 보였다. 이 조개의 유생은 미루도에서 거리가 떨어진 정점 8, 9, 10과 대조 정점에서 뚜렷하게 더 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-16). 본 해역에서 흔히 우점해 왔던 요각류의 전체 밀도가 동물플랑크톤 전체 밀도의 26.3%로 487 ind m⁻³의 평균치를 보였다. 요각류는 조사 해역 전반에 걸쳐 큰 차이를 보이지 않으면서 분포하였다.

(2) 우점종

2005년 5월에 가장 우점한 종은 요각류 *Oithona similis*였으며, 그 다음으로 우점한 종들도 역시 요각류 *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이었다. *Paracalanus* 속 요각류들은 이 지역에서 흔히 높은 밀도를 보이지만, 이번의 경우는 앞의 종들에 비해 다소 낮은 밀도를 보였으며, 그 가운데 소형종 *P. crassirostris*의 밀도가 더 높았다. *Oithona similis*는 정점 1, 2, 4 등 미루도에서 멀지 않은 정점들에서 밀도가 높았다(그림 2-2-15). 이번 조사에서 비교적 대형종인 *C. sinicus*의 밀도는 상당히 높았으며, 정점 9에서 가장 높고, 정점 3, 10, 그리고 대조정점 등에서 더 높은 밀도를 보여, 이 종이 외양역에 가까운 지역에 분포하는 특성을 잘 반영하였다. 그러나 *Paracalanus* spp.와 *C. affinis*는 뚜렷하게 지역에 따른 패턴이 없이 비교적 고른 분포를 하였다.

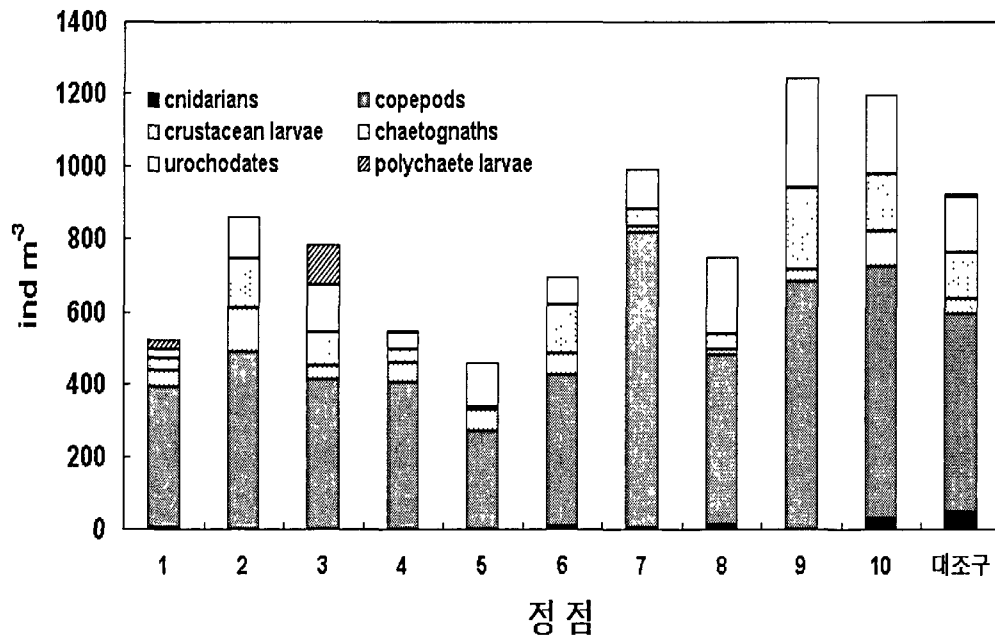


그림 2-2-15. 2005년 5월에 통영해역에서 출현한 동물플랑크톤 우점종의 분포.

8월에 가장 우점한 동물군은 동정은 되지 않았으나 한 종의 것으로 보이는 이매패류의 초기부착 유생이었다. 이 종은 그 밀도가 전체 동물 그것의 47.6 %에 해당하는 정도여서 요각류를 전부 합친 것보다 더 높은 밀도를 보였다. 이 조개의 유생은 미루도에서 거리가 떨어진 정점 8, 9, 10과 대조 정점에서 뚜렷하게 더 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-16). 본 해역에서 흔히 우점해 왔던 요각류의 전체 밀도가 동물플랑크톤 전체 밀도의 26.3%로 487 ind m⁻³의 평균치를 보였다. 요각류는 조사 해역 전반에 걸쳐 큰 차이를 보이지 않으면서 분포하였다.

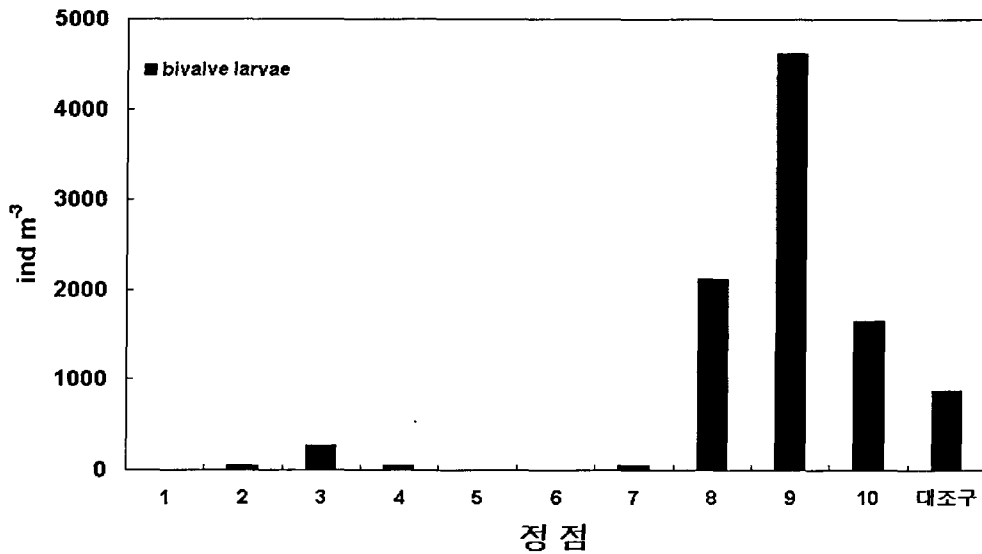


그림 2-2-16. 2005년 8월에 통영해역에 출현한 이매패류 유생의 분포.

11월에 가장 우점한 종은 요각류 *Calanus sinicus*였으며, 그 다음으로 우점한 종은 유형류 *Oikopleura dioca*였다. 이 두 종의 밀도는 각각 전체 밀도의 14.6 %와 14.1 %로서 거의 비슷한 수준이었으며, 개체 크기를 고려한다면 후자의 종이 생물량 면에서 가장 우점하는 종이였다. 가장 우점한 분류군인 요각류 가운데에서 중요한 종들은 최우점종 외에 *Oithona davisae*와 *Paracalanus parvu* 등이었다(그림 2-2-17). 앞서 언급한 바와 같이 *C. sinicus*는 부도와 가까운 정점 3을 제외하면 다소 바깥쪽에 위치한 정점들 9, 10, 그리고 대조정점(control) 등에서 높은 밀도를 보여, 이 종이 외양역에 가까운 지역에 분포하는 특성을 잘 반영하였다. *Oithona davisae*는 정점 2, 7, 8, 9 등에서 밀도가 높았으나, 정점 10과 대조정점 등 바깥쪽에서는 낮은 밀도를 보였다. *Paracalanus parvus*는 안과 밖의 경향성을 보이지 않았으나, 특히 정점 7에서 높은 밀도를 보였다. 따라서 이번 조사에서 요각류 우점 그룹들은 *Calanus*- *Oithona*- *Paracalanus*의 구조였으며, 여기에 소위 젤라틴 플랑크톤의 밀도가 높아, 조사 해역이 통영 미륵도와 가까운 지역이지만 우리나라 남해의 내만보다는 연안에서 전형적으로 보이는 패턴에 가까웠다.

본 조사의 큰 특징은 개체수 밀도의 면에서 유형류 *Oikopleura dioca*가 두 번째로 우점한 종이었는데 역시 육지에서 거리가 먼 정점들에서 더 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-18).

다른 미생동물로는 두 종의 탈리아 강 동물이 출현하였으며, 두 종 모두 역시 외양역의 영향이 큰 지역에서 출현하였다(그림 2-2-19). 이런 경향은 비록 개체수 밀도의 비율은 작았으나, 관해파리류 *Diphyes chamissonis*에서도 나타났다. 본 해역에서 매 조사마다 우점하는 동물그룹인 모악동물 가운데 *Sagitta crassa*는 미륵도 근처의 정점 2, 조도 인근의 정점 6, 가장 북서쪽의 정점 9, 외양의 정점 10 등에서 높은 밀도를 보여 위치에 따른 경향

성을 보이지 않았으나, *S. enflata*의 경우, 정점 9, 10, 대조정점 등, 외양에 가까운 정점들에서 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-20).

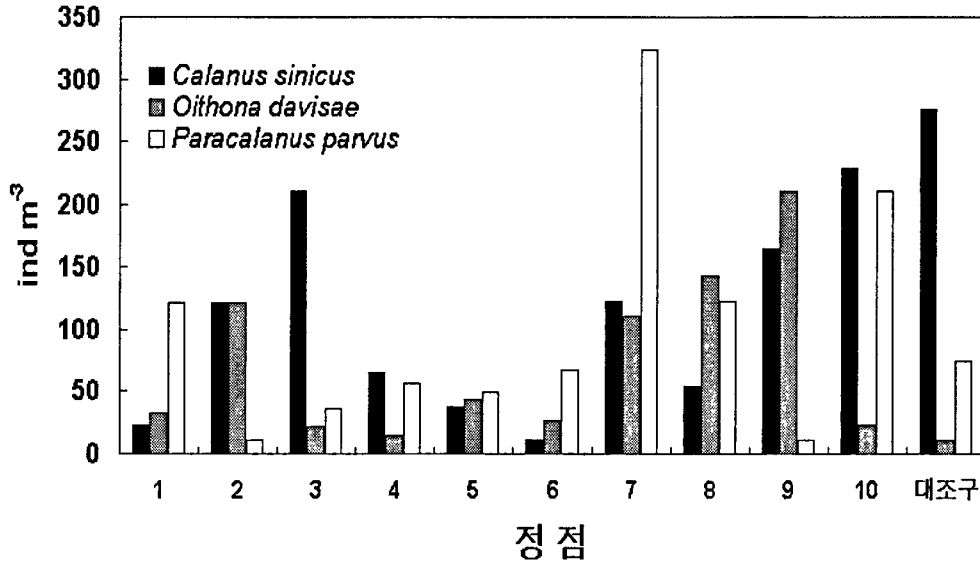


그림 2-2-17. 2005년 11월에 통영해역에 출현한 요각류 우점종의 분포.

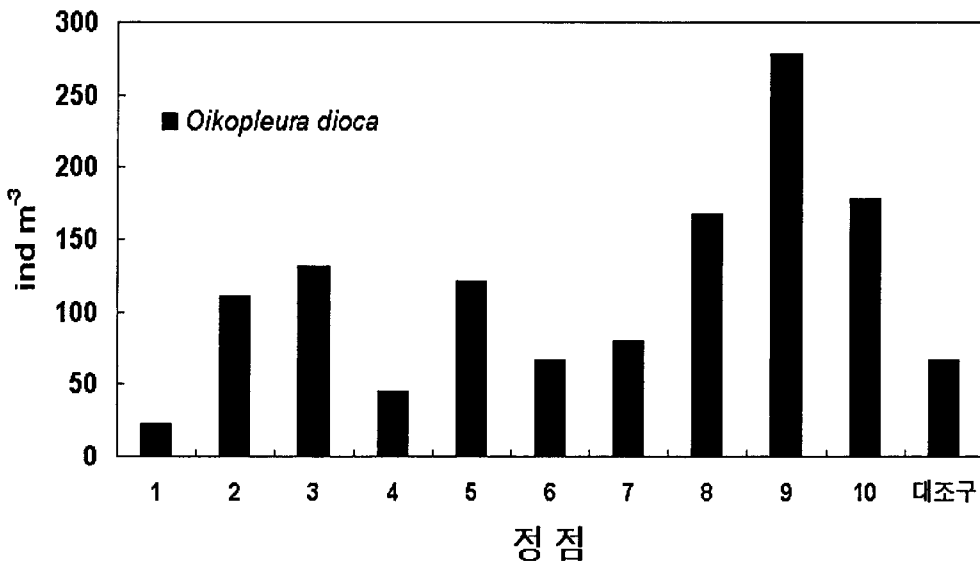


그림 2-2-18. 2005년 11월에 통영해역에 출현한 유형류 *O. dioica*의 분포.

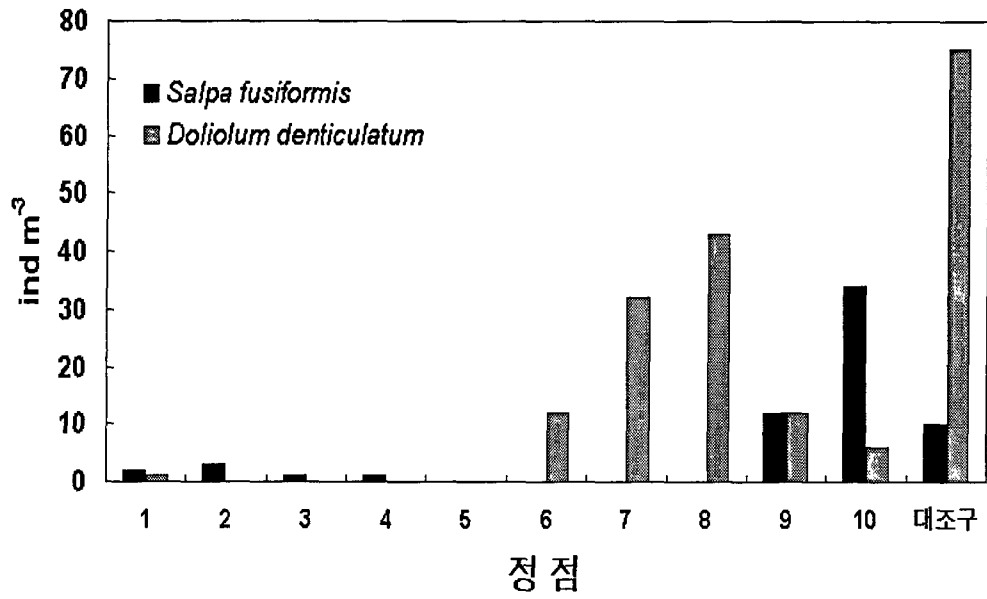


그림 2-2-19. 2005년 11월에 통영해역에서 출현한 탈리아강 동물의 분포.

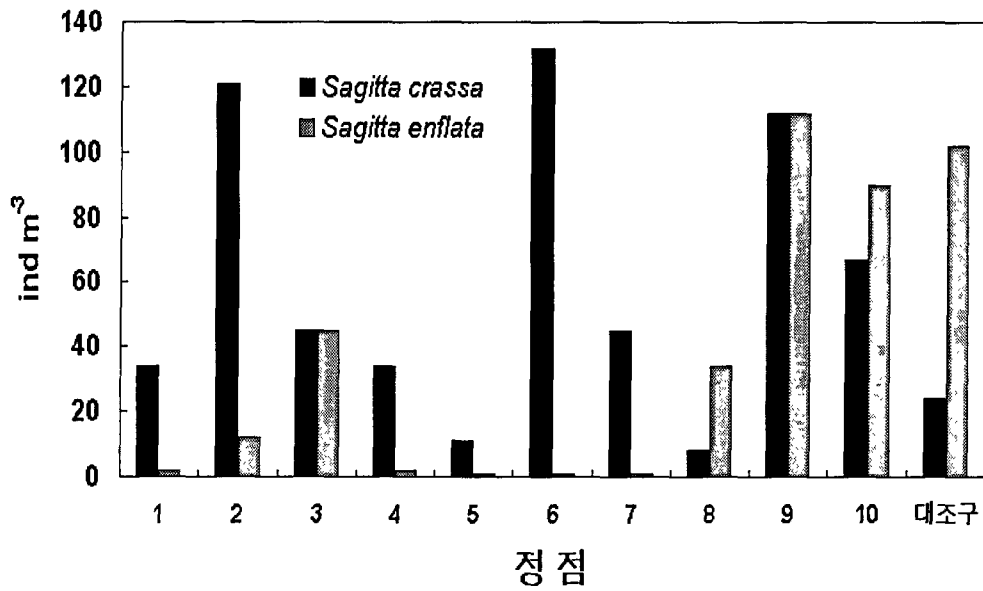


그림 2-2-20. 2005년 11월에 통영해역에서 출현한 모악류의 분포.

8월의 조사에서는 특히 관해파리와 연해파리목 자포동물의 밀도가 매우 높았는데, 각 두 종은 정점에 따라 서로 다른 분포 패턴을 보였다. 관해파리목 *Diphyes chamissonis*는 미륵도 근처의 정점 1, 2, 3, 그리고 조도 인근의 정점 6, 7에서 낮은 밀도를 보인데 반해 외양의 방향의 정점들 8, 10, 대조정점 등에서 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-21). 이런 경향은 지난 조사에서도 보였던 경향이였다. 또 다른 자포동물이며 연해파리 목의 *Obelia plana*는 정점 1, 2, 3, 4 등에서 높은 밀도를 보여 외양역 쪽에 분포하는 경향을 보이는 관해파리와 서로 다른 경향을 보였다. 이 종이 이번 조사와 같이 높은 밀도로 출현한 바에 대해서는 아직 정보가 없는 편이나, 관해파리류가 표층난류역의 지시종인데 비해 이 종은 내만의 성격을 띠는 지역에 분포하는 편인 것으로 보인다. 이 종은 직경이 5 mm 이하의 소형종이나, 최근 우리나라 연안에서도 자포동물의 밀도가 급격히 늘어나고 있으므로, 비록 Scyphozoa에 속하는 대형 종들처럼 어업피해나 산업시설물 피해를 유발하는 종류는 아니지만, 앞으로 생태계의 변화 등과 연관하여 주목할 동물군이라고 생각된다.

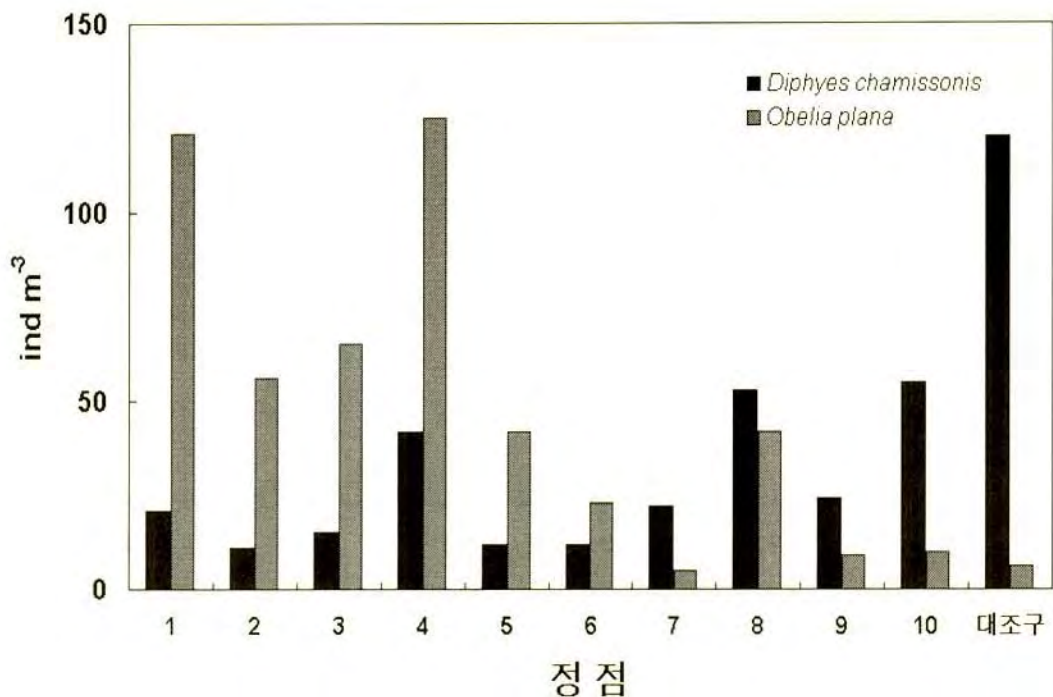


그림 2-2-21. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 자포동물 두 종의 분포.

또한 조개의 유생에 비해 개체수밀도는 낮았으나, 생물량 면에서 매우 중요한 우점군인 요각류의 분포는 종에 따라 분포지역 패턴이 서로 달랐다(그림 2-2-22). 가장 우점한 요각류 종은 *Paracalanus parvus* sensu lato였으며, 정점 10과 대조정점, 정점 9 순으로 밀

8월의 조사에서는 특히 관해파리와 연해파리목 자포동물의 밀도가 매우 높았는데, 각 두 종은 정점에 따라 서로 다른 분포 패턴을 보였다. 관해파리목 *Diphyes chamissonis*는 미륵도 근처의 정점 1, 2, 3, 그리고 조도 인근의 정점 6, 7에서 낮은 밀도를 보인데 반해 외양의 방향의 정점들 8, 10, 대조정점 등에서 높은 밀도를 보였다(그림 2-2-21). 이런 경향은 지난 조사에서도 보였던 경향이였다. 또 다른 자포동물이며 연해파리 목의 *Obelia plana*는 정점 1, 2, 3, 4 등에서 높은 밀도를 보여 외양역 쪽에 분포하는 경향을 보이는 관해파리와 서로 다른 경향을 보였다. 이 종이 이번 조사와 같이 높은 밀도로 출현한 바에 대해서는 아직 정보가 없는 편이나, 관해파리류가 표층난류역의 지시종인데 비해 이 종은 내만의 성격을 띠는 지역에 분포하는 편인 것으로 보인다. 이 종은 직경이 5 mm 이하의 소형종이나, 최근 우리나라 연안에서도 자포동물의 밀도가 급격히 늘어나고 있으므로, 비록 Scyphozoa에 속하는 대형 종들처럼 어업피해나 산업시설물 피해를 유발하는 종류는 아니지만, 앞으로 생태계의 변화 등과 관련하여 주목할 동물군이라고 생각된다.

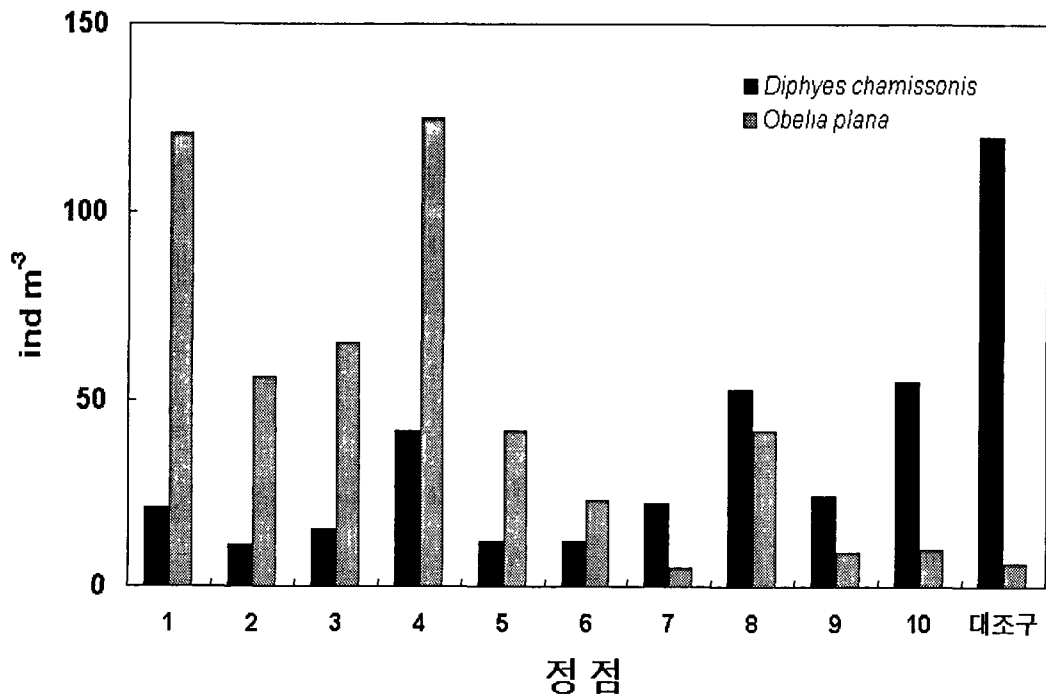


그림 2-2-21. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 자포동물 두 종의 분포.

또한 조개의 유생에 비해 개체수밀도는 낮았으나, 생물량 면에서 매우 중요한 우점군인 요각류의 분포는 종에 따라 분포지역 패턴이 서로 달랐다(그림 2-2-22). 가장 우점한 요각류 종은 *Paracalanus parvus sensu lato*였으며, 정점 10과 대조정점, 정점 9 순으로 밀

도가 높아, 미륵도의 남쪽 바깥 방향의 정점들에서 밀도가 높았다. 이 지역의 특징 가운데 하나는 다른 내만에 비해 *Calanus sinicus*의 밀도가 높은 편인 점이다. 이 종은 이번 조사에서 지난 5월에 비해 밀도는 떨어졌으나, 비교적 대형종으로서 매우 중요한데 정점 3, 7, 8, 9, 그리고 대조 정점에서 높은 밀도를 보여 정점 3을 제외하고는 미륵도에서 거리가 떨어진 정점에서 역시 더 높은 밀도를 기록하였다. 그러나 이번 조사에서도 전체 정점에서 비교적 높은 밀도를 보였다고 할 수 있다. 기수종으로 알려진 *Pseudodiaptomus marinus*는 미륵도와 가까운 정점 1, 2, 4, 5에서 더 높은 밀도를 보였다. 소형종인 *Oithona similis*, *O. davisae*는 *O. plumifera*에 비해 더 내만에 분포하는 종으로 알려졌으며, 이 조사에서는 앞 두 종의 밀도가 더 높았다. 그러나 정점에 따른 특별한 경향성은 관찰되지 않았으며, 비교적 전체 정점에서 고른 분포를 보였다.

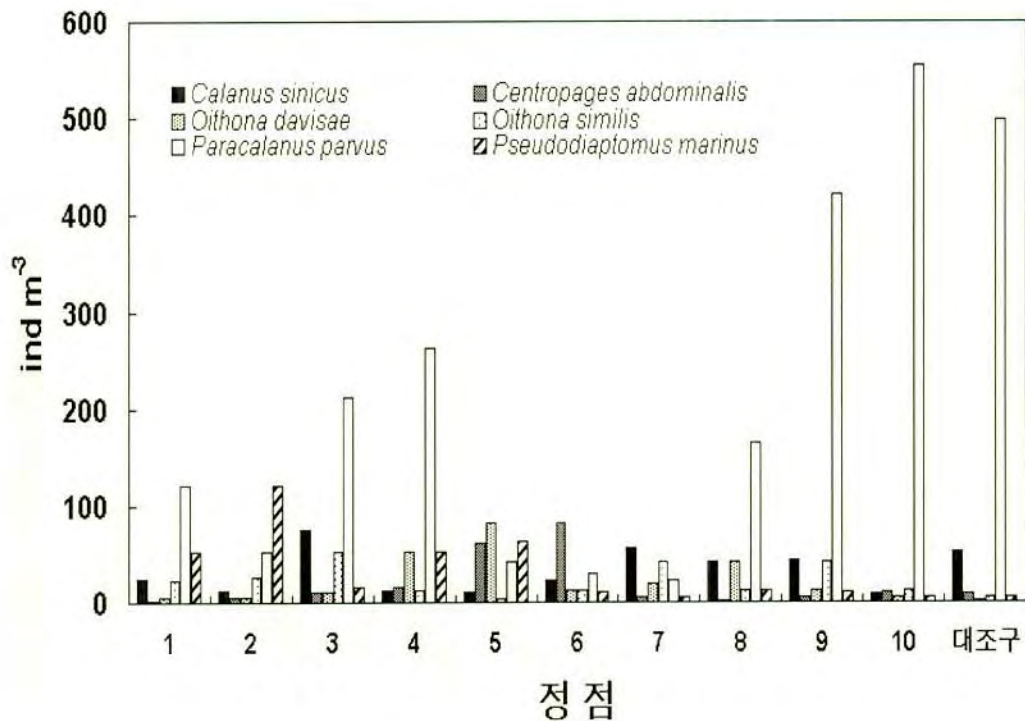


그림 2-2-22. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 요각류 우점종의 분포.

(3) 동물플랑크톤 분포의 특징

2005년 5월의 조사에서는 요각류 중심의 동물플랑크톤 군집구조를 보였으며, *Oithona similis*, *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이 가장 우점하였다. *Paracalanus*의 밀도는 상대적으로 다소 낮은 편이었다. 아울러 밀도는 낮은 편이었으나, *Acrocalanus*, *Clausocalanus*, *Euchaeta* 등 외양난류종들의 출현도 관찰되었다. 외양역의 표층 난류 영향을 받는 지역의

도가 높아, 미륵도의 남쪽 바깥 방향의 정점들에서 밀도가 높았다. 이 지역의 특징 가운데 하나는 다른 내만에 비해 *Calanus sinicus*의 밀도가 높은 편인 점이다. 이 종은 이번 조사에서 지난 5월에 비해 밀도는 떨어졌으나, 비교적 대형종으로서 매우 중요한데 정점 3, 7, 8, 9, 그리고 대조 정점에서 높은 밀도를 보여 정점 3을 제외하고는 미륵도에서 거리가 떨어진 정점에서 역시 더 높은 밀도를 기록하였다. 그러나 이번 조사에서도 전체 정점에서 비교적 높은 밀도를 보였다고 할 수 있다. 기수종으로 알려진 *Pseudodiaptomus marinus*는 미륵도와 가까운 정점 1, 2, 4, 5에서 더 높은 밀도를 보였다. 소형종인 *Oithona similis*, *O. davisae*는 *O. plumifera*에 비해 더 내만에 분포하는 종으로 알려졌으며, 이 조사에서는 앞 두 종의 밀도가 더 높았다. 그러나 정점에 따른 특별한 경향성은 관찰되지 않았으며, 비교적 전체 정점에서 고른 분포를 보였다.

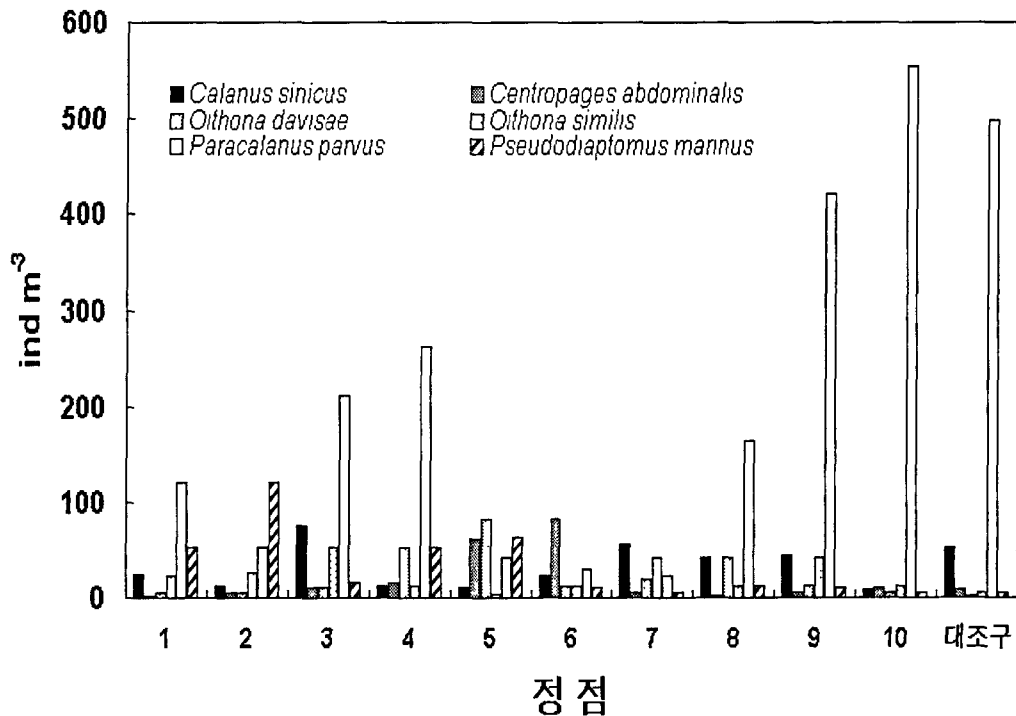


그림 2-2-22. 2005년 8월에 통영해역에서 출현한 요각류 우점종의 분포.

(3) 동물플랑크톤 분포의 특징

2005년 5월의 조사에서는 요각류 중심의 동물플랑크톤 군집구조를 보였으며, *Oithona similis*, *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이 가장 우점하였다. *Paracalanus*의 밀도는 상대적으로 다소 낮은 편이었다. 아울러 밀도는 낮은 편이었으나, *Acrocalanus*, *Clausocalanus*, *Euchaeta* 등 외양난류종들의 출현도 관찰되었다. 외양역의 표층 난류 영향을 받는 지역의

종으로서는 관해파리류도 비교적 높은 밀도로 출현하였다. 따라서 과거 이 지역에서 조사된 동물플랑크톤군집에서 종종 관찰된 바와 같이 전형적 온대 연안 요각류 군집구조인 *Acartia-Paracalanus-Oithona* assemblage(Paffenhöfer, 1991)에 더해 *Calanus sinicus* 등의 초식성 요각류와 *Corycaeus* 등 육식성 요각류의 밀도가 높고, 외양난류종이 그 보다 낮은 밀도로 출현한 군집구조였다. 8월의 조사에서도 역시 위의 구조를 그대로 유지하고 있었으며, 5월에 덜 중요했던 *Paracalanus*의 밀도가 매우 높아져 가장 우점하는 요각류였다. 외양의 표층 난류 종들은 여전히 낮은 밀도로 출현하여 5월의 조사와 유사하였다.

Acartia, *Paracalanus*, *Oithona* 등 세 분류군의 요각류들이 기본이 되는 동물플랑크톤 군집구조는, 온대와 열대에 걸친 세계 각지의 연안역 내만(inlet-neritic)에서 자주 관찰되며(Tokioka, 1979; Lonsdale and Coull, 1977; Fulton, 1984), 우리나라의 연안에서도 예외가 아니다(Kim et al., 1993). 그러나 이 조사해역은 우리나라의 다른 연안 지역에 비해 *Oithona* 종들의 밀도가 높거나 가장 우점하는 종이기도 하였다. 우리나라 연안에서의 *Oithona* 분포에 대한 정확한 자료가 많지 않기 때문에 이 지역에서만 특히 이 종들이 많이 분포하는지의 여부는 판단하기 힘들다. 왜냐하면 이 종류들은 작은 크기 때문에 망목이 100 μ m 보다 작은 네트를 이용했을 때만 적절하게 채집되고, 따라서 그 동안 높은 밀도에 대해서 간과되는 경우가 적지 않았을 것이기 때문이다(Lee et al., 2001). 11월의 조사에서는 요각류와 미색동물 중심의 동물플랑크톤 군집구조를 보였으며, 요각류 가운데 *Calanus sinicus*, *Oithona davisae*, *Paracalanus parvus* 등이 가장 우점하였다. *Acartia* 종들의 출현이 관찰되기는 하였으나, 다른 시기에서도 그랬듯이 밀도가 상당히 낮은 편이어서 우리나라 남해나 서해안의 다른 내만과는 다소 달랐다(Kim et al., 1993). *Acartia* 종이 내만과 기수를 포함하여 육지에 가까운 쪽에서 우점하는 잡식성 요각류라면, *Paracalanus*, *Calanus* 등은 육지에 가까운 지역에도 넓게 분포하나 오히려 입자가 너무 많거나, 부영양화된 내만에서는 전자의 종보다 적응하지 못하는 초식성 요각류라고 말할 수 있다(Paffenhöfer & Sterns, 1988). 이에 비추면, 조사지역에서 후자의 종들이 전자의 종보다 우세한 점이 시사하는 바는 크다고 할 수 있다. 아울러 밀도는 낮은 편이었으나, *Acrocalanus*, *Clausocalanus*, *Euchaeta*, *Temora* 등 외양 난류종들의(Kang, 1992) 출현이 종종 관찰된다. 외양역의 표층 난류 영향을 받는 지역의 종으로서는 관해파리류, 유형류, 탈리아류도 비교적 높은 밀도로 출현하였다. 따라서 과거 이 지역에서 조사된 동물플랑크톤군집에서 종종 관찰된 바와 같이 전형적 온대 연안 요각류 군집구조인 *Acartia-Paracalanus-Oithona* assemblage(Paffenhöfer, 1991)에서 크게 벗어나지는 않으나, 외양난류종 요각류와 미색동물이 출현하는 등 우리나라의 다른 내만에 비해 외양역의 성격을 많이 갖는 군집구조의 특성을 보였다(Lee et al., 2001). 조사기간 중 과거에 그리 높지 않은 밀도이지만 기수종 *Pseudodiaptomus marina*가 관찰되었는데, 조사 지역에서의 염분도가 정점에 따라 큰 차이를 보이지 않으면서 매우 높은 편이었기 때문에 특이하였다. 5월과 8월 모두 관해

파리류가 관찰되었는데, 이 종은 과거의 조사에서도 흔히 출현하는 종이였다. 그러나 5월과 8월에 모두 다른 종류의 히드로충강 자포동물이 관찰되었으며, 이 종들은 지난 2004년 9월에 출현한 *Rathkea octopundtata*, *Liriope tetraphylla* 등의 다른 히드로충류와는 또 다른 자포동물이었다. 따라서 이 해역이 소형 히드로충강의 서식처로서 좋은 환경을 제공한다는 것을 짐작하게 하는데, 관해파리를 제외한 나머지 자포동물들은 내만성 분포를 하는 종들이므로 보이며, 따라서 지속적으로 주목해 볼 사항이라고 여겨진다. 단, 이들은 모두 소형종들이었으며, 현재 어업 피해나 냉각수를 사용하는 산업시설물 등에서 문제시 되고 있는 scyphozoa(예, *Aurelia aurita*, *Nemophylema nomurai*)는 아니었다. 자포동물의 증가와 어류의 감소 등이 현재 전세계가 겪고 있는 생태계의 변화를 가지적으로 증명하는 측면이라는 점을 고려하면 앞으로의 조사에서도 주목할 사항이다.

라. 난, 자치어

(1) 부유성 난

조사 해역에 출현한 부유성 난은 총 8개 분류군이 출현하여, 멸치(*Engraulis japonicus*), 미역치(*Hypodytes rubripinnis*), 쌍동가리(*Neoperca sexfasciata*), 주둥치(*Leiognathus nuchalis*), 노랑족수(*Upeneus bensasi*), 청보리멸(*Sillago japonica*), 동갈양태속 어류(*Callionymus* sp.), 그물코쥐치(*Rudarius ercodes*) 등으로 분류되었다(표 2-2-8, 9).

조사기간 중 7월에 조사시 6개 분류군, 30 ind./1,000m³의 부유성 난이 출현하였다. 그 중 멸치와 미역치가 각각 8 ind./1,000m³(월 출현량의 26.67%)씩 출현하여 가장 우점하였으며, 다음으로 동갈양태속 어류의 난이 4 ind./1,000m³(월 출현량의 13.33%)를 차지하여 우점하였다(표 2-2-8).

10월에 조사시 6개 분류군, 53 ind./1,000m³의 부유성 난이 출현하였다. 그 중 주둥치가 20 ind./1,000m³(월 출현량의 37.74%)가 출현하여 가장 우점하였으며, 다음으로 그물코쥐치의 난이 11 ind./1,000m³(월 출현량의 20.75%)를 차지하여 우점하였다(표 2-2-9).

바다목장화 사업을 실시한 구역(Inside)과 비실시한 구역(Outside)의 경우, 7월은 실시 구역인 St.1 과 St. 2에서 각각 4종과 6종이 출현하였고, 비시설 구역 St. 3과 St. 4는 2종과 3종이 출현하였다. 즉 시설구역에서 많은 종의 어란이 출현하였음을 알 수 있었다. 10월의 경우도 마찬가지로 시설 구역인 St.1과 St.2에서 5종과 6종으로 나타나, 비시설 구역인 St.3과 St.4의 각각 3종씩 보다 많은 종이 출현한 것을 알 수 있었다.

조사기간 동안 출현한 어란의 출현 종수는 시설 구역이 8종으로 비시설 구역의 5종에 비해 다양한 종들이 나타나는 것을 알 수 있었다.

표 2-2-8. 통영해역에서 채집된 부유성 난의 출현량('05, 7)

[ind./1,000m³]

Species	Month	Inside		Outside		Total
		St.1	St.2	St.3	St.4	
<i>Engraulis japonicus</i>		2	4	1	1	8
<i>Hypodytes rubripinnis</i>		2	3	0	3	8
<i>Neopercis sexfasciata</i>		1	2	0	0	3
<i>Upeneus bensasi</i>		0	3	0	0	3
<i>Sillago japonica</i>		2	1	0	0	3
<i>Callionymus</i> sp.		0	2	1	1	4
Total		7	16	2	5	30
Number of species		4	6	2	3	6

표 2-2-9. 통영해역에서 채집된 부유성 난의 출현량('05 10)

[ind./1,000m³]

Species	Month	Inside		Outside		Total
		St.1	St.2	St.3	St.4	
<i>Engraulis japonicus</i>		3	2	0	1	6
<i>Leiognathus muchalis</i>		6	9	3	2	20
<i>Upeneus bensasi</i>		3	4	2	0	12
<i>Sillago japonica</i>		2	1	1	0	4
<i>Callionymus</i> sp.		0	3	0	0	3
<i>Rudarius ercodes</i>		4	5	0	2	11
Total		18	24	6	5	53
Number of species		5	6	3	3	6

(2) 자치어

조사기간 동안 출현한 자치어는 5목 10과 14종이 출현하였고, 채집된 어류는 농어목 어류가 4과 6종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 썸뱅이목 어류가 3과 5종이 나타나 많이 출현하였다(표 2-2-10, 11).

통영해역에서 채집된 자치어를 살펴보면, 7월에 조사시 총 1,390.8 ind./1,000m³가 출

현하였다. 그 중 멸치가 619.1 ind./1,000m³(월 출현량의 44.51%)가 출현하여 가장 우점하였고, 다음으로 미역치가 257.9 ind./1,000m³(월 출현량의 18.54%)으로 우점하였으며, 갈문망둑(*Rhinogobius giurinus*)은 9.5 ind./1,000m³(월 출현량의 0.68%)가 출현하여 가장 적은 출현량을 보였다(표 2-2-10).

10월에 조사시 총 1,274.1 ind./1,000m³가 출현하였다. 그 중 멸치가 823.3 ind./1,000m³(월 출현량의 64.62%)가 출현하여 가장 우점하였고, 다음으로 미역치가 211.9 ind./1,000m³(월 출현량의 16.63%)으로 우점하였으며, 갈문망둑은 1.8 ind./1,000m³(월 출현량의 0.014%)가 출현하여 가장 적은 출현량을 보였다(표 2-2-11).

바다목장화 사업을 실시한 구역과 비실시한 구역의 경우, 7월은 실시 구역인 St.1 과 St. 2에서 각각 9종과 11종이 출현하였고, 비실시 구역 St. 3과 St. 4는 6종과 7종이 출현하였다. 즉 시설구역에서 많은 종의 자치어가 출현하였음을 알 수 있었다. 10월의 경우도 마찬가지로 시설 구역인 St.1과 St.2에서 9종과 8종으로 나타나, 비시설 구역인 St.3과 St.4의 각각 7종씩 보다 많은 종이 출현한 것을 알 수 있었다.

조사기간 동안 출현한 자치어의 출현 종수는 총 14종 중 시설 구역이 13종으로 비시설 구역의 10종에 비해 다양한 종들이 나타나는 것을 알 수 있었다.

표 2-2-10. 통영해역에서 채집된 자치어의 출현량('05 7)

Species	Month	Inside		Outside		Total
		St.1	St.2	St.3	St.4	
<i>Engraulis japonicus</i>		155.9	213.3	112.1	137.8	619.1
<i>Hypodytes rubripinnis</i>		42.3	62.7	70.6	82.3	257.9
<i>Sebastes inermis</i>		23.5	19.3	16.5	15.2	74.5
<i>Sebastes schlegeli</i>		40.7	28.8	29.1	25.9	124.5
<i>Hexagrammos otakii</i>		12.2	36.3	0	13	61.5
<i>Pseudoblennius percoides</i>		0	20.6	0	0	20.6
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>		8.3	11.3	19.4	0	39.0
<i>Petroscires brevicep</i>		17.9	38.5	0	0	56.4
<i>Parablennius yatabei</i>		0	0	0	22.7	22.7
<i>Synechogobius hasta</i>		6.3	26.2	0	13.4	45.9
<i>Rhinogobius giurinus</i>		0	9.5	0	0	9.5
<i>Rudarius ercodes</i>		23.4	17.1	18.7	0	59.2
Total		330.5	483.6	266.4	310.3	1,390.8
Number of species		9	11	6	7	12

표 2-2-11. 통영해역에서 채집된 자치어의 출현량('05 10)

		[ind./1,000m ³]				
Species	Month	Inside		Outside		Total
		St.1	St.2	St.3	St.4	
<i>Engraulis japonicus</i>		194.2	321.8	134.4	172.9	823.3
<i>Hypodytes rubripinnis</i>		25.0	46.1	64.3	76.5	211.3
<i>Sebastes inermis</i>		13.7	10.6	8.3	8.7	41.3
<i>Hexagrammos otakii</i>		16.4	25.3	2.5	6.4	50.6
<i>Ernogrammus hexagrammus</i>		18.2	27.5	10.2	7.6	63.5
<i>Repomucenus benitegurii</i>		13.7	9.8	1.7	2.4	27.6
<i>Rhinogobius giurinus</i>		1.8	0	0	0	1.8
<i>Cynoglossus joyneri</i>		6.4	5.1	0	0	11.5
<i>Rudarius ercodes</i>		9.2	18.7	6.1	8.6	42.6
Total		298.6	464.9	227.5	283.1	1,274.1
Number of species		9	8	7	7	9

마. 유영동물

(1) 부어류 조사

(가) 출현종

조사기간 동안 삼중자망에 채집된 부어류는 총 1강 5목 18과 25종이 채집되었다. 채집된 어류는 5목 중에서 농어목 어류가 9과 10종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 썸뱅이목 어류가 3과 7종이 출현하였으며, 가자미목 어류가 3과 4종이 출현하였다. 그리고 복어목 어류가 2과 3종이 출현하였고, 뱀장어목 어류는 1과 1종씩 출현하였다(표 2-2-12).

표 2-2-12. 통영해역에서 부어류의 분류군('05, 7 ~ '05, 10)

Class	Orders	Families	Species
Actinoerygii	Anguilliformes	1	1
	Scorpaeniformes	4	9
	Perciforme	12	14
	Pleuronectiformess	4	9
	Tetrodontiformes	1	1
1	5	18	25

조기강 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

1) 붕장어과 Family Congridae

1. 붕장어 *Conger myriaster*

쏨뱅이목 Order Scorpaeniformes

2) 양볼락과 Family Scorpaenidae

2. 미역치 *Hypodytes rubripinnis*

3. 볼락 *Sebastes inermis*

4. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*

5. 불볼락 *Sebastes thompsoni*

3) 양태과 Family Platycephalidae

6. 양태 *HPlatycephalus indicus*

4) 쥐노래미과 Family Hexagrammidae

7. 노래미 *Hexagrammos agrammus*

8. 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*

농어목 Order Perciformes

5) 바리과 Family Serranidae

9. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

6) 동갈돔과 Family Apogonidae

10. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

7) 보리멸과 Family Sillaginidae

11. 청보리멸 *Sillago japonica*

8) 전갱이과 Family Carangidae

12. 전갱이 *Trachurus japonicus*

9) 도미과 Family Sparidae

13. 참돔 *Pagrus major*

10) 황줄베도라치과 Family Pholidae

14. 점베도라치 *Pholis crassispina*

15. 베도라치 *Pholis nebulosa*

11) 양동미리과 Family Pinguipedidae

16. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciatus*

12) 돛양태과 Family Callionymidae

17. 돛양태 *Repomucenus lunatus*

13) 망둥어과 Family Gobiidae

18. 도화망둑 *Chaeturichthys hexanema*

가자미목 Order Pleuronectiformes

14) 넙치과 Family Paralichthyidae

19. 넙치 *Pseudorhombus olivaceus*

15) 가자미과 Family Pleuronectidae

20. 홍가자미 *Hippoglossoides dubius*

21. 문치가자미 *Limanda yokohamae*

16) 납서대과 Family Soleidae

22. 각시서대 *Pseudaesopia japonica*

복어목 Order Tetodontiformes

17) 쥐치과 Family Monacanthidae

23. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

18) 참복과 Family Tetraodontidae

24. 줄복 *Takifugu pardalis*

25. 복섬 *Takifugu niphobles*

(나) 종조성

조사기간 동안 채집된 어종은 총 25종 1,061개체로 나타났고, 출현종의 개체수는 표 2-2-13과 같다.

그 결과 채집된 어종 중 미역치가 개체수 565개체(총 출현량의 53.25%)로 가장 우점하였다. 다음으로 쌍동가리가 94개체(총 출현량의 8.86%)로 우점하였고, 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 38개체가 출현하여 우점하였다.

월별 출현개체수와 종수는 7월에 591개체, 22종이 출현하였고, 10월에는 470개체, 24종이 출현하여, 출현개체수는 감소한 반면, 출현종수는 늘어난 것을 알 수 있었다.

월별 출현 우점종을 살펴보면 7월에 미역치가 319개체(총 출현량의 53.98%)로 가장 우점하였다. 다음으로 조피볼락이 23개체(총 출현량의 3.89%)로 우점하였고, 열동가리돔(*Apogon lineatus*)은 22개체가 출현하여 우점하였다. 10월에도 미역치가 246개체(총 출현량의 52.34%)로 가장 우점하였다. 다음으로 쌍동가리가 49개체(총 출현량의 10.43%)로 우점하였고, 참돔(*Pagrus major*)은 20개체가 출현하여 우점하였다.

바다목장화를 실시한 구역과 비실시한 구역의 월별 동향의 경우, 7월은 실시 구역에 228개체, 22종이 출현하였고, 비실시 구역은 363개체, 18종이 출현하였다. 10월에는 시설 구역이 204개체, 23종이 출현하였고, 비실시 구역은 266개체, 18종이 출현하였다. 즉 실시 구역이 비실시 구역에 비해 많은 종이 나타났으나, 개체수는 적게 나타난 것을 알 수 있었다. 이는 비실시 구역의 경우 미역치가 시설구역에 비해 많이 출현하기 때문으로 보아

진다.

표 2-2-13. 통영주변해역의 부어류의 종조성('05, 7 ~ '05, 10)

Species	Month	July		October		Total	
		Inside	Outside	Inside	Outside	Inside	Outside
<i>Conger myriaster</i>		6	0	10	4	16	4
<i>Hypodytes rubripinnis</i>		72	247	51	195	123	442
<i>Sebastes inermis</i>		10	6	6	2	16	8
<i>Sebastes schlegeli</i>		15	8	10	5	25	13
<i>Sebastes thompsoni</i>		4	2	0	1	4	3
<i>Platycephalus indicus</i>		5	0	3	1	8	1
<i>Hexagrammos agrammus</i>		8	3	11	0	19	3
<i>Hexagrammos otakii</i>		11	4	1	0	12	4
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>		0	0	5	0	5	0
<i>Apogon lineatus</i>		9	13	10	6	19	19
<i>Sillago japonica</i>		3	5	4	0	7	5
<i>Trachurus japonicus</i>		8	0	0	0	8	0
<i>Pagrus major</i>		7	6	13	7	20	13
<i>Pholis crassisпина</i>		3	5	2	0	5	5
<i>Pholis nebulosa</i>		8	7	5	3	13	10
<i>Parapercis sexfasciatus</i>		22	23	29	20	51	43
<i>Repomucenus lunatus</i>		0	0	2	0	2	0
<i>Chaeturichthys hexanema</i>		6	10	9	4	15	14
<i>Paralichthys olivaceuss</i>		3	2	5	2	8	4
<i>Limanda yokohamae</i>		7	5	10	5	17	10
<i>Hippoglossoides dubius</i>		0	0	6	4	6	4
<i>Pseudaesopia japonica</i>		5	3	1	1	6	4
<i>Thamnaconus modestuss</i>		10	0	3	2	13	2
<i>Takifugu pardalis</i>		2	4	3	1	5	5
<i>Takifugu niphobless</i>		4	10	5	3	9	13
Total		228	363	204	266	432	629
Number of species		22	18	23	18	25	22

(2) 저어류 조사

(가) 출현종

조사기간 동안 소형저인망에 채집된 저어류는 총 2강 7목 23과 33종이 채집되었다. 채집된 어류는 7목 중에서 농어목 어류가 10과 11종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 가자미목 어류가 4과 9종이 출현하였으며, 쏨뱅이목 어류가 4과 8종이 출현하였다. 그리고 북어목 어류가 2과 2종이 출현하였고, 홍어목, 뱀장어목, 대구목 어류는 각각 1과 1종씩 출현하였다(표 2-2-14).

표 2-2-14. 통영해역에서 저어류의 분류군 ('05, 7~'05, 10)

Class	Orders	Families	Species
Chondrichthyes	Rajiformes	1	1
	Anguilliformes	1	1
	Gadiformes	1	1
Actinoerygii	Scorpaeniformes	4	8
	Perciforme	10	11
	Pleuronectiformess	4	9
	Tetrodontiformes	2	2
2	7	23	33

연골어강 Class Chondrichthyes

홍어목 Order Rajiformes

1) 가오리과 Family Rajidae

1. 홍어 *Muraenesax cinereus*

조기강 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

2) 붕장어과 Family Congridae

2. 붕장어 *Conger myriaster*

대구목 Order Gadiformes

3) 민태과 Family Macrouridae

3. 줄비늘치 *Coleorhynchus multispinulosus*

쏨뱅이목 Order Scorpaeniformes

4) 양볼락과 Family Scorpaenidae

4. 미역치 *Hypodytes rubripinnis*

- 5. 볼락 *Sebastes inermis*
- 6. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*
- 7. 불볼락 *Sebastes thompsoni*
- 5) 양태과 Family Platycephalidae
 - 8. 양태 *HPlatycephalus indicus*
- 6) 가시양태과 Family Hoplichthyidae
 - 9. 가시양태 *Hoplichthys longsdorffi*
- 7) 쥐노래미과 Family Hexagrammidae
 - 10. 노래미 *Hexagrammos agrammus*
 - 11. 쥐노래미 *Hexagrammos otakii*

농어목 Order Perciformes

- 8) 바리과 Family Serranidae
 - 12. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*
- 9) 동갈돔과 Family Apogonidae
 - 13. 열등가리돔 *Apogon lineatus*
- 10) 보리멸과 Family Sillaginidae
 - 14. 청보리멸 *Sillago japonica*
- 11) 전갱이과 Family Carangidae
 - 15. 전갱이 *Trachurus japonicus*
- 12) 주둥치과 Family Leiognathidae
 - 16. 주둥치 *Leiognathus muchalis*
- 13) 도미과 Family Sparidae
 - 17. 참돔 *Pagrus major*
- 14) 황줄베도라치과 Family Pholidae
 - 18. 점베도라치 *Pholis crassispina*
 - 19. 베도라치 *Pholis nebulosa*
- 15) 양동미리과 Family Pinguipedidae
 - 20. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciatus*
- 16) 돛양태과 Family Callionymidae
 - 21. 돛양태 *Repomucenus lunatus*
- 17) 망둥어과 Family Gobiidae
 - 22. 도화망둑 *Chaeturichthys hexanema*

가자미목 Order Pleuronectiformes

- 18) 넙치과 Family Paralichthyidae

- 23. 별넙치 *Pseudorhombus cinnamoneus*
- 24. 점넙치 *Pseudorhombus pentophthalmus*
- 25. 넙치 *Pseudorhombus olivaceus*

19) 가자미과 Family Pieuronectidae

- 26. 물자가미 *Eopsetta grigorjewi*
- 27. 홍가자미 *Hippoglossoides dubius*
- 28. 문치가자미 *Limanda yokohamae*

20) 납서대과 Family Soleidae

- 29. 각시서대 *Pseudaesopia japonica*
- 30. 노랑각시서대 *Zebrias fasciatus*

21) 참서대과 Family Cymoglossidae

- 31. 개서대 *Cynoglossus robustus*

복어목 Order Tetradontiformes

22) 쥐치과 Family Monacanthidae

- 32. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

23) 참복과 Family Tetraodontidae

- 33. 줄복 *Takifugu pardalis*

(나) 종조성

조사기간 동안 채집된 어종은 총 33종 38,540개체로 나타났고, 출현종의 개체수는 표 2-2-15과 같다.

그 결과 채집된 어종 중 미역치가 개체수 37,551개체(총 출현량의 97.43%)로 가장 우점하였다. 그 외의 어종들은 1%미만으로 적은 출현량을 보였다.

월별 출현개체수와 종수는 7월에 20,195개체, 28종이 출현하였고, 10월에는 18,345개체, 31종이 출현하여, 출현개체수는 감소한 반면, 출현종수는 늘어난 것을 알 수 있었다.

월별 출현 우점종을 살펴보면 7월에 미역치가 19,741개체(총 출현량의 97.75%)로 가장 우점하였다. 10월에도 미역치가 17,810개체(총 출현량의 97.08%)로 가장 우점하였다.

바다목장화을 실시한 구역과 비실시한 구역의 월별 동향의 경우, 7월은 실시 구역에 9,352개체, 28종이 출현하였고, 비실시 구역은 10,843개체, 26종이 출현하였다. 10월에는 시설 구역이 8,940개체, 31종이 출현하였고, 비실시 구역은 9,405개체, 26종이 출현하였다. 즉 실시 구역이 비실시 구역에 비해 많은 종이 나타났으나, 개체수는 적게 나타난 것을 알 수 있었다. 이는 비실시 구역의 경우 미역치가 시설구역에 비해 많이 출현하기 때문으로 보아진다.

표 2-2-15. 통영주변해역의 저어류의 종조성('05, 7 ~ '05, 10)

Species	Month		July		October		Total	
	Inside	Outside	Inside	Outside	Inside	Outside	Inside	Outside
<i>Muraenesax cinereus</i>	26	12	10	6	36	18		
<i>Conger myriaster</i>	34	17	52	21	86	38		
<i>Coleorhynchus multispinulosus</i>	11	8	0	0	11	8		
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	9065	10676	8567	9243	17632	19919		
<i>Sebastes inermis</i>	14	6	3	0	17	6		
<i>Sebastes schlegeli</i>	9	3	17	8	26	11		
<i>Sebastes thompsoni</i>	3	1	2	0	5	1		
<i>Platycephalus indicus</i>	5	3	6	2	11	5		
<i>Hoplichthys longsdorffii</i>	4	2	3	3	7	5		
<i>Hexagrammos agrammus</i>	13	7	14	0	27	7		
<i>Hexagrammos otakii</i>	8	2	13	6	21	8		
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	0	0	8	4	8	4		
<i>Apogon lineatus</i>	7	3	10	7	17	10		
<i>Sillago japonica</i>	7	6	11	5	18	11		
<i>Trachurus japonicus</i>	10	8	0	0	10	8		
<i>Leiognathus nuchalis</i>	0	0	5	8	5	8		
<i>Pagrus major</i>	5	3	9	3	14	6		
<i>Pholis crassispina</i>	3	1	8	2	11	3		
<i>Pholis nebulosa</i>	14	11	26	9	40	20		
<i>Parapercis sexfasciatus</i>	19	21	54	36	73	57		
<i>Repomucenus lunatus</i>	0	0	3	2	3	2		
<i>Chaeturichthys hexanema</i>	42	29	31	10	73	39		
<i>Pseudorhombus cinnamoneus</i>	4	2	9	2	13	4		
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	0	0	3	1	3	1		
<i>Paralichthys olivaceus</i>	5	3	8	2	13	5		
<i>Limanda yokohamae</i>	6	2	19	5	25	7		
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	3	1	2	0	5	1		
<i>Hippoglossoides dubius</i>	0	0	5	4	5	4		
<i>Cynoglossus robustus</i>	17	10	23	9	40	19		
<i>Pseudaesopia japonica</i>	5	2	4	2	9	4		
<i>Zebrias fasciatus</i>	3	0	6	3	9	3		
<i>Thamnaconus modestus</i>	8	4	5	2	13	6		
<i>Takifugu pardalis</i>	2	0	4	0	6	0		
Total	9352	10843	8940	9405	18292	20248		
Number of species	28	26	31	26	33	32		

바. 연도별 출현 양상

(1) 저인망에 의해 채집된 어류

2001년부터 2005년까지 저인망에 의해 채집된 저어류의 경우, 7월(8월)과 10월에 채집된 어류가 총 71,586개체, 53종이 출현하였다. 그중 전체 조사기간 동안 출현한 어종들은 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*), 베도라치(*Pholis nebulosa*), 쌍동가리, 도화망둑(*Chaeturichthys hexanema*), 문치가자미(*Limanda yokohamae*), 각시서대(*Pseudaesopia japonica*) 등 6종이었다 (표 2-2-16).

조사기간 동안의 우점종을 살펴보면, 미역치가 69,367개체로 전체 출현량의 96.90%를 차지하여 다른 어종에 비해 수적으로 월등하게 나타났고, 그 외의 종들은 1%미만으로 낮게 나타났다.

2001년부터 2005년까지 출현량은 2001년에 4,845개체로 나타났으나, 2002년에는 급격히 감소하기 시작하여 2003년에는 271개체만이 출현하였다. 그러나 2004년에 25,410개체로 출현량이 상승하여 2005년에는 38,540개체가 출현하였다. 어종간의 출현량의 경우 2001년부터 2004년까지는 몇몇 개체들이 주 종을 이루었으나, 2005년에는 2004년에 비해 대부분의 어종들의 출현량이 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나, 연도별 출현량은 미역치의 출현량에 가장 큰 영향을 받는 것으로 조사되었다.

표 2-2-16. 2001년부터 2005년까지의 저인망에 의해 채집된 어류의 연간 출현양상

Species	Month						Total
	2001	2002	2003	2004	2005		
<i>Muraenesax cinereus</i>	0	20	0	41	54	115	
<i>Raja acutispina</i>	18	0	0	87	0	105	
<i>Conger myriaster</i>	2	49	0	88	124	263	
<i>Coleorhynchus multispinulosus</i>	0	0	0	8	19	27	
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	4,762	2,134	0	24,920	37,551	69,367	
<i>Inimicus japonicus</i>	0	1	0	0	0	1	
<i>Sebastes inermis</i>	0	0	0	3	23	26	
<i>Sebastes schlegeli</i>	3	2	0	8	37	50	
<i>Sebastes thompsoni</i>	0	0	0	0	6	6	
<i>Sebasticus marmoratus</i>	1	1	0	0	0	2	

표 2-2-16. 계속

Species	Month					Total
	2001	2002	2003	2004	2005	
<i>Lepidotrigla microptera</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Platycephalus indicus</i>	0	0	0	0	16	16
<i>Hoplichthys longsdorffii</i>	0	0	0	5	12	17
<i>Lepidotrigla microptera</i>	0	3	0	0	0	3
<i>Hexagrammos agrammus</i>	0	2	9	5	34	50
<i>Hexagrammos otakii</i>	2	2	5	4	29	42
<i>Myoxocephalus joak</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Liparis tanakai</i>	0	0	1	1	0	2
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	0	0	0	0	12	12
<i>Apogon lineatus</i>	0	1	5	5	27	38
<i>Apogon semilineatus</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Sillago japonica</i>	0	20	18	18	29	85
<i>Trachurus japonicus</i>	0	11	4	4	18	37
<i>Upeneus moluccensis</i>	2	0	0	0	0	2
<i>Leiognathus nuchalis</i>	2	46	0	0	13	61
<i>Pagrus major</i>	0	0	5	5	20	30
<i>Zoarces gilli</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Pholis crassispina</i>	0	0	5	5	14	24
<i>Pholis nebulosa</i>	11	16	20	19	60	126
<i>Parapercis sexfasciatus</i>	20	13	99	93	130	355
<i>Champsodon snyderi</i>	0	2	0	0	0	2
<i>Repomucenus lunatus</i>	0	8	0	0	5	13
<i>Chaeturichthys hexanema</i>	5	3	32	28	112	180
<i>Sagamia geneioma</i>	1	1	0	0	0	2
<i>Pterogobius zacalles</i>	6	2	0	0	0	8

표 2-2-16. 계속

Species	Month	2001	2002	2003	2004	2005	Total
	<i>Chaeturichthys sciastius</i>		0	20	0	0	0
<i>Chaeturichthys stigmatias</i>		0	135	0	0	0	135
<i>Sphyraena pinguis</i>		2	0	0	0	0	2
<i>Pseudorhombus cinnamoneus</i>		0	0	7	7	17	31
<i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>		1	0	2	1	4	8
<i>Paralichthys olivaceus</i>		0	0	0	0	18	18
<i>Clidoderma asperrimum</i>		0	0	2	2	0	4
<i>Kareius bicoloratus</i>		2	2	0	0	0	4
<i>Eopsetta grigorjewi</i>		0	2	0	0	6	8
<i>Hippoglossoides dubius</i>		0	0	8	8	9	25
<i>Limanda yokohamae</i>		1	4	6	11	32	54
<i>Pseudaesopia japonica</i>		3	7	6	4	13	33
<i>Zebrias fasciatus</i>		0	0	9	8	12	29
<i>Cynoglossus joyneri</i>		0	9	0	0	0	9
<i>Cynoglossus robustus</i>		0	0	27	21	59	107
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>		0	1	0	0	0	1
<i>Rudarius ercodes</i>		0	0	0	0	19	19
<i>Takifugu pardalis</i>		0	0	1	1	6	8
Total		4,845	2,520	271	25,410	38,540	71,586
Number of species		19	31	20	28	33	53

제 3 절 환경호르몬

1. 서론

PCBs(polychlorinated biphenyls) 화합물은 비페닐에 1개에서 10개의 염소기가 붙은 화합물로서 이론상 총 209개의 congener로 구성되며, 혼합물의 형태로 생산·판매되었다. 열과 화학 반응에 안정한 성질 때문에 절연액, 유압액, 윤활유, 플라스틱제, 밀폐제, 복사용지 등에 널리 사용되었으며 (Erickson, 1992), 1930년부터 1993년까지 63년간 세계적으로 약 1.3×10^6 톤이 생산된 것으로 추정된다 (Breivik *et al.*, 2001). PCBs는 1970년대 후반에 생산이 중단되었으나, 그 당시 생산된 PCBs를 포함하는 제품이 아직까지 사용되고 있으며 일부는 폐기처리 과정에서 제대로 수거되지 못하여 환경으로 유입되고 있다. PCB 화합물은 대표적인 PBT(persistent, bioaccumulative and toxic chemicals) 화합물에 속한다. 또한 여러 산업공정 중 다이옥신과 함께 부차적으로 생성된다. 또한 UNEP가 잔류성 유기오염물질 (POPs, persistent organic pollutants)로 구분하여 우선적으로 감시하는 화합물에 포함된다. PCB 화합물은 지방친화성 (lipophilicity), 잔류성 (persistency), 반휘발성 (semi-volatility), 높은 독성(Toxicity)의 POPs 화합물의 대표적 성질을 갖는다. 낮은 용해도와 지방 친화성으로 인해 지방조직에 빠르게 축적되며, 축적된 화합물은 체내에 장시간 잔류하며 먹이사슬을 통해 생물확대 된다. 물리·화학적 난분해성은 환경내로 배출된 후 각 매질에서 오랜시간 잔류하게 하는데, 물리적 환경 및 생체내에서의 반감기는 온도, 빛, pH, 습도, 생물적 조건 등에 따라 수일에서 수십년에 이른다 (Cortes *et al.*, 1998; Sinkkonen and Paasivirata, 2000; Goerke and Weber, 2001). 또한 반휘발적 성향으로 인해 상당량이 대기를 통해 넓은 지역으로 확산 이동되고, 그 결과로서 이들 화합물이 사용된 적이 없는 극지방 및 대양의 다양한 매질에서 검출되고 있다 (Iwata *et al.*, 1993; Muir *et al.*, 1995; Allen-Gil *et al.*, 1997; Hargrave *et al.*, 2000, Montone *et al.*, 2001).

유기주석화합물은 가장 많이 사용되는 유기금속의 일종으로 1925년에 나방 방제용으로 처음으로 도입되었으며, 1960년대 부터 병원균의 숙주가 되는 담수산 달팽이류를 구제하는 목적으로 사용된 이래, 농업 및 공업에 다양한 용도로 널리 쓰여왔다(Thompson *et al.*, 1985). 유기주석화합물의 가장 주요한 용도는 PVC와 같은 중합체에 열안정제(heat stabilizers)로 사용되는 것과 농업용 살생물제(biocides)로 쓰이는 것을 들 수 있다. 유기주석화합물 중 트리부틸주석(TBT)은 선박과 해양구조물의 오손생물 부착을 막는 방오도료에 사용되고 있다. 방오도료에 사용되는 TBT는 프랑스 아카송만에서 굴 양식에 미치는 영향이 알려지면서(Alzieu, 1986) 비표적생물에 영향을 미치는 위험한 독성물질로 분류되고 있다. 현재까지의 일련의 연구에서 TBT는 굴의 패각기형 및 굴 치패의 채묘(spat fall)를 방해(Alzieu, 1986; 1991), 유생의 성장저해 및 치사(Beaumont and Budd, 1984;

Roberts, 1987), 복족류의 임포섹스 유발(Bryan *et al.*, 1986) 및 생체내 해독효소 저해(Fent and Stegeman, 1993) 등의 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다.

TBT의 해양 유입경로는 방오도료가 도말된 선박 또는 해양구조물 표면으로부터의 용출이 대부분을 차지하며 일부는 하수 및 폐수를 통해 유입되기도 한다. TBT는 3개의 부틸기를 포함하고 있어 강한 소수성(hydrophobicity)을 갖기 때문에 부유입자에 흡착되거나 생물체에 빠르게 농축되게 된다(Dowson *et al.*, 1993). TBT의 LogK_{ow}(octanol-water partitioning coefficient) 값은 4.3-4.6 범위로 보고되고 있으며(Thompson *et al.*, 1985), 생물농축계수(bioconcentration factor)는 생물종에 따라 다른 값을 보이거나 일반적으로 수천에서 수만에 이르는 값을 보이고 있다. 부유입자 및 생물체에 농축된 TBT의 반감기는 짧게는 수개월에서 수년까지로 보고되고 있어 지속성을 겸비한 독성물질로 분류되고 있다.

TBT의 이런 지속성, 생물농축성, 비표적생물에 미치는 독성 등은 선진국을 중심으로 1980년대 부터 사용금지를 법제화하도록 하였으며, 국제해사기구에서는 2003년부터 모든 선조선에 TBT 함유 방오도료의 사용을 금지하는 협약을 채택하였으며, 2008년에는 모든 선박에 TBT 잔존금지를 포함하고 있다. 우리나라의 경우 2000년에 소형선박을 시작으로 단계적으로 사용을 규제하였으며, 2003년 11월부터 TBT를 함유한 방오도료의 신규 사용을 전면규제하고 있다.

알킬페놀폴리에톡실레이트(Alkylphenolpolyethoxylates, APnEOs)의 분해물질인 노닐페놀(nonylphenol, NP), 옥틸페놀(t-octylphenol, t-OP) 등 알킬페놀(APs) 화합물과 클로로페놀(chlorophenols), 비스페놀A(bisphenol A, BPA)는 내분비계장애물질로 널리 알려진 페놀류화합물이다 (Madigou *et al.*, 2001). 저렴한 가격과 강한 세척력으로 인하여 APnEOs는 공업용 및 가정용 세제로 광범위하게 사용될 뿐만 아니라 계면활성제로도 많이 사용되어 왔다 (Hawrelak *et al.* 1999). 지난 50년 동안 세계적으로 매년 500,000톤의 알킬페놀폴리에톡실레이트가 생산되었다. 비록 알킬페놀폴리에톡실레이트는 물에 쉽게 용해되고 생물 및 빛에 의한 분해가 빠를 뿐만 아니라 (La Guardia *et al.*, 2001) 생물 혹은 인체에 대한 독성도 약하지만 이들의 분해산물인 알킬페놀 화합물은 그 구조적 특성과 친지성 특성으로 인하여 자연환경에서 지속성 및 농축성의 (Ferrara *et al.*, 2001; Kenth *et al.*, 2001) 특성을 보이고 있다. 비스페놀A는 각종 고분자물질들의 선구물질로 또는 윤활제로 많이 사용되어 왔다 (Staples *et al.* 2000). 따라서 일상생활에 사용되고 있는 많은 고분자물질과 공업용 및 건축용 고분자물질들은 모두 일정한 양의 비스페놀A를 함유하고 있다 (Sajiki, 2001). 현재 알킬페놀폴리에톡실레이트와 같은 계면활성제가 국내에서 대량 생산되어 사용되고 있는 실정이다.

해역의 오염도를 측정하기 위해서는 해수, 퇴적물, 해양생물을 주요 대상으로 하고 있으며, 구성 매체별로 중금속은 다양한 형태 및 농도를 나타낸다. 일반적으로 해양에서 중금속은 극미량으로 존재하고 있으며, 근래의 중금속 농도는 1980년대 이전에 비해 1/10

에서 1/1,000 수준까지 낮은 농도인 것으로 보고되었는데, 이것은 중금속 자료 획득을 위한 전체 과정에 청결기술이 적용되고, 분석 기기의 발달에 따른 것이다(Windom *et al.*, 1991). 청결기술은 시료채취, 보관, 분석 과정에 발생할 수 있는 중금속의 오염을 최소화시키는 것으로 무오염 채취기술, 시료병 및 채취 기구의 재질 향상과 엄격한 세척과정, 초고순도 시약의 사용, 초청정 실험환경 등이 갖추어져야 한다. 자연수의 경우는 오차가 심하게 나타날 수 있으며, 이보다 분석 오차가 적은 해양 퇴적물도 IAEA에서 실시한 연구실간의 상호검증연구 결과 대부분의 중금속 농도는 5배 이상의 차이를 나타내고 있으며, 분석의 신뢰는 엄격한 관리가 있어야만 서로의 자료를 비교 대상으로 할 수 있는 것으로 나타났다(Coquery *et al.*, 2000). 따라서 청결 기술을 적용하지 않고 획득된 자료는 실제 농도보다 과대 평가될 수 있으므로 정확한 분포, 거동, 환경 평가 및 변화 추세를 파악하기 위한 자료로 이용하기 어려운 실정이다(Bruland, 1983; Burton and Statham, 1990).

오염도 측정에 있어 해수의 경우 변동성이 크고, 고도의 분석기술을 요구하는데 비하여 퇴적물의 경우 수년에서 수십년 단위의 장기간에 걸친 오염물질 축적을 측정할 수 있으며, 패류와 같은 해양생물은 일생동안 서식범위가 국한되어 있으면서 중금속, 유기오염물질 등을 생물 농축 시키기 때문에 수개월에서 수년간의 비교적 짧은 기간의 오염도 측정에 적용될 수 있다. 오염지표생물로서 세계적으로 널리 분포하는 종을 선택한다면 지역 또는 국가간의 오염도 비교가 가능하며, 이러한 개념으로 발전된 것이 세계 홍합감시(International Mussel watch)이며, 홍합 또는 굴 등을 이용하고 있다(NAS, 1980; Goldberg *et al.*, 1983). 한편 우리 나라에 서식하는 홍합속(*Mytilus*)의 종으로는 홍합(*Mytilus coruscus* Gould, 1861), 진주담치로 불리는 두 종(*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758과 *Mytilus gaiioprovincialis* Lamarck, 1819), 그리고 동해담치(*Mytilus grayanus* Dunker, 1853) 등 4종이 있으며(유, 1976; 제, 1989), 우리 나라 남해안에는 주로 진주담치(*Mytilus edulis*)가 분포하고 있는 것으로 나타난 바 있다(제 등 1990).

본 연구는 2005년 5월 통영바다목장 해역의 대표지역을 대상으로 퇴적물 및 이매패류의 환경호르몬 오염도를 측정해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 유기독성물질 오염

(1) 시료채취 방법

(가) 퇴적물 시료채취

표층퇴적물의 경우 2005년 5월 26일, 통영바다목장 중심해역 내에서 원칙적으로 통영 바다목장 중심해역을 대표할 수 있도록 22개 정점을 선정하여 채취하였으며, 빨질의 퇴적

물이 채취가 가능한 해역을 대상으로 하였다(그림 2-3-1). 퇴적물은 선박에서 반빈형 그랩 채니기(van Veen Type Grab Sampler)를 이용하여 채취하였다. 채취된 퇴적물에서 표층 5cm 이내를 유기용매로 미리 세척된 스테인레스 주걱으로 채취하였으며, 멸균된 갈색 유리병에 담아 선상에서 즉시 드라이아이스로 얼려 실험실로 운반한 후 분석 전까지 -20℃ 이하에서 냉동 보관하였다.

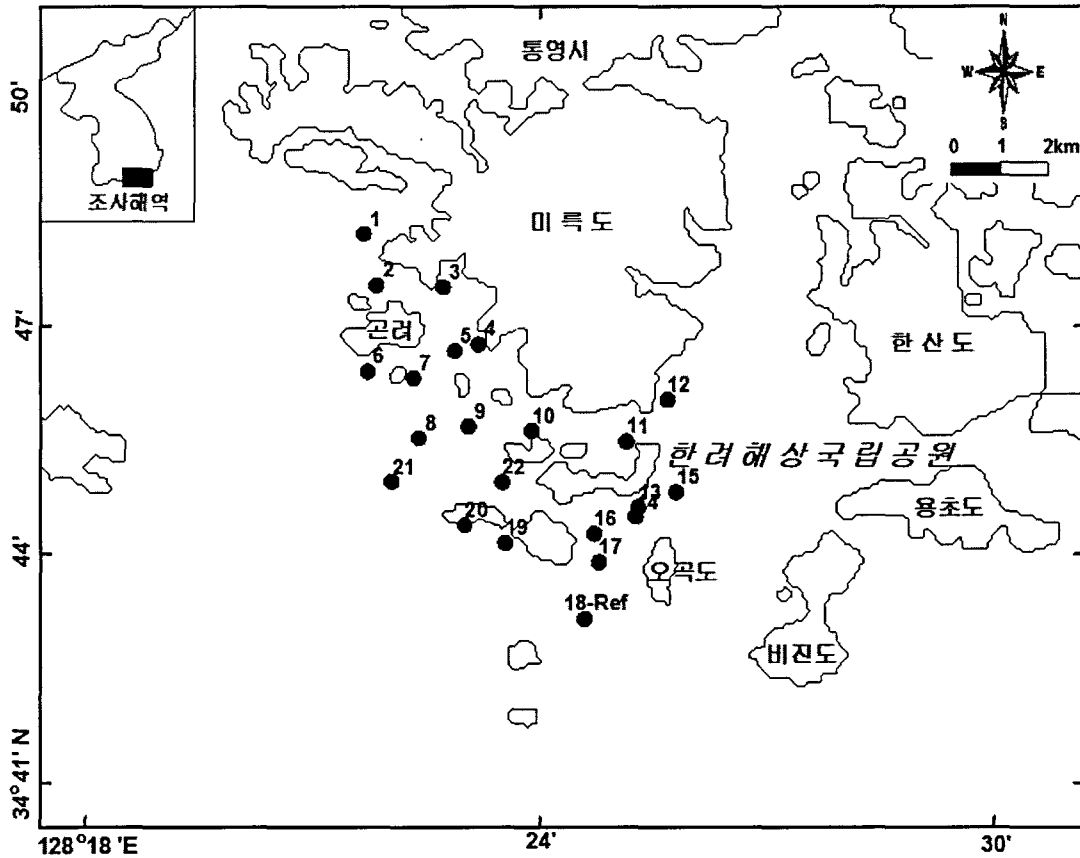


그림 2-3-1. 통영목장화 중심해역 주변의 표층퇴적물 시료채취 정점도.

(나)진주담치 시료채취

부착성 패류인 진주담치는 표층퇴적물 시료 채취 다음날인 2005년 5월 27일에 통영목장화 중심해역의 20개 정점에서 채집하였다(그림 2-3-2)1. 가능한 한 자연암반에 서식하는 진주담치를 채집하는 것을 원칙으로 하였으나, 그렇지 못한 해역에서는 브이연결 로프 및 기타 해양구조물에 부착된 진주담치를 채집하였다. 채취한 시료는 현장에서 패각 외부의 이물질을 제거하여 알루미늄호일에 쌓은 후 비닐백에 담아 현장에서 드라이아이스로 얼려 실험실로 옮겨 분석 전까지 -20℃이하에서 냉동 보관하였다. 진주담치는 실험실에서 분석 이전에 개체당 각장 및 육질 무게를 기록하였으며(각장 평균길이; 63.7±13.0mm, 개

체당 육질 무게; $5.3 \pm 2.5g$), 한 정점에서 최소 10개 이상의 개체를 조합시료로 만들어서 분석하였다.

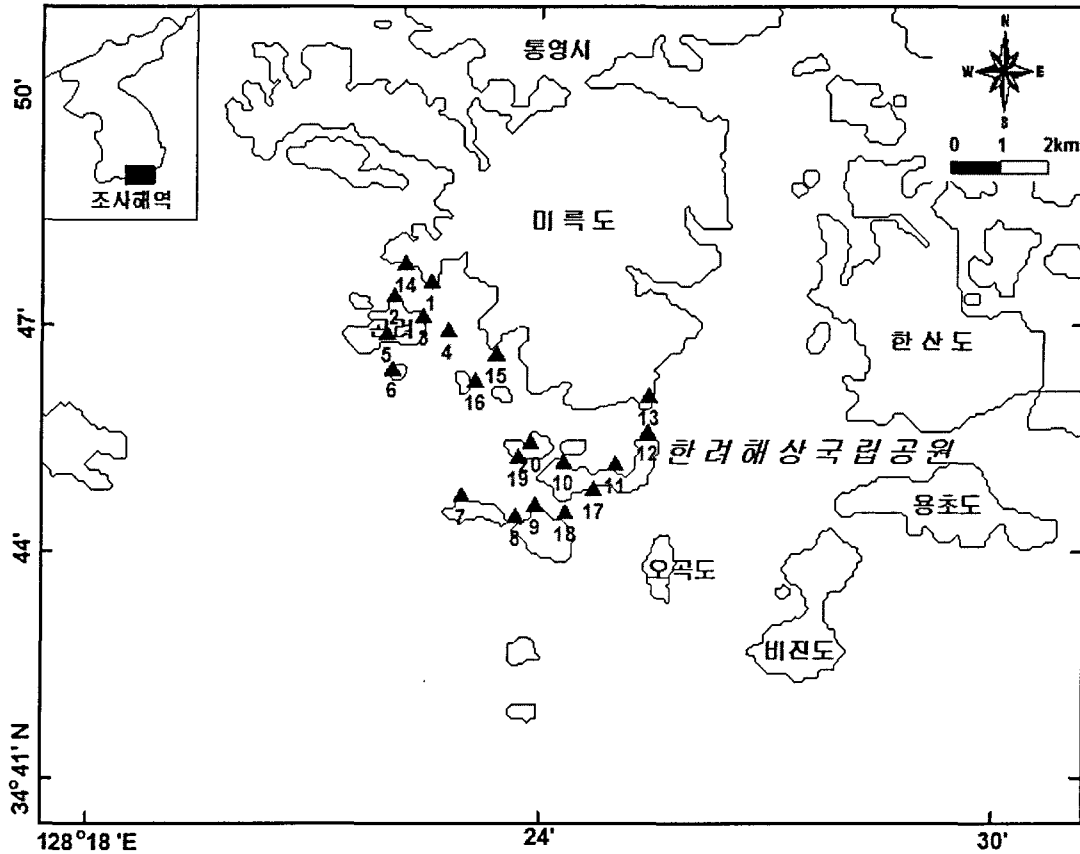


그림 2-3-2. 통영목장화 중심해역 주변의 진주담치 시료채취 정점도.

(2) 분석방법

(가) 폴리염화비페닐(PCBs)

퇴적물 및 생물 시료중의 PCB 화합물 분석방법은 Sloan *et al.* (1993)의 방법을 기초로 하였으며 일부 변형하여 분석하였다(Hong *et al.*, 2003). Soxhlet 추출법을 이용하여 추출한 후에 추출액중의 지방, 황 등의 분석방해 물질을 제거한 후 GC-ECD(전자 포획 검출기)를 사용하여 분석한다.

실험에 사용되는 초자기구, 유기용매, 흡착제, 표준물질 등은 다음과 같은 방법으로 세척, 정제 및 준비하여 사용한다. 실험에 사용되는 모든 초자기구는 세제로 깨끗이 세척하고 증류수로 잘 헹군 후에 건조기에서 건조시킨다. 알루미늄 호일로 입구를 밀봉한 후에 $450^{\circ}C$ 에서 4시간 태워서 사용한다. 건조된 초자기구를 디클로로메탄으로 세척한 알루미늄 호일로 입구를 밀봉한 후에 청결한 장소에 보관했다가 사용하기 전에 고순도 디클

로로메탄으로 닦아서 사용하여도 된다. 표준물질의 준비, 칼럼 크로마토그래피, 시료병과 실험에 사용되는 기구의 세척 등 실험에 사용된 모든 용매는 미국 Baxter사의 잔류농약 분석용 용매를 사용하는데 사용하기 전에 약 300배 정도 농축을 하여 기체 크로마토그래프 순도를 확인한 후에 사용한다. 알루미늄은 약 150 메쉬의 중성 알루미늄을 450℃에서 5시간 동안 건조시킨 후 120℃에서 보관하고 사용직전에 상온으로 식힌다. 상온의 알루미늄에 1%의 물을 첨가한 후에 완전히 섞어서 사용한다. 실리카겔은 100-200 메쉬의 실리카겔을 450℃에서 5시간 동안 건조시킨 후 170℃에서 보관하고 사용직전에 상온으로 식힌다. 상온의 실리카겔에 5%의 물을 첨가한 후에 완전히 섞어서 사용한다. 무수황산나트륨은 450℃에서 5시간 동안 건조시킨 후 120℃에서 보관하고 사용직전에 상온으로 식혀서 사용한다. 모래는 왕수에 하룻밤 동안 담가둔 후 증류수로 3회 세척하고 메탄올과 디클로로메탄으로 차례로 세척한 후 건조시킨다. 450℃에서 4시간 동안 태운 후 사용한다. 구리는 10-40 메쉬의 구리를 사용하기 1시간 전에 염산에 담가 5분간 유리막대로 저으면서 활성화시킨 후 메탄올로 2회 세척하고 디클로로메탄으로 3회 세척한다. 구리가 공기와 접촉하지 않도록 디클로로메탄에 담가두고 사용한다. 테플론 비등석(boiling chip)은 10-40 메쉬의 것을 속실렛 추출기에서 디클로로메탄으로 추출하여 정제한 후 사용한다. 유리섬유는 1ℓ 용량의 경질 유리 비이커에 매트형 유리섬유를 넣고 450℃에서 4시간 동안 태운 것을 사용한다. 분석에 소요된 표준물질은 NIST(미국), UltraScientific(미국), Supelco(미국)에서 구입하여 혼합 및 희석하여 사용하고, 표준물질 SRM(Standard Reference Material)은 NIST와 NRC(캐나다)에서 구입하여 사용한다.

내부 표준용액(Surrogate standard) 중 4,4'-dibromooctafluorobiphenyl (DBOFB)(순도 95% 이상), PCB103(순도 95% 이상), PCB198(순도 95% 이상)을 유기염소계화합물의 회수를 검정을 위한 내부 표준물질로 사용한다. GC 내부 표준용액(GC internal standard) 중 Tetrachloro-*m*-xylene(TCMX)는 PCB 화합물의 기체크로마토그래프 내부 표준용액으로 쓰인다. 표준용액은 PCBs 표준물질(순도 95% 이상)의 혼합액을 검정에 사용한다.

퇴적물 중의 PCBs의 분석은 다음의 방법을 따른다. 상온에서 해동시킨 시료 20g과 무수황산나트륨을 막자사발에 넣어 시료 내 수분을 제거한다. 이때 시료 2g은 건중량을 측정하기 위해 사용한다. 수분이 제거된 시료에 내부표준물질을 첨가한 후 디클로로메탄 200ml을 사용하여 16시간 이상 Soxhlet 추출한다. 추출액을 수 ml까지 농축시킨 후 소량의 구리를 첨가하여 황을 제거한 뒤 실리카·알루미나 컬럼을 이용하여 정제과정을 밟는다. 액체 크로마토그래프 컬럼에 유리섬유, 알루미늄 10g, 실리카겔 20g, 무수황산나트륨 10g을 순서대로 충전시킨 후 농축된 추출액을 넣어준 뒤 100ml 디클로로메탄을 이용하여 용출시킨다. 용출액을 농축기를 이용하여 수 ml로 농축시킨 후 8ml 바이알에 옮긴 후 다시 수 ml로 농축하여 HPLC 정제를 한다. 정제가 끝난 후 용출액은 Conical tube에 받아 농축기에서 1ml까지 줄인 후 노르말헥산으로 용매를 치환한다. 용매가 치환된 시료를 질

소가스 하에서 0.5ml로 농축시킨 뒤 기체크로마토그래프 내부 표준용액(TCMX)을 첨가하여 가스크로마토그래프 바이알에 옮겨 전자포획검출기가 장착된 가스크로마토그래피(GC-ECD)를 이용하여 분석한다.

생물시료는 상온에서 해동시킨 후 패각을 제거하고 250ml 유리병에 모은 뒤 조직분쇄기로 균질하게 갈아준다. 균질화된 시료 10g을 무수황산나트륨과 함께 막자사발에서 섞어주어 수분을 제거한다. 이때 2g 정도의 생물시료를 알루미늄 호일에 무게를 달아 건중량 측정에 사용한다. 수분이 제거된 시료는 퇴적물 시료에서와 같이 내부표준물질을 첨가한 뒤 Soxhlet 추출하고 실리카·알루미나 컬럼과 HPLC를 이용하여 정제과정을 밟는다. 단 생물시료의 경우 구리를 이용한 황을 제거하기 위한 과정을 거치지 않는다. 정제과정이 끝난 시료는 퇴적물에서와 동일하게 용매치환한 후 외부표준물질을 첨가하여 분석한다. 분석방법을 그림 2-3-3에 나타냈으며, 분석조건 및 대상화합물은 표 2-3-1과 표 2-3-2에 각각 기술하였다.

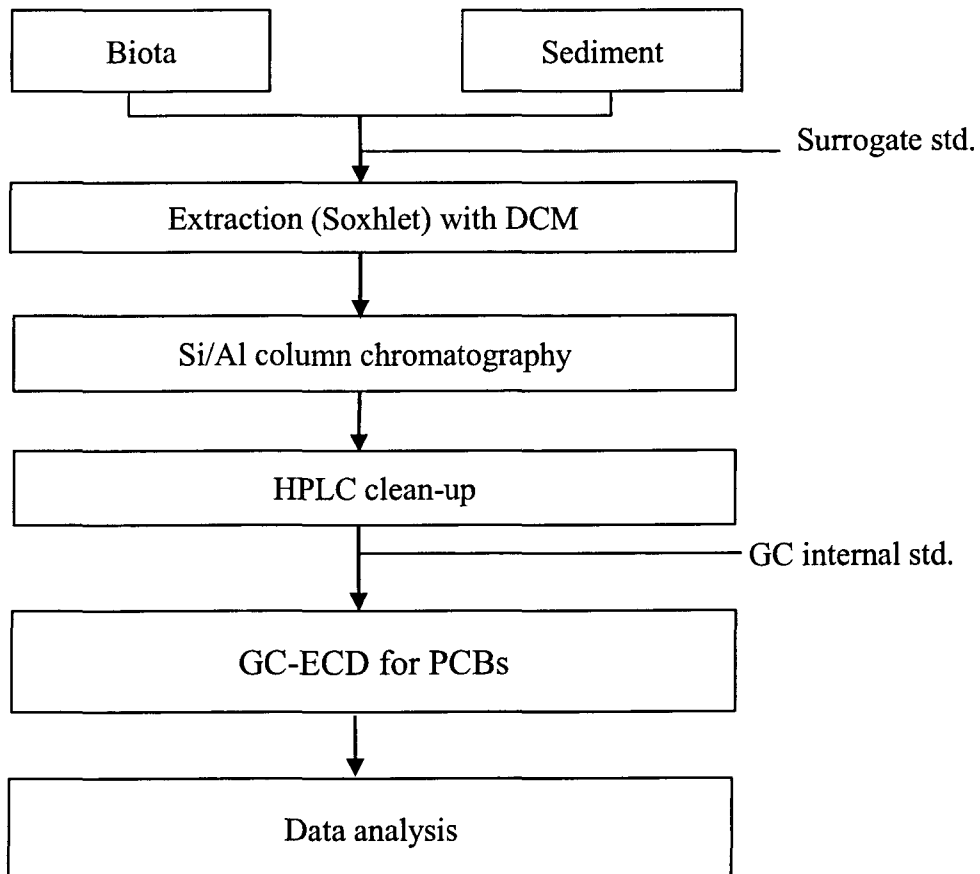


그림 2-3-3. 폴리염화비페닐의 개략적인 분석과정.

표 2-3-1. 폴리염화비페닐 분석을 위한 가스크로마토그래프의 분석조건

가스크로마토그래프: Agilent 6890
 검출기: 마이크로 전자포획검출기(μ ECD)
 컬럼 : DB-5 (30m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m Film)
 온도조건 :
 100 $^{\circ}$ C [5 $^{\circ}$ C/min, 1min] \rightarrow 140 $^{\circ}$ C [1.5 $^{\circ}$ C/min, 1min] \rightarrow
 250 $^{\circ}$ C [10 $^{\circ}$ C/min, 1min] \rightarrow 300 $^{\circ}$ C [5min]
 검출기 온도 : 300 $^{\circ}$ C
 시료주입부 온도 : 275 $^{\circ}$ C
 이동상 기체 : 헬륨 1.2-1.4 ml/min
 보조 기체 : 아르곤:메탄(95:5) 40ml/min
 시료주입 방식 : splitless
 시료주입 양 : 2 μ l

표 2-3-2. 분석대상 폴리염화비페닐 동위체 종류

동위체 그룹	분석대상 동위체
이염화 비페닐	CB8
삼염화 비페닐	CB18, CB28, CB29
사염화 비페닐	CB44, CB52, CB66
오염화 비페닐	CB87, CB101, CB105, CB110, CB118
육염화 비페닐	CB128, CB138, CB153
칠염화 비페닐	CB170, CB180
팔염화 비페닐	CB187, CB195, CB200
구염화 비페닐	CB206
십염화 비페닐	CB209

(나) 유기주석화합물

생물조직의 유기주석화합물의 분석은 Shim(2000)의 방법을 따랐으며, 정성·정량 분석하는 과정은 크게 다음의 5단계로 이루어진다(그림 2-3-4 : 1) 시료의 산처리(acid digestion), 2) 용매추출(solvent extraction), 3) 유도체화(derivatization), 4) 정제(clean-up), 5) 기기분석(instrumental analysis).

생물체의 육질부는 조직별로 Tekmar tissuemizer로 균질화하고 50ml 폴리프로필렌 원심분리관에 5.00±0.01g씩 담아 유기주석화합물을 분석하는데 사용하고, 알루미늄 호일에 균질화된 시료 2.00±0.01g을 담아 건중량 측정에 사용한다. 생물시료가 담긴 원심분리관에 내부표준물질로서 triphenyltin(0.8μg as chloride)을 넣은 후 50%(v/v) 염산을 10ml 넣어 30분간 방치한다. 방치가 끝나면 0.1% tropolone이 함유된 dichloromethane을 20ml 넣고, vortex로 섞은 후 3시간 동안 흔들어준다. 추출된 시료는 4000rpm에서 10분간 원심분리 시킨 후 2ml의 유기용매층을 15ml 유리 시험관에 옮겨 담는다. 시험관의 추출액은 질소가스 아래에서 25μl로 농축될 때까지 용매를 날려보낸 후 n-헥산 2ml를 넣어 용매를 치환한다. 여기에 2M propylmagnesium chloride를 250μl 넣고 15초간 vortex로 섞어주고 20분간 방치한다. 0.4N 황산을 4ml 첨가하여 반응하지 않은 propylmagnesium chloride를 중성화시킨 후에 4000rpm에서 10분간 원심분리한 후 유기용매층을 4ml의 n-헥산을 사용하여 12g activated florisil column에 통과시킨다. 정제된 시료는 질소가스 아래에서 용량을 수 μl 정도로 농축시킨 후, 내부표준물질로 tetrabutyltin(40μg)을 넣고 GC-FPD(gas chromatograph - flame photometric detector)로 분석한다. 시료 중 상대적으로 높은 농도를 보인 시료에 대해서는 GC/MS를 이용하여 유기주석화합물 여부를 정성적으로 확인하였다. GC-FPD의 운영조건은 표 2-1-3에 제시하였으며 및 분석의 질관리(Quality assurance and quality control) 자료는 Shim(2000)에 보고되어 있다.

퇴적물의 경우 동결건조된 퇴적물 5g을 취하였으며, 정제과정에서 activated florisil은 시료당 2 g을 사용한 것을 제외하고는 생물체의 분석과정과 동일한 과정 하에 분석하였다. 유기주석화합물 분석방법의 신뢰도는 유럽 BCR과 캐나다 National Research Council에서 공인된 표준물질(reference material; CRM-477 and PACS-1)의 분석을 통해 확인하였다.

(다) 노닐페놀과 비스페놀A

퇴적물과 생물시료에 함유되어 있는 분석대상물질은 Li et al.의(2003) 방법에 따라 분석하였다. 균질화 된 퇴적물 5 g을 FEP Teflon tube에 정확하게 취한다. 내부표준물질 BPA-d14를 적당량 주입한 후 0.1M 염산을 퇴적물 또는 생물시료에 첨가하여 시료가 염산에 잠기게 한다(필히 수용액의 pH를 확인하여야 함). Vortex를 이용하여 균일하게 섞은 다음 5분간 방치한다.

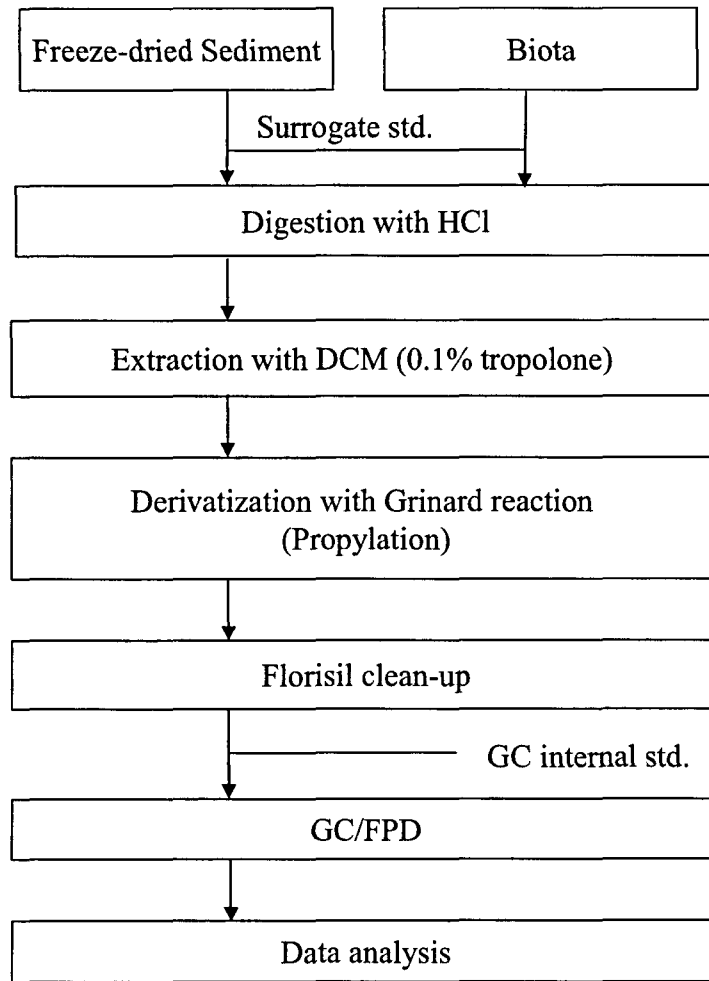


그림 2-3-4. 유기주석화합물의 개략적인 분석과정.

디클로르메탄 5ml을 첨가하고 Vortex를 이용하여 2분간 진탕 추출한다. 원심분리기(분당회전속도=3000)를 이용하여 디클로르메탄과 염산층을 분리한다. 이 과정을 3번 반복한다. 분리된 디클로르메탄을 15ml 원심분리 시험관에 옮기고 질소가스로 1ml까지 농축한다. 농축액에 약간의 무수황산나트륨을 첨가하여 수분을 제거한다. 이를 다시 8ml 작은 병에 옮기고 농축한 다음 깨끗한 구리 조각을 넣어 황을 제거한다. 질소가스를 이용하여 추출액을 농축하고 용매를 아세톤으로 바꾸어준다. 아세톤으로 용매치환 후 시료전처리 kit를 이용하여 유도체과정과 정제과정을 동시에 진행한다 (Li *et al.* 2001). 질소가스를 이용하여 페놀류 화합물이 함유되어 있는 용출액을 0.5ml 이하로 농축한다. 내부표준물질 100ng 되게 주입하고 용액의 최종 부피를 0.5 혹은 1ml로 정한다. GC/MS를 이용하여 분석물질의 농도를 측정하였다. 분석방법, 대상화합물, 기기조건을 각각 그림 2-3-5, 표 2-3-4, 표 2-3-5에 기술하였다.

표 2-3-3. 유기주석화합물 분석을 위한 가스크로마토그래프의 분석조건

가스크로마토그래프: HP 5890
 검출기 : 불꽃광학검출기(FPD)
 컬럼 : DB-5 (30m × 0.25 mm × 0.25 μm Film)
 온도조건 :
 50°C [2 min] → 150°C [10°C/min, 10min] →
 240°C [30°C/min, 5min] → 300°C [5min]
 검출기 온도 : 250°C
 시료주입부 온도 : 225°C
 이동상 기체 : 헬륨 1.0 ml/min
 보조 기체 : 헬륨 35ml/min
 불꽃점화 기체 : 수소 170ml/min
 불꽃점화 기체 : 공기 100ml/min
 시료주입 방식 : splitless
 시료주입 양 : 2 μl

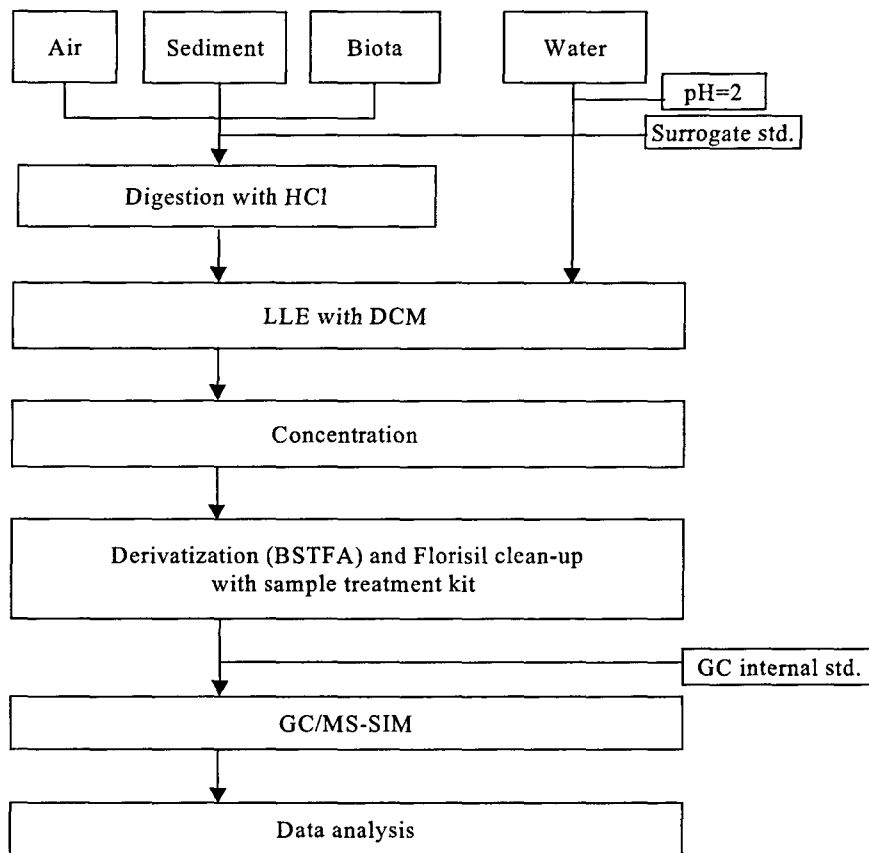


그림 2-3-5. 노닐페놀과 비스페놀A의 개략적인 분석과정.

표 2-3-4. 분석대상 노닐페놀 및 비스페놀A의 질량분석분석을 위한 내부표준물질 및 정량화 이온 종류

Compounds	Target m/z	Confirmation m/z	IS
Nonylphenol	221	207	IS1
Bisphenol A	372	357	IS2
Bisphenol A- <i>d</i> 14(surrogate)	386	368	IS2
Phenanthrene- <i>d</i> 10 (IS1)	188		
Pyrene- <i>d</i> 10 (IS2)	212		

표 2-3-5. 노닐페놀과 비스페놀A 분석을 위한 가스크로마토그래프-질량분석기의 분석조건

가스크로마토그래프 조건

컬럼 : DB-5 (30m × 0.32 mm × 0.2 μm Film)

온도조건 : 50℃ (2 min) → 100℃ [20℃/min] → 200℃ [10℃/min]
→ 290℃ [20℃/min,3min]

이동상 기체 : 헬륨, 40kPa, 50 mL

시료주입부 온도 : 280℃

시료주입 방식 : splitless

시료주입 양 : 2 μl

질량분석기 조건

인터페이스 온도 : 280 ℃

스캐닝 범위 : m/z 35 - 400

이온화 전압 : 70 eV

모니터링 방법 : Selected Ion Monitoring(SIM)

나. 중금속 오염

(1) 시료채취 방법

(가) 퇴적물 시료채취

통영해역 바다목장화 중심해역의 오염 평가를 위하여 2005년 5월 25-26일에 해양 표층 퇴적물과 부착성 패류인 진주 담치를 각각 1회씩 채취하였다.

퇴적물은 22개 정점에서 반빈형 그랩 채니기(van Veen Type Grab Sampler)를 이용하여 채취하였다(그림 2-3-6, 2-3-7). 중금속 분석을 위하여 그랩의 금속부분과 접하지 않은 표층부 1-2cm정도를 폴리에틸렌 스푼으로 취하여 60mL 폴리에틸렌 병에 담아서 -20℃이하로 냉동하였다. 시료는 실험실에서 동결건조기(Labconco, FREEZONE 6)로 건조한 후 패각을 대부분을 제거하고, 200mesh 체를 통과하도록 Agate 분쇄기(Fritsch, puluerisette 6)로 분쇄한 다음 강열감량, COD 및 중금속 분석에 사용하였다.

(나) 진주담치 시료채취

진주담치는 조사 해역에서 어장의 닛 고정용 로프, 부이 또는 암반 등에 서식하고 있는 것을 20개 정점에서 채취하였다. 채취된 시료 패각에 붙어있는 이물질의 제거하고, 소화관내에 들어 있는 먹이 찌꺼기와 퇴적물에 의한 중금속 농도 영향을 제거하기 위하여 여과한 해수를 이용하여 6시간 간격으로 24시간 동안 청장(Depuration)시켰다. 청장이 끝난 진주담치는 정점별로 비닐백에 담아서 드라이아이스로 냉동하여 실험실로 옮겼다. 실험실에서 각 정점별로 20개체를 취하여 개체별로 크기와 무게를 측정 후 폴리카보네이트 재질의 칼로 제각(Shucking)한 후 블렌더로 균질화 하여 분석에 사용하였으며, 시료 일부를 취하여 건조기에서 건조하여 수분농도를 구하였다. 한편 시료는 가능한 지점내·외간에 개체 크기 편차를 최소화하도록 하였다.

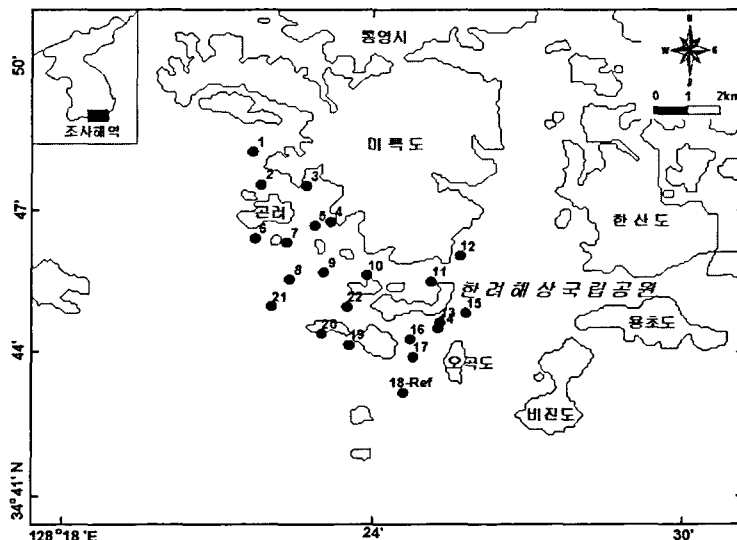


그림 2-3-6. 통영목장화 중심해역 주변의 표층퇴적물 시료채취 정점도.

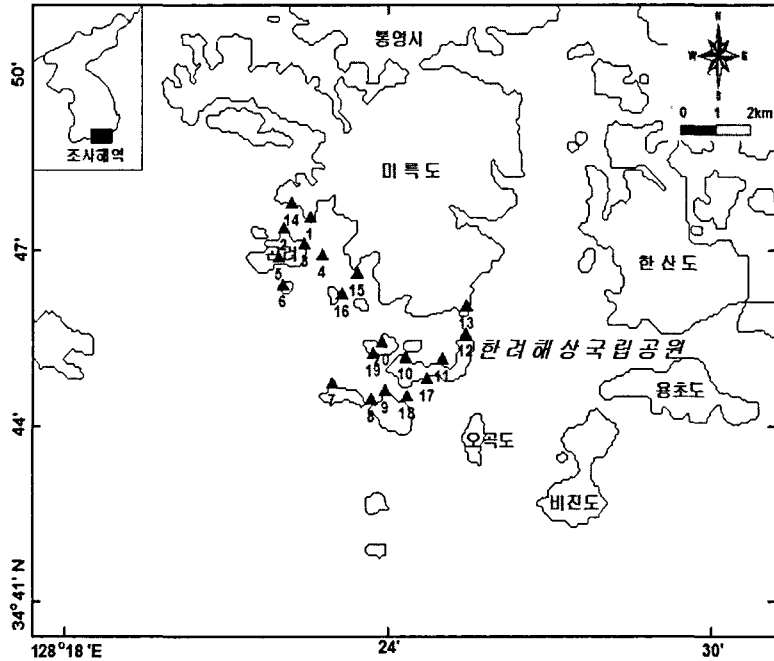


그림 2-3-7. 통영목장화 중심해역 주변의 진주담치 시료채취 정점도.

(2) 분석방법

(가) 퇴적물

① 강열감량(Ignition Loss: IL)

퇴적물 시료 1g을 자제도가니에 취한 후 110℃에서 항량을 만든 후 머플가마에 넣고 550℃에서 약 2시간 정도 가열한 다음 데시케이터 안에서 실온으로 냉각시키고 그 무게의 감소를 백분율로 구하였다.

② 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand: COD)

COD는 분말시료 0.5g을 비커에 넣고, NaOH용액으로 알칼리성으로 하고, 0.1N 과망간산칼륨용액 10mL를 가하여 수욕상에서 60분간 가열한 후 냉각시킨 후, 시료용액에 요오드화칼륨을 넣고 황산으로 산성으로 만들어서 요오드를 유리시킨 후 티오황산나트륨으로 역적정하여 구하였다.

③ 총유기탄소(Total Organic Carbon: TOC)

총유기탄소는 분쇄된 시료 일정량을 비이커에 넣고 10% HCl을 가하여 무기탄소를 제거한 후 C/S Analyzer(LECO-SC 444)로 측정하였다.

④ 중금속

㉞ 알루미늄(Al), 카드뮴(Cd), 크로뮴(Cr), 구리(Cu), 납(Pb) 및 아연(Zn)

퇴적물중의 금속은 분쇄 시료 약 0.05g을 60mL Teflon bomb(Savillex #561R)에 취하고, Supraur(Merck) HF 2mL, Teflon distilled HNO₃ 1mL, Supraur(Merck) HClO₄ 0.5mL를 가한 후 테플론 뚜껑을 닫고, 가열판에서 170℃ 정도로 가열하여 분해하였다. 충분히 분해가 되면 뚜껑을 열고 증발건고 시켰으며, 이때 시료는 흰색 또는 옅은 노란색을 나타내게 되며, 그렇지 않은 시료에 대해서는 위 과정을 반복하여 시료를 완전히 분해시켰다(Windom *et al.*, 1989). 여기에 1% 질산을 가하여 비이커내의 잔사를 녹여 10mL로 맞추어 후 적절하게 희석하여 ICP-MS(Thermo Elemental X-7 with CCT^{ed})로 측정하였으며, 내부 표준물질로는 Rh를 사용하였다. 한편 퇴적물의 중금속 분석 정확도를 검증하기 위하여 NRC의 해양 퇴적물 표준물질인 MESS-2도 함께 처리하여 측정하였다. 각 원소의 회수율은 Zn의 96.6%에서 Cr의 108%의 범위로 비교적 만족스런 결과였다.

㉟ 수은(Hg)

분쇄 시료 0.2g을 60mL Teflon bomb(Savillex #561R)에 취하고 정제된 염산과 질산을 각각 2.5mL씩 가하여 뚜껑을 꼭 닫고 가열판 위에서 150℃로 2시간 가열하였다(Smith, 1993). 냉각 후 용액을 취하여 냉증기 원자형광분광법(CVAFS법)으로 측정하였으며, 표준물질인 MESS-2를 이용한 회수율은 110%였다.

(나) 진주담치

습시료 약 0.5g을 Microwave digestion용 Teflon용기에 취하여 이온교환수 2mL와 정제된 진한 질산 5mL를 가한 다음 CO₂ 가스를 제거하기 위해서 실온에서 1시간이상 두면서 가볍게 흔들어 주었다. 뚜껑을 닫고 Microwave digestion system(MDS-2100, CEM Corp.)를 이용하여 분해한 후 용액을 냉각한 다음 Ultrapure H₂O₂ 1.5mL를 가하여 다시 분해하였다. 분해가 완료되면 냉각한 다음 이온교환수를 가하여 전체 부피를 25mL로 만들고, 일부를 수은 분석용 시료로 Teflon 용기에 분리하였다. 수은은 냉증기 원자형광분광법(CVAFS)으로 측정하였으며, 크로뮴, 구리, 아연, 카드뮴, 납은 ICP-MS로 측정하였다. 측정값은 수분 함량을 구하여 건중량에 대한 농도로 환산하였다. 진주담치의 중금속 분석 정확도를 검증하기 위하여 NOAA의 CRM 2976도 함께 처리하여 측정하였다. 회수율은 Pb의 88.9%에서 Hg의 114%의 범위였으며, Hg의 경우 보증값의 범위를 약간 초과하였으나 그 외의 중금속은 보증 범위에 들었다.

3. 결과 및 토의

가. 유기독성물질 오염

(1) 폴리염화비페닐(PCBs)

(가) 퇴적물 중의 PCBs

① 잔류농도

연구해역인 바다목장 해역 내 총 22개 정점에서 채집된 모든 퇴적물 시료에서 PCB 화합물이 검출되었다. 퇴적물 중 총 PCB 화합물(22개 동위체의 합)은 0.16-6.51ng/g(건중량)의 잔류 농도를 보였다(표 2-3-6, 그림 2-3-8). 22개 정점 중 정점21번에서 6.51ng/g으로 가장 높은 농도를 나타냈으며, 다음으로 정점2, 정점3, 정점22번에서 1ng/g 이상의 상대적으로 높은 농도가 검출되었다. 정점21을 제외한 대부분의 해역의 PCB 농도는 1ng/g 내외로 전반적으로 낮은 농도 수준이다. 공간적인 농도분포로 살펴보면 미륵도 동쪽 산양읍 인근 정점인 정점2와 정점3 지역과 만리도, 저도, 연태도(정점19, 정점20, 정점21)의 바다목장 바깥쪽 해역에서 상대적으로 높은 PCB 함량을 나타냈다.

앞에서 기술한 바와 같이 PCB 화합물은 비페닐에 1개에서 10개의 염소기가 붙어 10개의 Mono-CBs(chlorinated biphenyls)에서 Deca-CBs의 10개 Homologue 그룹을 이룬다. 본 연구에서 분석된 22개 PCB 동위체는 각각 다음의 Homologue 그룹을 대표하는 동위체이다: Di-CBs(CB8), Tri-CBs(CB18, CB28, CB29), Tetra-CBs(CB44, CB52, CB66), Penta-CBs(CB87, CB101, CB105, CB110, CB118), Hexa-CBs(CB128, CB138, CB153), Hepta-CBs(CB170, CB180, CB187), Octa-CBs(CB195, CB200), Nona-CBs(CB206), Deca-CB(CB209). 이 중 CB29, CB87, CB110, CB200의 4개 동위체를 제외한 18개 동위체는 미국 해양대기관리청(National Oceanic & Atmospheric Administration, NOAA)에서 수행된 잔류성 유기오염물질 모니터링 프로그램(Mussel Watch)의 측정 대상 항목에 속한다. 본 연구에서 검출된 22개 PCB congener(동위체)의 총 PCB 함량에 대한 구성비를 계산하면 CB28과 CB66이 구성비가 각각 47±26%, 27±19%으로 가장 높은 값을 나타낸다(그림 2-3-9). Homologue 그룹의 구성비로 살펴보면, Tri-CBs, Tetra-CBs가 전체의 51%, 28%를 차지한다. 이와 같은 저 염소화된 PCB 화합물의 퇴적층 내 높은 조성은 특정 오염원(hot spot)이 존재하지 않는 연안 해역에서 관찰되는 일반적인 특징과 일치한다. 이는 연구해역에서 PCB 화합물의 거동적 측면에서 살펴볼 때 대기 침적이 주요 유입경로일 수 있음을 시사한다.

표 2-3-6. 표층퇴적물 중 PCB 화합물의 농도

Congener	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11
CB8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB18	ND	ND	0.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB28	0.27	0.24	0.74	0.18	0.18	0.19	ND	0.21	0.13	0.42	0.36
CB29	0.05	0.03	0.08	0.05	0.01	0.02	ND	ND	0.07	ND	ND
CB44	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
CB52	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB66	ND	0.22	0.28	0.10	0.31	0.07	0.65	0.31	0.19	0.22	0.17
CB87	0.04	ND	ND	ND	0.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB101	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
CB105	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	ND
CB110	ND	0.54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB118	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB128	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB138	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB153	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB170	ND	ND	0.07	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
CB180	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB187	ND	0.02	ND	0.02	0.02	0.01	ND	ND	0.01	ND	0.03
CB195	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB200	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB206	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB209	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCB	0.35	1.06	1.28	0.36	0.74	0.29	0.79	0.52	0.40	0.68	0.56

ND; not detected

표 2-3-6. 계속

Congener	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16	St.17	St.18	St.19	St.20	St.21	St.22
CB8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.02	ND
CB18	ND	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB28	0.22	0.11	0.17	0.13	0.11	0.12	ND	0.86	0.27	ND	0.61
CB29	0.01	0.05	ND	ND	0.01	ND	ND	0.03	0.01	ND	ND
CB44	0.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB52	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.15	ND
CB66	0.14	0.16	0.06	0.01	ND	0.03	0.07	0.04	0.05	1.47	0.26
CB87	ND	ND	0.00	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	0.07	ND
CB101	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.06	ND
CB105	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.15	ND
CB110	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.73	ND
CB118	ND	0.07	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	1.94	ND
CB128	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB138	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.32	ND
CB153	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.08	ND
CB170	ND	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.13	ND	ND	ND	0.14
CB180	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.53	ND
CB187	0.02	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	0.03	ND	0.01	ND	0.01
CB195	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB200	ND	0.01	ND	0.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB206	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB209	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCB	0.47	0.44	0.26	0.33	0.16	0.19	0.23	0.98	0.35	6.51	1.03

ND; not detected

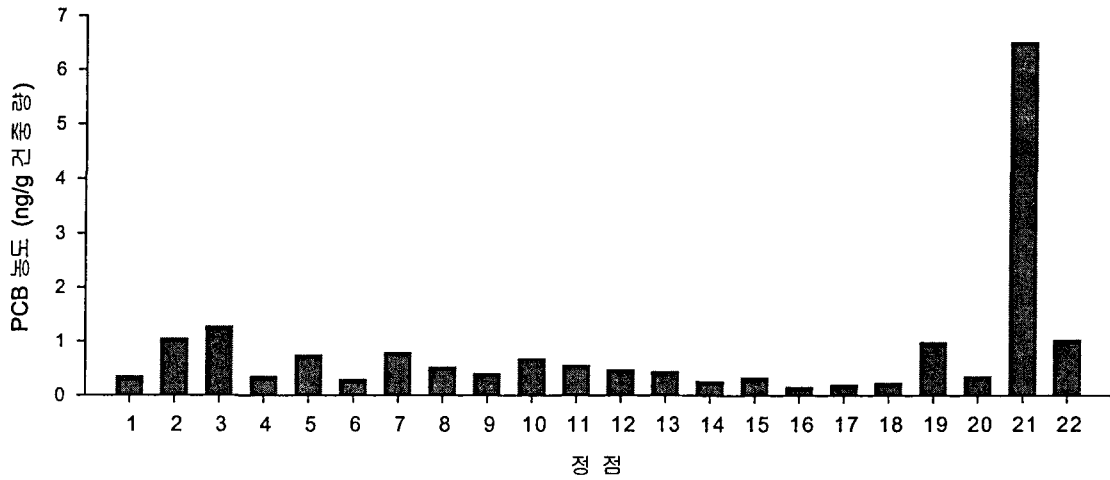


그림 2-3-8. 표층퇴적물 중 PCB 화합물의 공간분포.

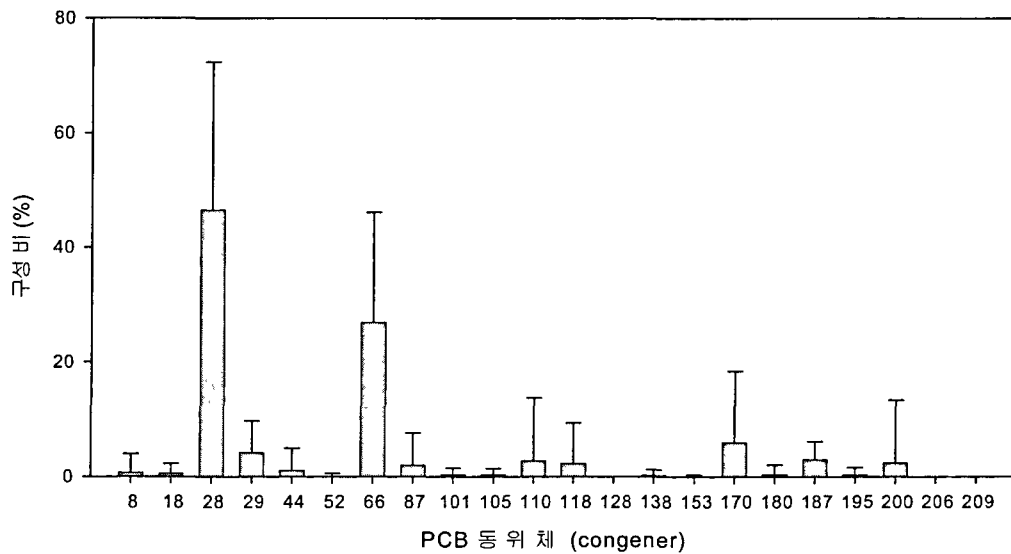


그림 2-3-9. 표층퇴적물 중 총 PCB 화합물의 농도에 대한 개별동위체의 구성비(%).

② 국내 연안농도와와의 비교

1997년에서 2001년까지 본 연구팀에서 수행된 전국 연안해역의 잔류성 유기오염물질의 연안퇴적물 조사 자료(해양수산부/한국해양연구원, 2002; Hong, 2002)와 바다목장 해역의 퇴적층에서 검출된 농도자료를 그림 2-3-9에 비교하여 제시하였다. 선행 연구를 통해 PCB 화합물은 DDT 화합물과 함께 국내 연안해역의 대표적인 잔류성 유기오염물질임이 확인되었다 (해양수산부/한국해양연구원, 2002; Hong, 2002). 전국 연안 퇴적물에서 검출된 PCB 화합물의 농도(22개 동위체의 합)는 0.09 - 199ng/g으로 광범위한 농도범위를

나타낸다. 바다목장 해역에서 검출된 PCB 화합물의 농도는 0.16-6.51ng/g으로 전국 연안의 최저, 최고농도를 각각 0%에서 100%로 가정하여 비교하면 2%-71%에 해당하며, 정점21의 최고 농도를 제외하면 2%-44%에 해당된다. 즉 한개 정점을 제외한 나머지 정점의 농도 값이 전국 연안 퇴적물 농도의 중앙값인 1.56ng/g보다 낮다. 양식업이 발달해 있고 비교적 청정해역으로 구분되는 가막만, 보성만, 화옹만에서 조사된 퇴적물 내 PCB 화합물의 농도와 비교해 볼 때 (해양수산부/한국해양연구원, 2002; Hong, 2002), 연구해역 내 PCB 농도는 가막만 보다 낮고 화옹만, 보성만과 비슷한 수준이다(그림 2-3-11).

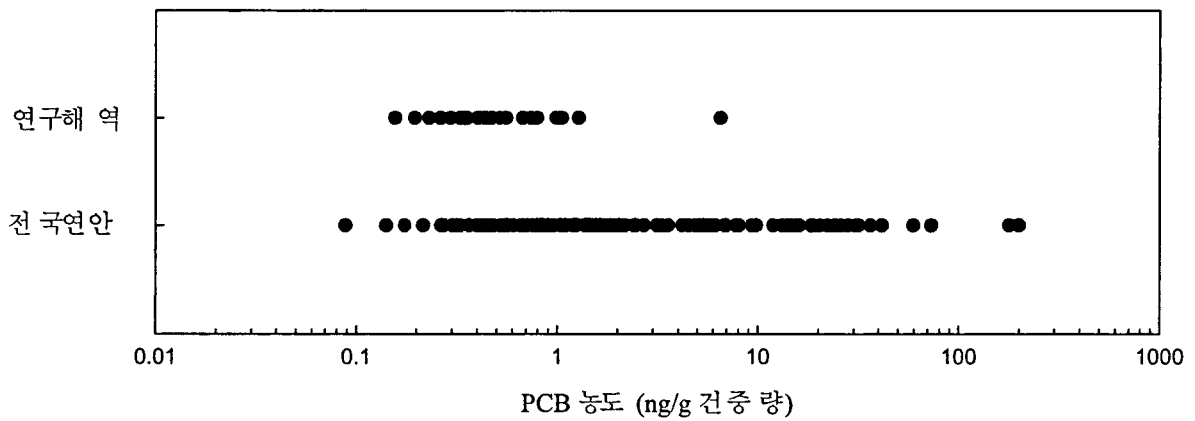


그림 2-3-10. 전국연안(해양수산부/한국해양연구원, 2002)과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 PCB 농도(22개 동위체의 합) 비교.

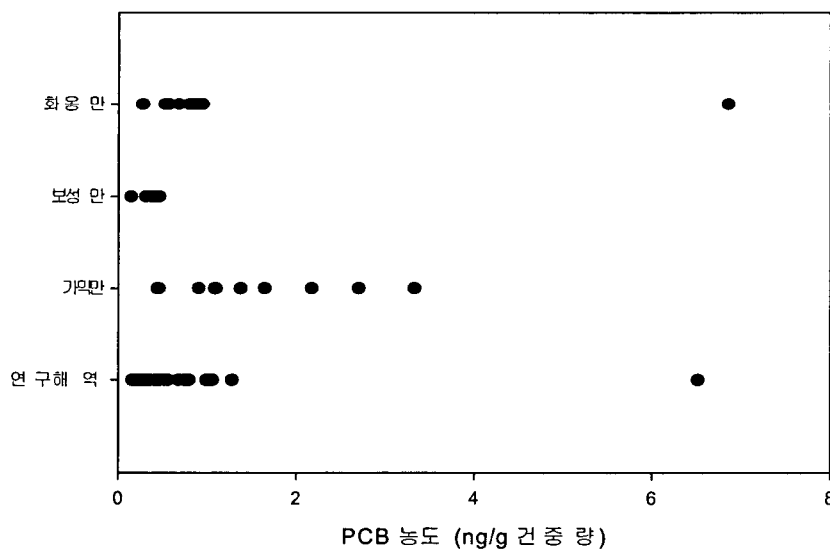


그림 2-3-11. 통영목장화 중심해역, 화옹만, 보성만, 가막만(해양수산부/한국해양연구원, 2002)의 PCB 농도비교.

(나) 진주담치 중의 PCBs

① 잔류농도

바다목장 해역 내 20개 정점에서 채집된 진주담치 중 PCB 화합물은 0.70-23.89ng/g의 농도범위를 보였다(표 2-3-7, 그림 2-3-12). 20개 정점 중 곤리도 북쪽연안의 정점2이 23.89ng/g으로 최고 농도를 나타냈으며, 다음으로 정점2와 마주보는 미륵도 동쪽연안의 정점14, 곤리도 동쪽에 위치한 정점4에서 높은 값을 보였다. 공간적 농도분포를 살펴보면 퇴적물에서와 같이 곤리도와 미륵도 동쪽 산양읍 인근지역에서 상대적으로 높은 농도를 보였으나 만리도, 저도, 연태도의 바깥쪽 해역의 PCB 농도는 다른 연안정점과 비슷한 수준을 나타냈다. 정리하면, 진주담치 중 PCB 화합물은 곤리도 인근지역에서 소폭 높은 농도를 보이거나 바다목장 해역 전반에 걸쳐 비교적 고른 농도를 보였다.

바다목장 해역 내에서 채집된 진주담치와 퇴적물에서 검출된 PCB 화합물의 평균농도는 각각 $9.94 \pm 5.48 \text{ ng/g}$, $0.82 \pm 1.31 \text{ ng/g}$ 으로 진주담치에서 약 12배 높은 농도를 보였다(그림 2-3-13). 생물매질로 이동하면서 급격한 농도의 증가는 PCB 화합물의 높은 옥탄올-물 분배상수(octanol-water partition coefficients, $\log K_{ow} = 4.1-9.6$; EPA, 1992)에 근거한다. 따라서 체지방량이 높고 상위 영양단계에 있는 생물에서 더 높은 PCB가 검출될 것임을 미루어 짐작할 수 있다.

진주담치는 PCB 동위체의 구성비에서 퇴적물과 다른 패턴을 나타냈다. 진주담치에서는 22개 동위체중 CB153이 평균 $21 \pm 17\%$ 로서 가장 높은 구성비를 보였고 다음으로 CB8, CB138, CB66이 높은 구성비를 나타냈다(그림 2-3-14). 이는 퇴적물에서 CB28이 가장 높은 함유량을 보인 것과 대조된다. Homologue 그룹으로 살펴보면, 염소기가 6개 7개 치환된 Hexa-CBs와 Hepta-CBs가 각각 $33 \pm 18\%$, $22 \pm 11\%$ 로서 높은 구성비를 나타냈다. 이는 퇴적물에서 Tri-CBs와 Tetra-CBs가 우세한 것과 상이한 결과이다. 염소기가 많은 동위체일수록 지방친화도가 높고 난분해적 성향이 증가하게 되고 이에 따라 생물 체내에 염소치환이 높은 PCB 동위체가 퇴적층과 수층에 비해 다량 함유되는 것이다.

표 2-3-7. 진주담치 중 PCB 화합물의 농도

Congener	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St. 8	St.9	St.10
CB8	0.13	2.26	1.90	2.33	0.74	0.83	0.82	1.22	1.94	ND
CB18	ND	ND	ND	0.31	0.37	0.28	ND	0.19	0.55	ND
CB28	ND	ND	ND	0.18	ND	0.12	0.07	0.56	0.32	0.16
CB29	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	0.07	ND	0.06	0.07
CB44	ND	ND	ND	0.41	0.56	0.03	0.16	4.14	0.16	0.03
CB52	ND	ND	0.28	ND	ND	ND	ND	0.57	0.32	ND
CB66	0.05	0.69	0.43	0.99	0.45	0.44	0.17	0.67	0.82	0.88
CB87	0.01	0.33	0.15	0.23	0.11	0.13	0.12	ND	0.72	0.20
CB101	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB105	ND	0.33	0.07	ND	ND	0.12	0.03	ND	ND	0.13
CB110	0.09	2.32	0.44	0.35	0.47	ND	ND	0.63	0.28	0.50
CB118	0.05	1.07	0.37	0.62	0.37	0.32	0.40	0.77	0.89	0.64
CB128	ND	0.73	0.13	0.43	0.23	0.63	0.12	ND	0.35	0.14
CB138	0.04	2.04	0.71	1.23	2.72	0.96	0.23	ND	1.34	1.32
CB153	0.43	10.39	3.20	7.51	3.45	2.87	1.28	ND	1.33	ND
CB170	ND	ND	ND	ND	ND	0.33	0.73	0.68	0.98	0.32
CB180	0.08	2.11	0.95	1.09	0.69	0.63	0.39	ND	0.99	1.09
CB187	0.06	1.62	0.60	0.84	0.70	0.76	2.24	ND	0.98	1.37
CB195	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB200	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03
CB206	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB209	ND	ND	ND	ND	0.47	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCB	0.95	23.89	9.24	16.54	11.32	8.44	6.85	9.44	12.02	6.87

ND; not detected

표 2-3-7. 계속

Congener	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16	St.17	St.18	St.19	St.20
CB8	0.35	ND	1.57	2.33	ND	1.51	2.07	0.18	0.74	2.23
CB18	ND	1.15	0.17	ND	0.16	ND	ND	ND	0.13	ND
CB28	0.02	0.40	ND	1.07	ND	0.30	0.40	0.36	0.39	0.21
CB29	0.01	0.16	0.13	0.24	ND	0.04	0.06	ND	0.08	ND
CB44	ND	0.04	0.04	ND	0.15	ND	ND	0.10	0.06	ND
CB52	ND	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB66	0.27	1.63	0.79	1.95	0.29	1.11	1.31	0.88	0.89	0.73
CB87	0.11	0.61	1.18	1.75	ND	0.82	1.09	0.77	1.18	0.80
CB101	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB105	0.02	ND	0.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB110	0.05	0.69	0.51	1.02	ND	0.42	0.26	ND	0.14	0.21
CB118	0.11	0.90	0.53	1.04	ND	0.55	0.49	0.31	0.33	0.87
CB128	0.03	0.55	0.35	0.62	ND	ND	ND	0.12	0.45	0.25
CB138	0.19	2.16	1.38	2.06	ND	1.33	0.94	0.68	0.95	1.37
CB153	0.46	ND	ND	ND	ND	3.18	ND	2.71	2.86	4.45
CB170	0.05	0.92	0.43	0.68	ND	0.38	ND	0.48	ND	ND
CB180	0.15	2.24	1.05	2.02	0.11	0.85	1.11	0.87	0.89	0.66
CB187	0.26	1.90	1.78	1.14	ND	0.29	0.50	0.41	0.69	2.30
CB195	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB200	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB206	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CB209	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCB	2.08	13.87	10.00	15.90	0.70	10.79	8.22	7.87	9.77	14.07

ND; not detected

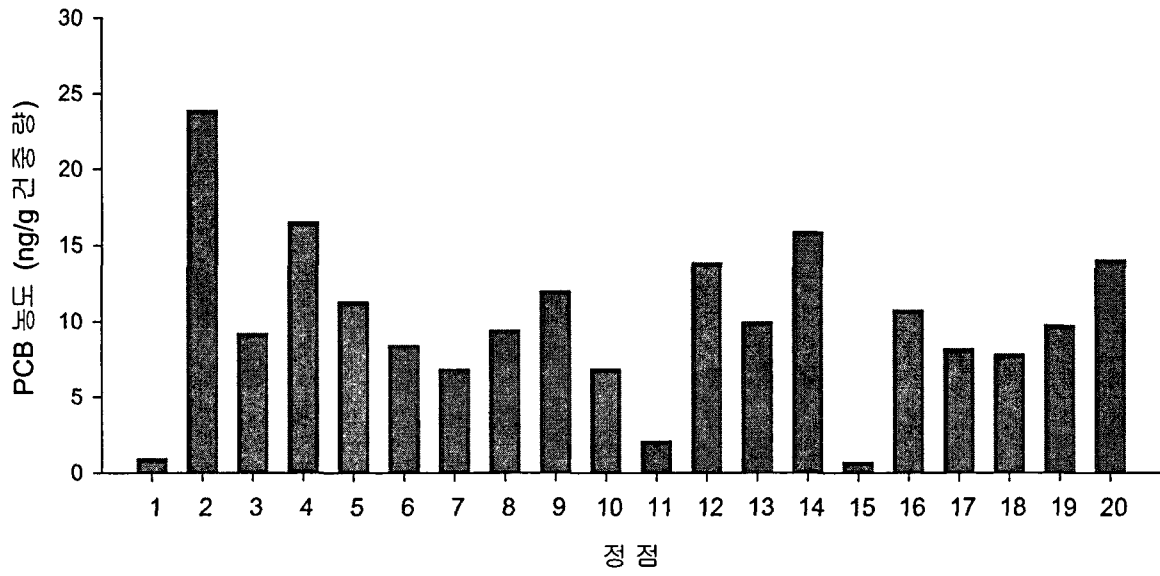


그림 2-3-12. 진주담치 중 PCB 화합물의 공간분포.

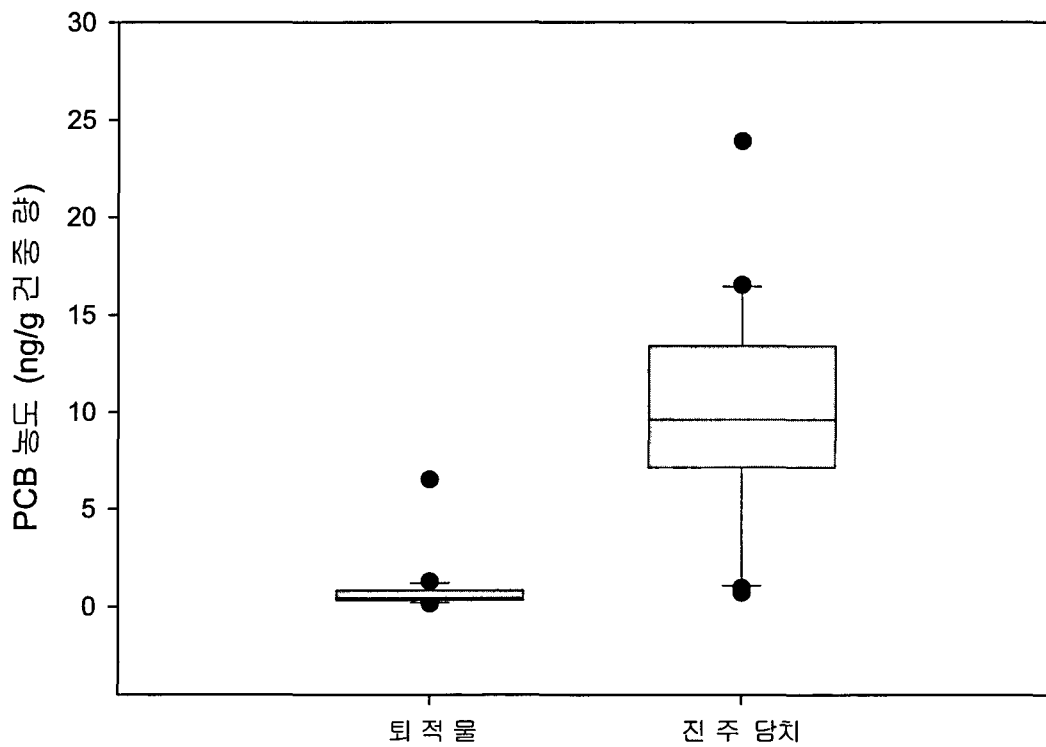


그림 2-3-13. 퇴적물과 진주담치 중 PCB 화합물 농도비교.

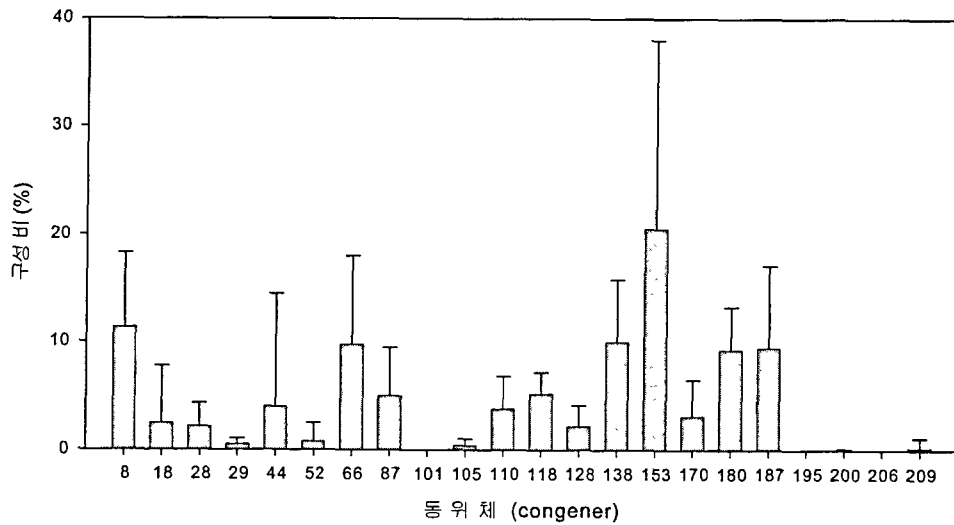


그림 2-3-14. 진주담치 내 총 PCB 화합물의 농도에 대한 개별 동위체의 구성비(%).

② 국내 연안농도와의 비교

2000년, 2001년 본 연구팀에서 수행된 전국 연안해역의 잔류성 유기오염물질의 이매패류(담치류 및 굴) 조사자료(해양수산부/한국해양연구원, 2002; Hong, 2002)와 바다 목장 해역에서 채집된 진주담치에서 검출된 PCB 자료를 그림 2-3-15에서 비교하여 제시하였다. 퇴적물에서와 같이 PCB 화합물은 국내 연안해역의 주요 잔류성 유기오염물질로서, 2000년 59개, 2001년 57개 전국 연안해역에서 검출된 PCB 화합물의 농도(22개 동위체의 합)는 각각 8.04 - 534ng/g, 4.15-209ng/g로서 광범위한 농도범위를 타나낸다. 바다목장 해역에서 검출된 PCB 화합물의 농도는 0.70-23.89ng/g로서 2000년과 2001년 이매패류에서 검출된 농도분포의 중앙값인 45.8ng/g, 25.4ng/g 보다 낮은 농도 수준이다. 연구해역 내 PCB 농도는 2000년과 2001년 전국연안 이매패류 중 PCB 농도의 0-21%, 0-48%의 농도에 각각 해당된다. 해역 내 최저 농도는 두 연안 모니터링에서 검출된 최저 농도보다 낮다.

③ PCBs 잔류농도의 생태위해성

NOAA(Long et al., 1995)는 방대한 독성자료를 바탕으로 저층 퇴적물에 축적된 화학물질의 오염이 저서동물에 미칠 수 있는 위해성을 고려하여 퇴적물권고기준(sediment quality guideline, SQG)을 다음과 같이 제시하고 있다: effect range low (ER-L), effect range-median (ER-M). ER-L 값은 생물의 약 10%에 위해한 영향을 미칠 수 있는 퇴적물 내 오염물질의 농도를 의미하며, ER-M 값은 생물의 약 50%에 위해한 영향을 미칠 수 있는 농도이다. PCB 화합물에 대한 퇴적물권고기준은 각각 ER-L; 22.7ng/g, ER-M;

180ng/g으로서 총 유기질소 함량이 1%인 퇴적물 입자를 기준으로 하여 제시하고 있다. 현재 우리나라에는 퇴적물을 포함한 생태환경관리기준 및 권고기준이 전무한 상태이며 다만 토양, 침출수, 폐기물 등에 특정 오염이 우려되는 매질에 대해서만 한정적으로 관리기준이 마련된 상태이다.

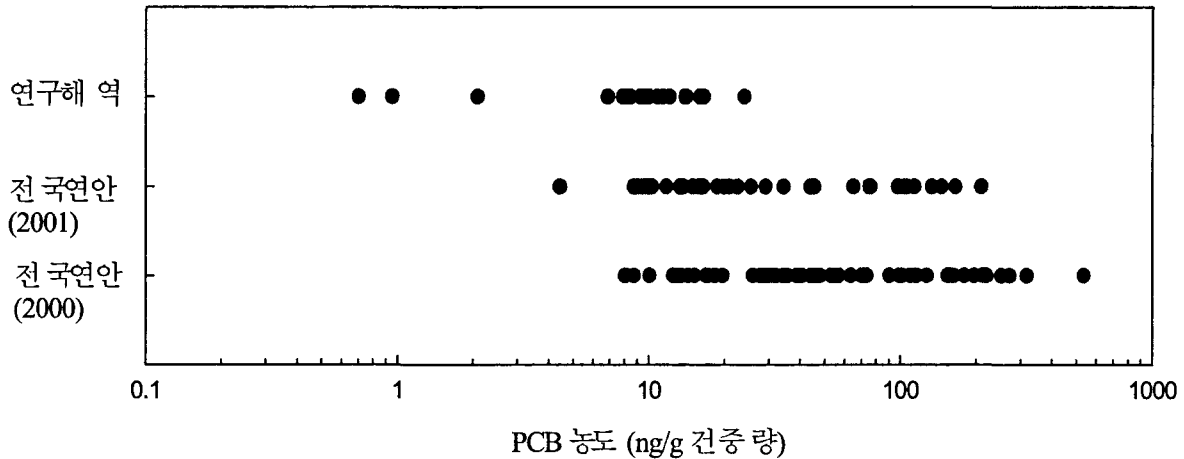


그림 2-3-15. 전국연안(해양수산부/한국해양연구원, 2002)과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 PCB 농도 비교.

NOAA의 퇴적물권고기준과 본 연구의 PCB 자료를 비교하기 위해 22개 PCB 화합물의 농도를 209개 PCB 동위체를 기초로 한 총 PCB 농도로 다음과 같이 환산하였다: 18종 congener의 합을 2배합 ($2 \times \sum PCB_{18}$; CB 8, 18, 28, 44, 52, 66, 101, 105, 118, 128, 138, 153, 170, 180, 187, 195, 206, 209) (O'Connor, 1998). 표층퇴적물에서 검출된 $2 \times \sum PCB_{18}$ 는 0.27-11.4ng/g의 농도로 환산된다. 본 농도와 NOAA의 퇴적물권고기준을 비교하면 (그림 2-3-16), 연구해역내 퇴적물중 PCB 농도는 모두 ER-L 보다 낮아 생물에 미치는 독성학적 영향은 높지 않는 것으로 사료된다. 캐나다 퇴적물권고기준(Canadian Sediment Quality Guideline, CCME, 1999)과 호주-뉴질랜드 권고기준(Austrian and New Zealand Guideline, ANZECC and ARMCANZ, 2000)과 비교 역시 비슷한 결과를 보인다.

OSPAR Commission (2000)에서 제시한 생태독성평가기준(Ecotoxicological Assessment Criteria, EAC)과 본 연구에서 조사된 바다목장 해역에 서식하는 진주담치 중 PCB 화합물의 농도를 그림 2-3-17에 비교하여 제시하였다. OSPAR Commission은 7개 PCB 동위체의 합($\sum PCB_7$)으로 PCB 화합물의 생태독성평가기준을 5-58ng/g으로 제시하였다. 바다목장 해역내 서식하는 진주담치 중 $\sum PCB_7$ 농도는 0.11-15.61ng/g으로서 EAC를 초과하지 않는다. 또한, 진주담치중 PCB 농도는 FDA에서 규정한 Action Limit인 5ppm 보다 월등히 낮은 수준이다.

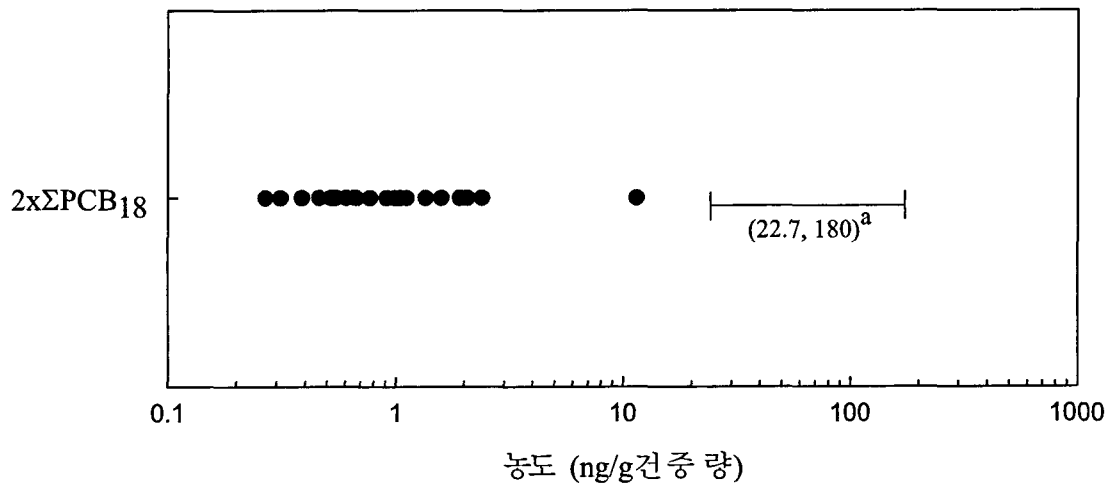


그림 2-3-16. 미국 NOAA에서 제시한 퇴적물권고기준과 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물 중 PCB농도 비교. 2xPCB₁₈ = 18개 PCB 동위체의 합을 2배함 (CBs B8, 18, 28, 44, 52, 66, 101, 105, 118, 128, 138, 153, 170, 180, 187, 195, 206, and 209), ^a(ERL, ERM); Effect range low and effect range median values

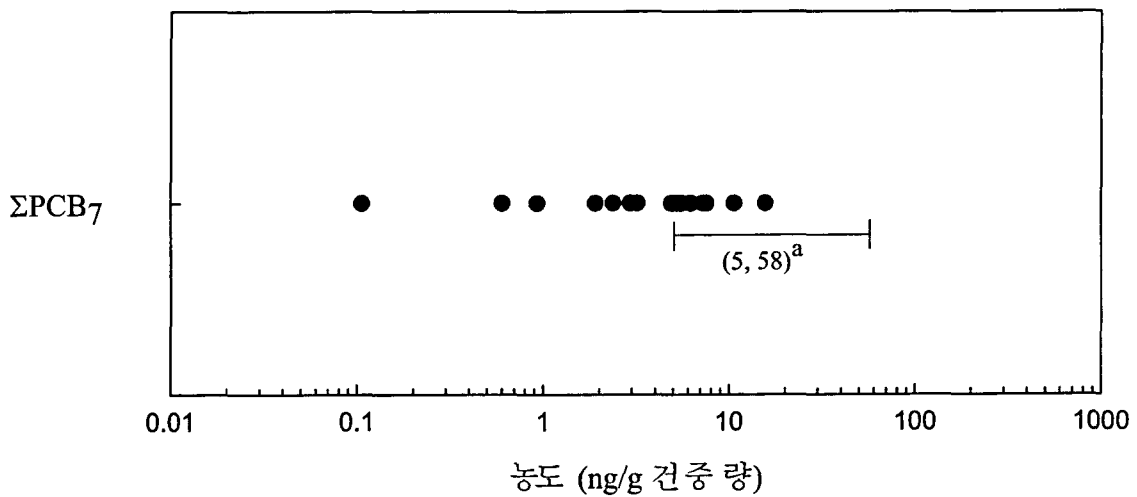


그림 2-3-17. OSPAR Commission (2000)에서 제시한 생태독성평가기준^a (Ecotoxicological Assessment Criteria, EAC)과 바다목장 해역내 진주담치 중 PCB농도 비교. PCB₇ = 7개 PCB 동위체의 합(CBs 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

(나) 유기주석화합물

① 퇴적물 중의 유기주석화합물

㉞ 잔류농도

연구해역인 바다목장화 중심해역 내 총 22개 정점에서 채집된 모든 퇴적물 시료에서 유기주석화합물이 검출되었다. 검출된 3종의 부틸주석화합물 중 맹독성의 TBT 화합물은 28-221 ng Sn/g(건중량)의 농도범위를 보였다(표 2-3-8). TBT의 분해산물이면서 공업 및 생활용품에 사용되기도 하는 DBT와 MBT 역시 모든 정점에서 검출되었으며, 각각 234-765 ng Sn/g과 16-197 ng Sn/g의 범위를 보였다. 가장 높은 TBT 농도는 학림도 북측에 위치한 정점11에서 검출되었으며, 그 다음으로 산양읍 연안의 정점3, 4번 및 죽도와 저도 인근의 정점9, 10번에서 상대적으로 높은 TBT 농도가 검출되었다. 가장 낮은 TBT 농도로 대조구로 예상한 정점18번 보다 안쪽에 위치한 정점16번에서 검출되었다. 한편, 통영목장화 중심해역에서는 TBT에 비해 DBT가 상대적으로 높은 농도로 검출되었다. 우리나라 서해안과 일부 항(포)구 주변해역서 예외적으로 DBT가 TBT 보다 몇 배의 높은 농도를 보인 경우가 보고된 바가 있다. DBT의 경우 질량분석기를 이용하여 정성적으로 확인하였으며, 현재 이용가능한 정보에 근거하여 볼 때 2000년 국내 TBT 도입이후 에 신규 TBT 유입이 제한되면서 분해산물이 DBT가 상대적으로 축적되었거나, 통영목장화 중심해역 연안 시설 중에 DBT를 배출하는 시설이 존재할 가능성이 있는 것으로 사료된다. 그런데 우리나라 다른 연안해역과 비교하여 연구해역의 TBT와 DBT 및 MBT의 잔류농도 간의 상관관계가 퇴적물은 물론 생물체내에서도 매우 낮은 점을 감안하면, DBT가 TBT의 분해산물로 유입되는 것보다, 그 외의 유입원에서 기여한 정도가 클 가능성이 있음을 시사하고 있다.

표 2-3-8. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 유기주석화합물 잔류 농도

정점	MBT	DBT	TBT	ΣBT
	농도 (ng Sn/g 건중량)			
1	28	242	50	320
2	32	255	63	350
3	197	369	144	710
4	16	366	116	498
5	38	395	61	494
6	27	538	95	660
7	32	590	88	710
8	18	234	33	285
9	35	635	103	773
10	29	664	104	797
11	60	765	221	1046
12	51	455	73	579
13	23	395	42	460
14	17	299	61	377
15	25	425	62	512
16	20	239	28	287
17	21	269	51	341
18	36	474	63	573
19	30	473	56	559
20	74	499	83	656
21	36	495	69	600
22	30	568	54	652

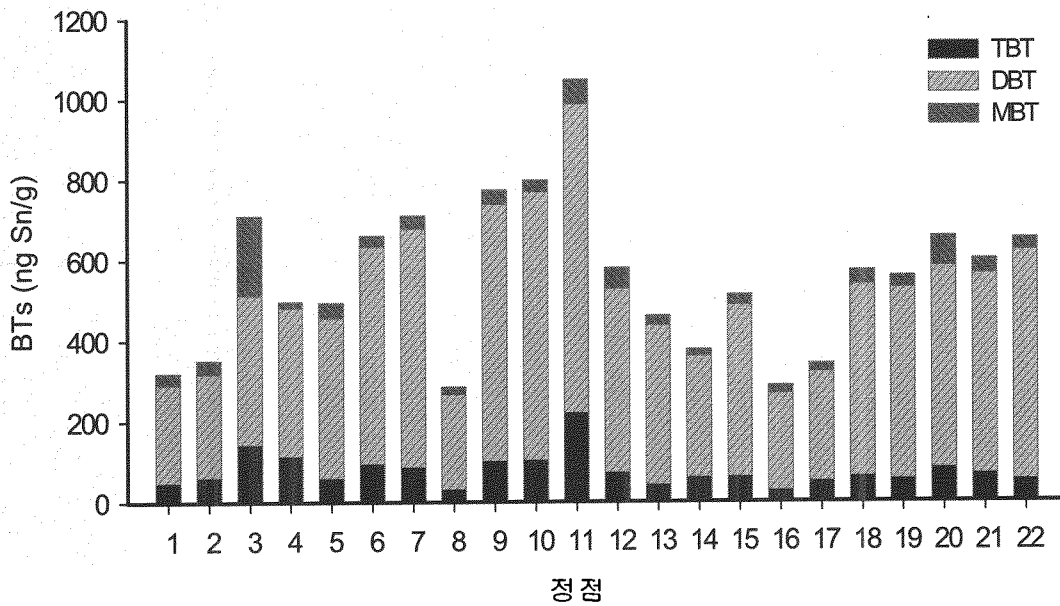


그림 2-3-18. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 유기주석 화합물의 공간분포.

㉔ 국내 연안농도와의 비교

1995-2000년까지 본 연구팀에서 수행된 전국 연안해역의 유기주석화합물 조사 자료(Shim, 2000)와 바다목장 해역의 퇴적층에서 검출된 농도자료를 그림 2-3-17에 비교하여 제시하였다. 우리나라 연안의 경우 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 선박의 활동이 빈번하며, 연안에서의 어선의 활동은 물론 대형선박의 활동역시 항로를 중심으로 활발하다. 특히, 조선산업의 발달은 조선소 주변해역의 TBT 오염으로 이어지기도 한다. 선행 연구를 통해 TBT를 포함하는 유기주석화합물은 우리나라 전국 연안에서 모두 검출되고 있는 대표적인 잔류성 유기오염물질의 하나임이 확인되었다(Shim et al., 1998; Shim et al., 1999; Shim et al., 2000; Shim et al., 2002). 전국 연안 퇴적물에서 검출된 TBT 화합물의 농도는 미검출 - 13,300ng Sn/g으로 광범위한 농도범위를 나타낸다. TBT의 경우 조선소와 항구 등 선박 활동과 인접한 시설에서는 일반적으로 1,000 ng Sn/g을 넘는 고농도로 나타나며, 선박의 활동이 빈번하지 않은 서해안 및 동해안 해역에서 비교적 낮은 농도를 보였다. 반면 양식장이 널리 분포하고, 반폐쇄성만 및 리아스식 해안으로 이루어진 남해안의 경우 소형선박의 활동이 상대적으로 많아 수백 ng Sn/g 수준의 TBT가 높은 빈도로 검출되고 있다. 바다목장 중심해역에서 검출된 TBT 화합물의 농도는 28-221ng/g으로 전국 연안 농도와 비교할 경우 일부 정점을 제외하고는 중간값 이하의 농도를 보이고 있다. 본 연구에서 검출된 농도는 경남권의 주요만에서 검출된 농도보다는 낮은 값에 해당하나, 외해역에서 검출되는 농도에 비해서는 높은 값을 보였다. 이는 대부분의 정점이 소형선박이 활동하고 있는 해안에 근접한 탓으로 사료된다.

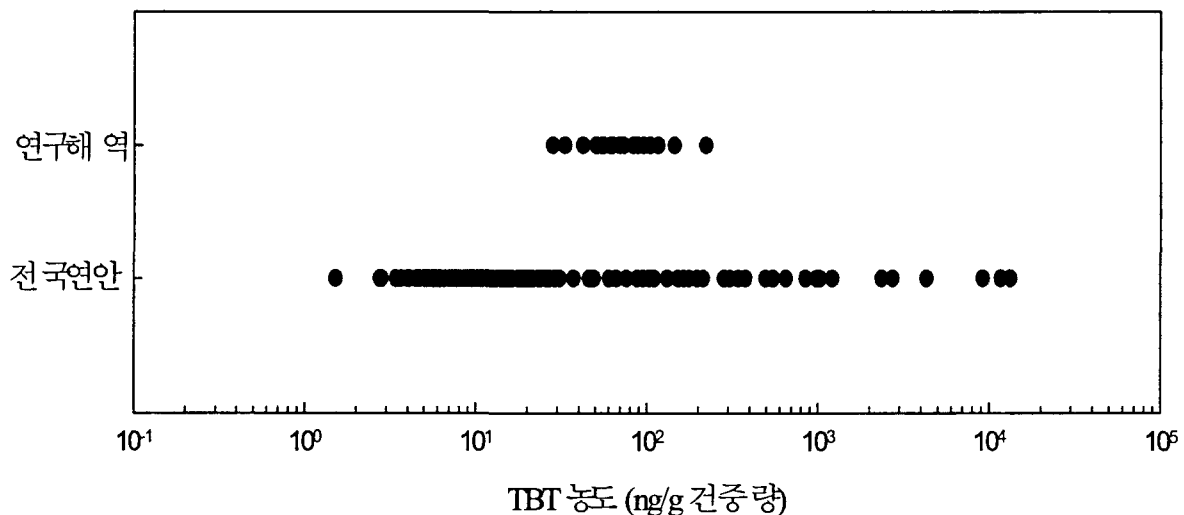


그림 2-3-19. 전국연안(Shim, 2000)과 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 TBT 농도 비교.

② 진주담치 중의 유기주석화합물

㉞ 잔류농도

바다목장 해역 내 20개 정점에서 채집된 진주담치 중 TBT 화합물은 48-193ng Sn/g의 농도범위를 보였다(표 2-3-9, 그림 2-3-20). DBT와 MBT 역시 모든 정점에서 검출되었으며, 각각 41-334 ng Sn/g과 8-111 ng Sn/g의 범위를 보였다. 가장 높은 TBT 농도는 만리도 동쪽에 위치한 정점8에서 검출되었으며, 그 다음으로 학림도 북쪽의 정점11에서 검출되었다. 그 밖에 정점1, 9, 10, 13, 14에서 100 ng Sn/g을 상회하는 농도를 보였다. 상대적으로 낮은 농도는 학림도 남쪽과 연태도 동쪽에 위치한 정점17, 18 및 저도에 위치한 정점19번에서 검출되었다. DBT의 경우는 퇴적물에서와 달리 정점1-5의 5개 정점에서 TBT 보다 높은 농도를 보였다. 이들 5개의 정점이 곤리도를 주변으로 분포하고 있어, 이들 정점 주변에 DBT의 국지적인 유입원의 존재 가능성을 시사하고 있다. 특히 생체내 TBT농도와 DBT 농도가 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 것이 일반적이나, 연구해역 진주담치 체내 TBT 및 DBT 농도간에 통계적으로 유의하지 않은 상관관계를 보이는 것으로부터 퇴적물에서와 마찬가지로 DBT가 TBT의 분해산물로 유래한 것 보다 다른 DBT 유입원의 영향을 받은 것으로 사료된다.

표 2-3-9. 통영목장화 중심해역 진주담치 중 유기주석화합물 잔류 농도

정점	MBT	DBT	TBT	ΣBT
				농도 (ng Sn/g 건중량)
1	111	334	127	572
2	41	215	84	340
3	91	178	75	344
4	58	266	84	408
5	42	156	58	256
6	15	44	59	118
7	17	66	75	158
8	18	103	193	314
9	15	74	109	198
10	26	88	139	253
11	39	111	185	335
12	24	74	99	197
13	36	93	108	237
14	21	87	108	216
15	11	49	55	115
16	21	66	89	176
17	12	53	53	118
18	8	42	55	105
19	11	41	48	100
20	38	99	83	220

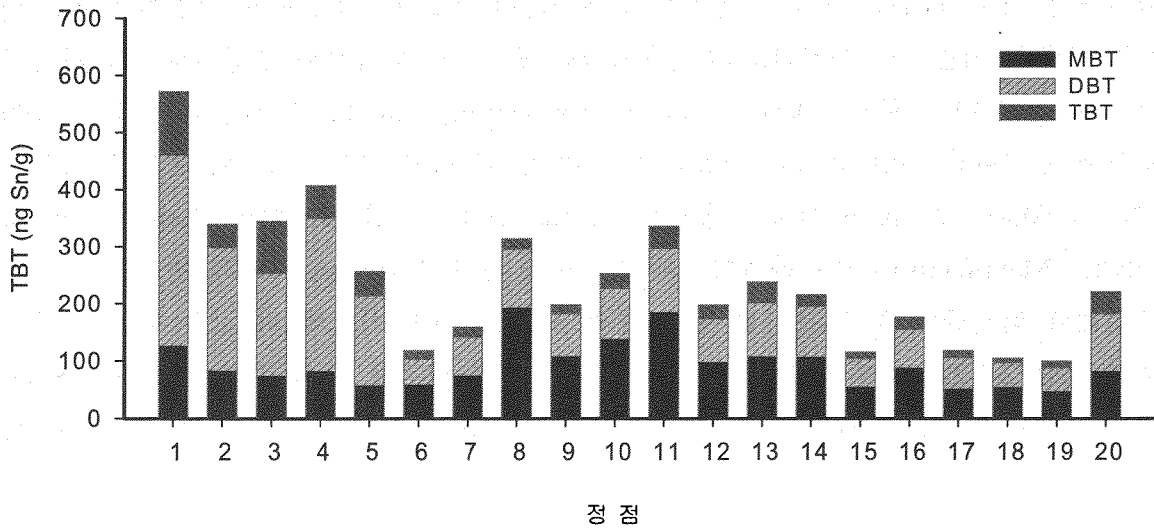


그림 2-3-20. 통영목장화 중심해역 진주담치 체내 유기주석 화합물의 공간분포.

㉔ 국내 연안농도와의 비교

1995-2000년 본 연구팀에서 수행된 전국 연안해역의 잔류성 유기오염물질의 이매패류 (굴, 담치 및 홍합류) 조사자료(Shim, 2000)와 바다 목장 해역에서 채집된 진주담치에서 검출된 TBT 화합물 자료를 그림 2-3-21에서 비교하여 제시하였다. 전국 67개 정점에서 조사된 이매패류 체내 TBT 화합물의 농도는 16-2800 ng Sn/g의 범위를 보였다. 바다목장 해역에서 검출된 TBT 화합물의 농도는 48-193ng Sn/g로서 1995-2000년 전국연안의 이매패류에서 검출된 농도분포의 중간값 보다 낮은 농도 수준이다. 퇴적물 농도에 비해서 이매패류의 농도가 낮은 경향을 보이는 것은 전국연안 조사의 대상생물이, 진주담치에 비해 다소 TBT를 잘 농축하는 참굴을 대상으로 한 정점이 포함되었기 때문으로 사료된다.

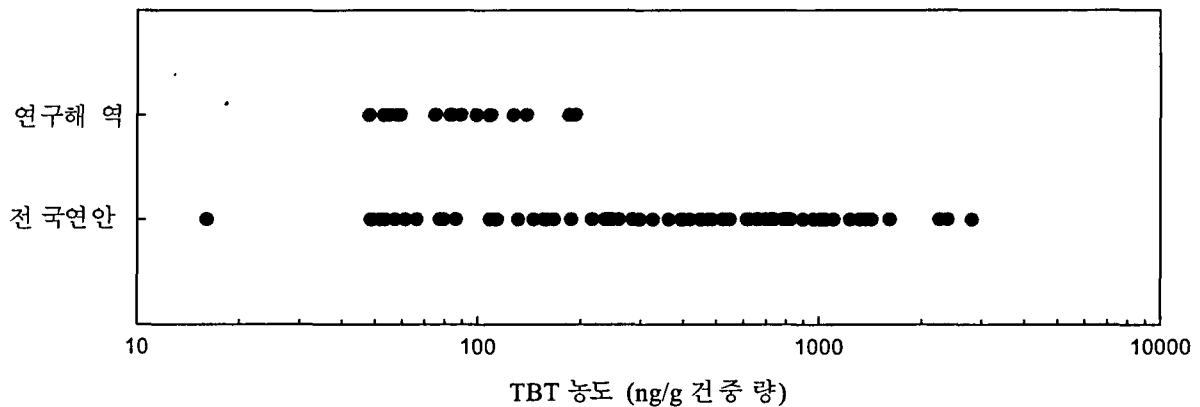


그림 2-3-21. 전국연안(Shim, 2000)과 통영목장화 중심해역 이매패류 체내 TBT 농도 비교.

③ 유기주석화합물 잔류농도의 생태위해성

퇴적물의 경우 TBT에 관한 국제적인 규제기준이 없으며, 해수중의 수질기준 4.1 ng Sn/L을 공극수 기준으로 가정하고 공극수와 퇴적물 간의 분배계수 추정치로부터 환산된 103 ng Sn/g을 미국 환경청에서 스크리닝 값(screening value)으로 사용한다. 1995-2000년 조사된 우리나라 연안 퇴적물 시료의 약 77%가 이 스크리닝 값이하의 농도를 보이고 있으며, 약 50%는 60 ng/g 이하의 농도를 보이고 있다. 이 결과는 미국 Consortium of Tributyltin Manufactures 데이터베이스와 일치하는 수준이다(Navy, 1997). 한편 바다목장화 중심해역 퇴적물의 경우 조사된 총 22개의 시료 중 5개 시료에 이 값을 다소 초과하고 있다(그림 2-3-22). 36일간의 퇴적물 독성 시험에서 퇴적물 중의 TBT 농도가 278 ng Sn/g 이상에서 *Scrobicularia plana*의 초기 생활사(2-3 mm spat)에 영향을 미치는 것이 보고되어 있으며(Ruiz *et al.*, 1994), 연구해역의 경우 이 값을 넘는 정점은 없었다. 한편 무척추동물의 colonization을 독성치로한 다른 시험에서 영향은 퇴적물 중의 TBT 농도가 412 ng Sn/g부터 나타나는 것으로 보고하였다(Mattiessen and Thain, 1989).

치사를 나타내는 해양생물 조직내의 TBT 농도 범위는 2,062-36,697 ng Sn/g이다. 통영바다목장 중심해역의 진주담치 체내에서 검출되는 농도는 생물체의 치사를 유발하는 농도에 비해서는 현저하게 낮은 값을 보이고 있다. 반면, TBT의 임계체내농도(critical body residue) 중 41-825 ng Sn/g 범위의 낮은 농도는 신복족류의 임포섹스 발현과 이매패류의 패각기형을 유발하는 값이다. 통영바다목장 해역 우리나라 연안 이매패류 조직 중의 TBT 농도는 모두 825 ng Sn/g 이하의 농도를 보이고 있으나, 41 ng Sn/g의 농도는 모두 상회하고 있다. 전국연안의 대수리의 임포섹스 발현에 대한 조사결과(Shim *et al.*, 2000)에 비추어 보면, 조사해역 주변에 서식하는 신복족류의 임포섹스 발현에 대한 조사가 필요할 것으로 사료된다. 한편 TBT는 맹독성의 물질로 인체의 건강에 손상을 줄 수도 있는 독성물질이기도 한다. 선진국에서는 수산물 잔류 TBT의 섭취에 대한 인체위해성평가를 수행해 오고 있으며, 이를 생물체내 잔류농도로 관리하기 위한 값들을 설정하고 있다. 이를 인체건강을 보호하기위한 생물체내 잔류농도 수준으로 지칭하고 있으며, TBT의 경우 742 ng Sn/g으로 전문가들에 의해서 받아들여지고 있다. 본 연구에서 조사된 진주담치 체내 TBT 농도는 인체 영향을 줄 수 있는 농도에 비해서는 현저히 낮은 값을 보였다(그림 2-3-23). TBT가 일반적으로 다른 고등생물에 비해 이매패류에 고농도로 축적되는 것을 감안하면, 통영바다목장 중심해역에서 검출되는 TBT 농도는 인체위해성과는 무관한 수준으로 사료된다.

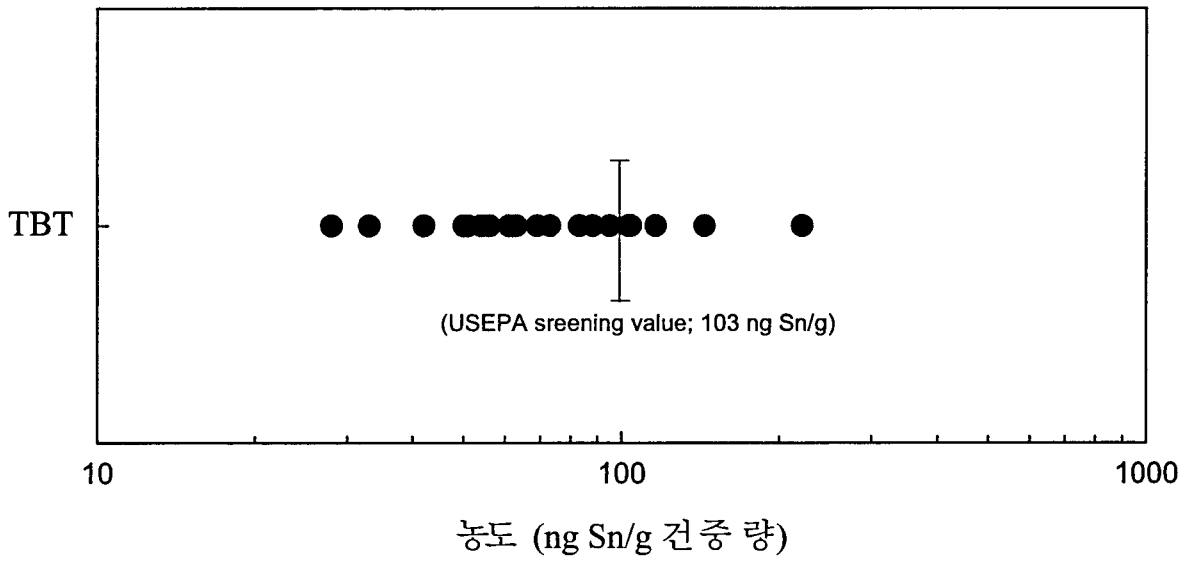


그림 2-3-22. 미국 환경청에서 제시한 퇴적물의 TBT 스크리닝 값과 바다목장 해역 내 표층퇴적물 중 TBT 농도 비교.

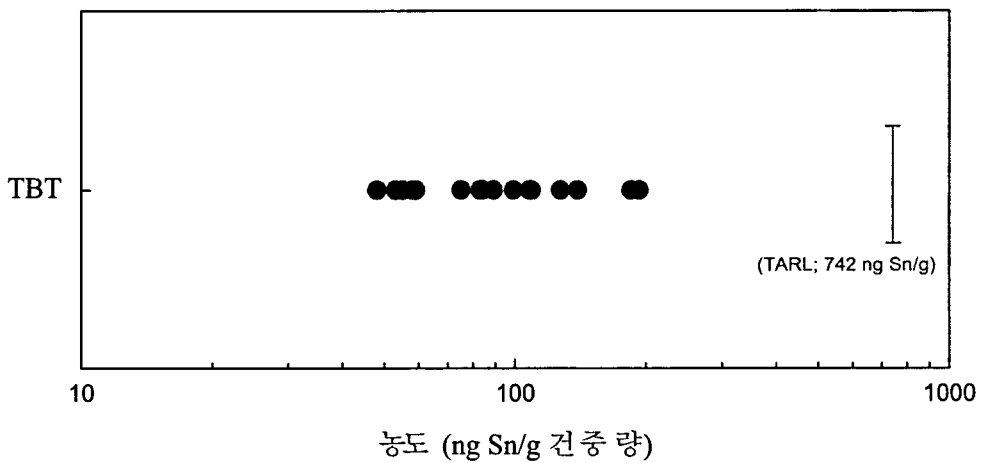


그림 2-3-23. 전문가들이 제시하는 인체건강 보호를 위한 생체내의 TBT 잔류농도 허용 권고치.

(다) 노닐페놀과 비스페놀A

- ① 퇴적물 및 진주담치 중의 노닐페놀과 비스페놀A
- ② 잔류농도

통영목장화 중심해역에서 채집된 표층퇴적물의 73%에서 노닐페놀이 검출되었다. 22개

정점에서 검출된 노닐페놀의 농도는 미검출-19.88ng/g(건중량)의 농도범위를 나타냈다(표 2-3-10, 그림 2-3-24). 오크도 인근해역 정점18과 만리도 인근해역 정점21에서 노닐페놀 함량이 높게 검출되었으나 목장화 해역내 퇴적물 중 농도는 5-10ng/g 내외로 전반적으로 낮다. 한편, PCB 화합물의 농도가 상대적으로 높았던 곤리도 인근해역과 미륙도 사이에 위치한 정점1, 정점2, 정점4, 정점5에서는 노닐페놀이 검출되지 않았다. 비스페놀A의 경우, 2개의 정점을 제외한 모든 정점에서 검출되었다. 바다목장 해역 내 표층퇴적물 층에서 비스페놀A는 미검출-4.66ng/g의 농도 범위를 나타냈다(표 2-3-10, 그림 2-3-25). 노닐페놀과 달리 정점2에서 높은 값을 보였으며, 기타 정점에서는 1-3ng/g의 비슷한 농도수준을 나타냈다. 목장화 해역내 노닐페놀과 비스페놀A의 중앙 농도는 각각 7.65ng/g, 2.04ng/g으로서 노닐페놀의 농도가 비스페놀A에 비해 약 3배 높았다(그림 2-3-26). 목장화 해역에서 노닐페놀과 비스페놀A의 분포는 상관성을 보이지 않았고, PCB 화합물, TBT 화합물, 총유기탄소 함량과도 상관되지 않았다. 한편, 진주담치에서는 노닐페놀과 비스페놀A가 검출되지 않았다.

표 2-3-10. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 노닐페놀 및 비스페놀 A 잔류 농도

Station	NP	Bishpenol A
	Concentration (ng/g dry weight)	
1	ND	0.45
2	ND	4.66
3	5.77	2.06
4	ND	2.55
5	ND	3.24
6	9.30	3.09
7	9.55	2.34
8	5.67	1.38
9	ND	ND
10	11.49	0.70
11	14.22	ND
12	7.67	1.26
13	7.62	2.03
14	8.71	2.27
15	7.77	0.99
16	ND	3.30
17	9.04	2.94
18	19.88	1.73
19	8.35	1.21
20	6.10	1.63
21	15.63	2.51
22	7.46	2.23

ND; not detected

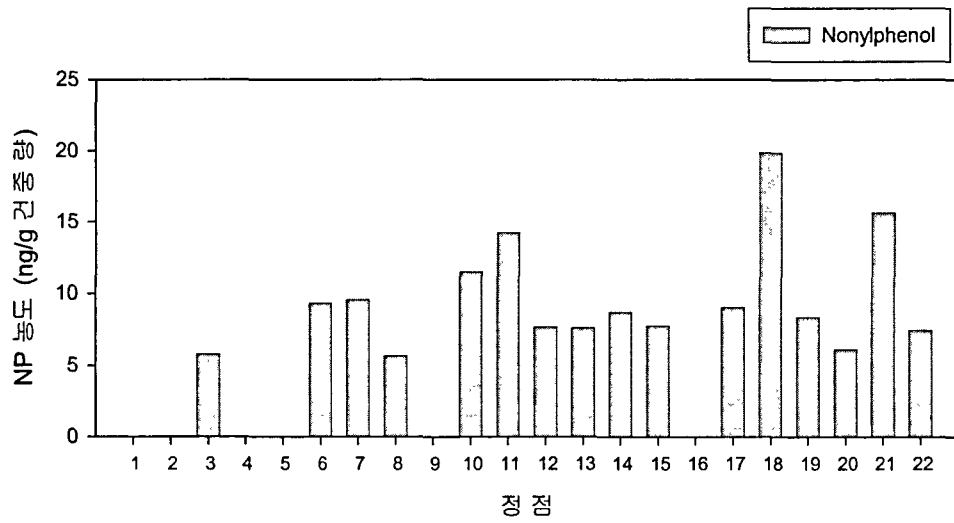


그림 2-3-24. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 노닐페놀의 공간분포.

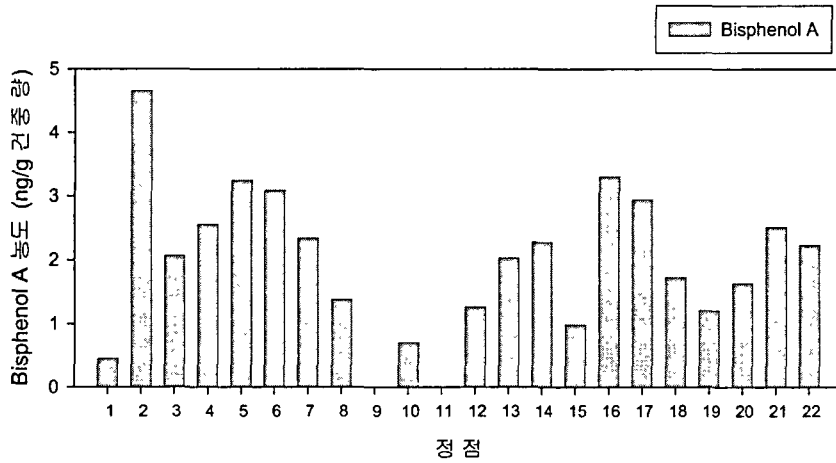


그림 2-3-25. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 중 비스페놀A의 공간분포.

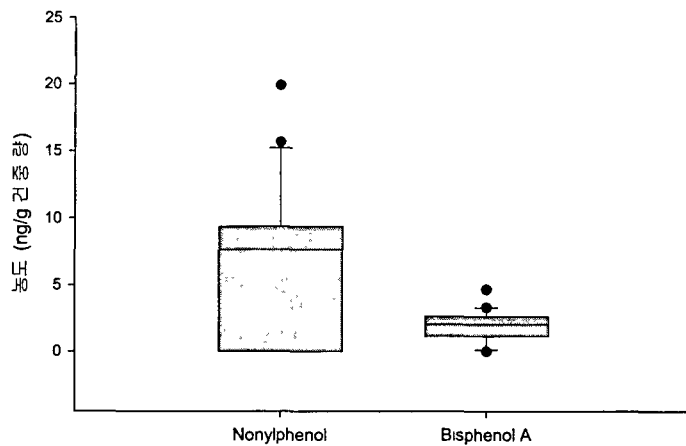


그림 2-3-26. 통영목장화 중심해역 표층퇴적물 노닐페놀과 비스페놀A의 농도비교

㉔ 국내 연안농도와의 비교

국내에서 페놀화합물에 대한 연구는 2000년대 이후에 진행되었으며 현재까지 조사된 사례가 극히 부족한 실정이다. 울산만과 광양만, 새만금에서 선행하여 조사된 노닐페놀의 농도와 목장화 해역 내 농도를 그림 2-3-27에서 비교하여 제시하였다. 울산만, 광양만, 새만금 표층퇴적물에서 검출된 노닐페놀의 농도는 각각 미검출-19.9ng/g, 3.1-74.3ng/g, 미검출-41.5ng/g으로서 목장화 해역 내 노닐페놀 농도는 광양만과 새만금의 일부 정점을 제외한 대부분의 해역에서의 농도수준과 비슷한 수준이다. 한편, 비스페놀A의 농도는 울산해역에 비해 전반적으로 높은 수준을 보였다(그림 2-3-28). 그러나, 목장화 해역에서 검출된 노닐페놀과 비스페놀A 화합물의 농도는 물의 순환이 원활하지 못한 반폐쇄형 만이나 하천 및 강과 같이 인간의 인위적 영향이 빈번히 나타나는 해역에 비해 월등히 낮은 수준이다.

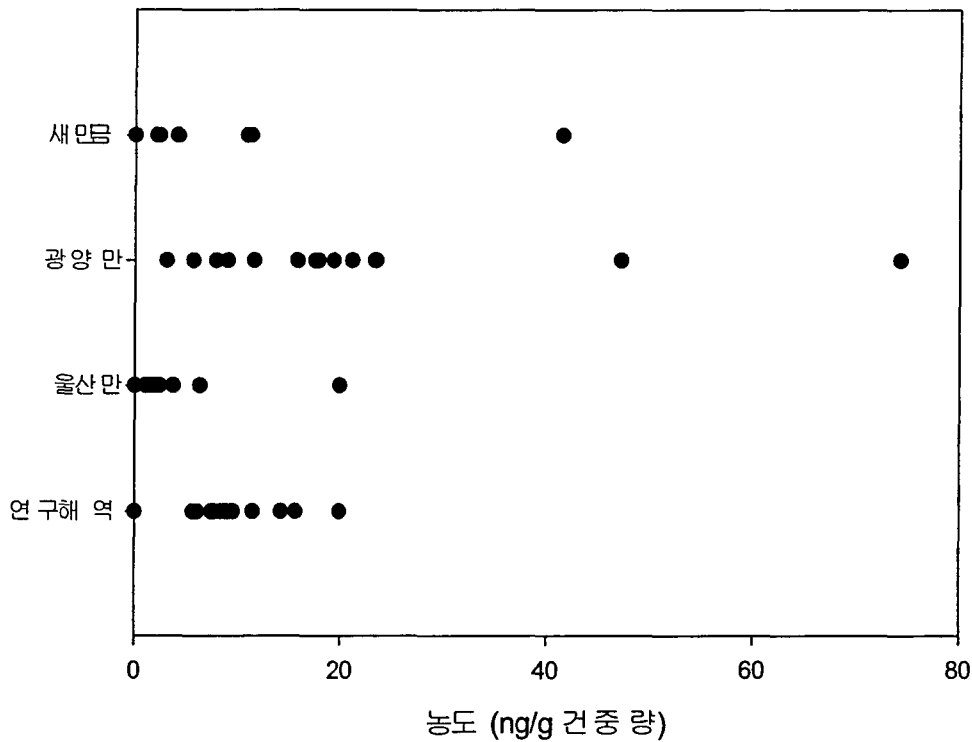


그림 2-3-27. 통영목장화 중심해역과 국내연안해역의 표층퇴적물 중 노닐페놀 농도 비교. 참고문헌: 울산만(Khim et al., 2001), 광양만(Li et al., 2003), 새만금(해양수산부/한국해양연구원, 2003)

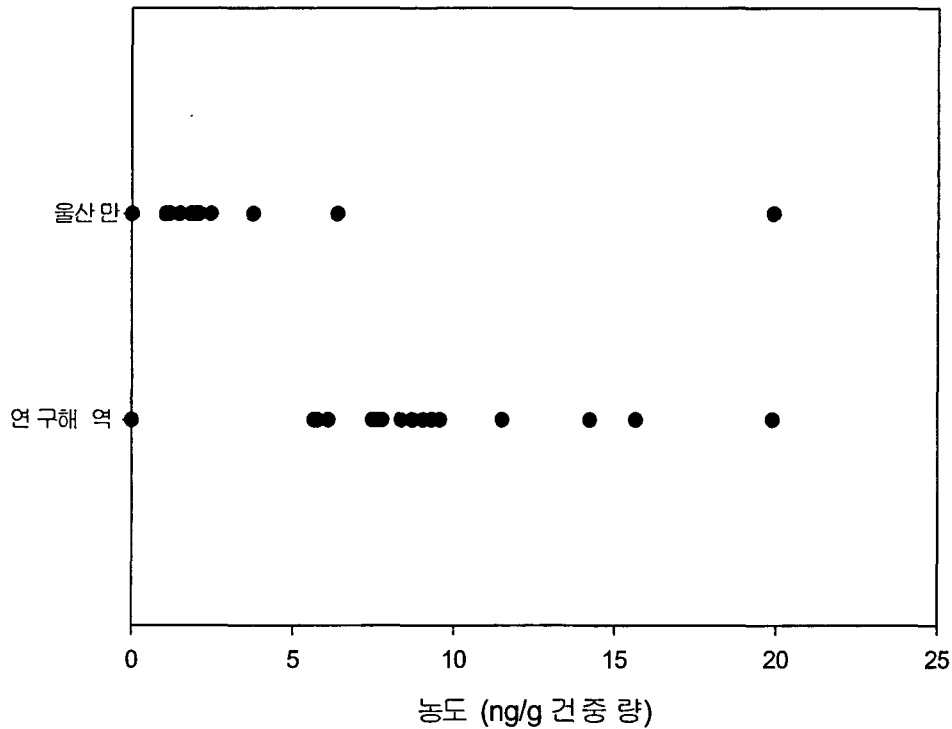


그림 2-3-28. 통영목장화 중심해역과 울산해역의 표층퇴적물 중 비스페놀A 농도비교.
참고문헌: 울산만(Khim et al., 2001)

② 노닐페놀과 비스페놀A 잔류농도의 생태위해성

노닐페놀과 비스페놀 화합물은 내분비계 장애물질의 대표적 화합물로 잘 알려져 있다. 이들 화합물은 분자 구조상 특히 여성호르몬인 에스트로젠과 유사한 작용기를 가짐으로써 생물체내에서 여성호르몬과 유사한 일련의 영향을 유발시키는 에스트로젠 유사물질로 구분된다(Madigou et al. 2001). 특히 노닐페놀의 경우 전구체인 알킬페놀폴리에톡실레이트(Alkylphenolpolyethoxylates, APnEOs)가 분해되면서 최종적으로 생성되는 산물로서 전구체에 비해 독성이 크고 환경에서 잔류성이 높은 특징을 갖는다. 캐나다 환경청은 해양생물을 보호하기 위한 퇴적물 중 노닐페놀화합물의 권고치권고치(Interim Canadian Sediment Quality Guideline, CSeQG)를 100ng NP TEQ/g(건중량)를 제시하고 있다. 목장화 해역내 22개 정점에서 채집된 퇴적물 중 노닐페놀 농도는 캐나다 퇴적물 권고치 보다 월등히 낮은 수준이다. 그러나, 현재 비스페놀A 대한 환경기준 혹은 권고치는 마련되지 못한 실정이며 이때패류 중 두 화합물의 잔류농도에 대한 권고치 역시 제시되지 못한 실정이다.

나. 중금속 오염

(가) 유기물

본 조사의 통영해역 바다목장화 중심해역 표층 퇴적물에 대한 지화학적 분석 결과는 표 2-3-11에 나타내었다.

연안환경의 퇴적물은 오염물질의 유입 형태 변화에 따른 정보와 수계 내에서 진행된 다양한 생지화학적 과정에 관한 정보를 기록하고 있기 때문에 환경의 변화를 연구하는데 있어서 매우 유용하게 이용되고 있으며, 오염물질 중에서 특히 중금속은 환경내에서 지속성을 가지고 축적되므로 환경 변화를 이해하는데 유용하게 활용되고 있다(Förstner, 1981; Salomons and Förstner, 1984). 또한 물리 화학적 조건에 따라 퇴적물 내 오염물질이 재 이동되며, 퇴적물 또는 수층의 오염물질은 서식생물에 흡수되는 등 생태계에 영향을 미치게 된다.

한편 어장 퇴적물의 환경 평가에 일반적으로 유기탄소, 질소, 황, COD 등이 이용되고 있다(度邊, 1990). 연안 어장 퇴적물은 해역의 환경 수용력을 초과하여 하천 등 육상 환경으로부터 들어오는 유기물에 의하여 오염되며, 양식을 위해 투입되는 사료에 의한 2차 오염의 문제를 가지고 있다. 퇴적물에 분해성 유기물이 다량 함유되어 있을 경우 산소 소모에 의한 용존산소 저하, 황화물 발생, 질소와 인의 용출이 수반되며, 이는 서식 생물에 직접적인 영향을 주게 되므로 퇴적물의 유기물 농도는 매우 중요하다. 어장의 건강도 평가에 있어서 분해성 유기물의 지표인 COD가 일반적으로 이용되고 있으며, 강열감량은 분해성과 난분해성 유기물의 총량을 의미한다.

본 조사 해역 퇴적물에서 강열감량은 6.0-12.2%(평균 10.5%), COD는 11.1-26.9mg/g(평균 22.4mg/g), TOC는 1.58-2.50%(평균 2.03%)의 범위로 분포하였다(그림 2-3-39). 강열감량과 COD는 퇴적물에 패각과 모래가 많이 섞여 있는 정점 13과 16에서 전체 정점 평균의 50-60%대 정도의 낮은 값을 나타내었으며, 정점 14와 17에서도 다소 낮은 농도이었다. 그 외의 정점들은 서로 비슷한 분포를 나타내었다. 일본에서는 저층 퇴적물의 유기물 지표인 COD는 30mg/g 이상일 경우 저서생물에 유해한 것으로 알려져 있으며(度邊, 1990), 본 조사에서는 이보다 높게 나타난 정점은 없었다. TOC는 정점 16에서 가장 낮고, 정점 5에서 가장 높았으나 강열감량과 COD 만큼 큰 변화를 보이지 않았다. 남해안의 거제도 주변에서 강열감량, COD와 TOC는 각각 8.19-17.55%(평균 13.72%), 7.8-32.5mg/g(평균 21.9mg/g), 1.10-6.23%(평균 2.54%)로 본 조사값에 비하여 변동범위도 크고, 평균 역시 높았지만 COD의 평균값만이 본 조사값과 비슷하였다(한국해양연구원, 2003).

표 2-3-11. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물의 지화학 성분 분석 결과

정 점	IL	COD	TOC	Al	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
	(%)	(mg/g)	(%)					($\mu\text{g/g}$)		
1	11.4	25.1	2.00	9.71	162	79.9	220	0.20	50.0	0.033
2	10.9	24.6	2.04	8.92	100	53.0	141	0.11	30.4	0.040
3	11.3	23.1	1.87	7.50	91.2	48.8	129	0.14	27.5	0.031
4	11.8	25.5	1.85	8.23	97.8	47.9	139	0.12	29.9	0.038
5	11.4	24.3	2.50	7.06	95.4	45.5	135	0.12	30.0	0.039
6	11.3	25.3	1.73	7.95	96.7	31.2	133	0.12	29.1	0.035
7	10.5	25.1	1.92	7.62	91.8	31.2	128	0.11	29.8	0.036
8	10.7	23.8	1.94	7.70	86.1	26.5	121	0.11	27.9	0.037
9	11.2	25.7	1.83	8.63	90.6	32.5	130	0.12	29.9	0.034
10	12.0	25.8	2.32	8.00	86.6	36.7	127	0.11	29.4	0.036
11	11.8	24.1	1.92	8.36	87.5	46.1	132	0.11	30.4	0.036
12	12.2	24.7	2.22	7.95	84.9	30.7	123	0.12	29.6	0.038
13	6.63	11.1	2.31	6.33	56.0	16.1	78.2	0.11	23.3	0.022
14	8.98	16.2	1.92	6.55	72.7	19.9	101	0.12	25.7	0.027
15	10.1	20.5	1.87	7.37	78.2	20.3	109	0.14	26.5	0.030
16	6.00	12.8	1.58	6.20	59.2	16.3	81.8	0.12	25.1	0.022
17	8.97	20.7	2.10	6.56	73.4	19.0	101	0.12	25.3	0.030
18	11.3	26.9	1.92	7.47	88.3	26.0	122	0.13	28.4	0.036
19	11.0	22.6	2.18	7.49	84.4	22.9	116	0.13	31.3	0.033
20	10.9	22.7	2.23	7.49	82.7	24.0	116	0.12	28.6	0.035
21	10.1	20.5	2.15	7.65	81.6	28.8	116	0.11	28.1	0.034
22	10.5	21.9	2.17	7.16	78.0	33.4	116	0.10	28.6	0.035
최소	6.00	11.1	1.58	6.20	56.0	16.1	78.2	0.10	23.3	0.022
최대	12.2	26.9	2.50	9.71	162	79.9	220	0.20	50.0	0.040
평균	10.5	22.4	2.03	7.63	87.5	33.5	123	0.12	29.3	0.033

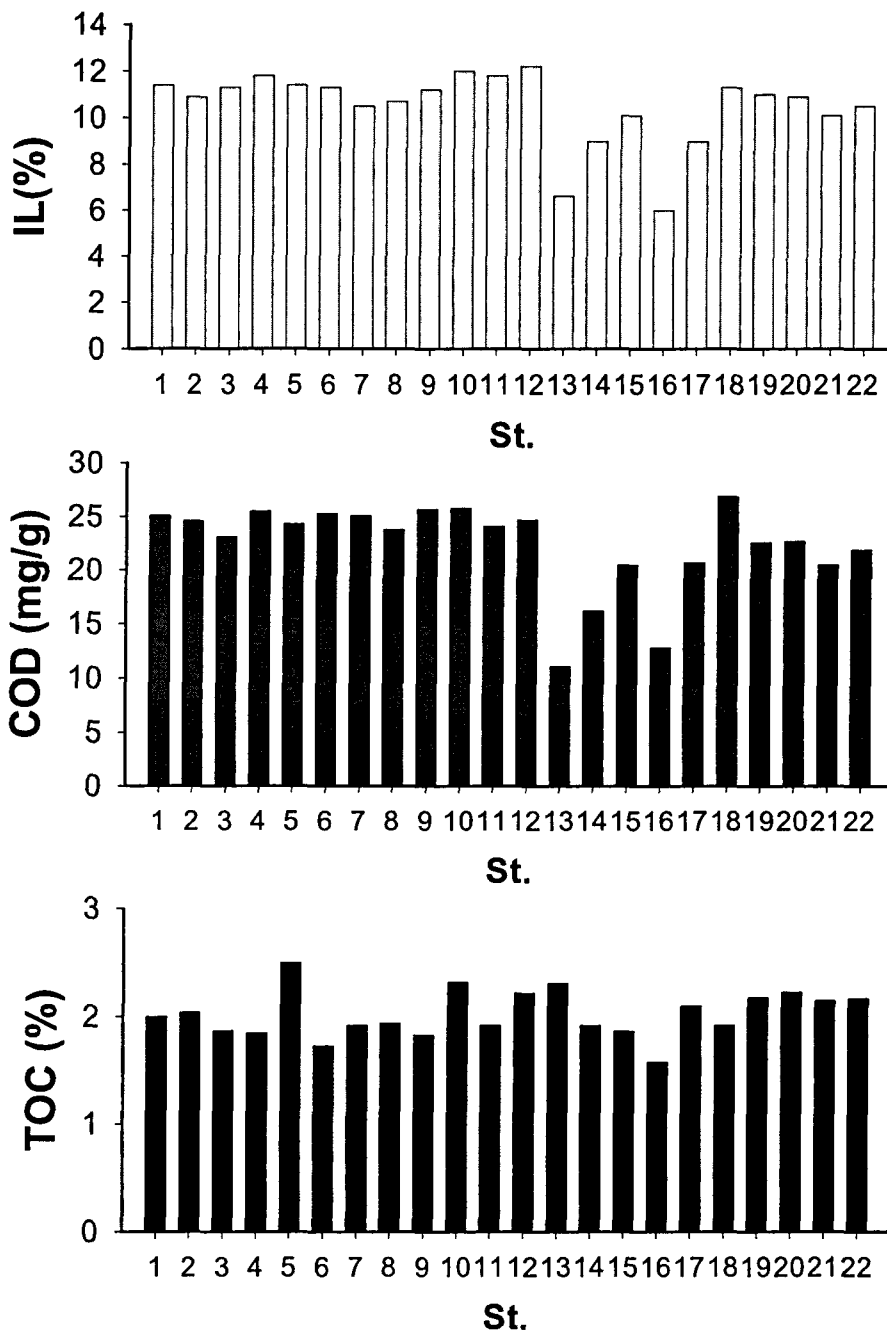


그림 2-3-29. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물 중 유기물 지표의 농도 분포.

(나) 중금속

- ① 퇴적물 중의 중금속
- ㉞ 잔류농도

해역의 오염도를 측정하기 위해서는 해수, 퇴적물, 해양생물을 주요 대상으로 하고 있으며, 구성 매체별로 중금속은 다양한 형태 및 농도를 나타낸다. 일반적으로 해양에서 중

금속은 극미량으로 존재하고 있으며, 근래의 중금속 농도는 1980년대 이전에 비해 1/10에서 1/1,000 수준까지 낮은 농도인 것으로 보고되었는데, 이것은 중금속 자료 획득을 위한 전체 과정에 청결기술이 적용되고, 분석 기기의 발달에 따른 것이다(Windom *et al.*, 1991). 청결기술은 시료채취, 보관, 분석 과정에 발생할 수 있는 중금속의 오염을 최소화시키는 것으로 무오염 채취기술, 시료병 및 채취 기구의 재질 향상과 엄격한 세척과정, 초고순도 시약의 사용, 초청정 실험환경 등이 갖추어져야 한다. 자연수의 경우는 오차가 심하게 나타날 수 있으며, 이보다 분석 오차가 적은 해양 퇴적물도 IAEA에서 실시한 연구실간의 상호검증연구 결과 대부분의 중금속 농도는 5배 이상의 차이를 나타내고 있으며, 분석의 신뢰는 엄격한 관리가 있어야만 서로의 자료를 비교 대상으로 할 수 있는 것으로 나타났다(Coquery *et al.*, 2000). 따라서 청결 기술을 적용하지 않고 획득된 자료는 실제 농도보다 과대 평가될 수 있으므로 정확한 분포, 거동, 환경 평가 및 변화 추세를 파악하기 위한 자료로 이용하기 어려운 실정이다(Bruland, 1983; Burton and Statham, 1990).

본 조사 해역 퇴적물의 중금속 농도는 표 2-3-13과 같다. 중금속 분포는 그림 2-3-30에 나타내었으며, 각 원소별로 살펴보면 다음과 같다.

Al은 퇴적물을 구성하는 주요 성분으로 % 단위로 포함되어 있으며, 일반적인 퇴적 환경에서는 오염과 무관하여 퇴적물의 세립 정도를 지시하는 인자로 많이 활용되는데, 세립할수록 높은 Al 농도를 나타내는 경향이 있다(Schropp *et al.*, 1900). 본 조사 해역에서 Al 6.20-9.71%(평균 7.63%)의 분포였으며, 정점 16은 6.20%로 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 정점 13, 14, 17에서도 6.5% 내외로 다른 정점들보다 낮은 농도를 나타내었다. 반면 정점 1에서는 9.71%로 가장 높았으며, 정점 2에서도 9%에 근접하는 높은 농도를 나타내었다.

크로뮴은 56.0-162 $\mu\text{g/g}$ (평균 87.5 $\mu\text{g/g}$)의 범위로 변화폭이 컸는데 Al과 마찬가지로 정점 13에서 56.0 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮았고, 정점 16에서도 59.2 $\mu\text{g/g}$ 으로 다른 정점들보다 낮게 나타났으며, 최고 농도는 정점 1에서 162 $\mu\text{g/g}$ 을 보였다. 이러한 최고 및 최저 농도를 제외하면 비교적 고른 분포 형태였지만 공간적으로 곤려도 주변의 정점들에서 약간 높고 그 외의 정점들에서 낮는데 특히 학림도와 오곡도 사이의 정점들에서 낮았다.

구리와 아연은 각각 16.1-79.9 $\mu\text{g/g}$ (평균 33.5 $\mu\text{g/g}$), 78.2-220 $\mu\text{g/g}$ (평균 123 $\mu\text{g/g}$)의 범위로 정점간의 변화가 컸으며, 최저 및 최대값을 나타내는 정점들은 위의 원소들과 같았다. 정점 1에서 나타난 두 원소의 최고 농도는 평균에 비해서 구리는 2.4배, 아연은 1.8배 높은 수준이었다. 구리의 공간 분포는 미륵도의 해안에 가까운 정점들에서 높고, 학림도와 연대도 남쪽에 위치한 정점들에서 낮은 경향이었으며, 아연의 공간 분포는 크로뮴과 유사하였다.

카드뮴은 0.10-0.20 $\mu\text{g/g}$ (평균 0.12 $\mu\text{g/g}$)의 범위로 정점 1의 최고 농도를 제외하면 다른

중금속들보다 고른 분포를 나타내었다.

납은 23.3-50.0 $\mu\text{g/g}$ (평균 29.3 $\mu\text{g/g}$)으로 분포하였으며, 정점 1에서 전체 평균 농도의 1.7배에 해당하는 50 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 정점 13에서 가장 낮은 농도이었지만 평균과 큰 차이는 아니었다. 이들을 제외하면 25-30 $\mu\text{g/g}$ 범위의 비교적 고른 분포였지만 학림도와 오곡도 사이의 정점들에서 약간 낮았다.

수는 0.022-0.040 $\mu\text{g/g}$ (평균 0.033 $\mu\text{g/g}$)의 범위로 최저 농도는 정점 13과 16에서 나타났으나 최고 농도는 다른 원소들과 다르게 정점 2에서 나타났다. 이들 정점을 제외하면 정점간의 차이는 큰 차이가 없으며, 학림도 남쪽에서 약간 낮은 분포였다. 일반적으로 퇴적물 내의 중금속 농도는 인위적인 영향 외에도 기반암 차이, 퇴적 환경의 산화/환원 정도에 의하여 영향을 받는데, 일반 해양환경에서는 입도, 광물 조성, 탄산염 및 유기물 농도의 영향이 크게 작용한다(Calvert, 1976). 본 조사에서 나타난 표층 퇴적물의 지화학적 분석 결과들간의 상관성을 보면 TOC에 대해서 대부분 항목들이 의미 있는 상관계수를 나타내지 않았고, 금속들간에도 알루미늄-카드뮴, 카드뮴-수은, 납-수은 간에 낮은 상관계수를 나타내었다. 그러나 그 외에는 양호한 상관성을 나타내었으며(표 2-3-12), 특히 Al에 대하여 높은 상관성을 갖는 것은 간접적으로 이 해역 퇴적물이 입도에 의한 영향을 많이 받고 있다고 볼 수 있지만 정점 1의 경우는 다른 정점들보다 다소 높게 축적되고 있는 것으로 나타났다(그림 2-3-30).

표 2-3-12. 퇴적물내의 지화학 성분들 간의 상관계수(R)

	IL	COD	TOC	Al	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
IL	1.000									
COD	0.936	1.000								
TOC	0.181	0.043	1.000							
Al	0.715	0.725	-0.090	1.000						
Cr	0.591	0.625	-0.030	0.835	1.000					
Cu	0.558	0.540	0.035	0.796	0.885	1.000				
Zn	0.648	0.666	-0.003	0.867	0.993	0.915	1.000			
Cd	0.172	0.178	-0.167	0.432	0.752	0.577	0.704	1.000		
Pb	0.456	0.468	0.029	0.773	0.948	0.819	0.939	0.795	1.000	
Hg	0.880	0.892	0.249	0.631	0.473	0.476	0.530	-0.114	0.323	1.000

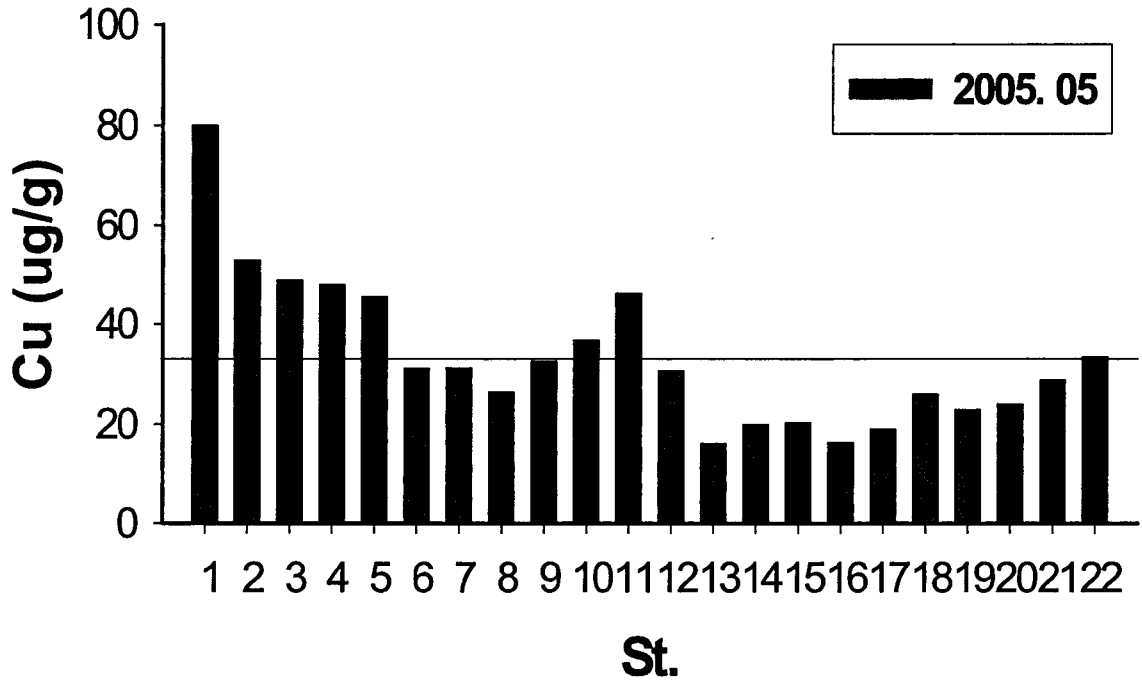
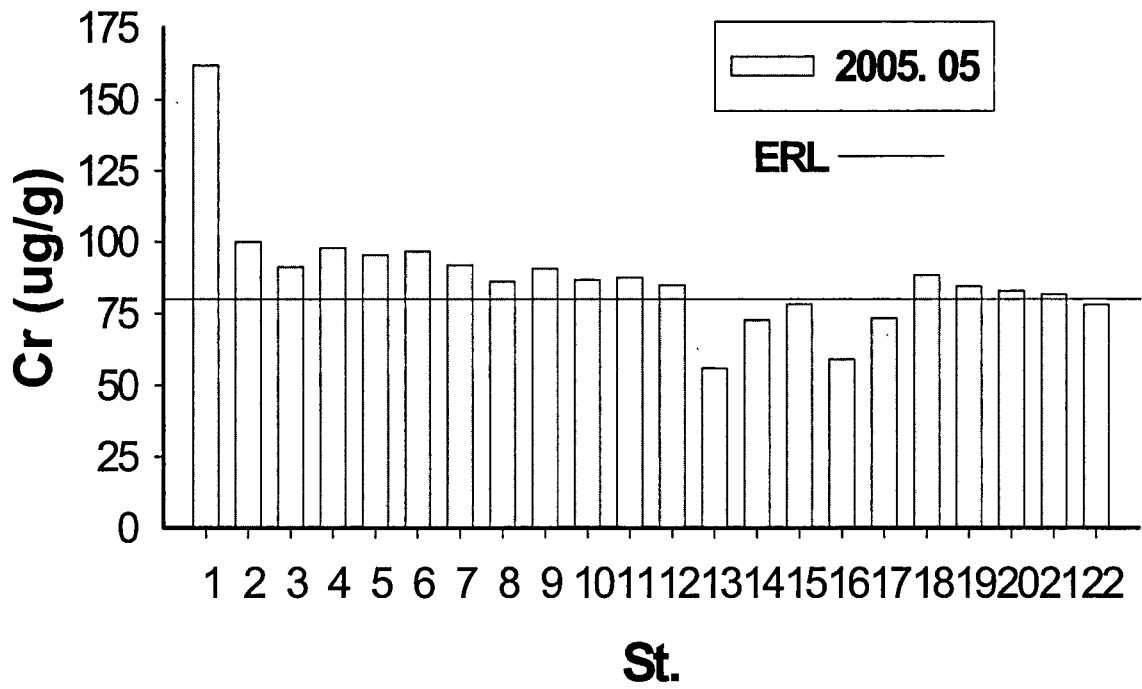


그림 2-3-30. 통영목장화 중심해역 표층 퇴적물 중 중금속 농도 분포.

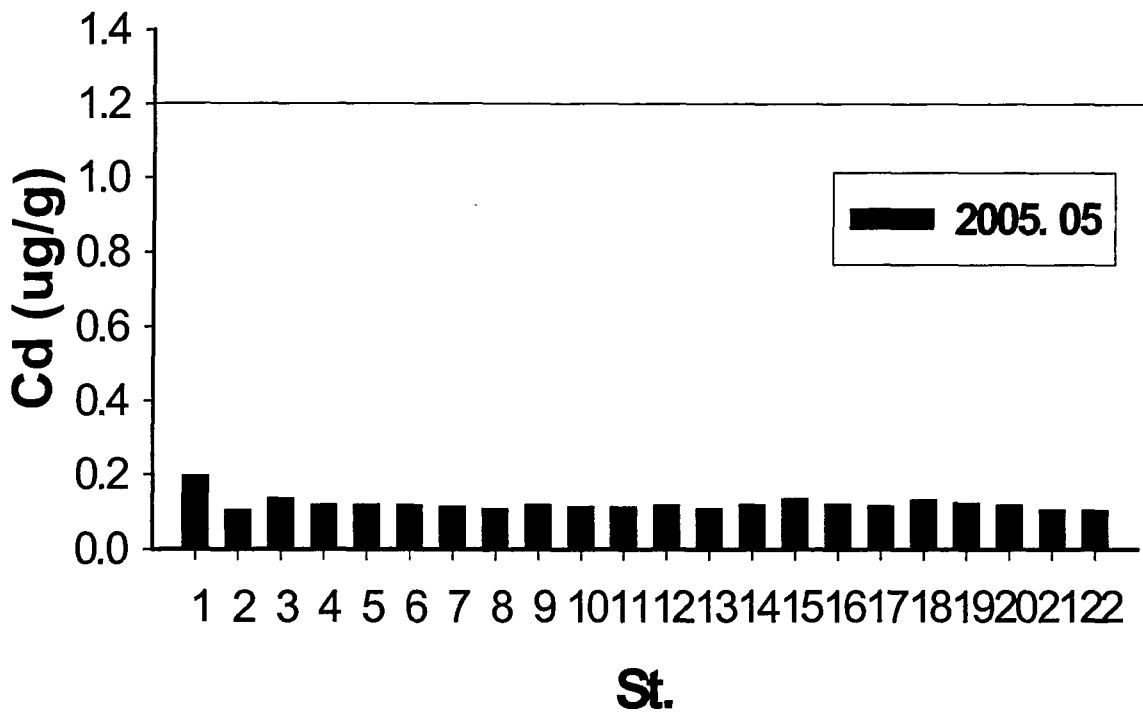
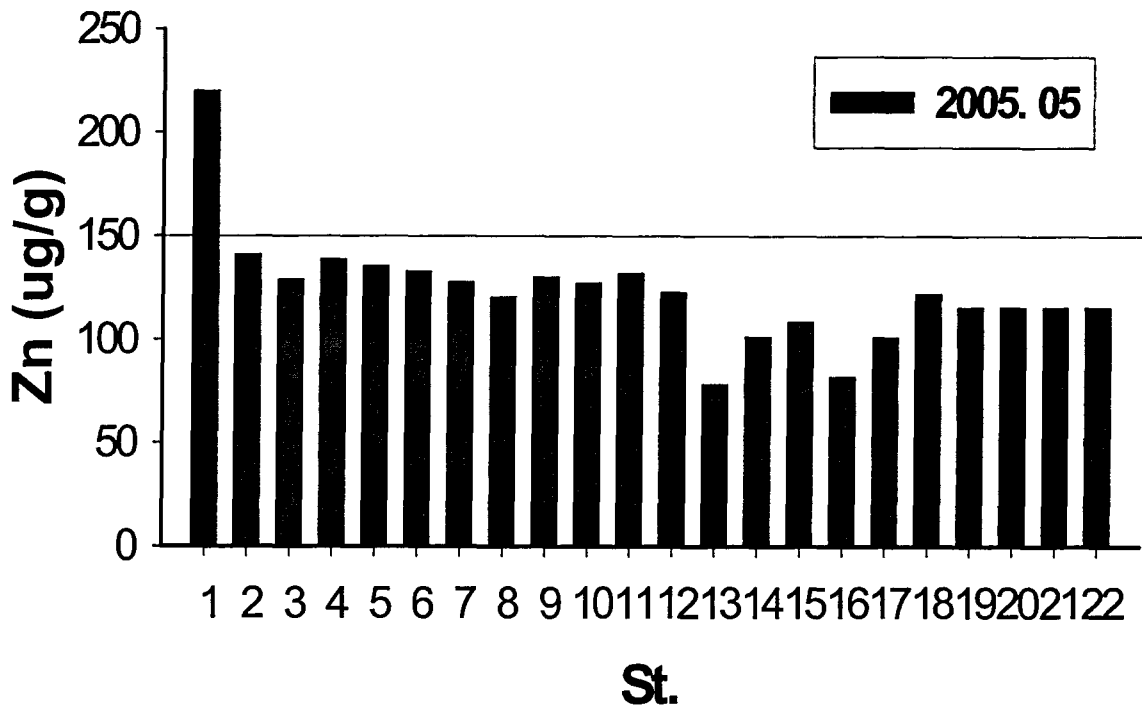


그림 2-3-30. (계속)

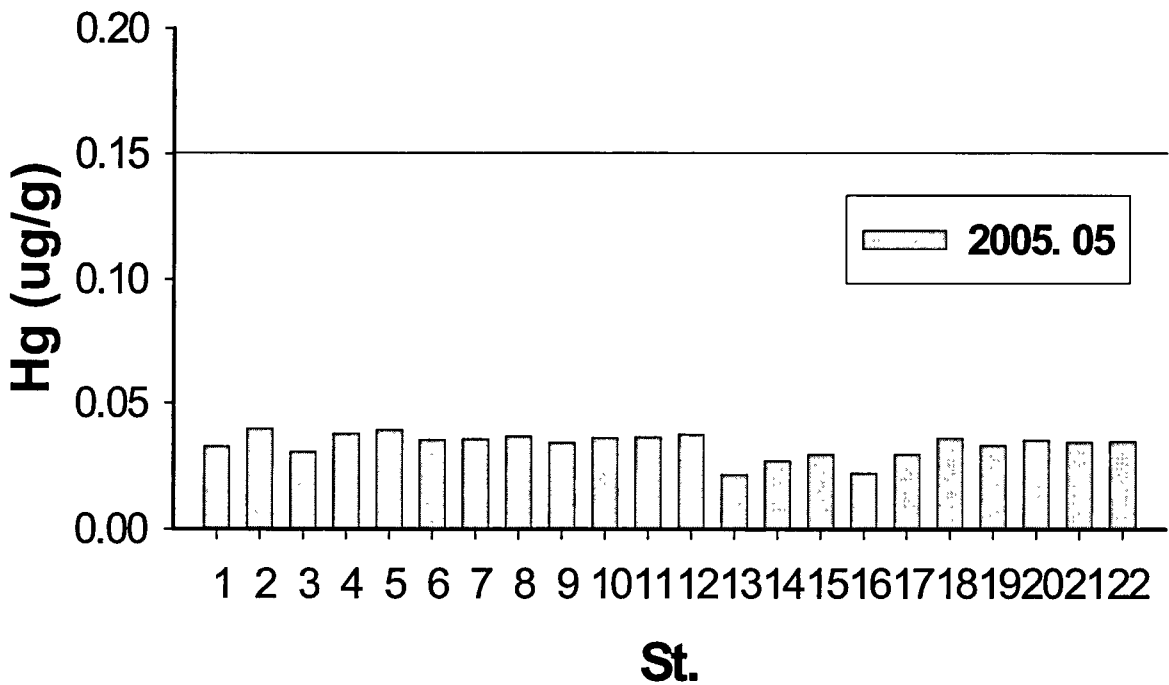
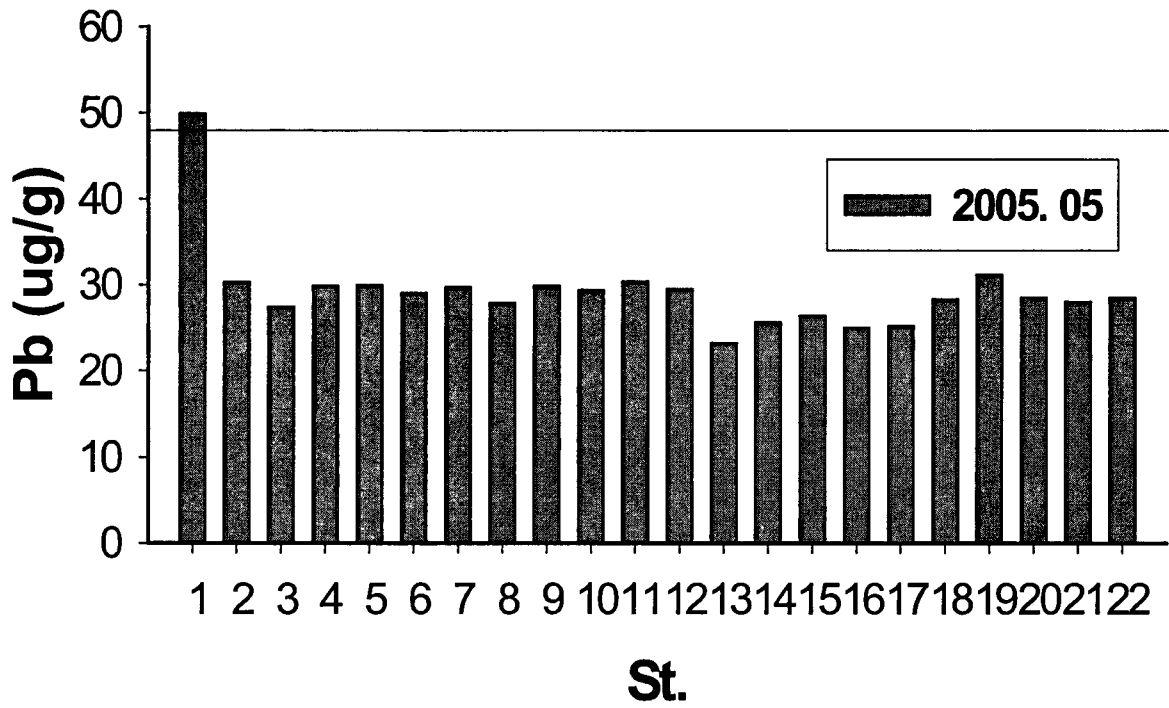


그림 2-3-30. (계속)

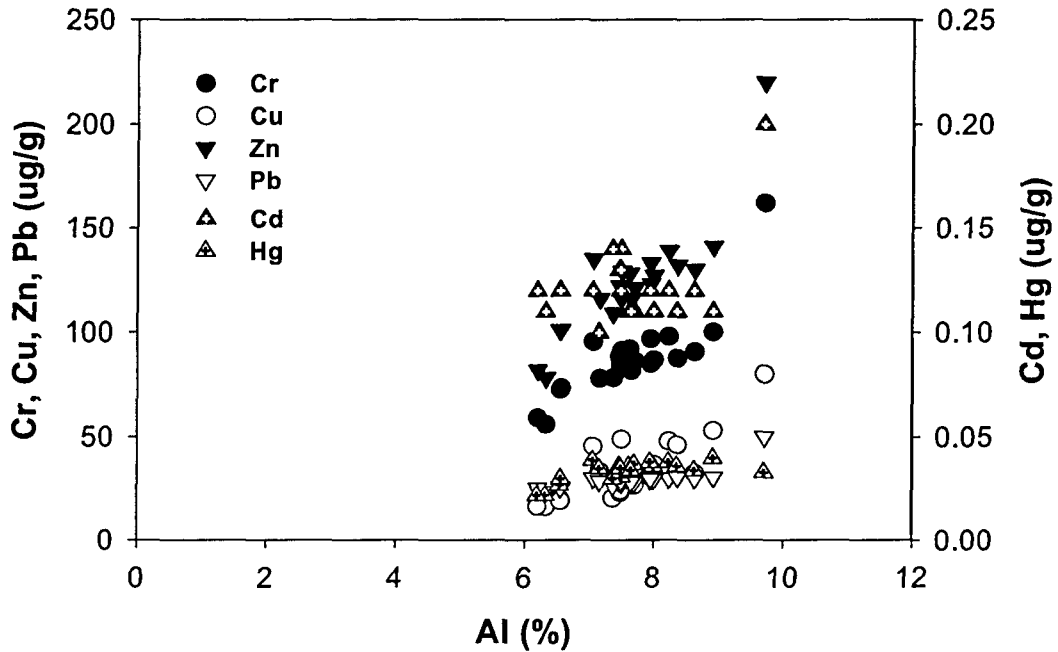


그림 2-3-31. 퇴적물내 Al과 중금속들의 상관관계.

㉔ 국내 연안농도와의 비교

본 조사를 비롯하여 우리나라 주변 연안 및 대륙붕 퇴적물의 중금속 농도를 표 2-2-3에 나타내었다.

본 조사에서 나타난 퇴적물의 중금속 농도를 원소별로 보면 크로뮴은 가덕도, 거제도, 진해만 해역 농도보다 약 1.5배, 새만금 해역보다는 2배이상 높았다. 한편 동일 해역의 바실연(2004) 자료는 본 조사보다 매우 낮은 평균 농도를 나타내었는데 아마도 분석상의 오류가 있는 것으로 판단된다. 구리는 본 조사 농도가 진해만의 평균 농도인 $42\mu\text{g/g}$ 보다는 낮았으며, 바실연(2004)의 통영해역 조사 농도와 비슷한 범위와 평균을 보였지만 다른 해역들 보다는 높았다. 아연은 변동 범위가 커지만 평균 농도로는 가덕도, 거제도, 진해만과 10%이내의 차이를 나타내는 비슷한 농도였다. 그러나 남해 대륙붕에 비해서는 2배, 새만금 해역보다는 약 3배 높았다. 하지만 바실연(2004)의 평균 농도는 본 조사 평균의 1/2 수준이었는데 크로뮴과 같은 문제점이 있는 것으로 보인다. 카드뮴 경우 유용한 자료가 별로 없지만 가덕도나 거제도에 비해서는 낮으며, 새만금 해역보다는 1.5배 높은 수준이었다. 본 조사의 납 평균 농도는 새만금보다는 1.4배 높지만 다른 지역과는 $\pm 10\%$ 내외의 범위로 비슷하였다. 수은은 새만금 해역의 $0.006\mu\text{g/g}$ 이나 가덕도 해역의 $0.024\mu\text{g/g}$ 보다 높았으나 거제도 해역보다는 낮았으며, 바실연(2004)의 동일 해역 조사보다는 1/3이하의 낮은 농도였다.

표 2-3-13. 통영 및 우리 나라 연안 표층 퇴적물의 중금속 농도

해역	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	자료출처
	(µg/g)						
새만금	7.57-71.0 (37.8)*	0.10-11.3 (4.25)	8.54-64.0 (37.2)	<0.01-1.11 (0.08)	14.3-33.4 (20.7)	<0.001-0.034 (0.006)	한국해양연구 원(2005)
남해	10-104 (53)	3-28 (11)	16-222 (62)	-	16-40 (27)	-	조 등(1994)
대륙붕	22.0-89.0 (60.6)	6.9-40.4 (21.9)	57-194 (132)	0.08-0.48 (0.26)	19.0-41.1 (30.9)	0.004-0.158 (0.024)	한국해양연구 원(2002a)
가덕도	39.9-72.4 (62.6)	17.4-45.3 (28.2)	95-156 (134)	0.11-0.21 (0.15)	22.7-42.0 (32.9)	0.028-0.060 (0.044)	한국해양연구 원(2002b)
거제도	23-82 (58)	18-91 (42)	67-352 (125)	-	10-69 (29)	-	김(2001)
진해만	13.64-55.77 (39.69)	9.12-98.92 (35.69)	24.7-95.8 (66.4)	ND	12.73-76.63 (29.84)	0.06-0.21 (0.11)	바실연(2004)
통영	56.0-162 (87.5)	16.1-79.9 (33.5)	78.2-220 (123)	0.10-0.20 (0.12)	23.3-50.0 (29.3)	0.022-0.040 (0.033)	본 연구

* : ()의 수치는 평균 농도임

② 진주담치 중의 중금속

㉑ 잔류농도

오염도 측정에 있어 해수의 경우 변동성이 크고, 고도의 분석기술을 요구하는데 비하여 퇴적물의 경우 수년에서 수십년 단위의 장기간에 걸친 오염물질 축적을 측정할 수 있으며, 패류와 같은 해양생물은 일생동안 서식범위가 국한되어 있으면서 중금속, 유기오염물질 등을 생물 농축 시키기 때문에 수개월에서 수년간의 비교적 짧은 기간의 오염도 측정에 적용될 수 있다. 오염지표생물로서 세계적으로 널리 분포하는 종을 선택한다면 지역 또는 국가간의 오염도 비교가 가능하며, 이러한 개념으로 발전된 것이 세계 홍합감시(International Mussel Watch)이며, 홍합 또는 굴 등을 이용하고 있다(NAS, 1980; Goldberg *et al.*, 1983).

한편 우리 나라에 서식하는 홍합속(*Mytilus*)의 종으로는 홍합(*Mytilus coruscus* Gould, 1861), 진주담치로 불리는 두 종(*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758과 *Mytilus gaiioprovincialis* Lamarck, 1819), 그리고 동해담치(*Mytilus grayanus* Dunker, 1853) 등 4종이 있으며(유, 1976; 제, 1989), 우리 나라 남해안에는 주로 진주담치(*Mytilus edulis*)가 분포하고 있는 것으로 나타난 바 있다(제 등 1990). 본 조사는 통영해역 바다 목장화 주변해역의 오염과 생태 위해성을 알아보기 위하여 부착 패류인 진주담치를 대상으로 중금속 조사를 실시하였다.

통영 바다목장화 해역 주변에 서식하는 진주담치 생체 중의 중금속 분석 대상 시료의 각 정점별 20개체에 대한 패각 자료는 그림 2-3-32에 나타낸 바와 같다. 시료 채취시 가능하면 정점간 또는 정점내에서 개체 크기의 차이를 줄이려고 하였으나 그림에서와 같이 현장 여건에서는 한계가 있었다. 분석에 사용된 전체 개체의 각장 범위는 27.0-78.0mm, 평균은 56.5mm였다. 각 정점별 평균 각장은 정점 13이 36.4mm로 가장 작았으며, 정점 16에서 69.5mm로 가장 컸다. 한편 전체 개체의 통계분석에 의하면 외형 자료는 서로 밀접한 정의 상관성을 보였으며, 상관관계식과 상관계수는 다음과 같다.

$$\text{각장(mm)} = 2.23 \times \text{각고(mm)} - 9.67 \quad (R=0.897)$$

$$\text{각장(mm)} = 3.04 \times \text{각폭(mm)} - 8.34 \quad (R=0.871)$$

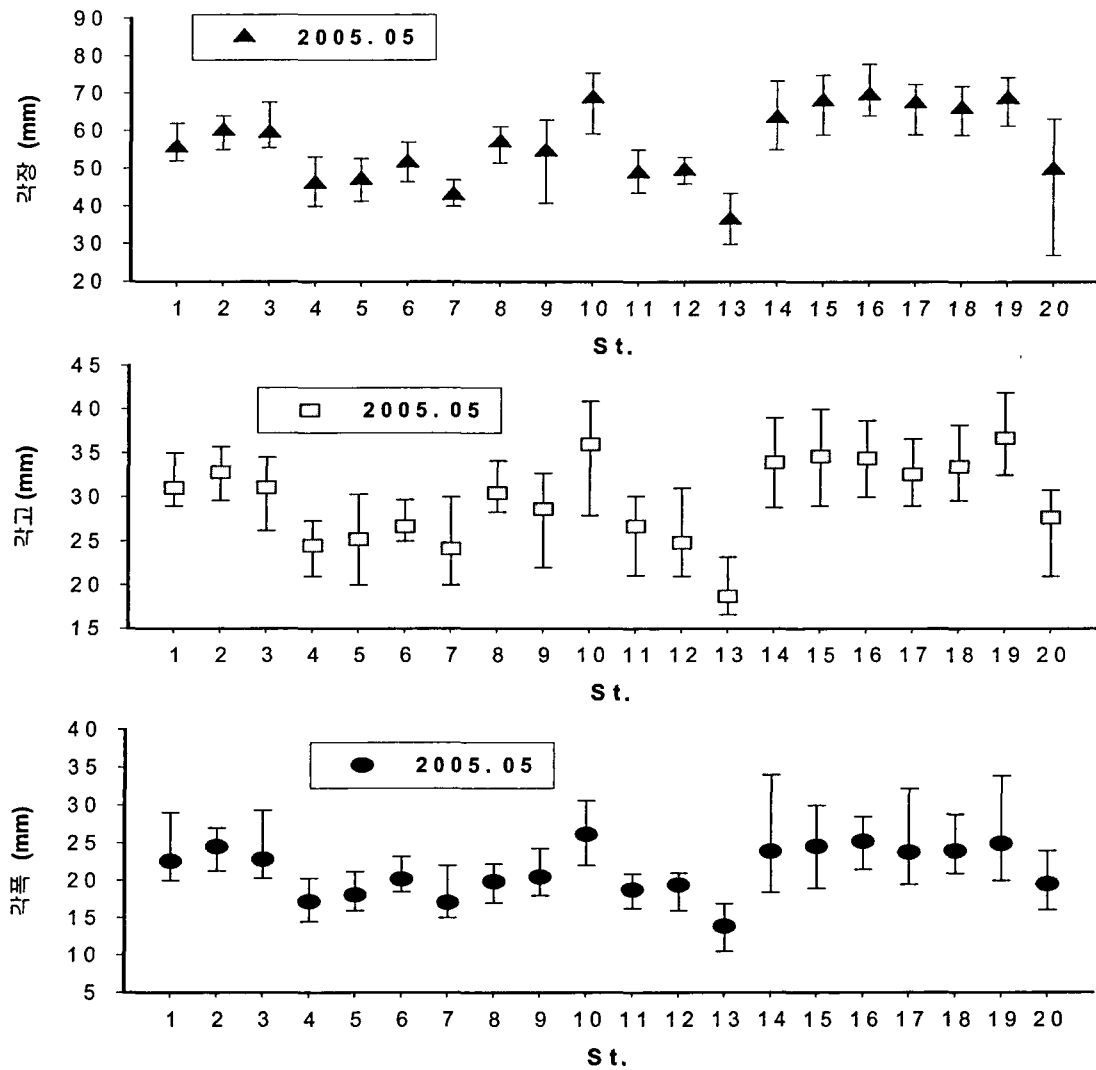


그림 2-3-32. 통영목장화 중심해역 진주담치의 패각 외형 자료.

진주담치 생체 중의 중금속 농도(건중량 기준)는 그림 2-3-32에 나타내었으며, 각 원소의 정점별 농도 분포는 그림 2-3-33에 나타내었다. 참고로 분석된 진주담치의 정점별 수분 함량 범위는 83.6-88.2%(평균 85.7%)의 범위였다.

크로뮴은 $0.47-1.44\mu\text{g/g}$ (평균 $0.91\mu\text{g/g}$)의 범위로 분포하였으며, 조사 해역의 서쪽에 위치한 정점 12에서 가장 낮았으며, 인접한 정점 13에서도 $0.49\mu\text{g/g}$ 로 낮게 나타났다. 최고 농도는 저도 북쪽의 정점 20에서 나타났으며, 조사해역의 북서쪽 해역에 위치한 정점 2, 4, 14와 학림도 남쪽 해안의 17에서도 $1.10-1.32\mu\text{g/g}$ 의 범위로 다른 정점들보다 높은 농도를 나타내었다.

구리의 분포 범위는 $0.47-1.44\mu\text{g/g}$ (평균 $0.91\mu\text{g/g}$)였는데 연대도 연안의 정점 18에서 가장 낮았으며, 크로뮴과 마찬가지로 저도의 정점 20에서 가장 높은 농도를 보였다. 그 외에 정점 10에서 $11.9\mu\text{g/g}$ 의 비교적 높은 농도를 나타내는 등 정점 11, 14, 15는 $11\mu\text{g/g}$ 에 근접하는 높은 농도였다.

아연은 $52.3-172\mu\text{g/g}$ (평균 $86.3\mu\text{g/g}$)의 농도 범위였으며, 정점 19에서 가장 낮았으며, 정점 12, 16, 18에서도 $53.5-55.0\mu\text{g/g}$ 으로 최저 농도에 근접하는 낮은 농도였다. 최고 농도는 곤려도 북동쪽의 정점 3에서 나타났으며, 정점 15에서도 $153\mu\text{g/g}$ 의 높은 농도를 나타내었다.

카드뮴은 $0.60-1.81\mu\text{g/g}$ (평균 $0.95\mu\text{g/g}$)의 분포 범위에 크로뮴과 같이 정점 12에서 가장 낮았으며, 최고 농도는 아연과 마찬가지로 정점 3에서 나타났다. 카드뮴의 농도 분포는 아연과 유사하게 나타났는데 서로의 상관성(R)은 0.866으로 높았다.

납은 $0.97-4.57\mu\text{g/g}$ (평균 $1.86\mu\text{g/g}$)의 범위로 다른 중금속들보다 정점간 변화가 컸다. 최저 농도는 크로뮴, 카드뮴과 마찬가지로 정점 19에서 나타났으며, 정점 20에서는 평균 농도의 2.5배, 최저 농도의 약 5배에 가까운 $4.57\mu\text{g/g}$ 을 나타내었다. 한편 납은 구리와 0.842의 양호한 상관성을 보였다.

수은은 $0.016-0.064\mu\text{g/g}$ (평균 $0.95\mu\text{g/g}$)의 범위로 역시 정점 12에서 가장 낮고, 정점 7에서 가장 높았는데 미륵도와 곤려도 사이의 정점 1, 3, 4에서 다소 높은 농도를 보였다. 수은은 아연과 카드뮴에 대하여 각각 0.568, 0.636의 상관성을 나타내었다.

각 원소별로 다양한 변화를 나타내었지만 정점 3, 15, 20에서 높은 농도를 나타내는 경향이 있었다.

표 2-3-14. 통영목장화 중심해역 진주담치 중의 중금속 분석 결과

정 점	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg
	(µg/g)					
1	0.64	8.48	125	1.27	1.70	0.054
2	1.10	7.28	75.8	0.78	1.05	0.022
3	0.98	9.07	172	1.81	1.61	0.051
4	1.32	7.85	84.7	0.88	1.37	0.056
5	0.83	9.48	100	1.10	1.45	0.046
6	0.94	7.88	76.5	1.05	1.20	0.031
7	0.94	8.29	79.5	1.03	1.61	0.064
8	0.68	9.58	69.0	0.78	1.87	0.030
9	0.75	7.48	68.7	0.90	1.51	0.040
10	0.89	11.9	81.8	0.67	2.36	0.023
11	0.88	10.9	115	0.70	2.87	0.032
12	0.47	7.13	55.0	0.60	0.97	0.016
13	0.49	7.37	73.1	0.93	1.80	0.028
14	1.14	10.7	66.3	0.65	2.28	0.032
15	0.81	10.8	153	1.55	2.49	0.051
16	0.84	7.07	54.9	0.70	1.18	0.025
17	1.14	7.11	68.5	0.94	1.40	0.021
18	0.94	6.64	53.5	0.78	1.28	0.032
19	0.95	7.37	52.3	0.73	2.61	0.034
20	1.44	14.2	99.9	1.12	4.57	0.036
최소	0.47	6.64	52.3	0.60	0.97	0.016
최대	1.44	14.2	172	1.81	4.57	0.064
평균	0.91	8.83	86.3	0.95	1.86	0.036

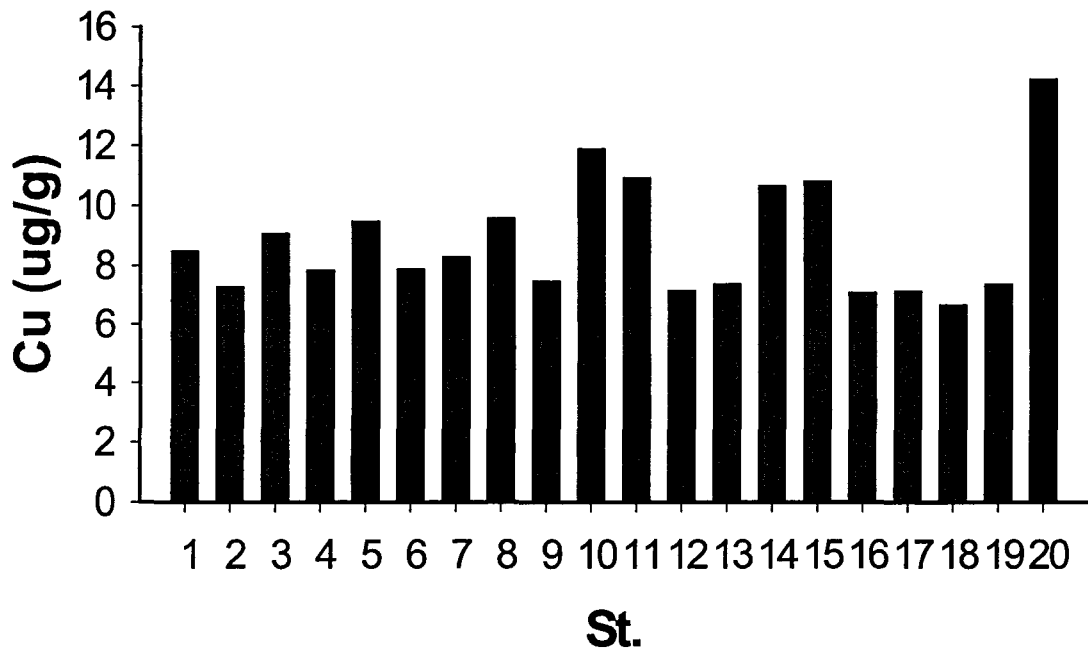
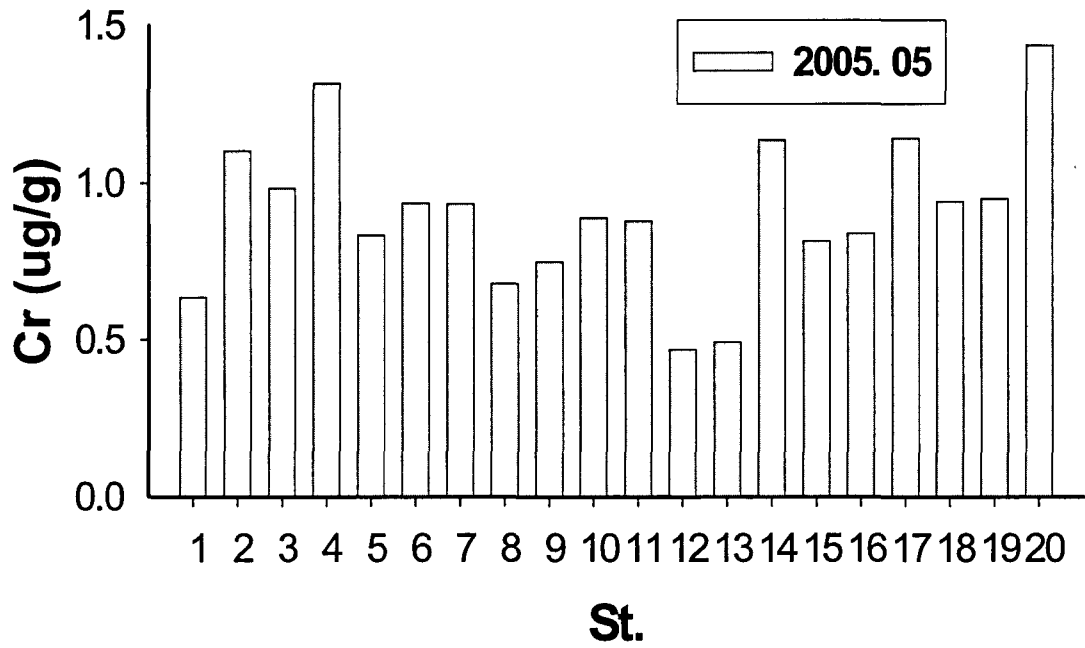


그림 2-3-33. 통영목장화 중심해역 진주담치 생체 중의 중금속 농도 분포.

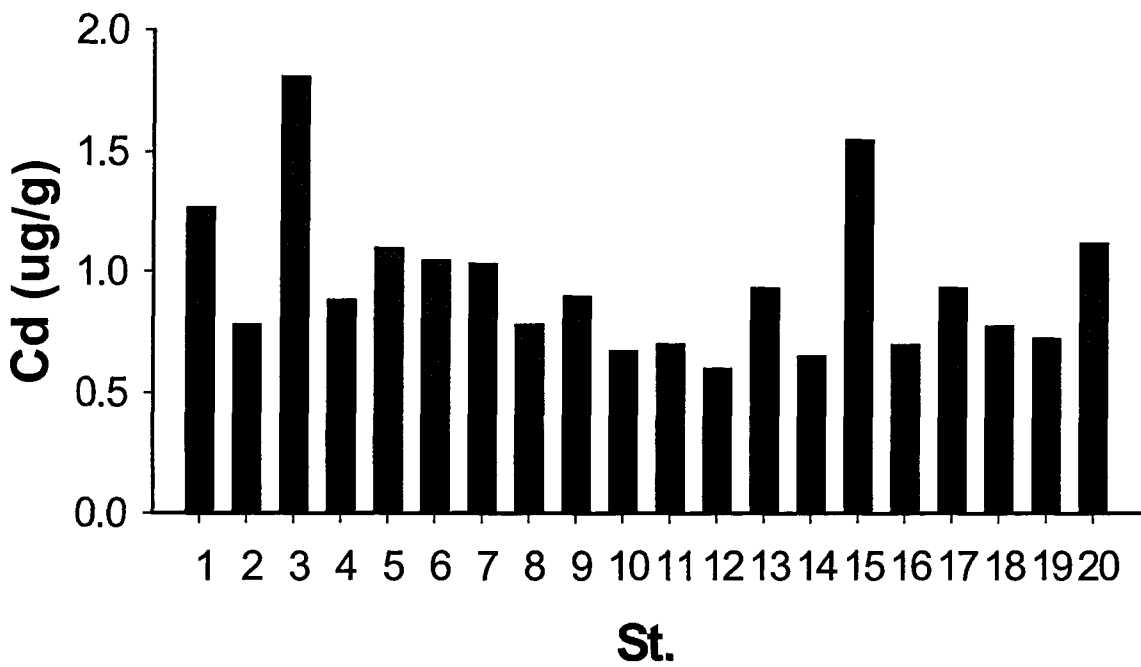
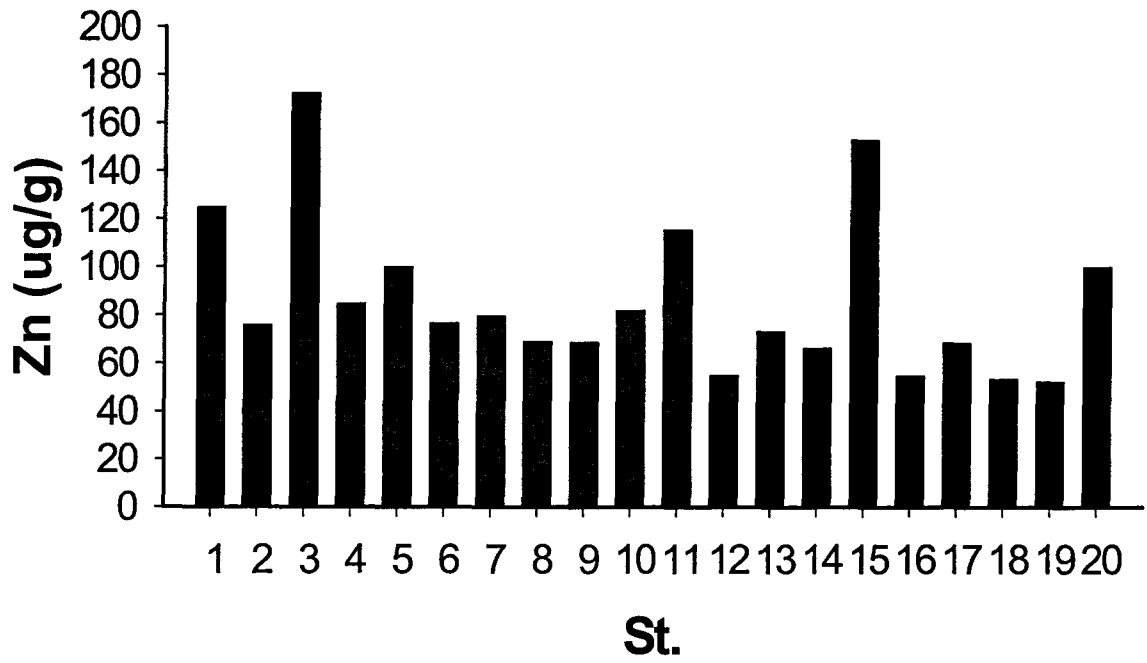


그림 2-3-33. (계속)

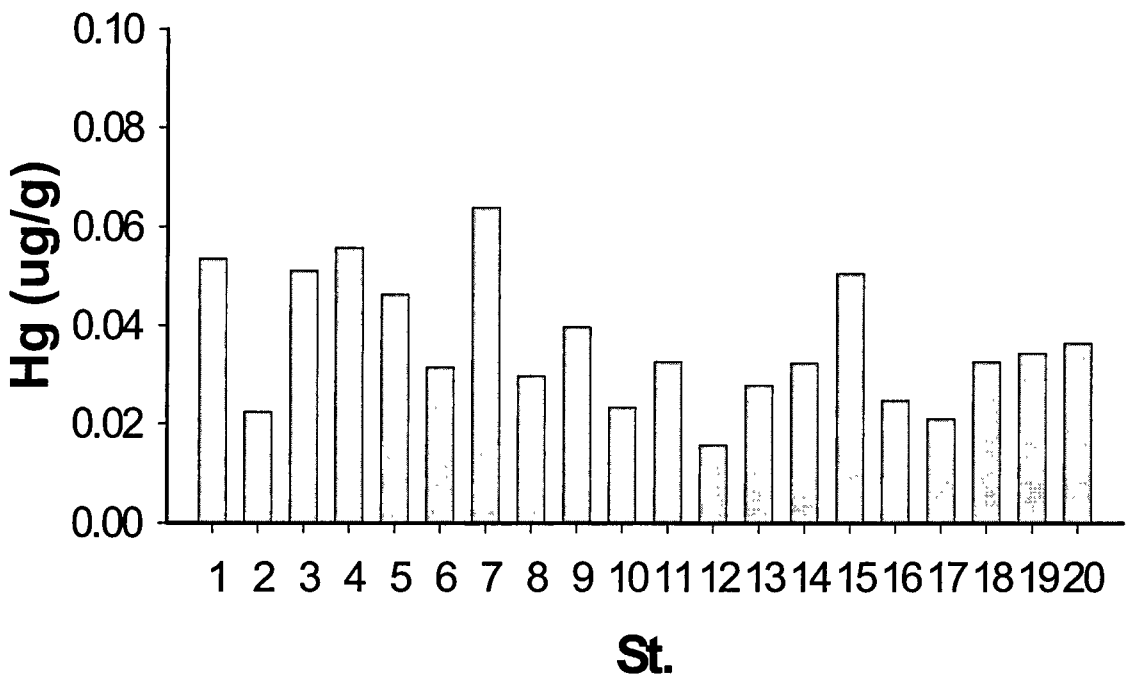
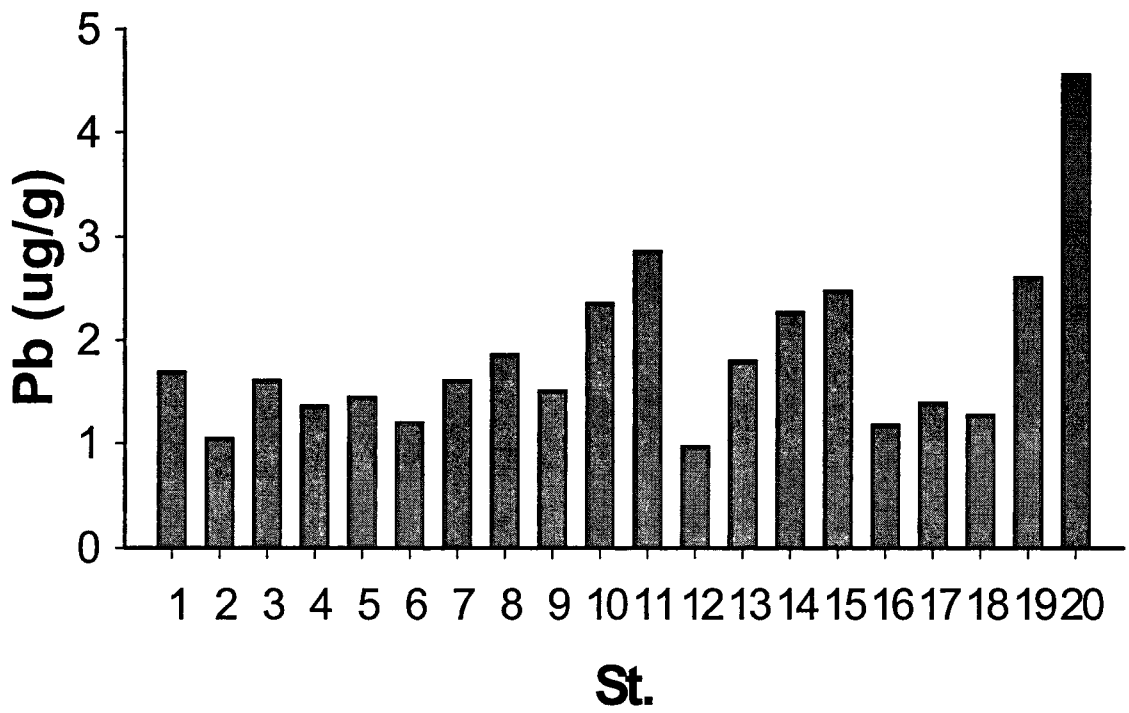


그림 2-3-33. (계속)

㉔ 국내 연안농도와의 비교

본 조사와 함께 우리나라 주변 연안에 서식하는 홍합속(*Mytilus*)의 중금속 농도를 표 2-3-15에 나타내었다.

본 조사 해역 진주담치의 중금속 농도는 건중량 기준이므로 한국해양연구소(1990)와 바실연(2004)의 자료는 직접적인 비교가 가능하다. 먼저 본 조사의 자료는 한국해양연구소가 조사한 우리 나라 전국 연안의 평균 농도에 비하여 크로뮴과 아연, 카드뮴은 13-25% 정도 낮게 나타났으나, 구리 58%, 납 85%, 수은은 33% 높게 나타났다. 바실연(2004)의 자료는 본 조사에 대하여 아연은 서로 비슷한 평균 농도를 보였으며, 카드뮴과 수은은 약간 높았다. 그러나 그 외에 구리는 약 2배, 납은 약 2.5배 높았다. 특히 크로뮴은 본 조사의 평균 농도보다 60배 높게 나타났는데 이것은 한 정점의 매우 높은 농도에 의하여 평균이 상승하였기 때문이지만 이를 제외하더라도 평균 $7.08\mu\text{g/g}$ 을 나타내어 본 조사보다는 약 8배 높은 값을 나타내었다.

한편 Choi *et al.*(1992)의 자료와 비교하기 위해 본 조사 자료를 습중량 자료로 환산한 결과 크로뮴 $0.07\text{-}0.20\mu\text{g/g}$ (평균 $0.13\mu\text{g/g}$), 구리 $0.91\text{-}1.90\mu\text{g/g}$ (평균 $1.26\mu\text{g/g}$), 아연 $7.4\text{-}20.4\mu\text{g/g}$ (평균 $12.1\mu\text{g/g}$), 카드뮴 $0.09\text{-}0.21\mu\text{g/g}$ (평균 $0.13\mu\text{g/g}$), 납 $0.15\text{-}0.59\mu\text{g/g}$ (평균 $0.26\mu\text{g/g}$), 그리고 수은은 $0.002\text{-}0.009\mu\text{g/g}$ (평균 $0.005\mu\text{g/g}$)였으며, 구리와 아연은 서로 비슷하였으나 그 외의 중금속은 본 조사 결과가 1/2정도 낮게 나타났다.

이상의 자료를 근거로 하면 바실연(2004)의 크로뮴, 구리 납 자료는 신뢰성을 갖지 못하는 것으로 판단된다.

표 2-3-15. 통영 및 우리 나라 연안의 홍합속(*Mytilus*) 중의 중금속 농도

해역	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Hg	자료출처
	($\mu\text{g/g}$)						
국내 연안	0.52-2.19 (1.04)*	3.7-7.6 (5.6)	72-182 (105)	0.62-3.85 (1.26)	0.40-1.97 (1.01)	0.011-0.076 (0.027)	한국해양연구소 (1990)
동해	-	(1.43)	(22.39)	(0.39)	(0.63)	(0.016)	
남해	-	(0.95)	(11.63)	(0.25)	(0.39)	(0.010)	Choi <i>et al.</i> (1992)**
서해	-	(1.10)	(13.29)	(0.36)	(0.46)	(0.012)	
통영	3.07-198.93 (55.04)	11.36-29.53 (17.07)	68.62-110.79 (89.12)	0.89-1.63 (1.18)	2.99-9.65 (4.90)	0.03-0.09 (0.05)	바실연(2004)
통영	0.47-1.44 (0.91)	6.64-14.2 (8.83)	52.3-172 (86.3)	0.60-1.81 (0.95)	0.97-4.57 (1.86)	0.016-0.064 (0.036)	본 연구

* : 평균 농도, ** : 습중량 기준 자료

③ 중금속 잔류농도의 생태위해성

중금속은 환경 중에서 소멸되지 않고 순환하며, 지속성을 가지고 있을 뿐 아니라 생태계 내에서 생물 농축에 의하여 최종적으로 인간에게 위해를 가할 수 있기 때문에 각 나라는 생태 및 건강 위해성을 고려하여 수질, 퇴적물, 생물 등에 대하여 각 중 화합물별 기준을 제시하여 관리하고 평가를 실시하고 있다.

미국에서는 퇴적물 중의 오염물질 자료와 더불어 생물학적인 반응이 조사된 자료 구축을 통하여 오염물질 농도의 증가에 따라 나타나는 생물학적인 영향 정도를 순서대로 나열했을 때 하위 10%와 50%에 해당하는 농도를 각각 ERL(Effects Range-Low)과 ERM(Effects Range-Median)으로 정의하여 표 2-3-6과 같이 가이드라인을 제시하고 있다 (<http://www.epa.gov/maia/html/estSed.html>).

그러나 우리 나라에서는 해양 퇴적물에 대하여 어떠한 기준이나 가이드라인도 없으며, 해양 생물의 경우 식품으로 섭취할 경우를 고려한 최대 허용 한계치를 정해 두고 있으나, 중금속 중에는 총수은, 납, 카드뮴에 한정되어 있다.

본 조사 해역 퇴적물에 대한 6개 중금속 조사 결과 어떤 원소도 ERM을 초과하는 정점은 한 곳도 없었다. 또한 카드뮴과 수은의 경우는 ERL을 초과하지도 않았지만 그 외의 중금속은 ERL을 초과하였다. 아연과 납은 정점 1 한 곳만 초과하였으며, 크로뮴은 22개 정점 중에서 정점 13-17, 22를 제외한 총 16개 정점, 구리는 정점 1-5, 10-11의 총 7개 정점에서 ERL을 초과하였으며, 정점 1은 조사 대상 원소 중 4개가 ERL을 초과하였다(그림 2-3-34).

한편 수산물 중에서 본 조사와 관련된 패류 및 연체동물에 대한 국내외의 중금속 허용 기준과 함께 본 조사 해역 진주담치의 중금속 농도도 습중량으로 제시하였다(표 2-3-16). 카드뮴과 납의 경우 우리 나라의 기준은 EU보다 2배 높게 설정되어 있으며, 호주의 기준과 비교하면 납이 $0.5\mu\text{g/g}$ 높다. 조사 해역의 진주담치의 중금속 농도의 평균 농도는 물론 최대 농도도 우리 나라와 호주, EU의 기준보다 낮게 나타났다.

표 2-3-16. 미국의 퇴적물에 대한 중금속 가이드라인

원소	ER-L	ER-M
Cr($\mu\text{g/g}$)	81	370
Cu($\mu\text{g/g}$)	34	270
Zn($\mu\text{g/g}$)	150	410
Cd($\mu\text{g/g}$)	1.2	9.6
Pb($\mu\text{g/g}$)	47	220
Hg($\mu\text{g/g}$)	0.15	0.71

표 2-3-17. 수산물에 대한 중금속의 국내외 허용 기준

국 가	Cd	Pb	Hg	비 고
	(µg/g)			
한국 기준	2.0	2.0	0.5	어패류(생물기준)
호주 기준	2.0	1.5	0.5	연체류
EU 기준	1.0	1.0	0.5	이매패류
통영 진주담치*	0.09-0.21 (0.13)**	0.15-0.59 (0.26)	0.002-0.009 (0.005)	본 연구

* : 습중량 기준 자료, ** : 평균 농도

4. 결론

2005년 5월 25-26일에 통영 바다 목장화 주변 해역의 22개 정점 표층 퇴적물과 20개 정점 진주담치에 대한 환경호르몬 물질(폴리염화비페닐, 유기주석화합물, 노닐페놀, 비스페놀A)과 중금속(크로뮴, 구리, 아연, 카드뮴, 납, 수은) 오염을 측정된 결과를 요약하면 다음과 같다.

통영바다목장 중심해역에서 조사대상 표층퇴적물 및 진주담치 체내에 잔류하는 유기오염물질의 경우 전반적으로 전국연안의 농도와 비교하여 중간값 또는 그 이하의 값을 보였다. 단, 조사 자료가 희박한 노닐페놀과 비스페놀A의 경우 연안에서 조사된 값과 유사한 범위를 보였으나, 우리나라 하천 및 외국에서 보고된 농도에 비해서는 현저히 낮은 값을 보였다. 노닐페놀과 비스페놀A를 제외한 나머지 오염물질의 경우 전국 연안과 비교하여 이들 물질의 주 오염원으로부터는 거리를 두고 있는 해역임을 보여주고 있다. 하지만 선박기인의 유기주석화합물의 경우 전국 연안과 비교하여 중간값을 일부 상회하는 농도가 검출되었을 뿐만 아니라 선진국의 퇴적물 권고기준을 일부 초과하고 있다. 통영바다 목장화 중심해역은 소형 선박활동이 활발하게 이루지고 있는 해역으로 유기주석화합물의 사용이 2003년 11월부터 전면규제 되었으므로, 향후에도 지속적인 관찰이 필요할 것으로 사료된다. 한편 생물체 중 진주담치에 잔류하는 조사대상 유기오염물질의 경우 선진국에서 제시하는 수산물 안전기준 이하의 값을 보여, 통영바다목장화 중심해역에서 생산되는 수산물 중에 잔류하는 유기오염물질로 인한 인체위해성은 없는 것으로 판단되었다. 단, PCBs의 경우 생태독성평가기준을 일부 상회하는 시료가 있었으며, TBT 체내 농도 역시 일부 시료에서 고등류의 임포섹스를 유발할 수 있는 수준 이상으로 검출되어 연구해역에서 서식하는 생물군 중에서 이들 물질에 민감한 생물의 경우 일부 영향을 받을 수 있는 수준으로 사료된다.

퇴적물의 중금속은 조사해역의 북서부와 미륵도 연안에서 높은 경향이었으며, AI과 높은 상관성을 보여 간접적으로 입도의 영향이 크게 작용하였다. ERM을 초과하는 원소

는 없었고, 카드뮴과 수은은 ERL도 초과하지 않았다. 그러나 아연과 납은 정점 1에서 ERL을 초과하였으며, 크로뮴은 총 16개 정점, 구리는 총 7개 정점에서 ERL을 초과하였는데 정점 1은 조사 대상 원소 중 4개가 ERL을 초과하는 등 가장 오염도가 높았다.

진주담치의 중금속 농도는 정점 3, 15, 20에서 다소 높은 경향이었고, 카드뮴-아연, 납-구리, 수은-카드뮴 간에는 서로 양호한 정의 상관성($R>0.6$)을 보였다. 1990년의 우리나라 연안 평균 농도에 비하여 크로뮴과 아연, 카드뮴은 약간 낮았지만 구리, 납, 수은은 높았다. 진주담치의 크로뮴, 납, 수은의 최대 농도도 우리나라와 호주, EU의 기준보다 낮게 나타났다.

제 4 절 서식지 특성분석

1. 서론

바다목장사업은 우리바다의 종합적인 이용·관리 체제를 확립하고, 효율적인 자원관리 및 수산물의 지속적인 생산을 통한 어업인 소득향상에 큰 목적을 두고 실시되고 있다. 그러나 우리가 최종적으로 수행하고자 하는 바다목장사업은 어장조성과 자원방류라는 두 가지 요소로 구성되어 있고, 이 요소들은 필연적으로 기존 생태계의 변화를 야기한다. 따라서 이러한 변화를 최소화하고, 해역의 생태계를 고도로 이용하기 위해서는 목장해역의 서식지 특성에 대한 면밀한 분석이 필요하다.

통영바다목장해역의 서식지 유형을 파악하기 위해서는 크게 해양환경 및 생물군집특성에 관한 두 가지 자료가 필수적으로 요구된다. 그간 생태계 연구가 매년 이루어져 바다목장해역의 환경과 생물군집특성에 대해서는 대충 이해할 수 있었다. 그러나 본 연구 사업이 매년 일정한 시기를 중심으로 연속적으로 이루어지지 않아, 계절별로 자료를 취합할 경우 특정 계절(예 겨울)에 대한 자료가 미흡한 부분이 없지 않다. 그리고 이러한 자료의 취약성은 서식지 유형 파악을 어렵게 하며, 더욱이 바다목장사업 실시에 따른 생태계의 변화를 파악함에 중요한 걸림돌로 작용하기 마련이다.

3단계 1차년도에 해당하는 금년도에는 지금까지 통영바다목장해역에서 얻어진 생태계 관련 자료를 이용하여 개략적인 서식지유형을 구분하고자 하였다. 앞서 기술된 것과 같이 지금까지 얻어진 자료가 연도별로 다소 취약한 부분이 있기에 금년도에는 2단계 1차년도부터 2단계 3차년도까지의 계절별 해양환경과 생물군집 자료를 바탕으로 바다목장해역의 서식지를 구분하고, 각 서식지의 환경특성을 기술하였다. 더불어 바다목장 사업기간 중 해역의 환경특성이 어떠한 변화하고 있는지를 알기위해 해역의 일반수질 및 퇴적환경의 연도별 변화를 기술하였다.

2. 재료 및 방법

가. 자료 획득

통영바다목장해역의 서식지 유형구분을 위해 기존 조사된 해양환경자료 및 생물군집 자료를 계절별로 정리하여 기본 매트릭스를 작성하였다. 해양환경자료의 경우 2단계 1차년도부터 2단계 3차년도까지 총 10개 정점에서 조사된 용존무기질소(DIN) 농도, 용존산소(DO) 농도, 부유물질(SS) 농도, Chlorophyll a 농도 등의 수질환경요인과 화학적산소요구량(COD), 총인(TN), 총유기탄소량(TOC) 등의 퇴적환경요인에 대한 자료를 정리하였다. 생물군집자료의 경우, 동·식물플랑크톤은 2단계 1차년도부터 2단계 3차년도까지 총 10개 정점에서 조사된 자료를 이용하였고, 연질기저 저서동물은 1단계 2차년도부터 2단계 3차

년도까지 계절별로 조사된 총 26개 정점의 자료를 사용하였으며, 해조류 및 부착동물은 1 단계 최종년도부터 2단계 2차년도까지 조사된 자료를 사용하였다.

나. 서식지 유형구분 및 해역의 생태특성

통영바다목장해역에서 조사된 기존 자료를 바탕으로 총 36개 정점을 선정하였으며, 이 정점에서 출현한 저서생물자료를 바탕으로 서식지 유형을 파악하였다(그림 2-3-1). 수질 환경자료 및 동·식물플랑크톤자료의 경우 해역의 시간적인 변화에 따른 유용한 자료를 제공해 주나 공간적인 측면에서의 해석을 위해서는 대부분 고착성이거나 이동반경이 좁은 저서생물을 이용하는 것이 더 효과적이다. 따라서 연질기저 및 암반부착생물자료를 중심으로 서식지 유형을 분류하였고, 구분된 각 서식지의 환경 및 생물군집특성을 기술하였다. 서식지분류를 위해 non-metric multidimensional scaling analysis (nMDS)를 실시하였으며, 분석 시 사용된 소프트웨어는 Primer v5였다. 정량자료를 사용함에 있어 필요할 경우 자료를 fourth root로 변환하였으며, 사용된 유사도는 Bray-Curtis similarity로써 구하였다.

다. 해양환경특성의 연간변화

통영바다목장해역에서 2001년부터 2003년도까지의 기존 자료를 바탕으로 계절별로 정리하여 나타내었다. 수질환경은 표층의 자료와 저층의 자료를 분리하여 나타내었으며, 퇴적환경은 저층의 환경을 나타내었다.

3. 결과 및 토의

가. 암반서식지

암반서식지유형별 군집특성은 표 2-4-1과 같다. 조사지역의 생물 암반서식양상을 대상으로 지역에 따라 4개 군집으로 나누어졌다. 네 개 그룹 중에 G1은 만지도 남쪽에 위치한 S28, 29이 속하며 다른 지역에 비해 낮은 탁도와 원활한 조류로 인해 해조가 번성하고, 대형저서동물이 높은 서식밀도를 나타낸 지역이다. G2은 곤리도 부근에 위치한 S32, 34이 속하며 이 지역들도 수로부근에 위치하여 외해로부터 유입되는 해수로 인해 비교적 낮은 탁도를 나타내는 지역이다. 수심이 낮은 지역은 미역, 모자반 등이 우점하였으며, 8m 이하 지역은 우렁쉥이가 군락을 형성하였다. G3은 장두도를 중심으로 한 연안에 위치한 S27, 30, 31이 속하며 높은 탁도와 암반이 산재한 형태를 나타내고 암반에 높은 퇴적율을 보여 생물다양성도 낮게 나타났다. G4는 장두도와 곤리도 사이의 S8, 33, 35가 속하며 G3와 유사한 양상을 나타냈다. 낮은 경사도에 암반이 산재하는 양상을 나타내고, 탁도가 높아서 낮은 생물다양성을 나타냈다. 해조류의 서식도 매우 빈약하게 나타났으며, 대부분의 암반이 따개비 덮인 형태를 나타냈다. 각 군집별 출현한 생물상을 대상으

로 생물 다양도를 평가한 결과, G1에서 가장 높은 생물 다양도를 나타냈다. 이 지역은 해조와 저서동물 모두 가장 많은 종수를 나타냈다. 자원생물 분포만을 대상으로 서식밀도를 비교한 결과, G2에서 미역, 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 우렁쟁이, 말뚝성게 (*Hemicentrotus pulcherrimus*) 등이 높은 서식밀도를 나타냈다. 이러한 자료는 바다목장지역에서 예상되는 암반생물의 자원증대 및 생산력 향상에 중요한 기초자료가 된다. 또한 자원증대를 위한 어초 시설에 따른 어초의 형태, 위치, 모양 등을 구상하는데 활용할 수 있다. 크게 연안환경과 외해환경으로 나누어지는 것은 탁도, 암반의 경사도, 주변 양식시설 등이 크게 좌우되는 것으로 나타났으며, 특히 탁도에 따라 해조의 서식 수심 및 밀도가 크게 영향을 받고 있었다. 다음 해의 경우 좀 더 조밀한 정점을 상대로 생물상 조사를 실시함으로써 실제 목장화 해역에서의 암반 생태계 내 생산량을 추정하고, 환경변화를 모니터링 할 수 있도록 할 계획이다.

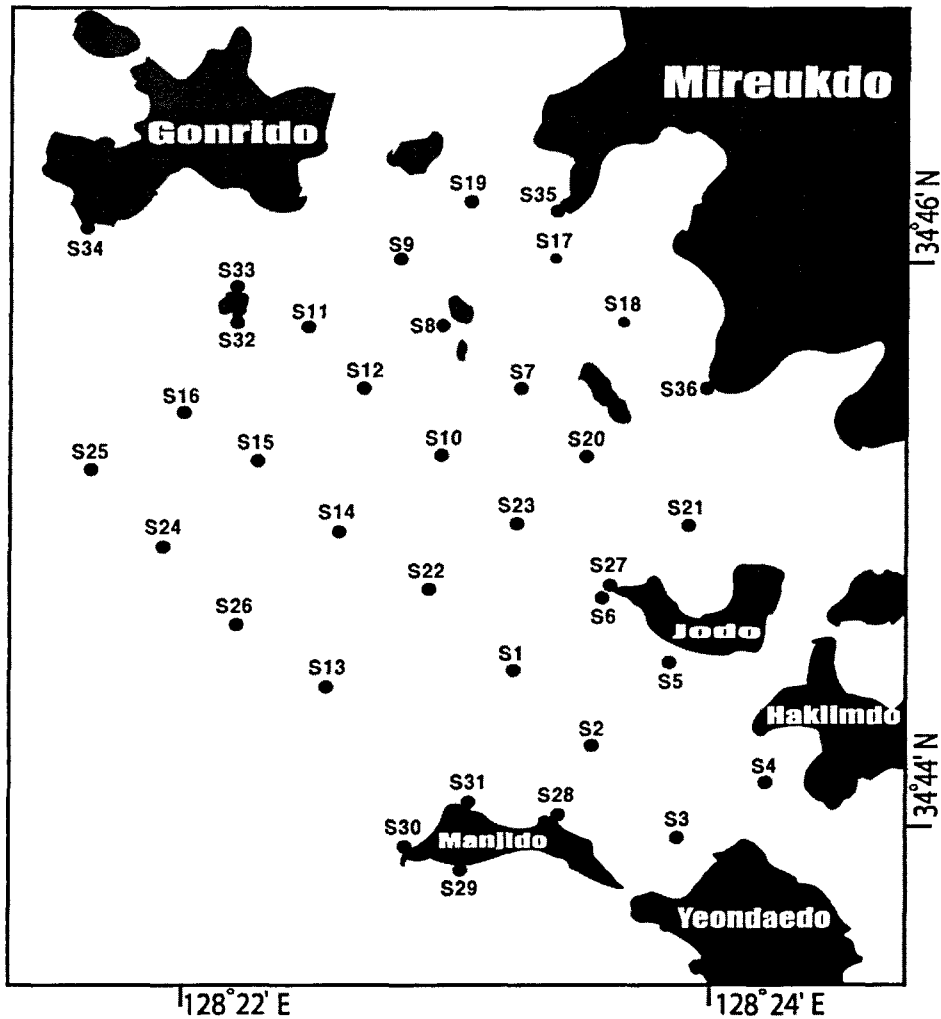


그림 2-4-1. 통영바다목장해역 서식지유형 구분을 위한 조사정점.

표 2-4-1. 통영바다목장해역 암반서식지유형별 군집특성

Group	G1	G2	G3	G4
정점	S28, S29	S32, S34	S27, S30, S31	S8, S33, S35
환경특성	탁도 낮음, 수심 10m 내외 계단식 경사 40. 강한 조석 단일 암반형	탁도 낮음, 수심 15m 내외 경사 30. 강한 조석 단일 암반형	탁도 높음, 수심 5~10m 경사 45. ~60. 약한 조석 암반 산재형	탁도 높음, 수심 10m 내외 경사 45. 강한 조석 국한된 암반형
우점 해조류	팽생이모자반 (<i>Sargassum horneri</i>), 곰피 (<i>Ecklonia stolonifera</i>), 도박 (<i>Pachymeniopsis elliptica</i>)	외톨개모자반 (<i>Myagropsis myagroides</i>), 미역 (<i>Undaria pinnatifida</i>) 우뭇가사리 (<i>Gelidium amansii</i>)	미역 (<i>Undaria pinnatifida</i>), 곰피 (<i>Ecklonia stolonifera</i>) 청각 (<i>Codium fragile</i>)	우뭇가사리 (<i>Gelidium amansii</i>)
우점 저서동물	우렁쟁이 (<i>Halocynthia roretzi</i>) 따개비 (<i>Balanus sp.</i>) 굴 (<i>Ostrea sp.</i>)	우렁쟁이 (<i>Halocynthia roretzi</i>) 밤고둥 (<i>Chlorostoma lischkei</i>) 말뚝성게 (<i>Hemacentrotus pulcherrimus</i>)	별불가사리 (<i>Asterina pectinifera</i>) 따개비 (<i>Balanus sp.</i>) 해변해면 (<i>Halichondria sp.</i>)	바다나리 (<i>Crinoidea unid.</i>) 따개비 (<i>Balanus sp.</i>) 아무르불가사리 (<i>Asterias amurensis</i>)
군집특성	<ul style="list-style-type: none"> 수심 3m이내 완만한 암반에는 곰피가 우점하고 암반에는 단 외톨개모자반이 우점하고, 암반은 단순한 수심 6m 까지 미역이 갈조류 보다는 소형 순한 생물상을 보임 강한 조석의 영향 경사를 이루는 말뚝성게 암반에서는 여과식 대형 고착 동물이 우점을 형성 			
상대적 생물다양성 순위	I	II	III	IV
자원생물 서식밀도 순위	II	I	III	IV

나. 연성저질 서식지

통영바다목장해역의 연성저질 서식지에 분포하는 저서동물자료를 nMDS 분석 결과 조사해역은 크게 연질기저해역과 암반해역으로 대별되었다(그림 2-4-2). nMDS의 stress는 0.01로 그림으로 도시된 2차원 평면공간으로도 조사지점간의 ordination을 잘 반영하고 있는 것을 보여주었다. 분석 전 충분히 예견할 수 있었던 것처럼 물리적인 서식지 유형 및 생물군집의 종조성 측면에서 상이한 두 지역은 뚜렷이 구별되고 있었다.

구분된 통영바다목장해역의 두 서식지 유형 중 연질기저해역만을 대상으로 nMDS 분석을 실시한 결과 크게 5개(Type A, B, C, D, E)의 유형으로 구분되어졌다(그림 2-4-3). 전체적으로 볼 때 Type E가 가장 이질적인 서식지 유형인 것으로 나타났으며, Type A와 B에 속한 정점이 가장 많았다.

nMDS 분석 결과를 바탕으로 각 서식지유형을 나타낸 결과는 그림 2-4-4와 같다. Type A의 경우 연명포구로부터 장두도 사이에 위치한 곳으로 S17, 18이 속하며, Type B는 곤리도 동남쪽으로부터 장두도를 거쳐 연대도 북쪽에 이르는 곳으로 S9부터 S3까지 12개 정점이 속하는 넓은 지역이다. Type C는 Type B보다 약간 외해역에 위치한 곳으로 S10, 13, 15, 21, 22, 23이 속한다. Type D는 곤리도 정남쪽 해역에 위치한 곳으로 S16이 속한다. Type E는 통영바다목장해역에서 가장 외해에 먼한 곳으로 S25, 26이 이에 속한다.

Type A의 환경특성 및 생물군집특성은 표 2-3-2, 표 2-3-3과 같다. 수심은 38~47m, 총질소농도(DIN)는 표층 26.4, 저층 31.3 μM 로 저층의 질소농도가 높으며, 용존산소(DO)는 표층 7.1, 저층 6.7 mg/L로 표층이 약간 높다. 부유물질(SS)은 표층 15.2, 저층 14.9 mg/L로 표층이 약간 높으며, Chlorophyll-a 농도는 표층 3.6, 저층 1.7 mg/L로 저층이 높다. 퇴적환경은 COD 13.7, TN 2.6, TOC 29.5 mg/g이다. 생물군집 중 식물플랑크톤은 표층에서 16종이 출현하며, 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*이다. 저층에서는 15종이 출현하며, 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*이다. 동물플랑크톤은 총 18종이 출현하며 우점종은 *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*이다. 대형저서동물은 총 61종이 출현하며, *Lumbrineris longifolia*, *Capitella capitata*가 주요 우점종이다.

Type B 지역의 환경특성과 생물군집특성은 표 2-3-4, 표 2-3-5와 같다. 총질소농도(DIN)는 표층 26.4, 저층 31.3 μM 로 저층의 질소농도가 높으며, 용존산소(DO)는 표층 7.1, 저층 6.7 mg/L로 표층이 높다. 부유물질(SS)은 표층 15.2, 저층 14.9 mg/L로 표층이 약간 높게 나타나고, Chlorophyll-a는 표층 3.6, 저층 1.7 mg/L로 표층이 높다. 퇴적환경은 COD 13.7 mg/g으로 Type A보다 높으며, TN 2.6 mg/g으로 Type A보다 약간 낮다. TOC는 29.5 mg/g으로 Type A보다 높다. 생물군집 중 식물플랑크톤은 표층에서 총 16종이 출현하며 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*이다. 저층에서는 15종이 출현하며, 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*이다. 동물플랑크톤은 총 18종이 출현하며, 우점종은 *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*이다. 대형저서동물의 경우 140종

이 출현하며, *Lumbrineris longifolia*, *Ophiuroidea* unid.가 주요 우점종이다. 대형저서동물의 출현종(Type B보다 2배이상 출현)을 제외하고는 출현종 및 우점종에 있어서 Type A와 비슷한 양상을 나타낸다.

Type C 지역의 환경특성은 표 2-4-6, 표 2-4-7과 같다. 총질소농도(DIN)는 표층 26.6, 저층 27.8 μ M로 저층의 질소농도가 약간 높으며, 용존산소(DO)는 표층 6.5, 저층 6.0 mg/L로 표층이 높다. 부유물질(SS)은 표층 12.0, 저층 13.7 mg/L로 저층이 높게 나타나고, Chlorophyll-a 농도는 표층 3.0, 저층 1.8 mg/L로 표층이 높다. 퇴적환경은 COD 14.7 mg/g으로 Type A, B보다 높고, TN 2.4 mg/g으로 Type A, B보다 약간 낮으며, TOC 24.3 mg/g으로 Type A보다 높았지만 Type B보다 낮다. 생물군집 중 식물플랑크톤은 표층에서 17종이 출현하며 우점종으로는 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*이다. 저층에서는 16종이 출현하며 우점종으로는 *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*이다. 동물플랑크톤은 19종이 출현하며 우점종으로는 *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*이다. 대형저서동물의 경우 303종이 출현하며 *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp.이다. 대형저서동물의 출현종(Type B보다 2배이상 출현)을 제외하고는 출현종 및 우점종에 있어서 Type A, B와 비슷한 양상을 나타냈다.

Type D 지역의 환경특성은 표 2-4-8과 같다. 퇴적환경이 COD 16.6 mg/g으로 Type A, B, C보다 높고, TN 1.9 mg/g으로 Type A, B, C,보다 낮으며, TOC 39.1 mg/g으로 Type A, B, C보다 높다.

Type E 지역의 환경특성은 표 2-3-9와 같다. 퇴적환경이 COD 17.9 mg/g으로 Type A, B, C, D보다 높고, TN 1.6 mg/g으로 Type D와 비슷한 값을 나타내며, TOC 39.1 mg/g으로 Type C와 비슷한 값을 나타냈다.

Type D와 Type E 지역의 생물분포특성은 표 2-3-10과 같다. 대형저서동물의 경우 먼저 Type D에서는 71종이 출현하였으며 우점종으로는 *Capitella capitata*, *Lumbrineris longifolia*로 나타났다. Type E에서는 52종이 출현하였으며 *Lumbrineris longifolia*, *Tharyx* sp.로 나타났다.

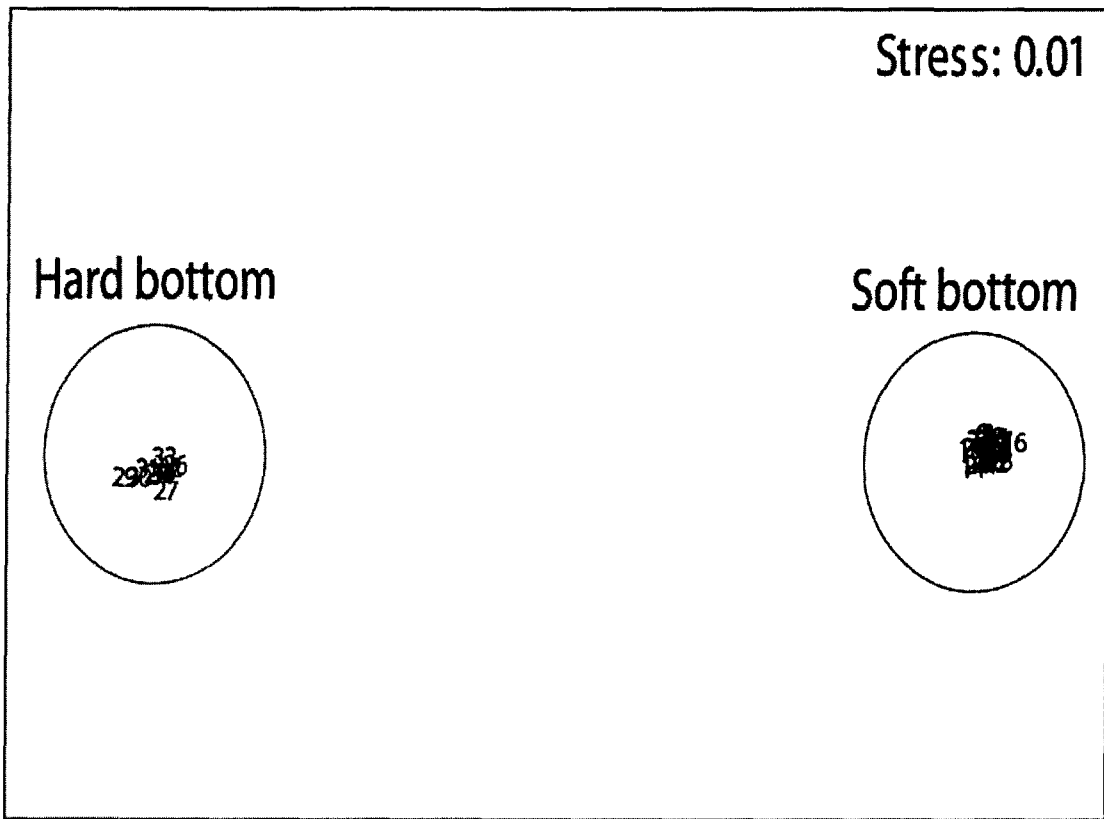


그림 2-4-2. 저서생물자료를 바탕으로 한 nMDS 분석.

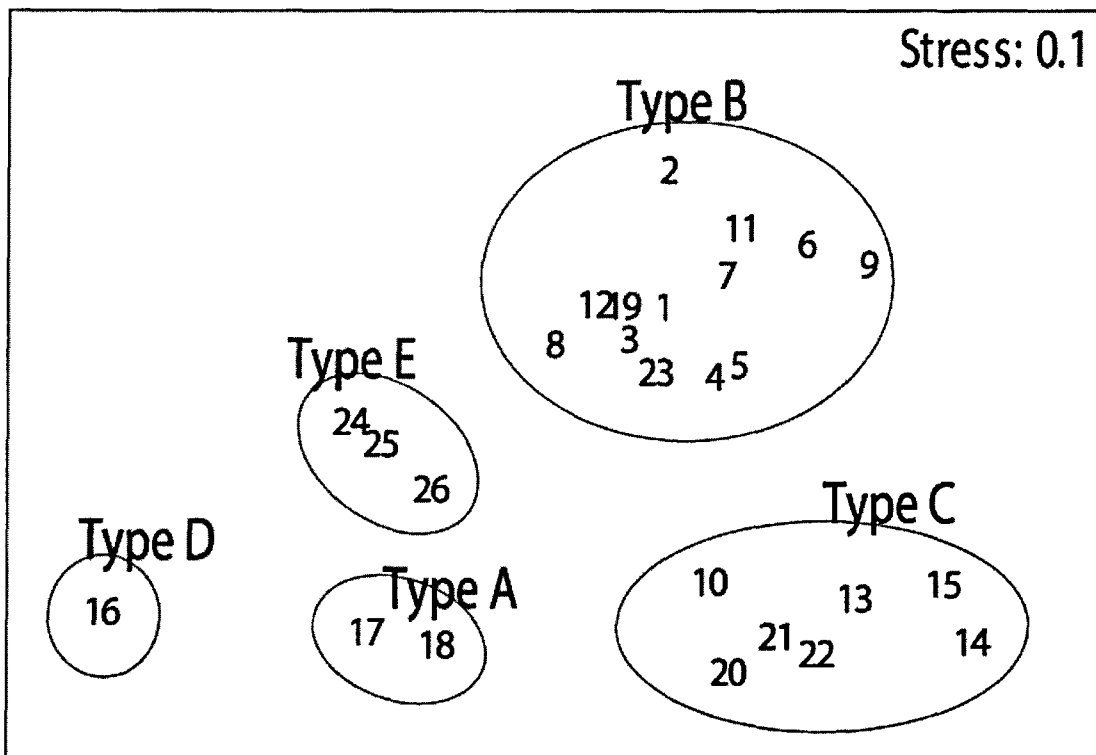


그림 2-4-3. 연결기저 저서생물자료를 바탕으로 한 nMDS 분석.

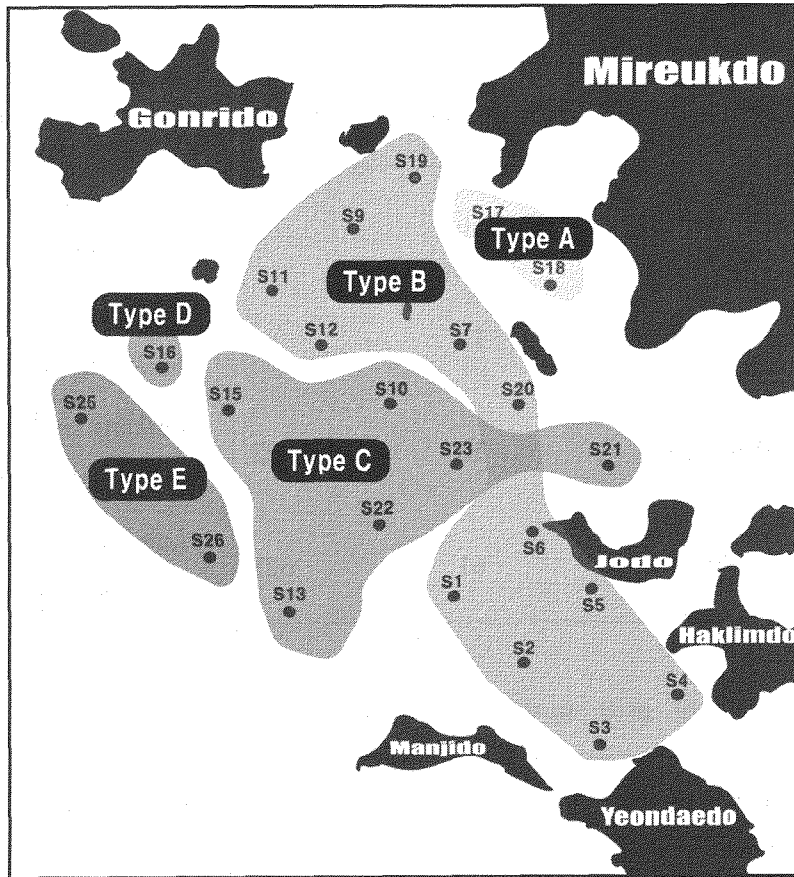


그림 2-4-4. nMDS 분석 결과 구분된 통영바다목장해역의 각 서식지 유형.

표 2-4-2. Type A 지역의 환경특성

Environmental factor		Mean	SD	Min	Max
Depth (m)		42.6	6.36	38.1	47.1
DIN (μM)	Surface	26.7	15.1	5.3	50.5
	Bottom	32.5	23.0	8.3	90.8
DO (mg/l)	Surface	6.5	4.0	3.9	18.6
	Bottom	6.1	4.0	3.1	18.2
SS (mg/l)	Surface	12.8	2.4	7.0	25.2
	Bottom	14.7	3.4	8.2	27.0
Chlorophyll-a ($\mu\text{g/l}$)	Surface	2.6	2.2	0.4	7.6
	Bottom	1.8	1.7	0.5	7.9
Mz (ϕ)		4.6	2.6	2.8	6.4
COD (mg/g)		10.4	3.0	7.4	13.4
TN (mg/g)		2.9	2.1	1.6	5.4
TOC (mg/g)		11.0	0.0	0.0	32.9

표 2-4-3. Type A 지역의 생물군집

Taxon	No. of species	Density	Dominant species
Phytoplankton	Surface	16	- <i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Chaetoceros socialis</i>
	Bottom	15	- <i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Skeletonema costatum</i>
Zooplankton (ind./m ³)	18	822	<i>Oithona similis</i> <i>Paracalanus indicus</i>
Macrozoobenthos (ind./m ²)	61	621	<i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Capitella capitata</i>

표 2-4-4. Type B 지역의 환경 특성

Environmental factor	Mean	SD	Min.	Max.	
Depth(m)	26.8	11.8	13.9	45.3	
DIN (μM)	Surface	26.4	14.3	4.5	52.3
	Bottom	31.3	23.8	2.8	95.1
DO (mg/l)	Surface	7.1	4.3	4.4	18.3
	Bottom	6.7	4.4	3.7	17.6
SS (mg/l)	Surface	15.2	3.9	8.6	27.4
	Bottom	14.9	2.1	9.9	22.6
Chlorophyll-a (μg/l)	Surface	3.6	6.2	0.4	25.3
	Bottom	1.7	1.6	0.6	5.6
Mz (phi)	6.1	0.8	5.1	7.3	
COD (mg/g)	13.7	4.6	3.8	21.6	
TN (mg/g)	2.6	1.2	0.5	4.4	
TOC (mg/g)	29.5	7.3	0.0	51.5	

표 2-4-5. Type B 지역의 생물 분포 특성

Taxon	No. of species	Density	Dominant species
Phytoplankton	Surface	16	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Chaetoceros socialis</i>
	Bottom	15	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Skeletonema costatum</i>
Zooplankton (ind./m ³)	18	1,418	<i>Oithona similis</i> <i>Paracalanus indicus</i>
Macrozoobenthos (ind./m ²)	140	2828	<i>Lumbrineris longifolia</i> Ophiuroidea unid.

표 2-4-6. Type C 지역의 환경 특성

Environmental factor	Mean	SD	Min.	Max.	
Depth (m)	40.4	9.8	22.5	50.3	
DIN (μM)	Surface	26.6	21.6	3.3	149.1
	Bottom	27.8	21.2	3.5	104.8
DO (mg/l)	Surface	6.5	3.3	4.2	18.0
	Bottom	6.0	3.8	3.0	19.2
SS (mg/l)	Surface	12.0	1.6	6.1	22.2
	Bottom	13.7	2.9	8.5	27.8
Chlorophyll-a (μg/l)	Surface	3.0	2.7	0.3	14.7
	Bottom	1.8	1.5	0.4	7.5
Mz (phi)	6.4	1.5	3.1	7.6	
COD (mg/g)	14.7	3.7	7.7	21.8	
TN (mg/g)	2.4	1.3	1.0	5.0	
TOC (mg/g)	24.3	9.2	0.0	51.1	

표 2-4-7. Type C 지역의 생물 분포 특성

Taxon	No. of species	Density	Dominant species
Phytoplankton	Surface	17	<i>Chaetoceros curvisetus</i> <i>Chaetoceros socialis</i> <i>Chaetoceros curvisetus</i>
	Bottom	16	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paracalanus indicus</i>
Zooplankton (ind./m ³)	19	968	<i>Oithona similis</i>
Macrozoobenthos (ind./m ²)	303	2,444	<i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Tharyx sp.</i>

표 2-4-8. Type D 지역의 환경 특성

Environmental factor	Mean	SD	Min.	Max.
Depth (m)	66.90	-	-	-
Mz (phi)	7.55	-	-	-
COD (mg/g)	16.6	6.6	8.2	24.3
TN (mg/g)	1.9	0.4	1.5	2.5
TOC (mg/g)	39.1	14.1	22.5	55.7

표 2-4-9. Type E 지역의 환경 특성

Environmental factor	Mean	SD	Min.	Max.
Depth (m)	31.1	0.8	30.3	31.8
Mz (phi)	6.9	0.2	6.8	7.2
COD (mg/g)	17.9	4.2	12.4	25.1
TN (mg/g)	1.6	0.3	1.2	2.1
TOC (mg/g)	24.1	6.1	18.6	37.7

표 2-4-10. Type D와 Type E 지역의 생물 분포 특성

Taxon		No. of species	Density	Dominant species
Macrozoobenthos (ind./m ²)	Type D	71	3137	<i>Capitella capitata</i> <i>Lumbrineris longifolia</i>
	Type E	52	193	<i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Tharyx</i> sp.

다. 해양환경특성의 연간변화

2001~2003년까지 표층과 저층에서 DIN, DO, SS, Chlorophyll-a의 계절별 변화는 그림 2-4-5~9과 같다. 먼저 용존성 질소농도의 변화는 표층과 저층 모두 2001년에서 2003년으로 갈수록 낮은 농도로 나타났고, 용존산소의 변화는 저층에 비해 표층의 농도가 높게 나타났다. 부유물질농도의 변화는 용존산소와 반대로 저층의 농도가 높게 나타났으며 2003년으로 갈수록 낮은 농도로 나타났다. 그리고 Chlorophyll-a의 변화는 2002년 저층을 제외하고는 비슷한 양상을 나타내었다.

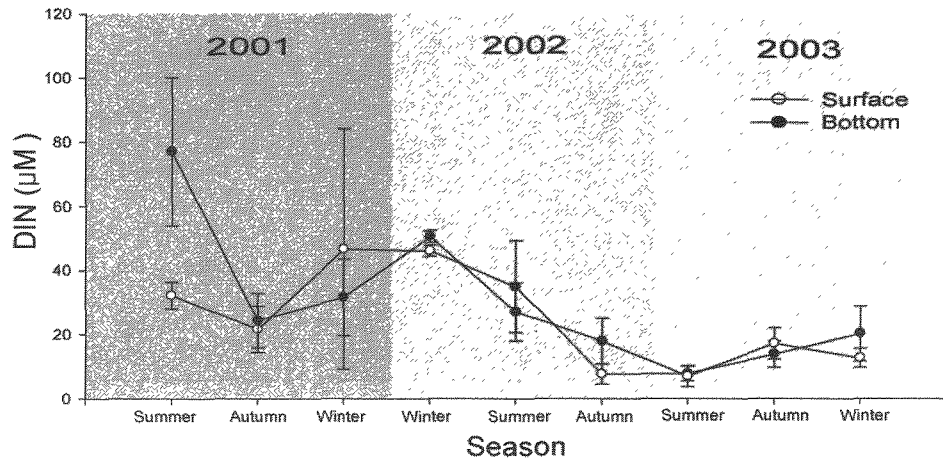


그림 2-4-5. DIN의 표층과 하층에서의 계절별 변화(2001-2003년).

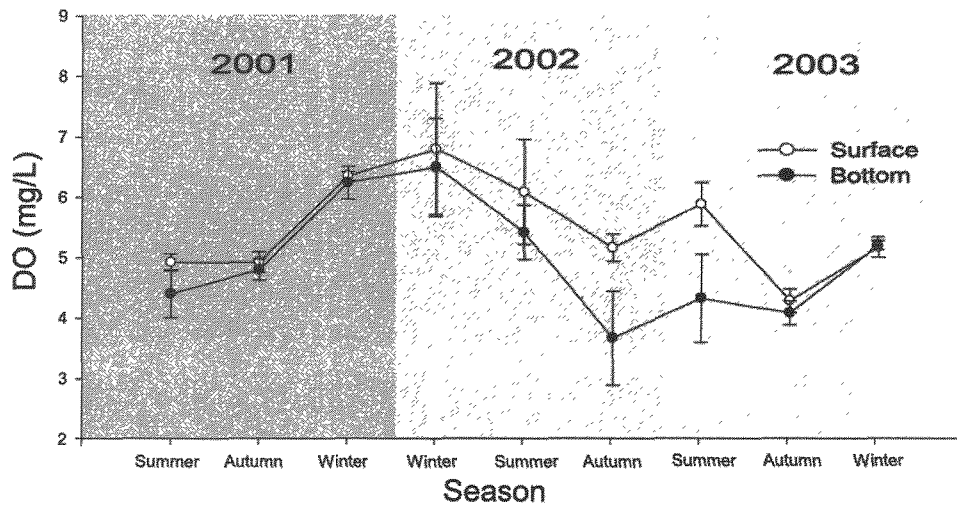


그림 2-4-6. DO의 표층과 하층에서의 계절별 변화(2001-2003년).

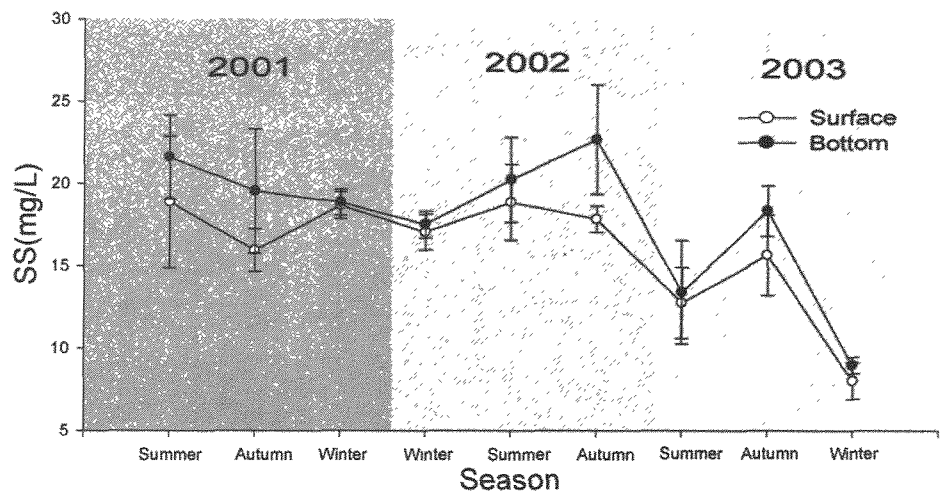


그림 2-4-7. SS의 표층과 하층에서의 계절별 변화(2001-2003년).

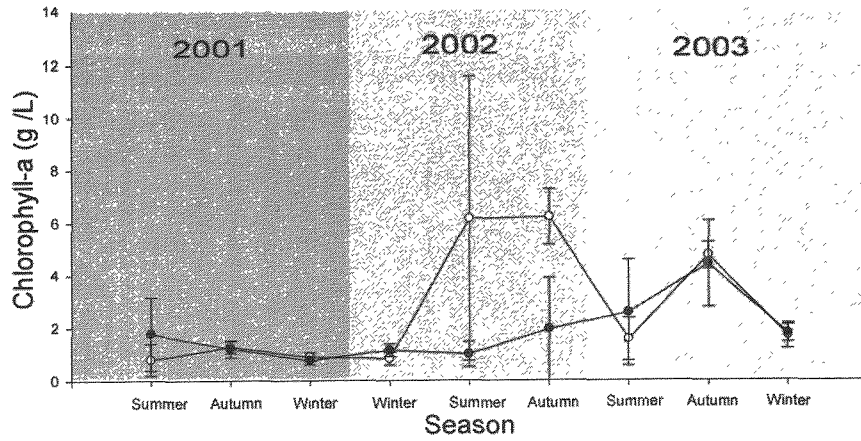


그림 2-4-8. Chlorophyll-a의 표층과 하층에서의 계절별 변화(2001-2003년).

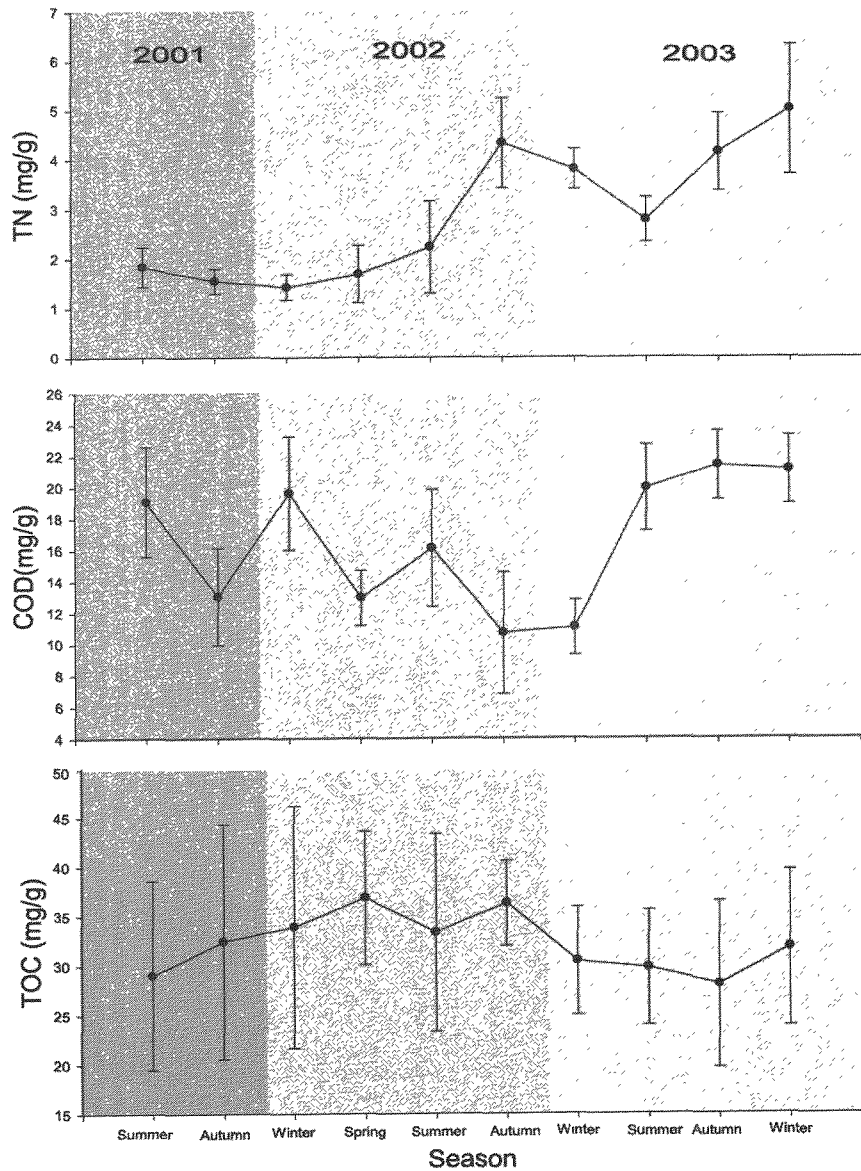


그림 2-4-9. 퇴적환경의 2001년~2003년도까지의 계절별 변화.

결론적으로 통영바다목장해역은 출현하는 생물의 종조성에 따라 암반서식지와 연질기저서식지로 뚜렷이 구분되었으며, 이러한 서식지의 구분은 퇴적환경에 많이 지배를 받고 있으며 수질환경의 경우 해역의 범위가 좁은 특성으로 인해 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다. 암반 서식지의 경우 통영해역의 지리적 특성인 폭이 좁은 연안 암반지대의 형성으로 인해 규모가 제한적인 것으로 나타났다. 또한 이러한 지리적 영향과 더불어 높은 탁도로 인한 해조류 등의 생물 분포역 제한 및 성게, 군소, 전복 등 대형 초식자들에 의한 섭식으로 인한 해조류 생산력 감소가 우려되었다. 그러나 통영바다목장조성 기간동안 수행된 해조장 조성 등의 결과로 인해 장두도등의 일부지역 및 해조장 어초가 투입된 지역의 경우 인근 해역의 평균적인 해조류 생체량 보다 높고, 생물다양성 측면에서도 높은 것으로 파악되고 있어 향후 암반해역에 대한 지속적인 해조장 조성이 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한 높은 부가가치를 지닌 전복, 성게 등의 분포가 해조류 분포와 매우 밀접한 관계를 가지는 만큼 해역의 무척추생물 생산력의 증가를 위한 해조장 조성 및 효과 추적 조사가 필요한 부분으로 판단된다. 한편, 연질기저해역의 경우 이제까지 통영바다목장해역에서 출현한 저서생물의 종조성 및 생체량 측면에서 볼 때 높은 생물다양성과 생체량을 보여 해역의 건강성이 우리나라 어느 해역보다 뛰어난 곳으로 판단된다. 단 바다목장의 중요한 요소인 유용자원의 증대 측면에서 볼 때 단순한 서식지 특성을 보이는 연질기저해역보다 다양한 서식지를 제공하는 암반해역의 기능이 중요하다. 실제 통영바다목장해역에서도 연질기저해역에서보다 암반지역의 생물다양성 및 생물량이 높은 것으로 나타나 향후 연질기저해역에 대한 어초 등의 시설물 투입을 통한 암반화 작업을 꾸준히 이루어 나가야 할 것으로 판단된다. 이러한 암반서식지의 확대는 무엇보다 생태계의 물질 순환에 최소한의 영향을 미치는 범위에서 이루어져야 할 것이며, 이를 위해서는 생태계의 특성 및 변화를 파악하는 노력이 병행되어야 할 것이다.

한편 본 연구부분에서 얻어진 서식지 유형별 특성자료의 database화 작업은 본 장 6절 “관측자료 표준화 및 DB구축” 부분과 연계하여 실시하였다. 그러나 서론에서 언급하였듯이 그간에 획득된 자료를 종합적으로 분석해 본 결과, 계절별로 부족한 점이 있고, 매년 고정된 조사정점이 10개로 제한되어 서식지별로 자료를 DB화 한다는 그 자체가 신뢰성 있는 자료제공을 해 주지 못한다는 판단이 들었다. 따라서 바다목장해역 전체를 하나의 서식지로 보고 환경과 생물군집에 관한 계절별 자료를 DB화 하였다.

제 5 절 생태계 모델

1. 서론

통영 바다목장에서는 해양생물들의 서식처 조성을 위해 해중립 조성과 기능성 인공어초를 개발·설치하였다. 그리고 자원조성을 위해 대상어종의 치어방류 및 해중립용 해조의 번식기술, 중간육성기술, 음향순치기술 등을 개발한다. 어장조성 및 자원조성 기술은 결국 대상해역 수산생물자원의 생산성을 높이기 위한 것으로, 이러한 기술에 의해 증가된 수산생물자원을 높은 수준에서 지속적으로 유지·이용하기 위해서는 합리적인 자원관리 방안이 필요하다. 즉, 이러한 바다목장이라는 대상생태계에 조성된 대상자원들은 해양생태계의 일부를 구성하고 있는 생물들로서, 다른 여러 해양생물들과 서로 먹고 먹히는 관계나 혹은 동일 먹이생물을 대상으로 경쟁을 하고 있는 생태학적인 상호작용을 하면서 생존하고 있다. 그러므로, 합리적인 자원관리를 위해서는 통영 바다목장내 서식 생물군의 생태학적 구조와 생물군간의 역학 매카니즘을 구명하고 대상생물자원의 이용이 바다목장 생태계의 구조와 기능에 미치는 영향을 먼저 이해해야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 통영 바다목장해역의 생태학적 구조를 파악하고 목장 조성에 따르는 생태계 구조 변화와 어업자원 변동을 예측할 수 있는 생태계 기반 자원관리 시스템을 개발하였다. 또한, 자원관리 시스템에서 생물학적 기준점과 생태계 구조 및 기능을 고려한 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델을 사용하여 바다목장 대상종의 ABC를 추정하였다

2. 재료 및 방법

가. 생태계 분석 모델

통영 바다목장의 생태계 분석을 위해 설정된 모델은 Christensen and Pauly(1992)에 의해서 개발된 생태계 구조 모델인 Ecopath 모델과 Walters *et al.*(1997)에 의해 개발된 생태계 역학 모델인 Ecosim 모델이다.

나. 생태계 내 대상개체군 분석 모델

통영 바다목장에서 수산자원으로 이용되는 대상종들에 대한 개체군 모델로는 적정자원조성량 산출에 의한 자원조성 모델과 이를 효율적으로 관리·이용하기 위한 자원관리 모델이 있다.

3. 결과 및 고찰

가. 생태계 기반 자원관리 시스템

해양생태계는 구성 생물체와 생물체간의 상호작용 및 물리화학적 환경요소들과의 작용을 기능으로 하고 있다. 수산자원은 해양생태계내의 하나의 구성원이기 때문에 어업에 의한 자원의 이용이 생태계에 영향을 미치는 것은 당연하다. 과거 전통적인 자원관리는 생물학적 한계내에서 주어진 생태계로부터 수산자원을 매년 어떠한 방법으로 얼마만큼 어획해야 하는지를 결정하는 것이었다. 그러나, 생태계를 고려하는 관리에 있어서는 자원을 어획함으로써 미래에 생태계에 미칠 수 있는 영향과 이에 따른 생산량의 변화를 예측하려고 한다. 생태계를 고려한 자원관리의 목표는 생태계내의 종과 유전적 다양성을 유지하면서, 적정량을 수확하여 최대 지속적 생산성 유지하는 것이다. 따라서, 생태계 기반 자원관리를 위해서는 1) 대상생태계에 있어서 구성생물들에 대한 생태학적 특성, 어업의 영향, 해양·환경적 특성 등이 종합적으로 조사되어야 한다. 2) 이러한 조사를 바탕으로 생태계 구조 모델을 사용하여 대상생태계의 구조 및 영양학적 분석이 이루어져야 한다. 3) 생태계 구조 모델에 의한 결과는 생태계 역학 모델에 의해 어획과 환경의 변화가 대상생태계에 미치는 영향을 역학적 시뮬레이션으로 나타낸다. 4) 생태계 분석 모델에 의한 대상생태계의 특성 파악과 이러한 생태학적 특성에 의한 대상자원의 역학적 메카니즘을 분석하여 대상생태계에 가장 합리적인 자원관리 시스템에 의해 적정어획량을 추정한다. 5) 2)단계~4)단계를 계속 feedback하여 수정·보완함으로써 합리적인 관리방안을 도출한다(그림 2-5-1).

(1) 생태계 분석 모델

(가) 모델

생태계 구조 모델(Ecopath 모델)은 생태계의 구조를 설명해 주는 다양한 생태계 특성치를 추정하여 대상생태계 영양구조의 정적인 단면을 나타내고, 생태계 역학 모델(Ecosim 모델)은 생태계 구조 모델에서 추정된 결과를 바탕으로 어획과 환경의 변화가 생태계에 미치는 영향을 역학적 시뮬레이션으로 보여준다(그림 2-5-2).

생태계 모델의 구조를 파악하고 역학적 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 그림 2-5-3과 같이 생물군별로 많은 정보를 필요로 한다. 즉, 생태계 내에는 많은 생물종들이 서식하며, 이들은 서로 먹고 먹히는 관계에 있기 때문에, 한 생물군의 생체량 증감은 이들의 포식자 또는 피식자의 생체량 증감에도 영향을 미친다. 이러한 영향은 그들이 생산할 수 있는 생산량과 인간이 이용할 수 있는 어획량 변동에도 큰 영향을 초래한다. 따라서 생물군별 생체량(B), 섭식량(Q)과 피식-포식 관계(DC), 생물학적 생산량(P), 어획량(C), 그리고 영양효율(EE)에 대한 정확한 정보 수집은 필수적이다. 만약 이 중 5개의 파라미터만 알 수 있다면 나머지 한 파라미터는 생태계 질량 균형(mass balance) 모델에 의해 자동적으로 추정된다. 일반적으로 영양효율(EE)은 다른 파라미터에 비해 직접 추정하는 것이 어려우므로, 질량 균형(mass balance) 모델에 의해 간접적으로 추정된다.

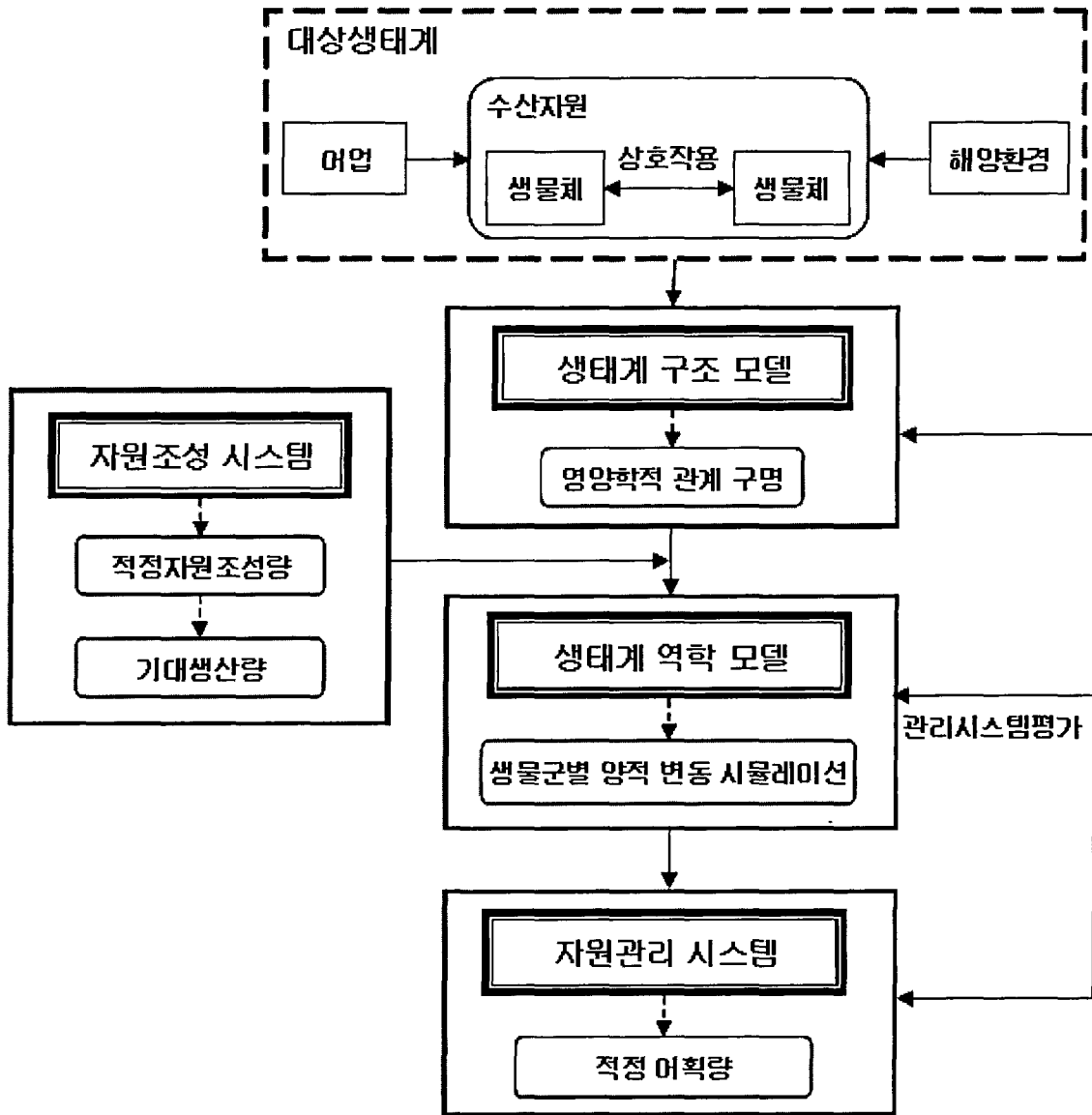
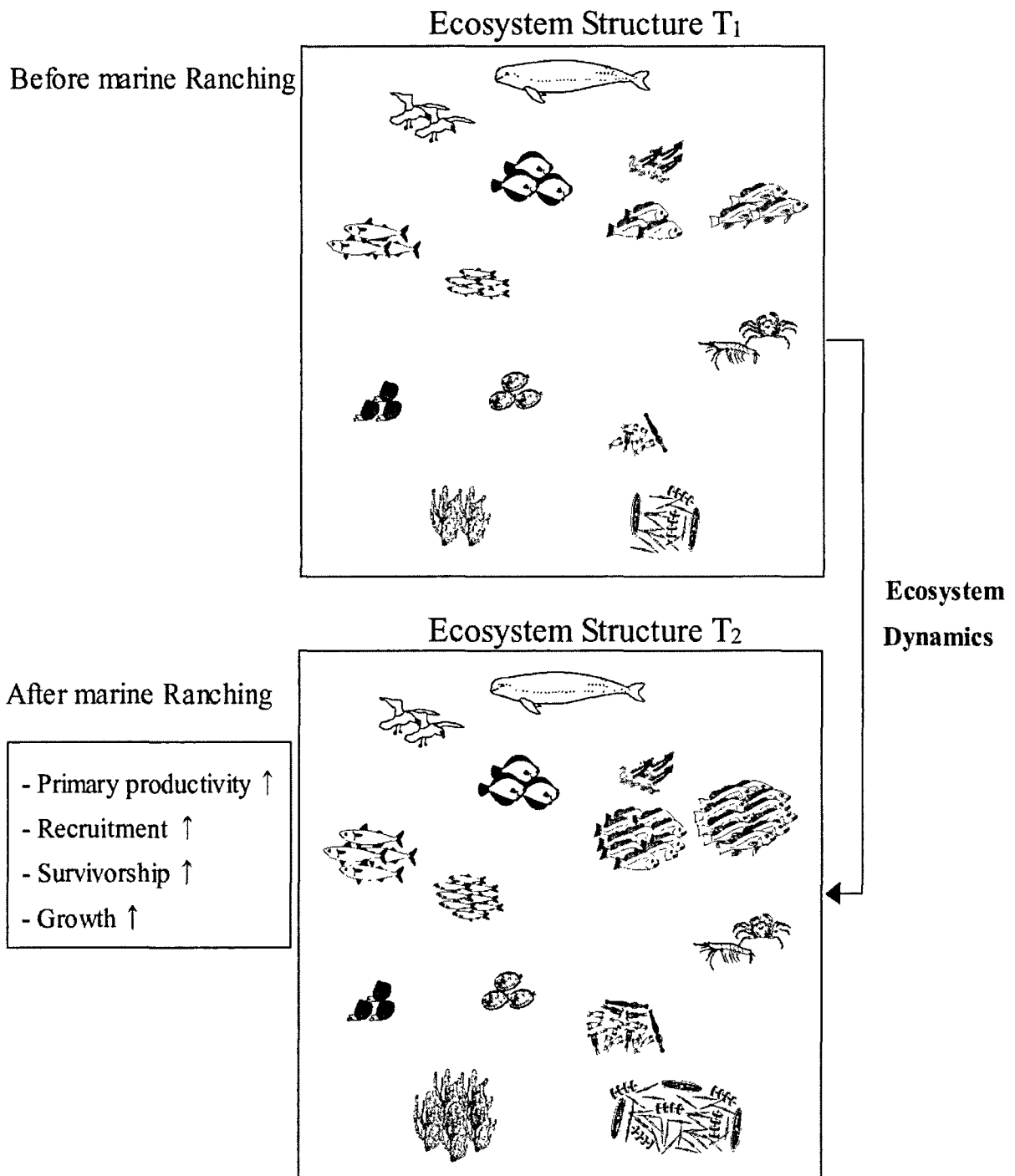
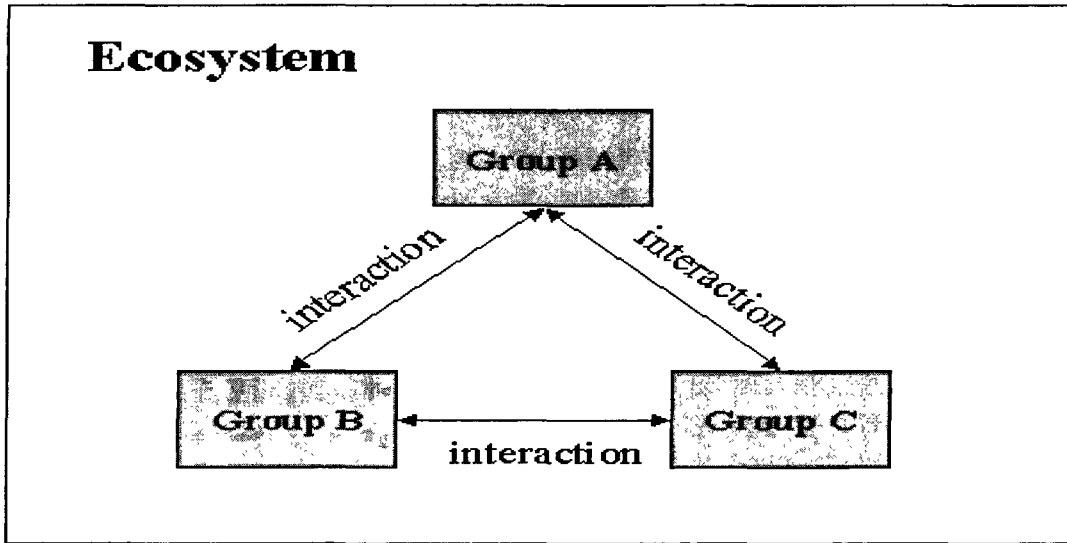


그림 2-5-1. 생태계 기반 자원관리 시스템.



Ecosystem models 1. Ecosystem structure model
 2. Ecosystem dynamics model

그림 2-5-2. 생태계 모델 분석도.



Ecosystem parameters

1. Biomass (B)
2. Consumption (Q) and Diet composition (DC)
3. Production (P)
4. Catch (C)
5. Ecotrophic Efficiency (EE)*

그림 2-5-3. 생태계의 구조와 생태계 모델에 사용되는 기본 입력파라미터.

생태계 구조 모델인 Ecopath 모델은 두 가지 식을 기초로 하는데, 하나는 질량 균형 (mass balance)에 의한 생산량 모델식이고, 다른 하나는 각 그룹에 대한 에너지 균형 (energy balance) 모델식이다. 질량 균형(mass balance) 모델식에서 각 그룹 (i)에 대한 생산량식은

$$P_i = Y_i + B_i \cdot M2_i + E_i + BA_i + P_i \cdot (1 - EE_i) \text{ ----- (1)}$$

로, P_i 는 i 의 총생산량, Y_i 는 i 의 총어획량, B_i 는 i 의 생체량, $M2_i$ 는 i 의 포식자에 의한 사망율, E_i 는 순회유량(이출량-이입량), BA_i 는 i 의 누적생체량, $P_i \cdot (1 - EE_i) = M0_i$ 로 i 에 대한 기타사망량을 나타낸다. 여기서, i 는 생태학적 유사성에 따라 하나의 종 또는 여러 종으로 묶어서 분류된 것으로, 영양단계가 같은 그룹이다.

식 (1)은 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$B_i \cdot (P/B)_i \cdot EE_i - \sum_{j=1}^m B_j \cdot (Q/B)_j \cdot DC_{ji} - Y_i - E_i - BA_i = 0 \text{ ----- (2)}$$

여기서, $(P/B)_i$ 는 생산량/생체량의 비, $(Q/B)_j$ 는 섭식량/생체량의 비, 그리고 DC_{ji} 는 포식자 (j)의 먹이조성 중 피식자 (i)의 비이다.

에너지 균형(energy balance) 모델식에서는 모든 생물의 에너지 유입과 유출이 균형을 이루어야 한다. 각 그룹간 에너지 균형은 다음 식에 의해 성립된다.

$$Q = P + R + U \text{ ----- (3)}$$

여기서, Q 는 섭식량, P 는 생산량, R 은 호흡량, 그리고 U 는 미동화량이다.

Ecopath에서는 에너지 뿐만 아니라 영양단위로도 사용할 수 있는데, 만약 Ecopath에서 영양단위가 사용된다면, 호흡량은 위 식에서 고려되지 않고, 미동화량은 섭식량과 생산량간의 차로 추정된다.

생태계 역학 모델에 의한 시뮬레이션을 위하여 Walters *et al.*(1997)에 의하여 개발된 Ecosim 모델에서 사용되는 기본식은 자원의 순간성장률에 대한 식으로, 이식은 Ecopath의 기본식 (1)에서 유도된다.

$$dB_i/dt = g_i \sum_j C_{ji} - \sum_j C_{ij} + I_i - (M_i + F_i + e_i) B_i \text{ ----- (4)}$$

여기서, g_i 는 순성장효율(생산량/섭식량 비), M_i 는 포식에 의한 사망이 아닌 자연사망계수, F_i 는 어획사망계수, e_i 는 이출율, I_i 는 이입량(순회유량 = $e_i \cdot B_i - I_i$)이다. 오른쪽 항의 두 합은 섭식량을 나타내는데, 첫 번째 합은 그룹 i 의 총섭식량이고, 두 번째 합은 i 그룹이 다른 포식자에 의해 피식된 양을 나타낸다.

식 (4)에 의해 생물군별 자원량, 어획량, 섭식량/생체량, 평균체중 및 급이시간(feeding time)의 변동을 상대적인 값으로 예측할 수 있으며, 또한 어획수준(F)에 따른 변동도 예측 가능하다.

(나) 생물군별 그룹핑

인공신경망(artificial neural networks, ANNs)은 인간의 뇌의 기능에 기초한 비선형 mapping 구조이다. 인공신경망(ANNs)은 예측 모델링에서 큰 수용력을 가지는 'black box'와 같다고 볼 수 있는데, 즉, 미지의 상황을 설명하는 모든 특성들은 반드시 인공신경망에 제시되어지고 있으며, 최근 생태계 모델링에 ANNs 방법이 적용되어 지고 있다 (Lek and Guegan, 1999). 따라서, 통영 바다목장해역에 서식하는 생물들을 생태학적 유사성에 따라 그룹핑하기 위해 인공신경망을 인지하는 테크닉의 하나인 자가구성법(self-organizing mapping, SOM)을 적용하였다.

(다) 생물군별 입력파라미터

생태계 모델의 입력파라미터 추정에 대한 자세한 방법은 한국해양연구원(2003)에 제시하였다.

(2) 적용예

(가) 바다목장의 조성과 효과

통영 바다목장해역의 경우 환경친화적인 어장조성 및 자원조성 기술 개발을 통해 자원증대를 위한 환경을 조성하였다(한국해양연구원, 2002). 그림 2-5-4는 바다목장 연구사업이 추진되고 있는 경남 통영시 산양읍 남쪽바다의 통영해역으로, 주 바다목장해역의 면적은 약 20 km²이다.

어장조성 기술에 의한 해중립 조성은 상대성장률이 크고 개체의 크기가 큰 대형 갈조류가 주 대상종이다. 이들은 높은 기초생산력을 제공하고, 어류에게는 포식자로부터 숨어 있을 공간을 제공하며, 표면부착생물의 착생율을 증가시켜 생물종의 다양성 증대 및 이를 먹이로 삼는 어류의 생물량 증대를 가져온다. 기능성 인공어초 설치는 어패류에게 안정적인 서식환경을 조성 및 제공하여 대상어종의 성장률과 생산율의 증가를 가져온다.

자원조성 기술에 의한 대상어종의 치어방류, 음향순치, 그리고 중간육성은 자원조성 대상어종의 가입량을 증가시키고, 해중립용 해조의 번식은 어패류의 산란장 및 생육장 등 다양한 기능을 제공하고 높은 기초생산력을 제공한다.

따라서 통영 바다목장에 조성된 이러한 환경들은 생태계의 기초생산력을 증가시키고 수산생물자원의 가입량, 성장률, 그리고 생산율을 증가시켜 자원량을 증대시킴으로써 높은 생산성을 가져올 것이다.

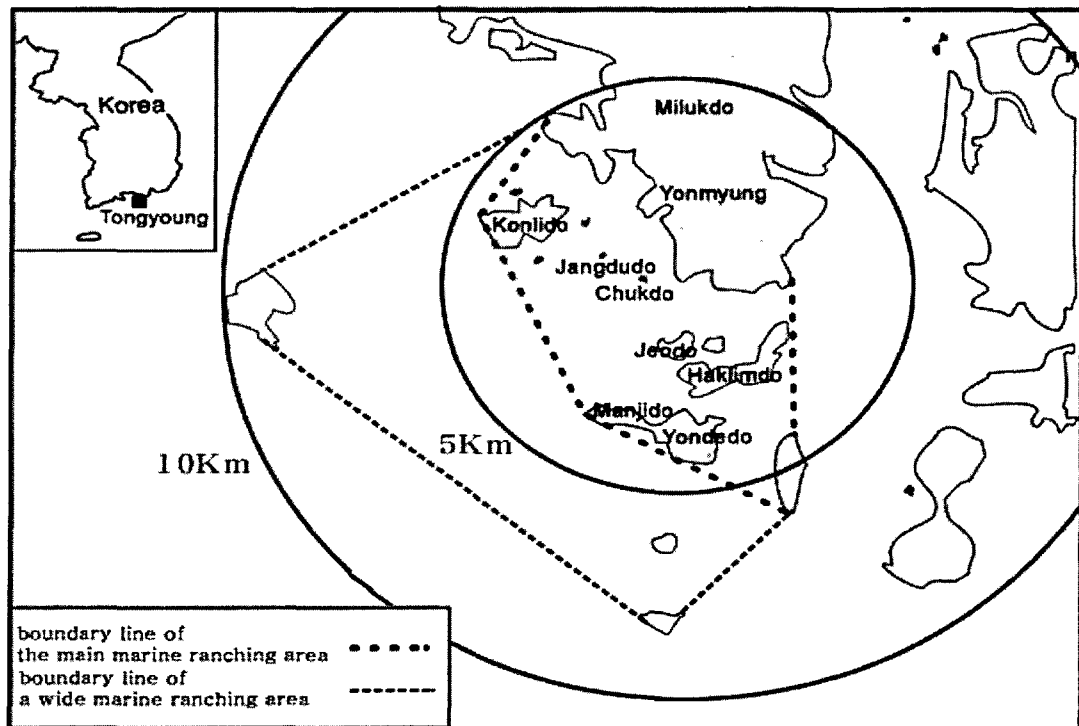


그림 2-5-4. 통영 바다목장해역도.

(나) 생물군 그룹핑

생태계 모델링을 위해 통영 바다목장에 서식하는 생물상에 대한 정보는 '통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서'(한국해양연구원, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003, 2004, 2005)와 통영시 수협위판 자료를 참고하였다.

통영 바다목장해역에 서식하는 생물들은 다음의 8가지 생태학적 특성에 기초하여 그룹핑되었다. 8가지 생태학적 특성은 (1) 유영능력(약함-0, 중간-1, 강함-2), (2) 체장(극소형-0, 소형-1, 중형-2, 대형-3, 초대형-4), (3) 골격(연골-0, 경골-1, 연체-2, 갑각-3, 패각-4, 기타-5), (4) 서식수심(표영성-0, 반저서성-1, 저서성-2, 심해성-3, 유영성-4), (5) 체형(유선형-0, 편평형-1, 장어형-2, 기타-3), (6) 서식처(표층-0, 중층-1, 저층-2, 모래/펄 바닥-3, 암초/바위 바닥-4, 모래/펄 속-5, 유영-6), (7) 섭식유형(이빨-0, 부리-1, 여과섭식-2, 기타-3, 비섭식-4), (8) 먹이형태(식물성-0, 동물성-1, 잡식성-2, 비섭식-3)이다(그림 2-5-5). 각각의 숫자는 각각의 특성들을 구분하기 위하여 임의로 부여되었고 이러한 구분에 따라 각 생태학적 특성들은 색깔 스펙트럼 (파랑-초록-노랑-빨강)으로 나타나게 된다. 예를 들면, 그림 2-5-5(가)의 유영능력에서 상단의 붉은색으로 나타내어진 부분은 유영능력이 강함을, 하단의 파란색으로 나타내어진 부분은 유영능력이 약함을 나타낸다. 이

러한 특성에 기초하여 그림 2-3-5(나)의 matrix 상단의 종들은 하단의 종들에 비해 유영능력이 강한 종들을 나타낸다. 그림 2-5-5(나)는 이러한 8가지 생태학적 특성을 모두 고려하여 동일한 생태학적 특성을 가진 종끼리 그룹핑 되어진 것을 나타낸다.

이러한 분류학적 및 생태학적 특성에 기초하여, 통영 바다목장해역에 서식하는 생물군은 기초생산자에서 최고포식자까지 24개의 그룹으로 나뉘어졌다. 각 생물군의 종조성은 표 2-3-1과 같다.

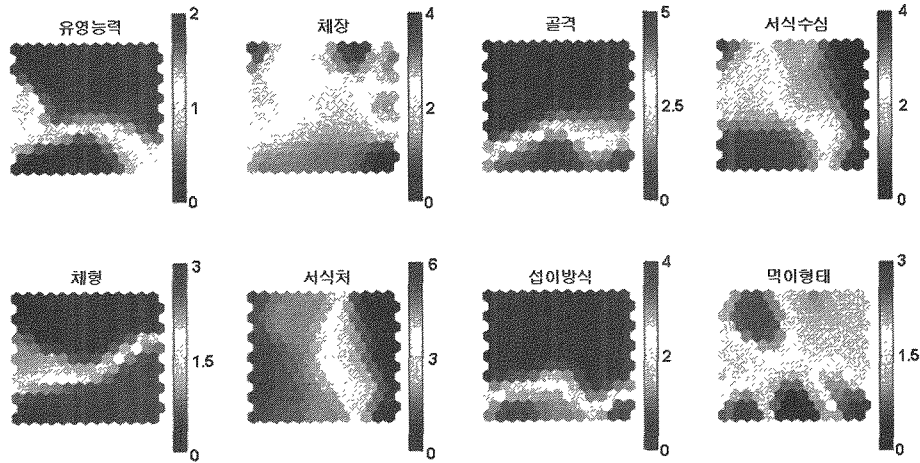
(다) 생물군별 입력파라미터

생태계 모델을 사용하여 바다목장조성으로 인해 통영 생태계에 어떠한 변화가 있었는지를 분석하기 위해 바다목장조성 이전과 이후의 생태계에 대한 자료를 조사·분석하였다. 바다목장조성 이전 모델은 정보수집이 가능하였던 1997년 생태계를 기준으로 하였고, 바다목장조성 이후 모델은 2002년 생태계를 기준으로 하였다.

바다목장조성 이전 모델(1997년 생태계)에 대한 입력파라미터는 1997년도 통영수협 위판량 자료로부터 수집된 어획량(C) 자료와 여러 참고문헌으로부터 제시된 어획사망계수(F)에 대한 정보를 사용하여 관계식, $B = C/F$ 에 의해 생체량(B)을 분석하였다. 바다목장조성 이후 모델(2002년 생태계)에 대한 입력파라미터는 실제 자원조사에 의한 생체량 자료(한국해양연구원, 2003, 2004)를 사용하였다. 각 모델에 대한 생산량(P)/생체량(B) 비는 여러 참고문헌으로부터 제시된 성장률과 순간전사망계수 자료를 사용하여 생체량으로 가중평균하여 구하였으며, 섭식량(Q)/생체량(B) 비 역시 여러 참고문헌에 의한 위내용물 분

석 자료를 사용하여 생체량으로 가중평균하여 구하였고, 먹이중요도에 따라 생물군별 먹이조성비를 분석하였다.

(가)



(나)

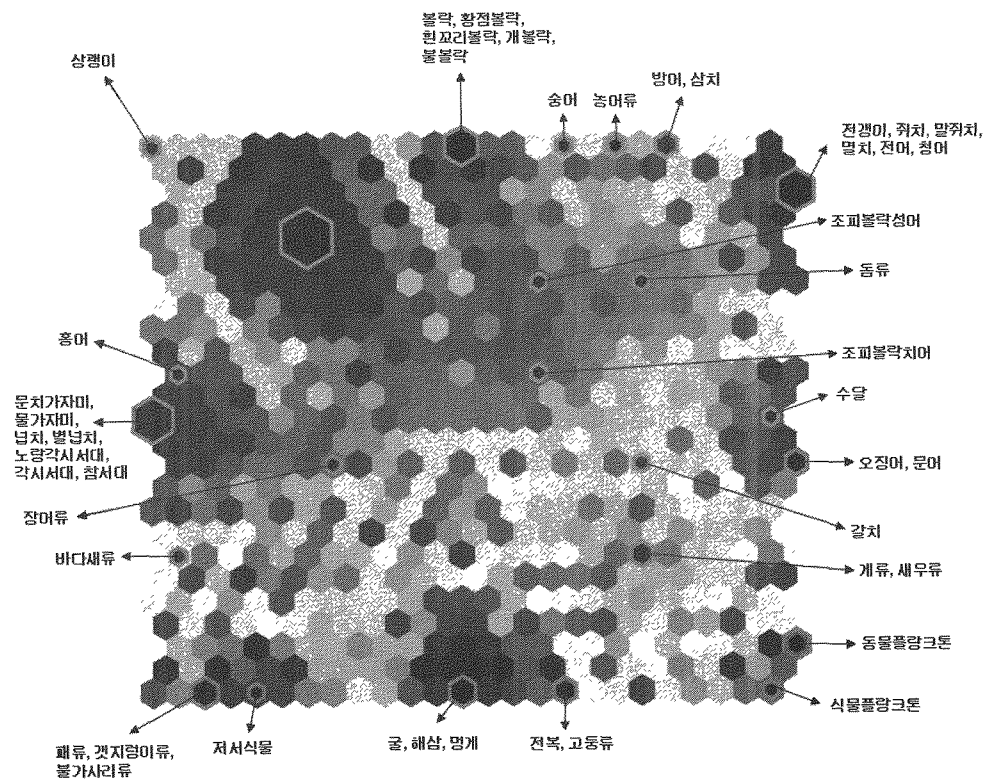


그림 2-5-5. 자가구성법 (SOM)을 이용한 통영 바다목장 생태계 생물군 그룹핑, (가) 8가지 생태학적 특성, (나) 각 생물군에 속하는 종명과 생태학적 위치.

표 2-5-1. 통영 생태계 내 그룹별 종조성

그룹명	종명
Finless porpoise(상괘이)	
Otter(수달)	
Pisc. Birds(바다새류)	
Skates(홍어)	
Flatfishes(넙치 · 가자미류)	문치가자미, 물가자미, 넙치, 별넙치, 노랑각시서대, 각시서대, 참서대
Adult Jacopever	
Rockfish(조피볼락성어)	
Juv. Jacopever	
Rockfish(조피볼락치어)	
Other Rockfishes(기타볼락류)	볼락, 황점볼락, 흰꼬리볼락, 개볼락, 불볼락
Sparidae(돔류)	참돔, 감성돔, 돌돔
Anguilliformes(장어류)	붕장어, 갯장어
Moronidae(농어류)	농어, 점농어
Grey Mullet(숭어)	
Hairtail(갈치)	
Other Demersal(기타저서어류)	미역치, 노래미, 쥐노래미, 홍민어, 양태, 그물코베도라치, 기타
Large Pelagics(대형부어류)	방어, 삼치
Small Pelagics(소형부어류)	전갱이, 쥐치, 말쥐치, 멸치, 전어, 청어, 기타
Cephalopoda(두족류)	오징어, 문어, 기타
Benthic Feeders(저서섭식자)	게류, 새우류
Infauna(내생저서동물)	패류, 갯지렁이류, 불가사리류
Epifauna(표생저서동물)	굴, 해삼, 멍게
Gastropoda(복족류)	전복, 고동류
Zooplankton(동물플랑크톤)	
Benthic Algae(저서식물)	
Phytoplankton(식물플랑크톤)	
Detritus(퇴적물)	

통영 바다목장의 생태계 모델링을 위해 현재 조사되고 있지는 않지만 통영 생태계에 직·간접적으로 크게 영향을 미치는 생물인 상괘이(Finless Porpoise)와 수달(Otter), 그리고 바다새(Piscivorous Birds)를 포함시켰다. 상괘이에 대한 자원생태학적 특성치와 섭식 자료는 박 등(2002), 장 등(2004), 그리고 Trites et al.(1999)을 참고하였으며, 수달에 대한 자료는 Han(1997)을 참고하였고, 바다새에 대한 자료는 Trites et al.(1999)을 참고하였다.

통영 바다목장의 생태계 모델링을 위한 입력자료(생체량, 생산량/생체량 비, 섭식량/생체량 비, 연간 어획량, 그리고 먹이조성비)는 바다목장조성 이전과 이후의 생태계에 대해 한국해양연구원(2003)에서 제시된 방법들을 사용하여 생물군별로 표2-5-2, 2-5-3, 2-5-4, 그리고 2-5-5와 같이 구하였다.

(마) 생태계 내 생물군의 영양학적 구조 및 상호작용

통영 바다목장해역에 서식하는 생물군들의 영양단계는 크게 4단계로 분석되었다. 1차 생산자에 해당되는 생물군은 식물플랑크톤(Phytoplankton), 저서식물(Benthic Algae)이었고, 2차 소비자는 동물플랑크톤(Zooplankton), 복족류(Gastropoda), 표생저서동물(Epifauna), 내생저서동물(Infauna), 저서섭식자(Benthic Feeders), 소형부어류(Small Pelagics), 3차 소비자는 두족류(Cephalopoda), 대형부어류(Large Pelagics), 기타저서어류(Other Demersal), 갈치(Hairtail), 송어(Gray Mullet), 농어류(Moronidae), 장어류(Anguilliformes), 돛류, 기타볼락류(Other Rockfishes), 조피볼락치어(Juvenile Jacopever Rockfish), 조피볼락성어(Adult Jacopever Rockfishes), 넙치·가자미류(Flatfishes), 바다새(Piscivorous Birds), 상괘이 (Finless Porpoise), 그리고 4차 소비자는 홍어(Skates), 수달(Otter)이었다.

그림 2-5-6은 통영 바다목장 생태계의 구조와 생물군간의 에너지흐름을 보여주는 그림으로서, 각 그룹의 사각형 크기는 상대적인 생체량 크기를 나타내고, 횡축은 각 그룹의 영양단계를 나타낸다. 화살표는 포식-피식 관계에 따른 에너지의 흐름을 나타낸다. 통영 바다목장 생태계의 경우 영양단계 3에서 에너지 흐름이 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다(그림 2-5-6).

그림 2-5-7은 바다목장조성 이전과 이후의 생태계 변화를 나타낸다. 바다목장 조성을 위한 해중림 조성, 인공어초 설치, 그리고 종묘방류 사업으로 인해 저서식물(Benthic Algae), 복족류(Gastropoda), 표생저서동물(Epifauna), 조피볼락(Jacopever Rockfish)의 생체량이 크기가 증가하였다. 반면에, 통영 바다목장의 주요 대상종이 아닌 두족류(Cephalopoda)는 이러한 자원조성 효과로 인해 그 생체량이 감소하는 것으로 나타났다(그림 2-5-7).

표 2-5-2. 통영 생태계의 바다목장 조성 이전의 기본입력파라미터

그룹명	서식비율 (fraction)	서식면적당 생체량(t/km ²)	생산량 /생체량 (/년)	섭식량 /생체량 (/년)	어획량 (t/km ²)
상괭이	1.000	0.003	0.020	13.108	-
수달	1.000	0.001	0.060	91.250	-
바다새류	1.000	0.001	0.800	60.000	-
홍어	1.000	0.258	1.565	2.560	0.387
넙치·가자미류	1.000	0.396	1.365	2.490	0.414
조피볼락성어	1.000	0.032	1.386	10.790	0.011
조피볼락치어	1.000	0.972	2.772	37.176	0.034
기타볼락류	1.000	0.108	1.368	12.061	0.078
돔류	1.000	0.230	1.409	2.500	0.149
장어류	1.000	2.514	1.386	2.600	3.301
농어류	1.000	0.164	1.455	26.160	0.019
숭어	1.000	0.184	1.300	2.500	0.001
갈치	1.000	0.457	1.460	2.600	0.545
기타저서어류	1.000	0.239	1.155	18.293	0.018
대형부어류	1.000	0.480	2.214	3.000	0.311
소형부어류	1.000	12.380	2.800	3.500	31.579
두족류	1.000	1.640	3.300	11.333	0.278
저서섭식자	1.000	3.850	2.534	7.100	0.293
내생저서동물	1.000	25.585	1.722	11.226	0.017
표생저서동물	1.000	11.464	1.217	5.777	10.314
복족류	1.000	1.786	2.303	5.777	0.147
동물플랑크톤	1.000	12.796	9.000	22.000	-
저서식물	1.000	9.200	534.068	-	2.760
식물플랑크톤	1.000	91.276	170.000	-	-
퇴적물	1.000	-	-	-	-

표 2-5-3. 통영 생태계의 바다목장 조성 이전의 생물군별 먹이조성비

피식/포식자	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 상괭이											
2 수달											
3 바다새류		0.070									
4 홍어	0.023										
5 넙치·가자미류	0.023	0.050		0.176							
6 조피볼락성어	0.035	0.050			0.029				0.004		
7 조피볼락치어	0.035	0.050	0.457		0.054				0.115	0.194	
8 기타볼락류	0.035	0.050			0.023				0.004		
9 돍류	0.035	0.050			0.023	0.029		0.037			
10 장어류	0.035	0.050			0.023	0.029		0.037	0.004		
11 농어류	0.035	0.050		0.176	0.023	0.024		0.037	0.004		
12 송어	0.035	0.050		0.176	0.023	0.029		0.037	0.004		
13 갈치	0.039	0.050			0.023	0.029		0.037	0.004		
14 기타저서어류	0.035	0.050		0.176	0.023	0.044		0.062	0.004		
15 대형부어류	0.006	0.050	0.029		0.029	0.159		0.020	0.011		
16 소형부어류	0.018	0.026	0.057	0.031	0.044	0.054		0.027	0.056	0.033	0.080
17 두족류	0.045		0.229	0.088	0.009	0.019			0.059	0.194	
18 저서섭식자	0.433	0.217		0.088	0.266	0.120	0.067	0.244	0.059	0.194	0.307
19 내생저서동물					0.384			0.266			
20 표생저서동물		0.121				0.102			0.197		
21 복족류		0.013									
22 동물플랑크톤	0.003		0.229	0.088	0.020	0.363	0.933	0.196	0.474	0.386	0.613
23 저서식물	0.102										
24 식물플랑크톤	0.025										
25 퇴적물											
SUM	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

표 2-5-3. 계속

피식/포식자	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 상괭이											
2 수달											
3 바다새류											
4 홍어											
5 넙치·가자미류											
6 조피불락성어											
7 조피불락치어	0.214	0.029	0.129								
8 기타불락류		0.011									
9 돔류		0.011									
10 장어류		0.011									
11 농어류		0.011									
12 송어		0.011		0.014							
13 갈치		0.005									
14 기타저서어류		0.011									
15 대형부어류		0.003					0.012				
16 소형부어류	0.036	0.010	0.052	0.390		0.030					
17 두족류		0.179		0.014		0.184					
18 저서섭식자		0.355	0.107		0.026				0.020		
19 내생저서동물	0.107		0.147		0.141		0.429		0.327		
20 표생저서동물	0.107		0.300				0.053		0.009		
21 복족류	0.107		0.065				0.019		0.046		
22 동물플랑크톤	0.214	0.355	0.200	0.581	0.678	0.774	0.070		0.054		
23 저서식물	0.107				0.134					1.000	
24 식물플랑크톤					0.020						0.800
25 퇴적물	0.107						0.429	1.000	0.544		0.200
SUM	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

표 2-5-4. 통영 생태계의 바다목장 조성 이후의 기본입력파라미터

그룹명	서식비율 (fraction)	서식면적당 생체량(t/km ²)	생산량 /생체량 (/년)	섭식량 /생체량 (/년)	어획량 (t/km ²)
상괭이	1.000	0.004	0.020	13.108	-
수달	1.000	0.001	0.060	91.250	-
바다새류	1.000	0.010	0.800	60.000	-
홍어	1.000	0.101	1.365	2.560	0.000
넙치·가자미류	1.000	0.479	1.365	2.490	0.000
조피볼락성어	1.000	1.779	1.386	10.790	0.000
조피볼락치어	1.000	2.279	2.772	37.176	0.000
기타볼락류	1.000	0.136	1.368	12.061	0.000
돔류	1.000	0.549	1.309	2.500	0.000
장어류	1.000	0.522	1.386	2.600	0.000
농어류	1.000	0.596	1.055	26.160	0.000
숭어	1.000	1.922	1.200	2.500	0.000
갈치	1.000	0.528	1.360	2.600	0.000
기타저서어류	1.000	1.850	1.055	18.293	0.000
대형부어류	1.000	1.606	2.214	3.000	0.000
소형부어류	1.000	2.536	2.700	3.500	0.000
두족류	1.000	0.953	3.300	11.333	0.000
저서섭식자	1.000	8.740	2.534	7.100	0.000
내생저서동물	1.000	30.695	1.722	11.226	0.000
표생저서동물	1.000	26.421	0.717	5.777	0.000
복족류	1.000	7.930	1.703	5.777	0.000
동물플랑크톤	1.000	15.955	9.000	22.000	-
저서식물	1.000	27.000	534.068	-	-
식물플랑크톤	1.000	71.001	170.000	-	-
퇴적물	1.000	-	-	-	-

표 2-5-5. 통영 생태계의 바다목장 조성 이후의 생물군별 먹이조성비

피식/포식자	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 상괭이											
2 수달											
3 바다새류		0.070									
4 홍어	0.023										
5 넙치·가자미류	0.023	0.050		0.176							
6 조피볼락성어	0.035	0.050			0.029				0.004		
7 조피볼락치어	0.035	0.050	0.457		0.054				0.115	0.194	
8 기타볼락류	0.035	0.050			0.023				0.004		
9 돔류	0.035	0.050			0.023	0.029		0.037			
10 장어류	0.035	0.050			0.023	0.029		0.037	0.004		
11 농어류	0.035	0.050		0.176	0.023	0.024		0.037	0.004		
12 송어	0.035	0.050		0.176	0.023	0.029		0.037	0.004		
13 갈치	0.039	0.050			0.023	0.029		0.037	0.004		
14 기타저서어류	0.035	0.050		0.176	0.023	0.044		0.062	0.004		
15 대형부어류	0.006	0.050	0.029		0.029	0.159		0.020	0.011		
16 소형부어류	0.018	0.026	0.057	0.031	0.044	0.054		0.027	0.056	0.033	0.080
17 두족류	0.045		0.229	0.088	0.009	0.019			0.059	0.194	
18 저서섭식자	0.433	0.217		0.088	0.266	0.120	0.067	0.244	0.059	0.194	0.307
19 내생저서동물					0.384			0.266			
20 표생저서동물		0.121				0.102			0.197		
21 복족류		0.013									
22 동물플랑크톤	0.003		0.229	0.088	0.020	0.363	0.933	0.196	0.474	0.386	0.613
23 저서식물	0.102										
24 식물플랑크톤	0.025										
25 퇴적물											
SUM	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

표 2-5-5. 계속

피식/포식자	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 상괭이											
2 수달											
3 바다새류											
4 홍어											
5 넙치·가자미류											
6 조피볼락성어											
7 조피볼락치어	0.214	0.029	0.129								
8 기타볼락류		0.011									
9 돔류		0.011									
10 장어류		0.011									
11 농어류		0.011									
12 송어		0.011		0.014							
13 갈치		0.005									
14 기타저서어류		0.011									
15 대형부어류		0.003				0.012					
16 소형부어류	0.036	0.010	0.052	0.390		0.030					
17 두족류		0.179		0.014		0.184					
18 저서섭식자		0.355	0.107		0.026				0.020		
19 내생저서동물	0.107		0.147		0.141		0.429		0.327		
20 표생저서동물	0.107		0.300				0.053		0.009		
21 복족류	0.107		0.065				0.019		0.046		
22 동물플랑크톤	0.214	0.355	0.200	0.581	0.678	0.774	0.070		0.054		
23 저서식물	0.107				0.134					1.000	
24 식물플랑크톤					0.020						0.800
25 퇴적물	0.107						0.429	1.000	0.544		0.200
SUM	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

(3) 생태계 역학 모델에 의한 시뮬레이션

통영 바다목장에서는 자원조성을 위해 인공어초 설치, 해중림 조성, 그리고 종묘방류 사업 등을 실시하였고, 바다목장 사업이후 통영해역에서의 어업은 전면 금지해 오고 있다.

이러한 영향은 생태계의 기초생산력을 증가시키고, 수산생물자원의 가입량, 성장률, 그리고 생산율을 증가시켜 자원량을 증대시킴으로써 높은 생산성을 가져올 것이다. 바다목장 조성에 따른 효과를 저서식물 생체량과 조피볼락 가입량이 각각 매년 15%와 10%씩 증가하고, 어획은 2005년부터 개시되는 것으로 가정하여, 통영 바다목장 생태계 내 생물군의 변동을 시뮬레이션에 의해 예측해 보았다.

(가) 어획이 없을 때 (F=0)

그림 2-5-9는 어획이 없을 때의 통영 바다목장 생태계 내 생물군의 변동을 나타낸 것이다. 몇몇의 그룹을 제외하고 대부분의 어류 그룹은 1999년에 비해 생체량의 증가를 나타내었으며, 홍어, 수달과 같은 최고 포식자는 생체량의 큰 증가를 나타냈는데 이는 어획이 없음으로 인해 이들의 먹이가 되는 어류 그룹의 생체량이 1999년에 비해 증가하였기 때문이다(그림 2-5-8).

(나) 어획수준이 바다목장 조성 이전 수준일 때 (F=Fc)

그림 2-5-10을 보면, 대부분의 생물은 어획이 일어나기 전인 2005년 전까지는 증가하다가 이후 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 조피볼락 치어의 경우에는 생체량의 증감을 반복하지만 전체적인 경향에서는 생체량이 증가하는 것으로 나타났다 (그림 2-5-9).

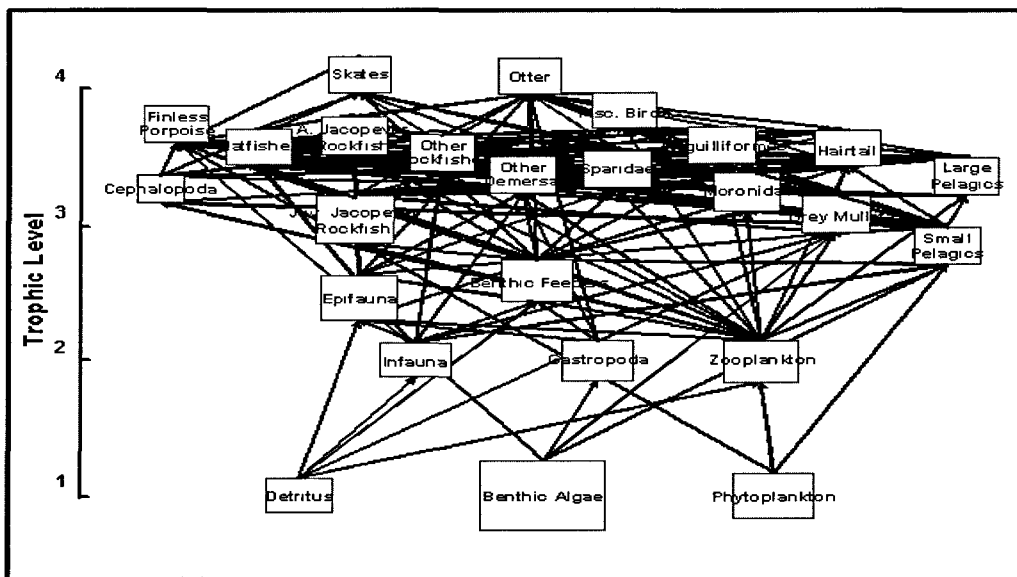


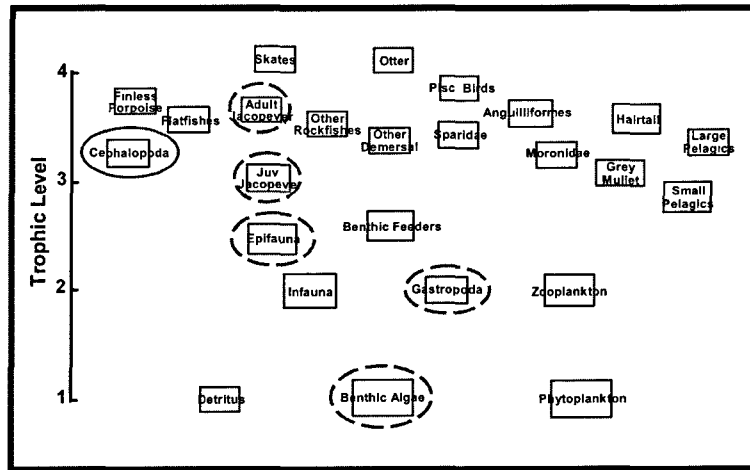
그림 2-5-6. 통영 생태계의 구조와 영양학적 상호작용을 나타내는 관계도.

(다) 어획수준이 두배로 증가했을 때 ($F=2F_c$)

그림 2-5-11을 보면, 대부분의 어류그룹의 생체량은 어획이 일어나기 전인 2005년 전까지는 큰 폭으로 증가하다가 이후 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 어획수준이 바다목장 조성 이전 수준일 때의 생물군의 변동과 유사하게 조피볼락 치어의 경우에는 생체량의 증감을 반복하지만 전체적인 경향에서는 생체량이 증가하고 조피볼락 성어의 경우에는 어획의 효과로 인해 생체량은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다 (그림 2-5-10).

생태계 환경수용력(ECC)은 어획이 없을 때 생태계가 수용할 수 있는 생물군별 자원수준으로 Ecosim 모델에서 어획수준(F)을 0으로 놓고 시뮬레이션하여 추정하였다. 표 2-5-6은 통영 바다목장해역의 주요 수산자원에 대한 환경수용력을 나타낸다.

(가) 바다목장조성 이전



(나) 바다목장조성 이후

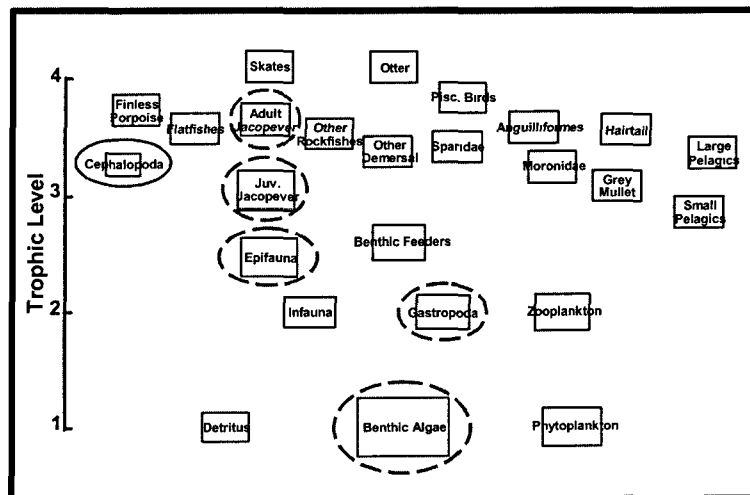


그림 2-5-7. 통영 해역의 바다목장 조성 이전과 이후의 생태계 구조 변화.

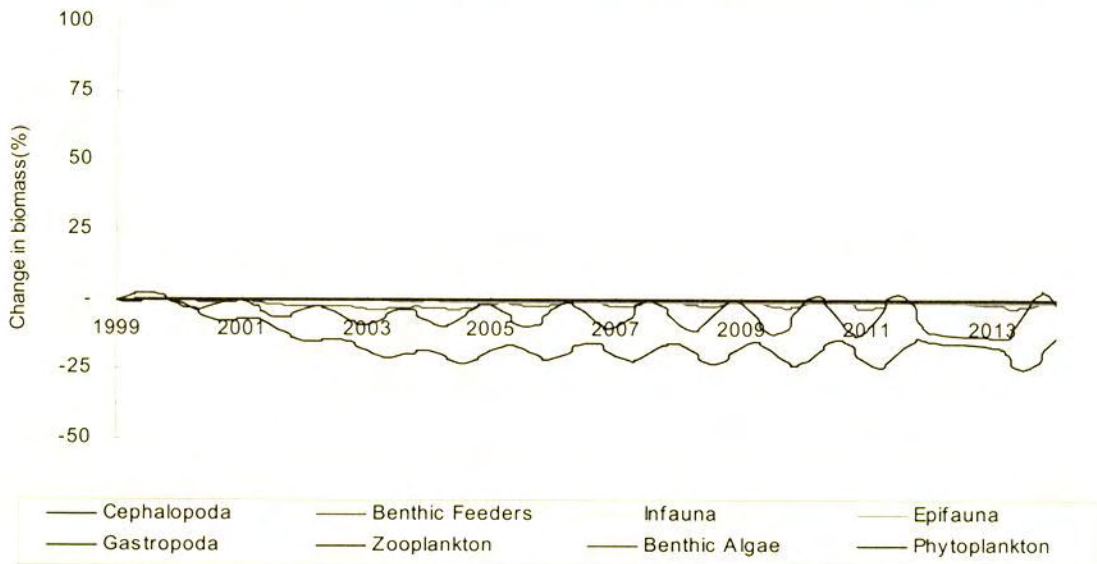
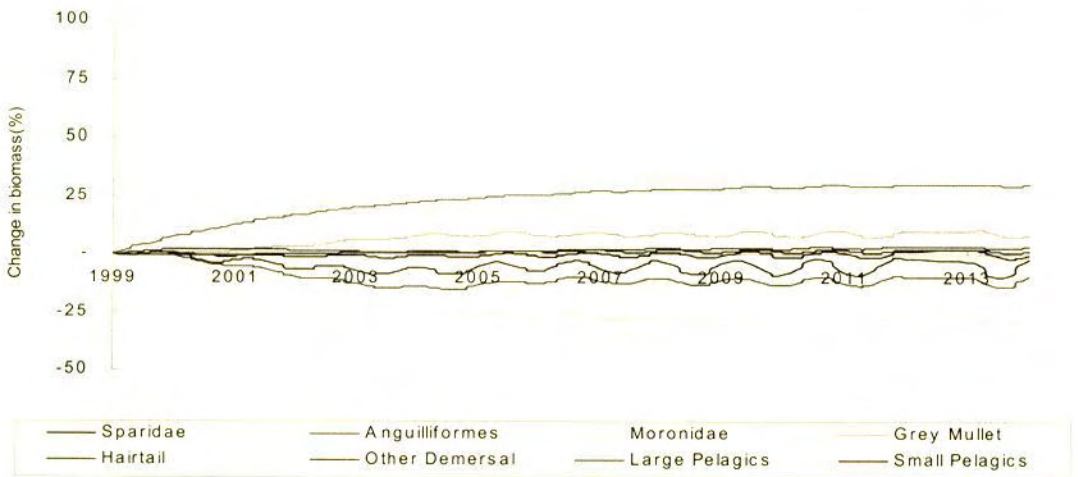
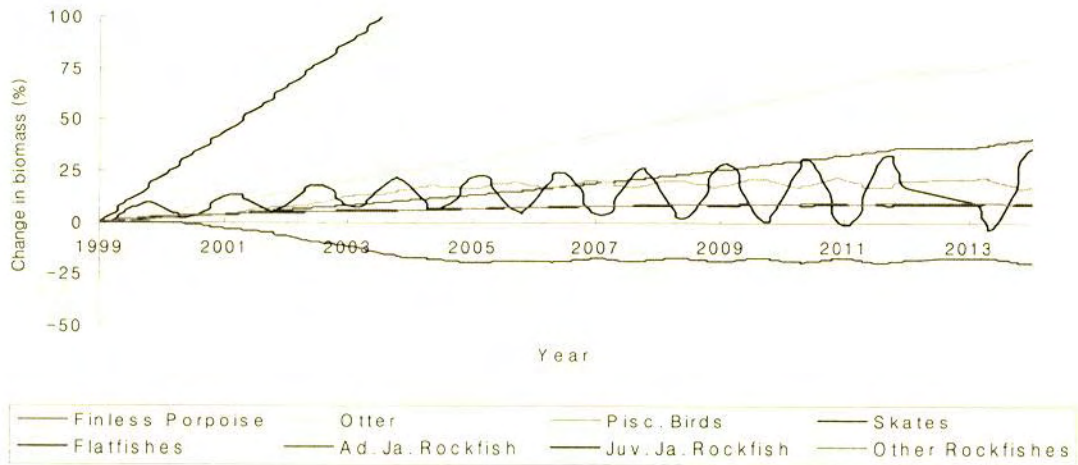


그림 2-5-8. 어획이 없을 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션.

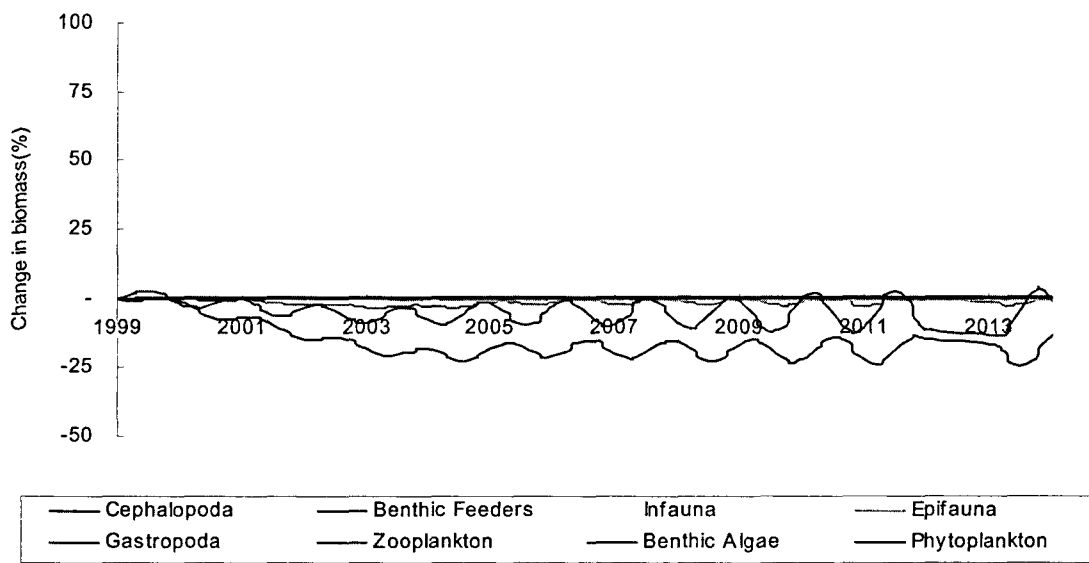
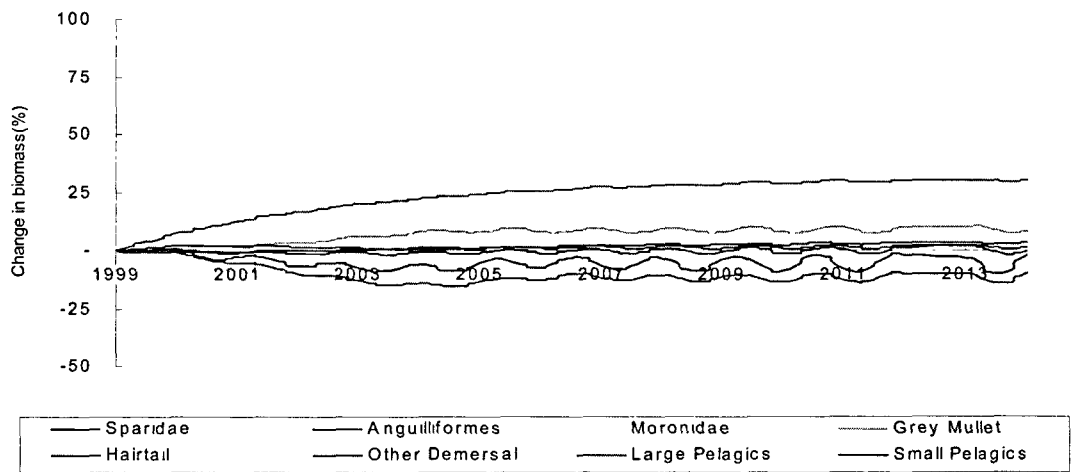
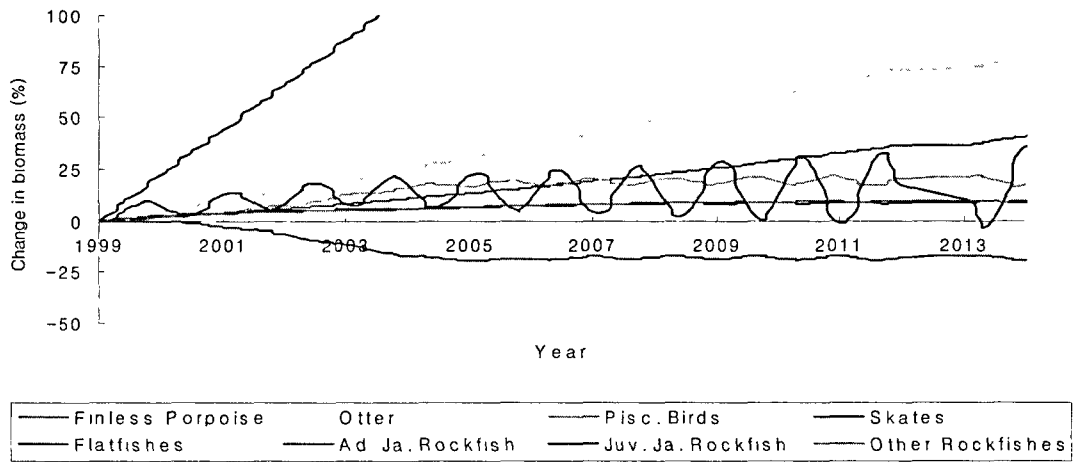


그림 2-5-8. 어획이 없을 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션.

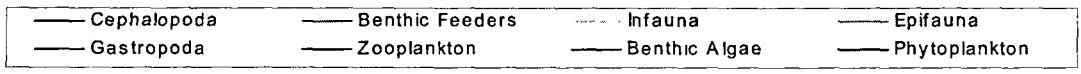
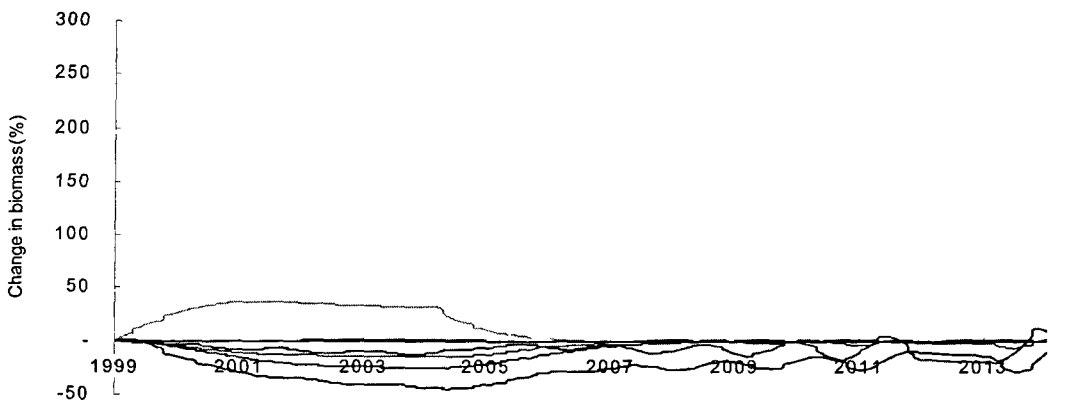
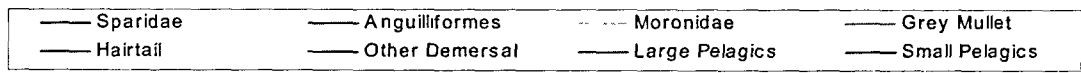
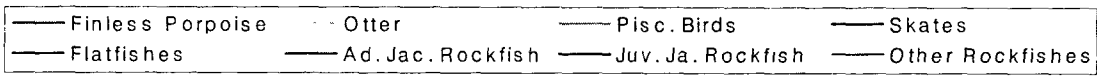
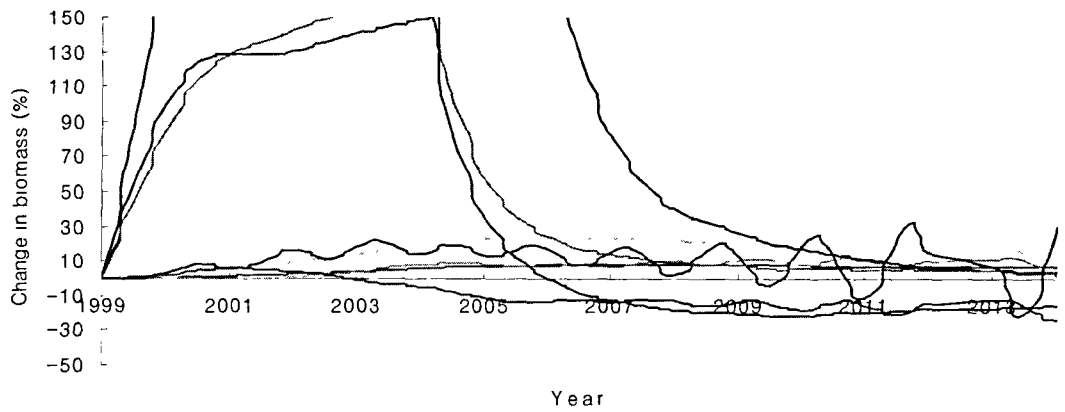


그림 2-5-9. 어획이 바다목장조성 이전 수준일 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션.

나. 자원조성 시스템

해양생태계 내에 자원을 조성하기 위해서는 대상종에 대한 환경수용량을 정확하게 추정하여 그 어업자원의 생산잠재력을 파악해야 한다. 이러한 생산잠재력의 파악에 의해서 대상종의 자원관리 목표량 및 관리수단 설정에 대한 기반을 확립할 수 있다. 그림 2-5-11는 수산자원조성에 관련되는 자원역학을 기초로 하여 개발된 시스템을 나타낸다. 즉, 대상해역의 자원대상종에 대한 생태학적 특성치 (성장계수, 사망계수, 가입연령, 연령별 성숙비)를 사용하여 Beverton and Holt 모델에 의해 단위면적당가입당치녀자원량 · 현재자원량 · 생산량 · 산란자원량을 계산하고, 가입량, 치어연령, 면적을 이용하여 적정자원조성마리수를 계산한다. 여기서 치녀자원량은 환경수용량 (carrying capacity)을 나타낸다. 따라서 계산된 단위면적당가입당현재자원량 · 생산량 · 산란자원량과 적정자원조성마리수를 이용하여 예상자원증가량 · 기대생산증가량 · 예상산란자원량을 추정함으로써 자원조성효과를 정량적으로 측정할 수 있다.

표 2-5-6. 통영 생태계 내 생물군별 환경수용량 추정치

그룹	환경수용량 (mt/km ²)
홍어	3.44
넙치 · 가자미류	2.63
조피볼락	62.50
기타볼락류	1.53
돔류	0.89
장어류	5.17
농어류	1.62
숭어	5.30
갈치	3.93
기타저서어류	5.99
대형부어류	3.97
소형부어류	5.68
두족류	2.72
저서섭식자	32.05
내생저서동물	97.32
표생저서동물	133.48
복족류	20.30
저서식물	60.25

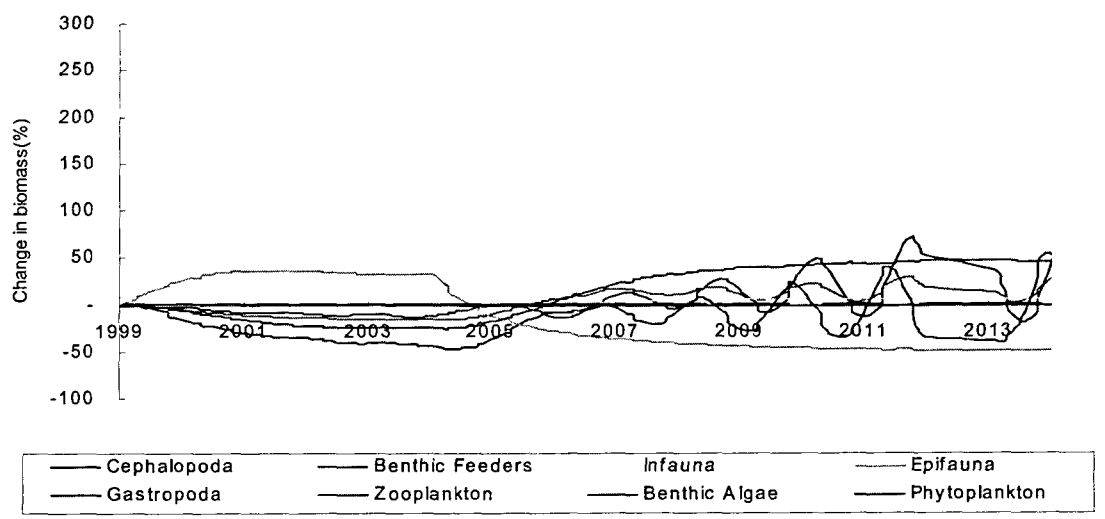
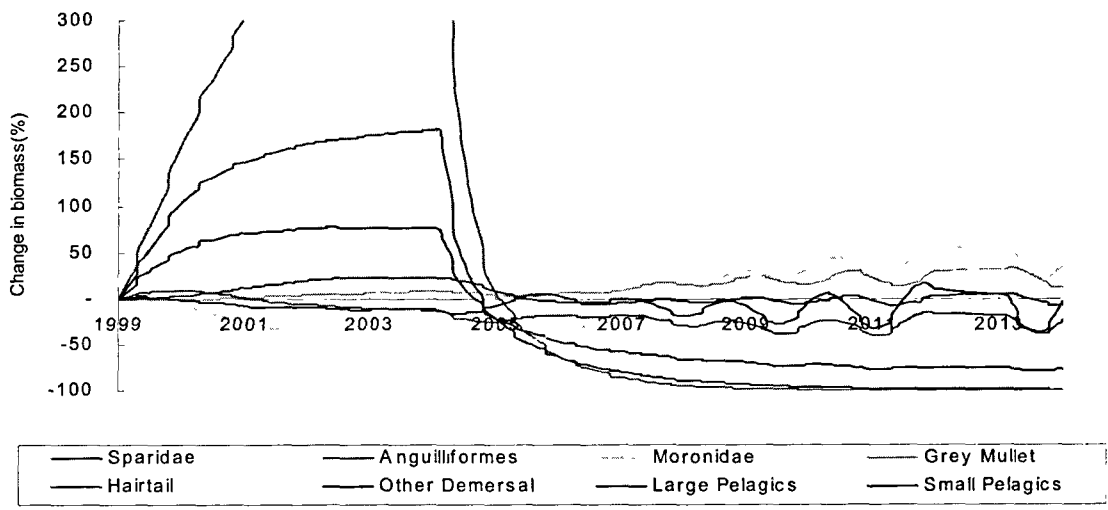
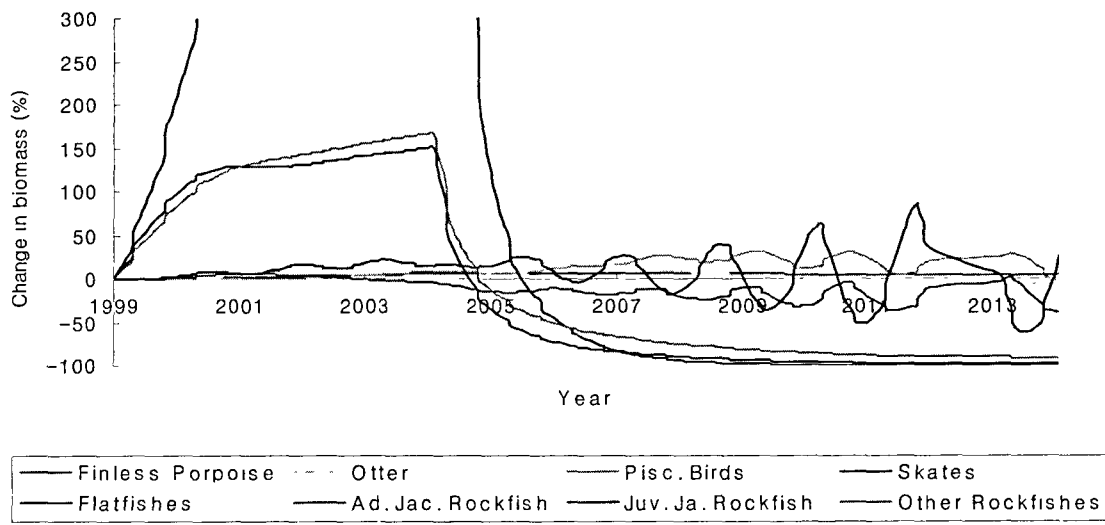


그림 2-5-10. 어획이 두배로 증가했을 때 통영 바다목장 내 생물군의 양적 변동을 나타내는 역학 시뮬레이션.

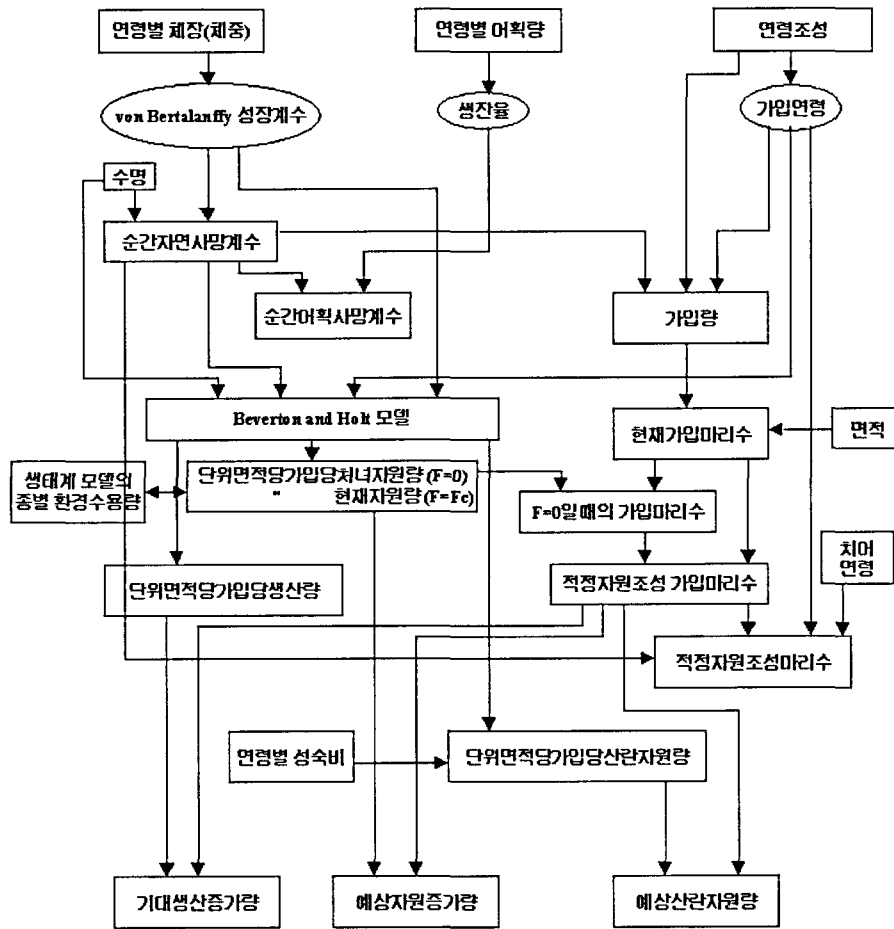


그림 2-5-11. 수산자원조성 시스템.

(1) 자원조성 모델

(가) 모델

수산자원의 조성목표량을 추정하기 위하여 Beverton and Holt(1957)의 가입당생산량 (Y/R) 이론을 사용한다.

$$\frac{Y}{R} = F W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{[U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \dots \dots \dots (5)$$

여기서, $U_0=1, U_1=3, U_2=3, U_3=-1$ 이며, W_{∞}, K, t_0 는 von Bertalanffy 성장식의 계수들이다. M 은 순간자연사망계수, t_c 는 가입연령, t_L 은 최고연령이고, R 은 가입량으로 t_c 까지 생산한 개체수이다.

생산량(Y)은 생체량(B)에 어획사망계수(F)를 곱한 값이므로, 식 (6)을 이용하여 단위면적당 가입당자원량을 추정할 수 있다.

$$\frac{B}{R} = W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{[U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \text{ ----- (6)}$$

여기서 어획이 없을 때(F=0)의 자원량은 단위면적당 가입당치녀자원량(VB/R)을, 현재의 F 수준(F=F_c)에서의 자원량은 단위면적당 가입당현재자원량(CB/R)을 나타낸다.

현재가입마리수(R_{F_c})는 식 (7)을 사용하여 추정가능하다.

$$R_{F_c} = R \times A \text{ ----- (7)}$$

여기서, R은 단위면적당 가입량(R)이고, A는 어장의 면적이다. 따라서, 자원조성 목표량인 적정자원조성가입마리수(SR_{opt})는 F=0일 때의 가입량에서 현재 F 수준(F_c)에서의 가입량을 제함으로써 추정할 수 있다. 즉,

$$SR_{opt} = R_{F=0} - R_{F_c} \text{ ----- (8)}$$

으로, 가입량은 자원량에 비례한다는 다음 가정에 의해 R_{F=0}를 구한다.

$$B_{F=0} : B_{F_c} = R_{F=0} : R_{F_c}$$

$$R_{F=0} = \frac{B_{F=0} \times R_{F_c}}{B_{F_c}} \text{ ----- (9)}$$

또한, 적정자원조성마리수(SN_{opt})는 개체군 성장식 N_{t+1} = N_t · e^{-Z(t+1-t)}를 이용하여, 이전 개체 수 N_t = N_{t+1} · e^{Z(t+1-t)}에 의해 구할 수 있다. 즉,

$$SN_{opt} = SR_{opt} e^{M(t_c - t_s)} \text{ ----- (10)}$$

으로, t_s는 치어연령을 나타내며, 여기서 어획사망계수(F)는 어획이 시작되는 연령(t_c)까지는 0으로 보고, 자연사망계수(M)만을 고려한다.

(나) 입력파라미터

개체군 모델의 입력파라미터 추정에 대한 자세한 방법은 한국해양연구원(2003)에 제시하였다.

(2) Leslie matrix에 의한 자원변동 예측

(가) 모델

Leslie matrix(Leslie, 1945)는 연령별 출생율(f_i)과 생존율(S_i)을 이용하여 개체군 성장을 추정하는 방법으로 식 (11)과 같다.

$$\begin{pmatrix} FN_{1,t+1} \\ FN_{2,t+1} \\ FN_{3,t+1} \\ \vdots \\ FN_{i,t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1S_0 & f_2S_0 & \cdots & f_{i-1}S_0 & f_iS_0 \\ S_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & S_{i-1} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} FN_{1,t} \\ FN_{2,t} \\ FN_{3,t} \\ \vdots \\ FN_{i,t} \end{pmatrix} \text{----- (11)}$$

여기서, $FN_{i,t}$ 는 t년도의 연령 i세인 암컷자원개체수이고, f_i 와 S_i 는 각각 i세의 출생율과 생존율이다.

자원조성을 위해서 자원조성목표량인 적정자원조성가입마리수(R_{opt})를 가입시키는 경우를 고려하면, Leslie matrix는 식 (12)와 같이 쓸 수 있다.

$$N_{t+1} = MN_t + R_t \text{----- (12)}$$

여기서, R_t 는 가입량으로 적정자원조성가입마리수(SR_{opt})이다.

연도별 자원량을 예측하기 위해, 먼저 암수를 합한 연령별 자원개체수($N_{i,t}$)는 식 (11)에 의해서 추정된 연령별 암컷자원개체수($FN_{i,t}$)에 암수의 성비(ρ)를 이용하여 식 (13)으로 구한다.

$$N_{i,t} = FN_{i,t}/\rho \text{----- (13)}$$

따라서, 연도별 연령별 자원량($B_{i,t}$)은 식 (13)에서 계산된 자원개체수에 연령별 평균체중(W_i)을 곱하여 식 (14)와 (15)에 의해 추정한다.

$$B_{i,t} = N_{i,t} \times W_i \text{----- (14)}$$

$$B_t = \sum_{i=1}^x B_{i,t} \text{----- (15)}$$

여기서, x 은 최고연령이다.

어획량(C_t)은 추정된 자원량(B_t)과 어획사망계수(F) 및 자연사망계수(M)를 사용하여 Baranov의 어획방정식(Baranov, 1918)에 의해 식 (16)으로 구한다.

$$C_t = B_t \cdot \frac{F}{F+M} (1 - e^{-(F+M)}) \text{ ----- (16)}$$

(나) 입력파라미터

① 연령별 암컷자원개체수(FNi)

현재 자원개체수(N) 추정에 있어서, 먼저 우점연령군의 밀도(N_b)와 어장면적(A)을 이용하여 우점연령군의 개체수(BN)를 식 (17)로 추정한다.

$$BN = N_b \times A \text{ ----- (17)}$$

여기서 추정된 우점연령군의 개체수에 우점연령군의 조성비를 사용하여 총자원개체수(N)를 구하며, 또한 각 연령조성비를 사용하여 연령별 어획대상 자원개체수(N_i)를 추정한다.

$$N = BN \times \frac{1}{\text{우점연령군의 조성비}} \text{ ----- (18)}$$

$$N_i = N \times i\text{세의 조성비} \text{ ----- (19)}$$

Leslie matrix는 암컷만을 고려하므로, 암수의 성비(ρ)를 이용하여 식 (20)으로 어획대상 암컷자원개체수(FN_i)를 구한다.

$$FN_i = N_i \times \rho \text{ ----- (20)}$$

② 연령별 출생율(f_i) 추정

연령별 출생율(f_i)을 추정하기 위해서는 산란된 난의 성비, 성숙된 암컷당 낳는 포란수(F_c), 그리고 암컷의 연령별 성숙비(m_i) 자료가 필요하다. 즉, 추정식은 식 (21)과 같다(Quinn, 1981).

$$f_i = 0.5 \cdot F_c \cdot m_i \text{ ----- (21)}$$

③ 연령별 생산율(S_i) 추정

연령별 생산율(S_i)은 연령별 순간어획사망계수(F_i)와 순간자연사망계수(M)와의 관계 $S_i = e^{-(F_i+M)}$ 를 사용해서 구한다.

그러나, 어류 개체군의 첫 해(年) 생산율, 즉 알에서 부화되어 자어기와 치어기를 거치면서 1세가 될 때까지의 초기생산율(S₀)은 추정하기가 상당히 어렵다. 이 경우 개체군의 고유치(λ)를 이용하여 초기생산율을 추정할 수 있다. 초기생산율(S₀) 추정식(Vaughan and Saila, 1976)은 식 (22)와 같고,

$$S_0 = \left(\sum_{i=1}^x f_i L_i \lambda^{-i} \right)^{-1} \text{-----} (22)$$

여기서, i는 연령, x는 최고연령, f_i는 연령별 출생율, λ는 고유치, L_i는 1세에서 i세까지 살아남을 생산율로 $L_i = \prod_{j=1}^{i-1} S_j$ 이며, L₁은 1이다.

(3) 적용예

(가) 입력파라미터

통영 바다목장의 주요 대상어종에 대한 개체군 분석을 위해 조피볼락의 자원생태학적 연구(한국해양연구원, 2003)에 의한 von Bertalanffy 성장파라미터(이론적 최대체중(W_∞), 성장계수(K), 체장이 0일 때의 이론적 연령(t₀)), 순간자연사망계수(M), 순간어획사망계수(F), 가입연령(t_c), 그리고 최대연령(t_L) 자료가 사용되었다. 여기서, 순간자연사망계수 (M)은 Zhang and Megrey (in press) 방법을 사용하여 추정하였다. Zhang and Megrey (in press) 방법은 Alverson and Carney (1975) 방법을 개선한 방법인데 식 (23)과 같다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb}-t_0)} - 1} \text{-----} (23)$$

여기서, $t_{mb} = C_i \times t_{max}$ 이고 C_i는 계수 (저어류의 경우에는 0.44), t_{max}는 관측되어진 최대연령, K는 von Bertalanffy 성장계수, β는 체장-전중관계식으로부터 추정되었다.

(나) 수산자원조성 목표량 및 환경수용량

통영 바다목장해역에 대한 조피볼락의 자원조성 목표량을 추정하기 위한 Beverton and Holt 모델에서 이론적 최대체중(W_∞)은 1,534.04 g, 성장계수(K)는 0.3177/yr, 체장이

0일 때의 이론적 연령(t_0)은 -0.0393세, 순간자연사망계수(M)는 0.2973/yr, 순간어획사망계수(F)는 0.1609/yr, 가입연령(t_c)은 0.9338세, 최대연령(t_L)은 7세가 각각 사용되었다(한국해양연구원, 2003). 따라서, 단위면적당 가입당치녀자원량(VB/R)은 1,113.05 g이었고, 단위면적당 가입당현재자원량(CB/R)은 850.82 g으로 나타났다.

현재가입마리수(R_{F_c})는 단위면적당 가입량(R) 0.0599 inds./m²/yr와 어장면적(A) 20 km²를 사용하여 추정된 결과, 1,198,640 inds./yr이었다.

또한, 추정된 $F=0$ 일 때의 가입량($R_{F=0}$) 1,568,064 inds./yr을 이용하여 식 (8)로 구한 자원조성 목표량인 적정자원조성가입마리수(SR_{opt})는 369,424.3 inds./yr이었다. 따라서, SR_{opt} 추정치와 치어연령(t_s) 0.5794세에 의해 적정자원조성마리수(SN_{opt})는 410,740 inds./yr가 된다.

그리고 단위면적당 가입당치녀자원량 (VB/R) 1,113.05 g과 $F=0$ 일 때의 가입량($R_{F=0}$) 1,568,064 inds./yr을 사용하여 조피볼락의 환경수용량은 단위면적당 87.3 mt/km²으로 추정되었다.

다. 자원관리 시스템

통영 바다목장사업에 의해 육성된 수산생물자원을 효율적으로 이용·관리하여 자원량을 높은 수준에서 유지시키면서 지속적인 어업생산성을 도모하기 위해서 자원평가 방법론들을 분석하여 자원관리 모델이 개발되었다. 즉, 자원을 효율적으로 관리하기 위해서는 총허용어획량(TAC) 시스템에 의한 관리체계가 도입되어야 한다(그림 2-5-12). TAC를 결정하기 위해서는 먼저 자연과학적인 방법에 의해 생물학적 허용어획량(ABC)을 추정해야 한다. 따라서 적정관리목표인 생물학적 기준점과 생태계 구조 및 기능을 고려한 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델을 개발하였고 이에 따라 통영 바다목장 대상종인 조피볼락의 생물학적 허용어획량을 추정하였다.

(1) 자원관리 모델

주요 수산자원에 대한 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델은 저어자원과 부어자원에 대해 이용가능한 정보수준에 따라서 5단계로 나누어 개발하였다. 즉, 가장 정보가 많은 1단계 수준부터 단지 어획량 정보만을 사용하는 5단계 수준이 그것이다.

표 2-5-7은 수산자원에 대한 각 정보단계별 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델을 나타낸다. 이 가운데 1~3단계에서의 ABC는 자원상태에 따라 F_{ABC} 를 결정하여 저어자원의 경우는 식 (23)을 사용하여 추정하고,

$$ABC = \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \dots \dots \dots (23)$$

부어자원의 경우는 식 (24)를 사용하여 추정한다.

$$ABC = ABC_r + \sum_{i=r+1}^{t_\lambda} \frac{B_i F_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \dots \dots \dots (24)$$

여기서, B_i 는 i 세 초 어획대상 자원량, M 은 순간자연사망계수, F_{ABC} 는 정보수준과 자원 상태에 따라 결정되는 순간어획사망계수, r 은 가입연령이며, t_λ 는 최고 어획대상연령이다.

또한 ABC_r 은 산란자원량(SB) 및 환경인자(E_j)와의 관계를 고려해서 구한 평형가입량 (\bar{R})을 가입연령에 대한 자원량으로 간주하여 식 (25)를 사용하여 추정한다.

$$ABC_r = \frac{\bar{R} F_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}), \quad \bar{R} = f(SB, E_j) \dots \dots \dots (25)$$

이용가능한 정보수준이 4~5단계일 때 ABC는 각 단계별 자원상태를 판단하여 적절한 형태(MSY, Y_{AM})를 사용하여 구한다.

단계별 필요정보의 경우, 1~2 단계에서 저어자원의 $F_{X\%}$ 와 $B_{X\%}$ 는 처녀산란자원량의 40%를 유지시키기 위한 순간어획사망계수($F_{40\%}$)와 이 수준에서의 자원량($B_{40\%}$) 자료를 사용한다. 그러나 부어자원은 해양환경에 크게 영향을 받으므로 ABC 추정에 환경인자를 고려하고, $F_{X\%}$ 와 $B_{X\%}$ 는 처녀산란자원량의 35%를 유지시키기 위한 순간어획사망계수 ($F_{35\%}$)와 이 수준에서의 자원량 ($B_{35\%}$) 자료를 사용한다. 그리고 5단계에서는 단지 대상어종의 연도별 어획량 정보만을 이용하는데, 여기서 어획량 산출평균치를 구하는 적정기간의 기준으로는 ① 해당어종의 어획가입연령 이후부터 어획최고연령까지의 년수(어획대상 연급군수에 해당하는 년수)보다 긴 기간, ② 어획량에 큰 변화가 없었던 기간, ③ 어획노력량에 큰 변화가 없었던 기간, ④ 어획관리방법(할당량 등)에 큰 변화가 없었던 기간 등이다.

(2) 적용예

통영 바다목장 대상종인 조피볼락의 생물학적 허용어획량 (ABC)은 자원조성모델에서 추정된 조피볼락의 현재 자원량 1,020 mt (51.0 mt/km^2)과 Zhang and Megrey 방법에 추정된 순간자연사망계수 0.2973/yr과 여러 가지 목표기준점 (target reference point)을 사용하여 추정하였다. 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수인 $F_{0.1}$ 은 0.2630/yr, 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 ($F=0$)의 산란자원량을 기준으로 하여, 그 산란자원량의 35%, 40%의 자원량을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수인 $F_{35\%}$ 와 $F_{40\%}$ 는 각각 0.4650/yr, 0.4020/yr로 추정되었다. 따라서 $F_{0.1}$ 일 때의 ABC는 205 mt, $F_{35\%}$ 일 때의 ABC는 332 mt, $F_{40\%}$ 일 때의 ABC는 295 mt으로 추정되었다.

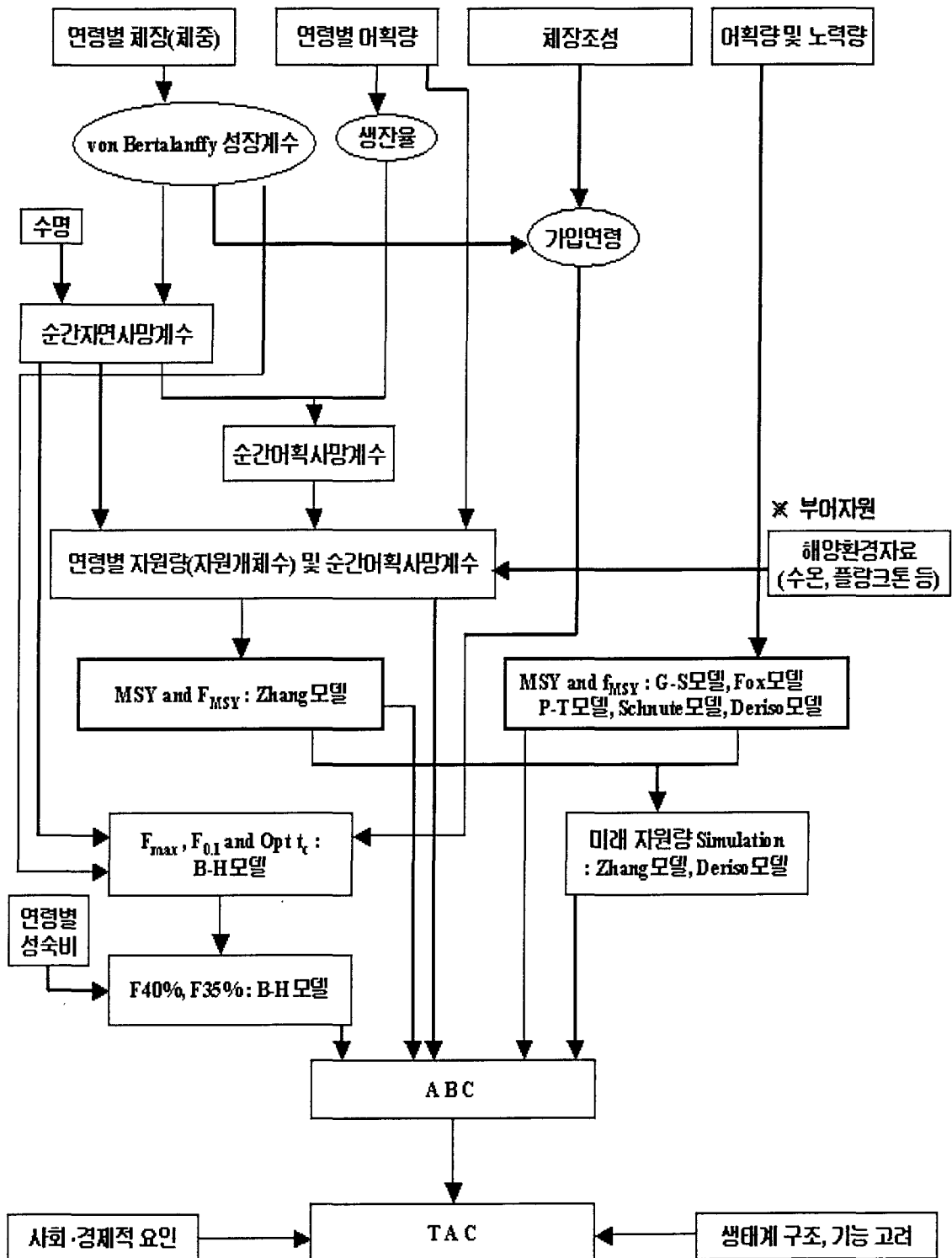


그림 2-5-12. TAC 추정 시스템.

표 2-5-7. 통영 생태계의 생물학적 허용어획량 (ABC) 추정방법

Tier 1 Information available : Reliable estimates of annual B and F, B_{MSY} , F_{MSY} , $F_{X\%}$, M, and environmental factor*

1a) Stock status : $B/B_{MSY} > 1$

$$F_{ABC} \leq \text{lower value out of either } F_{MSY} \text{ or } F_{X\%}$$

1b) Stock status : $\alpha < B/B_{MSY} \leq 1$

$$F_{ABC} \leq \text{lower value out of either } F_{MSY} \times (B/B_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha) \text{ or } F_{X\%}$$

1c) Stock status : $B/B_{MSY} \leq \alpha$: $F_{ABC} = 0$

Tier 2 Information available : current B at age, $B_{X\%}$, $F_{X\%}$, M, environmental factor*

2a) Stock status : $B/B_{X\%} > 1$

$$F_{ABC} \leq F_{X\%}$$

2b) Stock status : $\alpha < B/B_{X\%} \leq 1$

$$F_{ABC} \leq F_{X\%} \times (B/B_{X\%} - \alpha)/(1 - \alpha)$$

2c) Stock status : $B/B_{X\%} \leq \alpha$: $F_{ABC} = 0$

Tier 3 Information available : current B at age, $F_{0.1}$, M, environmental factor*

$$F_{ABC} \leq F_{0.1}$$

Tier 4 Information available : Time-series catch (Y) and effort (or CPUE) data

4a) Stock status : $CPUE/CPUE_{MSY} > 1$

$$ABC \leq MSY$$

4b) Stock status : $\alpha < CPUE/CPUE_{MSY} \leq 1$

$$ABC \leq MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$$

4b) Stock status : $CPUE/CPUE_{MSY} \leq \alpha$: $ABC = 0$

Tier 5 Information available : Reliable catch history Y

$$ABC \leq 0.75 \times Y_{AM} \text{ (average catch over an appropriate time period)}$$

* data used for pelagic stocks

1) Equation used to determine ABC in tiers 1 ~ 3 :

$$\text{- Demersal stock : } ABC = \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})})$$

$$\text{- Pelagic stock : } ABC = ABC_r + \sum_{i=r+1}^{t_a} \frac{B_i F_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}),$$

$$ABC_r = \frac{\bar{R} F_r}{M + F_r} (1 - e^{-(M + F_r)}), \quad \bar{R} = f(SB, E_r)$$

where, B_i : biomass at age i, M : instantaneous coefficient of natural mortality,

F_{ABC} and F_r : instantaneous coefficients of fishing mortality determined by the data available and the stock status

r : age at recruitment, t_a : maximum fishing age

2) Without data of environmental factor in tiers 1 ~ 3, the equation for demersal stocks would be applied to determine ABC

3) In tiers 1, 2, and 4, $\alpha = 0.05$

본 연구에서는 생태계 기반 자원관리 시스템, 자원조성 시스템, 자원관리 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 생태계 기반 자원관리 시스템에서는 자가구성법(self-organizing mapping, SOM)을 적용하여 이전 연구에서 수행한 생물군 그룹핑의 적합성을 과학적인 근거에서 검증하였고, 생태계 구조 모델을 사용하여 바다목장조성 이전과 이후의 통영 생태계의 구조를 파악하였으며 생태계 역학 모델을 사용하여 생태계 내 생물군의 양적 변동을 규명하고 환경수용량을 추정하였다. 생태계 모델에 의한 조피볼락의 환경수용량은 62.5 mt/km^2 로 추정되었다. 자원조성 시스템에서는 개체군 분석 모델을 사용하여 대상어종의 자원조성 목표량 및 환경수용량을 추정하였다. 개체군 분석 모델에 의한 조피볼락의 적정자원조성마리수는 $410,470 \text{ inds./yr}$ 으로 추정되었고, 환경수용량은 87.3 mt/km^2 로 추정되었다. 따라서, 생태계 모델과 개체군 모델에 의한 결과, 조피볼락의 환경수용량은 $62.5 \sim 87.3 \text{ mt/km}^2$ 인 것으로 나타났다. 향후 연구에서는 생태계 수산자원관리 종합방안을 제시하기 위해서 대상종/그룹 관리 파라미터의 추정 및 적용을 실시하고, 모델에서 추정된 추정치를 자원관리 기준점으로 활용할 예정이다.

제 6 절 관측자료 표준화 및 DB구축

1. 서 론

지리정보 시스템(GIS: Geographic Information Sysyem)이란 컴퓨터를 이용하여 지리 공간 정보를 입력, 저장, 변환, 분석, 표시하는 기능을 지칭한다. GIS는 과거의 종이 지도 상에서 평면적인 수온, 염분, 생물량, 섬, 강, 호수, 산, 공장의 입지 등 공간 정보를 표시하는 기능뿐만 아니라, 공간 자료를 분석하여 새로운 정보를 창출하는 기능을 포괄하고 있다. GIS는 주로 지표상의 인문사회 현상이나(인구, 경제, 정치, 문화, 토지이용 등), 자연환경 현상(수온, 염분, 영양염류, 기후, 수문, 지형, 토양, 생물 등)을 분석 및 표시하는데 이용되어 왔다. 최근에는 인공위상이나 해양관측 자료를 통해 해양관련 정보가 늘어나면서 해양지리정보의 연구가 활발해지고 있다.

본 연구에서는 크게 세 가지가 수행되었다. 첫째 지난 7년간(1998~2004)동안 지속되어 온 연구결과 중 바다생물에 가장 중요한 환경요인에 관한 자료를 종합하고 재정리하여 표준화하였다. 둘째 환경자료에 대한 이해도를 높일 수 있도록 연구정보를 데이터베이스화하였다. DB구축은 환경자료를 정리한 종합 매트릭스를 이용하여 그래프 및 GIS 분석 주제도를 구축하여 조사 월별/계절별 패턴을 분석하였다. 셋째 바다목장 종합매뉴얼 작성을 위한 평가체제구축이다. 이 작업은 “자원조성분야”의 매뉴얼 작성과 연관된 것으로 일종의 콘텐츠 데이터로 구분된다. 그러나 제한된 사업기간 중 “자원조성분야”의 매뉴얼 작성과 연동되어 사업내용을 완수하기 어려웠기 때문에 부족한 사항은 2006년도 사업을 통하여 보완키로 하였다. 그 대신 지금까지 통영바다목장사업과 관련된 모든 콘텐츠 자료를 종합하여 통영바다목장의 웹사이트에 보완·삽입함으로써 연구 성과를 최대한으로 표현하고, 자료가 공유·활용될 수 있도록 구현하였다.

2. 재료 및 방법

통영바다목장 연구해역 및 주변 지역의 GIS 공간정보 구축을 위하여 수치해도, 인공 위성영상(IKONOS, Landsat) 자료를 수집하고, 위성영상의 좌표보정을 위하여 GCP(Ground Control Positioning) 보정작업을 수행하여 BaseMap을 구축하였다. Vector 기반의 데이터는 ESRI사의 ArcGIS를 이용하여 편집 및 구축하였으며, 위성영상은 ERDAS사의 Imagine을 이용하였다. 또한 정점데이터의 속성입력은 7년(1998~2004)동안 지속되어 온 연구결과 데이터를 바탕으로 조사항목 중 바다생물에 가장 중요한 환경요인인 해양물리환경 조사자료를 종합하고 재정리하여 DB화하여 좌표를 이용하여 ArcGIS에서 좌표를 띄운 후 DB화한 조사결과 데이터를 입력하는 방식으로 구축하였다. 이렇게 구축한 GIS 데이터 및 본 연구결과 정보를 웹사이트를 통하여 서비스 하며 홍보에 이용하였다. 그리고 부

가정보로 통영바다목장 전경꺾러리, 어초꺾러리, 수중 촬영동영상 서비스를 이용하여 일반인들이 쉽게 접근 할 수 있도록 구성하였다.

표 2-6-1. GIS DB 구축을 위한 재료 및 용도

	재료	용도	S/W
Voctor	조사정점 수치해도	조사결과 표현 시 공간정보 해안선, 해저지형	ArcGIS 8.X
Text	해양생태자료 (조사결과데이터)	분석작업 수행 시 RawData	ERDAS 8.X
Raster	IKONOS Landsat	통영바다목장 연구해역 BaseMap	MS ACCESS

3. 결과 및 토의

가. 컨텐츠 데이터 구축

본 사업에서 표출된 컨텐츠는 1998년부터 2004년까지 7년 동안 지속적으로 연구되어 온 통영바다목장 조성사업의 주요 기술을 정리하고, 구축된 연구조사 데이터를 종합, 재 정리한 것이다. 분석된 데이터는 향후 신규 바다목장 조성 시 지침역할을 할 수 있는 데이터로 활용될 것이며 본 사업에서는 그간 연구성과 중 바다생물에 가장 중요한 환경요인인 해양물리환경의 조사자료를 종합하고 정리하여 월별, 계절별 해양환경의 변화 패턴 분석 데이터를 사용하였다.

(1) 월별 해양환경 변화 패턴

1999년부터 2004년까지 연구조사되어 구축된 데이터를 종합하여 각 항목별 월별 해양 환경 변화를 분석한 예시는 아래와 같다.

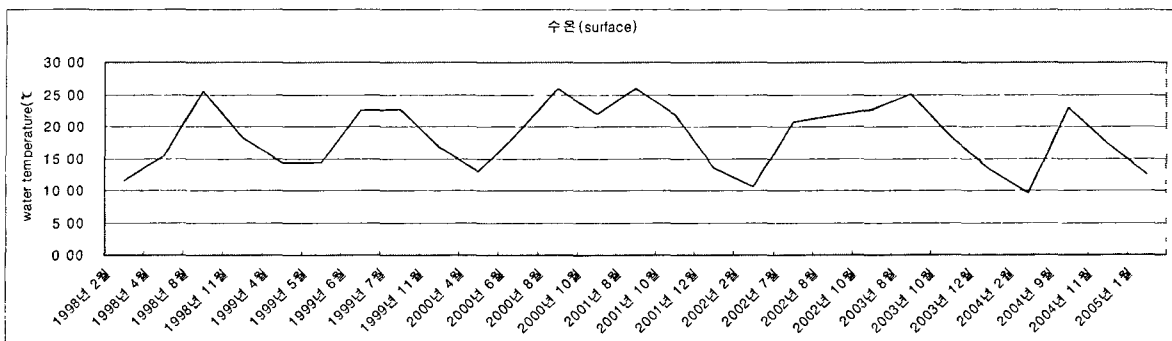


그림 2-6-1. 월별 해양환경 변화 - 수온(Surface).

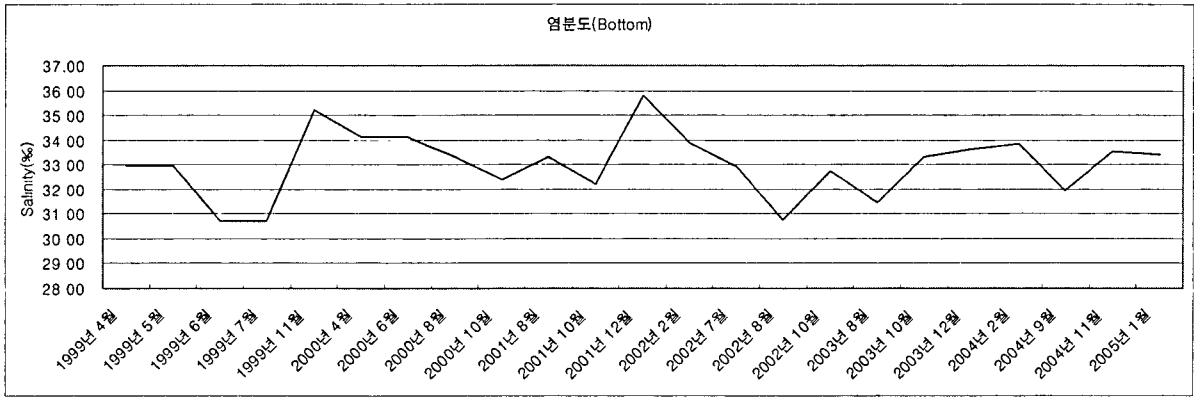


그림 2-6-2. 월별 해양환경 변화 - 염분도(Bottom).

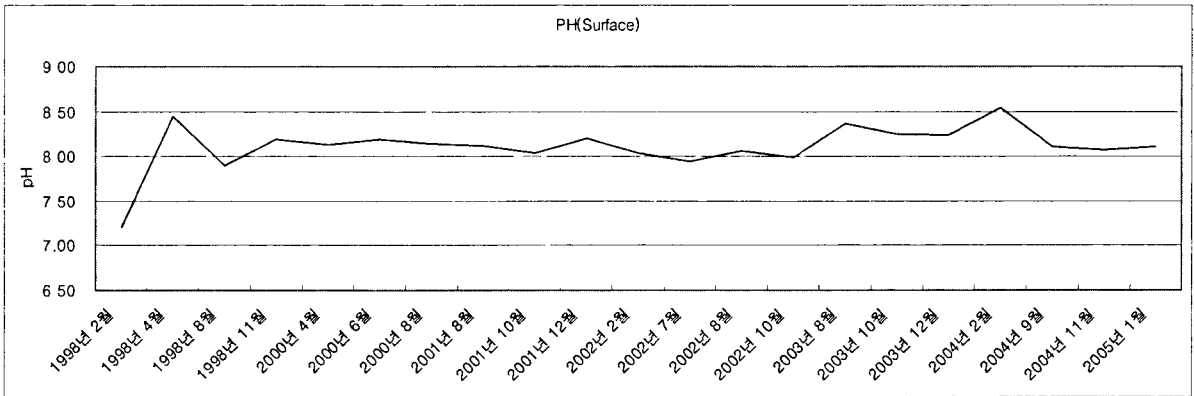


그림 2-6-3. 월별 해양환경 변화 - pH(Surface).

(2) 계절별 해양환경 변화 패턴

정점별 조사된 데이터의 날짜를 3·4·5월 봄, 6·7·8월 여름, 9·10·11월 가을, 12월·1월·2월 겨울로 분류하고 각 항목별 데이터 평균값을 이용해 계절별 해양환경 변화 패턴을 분석하였다. 각 항목별 계절별 해양환경 변화를 분석한 예시는 아래와 같다.

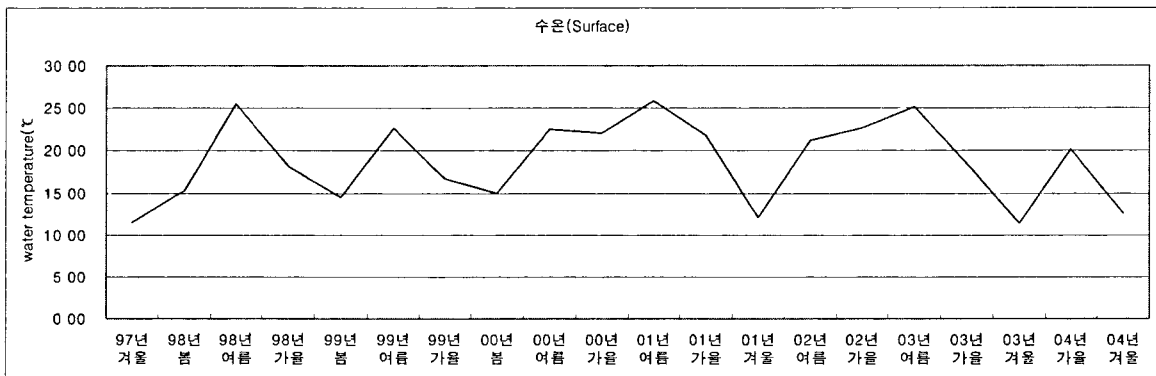


그림 2-6-4. 계절별 해양환경 변화 - 수온(Surface).

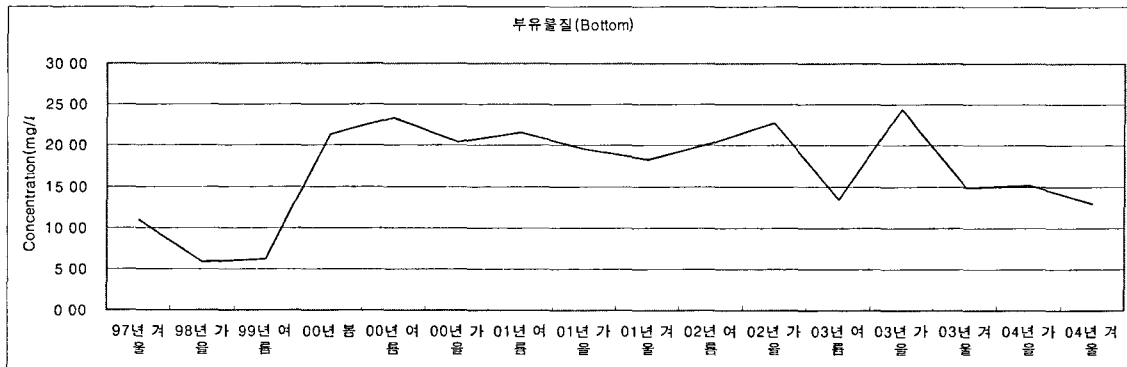


그림 2-6-5. 계절별 해양환경 변화 - 부유물질(Bottom).

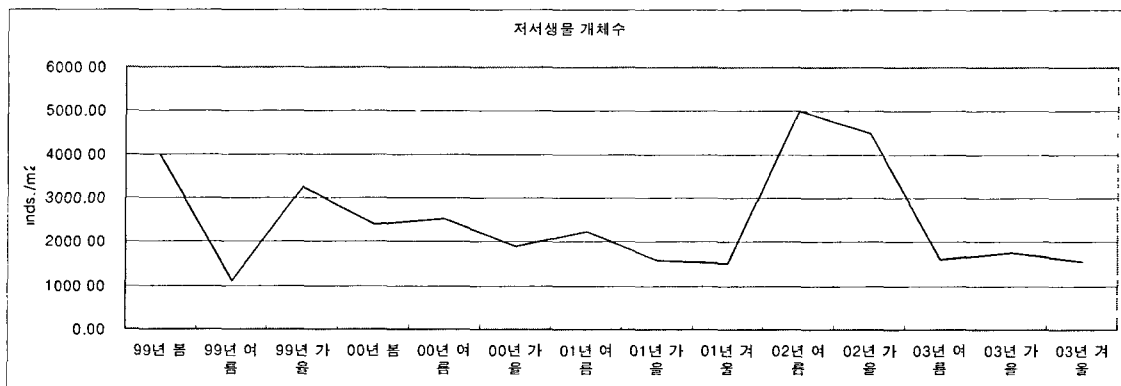


그림 2-6-6. 계절별 해양환경 변화 - 저서생물 개체수.

나. GIS 공간데이터 구축

위성영상 자료는 대개 인공위성이나 항공기에 탑재된 주사시스템(scanner)에 의하여 획득되기 때문에, 탑재체의 궤도 특성, 고도 및 자세 변화, 속도변화 등에 의하여 기하학적인 왜곡이 포함되게 된다.

원격탐사 영상 자료에 포함된 비계통적 기하학적 왜곡을 보정하는 방법으로서 지상기준점(GCP, ground control point)을 이용한 기하보정 기법이 있다. 지상기준점이란 영상에서 그 위치를 확실하게 식별할 수 있는 지점들로서 해당 위치의 지리 좌표값을 확보할 수 있는 지점들을 말한다.

지상기준점을 이용한 기하보정 품질을 결정짓는 가장 중요한 요소는 지상기준점의 정확도이다. 따라서 지상기준점의 선정에 매우 세심한 주의가 요구되며, 가능한 지상기준점이 전체 영상에 공간적으로 고르게 분포하도록 선정하는 것이 좋다. 또한 지상기준점을 이용한 기하보정은 평면 변환식에 기초하므로, 지표의 고도 차이에 기인하는 평면위치 변위의 영향을 최소화하기 위해서는 지상기준점간의 표고 차이가 가능한 한 작게 되도록 지상기준점을 선정하는 것이 좋다. 영상 기하보정 처리 절차는 다음과 같다.

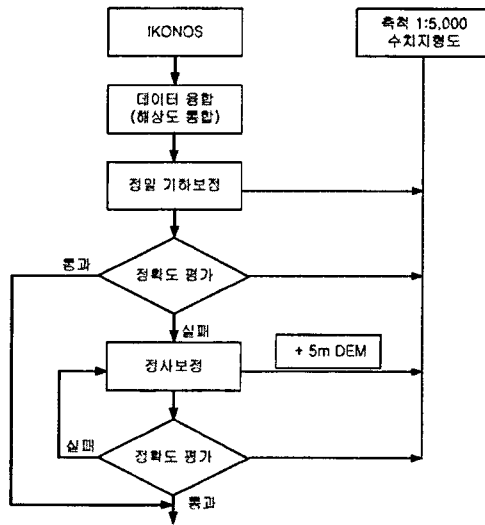


그림 2-6-7. 위성영상데이터의 보정절차.

본 연구에서 사용한 위성영상은 IKONOS와 Landsat 7 영상이다. 위성데이터의 보정 작업 외의 여러 작업들이 수반될 수 있는데 본 연구에서는 색상보정 및 IKONOS영상과 Landsat영상의 머지 작업 또한 수행하였다. 위성영상 작업 후 결과 화면은 다음과 같다.

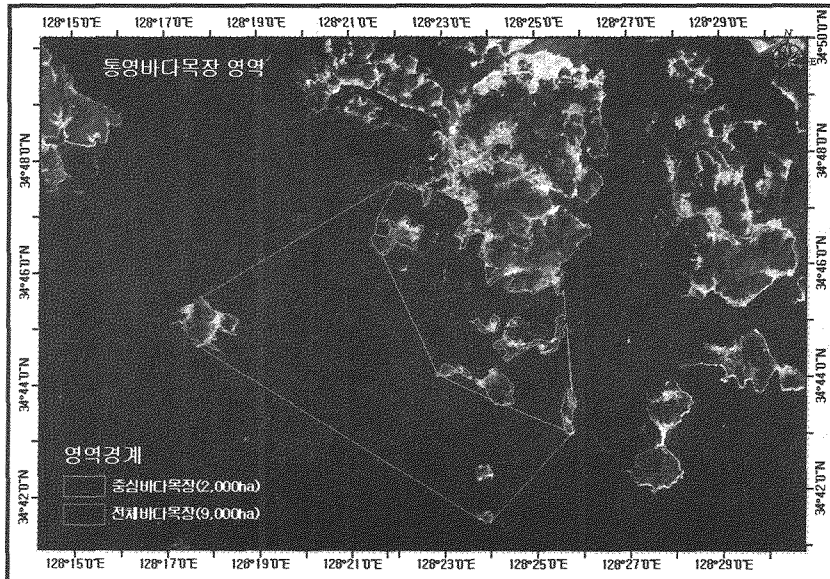


그림 2-6-8. 위성영상 작업 후 결과화면.

연구해역의 해양환경생태 GIS DB구축과 활용을 위한 기반작업으로 GIS 공간정보를 구축하였다. 국립해양조사원의 수치해도(도엽 224B-1:75,000)를 이용하여 통영바다목장 연구해역의 해안선, 수심, 육상영역 등을 추출하여 TIN을 제작하여 2, 3차원의 해저지형 기본도를 구축하였다.

3차원 해저지형을 구축하는 과정은 그림2-6-9과 같다. 또한 본 과정을 거쳐 생성된 3차원 해저지형 구조는 그림 2-6-10와 같다. 본 그림은 남쪽에서 바라보는 통영바다목장 영역에 대한 모습이다.

조사정점 데이터 작업은 7년간 보고서에 수록되어있는 각 데이터를 바탕으로 표기되어있는 좌표의 위치에 포인트를 생성하고 7년간 데이터를 월별/계절별로 정리한 종합 매트릭스를 생성한 후 각 계절별 데이터를 이용하여 각각의 포인트에 대해서 조사결과를 입력하는 작업을 했다. 이때 ArcGIS를 이용하여 조사정점 포인트를 생성하고 MS Access를 이용하여 MDB로 조사결과데이터를 입력한 파일을 ArcGIS에서 Import하여 조인하는 방법을 사용하였다. 이런 방법으로 공간데이터인 SHP파일을 생성하여 본 연구결과를 도출하는데 사용하였으며, 7년간 데이터를 계절별 재정리한 결과데이터를 대상으로 구축하였다.

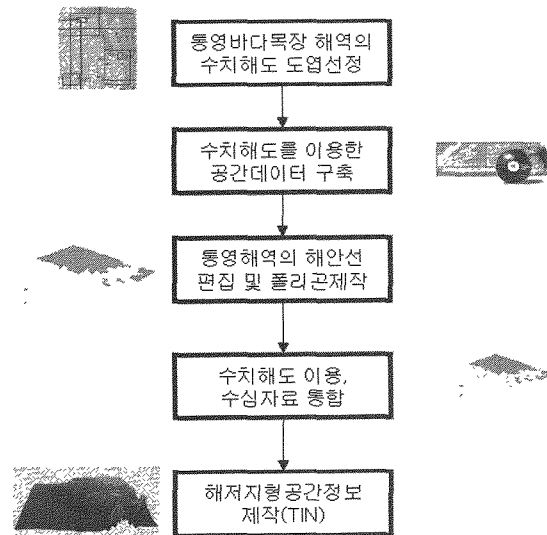


그림 2-6-9. 3차원 해저지형 구축과정.

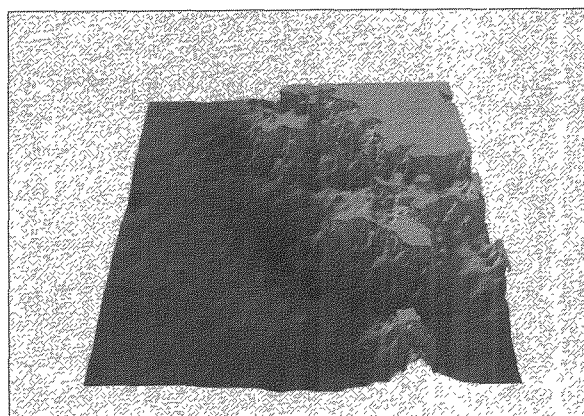


그림 2-6-10. 위성영상 작업 후 결과화면.

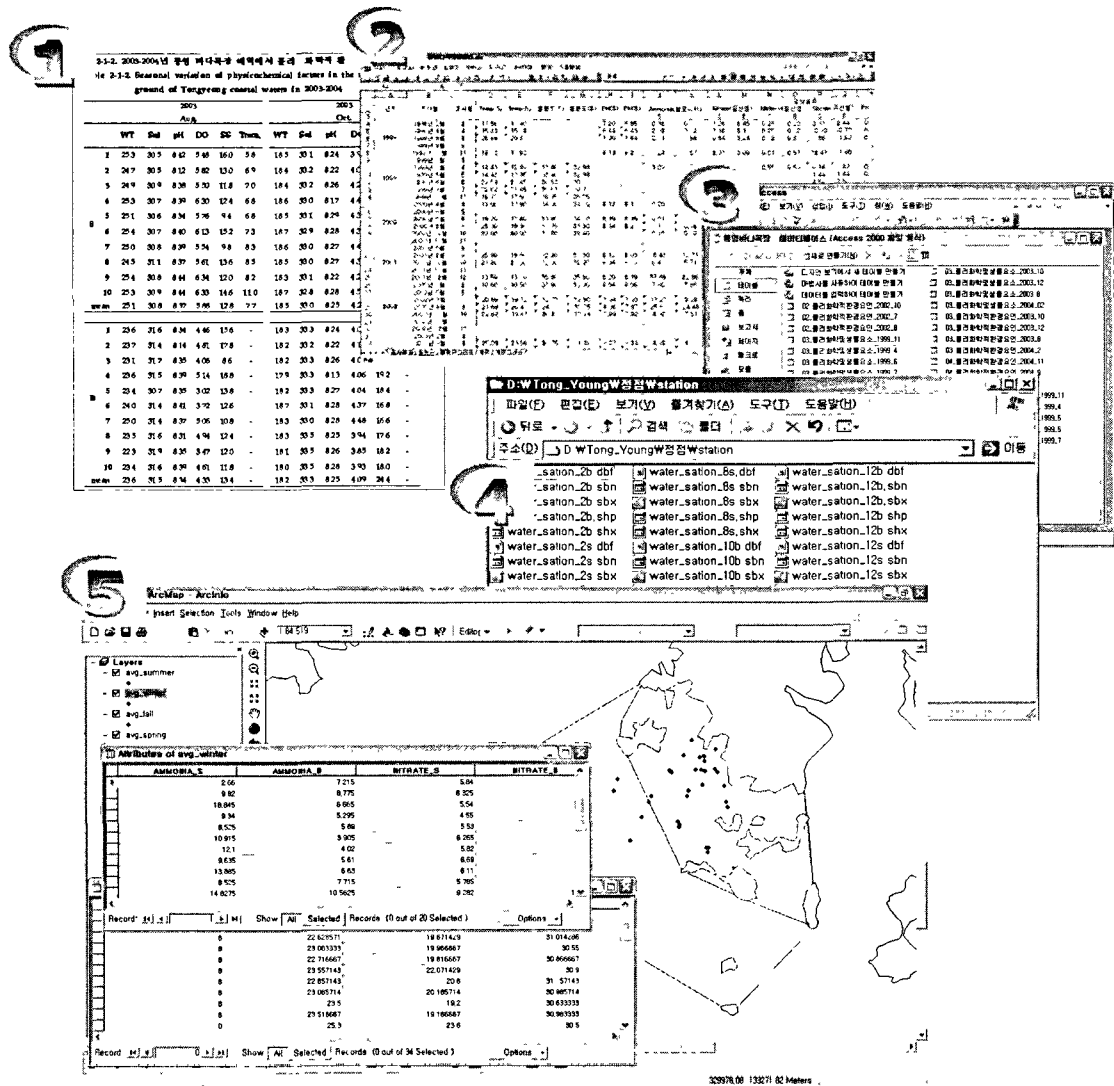


그림 2-6-11. 정점데이터 생성과정.

1. 보고서 원문 RawData(조사결과데이터)
2. 7년간 데이터를 월별/계절별로 정리한 매트릭스
3. 공간데이터와 텍스트데이터 조인하기 위한 MDB생성
4. 해당 정점별 shp파일
5. 각 계절별 정점의 ArcGIS 프로그램 상에서의 화면

ArcGIS Spatial Analyst extension은 공간 분석(적지, 거리, 수문 모델링 등)을 위한 도구와 통계학적 원리를 이용한 공간 데이터의 분석 도구, 공간 데이터의 모델링 기술을 제공한다. 해양 관련데이터도 각기 특징에 따라 표면으로 표현 가능한 데이터 유형이라 볼 수 있다. 일반적으로 래스터의 모든 셀에서 값을 획득하는 것이 효율적이지 않으므로 ArcGIS Spatial Analyst에서는 보간 도구를 이용해 샘플 포인트에서 다른 셀의 값을 산출한다.

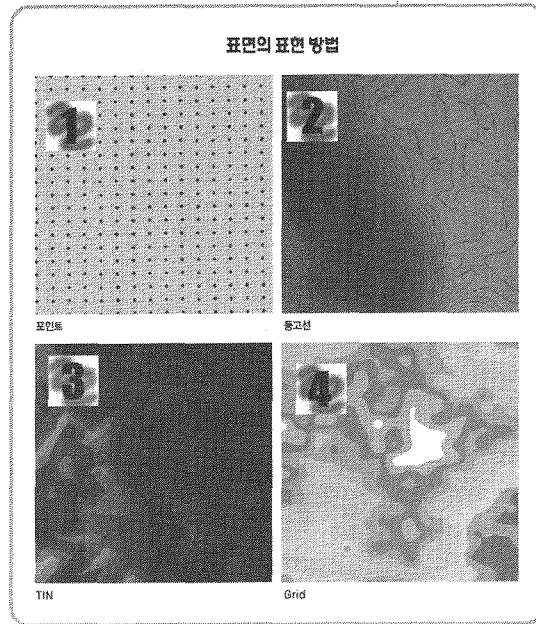


그림 2-6-12. 표면의 표현방법. 1. point, 2. 등고선, 3. TIN, 4. Grid.

공간 분석에 이용되는 Grid는 동일 크기의 셀 행렬로써 공간을 정의하는 공간데이터 구조이다. 표면을 표현하는 grid의 경우에, 각 셀은 변화를 나타내는 속성 값을 z 값으로 나타낸다. 지리적 공간에서 셀의 위치는 grid의 원본과 관련된 셀의 위치에서 획득한다.

공간적 상관관계는 값들의 상호 관련성을 결정한다. 값이 서로 관련된다면, 공간적 패턴이 있는 것이다. 이 상관관계는 다음의 사항을 파악하는데 사용된다.

- 영역내에서 객체의 유사성
- 공간 현상의 자기 상관도
- 변수간 상호의존도
- 상호의존도 특성

보간의 범주에는 결정론적 보간과 지구통계학적 보간이 있다. 결정론적 보간 기술은 측정치 또는 수학적 공식으로 표면을 생성한다. Inversed Distance Weight(IDW)와 같은 방법은 셀의 유사성에 기반하며, Trend와 같은 방법은 수학적 연산으로 부드러운 표면을 생성하는데 적합하다. Kriging와 같은 지구통계학적 보간 기술은 통계학에 기반하며 예측 정확도 또는 확실성의 평가를 포함하는 고급의 표면 예측 모델링에 사용된다.

생성된 정점데이터를 이용하여 ArcGIS Spatial Analyst에서 제공하는 분석작업을 수

행하였다. 본 연구에서 사용된 분석작업은 IDW(linear-weighted combination)연산으로 샘플포인트의 선형 가중 조합으로 셀 값을 결정한다. 가중치는 산출할 셀 위치로부터 입력 포인트까지의 거리를 연한사여 할당하는 것으로 거리가 멀수록, 셀이 결과 값에 미치는 영향력은 작아지는 분석기법이다.

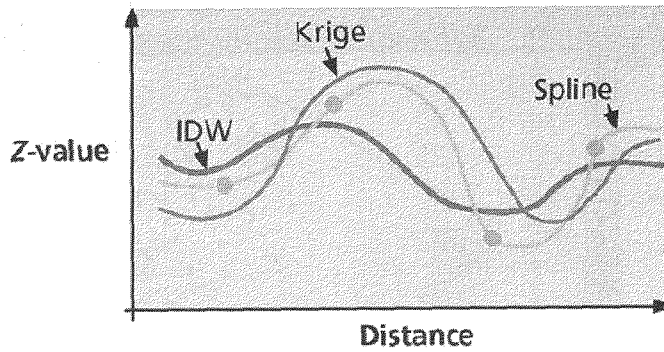


그림 2-6-13. 보간방법들의 차이.

구축공정은 다음과 같다.

1. 정점영역생성

각 정점에서의 연구결과에 대해서 포인트로 이루어진 정점데이터를 생성한 후 각 필드에 조사된 결과데이터를 입력한다. 차후 입력된 데이터를 바탕으로 분석할 수 있는 RawData가 된다.

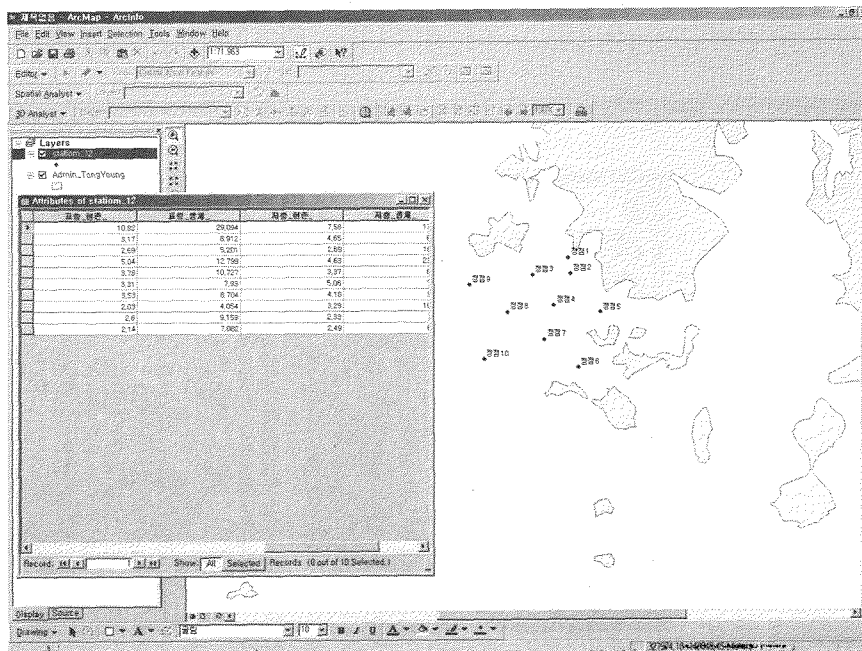


그림 2-6-14. 정점영역생성.

2. 통영바다목장영역 생성

통영바다목장의 전체목장해역과 중심 바다목장의 해역을 ArcGIS의 기능을 이용하여 폴리곤으로 생성한다. 또한 IDW 분석시 마스크로 사용될 영역도 전체바다목장으로 한다.

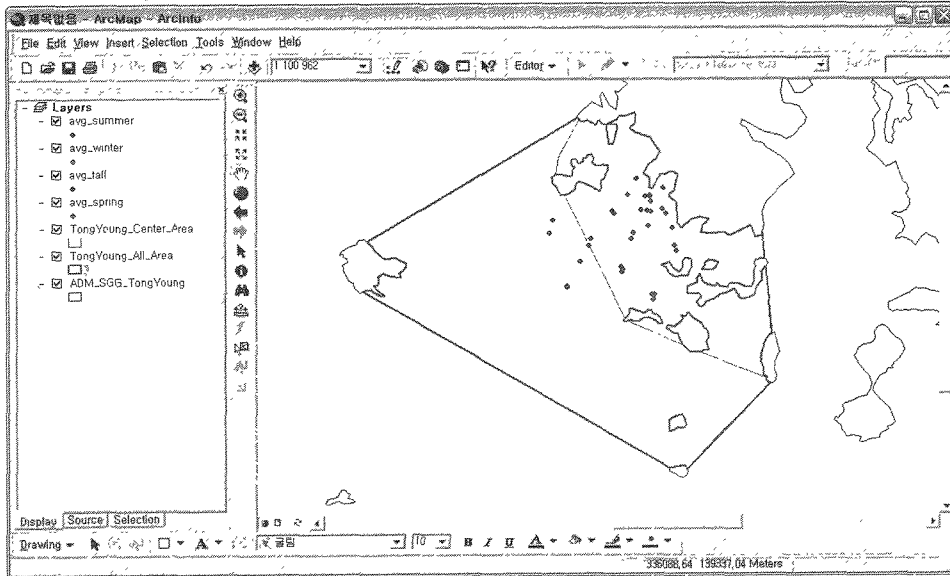


그림 2-6-15. 통영바다목장 IDW 생성영역.

3. 영상 GCP 기하보정

본 IDW 결과물은 Landsat 30m 영상을 이용하여 기본도를 작성하고 분석된 결과를 통영바다목장 해역에 대해서 표기한다. 이에 좌표가 없는 영상일 경우 실제 좌표를 알고 있는 지점이나 식별하기 좋은 지점으로 선택하여 영상과 Map의 보정작업을 한다.

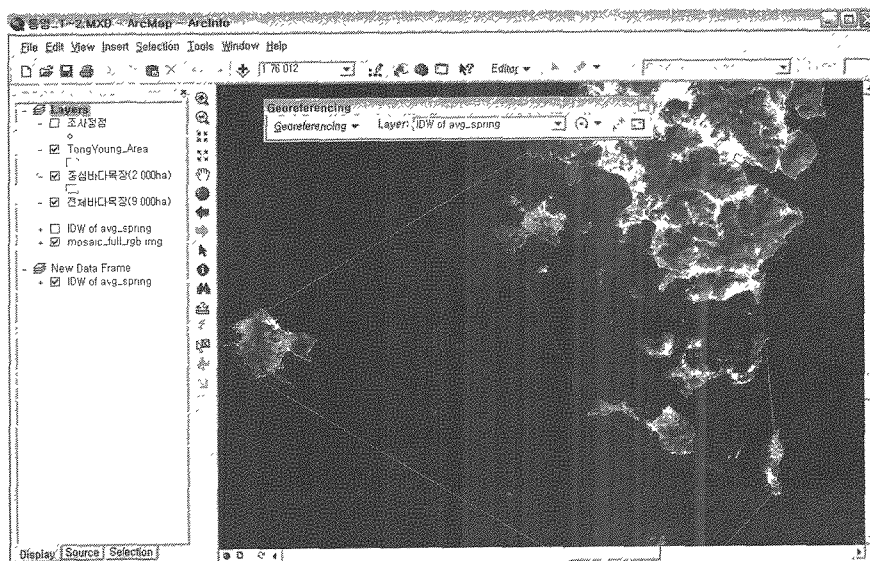


그림 2-6-16. 영상보정 완료.

4. IDW 분석의 사전옵션 설정

IDW 분석작업을 수행하기 전에 결과화면이 출력될 사이즈와 마스크 사용시 해당 마스크 데이터 지정 등의 설정작업을 수행하게 된다.

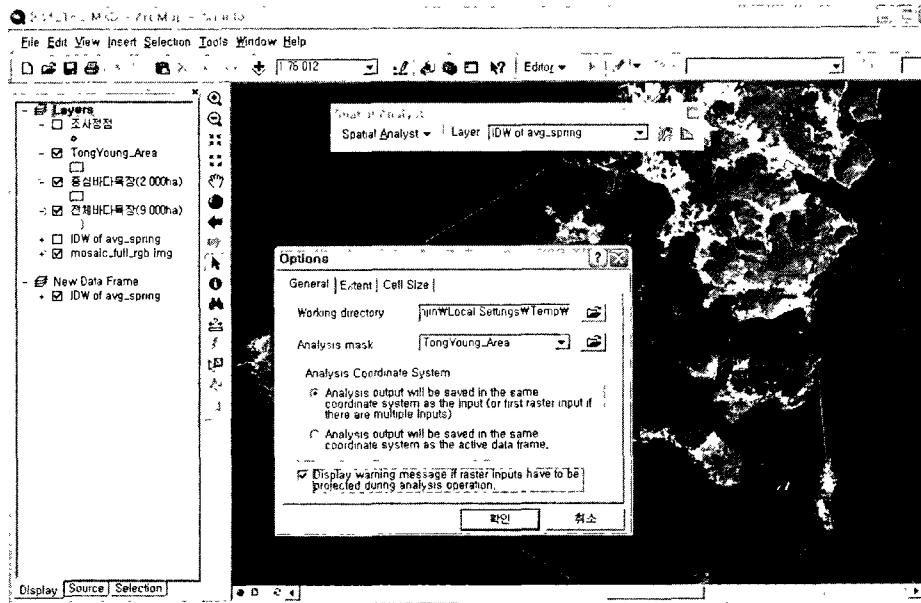


그림 2-6-17. IDW 분석의 사전옵션 설정.

5. IDW 작업설정

IDW 분석작업 설정화면으로 분석이 될 데이터가 존재하는 필드설정 및 Raster Data 로 각 셀당의 크기 등을 지정하게 된다.

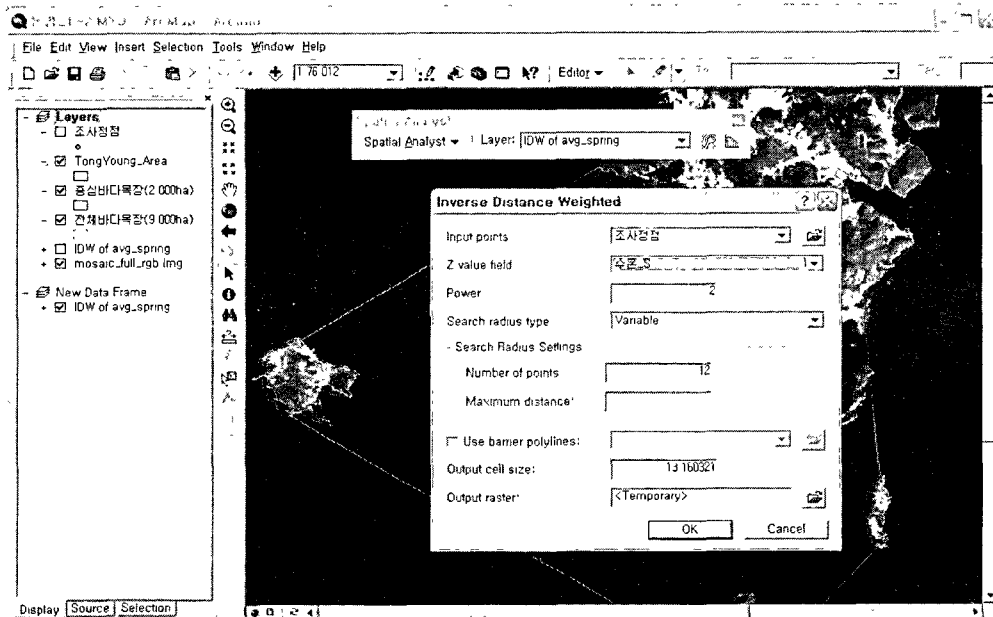


그림 2-6-18. IDW 작업설정.

6. IDW 분석작업 완료

해당 설정을 마치고 작업을 수행하게 되면 기본 9단계의 데이터로 나누어서 결과값이 나타나게 된다.

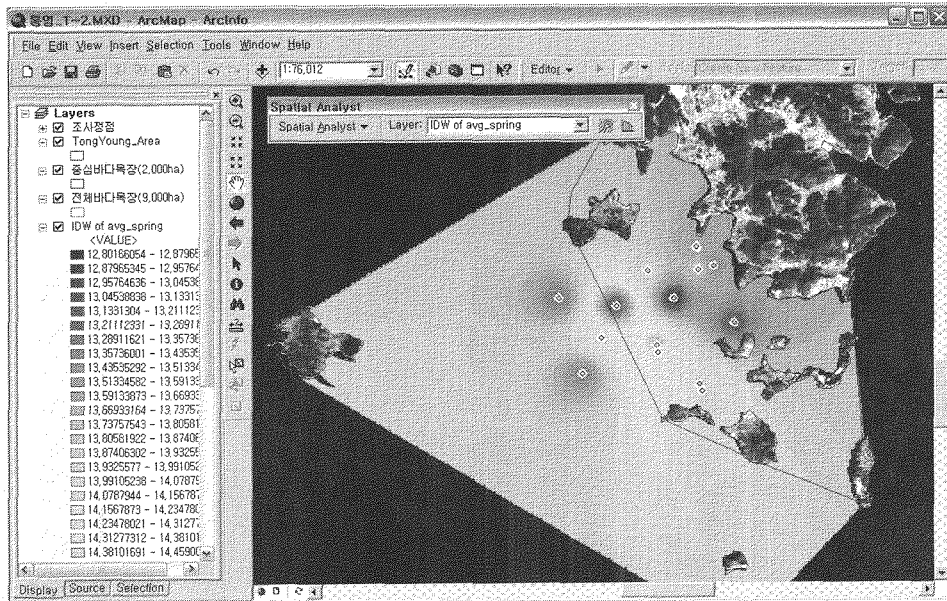


그림 2-6-19. IDW 분석작업 완료.

7. 결과화면 설정

기본 9단계로 나누어지는 데이터를 더 세분화 하는 작업 또는 해당 색상을 변경하거나 수치가 나타나는 Label등을 변경할 수 있다.

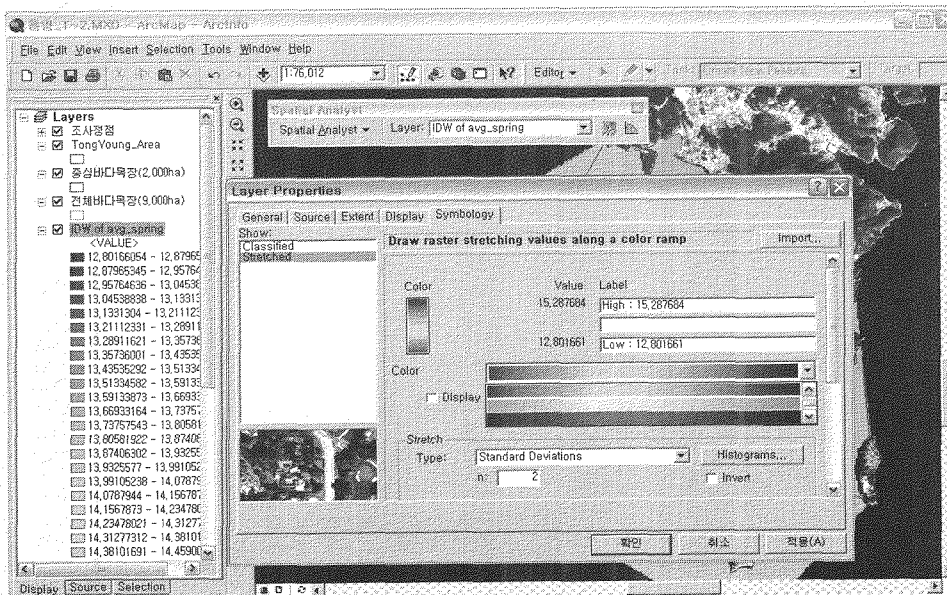


그림 2-6-20. 결과화면 설정.

8. 분석 완료화면

본 화면은 결과화면의 설정이 완료된 화면으로 본 화면을 이용하여 Layout 구성이 이루어진다.

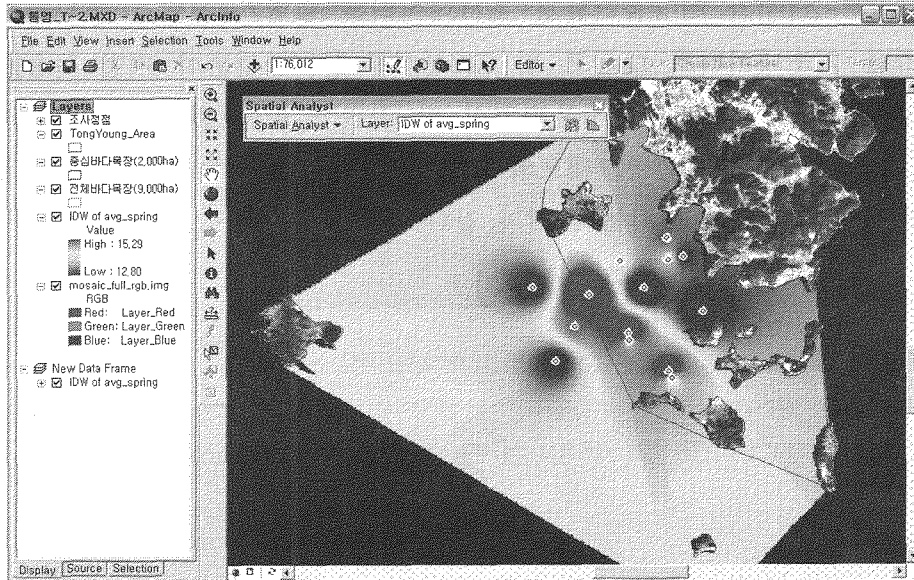


그림 2-6-21. 분석 완료화면.

IDW를 이용하여 만든 결과물과 함께 통영바다목장의 어초에 관련된 위치데이터를 이용하여 각 정점 계절별 데이터를 IDW분석하여 공간데이터를 만들었다. 분석된 데이터는 위성영상 자료와 통영바다목장의 전체목장영역과 중심목장영역을 함께 표현하였으며 축척바 및 범례를 작성하여 일반 사용자의 이해를 돕고자 하였다.

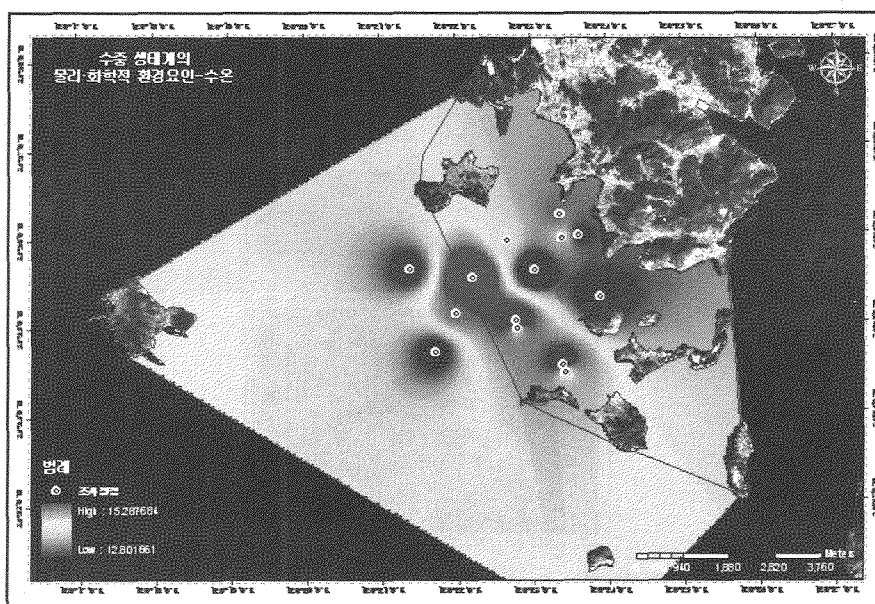


그림 2-6-22. 분석결과 서비스화면.

다. 웹사이트 갱신

본 사업의 목적과 추진 사항 및 조사결과와 기 구축된 GIS DB의 홍보를 위하여 전년도에 구축한 웹사이트를 이번 연구사업을 통해 구축된 GIS데이터 및 그래프를 업데이트 하였다. 7년(1998~2004)간 해양물리환경 조사데이터를 월별/계절별로 종합하고 재정리한 데이터베이스를 기초데이터로 그래프 및 GIS분석주제도(공간분석 기법 사용)를 구축 하였다. 웹사이트 활용도 측면에서 사용편의성 및 직관성 등을 최대화하기 위하여 구축된 그래프 및 GIS분석주제도는 선형그래프와 IDW 공간분석데이터 등의 방법을 통해 표현하였으며 해당 콘텐츠의 화면 예시는 아래와 같다.

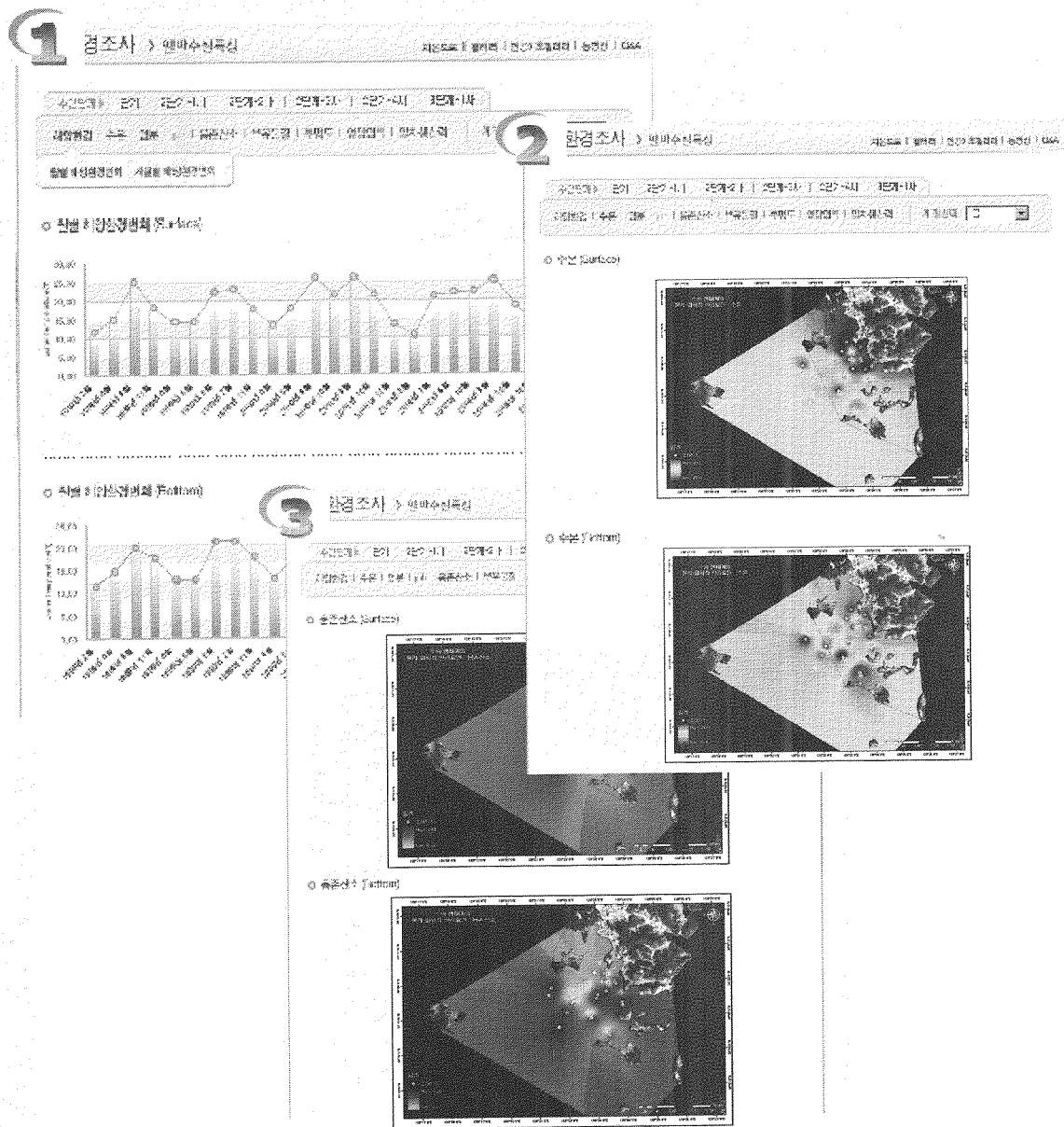


그림 2-6-23. 웹페이지 서비스화면. 1. 월별해양환경변화, 2. 봄의 수온(Surface, Bottom)의 GIS주제도화면, 3. 여름의 용존산소(Surface, Bottom)의 GIS주제도화면

제 7 절 요약 및 결론

1. 이화학적 환경특성

2005년 5월부터 11월까지의 물리화학적 환경요인 중 수온은 최저 14.3℃(5월)에서 최고 24.4℃(8월)까지 변화하여 대기의 영향을 받고 있었다. 염분은 32.1~35.7‰의 변화로 11월에 낮고 봄철과 여름철에 높았다. 한편, 여름철에 태풍으로 인한 표층과 저층수의 수직 혼합으로 염분약층은 일어나지 않았다. pH는 7.90~8.27의 범위를, 용존산소량은 9.00~14.62mg · ℓ⁻¹, 부유물질은 2.7~19.2mg · ℓ⁻¹의 범위를 나타내었다. 월별 평균 투명도는 5월에 3.3m, 8월에 7.5m, 11월에 5.3m를 보였다. 화학적산소용구량은 5, 8, 11월 모두 해역 수질 1급수에 해당하는 수치였다. Chlorophyll-a의 농도는 최저 0.4 1.7μg · ℓ⁻¹에서 최고 1.4μg · ℓ⁻¹를 보였으며, 월별 평균 chlorophyll a의 농도는 5월에 표층과 저층에서 각각 1.7μg · ℓ⁻¹와 1.4μg · ℓ⁻¹를, 8월에 0.9μg · ℓ⁻¹와 0.7μg · ℓ⁻¹를, 11월에는 2.1μg · ℓ⁻¹와 1.4μg · ℓ⁻¹를 나타내어 표·저층의 농도가 11월을 제외하고는 차이가 크지 않았다.

2000년부터 2005년까지의 물리·화학적 환경요인의 조사결과 중 평균 수온은 표층과 저층에서 각각 18.3℃와 17.2℃를, 염분은 32.3‰와 33.1‰을, 용존산소는 5.71mg · ℓ⁻¹와 5.31mg · ℓ⁻¹를, pH는 8.15와 8.13을, 부유물질은 16.18mg · ℓ⁻¹와 17.96mg · ℓ⁻¹를, 투명도는 4.5m를, chlorophyll a는 2.8μg · ℓ⁻¹와 1.7μg · ℓ⁻¹였다. 2000년부터 2005년까지 본 해역은 물리·화학적 환경으로 부영양화 기준치와 비교하면 중영양화 해역으로 판명되었다.

2005년도 미생물의 월별 종속영양 균체수는 8월에 5월과 11월에 비하여 많이 검출되었다. 즉, 5월의 표층수와 저층수에서 균체수는 각각 4.7×10²~5.9×10³cfu · ml⁻¹와 4.3×10¹~6.6×10²cfu · ml⁻¹, 8월에는 1.1×10³~4.4×10³cfu · ml⁻¹ 와 2.0×10¹~2.0×10²cfu · ml⁻¹, 11월에는 2.5×10¹cfu · ml⁻¹~3.7×10² cfu · ml⁻¹와 2.3×10¹cfu · ml⁻¹~5.1×10²cfu · ml⁻¹로 나타났다. 2002~2005년 사이의 종조성에서 공통적으로 분리된 세균은 *Pseudomonas fluorescens* TY1, *Acinetobacter lwoffii* TY3 및 *Sphingomonas paucimobilis* TY4로서 이들이 통영 바다목장 해역의 우점종으로 출현하였다.

2. 생물군집특성

2005년도 조사에서 식물플랑크톤 군집은 돌말류 71 분류군, 와편모조류 6 분류군 그리고 규질편모조류 2 분류군이었으며, 총 출현분류군의 90% 정도가 돌말류였다. 식물플랑크톤군집의 출현종수는 계절별, 정점별 차이가 있었으며, 5월에 최저 13종 (정점 3의 저층)에서 최고 34종 (대조구의 저층)까지, 8월에는 최저 21종 (대조구의 표층)에서 최고 34종 (정점 4의 표층)까지, 11월에는 최저 5종 (정점 10의 표층)에서 최고 25종 (정점 1의 저층)까지 다양하게 변화하고 있었다. 식물플랑크톤 현존량의 변화는 최저 1.29×10⁴ cell

$s \cdot \ell^{-1}$ (5월 정점 8의 저층)에서 최고 $3.76 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ (11월 정점 1의 표층)까지 변화 폭이 컸다. 월별 변화는 5월에 $1.29 \sim 4.21 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$, 8월에 $3.60 \sim 8.62 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 그리고 11월에 $0.43 \sim 3.76 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$ 의 범위를 보이고 있었다. 우점종은 5월, 8월과 11월에 표층과 저층에서 *Chaetoceros constrictus*, *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira* sp. 등이었다.

2001~2005년까지의 월별 동물플랑크톤 평균 개체수의 변화는 2002년 10월에 가장 낮은 344 indiv./m^3 을 보였고, 2001년 8월 가장 높은 $25,182 \text{ indiv./m}^3$ 을 보였다. 년별 및 계절별 개체수의 변화경향은 2001년 8월부터 12월까지, 2002년 7월부터 10월까지 각각 동절기로 접어들면서 감소 추세를 나타내었다.

2005년도의 동물플랑크톤군집의 월별 출현종수는 월별 차이가 심하여 5월에 평균 18종이었고, 8월에 25종, 11월에는 23종으로 5월에 가장 빈약한 종조성을 나타내었다. 월별 평균 출현 개체수는 5월 720 indiv./m^3 , 8월 $1,852 \text{ indiv./m}^3$, 11월에 816 indiv./m^3 로 변화하였다. 2005년 주요 출현종은 단연 요각류였으며, 분류군이 큰 것은 자포동물(cnidarians), 갑각류(crustaceans), 다모류(polychaetes), 모악동물(chaetognaths), 극피동물(echinodermates), 유형류(larvaceans) 등이었다. 월별 우점종은 5월에 요각류 *Oithona similis*였으며, 그 다음으로 우점한 종들도 역시 요각류 *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 등이었다. 8월에 우점종은 이매패류의 초기부착 유생이었다. 이 종은 그 밀도가 전체 동물 그것의 47.6%에 해당하는 정도여서 요각류를 전부 합친 것보다 더 높은 밀도를 보였다. 11월에는 요각류 *Calanus sinicus*였으며, 그 다음으로 유형류의 *Oikopleura dioica*였다.

2005년 7월부터 10월까지 통영의 바다목장화 대상지역인 통영 연안에서 난·자치어와 어류상의 분포를 난·자치어네트와 삼중자망, 소형기선저인망을 이용하여 채집을 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 부유성 난은 총 8개 분류군으로, 주둥치가 전체 출현량의 24.10%를 차지하여 가장 우점하였다. 자치어는 총 5목 10과 14종이 출현하였고, 그 가운데 멸치가 전체 출현량의 54.13%를 차지하여 가장 우점하였으며, 다음으로 미역치가 17.63%를 차지하였다. 삼중자망에 의해 채집된 어류의 경우 총 1,061개체로써 1강 5목 18과 25종이 출현하였다. 그 중 농어목 어류가 9과 10종으로 가장 많이 출현하였다. 저인망의 경우 총 38,540개체로 2강 7목 23과 33종이 출현하였고, 그 중 농어목 어류가 10과 11종으로 가장 많이 출현하였다.

3. 환경호르몬

통영바다목장 중심해역 내에서 표층퇴적물 및 진주담치를 채취하여, PCB 화합물(동위체 22종), 유기주석화합물(부틸주석화합물 3종), 노닐페놀, 비스페놀A를 분석하였다. 조사 대상 표층퇴적물 및 진주담치 체내에 잔류하는 유기오염물질의 경우 전반적으로 전국연

안의 농도와 비교하여 중간값 또는 그 이하의 값을 보였다. 단, 조사 자료가 희박한 노닐페놀과 비스페놀A의 경우 연안에서 조사된 값과 유사한 범위를 보였으나, 우리나라 하천 및 외국에서 보고된 농도에 비해서는 현저히 낮은 값을 보였다. 노닐페놀과 비스페놀A를 제외한 나머지 오염물질의 경우 전국 연안과 비교하여 이들 물질의 주 오염원으로부터는 거리를 두고 있는 해역임을 보여주고 있다. 하지만 선박기인의 유기주석화합물의 경우 전국 연안과 비교하여 중간값을 일부 상회하는 농도가 검출되었을 뿐만 아니라 선진국의 퇴적물 권고기준을 일부 초과하고 있다. 한편 생물체 중 진주담치에 잔류하는 조사대상 유기오염물질의 경우 선진국에서는 제시하는 수산물 안전기준 이하의 값을 보여, 통영바다목장화 중심해역에서 생산되는 수산물 중에 잔류하는 유기오염물질로 인한 인체위해성은 없는 것으로 판단되었다. 단, PCBs의 경우 생태독성평가기준을 일부 상회하는 시료가 있었으며, TBT 체내 농도 역시 일부 시료에서 고등류의 입포섹스를 유발할 수 있는 수준 이상으로 검출되었다.

2005년 5월 25-26일에 통영 바다 목장화 주변 해역의 22개 정점 표층 퇴적물과 20개 정점 진주담치에 대하여 중금속(알루미늄, 크롬, 구리, 아연, 카드뮴, 납, 수은) 오염을 측정하였다. 통영 바다 목장화 주변 해역 퇴적물의 중금속은 조사해역의 북서부와 미륵도 연안에서 높은 경향이였다. 중금속은 AI과 높은 상관성을 보여 간접적으로 입도의 영향이 크게 작용하고 있었다. 카드뮴과 수은은 ERL이하였지만 크롬은 총 16개 정점, 구리는 총 7개 정점에서 ERL을 초과하였다. 정점 1은 4개 원소가 ERL을 초과하는 등 가장 오염도가 높았다. 진주담치의 중금속 농도는 정점 3, 15, 20에서 다소 높은 경향이였고, 카드뮴-아연, 납-구리, 수은-카드뮴 간에는 서로 양호한 정의 상관성을 보였다. 1990년 우리나라 연안 평균 농도에 비하여 크롬과 아연, 카드뮴은 약간 낮았지만 구리, 납, 수은은 높았다. 진주담치의 크롬, 납, 수은의 최대 농도도 우리나라와 호주, EU의 기준보다 낮았다.

4. 서식지 특성분성

통영바다목장의 효율적 어장조성과 자원방류를 위해 1999년부터 2003년까지 계절별 해양환경과 생물군집 자료를 바탕으로 바다목장 해역의 서식지를 구분하였다. 통영바다목장해역은 크게 암반서식지 및 연성저질 서식지로 구분되었다. 암반서식지의 우점종은 해조류 (*Ulva pertusa*, *Myagropsis myagroides*, *Gelidium amansii*, *Codium fragile* and *Ecklonia stolonifera*) 및 부착동물 (*Balanus trigonus*, *Serpula vermicularis*, *Corophium* sp., and *Halocynthia roretzi*)이며, 대개 수심 6m 이내에 분포하였다. 연성저질 서식지는 크게 5가지(Type A, B, C, D, E)로 구분되었다. Type A의 경우 연명포구로부터 장두도 사이에 위치한 곳으로 수심 38~47m이며, 표층 총질소는 26.7 μ M, 표층 부유물질은 12.8mg/L, 평균입도는 4.6, 퇴적물의 총탄소는 2.9mg/g이다. 우점종은 식물플랑크톤, *Chaetoceros*

curvisetus, *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum*, 동물플랑크톤, *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*, 그리고 연성저질저서동물 *Lumbrineris longifolia*, *Capitella capitata*이다.

5. 생태계 모델

본 연구에서는 생태계 기반 자원관리 시스템, 자원조성 시스템과 자원관리 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 생태계 기반 자원관리 시스템에서는 자가구성법(self-organizing mapping, SOM)을 적용하여 이전 연구에서 수행한 생물군 그룹핑의 적합성을 과학적인 근거에서 검증하였고, 생태계 구조 모델을 사용하여 바다목장조성 이전과 이후의 통영 생태계의 구조를 파악하였으며 생태계 역학 모델을 사용하여 생태계 내 생물군의 양적 변동을 구명하고 환경수용량을 추정하였다. 또한, 잠재생산력 평가를 위해 어획강도에 따른 자원량을 예측하였다. 자원조성 시스템에서는 개체군 분석 모델을 사용하여 대상어종의 자원조성 목표량 및 환경수용량을 추정하였다. 자원관리 시스템에서는 생물학적 기준점과 생태계 구조 및 기능을 고려한 생물학적 허용어획량(ABC) 추정 모델을 사용하여 바다목장 대상종의 ABC를 추정하였다.

6. 관측자료 표준화 및 DB구축

본 연구에서는 기존의 통영바다목장 연구과정 및 7년(1998~2004)동안 지속되어온 연구결과 중 바다생물에 가장 중요한 환경요인인 해양물리환경 조사자료를 종합하고 재정리하여 정밀검토를 수행하였는바, 연구결과에 대한 이해도를 높일 수 있도록 연구정보를 데이터베이스화 하였다. 데이터베이스는 공간데이터와 콘텐츠 데이터로 구분하였는데 공간데이터 구축은 조사결과 데이터를 월별/계절별로 정리한종합 매트릭스표를 이용하여 그래프 및 GIS분석주제도(공간분석 기법 사용)를 구축하였다. 콘텐츠 데이터는 지금까지 통영에서 수행되어온 주요 연구에 대한 자료를 체계적으로 종합하고 분류한 것으로 알기 쉽게 정리하였다. 본 연구를 통하여 그간 매년 연속적으로 수행한 조사, 연구결과 데이터를 기반으로 계절별, 월별 해양환경변화 패턴 분석용 기초자료로 제공할 수 있으며, 통영 바다목장 조성사업에서 사용된 주요 기술을 정리하여 추후 신규 바다목장 조성 시 지침 역할을 할 수 있는 데이터로 활용할 수 있다.

참고문헌

- Allena M.J. S.C. Edberg, D.J. Reasoner. 2005. Heterotrophic plate count bacteria— what is their significance. *International Journal of Food Microbiology* 92 (2004) 265 - 274
- Ambler, J.W., 1985. Seasonal factors affecting egg production and viability of eggs of *Acartia tonsa* Dana from East Lagoon, Galveston, Texas. *Est. coast. Shelf Sci.*, 20: 743-760.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Fricle, J.S. Grag, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad. 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10 : 257-263.
- Baghel V.S., K. Gopal, S. Dwivedi and R.D. Tripathi. 2005. Bacterial indicators of faecal contamination of the Gangetic river system right at its source. *Ecological Indicators*, 5 : 49-56.
- Barrienton Chacon, Y., 1980. Ultrastructure of sensory units on the first antennae of calanoid copepods. M.Sc thesis, University of Ottawa.
- Beverton, R.J.H. and S.J. Holt, 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery investigations. Series II, Marine Fisheries*, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19. 533pp.
- Bruland, K.W., 1983. Trace metals in sea-water. In *Chemical Oceanography Vol 8*. 2nd ed., eds. by R. Chester and J. P. Riley. Academic Press, London. p158-220.
- Brunel, J. 1962. Le phytoplancton de la Baie des Chaleurs. *Les Presses de L'Universite de Montreal*. 365 pp.
- Burton, J.D. and P.J. Statham, 1990. Trace metals in seawater. *In Heavy metals in the marine environment*, edited by R.W. Furness and P.S. Rainbow. CRC Press, Boca Raton, U.S.A. p5-25.
- Calvert, S.E., 1976. Mineralogy and geochemistry of nearshore sediments. *In Chemical Oceanography, Vol 6*. 2nd ed., edited. by Riley J.P. and R. Chester. Academic Press, London. p187-280.
- Cappuccino J.G. and N. Sherman. 1987. *Microbiology a laboratory manual*. 2nd ed. The Benjamin/Cummings publishing company.
- Cha, H. J., J. Y. Kim, C. H. Kho and C. B. Lee. 1988. Temporal and spatial variation of nutrient elements in surface seawater off the west coast of Korea. *J.*

- Oceanol. Soc. Korea* 3:25-33.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1988. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton compositions, standing crops, tychopelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21 : 156-170
- Choi., H.G., J.S. Park and P.Y. Lee, 1992. Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean coastal waters. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25 : 485-494.
- Christensen, V., and D. Pauly, 1992. ECOPATH II a software for balancing steady ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecol. Modelling* 61 : 169-185.
- Coquery, M., S. Azemard and S.J. de Mora, 2000. Report on the world-wide intercomparison exercise for the determination of trace elements and methylmercury in estuarine sediment sample IAEA-405. IAEA/AL127, IAEA/MEL/70, IAEA, 114pp.
- Cupp, E.E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. of Oceanogr., Univ. Calif.*, 5 : 1-237.
- David P.S., 2004. Heterotrophic plate count monitoring of treated drinking water in the UK : A useful operation tool. *International journal of food microbiology*, 92 : 297-306.
- Dodge, J.D., 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Office. London : 214 pp.
- Förstner, U., 1981. Metal concentrations in river, lake, and ocean water. *In* Metal pollution in the aquatic environment, 2nd ed., edited by U. Förstner, and G.T.W. Wittmann. Springer-Verlag, Heidelberg. p.71-109.
- Fukami, K.S. Ohara and Y. Ishida. 1990. Effect of extracellular organic carbon(EOC) from phytoplankton on the community structure of oilgotrophic bacteria. *Arch Hydrobiol. Beith Ergen. Limnol.*, 34 : 43~47.
- Fulton, R.S.,III, 1984a. Distribution and community structure of estuarine copepods. *Estuaries*, 7: 38-50.
- Fulton, R.S.,III, 1984b. Predation, production and the organization of an estuarine copepod community. *J. plankton res.*, 6: 399-415.
- Goldberg, E.D., M. Koide, V. Hodge, A.R. Flegal and J. Martin, 1980. U.S. mussel watch: 1977-1978 results on trace metals and radionuclides. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 16 : 69-93.

- Goldman, J. C. and P. M. Gilbert. 1983. Kinetics of inorganic nitrogen uptake by phytoplankton. In, Carpenter & Capone DG(eds) Nitrogen in the marine environment. Academic Press, New York, P. 233-274
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt and K. Kremling. 1983. Methods of seawater analysis. 2nd ed. Verlag. Chemie. 419pp.
- Han, S., 1997. The ecological studies of Eurasian otter(*Lutra lutra*) in South Korea. Ph. D. thesis, Kyungnam Univ., Korea. 112pp.
- Hasle, G.R. and E.E. Syvertsen, 1996. Marine diatoms. C. R. Tomas ed. "Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates". Academic Press. 838 pp.
- Hasle, G.R. and G.A. Fryxell, 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. Trans. Am. Microsc. Soc., 89 : 469-474.
- Hendey, N.J., 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. V. Bacillariophyceae (Diatoms). 317 pp.
- Hong, G. H., S. H. Kim and C. S. Chung. 1995. Contamination in the Yellow Sea Proper: A review. *Ocean Research* 19: 55-62.
- Howarth, R. W. 1988. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystem. *Ann. Rev. Ecol.* 19: 89-110.
- Huh, H.T. et al., 1979. Effects of thermal effluents on marine biota. pp. 447-507. in S. D. Hahn ed. Oceanographic studies for Kori Nuclear Power Plants. KORDI Report BSPI 0015-1-24-1.
- Johnson, W.S., D.M. Allen, M.V. Ogburn and S.E. Stancyk, 1990. Short-term predation responses of adult bay anchovies *Anchoa mitchilli* to estuarine zooplankton availability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 65: 55-68.
- Kang, Y.S., 1992. Systematics and distribution of the oceanic warm-water calanoid copepods in the Korean waters. Ph.D thesis. National Fisheries University.
- Kim, W.S., J.M. Yoo and C.S. Myung, 1993. A review on the copepods in the South Sea of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26: 266-278.
- Lampitt, R.S. and J.C. Gamble, 1982. Diet and respiration of the small planktonic marine copepod *Oithona nana*. *Mar. Biol.*, 66: 185-190.
- Laredana S, L.A. Maria, A.C. Rosa, 2004. *Mytilus galloprovincialis* filter feeding on the bacterial community in a Mediterranean coastal area(Northern Ionian Sea, Italy). *Waters research*, 39 : 469-477.
- Lee, J.H., 1995. Additional check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea. *J. Natural Sci., Sangmyung Univ.*, 2 : 71-198.

- Lee, J.H., J. Chae, W.-R. Kim, S.W. Jung and J.M. Kim, 2001. Seasonal variation of phytoplankton and zooplankton communities in the coastal waters off Tonyeong in Korea. *Ocean and Polar Res.*, 23 : 245-253.
- Lonsdale, D.J. and B.C. Coull, 1977. Composition and seasonality of zooplankton of North Inlet, South Carolina. *Chesapeake Sci.*, 32: 1535-1570.
- Loredana S, L.A. Maria, A.C. Rosa. 2004. *Mytilus galloprovinealis* filter feeding on the bacterial community in a Mediterranean coastal area(Nothern Ionian Sea, Italy). *Waters research*, 39 : 469-477.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshino., 1984. The fishes of the Japanese archipelago. Tokai University Press, 437pp.
- Mingazzini, M., A. Rinaldi and G. Montanari. 1990. Multi-level nutrient enrichment bioassays on Northern Adriatic coastal waters. p. 115-131. *In*, Marine coastal eutrophication, edited by Vollenweider, R. A., R. Marchetti, and R. Viviani, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1328pp.
- Nagasawa, S. and R. Marumo, 1976. Identification of young chaetognaths based on characteristics of eyes and pigmented regions. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 23 : 46-56.
- NAS, 1980. The International Messel Watch. Nat. Aca. Sci., Washington, D.C., U.S. 248pp.
- Nelson, J. S., 1994. Fishes of the world(3rd ed.). New York, John Wiley & Sons, 550pp.
- Nybakken, J.W., 1993. Marine Biology, An ecological approach, 3rd ed. Harper Collins College Publisher, New York. 462pp.
- Odum E.P.(ed), 1971. Fundamentals of Ecology, W.B. Saunders Co. Philadelphia. p. 540.
- Odum, E.P. 1989. Ecology and our Endangered Life-Support Systems. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Massachusetts.
- Pace M. and J.D. Orcutt, 1981. The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnol. Oceanogr.*, 26 : 822-830.
- Paffenhöfer, G.-A. 1991. Some characteristics of abundant subtropical copepods in estuarine, shelf and oceanic waters. *Bull. Plankton Soc. Japan, Spec.*: 201-216.
- Paffenhöfer, G.-A. and D.E. Sterns, 1988. Why is *Acartia tonsa* restricted to nearshore environment? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 42: 33-38.

- Parsons, T.R., Y. Maita and G.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. 173pp.
- Perkins, E. J. 1974. The biology of estuaries and coastal waters. Academic Press, London, 677pp.
- Perry M. J. and R. W. Eppley. 1981. Phosphate uptake by phytoplankton in the central North Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.* 28A: 39-49.
- Pianka, E. R., 1966. Latitudinal gradients in species diversity: A review of concepts. *Amer. Natur.*, 100, 33~46.
- Pielou, E. R., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.* 13, 131~144.
- Reimann, B.E.F., E.L. Duke and G.L. Floyd, 1980. Fixation, embedding, sectioning and staining of algae for electron microscopy. p. 285-303, In, Elisabeth, G. ed. *Handbook of Phycological Methods.* Camb. Univ. Press London. 425 pp.
- Round, F.E., 1981. *The Biology of the Algae.* 2nd ed. Edward Arnold Pub., London, 278pp.
- Round, F.E., R.M. Crawford and D.G. Mann, 1990. *The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera.* Cambridge University Press.
- Salomons, W. and U. Förstner. 1984. *Metals in the Hydrocycle.* Springer-Verlag, Berlin. 349pp.
- Schropp, S.J., F.G. Lewis, H.L. Windom, J.D. Ryan, F.D. Calder and L.C. Burney, 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries*, 13 : 227-235.
- Shanon C. E, and W. Wiener, 1963. *The Mathematical Theory of Communication.* Urbana, Univ. of Illinois Press, 125pp.
- Shim J.H. and W.H. Lee, 1983. Plankton study in the southwestern sea of Korea (I)-Phytoplankton Distribution in September, 1981. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 18 : 91-103.
- Simonsen, R., 1974. The diatom plankton of the Indian Ocean expedition, R/V "Meteor", 1964-1965. *Meteor Forsch.-Ergebnisse*, 19 : 1-107.
- Simpson E. H., 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163, 1~688.
- Smith, R.G., 1993. Determination of mercury in environmental samples by isotope dilution/ICPMS. *Anal. Chem.*, 65 : 2485-2488.
- Taylor, D., S. Nixon, S. Granger and B. Buckley. 1995. Nutrients limitation and the eutrophication of coastal lagoons, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 127: 235-244.

- Tokioca, T. 1979. Neritic and oceanic plankton. In: Zoogeography and diversity of plankton, edited by van der Spoels & A.C. Pierrot-Bultsp, Bunge Scientific Publ., Utrecht, pp. 126-143.
- Trites, A. W., P. A. Livingston, S. Mackinson, M. C. Vasconcellos, A. M. Sringer and D. Pauly, 1999. Ecosystem changes and the decline of marine mammals in the Eastern Bering Sea. Fisheries Centre Research Reports 1999, Vol 7(1) 100pp.
- Uchima, R. and R. Hirano. 1986. Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoida) and the effects of food concentration at first feeding on the larval growth. Bull. Plankton Soc. Japan, 22: 21-28.
- UNESCO/SCOR. 1966. Determination of photosynthetic pigments. In, Determination of photosynthetic pigments in seawater. Paris. UNESCO (ed). p. 10-18.
- Walters, C., V. Christensen, and D. Pauly, 1997. Structuring dynamics models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. Review in Fish Biology and Fisheries 7 : 139-172.
- Wimpenny, J.R.T., R.W. Lovit and J.P. Coombs, 1980. Laboratory model systems for the investigation of spatially and temporally organised microbial ecosystems. In; J.H. Slater, R. Whittenbury and J.W.T. Wimpenny(eds.), Microbes in Their Natural Environments. : 67-117. Cambridge Univ. Press, London.
- Windom, H.L., J.T. Byrd, R.G. Smith Jr. and F. Huan, 1991. Inadquency of NASQAN data for assessing metal trends in the Nation's Rivers. Environ. Sci. Technol., 25 : 1137-1142.
- Windom, H.L., S.J. Schropp, F.D. Calder, J.D. Ryan, R.G. Smith, Jr., L.C. Burney, F.G. Lewis and C.H. Rawlinson, 1989. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediment of the southeastern United States. Environ. Sci. Technol., 23 : 314-320.
- Zhang, C.I. and B. A. Megrey. in press. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality.
- 飯塚昭二, 1963. 植物プランクトン最高出現細胞數に關する. 日本プランクトン研究連絡會報, 9 : 5-9.
- 山路 勇, 1991. 日本海洋プランクトン圖鑑. 保育社, 日本.
- 吉田 陽一. 1973. 低質生産における生物生産の變化. 水産學 series 1. 恒星社厚生閣, 東京, 日本. 239pp.
- 小久保 清治, 1955. 浮游硅藻類. 恒生閣, 東京.
- 倉茂英次郎. 1943. 朝鮮黃海側及び西海における浮遊性硅藻の量的並に質的特性. 第一報. 昭

- 和12年乃至16年定量成績. 朝鮮水試報告, 8 : 1-114.
- 吉田 陽一. 1973. 低質生産における生物生産の變化. 水産學 series 1. 恒星社厚生閣, 東京, 日本. 239pp.
- 度邊 競, 1990. 海面養殖と養魚場環境. 日本水産學シリーズ 82, 恒星社厚生閣. pp130.
- 飯塚昭二, 1963. 植物プランクトン最高出現細胞數に關する. 日本プランクトン研究連絡會報, 9 : 5-9.
- 山路 勇, 1991. 日本海洋プランクトン圖鑑. 保育社, 日本.
- 小久保 清治, 1955. 浮游硅藻類. 恒生閣, 東京.
- 倉茂英次郎. 1943. 朝鮮黃海側及び西海における浮遊性硅藻の量的並に質的特性. 第一報. 昭和12年乃至16年定量成績. 朝鮮水試報告, 8 : 1-114.
- 沖山宗雄. 1988. 日本産稚魚圖鑑. 日本東海大學出版社, 1154pp.
- 강병준. 1998. 한국 남해안 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생시 환경학적 특성과 동물플랑크톤 군집 동태. 이학석사학위논문. 한양대학교. 55pp.
- 강성윤, 김두홍, 이우범, 주현수, 이제철, 박종천, 1999. 강진만 생태계의 환경요인 분석. 한국환경생물학회지, 17 : 521-527.
- 김말남, 임아현, 이진환, 김종만, 2004. 통영 바다목장 해역의 종속영양세균의 계절적 변화. Korean J. Environ. Biol. 22(1) : 75-82.
- 김범수, 2001. 한반도 주변 연안 표층퇴적물의 중금속 오염 평가. 서울대학교 박사학위논문.
- 김상진, 이건형, 1998. 해양미생물학. 동화기술.
- 김용익, 1981. 韓國沿近海 魚卵·稚仔 圖鑑, 부산수산대학교 해양과학연구소. 109pp.
- 김용익·김용문·김영섭, 1994. 한국근해 유용어류도감, 국립수산진흥원. 299pp.
- 김용익·명정구·김영섭·한경호·강충배·김진구, 2001. 한국해산어류도감, 한글. 382pp.
- 바다사랑실천운동시민연합, 2004. 통영 바다목장 환경호르몬 조사보고서.
- 박경준, 장창익, 김장근, 손호선, 2002. 한국 서해 상괭이(*Neophocaena phocaenoides*)의 먹이 습성과 영양단계. 한국수산자원학회지, 5 : 52-63.
- 박종천, 이우범, 주현수, 1998. 광양만 생태계의 미생물집에 관한 환경요인 분석. 한국환경생물학회지, 16 : 143-150.
- 박주석, 1980. 한국 남해안의 식물성 Plankton의 출현량 및 조성과 이들이 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 국립수산진흥원 연구보고, 23 : 6-92.
- 빙선혜, 이성욱, 황순진, 오인혜, 2002. 대청호에서 계절에 따른 세균 군집 및 환경요인의 변화, 한국육수학회지, 35(2) : 71-78.
- 심재형, 신윤근, 여환구, 1991. 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집 구조. 한국해양학회지, 26 : 155-168.

- 심재형, 이원호, 1979. 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여. 한국해양학회지, 14 : 6-14.
- 유광일, 이진환, 1982. 고리 원자력발전소 주변해역의 부유성 규조류에 대하여. 한국해양 연구원보, 4 : 53-62.
- 유종생, 1976. 원색한국패류도감. 일지사. 서울. 196pp.
- 윤양호, 1999. 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성. 한국환경생물학회지 17 : 481-492.
- 윤양호, 노홍길, 김영기, 1992. 제주 북방, 함덕연안 해역에 있어서 식물플랑크톤군집의 계절 변동 특성. 제주대학교 해양연보, 16 : 27-42.
- 이건형, 1987. 금강하구 퇴적토에서의 종속영양세균의 분포에 미치는 환경요인과 우점속에 대하여. 미생물학회지, 25 : 137-143.
- 이기성, 고동규, 김근호, 이영근, 최정일, 최영길, 1999. 동해 연안역의 박테리아 생산력과 유기물질의 분해능. 환경생물학회지, 17 : 59-69.
- 이다미, 1990. 군산 인근 해역에서의 종속영양세균의 분포와 계절적 특성에 관한 연구. 석사학위논문. 군산대학. p.61
- 이동섭. 1999. 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성. 한국해양학회지 4: 371-382.
- 이용혁, 양재삼, 1997. 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속관측. 한국해양학회지(바다), 2 : 1-7.
- 이진환, 1992. 인천항 선거내의 생물군집의 구조와 에너지 흐름에 대한 생태학적 연구. 한국과학재단 890506-02. 372 pp.
- 이진환, 변정신, 1991. 인천항 선거내의 식물플랑크톤 규조류의 주년동태에 대하여. 한국조류학회지, 6 : 69-82.
- 이진환, 윤수미, 2000. 여자만의 수질과 식물플랑크톤 군집. 한국조류학회지, 15 : 89-98.
- 이진환, 이은호, 1997. 화력발전소(보령·서천) 주변해역에서 식물플랑크톤군집의 계절적 변동. 한국조류학회지, 12 : 105-115.
- 이진환, 이은호, 1999. 득량만 수질과 식물플랑크톤 적조. 환경생물학회지, 17 : 271-278.
- 이진환, 한명수, 허형택, 1981. 진해만의 적조원인 생물에 관한 연구. 해양연구소보, 3 : 97-105.
- 이진환, 허형택, 1983. 득량만에 있어서 식물플랑크톤과 적조발생에 관한 연구. 한국해양 연구원보, 5 : 21-26.
- 장 만, 심재형, 1986. 춘추 서해의 식물플랑크톤 연구. 해양연구소보, 8 : 1-11.
- 장창익, 박경준, 김장근, 손호선, 2004. 상괭이의 분포와 풍도. 한국수산학회지, 37(2) : 129-136.
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, 서울 727pp.
- 정승원, 2001. 통영해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 이학석사학위논문.

- 상명대학교. 85pp.
- 정영호, 이 경, 1977. 인천항 선거내 식물성 플랑크톤의 추계 동태에 대하여. 한국식물학회지, 20 : 135-140.
- 제종길, 1989. 한국산 연체동물의 우리말 이름. 한국패류학회지, 별권 제1호 : 1-91.
- 제종길, 장창익, 이수형, 1990. 한국산 홍합속(Mytilus)(홍합과: 이매패강) 3종의 향태 특성과 분포. 한국패류학회지, 6 : 22-32.
- 조기안, 위인선, 최칭일. 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물학회지, 12 : 137-150.
- 조영길, 이창복, 최만식, 1994. 남해 대륙붕 표층 퇴적물 중 중금속 중금속의 분포 특성. 한국해양학회지, 29(4) : 338-356.
- 조현서 · 유영석 · 이규형, 1994. 가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동특성. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 3, 21~33.
- 최민순, 심현빈, 정경민, 2000. 군산 내만의 해양수에서 분리되는 세균의 분포. 한국어병학회지, 13(1) : 67-73
- 최종덕, 정우건, 2001. 통영항 해수의 세균학적 및 이화학적 수질. J. Korean Fish. Soc., 34(6) : 611-616.
- 한경호, 1999. 여수 가막만연안에 출현한 부유성 난 및 자치어 분포. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 8, 111~119.
- 한국동물분류학회, 1997. 한국동물명집(곤충제외). 한국동물분류학회 편, 489pp.
- 한국해양연구소, 1980. 가로림만의 유용 및 미이용 생물자원 개발에 관한 연구. 한국과학기술원 부설 해양개발연구소, BSPE 00025-44-3. 206p.
- 한국해양연구소, 1990. 연안환경 보전기술 개발연구. BSPG 00112-315-4.
- 한국해양연구소, 1998. '98 통영해역의 바다목장 연구개발용역사업 보고서, 해양수산부, BSPM 98005-01-1116-3 980pp.
- 한국해양연구소, 1999. '99 통영해역의 바다목장화 개발 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 99021-00-1203-3. 902pp.
- 한국해양연구소, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 00065-00-1284-3. 775pp.
- 한국해양연구소, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 00065-00-1284-3. 829pp.
- 한국해양연구원, 1997. 해양목장화를 위한 기반연구-해양생태계 관리모델과 자원첨가 기술 개발. 한국해양연구원, BSPE97602-00-1073-3. 361pp.
- 한국해양연구원, 1998. '98 통영해역의 바다목장 연구개발용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM98005-01-1116-3. 980pp.

- 한국해양연구원, 1999. '99 통영해역의 바다목장화 개발 용역 사업 보고서. 해양수산부, BSPM99021-00-1203-3. 902pp.
- 한국해양연구원, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업 보고서. 해양수산부, BSPM00065-00-1284-3. 829pp.
- 한국해양연구원, 2001. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 114-00-1424-7. 750pp.
- 한국해양연구원, 2001. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 114-00-1424-7. 756pp.
- 한국해양연구원, 2002. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업 보고서. 해양수산부, BSPM114-00-1424-7. 783pp.
- 한국해양연구원, 2002. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, 783pp.
- 한국해양연구원, 2002a. 녹산하수처리장 방류관거 공사에 따른 어업피해조사 용역. BSPI 323-00-1501-3.
- 한국해양연구원, 2002b. 남해 어패류 우량화를 위한 생태환경조서 기반기술연구. BSPG 337-00-1447-3.
- 한국해양연구원, 2003. 남해 어패류 우량화를 위한 생태환경조서 기반기술연구. BSPG 361-00-1552-7.
- 한국해양연구원, 2003. 새만금 해양환경보전대책을 위한 조사연구(3차년도). BSPM 26003-1686-4.
- 한국해양연구원, 2003. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM 236-00-1616-3. 1126pp.
- 한국해양연구원, 2003. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, BSPM175-00-1532-3. 708pp.
- 한국해양연구원, 2004. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부. 1,125pp.
- 한국해양연구원, 2005. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부. 575pp.
- 황학진, 최중기, 1993. 황해 중동부 해역 동물플랑크톤의 계절적 분포 특성. 한국해양학회 지, 28(1): 24-34.

제 3 장 어장 조성 기술

제 1 절 해저지형

제 2 절 인공어초

제 3 절 요약 및 결론

참고문헌

제 3 장 어장 조성 기술

제 1 절 해저지형

1. 서론

바다목장화 조성을 위한 대부분의 해양환경요소는 해저지형 및 해저저질 특성을 매개로 변화하므로 해양환경요소의 변화양상을 측정, 분석 혹은 예측을 위한 모델링을 위해서는 일차적으로 정밀한 해저지형 자료의 확보 및 저질특성분포 자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 바다목장 조성사업에 필요한 대상 해역의 해양환경의 시·공간적 변동특성을 파악하고, 수질환경과 퇴적물 환경을 정량적으로 파악하기 위해서 바다목장 조성사업 대상해역을 중심으로 일련의 조사를 실시하여 비교 분석하였다. 바다목장화 조성을 위한 선행연구 및 후속관리를 위해서는 어장조성시설 타당성 검토를 비롯해서 대상해역의 저서생태, 생물생산력, 해수순환, 부유물이동, 해저퇴적물 및 해수의 오염원과 그 이동경로 파악, 어장조성 전후 해양환경변화 등 다중 환경요소에 대한 정밀한 조사와 장기적인 예측지수를 개발하는 것이 필요하다. 대부분의 해양환경요소는 해저지형을 매개로 변화하며 환경요소의 변화양상을 측정, 분석 혹은 예측 모델링을 위해서는 일차적 전제가 해저지형 및 해저저질 특성자료일 것이다. 해저지형의 중요성은 어장 조성전에 모든 어장의 설계와 배치에서 뿐만 아니라 해양에서 필연적으로 수반되는 해저의 변형에 대한 어장조건의 변화를 모니터링하는데도 매우 중요한 요소로 작용할 것이다. 그러므로 가능한 한 해저지형 자료는 보다 정밀하게 구축하고 맵핑하는 것이 필요하며 더불어 디지털 자료구축을 통하여 다른 환경요소와의 통합활용을 위한 자료로서 제공되어야만 할 것이다. 또한 해양 퇴적물은 수계내에서 입자들의 이동결과 뿐만 아니라 생물학적 요인에 의한 생산력변화 등과 같은 여러 기록들을 종합적으로 보유하고 있다고 할 수 있다. 그러므로 저질 퇴적물의 특성은 궁극적으로 퇴적물 형성과 결부된 퇴적환경을 지시하고 있으며, 퇴적환경을 둘러싼 여러 환경요인은 다시 어류를 포함한 모든 생물의 성장에 중요한 영향을 미친다. 따라서 동식물의 안식처로서 저질환경 변화를 초래하는 여러 요인들의 변화를 밝히고 그 원인분석을 하는 것은 바다목장화 지역의 퇴적환경을 규명하는 관점에서 대단히 중요한 연구라 할 수 있다. 일반적으로 저질환경은 지화학적, 생물학적, 물리학적 세 요소와 밀접하게 관계되지만, 지질학적, 퇴적학적 관점에서 어류의 서식과 밀접히 관계되는 것은 퇴적물의 조성이라 할 수 있다. 그 외에는 퇴적물의 조성파 저질환경에 영향을 미치는 퇴적물중의 유기물함량, 황화수소 함량, 퇴적물의 공급과 관계되는 부유물질의 함량, 퇴적물중의 중금속 농도 등을 들 수 있다. 상기와 같은 점을 고려하여 본 연구과제는 통

영 바다 목장화 해역의 일반적인 해양 지질학적 저질 특성과 저질 특성을 지배하는 여러 퇴적학적, 지화학적 인자를 조사하여 저질의 퇴적학적, 지화학적 환경을 고찰하고자 한다. 금번 연구의 대상지역은 통영 바다목장 조성 예정지 중 미륵도-곤리도-만지도해역에 대하여 정밀해저지형조사 및 저질특성분석을 위한 퇴적물 샘플을 채취하였다(그림 3-1-1). 또한 바다목장화해역이 대부분 육지에 연해 있으므로 해저지형환경은 육지와 밀접하게 연계되며, 이에 따라서 육지와 해양을 통합하는 지형자료가 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 통영 바다목장화해역 내 육상수치지도를 분석하고 디지털화 하였으며 해저지형과 결합하여 등수심도 및 3차원 지형분포도를 작성하였고 해도자료 및 기존 등수심자료와의 비교분석도 실시하였다. 또한 해저면 상태 및 저질 특성 분석을 위하여 퇴적물채취샘플을 분석하여 입도분포, 퇴적상 및 지화학적 특성분석도 실시하였다.

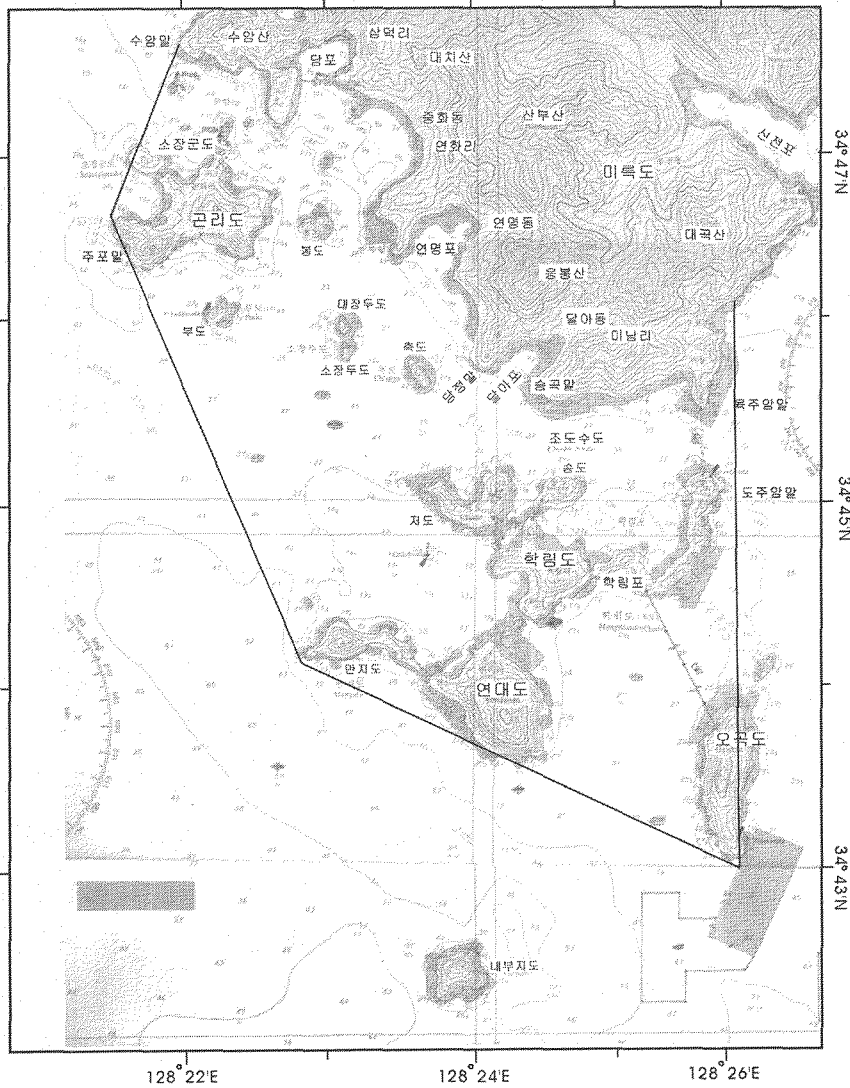


그림 3-1-1. 통영 바다목장화 해역도.

2. 재료 및 방법

가. 해저지형도 작성

(1) 기존자료 처리 및 자료 통합

통영 바다 목장화 예정지역의 해저지형자료 구축 및 해저지형분포도 작성에 활용 가능한 수심자료로는 해도의 수심자료(그림 3-1-2)와 바다목장화 사업과 관련하여 기존 조사시 획득한 자료로 만들어진 등수심도(그림 3-1-3)이다. 2003년도에는 일차적으로 연구지역내 해도상에 표기된 777개 지점 수심자료를 모두 수치화하여 컴퓨터에 입력 처리하였다. 우선은 해도에서 수심표시 지점의 위치와 수심을 디지털이저를 통해서 독취한 후 컴퓨터에 수록하고 일반 직각좌표계에서 WGS-84 좌표계로 변환하였다. 해도의 수심자료는 그림 2-1-2에서 보는 바와 같이 수심변화가 많은 육지주변 해역과 도서사이에서는 60-150 m 간격, 수심변화가 적은 외해지역에서는 400-600 m 간격으로 기재되어 있다. 수치화에 사용된 해도는 1992년 국립해양조사원에서 발행한 축척 1 : 30,000의 죽림포 및 통영해만 부근 도엽(도엽번호 208)이다.

해도자료 이외에 사용된 수심자료로는 1996년 한국해양연구소가 현장조사를 통하여 수작업으로 제작한 등수심도이며 축척은 1 : 10,000이고 등수심선의 간격은 약 2 m 간격으로되어 있다(그림 3-1-3). 이 자료는 통영 바다목장 예정지역을 부분적으로 포함하고 있으며 수치화를 통하여 해도자료와 통합하였다. 이 등수심도는 디지털이저를 이용하여 수치화 하였으며 등수심도의 TM 좌표계는 WGS-84 좌표계로 변환하였다.

바다목장화해역이 육지에 연해있으므로 해저지형환경은 육지지형과 밀접하게 연관되며 이에 따른 육지와 해저지형 자료를 연계 분석하는 것이 필요하다. 해저지형과 인근의 육지지형의 연속성을 파악하고 양 영역의 자료를 통합 분석하기 위하여 수치지형도를 활용한 육지지형 수치화 작업을 실시하였다. 일반적으로 도면화된 지형도와 달리 수치지도는 자료처리를 통하여 위치와 고도를 수치화할 수 있다. 육지지역의 고도값은 그림 2-4에서와 같은 1 : 25,000 수치지형도에서 추출하였다. 이 자료처리를 위해서 GIS 프로그램을 사용하였으며 5개의 수치지형도를 통합하여 사용하였다. 수치지형도의 TM 좌표계는 해저지형자료와의 통합처리를 위하여 WGS-84 좌표계로 변환하였으며 본 연구지역에 사용한 수치고도자료는 89322개이다.

이상과 같이 연구지역에서 활용 가능한 해저 및 육지의 고도자료를 일차적으로 각각 처리한 후 통합하였다. 육지 및 해저지형자료는 다각적인 해저지형 분석에 도움을 주기 위하여 2 차원 등고선도 및 3 차원 입체지형도 등 다양한 방법으로 표현하였다.

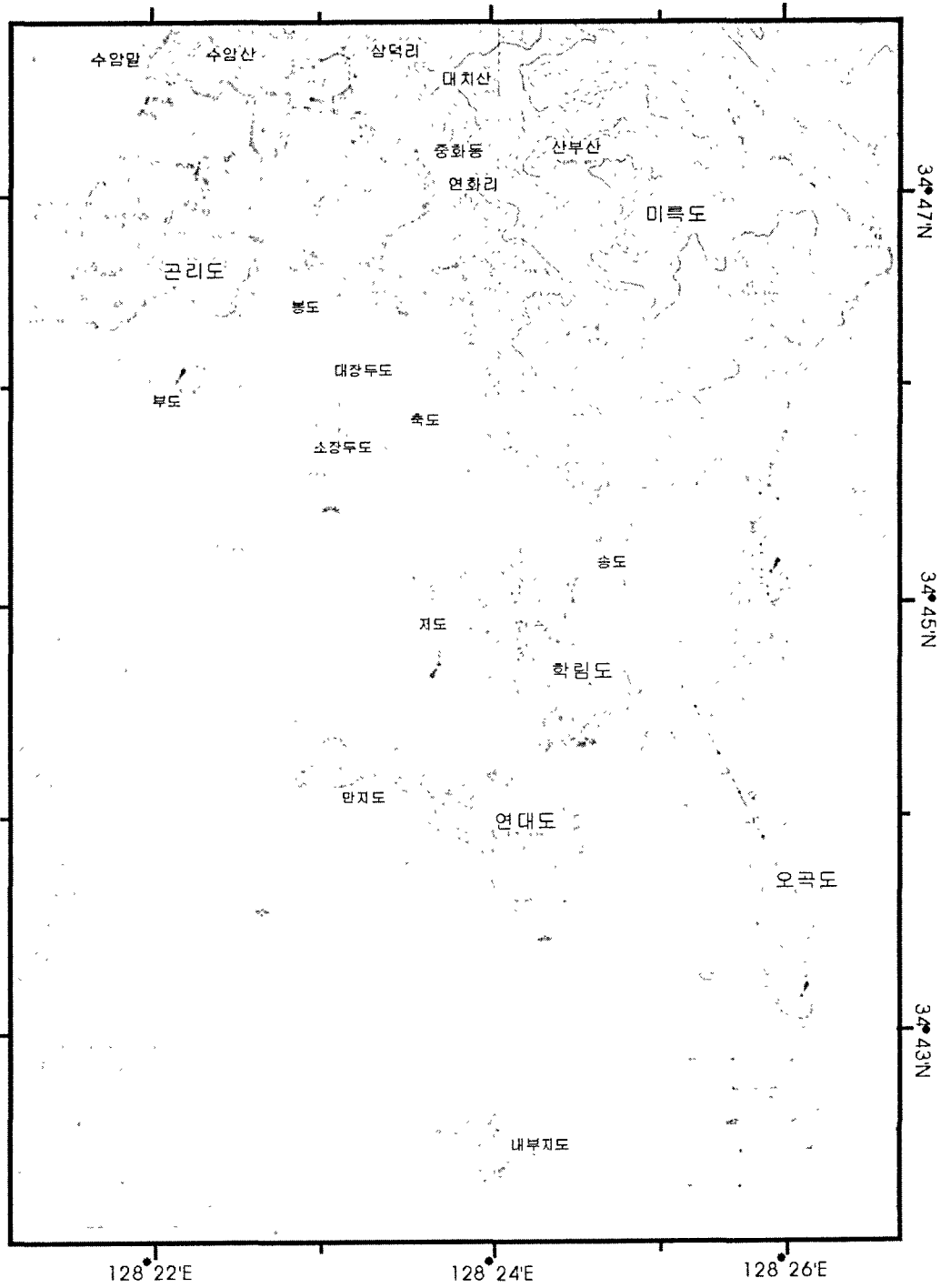


그림 3-1-2. 디지털이징한 해도 예.

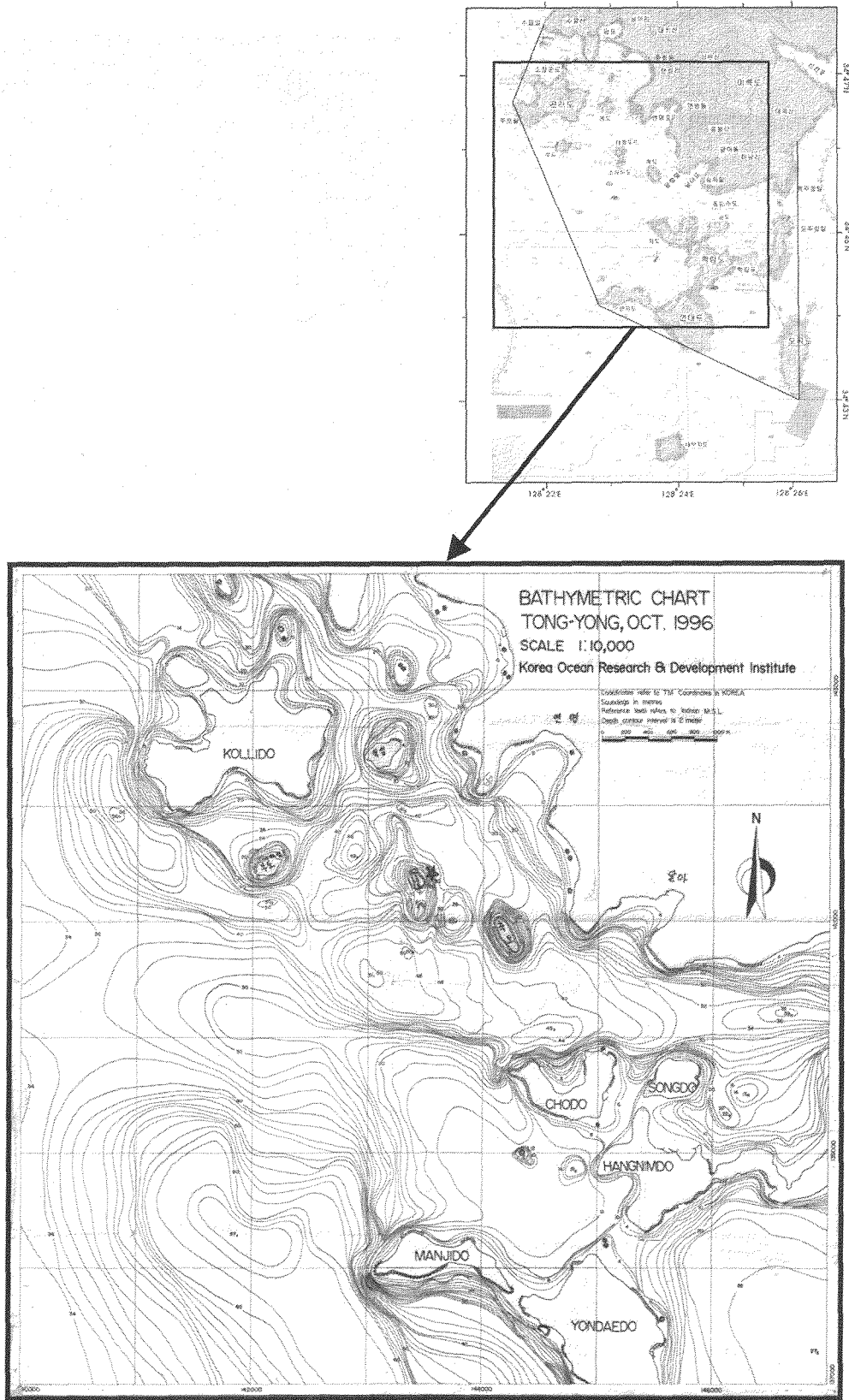


그림 3-1-3. 1996년 한국해양연구원에서 작성한 통영지역의 등수심도.

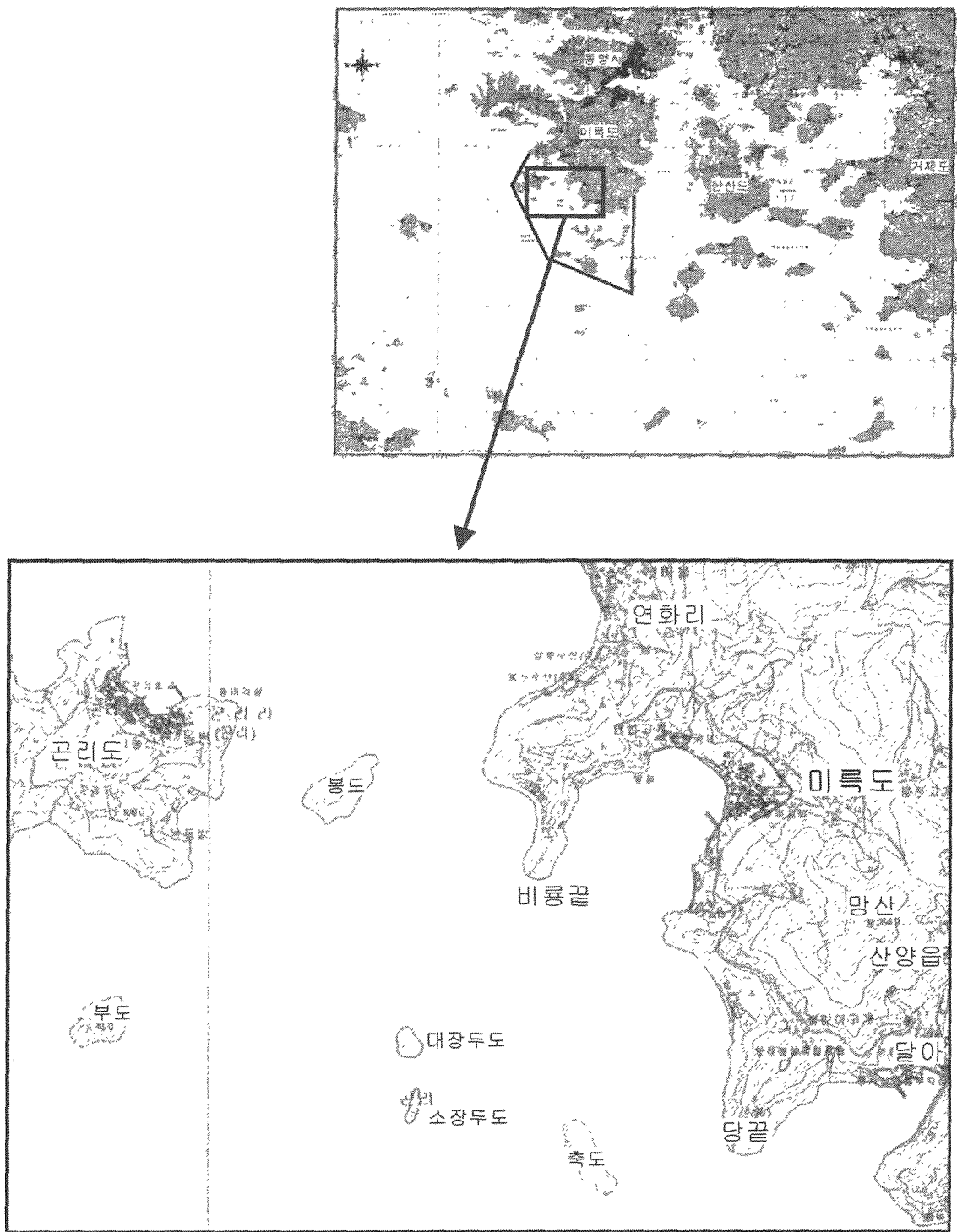


그림 3-1-4. 육지등고선 추출을 위한 수치지형도 예.

(2) 현장조사

(가) 조사개요

2005년도에는 통영 바다목장화 해역 중 미륵도-곤리도-만지도해역을 중심으로 해저지형 및 저질특성조사를 실시하였다(그림 3-1-5). 2005년 9월 24일에서 25일까지는 그랩 채취기를 이용한 퇴적물 시료를 채취하였고 수심조사는 다중빔 음향측심기를 이용하여 2005년 9월 30일에서 10월 4일까지 실시하였다. 해양조사시 조사선 위치추정을 위하여 DGPS 및 항해관리시스템을 동시에 설치하여 운영하였다.

다중빔 수심 측량은 수심이 얇고 변화가 심한 지역을 중심으로는 약 30 m 간격에서 부터 수심이 깊고 변화가 적은 지역으로 가면서 70 m 간격까지 넓히며 조사를 실시하였다(그림 3-1-6).

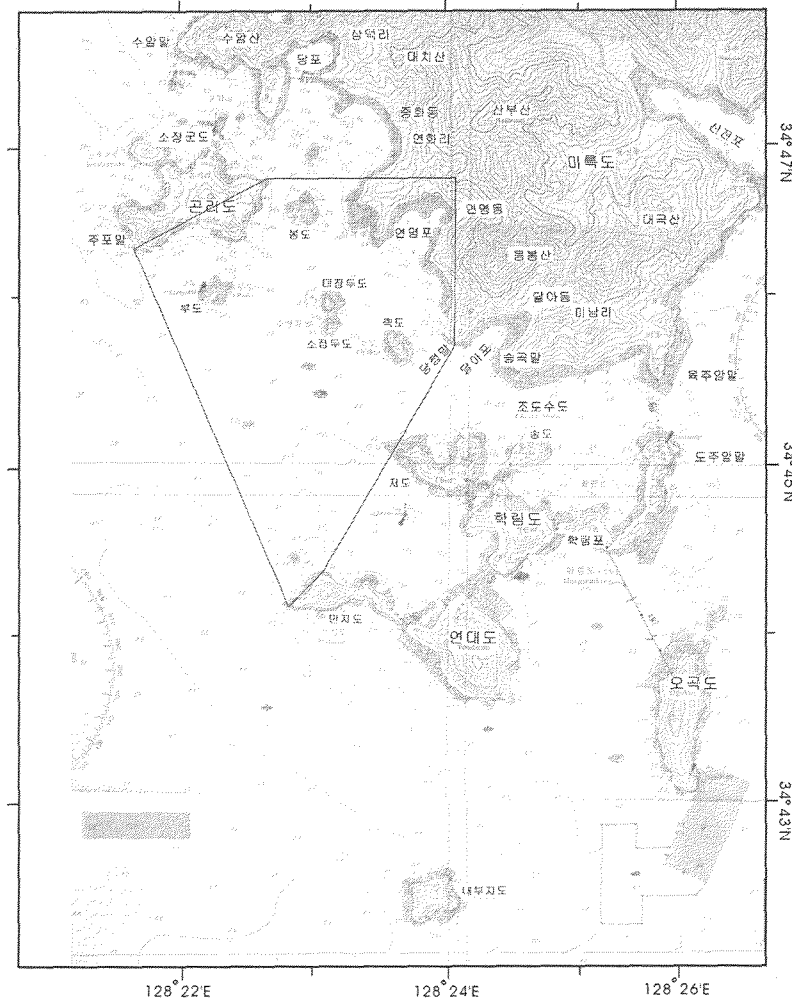


그림 3-1-5. 통영 바다목장화 해역 조사구역도(2005년).

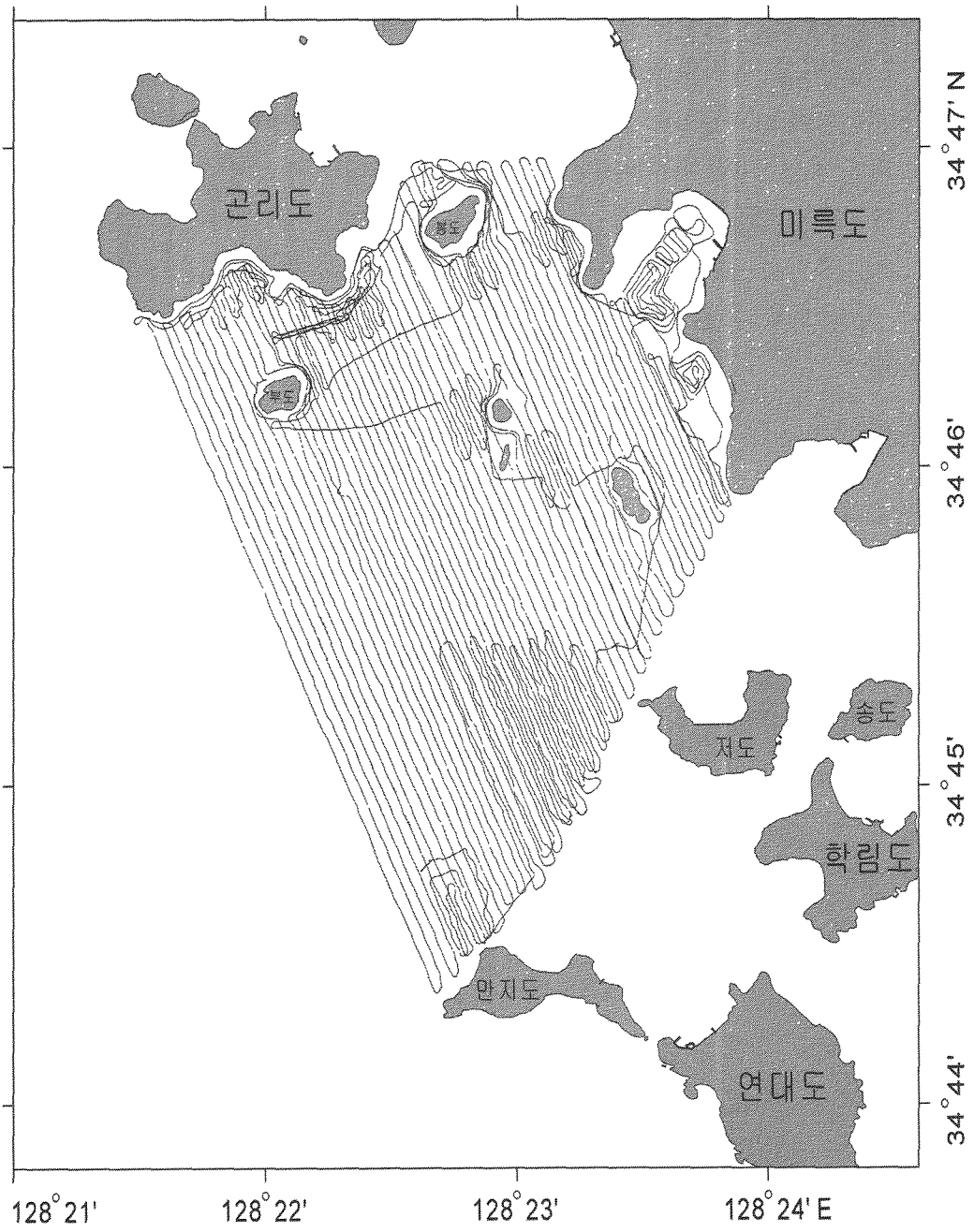


그림 3-1-6. 정밀해저지형조사 측선도.

(나) 해상위치관측

① 위치측정시스템 개요

알고 있는 고정지점의 좌표값과 GPS 에서 관측되는 좌표값의 차이를 연속적으로 보정해 주는 시스템이 DGPS 이다. 일반적으로 한 대의 GPS만으로 한 지점에서 연속적으로 수신된 위치자료를 수신하는 경우 동일한 지점임에도 불구하고 관측값이 일정하지 않고 현위치를 중심으로 분산되어 분포하며 그 오차가 최대 250 m까지로 알려져 있는데 DGPS 시스템을 이용하면 오차를 30 cm 이내로 줄일 수 있다.

DGPS 시스템의 구성요소는 기준국(RS: Reference Station), 중앙관리소(CS: Control Station), 이용범위감시국(CMS: Coverage Monitor Station), 통신망(Communication Network)으로 구성되어있다. 기준국(RS)은 추적 가능한 모든 위성의 의사거리 보정치 등을 계산하여 송신장치(중파송신기, 안테나 등)를 통해 방송하고, 또한 IM(Integrity Monitor)을 이용하여 DGPS 보정데이터가 한계치를 벗어날 경우 메시지를 중앙관리소에 전달하는 역할을 한다. 중앙관리소(CS)는 기준국, 송신국(MSK Station), 감시국의 운영 상태를 원격 감시 및 통제한다. 이용범위감시국(CMS)은 해당기준국으로부터 일정거리 떨어진 지점에서 신호전계강도, SNR등을 측정하고, 통신망으로는 기준국(송신장치포함), 감시국과 중앙관리소간 전용회선 또는 공중전화망(PSTN)을 이용한다.

우리나라에는 해양수산부 DGPS시스템과 한전 DGPS시스템이 있는데, 해양수산부에서 운영하고 있는 DGPS시스템은 서해안의 팔미도, 어청도, 동해안의 장기곶 등이며 해안전역을 포괄할 수 있도록 총 8개의 기준국과 8개의 원격 감시국이 설치되었다. 또한 대전에는 기준국과 원격 감시국을 감시하고 원격 제어하는 중앙 관제센터가 설치되어 운영되고 있다. 한전의 DGPS기준국은 1998년 봄에 전국 4곳의 전력소에 설치되었고, 위치는 성남, 제천, 남원, 대구에 위치하고 있으며, 제천 데이터는 무상공개중이다.

② 연구선 위치 관측

해상조사시 연구선의 위치를 측정하고 계획된 측선으로 유도하기 위하여 Trimble사에서 만든 DGPS(Pro-XR)를 이용하였고 항해유도 프로그램이 내장된 컴퓨터를 연결하여 사용하였다(그림 2-7). 이 시스템은 계획된 측선을 모니터에 띄워주게 되어 있으며 연구선은 표시된 항적을 따라 운항할 수 있다. 보정된 정밀위치 자료는 일 초 단위 시간간격으로 수신되어 DGPS 운영컴퓨터에 입력된다(그림 3-1-8).

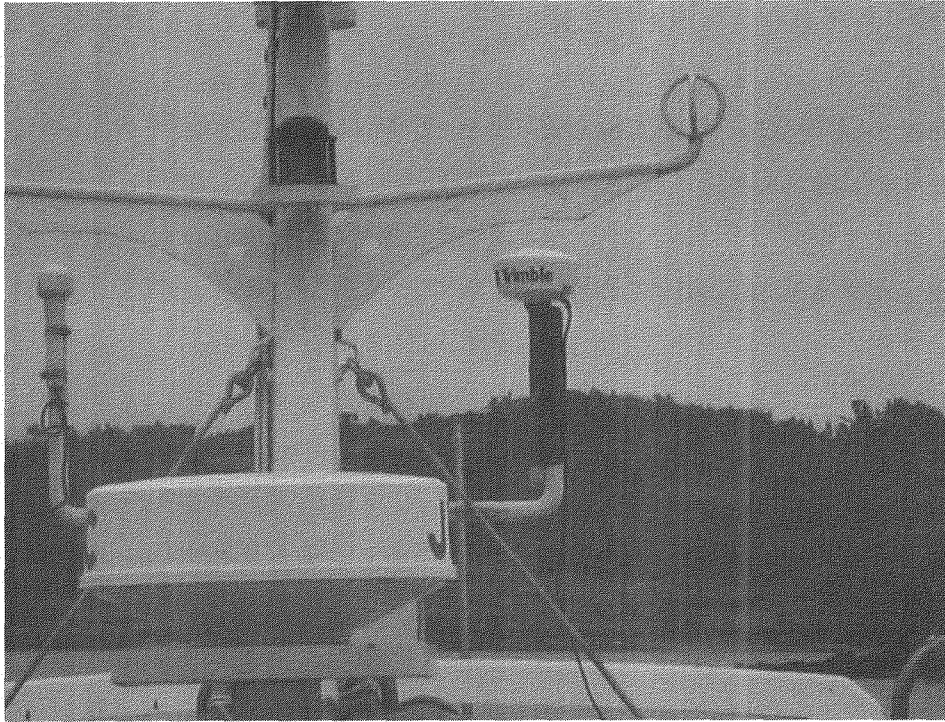


그림 3-1-7. Trimble DGPS 안테나.

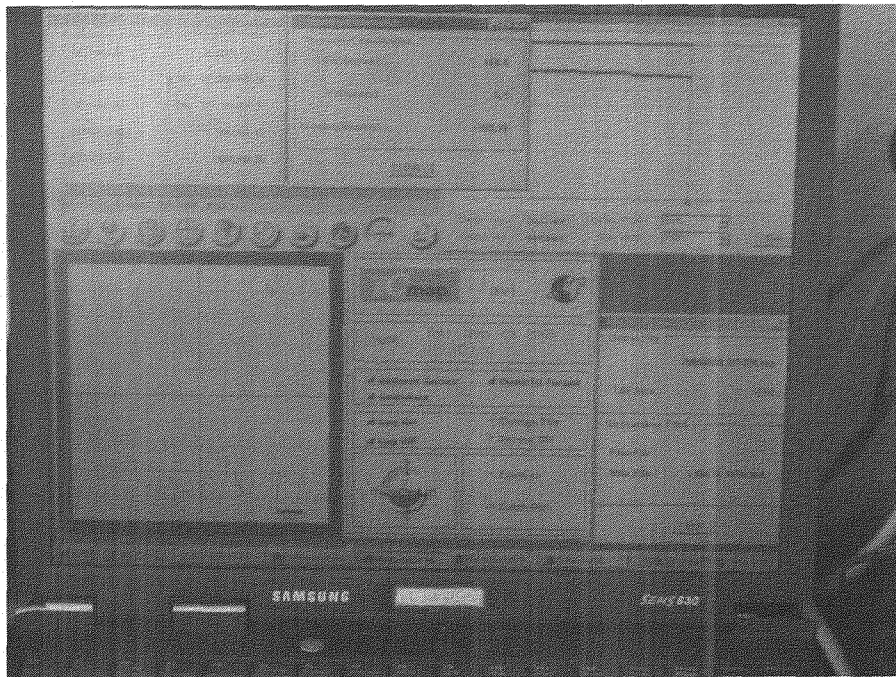


그림 3-1-8. DGPS 운영 및 항해관리 컴퓨터.

(다) 다중빔(multi-beam) 수심측량

연구선에 수직방향으로 해저면에 주사(swath)하여, 송수신 1회당 60개의 수신 채널을 이용하고 측심을 동시에 얻을 수 있으며 수심오차 5~8 cm의 정밀도와 해상도가 탁월한 455 kHz 대역의 다중빔 음향 측심기(multi-beam Echo-Sounder)인 Seabat 9001를 사용하여 해상정밀지형조사를 수행하였다. 측심자료는 실시간으로 위치 좌표 값과 함께 자동으로 다중빔 획득 및 처리 프로그램인 HYPACK에 입력되도록 하였다.

이 다중빔 음향측심기는 연구선의 운동을 감지할 수 있는 모션(motion) 센서(TSS, model DMS10)와 정확한 위치 선정을 위한 DGPS(Trimble, DSM212), 방위 측정기인 자이로 센서(KVH, model GyroTrac) 및 수심을 측정을 위해 음원을 발사하고 수신하는 트랜스듀서(transducer)(Reson, Seabat 9001)로 구성되어 있다(그림 3-1-9).

이 다중빔 정밀 음향 측심기는 다중빔을 이용하여 수심의 10-15배에 해당하는 지형을 동시에 그리고 세밀하게 관측할 수 있다. 다중빔 음향측심 시스템은 위치자료의 운용, 음파 신호의 제어, 센서로부터 수신된 히브, 롤, 피치 정보와 음속정보의 실시간 처리를 통해 현장자료를 취득한다. 이렇게 획득된 자료는 정확도와 신뢰도를 높이기 위해 항해 자료 보정, 음속 보정, 빔 좌표 계산과 분리, 오측심 자료 제거, 조석 보정 등의 후처리 과정을 거치게 된다. 표 3-1-1은 다중빔 음향측심에 사용된 주요 장비들의 제원을 나타낸다.

음파가 연구선의 선수방향에 수직방향으로 해저면에서 반사되는 지점을 정확하게 측정해야 하므로 연구선의 정확한 위치결정 뿐 아니라 연구선의 선수 방향에 대한 정밀한 관측이 필수적이다. 자이로 센서는 자이로 스코프의 특성과 지구회전운동, 아울러 중력 상호 작용에 의해 지구의 자전극의 방향을 알 수 있는 장비로 자이로를 선체에 고정하면 자전극에 대한 정확한 선수 방향을 알 수 있다. 이를 위하여 조사시 자이로를 이용하여 매순간 변화하는 선수 방향을 계측한 후 통합 측위 시스템에 입력하여 정확한 해상위치를 결정하였다. 정밀한 자료를 획득하기 위해서는 연구선의 수평위치 보정이 반드시 선행되어야 한다. 연구선의 수평위치를 보정하기 위해서는 Roll, Heave, Pitch 등의 선박의 움직임을 관측해야 하는데 영국의 TSS사 모션센서 관측을 통해 선박의 움직임을 관측하고 보정을 실시하였다.

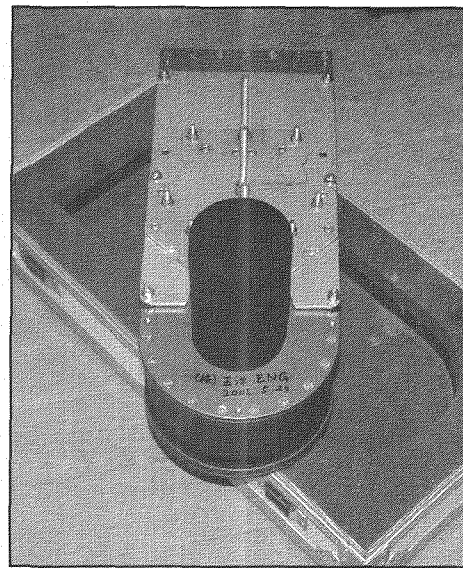


그림 3-1-9. Seabat 9001 다중빔 음향측심기. Seabat 9001 프로세서(좌)와 다중빔 센서(우).

표 3-1-1. 다중빔 음향 측심에 사용된 주요 장비 제원

장비명	제작사	모델명
DGPS	Trimble	DSM-212H
Sound Velocity Profiler	Applied Microsystems	SV & P Smart
Multi-beam Echo-Sounder	Reson	Seabat 9001(455 KHz)
Gyro Compass	KVH	GyroTrac
Motion senser	TSS사	TSS DMS10

다중빔 음향 측심 자료는 특정주파수(455 kHz)의 음파를 발생시켜, 수신기로 되돌아 올 때까지의 시간 및 음속의 전달 속도를 이용하여 특정지점의 수심으로 계산하는 원리를 이용한다. 따라서 해양에서 음파를 이용한 측심 조사시 수온, 염분, 압력에 따라 변화되는 음속의 정밀한 관측이 반드시 요구된다. 해수에서 음파 속도를 V , 음파가 되돌아오는데 걸리는 왕복거리를 D , 시간을 t 라고 할 때, 수심 d 는 다음과 같다.

$$d = \frac{V \times t}{2}$$

다중빔 음향 측심 시스템은 정밀한 수평위치 결과를 획득하기 위해 위성측위기 (DGPS), 자이로센서, 선박 거동센서, 수중음속측정기 등을 통합하여 운영한 후 다중빔 음향트랜스듀서에서 선수 방향에 직각으로 음파를 발생시켜 해저면에 반사되는 지점을 계측하게 된다. 음향트랜스듀서는 선박의 선수, 혹은 배 옆, 배 밑에 부착 될 수 있는데 본 조사시에는 배 옆에 부착하였다(그림 3-1-10). 송수파기의 사용주파수는 455 kHz이며, 최대 관측 가능한 수심은 100 m까지로, 수심에 따라 관측범위가 달라지는데 수심의 최대 3 배에 해당되는 해저면을 동시에 측량할 수 있다.

다중빔 정밀 음향 측심기에 의한 측심범위는 수심에 따라 결정되므로 사전에 대상해역의 기존 수심자료를 참조하였다. 그림 3-1-11는 다중빔 음향측심기의 본체 컴퓨터에서 나타내어지는 자료획득 장면이다.

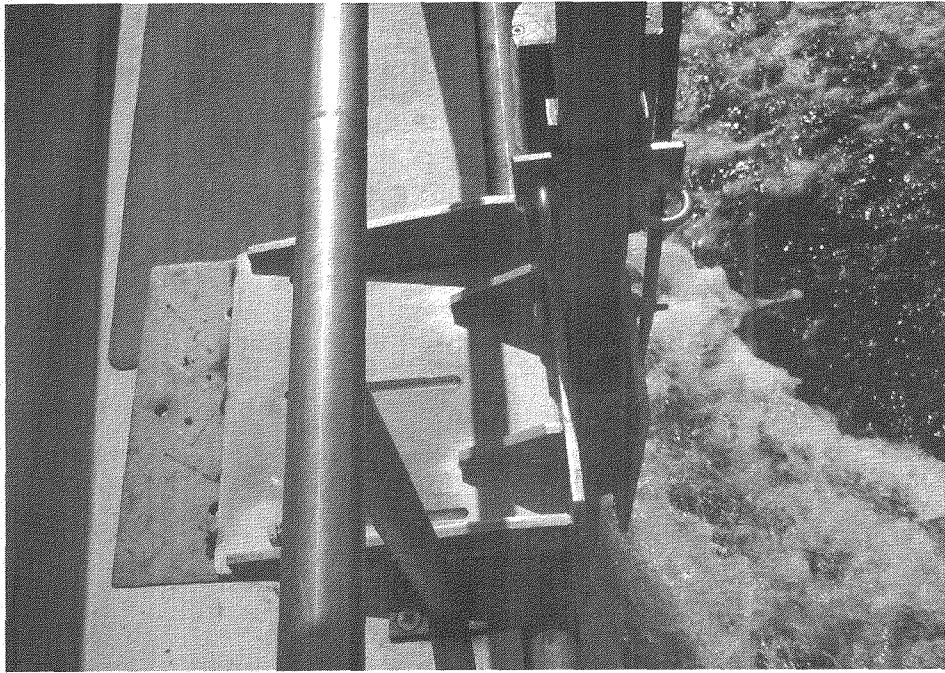


그림 3-1-10. 다중빔 음향트랜스듀서를 배 옆에 부착하여 예인하는 모습.

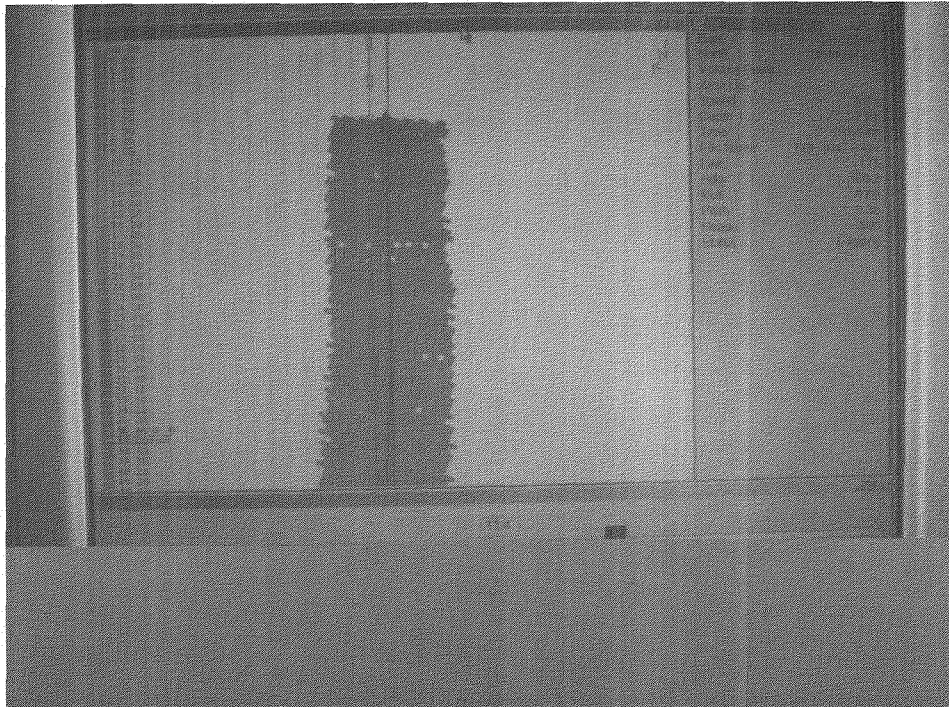


그림 3-1-11. 다중빔 음향자료 현장 실시간 자료획득 모습.

(2) 자료처리

(가) 위치와 다중빔 수심자료처리

DGPS 자료는 해상조사 시 노트북 컴퓨터에 1초 간격으로 수신된다. DGPS 자료는 자체 프로그램을 이용하여 도(°)단위로 환산하여 사용하였으며, 다중빔 본체 컴퓨터에도 자동 기록되어 다중빔의 위치환산을 가능하도록 하여 준다.

다중빔 자료에 대한 조석보정은 국립해양조사원의 통영지역 조석표를 사용하여 보정하였다. 지형자료의 도면화를 위하여 음파의 송수신 위치는 동시 표현이 가능한 점장도법(Conformal Transverse Mercator)에 의한 Easting, Northing 값으로 변환한 후 이용하였다. 측심작업 시 취득된 데이터는 Hypack Max의 HSX 데이터 포맷으로 저장되고, 원데이터는 시간과 위치(좌표)와 Roll, Pitch, Heave가 보정된 수심, Heading 등의 정보가 포함된다. 자료처리는 Hypack의 MB Max Tool을 이용하여 잡음 필터, 조위경정, 음속보정, Patch Test 등의 후처리 작업을 통하여 최종수심 데이터를 만든다. 잡음제거를 위하여 다중빔 소나에서 얻은 60개의 측심값을 모아서 1개의 sweep 데이터를 이룬다. MB Max에서 100~200개의 sweep 데이터를 플롯하여 측심값을 살피고 잡음을 제거한다. 잡음제거 방법에는 잡음을 직접확인하고 제거하는 매뉴얼 방식과 측심값을 결정하는 파라미터를 입력하여 잡음을 걸러내는 필터링 방법이 있다(그림 3-1-12).

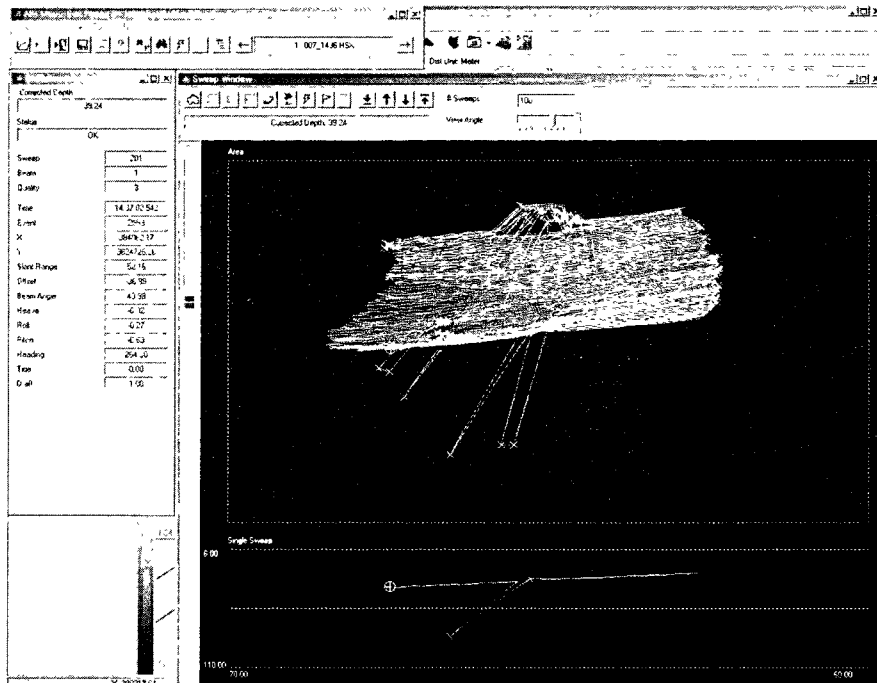


그림 3-1-12. MB Max에서 잡음제거. x표가 필터에서 확인된 잡음을 표시.

수중에서 수심별 음속 차이에 의하여 발생하는 측심오차를 보정하기 위하여 SV & P Smart Sensor를 사용하여 수심별 음속 값을 측정한다. 음속 측정은 측량조사 시작 전과 후에 2회 실시하여 수심 보정의 정확도를 높였다. 이 측정 자료를 Hypack에 입력하여 수심별 음속 차이에 의한 측심 오차를 보정한다(그림 3-1-13).

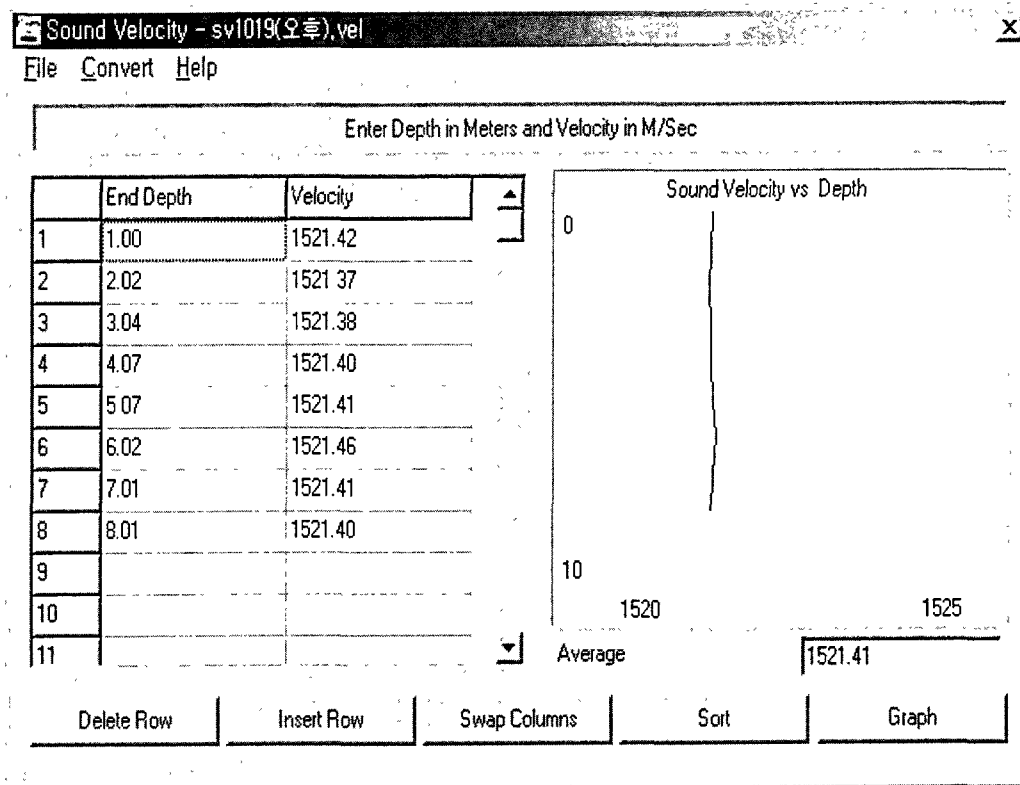
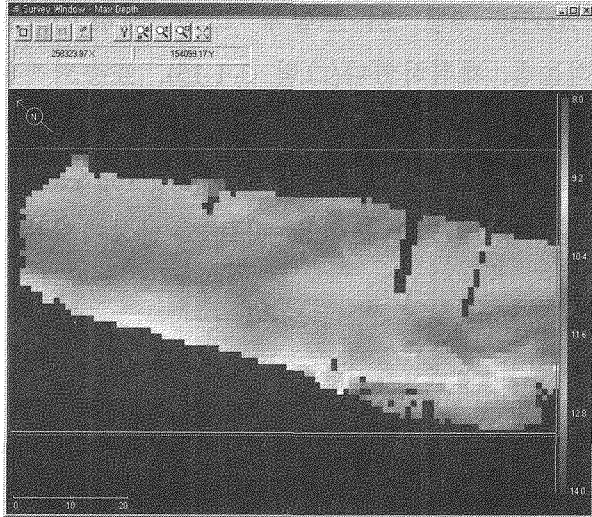
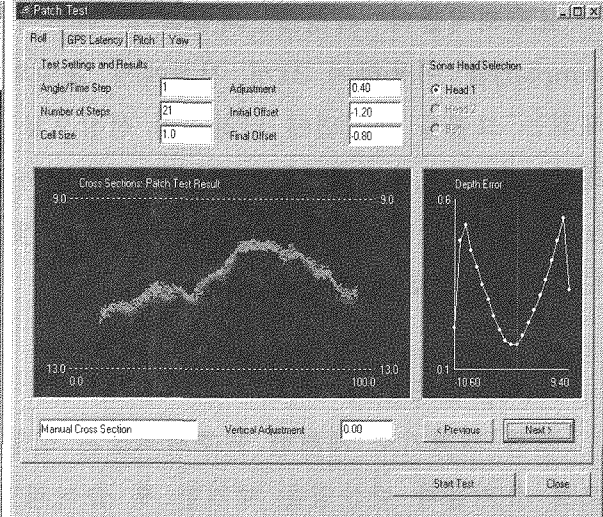


그림 3-1-13. Hypack 프로그램에서 음속자료 입력하는 모습.

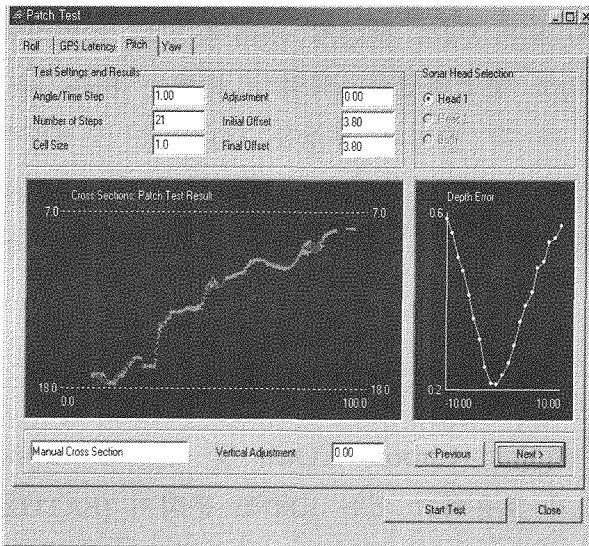
또한, 취득한 측심 값은 소나 헤드 설치시 틀어짐으로 인한 미세한 수심 오차를 갖는데 이를 보정하기 위하여 Patch Test를 수행한다. 현장 조사시 Patch Test를 위한 Sweep 데이터를 취득 후 Hypack 프로그램에서 소나 헤드의 Roll, Pitch, Yaw 방향에 대하여 세 번의 Test를 수행한다. Test 방법은 한 쌍의 Sweep 데이터에 대하여 소나 헤드의 방향각을 산술적으로 변화시키며 최소의 수심 오차에 대응하는 방향각을 구한다. 그 결과값은 취득한 전체 측심 데이터에 적용하여 측심값을 보정한다(그림 3-1-14).



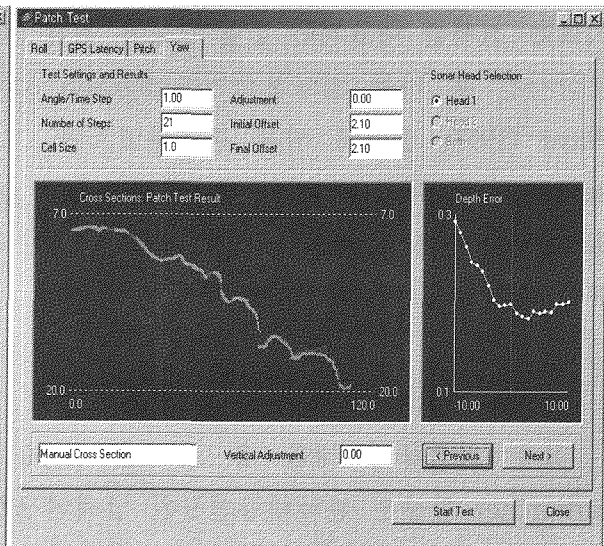
Patch Test



Roll Result



Pitch Result



Yaw Result

그림 3-1-14. Hypack 프로그램에서 Patch Test 보정 모습.

나. 해저퇴적물의 퇴적 환경과 지화학적 특성

(1) 표층 퇴적물

(가) 입도특성 및 분포

표층퇴적물의 특성을 파악하기 위하여 2005년 9월 24~25일에 그랩 채취기(grab sampler)를 이용하여 31개 지점에서 표층퇴적물을 채취하였다(그림 3-1-15). 표층퇴적물 채취는 그랩을 해저면에 낙하시켜 선상으로 끌어올린 후 교란이 없다고 판단되는 부분의 최상부층 시료봉지에 담아 실험실로 운반하여 분석하였다. 유기탄소 함량(organic carbon content), 탄산염 함량(carbonate content) 및 황화수소(H₂S) 분석용 시료는 선상에서부터 드라이아이스로 냉동보관 하였다.

(나) 입도분석

그랩 채취기로 채취한 표층퇴적물은 실험실로 옮긴 후 과산화수소(H₂O₂)와 염산(HCl)으로 유기물과 탄산염을 제거한 후 습식채질(wet sieving)에 의해 입경 4 Ø(62 µm)를 기준으로 조립질(coarse) 퇴적물과 세립질(fine) 퇴적물 입자를 구분하였다. 4 Ø 이하의 조립질 입자는 건식채질(dry sieving)에 의해 무게 백분율을 구하였고, 4 Ø 이상의 세립질 시료는 전체를 대표하는 2 g 정도를 취해 300 ml의 0.1% 확산제 용액에 넣고 균일하게 분산시킨 후 자동 입도분석기(Sedigraoh 5100)로 분석하였다. 퇴적상 분류는 Folk and Ward (1957) 방법에 의해 분류하였으며, 그 외 각 입도의 특성을 나타내는 조직변수(textural parameters)인 평균입도(mean grain size), 분급도(sorting or standard deviation), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis)는 통계처리 후 그 값을 계산하였다. 퇴적상 분류는 Folk and Ward (1957) 방법에 따랐다.

(다) 유기탄소 및 탄산염 함량

표층 퇴적물에 대한 총 유기탄소(total organic carbon; TOC) 및 탄산염(biogenic carbonate) 함량은 한국해양연구원 남해연구소가 보유하고 있는 CHNS 분석기(EA1112)를 이용하여 분석하였다.

실험실로 옮기고 잘 건조시킨 퇴적물을 곱게 분말화(powered)하여 다시 일정시간 건조시킨 후 수십 mg을 취해 총 탄소와 총 질소(total nitrogen)를 직접 측정하였다. 총 유기탄소(total organic carbon; TOC)는 동일한 시료에 대해 1 N의 약한 염산으로 무기탄소(inorganic carbon)을 제거한 후 같은 방법에 의해 분석하였다. 생물기원 탄산염 함량(biogenic carbonate content)은 TOC 분석이 끝난 후 이미 분석한 TC와의 함량차이에 의해 다음과 같은 방법으로 계산하였다.

$$\text{탄산염 함량(\%)} = [\text{TC(\%)} - \text{TOC(\%)}] \times 8.33$$

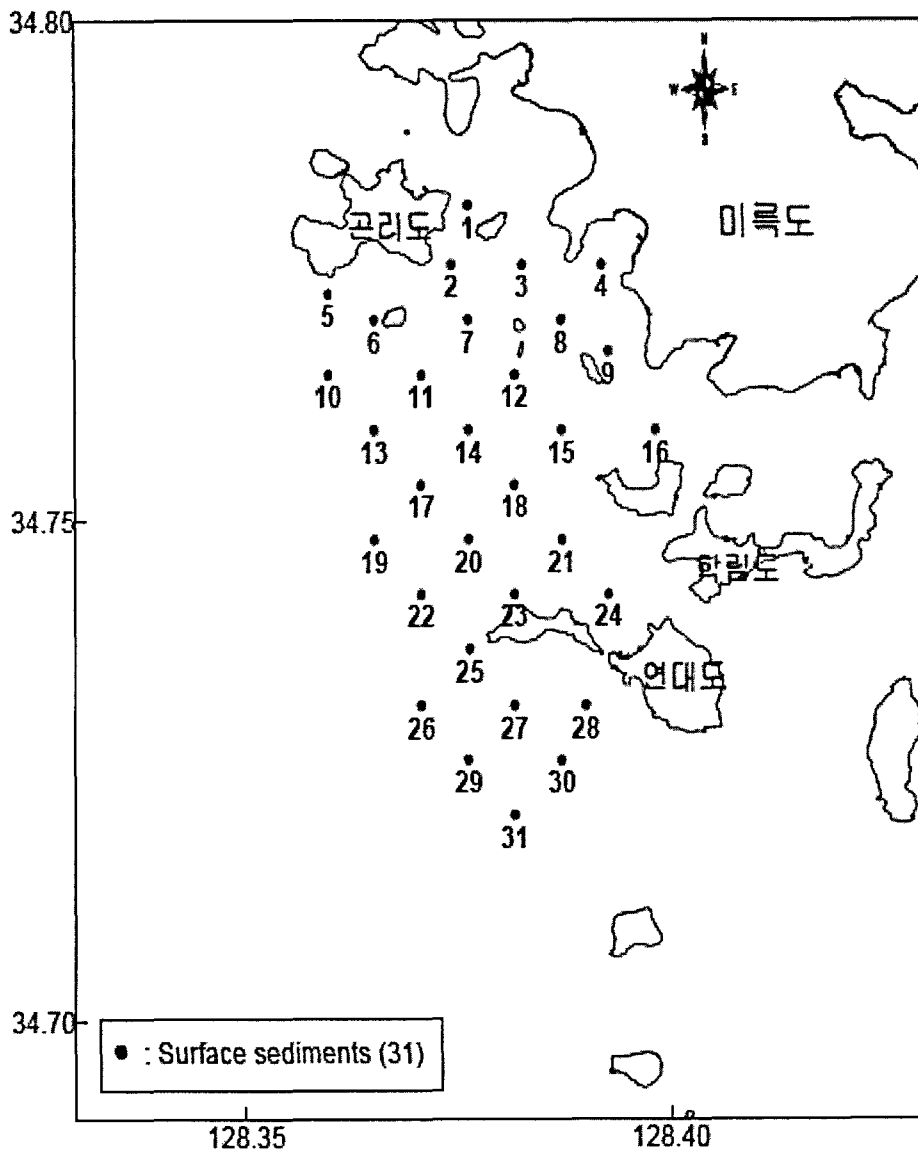


그림 3-1-15. 표층퇴적물 채취 정점도.

(라) 황화수소 함량

퇴적물속에 포함된 황화수소 함량(H₂S)은 유기물 함량이나 퇴적물중의 화학적 산소요구량(COD) 등과 더불어 저서환경이나 오염의 정도를 지시하는 것으로 알려져 있다(일본 수산자원보호협회, 1980; 현 등, 2002). 퇴적물중 황화수소 함량은 검지관법을 이용하여 측정하였다. 일정량의 퇴적물을 황화수소 발생기에 넣고 18N의 황산을 가스발생기에 첨가하여 발생하는 황화수소량을 가스채취기를 이용하여 직접 측정하였다. 이 연구에서는 건조시료(dry sample)와 습식시료(wet sample)에 대해 2번씩 황화수소량을 측정한 후, 다음과 같은 방법으로 보정하여 계산하였다.

퇴적물중 황화수소 함량(ppm or $\mu\text{g/g}$):

$$S \text{ (mg)} = \text{검지관에 검출된 양(환산값)} \times [S_2 / (S_1 \times S_3)]$$

S1: H₂S 발생용 습식값, S₂: 건조용 칭량값, S₃: 중량측정 값

3. 결과 및 토의

가. 해저지형도 작성

(1) 기존자료 연구

2003년 연구에서는 해양의 기존자료 및 육지수치지형자료들을 분석·처리하고 통합하였으며 육-해저지형 분포 도면을 작성 및 분석하였다. 좌표변환 등을 통하여 통합한 육지와 해양자료는 비교적 잘 일치하고 양호한 연속성을 유지하고 있으며 2 차원 지형분포도 및 3 차원 입체지형도를 작성하였다(그림 3-1-16, 그림 3-1-17, 그림 3-1-18, 그림 3-1-19).

기존 자료를 통한 연구지역은 통영바다목장조성 예정지역으로서 미륵도의 남서부 연안으로부터 미륵도 서쪽의 곤리도, 소장군도, 봉도, 부도, 대장두도, 소장두도, 축도 등 도서군 및 미륵도 남쪽의 저도, 송도, 학림도, 만지도, 연대도 및 오곡도 등 도서군 등을 포함한다(그림 3-1-1). 육지지형은 산부산, 응봉산 및 대곡산 등 미륵도의 남서단의 산과 연대도 등에서 200 m 이상으로 높고, 곤리도, 학림도, 만지도, 오곡도 등에서 100 m 내외의 고도를 보이고 있으며, 소장군도, 봉도, 저도, 송도 등에서는 50 m 전후 또는 그 보다 낮은 지형을 나타내고 있다. 수암말, 삼덕리, 연화리 등 미륵도의 북쪽지역은 낮은 육지지형과 수심이 얇은 만이 우세하게 발달하고 있으며 곤리도를 제외하면 부도, 추도, 대장두도, 소장두도, 축도 등 규모가 작은 섬들로 이루어져 있다. 이에 반해 연명포 남쪽지역은 육지지형이 바다쪽으로 높고 가파르며 수로를 사이에 두고 저도, 송도, 학림열도, 연대도, 오곡도 등 규모가 크고 섬 들간에 매우 얇은 해저지형으로 연결되어 있다. 미륵도 전체적인 지형적인 특성을 보면 산정상부들을 중심으로 여러 갈래의 능선들이 발달하고 있으며 지형적인 선구조는 대략적으로 동-서 방향을 이루고 있다. 이와 같은 선구조 경향은 해저에도 나타나며 조도수도 및 연대도, 오곡도 남쪽의 수로 방향이 동-서 방향인 것과 연관성을 갖는다(그림 3-1-16, 그림 3-1-17). 이 수로들은 육지지역과 동일한 지구조 운동에 의

해서 형성되었으며 수로가 형성되고 강한 해수유동으로 침식을 받는 환경에 있었다고 볼 수 있다.

해저수심분포 특성에 따라 연구지역을 구분하면 미륵도 연안을 포함한 미륵도 서쪽 도서군 지역(곤리도, 소장군도, 봉도, 부도, 대장두도, 소장두도, 축도), 미륵도 남쪽 도서군 지역(저도, 송도, 학림도, 만지도, 연대도 및 오곡도), 미륵도 남쪽 수로지역 및 연대도와 오곡도 남쪽의 수로지역으로 대별할 수 있다. 당포, 연화리 전면해상 및 연명포 등 지역은 15 m 이하의 얕고 완만한 해저가 해안으로부터 5 km 이상 연장되나 서쪽 도서군 지역은 30 m 내외의 수심을 보이며 섬 사이 해역에서 다소 기복을 나타내고 있다. 미륵도 남쪽 도서군 지역은 섬 사이에서 20 m 전후의 수심을 보이며 북쪽의 도서군 해저에 비해 얕고 비교적 평탄하다. 미륵도 남쪽 수로와 연대도, 오곡도 남쪽 수로는 40-70 m 의 깊은 수심을 보이며 동-서 방향으로 발달하고 있다. 가장 깊은 곳은 만지도 서쪽과 남쪽에서 나타나며 70 m 전후의 수심을 나타내고 있다.

육지지형과 해저지형을 통합 분석하여 보면 특히 해안지형과의 연관성이 높다. 해안지형의 고도가 낮더라도 바다에 접한 지형의 구배가 큰 곳에서는 해저지형의 구배도 크게 나타난다. 육지의 연안지형이 낮게 형성되어 있는 당포, 연화리 전면해상 및 연명포와 연대도, 저도, 학림도 상호간 연한 해저에서 매우 완만한 해저 경사를 나타내고 있는 반면에 고산과 경사가 급한 지형에 연해 있고 수로에 접한 미륵도 남쪽 해저 등에서 해저급경사가 이어진다. 수로에 연한 지역은 해수의 침식에 의해서 대부분 가파른 지형을 보이고 있다. 이들 지역은 저도 및 송도 북쪽, 부도 및 곤리도 남쪽, 만지도 및 연대도 남쪽, 오곡도 남쪽 해저 등이다.

3 차원 입체지형도는 연구지역의 지형변화를 한눈에 파악하는 데 수치지도나 2 차원 등수심도에 비해서 상대적으로 훨씬 유리하다. 대부분의 육지와 연결되는 연안지역 해안 가까운 해저의 지형은 육지의 가파른 경사 지형과 이어지며 급한 경사면을 이루고 있다. 육지로 남아있는 섬 지역들은 침식에 대한 저항이 큰 지역으로서 아직도 파도에 의한 붕괴 및 침식이 진행되는 지역이다. 육지의 가파른 경사가 이어지는 해저의 수심은 얇게는 10 m에서 40 m까지 이어지는 지역도 있다. 대부분의 섬 주변 해저는 수로 지역을 제외하면 육지로부터의 경사면이 끝나는 해저에서부터는 완만하거나 평탄한 해저를 이룬다. 지구조 운동과 강한 해수유동에 의해 침식되어 형성된 수로들은 연구지역에서 가장 깊은 수심을 보이며 이들은 도서 집단들을 지역적으로 분리시키고 있다. 연구지역의 두 개의 수로 중 조도수로는 미륵도와 그 남쪽의 도서군을 분리시키며 1-2 km 폭과 약 40 m 내외의 수심을 가지고 동-서 방향으로 형성되어 있으며 연대도, 오곡도와 내부지도 사이를 북서서-남동동으로 비스듬하게 지나가고 있는 수로는 폭이 약 3 km 정도이며 평균적으로 50 m 이상의 수심을 보이고 있어서 북쪽 수로에 비해 규모가 크다. 도서군중에서는 북쪽의 도서군 섬사이 해저는 남쪽의 도서군 섬사이 해저에 비해서 국지적인 수심변화가

커서 굴곡이 큰 반면에 남쪽 도서군의 섬 사이 해저는 상대적으로 완만한 해저지형변화를 보이고 있다. 남쪽 도서군에서는 섬 간에 해저 지형적인 연결성이 좋으나 북쪽 도서군은 섬 간 해저의 침식이 커서 지형적인 연결성은 상대적으로 적고 고립적이다.

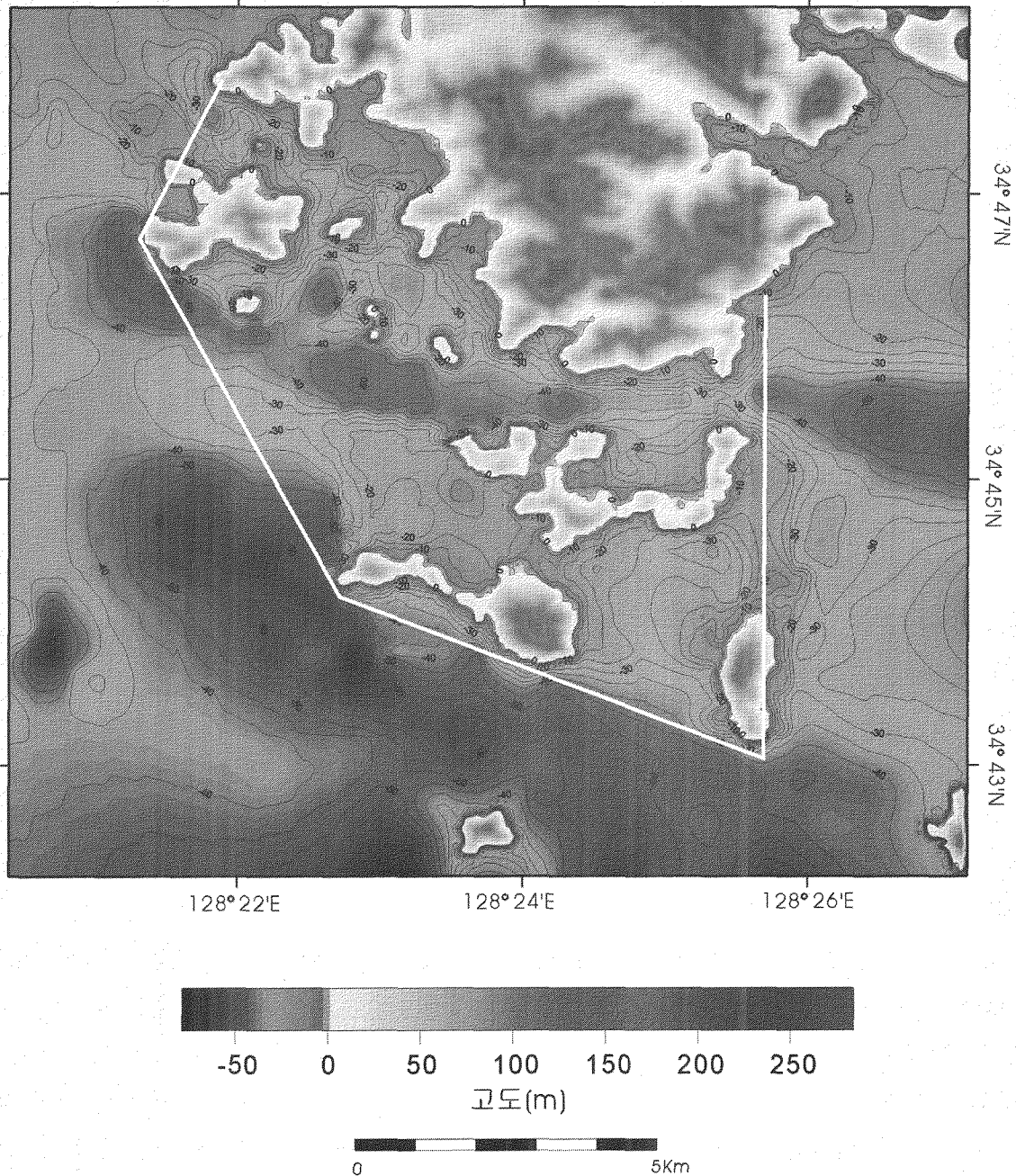
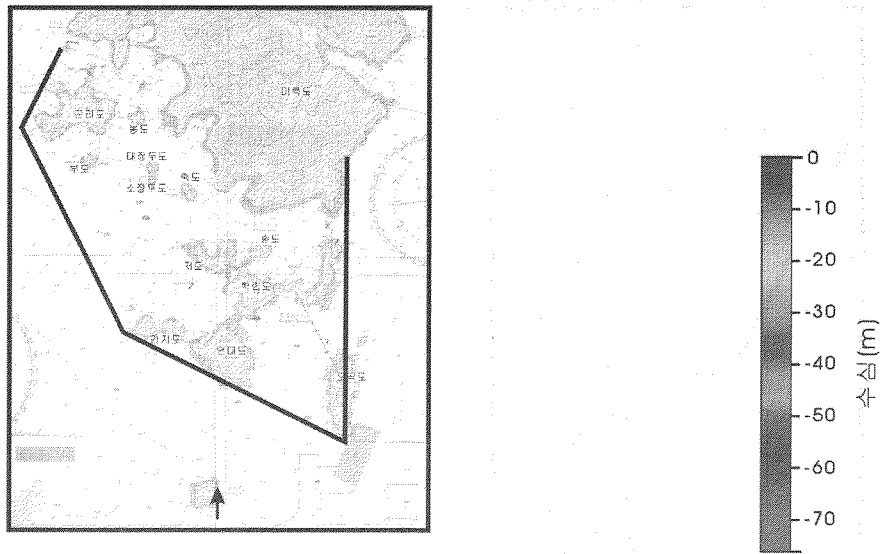
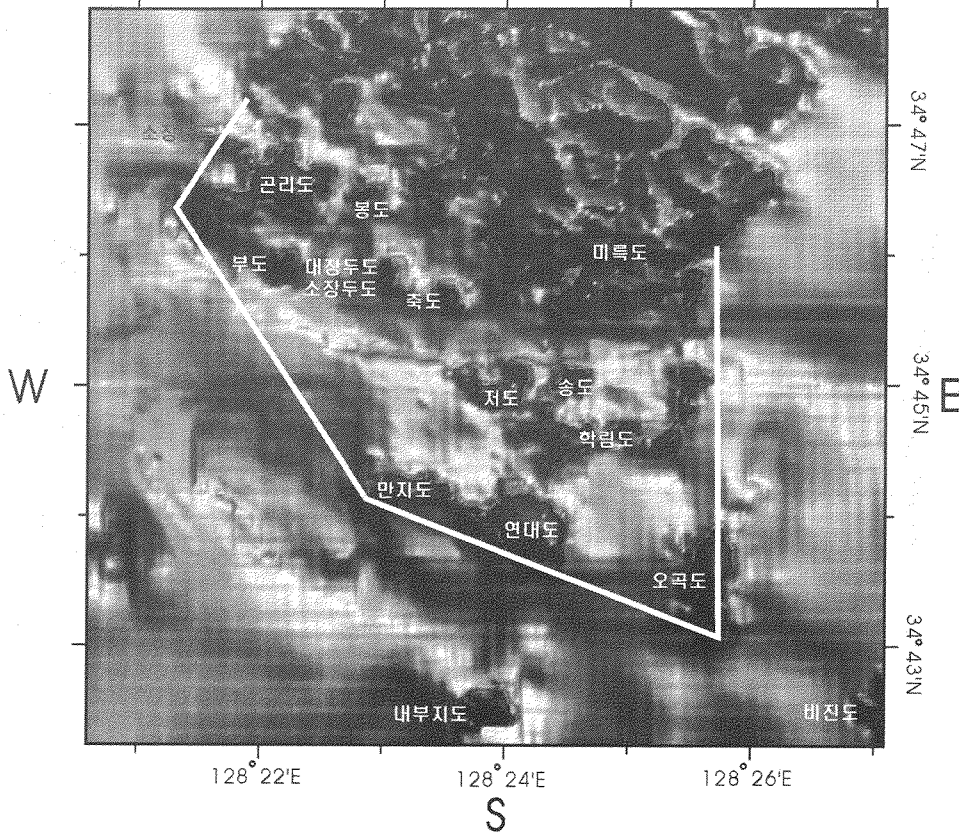


그림 3-1-16. 바다목장화 해역 해저-육지통합 등고선도.



N



S



그림 3-1-17. 바다목장화 해역 수직 상공에서 바라본 3차원 지형.

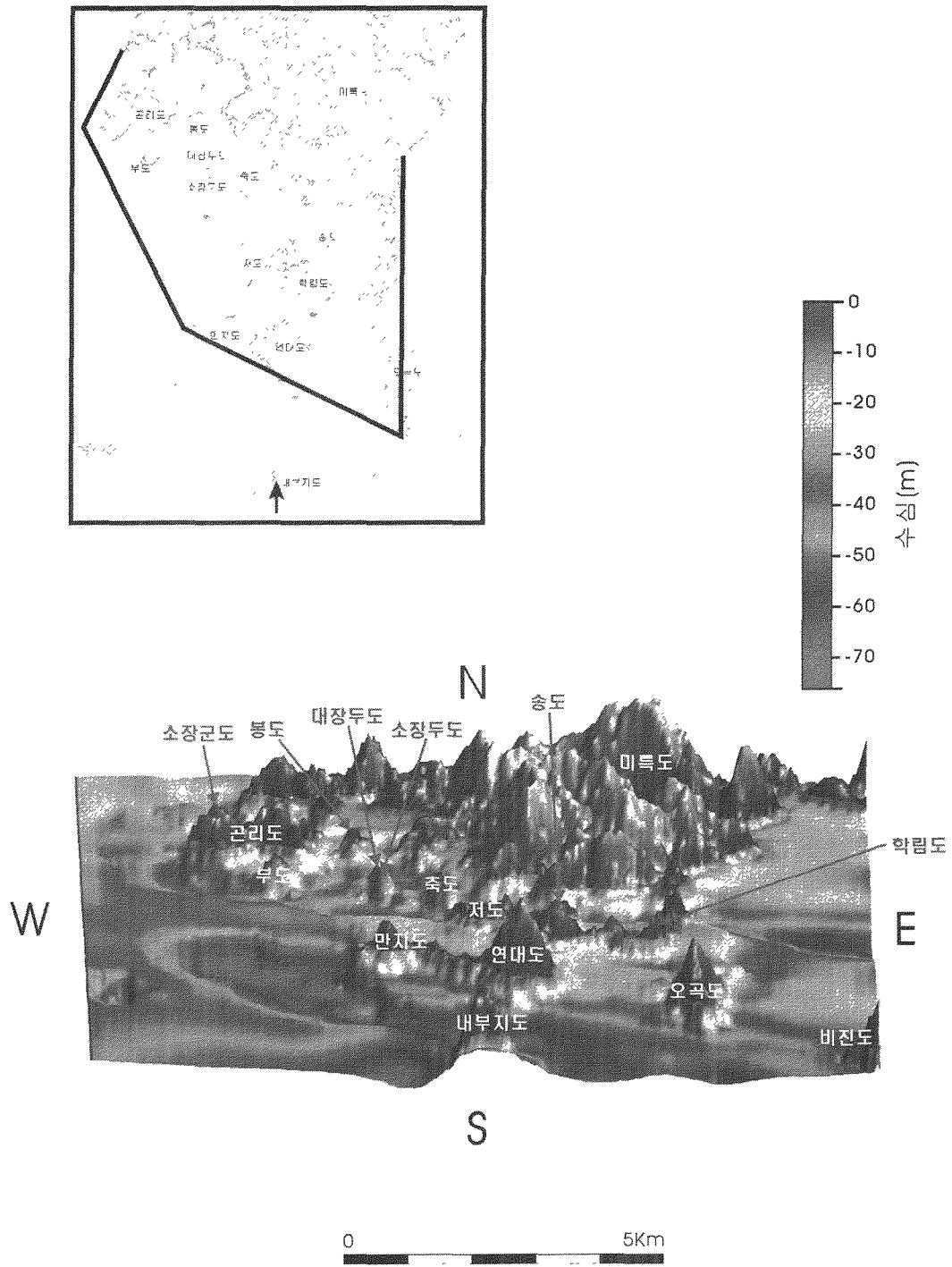


그림 3-1-18. 남쪽 30°상공에서 바라본 바다목장화 해역 3차원 지형.

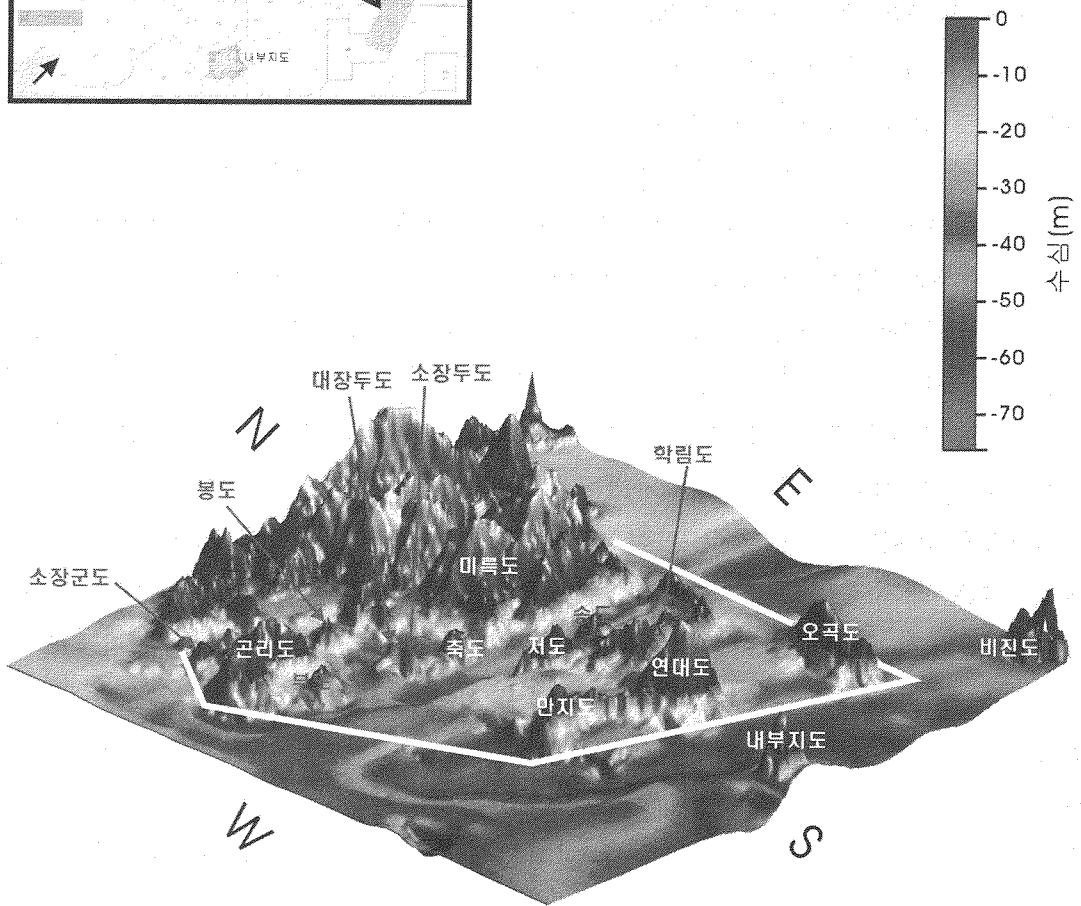
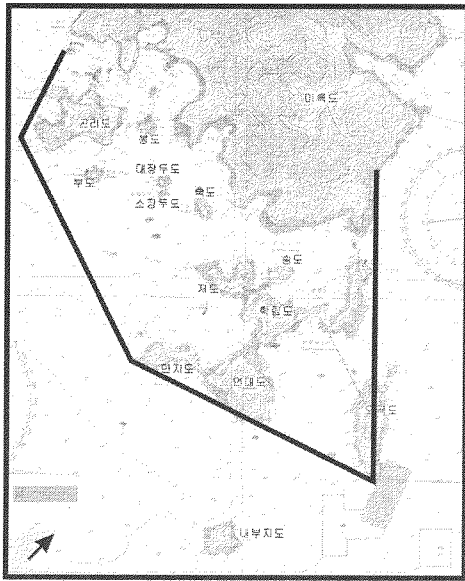


그림 3-1-19. 남서쪽 30°상공에서 바라본 바다목장화 해역 3차원 지형.

(2) 정밀해저지형조사 연구

2005년도 현장조사에서 얻어진 미륵도-곤리도-만지도해역의 다중빔 수심자료와 육지지형 수치자료를 통합 처리하여 도면화 작업을 실시하였다. 조석보정은 국립해양조사원의 통영지역자료를 사용하여 보정하였다. 그림 3-1-20는 미륵도-곤리도-만지도해역의 등수심도를 나타낸 것이며, 그림 3-1-21, 그림 3-1-22과 그림 3-1-23은 3차원 해저지형으로 표현한 것이다.

미륵도-곤리도-만지도 해역은 북쪽과 동쪽은 주변 섬에 의해 둘러싸여 있는 형태를 보이며 이로 인해 조류의 흐름도 위치나 시간에 따라 불규칙한 강한 조류가 나타난다. 이와 같은 조류의 흐름으로 인해 조사지역 곳곳에 수심이 깊은 해저골이 나타나는 것으로 사료된다. 부도 남쪽의 약 -50 m의 해저골이 나타나고 이 해저골은 소장두도 남쪽에서 약 -50 m정도의 해저골과 이어지며 송도와 미륵도 사이의 조도수도로 연결된다(그림 3-1-5, 그림 3-1-16, 그림 3-1-20). 또한 부도와 대장두도 사이에 약 -47 m의 해저골이 있고 그 동쪽 편에도 소규모의 해저골들이 나타난다. 이와 같은 해저골들은 미륵도 남쪽의 조도수도를 중심으로 하는 동서방향의 해저골과 이 수도 위쪽의 작은섬들 사이에 나타나는 소규모의 해저골들로 나눌 수 있고 이 해저골들은 모두 조도수도의 빠른 조류의 영향을 받은 것으로 판단된다. 가장 깊은 수심은 약 -55 m 정도로 만지도 북서쪽에 나타나며 만지도 서쪽의 외해와 이어진다. 조사지역의 전체적인 평균수심은 약 -30 m 내외를 나타내고 있으며 만지도 북동쪽은 수심 -20 m 이하의 얇은 지형이 넓게 펼쳐지고 있고 대체로 섬 주변으로 가면서 점차 얕아지며 섬 가까이에서 급한 경사면을 이루면서 육지로 이어진다. 섬들은 파도에 의한 침식을 많이 겪어 가파른 경사면으로 둘러 쌓여있다. 미륵도 서쪽의 해안에는 얇은 해저에 암반이 곳곳에 나타나며 만지도 북서쪽의 깊은 수심이 나타나기 전 약 -15 m 수심에도 암반이 나타나는데 이는 주위보다 침식에 강하여 지금도 암반의 형태가 남아 있는 것으로 판단된다. 해저지형이 -10 ~ -20 m 정도의 얇은 수심을 보이고 있는 섬 주변의 해안에서는 양식장들이 많이 분포하고 있다. 이 조사지역은 3차원 지형도에서 볼 수 있듯이 곳곳에 인공어초군으로 판단되는 지역이 분포하고 있으며 그 수는 약 25개소에서 나타나는데 암반에서 침식되어 떨어져 나온 암석들과 구분이 필요할 것으로 사료된다(그림 3-1-21, 그림 3-1-22, 그림 3-1-23).

기존수심자료는 수심변화가 많은 육지주변 해역과 도서사이에서는 60-150 m 간격, 수심변화가 적은 외해지역에서는 400-600 m 간격의 연구지역내 해도상에 표기된 777개 지점 수심자료와 1996년 한국해양연구소가 현장조사를 통하여 수작업으로 제작한 등수심도를 수치화한 자료를 통합 사용하였으나 바다목장화 해역의 환경 및 어장시설설치와 관리에 충족되는 정밀한 해저지형을 표현하기에는 불충분하였다. 이 기존자료에 비해서 정밀해저지형 조사자료를 이용한 등수심도 및 3차원 해저지형도는 바다목장화 해역의 정확하고 자세한 수심을 알 수 있으며 섬주변의 암반의 위치, 작은 섬들 사이의 해저지형 및 해저의 인공어초군

의 모습과 같은 해저지형의 자세한 부분까지 알 수 있다. 이러한 정밀해저지형자료는 바다목장
화 해역의 환경 및 어장시설 설치와 관리에 필수적인 환경 자료를 제공한다.

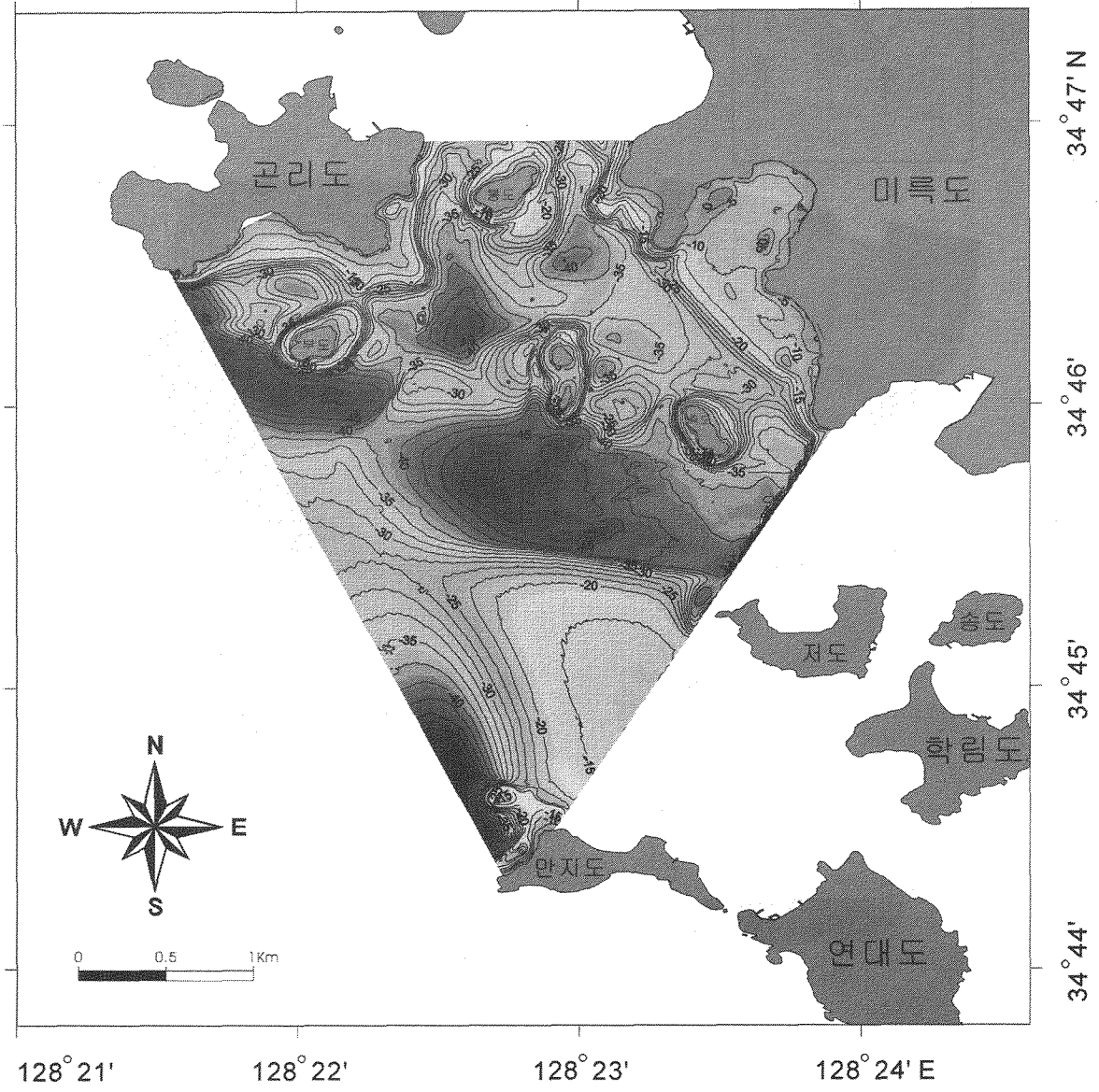


그림 3-1-20. 바다목장화 조사해역의 등고선도.

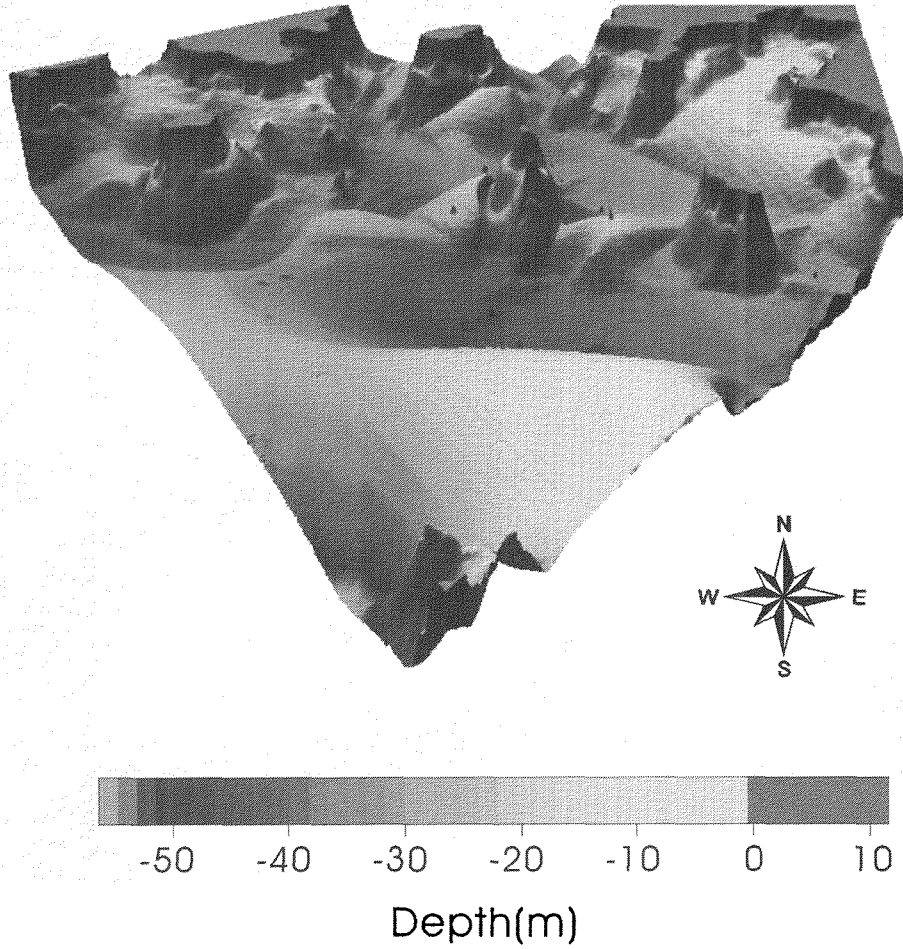
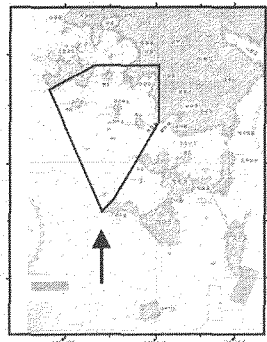


그림 3-1-21. 남쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형.

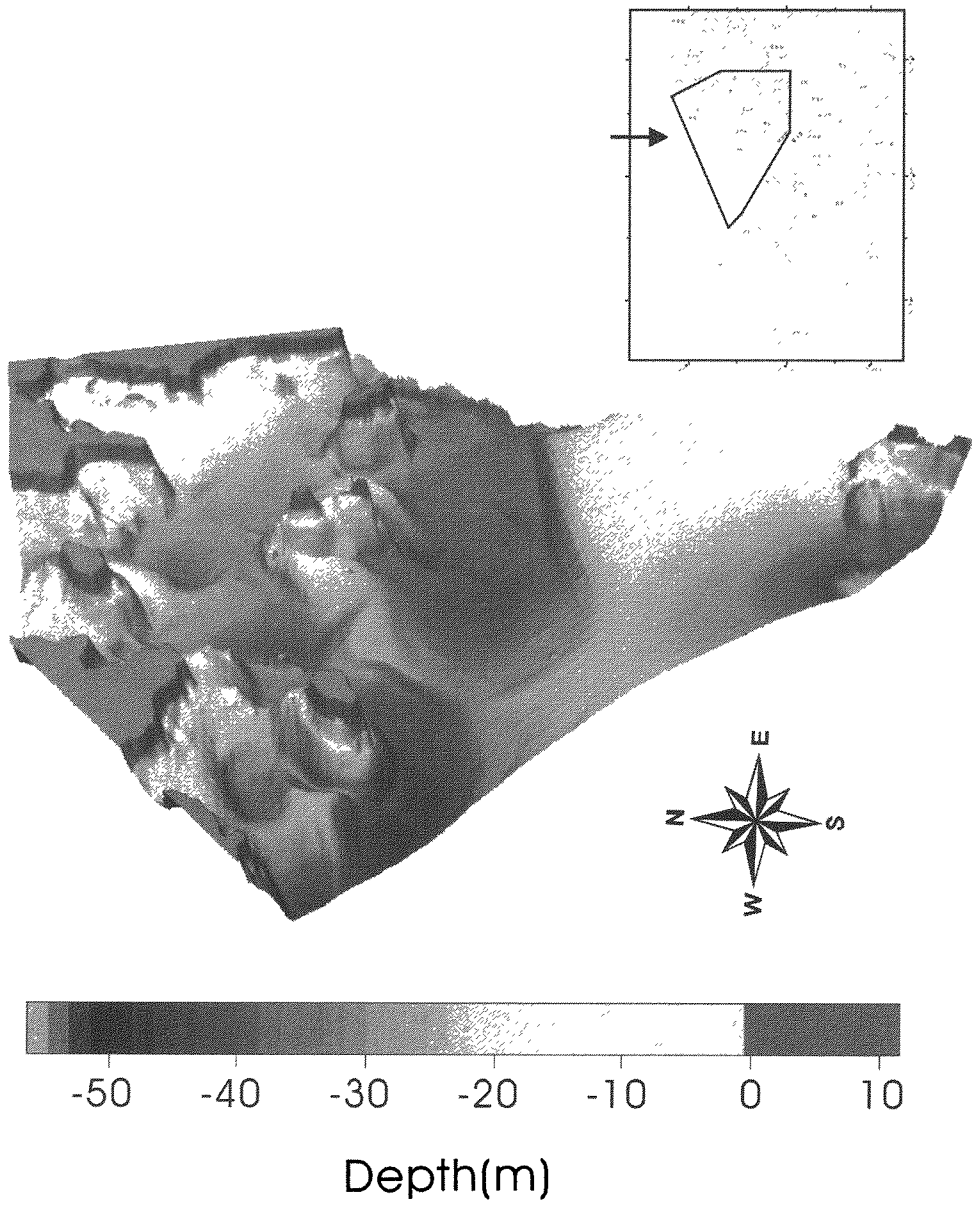


그림 3-1-22. 서쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형.

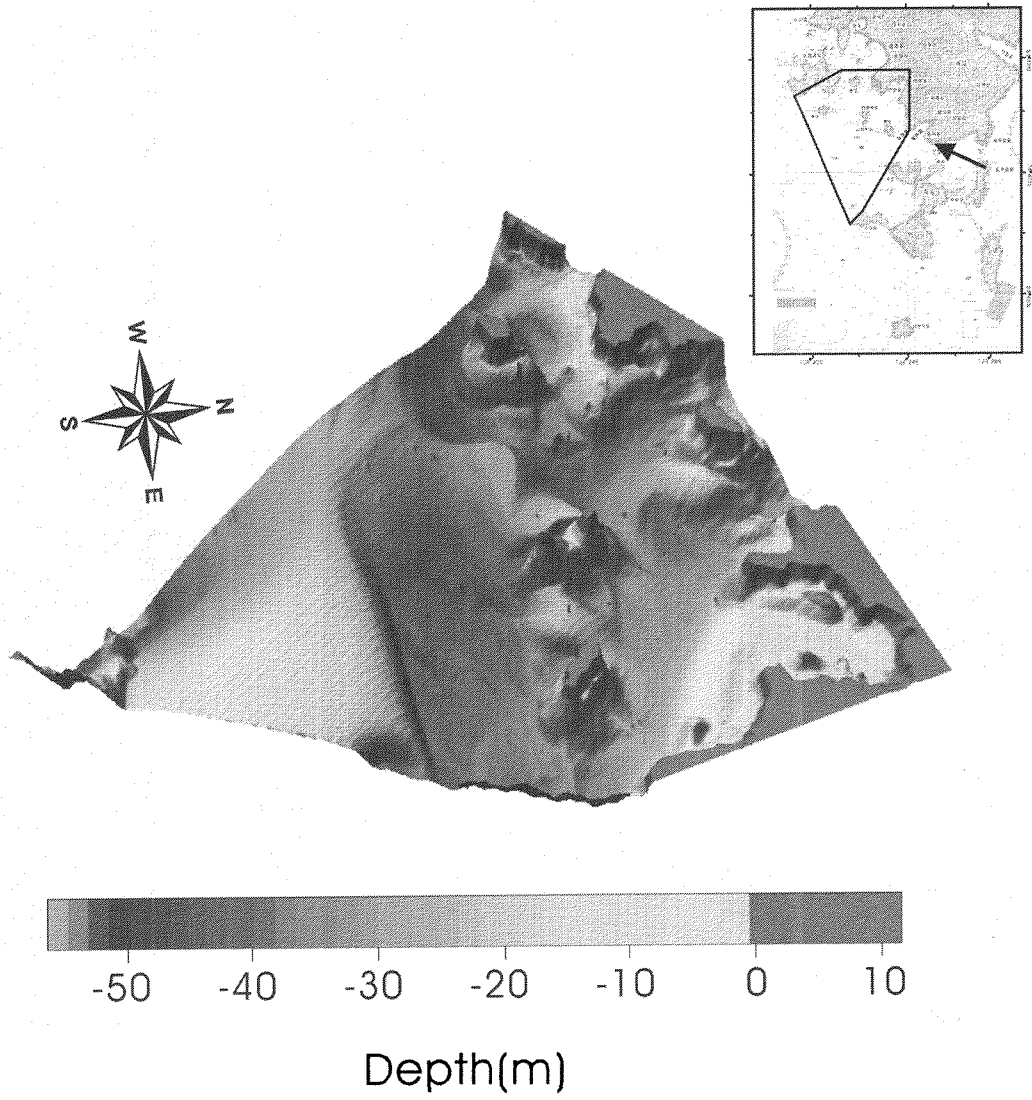


그림 3-1-23. 동쪽 상공에서 바라본 바다목장화 조사 해역 3차원 지형.

나. 해저퇴적물의 퇴적 환경과 지화학적 특성

(1) 표층퇴적물

(가) 입도특성 및 분포

곤리도-미륵도-연대도 주변해역에서 채취된 31개 정점의 퇴적물을 통해 퇴적분포를 조사하였다. 표층퇴적물은 크게 2개의 범주로 구분이 가능하다. 즉, 곤리도-미륵도 사이, 만지도 서쪽에서는 1-2.5 ϕ 의 역질 퇴적물이 분포하며, 그 외 대부분의 연구지역에서는 4 ϕ 이상의 니질 퇴적물이 주로 분포하고 있다(그림 3-1-24). 표층 퇴적물의 입도분석 결과는 표 3-1-2에 표시하였다.

미륵도-학림도 사이의 조도수로 주변은 비교적 조립한 역질이 포함된 니질이 분포하고 있으며, 만지도의 서쪽해역은 수심이 급격히 증가(약 60 m)하고, 암반해안인 만지도에서 유출된 역질이 퇴적되어 있다(그림 3-1-25). 곤리도-미륵도 사이의 역시 수로의 특성상 역질이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 연구해역의 중앙부는 수심이 약 25 m의 구릉형태를 보이며, 주변으로 갈수록 점점 깊어지는 양상을 보이고 있다. 저질은 9 ϕ 보다 세립한 니질이 퇴적되어 있다(그림 3-1-24, 그림 3-1-25).

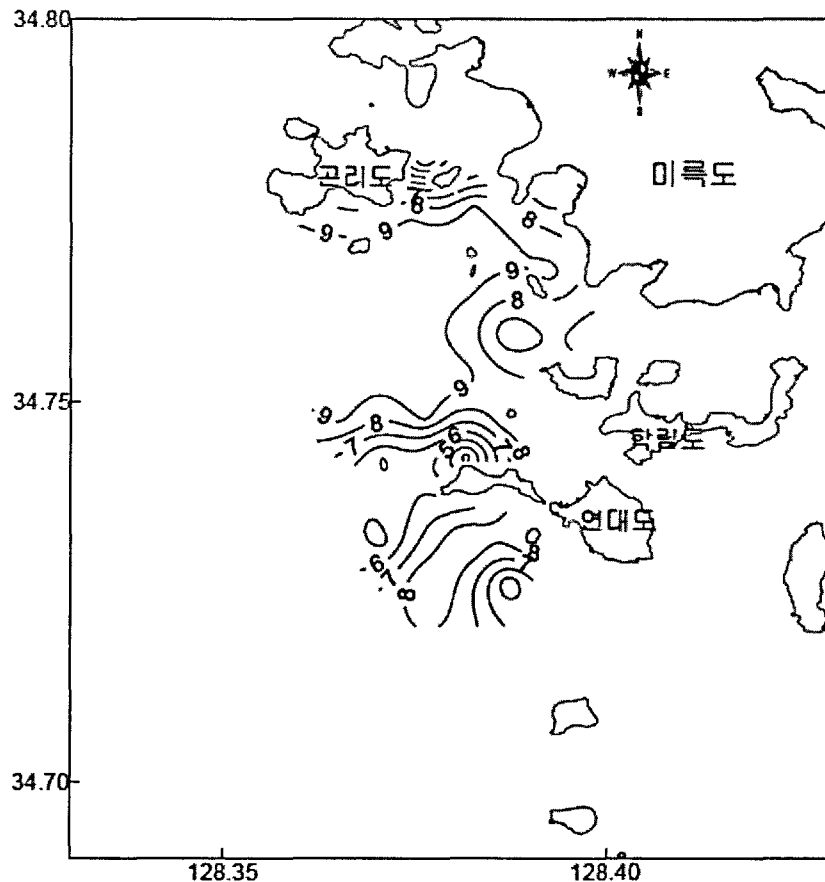


그림 3-1-24. 표층퇴적물의 입도분포.

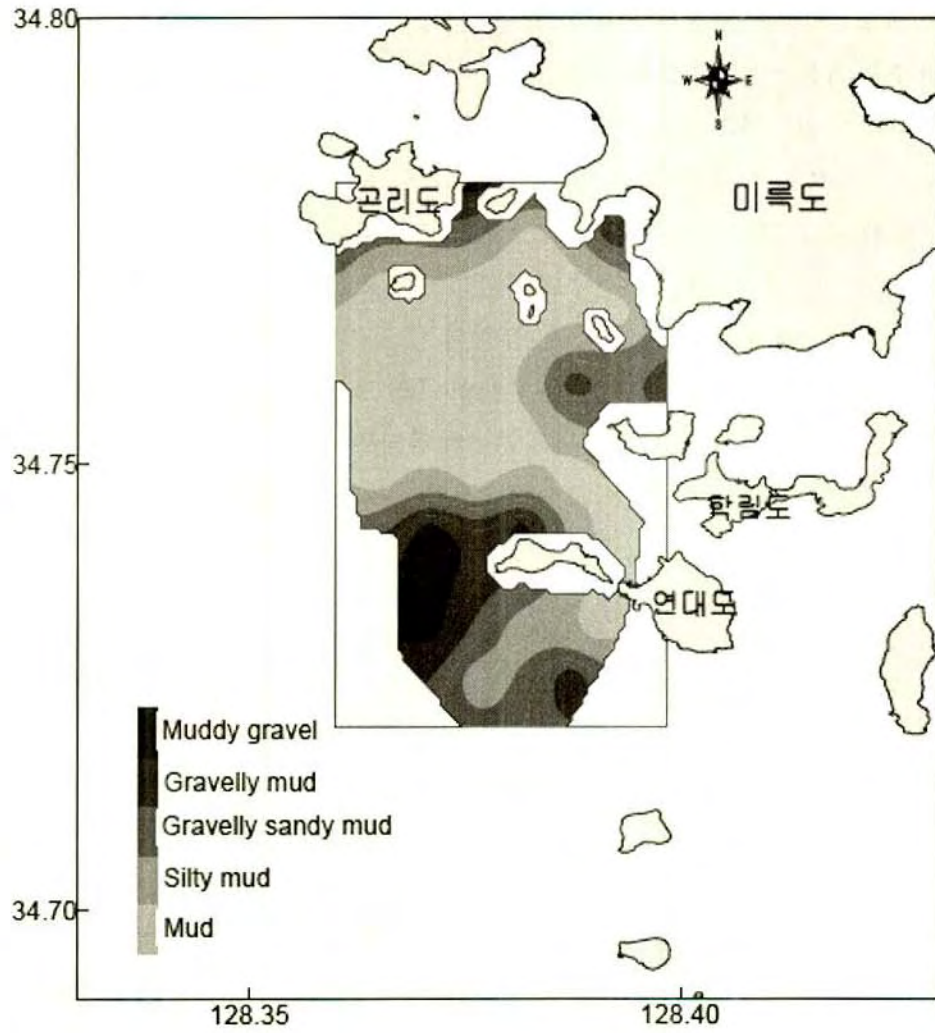


그림 3-1-25. 표층퇴적물의 분포 퇴적상.

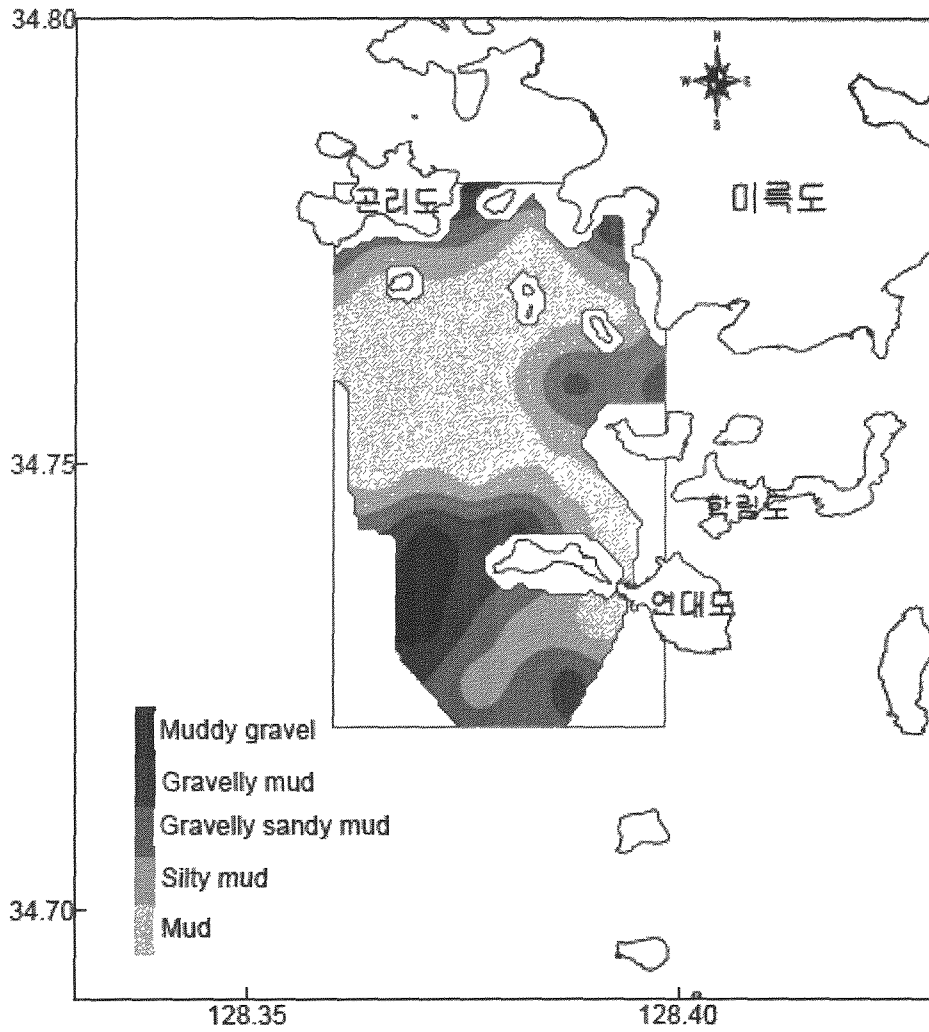


그림 3-1-25. 표층퇴적물의 분포 퇴적상.

표 3-1-2. 표층퇴적물의 입도 특성

Station No.	Composition (%)				Sediment Type by Folk	Statistical Parameters			
	Gra.	Sand	Silt	Clay		MZ(ϕ)	St.De.	Skew.	Kurt.
TY-1	56.40	16.64	5.61	21.34	mG	1.17	5.26	0.84	0.58
TY-2	0.55	11.89	19.94	67.62	(g)sM	8.64	2.50	-0.49	1.13
TY-3	0.00	0.29	20.68	79.03	C	9.12	1.36	-0.05	0.83
TY-4	10.67	10.90	20.42	58.00	gM	6.98	4.34	-0.61	1.31
TY-5	4.38	4.77	17.21	73.64	(g)sM	9.10	2.64	-0.51	1.76
TY-6	0.00	2.27	20.54	77.19	C	9.27	1.48	-0.30	0.76
TY-7	0.00	0.67	19.75	79.58	C	9.35	1.41	-0.33	0.76
TY-8	0.00	5.89	20.01	74.10	C	9.16	2.15	-0.46	1.30
TY-9	0.00	2.63	19.43	77.95	C	9.28	1.49	-0.32	0.80
TY-10	0.00	3.47	19.05	77.48	C	9.26	1.53	-0.35	0.83
TY-11	0.00	1.83	19.26	78.91	C	9.31	1.43	-0.31	0.77
TY-12	0.00	3.89	19.55	76.55	C	9.25	1.66	-0.37	0.93
TY-13	0.00	8.41	18.07	73.52	C	9.12	2.02	-0.44	1.12
TY-14	0.00	6.02	18.70	75.29	C	9.15	1.93	-0.41	1.14
TY-15	12.54	18.00	16.05	53.40	gM	6.19	4.71	-0.58	0.60
TY-16	7.21	26.10	12.83	53.86	gM	6.51	4.49	-0.57	0.59
TY-17	0.00	4.62	20.42	74.96	C	9.16	1.85	-0.39	1.08
TY-18	0.00	3.25	20.54	76.21	C	9.26	1.59	-0.35	0.81
TY-19	0.00	0.11	20.66	79.24	C	9.34	1.43	-0.31	0.74
TY-20	0.00	2.27	18.92	78.81	C	9.38	1.44	-0.37	0.73
TY-21	0.00	6.56	20.42	73.02	C	9.11	2.00	-0.45	1.07
TY-22	39.84	2.71	12.38	45.06	mG	4.93	5.63	-0.53	0.44
TY-23	42.41	19.83	8.05	29.72	mG	2.53	5.41	0.53	0.53
TY-24	0.00	6.79	23.50	69.71	C	8.97	2.09	-0.44	0.99
TY-25	11.19	23.05	13.53	52.23	gM	6.30	4.63	-0.57	0.58
TY-26	40.75	5.63	10.88	42.74	mG	4.75	5.63	-0.44	0.44
TY-27	0.00	11.95	17.64	70.41	sC	8.98	2.22	-0.50	1.07
TY-28	0.00	7.72	18.27	74.01	C	9.19	2.00	-0.48	1.11
TY-29	0.00	12.02	17.55	70.44	sC	8.97	2.22	-0.49	1.08
TY-30	16.87	33.44	10.82	38.86	gM	4.26	5.04	0.12	0.59
TY-31	4.77	15.66	15.25	64.32	(g)sM	7.56	3.77	-0.64	1.31

(나) 유기탄소 및 탄산염

표층 퇴적물중 전탄소(TC), 전유기탄소(TOC) 및 탄산염 함량을 분석하였다(표 2-3). 전체 31개 정점에서 나타난 전탄소의 함량은 1.61~5.21% (평균 3.14%)로 연안의 평균 유기물 함량과 유사한 범위를 나타내고 있다. 특히 만지도-연대도 남쪽 연안에서 높은 함량을 보이고 있다(그림 3-1-26). 또한 조도수로를 비롯한 미륵도 주변의 수로에서 높은 값을 보이고 있다. 연구해역의 중앙부는 전탄소의 함량이 2.5%이하로 유사한 분포를 보이고 있다. 전체 유기물 함량중 탄산염(CaCO_3)은 7.07~37.64%(평균 18.22%)로 나타났으며, 만지도 주변, 미륵도 주변 수로 등 역질 퇴적물이 많은 해역에서 높게 나타났다(그림 3-1-27). 이것은 역질이 주로 퇴적되는 지역의 유속이 크기 때문에 비교적 비중이 높은 패각이 다량 퇴적된 것으로 추정된다. 해역의 중앙부는 약 15% 보다 낮은 탄산염 함량을 보이고 있다. 전유기탄소(TOC)의 함량은 0.69~1.18%(평균 0.96%)로 조사되었다(표 3-1-3). 전 연구지역에서 함량의 편차가 비교적 적게 나타났다(그림 3-1-28). 연구지역 중앙부의 서쪽은 수심 60 m 이상으로 깊어지는 지역으로 분지형태를 이루고 있어, 유기탄소의 퇴적이 용이한 것으로 판단된다. 또한 곤리도-미륵도 해역은 작은 섬(장두도, 축도 등)들이 위치하고 있어 유속이 완만하여 세립한 퇴적물 또는 유기탄소의 퇴적이 용이하다. 전탄소와 유기탄소의 분포가 차이가 나는 것은 만지도-연대도 주변해역에 다량의 패각이 퇴적되어 탄산염의 함량이 높게 나타났기 때문에 전탄소의 함량이 높았으며, 순수한 유기탄소의 함량은 오히려 전 연구지역중 가장 낮은 것으로 나타났다(그림 3-1-28).

유기물의 기원을 지시하는 전유기탄소/전질소(C/N ratio)의 비를 표 3-1-3에 나타냈다. 기존의 연구결과에 의하면, C/N 비가 10 이상이면 육상에서 유입된 유기물임을 지시하는 것이고, 해양에서 생성된 유기물내의 C/N 비는 5~10 정도의 비율을 나타내는 것으로 알려져 있다(Muller, 1977; Stein, 1991). 본 연구결과에서는 5.01~6.99(평균 5.93)로 나타났다(그림 3-1-29). 따라서 전유기탄소의 기원은 해양에서 생물생산에 의해 생성된 것이 퇴적된 것으로 나타났다. 연구지역 주변의 지리적 여건을 보아도 육상기원 유기물의 유입이 가능한 강이나 하천이 영향이 미미한 것으로 나타났다.

(나) 황화수소(H_2S)

표층퇴적물이 유기물 등에 의해 얼마나 오염(부패)되었는가를 판단하기 위해 황화수소 가스의 함량을 분석하였다(표 3-1-3). 일반적으로 200 ppm 이상의 황화수소 가스 함량은 오염이 시작되는 시점으로 간주되고 있다(현 등, 2002; 일본 수산자원, 1980). 분석결과 0.50~194.84 ppm(평균 27.62 ppm)으로 전지역이 오염되지 않은 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다(그림 3-1-30, 그림 3-1-31). 연구지역중 황화수소 가스의 함량이 가장 높은 곳은 정점 19번으로 수심이 60 m 이상되는 분지형태의 지형을 보이고 있다. 이곳이 세립한 퇴적물과 함께 유기물의 분해로 저산소 또는 무산소 환경에 따른 오염의 가능성이 제

기되기는 하나, 전 연구지역의 표층 퇴적물은 오염되지 않은 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

표 3-1-3. 표층퇴적물의 지화학적 특성

Station No.	TC (%)	TOC (%)	TN (%)	CaCO ₃ (%)	C/N	H ₂ S (ppm)
TY-1	4.25	1.03	0.20	26.88	5.01	-
TY-2	4.60	0.91	0.17	30.68	5.36	1.95
TY-3	2.28	1.18	0.21	9.11	5.70	2.75
TY-4	1.61	0.76	0.11	7.07	6.95	88.28
TY-5	2.93	1.02	0.17	15.87	5.95	14.38
TY-6	2.57	1.05	0.16	12.71	6.46	2.78
TY-7	2.25	1.15	0.19	9.18	5.93	9.29
TY-8	3.60	0.95	0.18	22.05	5.32	9.41
TY-9	2.53	1.06	0.17	12.26	6.24	7.10
TY-10	2.24	0.97	0.16	10.61	5.96	40.86
TY-11	2.47	1.06	0.19	11.75	5.67	7.18
TY-12	2.60	1.11	0.19	12.42	5.95	15.41
TY-13	2.41	0.97	0.16	11.97	6.00	87.46
TY-14	2.80	0.96	0.17	15.32	5.58	2.53
TY-15	3.59	0.98	0.19	21.74	5.08	1.78
TY-16	4.22	0.99	0.18	26.89	5.41	1.78
TY-17	2.34	0.97	0.15	11.43	6.40	15.67
TY-18	2.50	1.00	0.17	12.55	5.92	45.35
TY-19	2.09	1.10	0.17	8.21	6.53	194.84
TY-20	2.28	1.04	0.17	10.39	6.13	79.42
TY-21	2.32	1.01	0.14	10.93	6.97	10.42
TY-22	2.14	0.98	0.14	9.67	6.99	81.94
TY-23	4.42	0.77	0.14	30.41	5.53	-
TY-24	2.65	0.91	0.15	14.53	6.13	14.13
TY-25	5.21	0.69	0.14	37.64	5.07	-
TY-26	3.77	0.78	0.13	24.94	6.00	1.00
TY-27	4.99	0.83	0.14	34.64	5.95	-
TY-28	3.09	0.97	0.17	17.65	5.67	4.76
TY-29	4.28	0.86	0.15	28.51	5.82	1.46
TY-30	4.35	0.75	0.12	30.01	6.26	0.50
TY-31	4.10	0.88	0.15	26.81	5.93	3.38

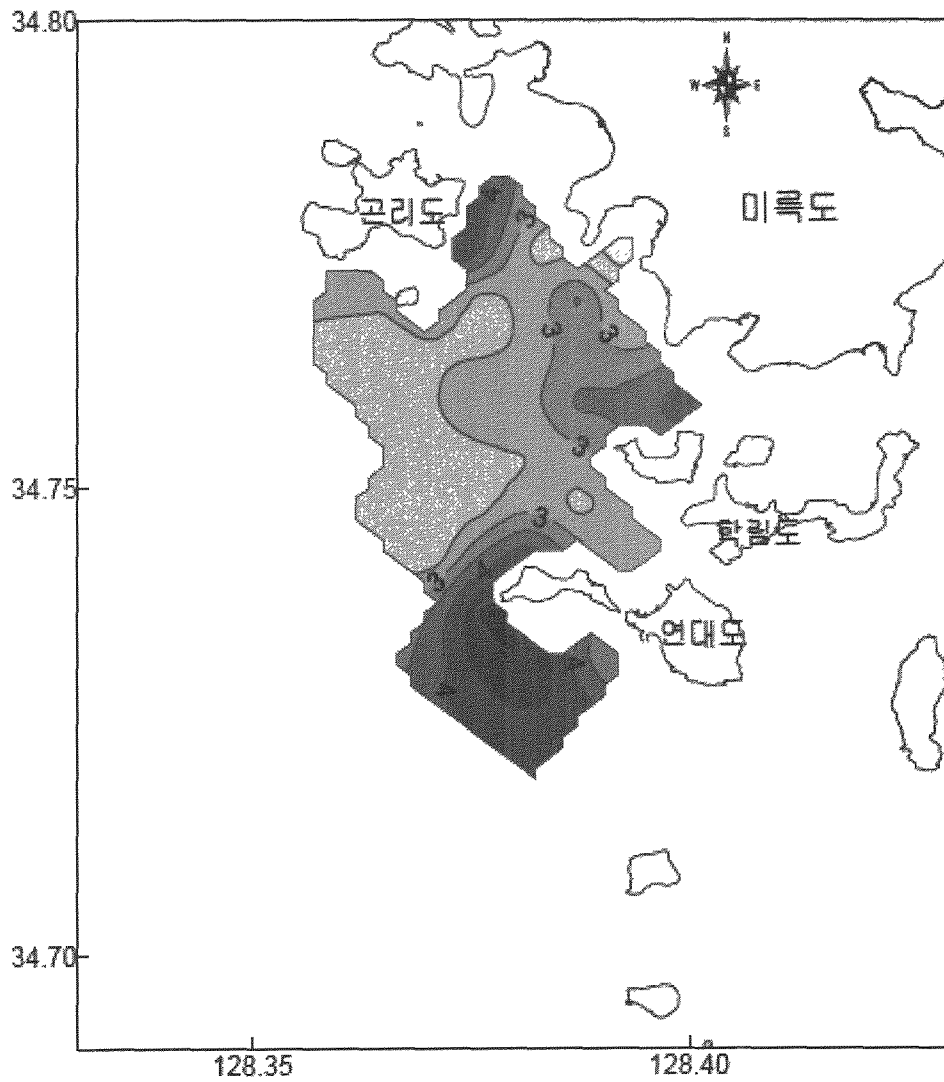


그림 3-1-26. 표층퇴적물의 총탄소(TC) 함량 분포도.

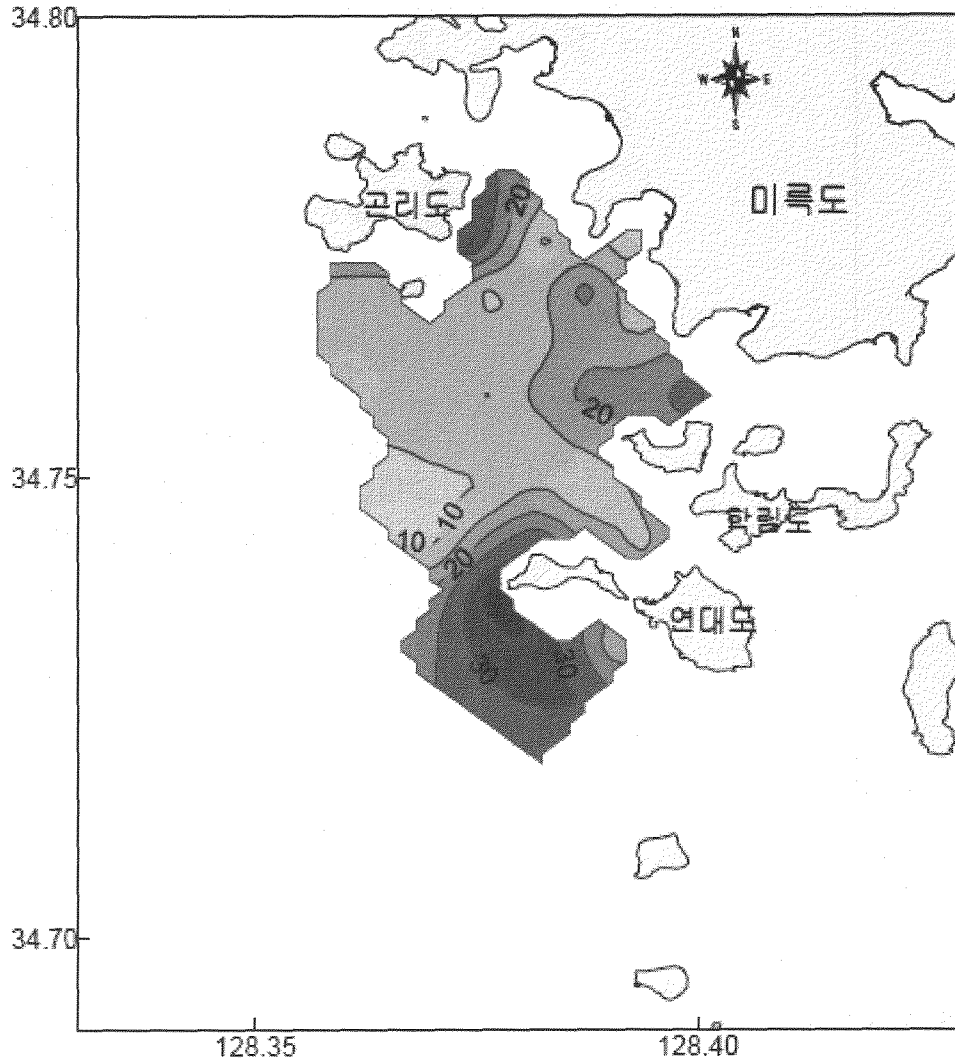


그림 3-1-27. 표층퇴적물의 탄산염(CaCO_3) 함량 분포도.

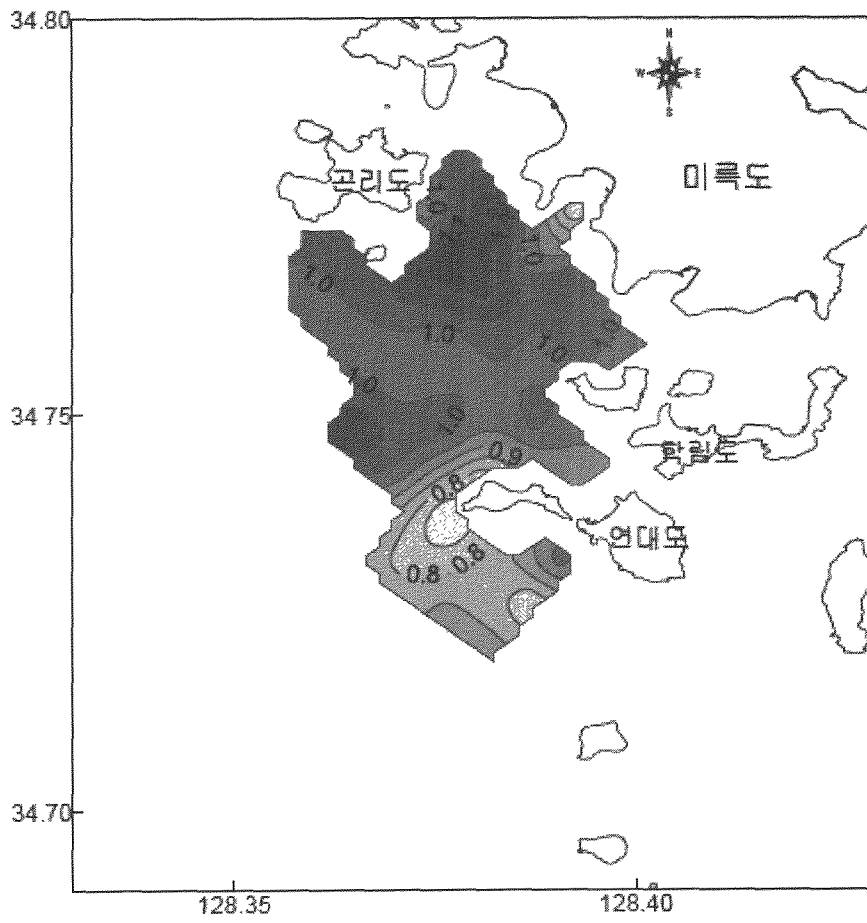


그림 3-1-28. 표층퇴적물의 총유기탄소(TOC) 함량 분포도.

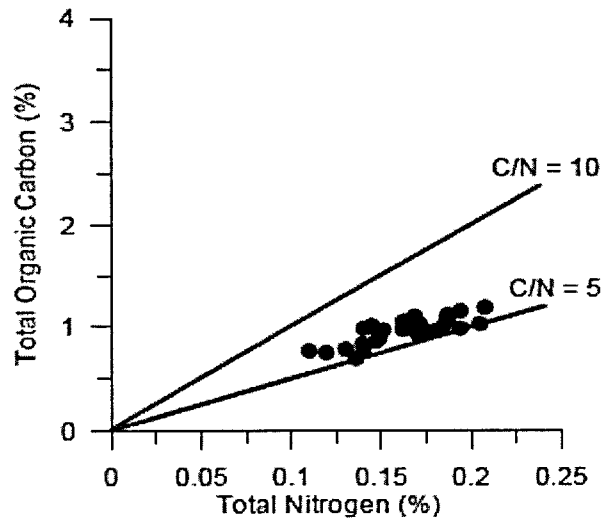


그림 3-1-29. 총유기탄소와 총질소의 관계.

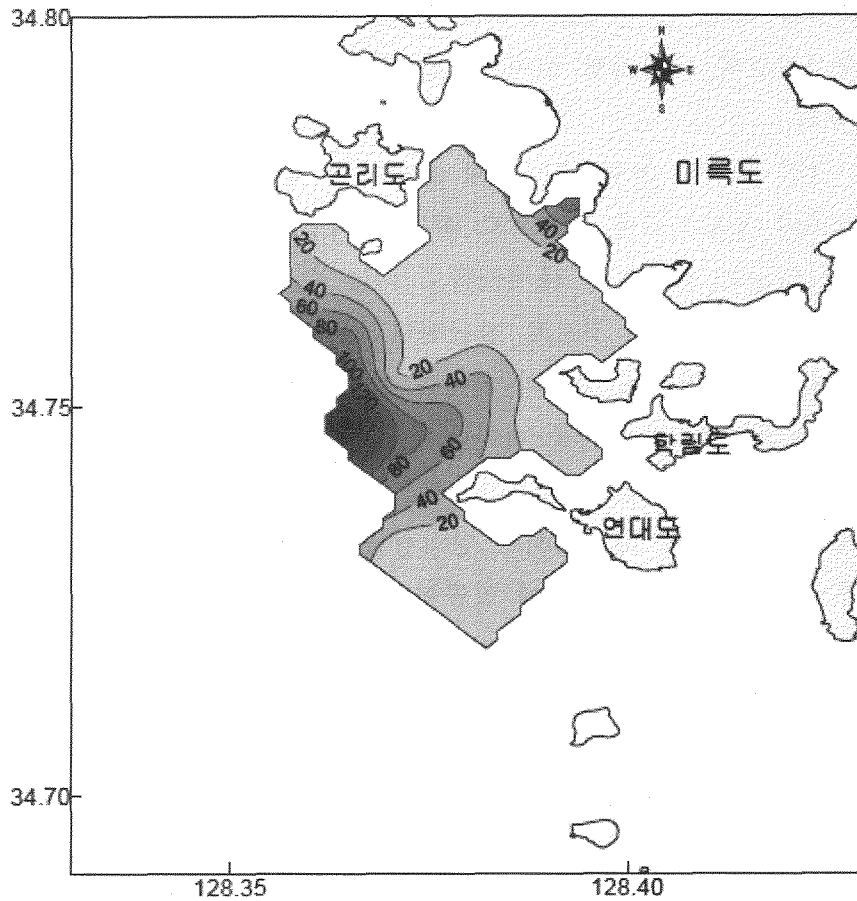


그림 3-1-30. 표층퇴적물의 황화수소 가스(H₂S) 함량 분포도.

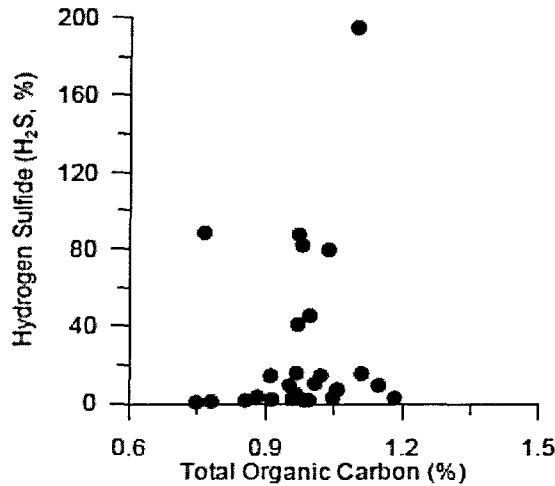


그림 3-1-31. 총유기탄소와 황화수소 가스의 관계.

통영 바다목장화 해역 중 미륵도-곤리도-만지도해역의 다중빔 정밀 음향 측심기를 이용하여 얻은 수심자료와 육지지형 수치자료를 통합 처리하여 등수심도 및 3차원 해저지형도를 작성하였다.

연구지역은 강한 조류의 흐름으로 인해 조사지역 곳곳에 수심이 깊은 해저골이 나타나며 미륵도 남쪽의 조도수도를 중심으로 하는 동서방향의 해저골과 이 수도 위쪽의 작은섬들 사이에 나타나는 소규모의 해저골들로 나눌 수 있고 이 해저골들은 모두 조도수도의 빠른 조류의 영향을 받은 것으로 판단된다. 가장 깊은 수심은 약 -55 m 정도로 만지도 북서쪽에 나타나며 만지도 서쪽의 외해와 이어진다. 해저골을 제외한 조사지역의 전체적인 평균수심은 약 -30 m 내외를 나타내며 섬 주변으로 가면서 점차 얕아지고 섬 가까이에서 급한 경사면을 이루면서 육지와 이어진다. 해저지형이 -10 ~ -20 m 정도의 얕은 수심을 보이는 섬 주변의 해안에서는 양식장들이 많이 분포하고 있다. 이 조사지역은 3차원 지형도에서 볼 수 있듯이 곳곳에 인공어초군으로 판단되는 지역이 분포하고 있다.

2005년 9월에 경남 통영지역 바다목장화 연구지역(미륵도 주변해역)에서 31개의 표층 퇴적물을 통해 지질 및 지화학 분석을 실시하였다. 표층 퇴적물은 크게 2개의 퇴적체(역질, 니질)로 구분이 가능하다. 대부분의 해역은 세립한 니질 퇴적물로 구성되었으며, 만지도 주변해역 및 조도수로 해역만 역질 퇴적물이 분포하고 있다. 퇴적물 내의 유기탄소 함량은 비교적 낮은 값을 보이고 있으며(0.69~1.18% (0.96%)), 탄산염은 7.07~37.64%로 역질 퇴적체가 분포하는 지역에서 주로 나타나고 있다. C/N 비가 5.01~6.99로 나타난 것으로 보아, 모든 퇴적물이 해양의 생물에 의해 생성된 유기물이 퇴적된 것으로 나타났다. 황화수소 가스의 함량은 0.5~195.8 ppm으로 전 해역이 200 ppm 이하의 오염되지 않은 상태를 나타내고 있다.

제 2 절 인공어초

1. 서 론

21세기에 들어 산업기술의 비약적인 발달로 인해 우리의 삶의 질은 훨씬 풍요로워 졌으나, 한편으로는 많은 문제를 안고 있는 것도 사실이다. 우리가 안고 있는 중요한 문제점으로는 지구온난화, 식량문제 등을 들 수 있다. 국제연합식량농업기구 (FAO) 등의 추정에 의하면 21세기 중엽에는 현재 인구의 2배인 약 100억명에 달할 것으로 추측된다. 이로 인해 현재 1인당 식량소비량을 기준으로 환산해 볼 때, 세계가 필요로 하는 식량은 현재의 2배로 달할 것으로 추정된다. 그러나 농업생산을 기본으로 한 육상에서의 식량생산은 황폐화한 사막의 비옥화, 아시아, 아프리카, 남아메리카, 오스트라리아 등 대륙의 미개발지에 대한 개발을 통하여 어느 정도의 증산이 기대되지만, 충분한 공급은 어려운 실정이다.

이와 같은 문제점들에 대한 해결은 앞서 언급한 바와 같이 대륙에서는 어려우며, 해양에서 해결할 수 밖에 없을 것이다. 일례로 광합성을 하여 이산화탄소를 고정하므로써 유기물을 만드는 생산력은 열대우림 (熱帶雨林) 보다 바다에 서식하는 해조류 (다시마)가 더 큰 것으로 알려져 있다. 1년간 1 m²당 2,000 g의 탄소를 고정하는 열대우림이나, 1,200 g의 온대낙엽수에 비해 양식 다시마는 4,800 g의 탄소를 고정한다고 알려져 있다. 또한, 1986년 쏘아올린 인공위성 닌버스 7호로 연안역 수색센서에 의한 크로로필을 7년간 조사하여 분석한 결과에 의하면, 해양의 1차생산은 약 3,700 - 4,700 억톤/년 (탄소)으로 추정되며, 육지에 비해서도 4 - 5배 정도의 크기이다. 따라서 우리가 처해있는 어려운 상황을 해결하기 위해서는 자원의 보고 (寶庫)인 바다를 어떻게 잘 이용하고 관리해야 할 것인가에 지혜를 모아야 할 것이다. 이와 관련하여 여러 가지 대안이 있을 수 있겠지만, 무엇보다도 중요한 것은 생산력이 높은 연안역의 체계적 개발 및 관리라 할 수 있다.

연안 역은 각종 수산자원의 산란장, 보육장, 서식장으로서 역할을 하며, 어업자에게는 삶의 터전이요, 레저 이용자에게는 여가의 장으로서 제공된다. 따라서 연안 역을 어떻게 개발하느냐에 따라 삶의 질이 달라질 수 있다. 바다는 육지와 달리 자원의 이동이 심하기 때문에 관리하고 가꾸는 개념이 희박하다. 그러나 최근 들어 연안 역을 육지의 논과 밭처럼 가꾸려는 기술이 개발되고 있으며, 그 중 하나가 바다목장조성사업이다. 동 사업은 재배어업이 농작물의 재배를 이미지화 하여 수산자원을 인위적으로 육성하고 이것을 어획하는데 대하여, 목축업을 이미지화하여 자연환경 속에 방생한 후 필요할 때 어획을 하는 것을 말한다. 바다목장 사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고, 넓은 수역에 어린 물고기를 물속에 놓아 준 후 필요할 때 어획하는 것을 말한다. 즉, 대상생물의 서식환경에 적합한 인공어초어장을 조성하고 (Kim et al., 1994), 그곳에 어린 물

고기를 물속에 놓아 죽지 않고 성장함으로써 지속적으로 어획 생산성이 유지 및 증강되는 것을 의미한다. 외국에서는 15년 전부터 실시해오고 있으며, 우리나라에서도 1998년에 통영바다목장사업을 시작으로 현재 동, 서, 남해 및 제주지역에 1개소씩 선정하여 추진 중에 있다.

통영해역 바다 목장 개발 연구는 1998년부터 2006년까지 8년 계획으로 수행되고 있으며, 1998년부터 2000년까지는 바다 목장조성에 필요한 기반조사를 실시하였다 (김 등, 1999). 그리고 2001년부터 2004년까지는 조사된 자료를 토대로 바다 목장조성에 필요한 관련 기술을 적용하였다 (김 등, 2004). 한편 2005년부터 2006년까지는 통영바다목장의 주 대상 종인 조피볼락은 성장함에 따라 그리고 겨울철 저수온기에 바다목장 내의 수심 40m의 비교적 깊은 곳으로 이동하여 서식한다고 판단되어 대형어초를 제작, 시설한 후 그의 효과를 규명예정에 있다. 2005년도에는 통영바다목장 내의 수심 40m 이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석, 통영바다목장 내의 수심 40m 이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법 분석 및 시설된 대형어초의 효과분석 등 3개 항목을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석

(1) 시설 예정지의 유속, 저질, 서식어종 분석

통영바다 조성지 내의 대형어초의 시설지에 대해 기존자료를 이용하여 유속 및 유향을 분석하였다. 그리고 저질은 대형어초가 시설될 곤리도 외측 34°47.900', 128°20.550', 34°47.900', 128°21.667', 34°46.000', 128°20.550', 34°46.000', 128°21.667'의 면적에 대해 조사된 탄성파 자료와 입도분석 자료(김 등, 2004)를 이용하여 분석하였다(그림 3-2-1, -2). 또한, 통영바다목장 내의 서식하고 있는 어종 분석은 현재까지 통영바다목장 연구 수행과정에서 조사된 자료를 토대로 분석하였으며, 이것은 대형어초의 시설 후 대형어초에 모여든 어종과의 비교분석을 위해서 였다.

(2) 시설 후 침하방지 공법 분석

대형어초의 시설 후 매몰방지 공법 분석은 곤리도 외측 34°47.900', 128°20.550', 34°47.900', 128°21.667', 34°46.000', 128°20.550', 34°46.000', 128°21.667'의 면적에 대해 조사된 탄성파 자료와 입도분석 자료(김 등, 2004)를 이용하였으며, 시설 후 자중과 저인망 등의 예인에 의한 인위적인 하중 (특히 수평하중 등)에 의한 침하에 대해 기술하였다.

나. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

(1) 강재의 용접방법별 시공도 분석

다기능성 대형어초는 콘크리트와 강재로 구성되나 90 % 이상이 강재로 구성된다. 따

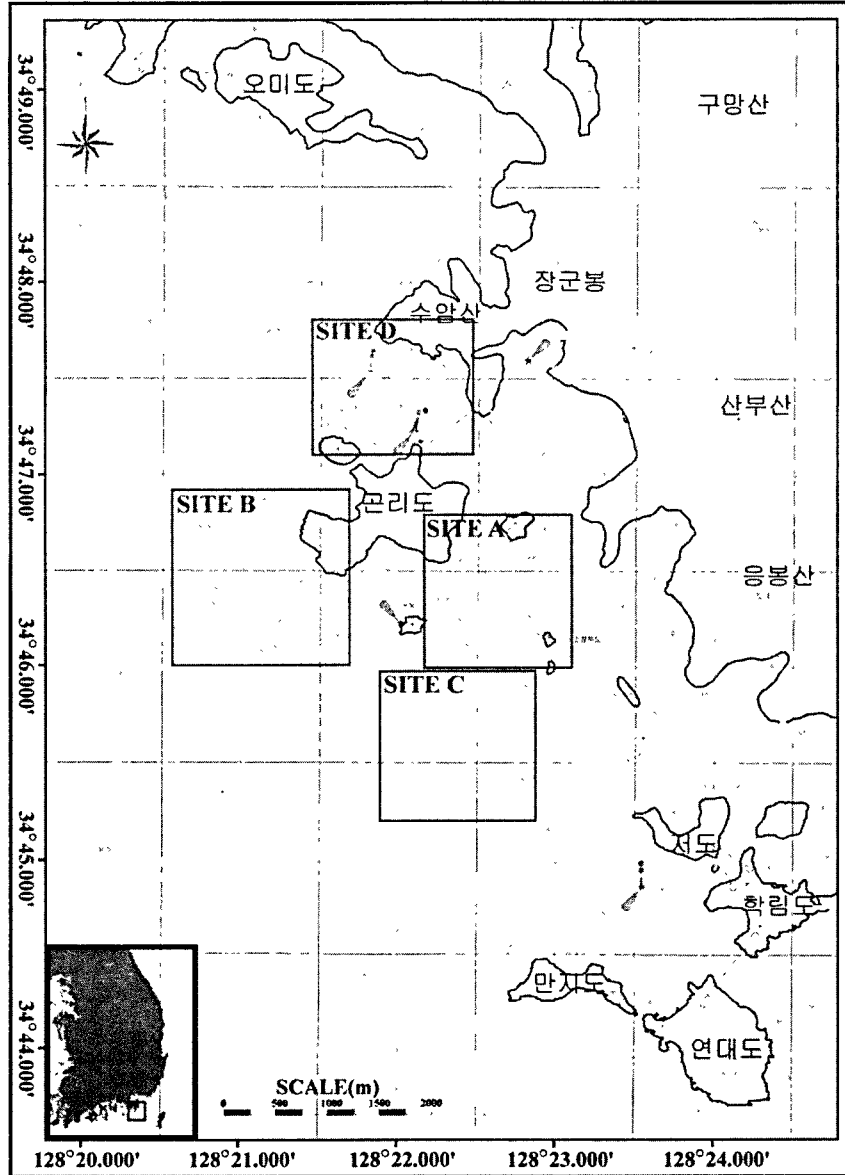


그림 3-2-1. 바다목장 조성지 내의 탄성과 조사지역 (Site B).

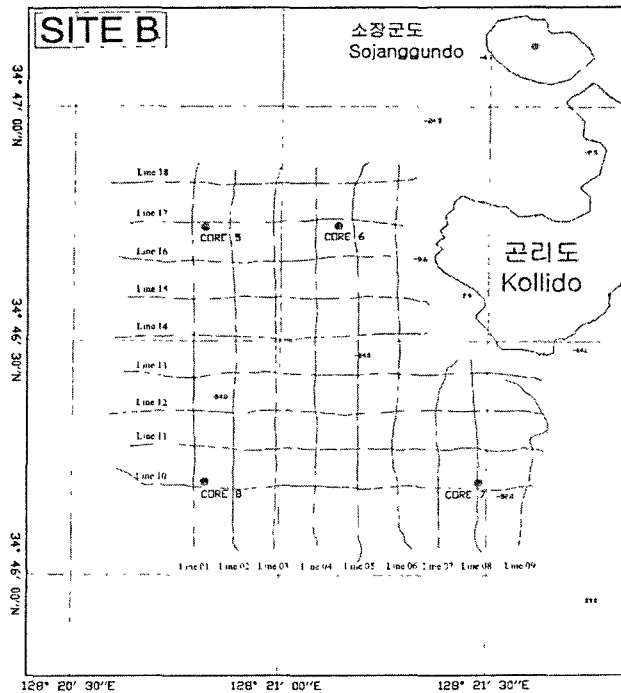


그림 3-2-2. 바다목장 조성지 내의 B지역 (곤리도 외측)에서 코어시료 채취위치.

라서 강재를 절단하여 어초를 제작하는 과정에서 필요한 용접방법을 기술하였고, 용접방법에 따른 단가에 미치는 영향을 고려하여 동 어초를 제작하는 과정에서 가장 적합하다고 판단되는 용접방법을 제시하였다.

(2) 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석

앞서 언급한 바와 같이 동 어초는 콘크리트와 강재의 복합체로 구성된 어초로 제작되었다. 따라서 제작과정에서 콘크리트와 강재의 상이한 상으로 인해 부적절한 시공이 우려되므로 이에 대해 기술하였으며, 특히, 내구성의 차이로 인한 일정기간 후의 콘크리트와 강재의 결속력 약화로 인해 구조체가 와해될 우려에 대해서도 구조적 특성을 강화한다는 측면에서 기술하였다.

(3) 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

동 어초는 높이가 15 m이며, 자중이 약 58톤의 대형어초이다. 따라서 제작 후 어초가 시설될 해역으로의 이동과정에 많은 어려운 점이 있다. 주요한 어려운 점으로는 제작 후 제작장에서 바지선까지의 이동, 시설지에 어초를 시설하는 것 등이다. 이에 대해 적절한 공법을 단가절감과 시공의 용이성 확보차원에서 기술하였다.

다. 시설된 대형어초의 효과조사

(1) 대형어초에 모여든 어류의 수직분포형상 분석

금회 제작, 시설될 다기능 대형어초는 그 높이가 개략 15 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 콘크리트와 강재를 사용하여 어초를 피라 및 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임 (저층에서 5m 높이까지)과 중층프레임 (5~10 m) 및 하층프레임 (10~15 m)으로 3원화시킴으로서, 하층 프레임에는 조피블락이나 쥐노래미 또는 솜뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류의 위집에 적합한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류의 위집에 적합한 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다. 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류의 위집에 적합한 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다. 따라서 당초 설계대로 어초의 각 층별로 어류가 모여드는지 조사하였다. 자료는 삼중자망과 잠수조사를 이용하여 분석하였다.

(2) 대형어초의 내부에 모여든 어류의 위치

(1) 항에서 언급한 바와 같이 대형어초는 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 여러 층의 층상공간을 제공하되, 테구조와 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다. 하층부 저면에는 통로관을 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하고, 중층부는 각 층마다 차단판과 사재 (斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하며, 상층부는 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판을 교호 (交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화시킬 수 있도록 하였다. 따라서 당초 설계대로 어초의 내부 공간 즉, 홉판이나, 차단판과 사재 (斜材)의 주위, 각 부재별로 어류가 모여든 위치를 잠수관찰을 이용하여 분석하였다.

(3) 대형어초의 시설 후 안정성 분석

동 어초를 시설 한후 자중이나 외력에 의해 매몰이나 전도가 야기되지 않는지 잠수관찰을 이용하여 조사하였다. 특히, 강재를 이용한 어초는 용접과정에서의 부주의로 인해 용접부의 부식의 용이, 부식으로 인한 부재의 이탈 등의 우려가 크므로 이에 대해서도 조사하였다.

3. 결과 및 토의

가. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석

(1) 시설 예정지의 유속, 저질, 서식어종 분석

(가) 유속 및 저질

통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 수심 40 m인 곳은 그림 3-2-1 중 Site B이며, 조사 면적은 약 2.38 km² 정도이다. 이 곳의 최강평균유속은 0.8 kn이며, 주조류방향은 서북-동남방향이다. 그리고 수심은 2 - 55 m 정도로 이루어져 있으며, 끈리도에서 서쪽 방향으로 가면서 약 55 m의 최고 수심을 보이다가 점차 감소하며, 최고 수심이 나타나는 부분은 남북 방향으로 길게 골을 이루고 있다. Site B 지역의 탄성파자료, 즉 그림 3-3-1에서와 같이 음향기반암 (acoustic basement)은 수심 약 55 - 68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10 - 30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 수심 55 m의 끈리도 근처의 지역 (Line 08)을 제외하고는 주상시료 분석결과 대부분 니질 퇴적물로 구성되어 있다. 이는 본 조사지역의 탄성과 단면과 잘 일치하고 있다. Site B에서 획득한 주상시료는 총 4개 (정점 5, 6, 7, 8)였으며, 평균 입도가 6.33 - 9.49 ϕ 로 나타났다. 퇴적물 유형은 평균 입도에서도 알 수 있듯이 전반적으로 M (mud)가 우세하게 분포하고 있으며 다음으로 C (clay)가 우세하며 부분적으로 (g) sM (slightly gravelly sandy mud)로 나타났다 (표 3-2-1). 정점 5에서는 총 110 cm의 시료를 획득하였으며 평균 입도는 8.16 - 8.52 ϕ 로 거의 균질한 니질 퇴적물로 이루어져 있다. 또한 퇴적물 유형 역시 M (mud)와 C (clay)로 전체적으로 유사하게 나타났다. 정점 6은 137 cm의 시료가 획득되었다. 평균 입도는 8.40 - 9.49 ϕ 로서 정점 5와 같이 거의 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있다. 그러나 정점 5에 비해서는 상대적으로 점토(clay)의 함량이 높게 나타났으며 퇴적물 유형에서도 C (clay)가 우세하게 나타났다. 정점 7의 경우 획득된 시료가 80 cm로서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래 (sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33 - 8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g) sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 정점 8에서 획득한 시료의 길이는 116 cm이며 퇴적물 유형은 전체가 M (mud)으로 이루어진 균질한 상태를 나타냈다. 평균 입도는 7.70~8.46 ϕ 를 보였으며 사질의 함량은 10 % 미만이고 실트 (silt)질 퇴적물보다 점토 (clay)질 퇴적물의 함량이 조금 높게 나타났다. 한편, Site B에서는 퇴적물 유형이 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 연관하여 1.28 - 5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보인다 (표 3-2-1). 일반적으로 해양퇴적물에서의 전단응력은 퇴적물 깊이가 깊을수록 다짐, 속성작용에 의해 점진적인 증가를 보이는데 site B에서 역시 정점별 전단응력은 부분적인 입도별 함량에 의한 차이는 있으나 하부로 갈수록 퇴적물 다짐작용에 의해 점진적인 증가를 보인다. 이상의 저질자료를 토대에 의거 급회 시설될 어초는 높이가 15 m의 것으로 전체의 육상에서의 자중은 약 58톤 정도인 것을 감안할 때, 정점 7지역에 시설할 경우 매몰의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다.

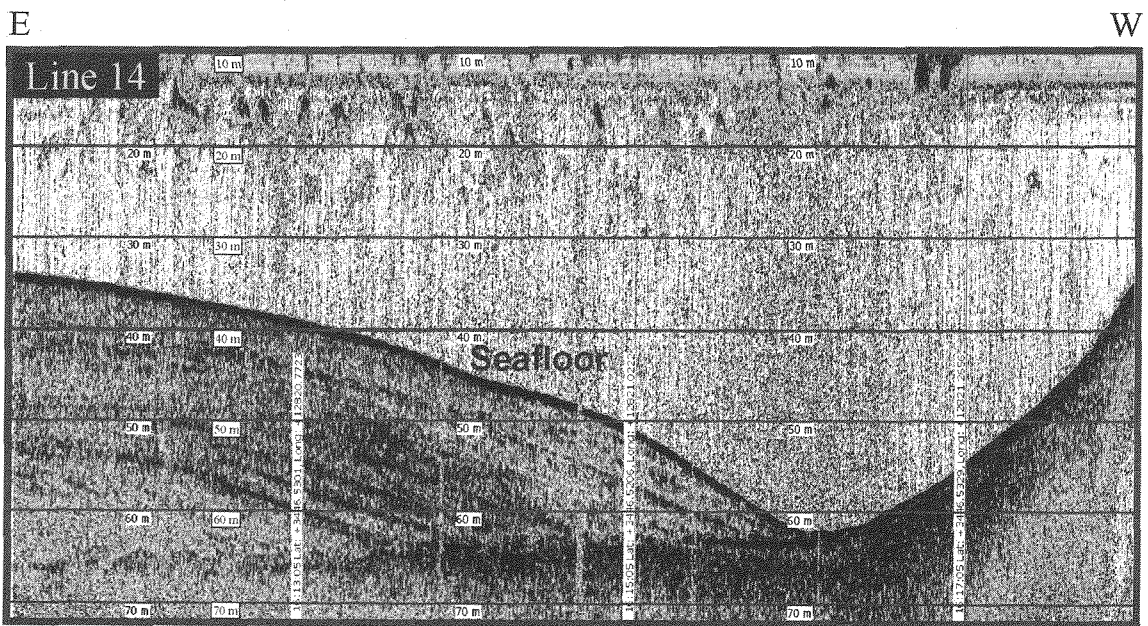
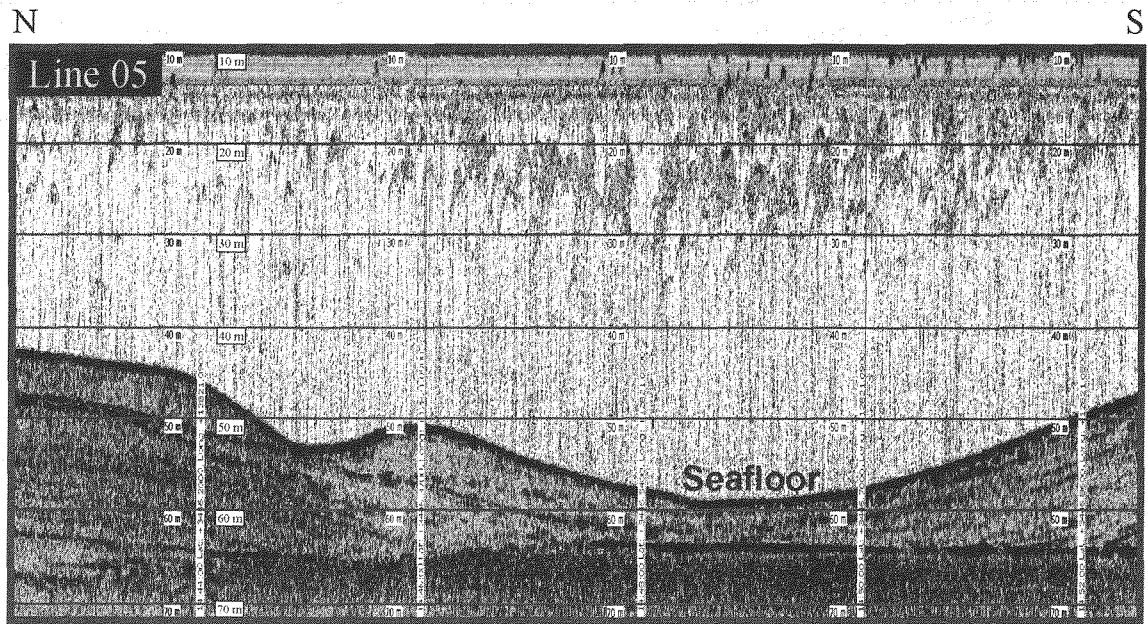


그림 3-2-3. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 탄성과 단면도 (김 등, 2004).

표 3-2-1. 곤리도 서쪽에 위치한 지역 B의 저질입도 및 전단강도 (김 등, 2004)

Station No.	Core Depth (cm)	평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	Gravel	Sand	Silt	Clay	퇴적물 유형	Shear Strength (kPa)
CORE 05	10	8.16	1.78	0.00	0.80	42.58	56.62	M	1.28
	20	8.38	1.88	0.00	1.62	33.79	64.59	M	1.28
	30	8.29	1.91	0.00	1.00	37.23	61.77	M	1.90
	40	8.52	1.70	0.00	0.21	32.79	67.00	C	2.82
	50	8.25	1.85	0.00	0.39	38.83	60.79	M	1.49
	60	8.29	1.75	0.00	0.60	39.30	60.10	M	2.59
	70	8.33	1.77	0.00	2.16	36.16	61.68	M	3.92
	80	8.31	1.80	0.00	1.56	36.84	61.60	M	3.48
	90	8.31	1.76	0.00	0.70	39.02	60.28	M	1.28
	100	8.34	1.83	0.00	0.55	38.71	60.74	M	3.48
CORE 06	10	9.49	1.71	0.00	0.07	16.56	83.37	C	1.28
	20	8.70	1.79	0.00	0.07	32.94	66.99	C	1.28
	30	8.93	1.69	0.00	0.21	25.27	74.52	C	1.28
	40	8.87	1.79	0.00	0.05	26.40	73.55	C	1.28
	50	8.81	1.67	0.00	0.25	28.29	71.46	C	1.49
	60	8.72	1.67	0.00	0.04	29.89	70.07	C	1.71
	70	8.98	1.61	0.00	0.14	24.50	75.36	C	3.04
	80	8.99	1.76	0.00	0.98	24.78	74.24	C	2.82
	90	8.47	1.93	0.00	0.21	34.74	65.05	M	4.14
	100	8.40	1.84	0.00	1.55	35.02	63.43	M	4.14
	110	8.88	1.75	0.00	0.64	25.99	73.37	C	4.80
	120	9.27	1.65	0.00	1.11	18.92	79.98	C	4.36
	130	9.18	1.59	0.00	2.32	7.58	90.10	C	5.47
CORE 07	10	8.52	1.91	0.00	2.56	28.08	69.36	C	1.28
	20	8.33	2.05	0.00	2.29	35.07	62.64	M	1.28
	30	8.11	2.18	0.00	9.54	43.43	47.03	M	2.37
	40	8.22	1.93	0.00	1.74	36.63	61.62	M	2.82
	50	8.27	2.27	0.00	8.11	28.32	63.57	C	3.92
	60	6.81	3.46	1.66	28.80	18.25	51.29	(g)sM	2.37
	70	6.33	3.67	5.37	23.59	36.99	34.06	(g)sM	-
CORE 08	10	8.08	1.82	0.00	0.71	43.03	56.26	M	1.49
	20	8.28	1.90	0.00	1.35	36.45	62.20	M	1.49
	30	8.05	2.08	0.00	1.44	41.46	57.10	M	1.49
	40	8.09	2.17	0.00	4.05	36.96	58.98	M	1.49
	50	8.06	1.81	0.00	0.36	44.36	55.29	M	1.90
	60	8.25	1.78	0.00	0.92	38.99	60.09	M	1.28
	70	7.70	2.58	0.00	9.93	32.69	57.38	M	3.04
	80	8.46	1.69	0.00	0.65	34.80	64.55	M	3.04
	90	8.25	1.91	0.00	0.50	38.64	60.85	M	2.59
	100	8.25	1.95	0.00	1.05	38.45	60.50	M	3.26
	110	8.21	1.99	0.00	1.46	38.81	59.73	M	2.37

(나) 서식어종

바다목장 조성에 의한 수산자원 조성효과를 극대화 시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이 중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종(서식어종)을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련 있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다. 1997년 2월부터 12월까지 통영 바다목장에 위치한 곤리도 인근 해역에서 채집한 유, 치자어는 76종이었고, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 성어는 모두 89종 이었다 (김 등, 1999). 이들 어종 (유, 치자어 및 성어)에 대해 어초성을 분류하면, 유, 치자어의 경우 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종 (25 %)이었고, 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 감성돔 등 9종 (12 %) 이었다(그림 3-2-4). 한편 성어의 경우 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종 (21 %), II형은 참돔, 농어 등 21종 (24 %), III형은 방어, 고등어 등 8종 (9 %)이 있었다 (그림 3-2-5).

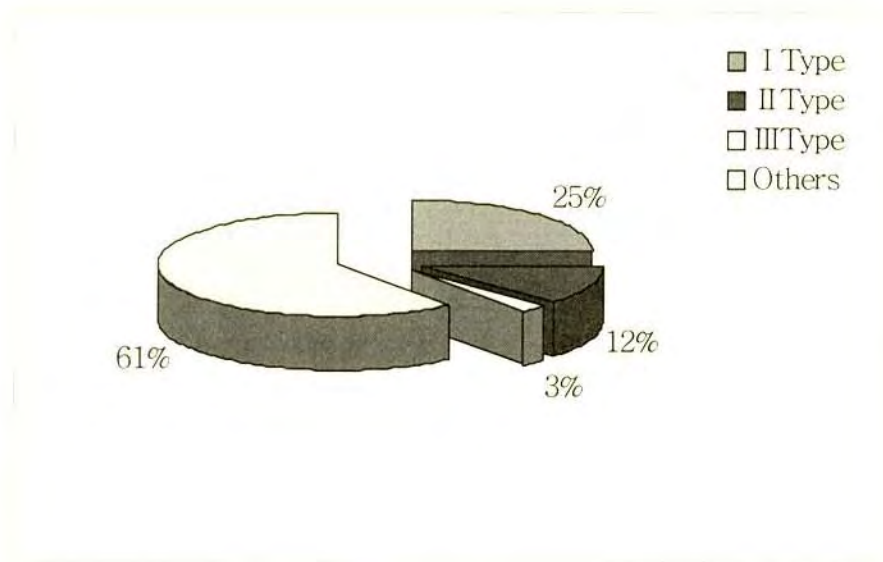


그림 3-2-4. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 유, 치자어의 어초성 분류.

(나) 서식어종

바다목장 조성에 의한 수산자원 조성효과를 극대화 시키기 위해서는 어장의 특성을 정확히 파악해야 한다. 여기서 어장의 특성이란 수심, 저질, 조류 등 물리적인 요소와 출현어종, 먹이생물 등 생물적 요소, 이용어법 등 사회적 요소 등이 복합적으로 작용하여 어획효과의 대소로 나타난 현상으로 설명할 수 있다. 이 중에서 가장 중요한 요소로는 출현어종(서식어종)을 들 수 있으며, 이것은 양적 개념과 관련 있다고 생각된다. 따라서 어초어장 조성 후 어획효과의 향상은 출현어종의 어초성을 얼마나 정확히 어초의 구조 및 배치형태에 반영하였느냐에 달려있다고 볼 수 있다. 1997년 2월부터 12월까지 통영 바다목장에 위치한 곤리도 인근 해역에서 채집한 유, 치자어는 76종이었고, 1997년 2월부터 8월까지 통영 어시장에서 조사된 성어는 모두 89종 이었다 (김 등, 1999). 이들 어종 (유, 치자어 및 성어)에 대해 어초성을 분류하면, 유, 치자어의 경우 접촉자극이 강한 I형 어류는 조피볼락, 볼락 등 19종 (25 %)이었고, 시각자극에 강하게 반응하는 II형 어류는 참돔, 감성돔 등 9종 (12 %) 이었다(그림 3-2-4). 한편 성어의 경우 I형은 조피볼락, 볼락 등 19종 (21 %), II형은 참돔, 농어 등 21종 (24 %), III형은 방어, 고등어 등 8종 (9 %)이 있었다 (그림 3-2-5).

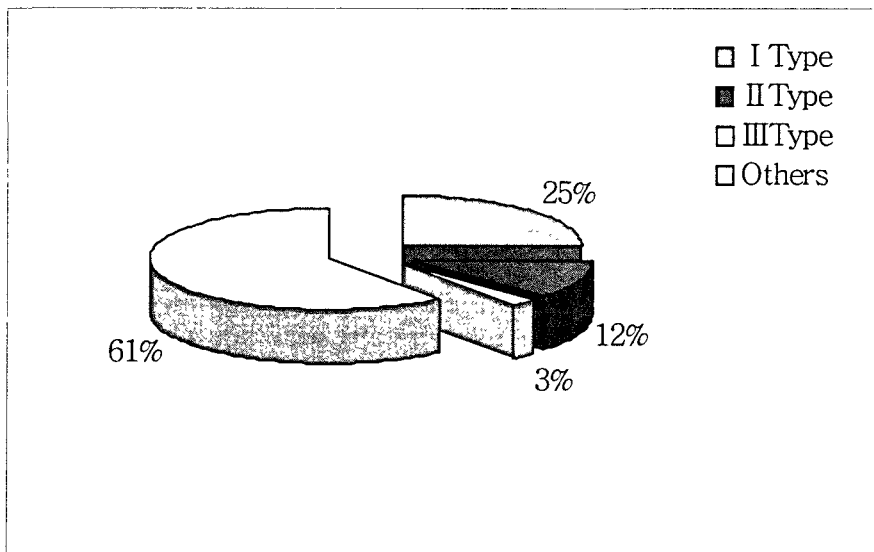


그림 3-2-4. 통영해역에서 1997년 2월에서 12월까지 채집된 유, 치자어의 어초성 분류.

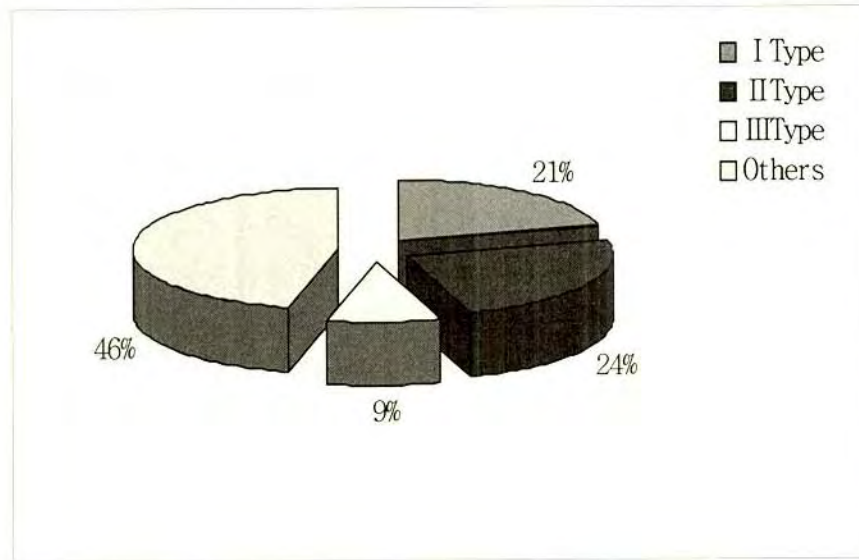


그림 3-2-5. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류.

(2) 시설 후 매몰방지 공법 분석

통영바다목장 지역 내의 수심 40 m 이상인 곳에 대형어초를 시설하여 어업인들이 일정기간 사용하기 위해서는 시설 후 침하로 인한 어초의 기능저하 등이 없어야 한다. 본 연구에서는 매몰방지 공법과 관련해 어초 자중에 의한 침하 (자연적 측면) 및 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하 (인위적인 측면)에 대해 분석하였다.

(가) 다기능 고층어초의 구조형태

본 연구에서 개발 (2004년)한 다기능고층어초는 높이가 30 m, 15 m의 2종류로 설계하였다. 금회 시설될 어초는 높이가 15 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 콘크리트와 강재를 사용하여 어초를 피라미트 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화 시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 쏜뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다 (田中, 1979; 1986). 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 최적의 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다 (그림 3-2-6).

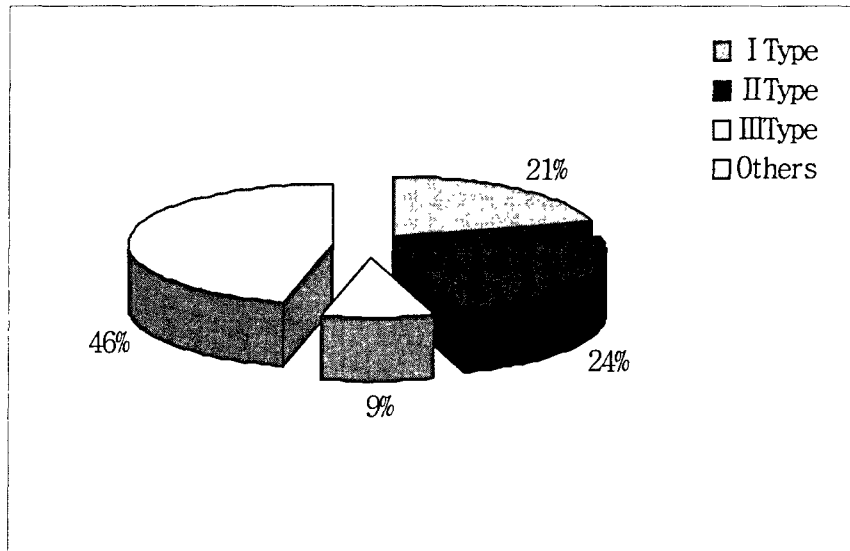


그림 3-2-5. 통영 어시장에서 1997년 2월에서 8월까지 조사된 성어의 어초성 분류.

(2) 시설 후 매몰방지 공법 분석

통영바다목장 지역 내의 수심 40 m 이상인 곳에 대형어초를 시설하여 어업인들이 일정기간 사용하기 위해서는 시설 후 침하로 인한 어초의 기능저하 등이 없어야 한다. 본 연구에서는 매몰방지 공법과 관련해 어초 자중에 의한 침하 (자연적 측면) 및 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하 (인위적인 측면)에 대해 분석하였다.

(가) 다기능 고층어초의 구조형태

본 연구에서 개발 (2004년)한 다기능고층어초는 높이가 30 m, 15 m의 2종류로 설계하였다. 금회 시설될 어초는 높이가 15 m 정도로 각종 정착성 및 회유성 어류가 서식 및 체류하는데 적합하도록 콘크리트와 강재를 사용하여 어초를 피라미트 형상의 프레임 구조물로 설계하였다. 또한 어초의 구조를 상층프레임과 중층프레임 및 하층프레임으로 3원화 시킴으로서, 하층프레임에는 조피볼락이나 쥐노래미 또는 솜뱅이나 넙치 등과 같은 주축성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하고, 그 중층프레임에는 참돔이나 돌돔 또는 감성돔과 농어 등과 같은 보목적성 어류를 위한 최적의 서식 및 체류공간을 제공할 수 있도록 하였다 (田中, 1979; 1986). 또한 상층프레임에는 방어나 삼치 또는 고등어나 전갱이 등과 같은 회유성 어류를 위한 최적의 체류공간을 제공할 수 있도록 설계하였다 (그림 3-2-6).

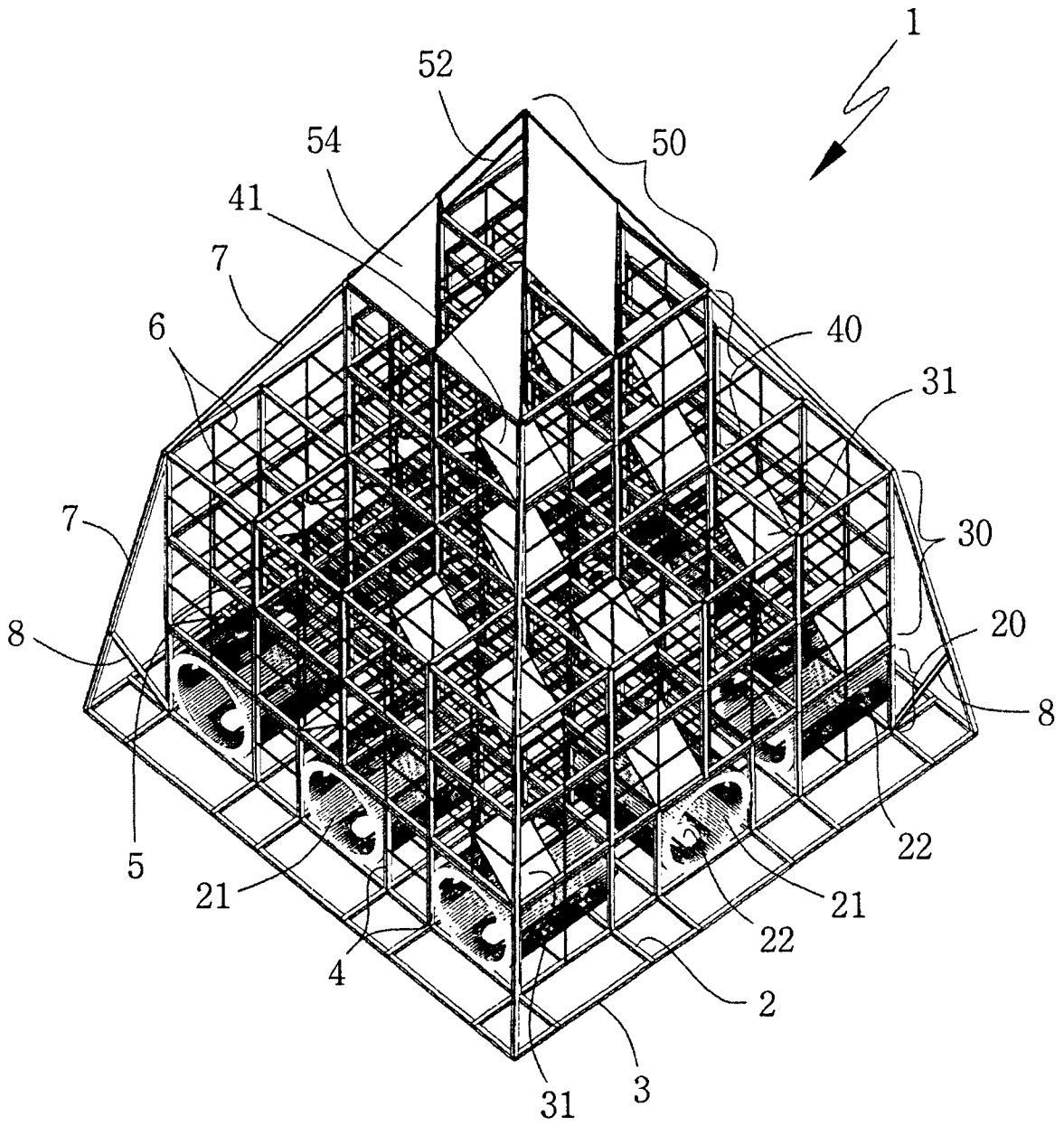


그림 3-2-6. 다기능고층어초의 형상.

다기능고층어초는 정착성 어류의 서식 및 회유성 어류의 체류에 적합하도록 여러 층의 층상공간을 제공하되, 테구조와 면구조를 적절히 조합시켜 어류의 서식공간과 풍부한 음영을 갖도록 하였다. 하층부 저면에는 통로관을 설치하여 주축성 어류의 서식에 적합하도록 하고, 중층부는 각 층마다 차단판과 사재 (斜材)를 적절히 조합시켜 음영과 와류발생을 풍부하게 하며, 상층부는 사각뿔의 형상을 가지도록 한 상태에서 지붕을 형성하는 부분에 차단판을 교호 (交互)로 설치하여 차광 및 와류의 발생을 극대화시킬 수 있도록 하였다. 특히, 그 바닥부측에는 전도방지용 바닥프레임이 돌출되도록 설치되어 있고, 이 바닥프레임의 외곽부가 보강프레임에 의하여 중층부 구조물의 모서리 부분과 견고하게 연결됨으로서, 15 m 높이의 인공어초가 풍랑이나 조류에 의하여 전도 및 파손되는 것을 보다 완벽하게 방지할 수 있도록 함과 동시에, 그물과 같은 어구가 인공어초의 상부 측에 걸리지 않고 해저 면까지 용이하게 침강될 수 있도록 하였다.

(나) 시설 후 침하방지 공법

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 침하방지 공법과 관련해 어초 자중에 의한 침하 (자연적 측면) 및 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하 (인위적인 측면)에 대해 분석하였다. 전자와 관련해서는 다기능어초가 시설될 Site B (그림 3-2-1)의 정점 7의 자료를 토대로 분석하였다. 동 정점에서 획득된 시료는 80 cm로 서 다른 세 정점에 비해 하부에서 상대적으로 모래 (sand)의 함량이 높게 나타났다. 평균 입도는 6.33 - 8.52 ϕ 이며 퇴적물 유형은 C (clay), M (mud), (g) sM (slightly gravelly sandy mud) 등으로 나타났다. 퇴적물의 유형은 통영바다목장 조성지의 다른 조사지역에 비해 균질한 니질퇴적물로 이루어져 있으며 전단응력 역시 이와 연관하여 1.28 - 5.47 kPa로 상대적으로 낮은 값을 보이고 있기 때문에 접지면적을 크게 하여 자중을 분산시키므로써 매몰이 적게 야기되도록 하였다. 저면의 크기는 15 × 15m로 하였으나 실제 자중의 분산에 기여한 면적은 10 × 10 m로 전체 면적 225 m² 중 100 m²로 약 44%에 해당한다. 15 m 중 5 m의 부분은 외팔보의 역할을 하며 전도에 대한 저항 (모멘트 값)를 크게 하는 역할을 한다고 할 수 있다. 자중의 분산을 분담할 저면의 10 × 10 m 부분은 일정한 간격으로 H 빔과 L형강이 배치되며, 모서리 4곳에 직경 1.2 m의 흡관이 부착된다. 따라서 10 × 10 m부분의 실제의 접지면적 (L형강 면적은 제외)은 18.6 m² (H 빔 0.15 × 10 m × 6본, 흡관 1.2 × 2 m × 4본)이 된다. 이 값을 수중에서의 다기능어초의 자중 약 50톤에 대해 단위면적당 접지압으로 환산하면, 0.27 kg/cm²로 된다.

한편, 자망이나 저인망 등 예인과정에서 수평하중 등의 작용으로 인한 침하 (인위적인 측면)과 관련해서는 어초가 외력에 의해 전도되는 과정에서의 한쪽 면의 집중 하중으로 인한 침하를 들 수 있다. 전도 외력을 가정해보면 어초의 정점에 그물이 걸렸을 경우 전도에 필요한 외력 (435톤)은 29톤 (15 m × 29톤)이며, 이 값은 실제 어업현장에서는 일어나기 어려우므로 외력에 의한 침하의 우려는 없을 것으로 판단된다.

나. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

(1) 강재의 용접방법별 시공도 분석

용접방법별 시공분석에 앞서 용접방법 및 부식에 대해 시공과정에서의 주의점 혹은 착안점, 그리고 내구성과 관련하여 부식에 대해 기술하였다.

(가) 용접 방법 및 검사

어초의 용접부를 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접으로 하는 경우에 고려하여 기술하였다. 용접을 하기 전에 용접재료의 선정 및 관리, 모재의 청소가 중요하다. 용접재료의 선정과 관련해서는 피복아크용접봉, 와이어 및 가스등의 용접재료는 KS 규격품을 원칙으로 한다. 그리고 용접재료는 습기를 흡수하지 않도록 보관하고, 흡습되었다고 의심이 가는 경우는 건조기 등으로 성능이 유지되도록 하여 사용하여야 한다. 흠의 확인 및 모재의 청소와 관련해서는 흠의 확인의 경우 용접에 앞서 흠이 적절한가, 부적절한가를 확인하고, 부적절한 흠의 경우에는 용접을 하여서는 안되며, 흠을 수정하고, 용접에 지장이 없는 상태가 되도록 하여야 한다. 그리고 모재의 용접면은 용접에 앞서 슬래그, 수분, 녹, 기름, 도료, 기타 용접에 지장을 주는 것을 제거하여야 한다.

용접가공과 관련해서는 용접부는 균열,기공등, 틈새부식에 유해한 결함이 있어서는 안 된다. 또한, 용접은 용접방법, 강종과 판두께 및 작업환경에 따라서, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유량 등의 적절한 조건을 선정하여 실시하여야 한다. 공장용접은 회전 지그, 포지셔너 등 적절한 지그를 사용하고 가능한 한 용접자세는 아래보기로 행하도록 한다. 이 과정에서 용접의 작업방법 및 순서는 변형과 잔류응력이 최소가 되도록 대책을 세워 결함이 없도록 용접한다. 아크 개시점에는 특히 용입불량과 슬래그섞임에 주의하여야 한다. 또 아크의 종료점 및 비드의 종단에는 균열이 발생하지 않도록 건전한 용착금속으로 그 크레이터(crater)부를 충분히 메꾸어 두지 않으면 안 된다. 기온이 0℃이하의 경우는 용접을 하지않으며, 단 용접부 보다 100mm 범위의 모재 부분을 36℃ 이상으로 가열하여 용접하는 경우는 가능할 수 있다. 특히, 바람이 강한 날은 바람을 차단시켜 용접을 하여야 한다. 우천시나 습도가 높은 경우는 예를 들어 실내라 해도 수분이 모재의 표면 및 표면 부근에 없는 것을 확인하고 용접을 하여야 한다. 이 과정에서 철망의 부착은 부식손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다. 슬래그의 제거는 각 칸별립 및 용접 완료 후에 하며, 용접부 부근에 부착하여 있는 스파터들은 제거하여야 한다.

맞대기 용접은 받침쇠를 사용하는 경우, 건전한 루트부 용입이 얻어지도록 충분한 루트 간격을 잡고, 받침쇠를 밀착되도록 하여야 하고, 받침쇠는 용접성에 문제가 없는 것을 선택하여야 한다. 필릿 용접의 경우 등각 필릿 용접의 양각장은, 심한차가 있어서는 않된다. 부재의 밀착과 관련하여 필릿용접된 상호부재는 충분히 밀착되지 않으면 안 된다. 필

릿용접 시 가능한 한 블록형 비이드를 피하고 덧살의 높이는 3mm 이하로 하여야 한다. 그리고 들레용접(boxing)의 경우 앤드탭 (endtab)을 사용하지 않는 필립용접의 처음과 끝은 매끄럽게 들레용접을 하도록 한다.

용접부의 표면결함검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하지만, 그 기준은 아래 표와 같다. 용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접한다든지, 혹은 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접 하는 등 적절한 방법으로 수정하여야 한다.

표 3-2-2. 용접 외관 검사 기준

결함의 종류	허용범위
용접 비드 표면의 피트(pit)	필릿 용접에는 이음부에 흠집 3개, 또는 이음부 길이 1m에 흠집 3개까지를 허용한다.
용접 비드 표면의 요철	비드 표면의 요철은 비드 길이 25mm의 범위에 있어서 고저차로 나타내며 3mm를 넘는 요철이 있어서는 안 된다.
언더컷	언더컷의 깊이는 0.8mm를 넘어서는 안 된다.
오버랩	오버랩이 있어서는 안 된다.
필릿용접의 크기	필릿용접의 크기 및 목두께는 지정 필릿 크기 및 목두께 이상이어야 한다.

(나) 부식과 방식

① 부식환경

강제어초는 약 200m 정도까지의 해저에 시설된다. 따라서 부식환경은 해중, 해저부이다.

② 부식요인

해중, 해저부의 부식은 주로 수온 및 용존산소량에 의해 좌우된다. 온난해역에서는 한 냉해역보다 부식량이 크다. 또 통상 수심이 깊어짐에 따라 수온, 용존산소량이 저하하고 부식량도 적게된다. 우리나라는 일본에 비해 수온이 비교적 낮은 편에 속한다.

③ 부식허용량

착저형의 강제어초의 부식허용량은 어초 최상부의 수심으로 결정한다. 보통강을 사용한 강제어초의 최상부가 20m 이상의 수심인 경우는 Table 16의 값을 기준으로 한다. 강제어초의 강재를 耐海水性鋼을 사용할 경우는 종류에 따라 차이가 있으나 부식량이 보통강의 약 1/2 정도이다.

표 3-2-3. 강제어초의 부식허용량

수 심	부 식 량(편면)
20~50m	1.2mm/30년
50m 이상	0.9~1.0mm/30년

*여유율은 공식 등의 국부부식을 고려하여 2.0배로 한다.

④ 전기방식

부식허용량에 의한 방식에 추가로 전기방식을 함께 사용함으로써 부식에 의한 부재 두께감소 및 집중부식을 줄일 수 있다. 전기방식은 통전방식에 의해 유전양극방식과 외부전원방식이 있다. 별도 유전양극방식을 할수 있다. 유전양극방식은 알루미늄, 마그네슘, 아연 등의 양극을 강제구조물에 접촉시키고, 양금속간의 전위차로서 발생하는 전류를 방식전류로서 이용하는 방식이다. 유전양극재료는 알루미늄 합금이 단위중량당의 발생전기량이 가장 많고, 경제성이 우수하며, 해수중의 환경에 적합하다.

⑤ 피복재 및 기타 방식

피복재에 의한 방식에는 무기라이닝 공법, 도장공법 및 유기라이닝 공법이 있다. 부식대에 의한 방식에 피복재에 의한 방식을 채용하는 것에 의해 부식에 의한 부재두께 감소를 줄일 수 있다.

(2) 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석

본 연구에서 시설 예정인 다기능 고층어초는 계약 중에 있기 때문에 계약이 완료되어 제작하는 과정에서 적합한 시공방법을 분석하여 기술할 예정이다. 현재 고려하고 있는 시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하고, 그 다음에 하부의 외팔보용 H빔 강재를 본체에 용접하는 방법이다. 특히, 저층의 저면부에 원형 흡관을 결착하는 방법에 대해서는 콘크리트와 강재간의 상이 다르므로 결착재의 내구성을 고려하여 하며, 결착은 원형 흡관이 본체에서 움직이지 않도록 해야 한다.

(3) 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

동 어초는 높이가 15 m이며, 자중이 약 58톤의 대형어초이다. 따라서 제작 후 어초가 시설될 해역으로의 이동과정에 많은 어려운 점이 있다. 주요한 어려운 점으로는 제작 후 제작장에서 바지선까지의 이동, 시설지에 어초를 시설하는 것 등이다. 이와 관련해서는 여러 가지 공법이 있으나, 가장 용이한 공법으로는 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형흡관 등이 본체로부터 이탈되지 않도록 시설하는 방법이다. 다른 공법으로는 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하고, 시설 시는 부력재를 제거시키는 방법이다. 그러나 이 공법은 시설 시 부력의 불균형으로 인해 불안정한 상태로 시설될 우려가 있다. 이를 해소하는 방법으로 시설지까지 이동 후 크레인을 이용하여 거치하는 방법이 좋을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 제작 후 시설 시에 충분히 검토 분석할 예정이다.

다. 시설된 대형어초의 효과조사

시설 한 다기능고층어초에 대해 설계대로 각 층별로 어류가 위집하는지, 어떤 어종이 각 부위에 모여드는지 분석할 예정이다. 이와 함께 시설 후 침하량 등에 대한 안정성 분석도 실시 예정에 있다.

제 3 절 요약 및 결론

1. 해저지형

통영 바다목장화 해역 중 미륵도-곶리도-만지도해역의 다중빔 정밀 음향 측심기를 이용하여 얻은 수심자료와 육지지형 수치자료를 통합 처리하여 등수심도 및 3차원 해저지형도를 작성하였다. 연구지역은 강한 조류의 흐름으로 인해 조사지역 곳곳에 수심이 깊은 해저골이 나타나며 미륵도 남쪽의 조도수도를 중심으로 하는 동서방향의 해저골과 이 수도 위쪽의 작은섬들 사이에 나타나는 소규모의 해저골들로 나눌 수 있고 이 해저골들은 모두 조도수도의 빠른 조류의 영향을 받은 것으로 판단된다. 가장 깊은 수심은 약 -55 m 정도로 만지도 북서쪽에 나타나며 만지도 서쪽의 외해와 이어진다. 해저골을 제외한 조사지역의 전체적인 평균수심은 약 -30 m 내외를 나타내며 섬 주변으로 가면서 점차 얕아지고 섬 가까이에서 급한 경사면을 이루면서 육지와 이어진다. 해저지형이 -10 ~ -20 m 정도의 얕은 수심을 보이는 섬 주변의 해안에서는 양식장들이 많이 분포하고 있다. 이 조사지역은 3차원 지형도에서 볼 수 있듯이 곳곳에 인공어초군으로 판단되는 지역이 분포하고 있다. 2005년 9월에 경남 통영지역 바다목장화 연구지역(미륵도 주변해역)에서 31개의 표층퇴적물을 통해 지질 및 지화학 분석을 실시하였다. 표층 퇴적물은 크게 2개의 퇴적체(역질, 니질)로 구분이 가능하다. 대부분의 해역은 세립한 니질 퇴적물로 구성되었으며, 만지도 주변해역 및 조도수로 해역만 역질 퇴적물이 분포하고 있다. 퇴적물 내의 유기탄소 함량은 비교적 낮은 값을 보이고 있으며(0.69~1.18% (0.96%)), 탄산염은 7.07~37.64%로 역질퇴적체가 분포하는 지역에서 주로 나타나고 있다. C/N 비가 5.01~6.99로 나타난 것으로 보아, 모든 퇴적물이 해양의 생물에 의해 생성된 유기물이 퇴적된 것으로 나타났다. 황화수소 가스의 함량은 0.5~195.8 ppm으로 전 해역이 200 ppm 이하의 오염되지 않은 상태를 나타내고 있다.

2. 인공어초

가. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 적지분석

통영바다목장지역 내에 대형어초를 시설할 수심 40 m인 곳은 최강평균유속이 0.8 kn이며, 주조류방향은 서북-동남방향이다. 그리고 수심은 약 55 - 68 m 정도에서 확인되었으며, 약 10 - 30 m 정도의 두꺼운 퇴적층이 존재하고 내부층리가 잘 발달되어 있다. 이들의 자료에 의거 금회 시설될 어초는 높이가 15 m의 것으로 전체의 육상에서의 자중은 약 58톤 정도인 것을 감안할 때, 정점 7지역에 시설할 경우 매몰의 우려는 상대적으로 적을 것으로 판단된다.

(1) 시설 후 매몰방지 공법 분석

다기능고층어초의 저면의 크기는 $15 \times 15\text{m}$ 로 하였으나 실제 자중의 분산에 기여한 면적은 $10 \times 10\text{ m}$ 로 전체 면적 225 m^2 중 100 m^2 로 약 44%에 해당한다. 그러나 $10 \times 10\text{ m}$ 부분의 실제의 접지면적 (L형강 면적은 제외)은 18.6 m^2 (H빔 $0.15 \times 10\text{ m} \times 6\text{분}$, 홑관 $1.2 \times 2\text{ m} \times 4\text{분}$)이며, 이 값을 수중에서의 어초의 자중 약 50톤에 대해 단위면적당 접지압으로 환산하면, 0.27 kg/cm^2 로 된다.

나. 통영바다목장 내의 수심 40m이상 지역에 시설할 대형어초의 제작공법

(1)강재의 용접방법별 시공도 분석

어초의 용접은 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접을 고려하여 각 방법으로 주의점을 기술하였다. 용접부의 표면결함검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하며, 용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접 한다든지, 혹은 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접 하는 등 적절한 방법으로 수정하여야 한다.

(2) 콘크리트와 강재의 복합체 시공방법분석

본 연구에서 시설 예정인 다기능 고층어초는 계약 중에 있기 때문에 계약이 완료되어 제작하는 과정에서 적합한 시공방법을 분석하여 기술할 예정이다. 현재 고려하고 있는 시공방법으로는 본체부를 각 3등분하여 저층, 중층, 상층부로 나누워 부분 제작 후 크레인으로 거치하여 본체를 용접하고, 그 다음에 하부의 외팔보용 H빔 강재를 본체에 용접하는 방법이다.

(3) 대형어초의 제작 후 시설방법 분석

본 연구에서는 2가지 공법을 고려하였다. 제작장에서 바지선까지의 이동은 크레인으로 하고, 시설지에서의 어초거치는 충격하중에 의한 원형홑관 등이 본체로부터 이탈되지 않도록 시설하는 방법과 어초의 저면에 어초의 자중에 견딜 수 있는 부력재를 부착하고, 크레인을 이용하여 바다에 띄운 후 예인선을 이용하여 시설지까지 운반하며, 시설 시는 부력재를 제거시키는 방법이다. 그러나 후자의 공법에 대해서는 시설 시 부력의 불균형으로 인해 불안정한 상태로 시설될 우려가 있으므로 시설지까지 이동 후 크레인을 이용하여 거치하는 방법이 좋을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 제작 후 시설 시에 충분히 검토 분석할 예정이다.

다. 시설된 대형어초의 효과분석

다기능고층어초는 현재 제작 중이며, 금후 시설이 완료되면, 동 어초가 설계대로 각 층별로 어류가 위집하는지, 어떤 어종이 각 부위에 모여드는지 분석할 예정이다. 이와 함께 시설 후 침하량 등에 대한 안정성 분석도 실시 예정에 있다.

참고문헌

- Endal, H. P., G. L. Taranger, S. O. Stefansson, and T. Hansen. 2000. Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages. *Aquaculture*, 191: 337-349.
- Folk, R.L., and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Petrol.*, 27 : 3-27.
- Kim, C. G., J. W. Lee, and J. S. Park. 1994. Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bull. of Marine Science*, 55(2-3), 858-866.
- Muller, P.J., 1977. C/N ratio in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clay, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41 : 765-776.
- Park. C. W., M. S. Kim, Y. J. Park, and J. M. Kim. 2001. A preliminary study on the growth and feeding of rockfish, *Sebastes schlegeli*, in illuminated sea cages. *Ocean and Polar Research*, 23 ; 279-284.
- Stein, R., 1991. Accumulation of organic carbon in marine sediments. In: *Lecture Notes in Earth Science*, edited by Somdev, B. et al., Springer Verlag, Berlin, 217 pp.
- 田中 克, 1979. マダイ稚魚の底生生活への移動過程. *水産土木* 16 (1) : 47-57.
- 田中 克, 1986. 稚仔魚の生態, マダイの資源培養技術(田中 克・松官義晴編). 恒星社厚生閣 東京 : 59-74
- 김 창길, 정의철, 김호상, 1999. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산진흥원, 58 p.
- 김 창길, 김 호상, 백 철인, 정 도훈, 2004. 통영해역 바다목장화 연구 개발 용역 사업 보고, 국립수산과학원, 112 p.
- 일본수산자원 보호협회, 1980. 수질오탁 조사지침, 256-257 pp.
- 현상민, 최진우, 신경순, 장만, 2002. 외나로도 주변해역 퇴적물의 지화학적 특성과 저서 생물상. *한국환경과학회지*, 11 : 215-225.
- 해양수산부, 2002. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업보고서. 783pp.
- 해양수산부 · 국립수산과학원, 2002. 인공어초시설 사후관리 실태 및 개선방향 보고서. 178pp.

제 4 장 자원 조성 기술

제 1 절 방류효과

제 2 절 해중립 조성 기술

제 3 절 자원조사

제 4 절 자원조성 매뉴얼 작성

제 5 절 요약 및 결론

참고문헌

제 4 장 자원 조성 기술

제 1 절 방류효과

1. 서 론

방류 효과 검정을 위해서 자연 수계 내에서 이미 서식하고 있는 방류 대상 어류와 방류 어류를 구별할 수 있는 적절한 표지 방법의 개발이 필요하다. 이미 1단계와 2단계 연구를 통하여 조피볼락, 볼락 그리고 돝류에 대해 아가미 뚜껑 절단, 배지느러미 절단 및 요대골 적출 등 어체의 일부를 절단하는 표지 방법, 형광 물질을 이용한 화학적 표지 방법, 자침 삽입 및 검색을 이용한 CWT (coded wire tag) 표지 방법 그리고 저온 처리에 의한 비늘 표지 방법에 대한 조사가 이루어졌다. 현재까지의 표지 방법을 대상으로 현장에서 방류어에 실시할 수 있는 표지 방법에 대한 평가를 실시하였다. 방류 효과 극대화를 위해서는 방류어의 크기 선택이 중요하며, 지금까지의 연구를 방류 직후 생존을 조사할 통해 조피볼락의 적정 방류 크기는 전장 8.0 cm인 것으로 조사되었으며, 이 보다 작은 평균 전장 4.5 cm (평균어체중 1.45g)인 치어의 경우도 방류 후 자연 수계에서 원활한 자연 먹이 섭식이 이루어지는 것으로 알려져 있다. 볼락의 경우 인공 종묘 생산이 최근에야 이루어져 본 사업에서 본 종에 대한 적정 방류 크기에 대한 조사는 2단계 3차년도 연구에서 비로소 시작되었다. 이 연구에서 볼락은 전장이 6-7 cm 정도로 크기 차이가 크지 않았으나 체중은 3-7g 으로 큰 편차를 보여, 단순히 전장 기준으로 방류하기 보다는 체중을 고려하는 것이 중요하며, 5g 이상인 개체가 적절한 것으로 조사되었다. 따라서 본 사업 연도에서는 방류 효과 분야에서 방류어의 표지 방법과 적정 방류 크기에 대한 연구는 수행하지 않았고, 이동, 성장 그리고 목장 해역 내 자원 이입 여부를 조사하였다. 방류어의 성장 연구는 1단계에서부터 지속적으로 실시되어오고 있으며, 지금까지 연구에서 조피볼락과 볼락을 대상으로 방류어의 성장을 연령별로 양식어의 성장 비교, 먹이 공급량 등 사육 방법별 양식어와 비교한 바 있다. 본 연구에서는 계속된 조사로서 조피볼락과 볼락 방류어를 대상으로 자연 수계에서의 적응도를 조사하기 위한 방편으로 방류 직후 단기간 동안의 성장을 사육 방법을 달리한 양식어와 비교하였다. 그리고 조피볼락을 대상으로 35개월령 까지 그리고 볼락을 대상으로 36개월령 까지 방류어와 양식어의 성장을 비교하였다. 그리고 방류어의 건강도를 판정할 수 있는 기준으로서, 혈액 분석을 실시하였다.

방류어는 자연 환경에 적응하면서 일정 기간이 지나면 번식 활동을 하게 되며, 이러한 제2차 생산을 통해 방류 효과의 극대화를 꾀할 수 있다. 2단계 사업까지 조피볼락과 볼락을 대상으로 번식 시기 암컷에 대한 번식 지수를 조사하였다. 본 사업에서는 통영 해역에

서 상대적으로 중요한 방류 어종인 볼락에 대해 2단계 사업 이후 추가 조사한 결과를 제시한다. 통영바다목장에서의 자연산 조피볼락 성어의 이동범위, 일주행동 및 월동장을 조사하기 위하여 음향표지를 부착시킨 조피볼락을 어획장소 및 그 주변에 방류하여 추적하는 실험을 수행하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

돌기해삼 (*Stichopus japonicus*)은 우리나라를 비롯한 중국, 일본 등의 연안 천해역을 주 서식처로 하는 대표적인 수산식품으로서 그 가치가 높다. 해삼류는 수산식품으로서의 부가가치뿐만 아니라 저층 표면의 유기물을 섭식하는 대형 표층 퇴적물 식자 (surface deposit feeders)이며, 연안 생태계내의 물질순환 측면에서 유기물 농도가 높은 해역의 수질 혹은 저질 개선에 효과가 있는 것으로 보고 되고 있다(Kaneko et al., 2004; Michio et al., 2003; Kang et al., 2003). 우리나라에서의 해삼 연구는 1990년 이후부터 종묘생산이 가능해 졌으며, 이후 도립수산시험장을 중심으로 해삼양식기술 및 자원 증대를 위한 방류가 이루어져 왔으며, 최근 해삼양식기술의 대중화로 인해 해삼의 방류물량이 날로 증대해지고 있다. 더욱이 국내 양식 환경이 수산물 수입개방으로 인해 경쟁력을 많이 상실하거나 일부 종의 경우 과다생산으로 인한 경쟁력 감소하고 있어 어촌 소득증대에 기여할 새로운 종의 양식 및 방류의 기대가 높아지고 있다.

우리나라 연안의 대표적 수산생물인 돌기해삼의 방류 후 서식분포 양상과 실 해역에서의 성장양상, 바다목장 인근 어촌계에서의 수확량 등을 파악해 보고자 하였다. 그리고 본 사업 기간 동안의 방류 현황을 정리하였다.

2. 재료 및 방법

가. 방류어의 성장

방류 주 대상 어종인 조피볼락과 볼락 방류어의 성장을 조사하기 위하여 목장 해역 내에서 방류한 후 재포한 개체를 대상으로 상품어까지의 성장을 조사하였다. 조피볼락은 목장 해역 내 대장두도, 곧리도 그리고 축도(유도) 인근 해역에서 재포한 개체를 대상으로 각 서식처별 성장을 서로 비교하였다. 볼락은 목장 내 재포한 개체를 대상으로 같은 해역에서 가두리 양식어와 성장을 상품어 크기까지 비교하였다. 방류 후 재포한 개체 중 아가미 뚜껑 표지된 개체를 선별하여 성장 조사에 사용하였다.

모든 성장 조사에서 계측한 길이와 체중 값을 이용하여 비만도($=100 \times (\text{체중} / \text{길이}^3)$) 그리고 일일 성장률($=100 \times (\ln(\text{나중 체중}) - \ln(\text{이전 체중})) / \text{사료 공급 일수}$)을 구하였다.

나. 방류어의 건강도

2004년 방류한 방류 조피볼락을 2005년 9월 중 재포하여 혈액 분석을 통한 건강도를 동일 연령의 가두리 양식어와 비교하였다. 분석에 사용한 어체의 평균 전장과 체중은 방류어가 $224 \pm 1.9\text{cm}$ 와 $182.2 \pm 46.3\text{g}$ 그리고 양식어가 $25.9 \pm 2.9\text{cm}$ 와 $268.0 \pm 39.9\text{g}$ 이었다. 모든

실험어는 미병부의 혈관에서 헤파린 처리한 일회용 주사기로써 약 1 mL 정도 채혈하여 주사기 안에서 잘 섞었다. 헤파린 처리된 혈액은 주사 바늘을 제거한 뒤 조심스럽게 마이크로튜브에 주입하여 얼음에 보관한 후에 실험실로 운반하여 즉시 헤마토크리트치 (Ht) 및 헤모글로빈량 (Hb)을 측정하였다. 나머지 혈액은 3,000 rpm (4°C), 15분간 원심 분리하여 혈장을 분리한 뒤 곧바로 혈장화학 성분분석을 실시하거나 냉동고에 보관(-80°C)한 후 3일 이내에 모두 측정하였다.

Ht는 microhematocrit법으로 측정하였고, Hb를 비롯한 총 단백 (Total protein, TP), 포도당 (Glucose, GLU), 알부민(Albumin, ALB), 총콜레스테롤(Total cholesterol, TCHO), 젓산탈수소효소(Lactate dehydrogenase, LDH), 트란스아미나제 (Aspartate aminotransferase, AST), 요소질소(Blood urea nitrogen, BUN), 알칼리성 포스파타제 (Alkaline phosphatase, ALP), 크레아티닌(Creatinine, CRE), 칼슘 (Calcium, Ca) 등 11개 혈장화학 성분분석에는 FUJI DRI-CHEM 3000 (FUJI PHOTO FILM Co., Japan)을 이용하였다. 혈장화학 성분 중 Ht와 Hb는 조혈기능 평가에 TP, GLU, ALB 및 TCHO는 생리기능 평가에 LDH, AST, BUN, ALP, CRE 및 Ca는 조직 기능 평가에 각각 적용하여 건강도 분석을 실시하였다.

다. 방류어의 성숙

2002년도 종묘생산을 위하여 한국해양연구원 해상 가두리에서 사육 중인 불락 친어를 3,000 마리 중 약 300 마리를 육상 사육 시설로 옮겨 산출을 유도하였다. 이 시기 종묘 생산에 이용된 암수 친어를 대상으로 번식학적 특성을 조사하였다.

라. 조피불락의 이동범위와 일주행동

(1) 실험 해역과 장치의 구성 및 배치

실험해역의 수심 분포는 DGPS (differential global positioning system)수신기와 측량용 음향측심기, 측량용 소프트웨어로 구성되는 해저지형측정시스템 (Kim and Shin, 2001; Kang and Shin, 2004)을 사용하여 측정하였다.

어획장소 또는 그 주변에 방류한 음향표지어 (초음파 송신기를 부착한 어류)의 이동 범위는 VR2수신기와 VR60수신기 및 VR28수신기를 사용하여 측정하였다. VR2 수신기는 부호형 (coded type) 음향표지어의 출현여부와 어느 기간동안 체류하는지를 측정할 수 있다. VR60수신기는 무지향성 수파기 1개를 사용하여 음향표지어가 VR2수신기의 유효범위를 벗어나거나 표지어의 행방을 탐색할 때 사용하였다. VR28수신기는 예항체 (tow body)에 장치한 4개의 지향성 수파기와 4개의 수신채널을 사용하여 음향표지어가 존재하는 방향을 지시할 수 있기 때문에 VR60수신기보다 탐지 능력이 우수하다. 음향표지어의 일주행동은 음향표지어의 상세한 이동궤적을 측정할 수 있는 VRAP시스템을 사용하여 측정하였다.

2005년 7월 27일~11월 6일에 걸쳐 통영바다목장에서 시험어의 이동범위 및 일주행동을 측정할 실험 해역과 장치의 배치는 그림 4-1-1과 같다.

실험기간 동안 측정된 데이터는 VRAP소프트웨어를 이용하여 주간과 야간으로 나누어 분석하였다. VR2수신기의 유효범위를 벗어난 시험어는 선박에 설치한 VR60수신기 또는 VR28수신기를 이용하여 음향표지어의 행방을 탐색하거나 존재하는 범위를 측정하였으며, 표지 신호가 수신된 지역의 위치는 GPS수신기를 사용하여 구하였다.

(2) 음향표지

실험에 사용한 음향표지는 식별과 장기간의 추적을 고려하여 모두 부호형으로 하였으며, 음향표지의 전지 수명은 압력센서를 내장한 것은 191일이고 나머지는 모두 350일 정도이다. 사용주파수는 69 kHz이고, 음원음압 레벨은 139 dB (re 1 μ Pa at 1 m)이다. 음향표지의 크기는 지름이 9 mm이고 길이는 24-40 mm이며, 수중중량은 2.6 g이다.

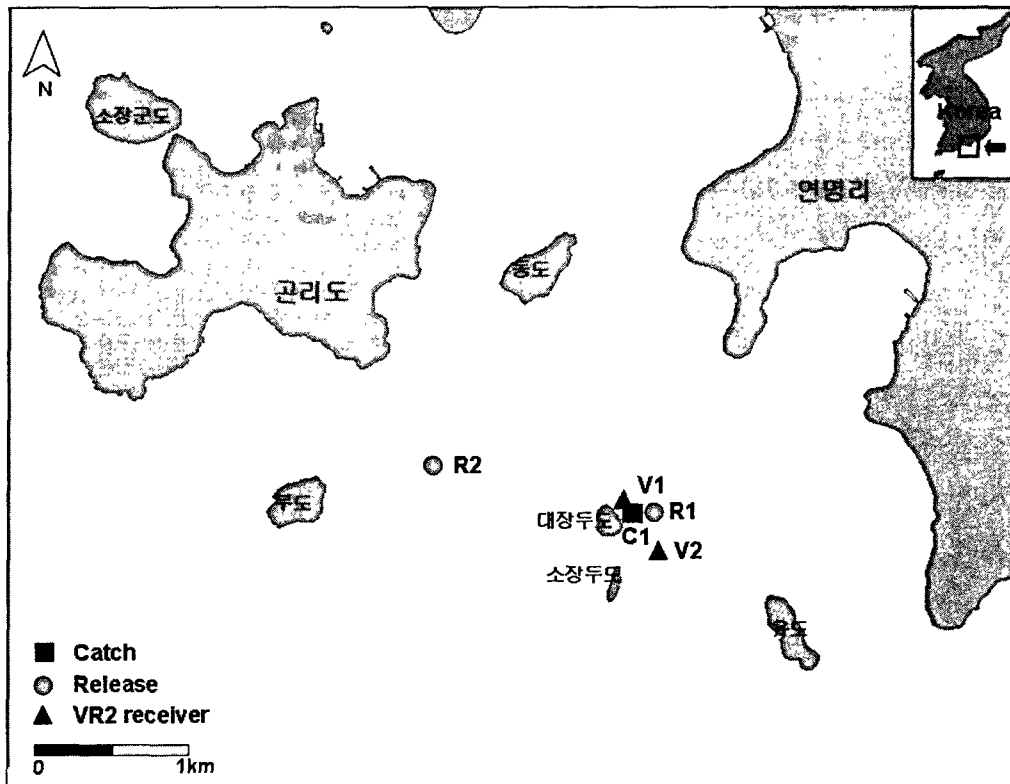


그림 4-1-1. 실험해역과 장치의 배치.

(3) 시험어에 대한 음향표지의 부착 및 방류

시험어는 통영바다목장 가두리 주변에서 통발로 어획한 자연산 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*) 15마리 (성어; 전장: 33.0-43.0 cm; 체장: 27.5-38.0 cm; 체중: 440-1180 g) 이었다.

음향표지를 어체에 부착시키는 방법으로는 대체로 체외표지법 (Holland, 1985; Matthews, 1990, 1992; Shin et al., 1994; Lutcavage et al., 2000; Shin and Lee, 1999), 위속삽입법 (Percy, 1992; Candy and Quinn, 1999), 수술을 통한 체내표지법 (Colavecchia et al., 1998; Starr et al., 2000; Mitamura et al., 2002)이 있다 (Mellas and Haynes, 1985). 음향표지를 부착한 어류를 장기간 추적할 때에는 수술을 통한 체내표지법을 많이 사용하지만 마취하지 않고 현장에서 가장 간단하게 초음파 표지를 부착할 수 있는 방법은 체외표지법이다. 위속삽입법은 표지어가 비교적 대형일 때 사용하며 유영능력과 행동에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 가장 좋은 방법 (Mellas and Haynes, 1985) 중 하나이나 표지어가 위속의 표지를 토해버리는 경우가 자주 있어 장기간 추적에는 부적합하다.

본 연구에서는 표지로 인한 유체저항을 줄이면서 장기간 추적이 가능하도록 체내표지법을 사용하였다.

2005년 7월 27일에는 수술이 끝난 5마리를 조사선박의 수조에 잠시 두었다가 통영바다목장의 가두리 주변 (방류지점 R1, 수심 25 m)에서 1마리씩 수면에서 방류하였다. 나머지 5마리는 수술 후 1시간 이내에 어획장소로부터 850 m 떨어진 대장두도와 부도 사이의 해역 (R2, 수심 40 m)으로 이동하여 1마리씩 뜰채로 떠서 수면에서 방류하였다. 실험에 사용한 시험어의 크기와 체중, 표지번호, 방류 날짜 및 장소 등은 표 4-1-1과 같다. 표 4-1-1의 표지 모델 중 P자가 붙어 있는 것은 압력센서를 내장한 음향표지를 나타낸다.

표 4-1-1. 통영바다목장에서 방류한 음향표지 자연산 조피볼락의 개요

표지 번호	표지 모델	체장 (cm)	전장 (cm)	체중 (g)	방류		서식지로부터의 거리 (km)
					날짜	장소	
63	V9P-1L	33.0	38.0	689	2005-07-27	R1 (가두리 주변)	0.03
64	V9P-1L	35.0	40.0	1,062			
70	V9-1L	32.5	36.5	792			
71	V9-1L	31.5	35.5	760			
72	V9-1L	32.0	36.0	360			
73	V9-1L	34.0	39.0	920	2005-07-27	R2 (소장두도 -부도 사이)	0.85
74	V9-1L	32.0	36.0	720			
75	V9-1L	30.5	34.5	620			
76	V9-1L	31.0	35.0	730			
77	V9-1L	37.5	42.5	1,180	2005-11-01	R1 (가두리 주변)	0.03
85	V9-1L	31.5	35.5	638			
87	V9-1L	27.5	31.5	440			
88	V9-1L	29.0	33.0	560			
89	V9-1L	30.0	33.7	506			
102	V9P-1L	38.0	43.0	1,046			

마. 해삼(*Stichopus japonicus*)

(1) 분포양상

돌기해삼(*Stichopus japonicus*)의 분포양상을 파악하기 위하여서는 2005년 1월부터 9월까지 격월로 통영 대장두도 연안 및 인근 가두리양식시설 해역을 대상으로 잠수조사를 실시하였다. 해삼의 채집은 수심이 2-12 m 내외인 연안 암반해역, 연성기질해역, 가두리 시설해역을 대상으로 10 m의 조사지선을 설정하고 조사지선을 기준으로 양쪽에 방형구(1.0 x 1.0 m)를 연속적으로 설치하여 조사를 실시하였으며, 출현한 해삼은 각 서식처별로 채집망에 담아 인양하였다.

(2) 성장

해삼의 성장조사는 분포양상 조사와 동시에 실시 되었으며, 정량조사와 더불어 조사해역 전반에 대한 정성채집도 병행하였다. 채집된 해삼은 수조에 넣어 1시간가량 순치시킨 후 자연 상태에서의 체형을 유지시킨 다음 입에서 항문까지의 체장(L; mm)을 측정하였으며, 표피의 물기를 제거한 다음 생체량(Wt; g)을 측정하였다. 해삼의 생체량 측정은 1월에서부터 3월까지 출현한 44개체를 대상으로 하였으며, 이후 출현한 해삼의 크기는 기존 출현한 해삼의 생체량과 크기에 대한 비선형회귀방정식을 통해 도출하였다. 또한 비선형회귀의 유의성은 분산분석(ANOVA)을 통해 검정하였다. 또한 출현한 해삼의 조사 시기에 따른 대략적인 성장양상을 파악하기 위해서는 출현 해삼을 크기군(10 mm 단위) 및 생체량군(10g 단위)으로 나누어 조사 시기에 따른 추이를 살펴보았으며, 각 크기 및 생체량에 해당하는 연령은 최 등(1963)의 연구 결과(1세군 59 mm, 15.5g; 2세군 133 mm, 122.5g; 3세군 176 mm, 207g; 4세군 208 mm, 472g)에 따랐다. 한편, 조사지역인 대장두도 인근에는 2005년 1월 5일 부화하여 6개월 성육한 해삼(n=70, L=53.2±6.4 mm, Wt=4.5±1.0g)을 방류한 지역으로 이들의 성장양상에 대한 추적 조사 또한 병행되어 실시하였다.

바. 방류 현황

본 사업 기간 내 목장 해역 내 방류한 일자별, 어종별 마리수와 방류 위치를 정리하였다.

3. 결과 및 토의

가. 방류어의 성장

(1) 조피볼락

방류 조피볼락의 서식처별 성장을 비교한 결과는 그림 4-1-2와 3에 나타내었다.

20개월령일 때 서식처별 방류 조피볼락의 평균 전장과 체중은 대장두도 주변이 19.9cm와 149.2g, 곤리도 주변이 20.8cm와 141.7g 그리고 축도(유도) 주변이 18.7cm와

97.0g이었다(그림 4-1-2). 만 2세어에 도달했을 때는 대장두도 주변이 25.5cm와 235.4g, 곤리도 주변이 25.2cm와 185g 그리고 축도(유도) 주변이 16.6cm와 173g이었다. 번식 시기에 도달한 35개월령일 때에는 대장두도 주변이 30.8cm와 433g이었으며, 곤리도 주변이 30.2cm와 411.7g 그리고 축도(유도) 주변이 30.3cm와 410g이었다.

서식처별 일일 성장률은 대장두도 주변이 최고 0.82%/일이었으며, 곤리 주변이 최고 0.99%/일 그리고 축도(유도) 주변이 최고 1.24%/일이었다. 35개월령까지 전체 기간 동안 일일 성장률은 대장두도 주변이 0.468%/일이었고, 곤리와 축도(유도) 주변이 0.462%/일이었다. 일일 성장률은 조사 월에 따라 큰 차이를 보였으며, '·' 값을 보이기도 하였다. 이는 아가미 표지된 개체만을 대상으로 하였고, 이에 따라 조사 월에 따라 샘플 수가 작은 것에 기인한 것으로 생각된다.

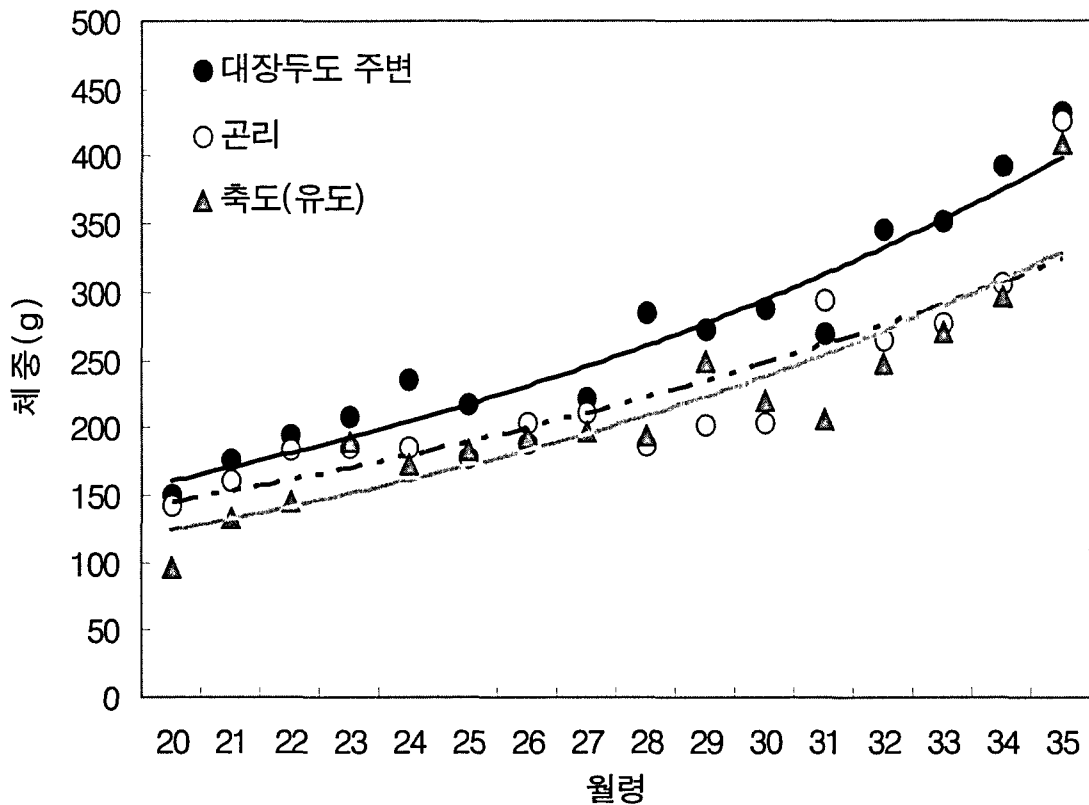


그림 4-1-2. 방류 조피볼락의 서식처별 성장(20개월령부터 35개월령까지).

대장두도 주변 : $y=150.8e^{0.0608x}$ ($r^2=0.9063$), 곤리 : $y=137.34e^{0.0536x}$ ($r^2=0.8164$),

축도(유도) : $y=111.93e^{0.0678x}$ ($r^2=0.8874$)

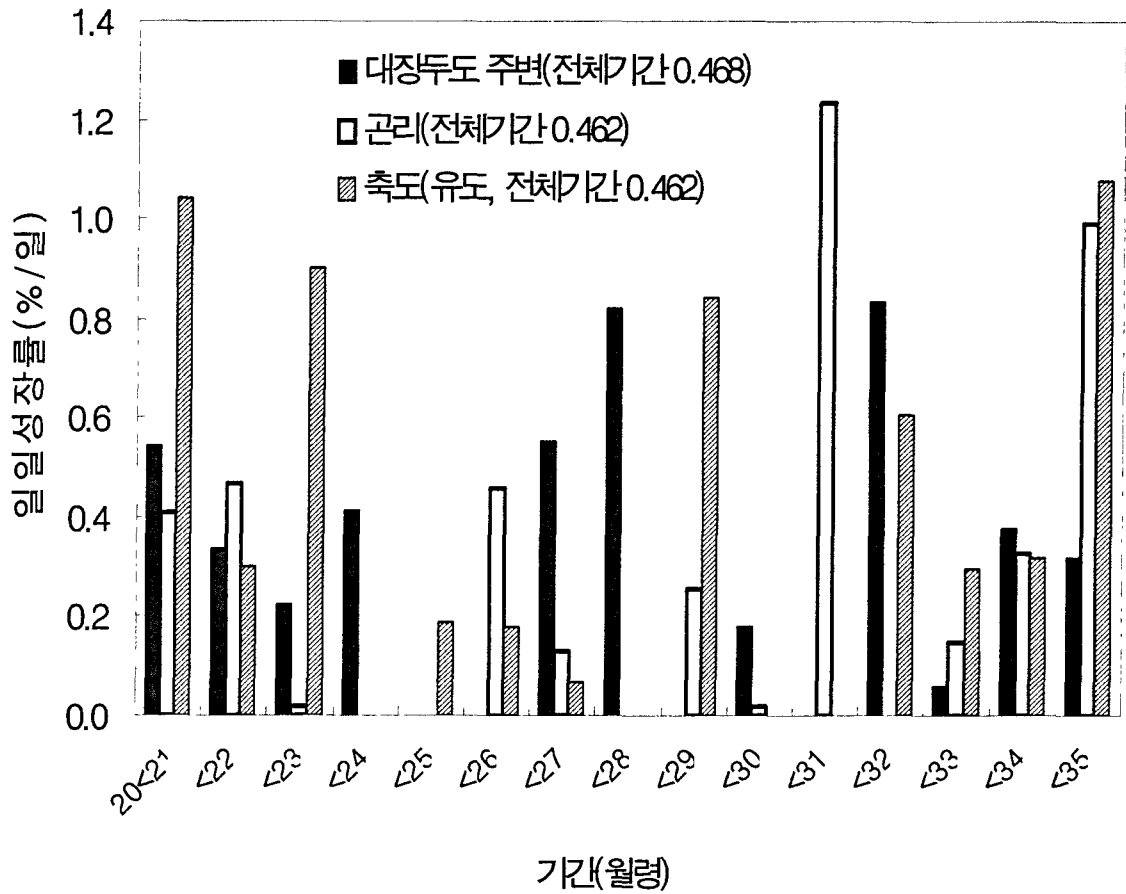


그림 4-1-3. 방류 조피볼락의 서식처별 일일 성장률(20개월령부터 35개월령까지).
(* '-' 값은 샘플 문제에 의한 것으로 간주하고 '0'으로 처리함)

35개월령일 때의 비만도는 각 서식처별로 1.47 - 1.49범위로서 큰 차이를 보이지 않았다(그림 4-1-4).

서식처별 방류 조피볼락의 성장을 비교한 이상의 조사에서, 대장두도 주변에서 채포된 방류 조피볼락의 성장이 가장 빠른 것으로 조사되었다. 이는 대장두도 주변이 어초 등 각종 서식처가 다양하게 제공되어 있고, 수중 및 수상 구조물에 의해 다양한 먹이 생물이 존재하기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 월별 조사 시점에서 각 서식처별 어체 크기 변화가 나타나기도 하였으나, 방류 조피볼락은 각 서식처별로 큰 이동 없이 비교적 한 서식처에 머무는 것으로 조사되었다. 따라서 2단계 사업 결과에서 이미 언급한 바와 같이 적절한 서식 환경이 제공된다면 방류 조피볼락은 해역 내에서 상품어까지 성장할 수 있을 것으로 생각된다.

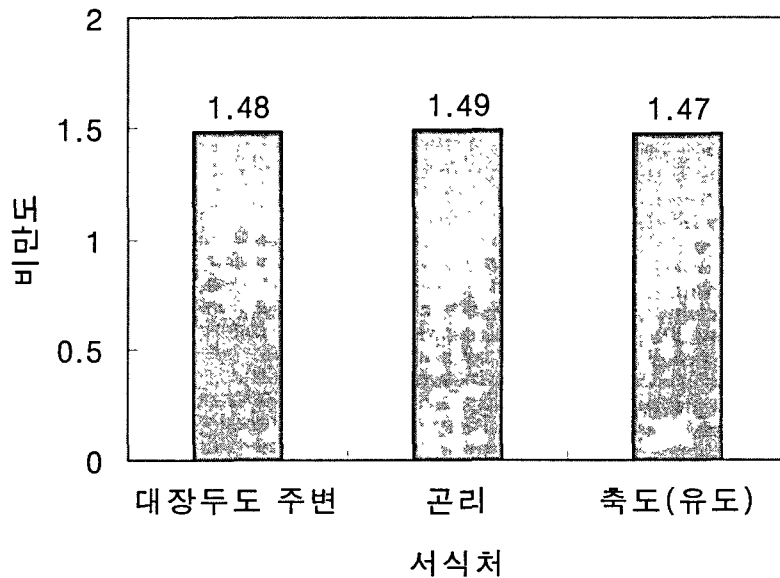


그림 4-1-4. 방류 조피볼락의 서식처별 최종 비만도(35개월령일 때).

(2) 볼락

방류 볼락을 대상으로 36개월령까지의 성장을 양식어와 비교한 결과는 그림 4-1-5와 6에 나타내었다.

방류 시 방류어와 양식어의 전장과 체중은 각각 6.7cm 및 4.2g이었다. 방류 1개월 후(7개월령)에 방류어는 7.8cm 및 6.0g으로서 양식어(전장 8.0cm, 체중 6.4g)에 비해 성장이 느렸다(그림 4-1-5). 이후부터 이러한 개체 크기 차이는 지속적으로 유지되어 만 1세어가 되는 방류 6개월 후에 방류어는 양식어에 비해 어체 크기가 작았다(체중 107.1g vs. 123.2g). 만 2세가 되는 방류 18개월 후의 평균 체중은 방류어가 132.4g 그리고 양식어는 147.7g이었다. 조사가 끝난 36개월령(2002년생 추정)의 평균 전장과 체중은 방류어가 19.6±2.3cm와 218.2±36.4g이었으며, 양식어는 20.2±1.8cm 와 245.2±43.0g이었다.

방류어의 일일 성장률은 방류 후부터 30개월간(6-36개월령) 2개월 단위로 조사한 결과 0.17-2.83%/일 범위 그리고 양식어는 0.13 - 3.33%/일 범위로서 월령이 증가함에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보였다(그림 4-1-6). 36개월령 까지 전체 일일 성장률은 방류어가 0.471%/일로서 양식어(0.485%/일)에 비해 낮은 값을 보였다.

36개월령일 때 최종 비만도는 방류어가 2.90으로서 양식어(2.97)에 비해 낮은 값을 보였다(그림 4-1-7).

방류 후부터 36개월령 까지 볼락의 성장을 조사한 이상의 결과에서, 방류어는 가두리 양식어에 비해 성장이 느린 것으로 나타났다. 이 결과는 본 종을 대상으로 실시한 이전의 조사 결과와 조피볼락의 결과와 동일한 경향을 보이는 것으로서 먹이가 충분히 공급되는 양식어에 비해 성장이 느린 데 기인 한 것으로 생각된다.

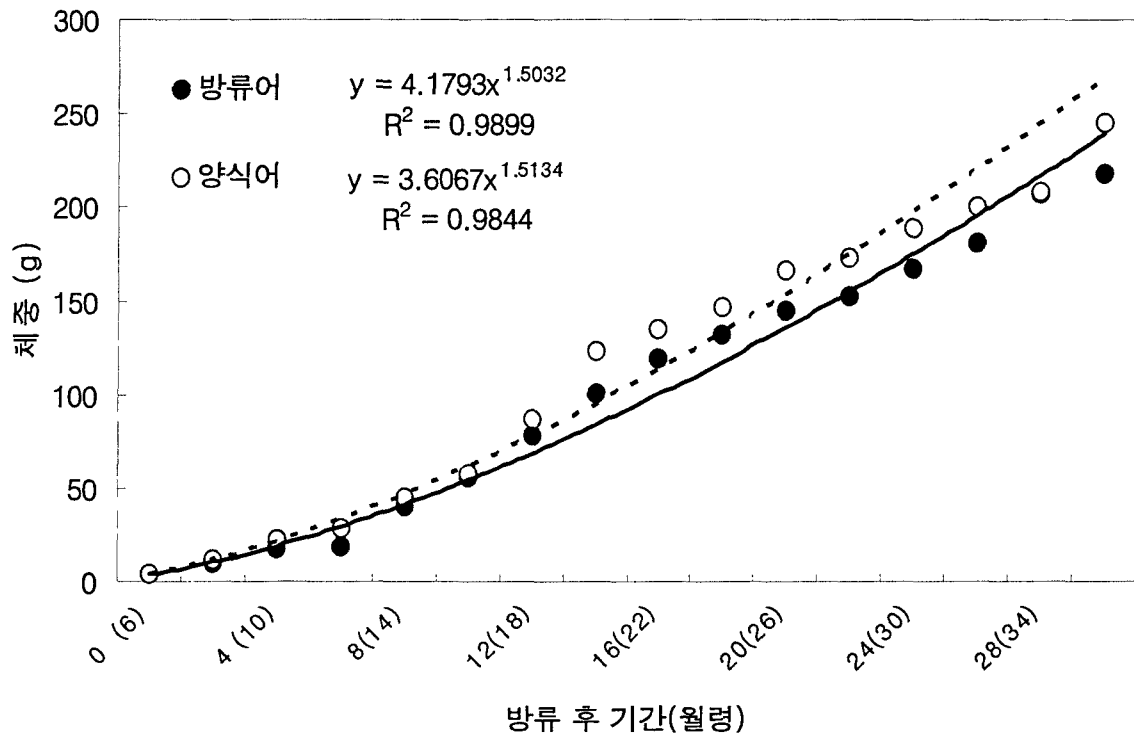


그림 4-1-5. 볼락 방류어와 양식어의 체중 성장(6개월령부터 36개월령까지).
(실선 : 방류어, 점선; 양식어)

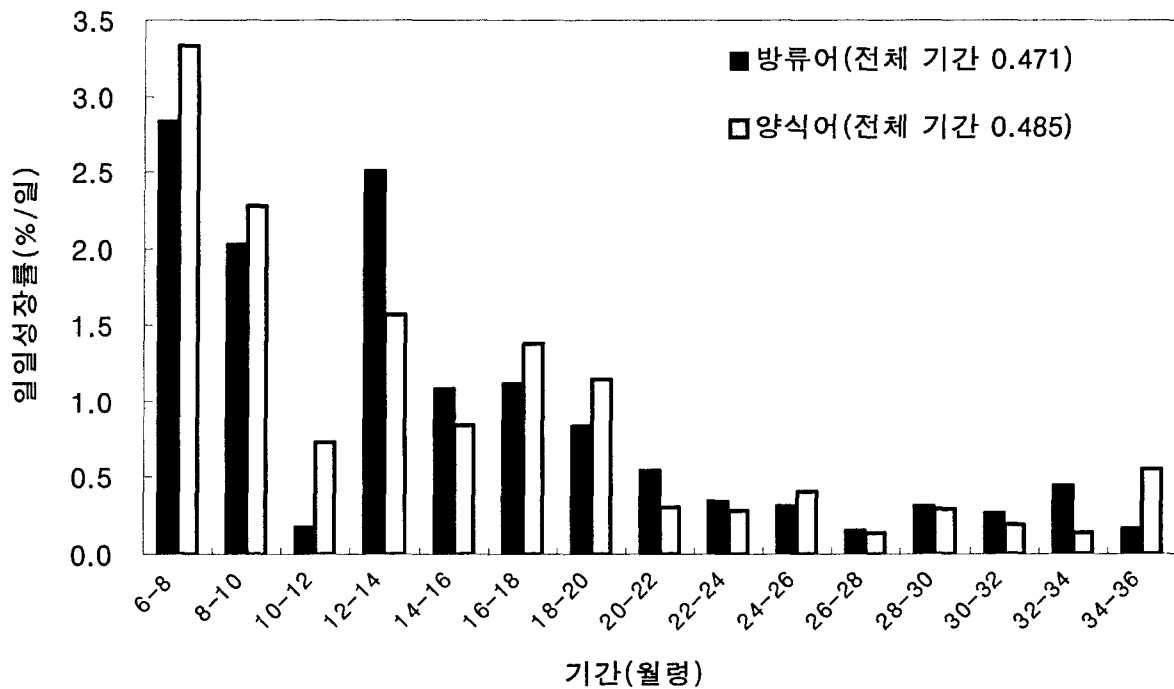


그림 4-1-6. 볼락 방류어와 양식어의 기간별 일일 성장률(6개월령부터 36개월령까지).

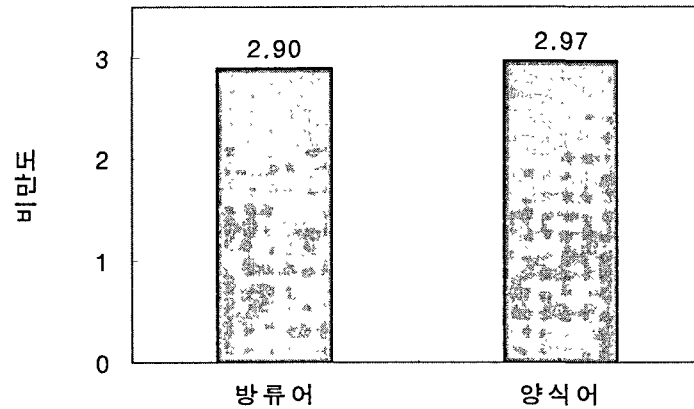


그림 4-1-7. 방류 불락의 서식처별 최종 비만도(36개월령일 때).

나. 방류어의 건강도

조피불락 방류어와 가두리 양식어간 헤마토크리트와 헤모글로빈 값을 조사한 결과는 그림 4-1-8에 나타내었다. 헤마토크리트는 방류어가 $23.0 \pm 4.3\%$ 로서 양식어($35.4 \pm 5.2\%$)에 비해 유의적으로 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 헤모글로빈 역시 방류어가 $16.2 \pm 0.9\text{g/dL}$ 로서 양식어($19.0 \pm 1.1\text{g/dL}$)보다 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$).

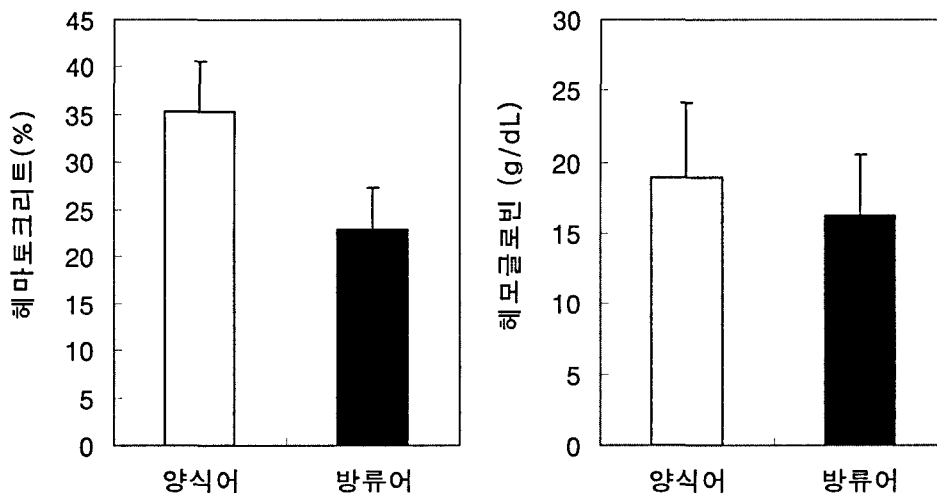


그림 4-1-8. 조피불락 방류어와 양식어의 헤마토크리트(왼쪽)와 헤모글로빈(오른쪽)값

조피불락 방류어와 양식어간 TP, GLU, ALB 및 TCHO를 수온 변동별로 조사한 결과는 그림 4-1-9와 같다. 서식 환경 차이에 따른 TP, GLU, ALB 및 TCHO는 유의차가 없었다($P > 0.05$).

조피블락 방류어와 양식어의 LDH, AST, BUN, ALP, CRE 및 Ca를 조사한 결과는 그림 4-1-10에 나타내었다. 방류어와 양식어간 LDH, AST, BUN, ALP와 CRE의 값에서 유의한 차이가 없었으나, Ca의 값은 방류어가 $9.0\pm 0.3\text{mg/dL}$ 으로서 양식어 ($10.0\pm 0.6\text{mg/dL}$)에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다($P<0.05$).

혈액 분석을 통해 건강도를 조사한 이상의 결과에서, 방류어는 양식어에 비해 조절 기능과 유연성, 활동성 및 산소 소비량이 안정적인 것으로 나타났다.

다. 방류어의 성숙

방류어는 자연 환경에 적응하면서 일정 기간이 지나면 번식 활동을 하게 되며, 이러한 제2차 생산을 통해 방류 효과의 극대화를 꾀할 수 있다. 2단계 사업까지 조피블락과 블락을 대상으로 번식 시기 암컷에 대한 번식 지수를 조사하였다. 본 사업에서는 통영 해역에서 상대적으로 중요한 방류 어종인 블락에 대해 2단계 사업 이후 추가 조사한 결과를 제시한다.

(1) 암컷

출산시기의 블락 암컷의 난소는 $55.4\sim 157.0\text{ g}$ 범위를 보였고 어체중의 $22.5\pm 4.7\%$ 를 보인 반면, 미성숙된 개체의 난소는 $13.6\sim 14.6\text{ g}$ 범위를 보였으며 어체중의 $3.3\pm 0.2\%$ 를 보여 출산시기의 암컷이 약 6.7배 높은 비율을 보였다. 또한 내장에 대한 난소 비율 역시 출산시기의 암컷은 $80.4\pm 7.7\%$ 를 보인 반면 미성숙 개체는 $35.4\pm 5.8\%$ 를 보여 출산시기의 암컷이 약 2.3 배 높은 비율을 보였다.

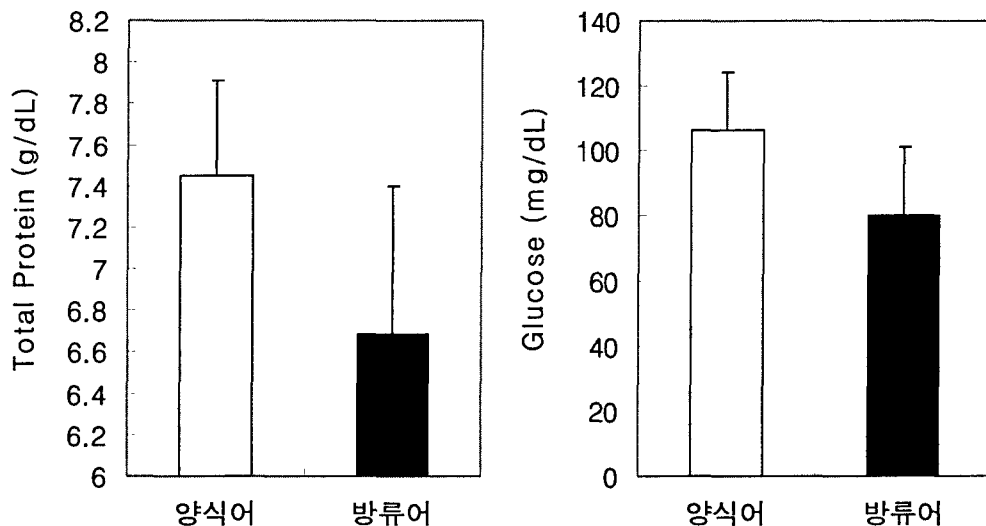


그림 4-1-9. 조피블락 방류어와 양식어의 Total protein (왼쪽)과 글루코즈(오른쪽) 값.

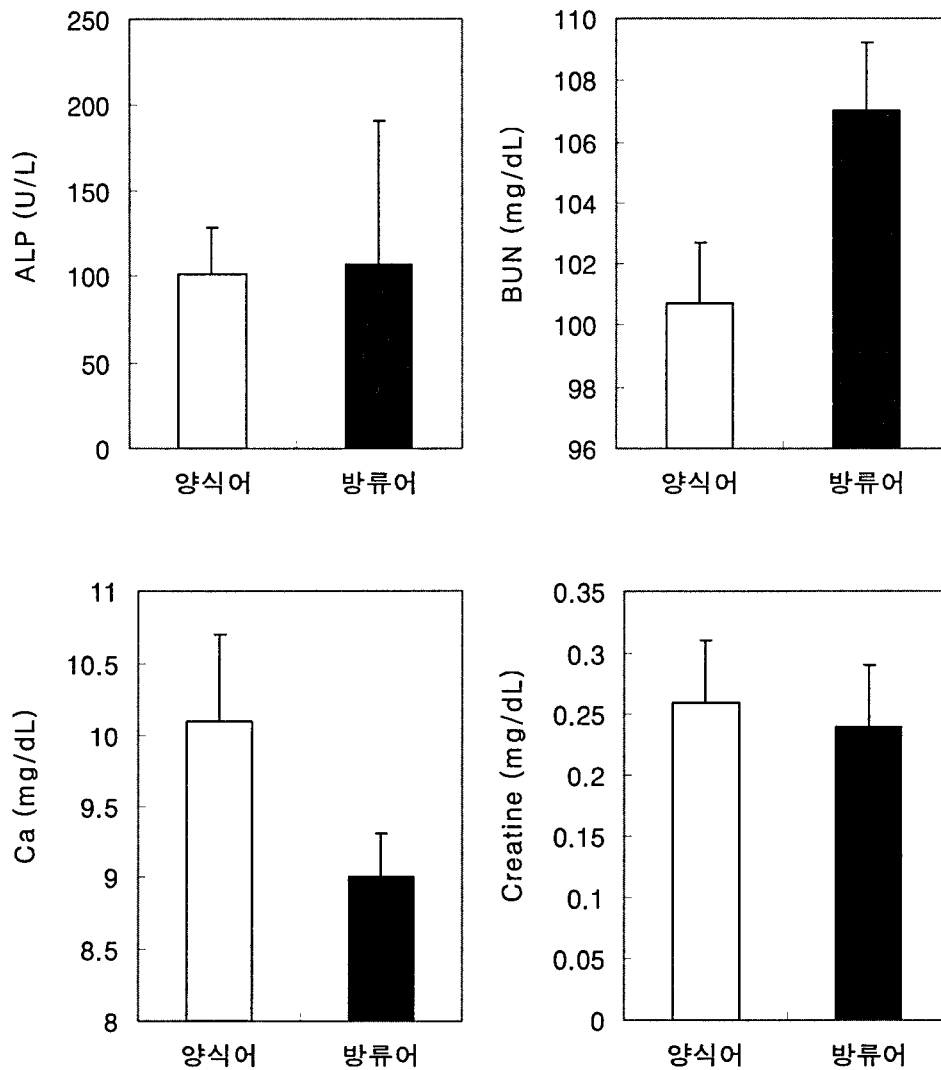


그림 4-1-10. 조피볼락 방류어와 양식어의 Aspartate aminotransferase (ALP), Blood urea nitrogen (BUN), Calcium (Ca) 그리고 Creatine 값 비교.

출산시기의 볼락 암컷과 미성숙 개체의 간중량지수(HSI), 생식소중량지수(GSI), 내장 중량지수(VSI) 및 비만도(CF) 값의 비교를 그림 4-1-11에 나타내었다. HSI는 출산시기의 암컷과 미성숙 암컷에서 각각 0.5~1.8%와 0.7~1.0%의 범위를 보였고 평균 $1.1 \pm 0.4\%$ 와 $0.8 \pm 0.2\%$ 로서 출산시기의 암컷이 약 1.3 배 높은 값을 보였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$).

GSI는 출산시기의 암컷과 미성숙 암컷에서 각각 16.4~30.0%와 3.2~3.5%의 범위를 보였고 평균 $22.5 \pm 4.7\%$ 와 $3.3 \pm 0.2\%$ 로서 출산시기의 암컷이 약 6.7 배 높은 값을 보였다 ($P < 0.05$). VSI는 출산시기의 암컷과 미성숙 암컷에서 각각 22.9~35.4%와 8.5~11.0%의 범위를 보였고 평균 $27.8 \pm 4.2\%$ 와 $9.6 \pm 1.3\%$ 로서 출산시기의 암컷이 약 2.9 배 높은 값을

보였다. CF는 출산시기의 암컷과 미성숙 암컷에서 각각 20.9~26.3%와 18.3~20.0%의 범위를 보였고 평균 $23.9 \pm 2.1\%$ 와 $19.1 \pm 0.8\%$ 로서 출산시기의 암컷이 약 1.3 배 높은 값을 보였다.

출산시기 암컷의 HSI와 GSI와의 관계를 그림 4-1-12에 나타내었다. 그림 4-1-12에서 보는 바와 같이 HSI(X)가 커질수록 출산시기 불락 암컷의 GSI(Y)는 감소하는 결과를 보였으며 그 상관관계식은 $Y=31.646-8.632X(r^2=0.6021)$ 로 나타났다. 이 결과에 따라 출산시기가 임박함에 따라 난소로 공급되는 에너지가 많아져 간중량지수(HSI)의 수치가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

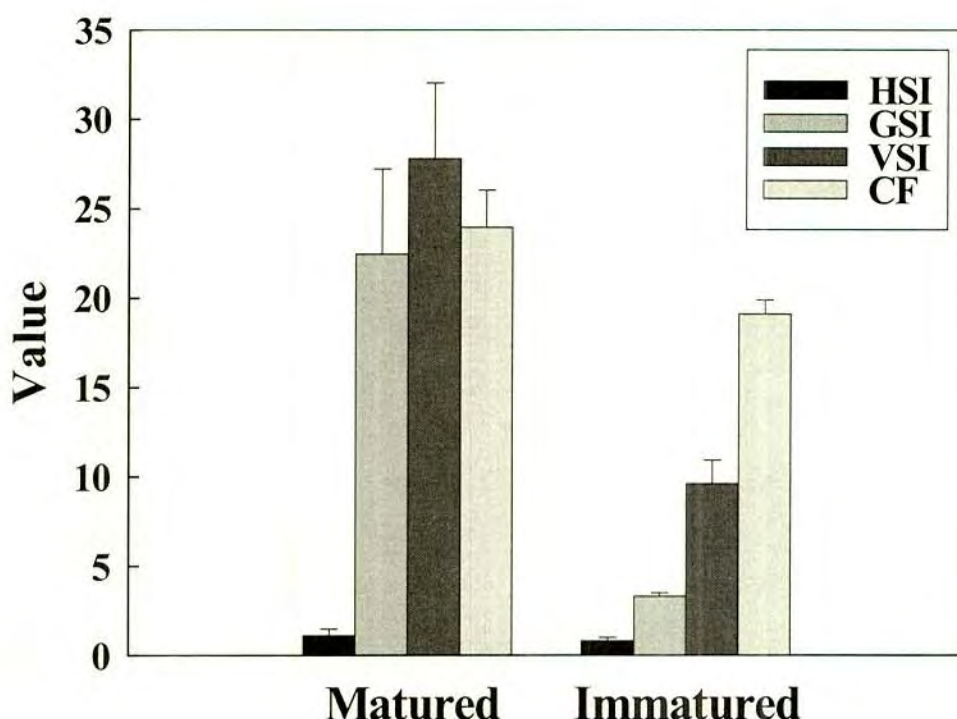


그림 4-1-11. 출산시기와 미성숙 불락 암컷의 간중량지수(HSI), 생식소중량지수(GSI), 내장중량지수(VSI) 및 비만도(CF)의 비교.

출산시기 불락 암컷의 생식소 내 포란 수를 조사하였다(표 4-1-2). 포란 수를 조사한 암컷의 전장은 23.1~28.2 cm 범위였으며 평균 25.0 ± 1.6 cm였고, 체중은 278.9~554.2 g 범위의 평균 374.2 ± 88.0 g이었다. 생식소(난소) 무게는 55.4~144.0 g 범위였고, 평균 85.0 ± 29.5 g 이었다. 조사한 불락 암컷의 총 알 수는 48,063~76,879 개의 범위를 보였으며 평균 $60,579.5 \pm 9,078.0$ 개로 나타났다. 어체중 당 평균 알 수는 165.0 ± 24.1 개였으며, 어체 전장 당 평균 알 수는 $2,427.9 \pm 238.7$ 개로 나타났다.

보였다. CF는 출산시기의 암컷과 미성숙 암컷에서 각각 20.9~26.3%와 18.3~20.0%의 범위를 보였고 평균 $23.9 \pm 2.1\%$ 와 $19.1 \pm 0.8\%$ 로서 출산시기의 암컷이 약 1.3 배 높은 값을 보였다.

출산시기 암컷의 HSI와 GSI와의 관계를 그림 4-1-12에 나타내었다. 그림 4-1-12에서 보는 바와 같이 HSI(X)가 커질수록 출산시기 불락 암컷의 GSI(Y)는 감소하는 결과를 보였으며 그 상관관계식은 $Y=31.646-8.632X(r^2=0.6021)$ 로 나타났다. 이 결과에 따라 출산시기가 임박함에 따라 난소로 공급되는 에너지가 많아져 간중량지수(HSI)의 수치가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

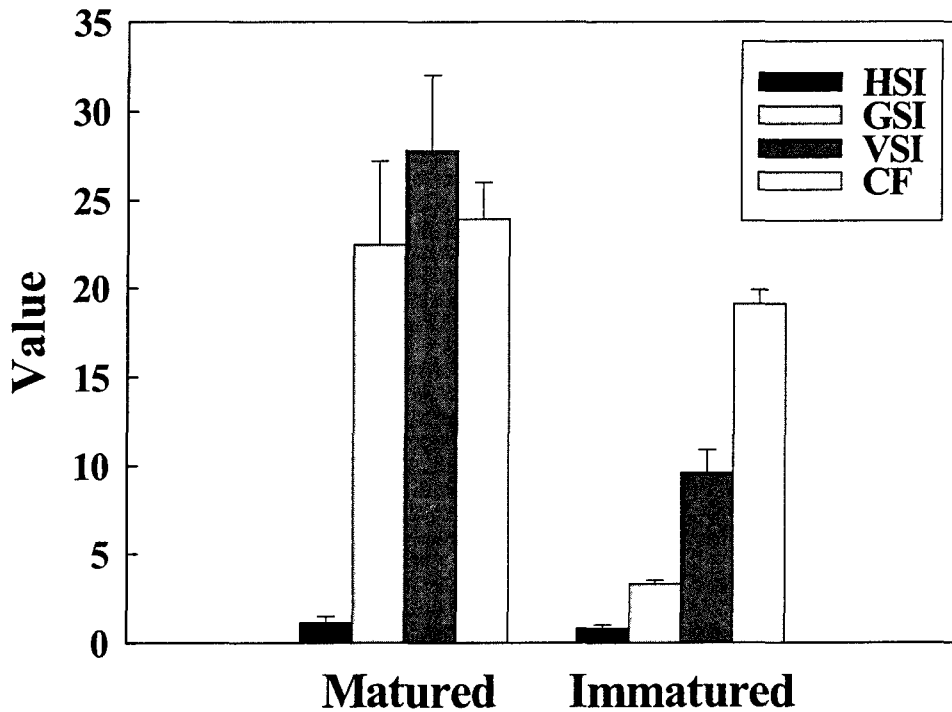


그림 4-1-11. 출산시기와 미성숙 불락 암컷의 간중량지수(HSI), 생식소중량지수(GSI), 내장중량지수(VSI) 및 비만도(CF)의 비교.

출산시기 불락 암컷의 생식소 내 포란 수를 조사하였다(표 4-1-2). 포란 수를 조사한 암컷의 전장은 23.1~28.2 cm 범위였으며 평균 25.0 ± 1.6 cm였고, 체중은 278.9~554.2 g 범위의 평균 374.2 ± 88.0 g이었다. 생식소(난소) 무게는 55.4~144.0 g 범위였고, 평균 85.0 ± 29.5 g 이었다. 조사한 불락 암컷의 총 알 수는 48,063~76,879 개의 범위를 보였으며 평균 $60,579.5 \pm 9,078.0$ 개로 나타났다. 어체중 당 평균 알 수는 165.0 ± 24.1 개였으며, 어체 전장 당 평균 알 수는 $2,427.9 \pm 238.7$ 개로 나타났다.

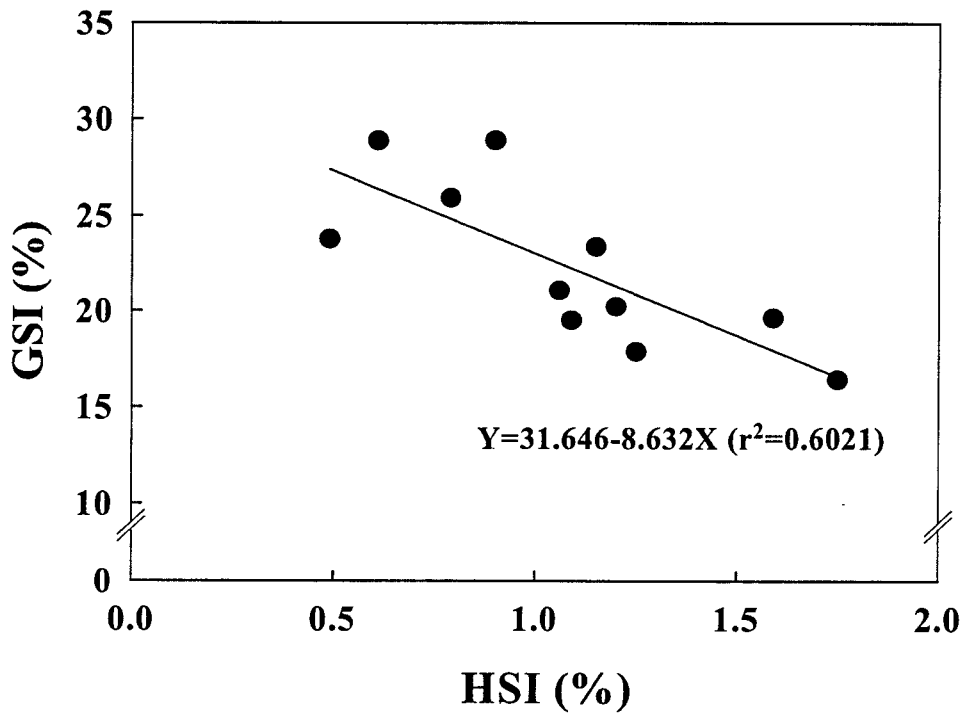


그림 4-1-12. 출산시기 불량 암컷의 간중량지수(HSI)와 생식소중량지수(GSI)의 관계.

표 4-1-2. 출산시기의 불량 암컷 요약

항 목	값
전장 (cm, ±SD)	24.9±1.6
체중(g, ±SD)	377.0±96.1
생식소 중량(g, ±SD)	87.3±32.3
전체 알 수	48,063~76,879
단위 어체중(g)당 평균 알 수	165.0±24.1
단위 길이(cm)당 평균 알 수	2,427.9±238.7

출산시기 불량 암컷의 포란 수(Y)에 대한 어체중(그림 4-1-13), 전장(그림 4-1-14) 그리고 생식소 무게(그림 4-1-15)와의 상관 관계식은 각각 $Y = 114431.8 - 518.5X + 1.4X^2 - 0.001X^3$ (X =어체중; g, $R^2=0.8072$)와 $Y=10204137-1191836.2X+46392.3X^2-598X^3$ (X =전장; cm, $R^2=0.8023$) 그리고 $Y=54251.8-42.5X+0.4813X^2+0.0064X^3$ (X =생식소무게; g, $R^2=0.7004$)으로 나타났다.

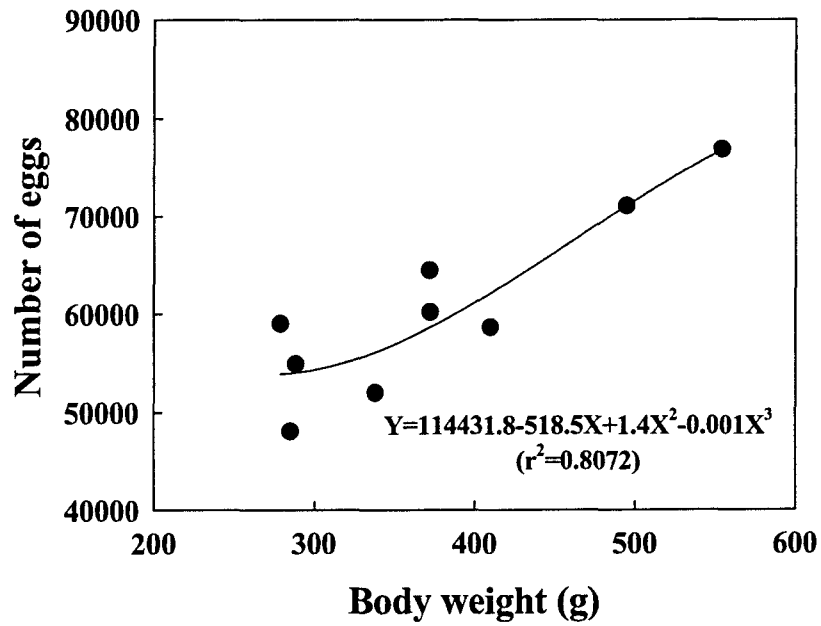


그림 4-1-13. 출산시기의 불락 암컷 어체중과 포란 수와의 관계.

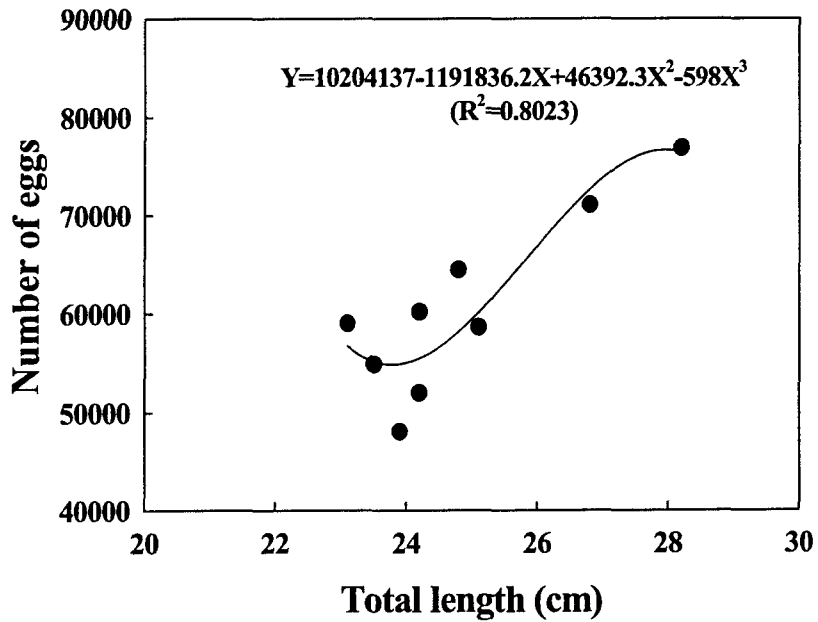


그림 4-1-14. 출산시기의 불락 암컷 전장과 포란 수와의 관계.

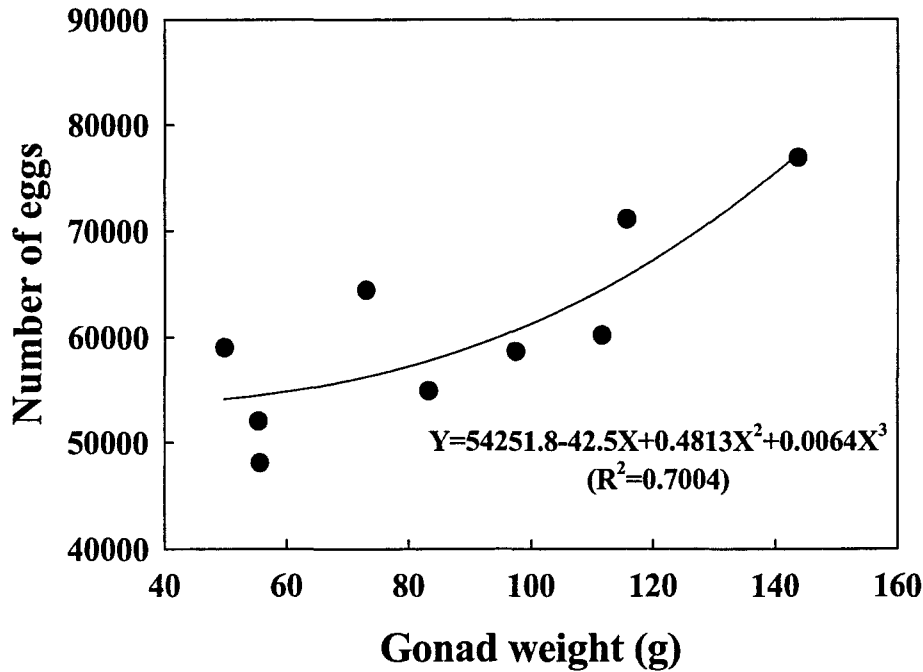


그림 4-1-15. 출산시기의 불락 암컷 난소와 포란 수와의 관계.

출산시기의 불락 암컷의 포란 수는 어체중과 전장이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 암컷의 체중과 전장이 각각 278.9~409.9 g과 23.1~25.1 cm 범위에서는 포란 수가 평균 56,751.9±5,491.3개였으며, 494.8~554.2 g과 26.8~28.2 cm 범위에서는 포란 수가 평균 73,976.2±4,105.9개로 어체중 및 전장의 증가에 따라 증가하는 결과를 보였다. 단위 전장 당 포란 수 역시 평균 2,353.3±215.2개에서 2,689.1±52.5개로 증가하는 경향이었으나, 단위 어체중 당 포란 수는 평균 171.8±23.1개에서 141.2±3.5개로 감소하는 결과를 보였다. 생식소 무게 증가에 따른 포란 수 역시 증가하는 경향으로 116 g 이상에서 71,093개 이상을 포란하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 단위 어체중 당 포란 수 결과와 마찬가지로 단위 생식소 무게 당 포란 수는 생식소 무게 증가에 따라 감소하는 결과를 보였다.

출산시기 불락 암컷의 난경(Y)에 대한 어체중(그림 4-1-16), 전장(그림 4-1-17) 그리고 생식소 무게(그림 4-1-18)와의 상관 관계식은 각각 $Y=5.609-0.0337X+0.0001X^2$ (X=어체중; g, $R^2=0.7429$)와 $Y=1.3-0.0767/[1+\exp\{-(X-26.7)/-0.003\}]$ (X=전장; cm, $R^2=0.6008$) 그리고 $Y=1.23+0.1369/[1+\exp\{-(X-83.3)/0.1856\}]$ (X=생식소무게; g, $R^2=0.8391$)으로 나타났다.

출산시기 불락 암컷 난소 내 알의 크기는 1.014~1.751 mm의 범위를 보였으며 평균 1.274±0.114 mm를 보였다. 어체중과 전장 그리고 생식소 무게가 증가할수록 난경 역시 증가하는 경향을 보였다.

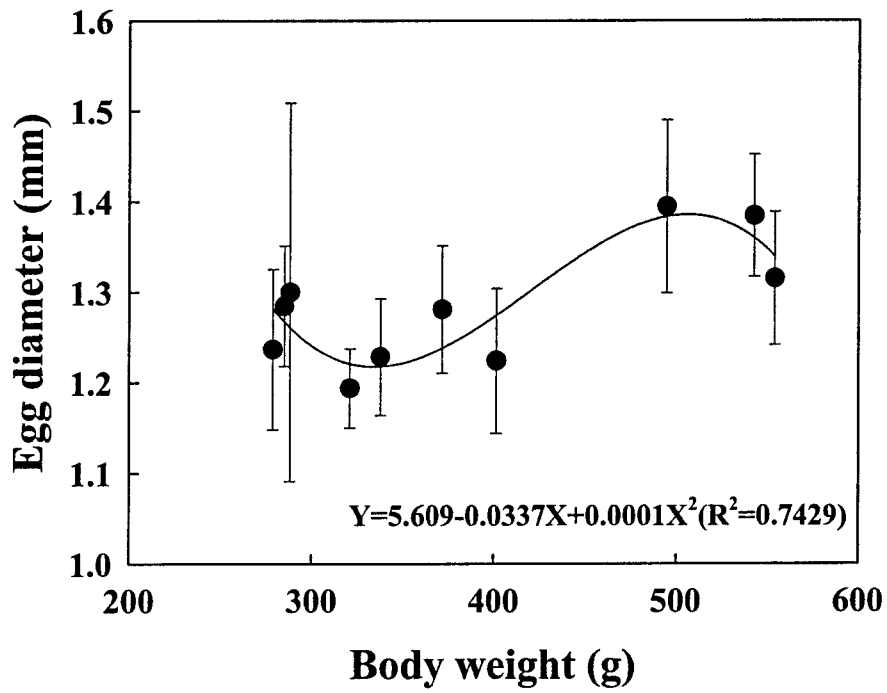


그림 4-1-16. 출산시기 불량 암컷의 난경과 어체중과의 관계.

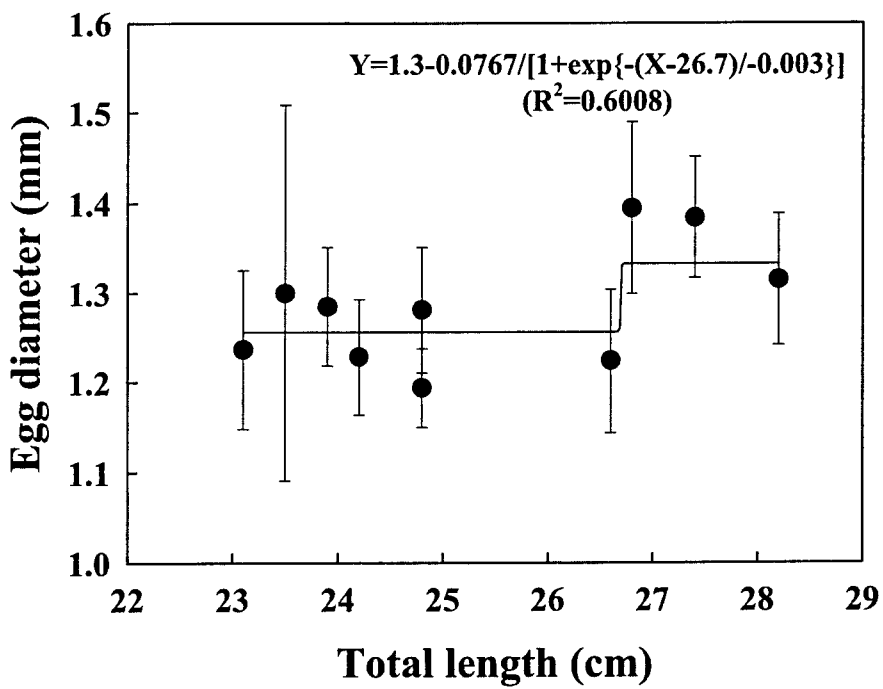


그림 4-1-17. 출산시기 불량 암컷의 난경과 전장과의 관계.

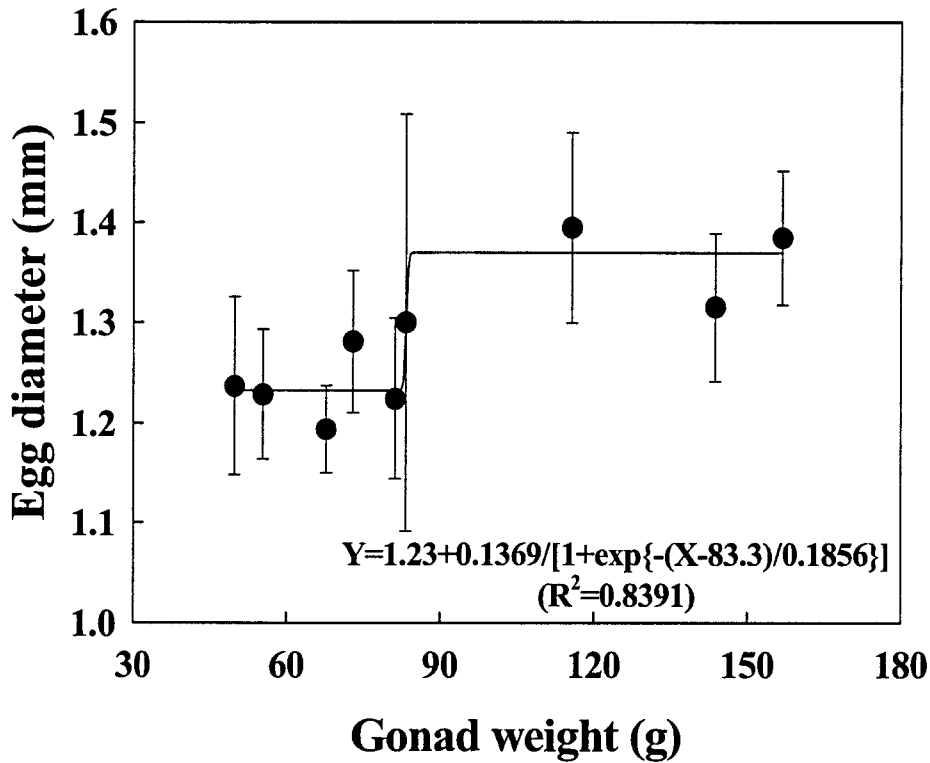


그림 4-1-18. 출산시기 불락 암컷의 난경과 생식소 무게와의 관계.

어체중 278.9~401.5 g과 전장 23.1~26.6 cm 그리고 생식소 무게 49.8~89.2 g 범위에서는 평균 1.252 ± 0.116 mm의 난경을 보였고, 어체중 494.8~554.2 g과 전장 26.8~28.2 cm 그리고 생식소 무게 115.7~143.7 g 범위에서는 평균 1.353 ± 0.081 mm로 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$).

(2) 수컷

계측된 출산시기의 불락 수컷은 체중이 208.4~299.1 g이었으며 전장은 23.0~24.6 cm 범위였으며, 이 시기의 불락 수컷 생식소는 거의 구별하기 어려웠다. 간중량지수(HSI)는 1.4~3.2%의 범위를 보여 평균 $1.8 \pm 0.5\%$ 로 성숙한 불락 암컷에서 나타난 $1.1 \pm 0.4\%$ 보다 높은 수치를 보였다. 내장중량지수와 비만도 수치는 각각 6.4~12.4%와 16.3~18.7%의 범위를 보였고 평균 $8.9 \pm 1.5\%$ 와 17.7 ± 0.7 로 나타나 27.8~4.2%와 23.9~2.1을 보인 출산시기의 암컷에 비해 훨씬 낮은 수치를 보였다(그림 4-1-19).

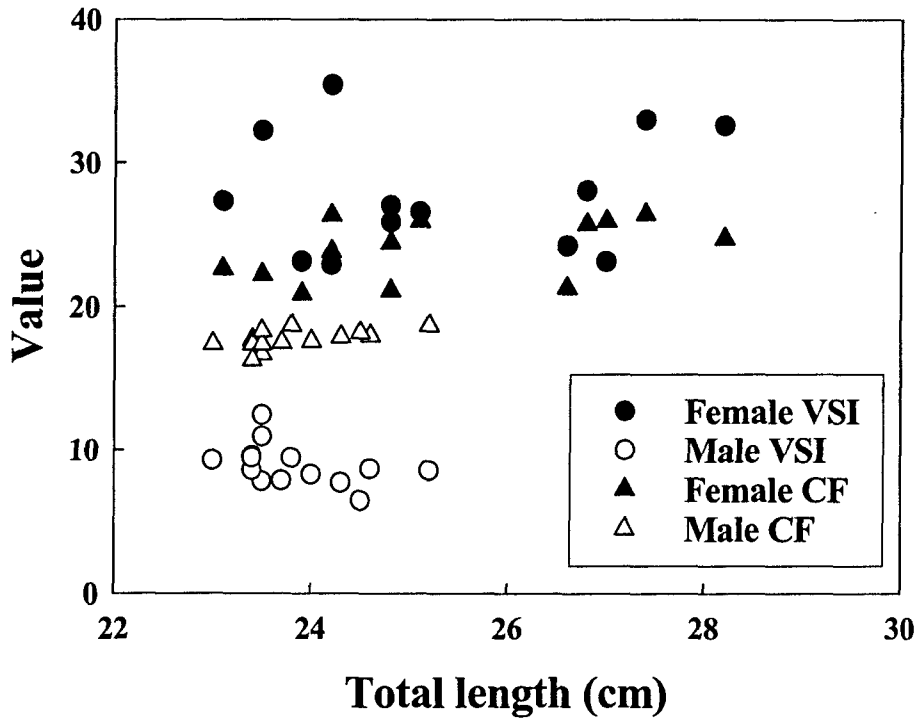


그림 4-1-19. 출산시기의 볼락 암컷과 수컷의 내장중량지수(VSI, %)와 비만도(CF) 비교.

라. 조피볼락의 이동범위와 일주행동

(1) 음향표지어의 이동범위

2005년 7월 27일 (하계)에 어획장소 (그림 4-1-1의 C1)로부터 30 m 떨어진 곳 (그림 4-1-1의 R1)과 850 m 떨어진 곳 (그림 4-1-1의 R2)에서 방류한 10마리의 음향표지어의 이동범위를 방류당일부터 1주일간 측정된 결과는 그림 4-1-20과 같다. R1에서 방류한 음향표지어 6마리 중 1마리 (표지번호: 64; 체장: 35.0 cm; 체중: 1,062 g)는 방류 후 하루 만에 방류지점으로부터 약 2 km 떨어진 곳 (곤리도와 동도 사이의 해역)으로 이동하였으나 나머지는 대부분 방류 후 1주일동안 방류지점으로부터 반경 500 m를 벗어나지 않았다. R2에서 방류한 음향표지어 4마리 중 1마리 (표지번호: 76; 체장: 31.0 cm; 체중: 730 g)도 방류 후 하루 만에 방류지점으로부터 약 2 km 떨어진 곳 (중화항 입구와 동도 사이의 해역)으로 이동하였고, 나머지는 대부분 방류 후 1주일동안 방류지점으로부터 반경 500 m를 벗어나지 않았다. 방류 당일 정오 무렵 R1 주변에서 측정된 5 m 층의 수온은 22.1℃이었다.

2005년 11월 1일 (추계)에 어획장소 주변 (그림 4-1-1의 R1)에서 방류한 음향표지어 5마리의 이동범위를 방류당일부터 1주일간 측정된 결과는 그림 4-1-21과 같다. 방류한

음향표지어는 모두 방류 후 1주일 동안 방류장소를 중심으로 반경 500 m이내의 해역에서 머물렀다. 방류 당시 R1주변에서의 측정된 5 m층의 수온은 17.9°C이었다.

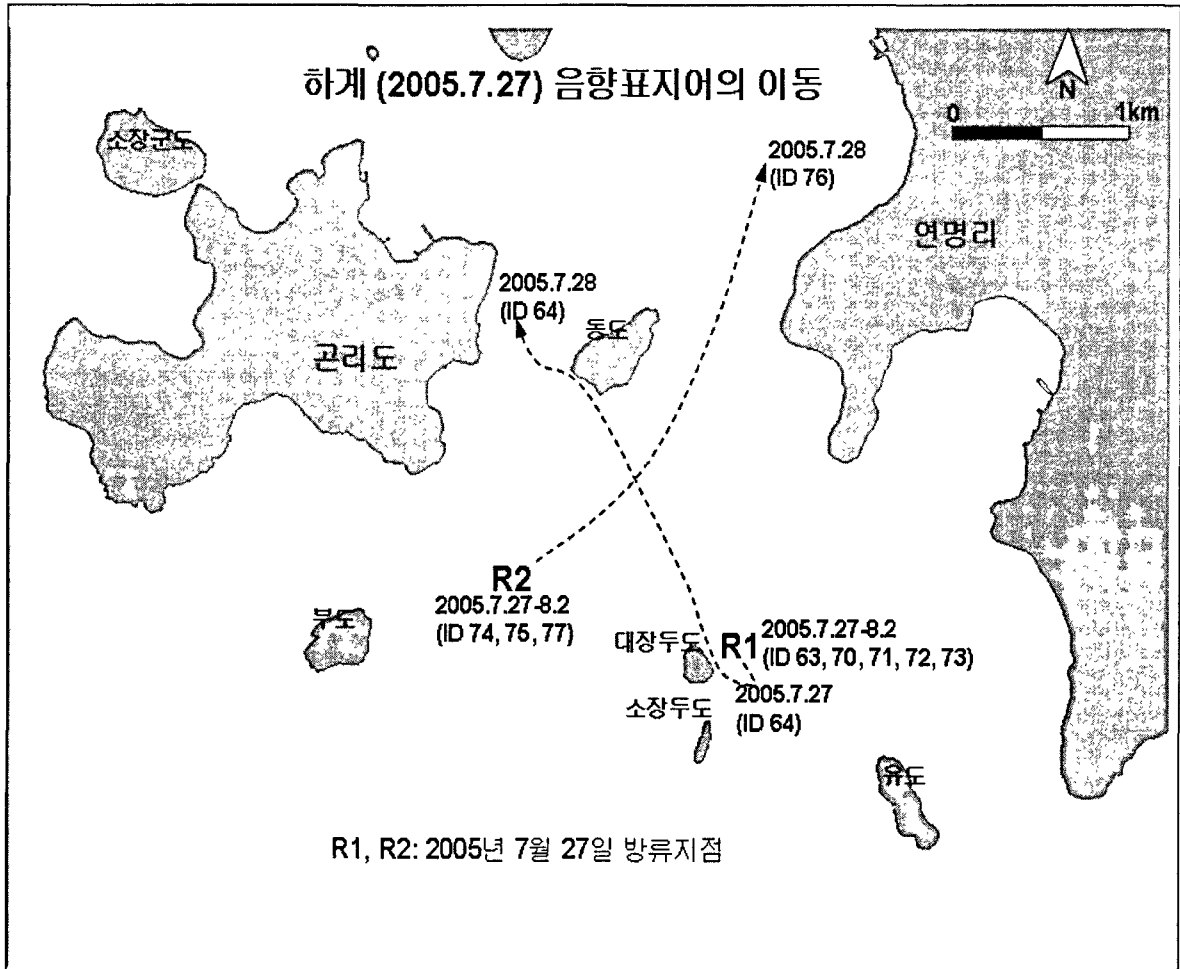


그림 4-1-20. 하계 (2005년 7월 27일)에 방류한 음향표지어의 1주일간의 이동범위.

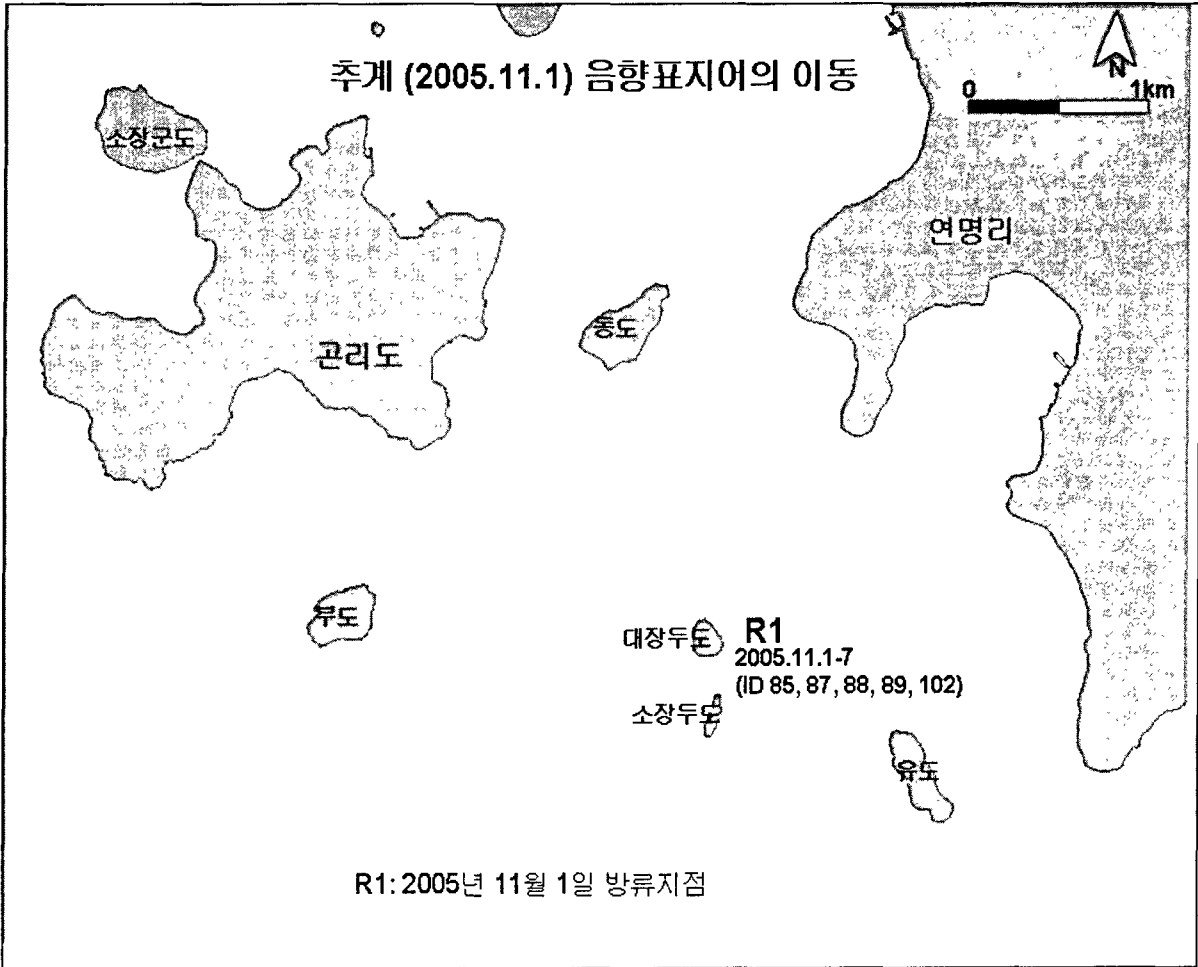


그림 4-1-21. 추계 (2005년 11월 1일)에 방류한 음향표지어의 1주일간의 이동범위.

(2) 음향표지어의 일주행동

하계와 추계에 방류한 음향표지어의 일주행동을 측정한 결과는 그림 4-1-22 및 그림 4-1-23과 같다. 그림 4-1-22(a)와 그림 4-1-22(b)는 각각 하계에 방류한 음향표지어의 주간과 야간의 행동을 나타낸 것이고, 그림 4-1-23(a)와 그림 4-1-23(b)는 각각 추계에 방류한 음향표지어의 주간과 야간의 행동을 나타낸 것이다. 하계와 추계에 방류한 음향표지어는 야간의 수평적인 행동범위가 주간보다 넓었으며, 추계보다는 하계의 행동범위가 넓었다. 표지번호 34와 38은 약 1년 전인 2004년 11월 6일에 R1으로부터 240 m 정도 떨어진 대장두도와 소장두도 사이에 방류하였던 음향표지어이고, 표지번호 75는 금년 여름에 R2에서 방류한 것이며, 나머지는 모두 금년 여름에 R1에서 방류한 것이다. 음향표지어 방류 후 서식지로 돌아와 오래 머문 것일수록 한 곳에 머무는 경향이 강하였고, 주간과 야간의 이동범위의 차이도 작게 나타났다.

음향표지어의 연직방향의 일주행동을 측정한 일례는 그림 4-1-24와 같다. 음향표지어는 대체로 주간보다는 야간에 얕은 수층으로 이동하는 경향이 있었고, 특히 일출 후 보다 깊은 곳으로 이동하여 약 5시간 정도 일정한 깊이를 유지하는 행동을 보였다. 본 연구에서의 음향표지어는 대체로 방류 후 36시간 이상이 경과한 때부터 안정적인 연직방향의 행동을 보였다.

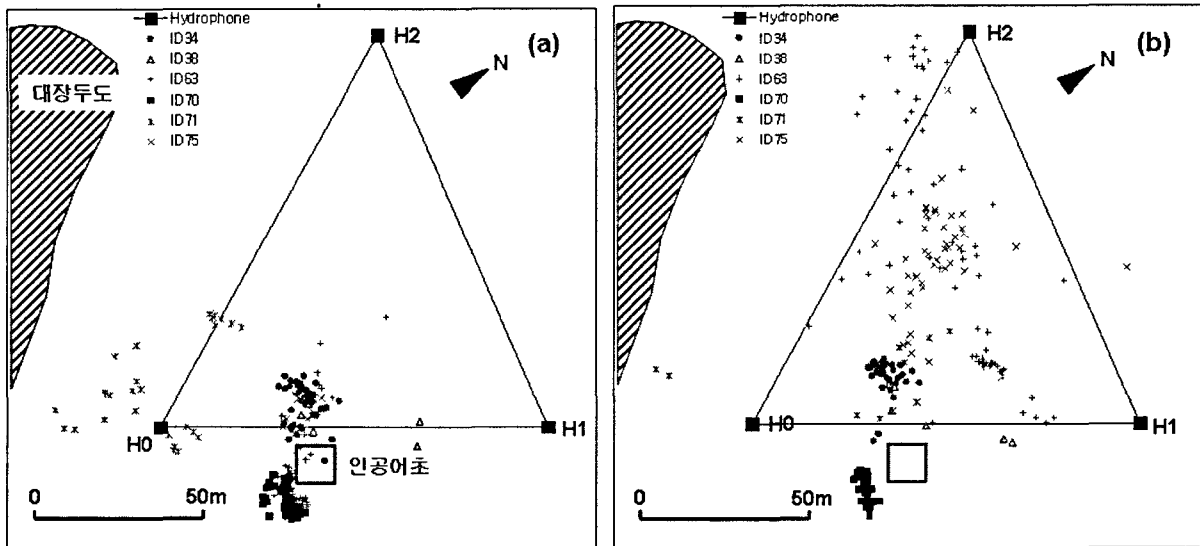


그림 4-1-22. 하계에 방류한 음향표지어의 (a) 주간행동 및 (b) 야간행동.

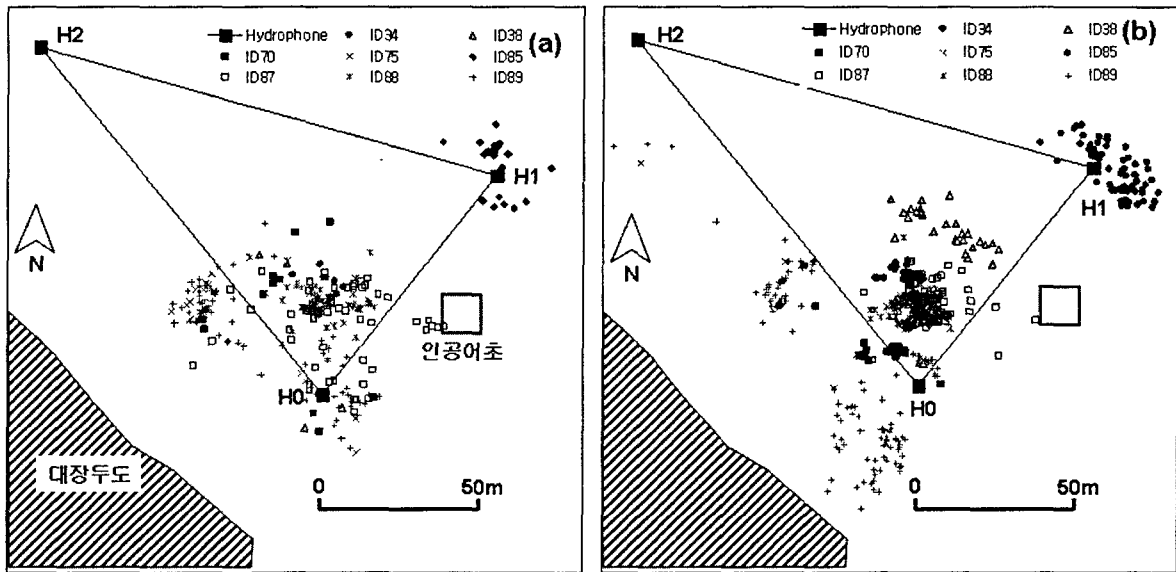


그림 4-1-23. 추계에 방류한 음향표지어의 (a) 주간행동 및 (b) 야간행동.

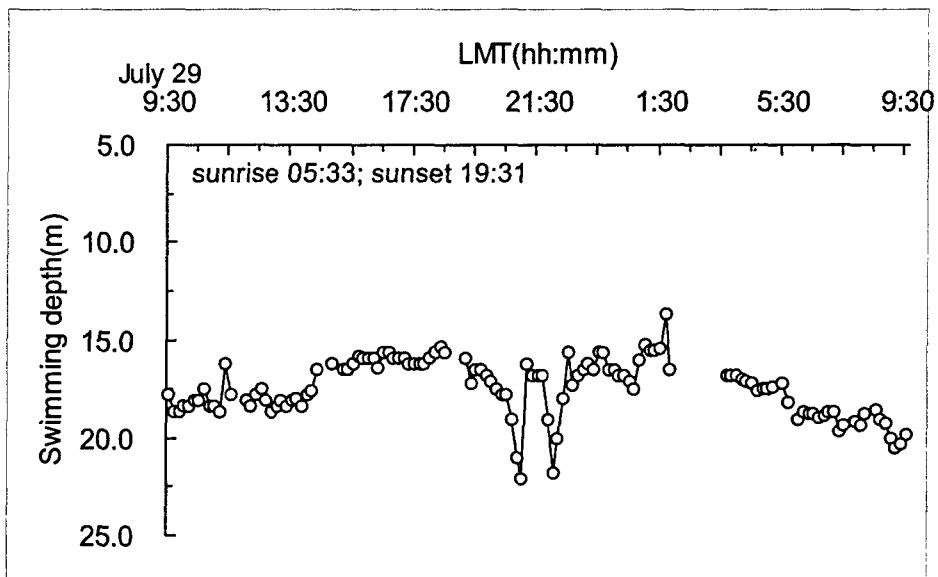


그림 4-1-24. 하계에 방류한 음향표지어 (표지번호 63)의 연직방향 일주운동.

(3) 어획장소 주변의 연직 수온분포

2005년 하계 (7월 5일)와 추계 (11월 5일)의 어획장소 주변의 연직 수온분포를 측정한 결과는 그림 4-1-25와 같다. 하계에는 표층에서 저층까지의 수온이 22.9-18.7°C이었고 5 m층과 15 m 층 사이에 수온변화가 3.2°C에 이르는 수온약층이 나타나 있었으나, 추계에는 표층에서 저층까지의 수온이 17.9-17.7°C로 온도변화가 매우 적음을 알 수 있다.

(4) 정착기간에 따른 구조물에 대한 은신 행동

시기와 장소를 달리하여 2004년 11월 6일에서 2005년 11월 1일에 걸쳐 3회 방류한 음향표지어가 서식지 (어획한 장소)로 돌아온 후 정착기간에 따라 시간대별로 구조물에 대한 반응을 측정하기 위하여 2005년 11월 4일-6일 (11월 5일의 일출시간: 06:50; 일몰시간: 17:28)에 걸쳐 48시간동안 VR2수신기를 사용하여 고정점에서 표지번호별 탐지회수를 측정하였으며, 그 결과는 그림 4-1-26과 같다. 사용한 음향표지의 신호 송신 간격은 60-180 sec이다. 표지번호 34의 음향표지어 (자연산 조피볼락; 전장: 33.0 cm; 체장: 28.5 cm; 체중: 680 g)는 2004년 11월 6일에 서식지로부터 약 0.24 km 떨어진 소장두도 부근에 방류한 것으로 방류 후 1시간 이내에 서식지로 돌아온 후 서식지 주변에서 1년째 정착하고 있었다. 표지번호 70과 88의 정착기간은 각각 약 3개월과 5일이었다. 음향표지어 (표지번호 34, 70 및 88)는 대체로 일몰과 더불어 VR2수신기에 탐지되는 회수가 증가하고 일출과 더불어 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 정착기간이 길수록 약화되었다.

이 데이터를 사용하여 음향표지어의 주간과 야간의 시간당 평균 탐지회수를 구한 결과는 표 4-1-3과 같다. 이 결과로부터 음향표지어 (표지번호 34, 70 및 88)는 야간보다는 주간에 인공 또는 자연의 수중 구조물에서 은신하는 경우가 많고, 어획지점으로 돌아온 후부터의 정착한 시간이 길수록 구조물 등에서의 은신 시간이 길어지는 것을 알 수 있었다.

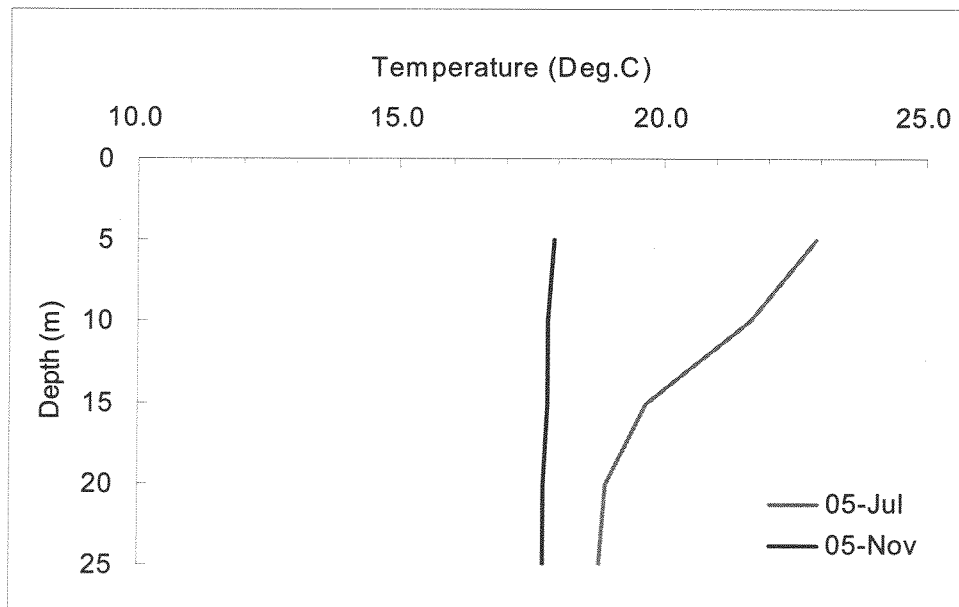


그림 4-1-25. 어획장소 주변의 연직 수온분포.

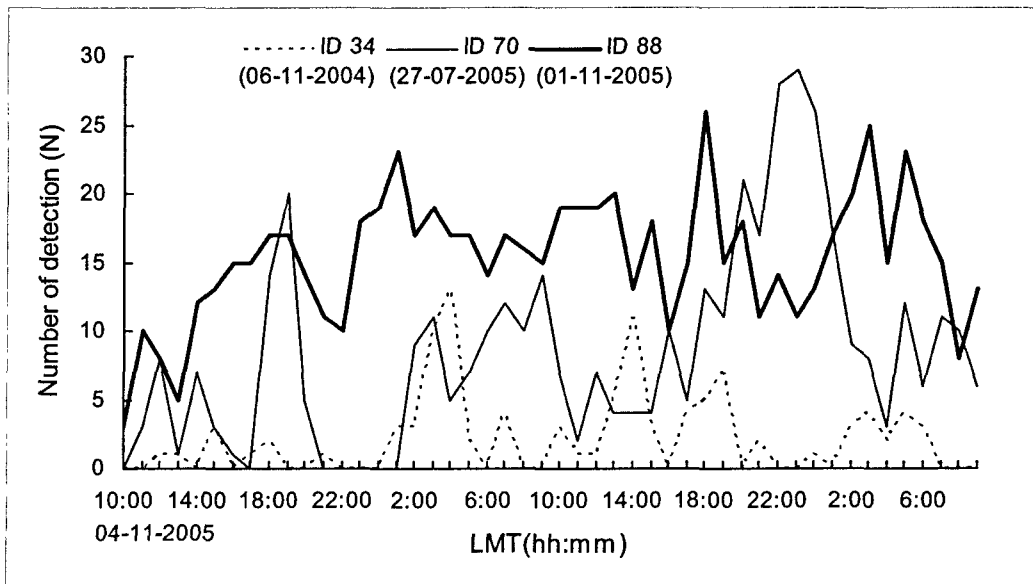


그림 4-1-26. 시간대별 음향표지어 (표지번호 34, 70 및 88)의 탐지 횟수 변화.

표 4-1-3. 2005년 11월 4일-6일에 측정된 음향표지어 (표지번호 34, 70 및 88)에 대한 주간과 야간의 평균 탐지 횟수

ID	Averaged number of detection		Released		Stayed duration after returning (day)
	During day-time (N/h)	During night-time (N/h)	Date	Distance from caught point (km)	
34	1.7 ± 2.6	2.5 ± 3.3	2004-11-06	0.24	365
70	5.9 ± 4.1	10.8 ± 8.7	2005-07-27	0.90	94
88	13.6 ± 4.7	16.9 ± 4.2	2005-11-01	0.03	5

마. 해삼

(1) 분포양상

통영바다목장해역내의 대장두도 해역에서 해삼의 분포양상을 정량조사하기 위해 5회 실시된 자료에 의하면 총 118개체의 해삼이 출현하였다. 초기 조사된 자료(1월-3월)에 의해서는 방류해삼과 자연산해삼의 구분이 뚜렷하였으나(KORDI, 2005), 이 후 조사기간에는 방류해삼과 자연가입 된 해삼의 구분이 불가능하여 서식처별 분포양상만을 나타내었다. 조사 시기에 따라서는 20-30개체/20m²로 차이를 보이지는 않았으나, 출현한 서식처의

유형에 따라서는 뚜렷한 차이를 보이고 있었다(그림 4-1-27). 가장 많은 해삼이 출현한 곳은 가두리해역으로 총 출현 개체수의 46%인 55개체(11 ± 3 개체/ 20m^2)가 출현하였으며, 다음으로 암반해역 42개체(8 ± 4 개체/ 20m^2), 연질기저해역 21개체(4 ± 1 개체/ 20m^2) 순으로 나타났다. 가두리해역의 기질이 기본적으로 연질기저의 퇴적상위에 담치류 등의 패각이 피복되어 있는 것을 감안한다면 전체적으로 연질기저해역에서 우점적으로 출현한다고 볼 수 있다.

한편, 조사 시기 및 서식처에 따른 출현빈도를 살펴보면 1월의 경우 암반해역에서 출현한 개체가 총 출현개체의 66%를 차지하고 있었으며, 가두리해역에서는 23%의 빈도로 출현하였다(그림 4-1-28). 1월과 5월 암반해역에서의 출현 빈도가 상대적으로 높은 이유는 방류된 어린해삼의 출현빈도가 높았기 때문으로 보이며, 크기 70 mm 이하의 어린개체의 경우 바위나 인공기질의 하부 등 외부조건에 비해 안정된 서식처를 선호하는 것으로 알려져 있다(KORDI, 2005). 한편 여름철인 7월 이후 암반 출현빈도가 다시 높아지는 것은 암반지대에서 하면(summer sleeping)하는 개체의 빈도가 높아지기 때문으로 판단된다. 가두리해역의 경우 겨울철인 1월을 제외한 전 조사기간 동안 높은 출현 빈도를 보이는 것으로 나타났다. 현장에서 육안적으로 관찰된 바에 의하면 여름철인 7월 이후에는 비교적 깊은 수심대(20 m 이하)에서 주로 출현하고 있었다. 연질기저의 경우 출현한 모든 개체들이 100 mm 이상의 대형개체들이었으므로 나타났다.

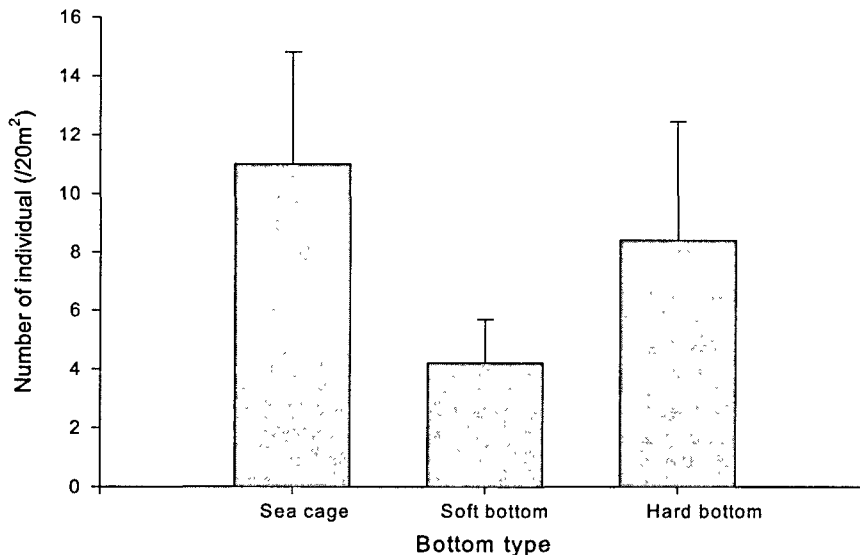


그림 4-1-27. 서식기질에 따른 해삼의 출현 개체수.

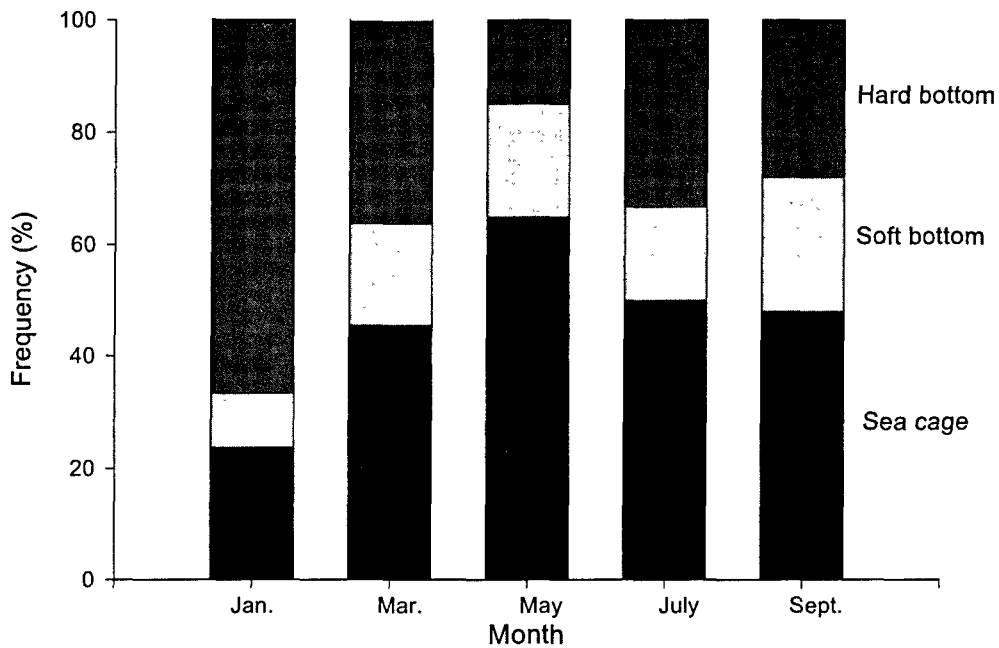


그림 4-1-28. 조사기간 동안 각 서식처에서 출현한 해삼의 빈도.

(2) 성장

통영바다목장해역에서 출현하는 해삼의 성장양상을 파악하기 위해 총 189개체가 채집되었으며 체장의 경우 35.9-202.6 mm 범위, 생체량의 2.9-313.0 wwtg 범위였다. 1월에서 3월 사이 출현한 44개체의 체장에 대한 생체량의 회귀곡선은 그림 4-1-29와 같다.

출현한 해삼은 10 mm 단위의 16개 체장군으로 구분되었으며, 최대단위는 185 mm 이상 체장군으로 하였다. 각 체장군은 조사 시기에 따라 차이를 보이고 있었는데, 대략 70 mm 이하 개체들은 1월에서부터 5월까지 높은 빈도로 출현하고 이후 감소하는 경향을 보였다(그림 4-1-30). 70 mm 이하 개체들은 대부분 방류해삼자원으로 추정되며, 1월에서 5월까지의 시간에 따른 전체적인 체장군의 성장이 파악되나, 7월 이후로는 자연가입 해삼과의 구별이 불가능하였다.

생체량에 의해서는 총 19개의 군으로 나누어 졌으며, 체장군에서와 마찬가지로 조사 시기에 따른 차이가 뚜렷이 나타났다(그림 4-1-31). 1월과 5월의 경우 어린개체 출현 빈도가 높게 나타나고 있으나, 이후 7월부터는 전체적으로 고른 분포를 보였다. 또한 5월 이후에는 높은 생체량을 띠는 개체의 출현 빈도가 높아지고 있었다.

출현한 해삼을 체장을 기준으로 한 연령으로 구별한 다음 조사시기별 빈도를 그림 4-1-30에 도시하였다. 1월과 5월에 출현한 해삼은 모두 1세군(59 mm) 및 2세군(133 mm)

으로 나타났다. 해삼이 방류되기 전 예비조사 자료를 통해 파악해 볼 때 1세군의 경우 대부분 방류자원으로 판단되며, 2세군의 경우 방류이전에 해역에 자연 가입된 개체들로 판단된다. 이후 5월에서부터 9월까지의 3세군이 출현빈도의 13-20% 이상으로 나타났다.

생체량을 기준으로 한 연령빈도 분포에서도 크기를 기준으로 한 연령빈도에서와 거의 유사한 결과를 보여 1월에서 3월까지의 1세군(15.5g)과 2세군(122.5g)의 출현만이 관찰되었으며, 이후 조사에서 3세군(207.0g) 및 4세군(472.0g)의 출현이 파악되었다(그림 4-1-32, 33).

전체적으로 볼 때 통영바다목장해역에서 출현하는 해삼은 2세군의 출현이 우점적인 것으로 보이며, 이러한 경향은 서식처의 물리적 환경 및 먹이 환경 등 여러 요인이 작용하기 때문으로 추정된다. 따라서 향후 해역에서 수용가능한 해삼자원의 밀도 및 이들의 생존에 미치는 주요 요인들에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

통영바다목장 해역에 위치한 대장두도 인근에 대한 해삼의 분포양상 및 성장을 조사한 결과 조사한 결과 방류초기 어린해삼의 경우 주로 암반해역을 서식처로 하고 있었으며, 이후 성장함에 따라 가두리해역 등 연질기저로 이동하는 것으로 판단된다. 또한 이러한 서식처에 따른 분포는 계절에 따라서도 일어나는 것으로 보이며, 여름철 높은 수온을 피하기 위한 하잠(summer sleeping)에 의한 것으로 보인다.

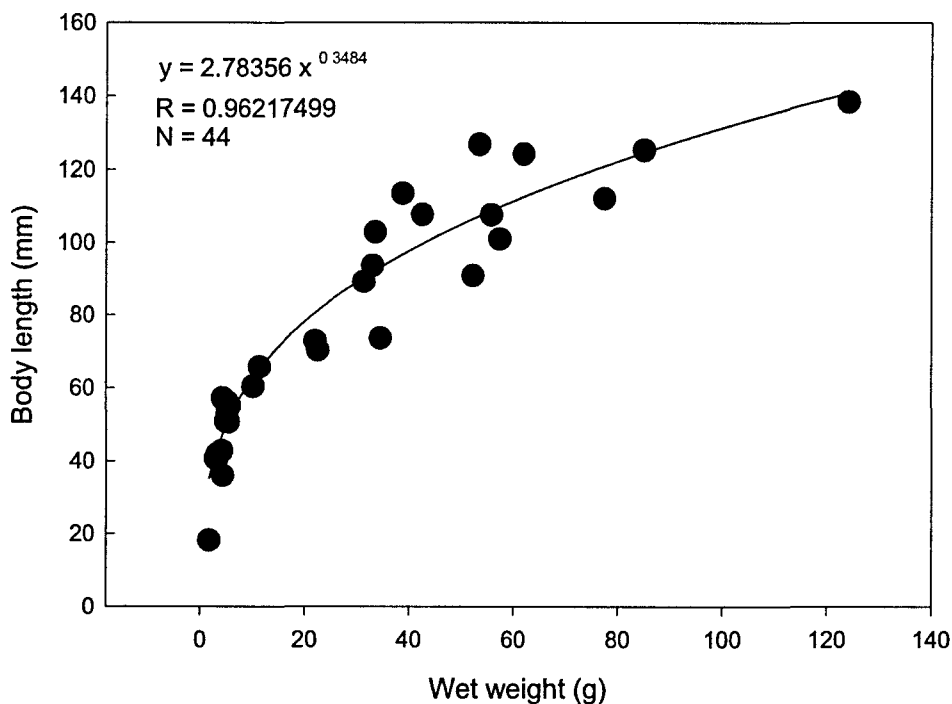


그림 4-1-29. 출현한 해삼의 생체량과 체장간의 상관관계.

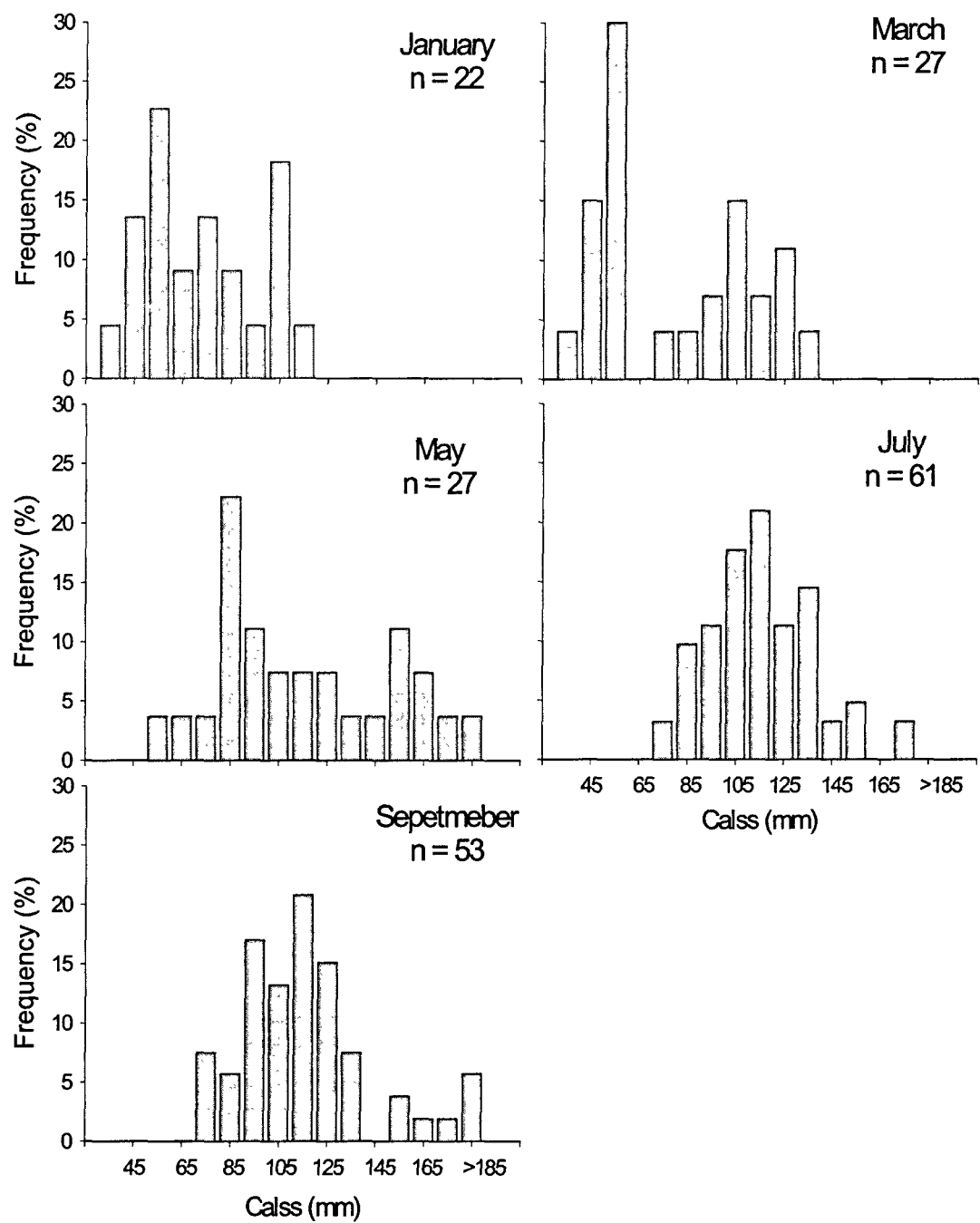


그림 4-1-30. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 조사시기별 크기 빈도.

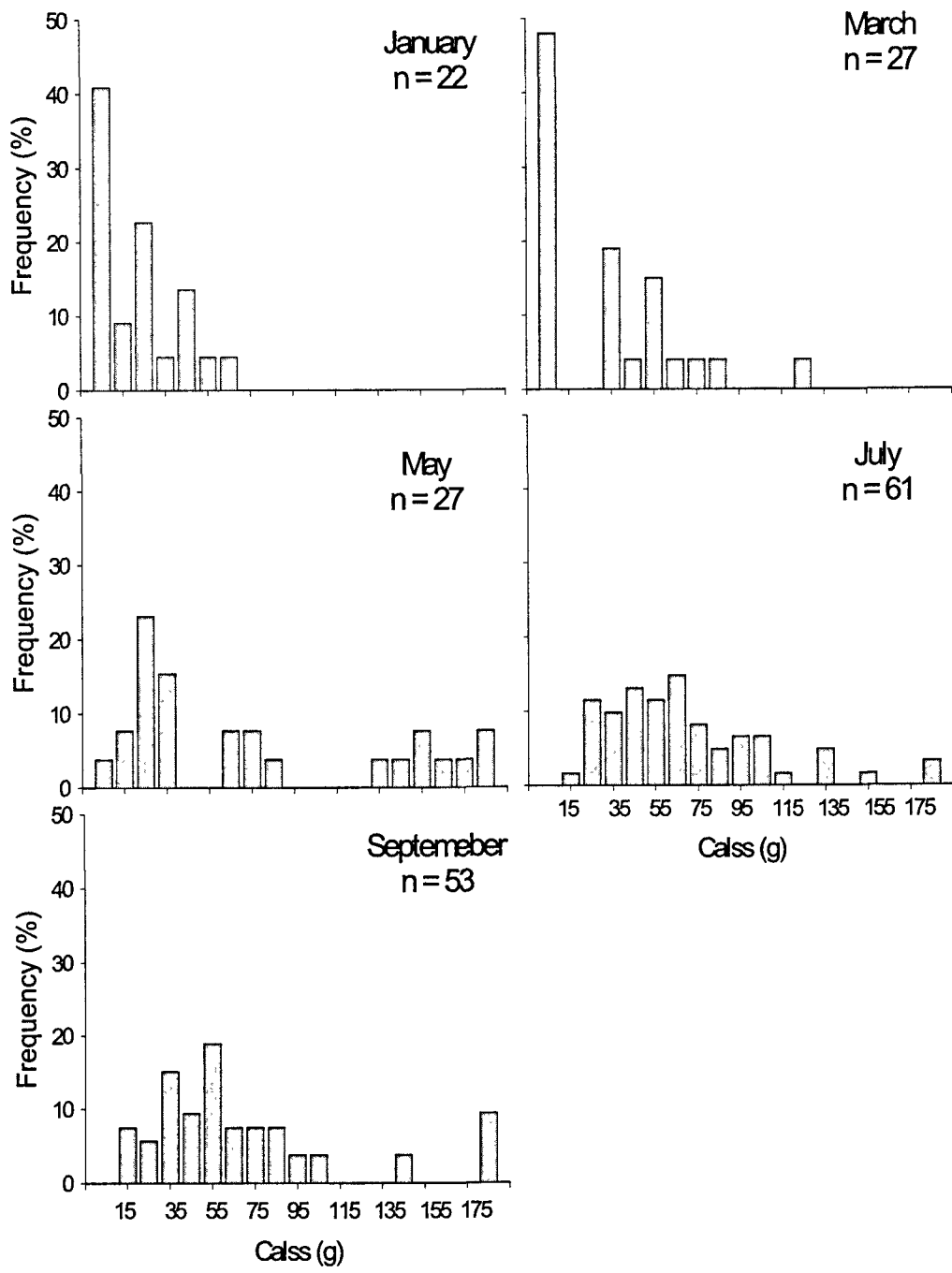


그림 4-1-31. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 조사시기별 생체량 빈도.

서식처 유형 및 해역 곳곳에 위치한 인공적인 구조물에 대한 조사결과에서 나타났듯이 체장이 50 mm 내외인 방류해삼의 경우 주로 지형적으로 보호된 지역을 선호하고 있었으며, 따라서 단순한 연질기저보다는 상대적으로 입체적인 서식처 구조를 보이는 암반해역에서 대부분이 서식하는 것으로 판단된다. 가두리해역 및 연질기저해역에서 출현한 방류해삼의 경우 대부분 담치류의 폐각이나 인공적인 구조물에 의해 상대적으로 보호된 지역에서 출현하였다. 따라서 해삼의 방류에 있어서 암반해역 뿐만 아니라 공간 다양성 측면에서 뛰어난 가두리해역에 대해서도 방류를 시도해 볼 가치가 있을 것으로 판단된다. 또한 통영바다목장해역에서 출현하는 해삼의 연령구조가 2세군에 집중되어 있는 것으로 미루어 볼 때, 이들의 성장과 사망에 미치는 요인에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 보인다. 또한 이 지역은 2004년 12월 이후부터 해삼의 방류가 이루어진 지역으로 그림 4-1-34에서와 같이 현재의 생산량 증가를 파악할 수는 없었다. 따라서 방류자원의 증대 효과를 파악하기 위해서 장기적인 추적조사가 필요할 것으로 판단된다.

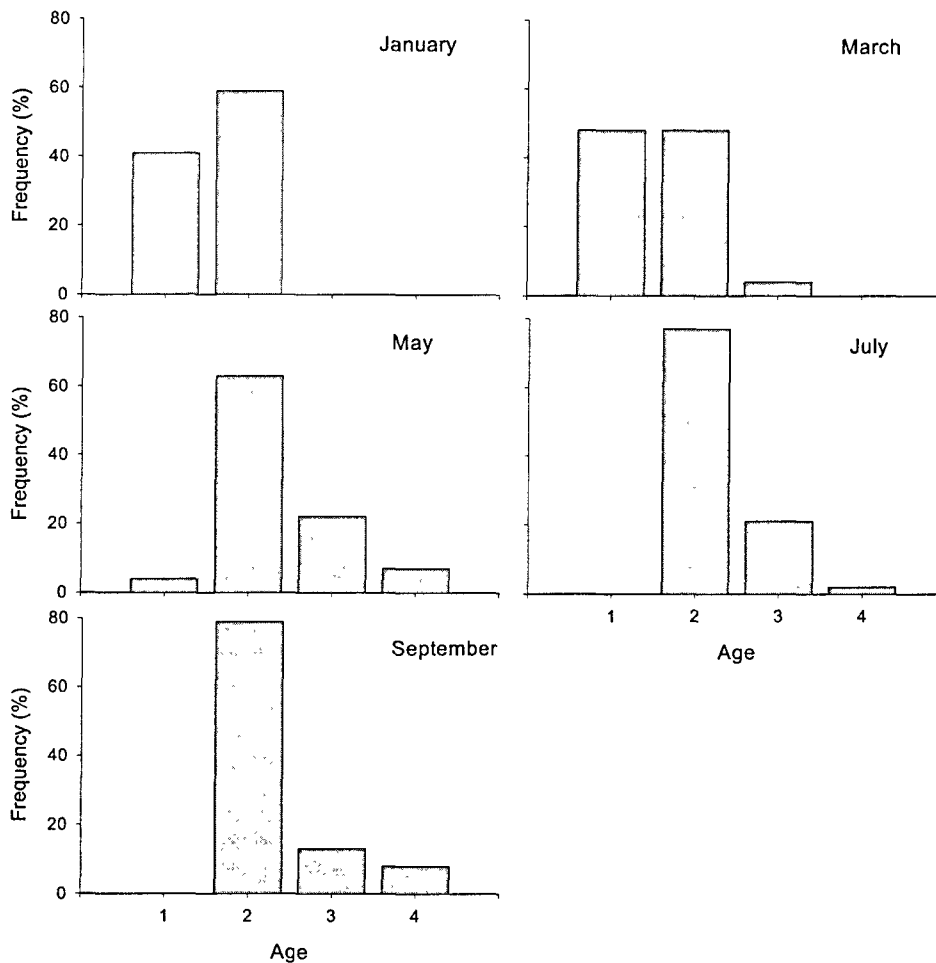


그림 4-1-32. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 크기에 따른 연령분포 빈도.

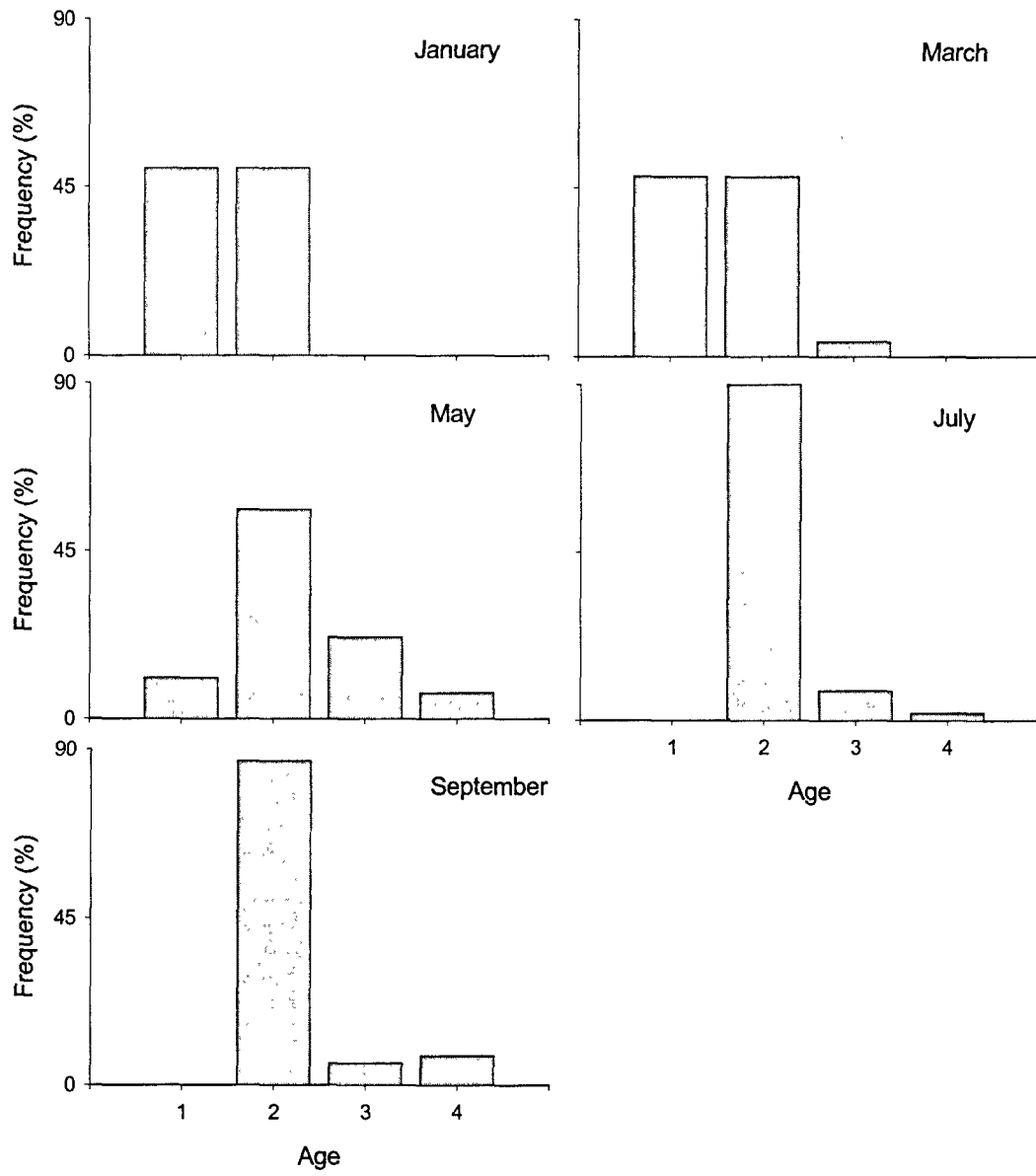


그림 4-1-33. 통영바다목장해역에서 출현한 해삼의 생체량에 따른 연령분포 빈도

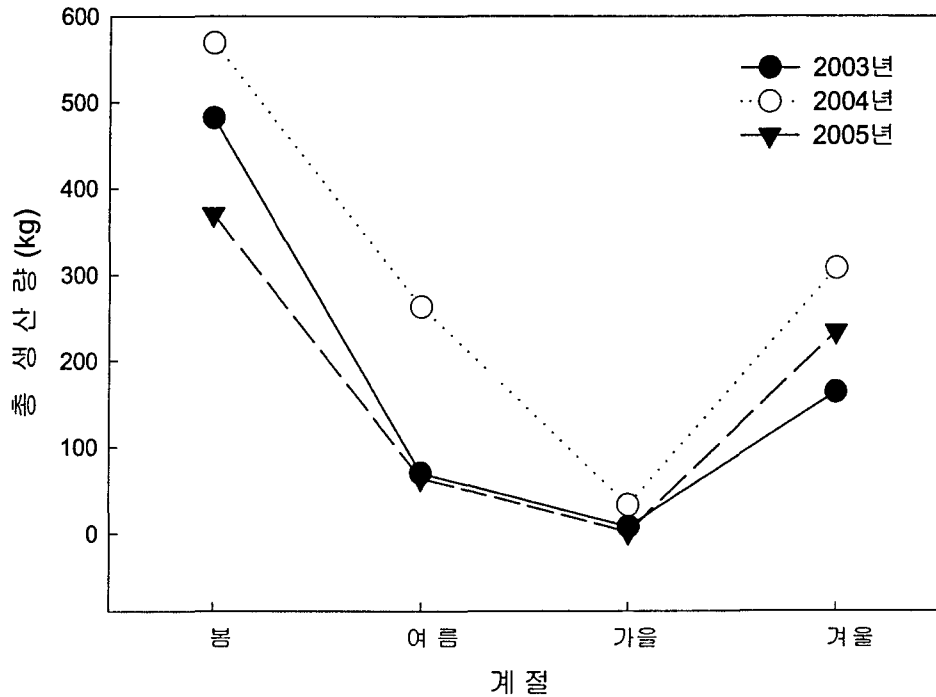


그림 4-1-34. 통영바다목장 내에 위치한 연명어초계의 계절별 해삼 수확량.

바. 방류현황

본 사업 3단계 1차년도 기간 동안 바다목장 대상 해역 내 방류 현황은 표 4-1-4에 나타내었다. 방류 어종과 마리 수는 볼락이 731,955마리, 조피볼락이 576,000마리, 감성돔이 323,000마리였다. 방류 시 크기는 모든 어종이 7cm 이상이었으며, 모두 목장 해역 내 방류하였다.

표 4-1-4. 3단계 1차년도 사업 기간 동안 통영 바다목장 해역 내 방류 현황

연월	어종	마리수	장소	크기(cm)	비고
2005. 7	볼락	731,955	봉도, 축도, 저도, 달아	7cm 이상	
2005. 8	조피볼락	576,000	봉도, 축도, 저도, 달아	"	
2005. 8	감성돔	323,000	연명, 달아, 척포		
계		1,630,955			

제 2 절 해중림 조성기술

1. 서론

1998년 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업이 1단계 1차년도로 시작한 이래 7년의 세월이 흘렀고, 금년에 들어 2단계 4차 년도에 이르렀다. 그간 통영해역에 적합한 해중림 조성을 위해 다양한 연구가 수행되었고, 이들 연구는 다음과 같은 체계 하에서 이루어졌다. 첫째 바다목장해역의 해조군집을 광범위하게 조사함으로써 해중림을 이룰 수 있는 해조류의 선정, 둘째 이들 해조류의 생물학적 특성과 생태(생활사, 성장양상, 번식주기, 공간분포, 개체군 동태 등) 파악, 셋째 이들 해조류가 해중림에 적합한 종인가에 대한 평가, 넷째 이들 해조류의 종묘생산 및 이식하는 방법결정, 다섯 번째 해중림 조성의 최적 장소의 선정, 여섯 번째 조성된 해조장의 효과검정, 그리고 마지막으로 조성된 해중림의 지속적 관리 및 보전이다. 표 4-2-1에서는 이 6가지 연구항목에 대한 세부사항과 사항별 연구의 진척도를 보여주고 있다.

1단계 3차년도(2000년 12월)까지의 주요 연구내용은 1) 해중림 조성에 적합한 대형 갈조류의 목록 작성, 2) 목록된 종의 생물학적 특성 및 생태학적 특성 파악, 3) 목록된 종이 해중림 조성에 적합한 가에 대한 판단, 4) 종묘생산방법 또는 해조어초설계와 같은 해중림 조성방법의 탐색, 그리고 5) 해역의 물리화학적 환경특성(광량분포 및 해조류의 보상광도), 부착판 실험을 통한 생물군집의 천이양상, 그리고 목장해역 내 해조류 분포 특성에 대한 자료를 토대로 한 적지의 선정(기초 안 제시)이었다.

2단계에서의 연구내용은 1단계 연구에서 수행되지 못한 부분이나 1단계에서 수집된 자료 중에서 부족한 부분을 보완하는데 집중하였다. 주요 연구내용으로는 1) 해중림 조성용 대형 갈조류의 종묘생산 및 이식방법(해조어초설계 포함) 탐색, 2) 적지선정 및 투입규모 산정, 3) 조성된 해조장의 효과 및 지속성 검정, 그리고 4) 적지선정 및 투입규모 산정을 들 수 있고, 이 결과들은 2단계 최종보고서에 종합적으로 기술한 바 있다.

3단계 1차 년도에 해당하는 금년도의 연구내용은 해중림 조성실태 및 관리방안과 지금까지 수행된 실내배양기술 및 이식기술을 종합하는 것이다. 해중림 조성실태 및 관리방안을 위해서는 다음과 같은 연구가 수행되었다. 첫째 지금까지 통영바다목장해역에 해중림 조성을 목적으로 투입된 시설물에서 해조군집의 발달정도를 2단계부터 지속적으로 조사하여 어떤 형태의 시설물이 가장 효과적인지를 파악하였고, 둘째 해중림 조성의 효율을 높이기 위해 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초에 이식된 감태(*Ecklonia cava*) 및 곱피(*Ecklonia stolonifera*) 개체군의 성장 및 생존을 분석함으로써 조성된 해중림의 지속성을 평가하였고, 셋째 동일한 시기에 서로 다른 장소에 투입된 한 종류의 시설물에서 발달되는 해조군집의 특성과 어초주변의 환경특성을 상관하여 분석함으로써 해중림 조성

을 위한 시설물 투입의 적지를 판정하고자 하였다.

실내배양 및 이식기술에 대해서는 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 외틀개모자반(*Myagropsis myagroides*), 감태(*Ecklonia cava*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*)에 대해 수행되었지만, 감태의 경우 이 지역에 자생하는 종이 아니기 때문에 생태계 교란을 우려하여 연구된 결과를 금번 보고서에 기술하지 않았다. 마찬가지로 팽생이모자반과 외틀개모자반은 해중립 조성 대상종으로는 그 효용성이 크다고 하나, 종묘로부터 이식하기까지의 과정이 명확히 밝혀지지 않은 상태이다. 금번 보고서에서는 곰피의 종묘생산과 이식기술을 중심으로 기술하였고, 더불어 종묘를 생산하고 이식하는 인위적 방법과는 달리 자연에서 여러 종의 해조류를 채집하고 이를 이식하여 해중립을 조성하는 “자연 해조류 이식법에 의한 복합 해조장 조성”에 관한 연구결과를 기술하였다.

표 4-2-1. 효율적인 해중립 조성을 위한 연구내용

구분	연구수행항목	진척도(%)								
		1단계			2단계				3단계	
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	대형 갈조류 목록작성 ○ 조하대 해조군집 상세조사	30	60	100						
2	대상종의 생물학적 및 생태학적 특성구명 ○ 생활사, 성장패턴 및 번식특성 ○ 분포와 개체군 동태	30 30	60 60	100 100						
3	대상종의 적합도 평가 ○ 생태적 측면 - 일차생산자로서의 적합도 - 은신처로서의 적합도 ○ 경제적 측면 - 해중립 조성에 소요되는 시간분석 - 해중립 조성에 소요되는 비용분석 ○ 대상종 결정	30 30 30 30 30	60 60 60 60 60	100 100 100 100 100						
4	해중립 조성방법 ○ 해조어초 개념설계 ○ 적정투입시기결정 ○ 종묘생산기술확립	- 30 -	- 60 -	30 100 -	50 100 30	100 100 100				
5	적지선정 ○ 이화학적 환경특성분석 - 투명도, 해저지형, 퇴적양상, 해수유동 ○ 조성규모산정	- -	- -	- -	20 20	50 50	70 70	100 100		
6	효과분석 ○ 해중립 주변의 생물다양성 변화분석	-	-	-	30	60	80	100		
7	해중립 조성실태 및 관리방안	-	-	-	-	-	-	-	50	100

2. 재료 및 방법

가. 조성된 해조장의 효과분석

현재까지 통영 바다목장해역에 투입된 해중립 조성용 시설물 중에서 해중립 조성용으로 적합하다고 판정된 시설물은 표 4-2-2와 같고, 현재 이들을 중심으로 해중립 조성용 시설물이 투입되고 있다. 이들 시설물은 크게 4가지 해조어초(그림 4-2-1), 테트라포드, 자연석, 그리고 복합형 해조장(그림 4-2-2)으로 시설위치는 그림 4-2-3과 같다.

표 4-2-2. 통영 바다목장해역에 투입된 해중립 조성용 시설물 현황

번호	종류/규격	시설위치		수량	시설년도	재료	비고
1	테트라포드 (3.2 M/T)	장두도	34° 46' 042" 128° 23' 092"	60개	2002.3	콘크리트	1*
2	해조어초 (2m×2m×2m)	저도	34° 45' 525" 128° 23' 720"	10개	2002.4	콘크리트	2*
		장두도	34° 45' 900" 128° 23' 000"	10개			
3	자연석	장두도	34° 46' 042" 128° 23' 092"	700 m ³	2002.11	자연석	1*
4	테트라포드 (3.2 M/T)	장두도	34° 46' 042" 128° 23' 092"	100개	2002.11	콘크리트	1*
5	복합형 (10m×10m×2.5 m)	곤리도	34° 46' 658" 128° 21' 857"	1개	2003.3	H beam/ 자연석/ 콘크리트	1*
6	해조어초 (2m×2m×2m)	곤리도	34° 46' 658" 128° 21' 857"	20개	2003.3	콘크리트	1*
7	자연석	장두도	-	750 m ³	2004.1	자연석	1*
8	테트라포드 (3.2 M/T)	장두도	-	30개	2004.1	콘크리트	1*
9	복합형 (10m×10m×2.5 m)	연명	-	3개	2004.1	H beam/ 자연석/ 콘크리트	1*

1* 시설물에 대형 갈조류 이식하지 않은 것

2* 시설물에 곰피(*E. stolonifera*)를 이식한 것

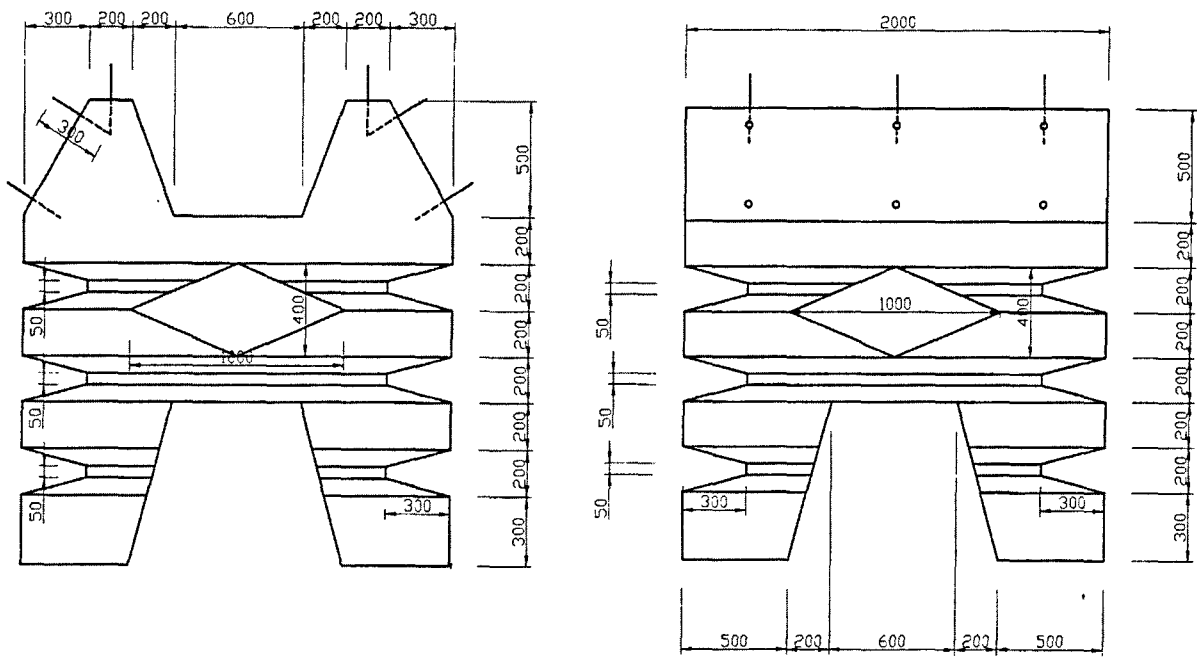


그림 4-2-1. 2003년에 보완 설계된 콘크리트 해조어초(좌: 정면도, 우: 측면도).

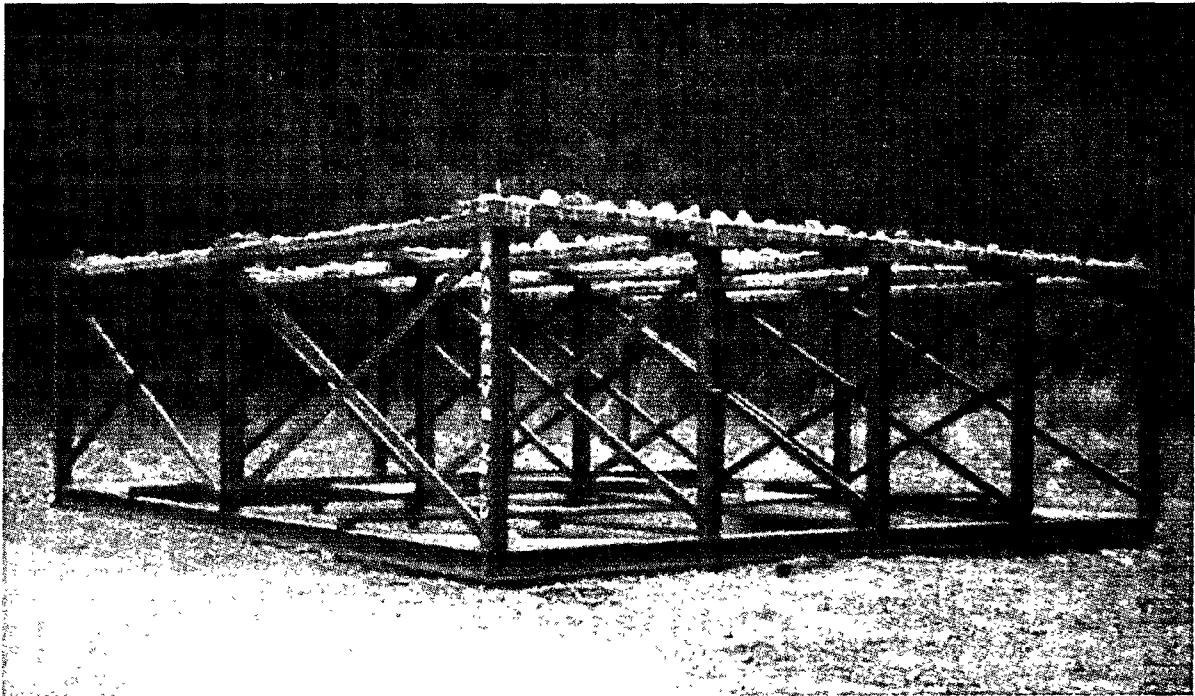


그림 4-2-2. 2003년 3월에 곤리도에 설치된 복합형 어초.

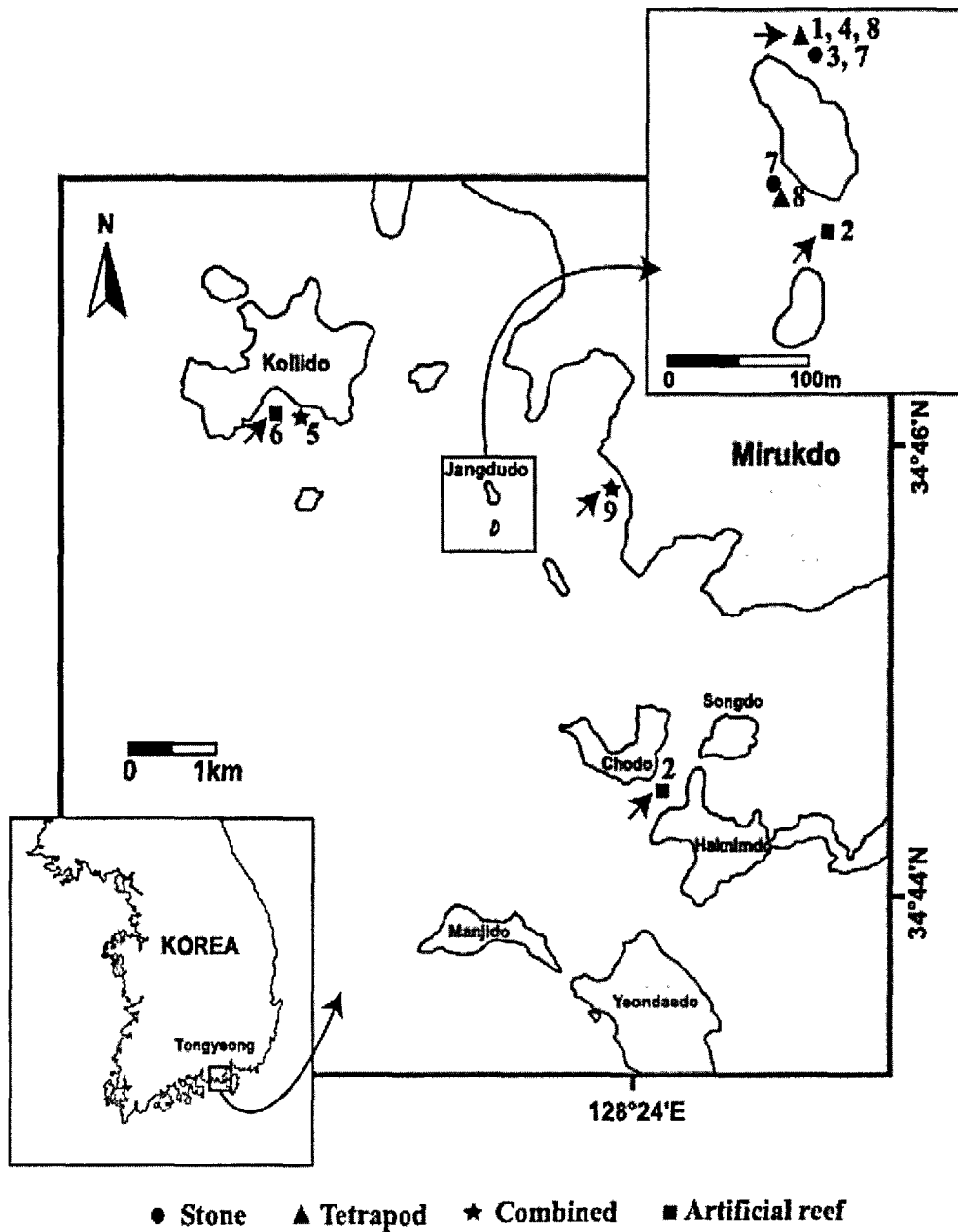


그림 4-2-3. 해중립용 해조어초, 테트라포드, 자연석, 복합형 해조장의 시설위치.

통영바다목장해역은 그 지형적 특성에 의해 수심 10m 이내에서 암반서식지(hard bottom habitat)가 끝나고 이 이하의 수심에서는 연성저질서식지(soft bottom habitat)가 분포하거나 또는 연성저질로부터 재부유되는 니질 퇴적물이 암반을 덮고 있으며, 더욱이 연성저질로부터 재부유되는 부유물질(suspended sediment)로 인해 탁도가 높아 해조류가 분포하는 범위는 최대 수심 8m 정도이다. 이런 점을 고려하여 해중립 조성을 위한 시설물들은 모두 수심 6m 이내에 시설되었다. 또한 이들 시설물에 해조류를 인위적으로 이식

하면 이식하지 않은 것에 비해 보다 빠른 시간 내에 해중립이 조성될 수 있는 가를 알아 보기 위해 특별히 2002년 4월 장두도에 투입된 해조어초(10개) 중 3개에 대해 실내에서 배양된 곰피를 2003년 1월에 어초의 상부에 이식한 바 있다(그림 4-2-4). 이식되는 곰피의 엽장은 평균 3.4cm이었고, 곰피종묘가 붙은 채묘사를 3mm 두께의 부착판(크기: 0.8x1.8m)에 감고, 이 부착판을 다시 양성판에 결합하여 견고성을 확보한 뒤 이식하였다.

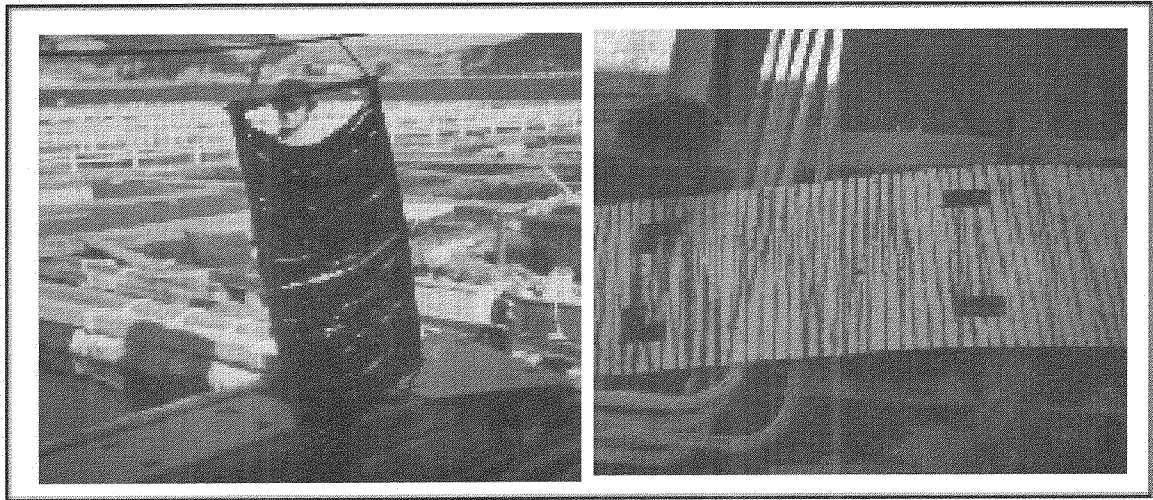


그림 4-2-4. 2003년 1월 해조어초에 실내에서 생산된 곰피 종묘의 이식 과정.

시설물의 효과조사는 2004년 사업의 계절조사에 이어, 2005년 4월, 7월, 10월 계절별로 실시되었다. 매 조사 시에는 표 4-2-2에 열거된 시설물 중에서 시설번호 2(해조어초 장두도, 저도), 3(자연석), 4(테트라포드), 6(해조어초 곤리도), 9(복합형)를 대상으로 종류별(장두도의 해조어초는 곰피를 이식과 것과 이식하지 않은 것으로 구분)로 그 효과를 평가하였다. 자연석과 테트라포드는 동일한 장소에 상호 구분 없이 투입되었기 때문에 편의상 하나의 시설물로 간주하였다. 각 시설물은 편의상 장두도 해조어초(곰피이식)를 시설물 I, 장두도 해조어초(이식 없음)를 시설물 II, 저도 해조어초를 시설물 III, 자연석 및 테트라포드를 시설물 IV, 곤리도 해조어초를 시설물 V, 그리고 연명 복합형을 시설물 VI로 명명하였다. 모든 시설물은 빛을 가장 많이 받아 광합성을 하는 해조류가 주로 우점하는 상부와 직각 경사로 인해 빛이 적고 해조류보다는 부착동물이 우점하는 측면으로 구분되었기 때문에 조사 시에는 각 시설물을 상부와 측면으로 구분하여 부착된 해조류의 생물량을 조사하였다. 각 부위에서는 최소 2개의 방형구(크기 50 x 50cm)를 무작위로 설치하여 방형구 내 생물을 전량채집한 후 습중량(g-wwt/m²)을 측정하였다. 또한 부착동물(sessile animals)은 해조류와 공간경쟁을 통해 해조류의 풍도를 결정하기 때문에 각 시설물에서 살아가는 부착동물의 종류도 함께 조사하였다.

나. 조성된 해중림의 지속성 분석

조성된 해중림의 지속성 평가를 위해 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곰피 개체군의 성장 및 생존을 2005년 9월까지 분석하였다. 이식 방법은 앞서 “효과분석”에서 기술된 것과 같다. 2001년 11월부터 2002년 11월까지는 최소 2개월 간격으로 조사하였고, 이후부터는 개체가 성장하여 크기가 일정수준에 도달하여 사망률이 안정되므로 비정기적인 조사를 실시하였다. 매 조사 시에는 2개의 어초를 택해 상부 이식판(크기: 1 x 2m, n=2)에 존재하는 두 종의 개체수를 전수 조사하였다. 개체의 크기변화를 분석하기 위해 매 조사 시 선정된 어초별로 무작위로 20개체를 택해 개체의 크기(frond length)를 현장에서 측정하였다.

다. 적지선정

해중림 조성을 위한 시설물 투입의 적지를 판정하기 위해 동일한 시기에 서로 다른 장소(장두도, 저도, 콘리)에 투입된 콘크리트 해조어초에서 발달되는 해조군집의 특성과 어초주변의 환경특성을 상관하여 분석하였다. 앞서 설명된 바와 같이 이들 어초는 모두 수심 6m에 투입되었다. 해조군집의 특성은 앞서 시설물간 효과비교에서 얻어진 자료(시설물 II, III, V의 상부 측 해조군집의 종수 및 생체량)를 활용하였다. 세 지점의 환경자료는 2005년 5월에 조사하였다. 조사항목은 크게 일반수질(수온, 용존산소, 탁도, NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , 부유물질, 광량분포), 저질특성(퇴적물의 입도와 탄소 및 질소), 해수유동(유속)으로 구분하였다. 수온, 용존산소, 탁도는 3개의 안델라(RCM9)를 시설물이 장소의 각각에 설치하여 2일간 10분 간격으로 자료를 logging하였다. 질소와 부유물질은 5ℓ Niskin 채수기를 이용하여 해수를 2회 채집하였고, 해수 중 1ℓ (n=2)을 별도로 취하여 냉동·보관하여 실험실로 운반하여 분석하였고, 실험실에서는 GF/F 여과지를 이용하여 해수를 거른 후 아질산염, 질산염, 암모니아의 농도를 자동수질분석기(Flow Injection Analysis, Model: QuikChem8000, USA)를 이용하여 측정하였고, 부유물질은 여과지를 오븐에 48시간 건조한 후 무게를 측정하였다. 광량은 매 조사지점에서 cosine-corrected underwater PAR sensors (LiCor LI-1400)을 이용하여 표층과 수심 3, 6m에서 3분간의 photosynthetic photon flux density를 누적하여 측정한 후, 소광계수(k)를 Beer-Lambert expression ($I_z = I_s \times e^{-kz}$)으로 구하였다. 퇴적물의 입도분석 및 질소·탄소성분 분석을 위해 Van Veen Grab 채수기를 이용하여 표층 퇴적물을 채집하였고, 채집된 즉시 냉동·보관하여 분석하였다. 채집된 퇴적물에 유기물과 탄산염을 제거한 후에 습식체질을 하여 Sedigraph 5000D 입도분석기를 이용하여 분석하였다. 질소와 탄소의 함량은 채집된 시료를 105℃에서 하루이상 건조시킨 다음, 막자사발에서 갈아, 체(φ 0.5mm)로 걸러 주석용기(Tin capsule)에 5~10mg 정도를 담아서 CHN analyzer(CE Instrument, EA1110)로 측정하였다.

라. 실내배양 및 이식기술

(1) 종묘생산기술

종묘생산기술은 3단계 1차년도까지 얻어진 곰피의 종묘생산기술을 종합하여 기술하였다. 지금까지의 종묘생산기술에 관한 연구는 주로 서로 다른 수온 및 광량에서 곰피 초기 생활사의 반응에 관한 것이다. 사업기간 중 매 연도의 9월 또는 10월에는 성숙한 곰피를 통영연안에서 채집하여 실험실로 운반하고 포자를 방출시켜 실험에 이용하였다. 곰피의 포자착생과 배우체 성장이 각 실험조건 별 반응을 분산분석(Two-way ANOVA)을 통해 분석하였다. Factor는 년도(random, three level)와 처리방법(fixed, four level)이었다. 분석에 앞서 Bartlett's test를 통해 homogeneity를 분석하였으며, 생존율(%)의 경우에는 arcsine으로 변환하여 자료를 분석하였다.

(2) 종묘이식기술

종묘이식기술은 3단계 1차 년도까지 얻어진 곰피의 종묘생산기술을 종합하여 기술하였다. 종묘이식기술에 관한 연구는 첫째 어느 정도의 밀도가 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 둘째 어떤 수심 층이 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 셋째 어느 크기의 종묘를 현장에 이식하여야 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가와 같은 내용을 중심으로 수행되었다. 첫 번째와 두 번째 연구에서 이식하기 위한 어린 포자체는 매 연도의 가을에 채집된 성숙한 포자체에서 얻은 포자로부터 발달시켰다. 포자들은 갈조류 종묘생산에 흔히 쓰이는 채묘줄(ϕ 1.5mm)에 채묘하였다. 어린 포자체는 이듬해 1월(2002년 1월 및 2003년 1월)까지 배양하고 일정한 크기(평균엽장 1.4 mm)에 이르면 대장두도 옆 가두리로 운반하여 수심 3m에서 약 1개월 양성한 후 실험에 이용하였다. 세 번째 연구를 위해서 서로 다른 시기에 이식될 어린 포자체를 실험실에서 배양하였다. 실험실에서 포자로부터 배우체를 거쳐 어린 포자체로 발달하기까지 소요되는 시간은 배양수온과 광량에 따라 달라지지만, 수온 10~15°C(포자에서 배우체가 발달하여 10 cell/개체의 크기로 발달하기까지는 10°C, 배우체로부터 포자체가 발달하기까지는 15°C)와 광량 $20\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 배양할 경우 약 45일이 소요된다. 따라서 11월 중순에 크기가 약 0.3mm에 이르는 어린 포자체의 일부를 현장(대장두도 옆 가두리)으로 운반하여 수심 3m에 양성하였다. 현장으로 운반되지 않은 포자체들은 실험실에서 추가적으로 2개월 더 배양한 후 크기가 약 1.4mm에 이르는 1월 중순에 현장으로 운반하여 수심 3m에 양성하였다. 현장에서는 동일한 밀도(약 500개체/100cm³)로 양성하였고, 이듬해 7월까지 1개월 간격으로 엽장과 개체수를 조사하였다. 실험가설(어느 크기의 종묘를 현장에 이식하여야 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가)을 검정하기 위해 2003년 7월에 두 집단(크기(frond length))를 대상으로 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다.

마. 자연 해조류 이식법에 의한 복합 해조장 조성

이식대상 해조류는 2005년 6월부터 통영의 연명에서 채집하였다. 대상종은 낮은 투명도에도 잘 생육하는 것으로 알려진 녹조류 넓칭각 및 청각, 대형 갈조류인 외톨개모자반, 미야베모자반, 팽생이모자반, 곰피, 소형 갈조류인 미끈뻐대그물말 및 개그물바탕말, 그리고 소형 홍조류인 명주지누아리, 개도박, 잎꼬시래기, 부챗살 등이었다. 채집된 각 종의 성숙 및 미성숙 업체들은 연명 연안에 시설된 세라믹 어초에 이식되었고, 2주 간격으로 성장도를 측정하였다. 성장도는 다음의 식으로 상대성장률로 나타내었다.

$$\text{Relative Growth Rate} = ((\text{Ln } N_t - \text{Ln } N_0) / t \text{ (week}^{-1})$$

N_0 : 실험 개시시의 엽장

N_t : t주 후의 엽장

t: 실험기간

3. 결과 및 토의

가. 조성된 해조장의 효과분석

2005년 4월부터 2005년 10월까지 세 차례에 걸쳐 통영바다목장해역에 해중립 조성을 위해 투입된 시설물의 상부와 측면에 부착한 해조류 및 부착동물의 종류와 종류별 현존량(g-wet wt/0.25m²)을 조사한 결과는 표 4-2-3~8과 같다. 총 58종(해조류 22종, 부착동물 36종)의 부착생물이 시설물의 상부와 측면에서 관찰되었다. 2004년 4월에 조사된 6종류의 시설물의 상부에서 총 41종(해조류 13종, 부착동물 28종)이 관찰되었고, 생물량은 곰피, 구멍갈파래, 삼각따개비의 순으로 높았다(표 4-2-3, 표 4-2-6). 곰피의 생물량은 곰피를 인위적으로 이식한 장두도 옆 해조어초(시설물 I)에서 가장 높았고(854.2±112 g-wet wt/0.25m²), 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서도 약 184 g-wet wt/0.25m²의 생물량을 보였다. 그러나 그 밖의 시설물에서는 20 g-wet wt/0.25m² 이하로 대단히 낮은 생물량을 보였다. 구멍갈파래는 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서 가장 높은 생물량(약 351 g-wet wt/0.25m²)을 보였으나, 그 밖의 시설물에서는 100 g-wet wt/0.25m² 이하의 낮은 생물량을 보였다. 삼각따개비는 해조류가 번무하지 않은 장두도 해조어초(시설물 II), 저도 해조어초(시설물 III) 그리고 끈리도 해조어초(시설물 V)에서 높은 생물량을 보였다.

2005년 4월에 조사된 6종류의 시설물의 측면에서는 총 31종(해조류 7종, 부착동물 24종)이 관찰되어 상부에 비해 상대적으로 빈약한 종다양성을 보였고, 특히 해조류의 다양성이 매우 낮은 것으로 나타났다(표 4-2-3, 표 4-2-6). 시설물의 측면에서는 삼각따개비의 생물량이 절대적으로 높았고, 우렁쟁이 또한 시설물의 측면을 차지하는 주요 우점종으로 나타났다. 그 외 측면에서 관찰되는 주요종들은 지중해담치, 굴, 석회관갯지렁이, 등근성게, 아무르불가사리 등으로 나타났다.

2005년 7월에 조사된 6종류의 시설물의 상부에서 총 20종(해조류 7종, 부착동물 13종)이 관찰되어 4월에 비해 부착생물의 출현종수가 현저하게 감소하였다(표 4-2-4, 표 4-2-7). 생물량은 곰피, 우렁쉥이, 삼각따개비의 순으로 높았다. 봄철과 마찬가지로 곰피의 생물량은 곰피를 인위적으로 이식한 장두도 옆 해조어초(시설물 I)와 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서 552~624 g-wet wt/0.25m²의 범위로 가장 높았고, 기타 시설물에서는 85 g-wet wt/0.25m² 이하의 값을 보였다. 우렁쉥이는 장두도 주변에 시설된 해조어초(시설물 I, II)에서 생물량이 높게 나타났고, 그 밖의 시설물에서는 낮은 생물량을 나타내었다. 반면 삼각따개비는 해조류와 우렁쉥이가 번무하지 않은 저도 해조어초(시설물 III)와 곤리도 해조어초(시설물 V)에서 높은 생물량을 보여 곰피 및 우렁쉥이와는 다른 분포패턴을 보였다. 봄철과 마찬가지로 연명소재 복합형(시설물 VI)에서는 구멍갈파래, 석회관갯지렁이, 삼각따개비가 소수 출현하였을 뿐, 다른 부착생물은 전혀 관찰되지 않았다.

2005년 7월에 조사된 6종류의 시설물의 측면에서는 총 20종(해조류 5종, 부착동물 16종)이 관찰되어 상부와 마찬가지로 봄철에 비해 출현종이 현저하게 감소하였다(표 4-2-4, 표 4-2-7). 측면의 주요 우점종은 우렁쉥이와 삼각따개비 등 주로 부착동물이었고, 해조류로서는 곰피와 잎꼬시래기가 특정 시설물(장두도 해조어초 시설물 I, II)에서 비교적 높은 값을 보였다. 삼각따개비는 전 시설물에서 분포하였지만, 우렁쉥이는 시설물 I, II에서만 높은 생물량을 보였다. 그 외 측면에서 관찰되는 주요종들은 지중해담치, 굴, 석회관갯지렁이, 둥근성게, 아무르불가사리 등으로 나타났다. 말미말류, 미더덕, 그리고 해면류였다.

2005년 10월에 조사된 6종류의 시설물의 상부에서는 총 21(해조류 8종, 부착동물 13종)이 관찰되어 7월과 유사한 출현종수를 보였다(표 4-2-5 표 4-2-8). 생물량은 곰피, 삼각따개비, 구멍갈파래, 별불가사리, 둥근성게의 순으로 높았다. 봄철 및 여름철과 마찬가지로 곰피의 생물량은 곰피를 인위적으로 이식한 장두도 옆 해조어초(시설물 I)와 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서 524~698 g-wet wt/0.25m²의 범위로 가장 높았고, 기타 시설물에서는 24 g-wet wt/0.25m² 이하의 값을 보였다. 삼각따개비는 저도 해조어초(시설물 III)에서 생물량이 가장 높았고, 곰피를 이식한 장두도 해조어초(시설물 I)에서도 가장 낮은 값을 보였다. 구멍갈파래는 장두도 해조어초인 시설물 II와 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서 144~156 g-wet wt/0.25m²의 범위로 가장 높았다. 봄, 여름철과 마찬가지로 연명소재 복합형(시설물 VI)에서는 구멍갈파래, 석회관갯지렁이, 삼각따개비, 그리고 이들 부착동물을 섭식하는 별불가사리가 소수 출현하였을 뿐, 다른 부착생물은 전혀 관찰되지 않았다.

2004년 10월에 조사된 6종류의 시설물의 측면에서는 총 21종(해조류 3종, 부착동물 18종)이 관찰되어 7월과 유사한 출현종수를 보였다(표 4-2-5 표 4-2-8). 측면의 주요 우점종은 우렁쉥이와 삼각따개비 등 주로 부착동물이었고, 해조류로서는 곰피가 장두도 해조어초(시설물 I, II)와 자연석 및 테트라포드(시설물 IV)에서 34~68 g-wet wt/0.25m²의 생물

량을 보였다. 그 외 주요종들은 별불가사리, 석회관갯지렁이, 히드라충류, 그리고 해면류였다.

표 4-2-3. 2005년 4월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 해조류의 현존량(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I		시설물II		시설물III		시설물IV		시설물V		시설물VI	
			평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
상부														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	2.2		1.7		14.5	1.4	351.2	306.5	95.1	13.5	12.4	1.4
	<i>Ulva lactuca</i>	참갈파래			12.5				2.7	1.4				
	<i>Codium fragile</i>	청각	1.8		5.2	6.8	6.4		22.4	16.2	18.4			
갈조류	<i>Chordaria flagelliformis</i>	민가지말							4.4	2.7	7.8	6.8		
	<i>Desmarestia viridis</i>	쇠꼬리산말			158.2	20.3			82.7	27.0	32.4	47.3		
	<i>Undaria pinnatifida</i>	미역	186.5	168.8	18.2	6.8	12.5	6.8	38.2		65.8	87.8		
	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피	854.0	112.2					184.4	163.4	20.3	20.3		
홍조류	<i>Dictyopteris latiuscula</i>	넓은뼈대그물말	12.4	10.8									8.4	
	<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기	54.2	58.1			6.8	1.4			13.6			
	<i>Ceramium tenerrimum</i>	털비단풀	1.5						1.2					
	<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎	2.5								1.2	1.2		
	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀	0.8	1.4			1.4	2.7	0.8	0.8			1.6	1.4
	<i>Polysiphonia sp.</i>	붉은실류					1.2	1.2	1.8	1.8	1.6	1.6	1.2	1.2
측면														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	24.2	1.4					1.6	0.7				
	<i>Plocamium telfairiae</i>	참곰솔이	1.4	1.1					1.2					
홍조류	<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기	6.4	2.7	3.2	2.7								
	<i>Ceramium tenerrimum</i>	털비단풀			0.1	0.1								
	<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎	1.4	0.5	1.6	2.7								
	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀			1.2	1.4			1.2		1.2			
	<i>Polysiphonia sp.</i>	붉은실류	1.2	1.4										

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 곤리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

표 4-2-4. 2005년 7월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 해조류의 현존량(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I		시설물II		시설물III		시설물IV		시설물V		시설물VI	
			평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
상부														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	45.0	35.0	21.0	13.2	15.2	1.9	54.3	31.0	26.0	9.4	18.5	1.9
	<i>Codium fragile</i>	청각			68.2	45.5			8.5	2.5	24.0	7.0		
갈조류	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피	552.0	285.5	85.8	65.5	32.6		624.0	312.0				
홍조류	<i>Gelidium amansii</i>	우뭇가사리			12.4	24.5							14.0	
	<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기			95.2	28.6					14.3	2.9		
	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀	1.4				2.4	2.0	1.2				8.8	
	<i>Polysiphonia sp.</i>	붉은실류								0.8	0.1			
측면														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	2.4		2.4	1.9	1.4	1.9	14.8	3.8				
	<i>Chordaria flagelliformis</i>	민가지말												
갈조류	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피	82.5	65.5	68.2	49.1			24.8					
홍조류	<i>Gracilaria textorii</i>	앞꼬시래기	6.2	2.9	88.6	114.6								
	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀					12.2	3.0						

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 곤리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

표 4-2-5. 2005년 10월에 조사된 통영바다목장해역의 해중림 조성용 6개 시설물에 부착한 해조류의 현존량(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I		시설물II		시설물III		시설물IV		시설물V		시설물VI	
			평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE	평균	SE
상부														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래	48.6	9.4	156.4	28.3	1.4	1.9	144.4	37.3	5.5	3.1	18.6	12.0
		<i>Codium fragile</i>							1.4	1.2				
갈조류	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피	524.6	98.3	24.4	32.8			698.7	202.1				
홍조류	<i>Amphiroa</i> sp.	개발류	1.4	0.5										
		<i>Plocamium telfairiae</i>	참곱슬이	1.2	1.5									
		<i>Gracilaria textorii</i>	일꼬시래기	18.6	8.6	4.8	5.7	7.8		15.2				
		<i>Acrosorium flabellatum</i>	부채분홍잎	6.4	11.1									
	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀	2.4	5.0			1.0	1.0						
측면														
녹조류	<i>Ulva pertusa</i>	구멍갈파래							24.4	10.9				
갈조류	<i>Ecklonia stolonifera</i>	곰피	68.6	65.5	34.8	32.8			58.3	49.1			24.6	
홍조류	<i>Heterosiphonia japonica</i>	엇가지풀			2.4	3.0	6.8	2.0			1.0			

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 곤리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

통영바다목장해역의 해중림 조성용 6종류 시설물에 부착한 해조류만을 대상으로 출현종수의 변화를 장기간 관찰한 결과는 그림 4-2-5a, b와 같다. 각 시설물의 상부에서 출현하는 해조류의 종수는 계절별로 뚜렷하게 변화하였지만, 그 변동패턴은 시설물별로 차이가 있었다. 이것은 시설물이 위치한 곳의 생물·무생물학적 환경특성이 다르기 때문으로 풀이된다. 그러나 대체로 7월부터 10월 사이에 출현종수가 감소하고, 1월부터 4월까지 증가하는 양상을 보였다. 측면에서 출현하는 해조류의 종수는 뚜렷한 패턴을 볼 수 없었다. 한편 시설물간 종수를 비교해 볼 때, 상부와 측면 모두 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

해중림 조성용 6종류 시설물에 부착한 해조류만을 대상으로 생물량의 변화를 장기간 관찰한 결과는 그림 4-2-5c, d와 같다. 각 시설물의 상부에서 출현하는 해조류의 생물량은 1월부터 4월까지 증대하는 양상을 보였고, 7월부터 10월까지는 감소하는 경향을 보였다. 측면의 경우에는 시설물 I과 II를 제외하고는 뚜렷한 계절변화를 볼 수 없었다. 이것은 측면에서 살아가는 생물이 해조류보다는 부착동물이 많았기 때문이다. 한편 시설물간 생물량을 비교해 볼 때, 상부의 경우는 시설물 I(곰피를 이식한 해조어초)과 IV(곰피가 자연적으로 분포하는 곳에 투입된 자연석 및 테트라포드)에서 가장 높았다.

결론적으로 시설물의 상부에서 곰피중심의 해중림이 조성될 수 있고, 해중림을 조성하기 위한 적합 시설물은 해조어초와 자연석 또는 테트라포드로 해조어초에는 곰피를 이식하는 것이 보다 효율적이며, 자연석 또는 테트라포드는 곰피가 자연적으로 분포하는 곳에 투입하는 것이 바람직하다.

표 4-2-6. 2005년 4월에 조사된 통영바다목장해역의 해중림 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I	시설물II	시설물III	시설물IV	시설물V	시설물VI
상부								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해변해면		+				
	<i>Cliona celata</i>	호박해면				+		
	<i>Haliclona permollis</i>	보라해면				+		
자포동물	Hydrozoa spp.	히드로충류		+				
	<i>Actinia</i> sp.	말미잘류		+				
연체동물	<i>Modiolus difficilis</i>	털담치	+					
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	지중해담치		+				
	<i>Arca boucardi</i>	긴네모돌조개					+	
	<i>Sepulorbis imbricatus</i>	큰뺨고둥					+	
	<i>Pteropurpura aduncus</i>	날개빨고둥		+				
	<i>Calliostoma unicum</i>	방석고둥	+	+		+	+	
	<i>mitrella bicincta</i>	보리무룩	+				+	
	<i>Crepidula onyx</i>	똥똥이짚신고둥	+			+	+	
	<i>Calliostoma multiliratue</i>	얼룩방석고둥	+					
	<i>Thais bronni</i>	두드럭고둥	+					
<i>Ergalatax contractus</i>	탑빨고둥	+						
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이				+		
	<i>Nereis heteropoda</i>	굵은앞더듬이참갯지렁이						+
절지동물	<i>Pilumnus</i> sp.	애기털보부채게류	+				+	
	<i>Apheus japonicus</i>	긴발딱총새우		+				
	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비		+	+	+	+	+
	<i>Pugettia quadridens quadridens</i>	빨물맞이게					+	
극피동물	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	둥근성게					+	
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리			+		+	
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리					+	
	<i>Hemisentrotus pulcherrimus</i>	말뚝성게	+					
척삭동물	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쟁이	+	+				
	<i>Styela clava clava</i>	미더덕		+				
측면								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해변해면	+					
자포동물	<i>Actinia</i> sp.	말미잘류	+					
태형동물	Bryozoa unid. 1	태형동물1					+	
연체동물	<i>Modiolus difficilis</i>	털담치		+				
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	지중해담치		+				
	<i>Crassostrea gigas</i>	굴					+	
	<i>Arca boucardi</i>	긴네모돌조개	+	+	+		+	
	<i>Sepulorbis imbricatus</i>	큰뺨고둥					+	
	<i>Calliostoma unicum</i>	방석고둥	+	+			+	
	<i>mitrella bicincta</i>	보리무룩	+				+	
	<i>Crepidula onyx</i>	똥똥이짚신고둥	+				+	
	<i>Calliostoma multiliratue</i>	얼룩방석고둥	+	+				
	<i>Thais bronni</i>	두드럭고둥	+					
<i>Ergalatax contractus</i>	탑빨고둥	+						
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이	+	+		+	+	+
절지동물	<i>Pilumnus</i> sp.	애기털보부채게류		+				
	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	+	+	+	+	+	+
	<i>Pachycheles stevensii</i>	게붙이	+					
	<i>Pugettia quadridens quadridens</i>	빨물맞이게					+	
극피동물	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	둥근성게			+			
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리			+			
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리	+	+		+		
척삭동물	<i>Halocynthia Ritteri</i>	리테르개명게					+	
	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쟁이	+	+	+		+	

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 끈리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

표 4-2-7. 2005년 7월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I	시설물II	시설물III	시설물IV	시설물V	시설물VI
상부								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해면해면			+	+		
	<i>Cliona celata</i>	호박해면			+	+		
자포동물	Hydrozoa spp.	히드로충류			+		+	
태형동물	Bryozoa unid. 2	태형동물2			+			
연체동물	<i>Crassostrea gigas</i>	굴			+		+	
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이				+		+
절지동물	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	+	+	+	+	+	+
극피동물	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	등근성게			+		+	
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리	+	+	+	+	+	+
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리	+	+		+	+	
	<i>Hemisentrotus pulcherrimus</i>	말뚝성게					+	+
척삭동물	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쉥이	+	+	+	+		
	<i>Styela clava clava</i>	미더덕		+				
측면								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해면해면			+	+	+	
	<i>Cliona celata</i>	호박해면				+		
	<i>Halichondria japonica</i>	주황해면해면			+			+
	<i>Haliclona permollis</i>	보라해면			+			
자포동물	Hydrozoa spp.	히드로충류			+			
	<i>Actinia</i> sp.	말미잘류					+	
태형동물	Bryozoa unid. 1	태형동물1						+
연체동물	<i>Pteropurpura aduncus</i>	날개빨고둥				+		
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이				+		+
절지동물	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	+	+	+	+	+	+
극피동물	<i>Crnoidea</i> sp	바다나리류				+		
	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	등근성게					+	
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리		+		+	+	
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리		+	+		+	
척삭동물	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쉥이	+	+	+			
	<i>Styela clava clava</i>	미더덕	+	+				

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 끈리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

표 4-2-8. 2005년 10월에 조사된 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 출현양상(g-wet wt/0.25m²)

분류군	종명	국명	시설물I	시설물II	시설물III	시설물IV	시설물V	시설물VI
상부								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해면해면			+	+		
	<i>Cliona celata</i>	호박해면			+	+		
자포동물	Hydrozoa spp.	히드로충류		+	+		+	
태형동물	Bryozoa unid. 2	태형동물2			+			
연체동물	<i>Crassostrea gigas</i>	굴			+		+	
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이	+	+		+	+	+
절지동물	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	+	+	+	+	+	+
극피동물	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	등근성게			+		+	
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리		+	+	+	+	+
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리	+	+		+	+	
	<i>Hemisentrotus pulcherrimus</i>	말뚝성게					+	+
척삭동물	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쟁이	+		+	+	+	
	<i>Styela clava clava</i>	미더덕	+	+				
측면								
해면동물	<i>Halichondria panicea</i>	회색해면해면			+	+		
	<i>Cliona celata</i>	호박해면				+		
	<i>Halichondria japonica</i>	주황해면해면			+			+
	<i>Haliclona permollis</i>	보라해면			+			
자포동물	Hydrozoa spp.	히드로충류			+			
	<i>Actinia</i> sp.	말미잘류					+	
태형동물	Bryozoa unid. 1	태형동물1	+					+
	Bryozoa unid. 2	태형동물2				+		
연체동물	<i>Pteropurpura aduncus</i>	날개빨고둥				+		
환형동물	<i>Serpula vermicularis</i>	석회관갯지렁이	+	+		+		+
절지동물	<i>Balanus trigonus</i>	삼각따개비	+	+	+	+	+	+
극피동물	<i>Crinoidea</i> sp.	바다나리류				+		
	<i>Strongylocentrotus nudus</i>	등근성게					+	
	<i>Asterina pectinifrea</i>	별불가사리	+	+		+	+	+
	<i>Asterias amurensis</i>	아므르불가사리		+	+	+	+	
척삭동물	<i>Halocynthia ritteri</i>	리테르개명게		+		+		
	<i>Halocynthia roretiz</i>	우렁쟁이	+	+	+	+		
	<i>Styela clava clava</i>	미더덕		+				

시설물 I: 장두도 해조어초(곰피이식), 시설물 II: 장두도 해조어초(이식없음), 시설물 III: 저도 해조어초, 시설물 IV: 자연석 및 테트라포드, 시설물 V: 곤리도 해조어초, 시설물 VI: 연명 복합형

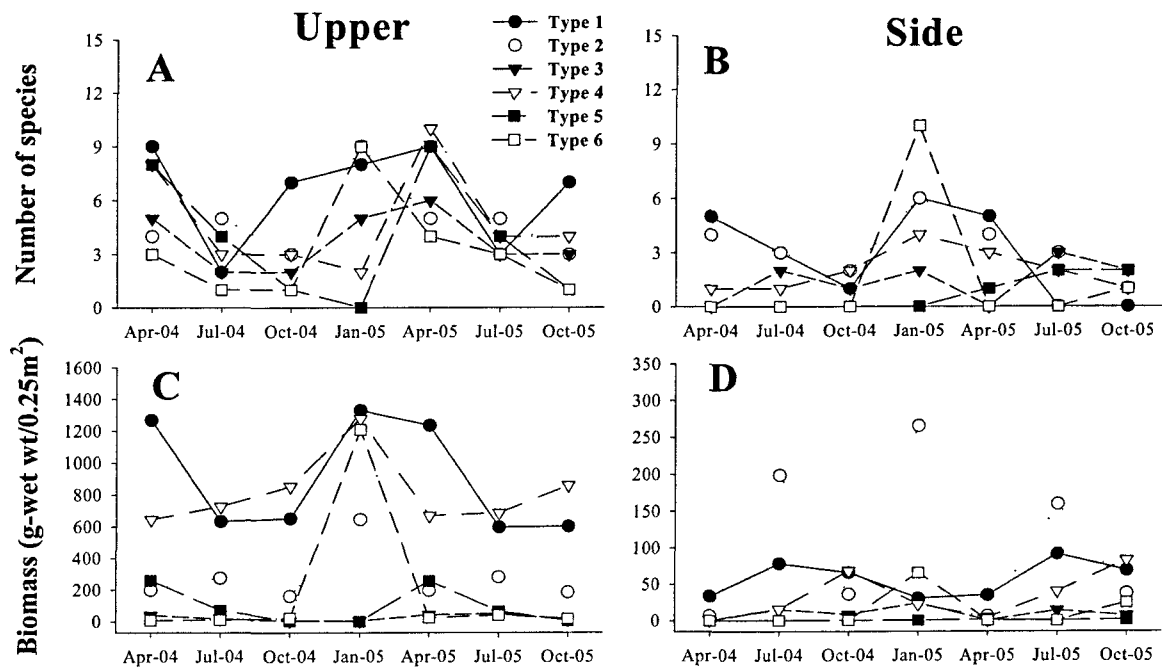


그림 4-2-5. 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 해조류의 장기간 변화(2004년 4월~2005년 10월).

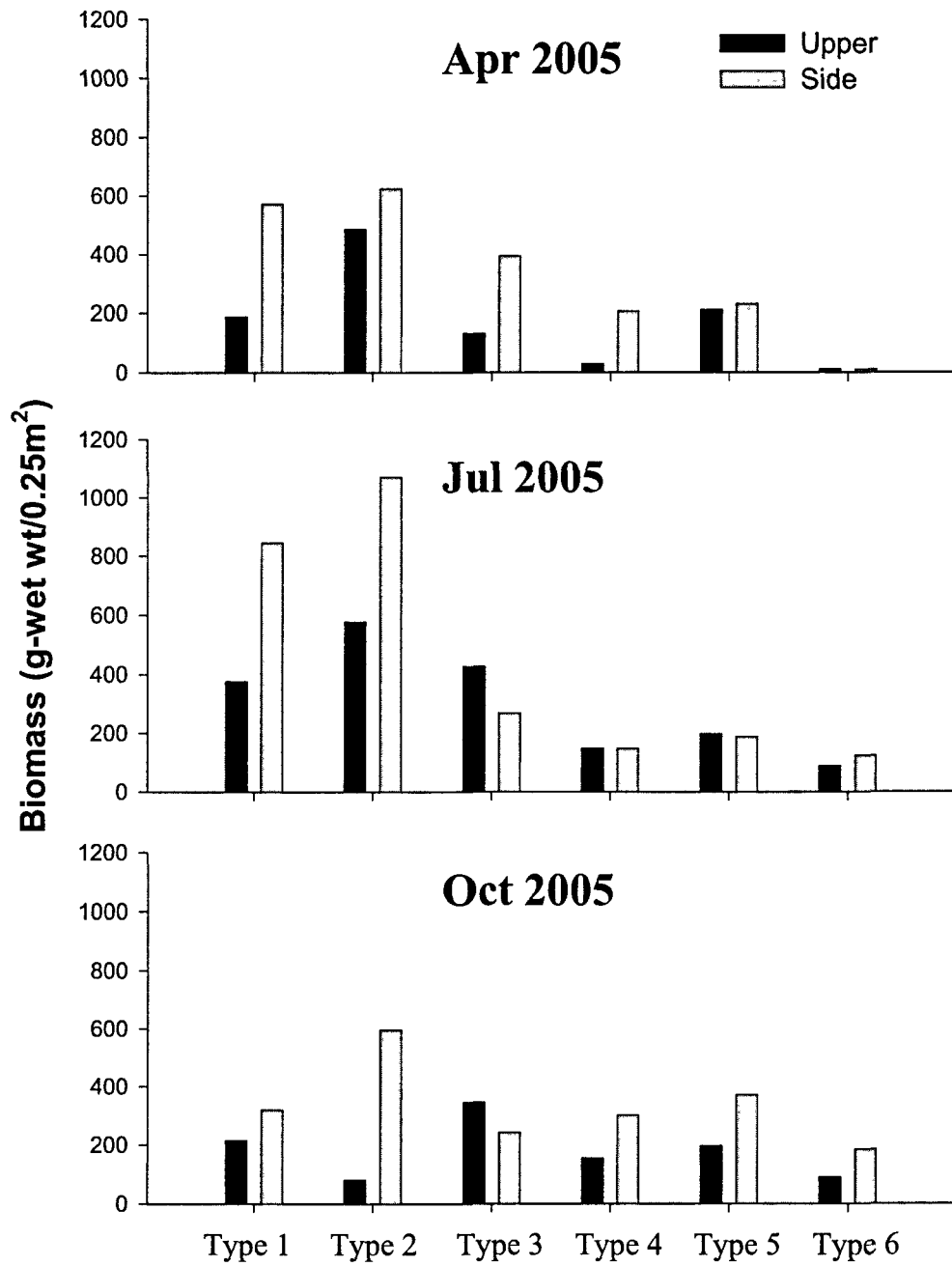


그림 4-2-6. 통영바다목장해역의 해중립 조성용 6개 시설물에 부착한 부착동물의 생체량(g-wet wt/0.25m²) 변화.

나. 조성된 해중림의 지속성 분석

조성된 해중림의 지속성 평가를 위해 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곰피 개체군의 성장 및 생존을 2005년 9월까지 분석한 결과는 그림 4-2-7~8과 같다. 감태의 크기는 hyperbola의 형태로 증가함을 볼 수 있는데, 이식 후 약 10개월이 경과한 최대 2002년 9월에 평균 45cm로 최대에 이르렀고, 이후에는 어느 일정한 값을 중심으로 오르내림을 반복하였다. 개체의 크기감소는 가을철 번식에 따른 계절적 소장과 큰 관련이 있었다. 개체수는 이식이후 반지수적(negative exponential)하게 감소하였고, 이식 후 약 14개월이 지난 2003년 2월에는 2~3개체/0.25m²만이 존재하였다. 이러한 개체수는 2005년 2월까지 유지되다가 2004년 가을에 새로운 개체들이 가입함으로써 개체수가 약간 증가하여 2005년 9월까지 10개체/0.25m² 정도가 분포하였다.

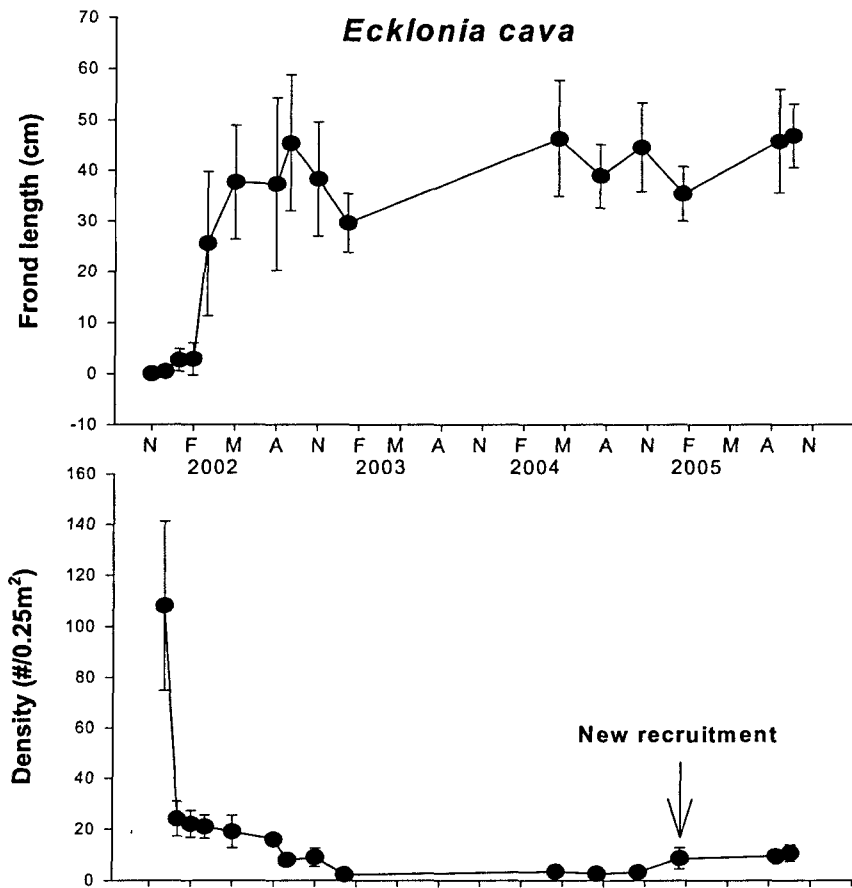


그림 4-2-7. 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태의 성장 및 생존.

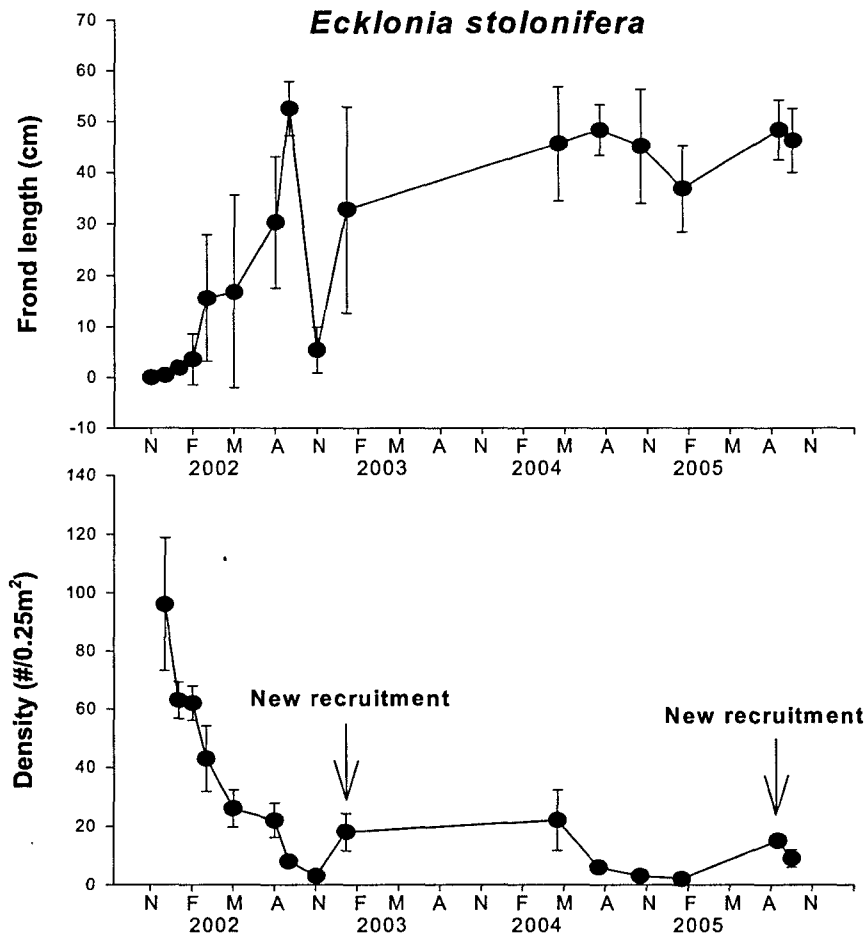


그림 4-2-8. 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 곰피의 성장 및 생장.

곰피의 크기는 역시 hyperbola의 형태로 증가함을 볼 수 있는데, 이식 후 약 10개월이 경과한 최대 2002년 9월에 평균 55cm로 최대에 이르렀고, 2002년 11월에 그 크기가 급속히 감소하였다. 감소는 감태보다 훨씬 큰 폭으로 일어남을 볼 수 있었고, 이것은 곰피의 끝녹음이 감태에 비해 훨씬 크다는 것을 의미한다. 가을철 끝녹음 이후 엽체는 다시 성장하여 평균 50cm 수준에 계절별로 약간씩 변동하였다. 개체수는 감태와 마찬가지로 이식 이후 반지수적(negative exponential)하게 감소하였고, 이식 후 약 12개월이 지난 2002년 11월에는 2~3개체/0.25m²만이 존재하였으나, 2002년 이후부터 이전년도에 일어난 번식, 가입, 생장으로 이어지는 일련의 과정을 통해 새로운 개체들이 자라남을 볼 수 있었다. 이러한 패턴은 2004년 가을부터 2005년 봄에도 일어남을 볼 수 있었다.

이상과 같이 장두도 주변 해조어초에 인위적으로 이식된 감태와 곰피는 성장과정에서 종내경쟁(intraspecific competition)과 초식 등의 요인으로 인해 개체수는 줄어드나, 줄어든 개체수는 번식, 가입, 생장으로 이어지는 일련의 과정을 통해 다시 회복됨을 알 수 있다. 이것은 장두도 주변 해조어초에서 이 두 종의 개체군 크기가 지속적으로 유지됨을 의미하며, 나아가 이식을 통한 인위적 해중림 조성이 성공적임을 시사한다(그림 4-2-9).

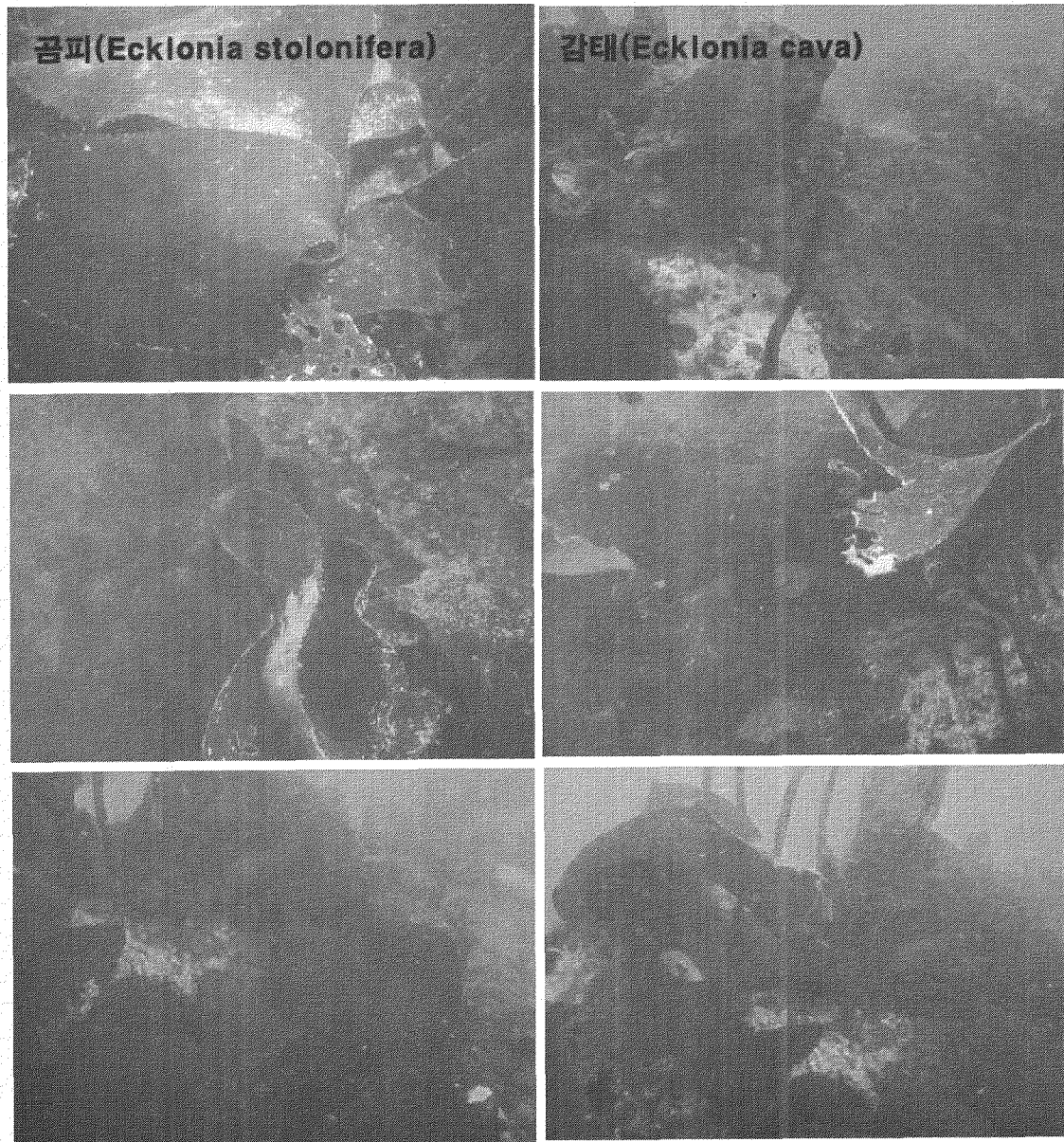


그림 4-2-9. 2001년 11월 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곰피의 성장상태(관찰: 2005년 8월).

다. 적지선정

해중립 조성을 위한 시설물 투입의 적지를 판정하기 위해 동일한 시기에 서로 다른 장소(장두도, 저도, 곤리)에 투입된 콘크리트 해조어초에서 발달되는 해조균집의 특성은 그림 4-2-10~11과 같다. 각 계절에 출현하는 종은 9종 이하였으며, 2004년 4월 제외하고는 장두도에서 출현종수가 가장 많았다. 종수와 마찬가지로 2004년 4월 제외하고는 장두도에서 현존량이 가장 높았다.

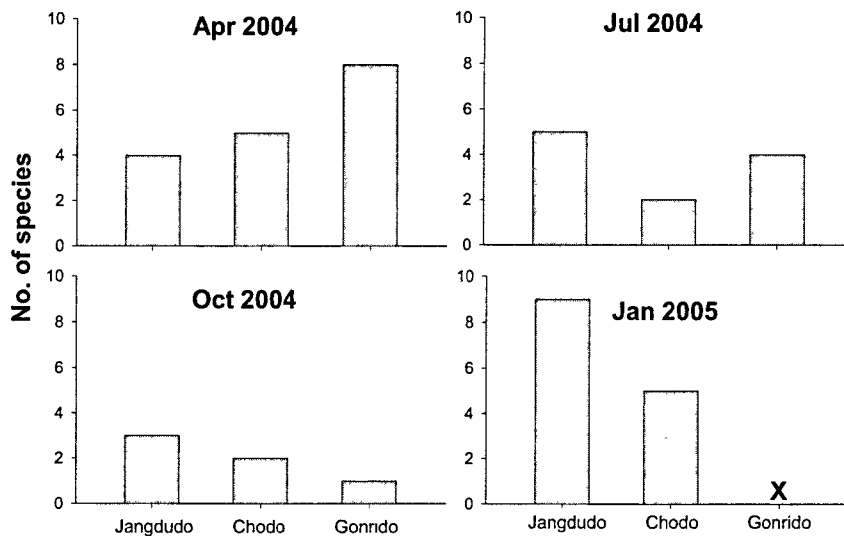


그림 4-2-10. 장두도, 저도, 곤리도에 투입된 해조어초 상부 해조균집의 출현종수.

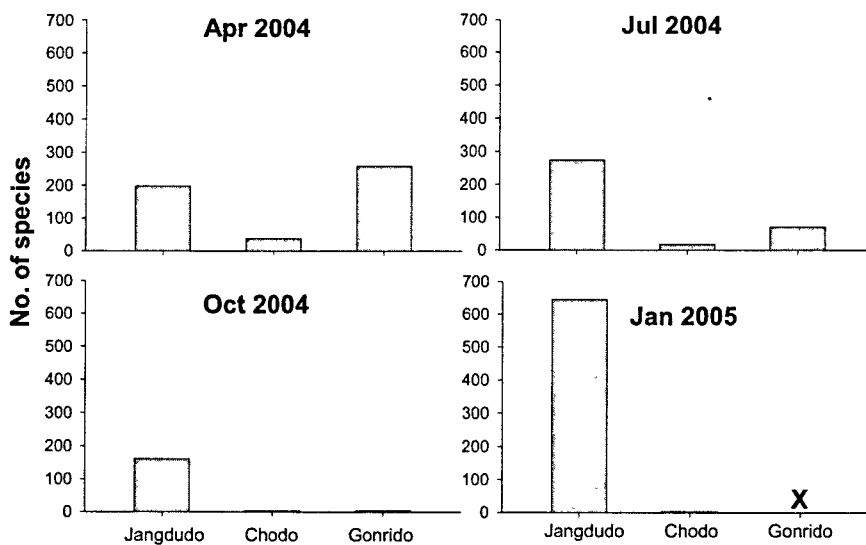


그림 4-2-11. 장두도, 저도, 곤리도에 투입된 해조어초 상부 해조균집의 현존량.

표 4-2-9는 장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 일반수질 및 저질환경 특성을 나타낸다. 수온은 14.7~14.8℃의 범위로 장두도가 두 장소에 비해 약간 낮았다. 용존산소는 8.4~10.3 mg/L의 범위로 역시 장두도가 두 장소에 비해 약간 낮았다. 탁도와 부유물질은 각각 1.77~1.89 및 3.45~3.59의 범위로 장두가 가장 낮았고, 광량(소광계수, k)은 곤리도, 장두도, 저도의 순으로 나타났다. 유속은 4.12~24.46 cm/s의 범위로 곤리도가 가장 낮았고, 저도가 가장 빨랐다. 총질소는 저도에서 0.021 mg/L로 저도에서 가장 높았고, 곤리도에서 0.01 mg/L로 가장 낮았다. 퇴적물의 탄소함량은 3.889~5.835 %의 범위로 장두도에서 가장 높았고, 곤리도에서 가장 낮았다. 반면 퇴적물의 질소는 곤리도에서 0.19로 가장 높았고, 장두도에서 0.181로 가장 낮았다.

표 4-2-10은 장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 퇴적물의 입도특성을 나타낸다. 자갈의 함량이 저도가 가장 높고, 곤리도가 가장 낮은 반면, 모래의 함량은 곤리도가 가장 높고, 저도가 가장 낮았다.

표 4-2-9. 장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 일반수질 및 저질환경특성

조사항목	단위	장두도		저도		곤리도	
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
수온	℃	14.71	0.06	14.80	0.01	14.82	0.02
용존산소	mg/L	8.43	0.04	10.06	0.01	10.36	0.01
탁도	NTU	1.77	0.07	1.89	0.02	1.85	0.03
부유물질	mg/L	3.45	0.60	3.48	0.23	3.59	0.50
광량	k	6.72		7.76		5.94	
유속	cm/s	15.29	0.68	24.46	0.82	4.12	0.16
NO ₃ ⁻	mg/L	0.006	0.001	0.008	0.000	0.006	0.000
NO ₂ ⁻	mg/L	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000
NH ₄ ⁺	mg/L	0.005	0.001	0.012	0.004	0.004	0.001
DIN	mg/L	0.012	0.001	0.021	0.004	0.010	0.001
PO ₄ ³⁻	mg/L	0.009	0.000	0.012	0.002	0.008	0.000
퇴적물 탄소	%	5.835	0.010	4.400	0.212	3.889	0.146
퇴적물 질소	%	0.181	0.003	0.094	0.010	0.190	0.008

표 4-2-10. 장두도, 저도, 곤리도 해조어초 주변 퇴적물의 입도특성

시설장소	조성비(%)				Sediment type
	Gravel	Sand	Silt	Clay	
장두도	4.74	45.6	4.4	45.26	(g)sM
저도	7.98	18.4	13.5	60.12	gM
곤리도	0.97	88.96	3.34	6.73	(g)mS

그림 4-2-12는 주성분분석(Principal component analysis)에 의한 장두도, 저도, 곤리도의 환경특성을 분석한 것이다. 분석에서는 해조군집의 수직분포와 풍도에 가장 영향을 미칠 수 있는 수층의 유속, 탁도, 퇴적물의 입도조성, 그리고 퇴적물의 유기물 함량을 이용하였다. 축 1, 2에 의해 변이의 100%가 설명되며, 축 1은 63.4%, 축 2는 36.4를 설명하였다. 축 1은 유속, 자갈함량, 모래함량이며, 축 2는 탁도, 퇴적물의 탄소의 함량이다. 자갈의 함량은 유속과 양의 상관(correlation)을 갖고, 모래의 함량은 음의 상관을 갖는다. 다시 말해 유속이 빠른 곳은 자갈성분이 많고, 유속이 느린 곳은 모래성분이 많음을 의미한다. 따라서 저도는 유속이 빠르고, 자갈이 많고, 유속에 의한 퇴적물의 재부유로 탁도가 높은 곳이다. 해조어초에 부착한 해조군집의 현존량에서 저도의 현존량이 가장 낮았던 것은 다른 두 곳에 비해 상대적으로 빠른 유속과 퇴적물의 빈번한 재부유로 인해 해조류의 착생과 성장이 어려웠던 것으로 풀이된다. 반면 곤리도는 유속이 느려, 사질 퇴적물이 쌓이는 곳으로 해안에서 파도에너지로부터 보호된 곳이다. 아마도 곤리도에서 대부분의 계절 동안 해조류의 현존량이 장두도보다 낮은 것은 해수유동에 약하기 때문일 것이다.

이상을 종합해 볼 때, 향후 통영바다목장해역에서 해중립 조성을 위해 시설물이 계속 투입되기 위해서는 장두도와 같은 환경을 지닌 곳이 가장 바람직 할 것이다. 그 환경으로는 유속이 평균 15 cm/s 정도로 적당하고, 탁도가 낮으며, 퇴적물이 모래보다는 사패질 퇴적물로 이루어진 수심 6m 이내일 것이다.

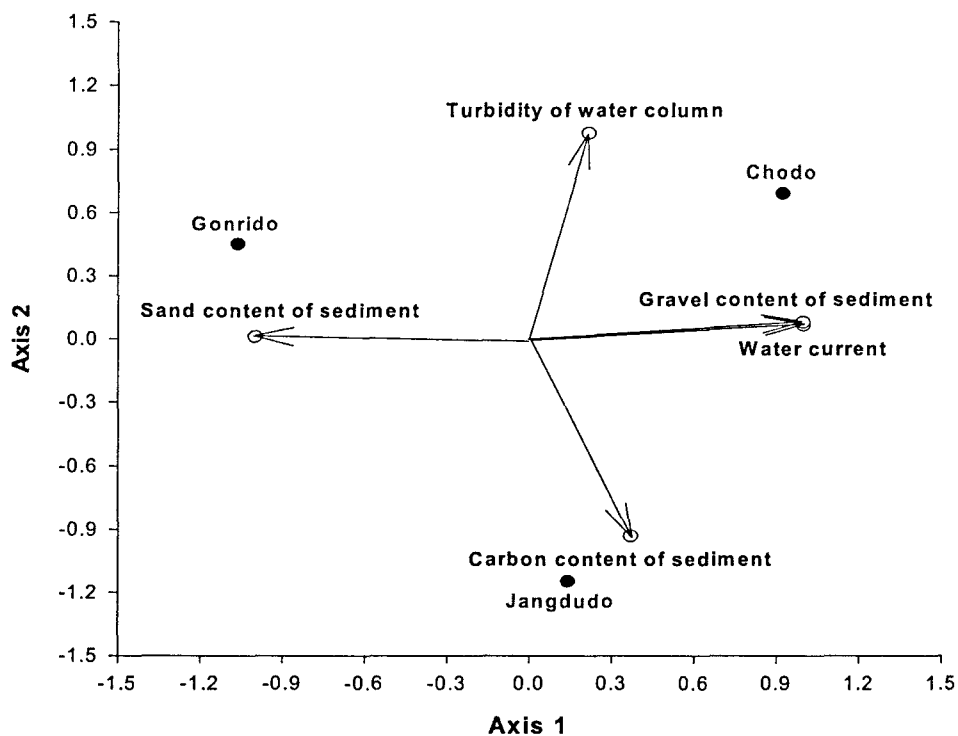


그림 4-2-12. 주성분분석(PCA)에 의한 장두도, 저도, 곤리도의 환경특성 분석.

라. 실내배양 및 이식기술 종합

(1) 종묘생산기술

곰피포자를 배양용기(Falcon culture slide, 50mL)에 $30.0 \pm 6.3 \text{ cells mm}^{-2}$ 의 밀도로 접종하고, 하루 중 12시간 동안 $10 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 의 광량을 조사하는 조건 하에서 수온을 4단계(5, 10, 15, 20°C)로 달리하여 3일간 배양한 후 관찰한 발아율은 그림 4-2-13과 같다. 발아율은 수온 간 뚜렷한 차이가 있으며(One-way ANOVA: $P < 0.001$), 특히 수온 5°C에서 배양된 포자의 발아가 10, 15, 20°C에서 발아된 것들에 비해 유의하게 낮았다(Multiple comparison, $P < 0.05$, 표 4-2-11).

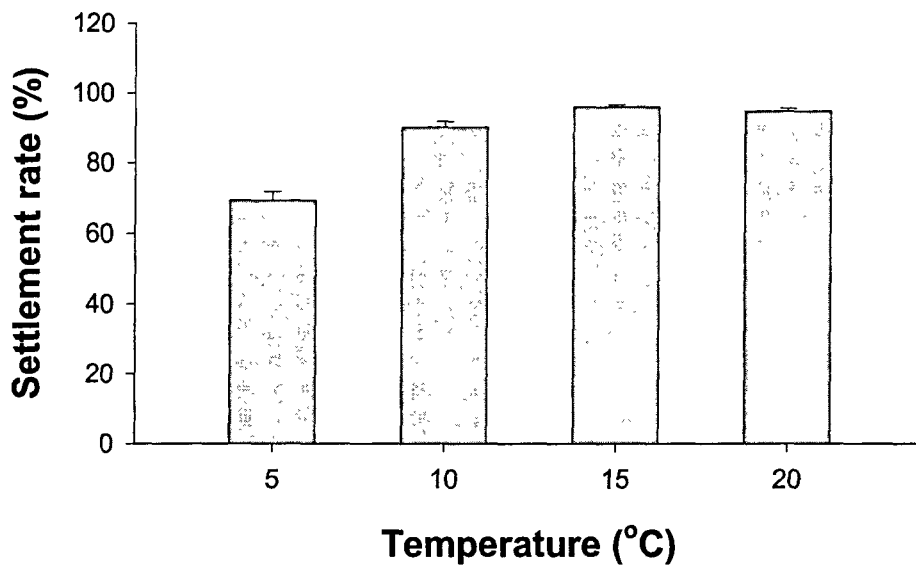


그림 4-2-13. 곰피포자를 $10 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 에서 수온 4단계(5, 10, 15, 20°C)로 3일간 배양하여 관찰한 발아율.

표 4-2-11. 4단계 수온에서 배양된 포자 발아율에 대한 분산분석

Source of variation	df	MS	F
Temperature	3	1658.3	47.67 ***
Error	56	34.8	
Transformation	Arcsine		
Levene's test	Statistic : 0.295	P = 0.829	
Turkey test	5°C < 10°C = 15°C = 20°C*		

ns not significant, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

곰피포자를 접종하고 하루 중 12시간 동안 $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 의 광량을 조사하는 조건 하에서 수온을 4단계(5, 10, 15, 20°C)로 달리하여 2주간 배양하여 관찰한 암배우체의 성장 상태(세포수)는 그림 4-2-14와 같다. 암배우체의 세포수는 수온 간 뚜렷한 차이가 있으며 (One-way ANOVA: $P < 0.001$), 특히 5~10°C에 배양된 개체들의 세포수는 15~20°C에서 배양된 개체들에 비해 유의하게 낮았다(Multiple comparison, $P < 0.05$, 표 4-2-12).

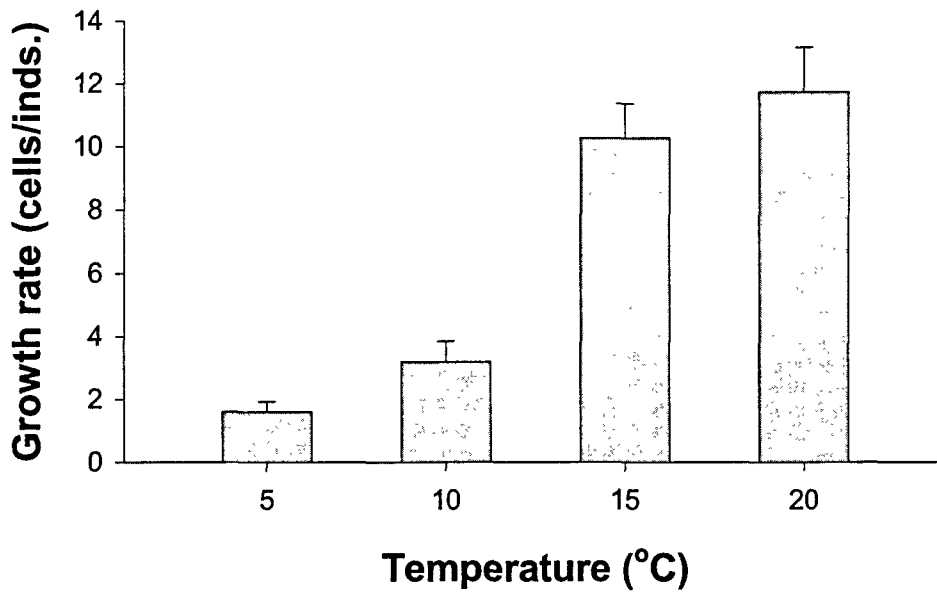


그림 4-2-14. 곰피포자를 $10\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 에서 수온 4단계(5, 10, 15, 20°C)로 2주간 배양하여 관찰한 암배우체의 세포수.

표 4-2-12. 4단계 수온에서 배양된 암배우체의 성장률 분산분석

Source of variation	df	MS	F
Temperature	3	1.9632	41.68 ***
Error	56	0.0471	
Transformation	Fourth root		
Levene's test	Statistic : 2.781	$P = 0.060$	
Turkey test		$5^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C} < 15^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}^*$	

ns not significant, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

곰피포자를 $30.0 \pm 6.3 \text{ cells mm}^{-2}$ 로 접종하고, 수온 15°C , 광량을 4단계($5, 10, 20, 40 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)로 달리하여 하루 중 12시간 동안 빛을 조사하는 조건으로 3일간 배양한 포자의 발아율은 그림 4-2-15와 같다. 발아율은 광량 간 유의한 차이가 없었다(One-way ANOVA: $P > 0.05$, 표 4-2-13).

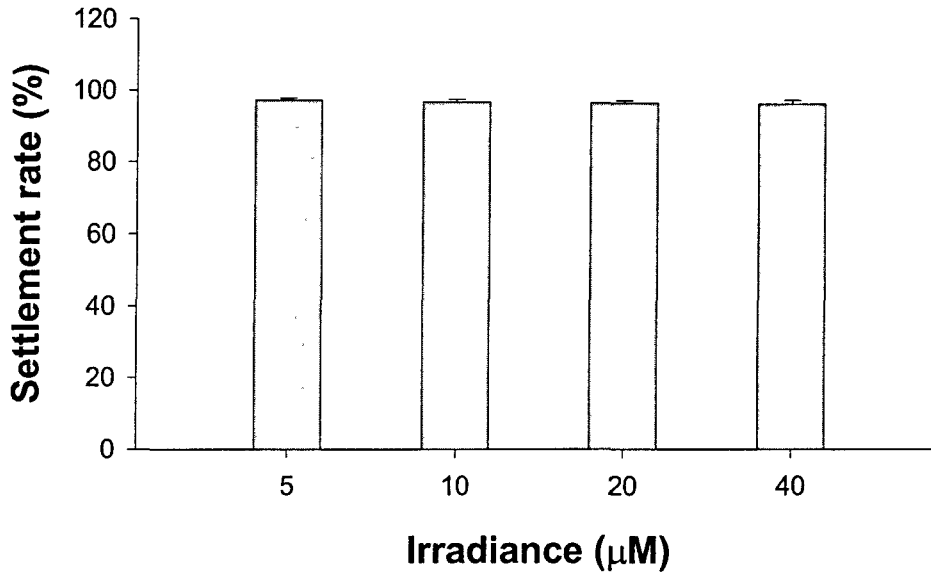


그림 4-2-15. 곰피포자를 수온 15°C 에서 광량 4단계($5, 10, 20, 40 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)로 3일간 배양하여 관찰한 발아율.

표 4-2-13. 4단계 광량에서 배양된 포자의 발아율에 대한 분산분석

Source of variation	df	MS	F
Irradiance	3	9.4	0.25 ns
Error	56	38.0	
Transformation	Arcsine		
Levene's test	Statistic : 0.430	$P = 0.733$	
Turkey test		$5=10=20=40 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$	

ns not significant, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

곰피포자를 접종하고 수온 15°C, 광량을 4단계(5, 10, 20, 40 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)로 달리하여 하루 중 12시간 동안 빛을 조사하는 조건으로 2주간 배양하여 관찰한 암배우체의 성장상태(세포수)는 그림 4-2-16과 같다. 암배우체의 세포수는 광량 간 뚜렷한 차이가 있으며 (One-way ANOVA: $P < 0.001$), 특히 10~20 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 로 배양된 개체들의 생장이 가장 좋았다(Multiple comparison, $P < 0.05$, 표 4-2-14).

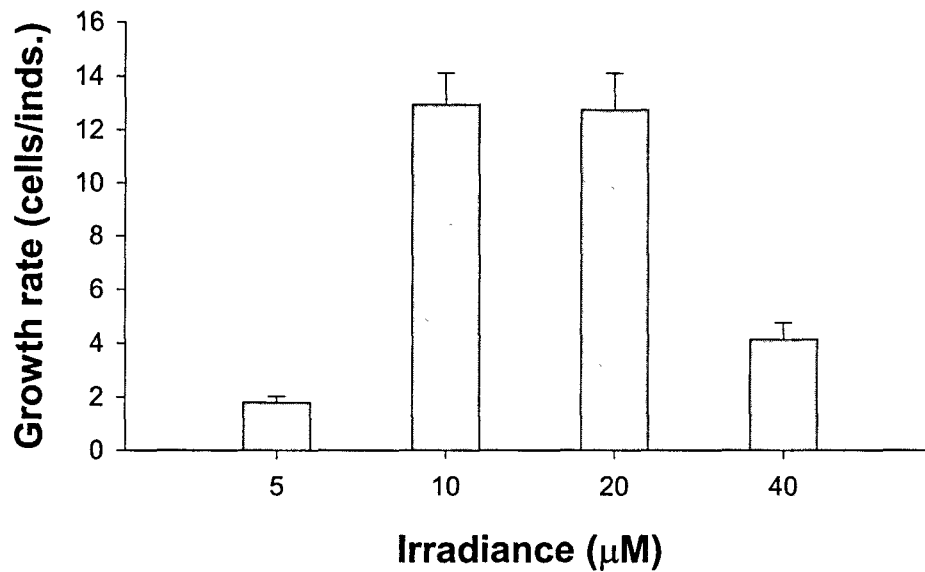


그림 4-2-16. 곰피포자를 수온 15°C에서 광량 4단계(5, 10, 20, 40 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$)로 3일간 배양하여 관찰한 암배우체의 세포수.

표 4-2-14. 4단계 광량에서 배양된 포자의 발아율에 대한 분산분석

Source of variation	df	MS	F
Irradiance	3	1.9875	54.16 ***
Error	56	0.0367	
Transformation	Fourth root		
Levene's test	Statistic : 0.876	P = 0.459	
Turkey test	5 < 40 < 10 = 20 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$		

ns not significant, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

이상을 종합해 볼 때, 곰피포자의 발아는 10~20℃가 좋다. 5℃와 같은 낮은 수온에서는 대사율의 감소로 인해 포자의 발아율이 현저히 낮아짐을 주의하여야 할 것이다. 실험 결과 수온 10~20℃범위에서 발아율은 유의한 차이가 없으므로 이 범위의 수온이라면 원만한 발아를 유도하리라 판단된다. 5~40 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 의 광 조건에서 곰피의 발아율은 뚜렷한 차이를 보이지 않으므로 종묘생산 시 빛 조건은 이 범위 내에서 큰 문제가 될 것이 없다. 그러나 배우체의 생장은 빛에 민감하게 반응하므로 이점을 유의하여 종묘생산에 임하여야 할 것이다. 5 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 이하의 광량은 개체들이 광합성을 통해 성장하기에 너무 작아 보이고, 40 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 이상은 광합성의 광저해(photo inhibition)를 일으키므로 주의하여야 한다. 10~20 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$ 의 빛 조건이 배우체의 발아에 가장 적합하다. 수온 역시 배우체의 생장에 대단히 중요하다. 10℃ 이하로 배양할 경우에는 발아율이 현격하게 낮아지므로 이를 주의하여야 할 것이며, 15~20℃가 적합한 수온이라 판단된다.

(2) 종묘이식기술

종묘의 이식방법에 있어 어느 정도의 밀도가 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가를 알기위해 2월에 채묘줄에 착생한 곰피종묘(평균엽장 1.4mm)를 서로 다른 밀도(70, 140, 400, 800개체/100cm²)로 부착판(50 x 50 cm)에 감아 수심 2m에 양성하고 5개월 동안 성장시킨 후 가장 큰 20개체를 선택하여 개체의 크기(frond length)와 중량을 비교한 결과는 그림 4-2-17과 같다. 양상 후 개체의 크기는 46.26~49.77cm에 이르지만, 크기는 집단(treatment) 간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$, 표 4-2-15). 마찬가지로 개체의 중량은 41~43.7g wet wt.에 이르렀으나, 비교된 밀도집단 간 유의한 차이가 없었다($P>0.05$).

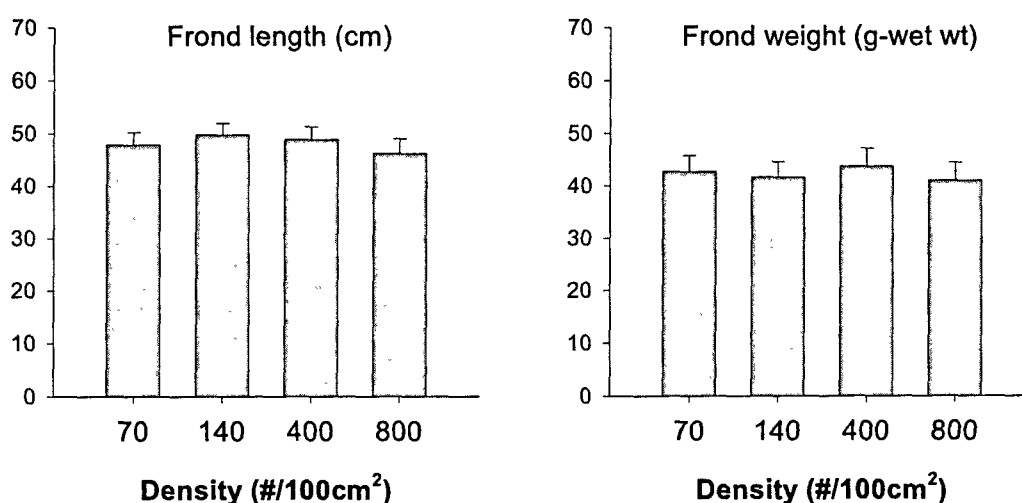


그림 4-2-17. 서로 다른 밀도압으로 수심 3m에 양성된 곰피 포자체의 성장.

표 4-2-15. 밀도에 따른 곰피 포자체의 성장 분산분석

Source of variation	Fronde length			Fronde weight		
	df	MS	F	df	MS	F
Density	3	57	0.32 ns	3	37	0.12 ns
Error	100	178		100	312	
Transformation		None			None	
Levene's test		Statistic: 0.729, P = 0.537			Statistic: 0.421, P = 0.738	

ns not significant, * P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

종묘의 이식에서 어떤 수심 층이 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가를 알기 위해 위와 같은 방법으로 채묘된 곰피종묘(평균엽장 1.4mm)를 일정한 밀도(150 개체/100cm²)로 부착판(50 x 50 cm)에 감고 서로 다른 수심(해면 하 2, 5, 8m)에 5개월 동안 성장시킨 후 가장 큰 20개체를 선택하여 개체의 크기(fronde length)를 비교한 결과는 그림 4-2-18과 같다. 개체의 크기는 수심 2m에서는 약 57cm, 5m에서는 35cm, 그리고 8m에서는 27cm로 수심이 깊어질수록 성장도가 유의하게 낮은 것으로 나타났다(P<0.05, 표 4-2-16). 개체의 중량 역시 수심 간 유의한 차이를 보였으며((P<0.05), 수심 2m에 양성된 개체들은 약 54 g-wet wt.에 이르렀지만, 수심 8m의 개체들은 21 g-wet wt.에 불과하였다. 이는 어느 정도의 크기로 자란 종묘는 얇은 수심에 이식될 경우 상대적으로 많이 투과되는 빛에너지를 잡아 광합성을 함으로써 성장도를 증대시키기 때문에 이식수심이 얇아도 무방함을 시사한다.

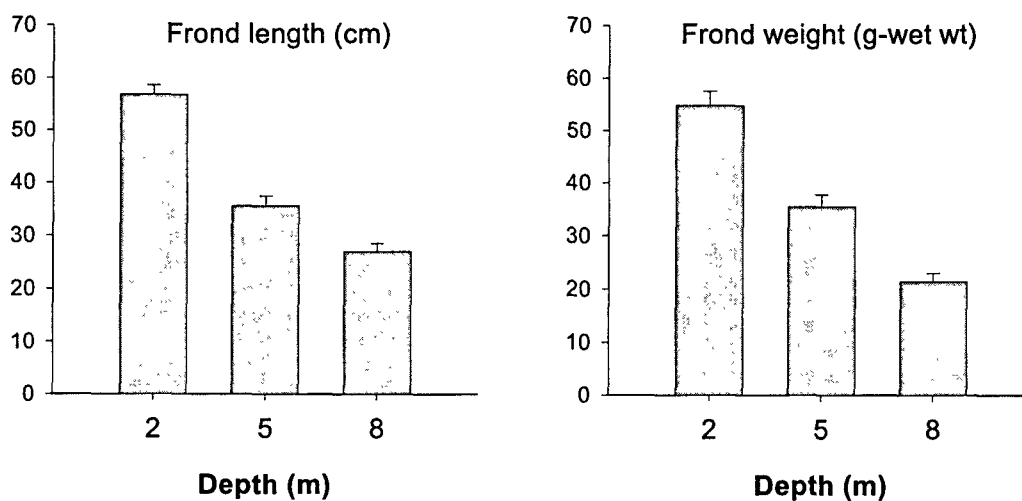


그림 4-2-18. 동일한 밀도로 서로 다른 수심에서 양성된 곰피 포자체의 성장.

표 4-2-16. 수심에 따른 곰피 포자체의 성장 분산분석

Source of variation	Frond length			Frond weight		
	df	MS	F	df	MS	F
Depth	2	8497	81.97 ***	2	3.1985	59.04 ***
Error	104	104		104	0.0542	
Transformation	None			Fourth root		
Levene's test	Statistic: 0.090, P = 0.914			Statistic: 1.199, P = 0.306		
Turkey test	2m>5m>8m			2m>5m>8m		

ns not significant, * P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001

서로 다른 크기(11월 이식종묘: 0.3mm, 1월 이식종묘: 1.4mm)로 양성된 곰피의 엽장의 빈도분포 변화양상은 그림 4-2-19와 같다. 두 집단 모두 양성 초에는 오른쪽으로 치우친 분포경향(positively skewed)을 보이며, 시간경과에 따라 정규분포의 형태를 나타내었다. 이러한 변화는 집단 내 개체들이 동일한 시간에 기질에 착생하기 시작하였더라도 개체간의 유전적 차이 또는 웃자란 개체들이 그렇지 못한 개체들을 압박함으로써 웃자란 개체들은 계속 잘 자라며, 이들에 의해 압박받는 개체들은 잘 자라지 못해 결국 사망하기 때문이다(dominance and suppression hypothesis). 이것은 하나의 집단(monostand) 내에서 종내 경쟁에 의해 스스로의 개체수를 조절하는 한 방법(self-thinning)이다.

서로 다른 크기로 양성된 곰피의 엽장변화는 그림 4-2-20과 같다. 양성될 당시의 평균 크기는 각각 0.3mm 및 1.4mm에 불과하였으나, 6개월이 경과한 2003년 7월에는 각각 53.6cm 및 57.3cm로 증가하였다. 그러나 6월과 7월에 두 집단에서 가장 큰 20개체(이 개체들은 "dominance and suppression"의 결과 앞으로 살아남을 가능성이 큼)를 선택하여 분산분석(One-way repeated measures)을 한 결과(표 4-2-17)와 같이 이러한 개체들의 크기는 유의한 차이를 보이지 않았다.

이상의 같이, 종묘를 이식할 때 밀도는 개체의 성장에 큰 영향을 미치지 않는다. 이것은 종내 경쟁에 의해 스스로의 개체수를 조절(self-thinning)하는 집단의 성질에 의해 최종까지 살아남는 웃자란 개체들의 크기는 큰 차이가 없다는 것을 의미한다. 그러나 수심은 집단의 크기에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 식물의 광합성에 절대 필요요소인 빛은 수심의 증가에 따라 지수적으로 감소하기 때문이다. 수심 2m에서의 성장이 수심 5m 및 8m에 비해 현저하게 좋았음을 볼 수 있었고, 또 수심 5m에서의 성장이 수심 8m에 비해 현저하게 좋았다. 그러나 자연환경에서 곰피가 주로 출현하는 수심이 4~6m임을 주목하여 이 수심에 종묘를 이식하는 것이 안정적이라 생각된다. 왜냐하면 수심 2m에서 성장이 5m에 비해 현저하게 좋다고 하더라도 2m에서 일어나는 종간경쟁, 파도에너지의 작용 등 본 실험에서 검정되지 못한 생물·무생물학적 요인에 의해 개체군의 크기유지가 5m에 비해 오히려 어려울 수도 있기 때문이다.

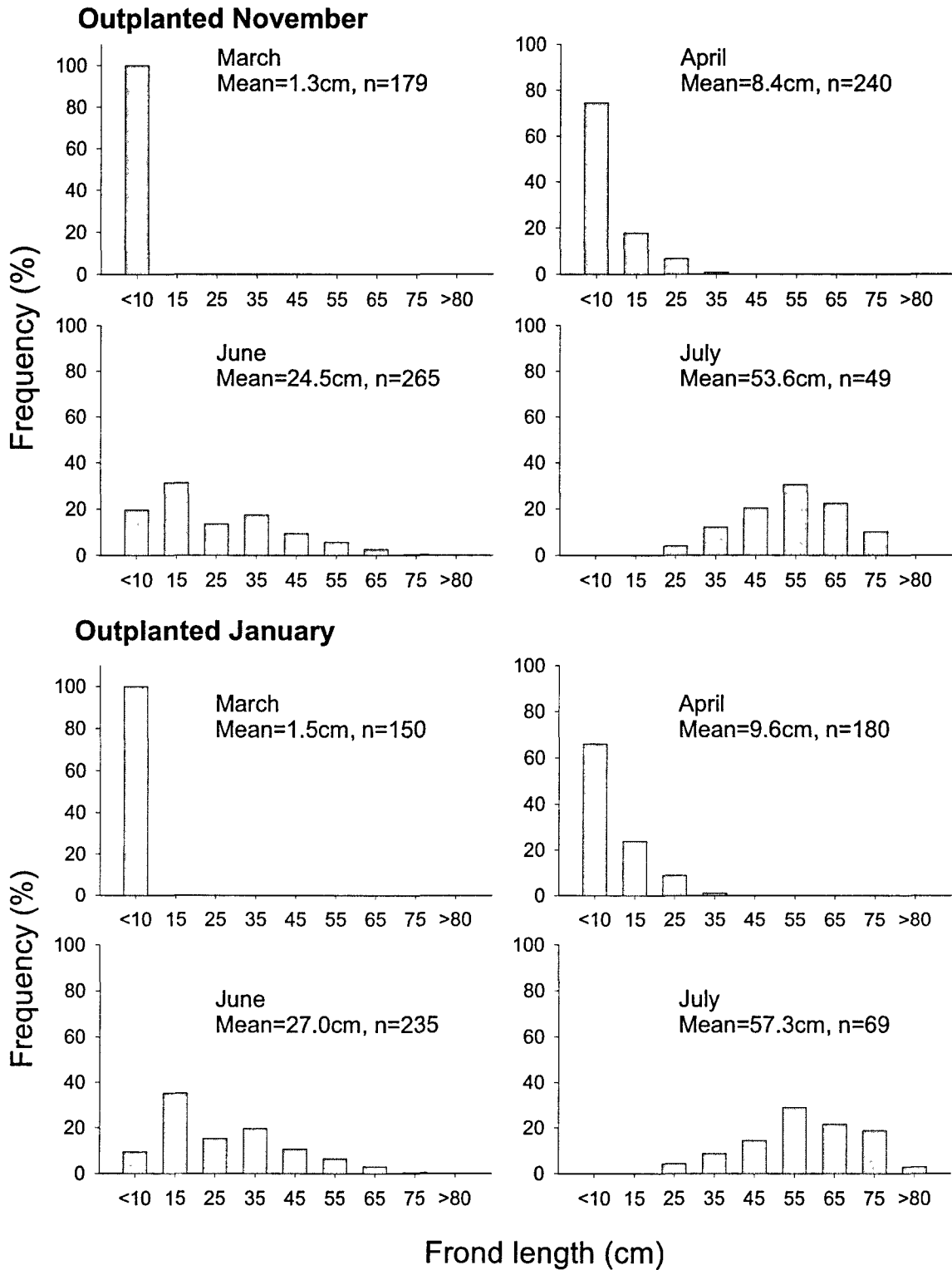


그림 4-2-19. 11월과 1월에 크기 0.3mm 및 1.4mm로 양성된 곰피의 엽장빈도 분포.

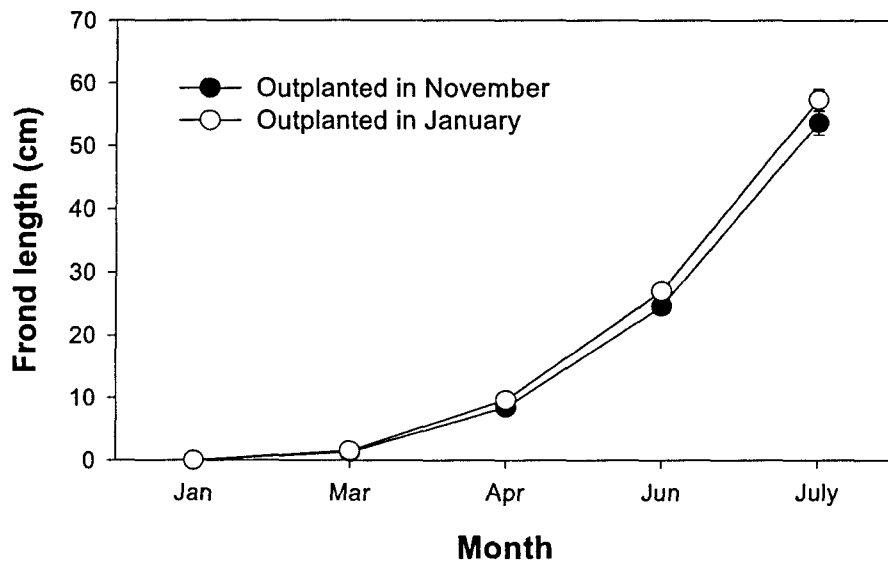


그림 4-2-20. 2002년 11월과 2003년 1월에 서로 다른 크기로 양성된 곰피 엽장의 월별 변화(2002년 11월: 엽장 0.3mm, 2003년 1월: 엽장 1.4mm).

표 4-2-17. 6월과 7월에 두 집단에서 가장 큰 20개체를 선택하여 분산분석(One-way repeated measures)한 결과

Source	SS	df	MS	F	P
Between Subjects					
Treatment	182.6	1.0	182.6	3.165	0.085
Error	1730.9	30.0	57.7		
Within Subjects					
Month	1512.2	1.0	1512.2	1194.196	0
Month*Treatment	1.0	182.6	144.187	0	
Error	38.0	30.0	1.3		

종묘의 이식 시기는 수온 10~15℃(포자에서 배우체가 발달하여 10cell/개체의 크기로 발달하기까지는 10℃, 배우체로부터 포자체가 발달하기까지는 15℃)와 광량 20μE · m⁻² · s⁻¹로 배양할 경우 약 45일 이후가 적당하리라 생각된다. 이 경우 엽체는 평균 0.3mm에 이고, 이듬해 7월에는 53.6cm로 자라며, 2개월 이후(2003년 1월)에 이식된 것과 크기 차이가 유의하지 않다. 종묘를 이식하는 시기를 줄일수록 종묘생산에 소요되는 경비를 절감한다는 차원에서 본 결과는 중요한 의미를 갖는다.

마. 복합 해조장 조성용 해조류의 생장

2005년 6월 중순 통영시 연명리 연안에 시설된 세라믹 어초에 이 지역에 자생하는 녹조, 갈조, 홍조류를 이식하여 상대 성장도를 및 착생효과를 조사한 결과를 그림 4-2-21에 나타내었다. 이식 해조류의 상대 성장율은 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*), 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 명주도박(*Grateloupia sparsa*), 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 외톨개모자반(*Myagropsis myagroides*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 넓칭각(*Codium latum*), 미끈뼈대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 미야베모자반(*Sargassum miyabei*), 개그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 청각(*Codium fragile*)의 순으로 나타났다.

이들 해조류를 통영바다목장 해역에 시설된 어초에 이식한 결과 이들 해조류는 부유물질이 많고 투명도가 낮은 통영연안의 어초시설 주변에서 잘 성장하는 것으로 나타났으며 따라서 이들 해조류를 이 해역에 집중 번식조장 시키는 전략이 필요하다(그림 4-2-22). 이 가운데 팽생이모자반, 곰피와 같은 대형해조류 뿐만 아니라 개도박, 명주도박, 잎꼬시래기와 같은 소형홍조류도 착생효과 및 상대성장도가 높은 종으로 나타났고 갈조류의 개그물바탕말, 녹조류의 청각 등 성장도가 낮은 종으로 나타났다. 그러나 상대성장도가 낮은 종의 경우에도 착생효과는 떨어지지 않는 것으로 나타났다.

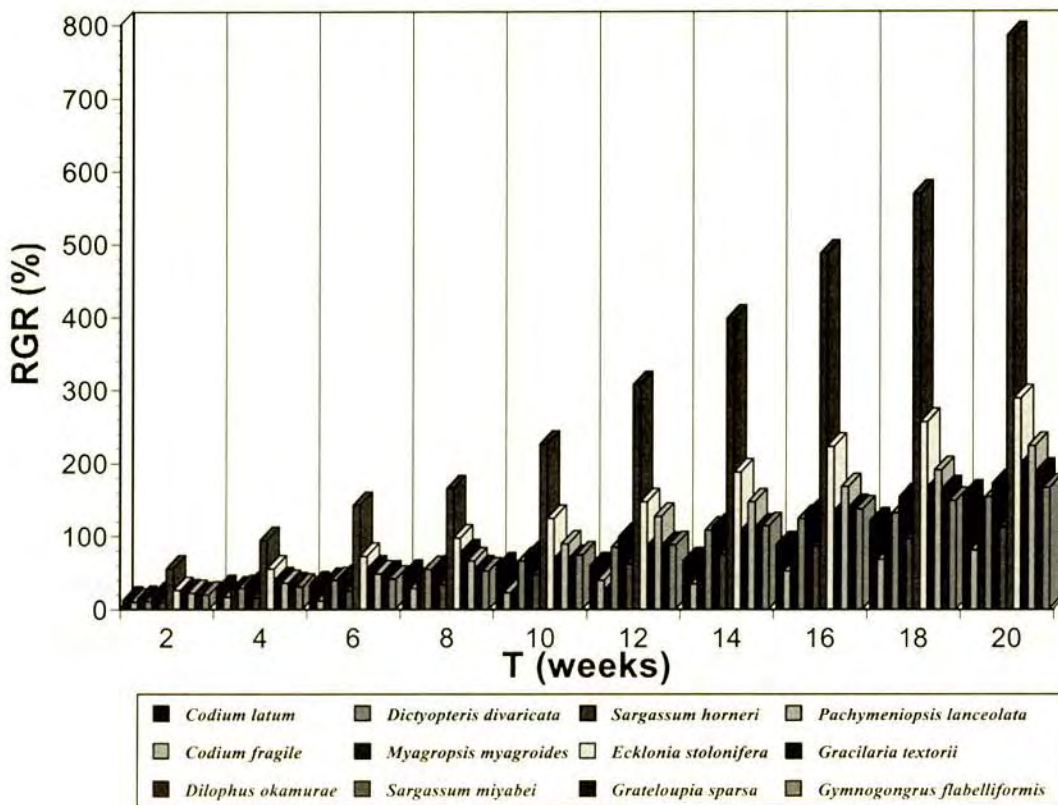


그림 4-2-21. 통영 연안의 세라믹어초에 이식시킨 해조류의 상대성장율.

마. 복합 해조장 조성용 해조류의 생장

2005년 6월 중순 통영시 연명리 연안에 시설된 세라믹 어초에 이 지역에 자생하는 녹조, 갈조, 홍조류를 이식하여 상대 성장도를 및 착생효과를 조사한 결과를 그림 4-2-21에 나타내었다. 이식 해조류의 상대 성장율은 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*), 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 명주도박(*Grateloupia sparsa*), 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 외톨개모자반(*Myagropsis myagroides*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 넓청각(*Codium latum*), 미끈뻐대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 미야베모자반(*Sargassum miyabei*), 개그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 청각(*Codium fragile*)의 순으로 나타났다.

이들 해조류를 통영바다목장 해역에 시설된 어초에 이식한 결과 이들 해조류는 부유 물질이 많고 투명도가 낮은 통영연안의 어초시설 주변에서 잘 성장하는 것으로 나타났으며 따라서 이들 해조류를 이 해역에 집중 번식조장 시키는 전략이 필요하다(그림 4-2-22). 이 가운데 팽생이모자반, 곰피와 같은 대형해조류 뿐만 아니라 개도박, 명주도박, 잎꼬시래기와 같은 소형홍조류도 착생효과 및 상대성장도가 높은 종으로 나타났고 갈조류의 개그물바탕말, 녹조류의 청각 등 성장도가 낮은 종으로 나타났다. 그러나 상대성장도가 낮은 종의 경우에도 착생효과는 떨어지지 않는 것으로 나타났다.

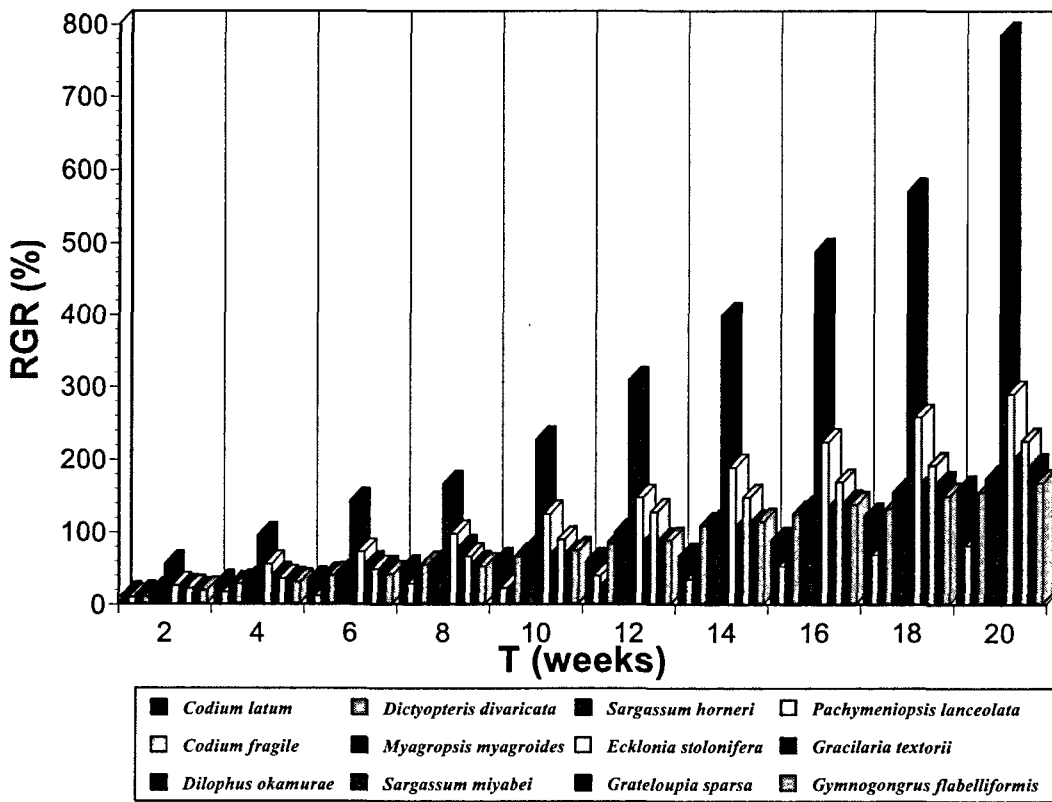


그림 4-2-21. 통영 연안의 세라믹어초에 이식시킨 해조류의 상대성장율.

이상의 결과에서 통영연안은 부유물질이 많고 탁도가 높기 때문에 수심 7-8m 이상만 되어도 해조류 생육에 어려움이 많은 것으로 나타났다. 특히 해양연구원 통영현장이 위치한 장두도 주변수역은 물론 연명리 연안 수역도 예외는 아니다.

따라서 통영 연안수역에 어떠한 종류의 해조류를 해조장 조성 대상으로 선택해야 하는가는 대단히 중요한 과제라 아니할 수 없다. 특히 감태와 같은 종류는 홍도나 매물도 및 구을비도 등 외양에 면한 섬지역을 제외하면 통영 연안의 주변수역에서 인공어초에 이식 또는 종사를 감아주어 해조장을 조성하는데에는 상당한 무리가 따름을 지적하지 않을 수 없다. 이는 수년간 이 해역에서 다양한 방법으로 해조장 조성 실험을 한 결과로 해석할 수 있다.

그러나 이러한 수역이라 해서 해조장을 조성할 수 없는 것은 아니다. 그러나 여기에는 조건이 있다. 해조장을 조성할 목적의 어초를 투하한다면 주변수역의 광조건을 고려하여 대체로 수심 6-8m를 넘지 않는 곳이면 가능하고 대상 해조류도 높은 탁도에 비교적 강한 적응성을 갖는 외톨개모자반, 팽생이모자반, 곰피 등의 대형갈조류를 비롯해, 성게나 군소 등 초식자의 섭식압(grazing pressure)에 견딜 수 있는 그물바탕말과 해조류인 개그물바탕말, 미끈뻐대그물말 등의 소형갈조류와 명주도박, 개도박, 잎꼬시래기, 부챗살 등의 소형 홍조류와 청각, 넓청각 등의 녹조류를 대상으로 하면 불가능한 것만은 아니다.

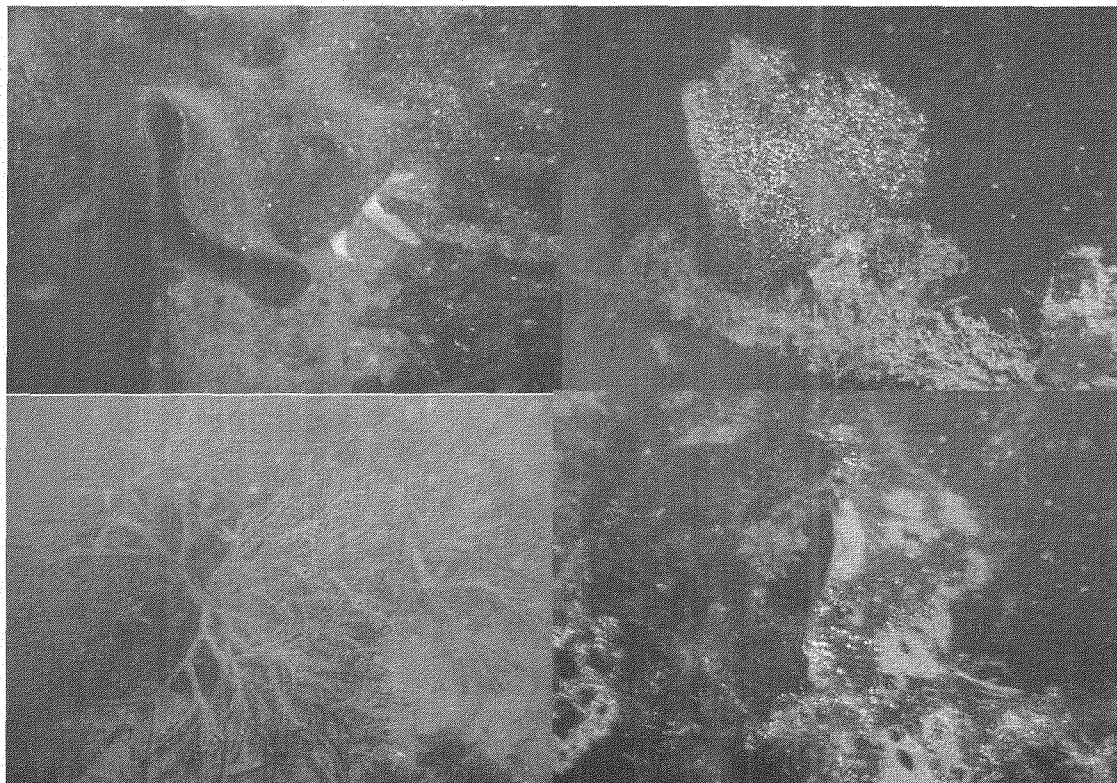


그림 4-2-22. 세라믹어초위에 이식시킨 후의 해조류 생육상태.

특히 청각과 해조류인 넓청각은 막상형 다육질 구조로 엽폭과 엽장이 큰 대형해조라는 점에서 부챗살의 경우는 어떤 조건에서도 잘 성장하며 생육효과가 좋다는 점에서 이들 해역에 종 다양성을 고려한 해조장 구성에 효과가 클 것으로 생각된다. 현장 관찰결과 이들 해조류는 통영연안에 시설된 어초위에서 잘 성장하는 것으로 나타나 이들 해역에 적절한 해조장 조성용 해조로 적극 고려해 보아야 할 것으로 생각된다.

제 3 절 자원 조사

1. 서론

통영 바다목장 사업의 3단계 1차년도 사업 진행은 1, 2단계(1998년부터 2003년)에서 종료된 건묘 생산, 중간육성기술 및 대상종의 생태 행동연구 결과를 실 사업에 적용하고 완료된 기술에 대한 매뉴얼 작성을 시작하였다.

자원조사는 1, 2단계에 이어 해역 내 불락, 조피불락 등 대상 어종의 실 해역 내 자원량을 추정하기 위하여 통발, 자망 등 일반 어구에 의한 어구조사, 어탐조사 및 잠수조사를 계속하였다.

조사는 98년도 이후 계속 방류, 추적해 온 어종을 대상으로 통영바다 목장에서의 현재의 자원 상태와 목장사업이 진행해 나가는 과정에서의 주요 수산 자원의 변화를 추적 조사하기 위하여 1, 2단계 1, 2, 3차 년도에 이어서 동일한 방법으로 이루어지고 있다.

연안 해역의 자원조사는 장비의 사용 방법에 따라 직접 조사에는 통발, 자망 등을 이용하는 어구 조사, 잠수를 통한 조사, ROV를 이용한 수중 카메라 조사가 포함되고 간접 조사로는 어군 탐지기를 이용한 수중 음향 방법 등 4가지로 분류할 수 있다. 바다 목장의 경우 대부분 수심이 얕은 천해이고 접근이 쉽다는 조건 때문에 위에서 언급한 각각의 방법으로 자원량을 조사할 수 있지만 하나의 방법만으로 조사한 결과는 예측 결과의 오류가 발생할 수 있어 어류 방류 효과 및 자원 관리에 어려움을 주고 있다. 직접 조사법을 이용한 어군 밀도 조사는 특정 공간과 짧은 시간동안 어느 한 순간만(snapshot)의 현상을 나타내므로 공간적인 밀도 분포 조사에는 많은 한계점을 보이고 있다고 알려져 왔다(Gerlotto et al., 1989; Stanley and Wilson, 1991). 특정 방법만을 이용한 자료에는 오차가 포함되기 쉬우므로 이들 각각의 방법들이 가지고 있는 장·단점을 고려하여 서로 보완하는 방법이 요구된다.

수중음향을 이용한 방법은 수산 자원 조사는 1920년대에 제시된 이후, 1970년대부터 일본, 노르웨이, 미국 등 수산 선진국들이 본격적으로 사용하기 시작하여 최근에는 원양 및 연근해 수산자원량 추정 방법의 필수 방법으로 받아들여지고 있다(MacLennan and Simmonds, 1992). 이 방법 또한 어종 식별 및 자원량 계산에 많은 어려움이 있지만 짧은 시간에 넓은 해역을 조사할 수 있는 시간대 비용 측면의 효율성과 표층 부근에서 해저면에 이르는 모든 수심에 대해 어류 분포 형태를 파악할 수 있는 장점이 있다. 따라서 다수를 차지하고 있는 어종의 음향 반사 특성 파악이 가능하다면 공간 내의 자원량 예측 및 수직적인 분포 특성을 파악하는데 효율적인 방법으로 받아들여지고 있다(Nakken and Ulltang, 1983).

자원 조사는 주로 바다목장 해역 내 설치된 실험용 구조물 등 어초 주변과 자연 암반 정점을 중심으로 자원 변동에 대한 조사가 실시되었다. 또, 바다목장내의 자원량 변동은

수중 구조물과의 관계를 파악하기 위하여 바다목장 대상어종인 조피볼락, 볼락, 감성돔, 참돔 등과 같은 어종의 목장 해역 내에서의 각종 구조물에 있어서의 조성 실태를 조사 기록해 오고 있다. 이번 수중조사는 그동안 설치된 각종 인공어초의 설치 상태와 함께 자원조성 상태 등을 전반적으로 점검하기 위한 조사를 병행 실시하였다.

어구와 잠수에 의한 자원조사 결과를 종합하여 현재 통영바다목장내의 볼락, 조피볼락의 총 자원량을 파악하고 연간 어획 가능량을 계산 제시함으로써 사업의 마지막 단계인 자원관리의 기준을 설정하는 작업을 하였다.

장기적인 방류에 의한 자연집단의 유전적인 교란 여부를 파악하기 위하여 통영 바다목장 대상 어종인 볼락에 대해 미토콘드리아DNA분석을 통해서 방류용으로 생산된 볼락(이하 방류용 볼락이라 칭함)과 자연산 볼락에 대한 유전학적 연구를 계속 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 어구조사

본 연구는 어구에 의한 자원의 구조와 자원량 조사를 목적으로 하며, 그 조사 방법으로 통발과 삼중자망을 사용하였고, 볼락의 경우 수중에서 작살을 이용하여 채집하였다. 조사는 매월 1회 실시하였고 조사정점은 그림 4-3-7에 나타내었다.

조사어구 중 통발의 규격은 지름 31.2cm, 길이 58cm, 그물망 24절이며 모두 100~200개를 사용하였고, 삼중 자망은 길이 400~450m, 너비 1m, 망목 7cm를 사용하였다. 두 어구 모두 오후 4시경에 설치하여 익일 오전 9시경에 인망 하였다.

채집된 시료는 Ice Box에 냉장보존 하여 실험실로 운반한 뒤 종 동정과 계측하였다. 어류의 종 동정은 정(1977), Masuda *et al*, (1984), Nakabo *et al*, (1993) 및 김 등(1994)을 참고 하였으며 분류체계 및 학명은 Nelson (1994)과 한국동물분류학회 (1997)에 따랐다

각 어체의 전장과 체장은 1mm까지, 체중은 0.1g까지 측정하였다. 방류종인 조피볼락과 볼락은 어체를 해부하여 위와 생식소를 떼어내고, 연령사정을 위해 연령형질로서 비늘과 이석을 적출하였다.

조피볼락의 자원구조와 자원량을 다음과 같이 연구하였다.

(1) 조피볼락

(가) 자원량 추정

재포획에 의해 추정된 전체 자원량은 Petersen의 모델을 이용하였다. 관계식은 다음과 같다.

$$\hat{N} = \frac{CX}{x}$$

여기서 \hat{N} 는 방류시의 자원 개체수 추정치이고 X 는 표지방류 개체수, C 는 어획

개체수, x 는 표지어의 재포 개체수로서 어획개체수 중 표지어의 수이다.

(나) MSY, f_{MSY} 및 ABC, f_{ABC} 추정

최대지속어획량(MSY)는 처녀자원량 모델인 Gulland(1971)의 추정방법으로 자원량과 순간자연사망계수를 사용하였다.

$$MSY = 0.5 MB_{\infty} \quad (M : \text{순간자연사망계수}, B_{\infty} : \text{처녀자원량})$$

생물학적 허용어획량 (ABC, Allowable Biological Catch)은 다음의 식을 이용하여 추정하였다.

$$ABC = F_{0.1} \cdot B_c \cdot \frac{1}{M + F_{0.1}} (1 - e^{-(M + F_{0.1})})$$

(B_c : 자원량, M : 순간자연사망계수)

(다) 자원 평가

조피블락의 적정어획사망계수와 적정어획개시연령은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델인 다음 식으로 추정하였다.

$$\frac{Y}{R} = F W_{\infty} e^{-M(t_c - t_r)} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK} \cdot (1 - e^{-(F + M + nK)(t_m - t_c)})$$

여기에서, $\frac{Y}{R}$ 는 가입당생산량, $U_0=1, U_1=-3, U_2=3, U_3=-1$ 이며, W_{∞}, K, t_0 는 von Bertalanffy 성장식의 성장모수이고, t_r 은 어장가입연령, t_c 은 어구가입연령 혹은 어획개시연령, t_m 는 최고연령을 나타낸다.

또한, $F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 생산량 곡선에 대한 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수, Beverton and Holt 모델식을 순간어획사망계수에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{d(\frac{Y}{R})}{dF} = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_r)} \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{(F + M + nK)^2} \left[M + nK - e^{-(F + M + nK)(t_m - t_c)} \cdot [M + nK - F(t_m - t_c)(F + M + nK)] \right] \right\}$$

이 식에서 $F=0$ 이 되면 다음과 같다.

$$\frac{d(\frac{Y}{R})}{dF} = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_r)} \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{M + nK} (1 - e^{-(M + nK)(t_m - t_c)}) \right\}$$

이 식을 사용하여 계산한 기울기의 10%에 해당하는 $F_{0.1}$ 값을 비선형회귀추정법으로 추정하였다.

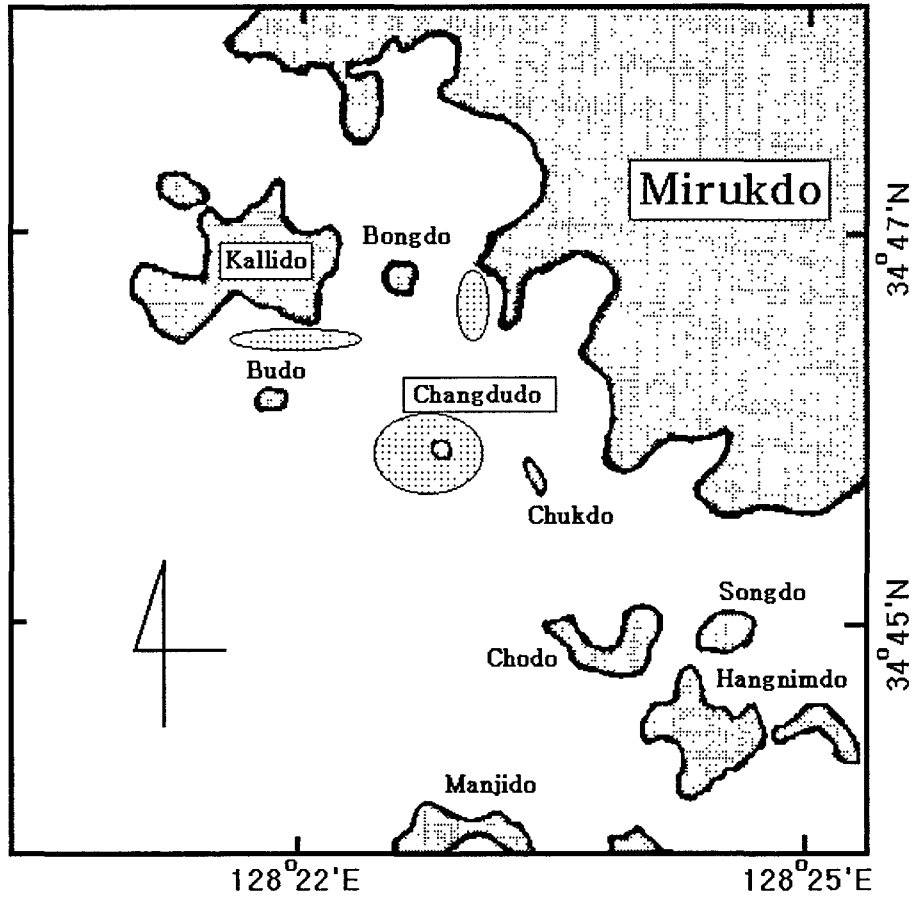


그림 4-3-1. 채집지역의 모식도.

(2) 정치망조사

본 조사는 2005년 6월부터 10월까지 정치성구획어업(정치망)을 이용하여 바다목장화 지역에 분포하는 어류상을 조사하기 위하여 바다목장화 지역인 경남 통영시 산양면 미남리 앞바다를 대상으로 실시하였다.

조사 지점은 경남 산양면 미남리 달아마을 서단에 위치하는 해역으로 어장위치는 미남리 지선에서 약 19m 떨어진 수심 약 10m의 해역으로 바닥은 주로 암반과 모래진흙이 섞인 곳이다 (그림 4-3-1).

조사 시기는 올진의 경우 2005년 6월~10월의 매월 1회로 총 5회 실시를 하였으며, 조사에 사용된 어구는 각망을 대상으로 그물을 설치한 후 만 하루가 지난 후 어획된 어류를 대상으로 조사를 실시하였다.

채집된 어류는 채집 즉시 분리 동정한 후 계수, 계측하였으며, 동정이 어려운 종은 채집통에 얼음을 채워 실험실로 운반한 후 동정하였다. 어류의 종 동정은 정(1977), Masuda

et al, (1984), Nakabo et al, (2000), 김 등(2004) 및 김·박(2002) 등에 따랐으며 분류체계 및 학명은 Nelson (1994), 한국동물분류학회 (1997) 및 김 등(2001)에 따랐다.

채집된 어류는 각 어구별로 종조성 자료를 이용하여 개체수와 생체량에 대한 Shannon-Wienser의 종다양도 지수 (H')를 구하였다 (Shannon and Weaver, 1949).

$$H' = -\sum_{i=1}^s \{n_i/N \log n_i/N\}$$

n_i : 어종 I의 월별 개체 수

N : 특정 채집 시기에 채집된 어류의 전체 생체량

S : 채집 어종수

나. 어탐 조사

(1) 음향 정선 조사

통영바다목장 해역에 있어서 동계와 춘계의 특성을 파악하기 위하여 각각 2005년 2월 3일과 2005년 2월 24일에 걸쳐 2회 실시하였다(그림 4-3-2). 이 시기는 작년 가을에 우리나라 남해안 외해로 이동해 버린 회유성 어종이 아직 가입되지 않은 상태에서의 통영 바다목장 인근 해역에 머무는 어류에 대한 분포 조사에 해당한다.

음향을 이용한 어탐 조사를 위해 사용한 음향 센서는 200kHz 듀얼빔(dual beam)센서로써, 송·수신 단계에서 협대역(narrow) 빔과 광대역(wide) 빔을 사용함으로써 어류에 대한 음향 신호 정보에서 개개 대상 어류의 위치정보 및 반사강도(volume backscattering strength, S_v)에 대한 정확한 정보를 산출 할 수 있다. 수산자원 분포는 그림 4-3-3과 소형 어선(5톤급)의 현측에 소형예인체를 설치하고 예인체에 음향센서를 설치한 다음 음향센서를 예인체에 고정시켰다. 음향센서로부터 수신된 음향신호는 계량어군탐지기(DT-5000)시스템을 거쳐 데이터 수록 장치에 저장하였다. 조사선의 선속은 사용 주파수가 고주파이고 센서 수심이 얇아 해수와 센서면의 마찰에 의해 발생하는 공기방울의 영향이 있을 수 있으므로 이를 최소화하기 위하여 6 ~ 7노트로 일정하게 유지하였다. 이때 설정한 음향 매개변수는 표 4-3-1과 같다.

수신된 음향 자료에서 표층 부근에서 발생하는 cavitation 잡음, 공기방울 잡음과 중층에서의 전원 잡음, 저층에 설치된 구조물에 신호등을 모든 에코그램에서 제거하여 어류에 의한 신호만을 추출하였다. 이때 추출된 에코그램으로 부터 표층 1.5m에서 저층까지 자료로부터 전 층의 음향 특성을 분리하였다.

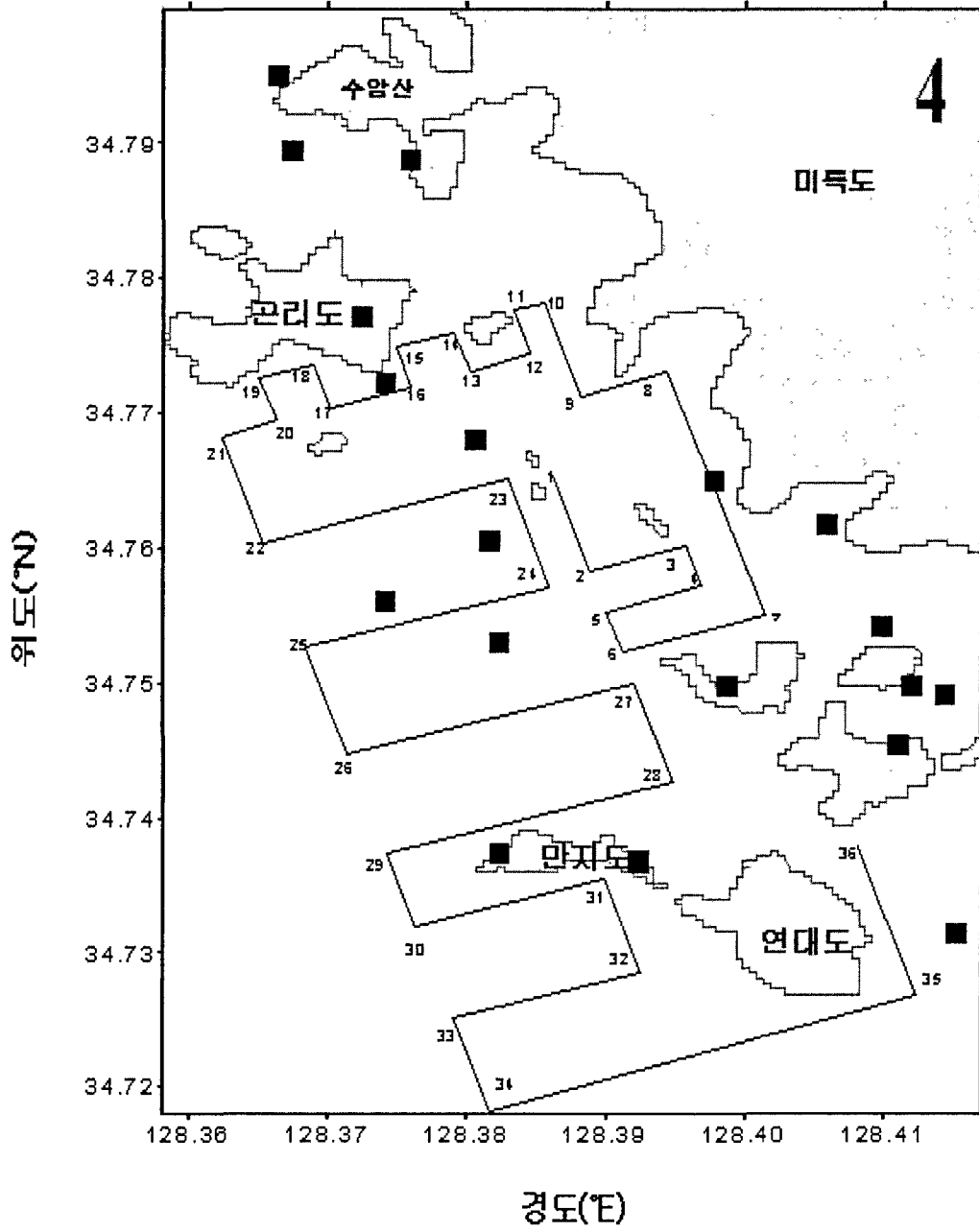


그림 4-3-2. 음향 자원 조사 정선.

계측시스템

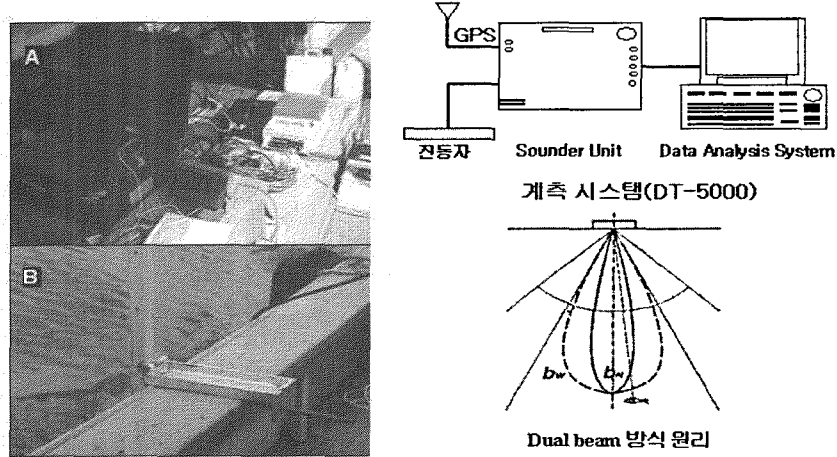


그림 4-3-3. 계량어군탐지기 설치 모식도.

표 4-3-1. 계량어군탐지기(DT-5000)의 매개변수

항목	매개변수
주파수(Frequency)	200kHz
빔 형태(Beam type)	Dual-Beam
흡수계수(Absorption coeff)	0.002631dB/m
펄스반복 주기(Ping Rate)	1.00pps
펄스폭(Pulse Width)	0.30ms
빔폭(Beam Width)	6.50deg
	14.50deg
대역폭(Bandwidth)	20kHz
송신레벨(Transmit Source Level)	224.30dB// μ Pa
수신감도(Receive Sensitivity)	-54.40dB// μ Pa

(2) 인공어초 주변에서의 수직 이동 조사

방류한 어종의 주요 서식처가 인공어초라는 가정 아래 인공어초 주변에 서식하는 어류의 분산 특성을 파악하기 위하여 어류가 부상하는 해질 무렵부터 어두워 질 때까지 음향 자료를 수신하였다. 이를 위하여 조사선을 소장두도와 죽도 사이에 설치된 인공어초

주변에 정지시킨 후 연속적인 관측을 실시하였다. 이 지역의 수심은 23 m 이고, 음향 조사 결과 인공어초를 위한 구조물은 수심 13 ~ 23m 사이에 있는 것으로 나타났다(그림 4-3-4). 2월초와 2월말 두 조사에서 각각 2 ~ 3시간 정도 자료를 수신하여 30 ~ 60분 간격으로 전 층의 음향 특성을 비교하였다.

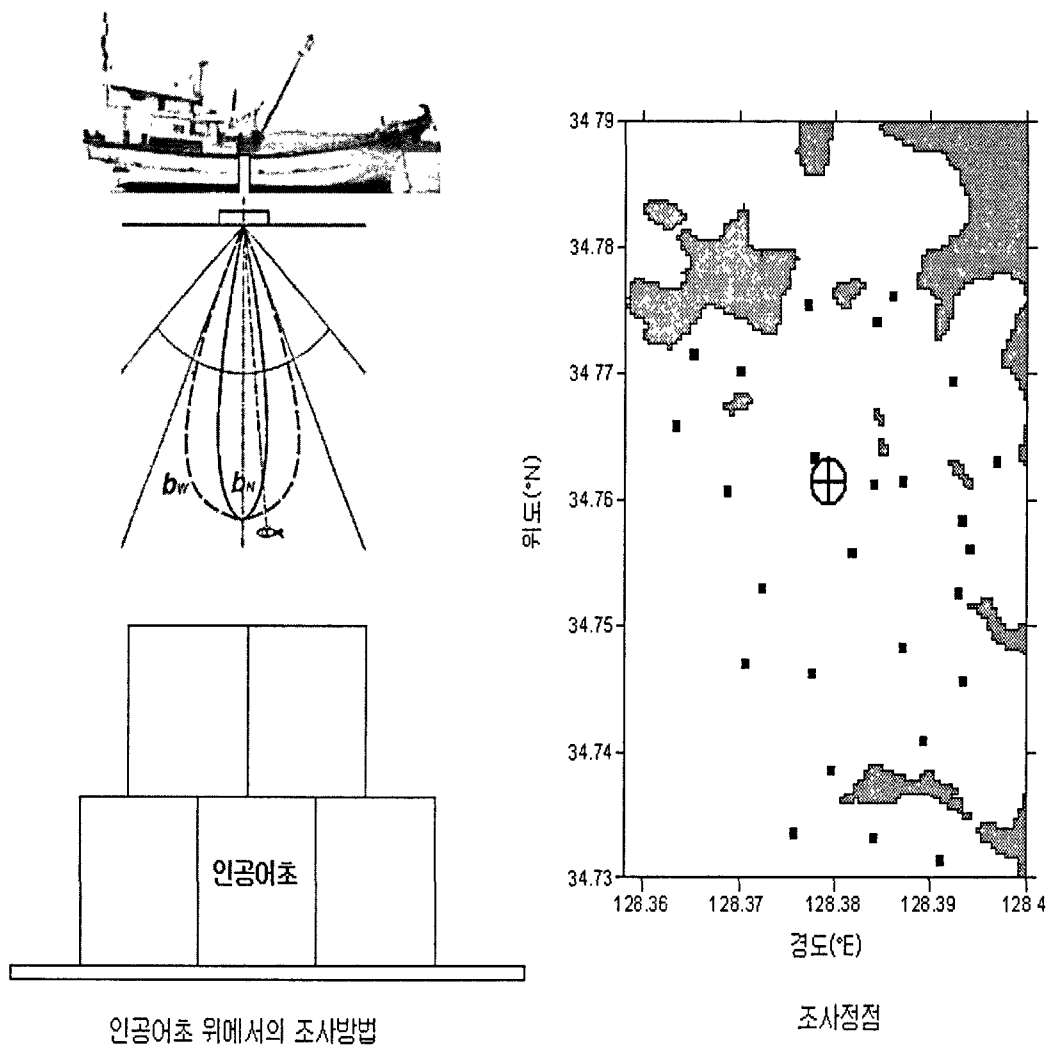


그림 4-3-4. 인공어초 주변에 있어서 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 모식도.

(3) 음향자료를 이용한 수산자원분포의 연간 변화

통영바다목장 해역에 있어서 1998년에 처음으로 방류를 시작하여, 지속적으로 조피볼락, 볼락, 참돔, 감성돔 등의 어류를 방류하고 있다. 또한 해중림의 조성이나 인공어초의 설치 등으로 서식환경이 개선 되게 되고, 이들이 효과적으로 작용했을 경우, 바다목장해역내 뿐만 아니라 주변해역에 있어서 생물이 다양해지고, 서식량이 증가하는 추세에 있을 것으로 추정할 수 있다. 본 연구에서는 1999년부터 최근까지 통영바다 목장해역에 있어서 음향을 이용하여 매년 수산자원의 분포조사를 실시하였다. 1999년부터 2002년까지는 그림 4-3-5와 같이 곤리도와 소장두도, 대장두도를 중심으로 한 비교적 좁은 해역을 대상으로 수산자원 분포조사를 실시하였으며, 2003년부터는 그림 4-3-6과 같이 남쪽으로 더 확대하여 음향자원 조사를 실시하였다.

통영바다목장 해역에 있어서 다년간 동일한 방법에 의한 조사를 실시하였으나 음향자료를 정리하여 수산자원의 장기적 변화를 분석해 보았다. 조사 계획은 매년 4차례(봄, 여름, 가을, 겨울)로 계획되어 있었으나 기후와 조사일정, 시스템의 준비, 조사선의 여건 등에 따라 조사 횟수는 많지 않았다.

또 1999년부터 최근까지 음향을 이용하여 수산자원 분포조사를 한 자료 중에서 계절별로 비교가 가능한 자료는 표 4-3-2에 나타낸 바와 같다. 또, 인공어초 주변 해역에 있어서의 수산자원조사를 실시하여 음향을 이용한 어초주변에서의 어류자원조사법을 개발하고자 하였으며, 동 방법에 대한 실효성을 파악하였다.

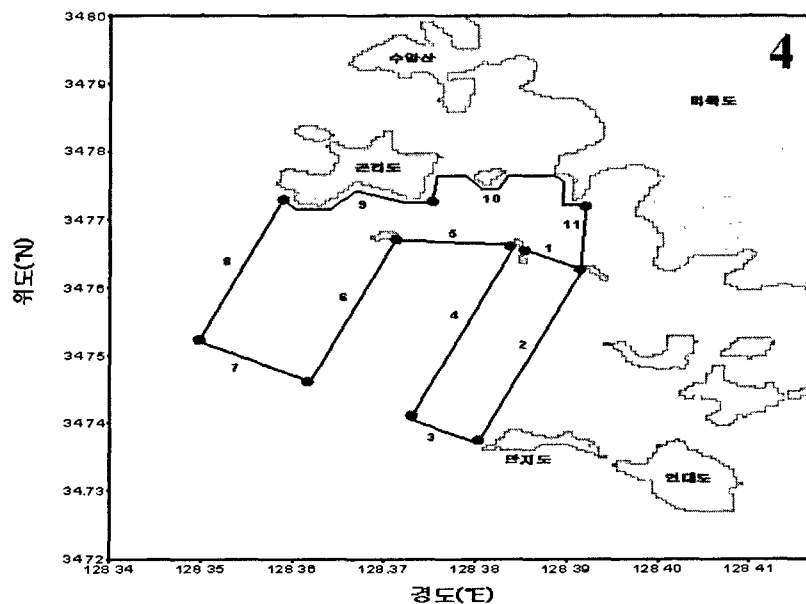


그림 4-3-5. 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 정선(1999~2002).

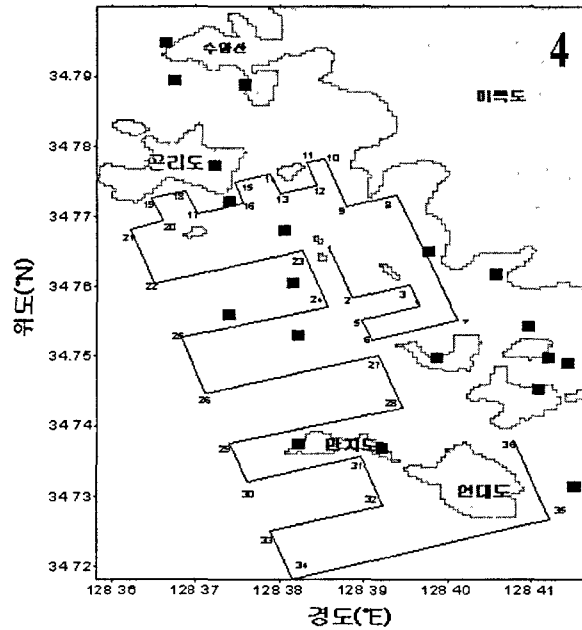


그림 4-3-6. 계량어군탐지기를 이용한 자원조사 정선(2003-2005년).

표 4-3-2. 통영바다목장에서 음향을 이용한 수산자원 분포조사 현황

조사시기(년)	자원조사(이동조사)		어초조사(정선조사)	
	여름(02월)	겨울(06월,08월)	여름(02월)	겨울(08월)
1999	×	○	×	×
2000	×	×	×	×
2001	×	×	×	×
2002	○	×	×	×
2003	○	○	×	○
2004	○	×	○	×
2005	○	○	○	○

(○:실시, ×:미실시)

다. 잠수조사

바다 목장 내 어류 자원에 대한 연구 중 잠수에 의한 조사는 2000년부터 2005년까지 연대도 연안 4개 정점과 각종 실험구조물에서의 주기적인 자원량 추적 조사를 계속해 오고 있다(그림 4-3-7).

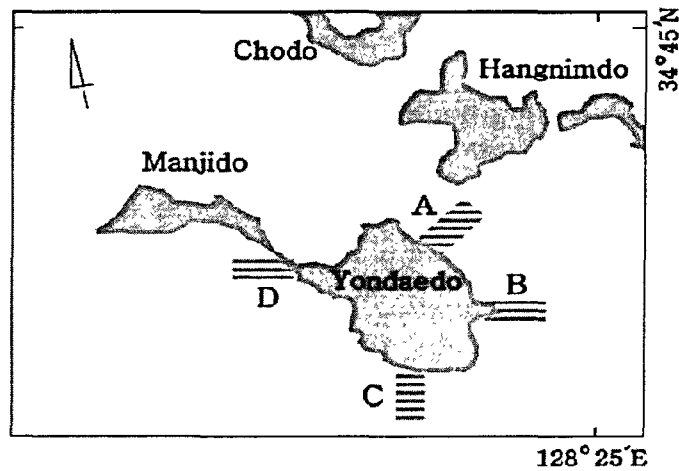


그림 4-3-7. 연대도 연안의 어류자원 조사정점.

또, 각 구조물 종류별 현재 자원 조성 정도를 파악하기 위하여 2005년 7-8월 사이에 수중구조물 별 잠수조사에 의한 자원 위집 종류 및 상태에 대한 조사를 실시하였다. 상태 조사는 정기 조사 어초는 전문가의 스쿠버 다이빙에 의한 육안 관찰을 기본으로 하였으며 그 외 다양한 어초의 어초 위치나 수중영상자료 및 육안 관찰 자료를 취합하였다.

라. 서식환경 판별이 가능한 마커의 개발

(1) 대상어류

1차 실험은 2005년 8월 통영시 산양면에서 입수한 방류산 조피볼락(*Sebastes schlegeli*), 양식산 조피볼락을 대상으로 실시하였으며, 각 실험구마다 15마리를 실험에 사용하였다. 그리고 2차 실험은 2005년 10월에 위와 같은 지역에서 방류산, 양식산 조피볼락 (방류산-1)과 함께 인근의 산양면 곤리에 설치한 인공어초 주변에 잠수하여 포획한 자연산 (방류산-2)을 실험에 사용하였다. 이들 각 어류에서는 혈액, 간장, 신장, 아가미를 적출하였으며, 적출한 조직은 액체질소를 이용하여 동결시킨 후 dry-ice로 보관하여 실험실로 옮겼다. 옮겨진 조직은 분석할 때까지 -80°C 냉동고에 보관하였다. 또한 1차 실험에서는 근육을 빙장하여 연구실로 옮긴 다음에 즉시 일반성분과 근육의 경도를 분석하였다.

(2) 분석방법

(가) 일반성분의 분석

근육 중 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따랐다. 조단백질 ($\text{N}\times 6.25$)은 Auto Kjeldahl system을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C 의 dry-oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였으며, 조회분은 550°C 의 회화로에

서 4시간 동안 태운 후 측정하였다 (1차 실험).

(나) 근육의 조직감 분석

근육의 rheology는 RHEO METER (Model COMPAC-100, SUN Scientific, Japan)를 사용하여, 분석용 근육을 4×3×2 (W×H×D)의 크기로 잘라서 10kg의 하중으로 측정하였다 (1차 실험).

(다) 혈액검사

해파린을 처리한 3 ml 주사기를 사용하여 조피볼락의 미부정맥에서 채혈한 다음 실험실로 옮겨온 다음에 원심분리 (3,000×g, 20분) 하여 혈장을 분리하고 Osmometer (Fisher Co., U.S.A)로 삼투질 농도 (osmolality)를 측정하고, 생화학 성분은 건식혈액분석기 (Ectachem DT60II, Johnson & Johnson, USA)으로 분석하였다 (2차 실험).

(라) 약물대사효소의 분석

동결시킨 간장, 신장, 아가미를 해동한 다음에 0.15 M-KCl을 이용하여 혈흔을 제거하고 그 중 2 g을 취하여 조직 무게의 4배의 인산완충액 (0.1M KH_2PO_4 - K_2HPO_4 -20% glycerol, pH7.4) 과 함께 Potter-Elvehjem형의 teflon축-glass homogenizer로 균질화 하고 원심분리 (8000×g, 20 min, 4°C)를 하여 상등액을 모은 다음 다시 초원심분리 (100,000×g, 120 min, 4°C)를 하여 원심관 하부에 가라앉은 pellet인 microsome으로 상기한 인산완충액으로 재현탁하여 약물대사효소계 분석에 사용하였으며, 상등액인 cytosol은 항산화효소계 분석에 사용하였다. 약물대사효소로서는 mixed function oxide (MFO)에 속하는 1상 효소인 Cytochrome P450 (CYP450), NADPH-cytochrome P450 reductase (P450R), NADH-cytochrome b5 reductase (b5R), ethoxyresorufin deethylase (EROD)와 2상효소인 glutathion s-transferase (GST)를 분석하였다. 그리고 1차 실험에서는 간장 중 항산화효소계 효소인 superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), glutathion reductase (GR)의 활성도 측정하였다.

① CYP450 농도

Omura and Sato (1965)의 방법에 따라, 마이크로솜 현탁액에 인산완충액으로 단백질 농도가 0.5~1.0 mg/ml이 되도록 희석하여 시료측과 대조구측 셀에 나누어 넣는다. 그리고 분광광도계 (Shimadzu UV-1601, Japan)로 400-500 nm까지의 파장에서 흡광도를 scanning하여 baseline을 기록한 다음 시료측 셀에 약 90초간 일산화탄소를 통기하고는 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 을 소량 (1-2 mg) 양쪽 셀에 넣고 잘 교반한다. 그리고 다시 400-500 nm 간의 스펙트럼을 450 nm 부근의 피크가 최대가 될 때까지 반복해서 기록하고, 일산화탄소결합

차 스펙트럼에서 구한 450 nm (최대흡수 지점)와 490 nm의 흡광도차를 baseline에서 구한 450 nm와 490 nm 흡광도 차이와의 차이에서 OD450-490을 구하고, 원자흡광계수 $91 \text{ cm}^{-1}\text{mM}^{-1}$ 을 써서 다음 식으로 cytochrome P-450 함량을 구한다.

② P450R 활성

NADPH cytochrome P450 reductase의 활성은 Phillips and Langdon (1962)의 방법을 따랐으며, 전자수용체로는 cytochrome c를 사용하여 NADPH 존재 하에서 환원형 cytochrome c가 생성되는 것을 550 nm의 흡광도 증가로 측정하였다. 즉, 인산완충액 (pH 7.6)에 시안화칼륨과 증류수를 첨가한 다음 cytochrome c 용액을 넣고, 마이크로솜을 넣어 잘 교반하여 대조측 셀과 시료측 셀에 나누어 붓는다. 시료 셀에 필요량의 NADPH를 첨가하여 반응을 시작하고 반응개시 후 550 nm에서의 흡광도 변화를 1분간 측정하고 환원형 cytochrome c의 분자흡광계수 $21 \text{ cm}^{-1}\text{mM}^{-1}$ 을 써서 환원속도를 구하였으며, 효소 활성은 $1\mu\text{mol}$ 의 cytochrome c를 1분간에 환원시키는 효소량을 1 단위 (unit)로 하였다.

③ b5R 활성

NADH cytochrome b5 reductase의 활성은 Omura and Takesue (1970)의 방법에 따랐다. 즉, 0.5M 인산완충액 (pH 7.6), 0.1M 페리시안화칼륨 및 증류수를 일정비율로 혼합하여 용액을 만들고 각 시험관에 11.1 ml씩 분주하고 2mM cytochrome c 용액 0.3 ml와 마이크로솜 시료 0.6 ml를 시험관에 함께 분주하여 잘 교반한다. 이 용액을 대조측 셀과 시료측 셀에 각각 2 ml씩 나누어 넣고 시료측 셀에만 10mM NADH 용액을 $20 \mu\text{l}$ 씩 넣어 550 nm에서 1분간 흡광도를 측정하여 정량한다. 측정값에서 blank를 빼어 다음 식에 따라 분자흡광계수 $1.02 \text{ cm}^{-1}\text{mM}^{-1}$ 을 써서 비활성을 구한다.

④ EROD 활성

CYP 1A1의 지표효소인 EROD (7-ethoxyresorufin-O-deethylase)의 활성은 Burke and Mayer (1974)의 방법에 따랐다. 즉, NADPH 재생계 용액 (인산완충액, glucose-6-phosphate, NADP, glucose-6-phosphate dehydrogenase)과 마이크로솜을 섞어 37°C의 항온수조에서 사전배양을 한 다음에 ethoxyresorufin을 일정량 첨가하여 일정시간 배양을 한다. 그리고는 메탄올을 첨가하여 반응을 정지시키고는 형광측정기 (Shimadzu RF-5301PC, Japan)로 형광도를 측정하여 (Ex. 550 nm, Em. 585 nm) 활성을 측정하였다.

⑤ GST 활성

GST 활성은 Habig 등 (1974)의 방법으로 cytosol에 glutathione과 2,4-dinitro-1-chlorobenzene을 첨가하여 340 nm에서의 흡광도 증가치를 측정하여 정량하였다. 이때 분

자흡광계수는 $9.6 \text{ cm}^{-1}\text{mM}^{-1}$ 이다.

⑥ SOD 활성

시판중인 SOD Assay Kit-WST (Wako, Japan)를 사용하였다. 우선 간장 (0.2g)을 0.9% NaCl (+0.16 mg/mL 헤파린) 용액으로 잘 닦은 후 무게를 재고 빙냉한 버퍼 (10 mM 인산완충액)로 균질화 하여 시료를 만든다. 그리고 microtube에 완충액을 900 uL씩 분주한 다음 시료 40 uL을 분주하고, 제공된 발색시약을 각각 30 uL씩 분주하여 560 nm에서 흡광도를 25초와 50초에서 측정하여 SOD 활성 (U/mL)을 계산한다.

⑦ CAT 활성

Cohen 등 (1970) 및 古田·橋本 (1992)의 방법에 따라 측정하였다. 효소활성은 H_2O_2 의 분해정도나 O_2 의 생성 정도를 재는 것으로 한다. 즉, reference cell에 시료 2 ml와 0.05 M 인산완충액 (pH 7.0) 1 ml를 넣고, sample cell에는 시료 2 ml와 0.03 M H_2O_2 용액 1 ml를 넣고 잘 섞어 이들의 흡광도를 240 nm에서 1분간 재면서 흡광도 감소 정도를 측정한다.

⑧ GPx 활성

Lawrence and Burk (1976)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 0.1 M K-인산완충액 (pH 7.0) 용액 0.5 ml에 10 mM EDTA 용액 (pH 7.0) 0.1 ml, 10 mM NaN_3 용액 0.1 ml, DW 0.1 ml를 시험관에 넣는다. 그리고 시료 0.05 ml (단백질 농도가 0.6-1.0 mg/ml의 시료)를 첨가하고 20 mM 글루타치온 (GSH) 용액 0.05 ml, 글루타치온 환원효소 (GR)용액 (200 U/ml) 0.01 ml, 5 mM NADPH 용액 0.04 ml, 5 mM H_2O_2 용액 또는 30 mM cumene hydroperoxide 용액 0.05 ml를 첨가한 다음에 즉시 340 nm에서 1분간 OD의 감소 정도를 측정한다.

⑨ GR 활성

Worthington and Rosemeyer (1974)의 방법에 따라 측정하였다. 0.2 M K-인산완충액 (pH 7.0) 0.5 ml, 0.2 M KCl 용액 0.1 ml, 10 mM EDTA 용액 (pH 7.0) 0.1 ml, DW 0.1 ml를 시험관에 넣는다. 그리고 시료 0.1 ml (단백질 농도가 1-2 mg/ml의 시료)를 첨가하고 20 mM 산화형 글루타치온 (GSSG) 용액 0.05 ml, 2 mM NADPH 용액 0.05 ml 첨가하고 잘 섞고는 즉시 340 nm에서 1분간 OD를 측정한다.

⑩ 단백질 농도의 정량

Lowry 등 (1951)의 방법으로 정량하였다. 즉, 시험관에 증류수를 $200\mu\text{l}$ 씩 분주한 다음

분석하려는 마이크로솜 시료 50 μ l와 1N NaOH 용액을 250 μ l씩 분주한다. 발색을 시키기 위해 구리용액 (2% Na, K-tartaric acid : 1% CuSO₄·5H₂O : 2% Na₂CO₃ = 1 : 1 : 98) 을 2.5ml를 첨가하여 교반한다. 실온에서 15분간 방치한 다음에 2N 페놀 용액을 0.25ml 씩 첨가하여 다시 15분간 실온방치 하고는 750nm에서 흡광도를 측정하여 구한다.

(3) 통계처리

모든 측정치는 평균 \pm 표준편차로 나타내었으며, 평균간 유의성을 검정하기 위해 SPSS (V.11.5)를 사용하여 T-test를 실시하였고, 이때 95% 신뢰구간에서 유의차 검정을 하였다.

마. 유전자원조사

(1) 시험어

경남 통영시 산양면에 위치한 세보수산과 오션테크에서 통영바다목장 해역에 방류 예 정인 종묘 100개체를 채집하였다. 자연해역에 서식하고 있는 볼락은 방류 해역과 인접한 연대도, 오비도 그리고 곤리도에서 총 32개체를 낚시로 채집하였다. 채집된 시료에 대해 외부 형태 관찰 및 측정을 한 후 미토콘드리아DNA 분석을 위해 어체의 등 부분에서 근육의 일부를 떼어내어 99% 에탄올에 보존하였다.

(2) 미토콘드리아DNA sequence analysis

Proteinase K를 이용하여 DNA를 분리하고 Phenol-chloroform처리를 하여 DNA를 추출하였다. 0.6 μ l의 template DNA, 두 가지 primer, dNTP, 10 \times Ex TaqTM buffer(TAKARA), Taq DNA polymerase와 멸균된 증류수를 혼합하여 총 15 μ l의 반응액을 조성하여, PCR(Polymerase Chain Reaction) 반응을 30회 반복하였다 (denaturation, 94 $^{\circ}$ C, 1분; annealing, 54 $^{\circ}$ C, 1분; extension, 72 $^{\circ}$ C, 2분). 분석에 이용된 두 가지 primer는 L15924(5'-AGC TCA GCG CCA GAG CGC CGG TCT TGT AAA-3', Kocher et al: 1993) 과 H16498(5'-CCT GAA GTA GGA ACC AGA TG-3', Meyer et al: 1990)이다.

증폭된 DNA산물은 1.5% agarose gel상에서 전기영동(100V, 1hr)하여 확인하였다. 계속해서, cycle sequencing 반응은, ABI PRISM BigDye Primer Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems Inc.)을 사용하여 96 $^{\circ}$ C, 10초; 50 $^{\circ}$ C, 5초; 60 $^{\circ}$ C, 4분간의 반응을 25회 반복하였으며, 얻어진 extension products는 에탄올 침전으로 정제하였다. 그 후 loading buffer를 이용하여 pellet을 녹여 95 $^{\circ}$ C에서 4분간 denaturation하여, automated DNA sequencer (Genetic Analyzer Prism 310-20; Applied Biosystems Inc.)로 옮겨서 분석을 진행하였다. DNA sequence 결과는 multiple sequence editor DNASIS(Hitachi Software Engineering Co. Ltd)와 alignment software package CLUSTAL W1.7(Thompson et. al.: 1994)을 이용하여 처리하였다.

3. 결과 및 토의

가. 어구조사

(1) 불락의 자원구조와 자원량 추정

(가) 자원량 추정

불락의 자원량은 잠수조사로 얻어지는 일정 공간에서의 불락의 개체수를 바다목장 내 전 체 암반지역의 면적을 추론하여 자원량을 추정하였다(표 4-3-3).

2005년도 불락의 추정 자원량은 2,682,120마리(110,375,294g)으로 2004년 1,919,821마리(64,697,513g)보다 자원량이 증가하였다. 연령군별로 살펴보면 1세군은 평균 1,096,182마리(16,322,157g), 2세군은 639,417마리(17,763,016g), 3세군은 581,484마리(34,243,570g), 4세군은 198,745마리(18,624,403g), 5세군은 166,291마리(23,422,149g)로 추정되었다.

표 4-3-3. 2005년의 통영바다목장의 불락의 연령군별 추정 자원량

연령군	2004년		2005년	
	추정자원량(미수)	추정자원량(g)	추정자원량(미수)	추정자원량(g)
1	714,989	10,646,186	1,096,182	16,322,157
2	328,176	9,116,72	639,417	17,763,016
3	346,804	20,423,269	581,484	34,243,570
4	118,895	11,141,638	198,745	18,624,403
5	94,922	13,369,695	166,291	23,422,149
총자원량	1,619,821	64,697,513	2,682,120	110,375,294

(나) 최대지속생산량(MSY), 생물학적허용어획량(ABC) 및 적정노력량 추정

2005년 불락의 추정자원량으로 최대지속어획량(MSY)과 생물학적허용어획량(ABC) 및 적정노력량을 구하였다. 불락의 추정자원량 110,375,29421g(약 110톤)일때, 최대지속적생산량(MSY)은 52,875,284,682g였으며 이때의 노력량(f_{MSY})는 1,284,870마리이다. 생물학적허용어획량은 18,291,847g(약18톤)였으며 이때의 적정노력량 (f_{ABC})은 444,492마리로 나타났다.

표 4-3-4. 통영 조사지역의 조피불락, 불락의 최대지속어획량(MSY)과 생물학적 허용어획량(ABC)과 적정노력량

최대지속어획량 (MSY)	적정노력량 (f_{MSY})	생물학적허용어획량 (ABC)	적정노력량 (f_{ABC})
52,875,284,682g	1,284,870마리	18,291,847g	444,492마리

(2) 조피볼락의 자원량

(가) 자원량 추정

표지 재포획 방법에 의해 추정된 자원량은 다음과 같다(표 4-3-5). 2005년도의 조피볼락의 추정 자원량은 3,548,321마리(799,480,071g)로 2004년 2,954,049마리(502,226,009g)보다 자원량이 증가하였다. 연령군 별로 살펴보면 1세군은 1,013,920마리(43,811,489g), 2세군은 583,045마리(112,340,352g), 3세군은 760,550마리(201,849,923g), 4세군은 825,720마리(239,166,762g), 5세군은 365,078마리(202,311,544g)로 추정되었다. 2005년도의 실제 어획된 조피볼락의 연령비와 추정자원량의 연령비는 그림 4-3-8와 같다.

① 2004년 실제 어획된 조피볼락의 연령군은 1세군이 39.46%로 가장 출현 비율이 높았으며 2세군이 25.83%, 3세군이 21.08%, 4세군이 9.45%, 5세군이 4.28%를 나타내어 연령이 많을수록 비중이 줄어드는 경향은 보였다. 2005년에 실제 어획된 조피볼락의 연령군은 3세군과 2세군이 각각 39.88%, 33.33%로 높은 비율을 차지하고 다음으로 4세군이 17.8%, 1세군이 5.49%, 5세군이 3.5%순으로 나타났다. 2004년의 출현양상보다 1세군이 현저히 줄고 2세군과 3세군이 두터운 조성을 나타내었다.

② 추정자원량은 2004년의 1세군이 40.87%를 차지하였으나 2005년에는 1세군에서 3세군까지 21.43%~28.57%로 비슷한 추정량을 나타내었으며 4세군과 5세군도 각각 16.43%, 10.29%로 2004년보다 증가하였다.

표 4-3-5. 2004, 2005년의 통영바다목장의 표지 방류법을 이용한 조피볼락의 연령군별 추정 자원량

연령군	2004년		2005년	
	추정자원량(미수)	추정자원량(g)	추정자원량(미수)	추정자원량(g)
1	1,162,827	50,245,755	1,013,920	43,811,489
2	762,947	103,798,939	583,045	112,340,352
3	622,634	165,247,064	760,550	201,849,923
4	279,204	114,530,361	825,720	239,166,762
5	126,437	68,403,891	365,078	202,311,544
총자원량	2,954,049	502,226,009	3,548,321	799,480,071

(나) 최대지속생산량(MSY), 생물학적허용어획량(ABC) 및 적정노력량 추정

2005년 조피볼락의 추정자원량으로 최대지속어획량(MSY)과 생물학적허용어획량(ABC) 및 적정노력량을 구하였다. 조피볼락의 추정자원량 799,480,071g(약 799톤)일 때, 최대지속적생산량(MSY)은 358,266,994g(약 358톤)이며 이때의 노력량(f_{MSY})는 1,5901,180마리이다. 생물학적허용어획량은 108,600,233g(약 108톤)였으며 이때의 적정노력량 (f_{ABC})은 481,999마리로 나타났다.

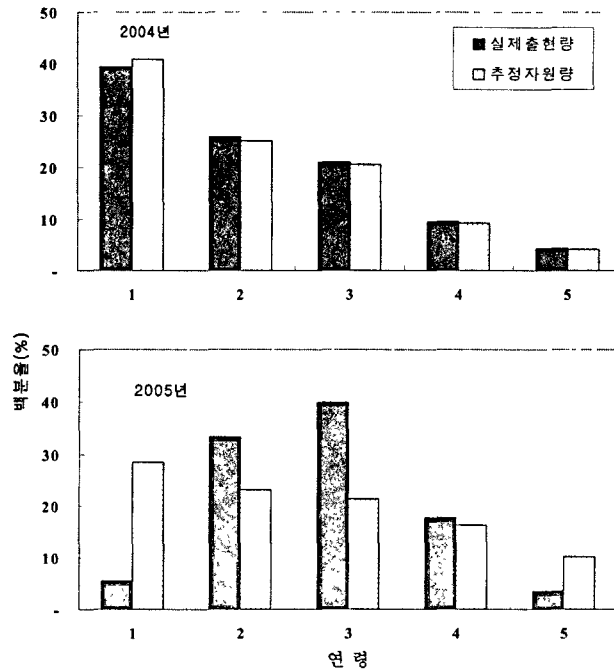


그림 4-3-8. 바다목장에서 어획된 조피볼락의 연령비와 추정된 자원량의 연령비 비교.

표 4-3-6. 통영 조사지역의 조피볼락, 볼락의 최대지속어획량(MSY)과 생물학적 허용어획량(ABC)과 적정노력량

최대지속어획량 (MSY)	적정노력량 (f_{MSY})	생물학적허용어획량 (ABC)	적정노력량 (f_{ABC})
52,875,284,682g	1,284,870마리	18,291,847g	444,492마리

(다) 자원 평가

Beverton and Holt의 모델로 조피볼락에 대해 적정한 순간어획사망계수 (어획강도)와 적정어구가입연령을 추정하는데 필요한 모수로 이론적인 극한전중 (W_{∞}) 1,534.04g, 성장계수 (K) 0.3177 /year, 전장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0) -0.0393세, 순간자연사망계수 (M) 0.8963/year, 어장가입연령 (t_r) 0.0438세, 어구가입연령 (t_c) 0.9338세, 그리고 최대연령 (t_m) 6세를 사용하였다.

어구가입연령(t_c)을 0~5세의 범위에서 단계적으로 변화시켜 순간어획사망계수 (F)에 대한 가입 당 생산량 (Y/R)의 변화를 살펴보았다 (그림. 4-3-9~11).

추정된 어획개시연령 ($t_c=0.9338$)을 기준으로 순간어획사망계수가 0.3170/year일 때의

가입 당 생산량은 16.73g이었다. F 값이 0.40~0.80의 범위에서 최대 가입 당 생산량을 얻기 위해서는 어획개시연령을 1.8세 정도로 높여야 하나 현재의 추정된 F 값이 0.31이므로 최대 가입 당 생산량을 얻기 위해서는 어획개시연령을 1.5세로 높여야한다. 현재 상업적인 어획이 이루어지지 않고 있는 조사지역에서 상업적 어획을 이룰 경우 어구가입연령과 어획강도 (순간어획사망계수)를 적정 어획 곡선인 BB' 위에서 B' 쪽으로 상승시키면 최적의 어획효과를 이룰 수 있다.

현재의 값은 실험 조사된 통발 및 삼중자망어구로 어획된 조피볼락의 체장 분포를 바탕으로 추정된 값들로 실제 어획되는 개체보다 작은 체장의 조피볼락의 데이터 값이 적용되어 있어 현재의 값들을 실질적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 앞으로 어획된 개체의 데이터 값을 보정하여 실질적으로 적용될 수 있는 값을 추정하여야 한다고 사료된다.

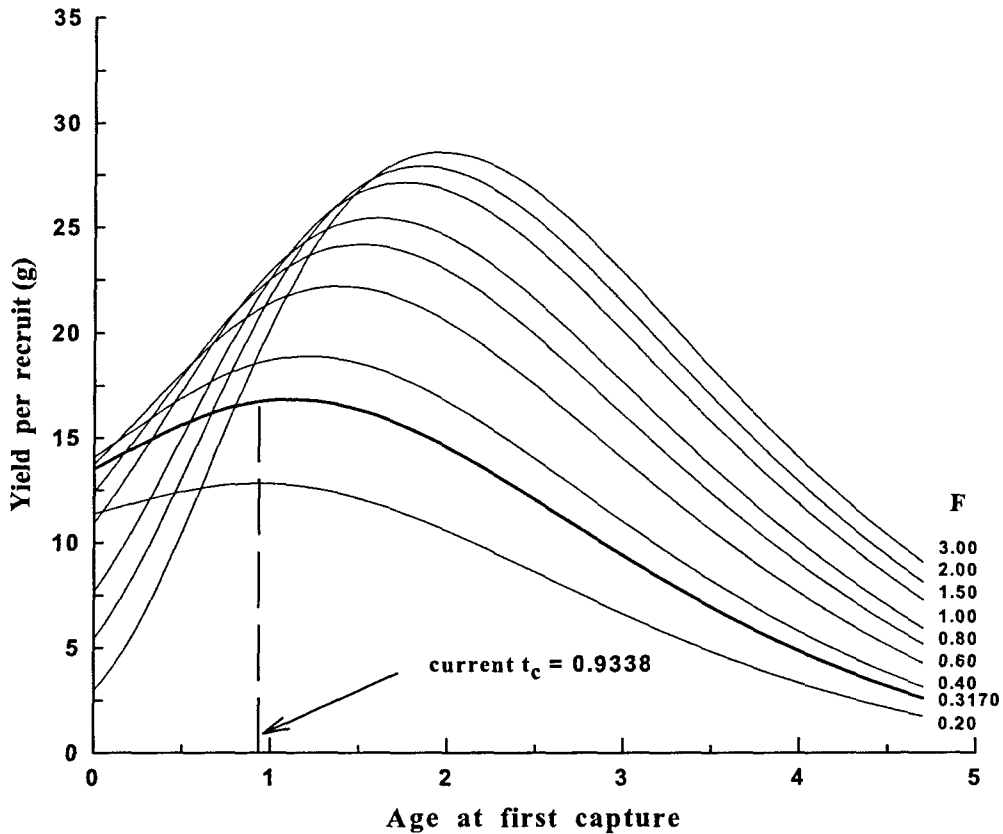


그림 4-3-9. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 어획개시(t_c)에 따른 가입 당 생산량 (Y/R)곡선.

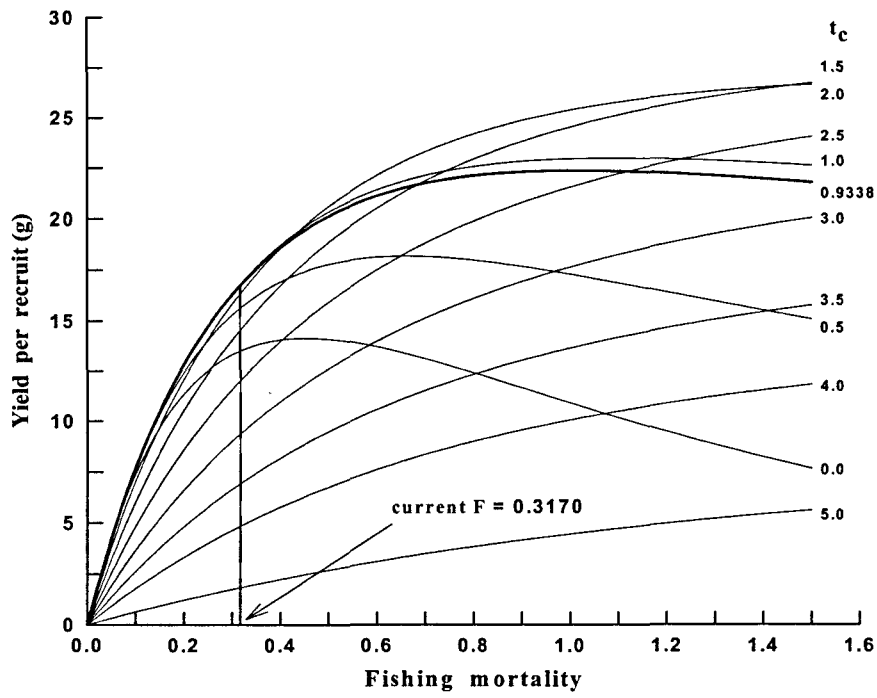


그림 4-3-10. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 순간 어획사망계수(F)에 따른 가입당 생산량 (Y/R) 곡선.

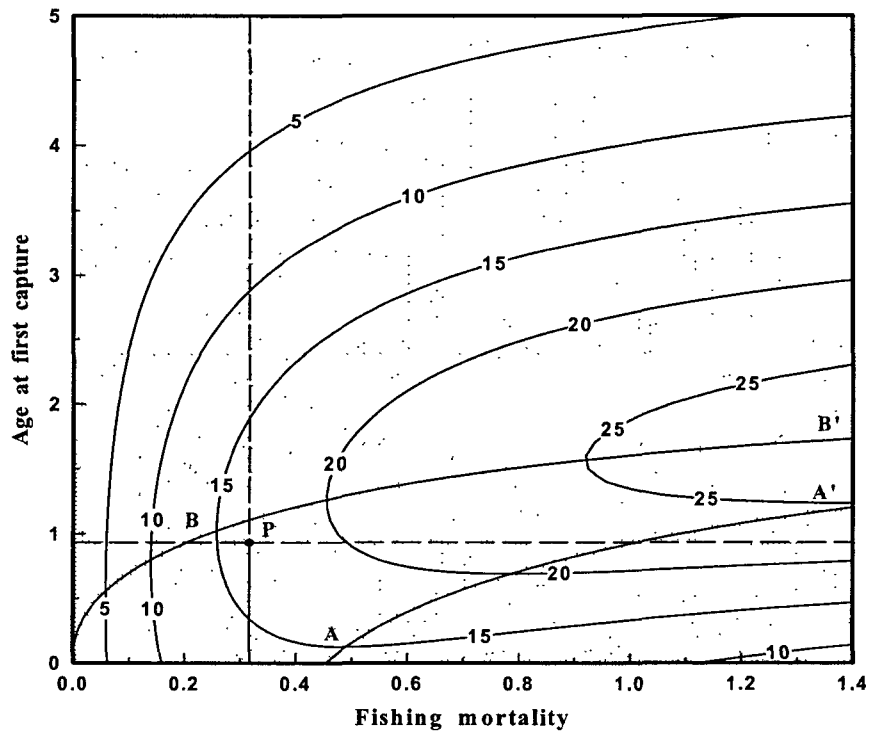


그림 4-3-11. 통영해역에서 채집된 조피볼락의 등 생산량 곡선.

(3) 정치망조사

조사기간 동안 정치망에 어획된 어류는 총 12목 32과 43이 출현하였으며, 그 중 농어목어류 (Perciformes)가 17과 22종으로 가장 많이 출현하였다. 그 다음으로 복어목어류 (Tetraodontiformes)가 3과 3종, 쏨뱅이목어류 (Scorpaeniformes), 가자미목어류 (Pleuronectiformes)가 각각 1과 2종, 홍어목어류 (Rajiformes)를 비롯한 8개목 어류가 1과 1종으로 나타났다 (표 4-3-7).

월별 채집된 어류를 비교하면 다음과 같다 (표 4-3-8, 그림 4-3-12). 개체수를 비교하면, 6월, 10월, 8월, 9월, 7월 순으로 3,555 개체, 1,378개체, 746개체, 647개체, 74개체로, 6월이 가장 높게 나타났으며, 7월은 다른 월에 비해 현저히 낮은 경향을 보였다. 생체량을 비교하면, 8월, 10월, 9월, 6월, 7월 순으로 123,168g, 88,946g, 84,766g, 45,614g, 15,502g으로 나타났으며, 8월이 가장 높은 경향을 보였으며, 7월이 현저히 낮게 나타났다. 월별 출현종수와 개체수에 의한 종다양도지수를 비교하면, 출현종수는 10월, 7월, 8월, 9월, 6월의 순으로 26종, 18종, 17종, 16종, 9종으로 10월이 가장 높았으며, 7월은 개체수 및 생체량은 낮았지만 어종수는 다양한 경향을 보였다. MVSP의 통계처리에 의한 종다양도 지수(H')에서 상용로그로 변환한 후 비교하면, 8월, 9월, 7월, 6월, 10월의 순으로 0.629, 0.538, 0.408, 0.226, 0.19로 8월이 가장 높은 경향을 보였다.

이상에서 6월은 개체수는 많았으나 생체량이 낮은 것은 소형개체가 많았기 때문이며, 8월은 개체수는 낮으나 생체량이 높은 것은 큰 개체가 어획되었기 때문으로, 이로 인해 종다양도지수가 최대치를 보였으며, 10월은 종다양도지수가 낮은 것은 개체수는 6월 다음으로 많으나 소형개체로 인한 생체량의 비중이 낮았기 때문이다.

이상의 월별변동에서 조사당시의 채집방법, 어구 및 어망 상태, 수온, 해류 등 환경적인 요인에 직·간접적으로 영향을 받았다고 사려되며 추후 재검토가 필요하다고 사료 된다.

표 4-3-7. 통영의 정치망에 채집된 어류의 목, 과, 종별 출현 종 수

Class	Order		Family		Species
Actinopterygii	12	Rajiformes	1	Rajidae	1
		Anguiliformes	1	Congridae	1
		Clupeiformes	1	Clupeidae	1
		Lampriformes	1	Trachipteridae	1
		Lophiformes	1	Antennaridae	1
		Mugilidae	1	Mugilidae	1
		Zeiformes	1	Zeidae	1
		Gasterosteiformes	1	Fistulariidae	1
		Scorpaeniformes	2	Scorpaenidae	4
				Platycephalidae	1
		Perciformes	17	Moronidae	1
				Apogonidae	1
	Echeneidae			1	
	Carangidae			4	
	Haemulidae			1	
	Sparidae			2	
	Oplegnathidae			1	
	Cheilodactylidae			1	
	Embiotocidae			2	
	Pomacentridae			1	
Pholidae	1				
Pinguipedidae	1				
Sphyraenidae	1				
Trichiuridae	1				
Scombridae	2				
Centrolophidae	1				
Stromateidae	1				
Pleuronectiformes	1	Paralichthyidae	1		
		Pleuronectidae	2		
Tetraodontiformes	3	Monacanthidae	1		
		Ostraciidae	1		
				Tetraodontidae	2
1	12		32		43

표 4-3-8. 통영의 정치망에 채집된 어류의 개체 수 및 생체량

Scientific name	Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Dominance percent	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Okamejei kenojei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	550	0.03	0.15
<i>Conger myriaster</i>	3	480	1	101	0	0	0	0	2	106	0.09	0.19
<i>Konosirus punctatus</i>	0	0	20	1,340	143	12,000	95	8,000	4	352	4.09	6.06
<i>Trachipterus ishikawae</i>	1	467	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.13
<i>Antennarius striatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	407	0.05	0.11
<i>Mugil cephalus</i>	1	300	22	11,823	122	35,000	52	15,000	2	1,750	3.11	17.84
<i>Monocentris japonicus</i>	0	0	1	70	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02
<i>Zeus faber</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	67	0.02	0.02
<i>Hypodyes rubripinnus</i>	0	0	1	12	0	0	0	0	0	0	0.02	0.00
<i>Sebastes hubbsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23	0.02	0.01
<i>Sebastes schlegeli</i>	1	70	5	614	9	285	5	465	3	279	0.36	0.48
<i>Sebastiscus marmoratus</i>	0	0	0	0	5	645	0	0	0	0	0.08	0.18
<i>Platycephalus indicus</i>	0	0	0	0	1	99	0	0	0	0	0.02	0.03
<i>Lateolabrax japonicus</i>	2	734	1	427	2	497	0	0	0	0	0.08	0.46
<i>Apogon lineatus</i>	0	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0.02	0.00
<i>Echeneis naucrates</i>	0	0	1	12	0	0	1	21	0	0	0.03	0.01
<i>Alectis ciliaris</i>	0	0	0	0	0	0	2	202	1	132	0.05	0.09
<i>Carangoides equula</i>	0	0	0	0	0	0	1	28	1	31	0.03	0.02
<i>Seriola quinqueradiata</i>	0	0	0	0	5	2,116	0	0	0	0	0.08	0.59
<i>Trachurus japonicus</i>	3,510	40,000	8	121	418	65,000	353	55,000	1,219	80,000	86.06	67.07
<i>Parapristipoma trilineatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	92	0.02	0.03
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	0	0	1	129	0	0	0	0	0	0	0.02	0.04
<i>Pagrus major</i>	0	0	3	133	14	5,280	10	605	4	177	0.48	1.73
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	0	0	1	128	1	97	0	0	0	0	0.03	0.06
<i>Cheilodactylus quadricornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	110	0.02	0.03
<i>Ditrema temmincki</i>	30	3,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0.47	0.84
<i>Neoditrema ransonnetii</i>	0	0	3	78	8	228	53	442	66	551	2.03	0.36
<i>Chromis notata</i>	0	0	1	49	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01
<i>Pholis nebulosa</i>	0	0	0	0	0	0	2	170	1	87	0.05	0.07
<i>Parapercis sexfasciata</i>	0	0	0	0	0	0	28	1,426	35	1,783	0.98	0.90
<i>Sphyræna pinguis</i>	0	0	0	0	0	0	22	1,741	18	1,425	0.63	0.88
<i>Trichiurus lepturus</i>	0	0	0	0	0	0	5	105	2	37	0.11	0.04
<i>Scomber japonicus</i>	5	63	0	0	4	326	0	0	0	0	0.14	0.11
<i>Scomberomorus niphonius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	41	0.02	0.01
<i>Psenopsis anomala</i>	0	0	1	10	5	142	8	352	4	176	0.28	0.19

표 4-3-8. 계속

Scientific name	Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Dominance percent	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
<i>Pampus argenteus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	246	0.03	0.07
<i>Paralichthys olivaceus</i>	0	0	2	337	7	1,275	2	730	1	380	0.19	0.76
<i>Eopsetta grigorjewi</i>	0	0	1	108	0	0	0	0	0	0	0.02	0.03
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0.02	0.01
<i>Stephanolepis cirrhifer</i>	2	500	0	0	0	0	5	335	1	67	0.13	0.25
<i>Ostracion immaculatus</i>	0	0	0	0	1	153	0	0	0	0	0.02	0.04
<i>Takifugu niphobles</i>	0	0	0	0	0	0	3	144	1	52	0.06	0.05
<i>Takifugu pardalis</i>	0	0	0	0	1	25	0	0	0	0	0.02	0.01
Total	3,555	45,614	74	15,502	746	123,168	647	84,766	1,378	88,946	100	100

N: number, B: Biomass(g)

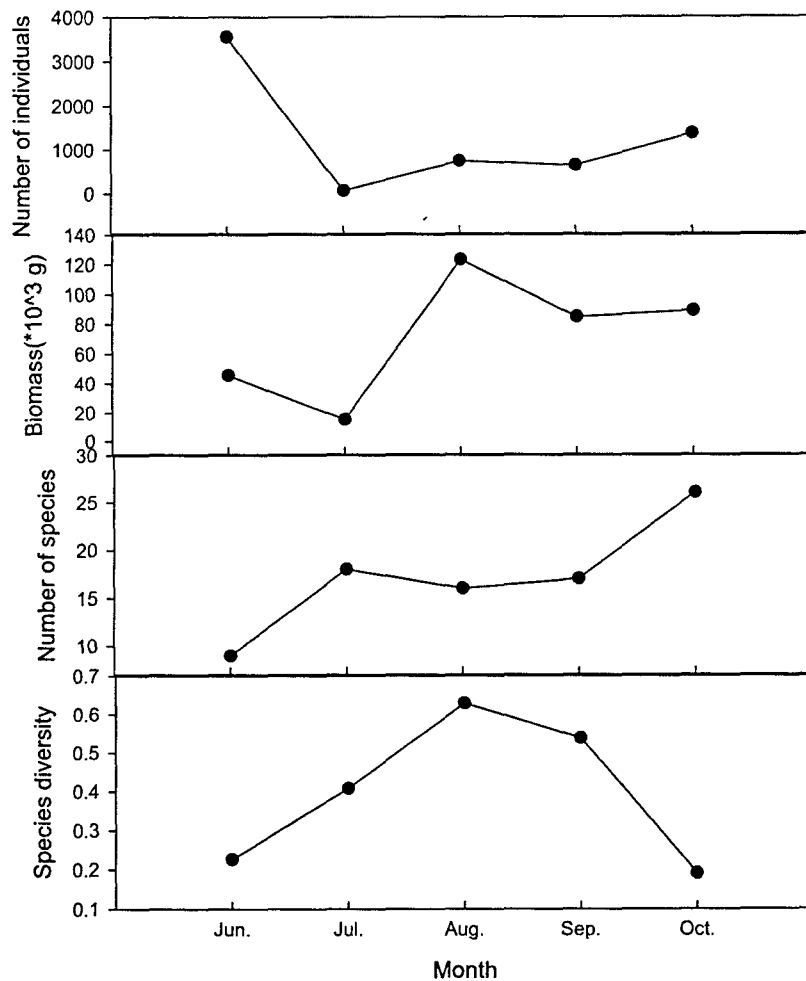


그림 4-3-12. 2005년 6월부터 10월까지 통영에서 채집된 어류의 월별 변화.

나. 어탐조사

(1) 음향 정선 조사

사용한 음향 센서의 특성상 협대역 빔과 광대역 빔에 의한 자료가 생성이 된다. 어군 분포를 나타내는 일반적인 방법으로 협대역 자료를 많이 사용하고 있으나 빔 폭이 작기 때문에 자원량 분포 파악 측면에서 보면 좁은 범위만을 나타내는 한계가 있다(Takao and Furusawa, 1996). 따라서 본 조사에서는 협대역 빔보다는 관측 영역이 넓은 광대역 빔에 의한 자료를 이용하였다.

조사 구역에 방류한 조피볼락, 참돔, 감성돔 등 대상 어종이 계절별, 혹은 수층별로 음향학적으로 분리가 가능한 군을 이루지 못하고 또한 관측 당시 어구 및 다이빙에 의한 직접 채집 및 분류가 되지 않았다. 따라서 음향 자료에 의한 어종 식별 및 어군량 추정은 원천적으로 불가능한 실정이다. 그러므로 본 음향 자료는 어군 종류를 알 수는 없지만 어군으로 판단 가능한 군집의 지리적 위치 및 군집 강도 예측으로 한정될 수밖에 없다. 이를 위해 매 1분 간격(조사선 이동 거리로는 약 140m)으로 음향 자료를 분리하였으며, 공간 및 수직 분포 특성을 파악하기 위하여 표층에서 해저면 까지 잡음을 제거한 반사 강도(S_v) 값으로 나타내었다.

(가) 2월 3일 음향 조사

계량어군탐지기(DT-5000)를 이용하여 얻은 음향 자료를 Echoview(Sona-data)를 이용하여 분석하였다. 그림 4-3-13은 2005년 2월 3일 동해역에 있어서 음향조사 정선을 따라 얻은 음향자료로부터 분석하여 나타낸 수산자원의 수직 분포이며, 또 이것을 GPS의 지리적 위치와 연계하여 수평 분포를 그림 4-3-14에 나타내었다. 그림에서와 같이 조사 시기에 어군 또는 생물에 의한 음향신호는 거의 출현하지 않았다. 이것은 동 시기에는 외해의 회유성 어종이 아직 바다목장 해역 내로 가입되지 않았으며, 조피볼락과 같은 정착성 어류는 해저부근이나 바위사이, 어초 내부에 정착한 상태인 것으로 생각되어, 어군탐지기로 탐지할 수 없는 영역 내에 존재할 가능성이 높은 것으로 생각된다.

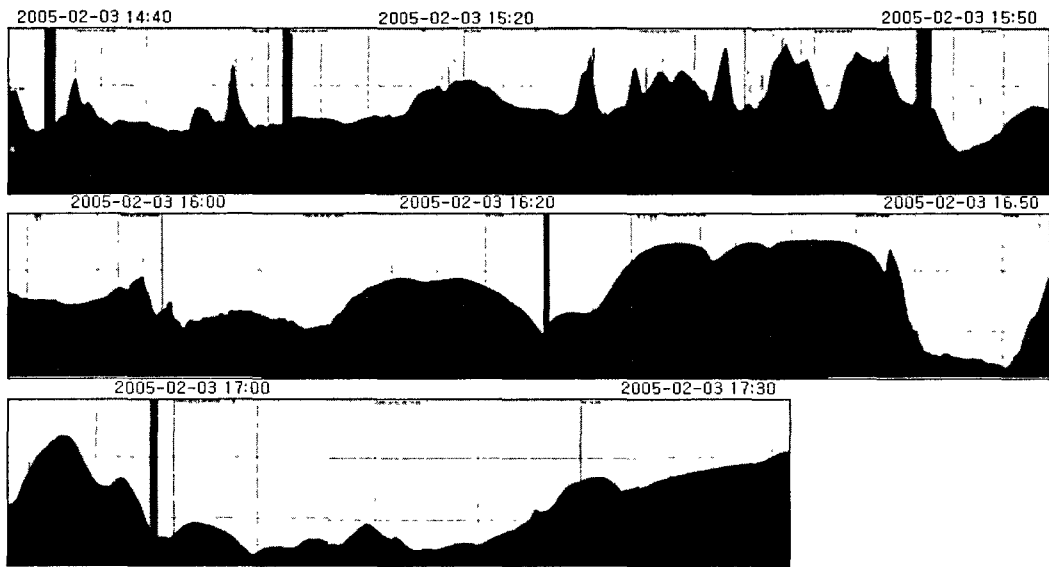


그림 4-3-13. 수산 자원의 수직 분포도(2005.2.3).

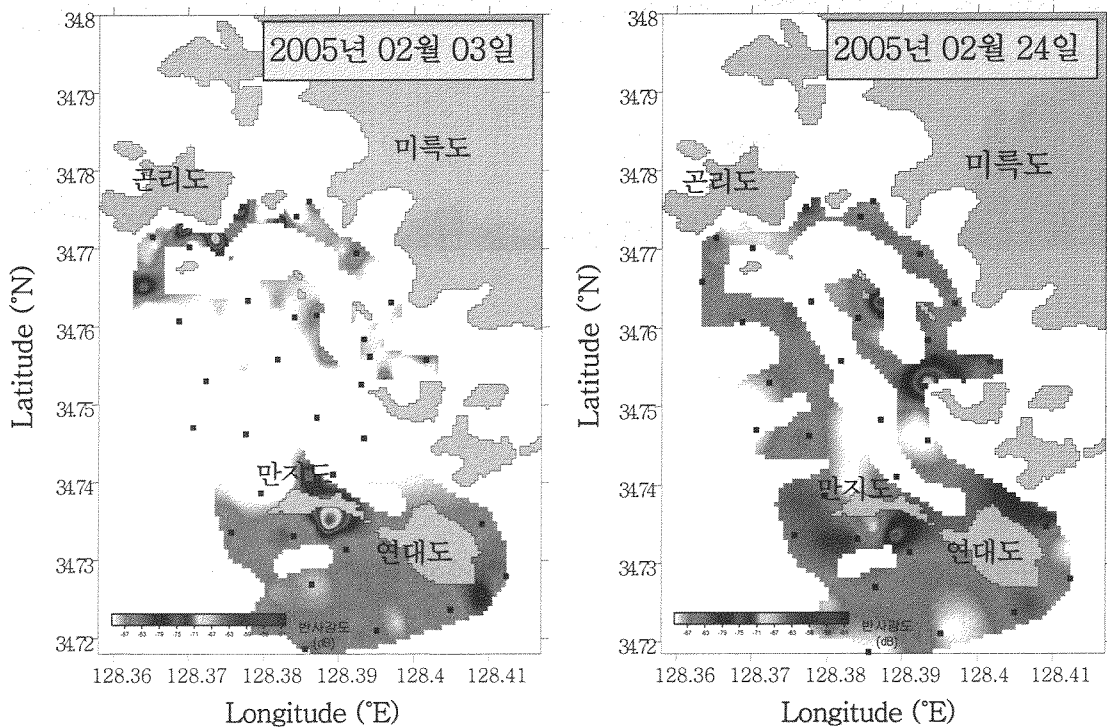


그림 4-3-14. 수산 자원의 수평 분포도(2005.2).

(나) 2월 24일 음향 조사

이 시기는 바다 목장해역 전체적으로는 2월 3일에 비해 생물이 다소 가입된 상황으로 나타났다(그림 4-3-15). 그림에서 조사 선박의 전기 잡음이 일부 나타나 있으며, 그 이외에 표층과 해저 그리고 중층에 Sv가 -70 ~ -80dB의 음향산란층 부유생물이 다소 출현하였다. 지리적으로 보면 그림 4-3-14와 같이 만지도 남쪽, 연대도 주변해역에서 반사강도(Sv)가 -60dB 전후로 강하게 나타났으며 이것은 해표면의 기포와 해저부근의 소형어류에 의한 것으로 생각되어진다. 만지도 남쪽 주변해역에서는 Sv가 -80dB이하의 낮은 반사강도의 분포를 나타내었으며 이것은 부유생물이나 동물성플랑크톤일 것으로 생각되어 진다.

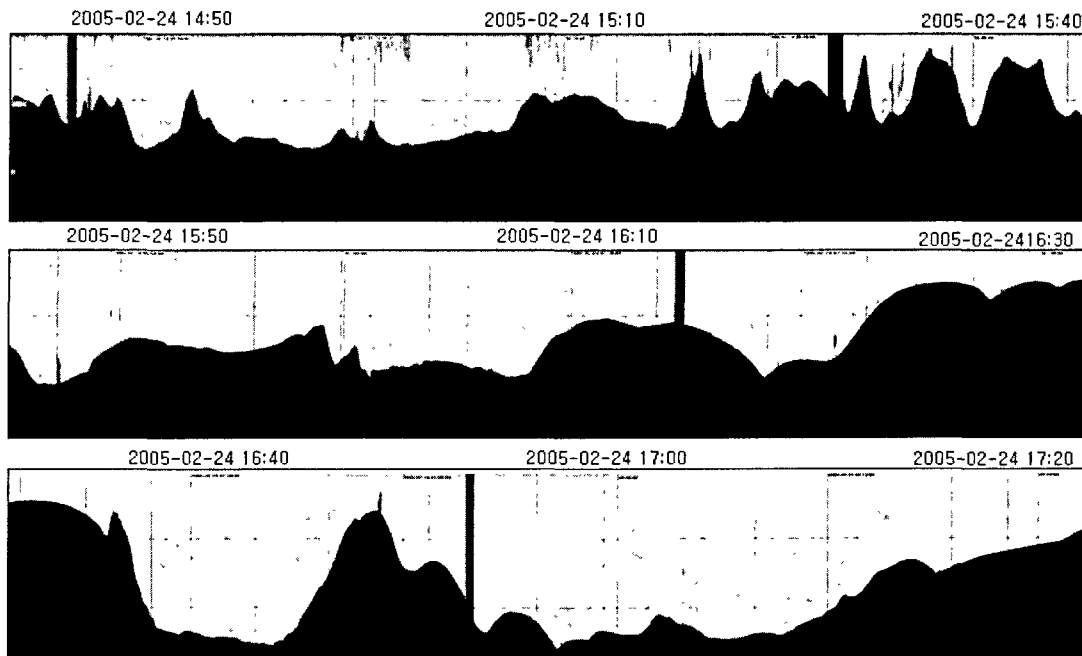


그림 4-3-15. 수산 자원의 수직 분포도(2005.2.24).

(다) 9월 16일 음향 조사

2005년 9월의 음향 조사는 2005년 2월 조사에 비하여 어군의 분포가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 바다목장 전체 해역에서 Sv가 -57~77dB 아주 높게 나타났으며(그림 4-3-16), 지리적으로는 미륵도 남쪽, 곤리도 주변 해역에서 반사강도(Sv)가 -57dB전후의 높게 나타났다(그림 4-3-17).

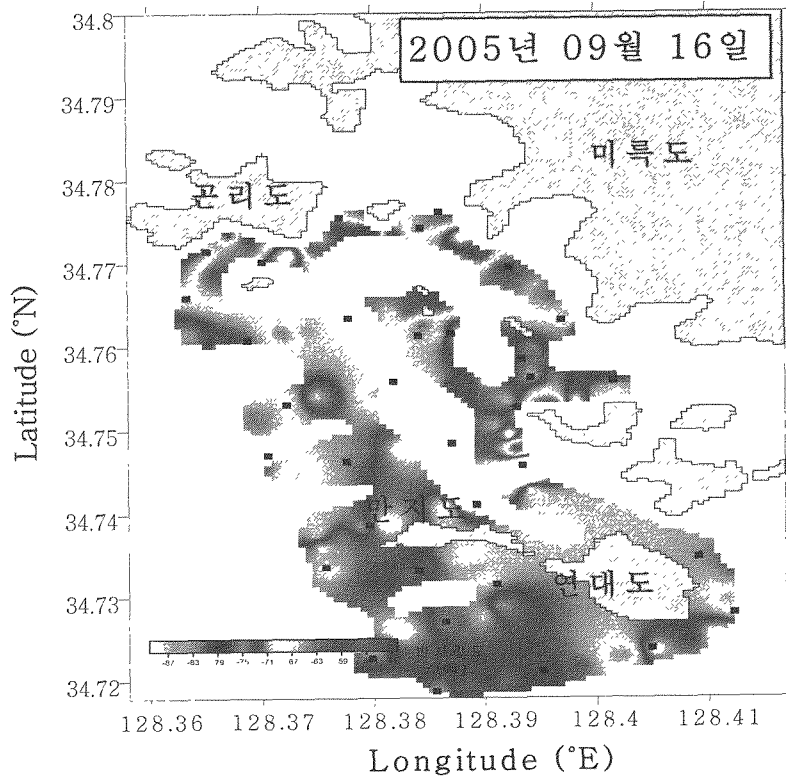


그림 4-3-16. 수산 자원의 수평 분포도(2005.9).

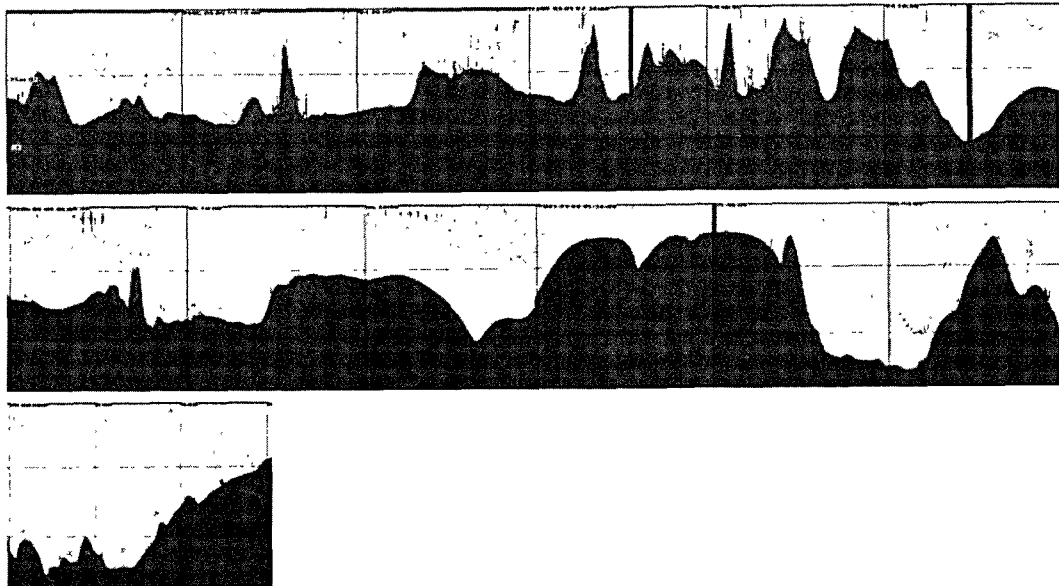


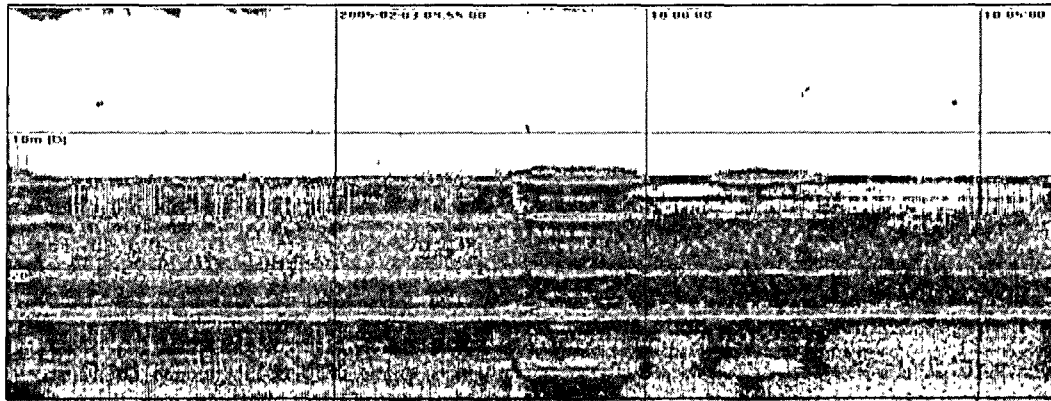
그림 4-3-17. 수산 자원의 수직 분포도(2005.9).

(2) 인공어초 주변에서의 수직 이동 조사 자원조사

(가) 2005년 2월 달 인공어초 주변의 어군분포

2005년 2월 3일과 2월 24일에 소장두도와 죽도사이의 인공어초 위에서 씨앵커를 이용하여 조사선이 인공어초의 직상에 오도록 고정시킨 다음 일몰 1시간 전부터 일몰 2시간 후까지 인공어초주변에 있어서의 어군의 행동을 파악하면서 인공어초 밖으로 나와 부상하는 어군을 대상으로 어군량 파악을 시도해 보았다. 2월 3일과 2월 24일 두 시기 모두 그림 4-3-18과 같이 인공어초 내부에 있는 어군은 일몰 후에도 거의 어초 밖으로 부상하는 행동을 나타내지 않았다. 이는 아직까지 수온이 낮아 정착성 어종이 행동하기에는 수온이 낮을 뿐만 아니라, 먹이 생물이 활발히 활동하지 않기 때문이라고 생각된다.

2005년 02월03일



2005년 02월23일

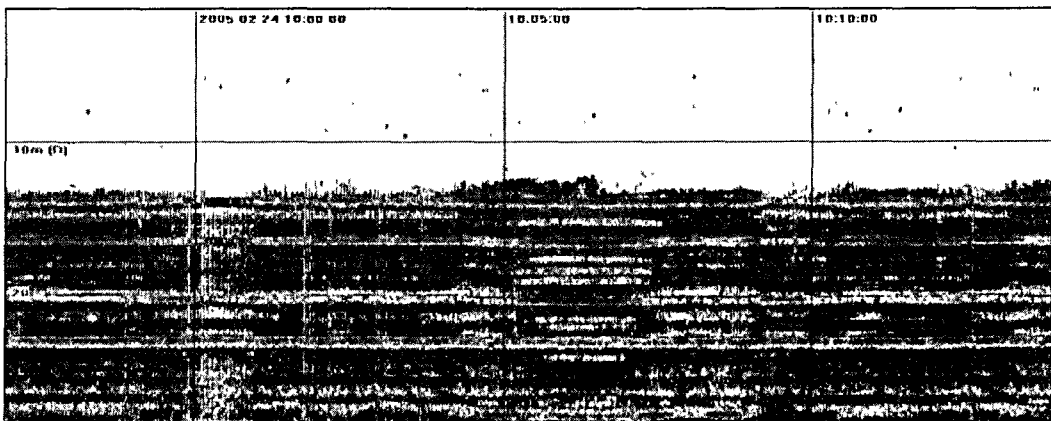


그림 4-3-18. 음향을 이용한 인공어초 주변의 수산 자원 조사(2005.2).

(나) 2005년 9월 달 인공어초 주변의 어군분포

2005년 9월도 2월과 동일한 방법으로 인공어초 위에서 씨앵커를 이용하여 조사선이 인공어초의 직선에 오도록 고정시킨 다음 일몰 1시간 전부터 일몰 1시간 후까지 인공어초 주변에 있어서의 어군의 행동을 파악하면서 인공어초 밖으로 부상하는 어군을 대상으로 어군량 파악을 시도해 보았다.

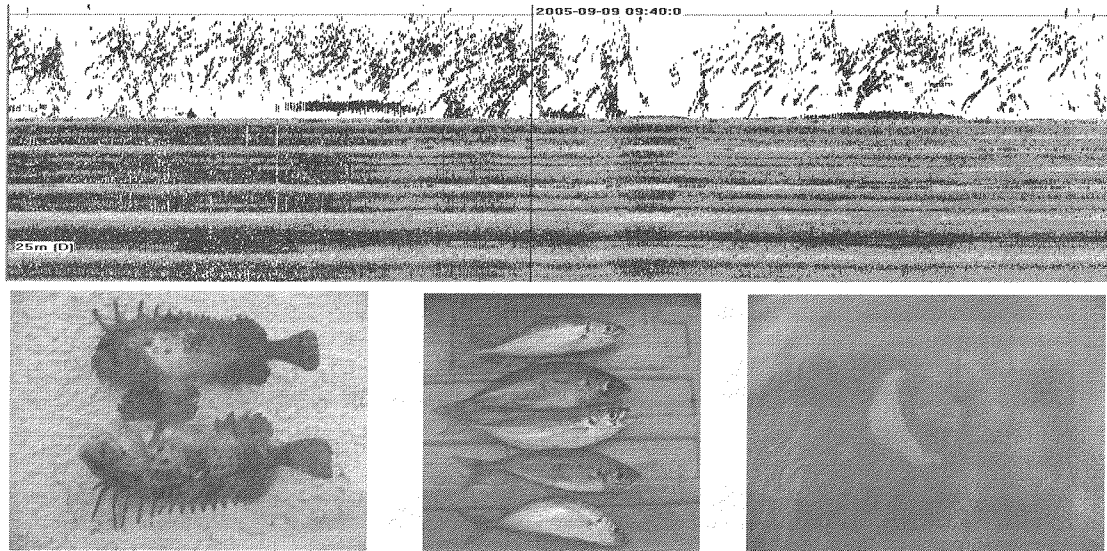


그림 4-3-19. 음향을 이용한 인공어초 주변의 수산 자원 조사(2005.9).

이 시기에는 그림 4-3-19와 같이 인공어초 외부에 어군의 밀도가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 수온의 상승으로 회유성 어종인 고등어와 전갱이가 다량 이 해역으로 유입된 것으로 생각된다.

(3) 음향자료를 이용한 수산자원 분포의 연간 변화

1999년부터 최근까지 통영바다 목장해역에 있어서 수집한 음향자료를 정리하여, 그중 조사시기가 같은 계절만을 추출하여 어군의 년 간 분포 변화를 파악하였다.

(가) 하계(6월~8월)의 수산자원 분포 변화

조사기간 중에 수집한 음향 자료를 계절별로 정리하여 보았다. 그 결과 여름철(하계)에 해당하는 음향 자료는 1999년 8월 13일, 2003년 6월 16일, 그리고 2003년 8월 30일에 수집된 것들이다. 그림 4-3-20은 어군의 분포를 수직으로 나타낸 단면도이며, 그림 4-3-21은 음향자료를 전 수층에 걸쳐 적분한 다음 지리정보와 연계하여 나타낸 것으로 반사강도(Sv)로 나타낸 것이다. 그림 4-3-20에서 보는 바와 같이 여름철에는 통영 바다목장 전

해역에서 부유생물 음향산란층 또는 어군으로 보이는 에코신호가 많이 출현 하였으며, 특히 2003년 6월 16일의 경우는 어군으로 보이는 에코신호의 출현이 탁월하였다. 또 지리정보와 연계하여 나타낸 수평분포(그림 4-3-21)에서는 2003년 6월의 경우 곤리도 주변 해역에서 Sv가 -60dB, 연대도 해역에서-65dB로 나타나, 어군 및 생물의 분포가 가장 탁월하게 나타난 반면, 1999년 8월과 2003년 8월에는 곤리도주변의 내해보다는 만지도 남쪽의 바깥해역에서 Sv가 -75dB로 나타났다.

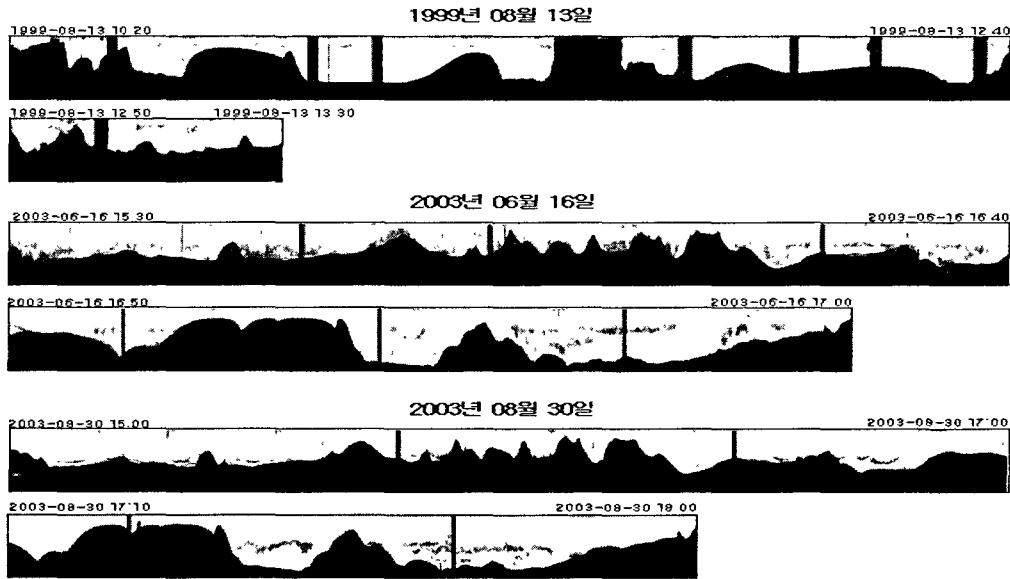


그림 4-3-20. 음향자료를 이용한 하계 수산자원 수직 분포의 연간 변화(1999-2003).

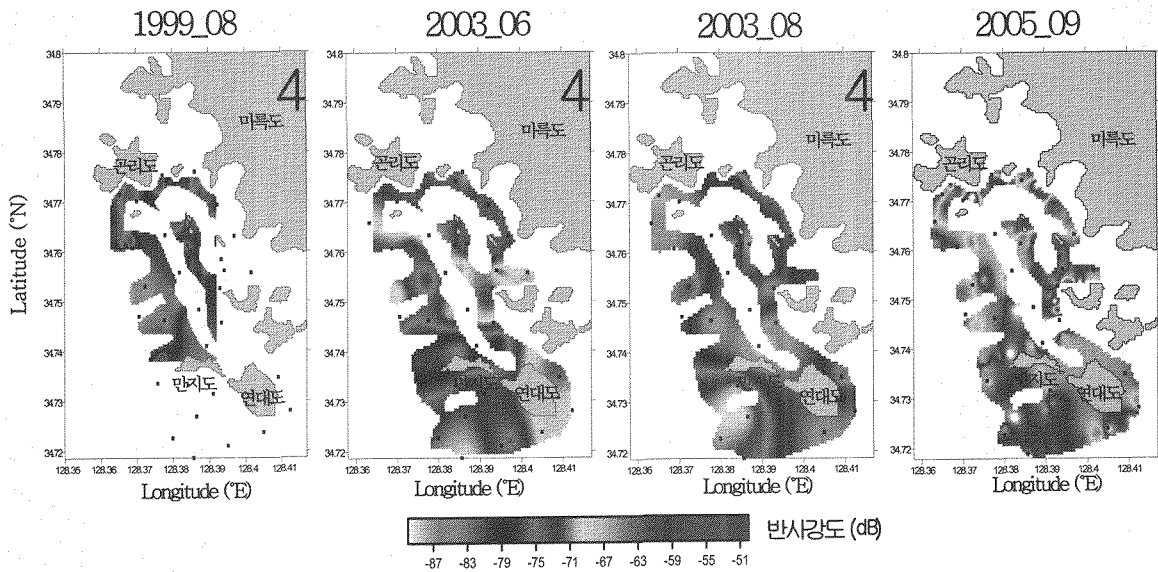


그림 4-3-21. 음향자료를 이용한 하계 수산자원 수평 분포의 연간변화(1999~2005).

(나) 동계(2월)의 수산자원 분포 변화

조사기간 중 수집한 음향자료 중에서 동계에 비교 가능한 자료를 정리한 결과를 그림 4-3-22와 그림 4-3-23에 나타내었다. 그림 4-3-22는 동계의 수산자원의 수직분포를 나타낸 것으로 동계 중에는 앞서 언급한 바와 같이 회유성 어군이나 부유생물이 거의 출현하지 않았으며, 정착성 어군인 조피볼락 등은 바위틈이나 인공어초 내부에서 밖으로 나오지 않은 것으로 생각된다.

그림 4-3-23의 수산자원의 수평분포는 어군이나 음향산란층의 출현이 거의 없었으나 Sv가 -80dB의 아주 낮은 음향산란층이 만지도 남쪽에 분포되어있었으며, 또, 외해쪽으로 갈수록 Sv가 높은 것으로 나타났다.

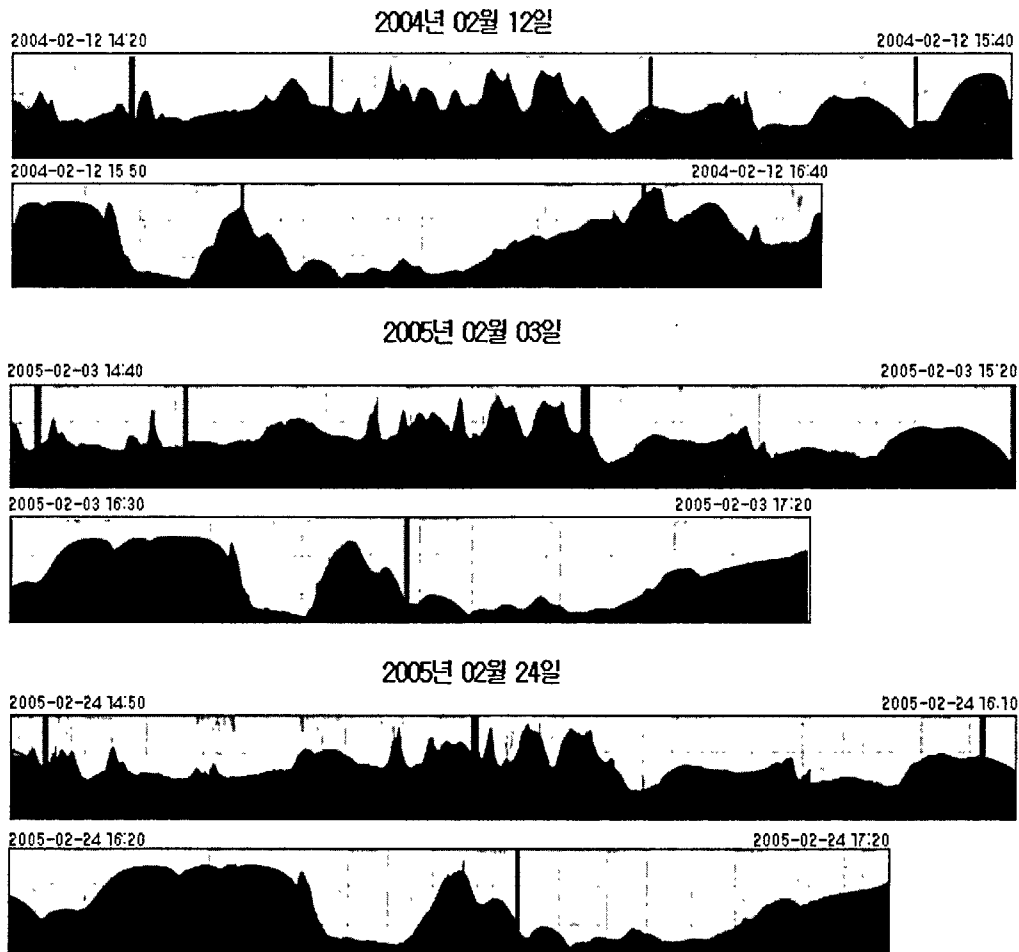


그림 4-3-22. 음향자료를 이용한 동계 수산자원 수직 분포의 연간 변화(2004-2005).

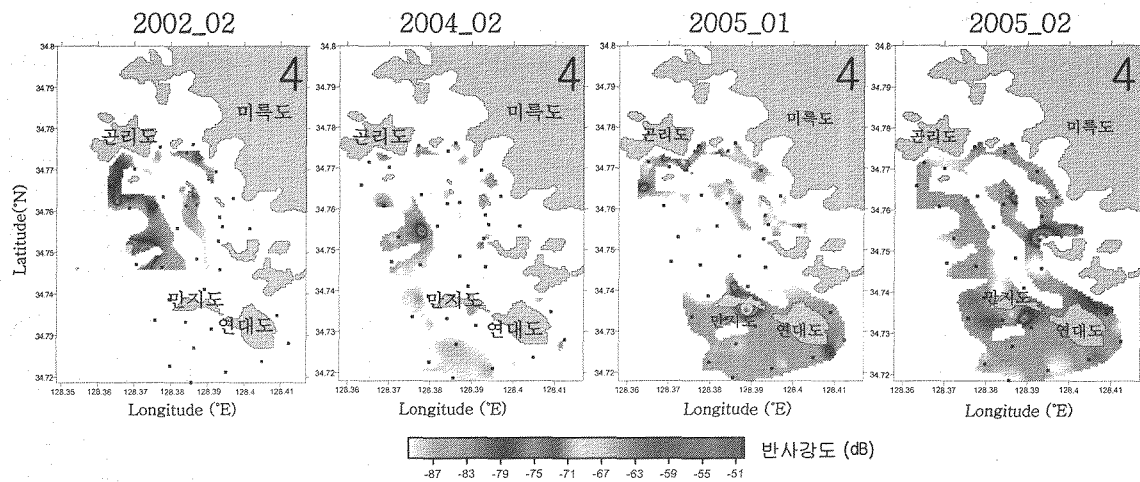


그림 4-3-23. 음향자료를 이용한 동계 수산자원 수평 분포의 연간변화(1999~2005).

(다) 인공어초 위에서의 조사

음향을 이용하여 인공어초 수면의 어군량 평가 기술 개발을 위하여 시도한 결과를 그림 4-3-24와 그림 4-3-25에 나타내었다. 그림 4-3-24는 동계에 있어서 조사한 결과로 인공어초 내에 서식하는 어군이 거의 어초 밖으로 나오지 않음을 알 수 있었다. 반면에 그림 4-3-25에서 보는 바와 같이 2003년 6월 16일과 2003년 8월 30일의 경우는 대량의 어군 또는 개체어가 어초 밖으로 나와 분포하고 있는 것을 알 수 있었다.

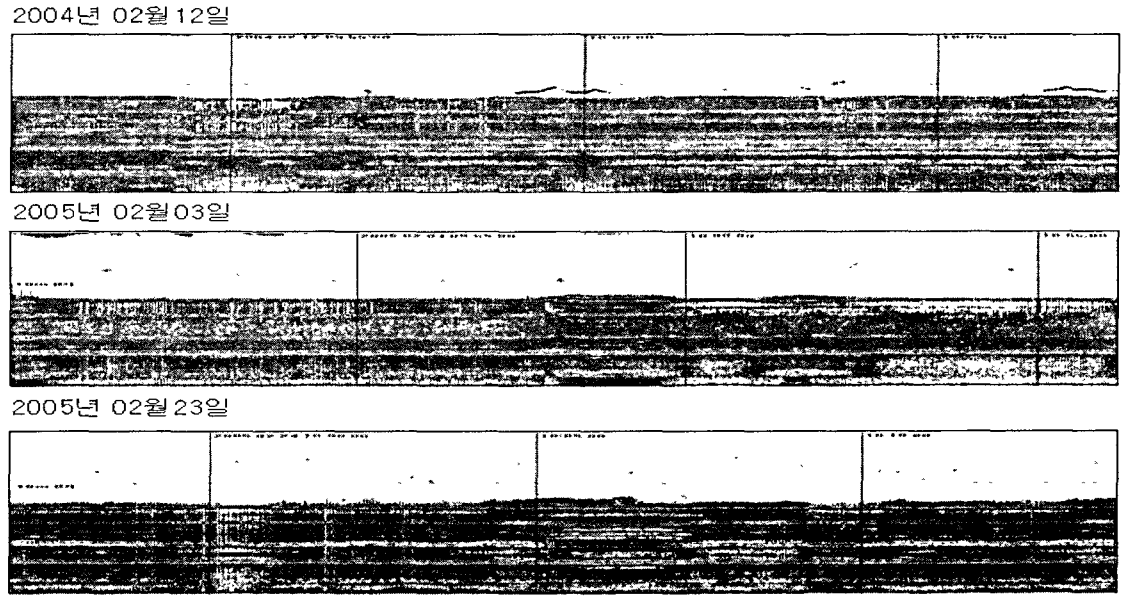
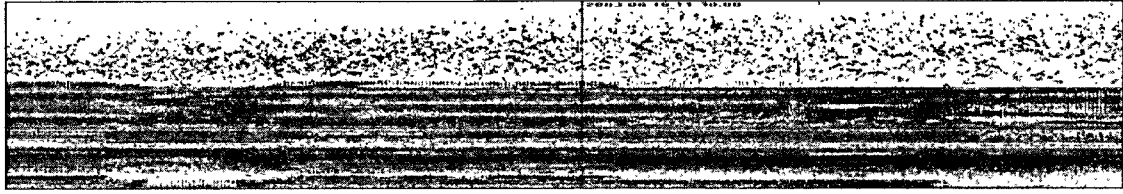


그림 4-3-24. 인공어초 주변 해역에서의 어군행동 조사(동계).

2003년 06월 16일



2003년 08월 30일

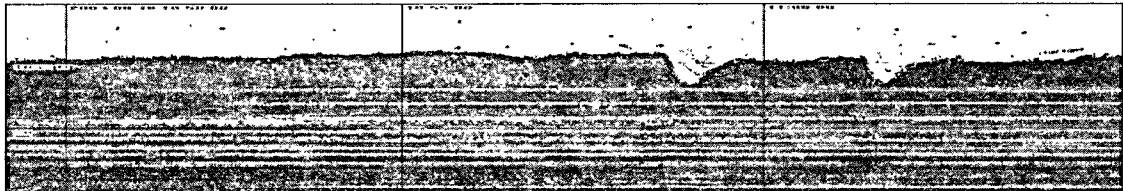


그림 4-3-25. 인공어초 주변 해역에서의 어군행동 조사(하계).

다. 잠수조사

(1) 연대도

2000년부터 2005년까지 연대도 주변에 정한 4개 정점을 대상으로 수중 조사를 실시한 결과 생물상 및 자원량은 다음과 같다(표 4-3-9). 각 정점별 어종 수는 9~20종이었으며 각 정점별 현황은 다음과 같다.

A는 연대도의 북쪽 자갈밭이 펼쳐진 얕은 연안으로 수심 0~7 m범위였다. 조사 지역은 바닥이 지름 0.5~1 m 크기의 작은 암반으로 이루어져 있었으며 관찰된 해역은 수심 6~7 m까지의 약 200 m²였다.

어종수는 1999년 14종, 2000년에는 10종, 2001년에는 11종, 2002년에는 12종, 2003년에는 9종, 2004년에는 10종, 2005년에 13종으로 이 정점에서는 9~14종의 어종이 출현하고 있었다.

그 중 불락은 1999년에는 1마리였으나 2000, 2001년 조사에서는 한 마리도 없었으며 쥐노래미와 독가시치(2001년)만 관찰되었었다. 2002년에는 0세어가 66마리, 2~3세가 3마리 확인되었으며 2003년에는 15~20 cm 급 4마리가 확인되었다. 또한 2004년에는 5~7 cm급 27마리와 15~19 cm 급 31마리, 2005년에는 1~2세어가 6마리, 3~4세어가 5마리 조사되었다.

B는 연대도 동쪽 바위 연안으로 큰 바위와 암반으로 이루어진 바닥이 수심 10 m 전후까지 이어지다가 그 이후는 작은 크기의 바위와 빨, 잔자갈 바닥이 이어지는 특징을 보였는데 수심 17~18 m까지의 약 70 m²가 조사 범위였다.

어종수는 1999년 15종, 2000년에 13종, 2001년에 17종, 2002년에는 18종이었으며 2003년에는 13종, 2004년에는 12종, 2005년에는 24종으로 13~24종이 기록되어 A 정점에 비해

서는 다양한 어종들이 출현하였다.

1999년 조사당시 볼락 1마리, 2000년 조사 시에는 쥐노래미 14마리, 2001년에는 볼락 4마리, 2002년에는 볼락이 총 46마리(0세어 33마리, 1~2세가 13마리), 조피볼락 2마리, 쥐노래미 7마리가 확인되었었다. 2003년에는 15~25 cm 볼락이 53마리 확인되어 2002년에 비하여 개체들이 커진 경향을 나타내었다. 2004년에는 7~9 cm 급 볼락 25마리와 15 cm 급 조피볼락 1마리가 조사되었고, 2005년에 1~2세어가 200마리, 3~4세어가 35마리 조사되었다.

C는 연대도 남쪽 직벽 연안이며 수심 15~16 m까지 급경사를 이루다가 그 후부터는 서서히 깊어지는 경향을 보였고 수심 20 m까지는 암반 지역과 큰 바위로 이루어져 있었으며 그 이상의 수심에서는 크기 약 40~60 cm의 자그마한 바위와 잔자갈, 뿔로 이루어져 있었다. 조사 대상 해역의 넓이는 약 100 m² 넓이였다.

어종수는 1999년에 16종, 2000년에 10종, 2001년에는 20종이었으며, 2002년에 14종, 2003년에는 16종이었다. 2004년에는 13종, 2005년에는 16종으로 이 정점에서는 10~20종의 어종이 확인되었다.

볼락류를 비롯한 수산 어종으로는 1999년에 볼락 7마리, 쥐노래미 8마리, 2000년에는 볼락 8마리, 쥐노래미 4마리, 2001년에는 볼락 0세어 120마리, 15~20cm 급 2마리, 2002년에는 볼락이 총 101마리(0세어 62마리, 15~18 cm 급 39마리), 조피볼락도 18~22 cm 급이 2마리 확인되었으며, 2003년에는 볼락 0세어 23마리, 15~24 cm급 110마리와 조피볼락 22~26 cm 급 33마리가 관찰되었다. 2004년 조사 시에는 볼락 5~7 cm 급 232마리와 15~20 cm 급 31마리가 확인되어 6년간의 조사 중 최고치를 보였다. 또한 12~14 cm 급 흰꼬리볼락 2마리도 처음으로 기록되었다. 2005년에는 인상어가 전체 어종의 72.3%로 가장 많은 출현율을 보였고 수산어종인 볼락이 150마리로 10.5%를 기록하였다.

D는 연대도와 만지도 사이의 좁은 수도로서 조류의 흐름이 강한 곳이었고 수심 8m까지는 크고 작은 바위가 쌓여 있는 바닥이 이어졌고 그 이심에는 잔자갈로 이루어져 있었다. 연대도 연안에서 수심 8 m까지는 볼락이나 정착성 어종이 서식하기에 알맞은 지형을 갖고 있었으며 수심 13 m까지 80 m²범위였다.

어종수는 1999년 조사에서 20종, 2000년에는 13종, 2001년에 16종, 2002년엔 13종이 확인되었으며 2003년에는 12종, 2004년에는 16종, 2005년에는 18종으로 연간 12~20종의 어종이 확인되고 있다.

이 중 볼락류를 비롯한 수산 어종으로는 1999년에 볼락 5마리, 쥐노래미 22마리, 뱅에돔 50마리, 말쥐치 2마리가 확인된 이래 2000년에는 볼락 8마리, 2001년에는 볼락 0세어 45마리, 17~20 cm 급이 4마리, 쥐노래미가 2마리, 뱅에돔이 168마리, 돌돔 8마리 등으로 조사 정점 중 가장 다양한 수산 어종들이 확인된 바 있다. 2002년엔 볼락 80마리(0세어 65마리, 14~17 cm 급 15마리), 조피볼락 2마리(18~22 cm 급), 뱅에돔 177마리로 비교적

많은 개체수가 확인되었으며 2003년에는 볼락이 18~22 cm 급이 7마리, 쥐노래미 2마리가 확인되었다. 2004년 조사에서는 멸치와 송어, 어랭놀래기가 추가되었고, 정점 특성상 조류가 빠르고 바닥 여건이 좋아 매년 확인되는 뱅에돔도 15~22 cm 급 19마리가 발견되었다. 2005년 조사에서도 역시 18~27 cm 급 뱅에돔 85마리가 발견되었으며 12~14 cm 급 자리돔 160마리와 볼락류 200여 마리가 확인되었다.

표 4-3-9. 2005년 8월 연대도 조사 정점(그림 4-3-7)별 어종의 출현 현황

No.	Scientific name	Korean name	Station							
			A		B		C		D	
			TL	No.	TL	No.	TL	No.	TL	No.
1	<i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어	5~8	715	5~7	300	5~7	1000	7~8	3000
			13~15	100	11~14	230	15~17	30	12~16	150
2	<i>Ditrema temmincki</i>	망상어	7~25	30	10~12	15	15~21	14	18~22	15
3	<i>Platycephalus indicus</i>	양태	40~45	2						
4	<i>Seriola quinqueradiata</i>	방어			30~33	400				
5	<i>Parupeneus spilurus</i>	두줄촉수			12	1				
6	<i>Upenes japonicus</i>	노랑촉수			10	1				
7	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i>	청줄돔			3	1				
8	<i>Girella punctata</i>	뱅에돔							18~27	85
9	<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔	40	1						
10	<i>Chromis notatus</i>	자리돔			13~14	200	10~12	4	12~14	160
11	<i>Parapercis sexfasciata</i>	쌍둥가리			12	1				
12	<i>Chaetodon modestus</i>	세둥가리돔			11	1				
13	<i>Springerichthys bapturnus</i>	청황배도라치			7	1				
14	<i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑			7~13	70				
15	<i>Istigobius hoshinonis</i>	비단망둑	12~14	6	12~17	8	8~15	12		
16	<i>Pseudoblennius cottoides</i>	가시망둑			12	1	7~13	4	16	1
17	<i>Sagamia gencionema</i>	바닥문질	6~8	3	7~12	20	5~7	4		
18	<i>Semicossyphus reticulatus</i>	흑돔					24	1	15	1
19	<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기	8~12	14	10~13	12			7~12	25
20	<i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기	12~17	40	14~18	12	12~18	20	5~20	200
21	<i>Pseudolabrus japonicus</i>	황놀래기					20	1	18~19	3
22	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	5~9	70	5~9	100	5~9	175	5~9	150
			8~9	6	5~9	200	6~9	70	5~7	115
23	<i>Sebastes inermis</i>	볼락	17~18	5	14~20	35	15~18	80	15~20	91
24	<i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락			24~25	2			19~24	3
25	<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미	15~18	2			21	1	18~20	3
26	<i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미	15~28	12	12~25	9	15~18	7	15~24	10
27	<i>Pseudoblennius percoides</i>	돌딱망둑							20	1
28	<i>Bero elegans</i>	베로치			7	1				
29	<i>Rudarius ercodes</i>	그물코쥐치	5~7	2	7~8	8	7	1	7~9	4
Number of species			13		24		16		18	

2000년 이후 2005년까지 전반적으로 불락과 조피불락 자원은 증가 추세에 있음을 보여주고 있었다.

불락만 보면 2000년에 16마리, 2001년에 172마리, 2002년에는 296마리로 증가하였으며 2003년에는 5~25 cm 급이 총 197마리가 확인되어 2002년과의 연간 변동 폭은 있지만, 2000년에 비하면 약 12배 가까이 증가한 것으로 추정된다(표 4-3-10, 11). 한편, 조피불락은 이번 조사에서 C정점에서만 확인되었다. 2004년 조사에서는 5~21 cm 급 389마리가 발견되었고, 2005년에는 5~20 cm 급 602마리가 관찰되어 6년간의 조사 중 최고치를 기록하였다. 또한 연대도에서의 6년간 조사에서 나타난 불락 자원량의 생체량을 살펴보면 2000년에는 502g, 2001년에는 3,545.4g이었던 것이 2005년에는 18,693g 으로 약 37배 정도 증가되었다(그림 4-3-26).

표 4-3-10. 1999년부터 2005년까지 연대도 각 조사정점 (그림4-3-7)에서의 출현 어종 수와 몇몇 수산 어종의 출현 현황

Station	A								B								C								D												
Date	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05									
Investigated area(m)	240	240	240	240	240	240	240	105	105	105	105	105	105	105	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	60	60	60	60	60	60	60				
Bottom depth(m)	7	7	7	7	7	7	7	18	18	18	18	18	18	18	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	13	13	13	13	13	13	13				
Number of fish species	14	10	12	12	9	10	13	15	13	17	18	13	12	22	16	16	20	15	16	13	14	20	13	16	12	12	16	16									
Number of each species																																					
<i>Sebastes inermis</i>	1	0	0	69	4	58	11	1	0	1	46	53	25	235	7	8	122	101	133	263	150	5	8	49	80	7	43	206									
<i>Sebastes schlegelii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	2	3								
<i>Hexagrammos otakii</i>	6	5	1	7	5	7	12	8	14	3	5	3	9	9	8	4	1	4	3	4	7	22	0	2	0	2	12	10									
<i>Pagrus major</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							

표 4-3-11. 연대도 주변 불락의 연도별 자원량 변동

Species	June, 2000		August, 2001		August, 2002		August, 2003		August, 2004		September, 2005	
	TL	No	TL	No	TL	No	TL	No	TL	No	TL	No
<i>Sebastes inermis</i>	5~16	16	8~20	172	5~18	296	5~25	197	5~21	389	5~20	602

* 개체수 / 전장 범위(cm)

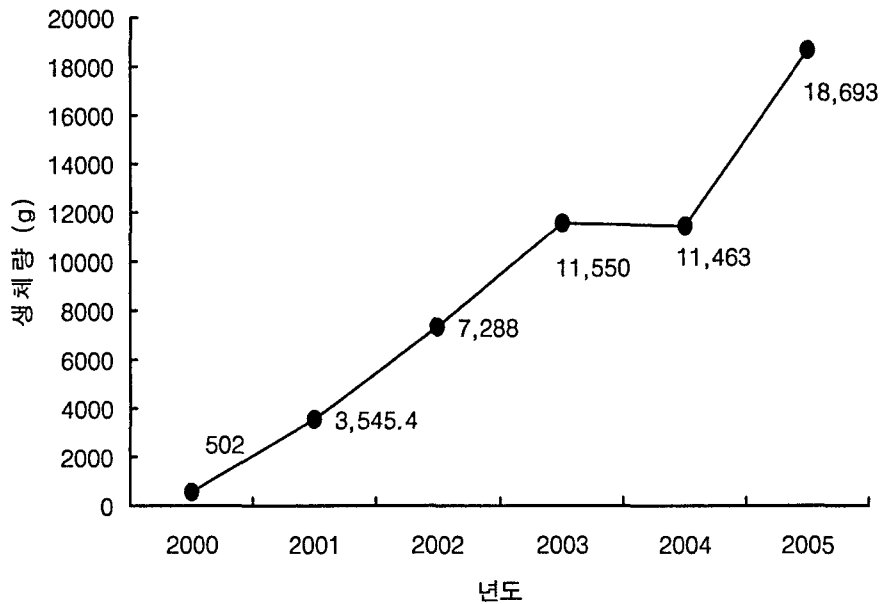


그림 4-3-26. 최근 연대도 연안 불락의 자원량 변화.

(2) 수중구조물에서의 자원조성

각 종 수중 구조물에서의 자원 조성 모니터링은 1단계에 이어서 2단계 4차년도(2005년)까지의 각종 수중 구조물에서의 어류의 출현 현황, 어류상 및 자원 조성 현황을 모니터링하고 있다.

인조해조장 : 저도 서쪽 수심 11 m에 설치된 플라스틱 인조해조장에서 2001년 4월부터 2003년 4월까지 2년간 수중에서 확인된 어종은 총 16종이었다.

이 중에서 년 중 서식하고 있는 종은 인상어였으며 약간의 수적인 변동은 있으나 불락, 조피불락, 미역치 등도 거의 연중 출현하는 경향을 나타내었다. 월별로는 2001년 4월에 불락, 조피불락, 인상어, 미역치의 4종이 출현하였으며 수온이 상승하면서 종수는 점차 증가하여 11월에 12종으로 가장 많은 어종이 확인되었다. 7월 여름철에는 용치놀래기, 어렁놀래기, 놀래기 등 놀래기류가 출현하였으며 11월에는 12종으로 가장 많은 어종이 확인되었다. 2월에는 불락 류 중 불불락 치어들이 많은 수가 서식하고 있었고 5월에는 총 5종 중 불락, 불불락, 조피불락이 3종으로 불락이 60%를 차지하여 인조해조장 구조물이 어린 불락류의 서식장으로 적당한 구조임을 나타내었다(표 4-3-12).

표 4-3-12. 만지도 부근 수중에 설치된 인조해조장에서 확인된 어종 목록

학 명	국 명	'01. 4.	5	6	7	11	'02. 2	5	'03. 4.
1 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어	○	○	○	○	○	○	○	○
2 <i>Ditrema temmincki</i>	망상어		○			○	○		
3 <i>Sagamia geneionema</i>	바닥문절					○			
4 <i>Platycephalus indicus</i>	양태					○			
5 <i>Petrosirtes breviceps</i>	두줄베도라치					○			
6 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔					○			
7 <i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기				○				
8 <i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기		○		○	○			
9 <i>Pteragogus flagellifer</i>	어렁놀래기				○				
10 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○			○	○	○	○
11 <i>Sebastes inermis</i>	불락	○	○		○	○	○	○	○
12 <i>Sebastes thompsoni</i>	불불락						○	○	
13 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피불락	○	○	○	○	○		○	○
14 <i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미		○						
15 <i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미					○	○		○
16 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	쥐치					○			
출현 종 수		4	7	2	6	12	6	5	5

육성용 어초 : 만지도와 저도 사이에 설치되었던 인조해조장은 철재와 플라스틱의 복합 구조물이라는 점에서 제시되었던 문제점인 바닥 철재의 부식으로 약 30~40%의 플라스틱 해조들이 떨어져나가 버려 어초로서의 문제점이 나타났었다. 따라서 해초(잘피류)와 유사한 형태를 나타내기 위하여 철재 띠를 사용하여 만든 새로운 형의 어초를 만들었는데, 철재의 특성상 플라스틱처럼 물결에 흔들리지는 않지만 인조해조장이 가지고 있는 구조적인 장점을 살릴 수 있는 구조물을 고안하게 되었다. 이름은 육성용어초이며 목장 해역에 투하한 것 중 부도 근처에 설치된 것을 조사하였다.

2003년 4월 관찰된 어종은 총 6종으로 인상어가 가장 많은 개체수를 보였으며 20~28 cm 급 조피불락 15마리와 쥐노래미 3마리가 확인되었고, 2005년 7월에도 약 3000마리 정도의 인상어가 관찰되었고 18~20 cm 급 불락 10마리와 18~30cm 급 조피불락 43마리가 조사되었고 노래미, 문치가자미를 포함하여 총 7종이 관찰되었다(표 4-3-13).

표 4-3-13. 부도 부근 수중에 설치된 피라미드 강제 육성용 어초에서 확인된 어종

No.	Scientific name	Korean name	Apr. 2003	July 2005
1	<i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어	○	○
2	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○
3	<i>Sagamia geneionema</i>	바닥문절	○	
4	<i>Parapercis sexfasciata</i>	쌍둥가리		○
5	<i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑	○	
6	<i>Sebastes inermis</i>	불락		○
7	<i>Sebastes schlegeli</i>	조피불락	○	○
8	<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미		○
9	<i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미	○	
10	<i>Limanda yokohamae</i>	문치가자미		○
출현 종 수			6	7

다목적 연안어초 : 2001년 4월 대장두도 남쪽 연안에 설치된 다목적 연안어초에는 설치 한 달 만(5월)에 용치놀래기, 농어 등 8종이 출현하여 대장두도 연안 암반해저와 가까이 위치한 관계로 부근에 서식하는 생물종들이 비교적 빨리 정착하는 양상을 보여주었다. 그 후 6월에 8종, 7월에는 놀래기, 어렁놀래기 등 따뜻한 물을 좋아하는 종들이 출현하여 10종으로 증가하였다가 2002년 2월에는 미역치, 불락, 조피불락, 노래미 등 5종으로 감소하여 수온의 변화와 함께 5~10종의 변동폭을 보였다. 2002년 11월에는 12종, 2003년 1월에 9종, 4월에 4종, 7월에 9종, 10월에 10종으로 설치 후 종의 변동폭은 매년 유사한 경향을 나타내었다.

2004년 1월에는 범돔과 양태가 처음으로 관찰되었고, 4월에는 가시망둑을 포함하여 총 5종이 확인되었다. 이 어초가 설치된 곳은 수심은 얕지만 대, 소장두도 사이의 조류 소통이 좋은 곳이어서 다양하고 그 자원량이 풍부한 경향을 나타내었는데 불락, 조피불락, 쥐노래미, 미역치 등이 년 중 출현하였으며 자리돔, 놀래기, 어렁놀래기 등과 같은 어종들은 여름철에만 일시적으로 출현하였다. 7월에는 불락, 개불락, 쥐노래미 등의 어종을 포함한 14종이 출현하였고, 10월에는 감성돔, 조피불락 등 총 11종이 확인되었으며 4년 조사기간 중 처음으로 청줄돔이 기록되었다. 2005년 1월에는 정착성 어종인 미역치, 불락, 노래미, 쥐노래미의 4종이 확인되어 가을철에 비해 어종이 현저히 줄어드는 경향을 보였다. 4월에는 9~15 cm 급 불락 4마리와 24~35 cm 급 조피불락 2마리를 포함하여 총 6종이 조사되었으며 7월에는 처음으로 관찰된 흑돔을 포함하여 총 13종이 관찰되었다(표 4-3-14).

표 4-3-14. 대장두도 남쪽 연안의 수중에 설치된 다목적 연안 어초에서 확인된 어종

학 명	2001				2002				2003			2004			2005					
	4	5	6	7	11	5	7	11	4	7	10	4	7	10	4	7				
1 <i>Neoditrema ransonneti</i> 인상어			○	○	○			○	○	○				○	○	○				
2 <i>Ditrema temmincki</i> 망상어					○			○		○	○			○	○	○				
3 <i>Pseudoblenius cottoides</i> 가시망둑						○	○						○	○						
4 <i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> 칭줄돔															○					
5 <i>Microcanthus strigatus</i> 범돔													○							
6 <i>Chromis notatus</i> 자리돔			○	○				○		○				○	○	○				
7 <i>Acanthopagrus schlegelii</i> 감성돔					○					○	○			○						
8 <i>Pagrus major</i> 참돔										○	○									
9 <i>Oplegnathus fasciatus</i> 돌돔											○			○						
10 <i>Halichoeres tenuispinnis</i> 놀래기				○										○		○				
11 <i>Halichoeres poeclopterus</i> 용치놀래기		○	○	○	○	○	○	○		○	○			○	○	○				
12 <i>Pseudolabrus japonicus</i> 황놀래기									○											
13 <i>Pteragogus flagellifer</i> 어쟁놀래기				○																
14 <i>Semicossyphus reticulatus</i> 흑돔																○				
15 <i>Lateolabrax japonicus</i> 농어		○																		
16 <i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
17 <i>Sebastes inermis</i> 불락	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
18 <i>Sebastes thompsoni</i> 불불락							○		○											
19 <i>Sebastes schlegelii</i> 조미불락		○	○	○	○	○	○	○	○	○				○		○				
20 <i>Sebastes pachycephalus</i> 개불락														○		○				
21 <i>Platycephalus indicus</i> 양태														○						
22 <i>Pholis nebulosa</i> 베도라치		○		○																
23 <i>Hexagrammos agrammus</i> 노래미		○				○			○		○	○	○	○	○	○				
24 <i>Hexagrammos otakii</i> 쥐노래미		○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○				
25 <i>Stephanolepis cirrhifer</i> 쥐치					○	○		○	○					○	○	○				
26 <i>Rudarius ercodes</i> 그물코쥐치							○		○							○				
27 <i>Thamnaconus modestus</i> 말쥐치														○						
28 <i>Paralichthys olivaceus</i> 넙치			○																	
29 <i>Limanda yokohamae</i> 문치가자미																○				
출현 종 수	1	8	8	10	9	5	8	10	7	9	6	9	10	6	5	14	11	4	6	13

상자형어초 : 불락류와 참돔 등을 주 대상어종으로 개발한 콘크리트 상자형 어초는 높이가 3 m인 작은 단위 어초로서 서로 25 m 떨어지도록 부도와 끈리도 사이 해역에 설치되어 있다.

잠수 조사 시 2001년 5월에는 조피불락과 쥐노래미의 2종 만 확인되었고 7월에 6종, 11월에 9종, 2002년 2월에 6종, 5월에 3종이었으며 2003년 7, 11월에도 각각 6종이 확인되었고 2004년 조사 시에도 1월에 5종, 4월에 5종, 7월에 2종이 관찰되었다. 2005년 7월에는 불락, 조피불락, 바닥문절을 포함하여 총 8종이 조사되었다(표 4-3-15).

이 어초는 수중 조사 시 느끼는 바로는 해당 해역의 수심과 편평한 사니질 바닥인 해저면을 고려한다면 어초의 크기가 낮고 작은 점, 각 어초가 고립된 구조물로 설치되어 있다는 점, 가장 위부분에 천장 구조물이 없어 음영을 이용하는 어종들의 군집 형성이 어려운 점 등으로 인하여 대장두도 북쪽 연안에 설치된 다른 어초들에 비하여 상대적으로 어류 군집의 크기가 작은 것이 아닌가 생각되었다. 즉, 2002년 7월 조사 당시와 같이 많은 양의 어류 군집이 일시적으로 확인된다 하더라도 다시 그 양이 감소하는 등 조사 시 마다 큰 폭의 변화를 보이는 양상을 나타내고 있었다. 또, 작년 태풍 매미호로 인한 양식산 어류들이 대량 방류되어 조피불락과 같은 어종들이 일시적으로 어초에 많이 모여드는 현상도 있었으나 2004년 7월에는 예년에 비해 작은 종수를 보이다가 2005년 7월부터는 다시 원래의 자원상태로 돌아가는 계절적인 변동을 보였다. 따라서 이 어초는 향후 어초 배치, 어초 구조개선 등에 대한 상세한 연구, 수정 작업이 필요한 어초라 생각되었다. 특히, 이 어초는 수심이 18~25 m 수층에 설치되어 있는데 지금까지의 통영바다목장 해역 내 설치된 다른 어초들의 불락류의 군집 특성을 고려할 때 이 어초의 높이가 낮은 점(3 m)은 수중 공간의 이용 극대화란 측면에서는 아쉬운 점이라 판단되었다.

선박어초 : 2000년 12월 27일 경상남도 통영시 산양면 대장두도 북쪽 수심 12~15 m에 설치한 한 척의 목선 어초를 대상으로 주기적으로 어류를 중심으로 한 생물상 변화를 잠수 조사를 통하여 모니터링하고 있다.

2000년 12월 설치 후 한 달이 지난 2001년 1월부터 3개월 주기로 어초에 군집한 어종은 표 4-3-15에 나타내었다.

설치 한 달 후인 2001년 1월에는 연안 어종인 인상어, 불락, 쥐노래미와 참돔 4종만 관찰할 수 있었으나 4월에 5종, 5월에 12종, 7월에 9종, 11월에 11종, 2002년 2월에 7종이어서 수온의 상승하강에 따라 5~11종의 변동 폭을 보였고 이러한 현상은 매년 반복되었다. 2003년에는 1월에 6종, 4월에 8종, 7월에는 15종으로 증가하고 10월에는 12종이 확인되었으며, 2004년 1월과 4월에는 각각 8종, 7종이 관찰되었다. 그 후 7월에 10종, 10월에는 4년 조사 중 처음 기록된 흰줄망둑, 전갱이, 쌍동가리를 포함하여 총 11종이 확인되었다. 2005년 1월에는 불락, 조피불락 등을 포함하여 6종이 발견되었으며, 4월에는 두줄망둑

이 새로이 기록되었고 수산어종인 볼락류 돔류, 노래미류를 포함하여 총 10종이 관찰되었다. 7월에는 볼락, 볼볼락 등의 4 종의 볼락류와 망둑류들을 포함하여 총 14종이 확인되었다(표 4-3-15).

표 4-3-15. 부도 북쪽 연안의 수중에 설치된 콘크리트(상자형) 어초에서 확인된 어종

학 명	국 명	2001			2002			2003		2004		2005		
		5	7	11	2	5	7	11	7	10	1	4	7	7
1 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어			○	○		○	○	○	○	○	○	○	○
2 <i>Ditrema temmincki</i>	망상어				○							○		○
3 <i>Sagamia geneionema</i>	바닥문절			○						○				○
4 <i>Pterogobius zonoleucus</i>	흰줄망둑									○				
5 <i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑		○											
6 <i>Parapercis sexfasciata</i>	쌍동가리		○											
7 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔			○										
8 <i>Apogon semilineatus</i>	줄도화돔			○						○				
9 <i>Epinephelus septemfasciatus</i>	능성어		○											
10 <i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기													○
11 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치		○	○	○	○	○	○			○	○	○	○
12 <i>Sebastes inermis</i>	볼락						○	○	○	○	○			○
13 <i>Sebastes thompsoni</i>	볼볼락				○		○	○	○					
14 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○
15 <i>Sebastes vulpes</i>	누루시볼락													○
16 <i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미	○		○	○	○	○				○			
17 <i>Pholis nebulosa</i>	베도라치		○											
18 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	쥐치			○										
19 <i>Thamnaconus modestus</i>	말쥐치			○										
출현 종 수		2	6	9	6	3	6	6	5	6	5	5	2	8

표 4-3-16. 대장두도 북쪽 연안의 수중에 설치된 선박어초에서 확인된 어종

No.	Scientific name	Jan. 2001	Apr.	May	July	Nov.	Feb. 2002	May	July	Nov.	Jan. 2003	Apr.	July	Oct.	Jan. 2004	Apr.	July	Oct.	Jan. 2005	Apr.	July
1	<i>Neoditrema ransonneti</i> 인상어	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	<i>Ditrema temmincki</i> 망상어			○	○		○		○			○			○	○	○	○			○
3	<i>Sagamia geneionema</i> 바닥문절						○			○											
4	<i>Pterogobius zonoleucus</i> 흰줄망둑																	○			
5	<i>Tridentiger trigonocephalus</i> 두줄망둑																			○	
6	<i>Pseudoblenius cottoides</i> 가시망둑			○									○								○
7	<i>Pterogobius zacalles</i> 다섯동갈망둑				○					○		○					○				○
8	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> 창줄돔						○														
9	<i>Chaetodon modestus</i> 세동가리돔			○									○								
10	<i>Oplegnathus fasciatus</i> 돌돔			○		○				○			○	○					○		○
11	<i>Pagrus major</i> 참돔	○			○							○	○	○							
12	<i>Acanthopagrus schlegelii</i> 감성돔									○				○					○		○
13	<i>Trachurus japonicus</i> 전갱이																		○		○
14	<i>Parapercis sexfasciata</i> 쌍동가리																		○		
15	<i>Halichoeres poecilopterus</i> 용치놀래기			○	○	○		○	○				○	○				○			○
16	<i>Halichoeres tenuispinnis</i> 놀래기												○								
17	<i>Semicossyphus reticulatus</i> 흑돔													○							○
18	<i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19	<i>Sebastes inermis</i> 불락	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	<i>Sebastes thompsoni</i> 불불락					○				○				○							○
21	<i>Sebastes schlegelii</i> 조피불락		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22	<i>Sebastes vulpes</i> 누루시불락		○												○		○				○
23	<i>Platycephalus indicus</i> 양태																				○
24	<i>Hexagrammos agrammus</i> 노래미			○					○	○			○	○	○	○	○	○		○	○
25	<i>Hexagrammos otakii</i> 쥐노래미	○		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
26	<i>Pholis nebulosa</i> 베도라치			○				○													
27	<i>Limanda yokohamae</i> 문치가자미											○									
28	<i>Stephanolepis cirrhifer</i> 쥐치					○	○	○	○	○	○		○								○
29	<i>Thamnaconus modestus</i> 말쥐치					○							○	○				○			
30	<i>Rudarius ercodes</i> 그물코쥐치				○																
출현 종 수		4	5	12	9	11	7	8	9	12	6	8	15	12	8	7	10	11	6	10	14

이 목선어초에서 바다목장의 주 어종이라 할 수 있는 볼락류의 종별 개체 증가는 그림 4-3-27에 나타내었다. 2001년 1월에는 목선어초 내부와 주위에서 볼락만 100여 마리가 관찰되었으나 4월에는 볼락 224마리, 조피볼락 11마리 외에 누루시볼락 1마리가 관찰되었다. 7월에는 볼락 500여 마리, 조피볼락 343마리로 큰 폭의 증가가 확인되었다. 11월 조사에선 볼락류의 마리수가 감소하여 볼락 167마리, 조피볼락 265마리를 확인할 수 있었다. 2002년 2월에는 볼락이 645마리, 조피볼락이 175마리였으며 5월에는 볼락이 425마리, 조피볼락이 319마리, 7월에는 볼락 450마리, 조피볼락 343마리를 기록하고 있었다.

2002년 11월에는 볼락 1,250마리로 증가한 반면 조피볼락은 250마리로 조금 감소하였다가 2003년 1월에는 볼락이 1,090마리, 조피볼락은 449마리로 증가하였다. 그 후 4월에는 볼락 900여 마리, 조피볼락이 1,224마리였으며 7월에 조피볼락이 조금 감소하였지만 10월에는 4월과 유사한 마리수(볼락 900마리, 조피볼락 1,170마리)로 회복되었다. 2004년 1월에는 조피볼락이 550여 마리, 볼락은 1,000여 마리가 확인되었다. 4월에는 조피볼락 315마리, 볼락 700마리, 7월에는 조피볼락 105마리, 볼락 600, 10월에는 조피볼락 350마리, 볼락 400마리가 확인되어 작년의 같은 시기에 비해 조피볼락의 양이 조금 감소한 것으로 기록되었다. 2005년 1월 조사 시 볼락은 3000마리, 조피볼락은 115마리가 관찰되어 볼락의 확연한 증가를 보였고 조피볼락은 다소 감소한 경향을 보였다. 그러나 지난 4년간의 전체적인 변화를 보면 볼락과 조피볼락은 천천히 그 자원량이 증가하는 경향을 보였다.

목선어초에 서식하는 볼락류의 군집 특성을 보면 조사 시의 물 흐름 방향이나 세기에 따라 조금씩 차이는 있었으나 그중 어선의 뒤 아래 부분 그늘진 곳, 기관실 부근 및 상부 갑판의 철제망 그늘아래에서 많은 수의 볼락, 조피볼락 등이 군집을 관찰할 수 있었다.

4년간의 조사 기간 중 볼락과 조피볼락의 군집 패턴은 크게 달라지지 않았다.

선박어초에 출현하는 어류의 종수를 현재 통영바다목장 내에 설치된 다른 구조물이나 어초에서 확인되는 어종수와 비교해보면 그림 4-3-27에 나타낸 바와 같다.

통영바다목장에 설치된 어초나 실험용 수중 구조물은 전체적으로 계절에 따라 유사한 경향을 가지고 어종수가 변하고 있는데, 즉 7, 11월을 중심으로 한 고수온기에는 어종수가 증가하였다가 2월을 전후한 저수온기에는 어종수가 감소하는 경향을 보였다. 이 중 선박어초는 다른 어초에 비하여 비교적 다양한 어종수가 항상 출현하고 있음을 알 수 있다.

대장두도 북동쪽에 위치하고 있는 조사 대상이 된 한 척의 목선 어초는 조류 소통이 매우 좋고, 바닥에 높이가 낮은 암초대가 형성되어 있는 곳으로서 다양한 어종들이 계절에 따라 출현하였고 주 대상어종인 조피볼락과 볼락의 마리 수 증가와 함께 현재까지는 좋은 결과를 나타내고 있다고 할 수 있다. 2001년 11월부터 2005년 7월까지의 조피볼락 중 전장 30~40 cm 급의 3년생들이 다수 포함되어 있고 볼락 역시 20~25 cm 급 이상의 대형급들이 섞여 관찰되고 있어 이 선박어초는 수심이 14~15 m 로 얕은 곳에 위치하고 있지만 이미 어장으로서 이용이 가능한 수준으로 자원이 조성된 것으로 판단되었다.

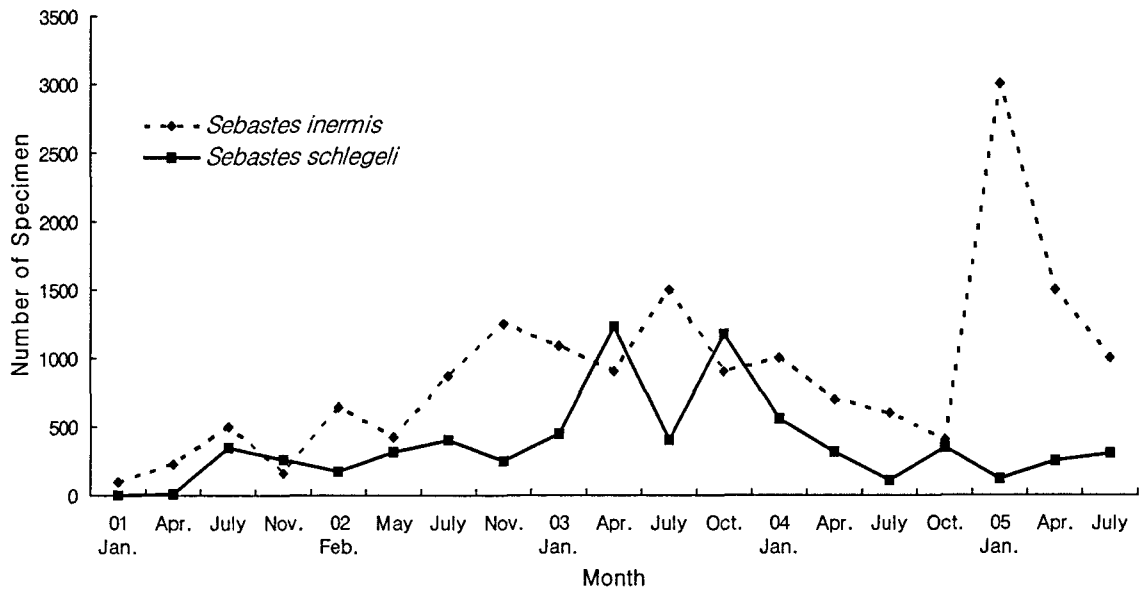


그림 4-3-27. 선박어초에서의 볼락류 개체수 변화.

강제어초(연약지반형) : 대장두도의 북쪽 연안 수심 7~9 m에 설치되어 있는 연약지반형어초는 조류의 소통이 매우 좋고 어초 바닥과 주위에 높이가 낮은 작은 암반이 발달해 있으면서 대장두도 바위 연안과도 가깝기 때문에 항상 다양하고 많은 개체수의 어류가 서식하고 있었다. 1999년 포항제철에서 제작하여 바다목장 해역 내 설치하였던 3기의 강제 어초 중에서 크기는 가장 작지만 항상 가장 많은 양의 어류들이 확인된 어초이다.

어종수는 2001년 1월에는 참돔을 포함하여 7종, 4월에는 볼락, 조피볼락을 포함하여 5종, 7월에는 10종, 11월에는 11종으로 증가하였다가 2002년 2월과 5월에는 6종으로 감소하였다. 다시 7월에 8종, 11월에는 9종으로 증가하였으며 2003년 1월에는 참돔 등 어종이 사라지면서 다시 6종, 4월에 4종으로 감소하였다가 7월에 17종으로 증가하였고 10월에 10종이 확인되었다. 2004년 1월에는 볼락, 조피볼락을 포함하여 7종이 관찰되었으며, 4월에는 6종, 7월과 10월 각각 9종과 12종이 조사되었다. 2005년 1월에는 7종, 4월에는 6종이 확인되었으며, 7월에는 새로이 기록된 그물코쥐치를 포함하여 총 12종으로 과년도와 같은 시기와 유사한 결과를 보였다.

지금까지의 어종 수는 5종에서 17종으로 계절에 따라 그 변동 폭이 크고 수온이 낮은 2~4월에 어종 수가 감소하였다가 수온이 높은 7~11월 사이에 증가하는 양상을 반복하고 있다(표 4-3-17).

표 4-3-17. 대장두도 연안 강제어초(연약지반형) 부근에서 확인된 어종

No	Scientific name	Jan. 2001	Apr.	July	Nov.	Feb. 2002	May	Jul.	Nov.	Jan. 2003	Apr.	July	Oct.	Jan. 2004	Apr.	July	Oct.	Jan. 2005	Apr.	July
1	<i>Neoditrema ransonneti</i> 인상어	○	○	○	○			○	○	○		○	○	○			○	○		
2	<i>Ditrema temmincki</i> 망상어			○					○			○	○		○	○	○		○	○
3	<i>Pseudoblennius percoides</i> 돌딱망둑				○															
4	<i>Pseudoblennius cottoides</i> 가시망둑											○				○				○
5	<i>Pterogobius zacalles</i> 다섯동갈망둑																	○		
6	<i>Sagamia geneionema</i> 바닥문질				○				○											
7	<i>Parapercis sexfasciata</i> 쌍둥가리											○						○		
8	<i>Petroscirtes breviceps</i> 두줄베도라치																	○		
9	<i>Chaetodontoplus septentrionalis</i> 청줄돔				○															
10	<i>Acanthopagrus schlegeli</i> 감성돔				○						○	○	○							○
11	<i>Oplegnathus fasciatus</i> 돌돔				○			○		○	○	○				○	○			
12	<i>Pagrus major</i> 참돔	○				○		○	○			○	○							○
13	<i>Epinephelus septemfasciatus</i> 능성어												○							
14	<i>Chromis notatus</i> 자리돔			○								○				○				
15	<i>Microcanthus strigatus</i> 범돔					○														
16	<i>Semicossyphus reticulatus</i> 흑돔															○				
17	<i>Halichoeres tenuispinnis</i> 놀래기			○								○								
18	<i>Halichoeres poecilopterus</i> 용치놀래기			○	○		○	○				○	○			○	○			
19	<i>Hypodytes rubripinnis</i> 미역치	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	<i>Sebastes inermis</i> 불락	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	<i>Sebastes thompsoni</i> 불불락																			○
22	<i>Sebastes schlegeli</i> 조피불락	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23	<i>Hexagrammos agrammus</i> 노래미			○	○		○				○	○		○	○		○		○	○
24	<i>Hexagrammos otakii</i> 취노래미	○	○			○	○		○	○	○	○		○	○			○	○	○
25	<i>Stephanolepis cirrhifer</i> 쥐치	○			○			○	○	○		○		○				○	○	
26	<i>Thamnaconus modestus</i> 말쥐치			○				○										○		
27	<i>Rudarius ercodes</i> 그물코쥐치																			○
28	<i>Limanda yokohamae</i> 문치가자미											○								○
출현 종 수		7	5	10	11	6	6	8	9	6	7	17	10	7	6	9	12	7	6	12

소형 팔각반구형어초 : 소형 강제어초라고도 불리는 소형 팔각반구형어초는 대장두도 동쪽 연안 수심 16 m에 2002년 12월에 설치된 지 한 달 후 2003년 1월부터 3개월마다 조사하였고 출현어종은 표 4-3-18에서 나타내었다.

조사기간 중 총 18종의 어류가 조사되었으며 설치 후 4개월 후부터는 미역치, 인상어와 조피볼락이 년 중 출현하였다.

2003년 1, 4월에는 미역치, 쥐노래미 쥐치, 베도라치 등의 각각 3종씩 확인되었으며 수온이 상승하면서 7월에 8종, 10월에는 10종으로 증가하였다.

2004년 1월에는 수온은 8℃였고 출현 어종 수는 7종이므로 연중 관찰 가능한 볼락류와 인상어가 주로 서식하였다. 4월에는 볼락, 황점볼락, 감성돔 등을 포함하여 총 9종이 출현하였고, 10월에는 6종이 확인되어 작년 같은 시기보다 작은 종수를 보였으며, 2005년 1월에는 6종, 4월에는 20 cm 급의 볼락과 15~35 cm 급 조피볼락을 포함해 총 5종이 조사되었으며, 7월에는 정착성 어종 중심으로 11종이 발견되었다.

표 4-3-18. 대장두도 연안 소형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종

학 명	국 명	2003				2004			2005		
		1	4	7	10	1	4	10	1	4	7
1 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2 <i>Sebastes inermis</i>	볼락			○	○	○	○	○	○	○	○
3 <i>Sebastes oblongus</i>	황점볼락						○				
4 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락		○	○	○	○	○	○	○	○	○
5 <i>Platycephalus indicus</i>	양태					○					
6 <i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미					○	○				○
7 <i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미	○		○			○			○	○
8 <i>Epinephelus septemfasciatus</i>	능성어				○						
9 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔				○		○				
10 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔				○						○
11 <i>Ditrema temmicki</i>	망상어				○		○				○
12 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어			○	○	○	○	○	○	○	○
13 <i>Chromis notatus</i>	자리돔			○							
14 <i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기				○			○	○		○
15 <i>Pholis nebulosa</i>	베도라치		○								
16 <i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑			○							
17 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	쥐치	○			○	○					○
18 <i>Thamnaconus modestus</i>	말쥐치			○	○			○	○		○
19 <i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치										
출현 종 수		3	3	8	11	7	9	6	6	5	11

중형 팔각반구형어초 : 조사 기간 중 총 16종의 어류가 조사되었고, 출현 양상을 표 4-3-19에서 나타내었다. 출현한 모든 어종 중에서 볼락과 인상어 두 종은 조사 기간동안 계속 출현하였다.

2003년 1월에는 미역치, 볼락, 불볼락 및 인상어의 4종이 조사되었으며 4월에는 3종이 출현하였다. 7월 조사 시는 11종으로 증가하였는데 볼락은 전장 5~7 cm의 0세 유어가 600여 마리, 12~18 cm 크기의 1, 2세어가 300여 마리가 확인되었으며 조피볼락은 전장 14~26 cm급이 14마리가 관찰되었다. 이 시기에는 볼락류 외에 돌돔, 참돔 등도 관찰되었다. 10월 조사에는 7종이 출현하였으며 2004년 1월에는 5종으로 감소하였다가 4월에는 다시 7종으로 증가하였다.

표 4-3-19. 중형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종

학 명	국 명	2003				2004	
		1	4	7	10	1	4
1 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○	○		○	○
2 <i>Sebastes inermis</i>	볼락	○	○	○	○	○	○
3 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락			○	○		○
4 <i>Sebastes thompsoni</i>	불볼락	○					
5 <i>Hexagrammos otakii</i>	취노래미						○
6 <i>Pseudoblennius cottoides</i>	가시망둑			○	○		
7 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔				○		○
8 <i>Pagrus major</i>	참돔			○			
9 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔			○	○		
10 <i>Ditrema temmincki</i>	망상어			○		○	○
11 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어	○	○	○	○	○	○
12 <i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기			○			
13 <i>Pterogobius elapoides</i>	일곱동갈망둑					○	
14 <i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑			○			
15 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	취치				○		
16 <i>Thamnaconus modestus</i>	말취치			○			
출현 종 수		4	3	11	7	5	7

대형 팔각반구형어초 : 대형 팔각반구형어초는 총 11종의 어류가 조사되었는데 출현 양상은 표 4-3-20에 나타내었다. 이들 중 볼락은 6번 조사기간 중 모두 출현하였고, 조피볼락은 5번, 말쥐치를 비롯한 3종은 단 1번의 조사에서만 확인되었다. 어초 시설 후 한 달 만인 2003년 1월에는 볼락과 불볼락 단 두 종만이 출현하였다. 4월에는 3종의 정착성 볼락류를 포함하여 4종, 7월, 10월에는 각각 5종이 확인되었다. 2004년 1월 조사에서는 6종이다가 4월에는 수은 상승과 함께 9종으로 증가하였다. 4월에는 볼락 전장 15~20 cm 범위의 볼락이 500~700마리, 조피볼락 전장 15~26 cm 범위가 약 70마리 확인되었다. 그러나 이 어초는 지방 어민들로부터 집중적인 어업 활동이 이루어지고 있었던 어초로 기간 중 잠수 관찰된 종수 및 개체수는 다른 어초와 직접 비교하기가 어렵다고 생각된다.

표 4-3-20. 대형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종

학 명	국 명	2003 1	4	7	10	2004 1	4
1 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치		○	○		○	○
2 <i>Sebastes inermis</i>	볼락	○	○	○	○	○	○
3 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락		○	○	○	○	○
4 <i>Sebastes thompsoni</i>	불볼락	○	○	○			○
5 <i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미			○		○	
6 <i>Trachurus japonicus</i>	전갱이						○
7 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔				○	○	○
8 <i>Ditrema temmincki</i>	망상어						○
9 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어				○	○	○
10 <i>Pholis nebulosa</i>	베도라치						○
11 <i>Thamnaconus modestus</i>	말쥐치				○		
출현 종 수		2	4	5	5	6	9

개량형 팔각반구형(신형강제)어초 : 중형 팔각반구형어초의 내부에 비스듬한 경사판을 설치한 개량형 팔각반구형어초로서 7월부터 조사가 이루어졌다. 조사기간 중 총 17종이 확인되었으며 그 출현 양상은 표 4-3-21에서 나타냈다. 다른 어초와 마찬가지로 볼락, 조피볼락 및 인상어는 조사 기간 중 계속 출현하였다. 7월 조사에는 12종이 출현하였으며 10월 조사에서는 볼락, 조피볼락, 돌돔, 인상어, 용치놀래기, 말쥐치 등을 포함하여 8종이 조사되었다. 2004년 1월 조사에서는 8종, 4월에는 7종이었다.

표 4-3-21. 개랑형 팔각반구형어초 부근에서 확인된 어종

학 명	국 명	2003 7	10	2004 1	4
1 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○		○	○
2 <i>Sebastes inermis</i>	불락	○	○	○	○
3 <i>Sebastes schlegeli</i>	조피불락	○	○	○	○
4 <i>Sebastes thompsoni</i>	불불락	○			
5 <i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미		○		
6 <i>Hexagrammos otakii</i>	귀노래미			○	
7 <i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔			○	○
8 <i>Pagrus major</i>	참돔	○			
9 <i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔	○	○		○
10 <i>Ditrema temmincki</i>	망상어	○			○
11 <i>Neoditrema ransonneti</i>	인상어	○	○	○	○
12 <i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기	○	○		
13 <i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기	○			
14 <i>Chirolophis japonicus</i>	괴도라치			○	
15 <i>Pterogobius zacalles</i>	다섯동갈망둑	○	○		
16 <i>Sagamia geneionema</i>	바닥문절			○	
17 <i>Thamnaconus modestus</i>	말쥐치	○	○		
출현 종 수		12	8	8	7

위의 관찰 자료 중 각 구조물별 어종수의 월별 변화는 그림 4-3-28에 나타낸 바와 같다. 2001년 1월에는 선박어초에서 4종, 연약지반형어초에서 7종 상자형 강제어초에서 8종으로 모두 10종 이하였다. 수온이 상승하는 여름철부터 11월까지 출현 어종수에 있어 증가하는 경향을 나타내어 2001년 11월에는 7~12종의 범위를 나타내었다. 구조물로 보면 인조해조장에서 12종으로 가장 많았고, 연약지반형 강제어초와 선박어초에서 11종, 콘트리트 상자형어초와 연안다목적어초에서 9종이었으며 상자형 어초에서 7종으로 가장 적었다. 2002년 2월에는 다시 5~8종으로 적어졌으며 5월에는 3~8종, 7월에는 3~10종으로 11월에는 선박어초의 12종을 비롯하여 6~12종으로 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었으며 2003년 1월에는 다시 6~9종으로 감소하였다. 2003년 4월에는 대개 6~8종의 어종이 확인되었으며 7월에는 5~17종으로 어초 간 차이가 컸는데 선박어초와 연약지반형 강제어초가 각각 15, 17종으로 많은 편이었으며 콘크리트 상자형어초가 5종으로 적었다. 10월 정기 조사 시도 선박어초와 연약지반형 강제어초에서 각각 12, 10종인 반면 콘크리트 상자형어초에서는 6종만이 확인되었다.

2004년 1월과 4월 조사에서는 전체 어초에서 5-9종의 어종이 확인되었으며 저수온기에는 모두 10종 이하로 감소하는 경향을 나타내었다. 선박어초에서 8종과 7종, 선박어초에서 상자형어초에서 각각 5종, 신형 강제어초에서도 모두 5-8종, 7-9종으로 나타났다. 7월 조사에서는 연안다목적 어초에서 14종을 기록하여 가장 많은 종이 확인되었고, 선박어초에서 10종, 연약지반에서 9종을 기록하였으며, 콘크리트 상자형 어초에서 2종을 기록하여 다른 시기 조사에서 나타났던 것처럼 낮은 종 다양성을 보였다. 10월에는 연약지반어초에서 12종, 선박어초와 연안다목적어초에서 각각 11종이 확인되었으며, 소형 팔각반구형어초에서 6종이 확인되었다.

2005년 1월에는 선박어초에서 6종, 연약지반어초 7종, 연안다목적어초 4종, 소형 팔각반구형 어초에서 4종이 발견되었다.

4월에는 선박어초에서 10종이 발견되어 가장 다양한 종 구성을 보였고, 소형 팔각반구형 어초에서 5종이 확인되었으며, 7월에도 역시 선박어초에서 가장 많은 종 수가 조사되어 14종이었고, 연약지반형 강제어초에서 12종, 상자형 콘크리트에서 8종이 발견되어 과년도 같은 시기에 비해 다양한 종 수를 보였다.

조사 시에 이러한 경향은 어초의 크기나 구조적인 특성 외에 설치되어 있는 위치상의 차이 또는 보호수면구역 밖에 있어 어업활동이 자유스러운 어초에서의 어류 어획량과도 상관이 있는 것으로 보인다. 즉, 비교적 어종수가 많았던 선박어초, 연약지반형 강제어초, 연안다목적 어초 등은 보호수면내에 위치하고 수심이 7~15 m 로 비교적 얇고 대장두도의 암반 지역과 가까운 곳 또는 얇은 암반 위에 설치되어 있는 점이 수심 20 m 전후의 사패질 바닥에 독립되어 설치되어 있는 콘크리트 상자형 어초와는 근본적인 환경조건에서 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 전 어초에서 연간 계절 변화가 뚜렷이 나타나 전체적으로 보면 계절별 주기성에 있어서는 모두 유사하게 나타났음을 알 수 있다.

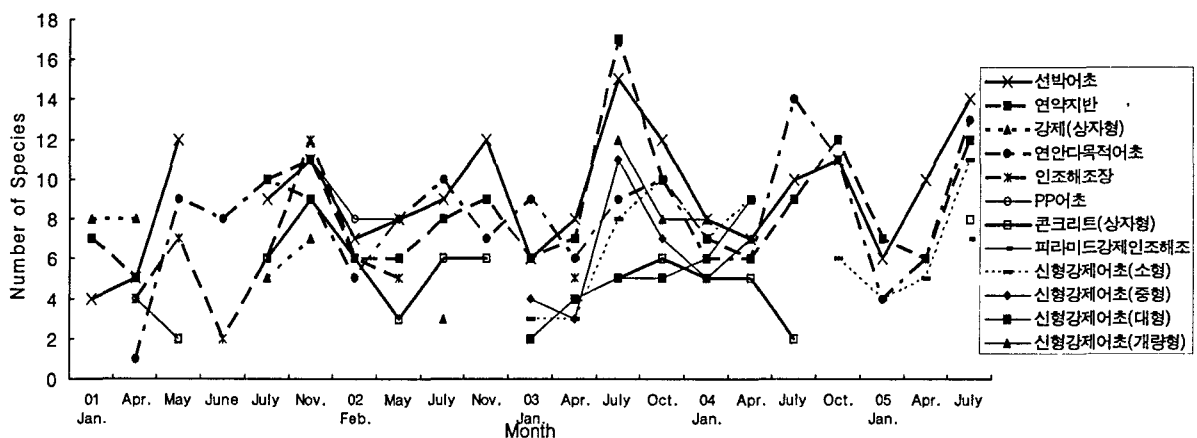


그림 4-3-28. 각종 실험 수중구조물에서 수중 관찰된 어류의 월별 종 수 변화.

한편 1998년부터 2005년 7월까지 바다목장 주 어종이었던 각 어초별 불락과 조피불락의 마리 수와 량의 월별 변화는 그림 4-3-29, 30, 31, 32와 같다.

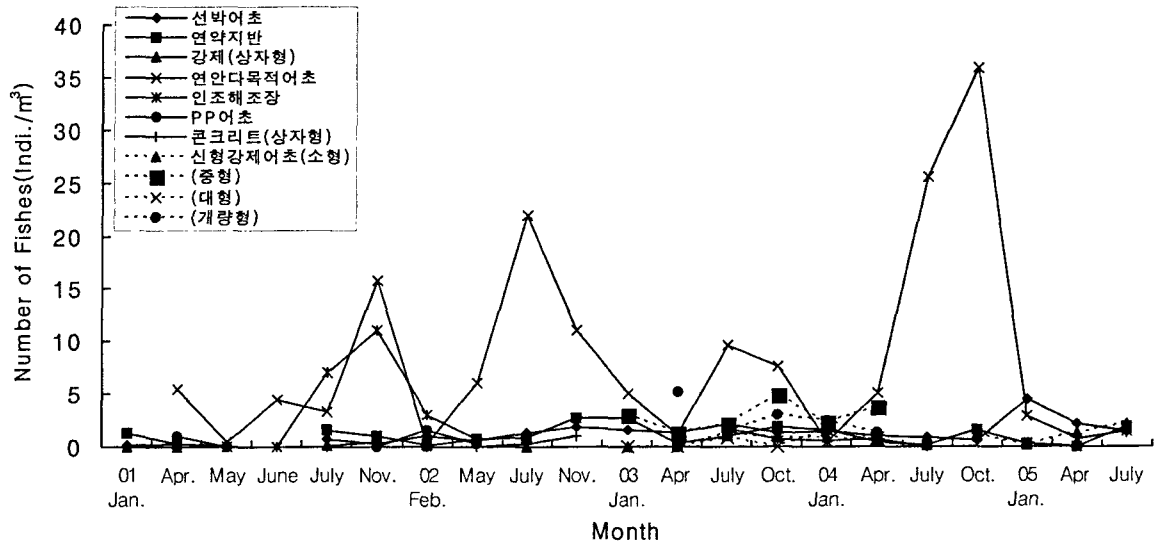


그림 4-3-29. 각 실험용수중구조물에서 관찰된 불락 마리 수(Inds/m³)의 월별 변화.

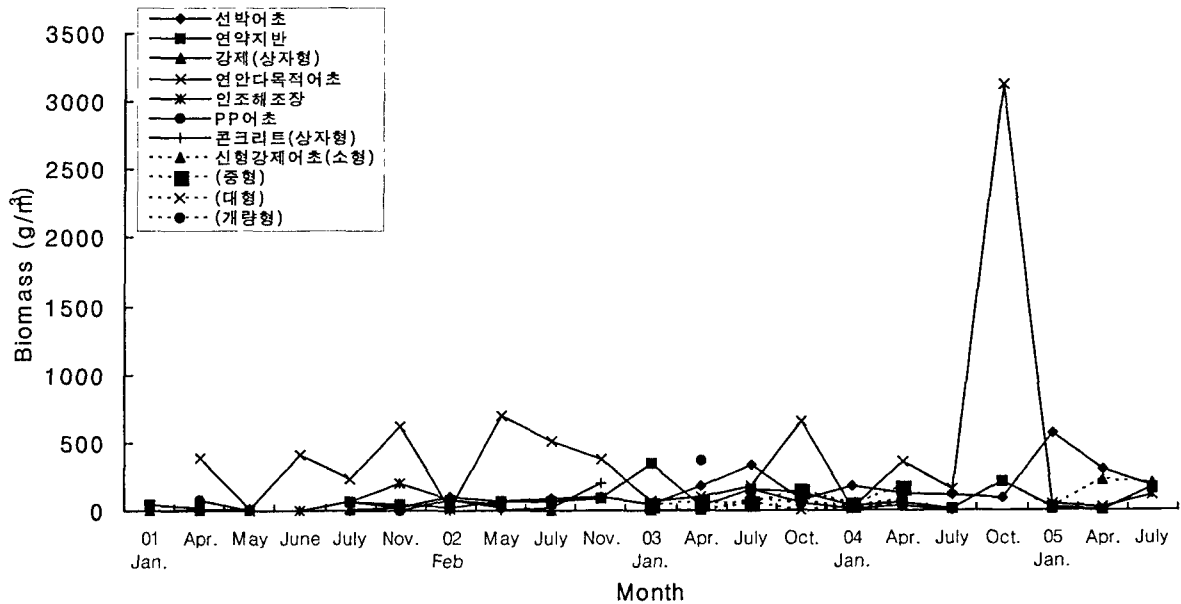


그림 4-3-30. 각 실험용수중구조물에서 관찰된 불락 생체량(g/m³)의 월별 변화.

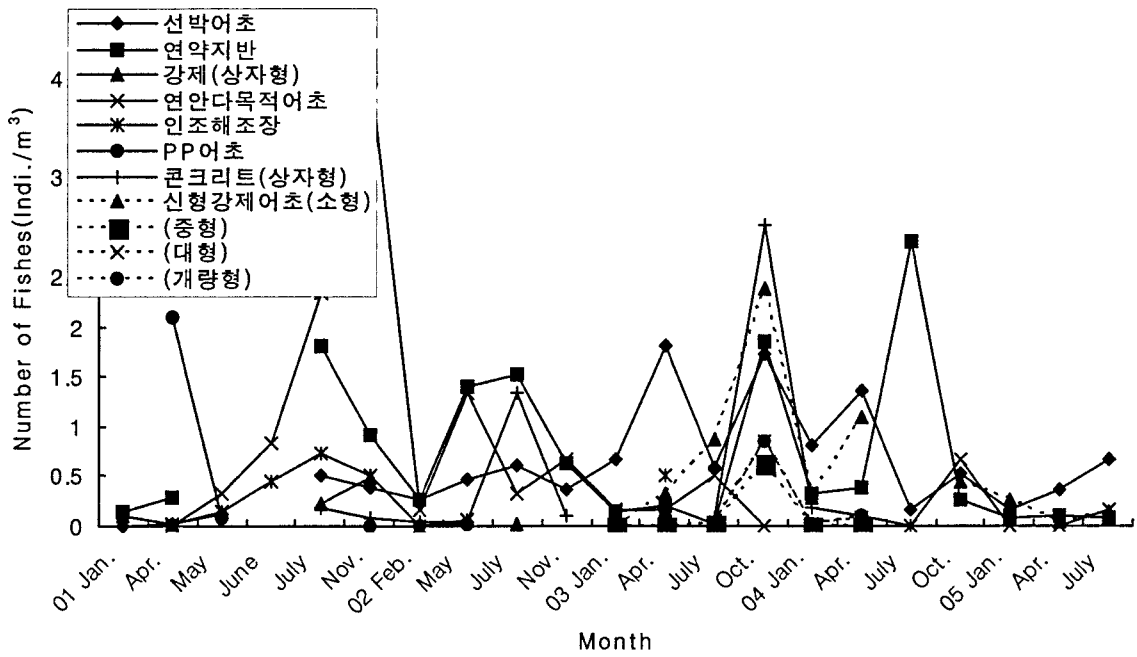


그림 4-3-31. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피볼락 마리 수(Inds./m³)의 월별 변화

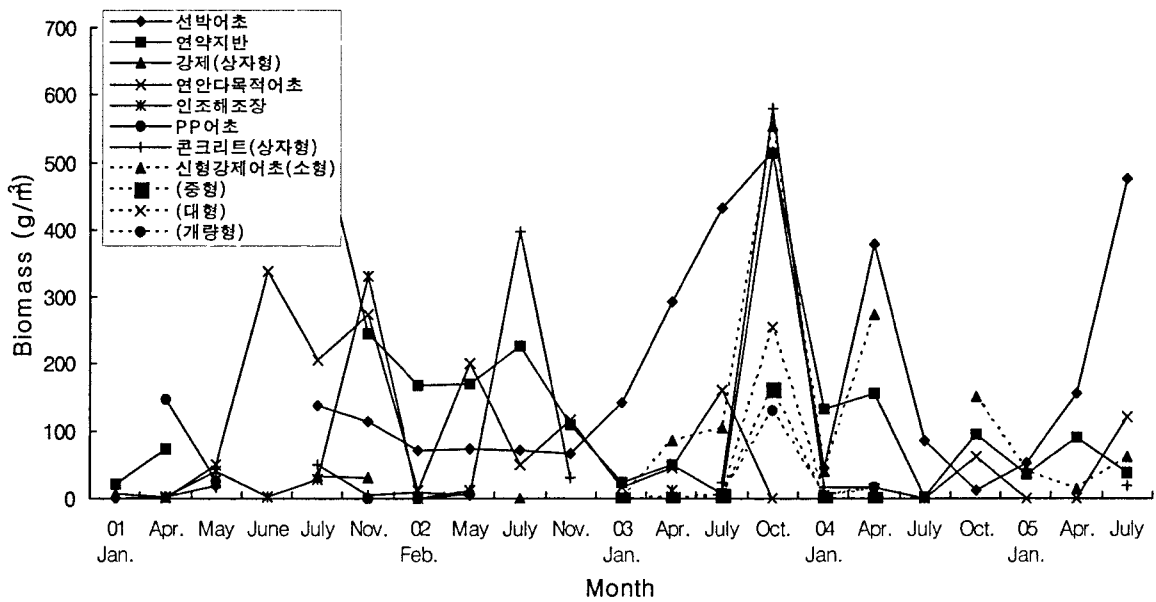


그림 4-3-32. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피볼락 생체량(g/m³)의 월별 변화.

블락 : 마리수에 있어서는 전반적으로 연안다목적어초와 인조해조장에서 비교적 높게 나타났으며 2001년 연안다목적어초에서는 7월, 11월에 각각 m^3 당 7, 11마리가 기록되었다. 대개 블락류도 2-5월까지의 저수온기에는 단위 면적 당 마리수가 적은 경향을 나타내었지만 2001년에 0.005~1.3마리, 2002년에는 0.15~3마리, 2003년 1월에는 1.6~5.0마리로 자원 조성이 원활히 진행되어 왔음을 알 수 있다. 한편, 여름부터 가을까지는 어초에 따라 조금씩 다르기는 하지만 증가하는 경향을 나타내어 2002년 11월에는 1.0(콘크리트 상자형어초)~2.7(연약지반형 강제어초)마리, 2003년 10월에는 0.7(콘크리트 상자형어초)~7.67마리(연안다목적어초)로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 2004년 4월에는 연약지반어초에서 0.36마리부터 연안다목적어초에서 5마리 범위였으며, 7월에는 콘크리트 상자형어초에서는 발견되지 않았고 연안다목적어초에서 25.50마리의 높은 출현율을 보였다. 10월에는 0.59(선박어초)~35.83(연안다목적어초)마리를 기록하였다. 2005년 1월에는 소형 팔각반구형어초에서 0.2마리를 기록하였고 선박어초에서 4.5마리를 기록하여 2004년 10월에 비해 높은 수치를 보였다. 4월에는 연약지반형 강제어초에서 0.01마리가 확인되었고 선박어초에서 2.22마리로 많은 수가 관찰되었다. 7월에는 1.3(콘크리트 상자형어초)~2.15(소형 팔각반구형어초)마리가 확인되었다.

한편, 2002년 12월에 설치되어 2003년 1월부터 조사된 팔각반구형어초에서는 지금까지 바다목장해역 내에 설치되어 있던 다른 어초와 마찬가지로 설치 후 1-4개월 사이에 부착생물이 거의 붙지 않은 상태에서 블락, 조피블락 등이 상당수 확인되기 시작하였다. 2003년 1월에는 곤리도 남단에 설치된 대형과 중형팔각반구형어초에서 0.02, 3.07마리가 관찰되기 시작하였으며 소형팔각반구형어초(이하 소형)에서는 2003년 7월부터 1.28마리를 기록된 바 있다. 2003년 10월에는 소형에서 0.91마리, 중형과 대형에서 4.91, 0.04마리, 개량형에서 1.47마리가 확인되었다. 2004년 4월에는 0.58(소형)~3.69마리(중형) 범위였으며, 2004년 10월에는 소형에서 1.09마리가 확인된 바 있다.

블락의 단위 공간 당 생체량은 2001년부터 점차 증가하는 경향을 나타내어 2002년 2월에는 22.8(연약지반형 강제어초)~95.42 g(선박어초)범위였으나 2003년 1월에는 47.73(선박어초)~338.3 g(연약지반형 강제어초), 2003년 10월에는 55.56(콘크리트 상자형어초)~656.3 g(연안다목적어초)범위로 증가하였다. 2004년 4월에는 연약지반형어초에서 54.68 g, 선박어초에서 126 g, 연안다목적어초에서 350 g, 콘크리트 상자형어초에서 36.3 g 이 확인되었다. 7월에는 콘크리트 어초에서는 확인되지 않았고, 15.71(연약지반형 강제어초)~160.0 g(연안다목적어초) 범위였다. 10월에는 연안다목적어초에서 4년 조사 중 가장 큰 수인 3,122.50 g 을 기록하였고, 선박어초에서 88.89 g, 연약지반형어초에서 215.67 g 으로 조사되었다. 2005년 1월에는 선박어초에서 566.7 g, 연약지반형어초에서 18.4 g, 연안다목적어초에서 47.5 g, 소형팔각반구형어초에서 15.3 g 을 기록하였다. 4월에는 선박어초에서 303.7 g, 소형팔각반구형어초에서 223.9 g, 연안다목적어초에서 18.67 g, 연약지반형어초에

서 1.48 g 이 확인되었으며, 7월에는 소형팔각반구형어초에서 200.26 g 을 보여 가장 큰 수를 나타내었고 연약지반형어초는 169.5 g 으로 전월에 비해 출현양이 대폭 증가하였으며 연안다목적어초에서 109.5 g 으로 가장 작은 수가 조사되었다.

2003년 1월부터 조사된 팔각반구형어초에서는 마리 수에서 알 수 있듯이 설치 후 약 1-4개월 사이에 불락 자원이 정착하는 경향을 나타내었다. 2003년 1월에는 소형을 제외한 중형과 대형에서 각각 49 g, 37 g 이 확인되었고, 2003년 7월에는 소형에서 83.03 g, 중형과 대형에서 각각 51.6 g, 53.06 g, 개량형에서 91.4 g 이 확인되었다. 2004년 4월에는 소형에서 35.58 g, 중형, 대형, 개량형에서 각각 165.85 g, 73.35 g, 55.28 g 으로 고르게 불락 자원이 조성된 것으로 나타났다. 2004년 10월과 2005년 1월에는 소형에서 각각 208.03 g, 15.33 g 을 기록된 바 있다.

조피불락 : 조피불락은 불락과 조금 다른 양상을 나타내었는데 마리 수에서는 2002년 까지 인조해조장과 연안다목적어초에서 많은 경향을 나타내었으며, 2001년 11월에는 연약지반형 강제어초에서 4.5마리로 가장 많았으며 콘크리트 상자형어초에서는 0.07마리로 가장 적은 마리수를 기록하였었다.

2002년 2월에 어초별로 0.04~0.27마리 범위로 전반적으로 줄어들었다가 다시 5, 7월에 증가하는 경향을 나타내었다. 2003년 1월에는 0.15~0.67마리(선박어초), 2003년 4월에는 0.08~1.81마리 범위였는데 선박어초에서 1.81마리로 가장 높은 값을 보였다. 2003년 10월에는 태풍 매미의 여파로 연안다목적어초를 제외한 어초에서 전체적으로 높은 값(1.73~5.56마리)을 나타내었으며 특히, 콘크리트 상자형 어초에서 5.56마리로 가장 높은 값을 나타내었다.

2004년 4월에는 콘크리트 상자형어초에서 0.11마리, 연약지반형 강제어초에서 0.38마리, 선박어초에서 1.36마리였으며 연안다목적어초에서는 인근 암초대와 인조해조장, 몇몇 어초에서 날마리가 확인되었으나 조사량이 일률적이지 않아 0마리로 처리하였다. 즉, 연안다목적어초는 크기가 소형이고 연안 암초대와 붙어있었던 까닭으로 어초자체의 공간에서 조피불락이 항상 관찰되지는 않았기 때문이다. 또한, 7월 조사에서도 역시 연안다목적어초와 콘크리트 상자형어초에서는 발견되지 않았으며, 선박어초에서 0.16마리, 연약지반 강제어초에서 0.26마리가 확인되었다. 10월 조사에서는 연약지반형 강제어초에서 0.26마리, 선박어초에서 0.52마리가 확인되었으며, 연안다목적어초에서도 0.67마리가 기록되었다.

2005년 1월에는 소형팔각반구형어초에서 0.27마리를 기록하여 가장 높은 수를 나타내었고 지난 번 조사 시에 0.67마리를 기록하였던 연안다목적어초에서는 발견할 수 없었다. 4월에는 0.04(소형팔각반구형어초)~0.37(선박어초)의 값을 나타내었고 연안다목적어초에서는 한 개체도 발견할 수 없었다. 7월에는 선박어초에서 0.67마리로 가장 큰 수를 나타내었고, 콘크리트상자형어초에서 0.07마리로 가장 낮은 수를 보였다.

한편, 2002년 12월에 설치되어 2003년 1월부터 현장 조사가 이루어졌던 팔각반구형어초에서는 설치 후 4개월 후인 4월부터 나타나기 시작하여 볼락보다는 조성이 늦게 이루어지는 경향을 보였다. 2003년 4월에는 소형에서 0.33마리, 대형에서 0.01마리, 개량형에서 0.11마리가 출현하였으며 중형에서는 관찰수가 없었다. 10월이 되면 소형에서 자원이 증가하여 소형에서 2.38마리, 중형에서 0.62마리, 대형에서 0.86마리, 개량형에서 0.02마리가 확인되었다. 2004년 4월에는 중형에서는 관찰되지 않았으며 소형과 대형에서 각각 1.09, 0.09마리, 개량형에서 0.1마리를 기록하였다. 10월에는 소형에서 0.44마리가 확인된 바 있다.

조피볼락의 생체량에 있어서는 2001년 6월에서 11월까지의 연약지반형, 연안다목적어초, 선박어초 순이었으며 다른 구조물에선 유사한 경향을 나타내었다. 가장 높은 수치는 2002년 7월 연약지반형 강제어초에서 단위 공간 당 555.97 g 으로 가장 많았으며 2003년 1월 조사에서는 선박어초에서 단위 공간 당(m^3) 141.13 g, 연약지반형 어초에서 22.78 g, 연안다목적어초에서 15.50 g 로 기록되었었고 2003년 10월에는 태풍 매미로 인한 자연 방류자원의 유입으로 513.9 g(연약지반형 강제어초)~580 g(콘크리트 상자형어초)범위의 일시적인 높은 값을 나타내었다. 그러나 당시 약 두 달간 집중적인 어업 활동이 이루어져 많은 자원이 포획(남획)되어 나갔으며 그 후 수온 하강과 더불어 감소하여 2004년 1월에는 콘크리트 상자형어초에서는 1.72 g로 감소하였으며 보호수면내에의 선박어초에서 45 g, 연약지반형 강제어초에서 131.6 g 을 기록하였고 2004년 4월에는 콘크리트 상자형어초에서 16.7 g, 연약지반어초와 선박어초에서 각각 156.5 g, 378.2 g 을 기록하였다. 또한, 7월에는 선박어초에서 25~40 cm급 대형 개체들의 출현으로 85.6 g 이 확인되었고, 연약지반형 강제어초에서는 2.9 g로 전 년 같은 시기들에 비해 다소 낮은 값을 나타내었다. 10월에는 연약지반형 강제어초에서도 중대형급 개체들의 출현양이 증가하여 94.2 g이었고, 선박어초에서 11.5 g 을 기록하였다. 2005년 1월에는 선박어초에서 10~25 cm급 52 g 이 발견되었고, 소형팔각반구형어초에서 6~8 cm 급 41.6 g 이 기록되었다. 4월에는 선박어초에서 155.6 g, 연약지반형에서 89.7 g, 소형팔각반구형어초에서 14 g 이 확인되었으며 연안다목적어초에서는 한 마리도 발견되지 않았다. 7월에는 선박어초에서 476.3 g 이 조사되었고, 연안다목적어초에서도 121.7 g 이 관찰되었다.

2002년 12월에 설치되어 2003년 1월부터 조사가 이루어진 팔각반구형어초에서는 설치 후 4개월 후인 4월에 소형에서 85.4 g, 대형에서 3.42 g였으며 10월에는 매미의 영향으로 크게 증가하여 소형에서 554.05 g, 중형과 대형에서 각각 163.14 g, 255.87 g 이 기록되었고 개량형에서 128.99 g 이 기록되었다. 이후 집중적인 소형을 제외한 어초에서의 어업활동으로 많은 자원이 어획되어 나감에 따라 2004년 4월에는 소형에서 273.72 g 을 기록하고 있는 반면, 중형에서는 관찰수가 없었고 대형과 개량형에서 13.69 g, 16.77 g 으로 낮아져 있었다. 또한, 소형에서 2004년 10월에 151.1 g, 2005년 1월 41.06 g 이 확인된 바

있다.

이러한 결과로 미루어 구조적으로 효과가 있는 어초를 사용하여 어장조성을 하고 바다목장 사업이 제대로 운영되어 자원이 조성, 관리될 경우에는 지금까지 관찰된 일부어초에서는 어초 단위 공간 당(m^3) 500 g 이상(연약지반강제어초 513 g, 콘크리트 상자형어초 580 g, 선박어초 515 g 등)의 많은 량의 조피볼락이 조성 가능하다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 또, 한편으로는 2004년 4월 조사 결과에서 알 수 있듯이 보호수면내에 있었던 선박어초와 연약지반형 강제어초에서 자원이 그런대로 유지된 반면, 어민들의 어업활동에 노출되었던 어초들은 불과 6개월 사이에 생체량이 500 g이상에서 16.7 g(콘크리트 상자형어초), 13.69 g(대형팔각반구형어초), 16.77 g(개량형 강제어초)으로 낮아지는 현상을 나타냄으로써 바다목장이 완성된 후의 관리가 얼마나 중요한 것인가를 보여준다. 즉, 남획은 정착성어종을 대상으로 할 경우에 6개월이라는 짧은 기간 내에서도 치명적으로 일어날 수 있음을 보여주었다.

2001년 1월부터 2005년 7월까지 4년 동안 월별 관측한 자료를 전 기간 평균값으로 환산해본 결과는 다음과 같다. 조사 기간동안 태풍매미의 영향으로 일시적인 자원 첨가 현상이 심했던 2003년 10월을 삭제한 후 전 기간의 평균을 계산하였다.

볼락 : 크기가 다양한 구조물별 단위 공간에 출현한 볼락 개체수와 생체량은 전 기간 평균으로 계산할 때 그림 4-3-33, 34와 같다. 가장 많은 수가 출현한 구조물은 연안다목적어초로 m^3 당 평균 11.26마리/ m^3 으로 계산되었으며 생체량으로는 457.00 g/ m^3 이었다. 그 다음으로는 팔각반구형어초 중형이 2.89마리/ m^3 , 84.68 g/ m^3 , 인조해조장(2.74마리/ m^3 , 50.36 g/ m^3), 팔각반구형어초 개량형(2.06마리/ m^3 , 55.28 g/ m^3), PP어초(1.35마리/ m^3 , 90.30g/ m^3), 선박어초(1.25마리/ m^3 , 132.21 g/ m^3), 연약지반형어초(1.07마리/ m^3 , 82.90 g/ m^3)의 순이었다. 생체량도 연안다목적어초가 가장 높은 값을 나타내었으며 그 다음으로는 선박어초, PP어초, 팔각반구형어초 중형, 연약지반형어초, 팔각반구형어초 개량형, 인조해조장 순이었다.

단위 공간 당 마리수가 1.25마리에 불과했던 선박어초의 생체량이 132.21 g 으로 높은 것은 20~30cm급 대형어들이 다수 확인되었던 결과이다. 2003년 1월부터 조사된 팔각반구형어초는 다른 어초들에 비하여 기간은 짧지만 소형이 0.48마리/ m^3 , 40.74 g/ m^3 이었으며 중형과 개량형이 각각 2.89 마리/ m^3 (84.68 g/ m^3), 2.06마리/ m^3 (55.28 g/ m^3)으로 높은 편이었으며 반면 어업행위가 집중적으로 이루어진 대형에서는 0.55마리/ m^3 (26.56 g/ m^3)으로 낮은 편이었다. 그러나 먼저 설치되어있던 어초들과 비교하면 이미 이들 볼락자원은 거의 같은 수준이거나 더 좋은 값을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

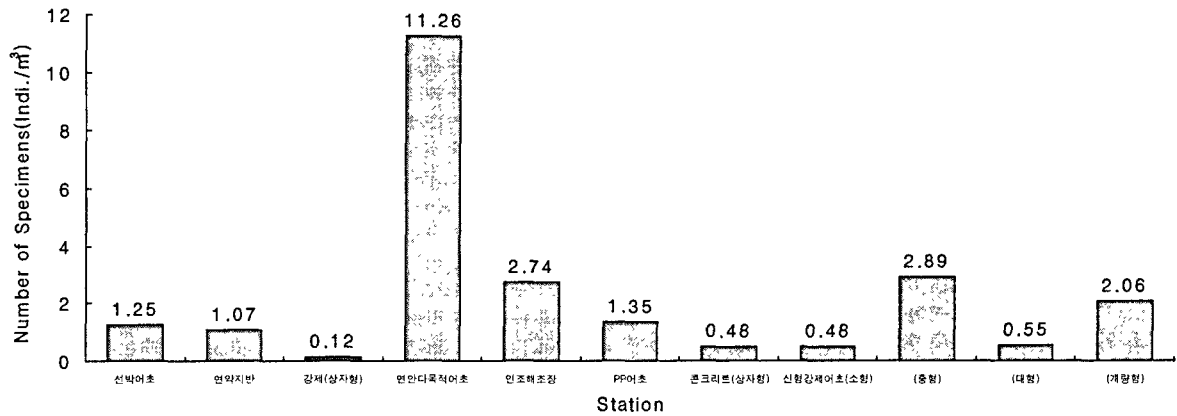


그림 4-3-33. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 블락의 단위 공간 당 마리 수.

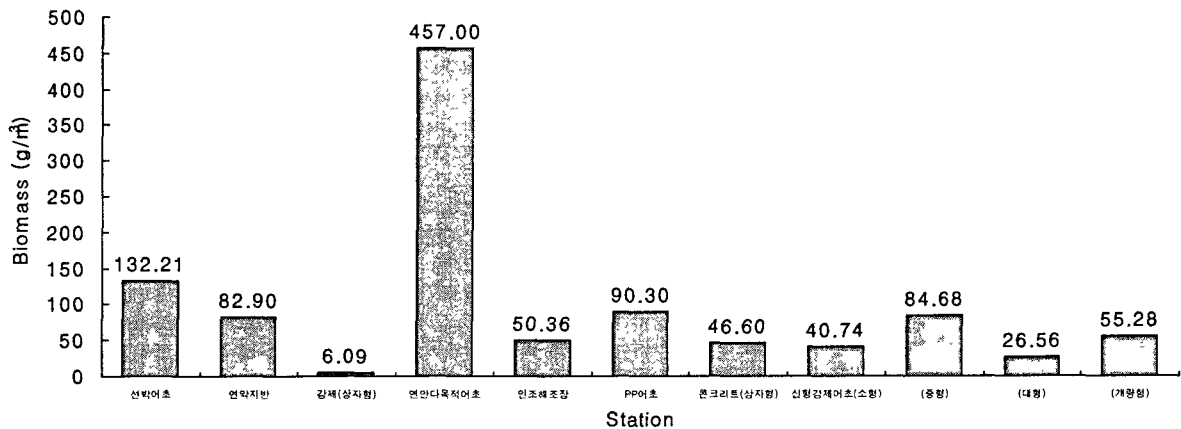


그림 4-3-34. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 블락의 단위공간당 생체량(g/m³).

조피블락 : 2003년 10월을 제외하고 전 기간의 조사 결과를 평균값으로 나타내면 조피블락의 개체수가 가장 많았던 곳은 수중 방류가 이루어져 방류어인 0세어의 서식 밀도가 높았던 인조해조장으로 2.86마리/m³으로 가장 높은 값을 나타내었다. 방류 후 집중적으로 서식하였던 인조해조장을 제외하면 2005년 7월 현재 평균값이 연약지반형어초 0.70마리/m³, 연안다목적어초 0.61마리/m³, 콘크리트 상자형어초 0.60마리/m³, 선박어초 0.58마리/m³, 팔각반구형 소형어초에서 0.54마리/m³ 순이었다. 그 외, PP어초와 팔각반구형어초 개량형이 각각 0.38마리/m³, 0.25마리/m³ 순으로 단위 공간 당 작은 마리수를 보였다(그림 4-3-35).

한편, 2005년 7월 현재까지 평균값으로는 콘크리트 상자형어초에서 160.9 g/m³의 가

장 높은 생체량을 보였는데 이는 25~35 cm 급 대형어들의 출현에 기인한 결과이다. 그 다음으로는 선박어초에서 156.9 g/m³, 대장두도의 북쪽 연안 암반 위에 설치되어 항상 다양한 크기의 조피볼락이 관찰되었던 연약지반형어초에서 142.8 g/m³, 팔각반구형어초 소형에서 120.84 g/m³, 연안다목적어초에서 82.5 g/m³을 나타내었다(그림 4-3-36).

각 어초에서의 볼락, 조피볼락의 마리수와 생체량을 모니터 한 결과를 위와 같이 정리해보면 조사 기간 동안 어초 위치별, 수심별로 조금씩 변동이 있기는 하지만 볼락과 조피볼락은 각 종 어초나 수중구조물 시설 후 1-4년 사이에 자원이 증가됨을 알 수 있다.

2005년 7월 현재 어초에서는 새끼를 가진 40 cm 급 조피볼락이나 20 cm 전후의 볼락 어미들이 많이 관찰되고 있어 통영바다 목장해역에서는 이미 2~3년째 방류자원에 의한 재생산이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

또, 부지도 인근 해역에 설치된 군함(탄약바지선-강제어초 복합어초)에서는 지방어민의 어선들이 500 g 이상 조피볼락 성어를 많은 량 어획한 사실도 있어 이미 바다목장 사업으로 인하여 조성된 어류 자원 중 일부는 목장해역 내 또는 배후 해역에서 생산되어 어민들의 소득원이 되고 있음을 알 수 있다.

따라서 보호수면내 어초와 그 외곽의 해역에서의 자원량은 상당히 달라져 있을 것으로 추정되어 2005년 3단계 사업에서는 전 목장해역을 대상으로 구조물별 자원량에 대한 정밀조사와 아울러 대수심 어초 및 인근 해역으로의 자원 이동 및 변동 등에 대하여 계절적, 수심대별, 어초별 다양한 요소를 고려한 종합조사가 되어야 할 것이다.

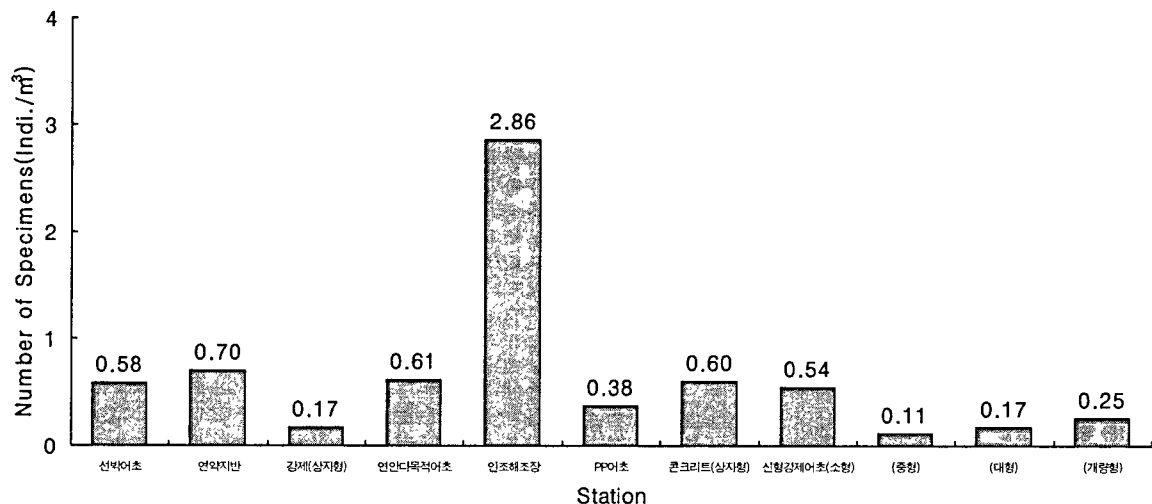


그림 4-3-35. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피볼락의 단위 공간 당 마리 수.

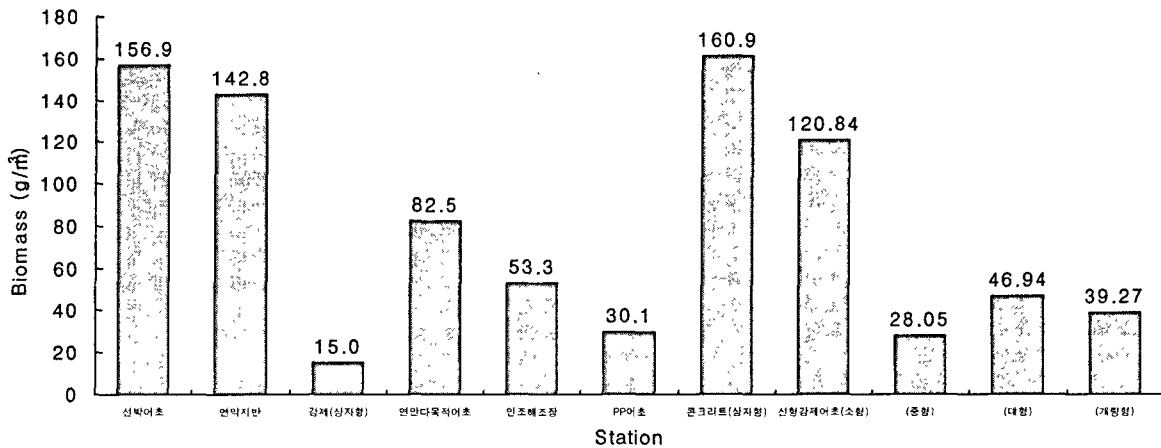


그림 4-3-36. 각 실험용 수중구조물에서 관찰된 조피블락의 단위 공간 당 생체량.

잠수조사는 일정 공간에서의 블락류 자원량을 추정하여 매우 자세한 자료를 얻을 수 있는 반면 한정된 면적과 시간의 잠수조사 결과만으로 바다목장 전체적인 자원량을 추적하는 것은 어려움이 많다.

(3) 구조물 별 자원조성 상태

2005년 7, 8월 사이에 각 어초형별 자원 상태와 어류 위집 상태에 대한 조사 결과를 정리하면 다음과 같다.

조사 대상에 된 7가지형 어초 종류별 위치, 수심 및 자원 조성 상태는 표 4-3-22에 종합하였다.

표 4-3-22. 어초 종류별 자원상태 (2005년 7-8월)

종류	위치	수심 (m)	자원조성 상태*	비고
피라밋강제어초				
저도	저도 북서단	33-34	◎	물 흐름이 꺾임
대장두도	대장두도 동편	24	◎	//
부도	부도, 곤리도사이	20	○	물 흐름이 수평
탁약바지선	내부지도 남단	48	○	물 흐름 강함
강선어초	부도 남단	43-47	△	물 흐름이 수평
팔각반구형어초	대장두도 남동단	18	○	
연안다목적어초	대장두도 남단	8-9	○	블락◎, 조피블락△
콘크리트상자형어초	부도, 곤리도사이	20-28	△	물 흐름이 수평
지붕형인조해조장	소장두도 북단	10	○	블락◎, 조피블락△
목선강제복합어초	대장두도 북단	16	◎	블락◎, 조피블락◎
삼각뿔어초	저도 북단	12-15	△	블락○, 조피블락△

* ◎ 매우 양호; ○ 양호; △ 상대적으로 부족

결과 중에는 육안으로 종류와 정량 자료를 축적된 경우도 있지만 수심이 30m 이심인 곳에 위치한 어초들은 육안 영상자료 자체가 정확하지 않아 대략적인 경향만 추정한 것이다. 그렇지만 표에서 나타난 바와 같이 피라밋 어초 중 물 흐름이 좋고 꺾이는 곳에 위치한 것은 조피블락, 블락 등 어종의 위집량이 많아 양호한 상태를 나타내었으며 소형이거나 설치된 위치가 물 흐름이 느리거나 수평적으로 흐르는 곳에 있는 것은 상대적으로 낮은 자원량을 나타내는 경향이 있다. 이러한 어초들은 위치를 조정할 경우 다른 어초와 유사한 자원량을 나타낼 수도 있을 것으로 추정된다.

조사된 어초 중에는 삼각뿔 어초(2005년 설치)와 같이 설치 후 경과 기간이 얼마 되지 않아 부착동물이 아직 완전히 착생하지 않은 관계로 현재의 상태로 판단이 어려운 종류도 있었다.

1998년부터 2005년까지 통영 바다목장의 해역 특성과 바닥상태, 수중 구조물의 크기, 구조, 위치 등에 따른 대상 자원의 군집조사 결과를 바탕으로 바다 목장 내 현재 자원 조성 정도를 그림 4-3-37과 같이 나타내 볼 수 있겠다. 목장 해역내의 암반 지역넓이는 암반 경사도를 20°로 하였을 때 2.163 km²이었고 통영바다목장 해역 내 암반의 끝 평균 수심은 8.79 m이었다. 현재까지 수중 구조물 설치 해역을 자원조성해역으로 감안하고 전체 해역에 표시하면 그림 4-3-37과 같다.

전 바다목장 해역 중 자원 조성이 되었다고 추정되는 해역은 전체 해역 중 수중 암반이 잘 발달한 곳과 실험 구조물 중에서 인공 어초 효과를 100% 발휘하는 어초가 설치된 해역을 들 수 있다. 2001년에 전체 바다목장 해역의 약 18% 면적을 완성하였다고 생각되었다(830 블록 중/암반 115 블록/수중구조물 설치해역 36 블록).

2002년에는 다양한 구조물과 어초들이 수중에 추가 설치됨에 따라 그림에서 보는 바와 같이 시설물 설치(56블럭)가 완료되어 자원 조성면에서 보면 전체 해역 면적의 약 20.6%를 커버할 것을 보며 이는 어초가 들어가지 못할 부적지 면적을 빼면 30~40% 정도 완성되고 있다고 추정할 수 있겠다. 2003년도에는 연안어초 10기, 이단형 강제어초 3기, 팔각강제어초 1기외에 해조장으로서 테트라포드 30개, 자연석과 세라믹어초 10기 등이 설치 완료하였다.

2004년도 사업 중에는 육성용강제어초가 마동 마을 앞에 5기, 학림도 남쪽 연안에 4기, 연대도 동쪽 자원조사 지점 수심 20-24m에 4기, 대장도두 동편에 1기가 설치되었으며 강제어초인 굴패각어초가 연면마을 앞 연안, 저도 남쪽 연안, 연대도 북쪽 연안에 각각 9,6,6기가 설치되었다. 그 외 강제선박복합어초 1기가 부도 서편 수심 45m에 설치되었고 콘크리트반구형 어초를 대체할 실험용 소형 삼각뿔어초는 저도 북쪽연안, 연명마을 북쪽 연안, 부도 서쪽 연안에 각각 5개씩 설치되었다.

2005년도에는 피라밋강제어초가 축도 북단을 비롯하여 21기가 설치되었으며 11월 하순에 삼각뿔어초가 달아 남단과 마동 남단에 총 31기, 다기능성강제어초, TTP, 피복석,

인조해조장이 추가로 설치될 예정이다.

지난 목장사업의 결과로 미루어 최근 1-2년 사이에 설치된 어초에서는 자원 증대를 100% 기대하기 힘들지만 향후 부착생물과 자원 생물의 정착이 이루어질 것으로 본다면 현재 통영바다목장 해역 내 연안 암반과 구조물의 설치 상태로 자원조성 진도를 추정하면 약 대상 해역면적의 약 33% (830 블록 중/암반 115 블록/수중구조물 설치해역 163 블록) 가 자연 암반 또는 인공어초 어장으로 조성된 것으로 볼 수 있다.

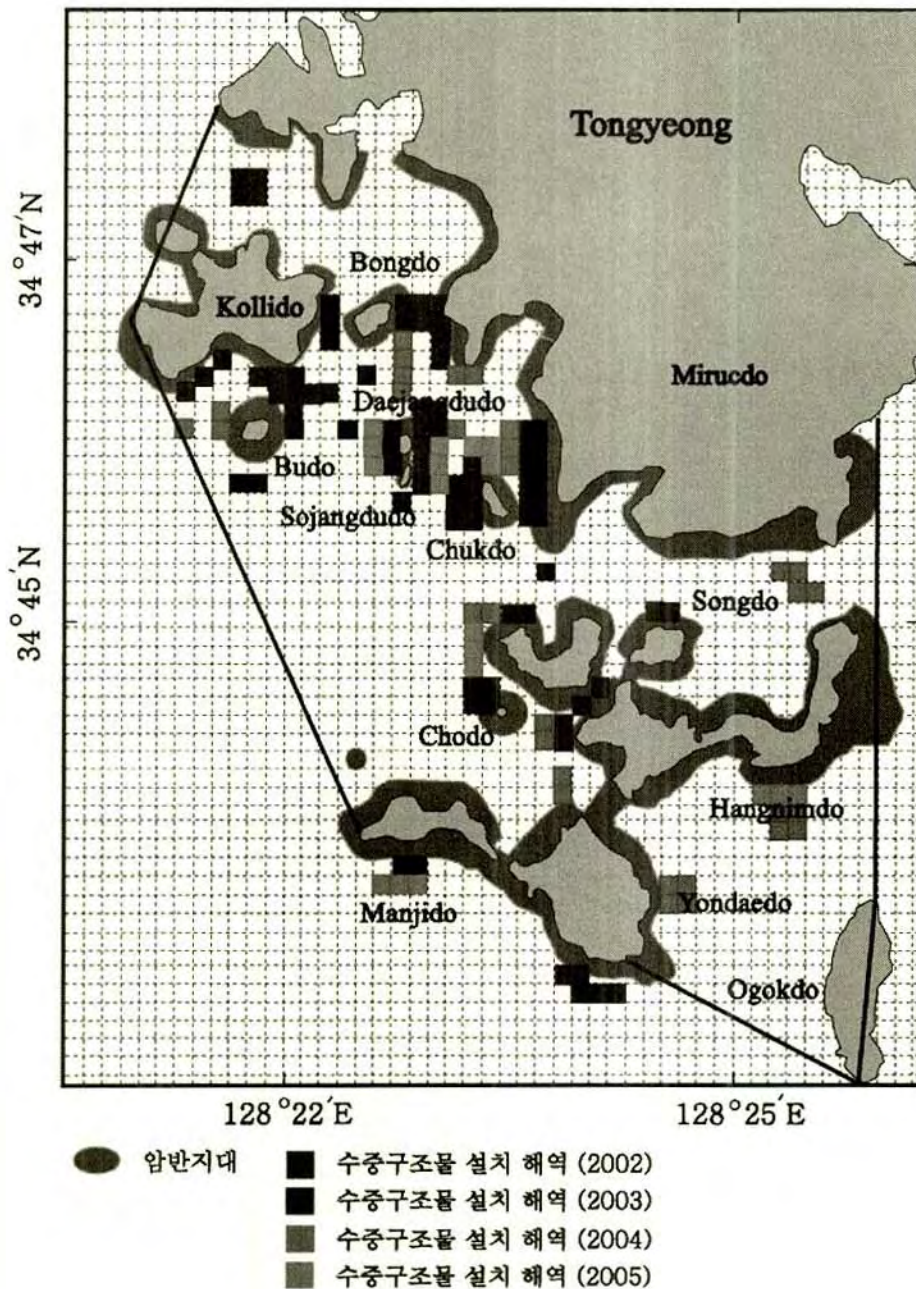


그림 4-3-37. 바다목장 해역에 암반분포와 인공구조물 설치 해역.

인조해조장이 추가로 설치될 예정이다.

지난 목장사업의 결과로 미루어 최근 1-2년 사이에 설치된 어초에서는 자원 증대를 100% 기대하기 힘들지만 향후 부착생물과 자원 생물의 정착이 이루어질 것으로 본다면 현재 통영바다목장 해역 내 연안 암반과 구조물의 설치 상태로 자원조성 진도를 추정하면 약 대상 해역면적의 약 33% (830 블록 중/암반 115 블록/수중구조물 설치해역 163 블록) 가 자연 암반 또는 인공어초 어장으로 조성된 것으로 볼 수 있다.

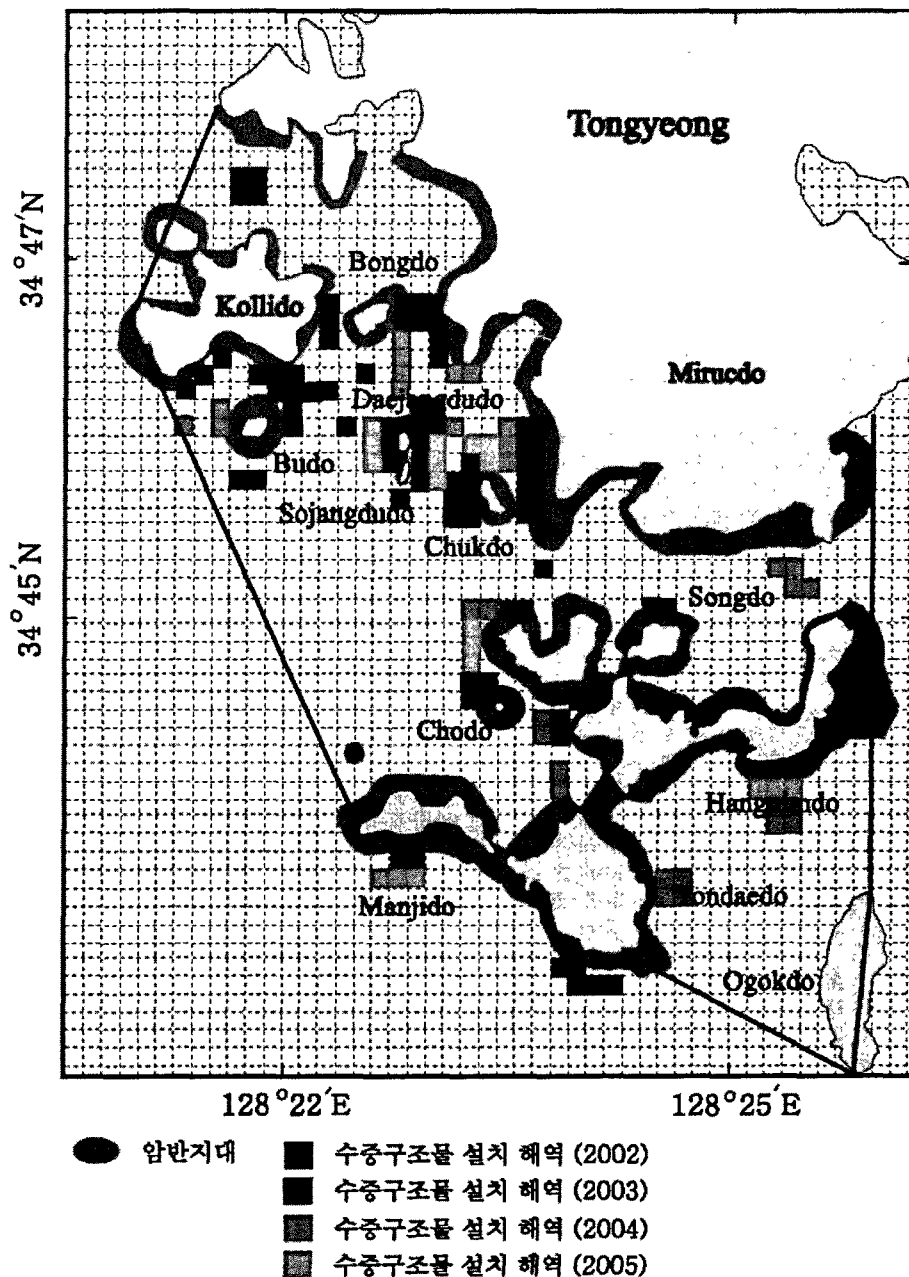


그림 4-3-37. 바다목장 해역에 암반분포와 인공구조물 설치 해역.

라. 서식환경 판별이 가능한 마커의 개발

(1) 일반성분의 비교

1차 실험에서 방류산과 양식산 조피볼락 근육 중 일반성분을 비교하였으나 수분, 조회분 및 조단백질의 경우에는 유의차가 나타나지 않았고 ($P>0.05$), 조지방 함량은 양식산이 방류산에 비해 유의적으로 높았다 (표 4-3-23).

표 4-3-23. 방류산과 양식산 조피볼락의 근육 중 일반성분의 비교

(단위 : g/100g)

	Moisture	Crude ash	Protein	Crude lipid
방류산	77.59±1.24ns	1.25±0.36ns	16.31±0.63ns	1.59±0.09 ^b
양식산	76.69±1.51	1.05±0.06	15.60±0.88	2.39±0.41 ^a

(2) 근육의 조직감 비교

1차 실험에서 방류산과 양식산 조피볼락 근육의 조직감을 분석하기 위하여 rheology 측정하여 비교한 결과는 표 4-3-24와 같다. 방류산과 양식산 간에는 분석 항목 모두 뚜렷한 유의차가 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

(3) 비만도 (CF) 및 간중량지수 (HSI)의 비교

한편 방류산과 양식산 조피볼락의 비만도와 간중량지수를 비교하였다 (그림 4-3-38, 39). 비만도의 경우에는 방류산 (1.5 ± 0.1)이 양식산 (1.6 ± 0.2)에 비해 낮기는 했어도 유의적인 차이가 있을 정도는 아니었고 ($P>0.05$), 간중량지수도 마찬가지로 방류산 (2.1 ± 0.6)이 양식산 (2.6 ± 0.8)보다 더 낮았지만 유의차는 없었다 ($P>0.05$). 한편, 비만도와 간중량지수를 양식산 및 방류산 조피볼락의 체중과 체장과의 관련성을 살펴본 결과는 그림 4-3-40, 41과 같다. 모든 경우에서 상관성은 매우 낮았으며 유의적인 상관성은 없는 것으로 밝혀졌다.

표 4-3-24. 방류산과 양식산 조피볼락 근육의 rheology parameters 비교

	Stocked	Cultured
Strength (Dyne/m ²)	208.63±3.80ns	194.43±36.76
Hardness (Dyne/m ²)	900.50±59.40ns	894.17±65.73
Cohesiveness (%)	40.32±1.65ns	36.12±7.56
Springness (%)	56.07±3.41ns	56.41±2.79
Gumminess (kg)	2.48±0.19ns	2.11±0.21
Brittleness (kg)	1.30±0.19ns	1.30±0.23

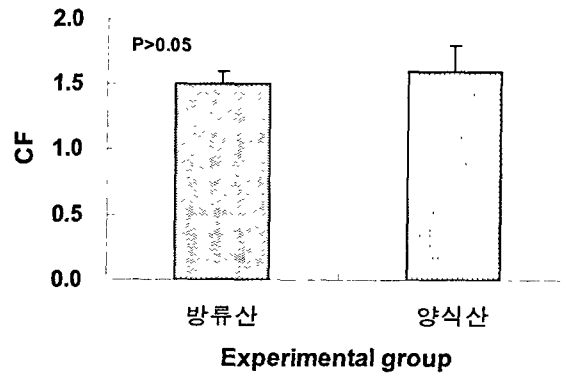


그림 4-3-38. 방류산과 양식산 조피볼락의 비만도 (CF)의 비교.

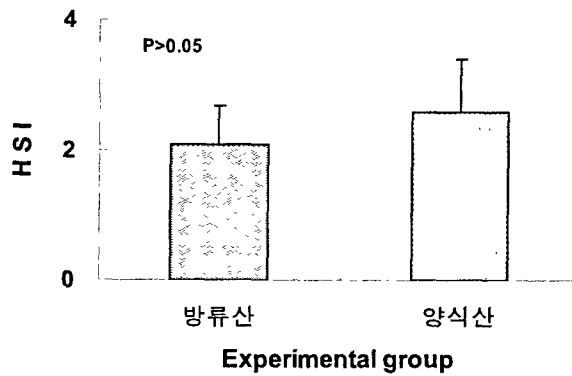


그림 4-3-39. 방류산과 양식산 조피볼락의 간 중량지수 (HSI)의 비교.

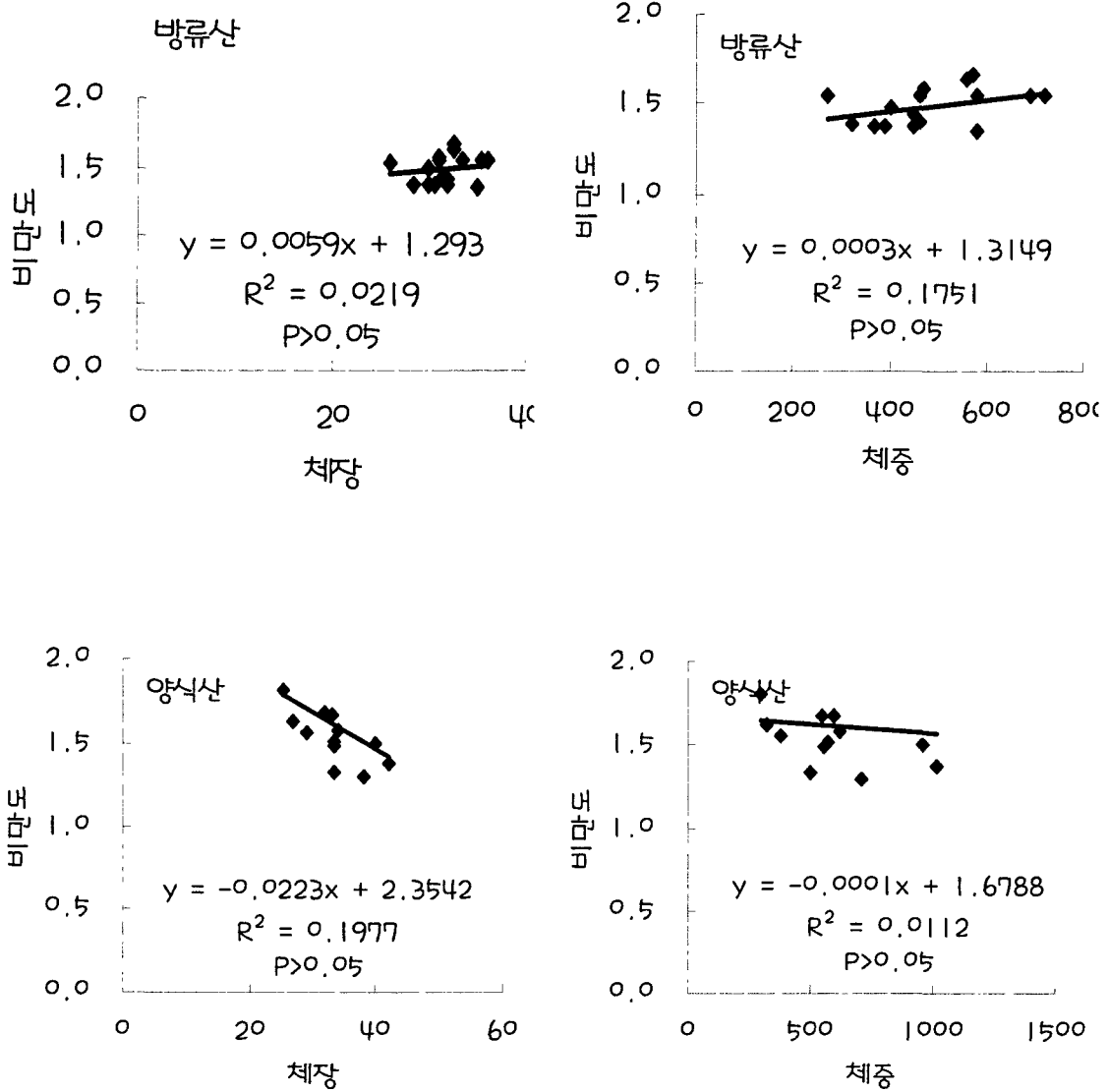


그림 4-3-40. 방류산과 양식산 조피블락의 체장 또는 체중과 비만도와의 상관성.

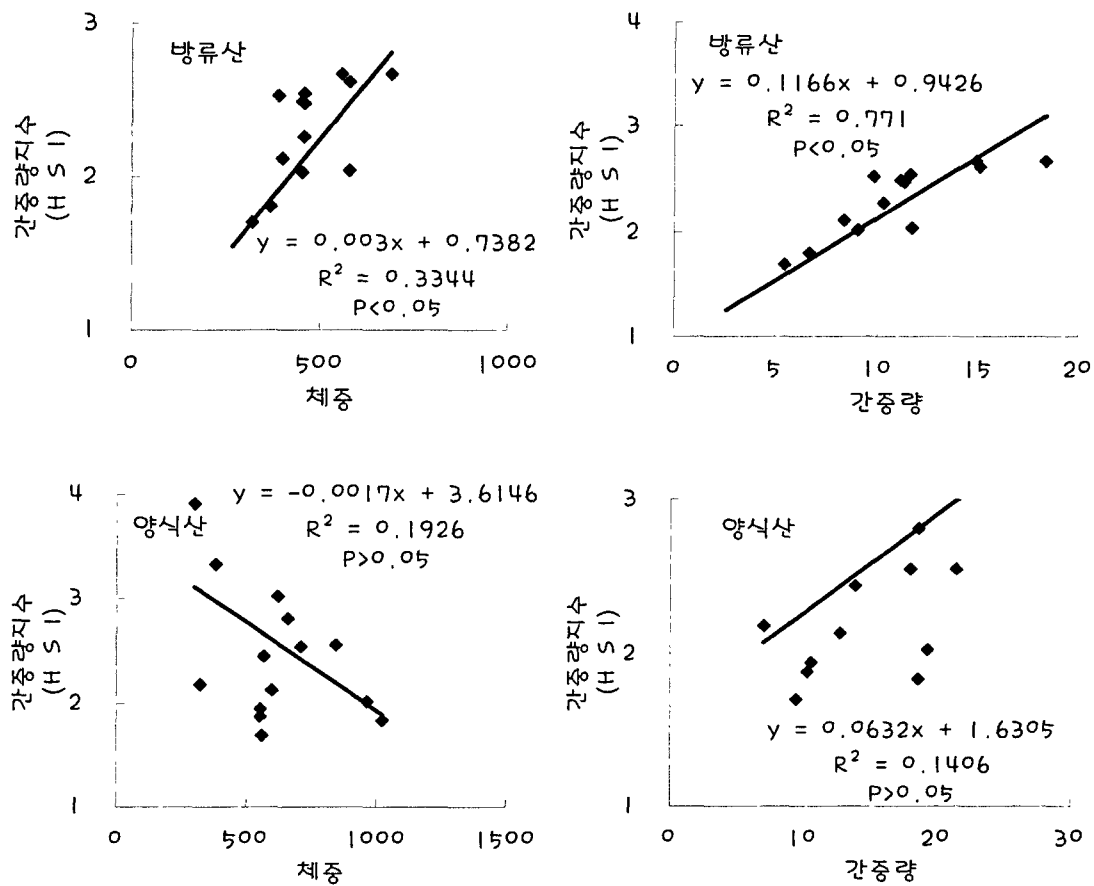


그림 4-3-41. 방류산과 양식산 조피볼락의 체장 또는 체중과 간중량지수와의 상관성.

(4) 혈액 중 삼투질 농도 (osmolality) 및 생화학성분의 비교

삼투질 농도는 양식산이 379 ± 15 mOsm/kg H₂O의 수준이었고, 방류산-1에서는 양식산과 같은 360 ± 15 mOsm/kg H₂O의 수준이었으며, 방류산-2는 340 ± 56 mOsm/kg H₂O의 수준으로 큰 차이는 없었다 (그림 4-3-42). 그 밖의 생화학성분은 현재 분석 중에 있다.

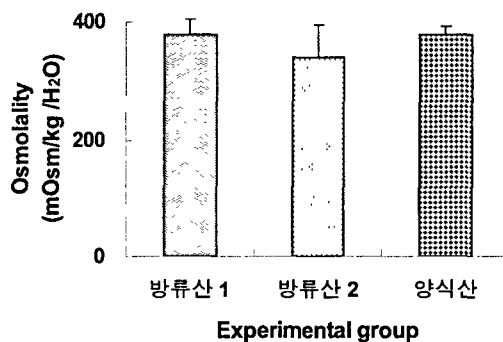


그림 4-3-42. 양식산과 방류산, 자연산 조피볼락 혈장의 삼투질 농도의 비교(2차실험).

(5) 약물대사효소의 분석

간은 어류를 비롯한 모든 척추동물에게 있어 해독에 관여하는 가장 중요한 기관으로서 풍부한 지질성분에 의해 유기물이 축적되는 표적기관이므로 약물이나 사료 중 각종 화합물에 의해 해독효소의 활성이 교란되기도 한다. 이들 외인성 화학물질을 해독하고자 간에서 분비되는 특이적 효소들은 본래는 다른 화학물질을 합성하거나 불활성 시키는데 이용되는 효소이지만 유해물질의 위해성을 평가하는데도 매우 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다 (Thomas, 1990).

1차 실험에서 방류산과 양식산 조피볼락 간장 중 약물대사효소 중 CYP450 함량을 비롯하여 P450R, b5R, GST 활성을 조사한 결과는 그림 4-3-43과 같다.

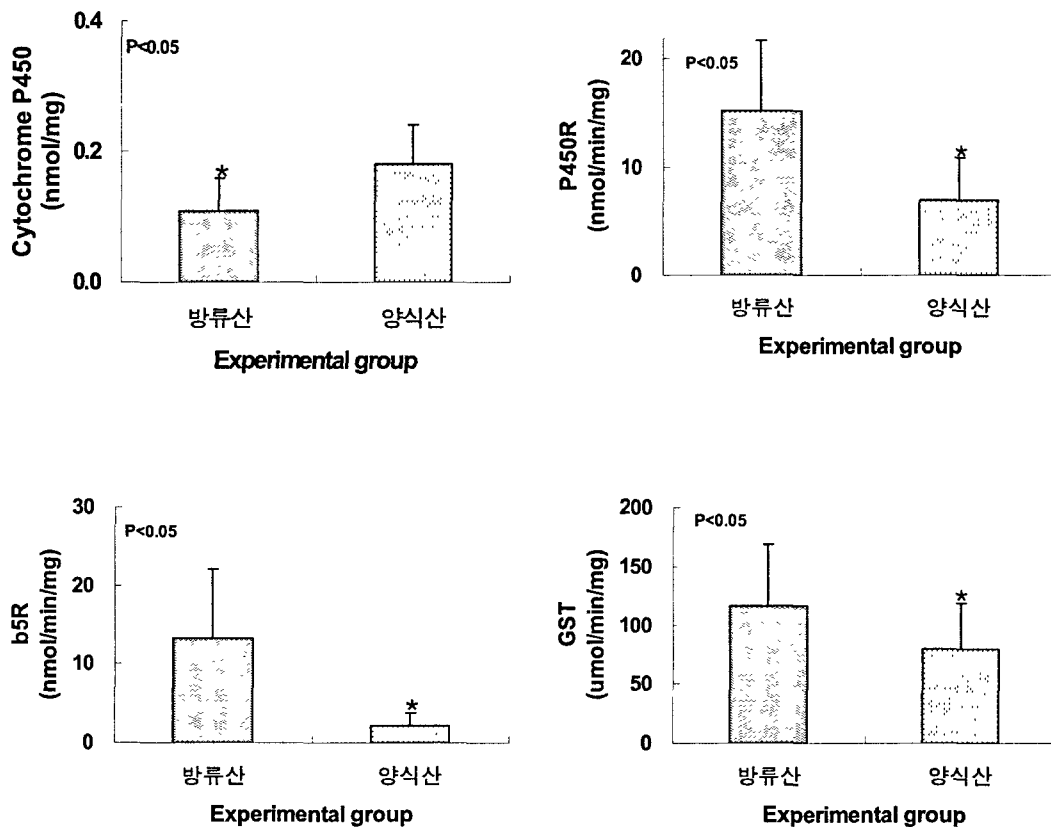


그림 4-3-43. 방류산과 양식산 조피볼락의 간장 약물대사효소계의 비교 (1차실험).

CYP450 농도는 방류산 (0.11 ± 0.05 nmol/mg)이 양식산 (0.18 ± 0.07 nmol/mg)에 비해 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$). 한편 P450R, b5R 활성도 마찬가지로 방류산과 양식산에서 큰 차이를 나타냈다. 즉 이들 환원효소의 활성은 CYP450 함량과는 달리 양식산이 방류산과 비교하였을 때 유의적으로 높게 나타났다 ($P < 0.05$). P450R 활성은 방류산과 양식산에

서 각각 15.2 ± 6.5 및 6.9 ± 3.9 nmol/min/mg였으며, b5R 활성은 각각 13.2 ± 8.9 및 2.2 ± 1.5 nmol/min/mg였다. GST 활성도 큰 차이를 보였으며, 방류산 (114.3 ± 41.6 umol/min/mg) 이 양식산 (79.6 ± 39.2 umol/min/mg)보다 유의적으로 더 높았다 ($P < 0.05$).

한편, 2차 실험에서 양식산, 방류산 (방류산-1), 자연산 (방류산-2)의 간장 중 약물대사 효소계의 수준을 조사한 결과는 그림 4-3-44과 같다.

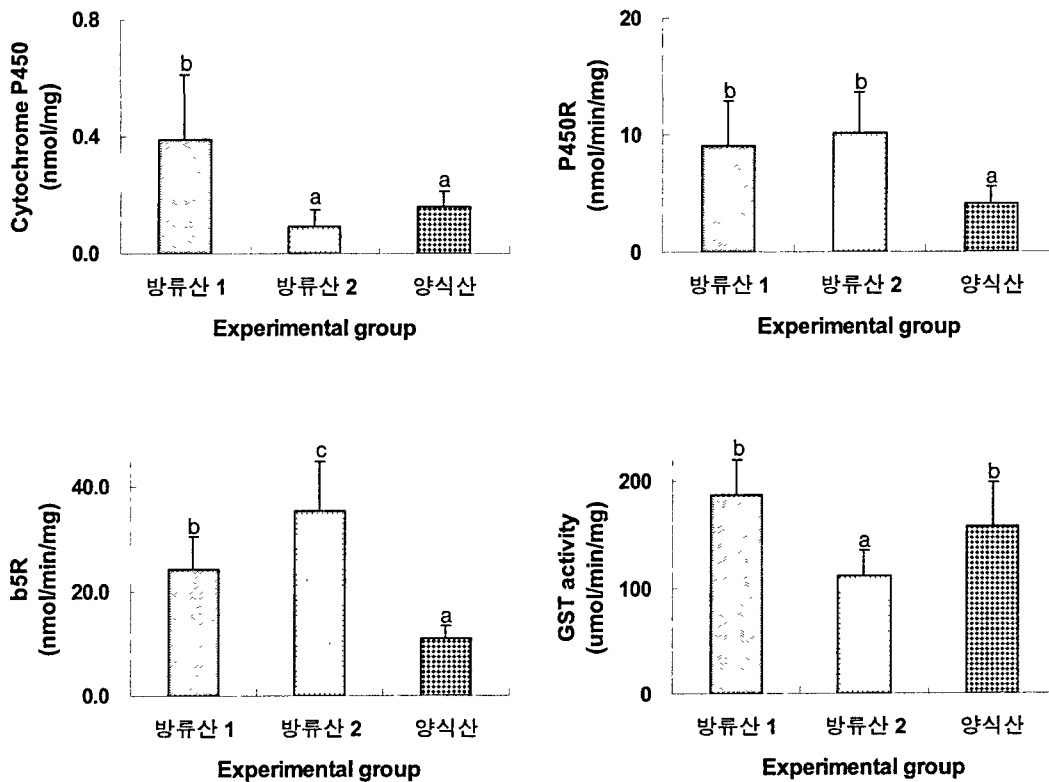


그림 4-3-44. 양식산과 방류산 (방류산-1), 자연산 (방류산-2) 조피볼락의 간장 약물대사 효소계의 비교 (2차 실험).

우선 양식산과 방류산의 약물대사효소계의 전반적인 경향은 앞의 1차 실험과 유사하였으며, 대체로 방류산이 양식산에 비해 높은 수준을 보였다. 하지만 곤리의 인공어초 주변에서 포획한 방류산-2는 이러한 경향에서 벗어나는 모습을 보였다. 1차 및 2차 실험에서 방류산이 양식산에 비해 약물대사효소계가 활성화되어 있는 것은 제한된 가두리 속에서 사는 양식산에 비해 서식반경이 넓은 방류산이 해양오염물질 등에 의해 효소활성이 유도되어 있다고 보여 진다. 이러한 해석이라면 양식산보다 더 넓은 서식환경을 가지는 자연산 어류는 효소활성이 양식산보다 더욱 유도되었어야 함에도 환원효소를 제외하고는

양식산에 비해 낮은 수준이었다. 이러한 차이가 무엇 때문인지 아직 알 수는 없으나 차후 해명해 볼 필요가 있겠다.

그리고 방류산과 양식산 조피볼락 신장 중 상기한 약물대사효소계의 수준을 조사한 결과는 그림 4-3-45와 같다. CYP450 농도는 방류산 (0.58 ± 0.32 nmol/mg)이 양식산 (7.21 ± 3.49 nmol/mg)에 비해 유의적으로 낮았고 ($P < 0.05$), 간장의 경향과도 일치하였다. 한편 P450R, b5R 활성도 마찬가지로 방류산과 양식산에서 큰 차이를 나타내었으며, 간장에서와는 다르게 양식산이 유의적으로 더 높았다 ($P < 0.05$). 즉 P450R 활성은 방류산과 양식산에서 각각 20.4 ± 12.8 및 60.9 ± 19.7 nmol/min/mg였고, b5R 활성은 각각 51.3 ± 28.1 및 125.1 ± 56.5 nmol/min/mg였다. 그러나 간장에서와는 달리 GST 활성은 양식산 (29.9 ± 7.6 umol/min/mg)과 방류산 (40.9 ± 5.5 umol/min/mg)에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

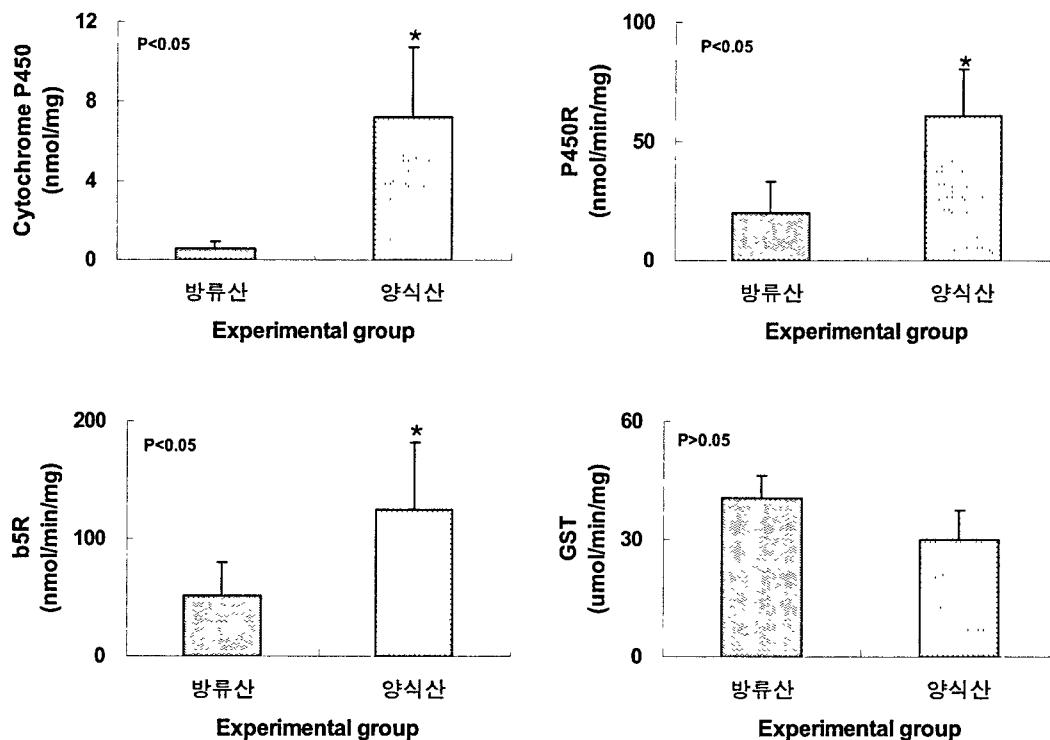


그림 4-3-45. 방류산과 양식산 조피볼락의 신장 약물대사효소계의 비교 (1차 실험).

방류산과 양식산 조피볼락 아가미 중 상기한 약물대사효소계의 수준을 조사한 결과는 그림 4-3-46과 같다. CYP450 농도는 방류산 (0.17 ± 0.11 nmol/mg)이 양식산 (0.04 ± 0.02 nmol/mg)에 비해 유의적으로 높았고 ($P < 0.05$), P450R 활성은 방류산과 양식산에서 각각 6.97 ± 2.99 및 2.23 ± 0.95 nmol/min/mg였고, b5R 활성은 각각 12.37 ± 6.68 및 2.65 ± 0.74

nmol/min/mg였다. 그러나 GST 활성은 양식산 (46.1 ± 15.3 umol/min/mg)과 방류산 (35.8 ± 12.7 umol/min/mg)에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 흥미로운 점은 양식산과 방류산 조피볼락의 아가미에서의 약물대사효소군 반응은 신장의 경우와 정반대였다는 점이다. 즉, 신장에서는 CYP450 농도와 P450, b5R 활성이 양식산이 유의적으로 높았으나 아가미에서는 이와는 정반대로 양식산이 유의적으로 낮았다. 이와 같은 결과는 양식산과 방류산 조피볼락에서 약물대사효소계가 유의적인 차이를 보이고 있음을 보여준다.

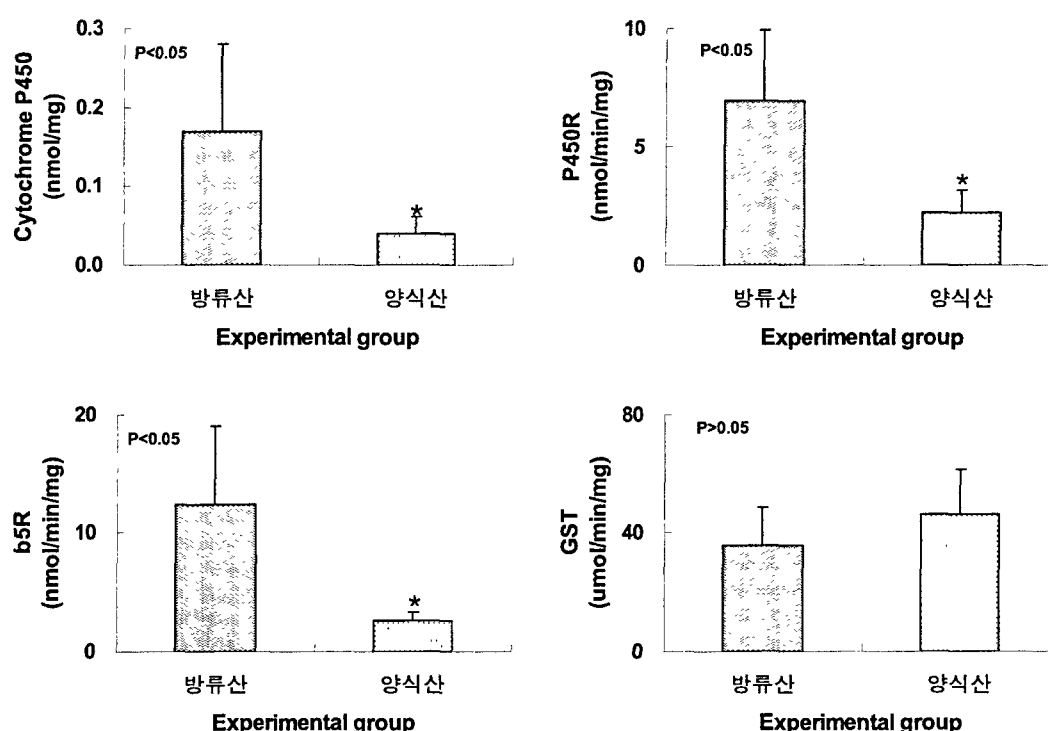


그림 4-3-46. 방류산과 양식산 조피볼락의 아가미 약물대사효소계의 비교 (1차 실험).

(6) 항산화효소의 비교분석

한편, 해양의 각종 오염물질은 어류의 산소 이용에도 영향을 미친다. 어류가 아가미 호흡으로 체내로 흡입된 산소는 오염물질이나 기타 생리적인 조건 때문에 superoxide anion으로 되는데 이것은 독성이 매우 강하지만 생체에서 존재하는 기간이 매우 짧고 superoxide dismutase (SOD)에 의해서 과산화수소로 된다. 이들 과산화수소도 독성이 있으므로 생체에서는 catalase (CAT)나 glutathione peroxidase (GPx)가 이것을 분해하여 독성이 없는 물과 산소로 만든다. GPx의 분해과정에는 glutathione (GSH)가 필요한데, GSH은 GPx가 과산화수소를 분해하는 과정에서 산화형 glutathione (GSSG)로 바뀌게 된다. 이처럼 ROS (Reactive Oxygen Species)의 대사에는 GSH가 필수적인 요소가 되는데

이를 보충하기 위해서 glutathione reductase (GR)가 NADPH를 NADH로 산화시키면서 수소를 받아 GSSG를 환원한다. 그래서 항산화효소계를 조사할 경우에는 SOD, CAT, GPx, GR 활성과 GSH, GSSG 농도를 조사하거나 과산화수소의 농도를 조사하여 평가하기도 한다. GSH와 GSSG의 비율 (GSSG/GSH)도 평가기준으로 하는 수가 있는데, 이것은 세포내의 산화-환원 상태를 반영하며 정상적인 휴지상태의 조직은 1% 정도이다. 즉, GSH 농도가 GSSG 농도보다 훨씬 더 많이 존재한다. 하지만 GSH가 GSSG로 산화되면 이 비율은 급격히 변화하게 된다. 이렇듯이 glutathione system도 세포 내에서 산화-환원 항상성을 유지하는 중요한 완충작용을 하고 있다.

그러나 어류에서 ROS에 관한 방어기작의 정보는 매우 부족하다 (Girotti, 1990; Stadtman, 1991; Lemair and Livingstone, 1993;). (Ahmad *et al.*, 2003).

카탈라제 (CAT)는 자연계에 널리 분포하는 효소로 식물이나 동물세포는 물론이고 호기성 미생물에서도 발견된다. 포유류에서는 조직 중 활성에 큰 차이가 있어 간장과 신장이 가장 높고 결체조직에서는 낮다. 이들 세포에서는 미토콘드리아나 퍼옥시좀과 입자상 결합 (particle-bound)을 하지만 적혈구에서는 녹은 상태로 존재한다. CAT는 생리학적으로 여러 가지 기능을 하는데, 세포내 소기관에 존재하는 이 효소는 과산화수소 (H_2O_2)의 농도를 조절하며, 퍼옥시다제 (peroxidase, 과산화효소)로도 작용하는데 예를 들면 간장의 퍼옥시좀에서는 H_2O_2 생산효소들과 카탈라제가 결합해 있다. 생약연구 분야에서도 H_2O_2 의 scavenger로서의 기능과 더불어 산화대사에서의 역할 때문에 많은 관심을 모으고 있다.

글루타치온 퍼옥시다제 (GPx)는 과산화수소 (H_2O_2)나 지질 과산화물을 환원시키는데 촉매하는 등 생체에서 과산화물을 처리하는데 중요한 역할을 한다. 이 효소의 활성 부분에는 셀레늄 (Se)이 셀레노시스테인 형태로 존재한다. 백혈구나 적혈구와 같은 혈구성분 뿐 아니라 간장, 신장, 폐와 같은 거의 모든 장기조직에 분포하며, 랫트의 간장세포 중에서는 세포질에 70%, 미토콘드리아의 매트릭스에 30%가 존재한다고 알려져 있다 (Zakowski and Tappel, 1978). GPx에는 셀레늄 양에 의존하는 것과 의존하지 않는 두 종류가 있으며, 앞의 것을 셀레늄 의존성 글루타치온 퍼옥시다제 (Se-GPX)라 하고 뒤의 것은 글루타치온 S-트랜스퍼라제 (GST)이다 (Prohaska and Ganther, 1977). Se가 결핍되면 Se-GPX는 나타나지 않고 대신에 GST가 유도되는 것 (Lawrence *et al.*, 1977)으로 미루어, GPx 활성이 떨어지는 경우에는 GST가 대상으로 과산화지질을 제거하는 역할을 한다고 여겨진다.

글루타치온 환원효소 (GR)는 산화형 글루타치온 (GSSG)를 NADPH나 NADH 존재 하에서 환원형 글루타치온 (GSH)으로 환원시키는 효소이며, 간장이나 적혈구 (Staal *et al.*, 1969a, 1969b), 소장 (Durr and Cortas, 1964)에 많이 분포한다.

생리적 역할은 산소나 라디칼, 과산화물이나 글루타치온 퍼옥시다제 등의 반응에 의해

만들어진 산화형 글루타치온 (GSSG)을 GSH로 환원시키는 일이다. 이로 인해 세포 중 GSH는 고농도로 되고 그리고 GSSG는 저농도를 유지한다. 간장 세포에서 GSH/GSSG의 비율은 약 300:1 정도라 알려져 있다 (Akerboom et al., 1982). 이 효소의 활성 (환원력)은 NADPH가 충분히 공급되는 한 매우 크지만 만일 공급이 충분치 못해지면 GSSG가 축적되어 세포 외로 유출한다 (Sies et al., 1972).

1차 실험에서 방류산과 양식산 조피볼락 간장, 신장 및 아가미에서의 항산화효소계인 SOD, CAT, GR, 총 GPx (tGPx) 및 Se-GPx 활성을 조사한 결과는 그림 4-3-47, 48, 49와 같다.

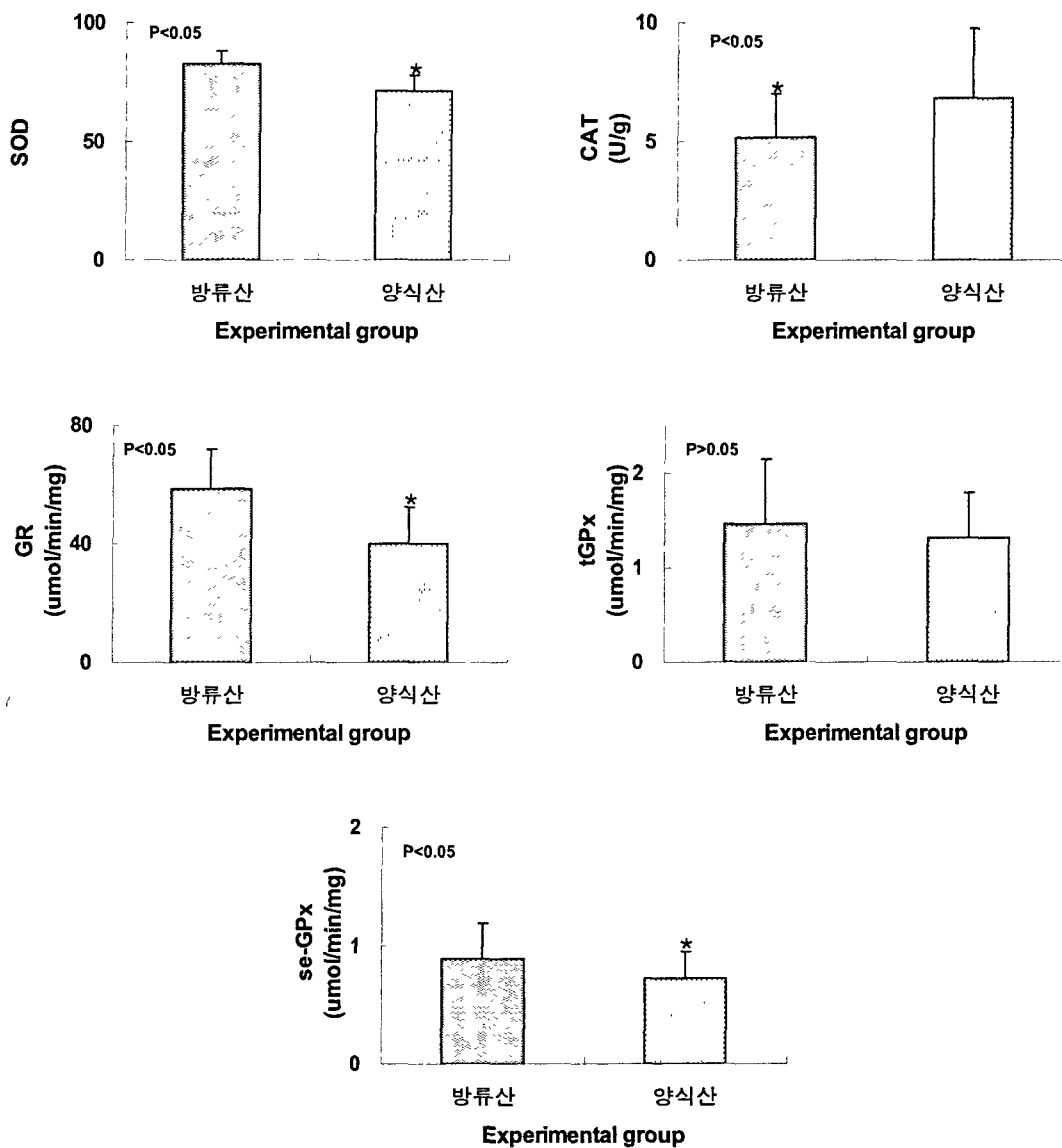


그림 4-3-47. 방류산과 양식산 조피볼락의 간장 중 항산화효소계의 비교 (1차 실험).

항산화효소의 경우, SOD 활성은 방류산 (82.9 ± 5.2 U)이 양식산 (71.2 ± 6.9 U)에 비해 유의적으로 높은 것을 확인하였다 ($P < 0.05$). 한편 CAT 활성은 SOD 활성과는 달리 방류산 (5.2 ± 1.9 U/g)이 양식산 (6.8 ± 2.9)보다 유의적으로 낮게 나타났다 ($P < 0.05$). 또한 GR 활성은 방류산 (58.5 ± 13.4 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$)이 양식산 (40.2 ± 12.1 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$)보다 유의적으로 높았다 ($P < 0.05$). 이러한 경향은 tGPx, se-GPx에서 역시 유사하게 나타났으며, 이들의 tGPx 활성은 방류산과 양식산에서 각각 1.46 ± 0.69 및 1.02 ± 0.25 $\text{nmol}/\text{min}/\text{mg}$ 였으며, Se-GPx 활성은 각각 1.09 ± 0.35 및 0.59 ± 0.1 $\text{nmol}/\text{min}/\text{mg}$ 였다 (그림 4-3-47).

한편 신장에서의 항산화효소계의 반응을 보면 (그림 4-3-48), tGPx를 제외하고는 방류산이 양식산에 비해 유의적인 차이를 보일 정도로 높았다. 즉, CAT 활성의 경우에는 방류산 조피볼락은 5.91 ± 1.91 U/g이었으나, 양식산 조피볼락은 3.16 ± 1.33 U/g이었고, GR 활성은 방류산이 297.4 ± 69.14 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이며 양식산은 11.64 ± 5.4 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 로 매우 뚜렷한 차이를 보였다. 그리고 총 GPx 활성 (tGPx)은 방류산이 0.42 ± 0.21 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이었고 양식산이 0.37 ± 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이었으며, Se-GPx 활성은 방류산이 0.56 ± 0.02 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 였고 양식산은 0.13 ± 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 였다.

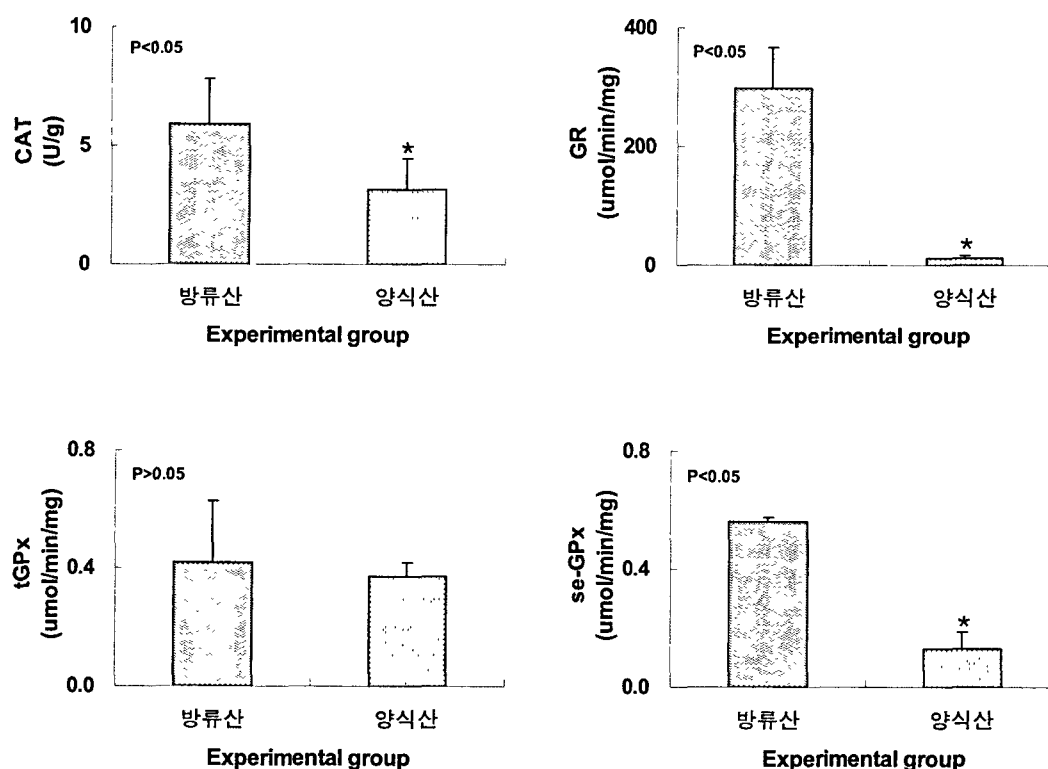


그림 4-3-48. 방류산과 양식산 조피볼락의 신장 중 항산화효소계의 비교 (1차 실험).

한편 아가미에서의 항산화효소계의 반응을 보면 (그림 4-3-49), 조사한 효소는 대체로 방류산이 양식산에 비해 높았지만 유의적인 차이를 보일 정도는 아니었으나, Se-GPx만은 유의적인 차이를 보이며 높았다. 즉, CAT 활성의 경우에는 방류산 조피볼락은 11.03 ± 5.83 U/g이었으나, 양식산 조피볼락은 8.56 ± 2.93 U/g이었고, GR 활성은 방류산이 66.6 ± 17.7 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이며 양식산은 43.7 ± 11.8 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 로 차이를 보였다. 그리고 총 GPx 활성 (tGPx)은 방류산이 45 ± 17 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이었고 양식산이 23 ± 13 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 이었으며, Se-GPx 활성은 방류산이 49 ± 12 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 였고 양식산은 15 ± 6 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 였다.

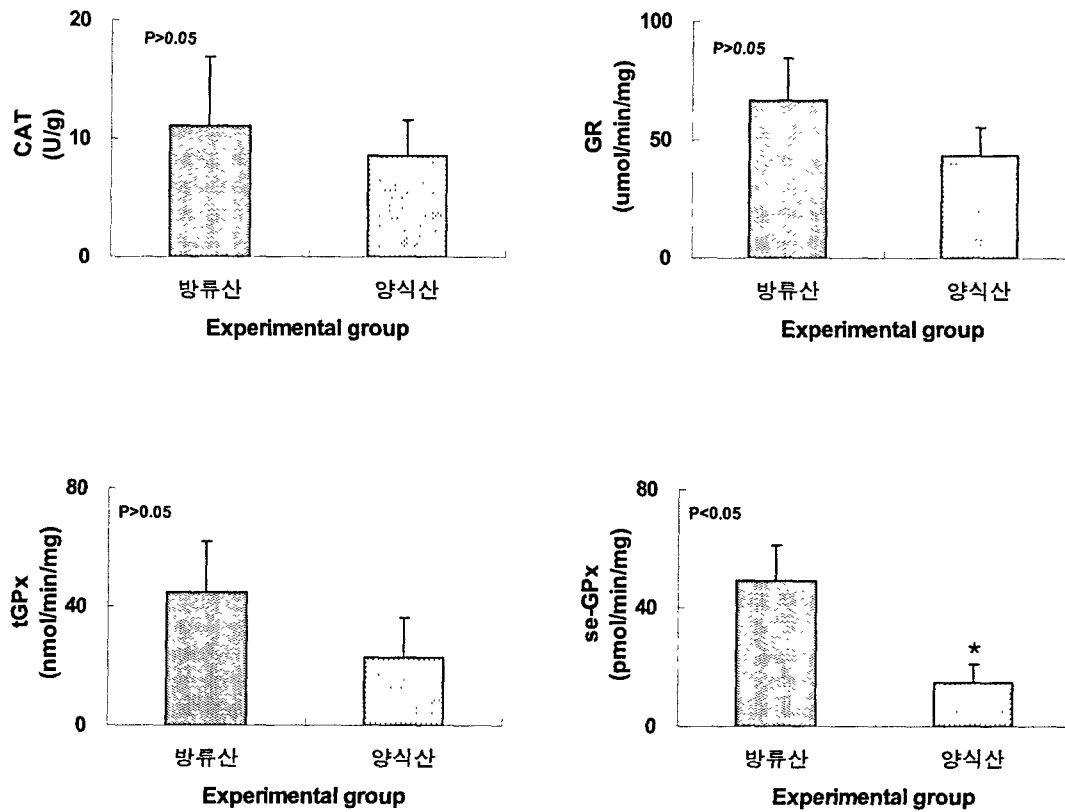


그림 4-3-49. 방류산과 양식산 조피볼락의 아가미 중 항산화효소계의 비교 (1차 실험).

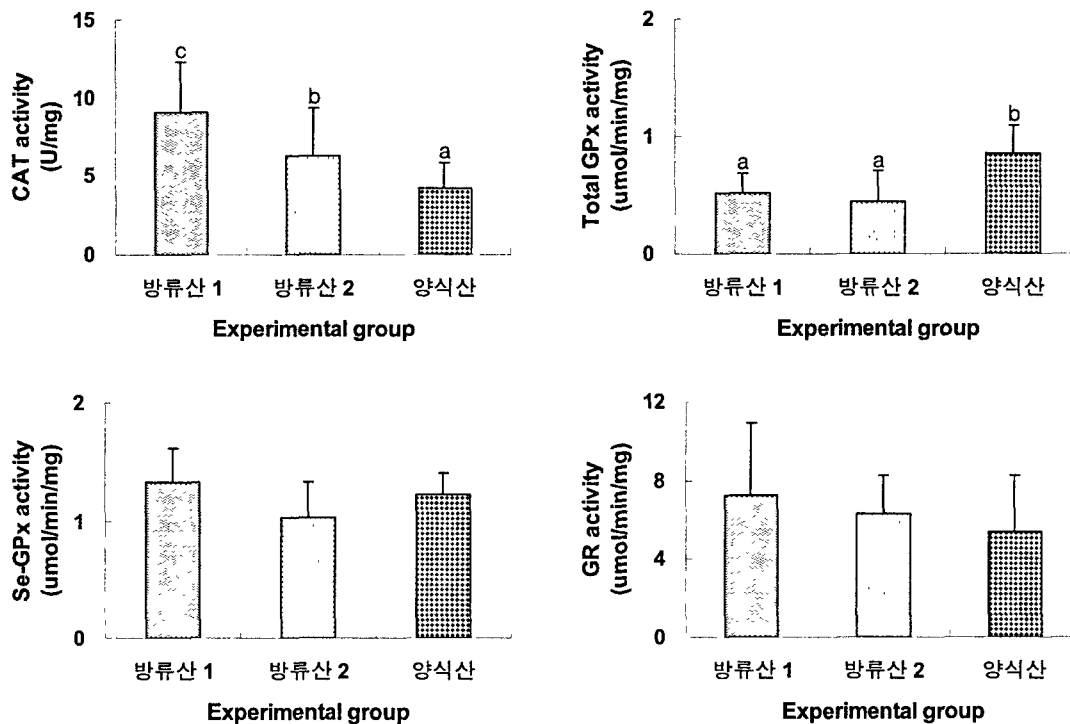


그림 4-3-50. 방류산과 양식산-1, 자연산 (양식산-2) 조피볼락의 간장 중 항산화효소계의 비교 (2차 실험).

2차 실험에서도 항산화효소계 활성은 서식지역에 따른 차이를 보여 방류산이 양식산에 비해 다소간 높은 수준이었으며, 이것은 서식환경에 의해서 항산화효과를 더욱 크게 확한 것이라 여겨진다. 하지만 방류산-1과 자연산 (방류산-2)과의 사이에는 특이한 차이를 보이지 않았다 (그림 4-3-50).

이상의 결과를 정리하면 간장, 신장, 아가미 모두 방류산 조피볼락의 항산화효소 활성이 양식산에 비해 유의적으로 차이를 보이며 크다는 것을 알 수 있었고, 이것은 완전한 자연 상태가 아닐지라도 가두리에 가두지 않고 방류하여 갯혀 지내지 않는 환경에서는 어류 스스로가 외부로부터 가해져오는 각종 스트레스 등에 스스로 대처할 수 있는 능력을 갖추게 된다는 것을 보여주는 것이다.

한편 양식산과 방류산의 차이를 판별할 수 있는 바이오마커로 활용가능성이 있는 항산화효소로는 간장, 신장, 아가미에서 모두 방류산이 양식산보다 유의적으로 높았던 GR이 우선 검토되어야 할 것이라 여겨진다. 다만, 항산화효소는 서식환경에 따른 차이가 클 것으로 여겨지므로 이번 실험에서 시료를 채집하였던 통영 외에 다른 지역에서도 마찬가지로 결과를 얻을 수 있는지 더 많은 분석결과를 수집할 필요가 있다.

마. 유전자원조사

불락 두 집단(방류용 종묘 100개체와 방류해역 인근에서 채집된 불락 32개체)에 대한 유전학적 차이를 분석하기 위하여 미토콘드리아DNA 조절영역의 전반부를 증폭하여 염기서열을 분석하였다. 그 결과 359 base pairs(bp) 크기의 염기서열을 얻었으며 이를 유전자 배열에 따라 유전자형을 분류하여 방류용 종묘에서는 47개, 자연집단에서는 26개의 유전자형이 존재하는 것을 확인하였다. 조사된 불락 방류용 종묘와 자연집단의 유전자형을 표 4-3-25과 표 4-3-26에 나타내었다. 방류용 종묘 47개의 유전자형에서는 43개(38, 94, 96, 100, 103, 107, 110, 111, 118, 123, 124, 125, 132, 146, 150, 157, 179, 181, 187, 194, 200, 203, 215, 221, 222, 237, 247, 248, 253, 254, 266, 273, 274, 279, 287, 310, 314, 315, 322, 337)의 위치에서 총 43개의 염기의 변이가 관찰되었으며, 이들 모두가 염기의 치환(substitution)으로 인한 변이인 것으로 확인되었다. 그 중 염기의 전환(transversion)이 6개 확인이 되었고, 그 외에는 염기의 전이(transition)인 것으로 확인되었다. 한편, 자연집단에서 확인된 26개 유전자형에서는 33개(100, 103, 110, 111, 123, 124, 125, 139, 140, 146, 157, 179, 180, 181, 187, 191, 194, 203, 213, 215, 224, 251, 254, 261, 279, 287, 296, 310, 314, 315, 322, 331, 337)의 위치에서 총 35개의 염기 변이가 관찰되었으며, 방류용 종묘에서와 같이 모두 염기의 치환(substitution)으로 인한 변이인 것으로 확인되었다. 그 중 염기의 전환(transversion)이 4개 확인이 되었고, 그 외에는 염기의 전이(transition)인 것으로 확인되었다.

두 개의 집단에서 조사된 haplotype 다양도와 염기다양도는 표4-3-27에 나타내었다. haplotype 다양도는 방류용 종묘가 0.96 ± 0.01 이고 자연집단에서는 0.99 ± 0.01 로 자연집단이 다소 높게 나타났다. 본 연구 결과는 2003년 결과(방류어 0.85 ± 0.02 , 자연산 0.98 ± 0.02) 그리고 2004년 불락 mtDNA 조사 결과(방류어 0.82 ± 0.02 , 자연산 0.97 ± 0.01)보다 모두 높게 나타났고 특히 방류어에서 두드러졌다(곽, 2004, 2005). 염기다양도 또한 방류용 종묘의 0.012 ± 0.007 에 비해 자연집단에서 0.015 ± 0.008 로 자연집단이 다소 높게 나타나 방류용 종묘의 염기다양도가 다소 낮은 것으로 나타났다. 또한 방류용 종묘의 경우 1개의 유전자형을 12개체가 공유하여 9%가 같은 유전자형을 갖고 있는 것으로 나타났다. 또한 방류용 종묘 가운데 9개체가 1개의 유전자형을 공유하고 있는 그룹이 2개 관찰되어서 조사된 방류용 종묘 중 23%가 3개의 유전자형에 포함되었다. 그리고 방류용 불락 종묘에서 확인된 47개 haplotype중에 rare haplotype 즉, 한 개의 haplotype을 한 개체만이 갖고 있는 경우가 27개로 2003년 15개, 2004년 4개에 비해 매우 높게 나타났다. 자연집단에 비해서 인위적으로 사육한 생물집단에서 haplotype 다양도가 낮은 것이 일반적인 현상으로 보고되고 있다(Taniguchi et al., 1983; Durand et al., 1993).

본 연구 결과에서도 방류용 종묘의 haplotype 다양도가 다소 낮게 나타났지만 2003년과 2004년의 결과와 비교해 볼 때 매우 높은 수치라고 할 수 있다. 본 연구 결과에 근거하여 2005년 방류된 불락 종묘의 경우 유전적 다양성이 확보된 친어로부터 재생산되었을 가능성이 있는 것으로 사료된다.

표 4-3-27. 불락 방류어와 자연집단의 유전적 다양성 비교

			다양도 지표		
기원	시료수	유전자형 수	유전자형 다양도	염기 다양도	mean pairwise differences
방류용종묘	100	47	0.99±0.01	0.012±0.007	4.19±2.10
자연집단	32	26	0.96±0.01	0.015±0.008	5.29±2.62

한편, 자연집단에서 확인된 26개 유전자형 중에서는 14개 유전자형이 rare haplotype 인 것으로 확인되었고 전체의 44%를 차지하였다. 본 연구에서 얻어진 불락 방류어의 다양하고 종 특이적인 haplotype에 근거하여 불락의 방류 후 추적 조사에 mtDNA를 genetic marker로 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 방류용 불락의 유전적 다양성 유지를 위한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

제 4 절 자원조성 매뉴얼 작성

1. 서 론

통영 바다목장의 본 연구를 마무리하려는 시점에 특히 자원조성 사업 분야에 관한 방류 대상 어류의 건묘생산, 중간육성 과정과 음향순치 기술, 방류기술, 그리고 자원조성 및 관리 분야를 대상으로 기술 지침서(Manual)을 작성하고자 한다.

우선 올해에는 그간 사업 시행 과정을 통하여 얻어진 자원조성 사업을 중심으로 현장 적용을 위한 기술지침서, 즉 manual화 과정을 추진하려고 기본 안을 검토하는 것을 목적으로 한다. 기술지침서 작성은 지금까지 다년간 연구 사업을 진행하면서 현장 실험을 통하여 얻어진 결과와 자료의 분석을 바탕으로 확립된 여러 기술 중 자원조성 기술에 대한 분야를 대상으로 하고 있다. 이 기술지침서가 근간이 되어 현장 적용을 수행할 때 보다 효율적이고 경제적인 과정을 통하여 사업이 이루어 질 수 있도록 유도하려는 것이 최종 목표이기 때문이다.

기술지침서 구축사업은 이번에 처음 시도되는 것으로 기존 연구 자료를 앞으로 바다목장 사업을 시행 및 관리하는 주체가 되는 실무부서에서 사업시행에 활용도를 제고하기 위하여 기본 단위 사업별로 상세한 기술지침을 수립할 필요가 있기 때문이다. 여러 분야의 연구 성과, 즉 과정과 결과를 통하여 얻어진 내용에 경험적 자료까지를 포함하여 최근 급속도로 발전되는 기술 수준에 맞추어 손쉽게 활용이 가능하도록 체계화하려는 시도인 것이다.

본 연구에서는 다년간의 현장 실험연구를 통하여 얻어진 연구결과의 기술적 타당성을 검증하였다. 대상이 되는 자원조성 사업의 기술 확립 과정은 다음의 4단계로 구분되어 시행되었다.

1단계 : 연구 기획단계 및 년차별 현장 적용 실험 계획 수립

2단계 : 다년간 현장 적용 실험을 통한 결과 축적

3단계 : 축적된 결과의 분석 및 검증.

4단계 : 기술 확립 및 표준화 실시

현재 작성 중인 기술지침서가 바다목장 사업의 자원조성 분야의 기술 표준화 작업의 일환으로 생각할 수 있다. 그리고 최종 지침서 작성을 위한 기초단계로 각각의 기술 특성에 맞는 기본 안을 우선 제시하고 비교 및 검토과정을 통하여 최종 기술 지침서를 결정하려는 기초 작업을 본 연도에 수행하였다.

2. 대상 선정

가. 기술 목표

본 기술지침서를 만들려는 최종 목표를 다음과 같이 서술할 수 있다. 바다목장 사업의 목표 중에는 현재 여러 가지 수산자원 중 부가가치가 큰 어종에 관한 자원 조성을 위하여 주변어장에 자원첨가 및 자원관리 사업이 진행되고 있으나, 현재 우리가 조성한 어장의 여러 가지 조건과 나타나는 현상을 보다 면밀히 검토하여 재평가를 시행하지 않는 한 해당사업의 성공적 추진을 기대하기는 어려운 실정이다. 따라서 통영 바다목장의 본 연구를 마무리하려는 시점에 자원조성 사업을 위한 방류종묘가 자원에 가입되어 재생산의 목적을 달성하기 위하여서는 방류 후 가능한 높은 초기 생존을 확보하여야하는 것은 당연한 사실이다. 이를 위하여 건강종묘 생산, 중간육성, 방류기술, 그리고 관리기술 등에 관한 그간의 연구사업 수행 과정 중에 얻은 많은 사실들을 종합하여 기술지침서 형식으로 재정리하고 함이 목표이다.

본 기술 지침서 작성의 기초적인 근거는 지금까지 여러 가지 측면에서 조사된 결과를 바탕으로 서로 밀접하게 영향을 주고받는 생태계 내의 각 요소들 간의 연관성을 파악하여 바다목장이라는 규모의 연안 생태계 환경관리에 대한 환경친화적 기법으로 적용되기 위한 가장 효율적인 방법론적 의미에 의의를 둔다.

나. 대상 기술 내용

당해연도에 본 작업은 우선 자원조성 분야에 국한하여 여러 가지로 검토된 대상 항목들에 관한 각각의 기술이 갖는 특성에 따라 기본 안을 우선 검토하고 최종 사업 종료에 맞추어 바다목장 사업의 원활한 추진을 위한 기술지침서를 작성할 예정이다. 이를 위한 준비 단계로 기본 안을 검토하는 과정으로 각각의 분야의 일을 맡아 수행한 연구자들의 작성 기준에 따라 기본 틀을 수립하기 위한 준비 단계로 내용을 작성함을 우선 밝혀 둔다. 한편 작성되어야할 대상 항목은 기존 자원 평가 기술, 대상생물의 특성 분석 기술, 건묘 생산 및 판별 기술, 중간육성 기술, 방류 기술, 입체적 공간활용 기술, 그리고 자원 관리 기술 등으로 크게 구분할 수 있다.

(1) 건강종묘 생산

바다목장의 자원조성을 위하여 바다목장의 대상생물로 선정된 품종은 우선 그 해역에 서식하고 있는 종을 대상으로 하는 것이 현재 안정되어 있는 자연생태계의 균형을 깨뜨리지 않고 수산자원을 증식 시키는 목적으로 가장 안전할 것이다. 따라서 자원조성 대상생물을 방류하여 자원조성 효과를 극대화하기 위해서는 첫째, 자연에서 유구한 기간에 걸쳐 적자생존의 진화과정을 거치면서 생태적 적응력을 가지고 있는 자연산 치어의 특성을 구명하고 둘째, 인공 생산된 방류 치어의 특성을 연구하여, 어떠한 특성을 가진 치어가

자연에서 더 잘 적응하여 생존하고, 조성된 목장 해역에서 하나의 자원으로 재생산에 참여할 수 있는 가입률을 높이는 기술 확립이 필수적이다. 그리하여 자연 생태계에 잘 적응할 수 있는 특성을 가진 치어의 생산방법을 구축하여야만 할 것이다. 셋째, 방류하고자 하는 해역의 환경특성과 양식생산 기술의 수준 등, 특성을 고려한 방류용 치어 생산기술과 방류성과를 판정할 수 있는 연구가 병행되어 기술이 확립되었다.

(가) 목적

자연계에서 생태적 적응도가 높은 천연 종묘의 특성을 파악하여 방류용 인공종묘생산에 적용함으로써 건강한 종묘의 방류를 통한 실효성 있는 자원조성 사업을 행하고자 한다. 이러한 기술 확립의 성과가 있어야만 인공종묘의 방류를 통한 자원 증대의 목적을 가시적으로 달성할 수 있을 것이다.

현재까지 우리나라에서는 우량 종묘라고 하는 것은 주로 양식용 종묘에만 국한하여 생각하여 왔을 뿐, 자연생태 적응력을 고려한 방류용 종묘로서의 필수적인 생태적 특성과 양식용 종묘로서 요구되는 특성과의 사이에 어떠한 차별적인 개념의 정립이 되어 있지 않은 실정이다. 따라서 그간의 연구 결과를 기술지침서로 정리하였다.

(나) 판정 요소

바다목장 사업의 성공 여부를 결정 짓는 구성요인 중에 하나가 방류용 대상생물의 선택 및 생산이다. 통영 바다목장의 대상어종으로 조피볼락과 볼락이 이용되고 있다. 조피볼락과 볼락은 연안 정착성 어종으로써 성장이 빠르며 외부환경 변화에 내성이 강하여 바다목장화 대상어종으로 적합하나 이들의 종묘생산 연구는 주로 양식 산업적인 측면에서 이루어 졌으며 방류를 위한 건강한 종묘(健苗)로서의 연구는 매우 미흡한 실적이다. 따라서 방류효과를 극대화를 위하여 건강 정도와 생태 적응력 등과 같은 질적인 측면이 고려된 우량 종묘의 생산이 매우 중요하다. 우량종묘라 함은 성장과 건강도, 체형, 체색 등으로 구별하고 있는데 이런 치어는 자연산에 가장 가까운 특성을 가진 것을 의미한다. 방류용 우량종묘 생산 및 판별 기술 분야는 다음과 같이 구분하여 기술 검토를 수행하였다.

- 자연종묘와 인공종묘의 특성 비교
- 사육 조건별 인공종묘의 특성 연구
- 방류용 종묘생산방법 구명

- 양식산 종묘와 자연산 종묘의 특성비교
 - 형태적 특성
 - 자연산 > 양식산 : 꼬리자루 길이, 안경의 크기, 주둥이 길이

- 양식산 > 자연산 : 제1체고 길이
- 생리적 특성
 - 자연산 > 양식산 : 마취내성, 공기노출 내성,
 - 양식산 > 자연산 : RNA/DNA 비
- 생화학적 특성(체성분)
 - 자연산 > 양식산 : 수분, 아미노산 총 함유량, Mg 및 Mn 함량, Asparatic acid, Glutamic acid, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine, Threonine, Valine
 - 양식산 > 자연산 : 지질 함량(축제식 양식산이 자연산의 3배, 육상 수조산의 4배), 비만관련 인자(간중량 지수, 장중량 지수, 비만도 등), 혈청 중 Na, Cl, Ca, Pi, Mg 함량
- 유전학적 특성 : 자연산과 양식산 치어에 있어서 종내 유전적 차이는 분명하지 않음
(정착성 어종에 기인)

○ 방류용 조피블락, 블락 종묘생산 방법

< 조피블락 >

- 초기자어 사육밀도(2,000~8,000마리/m³)
- 사육수조의 수조 크기별(2톤, 10톤, 20톤, 30톤, 40톤, 60톤) 차이
- 어미 관리 방법 (자연산 및 양식산친어 출산자어)
- 사육수조 차광별(무차광, 1겹, 2겹, 4겹)
- 사육 밀도별(200, 500, 1,000, 1,500마리/m³) 치어 특성
- 광주기 (자연광주기)
- 환수량(10, 20, 40회전/일)
- 사육수 유속(무유속구, 0.2, 0.4, 0.8m/sec.)별 치어 특성
- 종묘생산 방법
 - 종묘생산 초기단계(출산자어~전장 5cm)
 - 종묘생산 후기단계(전장 5~10cm)

< 블락 >

- 차광률(무차광, 1겹, 2겹, 4겹 차광)별 치어의 특성
- 수용밀도별(전장 5.7cm 전후 0.4, 1.2, 2마리/L) 치어의 특성
- 유속(무유속구, 0.2, 0.4, 0.8m/sec.)에 따른 치어의 특성
- 블락류 집단간(양식산 및 자연산)의 유전적 차이
- 종묘생산 방법
 - 블락 치어(5cm 전후)의 사육밀도 등이 건강 종묘를 판정할 수 있는 방법들이다.

한편, 다음 표 4-4-1에서 대상항목의 요소를 중심으로 판정하는 방법을 요약하였다.

표 4-4-1. 건강 종묘 판정을 위한 기본적 요소

구 분	연구항목	분석항목	양식산	자연산	비 고
형태학적 특성	외부형태적 차이	꼬리자루	짧다	길다	도피능력
		제1체고	높다	낮다	
		안경의 크기	작다	크다	색이능력
		주둥이 길이	짧다	길다	
생태학적 특성	은신성	은신성	명확하지 않음	명확하지 않음	육상수조산 > 축제식양식산
생리화학적 특성	체성분	수분함량	낮음	높음	
		지질함량	높음	낮음	축제식양식산은 자연산 3 배, 육상수조산은 4배
		간중량지수, 복강내지방,장 중량지수	높음	낮음	자연산의 복강내 지방은 혼적적
		비만도	높음	낮음	
		아미노산 총합유량	낮음	높음	Asparatic acid, Glutamic acid, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine, Threonine
		Mg	낮음	높음	
	RNA/DNA	RNA/DNA 비	높음	낮음	세포내 단백질 합성능력
	혈액의 특성	혈당(GLU), GOT, Pi 합량	높음	낮음	
	Stress에 대한 내성	마취내성	약함	강함	
		공기노출내성	약함	강함	축제식 양식산 > 육상수조산
유전학적 특성	유전자 변이성	종내유전적 차이	분명않음	분명않음	이형접합체율(He): 축제식 양식산(0.027) > 자연산 > 육상수조산(0.017)
	환경영향성 단백질의 발현도	hsp70 transcripts 양적 변화	차이없음	차이없음	

(다) 결과

<양식산 종묘와 자연산 종묘의 특성 비교>

- 형태적 특성

- 자연산 > 양식산 : 꼬리자루 길이, 안경의 크기, 주둥이 길이
- 양식산 > 자연산 : 제1체고 길이

※ 조피블락 방류크기를 10cm로 할때 방류용 종묘기준은 안경크기 7.8mm 이상, 주둥이길이 9.2mm 이상, 제1체고 길이 27.2mm 이하, 꼬리자루길이 14mm 이상일 것

- 생리적 특성

- 자연산 > 양식산 : 마취내성, 공기노출 내성,
- 양식산 > 자연산 : RNA/DNA 비

- 생화학적 특성(체성분)

- 자연산 > 양식산 : 수분, 아미노산 총 함유량, Mg 및 Mn 함량, Asparatic acid, Glutamic acid, Isoleucine, Leucine, Lysine, Phenylalanine, Threonine, Valine
- 양식산 > 자연산 : 지질 함량(축제식 양식산이 자연산의 3배, 육상 수조산의 4배), 비만관련 인자(간중량 지수, 장중량 지수, 비만도 등), 혈청 중 Na, Cl, Ca, Pi, Mg 함량

- 유전학적 특성 : 자연산과 양식산 치어에 있어서 종내 유전적 차이는 분명하지 않음 (정착성 어종에 기인)

< 방류용 조피블락, 블락 종묘생산 방법 >

- 조피블락

- 초기자어 사육밀도(2,000~8,000마리/m³) : 성장, 생존율, 마취 및 노출내성에 있어 2,000마리/m³가 양호
- 수조크기별(30톤, 60톤) : 60톤 수조가 전장, 체중, 생존율의 측면에서 양호
- 어미유래별(자연산, 양식산친어 출산자어) : 자연산 친어 출산 자어가 성장(전장 및 체중 증가)이 양호
- 수조크기별(2톤, 10톤, 20톤, 40톤) 치어특성 : 40톤 수조에서 생존율, 체중 증가, 일간 성장률, 사료전환효율, 비만도, 체성분 중 수분함량이 높았으나 지질 함량이나 코티졸 농도는 가장 낮았다.
- 사육수조 차광별(무차광, 1겹, 2겹, 4겹) : 4겹 차광구가 생존율, 증중량, 일간 성장률, 사료효율이 높았으며, 이외 은신율, 코티졸 농도, 체성분 중 단백질, 회분 함량도 높았다.
- 사육 밀도별(200, 500, 1,000, 1,500마리/m³) 치어 특성 : 일간 성장은 1,500마리/m³이 가장 낮았으나 나머지 3개 실험구에서는 차이가 없었다. 사료효율, 코티졸 농

도, 마취시간 및 회복시간에 따른 내성은 1,000마리/m³가 가장 양호

- 광주기 : 자연광주기 실험구가 24시간 조명 실험구에 비해 성장이나, 생존율이 높음
- 환수량(10, 20, 40회전/일) : 생존율에는 차이가 없었으나, 10회전/일의 실험구에서 성장(전장 및 체중증가)이 양호하였다. 전장에 대한 꼬리자루의 길이 성장은 40회전/일의 실험구가 높았으나 각 실험구간의 유의적인 차이는 없었다.
- 사육수 유속(무유속구, 0.2, 0.4, 0.8m/sec.)별 치어 특성 : 0.8m/sec. 실험구에서 체고의 성장이나 미병고의 성장이 가장 낮았으며, 체중의 증가, 비만도, 일간 성장률은 0.2m/sec.가 가장 높게 나타났다.

※ 방류용 조피볼락의 종묘생산 방법

- 종묘생산 초기단계(출산자어~전장 5cm) : 다양한 유전형질의 건강한 친어를 사용하여 출산된 자어를 대형 육상 수조를 이용하여 저밀도로 사육(출산자어 수용밀도 2,000~5,000마리/m³)하고 사육초기에 충분한 먹이 공급으로 치어를 생산하여야 한다.
- 종묘생산 후기단계(전장 5~10cm) : 전기단계에서 건강하게 배양한 치어를 약하게 차광(3,000~10,000Lux)한 20~40톤의 수조를 이용하여, 치어 최초 사육밀도를 1,000마리/m³ 기준으로 하여, 환수량은 20회전/일 이상, 유속은 0.8m/sec.로 사육하여야 할 것임.

· 볼락

- 차광률(무차광, 1겹, 2겹, 4겹 차광)별 치어의 특성 : 꼬리자루 길이는 차광 1겹 실험구에서 가장 높아 조피볼락에서의 결과와는 다소 차이를 나타내었다. 체중의 증가 및 사료전환효율도 차광 1겹 실험구가 높았다.
- 수용밀도별(전장 5.7cm 전후 0.4, 1.2, 2마리/L) 치어의 특성 : 1.2마리 실험구가 가장 높은 전장 및 체중 증가, 일간 섭식량 및 비만도를 보였다.
- 유속(무유속구, 0.2, 0.4, 0.8m/sec.)에 따른 치어의 특성 : 유속구가 무유속구에 비하여 성장이 좋았으나 그중 0.8m/sec 실험구에서 가장 낮았다. 체고의 성장은 무유속구에서 가장 높았으며, 0.8m/sec.에서 가장 낮았다. 체중, 증중율, 비만도는 0.2m/sec.에서 가장 높았으며 무유속구에서 가장 낮았다. 꼬리자루 높이는 유속이 빠른 0.4, 0.8m/sec.에서 높았으며 무유속 실험구에서 가장 낮았다.
- 볼락류 집단간(양식산 및 자연산)의 유전적 차이 : haplotype diversity는 양식산 집단에서 0.2, 자연산 집단에서 0.7으로 자연산 집단이 유전자 다양성이 높은 것으로 추정되었으나 두 집단간의 유전적 거리는 0.00101로 집단간의 유의한 차는 존재하지 않는 것으로 조사되었다.

※ 방류용 불락의 종묘생산 방법

- 불락 치어(5cm 전후)의 사육밀도는 1.2마리/L수조에 1점으로 차광하여 유속은 0.4m/sec 이상 유지하여 사육하여야 방류용으로서의 특성에 맞는 종묘의 생산이 가능함.

(2) 중간육성 기술

배합사료에 의하여 훈련된 대부분의 방류 종묘는 자연조건에 가까운 가두리를 이용하여 중간육성 단계를 거치지만 방류 직후 생존을 위한 자연산 먹이 섭이훈련이 전혀 안된 상태다. 다시말해서 태어나 인위적인 환경에서 먹이는 배합사료 밖에 모르는 상황인 것이다. 따라서 방류개체가 혹독한 자연 조건에서 살아남기란 정말 어렵고 살아남는다 하더라도 그 개체 수는 매우 소수에 지나지 않는다는 논리이다. 그러므로 인위적인 종묘생산 후 방류 해역에서의 중간 육성 시기는 해당 개체에 있어서는 혹독한 자연 여건에서 살아남아야 하는 실질적인 학습을 이용한 생존전략을 습득하는 중요한 시기로 평가된다.

점등기법에서 대상생물의 반응과 결과를 바탕으로 기본적인 점등방안을 제시하는 것이 최종 목표이다. 내용은 크게 세 가지로 항목으로 구분되어 먹이생물 평가, 섭이능력 평가, 섭이결과 평가로 구성된다.

한편 음향을 이용한 중간 육성 기술은 별도로 구분하여 서술하기로 하겠다.

(가) 먹이조성 검토

야간점등에 의한 운집 가능한 먹이생물을 확보하기 위하여 우선 시기별, 특히 대상 생물의 종묘생산 직후부터 시행되는 해상 가두리 주변 지역의 주, 야간 플랑크톤의 조성을 비교 분석한다. 특히 중간육성 기간 중 먹이 생물로서의 가치가 큰 자치어의 양적, 질적 분포에 의한 먹이 활용성 가능성을 사전에 검토하는 것이 매우 중요하다.

< 분석 방법 >

일반적인 해양의 동물성 프랑크톤의 조사방법과 동일한 다음과 같은 절차에 의하여 실시한다. 특히 야간 점등 지역에 모이는 먹이 생물들은 빛을 선호하는 생물들이기에 가장 밝은 지점에 모이는 경향이 있으므로 비교적 채집이 용이한 것으로 확인되었다.

- 점등 방법 : 점등지역의 먹이생물 군집 상황은 일몰 후 4 시간부터 일정한 시간 경과에 따라 해류 유동에 의한 실시하였으며, 점등의 설치는 250W 메탈 할라이드 전구(Metal halide lamp)를 이용하여 수면에서 약 0.5m 높이에 설치한다.
- 채집 방법 : 채집 방법은 크게 두가지로 나누어 검토함이 바람직하다. 일반적으로 점등에 의하여 모여드는 먹이 생물은 비교적 회피 행동이 빠른 자치어 종류와 일반 동물성 먹이생물로 구분 된다.

<일반 동물성 먹이 생물>

점등 효과에 따른 동물플랑크톤 군집 동태의 변화를 관찰하기 위한 시료 채집은 야간에 점등구간에서 NORPAC Net(구경; 30cm, 망목크기; 330 μ m)를 사용하였으며, 망구에 설치한 flowmeter(Hydro-bios, Model 438-110)의 회전수를 바탕으로 네트를 통과한 여과 수량을 정량화하였다. 채집은 2~3회 반복 실시하였고, 시료는 현장에서 500ml 폴리에틸렌 병에 넣고 중성포르말린을 사용하여 최종농도가 4%가 되도록 고정한 후 실험실로 운반하였다. 또한 야간의 자연조건의 동물플랑크톤 군집과 비교분석을 위하여 같은 시간에 인접 지역에서 점등에 영향을 받지 않는 장소를 선정하여 점등 시료와 동일한 방법으로 채집하여 비교 분석하였다. 정량분석은 Folsom 타입의 분할기구로 균등하게 분할한 시료 가운데 일정량(1/2~1/8)을 Bogorove 계수판에 넣고 해부현미경(Olympus, SZ40)에서 각 동물군에 따라 계수한다. 이를 5회 이상 반복하여 단위 체적내의 개체수(indiv./m³)로 환산하면 된다.

<자치어를 중심으로 구성되는 동물성 먹이 생물>

점등 효과에 따른 동물플랑크톤 군집 동태의 변화를 관찰하기 위한 시료 채집은 야간에 점등구간에서 자치어용 Net(구경; 50cm, 망목; 330 μ m)를 활용하며, 특히 자치어들은 유영능력이 빠르므로 초당 1 m 이상의 속도로 점등지역에 모여든 시료를 채집하는 것이 바람직하다.

(나) 섭이 능력 평가

야간 점등에 의한 먹이 섭취의 가능성은 위 내용물의 확인으로 가능하다.

위 내용물 분석을 위하여 3,000마리를 4 × 2 × 2m 크기의 그물(망목 6mm)에 수용하여 사육하며, 30마리 개체를 조사 대상 어류로 활용한다. 특히 위 내용물 조사를 위하여 배합사료는 전혀 사용하지 않았으며, 야간점등(250 Watt)에 의한 자연산 먹이 공급이 유일한 급이 방법이었다. 일몰 이 후 6 시간 경과 후 채집된 어류는 10% formalin으로 고정하여, 어체에서 위를 분리, 내용물을 확인 한 후 80℃의 건조기에서 24시간 건조시킨 뒤, 건조중량을 측정한다.

위 내용물의 분석은 매일 실시하여 먹이 섭이 상황을 비교 검토하는 것이 바람직하다.

(다) 섭이결과 분석

성장 및 중간 육성 결과를 비교 분석하여 야간 점등에 의한 자연산 먹이 섭이 결과 건강한 종묘로서의 성장 가능성을 평가한 결과를 예로 제시한다..

볼락(*Sebastes inermis*) 종묘의 중간육성을 효율적이고, 경제적인 점등기법을 활용, 사육 결과에 따른 경제적 효율성, 즉 원가 절감 효과가 어느 정도 인지를 비교 분석한 결과는

다음과 같다.

점등 효과를 검증하기 위하여 야간 점등과 사료 급이를 병행한 급이구의 성장 결과를 볼 때 점등 무급이구 즉, 야간에 불만 켜주고 사료를 전혀 먹이지 않은 실험구의 성장 결과가 야간 점등과 병행하여 75 % 수준의 배합사료를 투여한 실험구의 성장 결과와 유사한 증체율, 그리고 일간 성장율을 보였다. 이 결과의 의미는 75 % 수준의 사료를 안 먹여도 충분히 점등에 의한 자연산 먹이 섭이가 성장을 유도할 수 있다는 결과이다. 결론적으로 점등 효과가 일반적인 가두리에서의 초기 양성 시 먹이는 배합사료의 75 % 수준의 효과를 얻을 수 있다는 결과이다. 따라서 불락의 경우 점등 시에는 기존 급이 사료량의 25 % 만 투여하고, 나머지 75 %는 점등 효과가 대신할 수 있다는 결론에 도달하였다.

한편 점등 기법을 현장에 적용하기 위한 방안의 하나로 중간육성 현장에서 손쉽게 설치가 가능한 일반 시찬용 야간 조명등 500 Watt 용량의 원형 나트륨 램프가 먹이생물의 위집에 효과적인 것으로 판단되었다. 특히 먹이생물의 모집과 불의 밝기와의 관계가 없음이 확인되었고, 가장 효과적인 방법은 수중 등을 활용하는 것이나 유지 관리에 문제가 있어 일반 조명용 램프로도 충분한 효과를 유도할 수 있었다.

중간육성 기간 중 점등 시간은 일몰 후 5~6 시간 동안에 충분한 먹이가 점등에 의하여 모이고, 대부분의 개체가 섭이를 완료하는 것으로 확인되었다.

한편, 중간육성 기간중 각각의 방류 대상 어종의 중요 생산 시기에 맞추어 육상 사육 시설에서 중요생산이 완료되는 시점에 맞추어 직접 바다에 설치된 중간육성 시설로 이전하여 각각의 적용기술에 적합한 절차에 따라 정해진 기간 동안 시행하면 된다. 특히 중간육성 과정은 각각 대상 생물이 지니고 있는 특성에 따라 적합한 방법을 선택하여 시행할 것을 강조 한다.

(3) 음향순치 기술

(가) 기술 개요

<음향급이 적용 목적>

- 바다목장 해역 내에 방류한 대상 어류 가운데 정착성에 큰 어류의 체류 시간 증대를 통한 현존 자원량 증대.
- 방류한 대상 어류 가운데 상대적으로 회유성이 큰 어류의 초기 자연 적응 능력의 향상을 통한 환경 적응성 증대. 즉, 초기 방류 단계에 발생하는 자연 먹이 포획 능력의 부족을 일정 시간 유집을 이용한 인공 먹이로 보완.
- 자연 방류 이전에 대상 어류의 유집과 먹이 공급을 조절하는 중간 육성 개념 도입 가능.
- 음향-사료 급이기의 효율적인 자동화 시스템으로 인한 관리에 따른 경제성.

<음향급이 적용 원리>

- 어류는 귀, 측선, 부레를 통한 수중에서의 소리를 감지. 일반적으로 16-13000 Hz 대역의 주파수를 느끼지만, 대부분 1000 Hz 미만의 저주파 대역의 소리에 민감하게 반응함.
- 수중에서 어류의 청각 능력과 “먹이 공급-음향 신호”를 이용하는 조건 반사 반복적인 훈련을 실시.
- 1980년 후반 이후 일본의 바다목장에서 대상 어류에 대한 음향 학습 및 현장 적용을 실시하여 가능성을 파악하였으며, 현재도 운용 중임.

<기술 적용을 위한 단계별 과업>

- 대상 어류의 청각 능력 및 반응하는 수중 신호음 선택.
- 음향급이기 적용 해역의 계절별 환경 요소(주변 소음 및 음파 전달 요소) 파악.
- 음향 및 급이기의 개별 및 통합 시스템 구성.
- 음향급이기 시스템의 효율적인 현장 설치.
- 음향급이기 시스템의 현장 적용, 실험 및 관리.

(나) 수행 방법

<단계 1 : 대상 어류의 청각 능력 및 반응하는 수중 신호음 선택 >

음향급이기에 사용 가능한 음원은 정현파 신호 (sinusoidal wave), 섭식음 (feeding sound), 자연음 (rain-fall sound, shrimp sound) 이외에 교미음 (mating sound) 등이 있으며, 이들 가운데 정현파 신호와 섭식음이 가장 많이 사용되어 왔으나 최근엔 자연음, 교미음도 사용이 되고 있음.

- 정현파 신호 : sine 혹은 cosine 형태의 단속음을 인위적으로 만들어 사용함. 이때 시간과 음압을 조정하여 결정함.
- 섭식음 신호 : 대상 생물이 먹이를 먹는 소리를 저장하여 음원으로 사용함.
- 자연음 신호 : 빗소리, 물방울 소리, 새우 등 자연에서 만들어지는 소리를 사용함.
- 교미음 신호 : 민어 등 교미 단계에 내는 교미음을 저장하여 음원으로 사용함.

이러한 다양한 음원을 이용하여 어류의 청각 능력 측정 및 선호하는 반응음 선택하고, 청각 능력은 실험실의 소형 수조에서 대상 어류를 살아있는 상태로 고정 시킨 후, 수중 스피커와 청음기를 이용하여 대상 어류에 음원을 발사하여 심전도 변화로부터 청각 능력 파악. 이를 위한 장비는 신호 발생기, 감쇄기, 잡음 제어기, 증폭기, 수중 스피커, 수중 청음기, 주파수 분석기, 바이오 전기 증폭기 등이 필요함.

이때 사용된 여러 음 가운데 가장 반응이 좋은 음을 선택하여 반응 주파수 대역 및 음압 수준을 선정하여 음향급이기 시스템을 위한 음원으로 사용.

<단계 2 : 음향급이기 적용 해역의 계절별 환경 요소 파악>

- 해양에는 다양한 크기의 선박에서 발생하는 음원, 새우, 멸치 등의 생물에 의한 음원 등 여러 주파수 대역의 음원이 존재함.
- 이들 음원들은 대상 어종의 음향 순치 측면에서 보면 어류가 반응할 신호들은 주파수 대역 혹은 음압 측면에서 가로막는 소음으로 작용함.
- 수중 스피커로 구동되는 특정 음이 이들 주변 소음보다 커야 대상 어류의 훈련 및 현장 적용 과정에서 어류가 그 음을 인식하므로 이에 대한 사전 조사 실시. 또한 음파 전달 거리 측면에서 소음의 크기 정보가 필요함.
- 주변 소음 측정은 음향급이기 설치 주변 해역에서 계절별, 수심별로 측정해야 하며, 측정 방법은 수중 청음기를 이용함. 수신된 수중 청음기의 신호로부터 주파수별 주변 소음의 음원 크기를 파악함. 측정 과정에서 실험 선박의 모든 동력은 차단하여 인위적인 요소는 제한시킴. 이러한 수중 소음 특성 파악은 <단계 1>에서 선정한 음원의 주파수 및 크기를 결정하는 필요 요소로 사용됨.
- 수중에서 초당 평균 1500m를 이동하는 음파의 특성은 사용 가능성 측면에서 음향급이기의 활용 영역을 증가시킴. 즉, 원거리의 대상 어류가 소리에 반응할 수 있는 가능성을 제공함. 이러한 음파 전달 특성은 계절- 수심-주파수별 차이를 보이고 있으므로 이러한 특성을 고려하여 거리- 주파수에 따른 음원의 전달 손실을 측정해야 함. 이때 측정되는 전달 손실 변수는 주변 소음의 음원 크기의 비교로부터 음향급이기의 효율적인 탐지 거리 및 면적의 정보를 제공함.
- 음파 전달 특성 측정은 <단계 1>과 <단계 2 (주변 소음측정)>를 이용하여 주파수-음압이 결정된 음원을 수중 스피커로부터 모든 방향으로 방사한 후, 각 거리별로 음원의 감소 손실 정도를 수중 청음기로 측정함.

<단계 3 : 음향 및 급이기 시스템의 구성>

- 음향 시스템 구성은 <단계 1>, <단계 2>로부터 선정된 음원을 이용한 음원 발생부(수중 스피커 구동부), 음원 작동의 시간-주파수-음원을 제어할 수 있는 제어부로 구성됨.
- 음향 시스템 구성 과정에 음향급이기 주변에 유집되는 어류를 모니터링 할 수 있는 2개의 수평 어군 탐지기 제어부를 포함시킴 (적정 주파수는 약 50 kHz).
- 급이기 시스템은 사료 제어부, 사료 확산 모터부로 구분되며 설정된 시간-사료 양을 제어하는 제어부가 필요함.
- 음향 시스템의 제어부는 상위 제어 시스템으로 급이기 시스템의 제어부를 포함하는 통합 시스템으로 구성함.
- 음향-급이기 시스템의 통합 제어 시스템 운용, 사료 모터, 확산 모터 구동을 위한

전원부는 육상 공급 방식, 태양열 공급 방식 가운데 하나를 선정하여 설치.

●육상 공급 방식 : 안정된 전원의 공급이 가능하나 해저 케이블 매설 작업의 어려움과 유지 관리에 어려움.

●태양열 공급 방식 : 설치 및 유지는 용이하나 최대 허용 전력 생산에 어려움이 있음. 전체 시스템 운용을 위한 예상 전력량 산출이 필요함.

- 음향급이기 설치 위치가 육상 제어국가 분리되어 운용될 때는 해상 기지 국과 육상 기지국과의 무선 제어 및 쌍방향 자료 전송이 가능한 시스템을 고려해야 함. 이를 위하여 R/F 방식, 혹은 최근의 무선 전화기 사용 방식 등의 원격 시스템을 설치해야 함. 이때 최대 전송 거리, 최대 자료 전송량을 사전에 파악해야 함.
- 원격 시스템 구축을 실시하고자 할 때는 육상 기지국에서 해상에 설치된 음향급이기 시스템을 가동할 수 있는 제어 프로그램이 수반되어야 함.

<단계 4 : 음향급이기 시스템의 효율적인 현장 설치>

해상에 설치될 음향급이기의 적절한 설치 지점을 위하여 다음의 사항이 고려되어야 한다.

- 육상 기지국과의 거리 : 전송 거리 및 양질의 자료 전송 문제.
- 육상 기지국과 해상 음향급이기 사이의 방해물 유무 : 자료 전송 문제.
- 인공 어초 설치 지점 혹은 자연 암반 존재 파악 : 어류의 서식처 확보.
- 안정된 음향급이기 계류 : 6~8 정점 계류로 파고로부터 안정성 확보.
- 태양열 전지판 방향 : 남향으로 전지판 위치 고정.
- 적절한 해류 흐름 파악 : 투입 사료 유실 최소, 시스템 안정성.
- 수심 20 m 내외의 안정된 설치 지점 확보.

해상에 설치된 음향급이기와 주변을 항해하는 선박의 충돌을 방지하기 위한 안전 표식 부이를 설치하려할 때 가장 중요한 요소인 주변 해류장(유속, 유향) 파악은 사료 유실 문제 이외에 실제 현장 실험 단계에서 설치될 그물망의 안정성 측면에서 중요함. 해류에 의해 그물망의 변형이 심하면 순치 실험의 효율성이 낮아짐.

< 단계 5 : 음향급이기 시스템의 현장 적용, 실험 및 관리>

- 순치 대상 어류를 위한 음향급이기 주변을 둘러싸는 그물망 설치.
- 현장 적용을 위하여 순치 대상 어류의 이동.
- 순치 대상 어류의 개체수를 고려한 1일 사료의 총 소요량 산출 (총 어체 중의 3-5%). 이를 고려하여 사료 급이기에 대응량의 사료 저장.
- 초기에는 3~4일간 현장 적용을 위해 사료 공급 제한.

- 음향급이기의 제어프로그램 설정을 통한 작동 변수 설정 (적정 주파수 - 적정 음압 - 작동 주기 - 1회 투입 사료량 - 수평어군 탐지기 작동). 작동 주기는 1일에 3-4회로 설정하며, 1일 예상 사료 소비량을 3-4회로 나누어 공급. 단일 시스템의 경우 현장 음향급이기에 입력. 원격 시스템의 경우, 육상 기지국에서 입력 가능한 방식을 적용.
- 시스템 작동 시퀀스 : 2대의 수평 어군탐지기 작동 시작 → 수중 스피커 작동 시작 → 사료 공급 시작 → 사료 공급 끝 → 수중 스피커 작동 끝 → 어군탐지기 작동 끝.
- 음향 순치 과정에서 인위적인 요소를 배제시키기 위하여 순치 과정의 어군유집 모니터링은 2대의 수평 어군탐지기를 이용하거나, 수중카메라를 음향급이기 측면에 설치하여 자료 저장 후 분석.
- 수평 어군 탐지기 자료로부터 유집되는 어군량 추정을 위해 대상 어종의 측면 음향 산란강도 (side-aspect target strength) 파악 자료가 선행 되어야 함.
- 어종에 따라 차이를 보이고 있으나 약 3-4주 후면 음향 순치 효과가 있는 것으로 나타나므로 이에 대한 어종별 모니터링이 필요함.
- 음향 순치의 효과 검증을 위해 약 6주 후에 그물망을 제거하여 자연 상태로 방류 후 음향급이기 작동 실시.
- 1일 예상 소비량으로부터 급이기에 주기적인 사료 공급.
- 하절기에 수중 스피커 및 어군탐지기에 부착되는 부착생물의 주기적인 제거.
- 육상 기지국을 운용할 때 시스템의 원활한 작동을 모니터링.

(나) 평가 분석

음향급이기의 현장 적용을 위해서는 육상에서 음향 및 급이 시스템의 개별 혹은 통합 시스템 제작, 대상 어류의 확보, 음향 순치 실시, 효과 분석 등 다양한 평가 항목이 뒤따른다. 점검해야 할 항목들은 다음 표 4-4-2와 같다.

표 4-4-2. 음향순치 결과 분석을 위한 평가 항목

평가 항목	유	무	단/방법
1. 대상 어류의 청각 능력 측정 정현파 신호 (sinusoidal wave) 섭식음 신호 (feeding sound) 자연음 신호 (rain-fall, shrimp sound) 교미음 신호 (mating sound)			
2. 청각 능력 측정에 따른 최적 주파수			Hz
3. 청각 능력 측정에 따른 최적 음압			dB
4. 음향급이기 설치 해역의 주변 소음 측정			
5. 음향급이기 설치 해역의 수중 음파 전달 측정			
6. 최적 주파수와 signal/noise 측정			
7. 음향 시스템 구성 수중 스피커 구동 부분 시스템 작동 시간-주파수-음원 크기 제어 부분 수평 어군 탐지기 구동 부분 시간 동기화 부분 원격 시스템을 위한 송수신 부분			
8. 급이기 시스템 구성 사료 저장 탱크 용량 부분 급이 모터 구동 부분 급이 모터 제어 부분 1회 모터 회전시 공급되는 사료양 측정 확산 모터 구동 부분 확산 모터 제어 부분			
9. 음향-급이 시스템의 통합 시스템 구성 음향시스템 구동 및 사료양 투입 시퀀스 부분 시스템내 전원 소요양 측정부			

표 4-4-2. 계속

평 가 항 목	유	무	값
10. 전원 공급 방식 육상 전원 이용 방식 육상 전원을 위한 수중 매설 방법 육상 전원 이용에 따른 소요 전력 양 태양열 공급 방식 태양열 공급에 따른 전력 저장 총량 1일 동안 충전 가능한 전력 양			
11. 육상 기지국 쌍방향 통신 방법 쌍방향 통신의 자료 전송 양 쌍방향 통신의 자료 전송 속도 육상 기지국의 제어 프로그램 구성 부분 해상 기지국과의 쌍방향 통신 상태 점검			
12. 음향급이기 현장 설치 설치 해역의 해류 조사 육상기지국과의 거리 육상 기지국과의 해상 방해물 존재 유무 인공어초 존재 유무 자연암반 존재 유무 음향급이기 계류 정점 수 태양열 전지 방향 설정 음향급이기 설치 수심 및 지형도 음향급이기 주변의 안전 표식 부이 설치			

표 4-4-2. 계속

평 가 항 목	유	무	값
13. 음향급이기 현장 적용 음향급이기 주변에 실험용 그물망 설치 순치 대상 어류의 총 개체수 순치 대상 어류의 총 중량 1일 필요한 사료 양 산출 급이기에 사료 저장 총량 산출 초기 사료 공급 제한 기간 음향급이기 제어 변수 설정 - 주파수 - 음압 - 1일 작동 주기/시간 - 1회 투입 사료 양 시스템 작동 시퀀스 설정 수평 어군 탐지기 작동 설정 수중카메라 설치 유무 시스템 작동 시간 설정			
14. 대상 어류의 측면 음향 산란강도 측정 유무			
15. 음향 순치 실험 시스템 작동 시간 육상 기지국에서의 자료 전송 및 저장 시작 시스템 정지 시간 자연 방류 후 유집 반응 조사			
16. 음향급이기 관리 사료 저장 용기에 사료 공급 양 측정 수중스피커의 부착 생물 제거 수평 어군탐지기 센서의 부착 생물 제거			
17. 육상 기지국 관리 육상 기지국에서의 자료 전송 및 저장 상태 체 크			
18. 음향급이기의 실패역 적용시 문제점 기술			
19. 육상 기지국 이용시 문제점 기술			

(4) 방류 기술

방류는 인위적으로 그 자원을 증가 하고자 하는 생물의 종묘를 자원을 증가하고자 하는 장소에 풀어 놓아 번식케 하는 것이다. 수산 자원의 인위적 증대 방법 중 어초 설치, 어정 환경 개선, 어획 제한 등은 그 효과가 일정한 시간이 지난 후에야 나타나기 시작하지만 종묘 방류는 그 효과가 방류 직후부터 나타나기 때문에 최근 모든 자원 조성 사업에는 종묘 방류가 필수적으로 포함되고 있다.

방류용 종묘는 자연에서 자체적으로 먹이를 탐색하고 포식하여 성장할 수 있는 능력을 갖춘 우량 개체로 중간 육성을 통하여 만들어 진다. 한편, 방류용 종묘와 양식용 종묘간의 차이점 및 방류용 종묘가 갖추어야 할 특성은 이미 우량 종묘 생산 지침과 중간 육성 지침에서 토의한 사항으로 다시 언급할 필요는 없을 것이다. 따라서 본 항목에서는 방류 대상종 선정, 방류어의 크기, 방류 방법 및 효과 판정에 대하여 언급하기로 한다.

(가) 방류 대상종 선정

방류 대상종은 바다목장 해역에서 자원을 조성하고 이를 수확하여 경제적 수익을 올릴 수 있는 종으로 다음 조건을 충족할 수 있어야 한다.

- 수산업적으로 가치 있는 종
- 바다목장 해역 내에 정착 가능한 종
 - 바다목장 해역에서 생활사의 대부분을 지내는 종
 - 바다목장 내에서 수확 가능한 종
- 종묘수급이 원활한 종

현재까지의 연구 결과 우리나라 바다목장 해역에 적합한 방류 대상종은 다음과 같다.

- 어 류 : 넙치, 조피볼락, 볼락, 황점볼락, 쥐노래미, 노래미, 가자미류, 농어, 감성돔
- 패 류 : 바지락, 가리비, 전복, 소라
- 갑각류 : 꽃게, 대하
- 기 타 : 성게, 해삼

(나) 방류용 종묘의 크기

방류용 종묘는 클수록 자연에서의 적응력과 생존력이 높아진다. 따라서 가능하다면 보다 큰 개체를 방류함으로써 자원 조성 효과를 높일 수 있다. 그러나 방류용 종묘가 커질수록 종묘의 단가가 상승한다는 것은 자명한 사실이기 때문에 적절한 크기의 종묘를 선택해야 한다.

방류용 종묘의 크기는 먼저 종묘 크기별 방류 후 원활하게 자연에서 먹이 탐색 및 섭

이 능력, 포식자로 부터의 도피 능력을 감안해서 결정한다. 이를 위하여 방류된 종묘에 대하여 방류 후 경과 일수에 따라 재체포율, 생존률, 자연산 치어와 방류된 종묘와의 크기 비율, 방류된 종묘의 행동, 위 내용물 검사 등을 수행해야 한다. 자원 조성을 위하여 방류되는 종묘의 가장 적절한 크기는 같은 자연산 0세어와 같은 크기로 자연산 먹이를 포식할 수 있는 크기라 할 수 있다. 한편 종묘의 건강도에 따라 전장에 따른 체중 변화폭이 다르기 때문에 종묘의 크기는 전장과 체중을 함께 고려해야 한다.

현재까지 알려진 적합한 방류용 종묘의 크기는 다음과 같다.

조피블락 : 전장 7-8cm (4.5cm 급 종묘도 자연산 먹이 포식 가능)

블락 : 7-11cm (소형개체 방류시 사망률 높음)

감성돔 : 5-8cm

넙치 : 8cm

전복 : 3cm

(다) 방류용 종묘의 표지

방류 효과를 검증하고, 더 좋은 방류 방법을 개발하기 위해서는 방류한 종묘를 지속적으로 관찰해야 한다. 이를 위해서는 자연에서 이미 서식하고 있는 같은 대상종이 종묘와 방류한 종묘를 쉽게 구별할 수 있도록 방류 종묘에 표지를 해야 한다.

표지 방법은 어체 외부의 일부를 절단 또는 적출하는 직접 표지법, 앵커택 등을 달아 주는 부착법 그리고 화학 약품 처리 및 저온 처리 등을 통하여 비늘, 이석, 척추골 등 어체의 특정 부위에 흔적이 남도록 하는 방법이 있다.

지느러미 표지

방류어의 지느러미의 일부를 절단하거나 지느러미 전체를 제거하는 방법으로 가장 노동 집약적인 표지 방법이다. 표지 대상 지느러미는 어체의 운동에 중요한 역할을 하는 등 지느러미, 가슴지느러미 및 꼬리지느러미를 피하고 운동성에 가장 영향을 적게 미치는 배 지느러미를 선택한다.

배지느러미를 절단할 경우 블락은 60일 이내, 참돔은 1년 이내에 90% 이상 재생되며 배지느러미를 완전하게 제거하여도 50% 이상이 재생된다. 다만, 배지느러미와 요추골을 함께 제거할 경우 재생률이 낮으나 어체에 손상을 많이 준다. 따라서 배지느러미의 일부를 절단하는 것이 가장 바람직하며, 방류 후 2개월 이내의 효과 조사의 경우에 한정되어 사용하는 것이 좋다.

배지느러미 절단 과정은 다음과 같다. ① 표지방류 할 종묘의 수와 숙련된 표지 기술자의 수를 감안하여 배지느러미 절단 시간 계획을 세운다. 숙련된 기술자의 경우 시간당 600마리의 배지느러미를 절단할 수 있으므로 이에 맞추어 계획을 세운다. ② 높이 50cm,

용량 100ℓ 내외의 수조에 깨끗한 해수를 채우고 아미노안식향산(Ethyl Aminobenzoate)이나 MS-222 마취제를 100ppm 농도로 희석하여 마취해수를 준비한다. ③ 적절한 농도의 항생제(OTC 200ppm)를 희석한 소독 수조 1개와 회복 수조 여러 개를 준비한다. 회복 수조의 크기와 수량은 시술어를 방류하기 직전까지 수용할 수 있도록 넉넉하게 준비한다. ④ 방류어를 순차적으로 마취 수조에 넣어 마취한다. 이 때, 표지 대상어가 1분여 이내에 마취되지 않으면 마취제의 농도를 높여준다. ⑤ 마취된 방류어의 배를 위로하고 머리를 왼쪽으로 하여 왼손으로 가볍게 쥐고, 오른손으로 가위를 들어 배지느러미를 한 번에 잘라준 후, 소독 수조에 넣어 준다. ⑥ 소독 수조에서 마취에 깨어나기 직전에(약 1분 소요) 종묘를 뜰채로 건져 회복 수조에 방류시까지 넣어준다. 방류는 회복 수조에서 종묘를 꺼내어 비표지 종묘와 함께 실시한다.

아가미 덮개 절단

이 방법은 골격으로 재생되지 않는 아가미 덮개의 연변부를 1/3 정도 잘라주는 것으로 처리가 손쉽고 오랜 기간 방류어를 추적 조사할 수 있으며, 일반 어민들이 육안으로 쉽게 확인할 수 있는 효과적인 방법이다. 그러나 절개 직후에는 붉은 색의 아가미의 일부가 노출되어 포식자의 표적이 되거나 2차 감염의 우려가 있으며, 성장 후에는 상업적 가치가 다소 저하될 우려가 있다. 또한, 절개 부위는 피부에 쌓여 오랜 기간이 지나면 아가미 기형어와의 구별이 어려운 경우도 있다.

아가미 덮개 절단 방법은 기본적으로 배지느러미 절단과 동일하다. 마취된 방류어의 머리를 왼손으로 거꾸로 잡으며, 아가미 덮개가 일어난다. 이때 오른손으로 가위를 잡고 아가미 덮개 연변부를 기준으로 덮개 첨예의 1/3 정도를 잘라준다. 시술된 방류어는 배지느러미 절단시와 같이 취급한다.

앵커택 부착

이 방법은 플라스틱이나 특수 금속 재질의 고휘물에 개체별 구분이 가능하도록 기호(또는 serial number)를 넣어 만든 앵커택을 어체의 미병부, 등지느러미 아래의 근육에 심어 표지하는 방법이다. 앵커택은 근육에 직접 부착하기 때문에 앵커택이 어체에 가하는 핸디캡을 이길 수 있도록 어체가 충분히 큰 경우에만 가능하다. 대부분의 경우 전장 20cm (체중 150g) 이상의 개체를 대상으로 실시한다. 최근에는 1-2mm 내외의 가는 금속 봉에 바코드를 표시하여 이를 어체의 몸에 삽입한 후 마그네틱 탐색기로 어획물 중에서 방류어를 찾아내는 방법과, 일정한 주파수의 음향을 주기적으로 발생하는 음향택도 개발되어 있으며, 다양한 종류의 앵커택과 앵커택 부착기가 상업적으로 판매되고 있다.

앵커택 부착 방법 역시 마취에서 회복까지의 과정은 전술한 경우와 근본적으로 같다. 다만, 앵커택의 종류에 따라 부착 방법에 차이가 난다. 체외에 부착하는 앵커택은 방류어

를 마취시킨 후 손으로 잡거나, 평대에 놓고 앵커택 부착기로 표피를 뚫어 앵커택을 삽입한다. 앵커택 삽입시 비늘이 상하지 않도록 주의해야 하며, 앵커택 부착으로 생긴 상처에 고단위 소독제와 항생제를 바르고 회복 수조에 넣어 준다. 음향택은 총배설강을 통하거나, 복부의 일부를 절개하여 복강 내에 삽입하며, 방류어에 삽입한 음향택이 보내는 신호를 잡을 수 있는 수신기를 구비해야 한다.

저온 및 화학적 표지

이 방법은 낮은 온도나 화학물질에 방류어를 단시간 노출시켜 비늘, 이석 및 척추골의 나이트에 나타나는 자극의 흔적을 추적하는 방법이며, 비늘 지름과 전장과의 상관 관계식에 따라 방류 후 자연 상태에서 방류어의 성장을 추정할 수 있다. 이 방법 중 이석과 척추골에 나타나는 흔적은 방류어의 살아 있는 한 계속 추적 관찰 할 수 있지만 분석 방법이 까다롭고 어체를 죽여야 이석과 척추골의 적출이 가능하기 때문에 관찰이 용이한 비늘에 남아 있는 흔적을 주 분석 대상으로 한다. 이 방법은 어체 손상 없이 표지가 가능하지만 비늘에 남아 있는 흔적의 수명이 짧아 장기적 자원조사에는 부적합 하다.

저온 표지는 대상어류를 실제 사육하는 수온보다 3~5℃ 낮은 수온에서 수 시간에서 수 일 동안 처리하는 방법으로서, 치사 수온에 가까울수록 표지 효과는 뛰어나지만 처리 후 건강성을 고려하여 어종과 어체 크기(또는 일령)에 따라 처리하는 수온을 결정한다. 불락, 감성돔 그리고 황점불락의 경우 치어(평균 전장 6~7cm, 평균 체중 5g 내외)의 경우 22℃에서 사육하던 개체들을 하루에 2℃씩 수온을 낮추어 18℃에서 3일과 5일간 처리한 결과 모든 어종과 처리 기간에서 모두 비늘 윤문의 표지를 관찰할 수 있었다. 처리 기간 동안 사료는 공급하지 않는 것이 바람직하다. 처리 기간이 길수록 그리고 처리 수온이 낮을수록 비늘 표지 효과는 뛰어날 것으로 생각되지만 냉각수 사용에 따른 비용 문제를 감안하면 3일간 처리하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

화학적 표지에 사용하는 화학물질은 calcein (CAL), oxytetracyclin hydrochloride (OTC), alizarin red S (AR) 등이 있는데 이중에서 Calcein이 가장 효과적이다. CAL 200mg/l 용액에 방류어를 48시간 침적시킬 경우 표지 처리를 위한 침적은 방류어의 생존과 성장에 영향을 주지 않으며 비늘에 40주 이상 흔적이 남는다. 조사 대상어를 다시 방류하지 않을 경우 직접 비늘을 적출하여 검경하지만, 대상어를 다시 방류하거나 인위적으로 관리할 경우에는 마취 후 비늘을 적출하는 것이 좋다.

저온 또는 화학 표지 방법은 1톤 용량의 수조에 약 2천여 마리의 치어(크기와 무게는 위 참조)를 수일 동안 수용하여 적절한 산소를 공급할 경우 사망 개체는 없었다. 다만 참돔의 경우 수일 동안 사료를 공급하지 않고 처리할 경우 공식에 따른 사망 개체가 다수 출현할 것으로 예상되므로 이 방법이 적절하지 않은 것으로 판단된다.

화학 표지를 확인하기 위해서는 적출한 비늘을 slide glass에 올려 놓고 글리세롤 1방

울을 떨어뜨린 후 cover slip을 덮고 형광현미경(Fluorescence microscope)으로 검경하여 표지 여부를 판정하며, 저온 표지의 경우 형광 장치 없이 일반적인 광원을 통해 확인할 수 있다.

(라) 방류방법

적절한 방류장소, 방류시기 및 방류방법은 방류어의 생존률과 적응력을 향상시켜 방류 효과를 높여 준다.

방류 장소 선정

종묘 방류 장소의 선정은 방류된 종묘의 초기 생존률을 결정하는 중요한 요소로 방류어의 자연에서의 서식 수심, 서식 환경, 습성, 이동 경로 등을 고려하여 선정해야 한다. 방류 장소가 방류어에 적합하지 않을 경우 어린 방류어가 적합한 장소를 찾아 먼 거리를 이동해야 하기 때문에 피식률과 이탈률이 높아져 자원 조성에 실패할 가능성이 크다.

가장 좋은 방류 장소는 목적하는 자원 조성 해역 내에서 방류어가 방류 즉시 은신처를 찾을 수 있는 곳을 택해야 한다. 조피볼락, 볼락, 전복, 성게 등 암반성 어종은 인위적으로 조성된 인공 어초 어장이나 해조장 또는 암반이 발달하고 해조류 식생이 풍부한 지역이 적합하다. 넙치와 가자미류는 사질이 우세한 지역이 좋으며, 해삼류는 썰이 우세한 지역을 선택해야 한다. 방류된 종묘가 단 시간 내에 널리 퍼지기를 바라는 경우 유속이 빠른 곳도 무방하지만, 대부분의 경우 방류된 치어가 손쉽게 은신처를 찾을 수 있도록 유속이 완만한 곳을 택하는 것이 좋다.

방류 시기

지금까지는 방류할 종묘가 준비되는 시기를 방류 시기로 선택하였지만, 보다 효과적인 자원 조성을 위하여 방류 대상어의 생활사, 방류 지역의 해양학적 환경, 생물학적 환경 등의 변화를 감안하여 결정되어야 한다. 해양 환경이 특히 수온과 염분이 방류된 종묘에 적합하지 않은 시기, 포식자가 많은 시기, 먹이 생물이 풍부하지 않은 시기는 절대적으로 피해야 한다.

좁은 의미에서 볼 때 하루 중 방류 시간의 결정도 중요하다. 창, 낙조시를 즈음하여 유속이 빠른 시간, 갈매기를 포함한 포식자의 주 활동 시간은 절대적으로 피해야 한다.

방류 방법

기본적으로 방류 방법은 표층 방류와 수중 방류로 나뉜다. 어느 경우에도 방류 대상 종묘를 방류 지역과 같은 수온에 순치한 후 방류해야 한다.

표층 방류는 선박이나 바지선을 이용하여 해안에서 떨어진 장소에 방류하거나 해안선

에서 직접 방류하는 방법으로 대량의 종묘를 방류할 때 많이 사용된다. 표층 방류 후 방류어는 자체적으로 포식자를 피하여 은신처를 향하여 이동해야 한다. 표층 방류시 수온이 부적합하거나, 방류 위치가 수면에서 너무 떨어진 경우 순간적으로 도피 능력이 저하되어 갈매기나 수중 포식자에 잡아먹힐 확률이 크다. 따라서 가능한 한 수표면 가까이 방류하여 방류어가 재빨리 수중으로 도피할 수 있도록 도와주어야 한다.

수중 방류는 잠수부가 방류어를 어망이나 채롱에 담아 은시처까지 운반하여 방류하는 방법이다. 방류어는 방류 직후 자동적으로 준비된 은신처로 숨을 수 있어 높은 방류 효과를 기대할 수 있다. 그러나 수중 방류에 들어가는 노력이 과다하여 일반 어종의 대규모 자원 조성에는 적합하지 않으며 능성어류 및 전복 등 고급 어종의 방류에 적합하다.

(마) 효과 판정

자원 조성의 성패 여부는 방류된 종묘가 얼마만큼 살아남아 자원으로 가입하였으며, 이들이 어미가 되어 재생산에 참가하느냐에 달려 있으며, 이를 체계적으로 조사 분석하는 것이 효과 판정이다. 효과 판정은 방류된 어류를 다시 체포하여 조사하거나, 훈련된 잠수부를 동원하여 수중에서 직접 관찰해야 한다.

효과 판정 항목 및 판정 방법은 다음과 같다.

- 자원량/생존률 : 어회물 중 표지 방류어 조성비
- 성장률 : 방류어 및 자연어의 성장률, 성성숙, 위내용물 비교
비만도(=100×(체중/길이³))
일일성장률(=100×(ln(나중 체중)-ln(이전 체중)/사료 공급 일수))
- 건강도 : 미병부의 혈관에서 헤파린 처리 주사기로 1 mL 채혈하여 헤마토크리트치(Ht), 헤모글로빈량(Hb), 혈장화학 성분(포도당, 알부민, 총콜레스테롤, 젖산탈수소효소, 트란스아미나제, 요소질소, 알칼리성 포스파타제 크리아티닌, 칼슘) 측정
- 이동성 : 음향택, 표지어 재체포 위치

DGPS 수신기, 측량용 음향측심기, 측량용 소프트웨어로 구성되는 해저지형 측정 시스템을 사용하여 측정해역의 특성을 음향택 방류어의 이동범위는 VR2, VR60 및 VR28 수신기로 측정.

(5) 자원조성 및 관리

(가) 기술개요 및 수행목적

자원조성 및 관리 분야는 바다목장 조성의 가장 핵심적인 연구 분야로 대상종 선정,

건묘 생산, 행동특성연구, 표식 및 방류기술, 수중구조물 개발 및 배치기술, 자원학적 평가 등의 일련의 전반적인 연구과정을 포함하며 이들 연구를 유기적으로 연계하여 궁극적인 목표인 자원 조성을 달성하는데 그 목적이 있다.

(나) 기술요소 설명

자원조성에 필요한 기술 요소중 핵심적인 몇가지를 들어보면 아래와 같다.

가. 대상종 선정

나. 대상종의 서식생태 특성연구

다. 표식 및 방류 기술

라. 자원의 관리

(다) 수행방법

< 대상종 선정 >

바다목장사업의 성격에 맞는 현지 해역의 고급수산어종을 대상어종을 택한다.

< 대상종의 서식생태 특성 >

- 수조내

대상 종의 행동 특성을 파악하기 위하여 수조 내에 다양한 구조를 가진 수중구조물을 설치하고 행동 및 군집 특상을 관찰 기록한다.

- 가두리내

대상 종의 행동 특성을 파악하기 위하여 해상 가두리(14m x 14m x 10m) 수조 내에 다양한 구조(지붕형, 측면 격벽형, 모자이크형, 로우프형 등)을 가진 수중구조물을 설치하고 행동 및 군집 특상을 관찰 기록한다.

- 암반 및 어초(자연상태)

● 암반 및 어초에 대한 군집 특성

SCUBA 다이빙 조사를 원칙으로 하며 수중 카메라에 의한 사진 촬영 및 비디오 촬영 자료를 분석한다. 분석은 중요 대상 어종별 수중 서식 생태를 암반과 어초어장을 나누어 분포 및 군집 행동의 특성을 관찰한다.

● 저서형별 서식 특성

바다목장 해역내 (연대도)저서형에 따른 어류 종별 분포를 조사하였다. 조사는 SCUBA 다이빙을 기본으로 한다. 조사는 수중 관찰 기록을 하며 수중 카메라에 의한 사진 촬영 및 비디오 촬영 자료를 분석하여 보완하였다. 분석 결과는 대상 어종별 암반의 형상, 방위 등을고려하여 수중에서의 종의 분포, 군집 특성 및 자원량을 정리한다.

- 수심별 분포 특성

계절별 나이별 대상종의 수심별 분포 특성을 잠수 관찰한다.

- 표식 및 방류기술

어체표식방법 개발 과 아울러 방류어의 방류 시기, 방법 등에 대한 연구를 진행한다.
(분야기술부분에서 자세히 언급함)

- 자원의 관리

자원조성 진행 사항을 어구, 어탐 및 잠수조사를 병행하여 모니터링하고 년도별 총 자원량에 대한 평가와 각 종별 어획 가능한 자원량을 제시한다.

(라) 결과 분석

- 대상종 선정

통영다목적장 해역내 출현하는 서식하는 약 100여종의 수산어종 중에서 1)년중 해역내 머물고, 2)고급어종이면서, 3)인공어초 등 시설물 설치에 따라 인위적인 어장을 형성시킬 수 있는 종을 택하여 볼락, 조피볼락 등 볼락류와 회유성을 띠지만 비교적 회유로가 멀지 않아 년중 어획이 가능한 감성돔을 대상어로 택하였다.

그 외 지역 산업종으로 전복과 해역환경정화를 고려한 해삼 등을 시험어종으로 택하였다.

- 대상종의 서식생태 특성

● 암반 및 어초에 대한 군집 특성

1-2세를 대상으로 한 행동 실험 결과 볼락, 조피볼락은 약 70cm 전후의 공간을 선호하는 것으로 나타났다.

● 저서형별 서식 특성

조류가 비교적 강하고 암반이 있는 곳, 해조류의 유무에 관계없이 1-50m 수심대에 서식하고 있으며 빨 바닥보다는 사패질이난 자갈이 섞인 곳에[위치한 인공어초에 많이 모이는 현상이 관찰되었다.

● 수심별 분포 특성

계절별 나이별 대상종의 수심별 분포 특성을 잠수 관찰한 결과 볼락, 조피볼락은 어린 시기에는 모두 얕은 연안을 선호하였으며 나이가 들고 커지면 점차 깊은 곳으로 이동하는 경향을 보였다.

- 표식 및 방류기술

분야기술부분에서 자세히 언급함

- 자원의 관리

자원조성 진행 사항을 어구, 어탐 및 잠수조사를 병행하여 자원조사 결과 총 자원량을 추정하고 어획가능한 량을 제시한다. 조피볼락의 경우 2004, 2005년의 통영바다목적장의 표지 방류법을 이용한 연령군별 추정 자원량은 표 4-4-3과 같다.

표 4-4-3. 2004, 2005년도 통영바다목장 내 조피볼락 자원량

연령군	2004년		2005년	
	추정자원량(개체)	추정자원량(g)	추정자원량(개체)	추정자원량(g)
1	1,162,827	50,245,755	1,013,920	43,811,489
2	762,947	103,798,939	583,045	112,340,352
3	622,634	165,247,064	760,550	201,849,923
4	279,204	114,530,361	825,720	239,166,762
5	123,437	68,403,891	365,078	202,311,544
총자원량	2,954,049	502,226,009	3,548,321	799,480,071

즉, 2005년 통영바다목장의 조피볼락 추정자원량은 총 799톤이고 MSY시어획노력량 (fMSY)은 358톤, ABC시 어획노력량 (fABC)은 108톤이었다.

(마) 현장적용을 위한 구체적인 제안

목적형 바다목장의 자원조성을 성공적으로 이끌기 위해서는 기본적으로 해당 해역의 환경과 자원 현황을 정확히 파악하는 것이 우선이다.

환경은 크게 해양물리, 해양화학, 지질환경과 자원생물상을 포함한 생물 환경으로 나눌 수 있다.

인공어초 설치를 위한 지질환경은 수심도, 퇴적물 분포, 표층시료 및 시추퇴적물 조사, 지층구조를 파악하고 특히 수중구조물 설치시 견딜 수 있는 중량 판정을 위한 초기충격매물질을 파악하여야 한다.

생물환경으로는 생물상, 주 대상종 및 유용자원 및 초기 자원량 파악이 우선되어야 한다.

주 대상종이 선정되면 대상종의 생태, 행동 생태학적 특성을 파악하여 설치할 인공어초어장의 어초와 배치가 결정되도록 하여야 한다. 그후 건강한 종묘를 중간육성 과정을 거쳐 해당 해역에 방류한 후 자원량의 변동을 모니터링 하면서 자원량에 따른 어획허용량을 제시하여야 한다.

기본적인 원이 조성되면 어획시기, 어획제한 사항을 정하고 어민자치회 및 관리위원회로 철저히 관리토록 하여야 한다.

제 5 절 요약 및 결론

1. 대상생물의 방류기술

자원조성을 위하여 1998년부터 통영바다목장 해역에 방류된 종묘수는 총 8,836,472마리였으며 어종별로는 조피볼락이 4,054,317로 가장 많았으며 그 다음으로 볼락이 2,043,655, 감성돔이 2,177,000마리, 참돔이 302,500마리, 넙치가 52,000마리였으며, 그 외 전복이 107,000패, 해삼이 100,000마리였다. 2005년도 사업에서는 볼락, 조피볼락, 감성돔 3종의 종묘가 총 1,630,955마리 방류되었다.

2. 해중립 조성기술

해중립 조성을 목적으로 투입된 시설물에서 해조군집의 발달정도를 지속적으로 조사하기 위해 2005년 4월부터 2005년 10월까지 계절별로 각 시설물의 상부와 측면에 부착한 해조류의 종류와 종류별 현존량을 조사한 결과, 총 22종의 해조류가 관찰되었다. 4월에는 총 13종이 관찰되었고, 우점종은 곱피와 구멍갈파래, 그리고 미역이었다. 측면에서는 7종의 해조류가 관찰되었고, 우점종은 구멍갈파래였다. 7월에는 시설물 상부에서 총 7종의 해조류가 관찰되었고, 우점종은 곱피였다. 측면에서는 5종의 해조류가 관찰되었고, 우점종은 곱피 및 잎꼬시래기였다. 10월에는 시설물 상부에서 총 8종의 해조류가 관찰되었고, 우점종은 곱피 및 구멍갈파래였다. 측면에서는 3종의 해조류가 관찰되었고, 우점종은 곱피로 나타났다.

인공어초에 이식된 대형 갈조류의 지속성을 분석하기 위해 2001년 11월에 장두도 옆 콘크리트 해조어초의 상부에 이식된 감태 및 곱피 개체군의 성장 및 생존을 2005년 9월까지 분석한 결과, 장두도 주변 해조어초에 인위적으로 이식된 감태와 곱피는 성장과정에서 종내경쟁(intraspecific competition)과 초식 등의 요인으로 인해 개체수는 줄어드나, 줄어든 개체수는 번식, 가입, 성장으로 이어지는 일련의 과정을 통해 다시 회복되었고, 이는 장두도 주변 해조어초에서 이 두 종의 개체군 크기가 지속적으로 유지됨을 의미한다.

해중립 조성을 위한 시설물 투입의 적지를 판정하기 위해 동일한 시기에 서로 다른 장소(장두도, 저도, 곤리)에 투입된 콘크리트 해조어초에서 발달되는 해조군집의 특성과 어초주변의 환경특성을 상관하여 분석한 결과, 향후 통영바다목장해역에서 해중립 조성을 위해 시설물이 계속 투입되기 위해서는 장두도와 같은 환경을 지닌 곳이 가장 바람직 할 것이다. 그 환경으로는 유속이 평균 15 cm/s 정도로 적당하고, 탁도가 낮으며, 퇴적물이 모래보다는 사패질 퇴적물로 이루어진 수심 6m 이내일 것이다.

곱피의 종묘생산을 위해 포자, 배우체, 어린 포자체의 수온과 광량의 요구량을 파악한 결과, 수온은 15℃에서 가장 좋았고, 광량은 10~20E·m²·S⁻¹에서 가장 좋았다.

종묘의 이식방법에 관한 연구는 첫째 어느 정도의 밀도가 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 둘째 어떤 수심 층이 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가, 셋째 어느 크기의 종묘를 현장에 이식하여야 개체군의 성장에 가장 적합할 것인가와 같은 내용을 중심으로 수행되었다. 첫 번째 결과에서는 개체의 성장은 종묘의 밀도에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 두 번째 결과에서는 개체의 성장은 수심에 따라 크게 변화하는 것으로 나타났다. 개체의 성장은 수심 2m에서 가장 좋았고, 수심이 깊어질수록 좋지 못한 것으로 나타났다. 세 번째 결과에서는 두 집단 간의 평균크기의 차이는 유의한 차이를 보이지 않았고, 이는 이식 시기는 개체성장과 큰 관련을 가지지 않음을 시사한다.

3. 자원조사

2000년부터 2005년 8월까지 연대도 연안 4개 정점과 각종 실험구조물에서의 주기적인 자원량 추적 조사 결과 2000년 이후 2005년까지 전반적으로 불락과 조피불락 자원은 증가 추세에 있음을 보여주고 있었다.

불락만 보면 2000년에 16마리, 2001년에 172마리, 2002년에는 296마리로 증가하였으며 2003년에는 5~25 cm 급이 총 197마리, 2005년에는 602마리가 확인되어 연간 변동 폭은 있지만, 2000년대에 비하면 약 37배 가까이 증가한 것으로 추정된다. 연대도에서의 6년간 조사에서 나타난 불락 자원량의 생체량을 살펴보면 2000년에는 502g, 2001년에는 3,545.4g이었던 것이 2005년에는 18,693g 으로 약 37배 정도 증가되었다.

2005년도 자원조사결과 조피불락은 총 3,548,321마리였으며 생체량으로는 799,480kg으로 계산되었다. 이중 생물학적 어획허용량은 108,600,233kg이었다.

2005년도 자원조사결과 불락은 총 2,682,120마리였으며 생체량으로는 110,375,294kg으로 계산되었다. 이중 생물학적 어획허용량은 444,492kg이었다.

불락 방류어의 유전적 특성 파악을 위한 RAPD 분석 결과 자연집단과 방류 집단 사이에 차이가 확인되지 않아 방류에 의한 자연집단 교란은 없는 것으로 판단되었다.

4. 자원조성 매뉴얼 작성

본 매뉴얼 작성 작업은 그간의 연구사업 수행과정을 통하여 자원조성 기술 부분에 필요한 세부 항목의 작업 지침으로 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

참고문헌

- Akerboom TPM, M Bilzer and H Sies. 1982. J. Biol. Chem., 257, 4248.
- Allendorf, F. W., N. Ryan. 1987. Genetic management of hatchery stocks. In: Ryan, N., Utter, F. W.(Eds.), Population genetics and fishery management. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press, Seattle, pp. 141-159.
- Aruga, Y. 1982. Physiological characteristics of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. Marine Ranching Report 1981, 19-23.
- Aruga, Y., A. Kurashima and Y. Yokohama. 1997. Formation of zoosporangial sori and photosynthetic activity in *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). J. Tokyo Univ. Fish. 83, 103-128.
- Aruga, Y., M. Toyoshima. and Y. Yokohama. 1990a. Comparative photosynthetic studies of *Ecklonia cava* bladelets with and without zoosporangial sori. Jpn. J. Phycol. 38, 223-228.
- Aruga, Y., M. Toyoshima. and Y. Yokohama. 1990b. Comparative photosynthetic studies of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) bladelets with and without zoosporangial sori. Hydrobiologia 204/205, 473-477.
- Brodeur, R. D., 1998 Prey selection by age-0 walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in nearshore waters of the Gulf of Alaska. Env. Biol. Fish. 51: 175-186.
- Candy, J.R. and T.P. Quinn. 1999. Behaviour of adult chinook salmon (*Oncorhynchusshawytscha*) in British Columbia coastal waters determined from ultrasonic telemetry. Can. J. Zool., 77, 1161-1169.
- Carlson, H.R. and R.E. Haight. 1972. Evidence for a home site and homing of adult yellowtail rock fish, *Sebastes flavidus*. J. Fish. Res. Bd. Can., 29, 1011-1014.
- Chyung, M. K. 1986. The fishes of Korea. Iljisa Pub. Co. Seoul, 727pp (in Korean).
- Claibone A., 1985. Catalase activity. In: Greenwald, R.A., (Ed.), CRC Handbrook of Methods in Oxygen Radical Research. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 283-284.
- Cohen, G., D. Dembiec and J. Marcus, 1970. Measurement of catalase activity in tissue extracts. Anal. Biochem., 34 : 30-38.
- Colavecchia, M., C. Katopodis, R. Goosney, D.A. Scruton and R.S. Mckinley. 1998. Measurement of burst swimming performance in wild Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) using digital telemetry. Regul. Rivers: Res. Mgmt., 14, 41-51.

- Durand, R., K. Wada and F. Blanc. 1993. Genetic variation in wild and hatchery stocks of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, from Japan. *Aquaculture*, 110 : 27-40.
- Durr IF and N Cortas. 1964. *Biochem. J.*, 91, 460.
- Endal, H. P., G. L. Taranger, S. O. Stefansson, and T. Hansen. 2000. Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages. *Aquaculture*, 191: 337-349.
- Fang, Z., Yan, Z. and Wang, Z. 1983. Some preliminary observations on tissue culture in *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Kexue Tongbao* 28 : 247-249.
- Forward Jr., R. B., 1988. Diel vertical migration: zooplankton photobiology and behaviour. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 26: 361-393.
- Freis, L. 1980. Axenic tissue culture from the sporophytes of *Laminaria digitata* and *Laminaria hyperborea* (Phaeophyta). *J Phycol.* 16 : 475-477.
- Gerlotto, F., C. Bercy and B. Bordeau. 1989. Echo integration survey around offshore oil extraction platforms off Cameroon: observations of the repulsive effect on fish of some artificially emitted sounds. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 19: 79-88.
- Hansen, T., S. O. Stefansson, and G. L. Taranger. 1992. Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. *Aquacul. Fish. Manage.*, 23, 275-280.
- Haroun, R., Y. Aruga. and Y. Yokohama. 1992. Seasonal variation of photosynthetic properties of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) in Nabeta Bay, central Japan. *La mer* 30, 339-348.
- Heather, J.L., McComb, J.A. and Borowitzka, M.A. 1989. Tissue culture of *Ecklonia radiata* (Phaeopheceae, Laminariales) : effects on growth of light, organic carbon source and vitamins. *J. Appl. Phycol.* 1 : 105-112.
- Holland, K., R. Brill, S. Ferguson, R. Shang and R. Yost. 1985. A small vessel techniques for tracking pelagic fish. *Mar. Fish. Rev.*, 47, 26-32.
- Hunter, J. R., 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. pp. 33-79. In: R. Laker (ed.) *Marine Fish Larvae Morphology, Ecology and Relation to Fisheries*, Washington Sea Grant Program, University of Washington Press, Seattle & London.
- Hur, S. H. and S. N. Kwak. 1998. Feeding habits of *Sebastes inermis* in the eelgrass (*Zostera marina*) bed in Kwangyang Bay. *J. Korean Fish. Soc.*, 31(2): 168-175 (in

- Korean).
- Im, Y.J. and S.D. Hwang. 2002. Age and growth of black rockfish, *Sebastes schlegeli*, in western coastal waters of Korea. Korean J. Ichthyol., 14, 143-152.
- Kanda, T. 1941. On the gametophyte of some Japanese species of Laminariales III. Sci. Pap. Inst. Alg. Res., Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. 2, 166-171.
- Kang, D.H. 2002. Characteristics of acoustic target strength of Red seabream (*Pagrus major*) and Rockfish (*Sebastes schlegeli*). Ph.D. Thesis, Hanyang University.
- Kang, K.M. and H.O. Shin. 2004. Characteristic of Current Patterns and Structure of Bamboo-Weir in Samchunpo Water Area. Fish. Sci., 70, 141-151.
- Kang, Y. J. 1982. Studies on the structure and production processes of biotic communities in the coastal shallow waters of Korea. I. Age and growth of *Sebastes inermis* from Namhae Island Korea. Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan, 14; 51-53 (in Korean).
- Kim, C. K. 1987. Feeding ecology of shore fishes in the Samchonpo channel. Ph. D. Thesis, Nat'l. Fish. Univ. Pusan, 142pp.
- Kim, C. K. and Y. J. Kang. 1991. Fish assemblage collected by gill net in the coastal shallow water off Shinsudo Samchonpo. Bull. Korean Fish. Soc., 24; 99-110 (in Korean).
- Kim, S.C. and H.O. Shin. 2001. Research on the geographic characteristics of the sea bed and the distribution of artificial reefs in Jaran Bay. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 37, 214-222.
- Kim, Y. U., K. Y. Han and S. K. Byun. 1993. The early life history of rockfish, *Sebastes inermis*. 2. Morphological and skeletal development of larvae and juveniles. Bull. Korean Fish. Soc., 26; 465-476 (in Korean).
- Kocher, T. D., J. A. Conroy, K. R. McKaye and J. R. Stauffer. 1993. Similar morphologies of cichlid fish in Lakes Tanganyika and Malawi are due to convergence. Mol. Phylogen. Evol., 2 : 158-165.
- KORDI. 1997. A study for the marine ranching program in Korea. Ecosystem management model and stocking technique. Korea Ocean Research and Development Institute. BSPE 97602-00-1073-3. 361pp (in Korean).
- Kuronuma, K. and K. Fukusho. 1984. Rearing of marine fish larvae in Japan. International Development Research Centre, Ottawa, Ontario IDRC-TS47e. 109p.
- Lawrence RA, LK Parkhill and RF Burk. 1977. J. Nutr., 108, 981
- Lawrence R.A., Burk R.F., 1976. Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient

- rat liver. *Biochem. Biophys. Res. Com.* 76, 952-958.
- Livingstone, D.R., 1991 Organic xenobiotic metabolism in marine invertebrates. In: Gilles, R. (Ed.), *Advances in Comparative and Environmental Physiology*. Springer, Berlin, pp. 45-185.
- Livingstone, D.R., 1998. The fate of organic xenobiotics in aquatic ecosystems: quantitative and qualitative differences in biotransformation by invertebrates and fish. *Comp. Biochem. Physiol. A* 120, 43-49.
- Lowry, O.H., N.J. Roseborough, L.A. Farr and R.J. Randall, 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193, 265-275.
- Lutcavage, M.E., R.W. Brill, G.B. Skomal, B.C. Chase, J.L. Goldstein and J. Tutein. 2000. Tracking adult North Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the northwestern Atlantic using ultrasonic telemetry. *Mar. Biol.* 137, 347-358.
- MacLennan, D.N., and E.J. Simmonds. 1992. *Fisheries Acoustics*. Chapman & Hall. Fish and Fisheries Series 5.
- Matthews, K.R. 1990. A telemetric study of the home ranges and homing routes of copper and quillback rockfishes on shallow rocky reefs. *Can. J. Zool.*, 68, 2243-2250.
- Matthews, K.R. 1992. A telemetric study of the home ranges and homing routes of lingcod *Ophiodon elongatus* on shallow rocky reefs off Vancouver Island, British Columbia. *Fish. Bull.*, 90, 784-790.
- Mellas, E.J. and J.M. Haynes. 1985. Swimming performance and behavior of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and white perch (*Morone americana*): Effects of attaching telemetry transmitters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 488-493.
- Meyer, A., T. D. Kocher, P. Basasibwaki and A. C. Wilson. 1990. Monophyletic origin of Lake Victoria cichlid fishes suggested by mitochondrial DNA sequences. *Nature*, 347 : 550-553.
- Mitamura, H., N. Arai, W. Sakamoto, Y. Mitsunaga, T. Maruo, Y. Mukai, K. Nakamura, M. Sasaki and Y. Yoneda. 2002. Evidence of homing of black rockfish *Sebastes inermis* using biotelemetry. *Fish. Sci.*, 68, 1189-1196.
- Nakkenn, O., and O.A. Ulltang. 1983. Comparison of the reliability of acoustic estimates of fish stock abundance and estimates obtained by other assessment methods in the northeast Atlantic. *FAO Fish. Rep.*, 300, 249-261.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583-590

- Notoya, M. and Aruga, Y. 1989. Tissue culture from the explant of *Eckonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). *Jpn. J. Phycol.* 37, 302-304.
- Notoya, M. and Aruga, Y. 1990. Relation between size and age of holdfasts of *Eckonia stolonifera* Okamura (Laminariales, Phaeophyta) in northern Honshu, Japan. *Hydrobiologia*, 04/205, 241-246.
- O'Dor, R.K., Y. Andrade, D.M. Webber, W.H.H. Sauer, M.J. Roberts, M.J. Smale and F.M. Voegeli. 1998. Applications and performance of radio-acoustic positioning and telemetry (RAPT) systems. *Hydrobiologia*, 371/372, 1-8.
- Omura, T. and R. Sato, 1964. The carbon monoxide-binding pigment of liver microsomes. *J. Biol. Chem.* 239, 2370-2378.
- Omura, T. and S. Takesue, 1970. A new method for simultaneous purification of cytochrome b5 and NADPH-cytochrome c reductase from rat liver microsomes. *J. Biochem.*, 67, 249-257.
- Oppedal, F., G. L. Taranger, J. E. Fosseidengen, J. E. Juell, and T. Hansen. 1997. Light intensity affect growth and sexual maturation of Atlantic salmon, *Salmo salar* postsmolts in sea cages. *Aquaculture and Fisheries Management*, 10, 351-357.
- Paik, E. I. 1969. A study on the food of the goby. *Synechogobius hasta* Bull. Korean Fish. Soc., 2(1): 47-62 (in Korean).
- Park, C. W., M. S. Kim, Y. J. Park, K. P. Hong, S, M, Choe, and J. M. Kim. 2000. Preliminary study on the growth and feeding of rockfish, *Sebastes schlegeli* in illuminated sea cage. In: S. K. Yi (ed.) *International Symposium on Marine Ranching Toward 21st. Century*. Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Seoul, Korea. pp. 244-250.
- Payne, J.F., Fancey, L.L., Rahimtula, A.D., Porter, E.L., 1987 Review and perspective on the use of mixed-function oxygenase enzymes in biological monitoring. *Comp. Biochem. Physiol. C* 86, 233-245.
- Raymont, J. E. G. 1983. *Plankton and productivity in the ocean*. Vol. 2. Zooplankton. Pergamon Press, Oxford, England. 824 pp.
- Pearcy, W.G. 1992. Movements of acoustically-tagged yellowtail rock fish *Sebastes flavidus* on Heceta Bank, Oregon. *Fish. Bull.*, 90, 726-735.
- Philips, A.H. and R.G. Langdon, 1962. Hepatic triphosphopyridine nucleotide-cytochrome c reductase: isolation, characterization, and kinetic studies. *J. Biol. Chem.* 237, 2652-2660.
- Prohaska JR and HE Ganther. 1977. *Biochem. Biophys. Commun.*, 76, 437

- Ringelberg J., 1995. Changes in light intensity and diel vertical migration: modelling light-mediated mechanism. *J. Plankton Res.*, 18(12): 2199-2222.
- Serisawa, Y., Y. Yokohama, Y. Aruga and J. Tanaka. 2001. Photosynthesis and respiration in bladelets of *Eckonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta) in two localities with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 49, 1-11.
- Shin, H.I., D.J. Lee, H.O. Shin, W.W. Lee and J.Y. Ahn. 1994. Development of the underwater telemetry system to monitor the behavior of fish(1). *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 30, 263-272.
- Shin, H.O. 1992. Ultrasonic tracking of movements of striped jack (*Caranx delicatissimus*) in the Nunoura Bay, Japan. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 28, 347-359.
- Shin, H.O. and J.H. Lee. 1999. Behavior of amber fish, *Seriola aureovittata* released in the setnet. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 35, 161-169.
- Shin, H.O., E. Hamada, H. Suzuki and Y. Koike. 1991. Guidance of ROV using multiple pingers of a single frequency. *J. Japan Inst. Nav.*, 83, 7-11.
- Shin, H.O., J.W. Tae and K.M. Kang, 2004. Acoustic telemetrical tracking of the response behavior of red seabream (*Chrysophrys major*) to artificial reefs. *J. Kor. Fish. Soc.*, 37, 433-439.
- Sies H, C Gerstenecker, H Menzel and L Flohe. 1972. *FEBS Lett.*, 27, 171.
- Staal GEJ, J. Visser and C Veeger. 1969a. *Biochim. Biophys. Acta*, 185, 39.
- Staal GEJ, PW Helleman, J De Wael and C Veeger. 1969b. *Biochim. Biophys. Acta*, 185, 63.
- Stanley, D.R. and C.A. Wilson. 1991. Factors affecting the abundance of selected fishes near petroleum platforms in the northern Gulf of Mexico. *Fisheries Bulletin*, 89: 149-159.
- Stanley, D.R. and C.A. Wilson. 1996. Abundance of fishes associated with a petroleum platform as measured with dual-beam hydroacoustics. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 473-475.
- Starr, R.M., J.H. Heine and K.A. Johnson. 2000. Techniques for tagging and tracking deepwater rockfishes. *N. Am. J. Fish. Soc.*, 20, 597-609.
- Tae, J.W. and Shin H.O. 2004. Analysis on the volume variation of bag-net in set-net by acoustic telemetry. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 40, 115-126.
- Takao, Y., and M. Furusawa. 1996. Dual-beam echo integration method for precise acoustic surveys. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 351-358.

- Taniguchi, N., K. Sumantadinata and S. Lyra. 1983. Genetic change in the first and second generations of hatchery stock of black seabream. *Aquaculture*, 35 : 309-320.
- Taranger, G. L., H. Daae, K. O. Jorgensen, and T. Hansen. 1995. Effects of continuous light on growth and sexual maturation in sea water reared Atlantic salmon, *Salmo salar* L. In: Goetz, F.W., Thomas, P. (Eds.) Proceedings of the 5th. International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish, University of Texas at Austin, TX. 2-8 July, 1995. 200 pp.
- Thompson, J. D., D. G. Higgins and T. J. Gibson. 1994. clustal w: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.*, 22 : 4673-4680.
- UNESCO/SCOR. 1966. Determination of photosynthetic pigment. In, Determination of photosynthetic pigment in seawater. Paris. UNESCO (ed). p. 10-18.
- Utagawa, K. and T. Taniuchi. 1999. Age and Growth of the Black Rockfish *Sebastes inermis* in Eastern Sagami Bay off Miura Peninsula, Central Japan. *Fish. Sci.*, 65, 73-78.
- Wainwright, P. C. and B. A. Richard. 1995. Predicting patterns of prey use from morphology of fishes. *Env. Biol. Fish.* 44: 97-113.
- Yan, Z. 1984. Studies on tissue culture of *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Proc. Int. Seaweed Symp.* 11, 314-316.
- Zakowski JJ and AL Tappel. 1978. *Biochim. Biophys. Acta*, 526, 65
- 谷口和也・秋山和夫. 1982. アラメ配偶體の生長及び成熟に対する水温と光条件. 東北水研報 45, 55-59.
- 能登谷正浩. 1993. 褐藻コンブ目植物の組織培養. 一現状と展望一. 月刊海洋 25, 704-711.
- 月館眞理雄・新井章吾・成原淳一. 1991. 官崎縣門川地先のカジメ群落の観察. 藻類39, 389-301.
- 前川行幸・喜田化四郎 1987. アラメ及びカジメ群落の生産構造に関かんする研究. 藻類 35, 34-40.
- 倉島彰. 1989. 褐藻カジメ(*Ecklonia cava* Kjellman)の子嚢斑形成とそれに伴う光合成活性の變化. 東京水産大學修士學位論文.
- 倉島彰・横濱康繼・有賀祐勝. 1996. 褐藻アラメ・カジメの生理特性. 藻類. 44, 87-94.
- 山本郁男. 1995. 藥物代謝に関與する酵素とその反應機構. 藥物代謝學, 加藤隆一・鎌龍哲也編. pp.47-92.

- 佐藤哲南·上野芳夫·遠藤 仁. 1988. 毒性生化學(上). 地人書館. 338p. 東京. 日本.
- 古田秀一, 橋本隆, 1992. カタラ-ゼ. 活性酸素測定マニュアル. 浅田浩二, 中野稔, 柿沼編
pp. 223-226. 講談社サイエンティフィック.
- 곽우석. 2004. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부, 1002-1004.
- 한국해양연구소, 1999. '99 통영해역의 바다목장화 개발 용역사업 보고서. 해양수산부
BSPM 99021-00-1203-3. 902pp.
- 한국해양연구소, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부
BSPM 00065-00-1284-3. 829pp.
- 한국해양연구원, 2003. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서. 해양수산부
BSPM175-00-1532-3. 708pp.

제 5 장 바다목장 이용·관리 기술

제 1 절 서론

제 2 절 통영바다목장 추진실적 및 계획

제 3 절 바다목장수면 이용·관리 실태

제 4 절 바다목장 이용·관리체제 구축

제 5 절 수산물 유통체제 구축 및 브랜드화

제 6 절 바다목장 직·간접효과 분석

제 7 절 결론

제 5 장 바다목장 이용 · 관리기술

제 1 절 서 론

통영바다목장사업은 우리나라에서 최초로 실시하는 바다목장 시범사업으로서 연안수역에 인공어초 등을 투하하여 산란 및 서식장을 인위적으로 조성하고, 우량종묘를 대량 방류하여 자원증대를 도모하며, 여기에 효율적인 이용관리체제를 적용함으로써 어업소득 향상과 어촌 지역의 활성화에 기여하고자 하는 종합적이고 미래지향적인 어업시스템을 의미한다.

동 바다목장 사업은 1998년도부터 시작하여 2004년에 2단계 사업인 바다목장 개발 단계를 완료하고, 2005부터 2006년까지 3단계 사업인 사후관리 및 효과분석을 수행함으로써 사업을 완료하게 된다. 바다목장 3단계 사업은 지금까지 7년 동안 추진되어 온 바다목장 사업을 마무리하는 단계로, 지금까지 추진된 통영바다목장의 경제적 효과는 어느 정도인지를 평가하게 된다. 또한, 사회과학적 측면에서 통영바다목장 사업의 이용 · 관리 현황을 정리 및 분석하고, 향후 통영바다목장의 사후관리체제를 정착시킬 수 있는 합리적인 방안을 제시하는 것을 내용으로 하고 있다.

구체적으로는 첫째, 지금까지 통영바다목장 사업의 추진실적과 계획을 정리하였고, 둘째, 현재의 바다목장 해역과 수산자원관리수면의 이용 및 관리 실태를 분석하였다. 셋째, 향후 통영바다목장의 사업 종료에 대비한 구체적인 사후관리 및 이용방안, 관련규정 등의 보완사항을 검토하였으며, 넷째, 바다목장산 어획물의 부가가치를 제고하기 위한 유통체계의 구축과 브랜드화 방안을 검토하였다. 마지막으로, 바다목장 조성을 통한 직접효과로서 어업소득의 증감을 측정하기 위해 어업경영실태를 조사하였으며, 간접효과로서 유어낚시객과 관광객을 대상으로 어업의 소득을 분석하였다.

통영바다목장 사업은 현재 추진 중인 전국 5개소의 바다목장화 사업 중에서 가장 먼저 시작된 것으로, 2006년 연구사업의 완료 시까지 성공적으로 정착할 수 있는 기반을 만들기 위해서는 지자체와 지역 어업인이 상호협력적인 관계를 구축하여 통영의 지역적 특성이 반영된 관리 · 이용시스템을 형성시켜 나가는 것이 무엇보다 중요하다. 그 방향은 바다목장 해역 및 자원관리의 충실, 관리이용협의회와 자율관리어업위원회의 조직 활성화, 판매관리 체계의 구축 등을 들 수 있다. 이들 각 세부 내용들이 원활히 기능함으로써 통영바다목장 이용 · 관리시스템이 정착되고, 현재 해역별로 추진되고 있는 여수 및 동서제주바다목장 사업에도 모범사례로 활용됨으로써 바다목장 사업의 목표달성에 시너지 효과를 기대할 수 있을 것이다.

한편, 2005년 3단계 1차년도 사업기간은 2005년 4월부터 12월까지로서, 2004년도의 연구내용과 불가피하게 중복되는 경우가 있다. 그 중에서 바다목장 이용실태에 사용된 어업 인·허가, 어촌계 등의 행정통계는 2004년도 보고서의 내용과 겹치는 부분이다. 이는 2005년 통계의 수집·집계가 2006년 상반기에 이루어지므로 통계의 발간 시점이 연구기간과 불일치하기 때문이다. 따라서 어선척수 등의 허가사항과 관련된 자료는 통영시의 내부자료를 활용하였다. 그리고 이용관리체제에서도 지자체와 어업인과 협의를 도출하지 못한 내용은 전년도 보고서의 내용을 일부 인용하였다. 또한 어업경영 실태조사도 연구기간을 맞추기 위해 2005년 10월까지 실시된 결과를 정리한 것임을 밝혀 둔다.

제 2 절 통영바다목장 추진실적 및 계획

1. 바다목장 단계별 추진경과

1998년부터 2006년까지 통영바다목장 사업의 이용·관리 분야에서의 단계별 추진실적 및 향후 계획을 정리한 것이 표 5-2-1이다.

표 5-2-1. 통영바다목장 단계별 추진실적 및 향후 계획

년도	단계별 구분	추진 내용 및 계획
1998	바다목장 기반조성 단계	-사회경제적 타당성 분석(I), -제도적 행정적 지원체계 구축 ⇒수산자원공동관리위원회 구성(어촌계장+자문위원)
1999		-사회경제적 타당성 분석(II), -제도적 행정적 지원체계 확립
2000		-사회경제적 타당성 분석(III) ⇒보호수면 지정('00.12.19, 500ha)
2001	바다목장 개발 단계	-제도화 방안의 구체화 및 적용, -바다목장 이용관리체제 구축
2002		-바다목장 모니터링, -이용·관리 실태조사, -이용관리체제 적용
2003		-제도 평가, -이용관리실태, -경영실태 및 어가수지, -이용관리체제 모니터링, -수산물 유통 ⇒직간접효과 분석
2004		-이용관리 실태 및 이용관리 방안, -경영 및 어가수지 분석, -수산물 브랜딩화 ⇒수산자원관리수면 관리이용규정 제정, 자율관리어업위원회 구성
2005	사후관리 및 효과분석 단계	-수산자원관리수면 이용실태, -이용·관리계획 수립, -사후투자효과 분석, -수산물 브랜딩화 및 유통체제 구축, -사후 관리이용체제 검토 ⇒수산자원관리수면 지정('05.3.14), 관리이용협의회 공식출범('05.7.7) 통영바다목장자율관리공동체 구성('05.4.1), 관리수면 모니터링 실시('05.7)
2006		-수산자원관리수면 이용체제 보완, -브랜딩화 및 유통체제 구축 -사후투자효과 분석, -이용·관리 분야 총괄 정리 및 관리기법 구축, -통영바다목장 전체 평가

1998년부터 2000년까지는 기반조성단계로서 바다목장 사업이 원활하게 수행될 수 있

도록 사회경제적 타당성 분석과 제도 및 행정적 지원체계 등을 검토하였다. 그 결과, 바다목장의 조성 목적을 달성하기 위하여 1998년에 지역 어촌계장과 자문단을 중심으로 협력조직인 '수산자원공동관리위원회'를 구성하였고, 2000년 12월에는 방류대상 어종의 서식장과 시설 집중설치 지역에 보호수면을 설정하였다.

다음으로 2001년부터 2004년까지는 바다목장의 본격적인 개발 조성단계에 해당한다. 주요 사업으로서는 바다목장의 제도화 방안과 바다목장 이용관리체제의 구축, 바다목장 모니터링(안)을 검토하였고, 이용·관리 실태와 어업경영 및 어가수지를 분석하였다. 그리고 판매관리에서도 바다목장산 수산물의 양륙항 지정과 브랜드화 방안을 검토하였다. 이를 위해 2003년에 통영바다목장 직·간접효과를 분석하였고, 바다목장을 홍보하고 어획물의 브랜드화를 위해 바다목장 홍보 캐릭터 및 로고 포스터 공모전을 실시하였다.

2004년에는 바다목장 이용관리 제도로써 '수산자원관리수면 관리이용규정'을 제정하였고, 11개 어촌계장을 중심으로 어업인 조직인 '자율관리어업위원회'를 구성하였다. 그리고 바다목장 사업의 전반과 수산자원관리수면 이용관리 질서의 큰 틀을 만들어 나가는 관리이용협의회의 구성안도 도출하였다.

다음으로 2005년부터 2006년까지는 사후관리 및 효과분석 단계에 해당한다. 구체적인 사업내용은 우선, 수산자원관리수면 이용실태와 이용관리 계획을 수립하였고, 수산물 브랜드화 및 유통체제를 검토하였으며, 사후 관리이용체제의 형태를 검토하였다. 연구결과로서는 2005년 3월에 '수산자원관리수면'이 지정되었으며, 4월에는 자율관리어업위원회를 현재 추진 중인 자율관리어업으로 유도하기 위해 통영바다목장자율관리공동체로서 신청 등록하였다. 그리고 7월에는 관리이용협의회가 공식출범하였고, 관리수면의 조업실태를 정밀하게 분석하기 위한 관리수면 모니터링을 실시하였다.

향후 2006년도에는 사후관리 및 효과분석의 마지막 단계로서 수산자원관리수면 이용체제를 보완하고, 수산물 브랜드화와 유통체제 구축을 완료할 계획이다. 그리고 사후투자 효과 분석과 이용·관리 분야를 전반적으로 정리하면서 통영바다목장 사업 전체를 평가하여 타 지역의 바다목장 시범사업과 소규모 바다목장 추진에 관리기법을 적용할 수 있도록 방안을 정리할 계획이다.

2. 바다목장 투자실적

표 5-2-2는 1998년부터 2005년까지 투자된 실적을 나타낸 것이다. 전체 투자비는 1998년 900백만 원에서 출발하여 본격적인 시설이 2001년부터 투자됨에 따라 점차 증가하여 2005년에는 3,600백만 원이 투자되어 사업비 합계는 19,200백만 원에 이른다.

2005년도 전체 사업비 3,600백만 원 중에서 시설비는 전체 사업금액의 68.1%에 해당하는 2,450백만 원이었고, 연구비는 전체의 31.9%에 해당하는 1,150백만 원이 투자되었다.

표 5-2-2. 통영바다목장의 투자실적

(단위 : 백만 원)

구 분	합계	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
합 계	19,200	900	1,000	2,000	2,500	3,000	2,700	3,500	3,600
시설비	7,750	-	-	-	880	1,170	950	2,300	2,450
연구비	11,450	900	1,000	2,000	1,620	1,830	1,750	1,200	1,150

다음으로 표 5-2-3은 2005년까지의 통영바다목장 해역에 투입된 인공어초와 종묘방류 실적을 정리한 것이다. 먼저 인공어초는 2004년까지 모두 62,265m²가 시설되었으며, 2005년에는 피라미트형 강제어초 21기, 삼각뿔 강제어초 29기, 다기능성 강제어초 1기 등이 투하되었거나 시설될 예정이다.

표 5-2-3. 인공어초 및 종묘방류실적

(단위 : m², 만 미)

구 분	합계	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005*
인공어초	62,265	2,705	4,641	14,305	3,920	15,535	17,654	3,505	-
종묘방류	835	5	51	116	135	117	130	118	163

주 : 2005년 경우는 11월 현재, 피라미트형 강제어초 21기가 시설되었고, 삼각뿔 강제어초 29기와 다기능성 강제어초 1기가 투하 예정이다.

종묘방류의 경우는 1998년에 5만 미에서 시작하여, 1999년에 51만 미, 2000년에는 116만 미로 급증하였고 그 이후 116~135만 미를 유지하다가 2005년에는 163만 미가 방류되어 모두 835만 미가 방류되었다. 2005년의 방류어종을 보면, 불락이 73만 미로 가장 많고, 다음으로 조피불락 58만 미, 감성돔 32만 미이다. 특이한 것은 2004년까지는 조피불락의 비중이 높았지만, 최근에 들어서는 경제적 가치가 높고 어업인들이 선호하고 있는 어종인 불락과 감성돔이 많이 방류되고 있다.

이처럼 통영바다목장 사업은 어장 및 자원조성 분야에서 가시적인 성과를 거두고 있으며, 후술하는 바와 같이 어업경영 수지조사와 어획모니터링의 결과를 볼 때 바다목장해역을 이용하고 있는 어업인들에게 경제적 소득 제고효과를 제공하고 있다고 생각된다.

제 3 절 바다목장수면 이용 · 관리 실태

1. 바다목장 해역의 수산 현황

통영바다목장의 어가 및 어업인구, 어선척수, 어업권어업 등의 수산현황은 전술한 바와 같이 2005년도 행정통계가 발행되지 않았으나, 2005년도 실태조사 자료와의 비교·분석을 위해 부득이하게 2004년도 어촌계 분류평정 및 현황을 인용함으로써 일부 자료가 2004년의 보고서 내용과 겹치게 된 점을 미리 밝혀 둔다.

가. 어가 및 어업인구

표 5-3-1은 1998년 이후의 통영바다목장 해역 11개 어촌계의 어가 수 및 어업인구 변동을 살펴본 것이다. 어가 수 및 어업인구는 우리나라 수산업이 당면한 문제인 어업노동력의 감소 현상이 그대로 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 5-3-1. 통영바다목장 어가 및 인구

(단위 : 호, 명)

구 분		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
바다목장 해역	어 가 수	752	731	731	640	670	623	597
	어업인구	1,310	1,269	986	904	916	830	818
통영지역	어 가 수	6,899	2,755	6,657	5,748	5,628	5,627	5,235
	어업인구	13,629	5,901	10,983	9,671	9,349	9,290	9,104

자료 : 수협중앙회, 어촌계 분류평정 및 현황, 각 년도

바다목장 해역의 어가 수는 1998년에 752가구에서 계속 감소하기 시작하여 2004년에는 597가구로 20.5%, 155가구가 줄었다. 동기간 통영지역 어가 수 감소율인 24.1%보다 감소율이 작은 것으로 나타났다. 그리고 목장해역 내 어업인구는 1998년 1,310명에서 2004년 818명으로 37.6% 감소된 것으로 조사되었으며, 2005년에도 감소추세가 계속될 것으로 예상된다.

나. 어선척수

통영바다목장의 어선척수는 1998년 642척에서 점차 감소경향을 보여, 2004년에는 519척으로 1998년 대비 19.2%, 123척이 줄어들었다(표 5-3-2). 같은 기간 통영지역 전체 어선척수의 변화를 보면, 4,737척에서 4,612척으로 2.6%가 감소하여 통영바다목장 해역의 어선이 더 많이 감소한 것으로 나타났다. 이는 통영바다목장 해역이 양식업이 성행하고 있

는 지역으로 어선어업의 비중이 높지 않고, 등록된 어선이라 하더라도 실제 조업하지 않는 어선이 허가 갱신 시에 수치가 현실화되었으며, 보호수면과 수산자원관리수면의 설정에 따라 불법어업의 지속적인 단속으로 인해 연안복합어업 이외의 어업들이 감소하였기 때문이다.

표 5-3-2. 어선척수

(단위 : 척, 개소)

구분		1998	2000	2001	2002	2003	2004
바다목장 해역	동력	561	584	491	488	465	465
	무동력	81	85	101	97	54	54
	합계	642	664	592	575	519	519
통영지역	동력	4,074	5,028	4,252	4,189	4,238	4,238
	무동력	663	621	625	705	375	374
	합계	4,737	5,649	4,877	4,894	4,613	4,612

자료 : 수협중앙회, 어촌계 분류평정 및 현황, 각 년도

다. 어업권어업의 현황

바다목장 해역 내에 존재하고 있는 어업권어업은 표 5-3-3과 같이 정리하였으며, 정치망을 제외하고는 바다목장 사업과는 관련성이 낮은 패류양식, 어류양식, 마을어업 등이 있다.

표 5-3-3. 연도별 어업권의 추이

(단위 : 건, ha)

구분	정치망어업		해조류양식		패류양식		어류양식		복합양식		협동양식		마을어업		
	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	
목장 해역	1998	24	5	0	0	5	11	31	80	0	0	0	0	24	490
	1999	24	5	0	0	5	11	31	77	0	0	0	0	24	490
	2000	20	4	0	0	5	15	27	69	0	0	0	0	22	539
	2001	18	6	0	0	12	33	25	59	0	0	0	0	27	563
	2002	20	11	0	0	8	19	21	46	0	0	0	0	24	617
	2003	15	10	0	0	3	9	20	44.5	0	0	0	0	23	559
	2004	15	10	0	0	4	11	18	32	0	0	0	0	23	559
통영 전체	1998	148	56	19	65	60	183	98	234	0	0	0	0	191	4,029
	1999	45	15	0	0	36	135	27	69	0	0	0	0	51	1,495
	2000	140	128	15	59	87	220	84	177	0	0	0	0	190	4,036
	2001	108	42	21	89	84	247	67	141	0	0	6	12	160	3,241
	2002	116	74	18	75	75	258	61	121	0	0	0	0	169	3,222
	2003	117	75	19	85	76	258	62	121	0	0	0	0	173	3,225
	2004	117	77	19	85	77	261	46	79	0	0	0	0	173	3,225

자료 : 수협중앙회, 어촌계 분류평정 및 현황, 각년도.

이들 어업권어업의 추이를 보면, 마을어업과 패류양식업을 제외한 정치망어업과 어류양식업은 감소 추세에 있다. 특히, 어류양식업은 불락양식의 과잉생산으로 인한 가격폭락, 태풍 내습으로 인한 시설물 파괴 등으로 인해 어업권이 감소한 것으로 나타났다.

2004년 현재, 정치망어업은 통영전체 117건의 약 12.8%에 해당하는 15건이 있으며, 면적은 77ha의 13.0%에 해당하는 10ha가 있다. 패류양식은 전체 77건 중 4건이 있으며, 어류양식은 전체 46건 중에서 39.1%인 18건으로 면적은 전체 40.5%인 32ha가 존재한다. 마을어업은 통영 전체 173건 중에서 약 13.3%인 23건이 있으며, 그 면적은 전체 3,225ha의 17.3%에 해당하는 559ha가 바다목장 해역 내에 있다.

라. 어촌계 소득 추이

1998년부터 2004년까지 통영바다목장 해역 내 11개 어촌계의 평균소득 추이를 살펴보면, 표 5-3-4와 같다. 어촌계 호당 평균소득은 어촌계에서 영위하는 어업권어업 등을 포함한 전체 소득을 어가수로 나눈 것이다. 호당 평균수지의 산출을 위해 어촌계장 등의 면담 조사를 실시하였고, 표본 어업인의 경영수지를 기초자료로서 수집하였다. 따라서 정확한 어가소득으로 보기에는 다소 무리가 있지만, 전체적인 소득추이를 참고한다는 측면에서 활용하였다.

또한, 2003년과 2004년의 어촌계 평균소득이 같은 것은 2004년 어촌계별 소득집계가 정확한 파악이 불가능해지자 수협에서 2003년과 동일한 것으로 추산하였기 때문이다. 따라서 2004년도 어촌계 평균소득은 2006년에 다시 정리하여 언급할 예정이다.

표 5-3-4. 바다목장 해역 내 11개 어촌계별 호당 평균소득 추이

(단위 : 천 원)

	해역 내 11개 어촌계별 호당 평균소득											소득 평균
	미남	마동	중화	연화	삼덕	원항	곤리	저도	학림	오수	연대	
1998	20,541	20,213	20,968	20,790	20,437	20,510	23,960	20,968	24,210	20,300	23,580	21,498
1999	20,540	20,243	20,927	20,817	20,450	20,520	23,900	19,930	24,300	20,360	23,500	21,408
2000	20,000	20,100	20,000	15,500	17,500	19,200	24,000	18,000	22,000	15,000	17,500	18,982
2001	20,000	20,000	21,000	10,000	18,000	13,000	21,000	9,000	23,000	6,000	15,000	16,000
2002	15,000	15,000	16,000	10,000	10,000	10,000	20,000	8,000	20,000	4,000	14,000	12,909
2003	16,000	17,000	15,000	12,000	15,000	15,000	20,000	10,000	20,000	6,000	13,000	14,455
2004	16,000	17,000	15,000	12,000	15,000	15,000	20,000	10,000	20,000	6,000	13,000	14,455

자료 : 수협중앙회, 어촌계 분류평정 및 현황, 각 년도

11개 어촌계의 호당 평균소득은 1998년 21,498천 원, 1999년 21,408천 원에서 계속 줄어들어 2004년에는 14,455천 원으로 감소하였다. 동 기간 통영시 전체 평균소득은 18,323천 원에서 13,914천 원으로 바다목장 해역 내 어촌계의 소득수준이 통영시 전체 어촌계의 평균 소득수준보다 높다.

2000년 이후 목장 해역 내 어촌계 평균소득이 감소한 것은 어가소득의 상당한 비중을 차지하고 있는 어류양식이 적조와 태풍 매미의 영향에 따라 수익성이 악화되었기 때문으로 추측된다.

2004년도 바다목장 해역의 어촌계 중에서 평균소득보다 높은 어촌계는 어류양식업이 성행하는 학림과 곤리, 다음이 유어선이 활발한 마동, 다음으로 미남, 중화, 삼덕, 원항의 순이며, 평균소득보다 낮은 어촌계는 연대(13,000천 원), 연화(12,000천 원), 저도(10,000천 원), 오수어촌계(6,000천 원)이다.

2. 수산자원관리수면의 이용

가. 수산자원관리수면 이용 실태

통영바다목장 수산자원관리수면에서 조업하는 어업은 어선어업, 구획어업, 양식업, 유어선, 해녀, 정치망 등 다양하다. 그 중에서 가장 활발하게 조업을 하는 업종은 어선어업, 구획어업, 양식업이며, 표 5-3-5에 이들 업종의 인·허가 상황을 정리하였다.

표 5-3-5. 수산자원관리수면의 조업 현황

구분	연안어 선 (척)	허가어업				구획어업(건)		정치망 (건)	유어선 (척)	양식업 (건)	해녀 (명)
		복합	자망	양조 망	통발	정치성	이동성				
2004	405	274	82	5	105	18	34	2	28	56	5
2005	425	252	71	4	93	19	28	3	43	50	5
마동	42	30	4	0	7	2	0	0	17	4	0
미남	19	11	0	0	8	2	0	0	0	4	0
연화	48	24	12	3	9	2	1	0	0	6	2
중화	63	28	15	1	19	1	0	0	10	5	0
삼덕	43	23	5	0	6	1	11	0	10	3	3
원항	36	14	8	0	14	0	0	1	0	3	0
곤리	85	65	10	0	15	2	16	0	2	4	0
저도	21	14	3	0	4	2	0	2	0	7	0
학림	41	30	6	0	6	3	0	0	0	6	0
연대	16	8	5	0	3	2	0	0	4	6	0
오수	11	5	3	0	2	2	0	0	0	2	0

자료 : 통영시청 내부자료(2005. 10. 현재)

먼저, 어선현황을 보면, 2005년의 어선척수는 총 425척으로 2004년에 비해 20척이 증가하였다. 어촌계별로는 곤리가 가장 많은 85척, 다음으로 중화 63척, 연화 48척, 삼덕 43척, 마동 42척, 학림 41척, 원항 36척, 저도 21척, 미남 19척, 연대 16척, 오수 11척 순이다. 이들 어선척수는 어업허가를 기준으로 산정된 것이며 어촌계별 어업상황을 고려한다면, 실제 어선어업에 종사하는 어선의 수는 이보다 훨씬 적을 것으로 판단된다.

다음으로 허가어업의 건수는 2005년에 466건으로서 2004년에 비해 40건이 증가하였으며, 어선척당 1~3건씩 중복허가를 가지고 있다. 어업별로는 연안복합이 252건으로 가장 많고, 다음으로 통발 93건, 자망 71건, 양조망 4건의 순이다.

구획어업은 이동성 및 정치성을 포함하여 47건, 정치망은 저도 2건, 원항 1건으로 모두 3건이 있다. 유어선은 모두 43척이 존재하는데 2004년에 비해 17척이 증가한 것으로 마동어촌계가 17척으로 가장 많고, 중화, 삼덕에 10척, 연대에 4척, 곤리에 2척이 있다. 양식어업은 모두 50건이 각 어촌계에 골고루 분포하고 있으며, 해녀는 모두 5명이 있는 것으로 파악되었다.

나. 어선어업의 조업 실태

바다목장 수산자원관리수면에서 조업하고 있는 어선어업의 조업실태를 정리하면, 표 5-3-6과 같다. 앞의 표 5-3-5에서 2005년의 연안어선은 모두 425척으로 파악되었지만, 실제로 조업하고 있는 어선은 어업인과 어촌계장, 지역 관계자들의 의견을 청취조사한 결과, 40%인 약 170여척으로 파악되었다. 업종별로는 외줄낚시 106척, 연승 31척, 통발 28척, 자망 6척으로 파악되었다. 따라서 허가를 가지고 있지만 실제로 조업을 영위하는 어업인은 그렇게 많지 않음을 알 수 있다.

표 5-3-6. 수산자원관리수면 내 연안어선의 조업 현황

구분	외줄낚시			연승			통발			자망		
	전업	겸업	소계	전업	겸업	소계	전업	겸업	소계	전업	겸업	소계
2004	57	67	124	6	11	17	24	11	35	0	6	6
2005	52	54	106	19	12	31	20	8	28	0	6	6

자료 : 각 어촌계별 청취조사

외줄낚시의 조업척수 106척 중에서 연승 조업하는 전업이 52명, 양식 등과 겸업이 54척으로 파악되었다. 다음으로 연승은 31척 중 전업 19척, 겸업 12척이며, 통발은 전업 20척과 겸업 8척을 합해 28척으로서 활발한 조업이 이루어지고 있다. 자망은 겸업 6척으로서 보조수입원의 역할을 하는 것으로 조사되었다.

어촌계별로 조업현황을 보면, 가장 활발한 외줄낚시어업은 중화, 연화, 연대, 삼덕에

많고, 연승은 삼덕과 마동이 중심지이며, 통발은 미남, 중화에 집중되어 있고, 자망은 중화와 학림에서 주로 이루어지고 있다.

조업활동이 왕성한 외줄낚시의 조업과 어획물 판매 상황을 살펴보면, 주된 대상어종은 불락, 농어, 참돔, 방어, 조피불락으로서 불락의 어획 비중이 매년 높아지고 있다. 주된 조업어장은 인공어초 시설지역과 자연암반이 형성된 섬 주변이다. 수산자원관리수면에서의 어획물은 활어는 물차 판매, 선어는 시장에 직접 파는 경우가 많아 대부분 비계통판매가 되고 있는 것으로 파악되었다.

한편, 타 지역 어업인에 의한 바다목장 해역 이용은 통영, 사천 등지에서 출어한 어업인들이 주로 조업하고 있다. 자망과 통발 등은 수산자원관리수면에서 조업이 금지되어 있는 불법어업이며, 자율관리어업위원회에서 상시적으로 감시하고 있으므로 감시가 취약한 시간대인 야간에 조업하는 경우가 많다.

다. 어종별 주어기

표 5-3-7은 수산자원관리수면 내에서 복합어업(연승, 낚시) 대상어종의 주 어획시기를 정리한 것이다. 이를 통해 계절별로 어종을 전환하면서 조업활동을 전개하고 있음을 알 수 있다. 전술한 바와 같이, 복합어업에서는 감성돔, 불락, 조피불락, 농어, 참돔 등이 주로 어획된다.

표 5-3-7. 어종별 주어기

어 종 명	월별 주 어종											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
감성돔												
불 락*												
조피불락												
농 어												
참 돔												

* 불락의 경우는 주년 조업이 이루어지고 있음.

감성돔은 8~10월에 가장 많이 어획되고 있다. 불락은 주년 조업을 하고 있으나 바다목장 조성 이전에는 주어기가 봄, 가을에 집중되었던 것이 목장 조성 후에는 겨울까지 확장되는 추세를 보이고 있다.

다음으로 바다목장의 대상으로서 가장 많은 종묘가 방류된 조피불락(우럭)은 1~3월과 10~12월에 많이 어획된다. 농어는 10~11월이 주어기에 해당하며, 참돔은 5~9월에 걸쳐 가장 많이 어획되고 있다.

라. 어획량 모니터링

통영바다목장의 이용·관리에서 가장 핵심적인 내용의 하나는 '구성된 수산자원의 지속적 관리와 효율적인 이용을 어떻게 해 나가느냐'이다. 이를 위해서 반드시 수반되어야 하는 것이 자원량에 대한 평가와 어획량의 모니터링이다.

수산자원관리수면의 어획량 모니터링은 바다목장 대상어종의 자원상태를 간접적으로 파악하여 자연과학적인 조사를 통해 도출된 자원추정 데이터와 비교·분석함으로써 적정 어획량을 산정하는데 활용될 수 있다. '통영바다목장 수산자원관리수면 관리이용 규정'에서도 어획량 및 입어척수를 제한할 수 있는 규정이 있지만, 어업인의 경제적 손실을 완화시키고 과학적 근거를 확보하고자 하는 의미에서 현재 유보된 상황이다.

또한, 어획물 모니터링은 바다목장 해역에서 어획된 수산물의 체장, 물량, 가격, 유통 경로 등을 직접 파악함으로써 통영바다목장산 어획물의 부가가치 제고를 위한 유통체제의 구축에도 기본 데이터로 활용할 수 있다는데 그 의의를 가진다.

통영바다목장은 수산자원관리수면 지정 이후, 자율관리어업위원회를 중심으로 바다목장의 자원조성 성과 확인에 관심이 고조되었고, 어업인들도 어획물 모니터링에 대한 필요성을 인식하기 시작하여 2005년 7월부터 어획물 모니터링이 실시되고 있다.

조사지점은 현재 바다목장산 어획물이 가장 많이 양륙되어 물차에 판매되는 달아, 연명, 중화항의 3곳으로 정하였으며, 모니터 요원은 2명을 상시 고용하였다. 모니터 요원은 양륙지별 주요 양륙시간대에 현장에서 조사표를 기입하는 방식으로 모니터링하고 있으며, 월별단위로 자료를 취합하여 연구진에게 보고하고 있다.

표 5-3-8은 2005년 7월부터 11월까지 통영바다목장 수산자원관리수면 내의 어획량 모니터링 결과를 집계한 것이다. 조사대상 업종과 표본 어선 수는 정치성구획 1~2척, 외줄낚시 9~11척, 통발 8~9척이며, 11월에는 자망 1척을 추가하였다. 조업척수는 이들 표본어선이 1개월간 실제 조업한 척수의 누계를 의미한다.

업종별 조업일수는 월별로 변동은 있지만 정치성구획은 월 20~25일이며, 복합어업은 10~25일, 통발 8~20일으로 조사되었다. 조업수역은 수산자원관리수면 외측과 내측으로 구분하였다.

전체 어획량은 약 80톤, 25천 마리이며, 이 중에서 불락 6톤, 조피불락 2톤, 참돔 1.8톤으로 파악되었으며, 기타 어종은 70톤으로 바다목장 대상어종이외의 농어, 송어, 넙치, 문어, 노래미, 전갱이 등이 포함되어 있다.

업종별로는 정치성구획에서 기타 어종의 비중이 높고, 다음으로 참돔, 조피불락, 불락의 순이다. 외줄낚시에서는 불락의 비중이 높아 기타 어종과 거의 비슷한 수준을 기록하고 있으며, 다음으로 참돔, 우럭이 어획된다. 통발에서는 기타 어종의 비중이 압도적이며, 불락과 조피불락이 거의 비슷한 수준으로 어획되고 있다.

표 5-3-8. 수산자원관리수면의 어획량 모니터링 결과

업종	양륙 항	조업 척수	조업수역		어획량(kg)									
			관리 수면 내 (%)	관리 수면 외 (%)	활 어				선 어					
					불락	조피 불락	참돔	기타	불락	조피 불락	참돔	기타		
합 계					5,985	1,968	1,858	40,515 (25,549)	391	-	-	30,213		
구 획	7월	달아	2통	100	-	-	24	32	1,455	-	-	-	1,960	
		연명	4통	100	-	4	-	-	1,843	-	-	-	781	
	8월	달아	2통	100	-	-	6	7	252	-	-	-	3,745	
		연명	4통	100	-	28	55	79	446	-	-	-	4,100	
	9월	달아	2통	100	-	-	8	15	240	-	-	-	3,580	
		연명	4통	100	-	-	80	71	1768	-	-	-	4,110	
	10월	달아	1통	100	-	-	12	-	186	-	-	-	580	
		연명	4통	100	-	-	97	191	2,432	-	-	-	7,990	
	11월	연명	4통	100	-	131	119	549	2,774	-	-	-	3,340	
	소 계					163	401	944	11,396	-	-	-	30,186	
자 망	11월	달아	10척	100	-	-	12	-	223	-	-	-	-	
	소 계					-	12	-	223	-	-	-	-	
외 출	7월	달아	142척	79	21	3,310	363	297	143	-	-	-	-	
		중화	56척	93	7	656	66	132	48	-	-	-	-	
	8월	달아	39척	-	100	454	-	-	-	-	-	-	-	
		중화	27척	30	70	112	18	62	266	-	-	-	-	
	9월	달아	31척	-	100	190	-	-	-	-	-	-	-	
		중화	40척	-	100	20	21	415	450	-	-	-	27	
	10월	달아	40척	-	100	-	-	-	-	93	-	-	-	
		중화	26척	-	100	-	63	8	4,371	-	-	-	-	
	11월	달아	38척	-	100	-	-	-	-	298	-	-	-	
		중화	소 계					4,742	531	914	5,278	391	-	-
통 발	7월	달아	100척	46	54	714	357	-	7,023	-	-	-	-	
	8월		109척	21	79	180	339	-	8,125	-	-	-	-	
	9월		89척	45	55	71	131	-	3,718	-	-	-	-	
	10월		101척	-	100	36	91	-	3,352 (19,325)	-	-	-	-	
	11월		33척		100	79	106	-	1,400 (6,224)	-	-	-	-	-

주 : 기타 ()는 마리수를 의미함.

한편, 어획물의 판매경로를 보면, 정치성구획은 활어의 경우 모두 활어차 등 상인에게 판매되고 있으며, 선어는 대부분 양식사료로 양식장에 개별 판매된다. 그리고 외줄낚시와 통발에서는 전량 상인판매로 이루어지고 있다.

이상과 같이 수산자원관리수면 내에서는 불락, 조피불락, 참돔의 목장 대상어종과 기타 어종의 어획이 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 한편, 수산자원관리수면의 금지어법인 통발에서 어획이 많이 이루어지고 있는데, 이는 수산자원관리수면 관리이용 규정이 아직 완전하게 기능하고 있지 않음을 보여주고 있다. 또한, 정치성구획어업에서도 대상어종이 어획되고 있으므로 동 어업의 규제가 어느 정도 필요할 것으로 판단된다.

향후, 어획물 모니터링의 표본어업자수 확대, 효율적인 조사방법의 검토 등을 통해 수산자원관리수면의 합리적인 이용관리 방안을 도출하기위한 정밀한 기초 자료를 확보해 나갈 계획이다.

제 4 절 바다목장 이용 · 관리체제 구축

1. 현행 통영바다목장의 이용관리체제

통영바다목장의 이용 · 관리체제를 구축하기 위해 바다목장 사업의 초년도인 1998년부터 다각적인 노력이 기울어져 왔다. 그 과정에서 지역 어업인과 지자체와의 의견대립으로 심각한 갈등이 있었지만, 점차 연구진과 논의를 거듭해 나가면서 바다목장 이용관리에 있어 상호 이해에 대한 중요성을 공감하게 되었다.

그 결과 통영바다목장 해역관리는 보호수면과 수산자원관리수면의 양측으로 이루어지고 있으며, 이용에 있어서는 자율관리어업위원회를 중심으로 하고 관리이용협의회가 이를 지원하는 형태를 취하고 있다. 통영바다목장은 우리나라 어업관리 정책 중 핵심을 이루고 있는 수산자원의 보호 및 증대, 지속적 이용이라는 두 가지 목표를 적용시켜 나가는 과정이라고 할 수 있다.

특히, 우리나라의 자원증대 정책에서 중요한 비중을 차지하는 인공어초사업과 종묘방류사업, 그리고 연안어업관리의 중심을 이루는 자율관리어업에서 그 도입과 실천이 어렵다고 할 수 있는 광역어선어업 자율관리공동체를 도입하고 있다. 따라서 통영바다목장에서 어업자원관리를 성공적으로 이끌어낼 경우, 향후 연안어업관리의 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

이하에서는 현재 통영바다목장 이용관리체제를 개관하면서 문제점 및 과제를 제시해 보고자 한다.

가. 보호수면

통영바다목장 해역의 보호수면은 동 해역의 어업인과 낚시객 등의 이용자가 늘어남에 따라 불법어업 등 어업질서의 문란 사례 및 이에 대한 단속 강화 요구, 그리고 바다목장 해역 산란 · 성육장을 보호할 목적으로 지정되었다.

보호수면의 지정은 2000년 12월 19일 '해양수산부 공고 제2000-113호'로 이루어졌으며, 주요 내용은 '보호수면 내에서의 일체의 어로행위 금지'이다. 보호수면의 면적은 인공어초, 해조장 등의 시설물이 설치된 해역과 대상어종의 치어를 중점적으로 방류한 해역 540ha를 대상으로 한다(그림 5-4-1).

나. 수산자원관리수면

통영바다목장 해역의 수산자원관리수면은 2005년 1월에 '수산자원관리수면 관리이용규정'을 제정하여, 2005년 2월에 해양수산부장관의 승인을 득하였다. 그리고 2005년 3월 14일부로 경상남도 도지사에 의해 공식 지정되었다.

(2) 수산자원관리수면의 지정 목적

통영바다목장 해역에 수산자원관리수면을 지정한 목적은 '수산자원관리수면 관리이용 규정' 제1조에 규정되어 있다. 이에 따르면 성공적인 바다목장의 조성을 통해 수산자원의 효율적이고 지속적인 관리와 이용에 이바지하고, 입어 어업인들이 중심이 된 자율관리어업으로 발전시킴으로써 어업인 소득 향상시키는 것을 목적으로 한다.

지금까지 통영바다목장 해역에는 어로행위 일체가 금지된 540ha의 보호수면을 제외하고는 어획활동이 개방되어 있었기 때문에 무분별한 과잉조업, 자원고갈, 목장사업의 효과 반감 등의 문제가 있었다. 따라서 이들 문제를 배제하고 지속가능한 어업생산 달성을 위한 어업질서 확립의 목적으로 지정한 것이 수산자원관리수면이다.

(3) 주요 내용

수산자원관리수면의 지정기간은 2005년 3월 14일부터 2009년 12월 31일이며, 관리권자는 경상남도지사이다. 이용대상자는 기존에 통영바다목장 해역을 이용하고 있던 11개 어촌계원 및 통영바다목장 관리이용협의회가 허용한 어업인으로 한정하였다. 동 수면을 이용할 수 있는 어업은 연안복합어업(외줄낚시, 연승, 채낚기, 문어단지)으로 한정하고, 그 외의 어법인 통발 및 자망어구, 유어낚시어선업은 제외하도록 하고 있다.

그리고 어획량 및 입어척수의 제한도 규정되어 있으나 어업인의 경제적 손실을 완화하고 정확한 자원평가에 대한 과학적 자료의 축적을 위해 동 규정은 당분간 그 적용을 유보하고 있다.

또한, 포획금지체장의 규정을 두어 운영하고 있는데, 볼락 15cm, 조피볼락 30cm, 감성돔 및 참돔 20cm 이하로 정하였다.

다. 자율관리어업위원회

자율관리어업위원회는 이전의 역할이 불분명하였던 '수산자원공동관리위원회'를 개편하여 그 역할을 명확히 함으로써 어업인들의 적극적인 참여와 자율관리어업으로의 전환을 도모하고자 하는 취지로 조직된 것이다.

자율관리어업위원회의 전신인 수산자원공동관리위원회는 1998년 9월 21일에 구성되었으며, 구성원은 바다목장 해역 인근 어촌계장과 자문위원이다. 동 위원회의 역할은 바다목장 조성에 관한 조사·연구사업 지원, 바다목장 운영관리, 해당지역 어업인에 대한 홍보 및 교육, 기타 바다목장 조성, 운영 및 관리에 필요한 사항 등을 결정하는 것을 주 내용으로 하였다. 그러나 바다목장 해역과 대상 지역이 불명확하였고 어업인의 인식부족으로 원활한 기능을 하지 못하였다.

이러한 동 위원회의 문제점을 개선하고 어업인의 참여를 도모하고자 2004년 12월 21일에 '자율관리어업위원회'가 구성되었다. 실질적인 바다목장 관리·이용주체인 어업인들

을 중심으로 자율적인 관리·이용 권한과 참여기회를 가질 수 있도록 자율관리어업의 취지에 부합되는 조직으로 개편한 것이다.

자율관리어업위원회는 바다목장에 접한 11개 어촌계의 계장으로 구성되며, 통영바다목장의 이용관리 주체이면서 바다목장 조성에 관한 조사·연구 사업을 지원하고, 바다목장의 자율적 관리·이용 규제, 해당지역 어업인에 대한 홍보 및 교육, 기타 관리이용에 관한 요망사항을 건의하는 역할을 하게 된다. 동 위원회는 11개 어촌계장 중에서 선출된 1명의 회장과 1명의 간사를 두고 있으며, 임원의 임기는 2년으로 하고 있다.

통영바다목장 자율관리어업위원회의 출범은 동 해역의 이용에 광역자율관리가 도입된 것을 의미하며, 이는 동 해역의 이용에 한정되는 문제가 아니라 우리나라 연안어업의 광역자율관리 도입의 틀을 제공한다는 측면에서도 그 의미가 크다. 광역자율관리어업은 우리나라 연안어업관리 정책의 축으로 자리 잡고 있는 자율관리어업 중에서 이동성이 있는 어류를 대상으로 하는 어선어업을 구성체로 하는 것이다.

또한, 통영바다목장 자율관리어업위원회는 2005년 3월 9일에 '통영바다목장 자율관리 공동체'로 등록하여 2005년 4월 1일부터 자율관리어업에 참여하고 있다. 동 공동체는 어선어업을 영위하는 어업인 269명, 어선 269척을 대상으로 바다목장 해역 내 어업인의 자율적 조업질서 확립 및 감시활동 강화를 목적으로 하고 있다.

현재까지의 활동을 살펴보면, 2005년 3월 30일에 '통영바다목장 자율관리어업'의 실천 결의대회를 실시하였고, 2005년 6월 29일에는 '통영바다목장 수산자원관리수면 감시반'을 발족하였다. 그 외에도 자율적인 어장청소를 실시하고 있으며, 바다목장 어획량 모니터링에도 참여하고 있다.

라. 관리이용협의회

관리이용협의회는 바다목장 조성 초기부터 운영되어온 조직을 기반으로 통영바다목장 수산자원관리수면 관리이용 규정 제15조와 경남도 통영바다목장 관리이용협의회 운영 요령에 의해 조직되었다. 동 위원회는 2005년 1월 13일에 통영바다목장 관리이용협의회 규정을 제정함으로써 구성되었으며, 2005년 7월 7일에 공식적으로 출범하였다.

동 위원회의 구성목적은 통영바다목장 수산자원관리수면 관리이용 규정에 의거하여 관리수면의 효율적 관리 및 지속적 이용을 도모하는데 있으며, 민·관·학·연 15명으로 구성되는데 각 구성원 및 조직은 다음과 같다.

구성원

- 행정 : 통영시 2, 경남도 1, 해경 1, 해양수산사무소 1
- 연구소 : 한국해양연구원, 한국해양수산개발원, 국립수산과학원 양식환경연구소 각 1인
- 학 계 : 경상대 교수1인
- 업 계 : 통영시 수협1, 통영바다목장 자율관리어업위원회 5인

조직

- 협의회 회장(통영시 수산개발국장), 부회장(통영시 어업생산과장)
- 간사(통영시 어업자원관리 담당주사)

동 위원회의 기능은 크게 4가지로 나눌 수 있는데, 첫째, 수산자원관리수면 관리 및 이용에 관한 사항 협의 및 자문을 하고, 둘째, 수산자원관리수면의 이용대상자 지정 여부를 결정하며, 셋째, 수산자원 조성에 관한 협의, 협의회 운영에 관한 사항을 논의하고, 마지막으로, 어업인 홍보 및 관리수면 전반에 관한 사항을 협의한다.

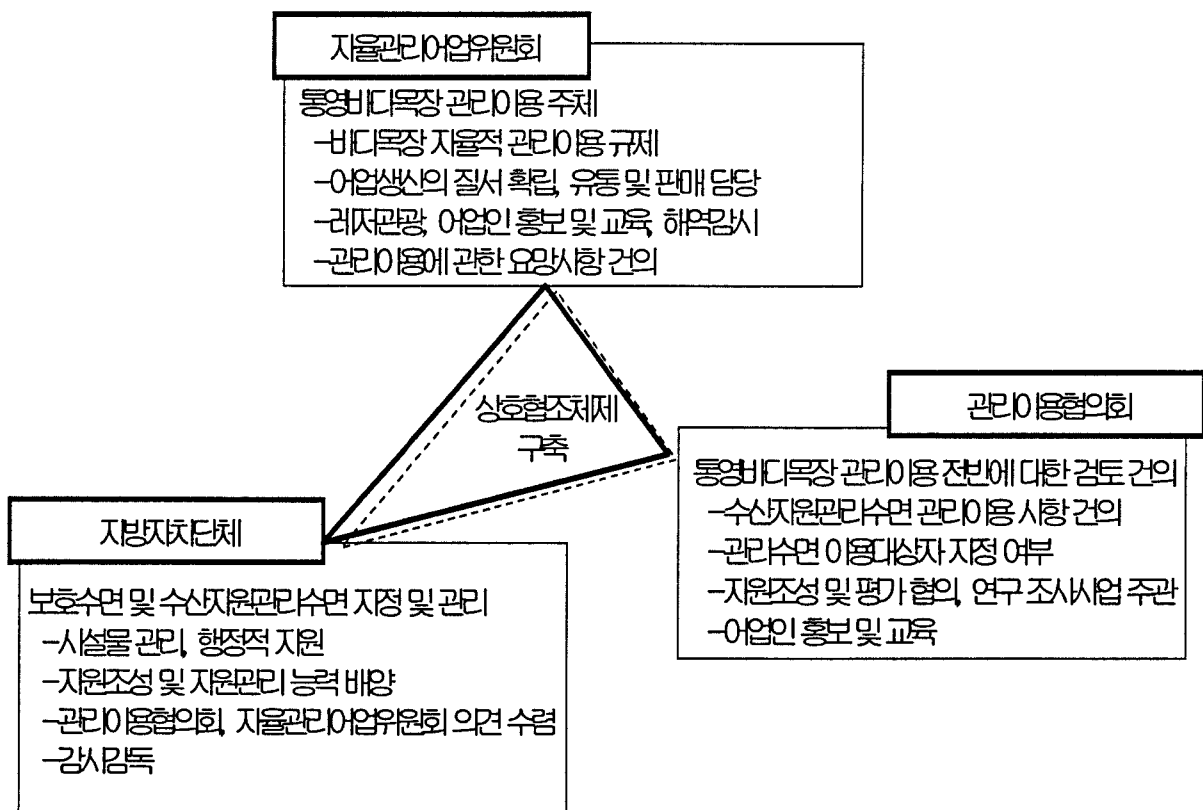


그림 5-4-2. 통영바다목장 관리이용의 조직별 역할 분담체계.

2. 통영바다목장의 사후관리체제 구축 방향

통영바다목장은 우리나라에서 최초의 자원조성 및 보호→지속적 어획→생산물 부가가치 제고→소득 증대라고 하는 종합적이고 미래지향적인 어업시스템으로 정의내릴 수 있다. 동 사업의 성공적인 마무리는 자율적인 관리이용 체제가 확립되어 해역 운영 전반에 걸쳐 지속가능한 어업이 실현되는 순간이라 할 수 있을 것이다.

2006년 통영바다목장 연구사업의 종료 이후인 2007년부터 바다목장의 관리 및 이용권이

통영지역으로 이양되더라도 영속성 있는 사업으로 추진되기 위해서는 지자체 및 어업인의 관리이용 능력을 배양시키는 것이 가장 중요하며, 각 조직별 상호협조체제가 구축되어야 한다. 즉, 그림 5-4-2와 같이, 자율관리어업위원회, 관리이용협의회, 지자체가 삼위일체가 되어 각자의 역할을 원활하게 진행시켜 나갈 때 비로소 통영바다목장이 자립할 수 있는 토대가 마련되는 것이다.

또한 통영바다목장의 성공적인 마무리를 위해서는 사후관리 측면에서 해역관리와 자원 관리시스템을 확립시키는 것이 무엇보다 중요하다.

가. 해역관리

통영바다목장 해역관리는 바다목장을 조성하고 이용하는 주체간의 상호협조체제가 마련되어야 하며, 조직별 구체적인 업무 및 담당기관은 표 5-4-1과 같은 형태로 추진되어야 할 것이다.

먼저, 보호수면과 수산자원관리수면의 관리업무는 지방자치단체가 조업질서 확립, 어획물 유통체제, 레저관광, 홍보 및 교육, 예산확보를 담당하고, 집행은 자율관리어업위원회가 담당하며, 각 업무 전반에 걸쳐 관리이용협의회의 자문을 제시하게 된다. 따라서 각 주체들의 협의와 동의가 수반되어야 하며, 이를 실천하기 위한 세부적인 실천방안을 정리하면 다음과 같다.

(1) 관리조직의 유기적 협조체제 구축과 역량 강화

통영바다목장의 관리조직은 2005년에 구성되어 아직 관리능력과 의욕이 부족하고, 조직간에도 유기적 협조체제가 완벽하지 않은 실정이다. 따라서 통영바다목장의 관리권이 지자체로 이양된 이후에도 지속적인 어업생산을 달성하기 위해서는 관리조직의 유기적 협조체제와 관리역량의 배양이 요구되어 진다.

즉, 지자체에서는 바다목장 해역의 관리 능력을 배양하기 위해 바다목장 관련 수산행정을 전담할 수 있는 인력과 조직의 확충이 필요하다. 관리이용협의회는 수산자원관리수면 관리 및 이용 전반에 대한 효율적인 대책을 수립할 필요가 있다. 그리고 바다목장의 이용주체인 자율관리어업위원회는 적극적이고 자율적인 참여의식을 제고하고, 일정한 규모의 재정 능력을 확보할 필요가 있다.

그리고 관리이용협의회와 자율관리어업위원회에서는 정기회의와 비정기회의를 비롯하여 분야별 상설 소모임을 구성함으로써 바다목장과 관련된 현안 문제를 해결하고 선진 정보를 공유할 수 있도록 해 나가야 한다.

표 5-4-1. 통영바다목장 조성 이후 사후관리 업무 및 담당기관

분야	업무	담당기관	협력기관
1. 보호수면	①시설물관리	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	②자원조사 및 평가	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	③자원조성 및 관리	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	④감시감독	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
2. 수산자원 관리수면	①시설물관리	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	②자원조사 및 평가	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	③자원조성	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	④자원관리(척수, 할당)	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
	⑤감시감독	지자체	관리이용협의회, 자율어업관리위원회
3 조업질서 확립	①조업방식 결정	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	②어획물 모니터링	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	③자율적 어장이용	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
4 어획물 유통 및 판매	①유통시설 운영 및 관리	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	②출하조직 관리 및 조정	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	③브랜드화 및 판촉	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	④부정 유통물 감시	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
5. 레저관광	①시설물관리	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	②레저관광 관리	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
6 홍보 및 교육	①대어업인 홍보·교육	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	②대국민 홍보·교육	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
7. 소요예산 및 집행	①소요예산 확보	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체
	②집행관리	자율관리어업위원회	관리이용협의회, 지자체

(2) 단속체제 정비 및 업종전환 유도

보호수면 및 수산자원관리수면의 불법어업 단속 및 감시를 지자체·해경과 함께 자율관리어업위원회를 포함하여 상시 감시체제로 전환하고, 자율관리어업위원회를 중심으로 지속적으로 홍보와 계몽을 통하여 금지어업(통발, 자망)의 자율적인 추방을 추진해 나가야 할 것이다.

그리고 수산자원관리수면 내에서 조업하고 있는 통발, 자망어업 등의 금지어업을 연안

복합어업으로 전환해야 한다. 그러나 연안어업허가는 허가정수가 도입되어 신규진입이 곤란하므로 남획형 어법에서 자원관리형 어법으로 전환은 허용할 수 있도록 어업제도를 개정할 필요가 있다.

그리고 2004년부터 정부에서 추진하고 있는 '연안어업 감척사업'에 수산자원관리수면에서 조업하고 있는 자망, 통발어업 등의 금지어업에 대해 우선적으로 감척이 이루어질 수 있도록 하여 감척을 통한 어업질서의 확립을 유도해 나가야 한다. 또한, 자율관리어업위원회 내에 구성된 자율감시단에 대한 어장감시선 확보 등의 지원이 필요하다.

그리고 현재 한국해양연구소에서 추진 중인 수산자원관리수면의 경계표시도 시급히 완료되어야 할 것이다.

(3) 바다목장의 수산자원 증대 효과 입증

바다목장의 합리적인 이용관리체제를 만들어 나가기 위해서는 어장을 이용하는 어업인의 자율적인 참여가 전제되어야 한다. 이를 위해서는 바다목장해역 내 수산자원의 증대 효과를 입증하여야 한다. 구체적으로는 현재 수산자원관리수면의 어획량 모니터링 표본을 더욱 확대하여 실시하고, 그 결과를 신속하게 공표할 수 있도록 한다. 그리고 수산자원관리수면에서 조업하는 어선들에 대한 시험 조업을 2006년부터 봄, 가을의 2회에 걸쳐 실시할 필요가 있다.

어획물 모니터링 결과와 시험조업의 결과를 자연과학분야 수산자원 평가와 함께 활용하여 입어척수 및 어획량 할당의 기초 자료로 활용한다. 이러한 체제를 완비하여 2007년부터는 어획할당과 입어척수에 대한 시범 조업을 실시한 다음, 2008년부터는 본격적인 어획량 할당제를 기반으로 하는 조업질서를 확립해 나간다.

나. 어업자원관리

통영바다목장의 지속적 수산자원 관리이용을 위한 조사연구 체제를 구축하고, 어업인들의 적극적인 참여와 자율관리어업의 정착을 통한 조업경쟁의 완화, 질서 있는 생산 활동, 안정적인 소득원 확보 등 일련의 관리기반을 마련하기 위해서는 어업인의 인식전환을 통한 통영바다목장의 부단한 자원관리 노력이 수반되어야 한다.

(1) 조사 및 자문체제의 구축

수산자원의 관리는 기본적으로 정확한 자원량을 기반으로 사회경제적인 요인을 감안한 적절한 이용체제를 확립하는 것이 전제되어야 한다. 따라서 정확한 자원량의 평가는 통영바다목장의 사후관리를 위한 첫걸음이 될 것이다.

하지만 자원의 적절한 이용량에 대한 결정은 손쉽게 할 수 있는 것이 아니라 관련 전문가들이 참여하여 함께 결정하여야 하는 부분이다. 그리고 자원조사 및 평가를 하기 위해서

는 전담인력과 과학 장비가 있어야 되지만, 지자체에서는 이러한 것이 준비되어 있지 못한 실정이다. 따라서 수산자원을 정확하게 조사 및 평가할 수 있는 시스템의 구축이 시급하게 마련되어야 하며, 또한 바다목장 관련 전문가를 중심으로 한 자문체제의 구축도 필요하다.

이를 위해서 우선 지금까지 통영바다목장의 각 연구 분야에 대한 연구 결과를 정리하고 매뉴얼을 작성하여 제공하여야 할 것이다. 그리고 경상남도수산자원연구소에 전문적으로 통영바다목장 자원조사 및 평가를 전담하는 기능을 부여하고, 통영지역 어업인에 대한 지도를 담당하고 있는 통영해양수산사무소의 참여를 유도함으로써 바다목장 이용 및 관리에 대한 조사와 자문체제를 구축해 나가야 할 것이다.

(2) 자율관리어업의 활성화 및 자율관리어업공동체 지원

자율관리어업의 활성화는 바다목장 관리·이용 주체인 어업인들에게 자원관리와 이용에 대한 동기를 부여할 수 있다. 이를 위해 자율관리어업위원회 회의를 정례화(정기 및 수시회의 개최)하고, 조업어선에 대한 표식부착, 어장윤번제 이용, 어획할당, 휴어제 도입 등 관리수단의 개발과 홍보가 필요하다. 그리고 조업어선의 입출항 관리 및 불법조업 근절 홍보 등에 대한 사업도 활발히 전개해 나가야 할 것이다.

또한, 자율관리어업위원회의 자생력을 배양하기 위해 단기적으로는 소요예산의 일부를 지자체에서 지원할 수 있는 방안을 적극적으로 검토해 나가야 한다. 그리고 장기적으로는 유어장 및 직매장 조성 등의 수익사업을 계속 추진하고, 통영바다목장자율관리공동체가 자율관리어업 우수공동체 육성사업에 선정되도록 노력함으로써 어업인들 스스로가 자립기반을 확립할 수 있도록 자구적인 노력이 필요하다.

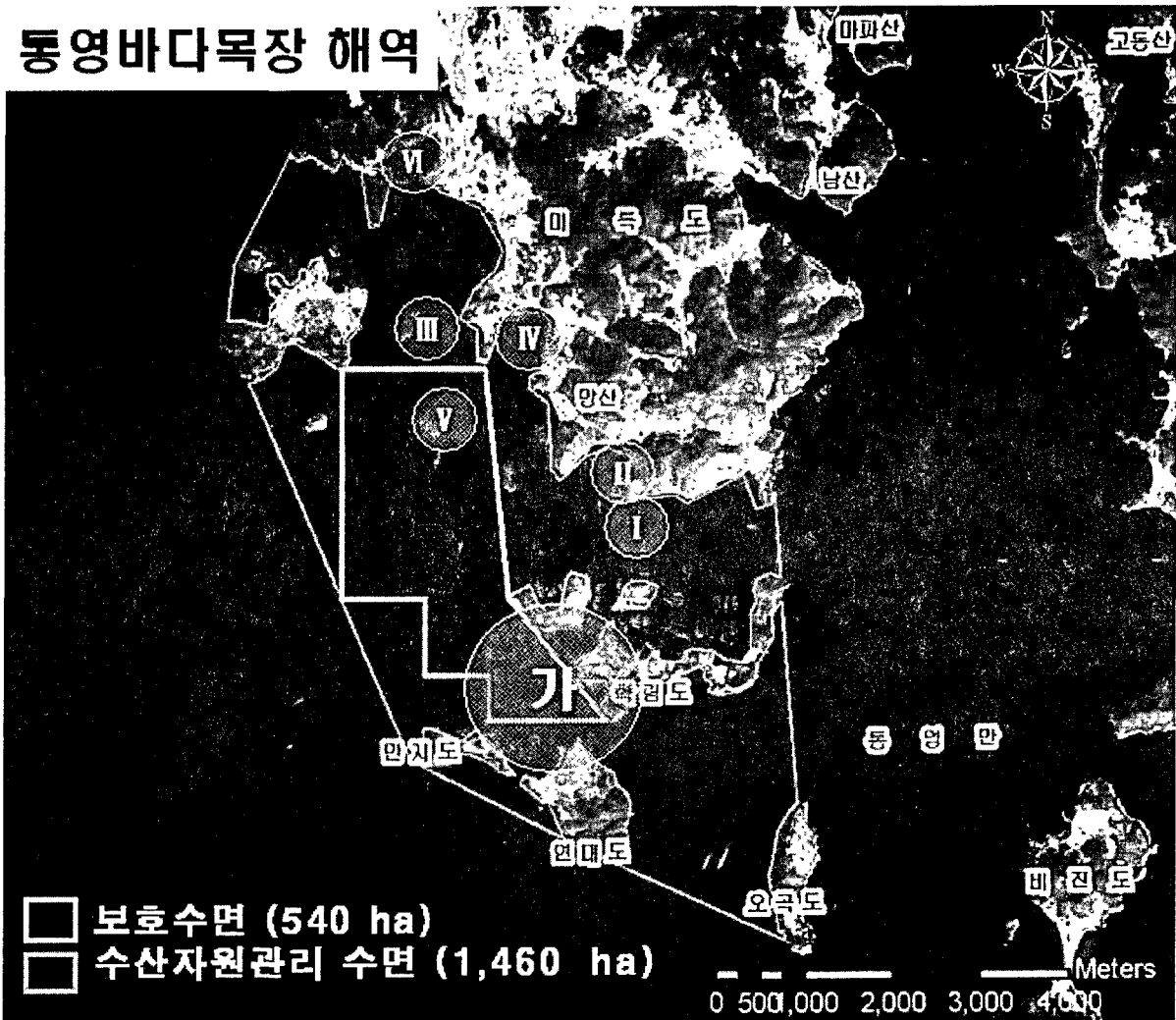
(3) 지속적인 어업인 홍보 및 교육 강화

어업질서의 확립은 어업인 개개인의 인식 전환이 가장 중요한 요소이다. 따라서 공동체 전체의 사업 지원뿐만 아니라 어업인들에 대한 지속적인 홍보과 교육을 병행해 나갈 필요가 있다.

구체적으로는 사랑방식 어업인 순회교육을 실시하여 통영바다목장의 목적 및 의의, 자원조성 효과 소개, 수산자원관리수면 관리이용 규정, 우리나라 자율관리어업 성공 사례 소개, 일본 자원관리형어업 VTR 시청 등을 해 나가야 할 것이다. 이러한 사랑방식 교육은 2006년부터 본 연구진에 의해 본격적으로 수행될 예정이다.

이와 아울러 국립수산과학원에서 실시하고 있는 어업인 교육과정 등에 자율관리어업위원회 구성원 혹은 어업인을 대상으로 위탁교육을 실시함으로써 선진적인 어업정책 등을 습득할 수 있는 기회로 삼을 수 있도록 적극적인 검토가 필요하다.

통영바다목장 해역



I	유어낚시터(KORDI: 660백만 원) -수산과학관 및 잔교형 낚시교(100m×80m)	V	홍보 및 교육 프로그램(KORDI) -바다목장 현장 활용
II	홍보 및 교육프로그램(통영시: 1,500백만 원) -바다목장실(홍보물, 실시간 모니터링)	VI	판매관리(KMI+통영시) -목장산 어획물 직판장
III	유어낚시터(통영시: 8,000백만 원, 검토 중) - 소파제 활용(420m)	VII	학림지구 어촌관광활성화사업 (해수부+지자체: 사업비 6,000백만 원) -'06년 기본설계(해양레저 단지조성)
IV	유어낚시터(연명 어촌체험마을 추진 계획) -가두리양식장을 활용한 유어장		

그림 5-4-3. 통영바다목장 어업 외 소득 증대 방안.

다. 어업 외 소득 증대

어업 외 소득 증대는 통영바다목장으로 조성된 수산자원을 어업뿐만 아니라 통영 지역의 특성을 살려 부가가치가 높은 해양레저 및 어촌관광 등에 활용하고자 하는 것이다. 이

를 통해 통영바다목장의 시너지효과를 극대화하고, 국민의 바다이용 수요에 부응함으로써 어업 외 소득을 증대시킬 수 있으며, 나아가서는 통영의 지역경제 활성화에도 기여할 수 있다.

구체적인 어업 외 소득 증대 방안을 살펴보면, 유어낚시터 조성, 홍보·교육프로그램 운영, 관광패키지 투어, 학림지구 어촌관광 활성화 사업과의 연계, 직판장의 관광자원 활용 등이 있다.

(1) 유어낚시터 조성

유어낚시터는 바다목장으로 조성된 자원을 일반 낚시객에게 제한된 조건으로 이용시킴으로써 어업 외 소득을 확보하는 것이다. 현재 유어낚시는 '유어장의 지정 및 관리에 관한 규칙'에 의거 마을어업 및 협동양식업 어장 내에만 지정이 가능하였으나, 2005년 현재 해양수산부에서 어류가두리양식장에서도 유어장 지정이 가능하도록 제도의 개정을 추진 중에 있다.

유어낚시터는 일반형, 소파제 활용형, 잔교형 및 가두리양식장형 등 다양한 형태의 유어장을 조성할 계획이며, 사업의 주요 내용과 시설은 다음과 같다.

유형	
- 잔교형 유어장(I) :	KORDI 추진, 달아마을, 잔교형 100m×80m, 사업비 660백만 원(연구비 100%), 기간 2005.11-2006.12
- 소파제 유어장(III) :	통영시, 바다목장 해역 내, 길이 420m 소파제 계획, 사업비 8,000백만 원(통영시 추진) 연명어촌계 어촌체험마을사업 추진예정
- 가두리 유어장(IV) :	사업비 500백 만 원 지원(국비 50%, 지자체 45%, 자담 5%)
시설 : 낚시터, 화장실, 낚시점 등 배후지 조성	

그러나 통영바다목장 수산자원관리수면이 한려해상국립공원 내에 위치하고 있어 자연공원법에 적용을 받고 있기 때문에 유어낚시터에 대한 시설물의 설치가 곤란한 상황이다.

한국해양연구원에서는 잔교형 낚시터의 조성을 추진 중에 있으며, 2005년 10월 13일에 자연공원법 제23조(행위허가) 제1항 규정에 의해 유어장 시설물 설치(공원 점용 면적 15,600m²)에 대해 국립공원 관리공단 측과 협의하였다. 그러나 유어낚시터 조성의 시설물 설치에 동 법 제18조 제2항의 용도지구의 허용 행위기준에 부적합함을 이유로 국립공원 관리공단에서는 거부되어 사업 차질이 예상된다.

즉, 유어장 지정은 수산업법 제55조와 '유어장의지정및관리에관한규칙'에 의거하여 유어장 설치가 가능하지만, 자연공원법에는 양식시설(부대시설 포함) 이외 유어장 설치의 행위기준에 대한 언급이 없으므로 사업이 불가능하다.

따라서 유어장 시설에 대해 해양수산부 차원에서 환경부와 일괄적인 협의를 통해 자연공원법 제18조 제2항 및 동법 시행규칙 제7조 규정의 개정을 추진한 것이 필요하다. 또한 장기적으로는 해상 유어장 설치가 가능하도록 수산관련법의 개정을 추진하고 '수산자원관리법(가칭)'을 제정함에 있어 바다목장사업과 관련된 연구 및 시설물 설치 등에 대한 포괄적인 내용을 규정함으로써 바다목장 해역에서도 유어장 사업 등이 가능하도록 방안을 강구해 나가야 한다.

(2) 홍보 및 교육프로그램 개발(바다목장 전시실)

홍보 및 교육프로그램은 일반 국민, 특히 청소년을 대상으로 바다목장을 홍보하고 수산자원의 중요성을 인식시키기 위한 것으로, 통영바다목장 해역에 있는 통영수산과학관과 바다목장 현장사무소를 이용하는 것을 골자로 한다.

통영수산과학관 내에 바다목장 전시실을 개설하여 통영바다목장 추진경과, 각종 시설물 및 연구결과물 전시, 목장 해역 내 실시간 모니터링 영상 등을 시설하여 이를 교육에 이용하는 것이다. 또한, 한국해양연구원의 현장사무소와 중간육성장을 견학코스로 개발하여 바다목장 사업을 교육적인 측면에서 활용하는 방법을 함께 고려해야 할 것이다.

또한, 통영 입구, 미륵도 통영대교 입구, 달아공원 등에 통영바다목장 고정 홍보물을 설치하여 홍보하는 것도 추진되어야 할 필요가 있다.

(3) 어촌관광의 활성화

통영바다목장에 조성된 자원 및 해역을 어업인의 어업의 소득원 개발에 활용하고 중앙정부 및 지자체의 어촌관광개발 계획과 연계함으로써 대국민 바다이용 수요에 대응하는 것은 앞으로 바다목장사업이 나아가야 할 방향의 하나이다.

통영지역의 경우, 우리나라 수산업의 중심지이면서 한려해상국립공원, 제승당 등 역사시설, 통영 국제음악축제 등의 중요한 유·무형 관광자원이 있음에도 불구하고 우리나라 관광의 중심에서 제외되어 온 것이 사실이다.

따라서 이러한 연계관광시설을 활용한 바다목장 관광 패키지투어, 어촌체험마을 조성, 어촌관광활성화사업 등 사업 아이템의 조화만으로도 기존의 관광객을 흡수할 수 있을 뿐 아니라 새로운 관광수요를 충분히 창출해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

이들 어촌관광의 아이템별 내용은 다음과 같으며 구체적인 사업방향 및 내용은 계속 검토해 구체화시켜 나갈 예정이다.

(가) 바다목장 관광 패키지투어

- ① 내용 : 2박 3일, 산양면 달아공원→수산과학관→바다목장 현장→굴 양식장→우렁쉥이 양식장 견학코스 개발 및 기존 관광지역과 연계

- ② 해양수산부와 양해각서를 체결한 여행사와 접촉하여 바다목장관광투어 타당성을 검토한다.

(나) 어촌체험마을 조성사업 추진

- ① 내용 : 2013년까지 해수부 사업으로 추진, 관광기초 기반시설, 개소 당 500백만원(국비 50%, 지자체 45%, 자담 5%)의 지원가능
- ② 현재 연명어촌계에서 계획 중, 그 외 2~3 어촌계별로 아이템 발굴 추진

(다) 어촌관광 활성화사업과 연계

- ① 내용 : 2004년 12월 학림지구어촌관광단지(Ⅲ모델) 선정, 6개년 동안 6,000백만원 지원, 2006년 기본설계 용역 추진
- ② 기본설계 용역 시 통영바다목장과 연계하여 어촌관광 및 체험프로그램(스킨스쿠버 체험장, Sea walking 등의 해양레저)의 아이템을 반영함으로써 중복투자 방지 및 효과적 어촌관광 목표 달성 제고한다.

제 5 절 수산물 유통체계 구축 및 브랜드화

통영바다목장의 어획물 부가가치 증진을 위한 판매관리 계획은 통영관내 횃집, 어업인, 대도시 활어소매점 등의 활어유통실태조사를 토대로 상품화계획을 추진 중이며, 직판장과 브랜드화를 통해 부가가치 증대를 도모하고 있다. 통영바다목장은 관리권 이양을 1년 앞둔 시점이므로 양륙항 지정과 직판장의 건립을 중심으로 유통체계 구축을 마무리할 단계에 들어와 있으며, 꾸준한 어업인들과의 협의를 통해 목표달성에 다가가고 있다.

1. 양륙항 지정

양륙항 지정은 바다목장산 어획물의 판로를 단일화하여 양식산 및 타 지역의 자연산과 차별화하고, 직판장을 설치하여 부가가치를 높이는 방안으로 제안되는 사업이다. 양륙항의 지정은 2003~2005년에 걸쳐 어업인들과 통영시 등 관계자들을 대상으로 수차례의 설명회 및 협의회를 개최하여 사업의 필요성을 설명하였고, 사업진행 방법에 대한 토의를 거쳤다.

입지의 선정은 연구진과 외부전문가들의 의견을 참고하여 어업인들이 자율관리어업위원회에서 결정토록 권고하였다. 이 과정에서 각 지역의 이해관계가 상충하는 부분이 있어 진통이 있었으며, 이로 인해 어업인들과 통영시에서 연구진이 결정해줄 것을 요청하기도 하였다. 그러나 최종적으로 바다목장의 관리를 담당할 주체이며, 그 수익의 수혜나 사업진행이 어업인들을 중심으로 이루어지므로 외부의 의견 보다는 어업인들이 자율적으로 결정할 것을 권고하였다.



그림 5-5-1. 삼덕항의 바다목장 수산물 직판장 후보지 현황.

양륙항의 후보지는 자율관리어업위원회에서 달아, 연명, 삼덕의 3개항을 추천하였고, 이것을 연구진에서 장단점 등을 검토하여 다시 협의에 들어갔다. 1차적으로 달아항이 1순위가 되었으나 투표에 참여한 어업인들이 많지 않아 재투표를 한 결과, 최종적으로 2005년 8월 9일에 삼덕항으로 입지를 결정하였다.

삼덕항은 국가어항으로 약 700평의 수산물판매가공시설 부지가 존재하고 있으며, 시내에서의 접근성이 뛰어나고(15분), 부대시설 확보가 용이하다는데 장점이 있다(그림 5-5-1). 그러나 동 어항은 삼덕어촌계에서 양식어류 직판장을 설립하여 운영하고 있어 다소의 사업 충돌이 일어날 수 있다. 또한, 자율관리어업위원회의 의결을 거치기는 하였으나 통영시와 지방해양수산청, 동 지역어촌계원 등의 동의가 남아 있어 완전히 결정된 상태라고 보기는 어렵다.

2. 바다목장 수산물 직판장의 설치

직판장 설치는 설립주체와 운영주체, 시설 운영방식에 따라 3가지 정도의 방법을 제시할 수 있는데, 표 5-5-1은 수산물 직판장 설치 대안을 설립, 운영주체, 시설, 운영형태, 입지, 장단점 별로 나누어 설명한 내용이다.

표 5-5-1. 수산물 직판장 설치대안

구분		1안	2안	3안
주체	설립	어업인	수협	어업인과 민자
	운영	영어조합법인	직영	영어조합법인
시설		직판장	직판장	직판장
운영		직거래, 협약점	직거래, 협약점	직거래, 협약점
입지		삼덕항	삼덕항	삼덕항
장점		상표권 활용 가능 사업다변화 가능(직판, 공급계약점, 택배 등)	안정적 거래, 수협 자본 활용, 거래기반 활용	민자로 어업인 부담 경감, 전문적 사업관리 가능, 상표권 활용 가능, 사업다변화 가능(직판, 공급계약점, 택배 등)
단점		어업인 투자의 어려움 사업 및 운영 능력 부족	차별화 어려움, 중도매인 능력에 사업 성패 좌우, 사업다각화 곤란	민자의 영리 추구로 갈등 야기 공익성 추구 곤란

본 연구진의 검토결과에 의하면 최적 대안으로 2안, 차선택으로 3안의 도입이 바람직하다고 판단된다. 1안의 경우는 어업인들이 자담 능력의 부재와 사업 운영 경험 부족으로 난

색을 표하여 추진이 곤란하고, 2안은 수협이 참여의사를 밝혀 구체적 추진을 협의 중에 있다. 그러나 수협의 경우 직판장이 아닌 위판장, 직거래가 아닌 경매를 원하고 있어 본래의 사업취지와는 다소 차이가 있다.

3안은 2안의 협의를 무산될 경우 대안으로서 채택이 가능하다. 이 안은 어업인의 운영 능력 미숙이나 투자자금 부족 문제를 사업능력이 있는 민자를 유치함으로써 해결할 수 있고, 바다목장산 수산물의 차별화와 브랜드화가 쉽게 이뤄질 수 있다는 장점이 있다. 또한, 향후 바다목장 관리재원 조달의 수단이 될 수 있다는 측면에서 유리하다.

표 5-5-2. 직판장의 시설 내역

구분	내역	비고
활어보관시설	- 출하조절을 위해 많이 어획되었을 때 필요 - 형태는 직판장에 수조 설치	1층
가공처리시설	- 가공품생산 뿐만이 아니라 수집된 활어나 선어를 분류, 포장, 혹은 상표부착 등의 처리 공간 필요	1층
판매장	- 활어 혹은 선어를 경매하거나 수의매매를 할 수 있는 공간	1층
사무실	- 직판장 운영사무실, 통영바다목장 자율관리어업위원회 사무실	2층
편의시설	- 주차장은 기존의 주차공간을 활용	
기타시설	- 횃집 등 시식이 가능한 공간 - 전시 및 회의실 공간 - 어업인 및 구매자들을 위한 간이 휴식 공간	2층

수산물 직판장의 시설로는 활어보관시설, 가공처리시설, 판매장, 사무실, 주차장 등의 편의시설, 시식코너, 전시 및 회의실 공간, 어업인 및 구매자들을 위한 간이 휴식공간 등의 기타시설이 필요할 것이다(표 5-5-2).

3. 바다목장 수산물 직판장의 운영(안)

바다목장 수산물 직판장의 운영은 통영수협 주도와 어업인과 민자 주도의 2가지 대안이 있을 수 있으며 그 세부적인 운영(안)은 표 5-5-3과 같다.

통영수협이 주도하는 경우, 어업인은 생산물을 수협에 판매하고 수협이 출자하여 판매 및 정산을 담당한다. 또한 수협이 독자적으로 브랜드 사업 등을 담당하게 된다.

민자가 참여하는 경우는 어업인은 현물 혹은 생산물로 지분을 획득하고, 민자는 영어 조합법인을 설립하여 직판장을 운영, 브랜드화를 담당하게 된다. 두 가지의 경우가 모두 수의거래 등 직거래를 기본으로 하며, 인터넷 판매나 협약점 사업 등을 추진하게 된다.

표 5-5-3. 직판장의 운영(안)

구분	통영수협 주도		어업인 + 민자 주도	
운영 주체	별도 사업부서 신설		영어조합법인	
형태	직판장		직판장	
역할	어업인	생산하여 수협에 판매	주주(현물 등)로 참여, 생산 전담	
	운영 주체	수협 책임 하에 판매 및 정산, 브랜드화 담당	전문경영인 책임 하에 판매 및 정산, 브랜드화 담당	
운영 방법	어업인	수협에 위탁 혹은 판매	민자가 운영하는 영어법인에 위탁	
	운영 주체	매수 혹은 위탁받아 판매	위탁받아 판매 후 정산	
	판매	수의 거래, 인터넷 판매 협약점 사업 등	수의거래, 인터넷 판매 협약점 사업 등	
장점	예산 추진이 쉬움 수협의 계통조직 활용 가능 전문인력 활용 가능		바다목장 자율관리 목적에 부합 타 수익사업(유어장 등) 겸영 가능 소비자에 좋은 이미지 바다목장 재투자 기반 조성	
단점	타 수익사업 등 겸영 어려움 직판사업 경험 미숙 바다목장에 집중 힘들		민자와 어업인 갈등 야기 민자의 지나친 영리추구 가능성	

4. 주요 사업

가. 브랜드 표시

직판장에서 출하되는 모든 어류에 대해 상표를 부착하여 브랜드화 하는 것은 상품을 차별화하고 장기적으로 통영바다목장산 수산물의 브랜드 가치를 증진시키는데 도움이 될 수 있는 사업이다. 이러한 작업은 현재 제주의 일부업체, 완도는 유통협약에 따른 넘치를 대상으로 실시되고 있다. 또한, 해양수산부 품질위생팀에서 수산물생산이력제의 도입을 추진하고 있어 향후 전자태그(RFID)를 이용한 방법도 도입이 가능할 것으로 판단된다.

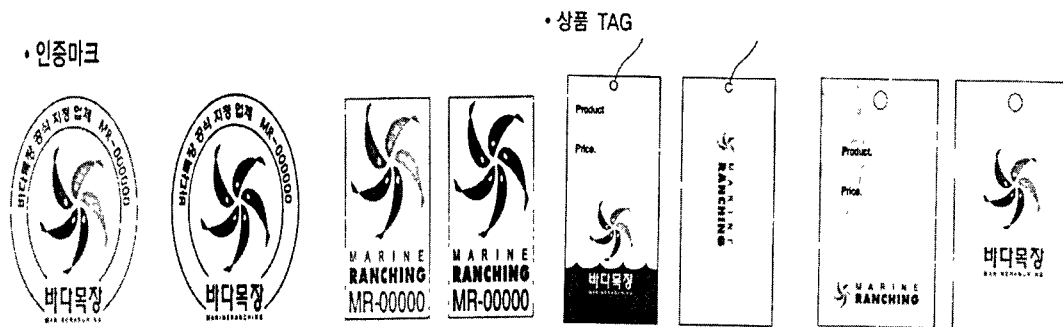


그림 5-5-2. 바다목장 인증마크 및 부착상표.

나. 물량 조절

공급물량의 안정화는 직판장 운영의 성패를 좌우하는 중요한 요소이다. 따라서 직판장에는 활어조를 설치하여 이를 활용한 수급 조절이 반드시 수반되어야 한다. 총어획량은 자원평가 결과를 바탕으로 제시되지만, 어획시기에 따라 물량의 집중 등 수급조절이 안되므로 사전에 계획된 출하물량을 초과하는 어획이 발생하였을 경우 이를 조절하는 기능을 갖추어야 한다. 또한, 활어조를 이용한 수급조절은 어업인들에 대한 어획조절 정보의 제공, 어획량 모니터링으로도 활용될 수 있다.

이는 물량 정도에 따른 가격변동을 줄이는 요인이 될 수 있으며, 협약점 또한 일정한 물량이 지속적으로 공급 가능해야만 운영이 가능하다는 점에서 매우 중요한 요소라 할 수 있을 것이다.

다. 협약점 사업

협약점 사업은 통영 관내 횃집 및 대도시 횃집 등에 공급 계약을 맺고 물량을 제공하는 것을 말한다. 사업방식은 프랜차이즈를 도입하는 방안도 있으나, 이 경우 업태가 제한되고 참여 업체를 대상으로 보증금의 납부, 시설관리, 상표관리 등 현실적으로 곤란한 부분이 많으므로, 공급에 관한 계약만을 맺는 것이 사업추진 상 유리하다.

이를 위해 협약점 간판을 제공하여 바다목장산 취급 횃집의 차별화를 강조하며, 브랜드화하는 작업이 필요하다. 현재 추진 중인 상표권 등록도 이 사업의 일환으로 보아야 할 것이다.



그림 5-5-3. 바다목장 협약점 부착 간판.

라. 활어 직판 사업

활어직판사업은 직매장에서 활어유통업자들을 대상으로 현장 판매하는 것을 말하는데,

이러한 거래는 수의거래로 현장에서 활어차, 활어유통업자 등에 판매하거나, 인천, 미사리 등 대도시 활어시장 등에 물량을 선주문 받아 현장 판매하는 방법, 활어시장의 도매업자와 공급계약을 체결하고 가격은 현장에서 결정하는 방법이 있다.

마. 인터넷, 전화주문 등 직거래 판매

일부 농수산물에서 도입된 동 사업은 현재 가장 일반화된 직거래 사업 중 하나라 볼 수 있는데 통영바다목장 수산물도 이러한 판매방식을 잘 도입해야 할 필요가 있다. 이는 소규모 소비이기는 하지만 사용자들이 품질에 대한 신뢰가 쌓이면 곧바로 구전을 통한 인지도 향상으로 이어질 수 있다는 측면에서 간과해서는 안 되는 사업이기도 하다.

5. 예산 추진(안)

영어조합법인으로서 지원받을 수 있는 관련사업은 수산물산지가공시설, 수산물 유통시설사업, 수산물가공업체 운영자금 지원, 수산물처리·저장시설, 수산물직거래시설 및 운영자금 지원 등이 있으며, 어업인과 민자 주도의 사업일 경우 직매장 사업(지원 400백만 원), 수협일 경우 활어위판장(지원 1,859천 원/평)으로 지원율은 통영수협 주도가 높다(표 5-5-4).

직판장 사업에는 보조 30%, 융자 30%, 자부담 40%로 약 37억 원이 소요될 것으로 보인다(표 5-5-5).

표 5-5-4. 소요 예산(안)

구 분		평당 단가(원)×평	금액(천 원)	비 고	
1안			400		
2안	공사비	1. 건축공사비	1,878,600×1,120	2,104,032	
		2. 전기공사비	384,000×1,120	430,080	
		3. 설비공사비	552,000×1,120	618,240	
		4. 토목공사비	159,000×1,120	178,080	
		5. 조경공사비	26,400×1,120	29,568	
	소계			3,360,000	평당공사비 ≒ 3,000,000
	· 추가 공사비 (E. S. C)			33,600	공사비의 1%
	· 보존등기비			106,176	공사비의 3.16%
	· 설계비			154,560	공사비의 4.6%
	· 감리비			33,600	공사비의 1%
· 소방감리비			10,080	공사비의 0.3%	
· 합 계			3,698,016		

사업의 추진은 초기에 소규모로 시작하여 확장하는 방법과 처음부터 규모를 크게하여 사업을 추진하는 방법이 있다. 수협이 주도할 때는 직판장 지원을 받은 후 다시 활어위판장 지원을 받기 힘들므로 처음부터 활어위판장으로 사업을 추진하는 것이 좋다. 그러나 어업인과 민자가 사업을 추진하는 경우에는 많은 투자가 상호 부담이 될 수 있고, 지나친 민자 투자도 바람직하지 않으므로 소규모인 직매장사업이 적당할 것으로 판단된다.

표 5-5-5. 투자 계획(안)

(단위 : 백만 원)

구 분		합계
1안		400
2안	계	3,698
	보 조	1,109.4
	용 자	1,109.4
	지방비	-
	자부담	1,479.2

사업의 추진은 2006년에 해양수산부 유통정책과에 사업신청을 하여 예산에 반영 후 2008년에 건립하는 것을 목표로 협의에 들어갈 필요가 있으며, 수협의 추진의사와 사업계획을 분명히 하여야 한다.

만일 수협의 참여가 불가능할 경우, 사업의 추진이 지연되면 관리권 이양과 직판장사업이 분리되어 버릴 수도 있으므로 빠른 시일 내에 민자 참여 등 다른 대안을 찾을 필요가 있다. 또한, 관리권 이양 이전에 사업을 추진하기 위해서 삼덕항에 이미 운영 중인 활어직판장의 일부를 임대하여 소규모로 사업을 개시하고, 전용 직판장이 만들어지면 이전하여 사업을 본격화하는 방안도 고려되어야 할 것이다.

6. 바다목장 상표등록 추진 경과

바다목장 상표등록 추진은 다음과 같이 진행되고 있으며, 2006년 하반기에 등록이 완료될 것으로 보인다.

2003년 통영바다목장 상품화계획에서 상표출원 제안

2004년 상품화 추진을 위한 로고 및 포스터 등 공모전 실시

2005년 10월 상표출원

2005년 11월 4일 특허청에 출원 완료, 출원공고 결정 약 10~12개월 소요

출원번호	45-2005-0004277	출원번호	45-2005-0004278	출원번호	45-2005-0004279
출원일	2005. 10. 31	출원일	2005. 10. 31	출원일	2005. 10. 31
당소장조 인호	T05-373	당소장조 번호	T05-374	당소장조번 호	T05-375
상품구분	제29, 31, 35, 43, 44류	상품구분	제29, 31, 35, 43, 44류	상품구분	제29, 31, 35, 43, 44류
표 장	바다목장	표 장	바다목장 시범사업	표 장	국가시범 바다목장사업

1. 상기건에 대하여 출원을 완료하여 이에 대한 출원번호통지서가 접수되었기에 이를 송부 하오니, 업무에 참고하시기 바랍니다. 출원번호통지서란, 특허청에서 특허출원 사실을 증명하기 위하여 발행하는 문서로서, 출원번호통지서에 기재된 출원번호에 의해 제3자에게 본 건의 출원사실을 알릴 수 있습니다.

제 6 절 바다목장 직·간접효과 분석

1. 직접효과 분석 -외출낚시어업의 경영수지-

가. 어획량과 어획금액

수산자원관리수면 내에 조업하고 있는 외출낚시의 1척당 어종별 어획량과 어획금액을 정리한 것이 표 5-6-1이다.

표 5-6-1. 외출낚시의 어종별 평균 어획량 및 어획금액

(단위 : kg, 천 원, %)

구 분			합 계	불 락	참 돔	농 어	조피불락	기 타	
어 획 량	2004	소 계	2,230	903	373	431	195	328	
		관리수 면	내측	999	523	151	206	86	33
			외측	44.8	57.9	40.5	47.8	44.1	10.1
		2005	소 계	1,232	380	221	225	109	297
	외측		55.2	42.1	59.2	52.2	55.9	90.5	
	금 액	2004	소 계	2,739	1,717	683	83	250	6
관리수 면			내측	1,571	973	440	20	135	3
			외측	57.4	56.7	64.4	24.1	54.0	50.0
2005			소 계	1,167	744	243	63	115	3
		외측	42.6	43.3	35.6	75.9	46.0	50.0	
어 획 금 액		2004	소 계	31,659	15,631	6,844	4,365	1,445	3,374
	관리수 면		내측	14,716	9052	2,780	2,088	638	158
			외측	44.8	57.9	40.6	47.8	44.2	4.7
	2005		소 계	17,483	6,579	4,064	2,277	807	3,216
		외측	55.2	42.1	59.4	52.2	55.8	95.3	
	2005	소 계	36,662	28,700	6,150	917	825	70	
관리수 면		내측	20,757	16,090	3,960	229	443	35	
		외측	56.6	56.1	64.4	25.0	53.7	50.0	
외측		15,905	12,610	2,190	688	382	35		
		43.4	43.9	35.6	75.0	46.4	50.0		

자료 : 어업인 설문조사 결과

2005년의 평균 어획량은 2,739kg으로 2004년의 2,230kg보다 18.1% 상승한 것으로 나타났다. 바다목장 해역에 대한 어획의존도 역시 2005년에 57.4%, 1,571kg으로 2004년의 44.8%, 999kg보다 무려 12.6%가 상승하였다. 이처럼 바다목장이 조성되면서 어획량이 계속적으로 상승추세를 보이고 있다.

2005년의 어종별 어획의존도를 살펴보면, 수산자원관리수면에서 목장 대상어종인 볼락이 56.7%, 조피볼락이 54.0% 어획된 것으로 나타났고, 집중 조성 대상종은 아니지만 참돔이 64.4%로 바다목장이 상당한 어장조성 효과를 보이고 있는 것으로 나타났다.

한편, 2005년의 어획금액은 36,662천 원으로 2004년의 31,659천 원보다 15.8% 상승한 것으로 나타났다. 이 중 바다목장 해역 내의 어획 수입이 56.6%를 차지하여 2004년 이전의 50.0% 이하와 비교하여 상승 추세이다. 이것은 바다목장 내 이용률이 높은 어종이면서 어가가 낮은 조피볼락의 어획비율이 상대적으로 하락한 반면, 비교적 높은 가격인 볼락과 참돔 등의 어획량은 늘어났기 때문으로 추측된다.

나. 수입과 지출

표 5-6-2는 1998년부터 2005년까지 바다목장 수산자원관리수면에서 조업하는 외줄낙시 어업의 경영수지 추이를 정리한 것이다. 2005년의 평균 어업수입은 36,662천 원으로 2004년보다 15.8% 증가한 것으로 나타났으며, 어업지출 역시 2004년의 9,158천 원에서 12,525천 원으로 36.8% 증가하였다. 그러나 어업이익은 24,137천 원으로 7.3%의 증가에 그쳤다. 이를 어업수익률로 보면, 2005년은 66.0%로서 어획금액과 어업이익이 상승하였음에도 불구하고 전년에 비해 5.4%가 하락하였는데, 이는 유류비 상승으로 인해 어업금액보다 어업비용의 상승폭이 더 높았기 때문이다.

외줄낙시의 경우, 어선수리비, 낙시미끼 등의 어업비용을 제외하고는 유류대가 어업비용의 대부분을 차지하고 있기 때문에, 이러한 유가 급등에 따른 유류대의 상승이 어업이익률의 상대적 감소를 초래하고 있는 것으로 나타났다.

표 5-6-2. 외줄낙시의 수입과 지출

(단위 : 천 원, %)

구 분	평균	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
수 입	17,573	21,600	16,981	17,430	16,788	15,065	38,127	31,659	36,662
비 용	8,274	12,528	8,505	7,361	6,179	6,797	11,050	9,158	12,525
이 익	9,299	9,072	8,476	10,069	10,609	8,268	27,077	22,501	24,137
이익률	52.9	42.0	49.9	57.8	63.2	54.9	71.0	71.1	66.0

다. 자산 및 부채

표 5-6-3은 수산자원관리수면에서 조업하는 외줄낙시의 자산 및 부채 현황을 정리한 것이다. 자산은 2001년 이후 단계적 감소추세를 보이고 있으며, 부채는 대폭 감소한 것으로 나타났다.

자산의 경우, 2001년에 53,500천 원이었던 것이 2004년 42,444천 원으로 20.7% 감소하

였다가, 2005년 44,917천 원으로 5.8% 상승하였다. 이는 고정자산의 감가상각에 의해 고정자산이 감소하였지만, 어획금액이 늘어나면서 유동자산인 현금 및 예금이 증가하여 이를 상쇄하였기 때문으로 판단된다.

표 5-6-3. 외줄낙시의 자산 및 부채 현황

(단위 : 천원)

구 분	자 산			부 채		
	합 계	고정자산	유동자산	합 계	고정부채	유동부채
1998	44,333	41,000	3,333	65,000	65,000	-
1999	49,198	45,263	3,935	25,444	25,444	-
2000	52,198	45,263	6,935	27,444	27,444	-
2001	53,500	46,500	7,000	37,500	27,500	1,000
2002	49,807	44,507	5,300	38,847	36,347	2,500
2003	47,668	40,625	7,043	26,772	26,772	-
2004	42,444	38,000	4,444	6,889	1,111	5,778
2005	44,917	34,167	10,750	12,867	7,033	5,833

이를 어업경영의 측면에서 보면, 유류비 상승 등 경영비 압박이 상당함에도 불구하고, 바다목장 해역 내 어업인들의 어획량이 증가하면서 경영구조 개선의 효과가 나타났음을 간접적으로 보여주는 좋은 사례라 할 수 있다.

부채는 2002년에 38,847천 원이었던 것이 2005년에 12,867천 원으로 66.9% 줄어들었으며, 절대 금액에 있어서 경영 압박요인으로 작용할 만한 수준은 아닌 것으로 판단된다.

라. 재무지표 분석

표 5-6-4는 수산자원관리수면 내의 외줄낙시 경영의 재무 건전성을 파악하기 위해 재무지표로 분석한 것을 정리한 것이다.

이러한 재무지표를 분석하는 이유는 바다목장 조성과정에서의 어획량 증대가 어가소득 증감에 어느 정도의 영향을 미치고 있는지를 파악하기 위한 것이다. 분석 재무지표는 유동성비율과 안정성비율, 손익관계 비율, 활동성관계비율의 4가지를 이용하였다.

유동성 비율은 단기 채무에 대한 지급능력을 나타내는 것으로서 자기자본비율은 2005년 71.4%로 1999년 이후 비교적 안정적인 상태를 유지하고 있는 것을 알 수 있다.

안정성 비율은 장기적인 경기변동이나 시장여건 변화 등에 대응할 수 있는 능력을 의미한 것으로서 2005년의 고정비율은 106.6%, 부채비율은 40.2%로 비교적 안정적인 상태에서 운영되고 있다. 그러나 운영자금인 영어자금을 수협에서 조달하고 있으므로 고정비율은 아직도 100%를 웃돌고 있는 것으로 나타났다.

표 5-6-4. 주요 재무지표

구 분		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
유동성	자기자본비율		65.51	66.71	49.74	40.63	100.68	83.77	71.35
안정성	고정비율		140.44	129.98	174.75	212.67	84.65	106.88	106.60
	부채비율		78.95	78.81	140.93	185.62	55.78	19.38	40.15
손익관계	총자본어업이익률	146.62	51.72	52.58	70.09	75.42	56.16	16.23	28.65
	총자본순이익률	20.46	17.23	19.29	19.83	16.05	56.80	53.01	53.74
	매출액어업이익률	42.00	49.91	57.77	63.19	54.88	71.02	71.07	65.84
활동성	총자본회전율	0.49	0.35	0.33	0.31	0.29	0.80	0.75	0.82
	고정자산회전율	0.53	0.38	0.39	0.36	0.34	0.94	0.83	1.07

다음으로 손익관계를 살펴보면, 먼저 총자본어업이익률은 28.7%로 근해어업 평균인 22.2%보다 높게 나타났다. 총자본 회전율은 0.82회로 1보다 낮아 판매마진은 어느 정도 수준을 유지하고 있지만, 판매활동에서 적극성이 떨어지고 있다는 것을 알 수 있어 바다 목장산 어획물에 대한 브랜드화 및 유통체제 구축이 필요함을 알 수 있다.

총자본순이익률은 소득을 얻기 위해 당해 경영체에 투하된 총자본과 경영활동의 최종 성과인 순이익과의 관계비율로서 2005년 53.7%로서 비교적 높은 수준을 지속적으로 유지하고 있다. 매출액어업이익률은 경영활동의 성과를 파악하기 위해 어업이익과 매출액과의 관계를 측정하는 비율로 이 비율이 높을수록 경영활동이 합리적으로 운영되고 있다는 것을 나타낸다. 2005년 조사에서는 65.8%로 높은 수준을 유지하고 있기는 하지만, 유통비 상승의 영향이 이 지수를 떨어뜨리고 있다.

활동성을 나타내는 총자본회전율은 2005년 0.82회, 고정자산회전율은 1.07회로 분석되었는데, 이는 2002년 이전에 비해 바다목장 사업이 본격적으로 추진되는 과정에서 어업경영에 상당한 도움이 되고 있음을 나타내는 것이다.

재무비율 분석 결과를 정리하면, 2002년 이후 지속적으로 어업경영이 상향 안정화 추세에 접어들었음을 알 수 있다. 그러나 자본회전율 등의 판매활동과 직간접적으로 연계된 지표들의 수준이 아직은 약간 미흡하다. 따라서 2006년 이후 브랜드화 및 유통망 구축 등을 통한 생산물 부가가치 창출이 성공적으로 도입될 수 있다면, 현 수준보다 높은 수준의 경영성과를 달성할 수 있을 것으로 보여 진다.

2. 간접효과 분석 -유어낚시 및 관광-

가. 유어낚시

통영지역의 유어낚시 실태분석은 바다목장 조성에 따른 자원증가가 동 지역의 소득증대에 얼마나 기여하는지 측정하기 위한 것으로, 사전에 교육된 조사원을 통해 설문지를 활용한 1대 1 면담으로 실시되었다. 설문조사에 응한 유어낚시객에게는 소정의 답례품을 제공하여 설문조사 참여율을 높였다. 설문조사는 봄, 여름, 가을의 3계절 조사와 함께 연휴와 휴일 그리고 평일에 각각 실시하였으며, 회수된 유효표본 설문지는 461부로 설문응답이 불성실하거나 미기입된 문항이 있는 경우는 표본에서 제외하였다. 자료분석은 통계 패키지인 SPSS 12.0을 이용하였으며, 응답빈도와 점유율을 중심으로 분석하였다.

표 5-6-5. 통영지역 설문대상자의 인구통계학적 특징

구분		빈도(명)	비율(%)	구분		빈도(명)	비율(%)
성별	남	445	96.5	거주지	서울	27	5.9
	여	16	3.5		부산	89	19.3
	계	461	100		대구	48	10.4
연령	20대	48	10.4		인천	0	0.0
	30대	143	31.0		광주	0	0.0
	40대	189	41.0		대전	15	3.3
	50대	76	16.5		울산	12	2.6
	60대 이상	5	1.1		경기	9	2.0
	계	461	100		강원	0	0.0
직업	농림축산업	27	5.9		충북	0	0.0
	자영업	181	39.3		충남	1	0.2
	사무행정직	99	21.5		전북	1	0.2
	생산기술직	74	16.1		전남	4	0.9
	판매서비스직	18	3.9		경북	43	9.3
	전문직	21	4.6		경남	212	46.0
	주부	6	1.3	제주	0	0	
	학생	16	3.5	계	461	100.1	
	기타	19	4.1				
	계	461	100.2				

본 조사는 앞으로 계속해서 진행될 바다목장사업의 간접적인 효과를 계량적인 방법에 의해 측정하기 위한 것으로 간접효과에 대한 결과는 분석부분에서 다시 언급하였다.

유어낚시에 관한 설문조사 항목은 성별, 연령, 현거주지, 월평균소득, 학력, 낚시 장소, 낚시여행 결정요소, 1년 여가생활에서 낚시 투자비용, 출조형태, 실제 낚시 시간, 낚시 여행비용, 낚시소요시간, 어획 어종, 1회 출조시의 평균어획량 등 총 21개의 항목으로 구성되어 있다. 출조형태와 낚시 지출비용의 항목은 각각 8개와 7개의 세부항목을 추가하였다.

먼저 설문대상의 인구통계학적인 특성을 살펴보면, 성별의 경우 남성이 96.5%, 여성이 3.5%의 비율을 보이고 있었다. 연령은 40대가 가장 높은 비율인 41.0%로 나타났고, 다음으로 30대(31.0%), 50대(16.5%), 20대(10.4%)의 순으로 조사되었다. 직업 분포는 자영업이 39.3%로 가장 많았으며, 다음으로 사무행정직(21.5%), 생산기술직(16.1%)의 순을 보이고 있었다. 유어낚시객의 거주지 지역분포는 경남(46.0%), 부산(19.3%) 순으로 부산권 및 경남 지역의 유어낚시객이 방문을 많이 하고 있는 것으로 조사되었다(표 5-6-5).

표 5-6-6. 출조지역

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
통영지역	388	84.2
기타지역	73	15.8
계	461	100

표 5-6-7. 출조장소

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
갯바위	371	80.5
선상낚시	32	6.9
기타	58	12.6
계	461	100

통영지역을 찾는 낚시객의 출조지역에 대한 질문 결과, 통영지역이 84.2%로 대부분을 차지했으며, 기타지역이 15.8%로 조사되었다(표 5-6-6). 주로 낚시하는 장소에 대한 질문에는 80.5%가 갯바위 낚시, 6.9%가 선상낚시를 하는 것으로 나타났으며, 기타의견도 12.6%로 조사되었다(표 5-6-7).

주로 낚시하는 지역의 선호 이유에 대한 질문에는 '어획량이 많아서' 선호한다가 37.2%로 가장 높게 나왔으며, 이어 '접근성이 좋음'(25.3%), '청정해역'(13.8%), '경관'(10.7%)의 순으로 조사되었다(표 5-6-8).

출조횟수는 연간 평균 20.7회로 조사되었으며, 응답자 중 120명(26.0%)이 연간 10~15회 미만 낚시를 간다고 응답하였으며, 30회 이상도 23.9%로 조사되었다(표 5-6-9).

통영지역으로의 출조 횟수에 대해 물어본 결과, 평균 횟수 14.7회이며, 총응답자의 약 39%는 1년 동안의 출조 횟수가 5회 미만인 것으로 나타났다. 연간 30회 이상 통영지역으로 출조하는 응답자는 17.6%를 차지하는 것으로 조사되었다(표 5-6-10).

표 5-6-8. 출조지역 선호 이유

응답내용	빈도(응답수) (n=384)	비율(%)
어획량	143	37.2
접근성	97	25.3
추천및 권유	10	2.6
비용절감	3	0.8
경관	41	10.7
청정해역	53	13.8
기타	37	9.6
계	384	100.0

표 5-6-9. 연간 출조 횟수

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율 (%)
5회 미만	69	15.0
5~10회 미만	71	15.4
10~15회 미만	120	26.0
15~20회 미만	31	6.7
20~25회 미만	56	12.1
25~30회 미만	4	0.9
30회 이상	110	23.9
계	461	100
평균 횟수	20.7회	

표 5-6-10. 통영 출조 횟수

응답내용	빈도(명) (n=454)	비율 (%)
5회 미만	177	39.0
5~10회 미만	72	15.9
10~15회 미만	70	15.4
15~20회 미만	27	5.9
20~25회 미만	22	4.8
25~30회 미만	6	1.3
30회 이상	80	17.6
계	454	99.9
평균 횟수	14.7회	

표 5-6-11. 낚시 여행지 결정 요소(다중응답)

응답내용	빈도(응답수) (n=1,383)	비율 (%)
조과에 대한 기대	391	28.3
비용	259	18.7
접근성	254	18.4
친목	145	10.5
휴식	229	16.6
편의시설	82	5.9
기타	23	1.7
계	1,383	100.1

표 5-6-12. 낚시에 투자하는 시간과 금액

구분	시간 (명) (n=431)	비율 (%)	금액 (명) (n=431)	비율 (%)
	10%미만	25	5.4	26
10~20%미만	77	16.7	83	18.0
20~30%미만	73	15.8	61	13.2
30~40%미만	62	13.4	62	13.4
40~50%미만	34	7.4	37	8.0
50%이상	190	41.2	192	41.6
계	461	99.9	461	99.8
평균	41.1%		40.6%	

표 5-6-13. 낚시 여행타입

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
개인	203	44.0
단체	258	56.0
계	461	100

통영을 찾는 유어낚시객이 낚시 여행지를 결정할 때 중요시 여기는 것에 대해 조사한 결과, 응답자의 28.3%가 조과(釣果)를 가장 중요시 여기는 것으로 나타났으며, 이어서 비

용(18.7%), 접근성(18.4%)의 순으로 조사되었다(표 5-6-11).

1년의 여가생활시간과 여가생활비용을 100으로 보았을 때 유어뉴시에 각각 얼마나 투자하고 있는지에 대한 질문에 여가시간의 절반 이상을 투자하는 사람이 41.2%, 여가생활비용의 절반 이상을 투자하는 사람이 41.6%로 나타났다. 평균적으로 통영지역 출조객들은 여가시간과 비용 중에서 각각 41.1%, 40.6%를 유어뉴시에 투자한다고 응답하였다(표 5-6-12). 응답자 중 44%는 개인 여행으로 통영에 방문했으며, 나머지 56%가 단체 여행으로 방문한 것으로 조사되었다(표 5-6-13).

동반 여행객 수에 대한 질문에 평균 4.1명이 동반하며, 2명이 동반한 경우가 24.9%로 가장 많고, 10명 이상의 동반객과 함께 온 응답자도 6.7%를 차지하고 있다(표 5-6-14).

동반객의 유형을 보면, 272명(59%)의 응답자가 '친구, 연인, 선후배와 같이' 왔으며, '가족, 친지와 같이'가 19.1%, '동호인과 같이' 온 사람이 11.5%를 차지하였다(표 5-6-15).

표 5-6-14. 동반 여행객 수

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
혼자	12	2.6
1명	29	6.3
2명	115	24.9
3명	92	20.0
4명	61	13.2
5명	49	10.6
6명	20	4.3
7명	16	3.5
8명	14	3.0
9명	1	0.2
10명 이상	32	6.7
무응답	20	4.3
계	461	99.6
평균 동반객수	4.1명	

표 5-6-15. 동반객 유형

응답내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
가족, 친지	88	19.1
친구, 연인, 선후배	272	59.0
동호인	53	11.5
단체(여행사)	7	1.5
혼자	35	7.6
기타	6	1.3
계	461	100

뉴시하기 위해서 걸린 총 기간을 묻는 질문에 51.1%의 사람들이 2일 정도 소요되었다고 응답하였으며, 실제 뉴시하는 시간은 25%의 사람들이 5~6시간 정도라고 응답하였다(표 5-6-16). 숙박시설을 이용한 사람 중 73.9%의 사람이 민박, 펜션을 이용하였고, 기타 숙박시설 14.6%, 여관 및 콘도 이용객이 5.2%로 나타난 것으로 조사되었다(표 5-6-17).

표 5-6-16. 출조 기간 및 실제 낚시 시간

질문 내용	응답 내용	빈도(명) (n=460)	비율(%)
출조 기간	1일	151	32.8
	2일	235	51.1
	3일	60	13.0
	4일	8	1.7
	6일	3	0.7
	6일이상	3	0.7
	계	460	100
	평균	1.9일	
낚시 시간	1~2시간	8	1.7
	3~4시간	33	7.2
	5~6시간	115	25.0
	7~8시간	83	18.0
	9~10시간	105	22.8
	11~12시간	56	12.2
	13시간 이상	60	13.0
	계	460	99.9
	평균	9.3시간	

표 5-6-17. 이용한 숙박시설

응답내용	빈도(응답수) (n=268)	비율(%)
민박, 펜션	198	73.9
여관	14	5.2
기타	39	14.6
콘도	14	5.2
호텔	3	1.1
계	268	100

표 5-6-18. 총 여행시간 및 이용 교통수단

질문 내용	응답 내용	빈도(명) (n=461)	비율(%)
여행 시간	2시간 미만	84	18.2
	2~3시간 미만	115	24.9
	3~4시간 미만	115	24.9
	4~5시간 미만	68	14.8
	5~6시간 미만	32	6.9
	6시간 이상	47	10.2
	계	461	99.9
	평균	3.3시간	
교통 수단	자가용	448	97.4
	전세/관광버스	3	0.7
	고속/시내버스	6	1.3
	기타	3	0.6
	계	460	100

표 5-6-19. 1인당 출조경비

응답내용	빈도(명) (n=429)	비율(%)
5만 원미만	78	17.0
5~10만 원 미만	203	44.2
10~15만 원 미만	99	21.6
15~20만 원 미만	39	8.5
20~25만 원 미만	21	4.6
25~30만 원 미만	6	1.3
30만 원 이상	13	2.8
계	459	100
1인당 평균 출조비용	99,322.7원	

출발지에서 목적지까지 걸린 시간을 조사한 결과, 2시간 이상 ~ 4시간 미만이 49.8%를 차지했으며, 4시간 이상 걸린 사람이 31.9%로 나타났고, 평균 소요시간은 3.3시간이 걸린 것으로 조사되었다. 목적지까지의 교통수단을 조사한 결과 97.4%의 사람들이 자가용을 이용한 것으로 나타났다(표 5-6-18).

1인당 소요된 출조경비를 조사한 결과, 평균 99,332.7원으로 나타났으며, 분포별로는 5만 원~10만 원 미만이 가장 많은 44.2%, 10만 원 이상~15만 원 미만이 21.6%, 20만 원 이상을 쓴 사람은 8.7%로 조사되었다(표 5-6-19).

총 비용 중 숙박비가 차지하는 비율은 20.5%로 가장 높았으며, 유흥비가 18.3%, 교통비는 18.1%로 각각 조사되었다(표 5-6-20). 통영 지역에서 주로 잡히는 어종에 대해 물어본 결과 돔이 39.8%로 가장 많았으며, 이어 잡어 28%, 볼락 15.1%의 순으로 나타났다(표 5-6-21).

표 5-6-20. 항목별 금액 평균 및 비율

응답내용	평균(원)	비율(%)
임대비	28,027	17.4
숙박비	33,100	20.5
교통비	29,058	18.1
음식음료비	21,261	13.2
유흥비	29,348	18.3
잡비	19,960	12.4
계		99.9

표 5-6-21. 항목별 금액 평균 및 비율

응답내용	빈도(명) (n=457)	비율(%)
볼락	69	15.1
돔	182	39.8
잡어	128	28.0
놀래미	24	5.3
도다리	22	4.8
우럭	13	2.8
고등어	4	0.9
숭어	4	0.9
학꽂치	2	0.4
전어	2	0.4
기타	7	1.5
계	457	99.9

1회 출조 시 어획량(마리수)에 대한 질문에 5~10마리 미만이 잡힌다고 응답한 사람이 32.2%로 가장 많았으며, 이어 10~20마리 미만이 잡힌다고 응답한 사람이 29.7%로 조사되었다. 어획량(무게)에 대한 질문에 2~4kg 미만이 잡힌다고 응답한 사람이 42.8%를 차지했으며, 2kg 미만이 40.1%로 조사되었다(표 5-6-22).

통영지역 출조 시 가장 필요한 편의시설로는 40%의 응답자가 화장실이 필요하다고 답했으며, 숙박시설 22%, 주차장 8.6%, 휴게소 6.6% 등으로 조사되었다(표 5-6-23).

바다목장 해역에 바다목장을 만든 이후의 혜택에 대한 의견조사를 한 결과, 20.2%의 사람들이 혜택이 증가할 것이라고 응답하였으며, 21.5%의 응답자는 조성 혜택이 증가하지 않을 것이라고 조사되었다(표 5-6-24).

표 5-6-22. 1회 출조 시 어획하는 어획량

질문 내용	응답 내용	빈도(명) (n=451)	비율(%)
마리 수	1마리	7	1.6
	2마리	29	6.4
	3마리	49	10.9
	4마리	25	5.5
	5~10마리미만	145	32.2
	10~20마리미만	134	29.7
	20~30마리미만	32	7.1
	30마리이상	30	6.7
	계	451	100.1
평균	9.9마리		
질문 내용	응답 내용	빈도(명) (n=297)	비율(%)
무게	2kg 미만	119	40.1
	2~4kg 미만	127	42.8
	4~6kg미만	32	10.8
	6~8kg 미만	5	1.7
	8~10kg미만	1	0.3
	10kg이상	13	4.4
	계	297	100.1
	평균	2.6kg	

표 5-6-23. 필요한 편의시설(다중응답)

응답내용	빈도(응답수) (n=545)	비율(%)
주차장	47	8.6
휴게소	36	6.6
편의점	25	4.6
숙박시설	120	22.0
화장실	218	40.0
쓰레기장	7	1.3
안내소	8	1.5
식당	8	1.5
기타	76	13.9
계	545	100

표 5-6-24. 목장 조성 혜택에 대한 의견

응답내용	빈도(명) (n=163)	비율(%)
매우 증가할 것이다	1	0.6
증가할 것이다	32	19.6
보통	95	58.3
증가하지 않을 것이다	28	17.2
전혀 증가하지 않을 것이다	7	4.3
계	163	100

표 5-6-25. 바다목장에 대한 방문 의향

응답내용	빈도(명) (n=380)	비율(%)
매우 없음	8	2.1
없음	19	5.0
보통	112	29.5
많음	205	53.9
매우 많음	36	9.5
계	380	100

바다목장에 대한 방문 의향에 대한 결과로는 241명(63.4%)이 방문할 의향이 있다고 응답하였으며, 반면에 27명(7.1%)은 방문할 의향이 없는 것으로 조사되었다(표 5-6-25).

바다목장에 방문할 의향이 있는 관광객에게 방문 횟수를 조사한 결과, 1년에 10회 이상 방문하겠다고 응답한 사람이 가장 많은 25.5%로 나타났으며, 2회 방문의향을 가진 사람도 19.8%로 나타났다(표 5-6-26).

표 5-6-26. 희망 방문 횟수

응답내용	빈도(응답수) (n=283)	비율(%)
1회미만	8	2.9
1회	34	12.0
2회	56	19.8
3회	47	16.6
4회	8	2.8
5회	27	9.5
6회	13	4.6
7회	11	3.9
8회	7	2.5
10회이상	72	25.5
계	283	100.1
평균	9.5회	

나. 관광객

통영 지역의 관광객 실태분석은 바다목장 조성에 따른 자원증가가 동 지역에 있어서 지역 소득에 얼마나 기여하는지 측정하기 위한 것으로, 사전에 교육된 조사원이 설문지를 활용한 1대1 면담으로 실시하였다. 설문조사에 응한 관광객에게는 소정의 답례품을 제공하여 설문조사 참여율을 높였다. 설문조사는 봄, 여름, 가을의 3계절 조사와 함께 연휴와 휴일 그리고 평일에 각각 실시하였으며, 회수된 유효표본 설문지는 452부로 설문응답이 불성실하거나 일부 항목이 미기입된 경우는 표본에서 제외하였다. 자료분석은 통계 패키지 프로그램 인 SPSS 12.0을 이용하였으며, 응답빈도와 점유율을 중심으로 분석하였다.

본 조사는 앞으로 계속해서 진행될 바다목장사업의 간접적인 효과를 계량적인 방법에 의해 측정하기 위한 것으로 간접효과에 대한 결과는 분석부분에서 언급한다. 관광에 관한 설문조사 항목은 성별, 연령, 현거주지, 월평균소득, 학력, 방문 횟수, 방문 동반자 유형 및 동반 인원, 교통수단, 소요시간, 방문 유형, 숙박시설, 방문 목적, 목적지 선택의 중요도, 여행경비, 재방문 의사, 바다목장에 대한 의견 등 총 19개로 구성되어 있다.

먼저 설문대상의 인구통계학적인 특성을 살펴보면, 성별의 경우 남성이 58.8%, 여성이 41.2%의 비율을 보이고 있었다. 연령은 30대가 가장 높은 비율인 31.4%로 나타났고, 다음으로 20대(31.2%)와 40대(25%), 50대(10%)의 순으로 조사되었다. 직업 분포는 사무행정직이 22.3%로 가장 많았으며, 다음으로 자영업(20.6%), 주부(14.4%), 학생(13.7%)의 순을 보이고 있었다. 관광객의 거주지 지역분포는 경남(31.2%), 부산(15.9%) 순으로 부산 경남권 관광객이 방문을 많이 하고 있는 것으로 조사되었다(표 5-6-27).

표 5-6-27. 통영지역 설문대상자의 인구통계학적 특징

구분		빈도(명)	비율(%)	구분		빈도(명)	비율(%)
성별	남	266	58.8	거주지	서울	39	8.6
	여	186	41.2		부산	72	15.9
	계	452	100		대구	48	10.6
연령	10대	2	0.4		인천	9	2.0
	20대	141	31.2		광주	2	0.4
	30대	142	31.4		대전	34	7.5
	40대	113	25.0		울산	13	2.9
	50대	45	10.0		경기	41	9.1
	60대 이상	9	2.0		강원	1	0.2
	계	452	100		충북	9	2.0
직업	농림축산업	10	2.2		충남	8	1.8
	자영업	93	20.6		전북	4	0.9
	사무행정직	101	22.3		전남	12	2.7
	생산기술직	42	9.3		경북	19	4.2
	판매서비스직	19	4.2		경남	141	31.2
	전문직	36	8.0		제주	0	0.0
	주부	65	14.4		계	452	100
	학생	62	13.7				
	기타	24	5.3				
	계	452	100				

표 5-6-28. 방문 횟수표

응답내용	빈도(명) (n=338)	비율(%)
1회(처음 방문)	106	31.4
2회	71	21.0
3회	59	17.5
4회	19	5.6
5회	28	8.3
6회 이상	55	16.3
계	338	100.1
평균	3.6회	

표 5-6-29. 동반자 유형

응답내용	빈도(명) (n=452)	비율(%)
친구, 연인, 선후배	199	44.0
가족, 친지	198	43.8
단체(여행사)	9	2.0
동호인	25	5.5
혼자	15	3.3
기타	6	1.3
계	452	99.9

통영을 관광목적지로 방문한 횟수에 대한 질문에 대한 결과는 재방문의 비율이 68.6%, 처음 방문하였다는 의견이 31.4%로 나타났다(표 5-6-28). 방문 동반자 유형 및 동반자 수에 대한 질문에 관광객 유형은 주로 친구·연인·선후배(44%)이거나, 가족·친지(43.8%)가 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다(표 5-6-29).

동반자 수의 평균인원은 5.9명이며, 3~4명이 34.5%로 가장 높았으며, 1~2명 19.5%, 11명 이상의 단체 관광객이 12.4%를 차지하는 것으로 조사되었다(표 5-6-30).

주로 이용하는 교통수단에 대해 설문한 결과, 자가용을 이용한 경우가 86.1%이며, 다

음으로 고속/시외/시내 버스(8.2%)와 전세/관광버스(4.6%)를 이용하는 것으로 조사되었다(표 5-6-31).

표 5-6-30. 동반자 수

응답내용	빈도(명) (n=452)	비율(%)
1~2명	88	19.5
3~4명	156	34.5
5~6명	87	19.2
7~8명	27	6.0
9~10명	31	6.9
11명 이상	56	12.4
무응답	7	1.5
계	452	100
평균 동반인원	5.9명	

표 5-6-31. 교통수단

응답내용	빈도(응답수) (n=461)	비율(%)
비행기	6	0.7
자가용	397	86.1
전세/관광버스	21	4.6
고속/시외/시내버스	38	8.2
도보/자전거	5	0.4
계	467	100

표 5-6-32. 소요시간

응답내용	빈도(명) (n=452)	비율(%)
1시간 미만	9	2.0
1시간~2시간 미만	77	17.0
2시간~3시간 미만	120	26.5
3시간~4시간 미만	95	21.0
4시간~5시간 미만	66	14.6
5시간 이상	85	18.8
계	452	99.9
평균	3.16시간	

표 5-6-33. 방문 유형

응답내용	빈도(명) (n=433)	빈도(명)
당일관광	135(29.9%)	
숙박관광	317(70.1%)	9
	당해지역	기타지역
1박 2일	171(58.0%)	4(44.4%)
2박 3일	101(22.3%)	3(33.3%)
3박 4일	19(4.2%)	2(22.2%)
4박 5일	1(0.2%)	
5박 6일이상	3(0.6%)	
계	295(100)	9(100)

통영까지의 소요시간에 대해 물은 결과, 2시간 이상~3시간 미만이 26.5%로 가장 높은 비율을 보이고 있으며, 다음으로 3시간 이상~4시간 미만이 21%의 비율로 평균 3.16시간으로 조사되었다(표 5-6-32).

통영의 방문유형에 대해 물어본 결과, 당일 여행으로 통영을 방문한 비율이 29.9%이며, 숙박을 한 경우가 70.1%로 조사되었다. 숙박을 한 경우에도 당해 지역에서는 1박 2일의 일정이 58%, 2박 3일이 22.3%로 나타났다(표 5-6-33).

표 5-6-34. 숙박시설

응답내용	빈도(응답수) (n=310)	비율(%)
민박/펜션	140	45.2
호텔	10	3.2
콘도미니엄	48	15.5
친구/친척집	59	19.0
여관/모텔	37	11.9
기타	16	5.1
계	310	99.9

통영에서의 숙박시설에 대해 조사한 결과 민박/펜션이 45.2%로 가장 높은 비율을 차지하였으며 다음으로 친척/친구 집, 콘도미니엄의 순으로 나타났다(표 5-6-34). 관광객들이 통영을 방문하는 목적은 해양자연경관 감상이 29.8%로 조사되었으며, 다음으로 휴양, 오락을 위한 여행, 주변 명소 방문 순으로 나타났다(표 5-6-35).

표 5-6-35. 방문 목적(다중응답)

응답내용	빈도(응답수) (n=590)	비율(%)
주변 명소 방문	109	18.5
휴양, 오락	133	22.5
해양자연경관 감상	176	29.8
기타	10	1.7
해양스포츠 체험	97	16.4
친척/친구집 방문	65	11.0
계	590	99.9

표 5-6-36. 목적지 선택의 중요도

설문내용	평균
자연 경관	4.1
소요 경비	3.5
문화 유산	3.7
교통 수단	3.8
소요 시간	3.4

표 5-6-37. 1인당 여행경비

응답내용	빈도(명) (n=452)	비율(%)
10만 원 미만	259	57.3
10~20만 원 미만	152	33.6
20~30만 원 미만	29	6.4
30~40만 원 미만	6	1.3
40~50만 원 미만	3	0.7
50만 원 이상	3	0.7
계	452	100
1인당 평균여행비용	101,092원	

통영 방문객에게 관광목적지를 선택하는 데 중요시 하는 항목에 대해 조사한 결과 자연 경관(4.1)으로 가장 높게 나왔으며, 다음으로 교통수단(3.8), 문화유산(3.7), 소요경비(3.5), 소요시간(3.4) 순으로 나타났다(표 5-6-36).

통영을 관광하면서 1인당 소비한 여행경비를 조사한 결과, 평균 101,092원으로 나타났으며, 분포별로는 10만 원 미만을 지출한 응답자가 57.3%로, 다음으로 10만 원~20만 원 미만으로 지출한 경우가 33.6%로 조사되었다(표 5-6-37).

또한 항목별 금액 평균과 비율에서는 총 비용 중 교통비가 차지하는 비율은 19.8%로 가장 높았으며, 숙박비(19.7%), 유흥비(18.7%), 음식음료비(15.9%)로 나타났다(표 5-6-38).

관광을 위하여 통영지역을 재방문 할 의사에 대해서는 50.8%의 응답자가 재방문 의사가 있다고 조사되었다(표 5-6-39).

표 5-6-38. 항목별 금액 평균 및 비율

응답내용	평균(원)	비율(%)
숙박비	32,022	19.7
음식음료비	25,872	15.9
교통비	32,283	19.8
유흥비	30,459	18.7
기념품비	25,494	15.6
기타비	16,798	10.3
계		100

표 5-6-39. 재방문 의사

응답내용	빈도(명) (n=449)	비율(%)
매우 많음	39	8.7
많음	189	42.1
보통	194	43.2
적음	20	4.5
매우 적음	7	1.6
계	449	100.1

표 5-6-40. 재방문 의사가 없는 이유

응답내용	빈도(응답수) (n=206)
경제적 이유	3(1.5%)
관광 매력도 부족	70(34.0%)
관광지 및 시설안내부족	41(19.9%)
편의시설부족	30(14.6%)
접근성 불편	60(29.1%)
기타	2(1.0%)
계	206

표 5-6-41. 바다목장 방문 의향

응답내용	빈도(명) (n=452)	비율(%)
전혀 없음	25	5.5
없음	30	6.6
보통	197	43.6
많음	169	37.4
매우 많음	31	6.9
계	452	100

재방문 의사가 없는 응답객을 대상으로 이유에 대해서 물어본 결과 관광매력도 부족이 34%이며, 다음으로는 접근성불편(29.1%), 관광지 및 시설안내 부족(19.9%), 편의시설 부족(14.6%)으로 나타났다(표 5-6-40).

바다목장에 대한 관광객 방문 의향에 대한 결과로는 200명(44.3%)이 방문할 의향이 있다고 응답하였으며, 반면에 55명(12.1%)은 방문할 의향이 없다고 조사되었다(표 5-6-41).

바다목장에 방문할 의향이 있는 관광객에게 방문 횟수를 조사한 결과, 1년에 1회 방문하겠다고 응답한 사람이 가장 많은 57.6%(236명), 1년 2회 방문하겠다고 응답한 사람이 26.1%로 나타났다(표 5-6-42). 바다목장을 방문할 경우 함께 동반할 사람에 대해 물어본 결과 가족, 친척과 함께 방문하겠다는 사람이 54.3%로 나타났으며 친구, 연인, 선후배가 40.6%로 나타났다(표 5-6-43).

표 5-6-42. 희망 방문횟수

응답내용	빈도 (응답수) (n=372)	비율(%)
1년에 1회미만	30	7.3
1년에 1회	236	57.6
1년에 2회	107	26.1
1년에 3회	24	5.9
1년에 3회이상	13	3.2
계	410	100.1

표 5-6-43. 희망 동반자

응답내용	빈도(응답수) (n=411)	비율(%)
가족, 친척	223	54.3
친구, 연인, 선후배	167	40.6
단체	7	1.7
동호인	9	2.2
혼자	2	0.5
기타	3	0.7
계	411	100

바다목장을 방문하고자 하는 시기에 대해서는 주말이 40.7%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 방학 및 휴가기간이 26.6%, 연휴가 16.6%, 공휴일이 11.0%순으로 나타났다(표 5-6-44). 바다목장 방문 시 체류하고자 하는 기간에 대한 조사에서는 1박2일이 63.9%, 2박 3일이 25.9%, 당일이 7.8%로 나타났으며, 평균 약 2.2일 정도를 머무르고자 하는 것으로 조사되었다(표 5-6-45).

표 5-6-44. 희망 방문시기

응답내용	빈도(응답수) (n=410)	비율(%)
방학 및 휴가기간	109	26.6
주말	167	40.7
연휴	68	16.6
공휴일	45	11.0
주중	17	4.1
기타	4	1.0
계	410	100

표 5-6-45. 희망 방문기간

응답내용	빈도(응답수) (n=410)	비율(%)
당일	32	7.8
1박 2일	262	63.9
2박 3일	106	25.9
3박 4일	10	2.4
계	410	100
평균 일수	2.2일	

바다목장 방문 시 소비금액에 대한 의향을 물어본 결과 평균 107,633원으로 나타났으며 분포별로는 10만 원 이상~20만 원 미만이 49.5%로 가장 높게 나타났으며, 10만 원 미만이 35.7%, 20만 원~30만 원 미만이 11.2%로 조사되었다(표 5-6-46).

표 5-6-46. 희망 소비금액

응답내용	빈도 (응답수) (n=412)	비율(%)
10만 원 미만	147	35.7
10~20만 원 미만	204	49.5
20~30만 원 미만	46	11.2
30~40만 원 미만	14	3.4
40~50만 원 미만	0	0.0
50만 원 이상	1	0.2
계	412	100
1인당 평균여행비용	107,633원	

다. 간접효과 분석

(1) 유어낚시

통영바다목장의 간접적인 경제적 가치를 측정하기 위하여 회귀분석을 사용하여 경제적가치에 영향을 주는 변수들을 대상으로 분석하였다. 이중 설명력이 있는 변수들을 선정하여 바다목장 경제적 가치를 추정하였다. 바다목장은 유어낚시객별, 지역별 특성을 가지고 있어 다른 지역의 바다목장의 선정된 변수들이 차이가 있었다. 특히 통영지역의 바다목장을 반영한 모든 변수들을 추정한 결과 통영지역에 방문한 유어낚시객 월 소득과 통영지역에서 잡은 어류의 kg으로 선정하여 추정하였다. 분석에 이용된 데이터의 수는 461명이다.

최소자승법(OLS)을 이용하여 추정된 식은 다음과 같다.

$$WP = 36857.81 + 10931.91INCOME + 13444.91KG$$

(2.648) (2.546) (8.226)

$$adjR - square = 0.217$$

$$Durbin - Watson = 1.904$$

여기서 WP는 지불하고자 하는 금액, INCOME는 유어낚시객의 월 소득을 의미하고, KG는 통영지역에서 잡은 어획량을 의미한다. 분석결과에 따른 1인 1회 방문 시 지불하고자 하는 금액은 평균 105,197.6원의 95%의 신뢰구간으로 97,135~113,260원인 것으로 추정되었다.

(2) 관광

통영바다목장이 관광형 바다목장의 개념을 가지고 있지는 않지만 바다목장을 보고자

하는 사람들이 증가함에 따라 관광의 가치를 추정하였다. 분석 방법은 회귀분석을 사용하였다. 통영을 방문한 사람을 대상으로 설문지를 토대로 통영지역에 재 방문시 지불하고자 하는 금액과 바다목장에 희망방문기간과 설문조사 시 응답한 일인 총비용을 가지고 분석하였다. 분석에 이용된 데이터의 수는 452명이다.

최소자승법(OLS)을 이용하여 추정된 식은 다음과 같다.

$$WP = -3457.47 + 0.202TC + 40543.894STAY$$

$$(-0.333) \quad (5.659) \quad (8.602)$$

$$adjR - square = 0.267$$

$$Durbin - Watson = 2.067$$

여기서 WP는 지불하고자 하는 금액, TC는 방문 시 소요되는 일인 총 비용을 의미하고, STAY는 방문희망기간을 의미한다. 분석결과에 따른 1인 1회 방문 시 지불하고자 하는 금액은 평균 107,793원의 95%의 신뢰구간으로 104,627.9~110,957.5원인 것으로 추정되었다.

제 7 절 결 론

2005년 현재 통영바다목장 사업은 지금까지 추진되어 온 사업을 마무리하는 단계로서 사후관리 및 효과분석에 중점을 두고 있다. 본 장에서는 사회과학적인 측면에서 통영바다목장 수산자원관리수면의 이용·관리 실태를 분석하였고, 합리적이고 효율적인 사후관리체제의 정착방안을 검토하였다.

수산자원관리수면의 이용·관리를 보면, 등록어선 400여척 중에서 실제로 조업하고 있는 어선은 대략 170여척으로 파악되었으며, 업종별로는 연안복합(외줄낚시, 연승)이 가장 많고 그 외에 통발과 자망도 일부 조업하고 있는 것으로 조사되었다.

그리고 7월부터 바다목장 자원조성 대상어종에 대한 자원평가와 어획물 유통체계 구축을 위한 기본 자료 축적 등을 목적으로 어획물 모니터링을 실시하였다. 목장 대상어종 중에서는 볼락이 가장 많이 어획되었고 다음으로 조피볼락, 참돔이 뒤따르고 있다. 수산자원관리수면에서 금지어업인 통발, 자망도 조업하고 있는 것으로 파악되어 관리이용체제가 아직 완전하게 기능하지 않고 있다.

현재 통영바다목장의 이용관리를 보면, 어업질서와 제도는 수산자원관리수면 관리이용규정에 의해 이루어지고 있으며, 해역관리는 보호수면과 수산자원관리수면이 양측으로 자리 잡고 있고, 이용 및 관리조직은 자율관리어업위원회와 관리이용협의회를 구성하여 대응하고 있다. 이로서 통영바다목장 이용관리체제의 큰 틀은 만들어졌지만, 제도적으로는 아직 보완할 점이 많고, 관리조직의 역할과 능력이 충분하지 못한 한계를 가진다.

이를 해결하기 위해 관리조직의 유기적 협조체제의 구축과 관리능력의 배양, 단속체제의 정비와 입어 금지어업의 업종 전환, 자율관리어업위원회의 자립기반 확립 등이 필요하다. 그리고 어업 외 소득 증대를 위한 유어낚시터 조성, 홍보 및 교육프로그램 등에 대한 다각적인 방안도 검토하여야 한다. 그러나 통영바다목장 해역은 한려해상국립공원으로서 자연공원법에는 유어낚시터 시설에 대한 행위기준의 언급이 없어 사업차질이 예상된다.

한편, 수산물 유통체계 구축 및 브랜드화에서는 양륙항이 삼덕항으로 최종 선정되었으며, 직판장 설치에 대한 설립 및 운영 주체 등에 대해서는 향후 면밀한 검토가 이어질 것이다. 바다목장 상표등록은 2006년 하반기에 완료되어 바다목장산 어획물의 고유한 브랜드를 부착한 상품이 시범적으로 출하될 것이다.

마지막으로 바다목장 직간접효과 분석에서 먼저 외줄낚시의 경영수지를 보면, 바다목장 해역 의존도가 높아져 대상어종을 중심으로 어획량이 늘고 있는 것으로 나타났다. 2005년 평균 어업수입은 36,662천 원으로 2004년보다 증가한 것으로 나타났으며, 어업지출 역시 9,158천 원에서 12,525천 원으로 증가하였다. 이익률은 1998년에 42.0%에서 증가하여 2000년 57.8%, 2002년 54.9%, 2005년에는 66.0%를 기록하였다. 이를 통해 바다목장

은 어장조성에 상당한 효과를 미치고 있으며 어업인들의 소득향상에도 기여하고 있음을 알 수 있다. 한편, 간접효과 분석에서 유어낚시의 경우 1인 1회 방문 시 지불하고자 하는 금액은 평균 105,198원의 95%원 신뢰구간으로 97,135~113,260원이 것으로 추정되었다. 관광의 경우는 1인 1회 방문 시 지불하고자 하는 금액은 평균 107,793원의 95% 신뢰구간으로 104,628~110,957원인 것으로 추정되었다.

통영바다목장은 우리나라에서 최초로 자원조성 및 보호, 지속적 어업활동, 생산물의 부가가치 제고, 소득 증대라고 하는 종합적이고 미래지향적인 어업시스템으로 평가할 수 있다. 동 사업의 성공적인 마무리는 자율적이고 상호협조적인 관리이용체제가 확립되어 목장해역 전반에 대해 원활한 기능을 할 때이다. 2006년에는 통영바다목장의 관리·이용 시스템을 구축해 나가는 데 각 분야별로 현실성이 있고 구체적인 방안을 검토, 도출함으로써 성공적인 바다목장 마무리에 기여할 예정이다.

참고문헌

- 農林水産技術會議事務局, 1991. 海洋牧場, 恒星社 厚生閣.
- 平山信夫, 1996. 資源管理型漁業, 成山堂書店.
- 김병호 · 김대영, 2003. 자원관리형어업으로의 이행(번역서), 도서출판 논문의 집.
- 수협중앙회, 어촌계 분류평정 및 현황, 각년도
- 통영시, 통영시 통계년보. <http://www.gnty.net/stat/view/>
- 통영시, 2004. 통영통계년보.
- 통영시, 2004. 어촌관광진흥종합대책 지역계획수립자료-학림지구어촌관광단지조성-.
- 통영시청 해양수산과 내부자료(2005. 10 현재)
- 한국해양수산개발원, 2005. 중장기 수산자원회복계획 추진에 관한 연구, 해양수산부.
- 한국해양수산개발원, 2005. 인공어초 경제성 분석에 관한 연구, 해양수산부.
- 한국해양수산개발원, 2001. 어업자원관리 중장기 종합계획 수립에 관한 연구, 해양수산부.
- 해양수산부, 2005. 수산업 동향에 관한 연차보고서.
- 한국해양연구소, 1998. 1998 통영해역의 바다목장 연구개발용역사업 보고서, 해양수산부, BSPM 98005-01-1116-3.
- 한국해양연구소, 1999. 1999 통영해역의 바다목장화 개발 용역사업 보고서, 해양수산부, BSPM 99021-00-1203-3.
- 한국해양연구소, 2000. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서, 해양수산부, BSPM 00065-00-1284-3.
- 한국해양연구원, 2002. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역 사업 보고서, 해양수산부, BSPM114-00-1424-7.
- 한국해양연구원, 2003. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서, 해양수산부, BSPM175-00-1532-3.
- 한국해양연구원, 2004. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서, 해양수산부.
- 한국해양연구원, 2004. 동·서·제주해역 바다목장화 개발 연구용역, 해양수산부, BSPM30600-1663-3.

부 록

방류 및 시설물 투자 현황
해외출장 보고서
홍보·언론 보도 및 논문 발표 자료

**방류 및 시설물
투자 현황**

여 백

1. 목장 해역내 유용 수산 생물 방류 현황(3단계 1차년도)

- 방류 어종 및 프로파일

연월	어 종	마리수	장 소	크기 (cm)
2005. 7.	볼락	731,955	봉도, 축도, 저도, 달아	7 이상
2005. 8.	조피볼락	576,000	봉도, 축도, 저도, 달아	7 이상
2005. 8.	감성돔	323,000	연명, 달아, 척포	7 이상

종 수 : 3종

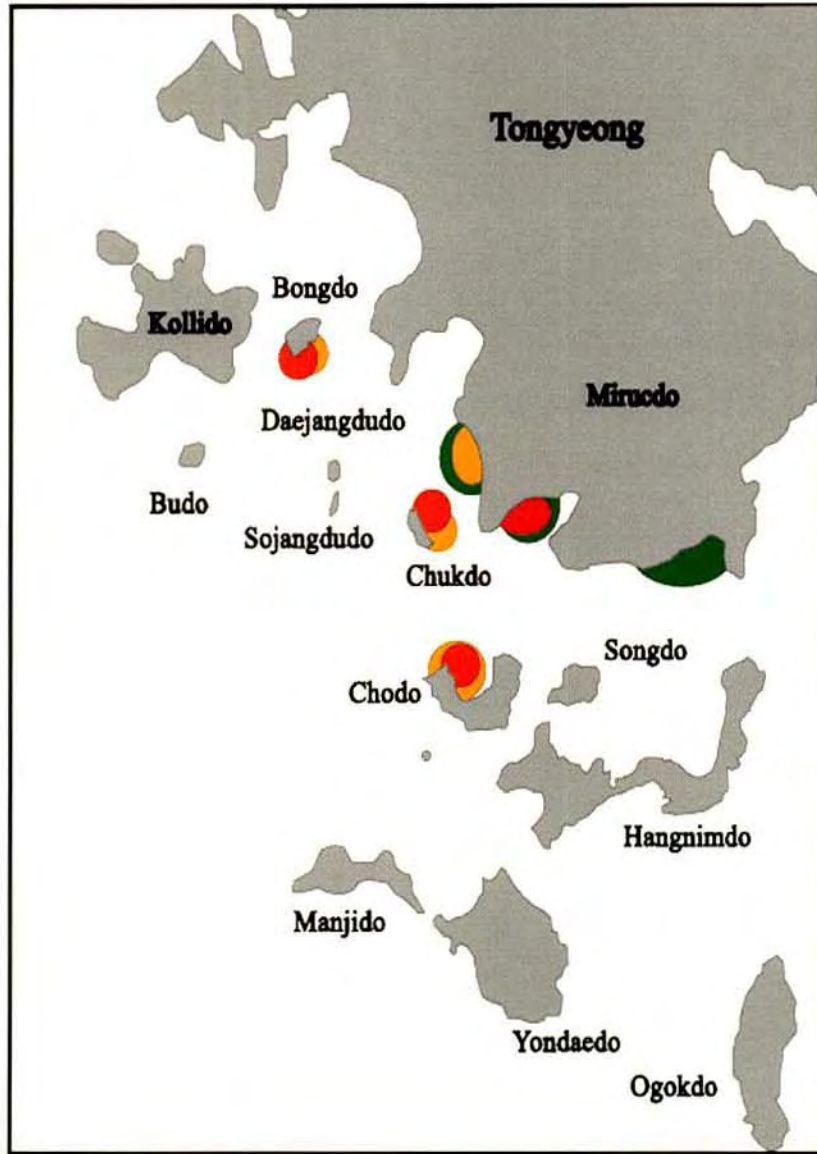
총마리수 : 1,630,955마리

총투자액 : 417 백만원*

*중간육성경비 포함시키지 않음

여 백

- 방류 위치도



감성돔

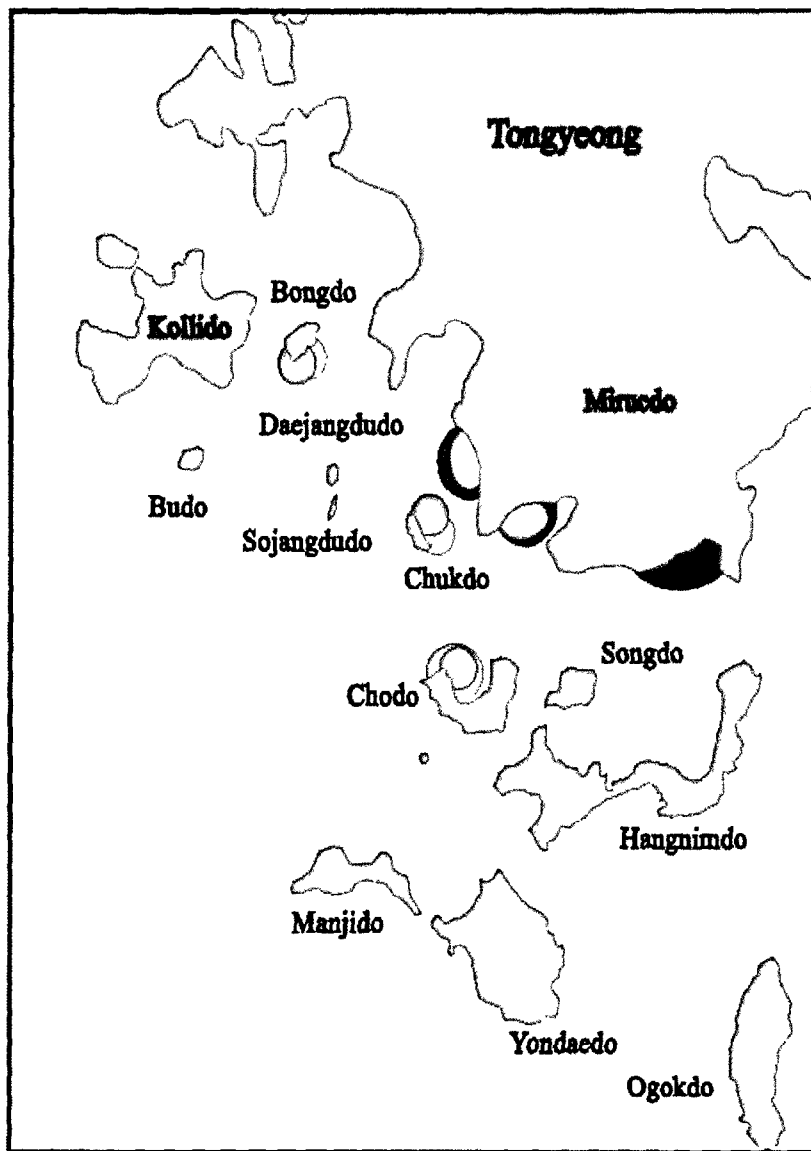


볼락



조피볼락

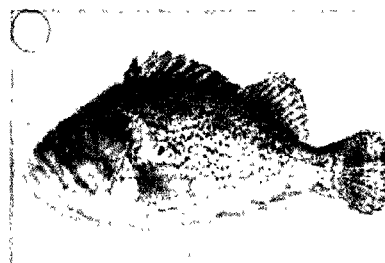
- 방류 위치도



감성돔



볼락



조피볼락

여 백

2. 통영 바다목장 해역 내 어초 및 수중 구조물 등 바다목장 해역 내 시설 투자 현황 (3단계 1차년도)

▶ 시설비

시설명	규격	수량	시설장소	시설비 (백만원)
피라밋강제어초	10 x 10 x 7 m	3개	축도 북단	570
		3개	학림도 남단	
		3개	대,소장두도 사이	
		4개	만지도 남단	
		2개	저도 서단	
		6개	대장두도 북단	
삼각뿔강제어초	4 x 4 x 4 m	15개	달아 남단	154
		14개	마동 남단	
다기능성강제어초	18 x 18 x 14 m	1개	저도 북단	114
테트라포트	5 ton	50개	달아 남단	55
		50개	마동 남단	
피복석		600루베	달아 남단	53
		600루베	마동 남단	
인조해조장	10 x 10 x 3 m	4개	달아 남단	168
		3개	마동 남단	
부교형낚시터	70 x 100 m	1 set	달아 남단	444
음향자원측정기		1 set		149
		소계		1,707

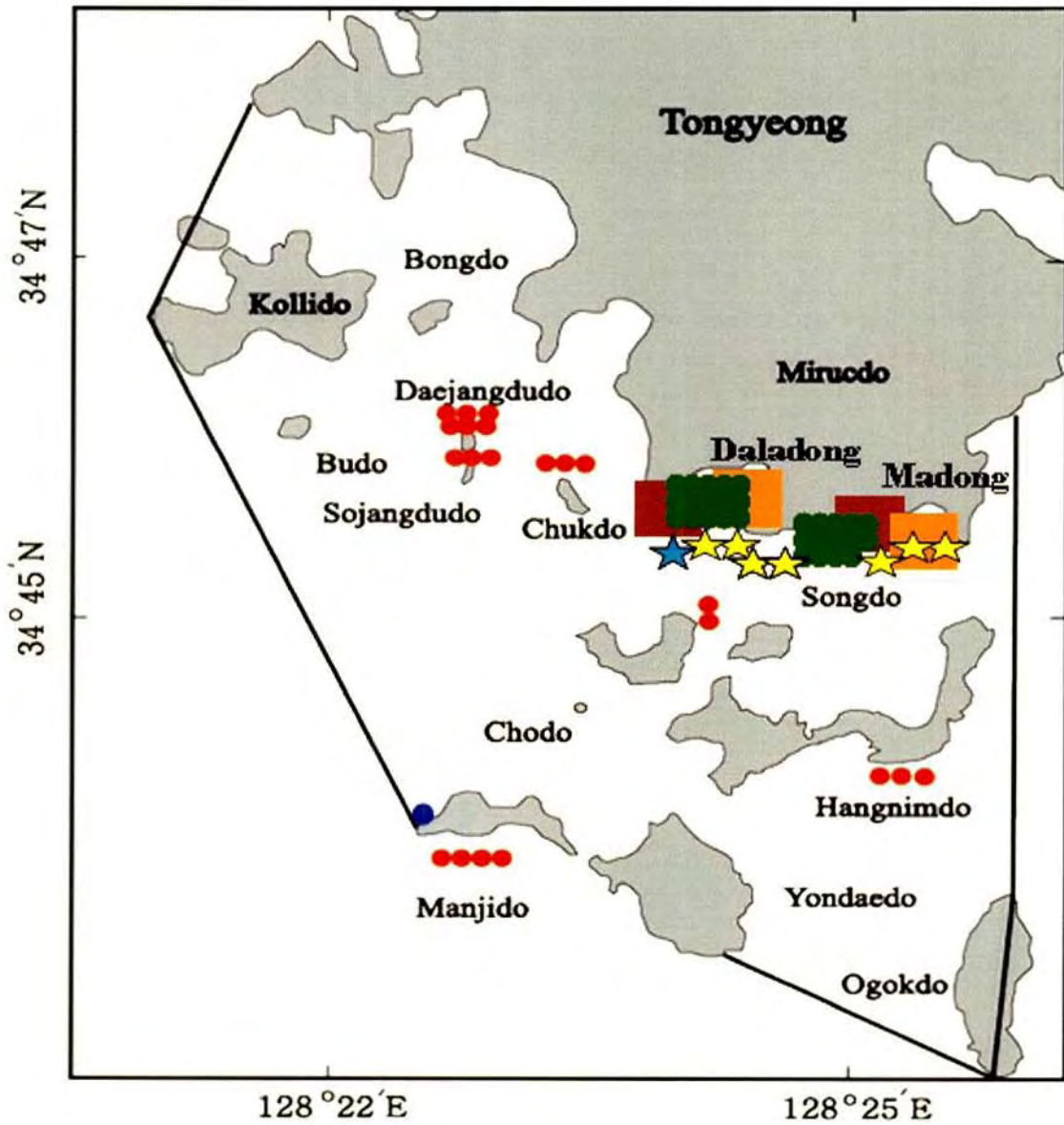
(합계)

2,124	백만원*
-------	------

※ 연구비 포함시키지 않음.

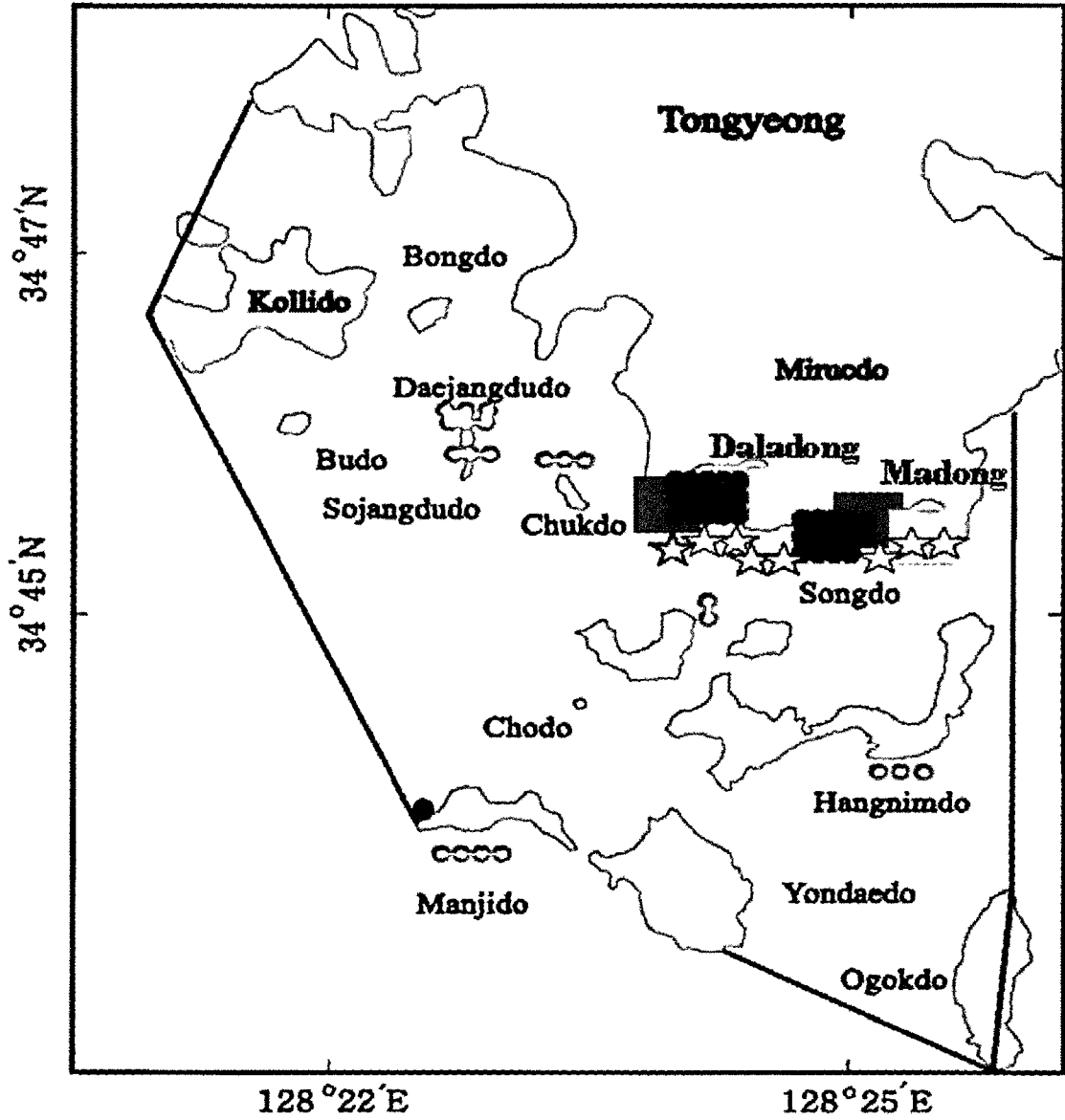
여 백

- 시설 위치도



- | | |
|--|--|
|  피라밋강제어초 |  인조예조장 |
|  삼각뿔강제어초 |  부교형낙시터 |
|  다기능성강제어초 |  테트라포트 |
| |  피복석 |

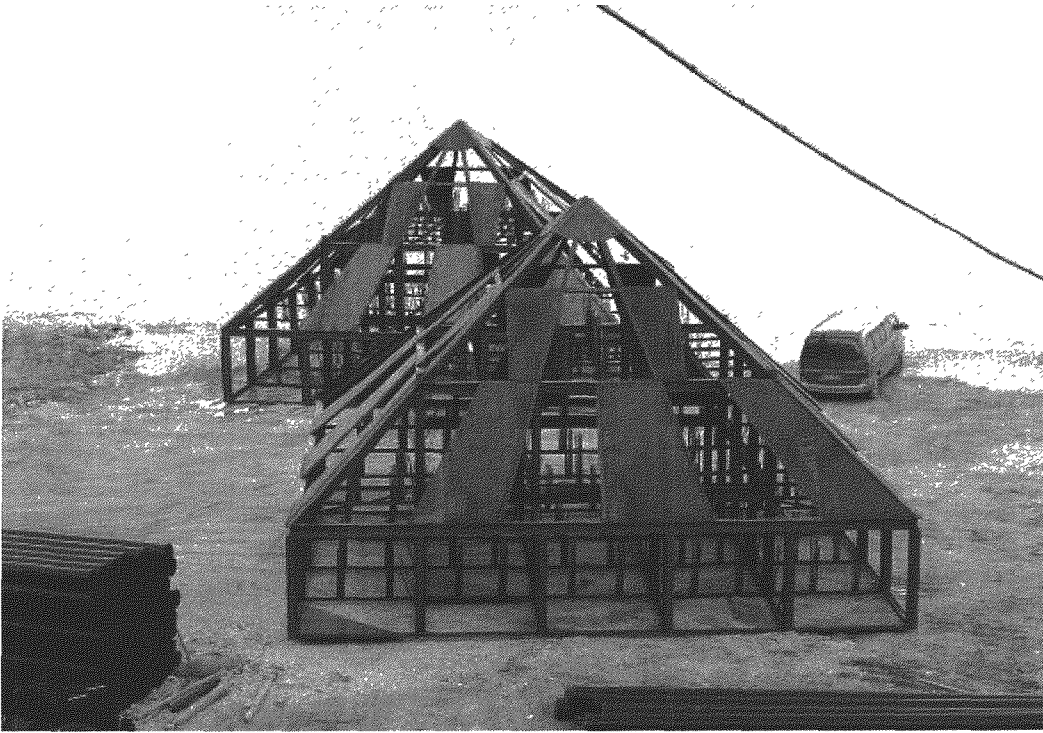
- 시설 위치도



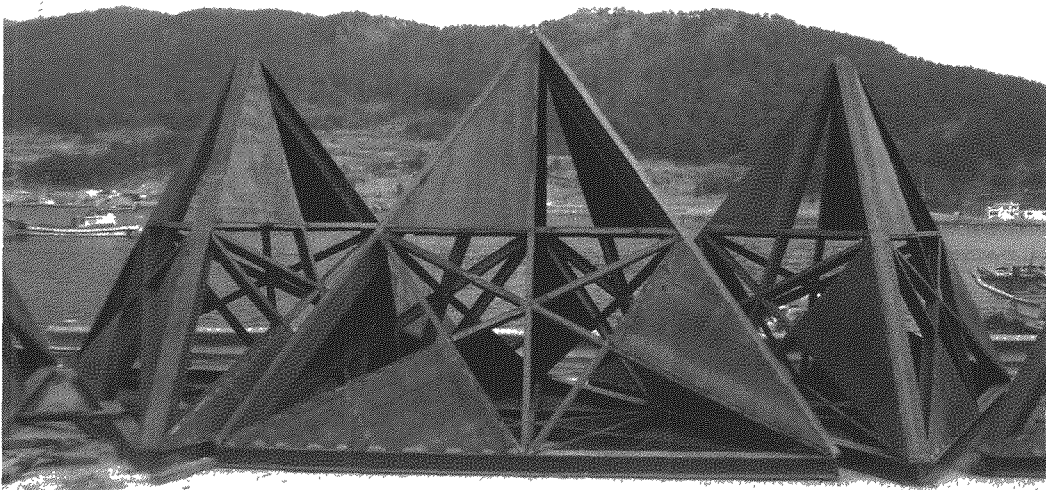
- | | | | |
|---|----------|---|--------|
| ○ | 피라밋강제어초 | ☆ | 인조해조장 |
| ● | 삼각뿔강제어초 | ☆ | 부교영남시터 |
| ● | 다가능성강제어초 | □ | 테트라포트 |
| | | ■ | 피복석 |

여 백

투하된 시설물

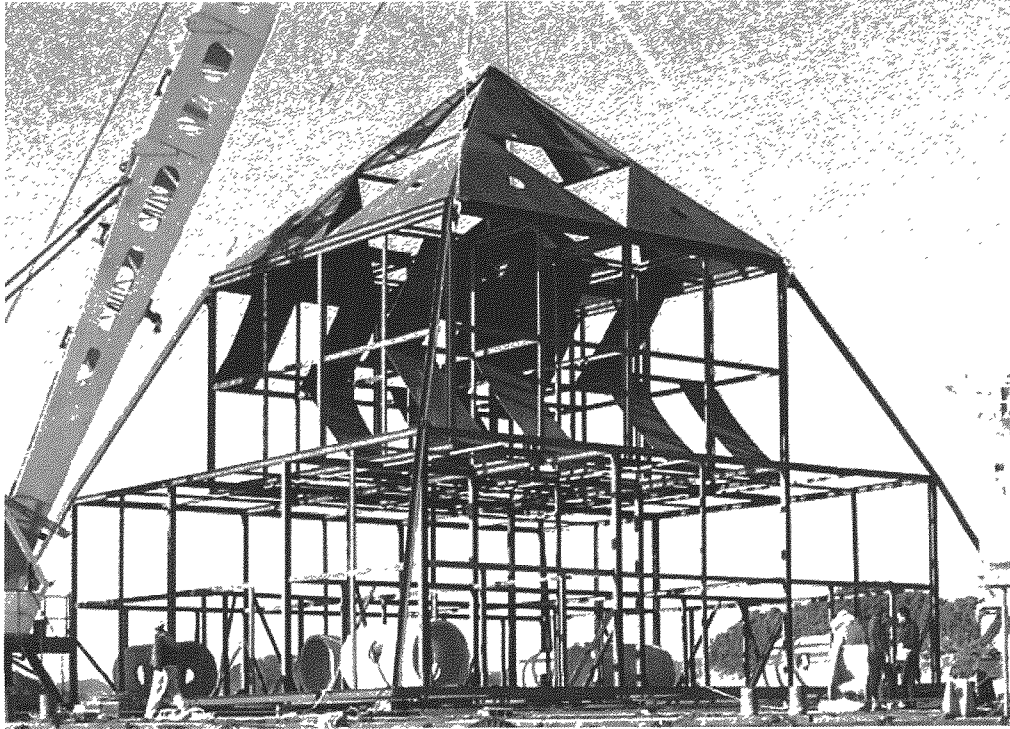


피라밋강제어초

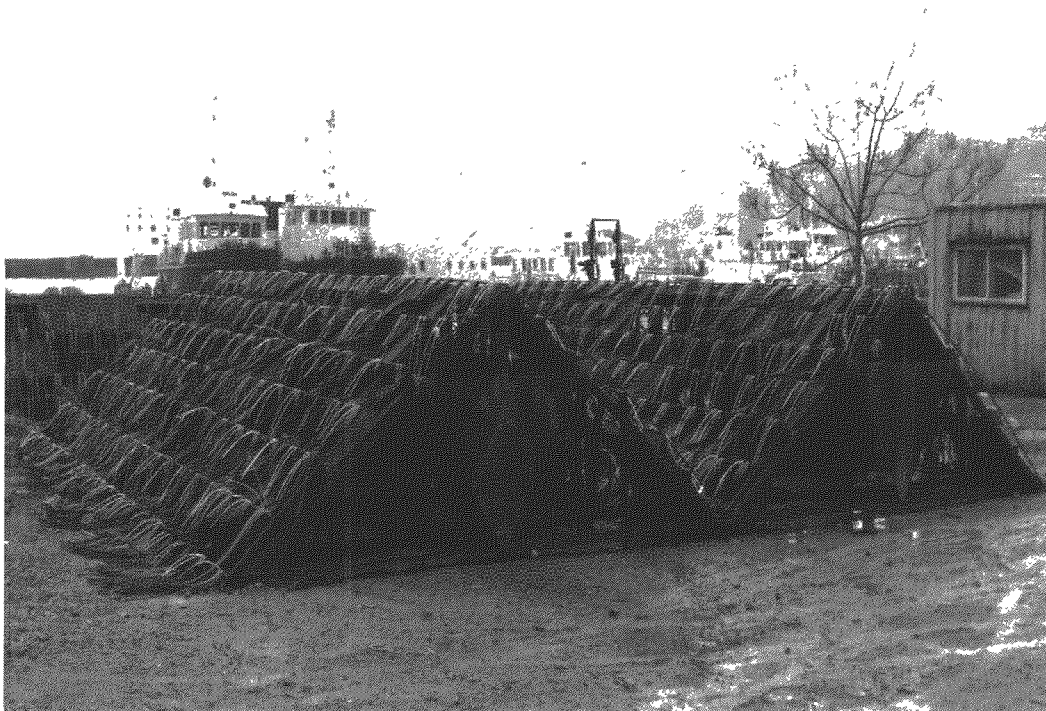


삼각뿔강제어초

여 백



다기능성강제어초



인조해조장

여 백



부교형낙시터



테트라포트

여 백



피복석

여 백

해외출장 보고서

여 백

미야기 출장 귀국 보고서

1. 출장개요

우리 사업단에서 진행 중인 “바다목장화 연구 사업과 관련하여 우리의 해양환경 여건이 유사하며, 우리보다 먼저 사업을 시행하고 있는 일본의 宮城縣(Miyaki)의 수산자원 조성 및 관리 측면에서의 사업 진행 상황 및 관련 자료 수집을 목적으로 하였다.

본 출장에서는 현재 시범 바다목장 사업을 추진하고 있는 관련기관 해양개발원, 통영시, 여수시, 태안시, 울진군, 북제주군의 관련 담당 공무원과 어민대표로 구성된 15 명의 방문단을 인솔하게 되었다.

1. 출 장 자

소속	직급	성명	비고
한국해양연구원	책임연구원	박철원	
	책임연구기사	최희정	
통영	통영시청 수산과	진근태	
	어업인	차홍기	
여수시청	여수시청 수산과	정덕영	
	어업인	황종운	
	어업인	박홍광	
울진군청	울진군청 수산과	박유택	
	어업인	박영성	
태안군청	태안군청 수산과	김종락	
	태안군청 수산과	이승엽	
북제주군청	북제주군청 수산과	이혁형	
	어업인	강명산	

2. 출장국가

일본

3. 출장기간 : 2005. 11월 23일 ~ 11월 26일(3박 4일)

4. 출장목적

일본 미야기(宮城)현은 일본열도 태평양 연안의 북쪽 연안에 수산업의 중심 지역에 하나로 현의 산업경제부, 어업진흥과 자원관리반을 중심으로 연안어장의 자원 관리 정책을 중점적으로 들여다 보고, 우리 현실에 적용 가능성이나 바다목장 사업의 최종 목표 중에 하나인 연안 자원 증대에 따른 관리 방안 수립에 지표로 삼아보려는 의도를 갖고 있다. 연구업무를 원활한 추진을 위하여 선진 수산정책을 추진하고 있는 일본의 현황을 직접 눈과 귀로 확인할 수 있는 기회로 하여 정부, 지방자치체, 각 지역 어민들이 공동의 사업 목표를 갖고 동행할 수 있는 의미 있는 과정이라고 평가 된다. 더욱 본 출장은 해당과제가 수행되기 시작한 해부터 매년 정기적으로 시행되어 왔다.

특히 미야기현은 일본의 3대 명승지 중 하나인 마쓰시마(松島)가 위치하고 있어 많은 관광객이 방문하는 지역이다. 바로 관광의 대상이 센다이 시 연안에 위치한 해변가 작은 섬들과 많은 굴 양식장이 어울어진 말 그대로의 관광어촌인 것이다. 미야기현의 수산업이 양식산업과 연계되어 관광 어촌을 구성하여 풍요로운 삶을 살아가는 그들의 모습이 우리 바다목장 사업과 잘 연계되는 좋은 기회였다. 본 현지 조사 출장에 참가한 모두가 소중한 경험을 할 수 있는 기회였다고 판단된다.

11. 세부내용

1. 출장일정 및 면담자

일 자	방문기관(활동 내역)	면담자	비고
11월 23일	서울(10:20) - 센다이 (0Z 152편 인천-센다이)		
11월 24일	미야기현 현 청사 산업경제부 어업진흥과	石田幸司 (자원관리반 반장)	
	미야기현 수산연구 개발 센터	高橋清孝 해양자원부 총괄연구원	
11월25일	미야기현 재배어업 센터 및 관광어촌 마을 견학	伊藤 章 차장 겸 기술부 참사	
11월 26일	센다이(13:20) - 서울 (0Z 156편 센다이-인천)		

2. 활동내용

■ 미야기 현청 방문 회의 내용

○ 참 석 자 : 미야기현 측 - 산업경제부 차장의 2명 참석
방문단 - 총 15명 참석

○ 회의시간 : 2005.11.24 9:30 ~ 11:30

○ 회의장소 : 미야기현 현청 회의실

○ 회의진행

1. 미야기현 어업의 소개
2. 자원관리형 어업에 대한 소개
3. 자원회복계획에 대한 소개
5. 재배어업 소개
6. 재배어업관련 재배어업센터 소개

○ 세부내용

1. 미야기현의 소개

1.1 지형적 특징

- 미야기현의 경우 태평양 연안의 북쪽에 대표적인 리아스 식 연안이 복잡하

고 다양하게 조성되어 있고 센다이 만을 중심으로 구성됨.

- 복잡한 해안 및 해류의 영향으로 다양한 어종이 생산됨.
- 마쓰시마(松島)라는 일본의 3대 관광명승지를 갖고 있는 관광과 연계된 수산업이 현을 이끌고 있는 주요 산업으로 대접받고 있음.

1.2 수산업의 동향

- 어업 생산량은 390만톤으로 북해도 다음으로 일본 전체의 2위를 차지하고 있다.
- 어업인구도 전체의 5 %인 12만 명으로 4위를 차지한다.
- 어업 구조는 어업 경영 사업체별 조성으로 볼 때 해면 양식어업이 1위, 어선 및 정치망 어업이 2위로 전체의 96 %를 차지한다. 한편 사업체 수로 볼 때 해가 지남에 따라 다소 감소하여 2004 현재 4,000여 업체가 어업 활동에 참여하고, 연안수산업 자원량의 감소 추세에 따른 어려움이 존재하는 것이 현실이다.
- 현재의 어려움을 극복하는 방안의 하나로 자원 관리형 어업을 추진하고 있다.

2. 수산업 현황

미야기 현의 연안 어업은 지역적 특성으로 태평양 연안을 따라 북쪽에서 내려오는 한류인 “오야시오(親流)”와 남쪽에서 연안을 따라 북상하는 “구로시오(黑流)”가 만나는 지역이 바로 미야기현의 연안 해역이다. 따라서 연안 어선어법의 조건은 일본에서도 가장 여건이 좋은 해양학적 조건을 가지고 있다. 따라서 비교적 풍부한 수산자원을 갖고 있다고 판단된다.

주요 어종의 어획량을 보면 방어가 41,000 톤으로 전국의 생산량의 3위, 참치류가 39,000 톤으로 전국의 생산량의 1위, 꽁치가 32,000 톤으로 전국의 생산량의 2위, 멸치류가 20,200 톤으로 전국의 생산량의 8위, 오징어류가 13,000 톤으로 전국의 생산량의 6위, 상어류가 12,000 톤으로 전국의 생산량의 1위, 명태류가 9,300 톤으로 전국의 생산량의 2위이고, 기타 가자미류, 고등어, 등 총 260,000 톤의 어획고를 올리고 있다. 한편 어업생산 금액으로 환산하면 년 간 807 억 엔으로 전국규모의 5위를 차지한다. 자세한 어업구조는 다음과 같다.

2.1. 원양어업

- 주로 100톤 이상의 대형어선이 173 대로 북양이나 원양에서 조업함
- 주요 대상 어종은 참치로 전국 어획량의 1위를 차지하며 저인망 어업이 포함된다.
- 과거 10년을 기준으로 생산량 및 생산금액이 감소
- 자체 원인 분석결과 자원의 감소와 어업 취업자수의 감소가 주요 원인

2.2 근해어업

- 근해어업은 10톤 이상 204 대의 선박이 조업을 함.
- 어업 형태는 유자망, 저인망, 봉수망이 주 어업형태이다.

2.3 연안어업

- 연안어업은 10톤 미만의 소형어선 8,700여 대가 주로 조업하며,
- 자망, 저인망, 정치망, 낚시어업, 들망 등의 어업 구조를 갖고 있다.

3. 재배어업 현황

미야기 현의 양식어업은 지역적 특성 중에 하나인 리아스식 해안이 센다이시를 중심으로 북쪽해안에 잘 발달되어 해수면 양식의 적지임은 반론에 여지가 없다. 주요 양식 대상 어종은 김, 굴, 가리비, 미역, 은연어 등이 생산되고 있다.

주요 어종의 어획량을 보면 굴이 56,000 톤으로 전국의 생산량의 2위, 김이 28,000 톤으로 5위, 미역이 19,000 톤으로 2위, 가리비가 16,000 톤으로 전국의 3위, 멍게가 10,000 톤으로 전국의 생산량의 1위, 은연어가 9,000 톤으로 전국의 생산량의 1위, 다시마, 미역, 성게 등 총 140,000 톤의 생산고를 올리고 있다.

3.1 기본 시책

- 재배어업의 기준(방류 어종 및 계획)을 설정하고 이를 위한 조직(지역을 나누고 몇 개의 어협의 묶어서 조직)을 구성
- 어업인 및 현이 자금을 마련하고 자원관리형 어업의 주요어종 7종과 기타 어종 등 생산
- 어종 선정 후 생산 및 관리를 위한 기반기술 및 연구를 수산연구개발센터에서 실시하고, 직접적인 종묘 생산은 재배어업센터가 생산을 위한 기반을 조성하고,
- 대량 생산을 위한 기술교육 실시 병행하고,
- 연구가 완료된 어종은 재배어업센터에서 종묘 생산, 중간육성을 실시하고, 방류를 위한 무상 분양 및 생산 업자에게 유상을 담당한다.
- 방류 된 어종은 자원관리형 어업 정책에 따라 사육 및 어획하게 된다.

3.2. 재배어업센터

- 목적: 현에서 필요한 종묘를 안정적으로 생산하기 위하여 100년 전에 설립되어
- 1973년에 현지에 완공, 1995년에는 재단법인 미야기현 수산공사도 발족되어 관민 협조체제의 재배어업 및 자원 관리형 어업을 추진하고 있다.
- 재배업센터는 종묘를 대량으로 생산 : 미야기현의 관리형 대상종인 전복, 넙치, 연어, 돌가자미, 범가자미, 바지락, 피조개 등 7개 어종의 종묘생산 및 중간 육성 실시

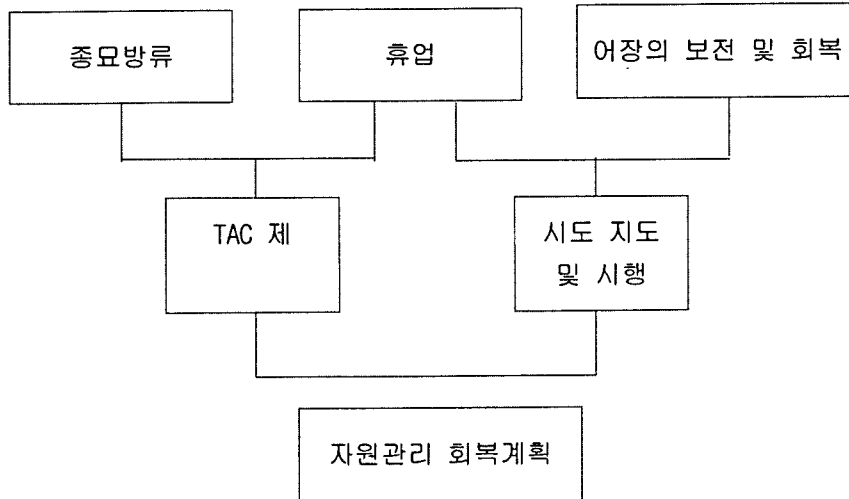
4. 자원 관리형 어업

미야기 현이 보유하고 있는 일본에서도 우수한 수산자원을 미래지향적 측면에서 유지 및 생산하기 위하여 자원관리형 어업 정책을 추진하고 있다.

4.1. 기본 목표

- 목적 : 신속히 자원을 회복하기 위해, 감척, 종묘 방류, 등의 정책실시

- 기존정책과의 차이
 - : 어민만이 자원관리를 하는 것이 아니라 어민과 현이 함께 자원 관리를 하는 것이 가장 큰 차이.



- 자원관리 체제의 도입을 위한 어획시기 및 어획 대상어종의 크기 등 설정
- TAC(총어획량관리) 제도에 의한 자원관리
- 개혁정신을 기반으로 하는 어장조성

4.2. TAC 제도 도입

- 1997년부터 현내의 어장에서 매년 어획 가능한 총량을 설정 및 시행
- 대상어종은 어획량이 많으며 경제적 가치가 크고, 근자에 자원이 감소하여 긴급보전 및 관리가 필요한 어종을 대상으로 특히 일본 경제수역 밖에서 외국에 의하여 어획이 되고 있는 어종 등을 대상으로 한다.

4.3. 어장조성 사업

- 수산 기반 정비 사업이라는 의미에서
- 인공어초를 중심으로 하는 인위적 어장조성 사업
- 자원증대를 위한 방류 사업 등

5. 미래를 준비하는 수산업의 방향

- 풍요로운 하천을 가꾸는 내수면어업의 활성화
- 정보처리 체제 구축에 의한 신선한 자료 제공
- 수산가공업의 활성화를 위한 기반구축
- 미래형 수산업을 위한 후계자 양성 등

■ 미야기현 수산연구개발센터 방문

(주소 : 宮城縣 石卷市 渡波字抽浜 97-6)

- 참석자 : 방문단 - 총 15명 참석
- 방문 시간 : 2005.11.24 15:00 ~ 17:00 (총 2시간)
- 회의 장소 : 수산연구 센터 회의실
- 회의진행
 1. 센터 소개
 2. 미야기현 자원관리형 어업과 까나리를 대상으로 하는 관리형 어업 사례 소개

○ 세부내용

1.1 미야기현 연구개발 센터장의 소개

- 수산시험 연구 기관들의 기술 개발 및 시험연구와 관련 기획 조정업무
- 시험연구의 효율적 추진 및 보급 역할
- 미래의 어업을 담당할 젊은 인재의 육성
- 신선한 정보의 이용자에게 제공

1.2 자원 관리형 어업 사례 소개

미야기 현에서 추진 중인 자원관리형 어업에 관한 기본적 개념은 다음과 같다.

- 어장 환경에 대한 조건 및 역할을 탐색
어획대상이 되는 해역의 기초 환경 및 수산 생물의 생태, 자연에서의 재생 산상황 등을 조사, 분석한다.
- 주변어장의 인위적 자원 첨가에 대한 검토
효율적인 자원 증대 방안의 하나로 자원생물의 종묘방류를 행하기 위한 대상생물의 성육을 위한 생태학적, 환경적 기초 조건 파악 및 조사를 실행한다.
- 자원 증대 기법의 확립
인공어초, 해저 지질현황, 저서생물 분포 등의 서식지 복원에 필요한 기초 조건을 면밀히 조사한다.
- 적절한 어획 방법 수립
주변어장 기초 환경 조사, 생태계 조성, 대상 생물의 자원조사, 어획량 통계조사, 생산성 예측 등을 종합하여 자원량을 해석하고, 시뮬레이션에 의한 최적 어획량을 설정한다.

1.3 미래지향적 수산시대를 위한 준비

- 현 수산업의 미래를 위한 선진 수산기술의 확립
- 풍요로운 어장환경 조성 및 보전
- 선진 기술 개발을 위한 첨단 기장비의 확보 및 유지, 관리

1.4 조직

- 조직도 : 총무과, 연수부, 해양자원부, 해양양식부 및 무선국으로 구성
- 조사선 현황
개양호(250 톤), 척양호(460톤)

1.5 까나리를 대상으로 하는 자원관리 사례 청취

1.6 센다이만에서의 가자미 친어 보호를 위한 자원관리 방안 사례 청취

■ 미야기현 재배업센터

(주소 : 宮城縣 石卷市 谷川浜前田 22)

○ 참석자 : 재배업센터 측 - 재배업센터 3명

방문단 - 총 15명 참석

○ 회의 시간 : 2005.11.25 10:00 ~ 12:30 (총 2시간 30분)

○ 회의 장소 : 재배업센터 회의실

○ 회의진행

1. 재배업센터 소개

2. 종묘 생산 및 방류 절차

3. 현장 견학

○ 세부내용

1. 미야기현 재배업센터 소개

- 종묘 생산 및 관리 업무

- 자원관리 대상어종 7어종에 대한 종묘생산

- 년중 종묘생산계획에 따라 종묘를 생산 후 소비자에게 유상판매

- 방류 대상어종은 현의 기본 계획에 따라 중간 육성을 실시한 후 방류

- 1 ~ 5월까지 가장 바쁨

- 일본의 경우 총 70여종의 종묘를 방류

2. 넙치 방류 효과에 대한 연구 조사 결과 청취

1975년부터 실시한 미야기현 내의 넙치 방류효과에 관한

- 종묘 방류현황

- 자원관리 실시 현황

- 자연산과 방류산의 가격 비교 검토

- 넙치 방류 사업에 따른 경제성 평가

- 낚시객 및 유어선에 의한 추정 어획량 평가

3. 종묘 생산 및 방류절차

- 종묘방류 집행 전년도에 필요 어종 및 방류량을 조사한 후에 이를 현에 신청

- 현에서는 이에 따른 예산을 초기에 100% 지원

- 종묘 재배업센터는 그간의 연구 기술개발 결과를 바탕으로 친어를 구입, 대량 생산

- 양식 대상 어종은 이를 어업인에게 판매한다.

4. 현장견학

- 해수 취수 및 기반 시설 견학

- 시기적으로 종묘생산은 완료한 상황이고, 현재 전북 만 종묘 생산을 시행 중
- 전북 선별 작업 현황 청취

■ 미야기현 谷川浜前田 마을 굴 어장 견학

- 참 석 자 : 관계자 2명 참석
방문단 - 총 15명 참석
- 견학시간 : 2005.11.25 12:30 ~ 13:30 (총 1시간)
- 견학장소 : 굴 박신장 견학
- 세부내용
 - 미야기현은 일본 전국 어업생산량의 597만 톤 중에서 약 40만톤을 차지하여 북해도에 다음으로 전국 제2위를 차지하고 있음
 - 특히, 굴 양식은 히로시마와 더불어 전국에서 가장 많은 생산을 기록하고 있음
 - 굴 양식은 어협(漁協)에 면허되는 어업권어업으로서 어협 구성원인 어업인이 행사를 하는데, 개별양식→공동가공→공동출하되는 형태를 취하고 있음
 - 행사되는 면적은 개별 어업인의 능력에 따라 양식면적을 달리하고 있음(우리나라의 경우는 굴 양식이 대부분 개인면허가 되고 있는 것과는 대조적임)
 - 통상 공동가공은 어업에서 운영되는 가공공장에서 이루어지는데, 지역 여성(주부 등)을 파트타임(1일 8시간 4,000엔~5,000엔의 일당)으로 고용하고 있음.
 - 또한 굴을 가공 전후에 살균작업을 하여 위생관리에 철저한 대응을 하고 있으며, 가공형태는 저차 가공(통상 생굴로서 판매)되거나, 고차 가공(훈제품)되는 경우도 있음
 - 개별 어업인은 공동 가공된 굴을 경매를 통해 판매를 하는데, 통상 판매금액에서 가공장이용료, 일당, 제수수료를 공제한 금액을 본인의 수입이 됨
 - 박신작업이 끝난 굴 패각은 어협에서 일괄적으로 회수하여 주변 산지에 매몰하고 있음.

■ 미야기현 자원관리형 어업에 관한 현지 방문 소감

① 방문한 미야기현, 시험장, 그리고 재배어업센터에서의 방문자에 대한 준비가 철저하고, 매우 친절하였음. 해당 공무원의 자기 맡은 분야의 철저한 전문가적 기질이 돋보였음.

② 자원의 관리를 위하여 미야기현과의 지속적인 유대관계를 유지하며, 기술교류, 공동 관심사에 관한 상호 협력 체제의 구축이 이루어져야 하겠음

③ 자원관리에 대한 일본 어민의 의식과 우리나라 어민의식과는 많은 차이가 있으므로 자원관리에 대한 지속적인 홍보와 교육이 필요함

④ 일본의 경우 방류용 종묘는 재배어업센터나 공공기관에서만 생산하고, 민간인은 양성용 사업을 주로하고 있다. 우리나라도 건강하고, 유전적으로 다양성이 높은 종묘를 방류하기 위해서는 방류용 종묘만을 생산하는 전문업체의 육성이 필요함.

⑤ 현종합수산개발연구 센터의 시설을 볼 수 있는 견학코스가 이색적 이였음. 국민에게

알리고, 서로 협조하려는 기반이 조성되어 있다는 인상을 깊이 받았음.

⑥ 미야기현의 대표적인 양식대상 수산물 중에 하나인 굴 양식장 현황을 둘러보고 우리의 현실과의 큰 차이 점을 느낄 수 있었음. 그들이 지키는 기본적 질서 즉, 고효율과 환경친화적 양식기법 등에 공감하였다. 하나의 예로 굴 양식장의 기본 배치 즉 대부분이 부자식 양식 시설의 사이의 거리(최소한 50 m)를 준수하며 정돈된 시설을 볼 때 너무도 우리와 다른 점을 확인 할 수 있었다. 이번 출장에 동행한 어민 및 일선 행정 공무원들이 보다 새로운 마음 자세와 각오로 각자의 역할을 수행하여야만 한다는 각오를 다짐하는 기회이기도 하였다.

⑦ 마지막으로 일본의 3대 명승지에 들어가는 마쓰시마(松島)를 미야기현이 갖고 있어 많은 관광객이 방문함에 따라 바다의 양식장은 물론 마을의 작은 어항도 잘 정돈되고 풍요로운 분위기를 느낄 수 있었다. 관광과 연계하여 수산업이 발전할 수 있는 기반이 조성되어 있다는 사실을 마음 깊이 되새길 수 있는 짧은 시간이었다.

III. 입수자료 목록

번호	자료명	저자	발행년도	발행형태	비고
1	미야기의 수산업	미야기 현수산부	2004. 3	팸플릿트	
2	미야기현의 사계절	미야기 현	2005. 1	“	
3	미야기현 수산공사 요람	미야기 현 수산부	2005.	“	
4	미야기현 수산가공연구소	미야기 현	“	“	
5	재배어업	“	“	“	
6	미야기현 어병지도종합 센터	“	“	“	
7	수산연구개발센터 요람	“	2005.	“	
8	넙치의 방류효과에 관하여	(재) 수산공사	2004, 5	보고서	
9	현재배어업센터 요람	현 재배어업센터	2005.	팸플릿트	
10	센다이만의 가자미 친어 보호에 관한 자원관리	수산연구개발 센터	2005.	보고서	
11	내일을 향한 바다의 자원을 가꾸자	현 재배어업센터	2005.	팸플릿트	
12	바다를 풍요롭게	미야기 현	2005.	“	
13	미야기현 관광 안내	미야기 현	2004.	“	

여 백

**홍보 · 언론보도 및
논문 발표 자료**

여 백

1. 홍보 및 언론보도 자료

보도구분		제 목	주요내용
일자	보도지		
2. 1	제주일보	포스코, 신형 강제어초 개발	특히 한국해양연구원이 2002년부터 경남 통영 인근 바다목장 해역에서 조사한 결과 신형 강제어초는 어초의 가장 중요한 역할인 어집효과가 뛰어나 투입지점의 수심에 따라 조피볼락, 감성돔, 돌돔, 난류성 어종인 능성어, 용치놀래기, 인상어 등이 다양한 어종이 출현한 것으로 나타났다.
3. 15	연합뉴스	통영 바다목장해역 수산자원관리수면지정, 고시	그간 경남도는 수산자원관리수면 지정을 위해 해양수산부, 한국해양수산개발원, 한국해양연구원, 통영시 및 어촌계 대표 등과 수차례 걸친 협의를 거쳐 지정범위와 지정기간, 제한사항 및 허용 행위 등을 협의하였고, 협의 사항을 토대로 2005.3.14 통영바다목장해역 2,000ha중 기 보호수면으로 지정된 540ha를 제외한 1,460ha를 "기르는 어업육성법"제10조의 규정에 의거 수산자원관리수면으로 지정하였다.
3. 24	연합뉴스	남해안 바다목장 자율 어업 실천결의대회	앞서 한국해양연구원 김종만 박사가 통영 바다목장 해역을 수산자원관리수면으로 지정한 목적과 향후 운영 방향에 대해 설명한다.
4. 25	KBS뉴스 YTN 동아일보 경향신문 매일경제 파이낸셜뉴스 데일리서프라이즈 edaily goodday 경북일보 스포츠투데이 대전일보	盧대통령...통영바다목장, 한산대첩 유적지 방문	노 대통령은 23일 오후에는 통영시 '바다목장'을 방문해 한국해양연구원 연구팀을 격려하기도 했다.
5. 3	국정브리핑 한국농어민신문	통영바다목장 3단계 사업착수	해양수산부는 한국해양연구원과 통영바다목장 3단계 사업에 대한 연구용역 계약을 체결하고 이달부터 본격적인 개발에 들어간다고 3일 밝혔다

보도구분		제 목	주요내용
일자	보도지		
5. 6	국정브리핑	통영 바다목장 3단계 사업 착수	올해부터 2006년까지 84억원 투입, 한국해양연구원과 용역 체결
5. 30	동아일보	[TV 하이라이트/30일] '바다, 그 끝없는 프론티어	통영 바다목장의 핵심기술과 성과를 통해 국내 주요 연안의 바다 목장화가 가능한지 알아본다. 또 안산 한국해양연구원에 위치한 이어도 기지 상황실을 소개하고 해양과 기상현상 등에 대해서도 소개한다. 그리고 미래자원으로서 해양심층수의 고부가가치를 진단한다.
5. 31	한겨레	수산자원 관리 '바다목장' 사업 통영 등 5곳 시범운영	바다목장이란 종묘 생산 및 방류, 어획에 이르기까지 수산자원을 인위적으로 통제·관리하는 과학적인 생산관리 시스템을 통해 환경친화적인 울타리 없는 양식업을 실현하려는 시설을 말한다. 정부가 1998년부터 2010년까지 1589억원의 사업비를 들이고 한국해양연구원을 주관연구기관으로 정해 시범사업을 추진하고 있다.
5. 31	연합뉴스	충남도 '해양수산 발전전략 심포지움' 가져	▲ 제2주제 "바다목장 사업과 충남수산의 미래"(명정구 한국해양연구원 책임연구원)
7. 12	SBS	생방송 모닝와이드	통영바다목장 민어양식 소개
7. 26	SBS 뉴스	생활과 경제	[코리아의 힘] 바다목장의 푸른 꿈
10. 6	연합뉴스 뉴스와이어	국가균형발전위원회, '연구·지원기관 혁신성공사례' 발표회 개최	KIST 지능로봇센터, 생산기술연구원 디지털설계센터, 해양연구원 바다목장화연구사업단, 서울대 초미세생체전자시스템연구센터, 인하대 컴퓨테이션널일렉트로닉스센터, 전북대 산학협력처, 강릉해양생물산업진흥원, 순천향대 신가공기술혁신센터, 생명공학연구원 바이오벤처센터 등 총 9개 기관은 과학기술부장관 표창을 받았다.
12.12	대덕넷	과학마을을 찾아서 한국바다에 '과학혁명....통영 바다목장'	바닷속 음악틀고, 인공어초 심어... '어민의 천국'

2. 통영 바다목장 현장 홍보 및 방문인사

방문일	방 문 인 사	목 적	인원(명)
1.30	PSB부산방송	신어부지리 연속기획 촬영	4
2.24	강릉 티티카카	홍보촬영	3
3.2	대전 SBS	바다목장 촬영	4
3.14	해수부자원조성국장 외	현장방문	5
3.19	IGFAK한국지사	낚시관련 촬영	6
3.30	해수부 차관보 외	현장방문	14
4.2	부경대 교수	현장견학	1
4.4	국회의원 김명주 외	현장방문	5
"	청와대	현장방문	2
4.8	진해해군 장성 외	현장방문	4
4.9	안산 주민	현장견학	20
4.13	FTV	바다목장 촬영	3
4.18	제주방송	바다목장 촬영	4
4.22	해양연 원장님 외	현장방문	6
4.23	대통령 외	현장방문	14
5.12	강원도립대학	현장견학	39
5.13	EBS방송	바다목장 촬영	4
5.17	국회농림해양수산위농, 농협	현장방문	23
5.20	중국청도 해양연구소	현장방문	8
5.23	바다목장 평가단	현장점검	15
6.3	수산과학원, 제주방송	인공어초 촬영	3
6.17	경남도립자원연구소장 외	현장방문	20
6.30	KBS창원	민어관계촬영	3
7.8	SBS모닝 와이드	민어 촬영	3
7.23	SBS방송	바다목장촬영	3
8.3	국회 사무처서기관	현장방문	3
8.5	해수부 목장 담당사무관 외	현장방문	1
8.9	과기부 감사관 외	현장방문	5

방문일	방 문 인 사	목 적	인원(명)
8.10	강릉대 학생	현장견학	7
"	경상대 교수 외	인공어초 실태견학	3
8.12	YTN방송	바다목장촬영	3
8.21	부산시 주민외	바다목장견학	40
8.29	울릉해양심층수 사장 외	현장견학	6
9.14	KBS방송	민어 촬영	3
9.23	MBC방송	민어음향촬영	2
9.24	한양대학생	음향녹취	5
"	안산카톨릭단체	현장견학	40
10.6	경남도청 수산담당관 외	현장방문	5
10.11	통영시청 자원담당 외	현장방문	1
10.14	강릉대 학생 외	현장견학	5
10.22	안산 주민	현장견학	35
10.25	수협중앙회 경영평가 요원	현장방문	2
11.1	과기부 공공이사회 이사장	현장방문	10
11.4	나이지리아 부대사 외	현장방문	2
11.11	해수부목장 담당과장님 외	현장방문	3
11.17	아시아 국제협력단	현장견학	15
11.23	중국 각성 수산담당관	현장방문	15
11.23	일본 4개현 수산담당 및 내국인	현장견학	32
11.25	상명대교수 외	현장견학	1
11.30	대덕 넷 기자외	취재	1
12.1	부경대 학생	현장견학	56
12.1	군산대 학생	현장견학	16
12.7	MBC 방송	목장지역의 유어관계 촬영	3

3. 논문발표

제 목	논문분류	게 재 지	참여 연구원
통영해역에 서식하는 아프르불가사리의 발생 기간 및 형태	논문학진(등재)	Ocean Science Journal, 40(3), 177-182.	백상규 박홍식 이순길 윤성규
음향을 이용한 통영바다목장 해역에 있어서의 수산자원조사	Pro(F)(국내)	2005년도 춘계 학술대회 논문집 pp37-41	황두진 정순범 손용욱 김은호 강돈혁
나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향	논문학진(등재)	한국양식학회, 18(2), 122-129	오승용 조재운
바다목장화 사업의 자원 및 환경복원	Pro(F)(국내)	2005 해양환경보전활동 강화를 위한 교육 워크숍 pp61-65	명정구 김종만
해양목장 자원적 개선	Pro(초록)(국제)	International forum on marine science & Technology and economic development 2005 pp223-223	명정구
수중음향을 이용한 거머리말 서식지의 분포 조사	Pro(F)(국내)	2005년 추계 해양학회 학술발표대회 pp207-210	강돈혁 라형술 김종만 나정열
상업적 불락 종묘생산에 따른 수질환경의 변화	Pro(초록)(국내)	2005년 한국양식학회 추계학술발표대회 논문요약집, 1(1),43-43.	오승용 노충환 박대원 이소광 명정구 김종만

제 목	논문분류	게 재 지	참여 연구원
통영해역에서 식물플랑크톤군집 의 환경요인의 영향	논문학진(국내)	Ocean and Polar Research, 27(1): 15-24. 2005.	이진환 정승원 김종만
통영 바다목장 해역의 염양염류 및 화학적산소요구량 분석	Pro(F)(국내)	한국환경생물학회 2005추계학술발표대회, pp130	김경은 김미선 이진환 한영희
Rapid Detection of Vibrio parahaemolyticus in the Marine Ranching Ground of Tongyeong Coastal Water	Pro(F)(국내)	2005년 한국환경독성학회. 한국환경 생물학회 공동 추계 학술대회	방효주 이진환 김종만 김말남

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 해양수산연구개발사업의 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 해양수산연구개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가 과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.