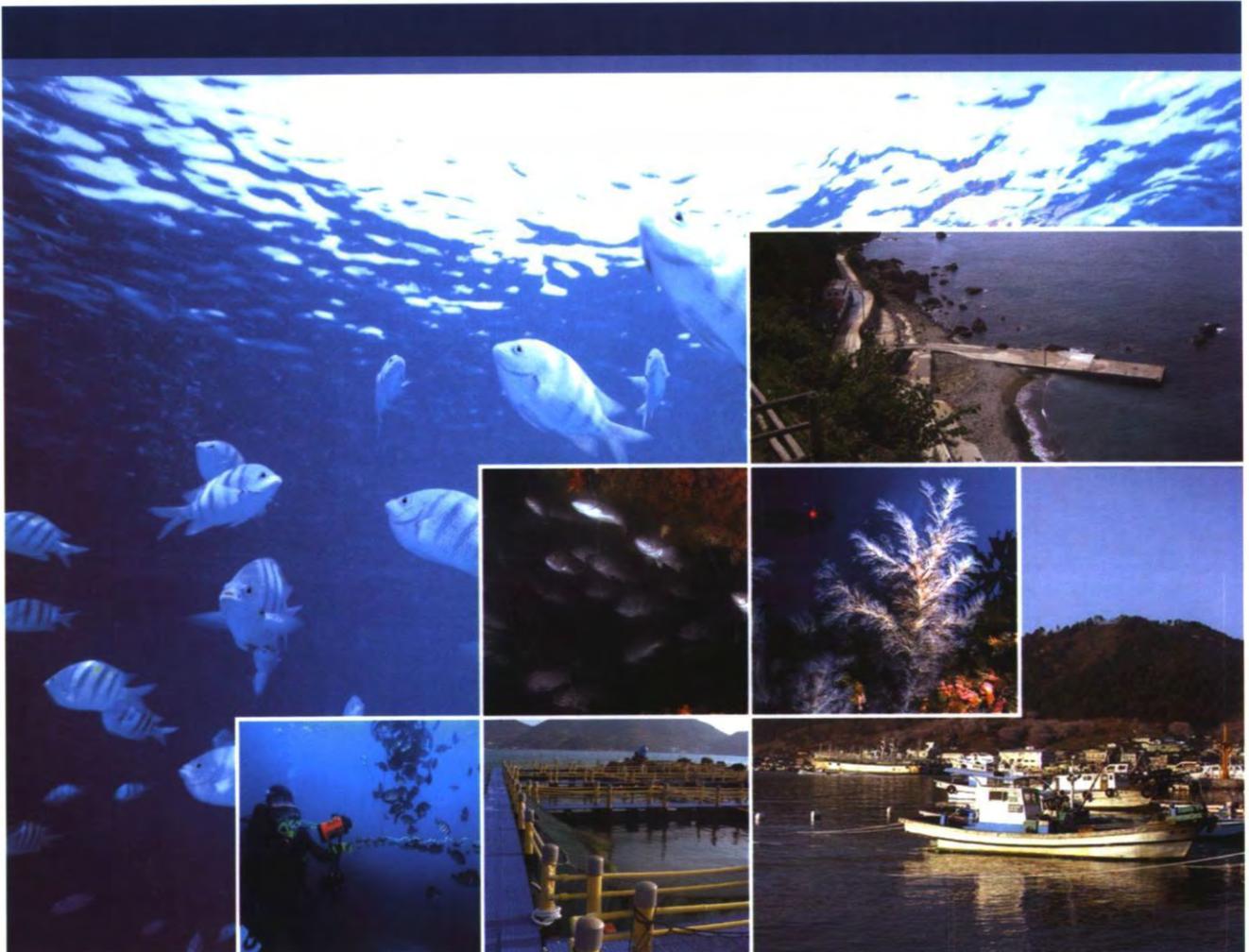
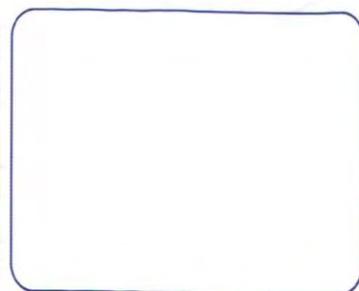
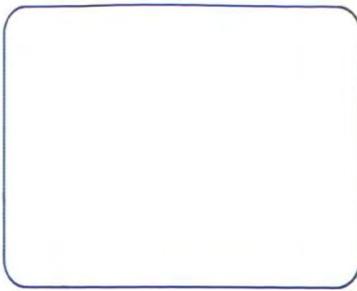


# 통영해역 어업형(정착성) 바다목장 기술지침서

## Marine Ranching Manual





Marine Ranching



# MANUAL

## Contents

■ 서 언	4
■ 바다목장이란?	5
■ 바다목장 기술 로드맵	6
■ 기술지침서	15
1. 서론	16
2. 대상선정	17
3. 지침서의 구성	18
■ 생태특성 평가	19
1. 해양환경 특성평가 기술	20
2. 생태계 모델활용 기술	28
■ 어장조성	35
1. 해조장 조성 기술	36
2. 인공어초 어장조성 기술	46





■ <b>자원조성</b>	<b>51</b>
1. 방류용 우량종묘의 생산 및 판정기술	52
2. 방류어종의 중간육성 기술	60
3. 방류 기술	68
4. 음향 순치 기술	78
5. 자원량 평가 기술	84
6. 자원관리 기술	90
■ <b>이용 · 관리</b>	<b>95</b>
1. 바다목장 이용, 관리 기술	96
2. 바다목장 기술정보 구축방안	106
■ <b>부록</b>	<b>115</b>
I. 생태특성 평가 기술	117
II. 생태계 모델 활용 기술	203
III. 인공어초 어장조성 기술	265
IV. 해조장 조성 기술	295
V. 음향 순치	317
VI. 바다목장 이용 · 관리	325



Marine Ranching Manual

## 서 언 Marine Ranching Manual

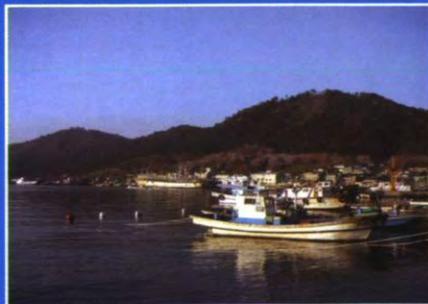
연안의 생물 자원은 후손에게 물려주어야 할 중요한 유산 중 하나이다.

우리나라의 연근해는 연안 오염 가중과 남획으로 인해 심각한 자원 고갈에 직면하고 있다.

1970년대 이후 연안 어장의 생산성 회복을 위해 인공어초 시설과 방류사업을 실시하고 있지만 친환경적이고, 생태 관리 측면의 종합적 자원 조성 방안이 시급히 요구되고 있다.

1980년대부터 향상된 양식업의 기술도 제경비 상승과 어장의 장기간 이용에 따른 관리부실로 인해 경제성을 잃어가고 있다.

따라서, 어업 소득 향상 및 어촌 사회 기반을 조성할 목적으로 포괄적인 연안 자원 증대 및 관리시스템이 구축된 연안 어장을 만들기 위해 각 해역을 대상으로 바다목장 사업을 추진하게 되었다.



## 바다목장이란?

바다목장은 일정한 연안어장에 인공구조물(인공어초, 해중립어초 등)을 투하하여 수산자원의 산란 및 서식장을 조성하고, 건강한 종묘를 방류하여 자원증대를 도모하는 것임  
여기에 합리적인 이용관리체제를 적용함에 따른 어업소득 향상은 물론 국민들의 연안공간 이용 욕구를 충족시키기 위하여 미래지향적이고 종합적인 어업시스템임과 동시에 연안 입체공간 활용시스템임

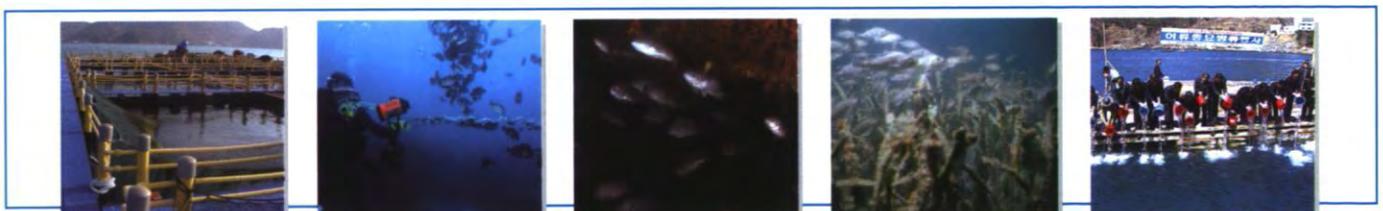
## 바다목장의 필요성

- 어장오염, 남획에 따른 연근해 생물 자원감소
- EEZ 확대에 의한 원양어장 축소
- 수산물 생산성 정체로 인한 어촌의 존립기반 약화
- 수산물의 안정적 공급을 위한 새로운 개념의 기르는 어업기술 개발 필요
- 통합 해양 행정기반을 통한 관리 어업 생산 시스템 구축
- 국민들의 연안공간 이용욕구 증대

## 사업목적

시범바다목장을 조성하고 제반기술을 개발하여 연안 해역 수산자원 회복을 통한 어업생산력 향상과 신해양 레저 공간개발로 어민 소득증대에 기여하고, 해양에 대한 새로운 비전제시를 통한 국민 삶의 질적 향상을 꾀함

## 사업개념





## ● ● ● ● ● ● ● ● ● 바다목장 기술 로드맵

바다목장의 개념은 아직 세계적으로 명확하게 정립돼 있지는 않다. 용어에서 보여주듯이 다분히 축산업에서 사용하는 목장이란 개념을 도입한 것이라 할 수 있다. 따라서 바다목장 또는 바다목장어업의 개념을 정리하기로 하겠다.

축산업에서 사용하는 목장, 목축 및 목축업의 개념을 바다목장어업에 적용하여 개념을 정의해 보기로 한다. 우선 장소적 의미에서의 바다목장(marine ranch)은 “바다에서 일정한 시설을 갖추어 물고기를 전문적으로 방목하여 사육하는 곳”이라 정의할 수 있다. 축산업에서의 목축에 해당하는 “바다목장에서 물고기를 키우고 번식시키는 일”에 대한 명확한 용어는 없다고 하여도 과언이 아니다.

그러나 일반적으로 장소적 의미에서의 목장보다 광의적 개념으로 사용하는 바다목장화

(marine ranching)가 이러한 의미를 가진다고 할 수 있다. 마지막으로 바다목장어업(marine ranching fisheries)은 “바다목장에 물고기를 방목하여 키우고 번식시키는 사업”이라고 정의할 수 있다. 그러므로 바다목장은 장소적 의미에서 marine ranch로 한정하여 사용하여야 하고, marine ranching은 바다목장에 물고기를 투입하여 키우고 번식시키는 것까지 포함한 개념으로 바다목장화로 하는 것이 바람직할 것이다.

이상의 바다목장의 개념 정의는 축산업에서 사용하는 개념을 사전적으로 적용한 것에 불과하다. 어업이라는 관점에 초점을 맞추어 정의를 내린다면 “해양의 자연생태계 조성을 포함하여 자원의 방류로부터 어획에 이르기까지 인위적으로 통제하고 관리하는 어업생산시스

[표 1] 어업자원의 이용·관리 비교

구 분		양 식	자원조성	바다목장
자원 배양	환경용량조절	인위적	자연적	자연적
	자원첨가	유	유	유
	양성방법	인위적	자연적	자연적
자원 이용 관리	대상수역	소	대	중
	이용주체	특정인	불특정 다수	특정화 가능
	관리주체	개인	공공기관	공공기관, 수익자
	사업비규모	소규모	대규모	중규모
	투자회수기간	단기	장기	장기
	어획량조절	가능	불가능	상당히 가능

템”이라고 규정할 수 있다. 따라서 종전의 어로어업, 양식업 및 자원조성을 통한 자원이용·관리방법과 비교하여 보면 자연생태계를 적극적으로 보전하면서 어업생산 및 어업경영을 영속적으로 안정시키는 것이라고 할 수 있다[표 1].

한편, 바다목장의 정의를 도식화하면 [그림.

1]에서 보는 바와 같이 자원배양(환경조성, 자원첨가) → 양성 → 어장관리 → 어획의 과정을 거치게 된다. 따라서 종전의 어로어업과 비교하면 잡는 어업에서 기르는 어업으로, 자원약탈적 어업에서 환경친화적 어업으로, 어획통제불가능 어업에서 어획통제가능 어업으로 바뀌게 된다.



[그림. 1] 바다목장의 개념도



[그림. 2] 바다목장과 전통적 어업의 비교

이러한 바다목장의 결과는 생산면에서는 지속적인 생산이 가능해지고, 경영면에서는 안정성을 확보할 수 있으며, 어촌 사회적 측면에서는 바다를 통한 다양한 수요의 창출로 풍요로운 어촌의 실현이 가능해진다.

한편 기존의 어로어업, 양식업 및 자원조성 사업과 비교하면 [그림. 2]와 같다. 즉 종전의 어장생산력을 제고시키기 위한 자원조성 사업에서는 자원조성 기술을, 어로어업에서는 어획기술을, 그리고 양식업에서는 자원의 양성 기술을 포함한 양식기술을 지원 받게 되는 관계가 성립한다.

다만 바다목장의 경우는 이러한 기존의 각종 어업기술을 종합적으로 적용함과 아울러 어군행동 제어, 환경조절 등을 위하여 첨단기술 및 장비가 투입된다는 면에서 구별된다.

## I. 추진배경

우리나라 연근해어업은 1950년대부터 1970년대까지 어선 동력화와 합성섬유 어망

사용, 각종 어로장비의 개발 등으로 인하여 어획 강도가 급속히 커지고, 이로 인한 전 해역에서의 남획으로 많은 어업자원이 급격히 감소하고 있다. 우리나라의 경우 1980년대 중반을 정점으로 대부분의 연근해 어업자원이 생물학적 남획상태에 있어 한계에 봉착하였다고 하여도 과언이 아니다.

또한 1980년대부터는 해산어류를 주종으로 하는 양식업이 시작되었고, 특히 1990년대 들어서 급신장 하는 추세를 보였다. 그러나 해산 어류양식업도 최근 중국으로부터 값싼 양식물의 대량 수입 등으로 인한 양식물의 가격 하락 및 정제, 사료비를 비롯한 양식비용의 상승으로 경제성이 점차 떨어지고 있는 실정이다. 또한 양식어장의 장기 이용과 관리부실로 인한 연안어장의 오염은 또 다른 문제점을 낳고 있다.

한편 연안어업은 어장의 특성상 특정 개인에 의한 독점적인 이용이라든가 대규모 어획이 불가능한 어업이다. 한편, 근해어업의 발달, 연안의 오염가중, 양식업의 증가 등으로 인한 연안어장의 생산성 저하는 연안 어업인들의 소득기

반 상실과 동시에 어촌사회의 생존기반을 무너뜨리는 결과를 초래할 수도 있다.

따라서 1970년대부터 연안의 수산자원을 조성하기 위한 방안으로 인공어초 시설 사업과 수산종묘의 방류사업을 실시하고 있어나 그 효과는 미미한 실정이므로 우리나라 연안자원을 적극적으로 조성하기 위한 바다목장 사업이 필요하다. 우리나라도 1977년부터 기르는 어업의 실현을 목적으로 바다목장 사업의 실시가 논의된 바 있으나, 해산 어류 양식업의 발달에 따라 실현을 보지 못하였다. 그 후 20년 지난 1998년부터 경남 통영시 산양읍 앞바다에 바다목장을 조성하기 위한 사업이 출발하게 되었다.

### 가. 기술상의 문제점

바다목장의 생태계의 구조, 기능, 동태를 명확히 밝히기 위해서는 이를 구성하는 모든 구성요소들을 포함하여 작업하여야 하나, 현재까지 해당전문가의 부족 및 자료 부족 등으로 구성요소를 포함한 연구 작업에 어려움이 있어 이에 대한 기술상태가 매우 취약한 상태이고, 인공어초의 배치, 조성, 음향급이기, 자동수질관측기 등의 설치 및 구입에 많은 시설비가 필요하며, 재료의 부식에 의한 고장, 계류 문제, 이들 설치를 위한 작업에 전문요원의 필요와 수중작업으로 인한 위험성을 내포하고 있다.

또한 본 연구에 필요한 기술은 대부분이 1차 산업 및 생물과 연결되어 있어 기술 개발에 많은 취약점을 안고 있다. 방류 후 자연 여건의 변화에 따라 대상 생물이 다른 해역으로 이동할 가능성이 높아 대상 생물을 원하는 곳에 정착시키는데 기술적으로 많은

어려움이 있다.

그리고 바다목장에서 수용력을 파악하는데 어려움이 있어 얼마를 방류하고, 어떤 기능성 시설물을 얼마만큼 넣어야 될 것인지를 알기가 매우 어렵다. 또 종 다양성을 위해 여러 종류의 친어 및 종묘 확보에 기술적 어려움이 있다.

### 나. 사회경제적인 문제

바다목장을 조성할 경우에는 다음과 같은 기존 어업 및 어업인과의 경합관계가 발생하게 되는 문제점이 있다.

첫째, 목장을 위해 설치된 각종 기기와 방류된 어종의 보존을 위한 해당지역의 어민이나 어촌계의 협조에 어려움이 있다.

둘째, 바다목장은 양식어업보다 타인의 지배를 배제할 수 있는 배타적 독점권이 약하다는 것이다. 즉 양식어업은 소규모 수역에 대해서 시설물을 설치하고 동 시설물 안에서만 대상품종을 양식하기 때문에 타인으로부터 보호를 받을 수 있다. 그러나 바다목장은 자연에서 대상어종을 양성하기 때문에 그 수역이 광대하여 물리적으로 시설물을 설치하고 타인지배를 배제한다는 것은 경제적으로나 사회적으로 불가능하다. 따라서 울타리 없는 양식어업인 바다목장에서 타인의 이용을 어떻게 배제시킬 것인가가 문제이다. 어로어업과 자원조성 사업의 경우는 이용자가 불특정 다수인이기 때문에 이러한 배타적 독점권 문제가 발생하지 않지만, 바다목장은 양식어업의 특성을 일부 가지게 됨으로 문제가 발생하는 것이다.

셋째, 목장을 조성, 이용 및 관리하는 주체와 범위에 관한 문제이다. 바다목장 수역

은 대상어종의 특성에 따라서 다르겠지만 일반적으로 대규모 수역이다. 또한 바다목장은 울타리가 없는 양식장이기 때문에 조성된 많은 양의 자원이 목장 밖에서 타인에 의해 어획될 것이다. 물론 한 국가의 관할수역을 벗어나지 않는 경우라면 국가적으로는 큰 문제가 없으나 개인이나 단체가 주체가 될 경우 많은 경제적 손실이 초래되어 투자가 어려워진다. 따라서 대상어종의 완전한 통제가 물리적으로 불가능하다는 특성 때문에 개인 및 단체와 공공기관이 공동투자하고 특정 수역에 대해서만 개인이나 단체에 이용 및 관리권을 부여하는 방안 등이 검토되어야 할 문제이다.

넷째, 목장의 조성, 이용 및 관리문제와 관련하여 바다목장 대상어종이 아닌 자원생물을 체포하는 기존 어로어업자를 어떻게 배제시킬 것인가의 문제가 있다. 제도적으로 양식어업처럼 특정 시설구역내로 지정하여 이용을 제한하는 방안 등이 검토되어야 한다.

다섯째, 바다목장의 경제성이 높아져 이를 이용하고자 하는 어업인이 증가하게 될 경우 이를 어떻게 조정할 것인가의 문제가 있다. 현실적으로 바다목장은 육지에서 가까운 수역에 시설되는 경우가 일반적이는데, 동 수역은 어촌계를 중심으로 이용하고 있다. 따라서 관련 어촌계원들이 신규로 진입하고자 할 경우 진입을 무제한 자유롭게 하면 개별 소득이 줄어 경합의 문제가 발생한다.

## II. 추진 전략

### 가. 목표

바다목장 사업은 EEZ 경계획정에 따라

연근해어업을 전면 재편하는 중요한 정책수단으로서의 역할을 하는 것이다. EEZ 경계획정에 따라 연안과 근해수역을 구분하여 근해수역에 대해서는 기업적 자원관리형어업을 실현시켜 국제적으로 경쟁력을 갖추도록 하여야 할 것이고, 연안은 완전한 해양생태계 관리를 통한 기르는 어업을 실현하는 것이다. 따라서 바다목장 사업의 목표를 다음과 같이 설정할 필요가 있다.

- 국가적으로 철저히 관리할 수역범위 설정(연근해 수역 구분)
- 연안어업을 바다목장어업 체제로 재편
- 완전한 해양생태계 관리와 기르는 어업의 실현
- 어업생산의 과학화 실현
- 상업적 어업과 레크레이션 어업의 균형 발전

### 나. 사업개요

#### (1) 사업의 목적

- 통영해역에서 시범적으로 바다목장을 조성하고, 제반 지원기술을 개발하며,
- 이를 바탕으로 바다목장 사업을 전국적으로 확대하여 연안자원의 획기적 증대와 어민소득 증대에 기여하고, 해양에 대한 새로운 비전제시와 국민 삶의 질을 향상시킨다.

#### (2) 사업기간 : '98 ~ 2006년(9년)

#### (3) 사업수행기관

- 한국해양연구원, 국립수산과학원, 한국

해양수산개발원, 경상남도, 통영시

(4) 대상해역

- 통영시 산양읍 일대(20km<sup>2</sup>)

(5) 대상품종

- 주 대상종 : 조피볼락, 볼락, 전복

- 추후검토종 : 감성돔, 참돔

다. 연구개발 목표 및 내용

(1) 목 표

통영바다목장의 목표는 어업소득 증대, 수산물 안정공급, 어촌지역의 진흥에 있다. 이를 위하여 어장조성, 자원조성 및 목장이용·관리에 관한 개발이 필요하다.

(2) 기본 방향

통영바다목장 사업의 기본방향은 첫째, 산·학·연의 관련 기능이 유기적으로 결합된 사업추진체제 구축을 통해 관련 기술의 효율적인 개발 및 활용으로 실용화를

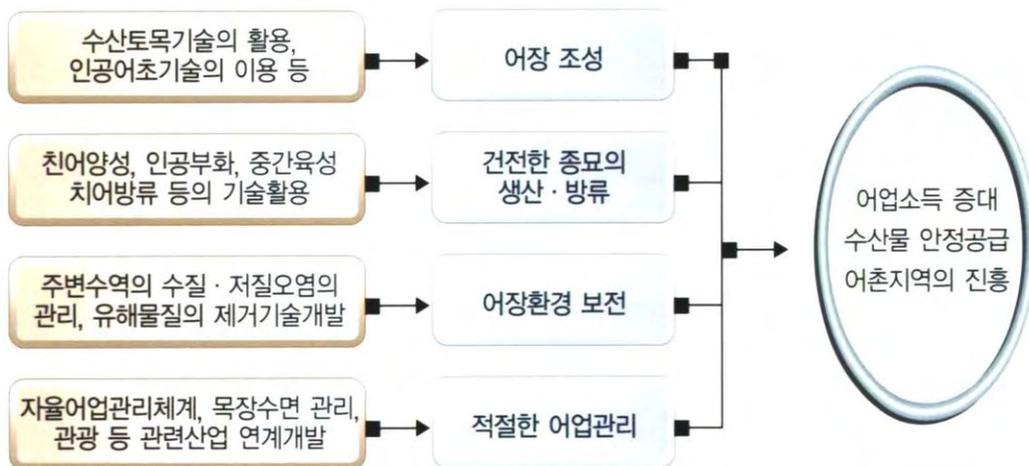
촉진하는 것이다. 둘째는 시범실시 해역인 통영에서 바다목장사업을 성공시켜 이를 전국 연안으로 확대하여 복지어촌 건설기반을 구축하는 것이다[그림. 4].

라. 세부추진전략

(1) 통영바다목장 사업추진단 구성운영

본 추진단 구성의 목적은 관련 연구기관의 기능을 통합하여 법률적·제도적·기술적 지원을 통한 사업의 조기실용화를 촉진하기 위한 것이다. 주요 내용은 사업계획수립, 연구개발사업의 조정 및 연계, 관련기술 개발과제 도출, 분야별 추진방향 검토, 행정 및 기술 자문 등이고, 구성은 해양수산부, 해양연구원, 한국해양수산개발원, 대학, 국립수산물과학원, 시·도 및 시·군, 기업, 어업인 등이다.

연구개발 추진체제는 관련기능의 통합에 의한 연구의 효율적 추진, 외국전문가의 협력에 의한 고도기술 습득, 기업의 참여를 통한 개발된 기술의 조기실용화, 자



[그림. 4] 통영바다목장의 연구개발 목표

(2) 산·학·연 연구체제



치단체 또는 희망지역단체에 대한 기술이전 등을 실현하기 위하여 크게 3개 분야로 연구분야를 나누어 실시하고 있다. 구체적으로는 환경관리, 어장조성, 자원증대기술 분야는 한국해양연구원, 자원관리 및 인공어초 분야는 국립수산과학원, 그리고 바다목장 이용·관리분야는 한국해

양수산개발원이 담당하고 있다.

마. 단계별 추진 계획

사업기간은 1998년부터 2006년까지 총 9년으로 계획하여 사업타당성을 평가하였다. 물론 이러한 계획은 정부의 사정에 의하여 변경될 수도 있다[표. 4].

[표 4] 통영바다목장 추진단계

구분	1단계	2단계	3단계
기간	1998-2000	2001-2004	2005-2006
목표	바다목장 기반조성	바다목장의 조성	사후관리·효과분석
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 환경수용력 평가</li> <li>· 대상생물 생리·생태조사</li> <li>· 대상어종 음향순치 기술개발</li> <li>· 어장조성 기술개발 및 도입</li> <li>· 사전 사회경제적 타당성 및 제도적 지원체제 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 환경관리 및 모니터링 시스템 적용</li> <li>· 대상종 방류 및 행동특성 조사</li> <li>· 음향순치 기술 적용</li> <li>· 어장조성시설 완료</li> <li>· 투자전략 수립 및 바다목장 이용·관리 방안 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실해역 환경 모니터링 시스템 가동</li> <li>· 방류종의 어획관리</li> <li>· 음향순치 기술의 실용화</li> <li>· 어장조성시설 관리</li> <li>· 어구·어법개발</li> <li>· 사후 투자효과 분석 및 종합개발계획 수립</li> </ul>

[표 5] 통영바다목장 분야별 투자계획

(단위 : 백만원)

구 분	합 계	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
합 계	24,020	1,100	1,400	2,710	3,430	3,120	3,120	3,180	3,180	2,780
어장조성비	9,046	283	453	720	1,560	1,250	1,250	1,310	1,310	910
자원조성비	2,370	0	150	420	300	300	300	300	300	300
연구개발비	12,604	817	797	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570

바. 투자계획

7-10cm이다.

(1) 분야별 투자 계획

시설 투자 중 어장조성시설은 인공어초 (약 5,500개), 해조장(약 60개), 음향급이기 2곳, 환경제어 모니터링 시스템(6곳) 등이다. 자원조성은 해당해역 수온에 적합하며 이동성이 적은 정착성 어종으로서 확정된 어종은 조피볼락, 볼락, 전복이며, 이 종을 중심으로 약 750만미를 방류할 계획이다[표 5, 6].

방류어종은 치어를 구입하여 약 3개월 간 순치를 통하여 중간육성을 한 다음 실해역에 방류를 하고 있으며, 방류크기는

(2) 자금조달 계획

자금조달은 본 사업이 정부의 시범사업인 만큼 국가의 예산이 약 86%로 대부분이다. 그 외에 지방자치단체에서는 시설 투자와 종묘방류에 대한 투자를 일부 담당하고, 어업인들은 시설보다는 종묘방류에 투자하는 것이다. 한편 민간부문은 새로운 자원조성사업을 위한 시설에 대한 투자를 유도하였다. 통영바다목장에서는 강제어초 부문에 대하여 기업이 참여하는 계획이 수립되어 있다[표 5, 6].

[표 6] 통영바다목장 재원별 투자계획

(단위 : 백만원)

구 분	합 계	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
합 계	24,020	1,100	1,400	2,710	3,430	3,120	3,120	3,180	3,180	2,780
국 비	20,800	900	1,000	1,800	2,500	3,000	3,000	3,000	3,000	2,600
지방비	1,780	200	400	430	450	60	60	60	60	60
어업인	540	0	0	30	30	60	60	120	120	120
기 업	900	0	0	450	450	0	0	0	0	0

## 통영바다목장사업 기본 사업 추진체계

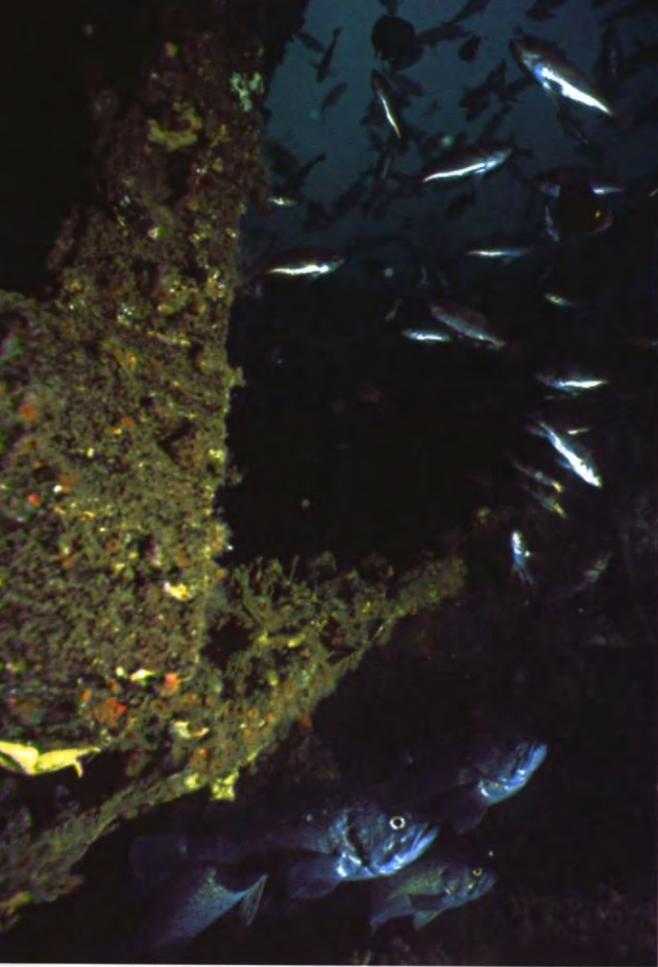
내 용	1단계			2단계			3단계		
	연	차							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. 생태계 특성 조사									
• 생태계 모델 개발	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2. 어장 · 자원조성									
가. 어장조성									
• 해중림 조성 및 사후관리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
• 인공어초									
- 개발	○	○	○	○					
- 어장설치		○	○	○	○	○	○	○	○
나. 자원조성									
• 건묘생산기술개발	○	○	○	○					
• 중간육성기술개발	○	○	○	○					
• 음향순치		○	○	○	○				
• 방류기술 및 효과조사		○	○	○	○	○	○	○	○
• 자원조사 및 모니터링	○	○	○	○	○	○	○	○	○
• 자원특성	○				○				○
3. 이용관리									
• 사전 경제성 평가	○								
• 사업계획 및 투자계획	○	○	○						
• 해역 이용관리 체제 수립			○	○	○	○			
• 사업효과분석 및 사후관리체제 구축							○	○	○



# 기술지침서

---

1. 서론
2. 대상선정
3. 지침서의 구성



# ● ● ● ● ● 기술지침서

## ▶ ① 서론

통영 바다목장의 본 연구를 마무리하는 시점에 기술지침서 작성은 지금까지 다년간 연구 사업을 진행하면서 현장 실험을 통하여 얻어진 결과와 자료의 분석을 바탕으로 확립된 여러 기술을 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 사업 시행 및 관리하는 주체가 되는 실무부서에서 사업시행에 활용도를 제고하기 위하여 기본 단위 사업별로 기술지침을 수립하였다. 여러 분야의 연구 성과, 즉 과정과 결과를 통하여 얻어진 내용에 경험적 자료까지를 포함

하여 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.

현재 작성 중인 기술지침서가 바다목장 사업의 기술 표준화 작업의 일환으로 생각할 수 있다.



## ② 대상 선정

### 가. 기술 목표

본 기술 지침서 작성의 기초적인 근거는 지금까지 여러 가지 측면에서 조사된 결과를 바탕으로 서로 밀접하게 영향을 주고받는 생태계 내의 각 요소들 간의 연관성을 파악하여 바다목장을 조성한 결과를 바탕으로 한다. 연안생태계 환경관리에 대한 환경 친화적 기법을 적용하고, 어장조성, 자원조성, 그리고 효과적인 이용,관리를 위한 가장 효율적인 방법론을 제시하려는데 의의를 둔다.

### 나. 대상 기술 내용

본 지침서는 생태특성 평가, 어장조성, 자원조성, 이용,관리 등 4분야로 구분하였다.

생태특성 평가 분야는 해양환경 특성 평가 기술과 생태계 모델 활용 기술로 구성되어 있다.

어장 조성 분야는 인공어초 어장조성 기술과 해조장 조성 기술로 구성되어 있다.

자원조성 분야는 건강종묘 생산 기술, 중간육성 기술, 음향순치 기술, 방류 기술, 자원량 평가 기술, 자원관리 기술로 구성되어 있다.

그리고 이용, 관리 분야는 바다목장 이용,관리 기술 및 정보 종합관리 기술로 구성하였다.

마지막으로 각 분야별 기술 특성에 따라 필요한 분야는 각각의 기술 부록을 활용하여 보다 세밀히 내용을 기술하였다.

### ③ 지침서의 구성

#### 바다목장 조성을 위한 기술지침서 구성안

◎ 기술이 추구하는 목표

◎ 기술의 필요성

◎ 기술의 내용

◎ 기술의 현장 적용 절차(기술 적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

◎ 기술의 적용 방법

◎ 적용 결과 및 활용 방안

◎ 종합 평가



# 생태특성 평가

## 1. 해양환경 특성평가 기술



# 해양환경 특성평가 기술

## ① 기술이 추구하는 목표

1990년대 말부터 시작한 통영바다목장은 2007년 6월 사업기간이 종료됨에 따라 정부는 물론 각급 지방자치단체 및 많은 어민이 관심이 집중되고 있다. 또한 통영바다목장과 유사한 바다목장이 동해의 울진, 서해의 태안, 남해의 여수, 북제주 해역에 설정됨에 따라 해양생태계의 조사를 위한 시료채취 및 분석 방

법의 적합화, 분석 방법의 표준화, 자료해석의 객관화 등이 뒤따라야 한다. 이 기술지침서는 바다목장 해역의 조사방법 및 결과 도출의 표준화를 위해 통영바다목장 해역에서 조사된 생태계 조사 자료를 바탕으로 적절한 조사방법의 지침서를 제안하는데 목표를 두고 있다.

## ② 기술의 필요성

바다목장의 어장조성을 위한 시설물들은 생산성 향상과 해양환경 보전기능을 가져야 할 뿐 아니라 안전성과 경제성이 확보되어야 한다. 시설 설치로 조성된 환경의 적합성을 모니터링하고 어장을 관리하는 방식을 소개할 수

있는 통합 관리방안이 제시되어야 한다. 이와 같은 내용에는 바다목장 해역의 수질, 먹이단계별 생물량/생체량, 인공어초 및 해조 숲을 포함한 어류의 서식지 복원, 조성 및 관리는 수산자원의 증대와 기술선진화를 위한 핵심적

인 요소이고, 바다목장 사업의 최종 목표는 유용한 생물자원을 증대시키는 것이 포함되어야 할 것이다. 따라서 친환경적 측면에서 생태계 특성을 장기간 모니터링 할 수 있는 환경 조사

방법론의 표준화 방법을 제시하여 타 바다목장에 적용시키므로 자원증대 사업과 서식지 조성사업에 따른 효과를 배가하는 시스템 개발이 필요하다고 판단된다.

### ▶ ③ 기술의 내용

#### 가. 수서 생태계 구성요소

- 해양 환경요소의 분석: 수온, 염분, 투명도, pH, DO, COD, Chlorophyll-a, 영양염류, 중금속, 환경호르몬
- 생물학적 구성요소: 미생물(병원성 미생물 포함), 동/식물플랑크톤, 연성저서동물

#### 나. 저질생태계의 구성요소

- 물리화학적 환경요소: 퇴적물의 입도, 산화환원 전위(ORP), 총 유기물(TN, TP, COD)

### ▶ ④ 기술의 현장적용 절차(기술적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

#### 가. 조사 지점 선정

##### (1) 물리-화학적 환경요인

- ① 바다목장 해역의 넓이와 해류의 이동 경로를 고려하여 정점을 정하여야 할 것이다. 즉, 바다목장 해역의 조사 정점을 사방 등간격, 또는 거리가 멀어질수록 정점간 거리가 증가하는 방식으로 선정해야 하며, 바다목장의 영향권에서 먼 곳에 대조정점(control station)을 정하여 비교해야 할 것이다.

- ② 표층, 중층 및 저층에서 시료를 채취한다.

##### (2) 미생물

- ① 바다목장 해역의 넓이와 해류의 이동 경로를 고려하여 정점을 정하여야 할 것이다. 즉, 바다목장 해역의 조사 정점을 사방 등간격, 또는 거리가 멀어질수록 정점간 거리가 증가하는 방식으로 선정해야 하며, 바다목장의 영향권에서 먼 곳에 대조정점을 설정하여 비교해야 할 것이다.
- ② 표층, 중층 및 저층에서 시료를 채취한다(표층 시료 채취는 필수).

### (3) 식물플랑크톤

① 미생물 분야와 마찬가지로 바다목장 해역의 넓이와 해류의 이동 경로를 고려하여 정점을 정하여야 할 것이다. 즉, 바다목장 해역의 조사 정점을 사방 등간격, 또는 거리가 멀어질수록 정점 간 거리가 증가하는 방식으로 선정해야 하며, 바다목장의 영향권에서 먼 곳에 대조정점을 배치하여 비교해야 할 것이다.

② 수심별 조사 정점은 20m 이내에서는 표층과 저층을, 그 이상의 수심에서는 표층, 중층 및 저층에서 시료를 채취한다.

### (4) 동물플랑크톤

① 생태계의 에너지 흐름에서 미생물/식물플랑크톤과 밀접하므로 미생물과 식물플랑크톤의 조사 정점과 동일하게 선정하여야 한다.

② 동물플랑크톤의 채집은 수직으로 예인해야 한다.

### (5) 연성저서동물

① 저질의 특성에 따라 격자망 구조 또는 조류의 흐름을 고려한 남북, 동서 구조의 동일 격자망 구조의 정점을 선정한다.

② 격자 크기는 퇴적상을 고려하되 반경 1km의 정도 제안, 격자수는 지형 특성과 물리 특성을 고려한다.

## 나. 조사 방법 선정

### (1) 물리-화학적 환경요인

- 환경은 수온, 염분, 투명도, pH, DO, COD, chlorophyll-a, 영양염류, 중금속, 환경호르몬, 퇴적물의 입도, 산화환원 전위(ORP), 총 유기물(TN, TP, COD)은 해양환경공정시험방법(해양수산부 1998)에 준하며, 일부 항목은 본 지침서에 제시한 방법을 따른다.

### (2) 미생물

- 박테리아 총 개체수, 활성이 있는 박테리아의 개체수(live cell count), 박테리아 생산력, 병원성 미생물을 실험한다.

### (3) 식물플랑크톤

① 생태계의 구조와 기능을 규명하기 위하여 정량 및 정성분석을 하여야 하며, 특히 소형종의 정성분석은 반드시 전자현미경에 의한 동정이 필수적이다.

② 식물플랑크톤을 고정할 때 고정액은 정성분석에 따라 선택적으로 사용한다.

③ 생태계의 기능을 이해하기 위하여 각종 생태학적 지수(species diversity index, dominant index, evenness index, richness index)를 구한다.

### (4) 동물플랑크톤

① 채집방법은 수심에 따라 수심이 얇은 서해안과 남해안에서는 수직채집이 적합하지 않으며, 조류가 빠른 해역에서는 표본의 정량화에도 어려움이 있다.

따라서 서해안과 남해안 조사에서는 수평채집과 경사채집을 표준채집방법으로 추가하는 것이 바람직하다.

- ② 채집망(네트)은 우리나라 해역에서 과거 조사 자료와 비교평가를 고려한다면 망목 200 $\mu\text{m}$ 와 330 $\mu\text{m}$ 를 표준망목으로 채택하며, 정량분석을 위하여 넷트에는 유량계를 부착해야 한다.

#### (5) 연성저서동물

- 연성저서생물의 채집 기기는 서해와 같은 니질이 우세한 경우 van Veen Grab을 사용하고, 동해에서는 Smith & McIntyre Grab을 사용한다. 다만, 그랩의 경우 대형저서동물만을 대상으로 하므로, 초대형 저서동물이나 수산생물 채취를 위해서는 형망이나 드렛지 조사를 병행하여야 한다.

### 다. 조사 기간 및 회수

#### (1) 물리·화학적 환경요인

- 환경요인 중 일부는 국립수산과학원에서 정기적으로 측정하는 자료를 이용하며, 바다목장 해역의 건강성과 수질을 나타내는 항목은 계절별로 조사하되, 특정 환경요인의 영향을 받는 환경

요인은 조사 횟수를 늘려야 할 것이다.

#### (2) 미생물

- 일반 미생물은 최소 계절별 1회 이상 실시하며, 수온이 높은 여름철에는 일반미생물을 포함 병원성 미생물을 조사한다.

#### (3) 식물플랑크톤

- 일반적으로 1년에 4회 계절별 조사가 바람직하나 식물플랑크톤에 의한 적조가 발생하는 여름철-가을철에는 조사 주기가 짧을수록 신뢰성 있는 자료를 제시할 수 있다.

#### (4) 동물플랑크톤

- 동물플랑크톤의 수직이동능력과 해역에 따른 조류의 영향 그리고 산란시기와 월별 종조성의 차이 등을 고려하여야 하나 현실적으로 식물플랑크톤과 같은 조사 시기가 바람직하다.

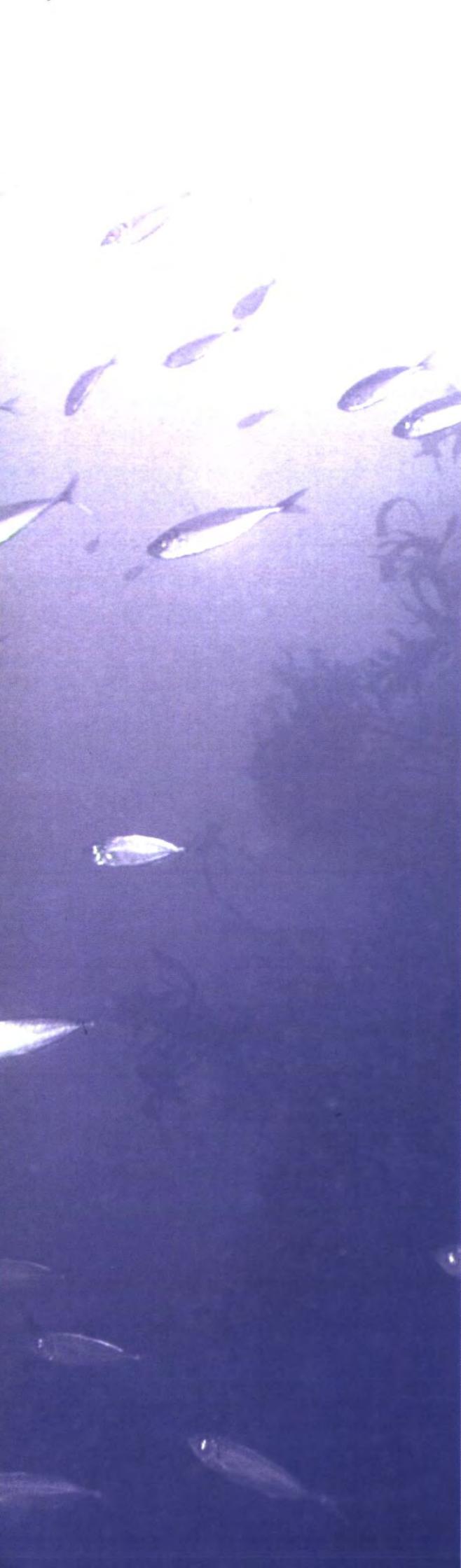
#### (5) 연성저서동물

- 계절별 1회 이상 조사가 이루어져야 하며, 군집구조변동은 장기적 변화요인이므로 최소 정점 하에서 지속적인 모니터링이 반드시 수행되어야 한다.

## ▶ 5 기술의 적용방법

아래의 각 항목별 조사방법 및 조사 시기에 대하여 위에서 언급하였으며, 이 조사기술을

동해, 남해, 서해 및 제주해역 바다목장에 적용하여 다음의 자료를 제시하여야 한다.



#### 가. 물리-화학적 환경요인

- 물리-화학 환경요인 중 수질의 등급을 나타내는 영양염류 중 총인과 총질소의 농도를 기준치와 비교하여 제시하며, 또한 수질등급이나 해역의 건강을 나타내는 COD, 환경호르몬, 중금속 등도 기준치와 비교한 자료를 제시하여야 한다.

#### 나. 미생물

- 계절별, 층별, 정점에서 얻어진 자료는 타 목장해역의 조사 결과(병원성 미생물 포함)와 비교될 수 있는 값으로 통일하여 제시한다.

#### 다. 식물플랑크톤

- ① 식물플랑크톤의 정량 및 정성분석 자료를 제시하여야 하며, 출현종의 증빙 자료로 사진을 제시하여야 한다.
- ② 적조발생시 원인생물 및 발생 원인을 규명하고, 생태학적 지수를 제시한다.

#### 라. 동물플랑크톤

- ① 정량 분석을 종수/개체수로 자료를 정리하며, 특히 서식밀도 자료는 Q-mode matrix를 제시한다.
- ② 우점종의 분포 특성 및 서식환경 자료를 제시하여 바다목장해역의 특성을 해석하도록 한다.

#### 마. 연성저서동물

- ① 정량 분석이 가능하도록 종 수 개체수, 생체량 자료를 정리한다. 특히 서식밀도 및 생체량 자료는 Q-mode matrix를 제시한다.
- ② 정점별 생물다양도 (H')를 제시하고, 군집간 공간 유사도를 분석한다.

## ▶ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

### 가. 물리-화학적 환경요인

통영바다목장해역에서 7년간 물리-화학적 수질은 비교적 양호하였으며, 수질환경에 결정적 영향을 주는 환경호르몬 및 중금속의 농도도 양호하였다. 이와 같은 결과를 토대로 각 바다목장해역의 기존 환경을 조사하여 조사 시기, 조사 수심 및 조사 정점의 수를 결정할 수 있다.

### 나. 미생물

해양 미생물의 개체수와 분포, 병원성 미생물을 분석하여 바다목장의 건강성을 파악하였으나 특이한 문제점은 없었다. 그러나 환경요인에 매우 민감한 미생물을 계절적으로 한정된 정점에서 조사하여야 할 것이며, 특히 수온이 높은 여름철과 초가을에 병원성 미생물을 조사하여야 할 것이다.

### 다. 동/식물플랑크톤

동/식물플랑크톤군집의 7년간의 계절적, 표·저층 및 10개 정점에서 조사 결과는 물리적 환경인 수온에 의해 영향을 받고 있었으며, 수층별 차이는 명백하며, 정점의 특성은 10개의 정점이 각기 특성을 갖고 있지 않고 하나의 수괴의 특성을 띄고 있었다. 적조는 가을철에 집중적으로 발생하나 바다목장에 결정적인 영향을 미치지 않았다. 따라서 이들의 조사는 계절적, 층별로 조사하되 정점은 최소화하여 적용하여야 할 것이다.

### 라. 연성저서동물

연성저서동물의 조사는 단기적으로 특정해에 수행되었기에 이 결과를 토대로 적용 및 활용을 언급하기에는 무리가 있다. 다만 저질의 특성과 퇴적환경이 빠르게 변화하지 않는 특성을 고려하여 연성저서동물의 시공간적 분석을 실시해야 할 것이다.

## ▶ ⑦ 종합평가

통영바다목장 해역에서 장기간 조사 결과를 토대로 시료채취 및 분석방법의 적합화, 분석방법의 표준화, 조사의 시기, 조사수심 및 정점의 수, 자료해석의 객관화 등에 관하여 지침서를 제시하였으나, 이를 토대로 타 바다목장해역에 적용시키는데는 한계가 있을 것이다. 왜냐하면, 각 바다목장에서 추구하는 궁극적

인 목적이 다르며, 또한 해역의 수질상태, 넓이, 수심, 해류의 이동, 수질, 주변 환경, 저질의 특성 등 많은 해양환경이 다르기 때문이다. 따라서 각 바다목장 해역의 특성을 고려하여 조사 시기, 조사정점을 탄력적으로 정하여야 할 것이다. 다만, 통영 바다목장 시범사업을 통하여 검증된 물리-화학적 조사방법과 생물

(미생물, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 연성저서동물)학적 조사 방법을 지침서에 제시하였기에, 바다목장이라는 큰 목적에 부합되는 자료를 비교할 수 있을 것이다.

본 지침서는 9년간의 통영바다목장 연구 사업에서 얻어진 결과를 토대로 참여 연구진 및 국내 학자에 의해 집필/검토되었으나 공청회 등의 절차를 거치지 않았으므로 향후 바다목장 연구사업의 참여 연구자 및 전문가가 합동으로 토론회를 거쳐 표준화된 완전한 지침서를 만드는 것이 필요하다고 생각된다.



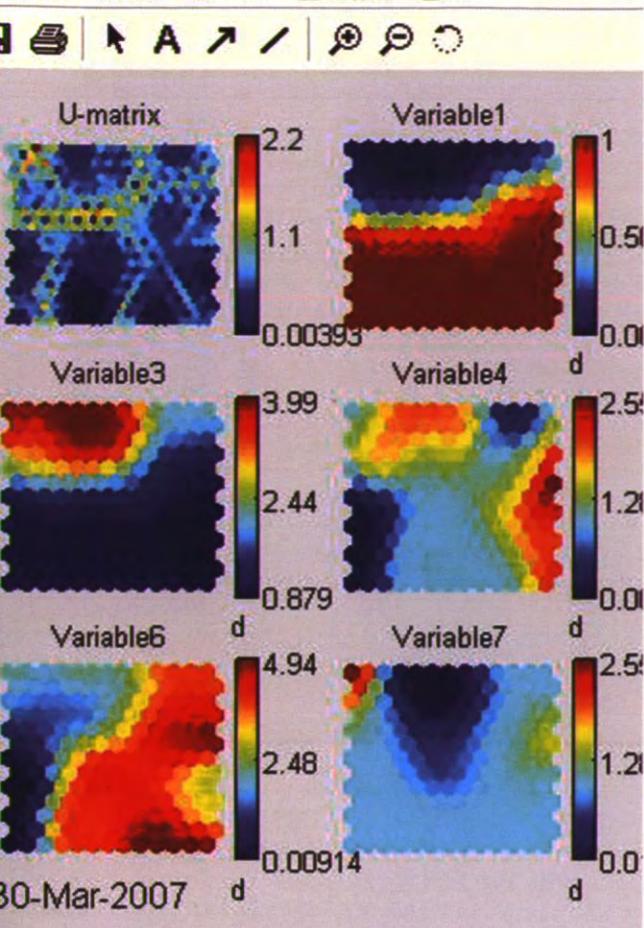
## 생태특성 평가

해양환경 특성평가 기술



# 생태특성 평가

## 2. 생태계 모델 활용 기술



## 생태계 모델 활용 기술

### ① 기술이 추구하는 목표

생태계 모델에 의한 바다목장해역의 생태학적인 구조를 파악하고 목장조성에 따르는 생태계 구조변화와 어업자원 변동을 예측함으로써

효율적으로 자원을 이용하고 관리할 수 있는 시스템을 구축하기 위함.

### ② 기술의 필요성

- 바다목장 대상종의 지속적인 이용·관리를 위한 개체군 수준의 자원평가 기술 필요
- 바다목장 생태계내 서식하는 생물의 지속적이며 안정적인 생산을 얻기 위한 생태계 기반 자원관리 기술 필요
- 바다목장 생태계 기반 자원관리를 통해 효율적인 자원이용으로 안정적인 식량보급원 확보

### 3 기술의 내용

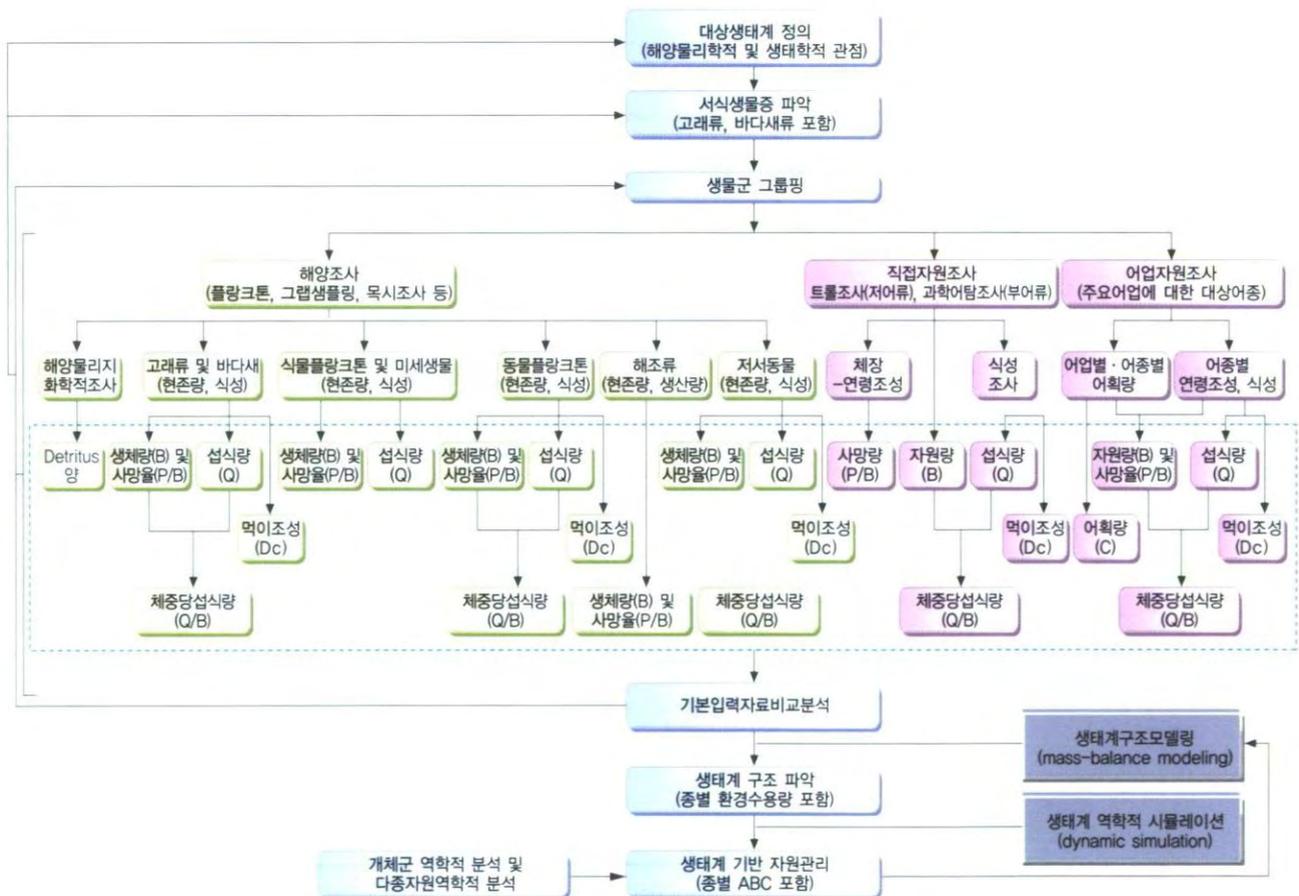
#### 가. 생태계 모델링 연구체제

생태계 모델링 연구에는 해양조사와 자원 조사, 어업조사 등 방대한 조사에 의한 엄청난 규모의 자료가 분석에 사용되며 이를 바탕으로 다양한 생태학적 파라미터들이 추정된다. 이들을 입력자료로 사용하여 생태계 구조모델에 의해 생태계의 영양단계별 구조와 에너지 흐름이 밝혀지고 환경수용량 (carrying capacity)이 추정된다. 이러한 분석결과를 사용하여 생태계 기반 자원관리 방안이 마련될 수 있다. 이 관리방안에 대한 효과는 다시 생태계 역학적 시뮬레이션 모

델에 의해 측정되고 생태계의 구조가 어떻게 변형되는지를 예측할 수 있다. 생태계 모델링의 구체적인 연구단계와 해당 단계에서의 연구목표는 [그림. 2-1]에 자세하게 나타내었다.

#### 나. 개체군 모델링 연구체제

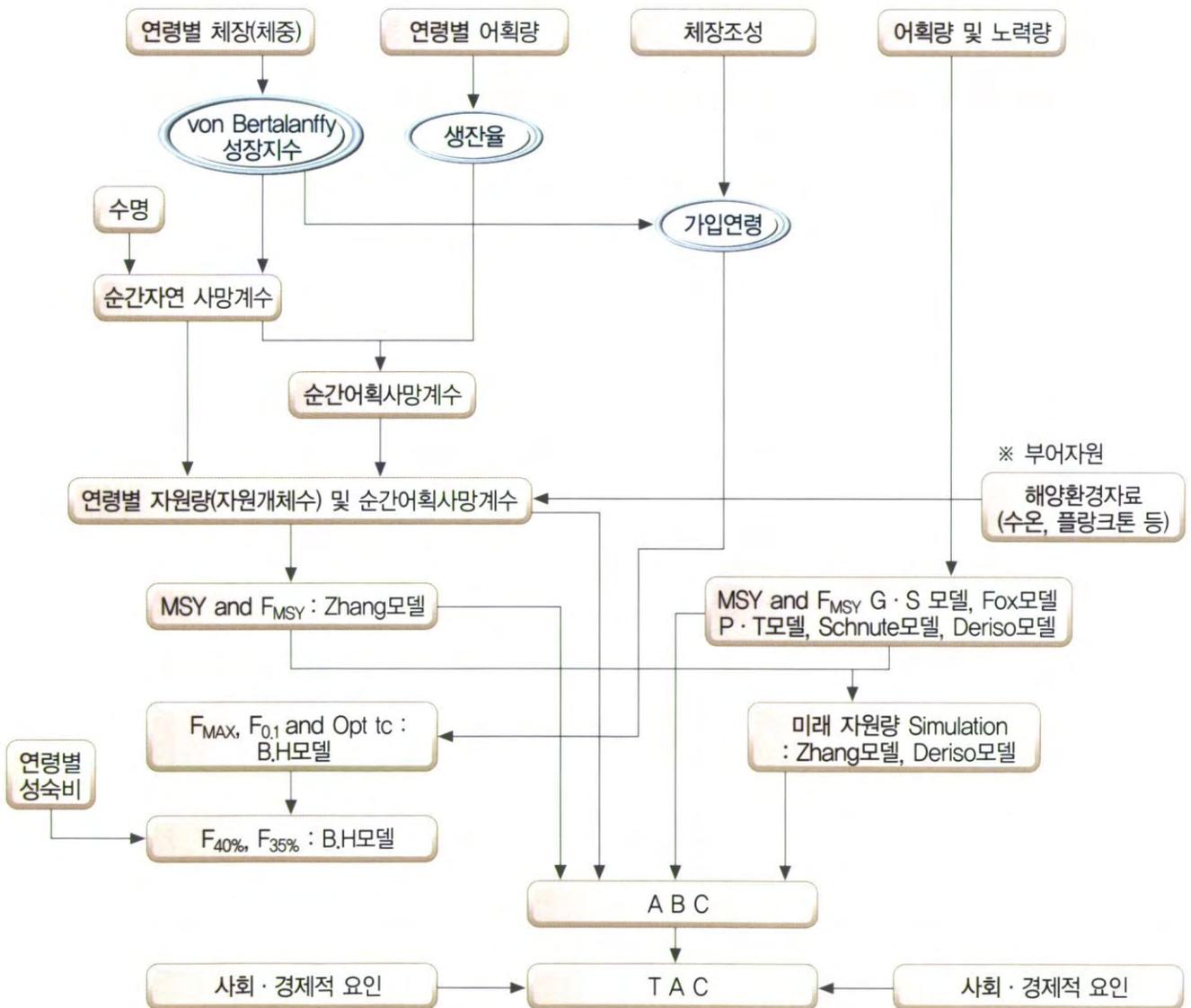
수산자원관리는 최근까지 목표자원을 효율적으로 이용하기 위하여 개체군 수준에서 분석된 자원상태를 양적으로나 질적으로 바람직한 수준으로 변화시키거나, 혹은 유지시키는데 목표를 두어 왔다. 수산자원을 평



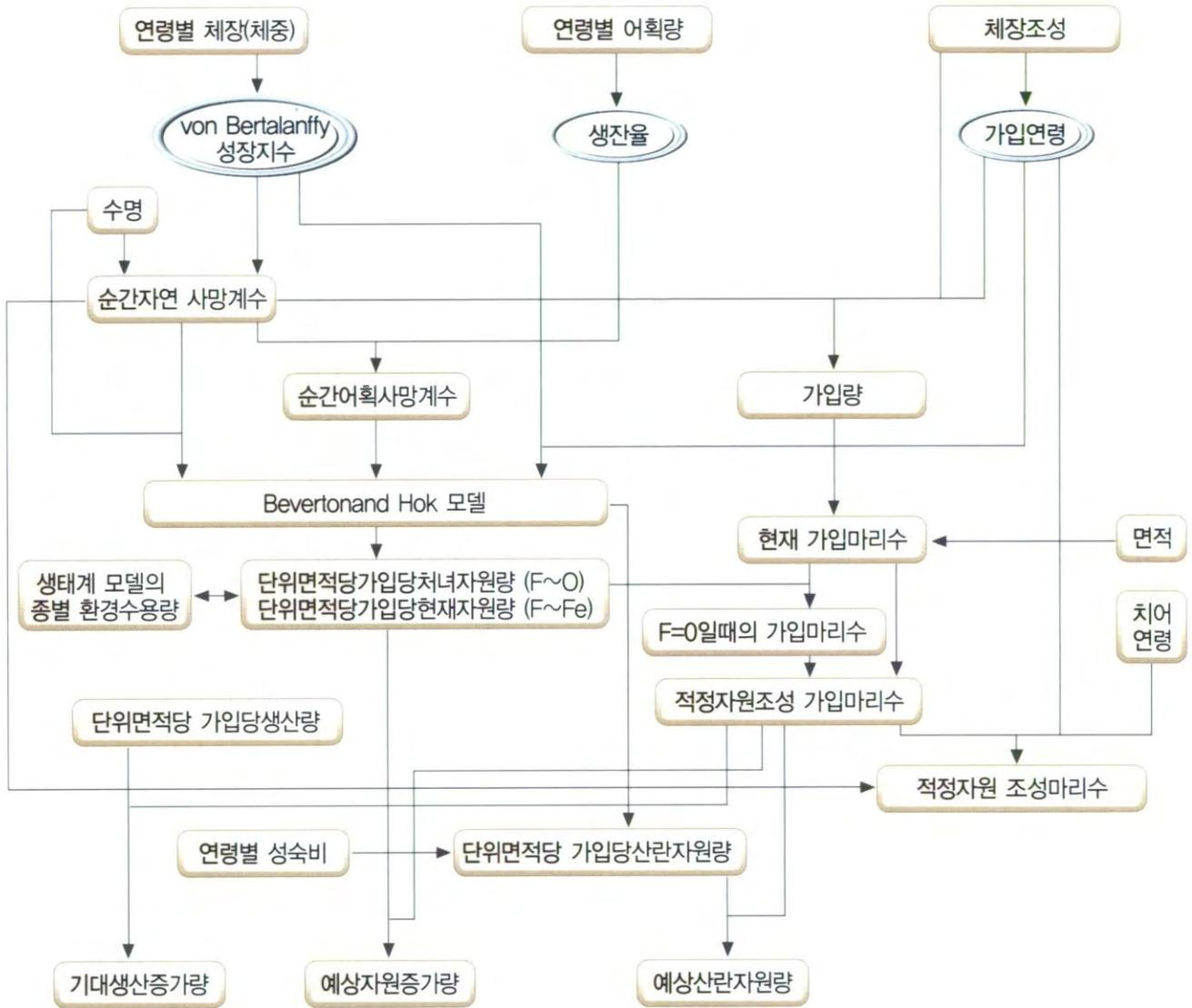
[그림. 2-1] 생태계 모델링 연구체제

가하고 관리하는데 있어서 필수적인 요소는 자원량이 어떻게 변동하는가를 파악하고 그 자원에 가해지는 어획의 영향을 알아내는 것이다. 수산자원의 자원량을 파악하는 데는 여러 가지 방법이 있지만 연령별 어획량 자료를 사용해서 연령별 자원량을 추정할 수 있는 코호트 분석법이 가장 많이 사용되고 있다 (Zhang, 1987). 한편, 수산자원에 대한 어획의 영향을 추정하는 모델에는 크게 두 가지 계열, 즉 잉여생산량 모델

(surplus production models)과 가입당생산량 모델 (yield per recruit models)이 있다 (Zhang, 1987). 또한, 두 계열만큼은 자주 사용되지 않지만 제한된 어종에 대해서 사용되고 있는 재생산 모델 (spawner-recruit models)의 계열도 역시 자원평가에 있어서 중요하다. 개체군 모델에서의 구체적인 연구단계와 해당 단계에서의 연구목표는 [그림. 2-2, 2-3]에 자세하게 나타내었다.



[그림. 2-2] 자원관리 모델 체계도

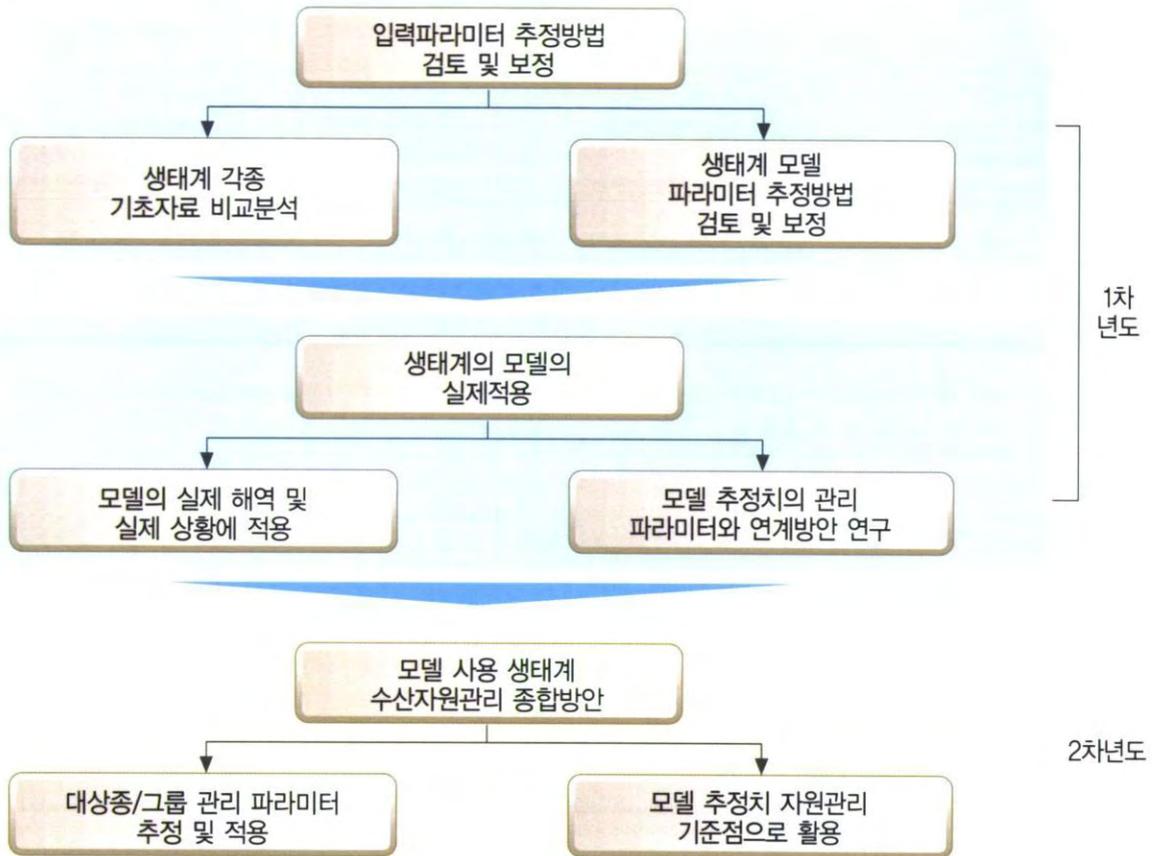


[그림. 2-3] 자원관리 모델 체계도

생물군별 기본 입력파라미터 추정에 있어서 생태계모델링에 적용할 수 있는 자료의 수집이 필요하나, 현재는 각 연구팀별로 연구가 수행되어 자료의 호환이 잘 이루어지

지 않고 있는 실정이며 향후 유사 연구에 있어서 각 연구팀의 자료 수집 및 분석 시 생태계모델에 적용 가능한 자료의 수집과 DB 구축이 필요하다.

## 4 기술의 현장적용 절차



## 5 기술의 적용방법

### 가. 대상종/그룹 관리 파라미터 추정 및 적용

- 대상종/서식생물종의 연령사정을 통한 자원생태학적 특성치를 추정하고 대상종/그룹의 자원량을 사용하여 환경수용력 추정.
- 대상종/그룹의 환경수용력 및 적정어획 사망계수를 고려하여 바다목장 대상종/

그룹의 관리파라미터 추정.

- 대상종의 환경수용력 및 자원량을 고려하여 지속적인 대상종의 이용이 가능한 적정어획량 산정.

### 나. 생태계/개체군 모델 추정치의 자원 관리 기준 활용

- 직접자원조사와 어업자원조사에 의해 구해진 생태학적 특성치 (성장계수, 사

망계수, 가입연령, 연령별 성숙비)를 사용하여 Beverton and Holt 모델에 의해 단위면적당가입당치녀자원량 · 현재자원량 · 생산량 · 산란자원량을 계산하고, 가입량, 치어연령, 면적을 이용하여 적정자원조성마리수를 계산함. 따라서 계산된 단위면적당가입당현재자원량 · 생산량 · 산란자원량과 적정자원조성마리수를 이용하여 예상자원증가량 · 기대생산증가량 · 예상산란자원량을 추정함으로써 자원조성효과를 정량적으로 측정할 수 있음.

정관리목표인 생물학적 기준점 ( $F_{max}$ ,  $F_{0.1}$ ,  $F_{40\%}$ ,  $F_{35\%}$  등)을 계산함. 따라서 계산된 생물학적 기준점과 생태계 구조 및 기능을 고려하여 생물학적 허용어획량 (ABC)을 추정할 수 있고 여기에 사회 · 경제적 요인을 고려하여 총허용어획량 (TAC)을 산정함으로써 바다목장 내 이용가능 어업자원을 TAC 관리 체제에 의해 이용함으로써 어업자원을 높은 수준에서 유지시키면서 지속적으로 어업생산을 도모.

- 직접자원조사와 어업자원조사에 의해 구해진 생태학적 특성치와 자원량 추정치를 사용하여 어업관리를 위한 적

## ▶ 6 적용결과 및 활용 방안

### 가. 적용결과

#### (1) 생태계 기반 평가

- 생태계 구조 모델을 사용하여 바다목장조성 이전과 이후의 통영 생태계의 구조 분석.
- 생태계 내 총 에너지 흐름에 대한 대상종/그룹별 기여도 추정.
- 생태계 역학 모델을 사용하여 생태계 내 생물군의 양적 변동 메커니즘 구명.
- 대상종/그룹별 환경수용량(carrying capacity) 추정.

#### (2) 개체군 기반 평가

- 대상종의 자원량과 관리파라미터를 사용하여 바다목장 대상종의 ABC 추정.
- 대상어종의 자원조성 목표량과 Leslie matrix에 의한 수산자원변동 예측.
- 생태계 기반 자원평가 방법과 관리방법을 제시.

### 나. 활용 방안

- TAC 제도에 의한 자원관리 및 수산자원 조성 정책수립에 활용.
- 연안 생태계의 자원회복 방안 확립.
  - 바다목장 생태계에 대한 효율적 자원 관리방안 기술 수립.

## 7 종합평가

생태계 모델링에 의한 생태계 구성 생물군의 변동을 확인하여 생물자원의 이용이 생태계의 구조와 기능에 어떻게 영향을 미치는지를 충분히 이해하고, 생물군 간 상호작용을 고려한 생태계 차원에서의 자원평가 및 관리방

안이 모색 되어야 함. 또한, 향후 유사한 연구에 있어서 생태계 모델에 필요한 자료의 수집 및 분석이 명확히 이루어져야 할 것임.



# 어장조성

## 1. 해조장 조성 기술



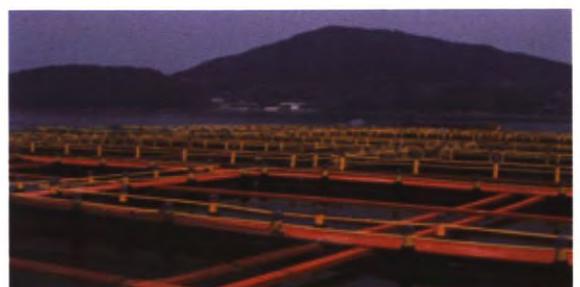
# ● ● ● ● ● ● ● ● 해조장 조성 기술

## ▶ ① 기술이 추구하는 목표

1. 탁도가 높은 통영 바다목장해역에 지속적으로 적용시킬 수 있는 녹조, 갈조, 홍조의 일년생 및 다년생에 속하는 소형종과 대형종이 혼합된 해중조림 시스템을 개발하여 이를 바다목장 현장에 적용함으로써 종 다양성이 전제되는 혼합해조장을 조성하여 통영 바다목장용 해조장 조성 기술지침을 마련하는데 있음.
2. 시범 해역인 통영해역을대상으로 1, 2단계에서 개발된 기술을 적용하여 3단계 최종년도로서의 통영 다도해형 시범 바다목장 조성완료 및 관리체제 확립.
3. 단기 모니터링을 통한 해조장 조성용 투입 구조물의 시설상태를 점검하고 통영 바다

목장용 해조장 조성 모델을 구축한 뒤, 인위적 자원첨가 및 관리기법을 통한 해조장 조성사업에 따른 효과를 검증함으로써 안정적인 해조장 조성 기술지침을 개발함.

4. 남해안의 연안 해조장 조성모델과 해조류의 종묘생산 기술 및 이식기법을 올진, 태안, 북제주 바다목장 시범사업 및 소규모 바다목장 해조장 조성에 응용할 수 있는 기반제공.



## ② 기술의 필요성

1. 다학제적 체제로 추진해 오면서 이제까지 개발된 시스템과 축적된 노하우간의 유기적인 관계를 잘 정리하여 향후 실용화 하고 이를 시범 바다목장사업 또는 지방자치단체가 추진중인 소규모 바다목장사업에 최대한 응용할 수 있는 매뉴얼의 필요성 대두.
2. 수산자원의 지속적이며 안정적인 생산을 얻기 위한 1차 생산자 기반의 생태계 자원 관리 방안을 구축할 필요성 대두.
3. 연안 생태계의 생물종을 보존하고 종간 상호관계의 평형을 유지할 수 있는 친환경적인 수산, 해양생태계의 기반 조성을 통한 연안자원의 다양성 확보.
4. 갯녹음 발생해역에서의 새로운 해조장 조성기술의 적용 필요성 대두.

## ③ 기술의 내용

1. 일본의 항만구조물 시설시에 적용된 해조장 조성사례 분석 및 기법응용.
  - 가. 해조장(海藻場)이란?
  - 나. 해조장의 환경조건
  - 다. 해조장 조성의 계획
  - 라. 암초성 해조장의 조성
  - 마. 사니성 해조장의 조성
  - 바. 모니터링 조사
  - 사. 해조장의 유지관리
  - 아. 해조초류의 생태자료
2. 동해, 남해, 제주연안에서 수행된 해조장 조성기법의 적용사례 및 성공사례 제시.
  - 가. 식해 및 경쟁생물
  - 나. 국내의 해조장 조성사례



## ▶ ④ 기술의 현장적용 절차(기술적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

해조장은 대상 종의 지리적 분포 범위 내에서 지형, 수심, 수질, 광조건(탁도 등)이나 생육기반이 해조, 해초의 생육에 적정한 것, 파도나 흐름 등의 외력조건이 생육을 저해하지 않는 것 및 경쟁종과 식해생물이 제어되는 것이 그 분포에 따라 필요한 조건이다. 따라서 해조장은 지리적 분포 범위 내에서 물리, 화학, 생물학적 조건 및 이용 상태 등의 조건이 모두 적합한 장소만이 성립 가능하다. 이와 관련 해조장의 종류와 생태적 특징[표 1-1]을 참고할 필요가 있다.

### 가. 암초성 해조장

암초성 해조장은 암초로 대표되는 생육기반에 분포한다. 그 생육기반을 둘러싸는 물리적 환경, 화학적 환경, 생물학적 환경 및 이용 상황에 따라 해조장의 분포가 결정된다.

#### (1) 해조장 조성 대상지의 기초생태계 기반 조사

- ① 수온, 염분, 투명도(탁도), 수심, 해류 및 조류, 파랑, 생육기반 및 영양염류 등 환경조사를 통해 해조장 조성을 위한 기본적인 물리, 화학적 자료를 축적한다.
- ② 초식성 동물과 기질을 피복 점유하는 경쟁생물의 종류, 밀도, 풍도 등에 대한 생물학적 자료를 축적한다.

#### (2) 해역의 이용상황

해조장을 구성하는 해조류 자체가 방류 전복이나, 소라 등의 패류자원과 루목 등 연안 어족자원회복을 위한 어업자원의 기반생물이기 때문에 해역의 이용상황을 파악해야 한다.

### 나. 사니성 해조장

사니성 해조장은 내만의 사니 해저를 생육기반으로 한다. 이 생육기반을 둘러싼 물리적 환경, 화학적 환경, 생물학적 환경 및 이용상황에 의해 해조장의 분포가 결정된다. 따라서 조성 대상지의 기초생태계 기반 조사내용은 암초성 해조장과 같다.

#### (1) 입도조성

사니성 해조장은 연안의 얕은 사니역에 분포하기 때문에 생육기반은 파랑 등 외부 힘을 강하게 받는다. 또한 해초류는 퇴적층에 지하경을 묻기 때문에 입도 조성도 중요한 환경요인이 된다.

#### (2) 저질의 영양조건

사니성 해조장을 구성하는 해초류는 뿌리에서 영양을 흡수하는 고등식물이기 때문에 저질, 특히 영양조건이 중요하다. 또한 해수 중의 영양염 농도가 일반적으로 높은 장소는 해초의 표면에 부착조류 등이 부착하기 쉽기 때문에 빛의 차단으로 인해 해초의 생육에 지장을 준다고 하는 점을 고려해야 한다.

### (다) 어업실태 파악

잘피류로 대표되는 사니성 해조장 조성 해역은 해삼과 모시조개를 어획하기 위한 저인망 어업이나 연안의 부어자원 등을 어획하기 위한 저인망 조업 등이 빈번하게 이루어지는 해역이므로 이에 대한 실태파악을 통해 해조장(잘피장) 조성 전후에 이들 어업으로 인한 피해를 막을 수 있는 조치가 필요하다.

택하는 것이 효율이 좋은 해조장 형성으로 이어진다. 어초 등을 투입하는 때에도 여름에 투입하면 굴류가 부착하는 경우가 많기 때문에 조성기반 표면기질의 투입은 대상 해조의 성숙시기에 맞춰서 설치하는 것이 바람직하다. 그 결과 미세동물이 적은 기질표면에는 대량의 해조종묘가 집적하고, 식해에 의한 피해를 받을 일이 적어 번무가 가능하다. 또한 기반 표면은 대상종으로 피복되기 때문에 다른 동, 식물의 입식은 적어진다. 이러한 논리적 근거는 해조류의 성숙 및 포자방출시기와 해조장 조성용 조립어초의 투하시기를 잘 맞춘다면 해조장 조성이 성공적으로 이루어질 수 있음을 시사하는 것으로 판단할 수 있다.

만약 해조장 조성 기반공사가 포자방출을 놓치는 경우에는 기질에 다른 생물이 먼저 입식하고 그 후 대량으로 유주자가 도달한다 해도 기질에 부착할 수 없거나 작은 갑각류 등에게 섭식당하기도 하므로 고밀도로 입식하기까지는 시간을 필요로 하게 된다. 기반 설치시기에 따라서는 해조장 형성기간이 2-3년 다른 결과가 나오므로 해역에 처녀면의 기질을 설치하고 어떻게 종묘를 빠르게 대량으로 이식하는가가 해조장조성의 성공 비결이라고 할 수 있다.

## 다. 해조장 조성계획

### (1) 계획 순서

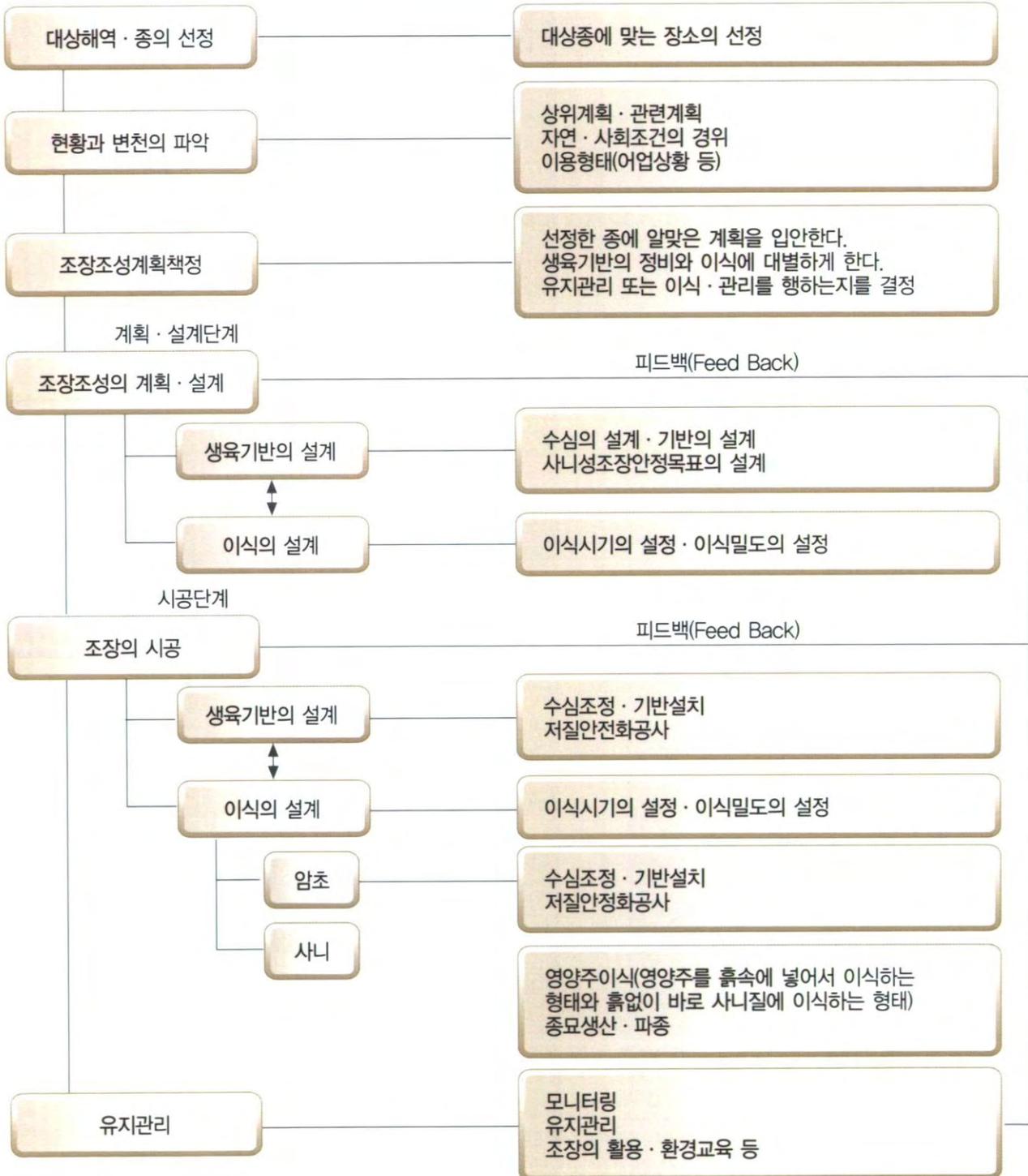
해조장의 조성계획은 대상 지역에서의 현황파악, 해조장 조성 기본계획의 책정에 대해서는 적절한 방법으로 검토하는 일이 중요하다. 해조장조성에 있어서는 공학적 기술에 의해 생육기반의 환경정비와 생물학적 기술에 의한 종묘이식 등의 기술 모두를 계획할 필요가 있다. 이와 관련 해조장 조성과 재생 및 관리에 대한 흐름도(그림. 1-1)를 참고할 필요가 있다. 해조장의 기능을 만족시키기 위해서는 이들 대상종이 생육할 수 있는 환경을 토목학적으로 정비하고 경우에 따라서는 생물학적 기술을 이용하여 종묘의 생산, 첨가, 모조의 이식을 해야 할 필요가 있다.

### (2) 기반설치시기

기반을 조성할 때에는는 설치시기를 충분히 검토해서 선택하는 것이 효율이 좋은 해조장 형성으로 이어진다. 주변 해조장에서 천연 해조 종묘의 가입을 기대하는 경우에는 기반을 조성할 때 표면 블록이나 석재를 쌓고 부설하는 시기를 선

[표 1-1] 해조장의 종류와 생태적 특징

항목 해조장명	분류	종명	생육환경		분포역	성숙 기	수명	증식방법	번무장소
			외양	중간					
모자반장	모자반과	괭생이모자반	—	—	난해성	봄	1년생	자웅배우체 → 생식 기 → 난·정자 → 수정 → 포자체	
		고사리모자반	—	—					
		S. muticum	—	—					
		쌍발이모자반	—	—					
		구슬모자반	—	—		봄, 가을	다년생		
		톱니모자반	—	—					
		큰잎모자반	—	—		가을			
다시마장	다시마과	다시마	—	—	한해성	가을	다년생	포자체 → 유주자 → 자웅배우체 → 난·정자 → 수정 → 포자체	암초
		양구스타다시마	—	—			1년생		
		애기다시마	—	—					
해중림 해조장		대황	—	—	난해성		다년생		
		감태	—	—					
		검등감태	—	—					
	미역과	미역	—	—		봄	1년생		
		넓미역	—	—					
우뚝 가사리장	우뚝가사리 과	우뚝가사리 개우무	—	—	광역 분포	주년	다년생	자웅배우체 → 조과 기·조정기 → 수정 → 과포자 → 사분 포자체 → 사분포자 → 배우체	
갈파래장	파래과	구멍갈파래 파래속	—	—	광역 분포	주년	1년생	자웅배우체 → 자웅 배우자 → 접합 → 접합자 → 포자체 → 유주자 → 배우체	
잘피장	거머리말과	거머리말(잘피) 애기거머리말 (애기잘피) 수거머리말 포기거머리말	—	—	광역 분포	봄		생식주 → 꽃·꽃가 루 → 수정 → 종자 → 실생 → 영의주 → 지하경에서 영양 번식	사니지



[그림. 1-1] 조장조성·재생 및 관리에 이르는 전체 흐름도

## 5 기술의 적용방법

### 가. 암초성 해조장

- ① 성체이식법 : 조체 전체 채취 → 운반 → 기질에 부착 → 해역에 설치
- ② 종묘투입법 : 성숙개체 또는 부분 채취 → 운반 → 망에 넣어 투입 설치
- ③ 모조채취 → 채묘 → 육묘 → 중간육성 → 이식

### 나. 사니성 해조장

#### (가) 영양주를 흙 없이 이식하는 법

영양주를 흙 없이 채취 → 주의 선별 → 이식방법의 검토 → 이식

#### (나) 영양주에 흙을 붙여 이식하는 법

영양주에 흙을 부착하여 채취 → 채취한 주의 운반 → 기계화 이식

#### (다) 화지(花枝)의 채취 → 종자 받기 → 종자의 선별 → 종자의 보존 → 발아촉진 → 육묘 → 이식

#### (라) 화지의 채취 → 종자 받기 → 종자의 선별 → 종자의 보존 → 파종

### 다. 모니터링 조사

조성시킨 해조장이 충분히 발달하고 자율적으로 해조장이 유지되기까지 해조초류의 생육상황, 성장상태와 해조장 형성 후의 기능 파악을 목적으로 모니터링 조사를 종합적, 정기적으로 실시한다.

#### (1) 암초성 해조장의 조사내용

조성 대상종의 피도, 가지 수, 엽장의 계측, 성숙, 식해상태를 조사하고 부착동식물의 상황, 출현 동식물의 상황, 어류의 출현 상황, 유용 어패류 등을 관찰한다.

(2) 사니성 해조장의 조사내용

조성 대상 잘피의 가지 수, 습중량, 엽장의 계측, 성숙, 초식동물의 식해상황, 어패류의 산란상황을 조사하고 동식물의

종류, 개체 수, 습중량, 전복, 성게 등의 크기, 위 내용물, 생식소 중량, 어류 등 유영동물의 개체 수, 습중량, 체장, 위 내용물 등을 관찰한다.

▶ 6 적용결과 및 활용 방안

1. 감태, 곰피, 팽생이모자반 등의 적용사례를 분석, 투명도가 낮은 해역과 기질표면에 부니가 침착되는 해역에서의 해조장 조성기술 적용을 통해 대상종의 성공사례 및 실패사례 파악하여 향후 해조장 조성시에 응용할 수 있는 기법을 확보함.
2. 녹조, 갈조 및 홍조류의 동시이식 및 종묘이식을 통해 남해 연안형 해조장 조성기술

적용기법 구축.

3. 통영바다목장해역에서 어장조성 기술의 필수요소인 해중립 및 인공어초에 대한 기술 지침서가 확보되고, 이는 바다목장사업의 해역확대 및 소규모 바다목장사업에 응용될 수 있을 것으로 판단됨

▶ 7 종합평가

1. 해조장 조성 기반구축과 기술적용을 통해 양식업, 연안수산업 및 해양토목(항만구조물 시설) 등 관련 산업의 육성 및 기술발전에 기여할 것으로 판단됨.
2. 풍요로운 바다숲 조성기술의 기반구축을 통해 이산화탄소 저감 기술에 응용할 수 있는 기술개발로 연계 발전시킬 수 있음.

3. 해양박물관, 자연학습장, 낚시터 등과 바다목장 사업을 연계하여 관광 레저 등의 3차 산업으로 확대·발전시켜 지역 개발사업 육성과 해양개발에 대한 새로운 비전을 제시할 수 있을 것으로 판단됨.



## 어장 조성

해조장 조성 기술



# 어장조성

## 2. 인공어초 어장조성 기술



## 인공어초 어장조성 기술

### ① 기술이 추구하는 목표

바다목장사업은 재배어업이 농작물의 재배를 이미지화 하여 수산자원을 인위적으로 육성하고 이것을 어획하는데 대하여, 목축업을 이미지화하여 자연환경 속에 방생한 후 필요할 때 어획을 하는 어업 형태를 말한다. 바다목장사업은 양식과 같이 좁은 울타리 속에서 기르는 것이 아니고, 넓은 수역에 종묘를 방류한 후 필요할 때 어획하는 어업 형태를 말한다. 즉, 대상생물의 서식환경에 적합한 인공어초어장을 조성하고, 그곳에 종묘를 방류하여 생산율을 향상시키며, 적정어획을 통하여 지속적으로 어획 생산성을 유지 및 증강시키는 것을 의미한다. 이를 위해 바다목장 개발 예정해역이 갖고 있는 생산력을 적절히 활용하여 유·치어로부터 성어, 친어에 이르기까지 전생활사를 동 해역에서 서식할 수 있도록 어종

별, 성장 단계별로 적합한 서식장을 인공어초 등으로 정비를 해야 한다. 다시 말하면, 유용어류의 서식적지로서 대상 어종마다의 생태적 지위를 붕괴시키지 않고 생태계 자체를 확대시켜 나아가는 것이다. 기본적으로는 기존의 인공어초, 자연초 등을 활용하면서 대상 어종의 성장, 성숙, 산란 또는 계절의 변화에 따른 이동회유 등의 생태특성을 고려하여 어종별, 성장 단계별로 유치자어 보육장, 미성어 성육장, 성어 서식장, 친어 체류장 등의 해역을 설정하는 것이다. 이 과정에서 중요한 것은, 대상어류에게 전생활사를 통하여 서식할 수 있는 장소를 제공함에 있어서 대상 어종마다의 서식장 규모의 확대, 기능의 강화뿐만 아니라 어종별, 성장단계별 연속성이 확보될 수 있도록 해야 한다.

따라서 무엇보다도 중요한 것은 개발예정 해역에 대한 어업실태를 정확히 분석하여 필요한 요소기술을 체계적으로 적용해야 한다. 본 기술지침서에서는 바다목장조성의

최종 목표인 해역의 생산력 극대화에 필요한 가장 중요한 핵심기술 중의 하나인 인공어초의 관련 공정을 효율적으로 수행하는데 요구되는 조사 및 평가방법을 기술하였다.

## ▶ ② 기술의 필요성

인공어초에 의한 바다목장조성은 해역의 특성과 기존 어업 등 현재 어업상태를 파악하여 문제점 및 개선방향을 정리하고 필요한 도입기술을 평가·분석하여 사업을 결정하는 절차로 이루어진다. 이런 과정을 인공어초의 요소기술측면에서 기술하면 어업실태의 조사는 적지조사에 해당하는 것으로 어·패류의 서식환경, 어·패류의 성장단계별 먹이생물, 기초생산력, 어·패류 현존량 등 현재의 어업 실태를 파악하는 것이다. 도입기술 평가는 어초의 적지판정을 위한 사전단계로서 어업상태조사에서 나타난 어업 기대생산량과 관련된 제한적인 요인을 어떻게 개선하느냐 하는 것이다. 즉, 조성 예정인 바다목장지역 내에 서식 어류가 전 생활사에 걸쳐 서식이 가능하고, 어·패류의 방류를 통하여 자원의 증강과 회유성 어종의 가입을 촉진시킬 수 있는지 고려해야 한다. 이런 결과를 토대로 인공어초의 사업규모 등을 결정함에 있어 대상해역에서 파악된 자료를 생물적, 공학적, 사회·경제적 조건으로 나누어 분석하고, 필요한 기술을 어떻게 도입하여 기대생산량을 달성할 것인가를 고려해야 한다. 여기서 생물, 공학, 사회·경제적 조건이라는 것은 대상해역에 있어서 제한적으로 작용하는 요소를 개선해 줌으로써 자원을 축

진 혹은 증강시킬 수 있다는 것을 의미한다. 생물적 조건으로는 어류나 패류 등의 서식환경이나 먹이생물, 자원변동 등이고, 공학적 조건은 인공어초 등 어장을 조성함에 있어 필요한 저질, 유속, 파랑 등이며, 사회·경제적 조건은 어업구조, 어업인 소득 등에 관한 것이다. 이 과정에서 대상어초의 구조, 규모, 배치형태, 시설방법 등이 제시된다. 그리고 마지막으로 시설된 어초에 대해서 당초 목적대로 생산력을 갖는지(효과조사)를 조사하여 문제점이 있을 경우 신규로 인공어초사업을 수행할 때에 반영토록 해야 한다. 이와 함께 시설된 어초가 지속적으로 기능을 유지토록 하기 위해 이용 및 관리 면에서도 관심을 기울여야 한다.

이상에서와 같이 인공어초에 의한 바다목장 조성은 적지조사, 시공(어초구조, 제작, 규모, 배치형태 제시 및 시설), 사업평가(효과 평가) 및 사후관리 등의 공정으로 수행된다. 이들 공정은 대상종이나 해역에 따라 다소 다를 수는 있지만, 바다목장 조성 과정에서 필요한 공정으로 어초시설을 효율적으로 수행하기 위해서는 반드시 체계적이고 통일된 지침서가 필요한 것이다. 따라서 동 기술지침서는 바다목장 사업의 수행에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### ▶ ③ 기술의 내용

여기서 제시한 기술지침서는 인공어초시설 및 관리 매뉴얼, 강제어초 제작 매뉴얼, 인공어초 비용편익분석 매뉴얼 등 3부분으로 구성되어 있다.

인공어초 시설 및 관리 매뉴얼은 인공어초 기능 및 어장 구성, 적지조사 및 적지선정, 시설, 효과조사, 인공어초의 관리 유지 등 모두 5부분으로 구성되어 있다. 주요 내용으로는 적지조사 항의 경우 생물적 조건조사, 물리·화학적 조건조사, 사회·경제적 조건조사 등의 방법, 그리고 시설 항에서는 예인 및 시설지 부표설치방법, 배치 형태 및 시설규모의 결정방법을 각각 제시하였다. 한편, 효과조사 항에서는 조사시기 및 방법, 보고서 작성, 그리고 인공어초의 관리 유지 항에서는 어초기능 회복 방법에 대해 각각 기술되어 있다.

강제어초 제작 매뉴얼은 현행 인공어초시설 사업집행및관리규정에 제시되어 있지 않아 본 기술지침에서 작성하였다. 주요 내용은 강제

어초를 위한 재료의 선정, 제작방법, 용접방법, 부식과 방식방법, 제품검사 및 운반, 조립과 제품검사로 구성되어 있다.

인공어초 비용편익분석 매뉴얼은 인공어초 시설사업의 평가에 불가결한 분야로 우리나라에서는 방법이 확립되어 있지 않아 본 기술지침에서 제시하였다. 동 매뉴얼은 어류용 인공어초의 비용편익분석과 증식기능을 갖는 보육초 비용편익분석으로 구성되어 있다. 주요 내용과 관련해서는 어류용 인공어초의 비용편익분석에서는 비용대효과산정식 및 계산방법을 기술하였고, 계산방법에서는 어업생산 향상효과와 편익액 산정방법, 어업노동개선 효과의 편익액 산정방법 및 어업경비감소 효과의 편익액 산정방법을 각각 제시하였다. 한편, 증식기능을 갖는 보육초 비용편익분석에서는 증식효과측정 방법 및 증식구조물의 비용대 효과 분석 방법을 각각 기술하였다.

### ▶ ④ 기술의 현장적용 절차

여기서 제시된 인공어초시설 및 관리 매뉴얼, 강제어초 제작 매뉴얼, 인공어초 비용편익분석 매뉴얼의 적용은 인공어초시설 및 관리 매뉴얼의 경우, 바다목장 조성 전의 계획단계에서부터 조성 후의 사후관리단계까지 포함된다. 그리고 강제어초 제작 매뉴얼과 인공어초 비용편익분석 매뉴얼은 전자의 경우 어초의 제작에 관한 것이며, 후자는 어초를 시설한 후

에 효과평가 과정에서 필요한 기술지침이다.

기술적용 시기와 관련해서는 인공어초시설 및 관리 매뉴얼의 경우 앞서 언급한 바와 같이 각 공정별로 적용시기가 다르므로 바다목장 조성 수행자가 사전에 사업추진일정을 협의하는 과정에서 필요한 절차와 방법을 제시해야 한다. 이 과정에서 일어날 수 있는 우려사항으로 는 기술지침을 엄격하게 따르지 않은 과정에

서 일어날 수 있는 문제와 기술지침 자체가 적절하지 못하여 야기되는 문제를 들 수 있다. 이에 대해서는 바다목장 조성에 참여한 연구자의 경우 해당분야 전문가로서 필요한 기술을 보유하고 있어 기술지침의 해석과정에서의

기술부족으로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한, 기술지침서는 현재까지 발표된 연구결과 및 외국에서 적용되고 있는 사항을 중심으로 하여 작성되었기 때문에 신뢰성이 높다고 할 수 있다.

## ▶ ⑤ 기술의 적용방법

인공어초시설 및 관리 매뉴얼의 내용 중 적지조사는 관련 공정을 수행하기 전에 숙지하여 조사과정에서 오류를 범하지 않도록 해야 하며, 시설 규모, 배치형태는 적지조사에서 얻어진 결과를 이용하여 결정토록 하고, 제시된 결과를 기초로 하여 관련 공정을 수행토록 한다. 그리고 효과조사 및 사후관리는 반복조사를 통해 수행됨으로 조사자가 바뀔지라도 자료의 취득에 신뢰성을 갖도록 관련지침을 철저히 숙지토록 해야 한다. 특히 기술지침에 따라 관련 공정을 수행하는 과정에서 사용기기에 대한 조작방법, 취득 자료의 해석 등에 오류를 범하지 않도록 기기의 보정, 조작, 자료 분석에 대한 방법에 대해서도 사전에 철저한 준비가 있어야 한다.

강제어초 제작 매뉴얼은 주로 제작자와 검사자에 관한 사항이 기술되어 있으며, 각 공정별로 자격있는 기술자에 의해 수행되도록 해야 한다. 특히, 기술자 간의 기술 격차가 발생되지 않도록 사전에 철저한 주의를 기울여야 하고, 기술지침서를 관련 공정 수행 전에 철저히 숙지토록 해야 한다. 기술지침서 내용 중 검사와 관련해서는 제작 완료 시점에서 조사하는 것보다는 재료의 취득 과정부터 점검하여 사전에 결함을 제거하는 쪽으로 고려하는 것이 바람직하다. 한편, 인공어초 비용편익분석 매뉴얼은 앞서 언급한 인공어초시설 및 관리 매뉴얼의 내용 중 효과조사 항목에서 제시되는 것을 이용하고, 비용편익계산은 본 지침을 이용하여 실시한다.

## ▶ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

인공어초시설 및 관리 매뉴얼은 통영바다목장 내의 시설된 상자형콘크리트어초(3×3×3 m)와 다기능고층어초(15×15×15 m)에 적용하였으며, 특히 효과조사 및 사후관리조사에 관한 지침은 각 지자체에서 수행하고 있

는 인공어초시설사업에 적용하고 있다. 강제어초 제작 매뉴얼의 경우 다기능고층어초의 제작, 시설시 적용하였고, 현재 각 시, 도에서 수행되고 있는 강제어초의 시설사업에도 적용되고 있다. 한편, 인공어초 비용편익분석 매뉴

열도 통영바다목장 내에 시설한 다기능고층어초에 적용하였다. 그의 결과를 간단히 소개하면, 2006년 조사의 결과를 토대로 다기능고층어초에서의 연간증산량(어획량)을 구하면, 1,452kg이 되며, 금액으로 환산하면 연간 14,521,800원이 된다. 증산량을 산정함에 있어 어가는 kg당 10,000원, 척당 어구사용 폭수는 4척, 조업 일수는 150일, 1척이 조업한 것으로 하였다. 한편 경비는 적지조사비, 할인율은 6.5%로 하여 비용대비 효과를 산정한 결과, 사업효과는 1.41로 나타나 다기능고층어초는 투자효과가 비교적 높은 것으로 추정되었다.

활용방안과 관련해서는 각 해역에서 수행되고 있는 바다목장사업과 각 시, 도의 인공어초시설사업에 활용토록 할 예정이다.



## 어장조성

인공어초 어장조성 기술



## 자원조성

### 1. 방류용 우량종묘의 생산 및 판정기술



# 방류용 우량종묘의 생산 및 판정기술

## ① 기술이 추구하는 목표

자연계에서 생태적 적응도가 높은 천연 종묘의 특성을 파악하여 방류용 인공종묘생산에

적용함으로써 건강한 종묘의 방류를 통한 실효성 있는 자원조성 사업을 도모함

## ② 기술의 필요성

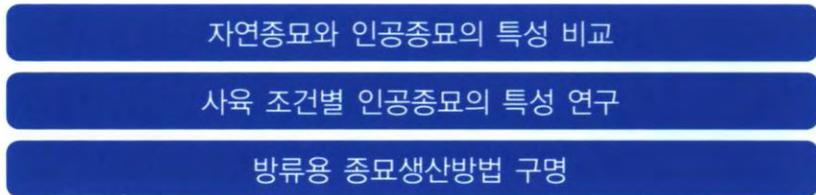
현재까지 우리나라에서는 우량 종묘라고 하는 것은 주로 양식용 종묘에만 국한하여 생각하여 왔을 뿐, 자연생태 적응력을 고려한 방류용 종묘로서의 필수적인 생태적 특성과 양식용 종묘로서 요구되는 특성과의 사이에 어떠한 차별적인 개념의 정립이 되어 있지 않은 실정이다.

따라서 자원조성 대상생물을 방류하여 자원조성 효과를 극대화하기 위해서는 첫째, 자연에서 유구한 기간에 걸쳐 적자생존의 진화과

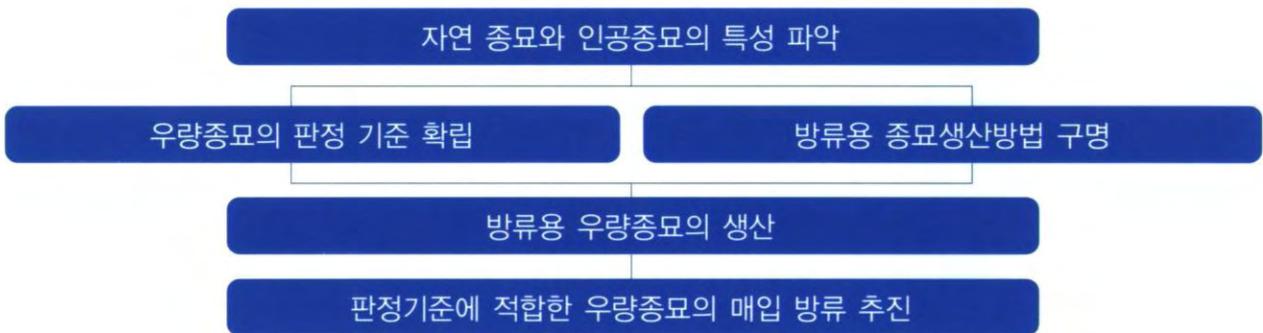
정을 거치면서 생태적 적응력을 가지고 있는 자연산 치어의 특성을 구명하고 둘째, 인공 생산된 방류 치어의 특성을 연구하여, 어떠한 특성을 가진 치어가 자연에서 더 잘 적응하여 생존하고, 조성된 목장 해역에서 하나의 자원으로 재생산에 참여할 수 있는 가입률을 높이는 기술 확립이 필수적이다. 그리하여 자연 생태계에 잘 적응할 수 있는 특성을 가진 치어의 생산방법을 구축하여야만 할 것이다.

### ③ 기술의 내용

방류용 우량종묘 생산 및 판정 기술 분야는 다음과 같이 구분하여 기술 검토를 수행하였다.



### ④ 기술의 현장적용 절차



### ⑤ 기술의 적용방법(조피볼락 및 볼락)

#### 가. 판정기준

##### (1) 형태학적 특성

조피볼락의 방류용 종묘 10cm 크기일

때 안경의 크기는 7.8mm 이상, 제1체고의 길이는 27.2mm 이하, 꼬리자루 길이는 14mm 이상이 적합

[표 1-1] 조피볼락의 외부형태에 따른 방류용 종묘 기준

형태 부위	상대 크기	방류용 종묘 기준 (10cm)	비 고
안경의 크기	안경의 크기	7.8mm 이상	자연산 7.81mm, 육상수조산 7.58mm, 축제식양식산 7.40mm
주둥이 길이	주둥이 길이	9.2mm 이상	자연산 9.42mm, 육상수조산 9.04mm, 축제식양식산 8.87mm, 축제식-가두리산 9.00mm, 육상수조-가두리산 9.10mm
제1체고의 길이	제1체고의 길이	27.2mm 이하	자연산 27.1mm, 육상수조산 27.4mm, 축제식-가두리산 29.2mm, 육상수조-가두리산 27.6mm
꼬리자루 길이	꼬리자루 길이	14mm 이상	자연산 15.3mm, 육상수조산 13.8mm, 축제식양식산 13.8mm, 축제식-가두리산 13.8mm, 육상수조-가두리산 14.2mm

(2) 유전학적 특성

축제식 양식산 집단인 경우 번식에 관여하는 집단이 다양한 유전자 급원을 소유하고 있는 다수의 소집단이 혼합되어 유전적 능력이 다소 우수한 것으로 사료

되므로 축제식 양식산의 유전학적 특성을 기준으로 정할 필요가 있음

- 대립유전자의 빈도 : 축제식 양식산

(6) > 자연산=육상수조산 (3)

[표 1-2] 조피볼락 치어(전장 10cm) 3집단에서 나타난 유전적 변이

	자연산	축제식 양식산	육상 수조산
변이 유전자좌의 비율	0.100	0.200	0.050
다형변이 유전자좌의 비율	0.050	0.100	0.100
총 유전적 변이율	0.150	0.300	0.150
이형접합체육(He)	0.015	0.027	0.017
locus당 대립 유전자의 수	1,200	1,350	1,150

(3) 체성분 특성

체성분 특성은 자연에서의 조피볼락이 영양이 부족하거나 기아상태에 있는 경우

가 많으므로 축제식 양식산과 자연산의 중간적 수치를 기준으로 함

[표 1-3] 조피볼락 치어 전 어체의 일반성분

Group	Moisture	Protein	Lipid	Ash
육상수조산	70.04 <sup>bc</sup>	17.37	8.35 <sup>a</sup>	4.25 <sup>ab</sup>
축제식 양식산	71.29 <sup>b</sup>	18.04	6.64 <sup>b</sup>	4.04 <sup>b</sup>
자연산	77.14 <sup>a</sup>	15.75	1.83 <sup>c</sup>	5.29 <sup>a</sup>

[표 1-4] 조피볼락 치어의 비만도, 간중량지수, 복강내지방, 장중량지수

Group	비만도	간중량 지수	복강내 지방	장중량 지수
육상수조산	70.04 <sup>bc</sup>	17.37	8.35 <sup>a</sup>	4.25 <sup>ab</sup>
축제식 양식산	71.29 <sup>bc</sup>	18.04	6.64 <sup>b</sup>	4.04 <sup>b</sup>
자연산	77.14 <sup>bc</sup>	15.75	1.83 <sup>c</sup>	5.29 <sup>a</sup>

P<0.05

(4) 마취내성

- 스트레스에 대한 내성의 측정인자로서 마취내성은 자연산이 양식산(육상수조산)보다 높아 5cm 치어는 자연산, 10cm 치어는 축제식 양식산의 마취도 달시간과 회복시간을 기준으로 가감하

여 설정하여야 할 것임

- 판정기준으로 공기중에 노출시는 5cm 치어는 200분간, 10cm 치어는 30분간 공기중 노출에도 폐사가 되지 않아야 함

[표 1-5] 조피볼락 종묘의 MS-222 농도별 마취시간 및 회복시간

Group	MS-222 농도(ppm)	5cm 치어			10cm 치어		
		마취 도달 시간 (sec)	회복 시간 (sec)	폐사율 (%)	마취 도달 시간 (sec)	회복 시간 (sec)	폐사율 (%)
축제식 양식산	50	3,600>	320	0	3,600>	0	0
	100	32	246	0	257	144	0
	200	32	138	0	89	83	0
	400	22	423	0	23	160	0
육상수조산	50	3,600>	75	0	281	53	0
	100	85	114	0	135	90	0
	200	40	130	0	31	84	0
	400	15~30	All die	100	11	200	100
자연산	50	3,600>	75	0	3,600>	102	0
	100	119	96	0	99	96	0
	200	43	108	0	50	135	0
	400	31	248	20	22	217	0

[표 1-6] 조피볼락 치어의 공기 중 노출시간별 폐사율

구 분		공기 중 노출시간 (min)				
		3	5	10	20	30
5cm 크기	축제식	0	0	0	20	100
	육상수조식	0	0	40	100	100
	자연식	0	0	0	0	100
10cm 크기	축제식	0	0	0	0	0
	육상수조식	0	0	0	40	100
	자연식	0	0	0	0	0

(5) 생산방법

조피볼락

종묘생산 1단계(산출자어~전장 5cm)

- ▶ 다양한 유전형질의 건강한 어미 사육
- ▶ 대형 육상수조 이용
- ▶ 저밀도 사육 (출산자어 수용밀도 2,000~5,000마리/m<sup>3</sup>)
- ▶ 사육초기에 충분한 먹이 공급으로 치어를 생산하여,

종묘생산 2단계(전장 5~10cm)

- ▶ 건강하게 배양한 치어를
- ▶ 약하게 차광(3,000~10,000lux)한
- ▶ 약 20~40 톤 정도의 크기 수조를 이용하여
- ▶ 치어 최초 사육밀도를 1,000마리/m<sup>3</sup> 기준으로
- ▶ 환수량은 20회전/일 이상
- ▶ 유속은 0.8 m/sec 조절하여 사육

볼락

볼락치어 (5cm 전후) 종묘생산

- ▶ 유전적 다양성이 높은 자연산의 어미를 이용하여
- ▶ 자어를 출산, 사육한 5cm 크기의 치어를
- ▶ 사육 밀도는 1.2마리/L 수조에
- ▶ 1겹으로 차광하여
- ▶ 유속은 0.4m/sec 이상 유지하여 사육

➤ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

1. 조피볼락의 방류용 우량종묘의 판정 기준으로 활용
2. 가장 간단한 매입 방류용 우량종묘의 판정기준으로서 외부형태적 으로 색이 능



력의 지표로서 안경(눈지름)의 크기, 도피능력의 지표로서 미병부(꼬리자루)의 길이 등을 자연산 종묘를 대상으로 우량종묘의 판정 기준을 정립할 필요가 있음

## 7 종합평가

본 연구결과는 조피볼락의 우량종묘 판정기준을 확립하고, 이에 따른 생산 방법을 제시함으로써 조피볼락은 물론 타 어종의 우량종묘생산에 2차적인 적용이 가능할 것으로 사료됨



자원조성

방류용 우량종묘의 생산 및 판정기술



## 자원조성

### 2. 방류어종의 중간육성 기술



## ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● 방류어종의 중간육성 기술

### ▶ ① 기술이 추구하는 목표

#### 점등기법을 활용한 중간육성 기술

배합사료에 의하여 훈련된 대부분의 방류 종묘는 자연조건에 가까운 가두리를 이용하여 중간육성 단계를 거치지만 방류 직후 생존을 위한 자연산 먹이 섭이훈련이 전혀 안 된 상태다. 다시말해서 태어나 인위적인 환경에서 먹이는 배합사료 밖에 모르는 상황인 것이다. 따라서 방류개체가 혹독한 자연 조건에서 살아남기란 정말 어렵고 살아남는 다 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.

## ▶ ② 기술의 필요성

자원조성 사업 분야의 중간육성이 갖는 기술적 의미는 방류대상 어종이 방류 초기 자연조건에서 자연산 먹이 섭이 능력의 저하로 나타나는 초기 사망을 방지하므로 생존율의 극대화를 기대하려는 기술전략인 것이다. 결국 종묘 방류 사업의 목표는 자연생태계에 현존하는 자원이 부족하므로 이를 보충하는 의미에서 인위적으로 생산된 종묘를 대량으로 방류하여 자원 회복과 증대를 꾀하려는 시도이다. 여기에서

문제는 방류 직후 발생하는 초기폐사의 현상이다. 이 현상은 스스로 자연에 존재하는 먹이를 찾아서 잡아 먹는 능력의 부족과 회피능력의 저하로 주변의 적들에게 먹힐 수밖에 없는 상황에 처하게 된다. 이것이 바로 인위적인 조건에서 자라난 인공종묘의 생활력의 현지 적응 정도 때문인 것이다. 따라서 방류 전 종묘가 자연계에서 살아남을 수 있는 생활력을 길러주는 과정이 바로 중간육성 단계이다.

## ▶ ③ 기술의 내용

점등 기법을 이용한 방류 대상 어종 중간육성 기술의 내용은 크게 세 가지로 항목으로 구분되어 먹이생물 평가, 섭이능력 평가, 섭이결과 평가로 구성된다.

자료 수집을 목적으로 한다.

### (1) 먹이 조성 검토

점등에 의한 주변 동물성 플랑크톤 중에 주광성을 갖는 종류들이 점등지역에 운집하게되어 이것을 먹이 생물로 이용하려는 시도이기 때문에 시기별 주, 야간 및 점등지역에 분포하는 플랑크톤의 조성을 비교 분석하여 특히 계절적인 조성 특성과 먹이 생물로서의 활용성을 검토한다.

### (3) 섭이 결과 분석

성장 및 중간 육성 결과를 비교 분석하여 야간 점등에 의한 효과를 수치화하고 긍정적 측면에서의 활용방안 수립에 기초 자료로 이용한다. 특히 점등에 의한 자연산 먹이 섭이 결과 건강한 종묘로서의 활용 가능성을 조사 항목별 객관적 자료로 제시한다.

### (2) 섭이 능력 평가 분야

야간 점등에 의한 먹이 섭취의 가능성, 섭이량 및 먹이의 선택성 등을 사전에 평가하여 인공 종묘의 중간 육성 기간 동안 적용이 가능한 점등방안을 제시하는 기초

## ▶ ④ 기술의 적용 절차

본 기술은 중간육성이라는 단어의 의미대로 방류대상 어종의 인위적 종묘생산이 완료되어 바다목장해역에 방류하기 까지의 비교적 단시간인 2~3 개월간 시행되는 적용 기술의 한가지 예이다.

따라서 바다목장 사업이 기획되어 제 1단계 기초 환경 평가 및 어장 조성 단계에서부터

본격적인 사업에 들어가 최소한 2~3년간의 초기 목장조성 지역평가 사업 단계에서부터 실시되어야 한다. 그리고 본격적인 자원조성 단계에 맞추어 대상어종의 방류계획이 확정되면 본격적인 중간육성을 실행할 수 있는 기반 여건을 사전에 갖추고 있어야만 한다.

## ▶ ⑤ 기술의 적용 방법

### (1) 먹이조성 검토

야간점등에 의한 운집 가능한 먹이생물을 확보하기 위하여 우선 시기별, 특히 대상 생물의 종묘생산 직후부터 시행되는 해상 가두리 주변 지역의 주, 야간 플랑크

톤의 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 플랑크톤의 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 2 시간부터 실시하며, 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 구분하면 된다.

**<일반 동물성 먹이 생물>**

점등 효과에 따른 동물플랑크톤 군집 동태의 변화를 관찰하기 위한 시료 채집은 야간에 점등구간에서 NORPAC Net(구경: 30cm, 망목크기: 330 $\mu$ m)를 사용하며, 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./m<sup>3</sup>)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 $\mu$ m)를 활용하며, 특히 자치어들은 유영능력이 빠르므로 초당 1m 이상의 속도로 점등지역에 모여든 시료를 채집하는 것이 바람직하다.

**(2) 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 않으며, 야간점등(250 Watt)에 의한 자연산 먹이 공급이 유일한 급이 방법이었다. 일

몰 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.

### (3) 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, 사육결과에 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 볼락의 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 시판용 야간 조명등 500 Watt 용량의 원형 나토롬 램프가 먹이생물의 위집에 효과적인 것으로 판단되었다. 특히 먹이생물의 모집과 불의 밝기와는 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 기간은 각각의 방류 대상 어종의 종묘 생산 시기에 맞추어 육상 사육 시설에서 종묘생산이 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.

## ▶ ㉞ 적용 결과 및 활용 방안

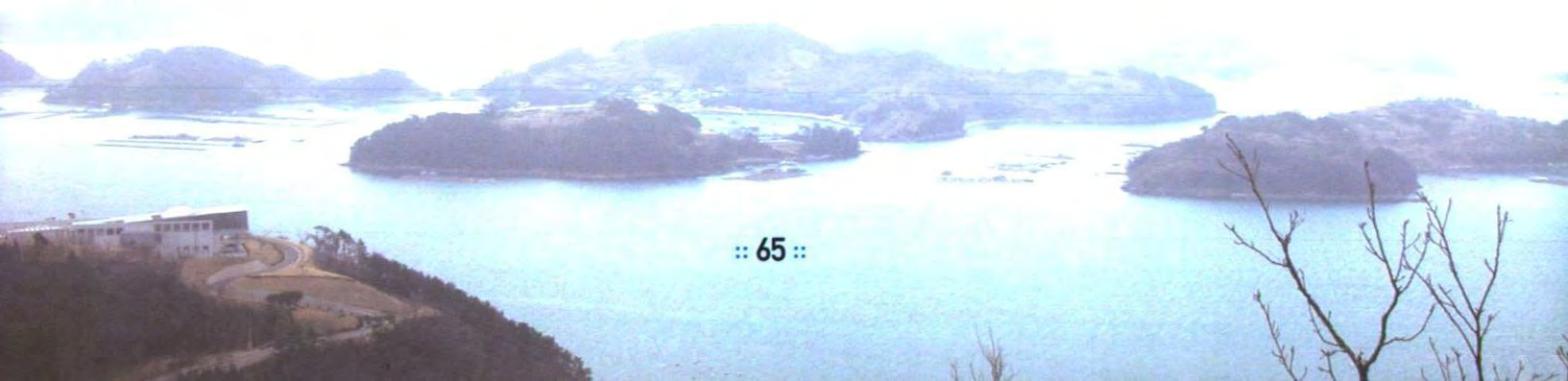
본 기술은 자원증대를 위한 인위적 중간육성 기법에 도입된 야간점등이라는 보다 의도된 기술의 적용 가능성을 검증하는 시도이다. 자연현상과는 매우 다른 조건에서 인위적으로

사육되어 우리가 추구하는 최종 목적 즉, 어린 방류어류가 자연조건에 가입되었을 때 적절히 혹독한 생태적 조건에서 적응하여 살아남고, 재 생산에 까지 참여할 수 있도록 생존 가능성

을 제시하여 주는 희망적인 작은 시도였다.

바다목장 사업의 대상생물이 오랜 진화 과정을 통해서 자연조건에서 생존을 위한 방법의 하나로 얻어진 생존 기법에 순응하여 살아남아야 한다는 기본적인 삶의 원칙이 존재하고 있다는 사실을 확인한 것이다. 다시말해서 점등기법은 바다목장이라는 생태계에서 한 개체는 물론 생명 집단이 살아남아야 한다는 숭고한 자연섭리를 최대한 활용한 기법이라는 결론을 본 연구과정을 통하여 얻었고, 이와같

은 사실을 바다목장 사업의 한가지 기술요소 적용한다면 반드시 성공할 수 있다는 확신을 갖게 하였다.





## 자원 조성

방류어종의 중간육성 기술



## 자원조성

### 3. 방류 기술



# 방류 기술

## ① 기술이 추구하는 목표

### 가. 대상종 선정, 방류방법 및 효과판정

종묘방류는 인위적으로 그 자원을 증가하고자 하는 생물의 종묘를 자원을 증가하고자 하는 장소에 풀어 놓아 번식케 하는 것이다. 수산 자원의 인위적 증대 방법 중 어초 설치, 어장 환경 개선, 어획 제한 등은 그 효과가 일정한 시간이 지난 후 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 만들어진다. 한편, 방류용 종묘와 양식용 종묘 간의 차이점 및 방류용 종묘가 갖추어야

할 특성은 이미 우량 종묘 생산 지침과 중간 육성 지침에서 토의한 사항으로 다시 언급할 필요는 없을 것이다.

방류기술은 방류 대상종 선정, 방류어의 크기, 방류 방법 및 방류효과를 판정하고 그 결과를 차후 방류사업에 적용하게 하는 것이 최종 목표이다.

## ➤ ② 기술의 필요성

수산자원의 증대는 바다목장의 가장 중요한 항목이자 최종 목표이다. 수산자원증대 방법은 자연에 있어서의 서식지, 산란장 및 육성장 보호, 그리고 재생산에 참여할 수 있는 적정수준의 어미고기 보호가 필수적이거나 이러한 방법을 통하여 목표하는 자원량을 확보하기에는 상당한 시간과 많은 노력이 필요하다. 따라서 보다 빠른 시간 내에 자원을 효과적으로 증대시키기 위한 방법으로 종묘방류 사업이 많이 사용되고 있다.

종묘방류사업은 인위적으로 생산한 종묘를 자연환경에 풀어 놓아 자연산 동종 및 이종과의 경쟁을 극복하고 자연환경에 순응하여 번식하게 하는 것으로 주어진 서식환경에 적합한 방류 대상종 선정에서부터 방류장소, 방류 방법 및 방류어의 크기 결정, 방류어의 서식을 위한 어장환경조성이 조화를 이루어야 성공할 수 있으며, 보다 많은 방류종묘들이 자연에서 살아남을 수 있도록 하는 방법이 바로 종묘방류기술이다.

## ➤ ③ 기술의 내용

방류기술은 대상종 선정, 방류 종묘의 크기 결정, 방류종묘의 표지, 방류방법 결정 및 방류효과 판정의 다섯 가지 항목으로 구분된다.

### (가) 방류 대상종 선정

방류 대상종은 바다목장 해역에서 자원을 조성하고 이를 수확하여 경제적 수익을 올릴 수 있는 종으로 수산업적으로 가치 있으며, 바다목장 해역 내에 정착 가능한 종을 선정한다.

### (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 자

명한 사실이기 때문에 적절한 크기의 종묘를 선택해야 한다. 방류용 종묘의 크기는 먼저 종묘 크기별 방류실험을 통하여 원활하게 자연에서 먹이 탐색 및 섭이 능력, 포식자로 부터의 도피 능력을 조사한 후 적정 크기를 결정한다.

### (다) 방류용 종묘의 표지

방류 효과를 검정하고, 더 좋은 방류 방법을 개발하기 위해서는 방류한 종묘를 지속적으로 관찰해야 한다. 이를 위해서는 자연에서 이미 서식하고 있는 같은 대상종의 종묘와 방류한 종묘를 쉽게 구별할 수 있도록 방류 종묘에 표지를 해야 한다.

### (라) 방류 방법

적절한 방류장소, 방류시기 및 세부적인

방류방법은 방류어의 생존률과 적응력을 향상시켜 방류효과를 높여 준다. 따라서 방류어종의 습성을 파악하여 방류된 종묘가 외적으로부터 도피를 도울 수 있는 시간, 장소, 수심 등을 택하여 방류해야 한다.

#### (마) 방류효과 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.

### ▶ ④ 기술의 현장적용 절차

본 기술은 인위적으로 생산된 수산종묘를 자연환경에서 가장 잘 살아 남을 수 있는 조건으로 방류하고 그 효과를 판정하는 것이다. 따라서 우선적으로 대상어종에 대한 우량종묘생산

기술이 먼저 확립되어 있어야 한다. 또한, 방류된 종묘들이 외적의 포식을 피하여 숨을 곳과 손쉽게 먹이를 먹을 수 있는 환경(어초 시설 등 어장 조성)을 먼저 조성해 주어야 한다.

### ▶ ⑤ 기술의 적용방법

#### (가) 방류 대상종 선정

방류 대상종은 다음 조건을 충족할 수 있어야 한다.

- (1) 수산업적으로 가치 있는 종
- (2) 바다목장 해역 내에 정착 가능한 종
  - 바다목장 해역에서 생활사의 대부분을 지내는 종
  - 바다목장 내에서 수확 가능한 종
- (3) 종묘수급이 원활한 종

현재까지의 바다목장 사업을 통하여 방류된 어종은 다음과 같다.

#### (1) 어 류

- 전해역 공통 : 넙치, 감성돔, 쥐노래미, 해삼, 전복
- 동해안 : 쥐노래미, 넙치, 강도다리
- 남해안(제주포함) : 감성돔, 자바리, 돌돔, 참돔, 황점볼락, 볼락, 해삼, 참전복, 까막전복
- 서해안 : 조피볼락, 꽃게, 바지락

## (나) 방류용 종묘의 크기

방류용 종묘의 크기는 먼저 종묘 크기별 자연에서 원활한 먹이 탐색 및 섭이 능력, 포식자로 부터의 도피 능력을 감안해서 결정한다. 이를 위하여 방류된 종묘에 대하여 방류 후 경과 일수에 따라 재채포률, 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.

바다목장 자원조성용으로 방류된 종묘의 적정 크기는 다음과 같다.

- 조피볼락 : 전장 7-8cm (4.5cm 급 종묘도 자연산 먹이 포식 가능)
- 강도다리 : 전장 8cm
- 자바리 : 15cm
- 볼락 : 7-11cm (소형개체 방류시 사망률 높음)
- 쥐노래미 : 전장 5cm
- 감성돔 : 전장 5-8cm
- 넙치 : 전장 8cm
- 전복 : 각장 3-4cm
- 해삼 : 전장 3cm(수축기 기준)
- 바지락 : 각장 2cm

## (다) 방류용 종묘의 표지

표지 방법은 어체 외부의 일부를 절단 또는 적출하는 직접 표지법, 앵커택 등을 달아주는 부착법 그리고 화학 약품 처리 및 저온 처리 등을 통하여 비늘, 이석, 척추골 등 어체의 특정 부위에 흔적이 남도록 하는 방법이 있다.

### (1) 지느러미 표지

방류어의 지느러미의 일부를 절단하거나 지느러미 전체를 제거하는 방법으로 가장 노동 집약적인 표지 방법이다. 표지 대상 지느러미는 어체의 운동에 중요한 역할을 하는 등지느러미, 가슴지느러미 및 꼬리지느러미를 피하고 운동성에 가장 영향을 적게 미치는 배지느러미를 선택한다.

배지느러미를 절단할 경우 볼락은 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 수

조에 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 방류 시까지 넣어준다. 방류는 회복 수조에서 종묘를 꺼내어 비표지 종묘와 함께 실시한다.

## (2) 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 기형

어와의 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.

## (3) 앵커택 부착

이 방법은 플라스틱이나 특수 금속 재질의 고형물에 개체별 구분이 가능하도록 기호(또는 serial number)를 넣어 만든 앵커택을 어체의 미병부, 등지느러미 아래의 근육에 심어 표시하는 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 방류어를 마취시킨 후 손으로 잡

거나, 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.

#### (4) 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 관찰할 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 부적합하다.

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. 볼락, 감성돔 그리고 황

점볼락의 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 운문의 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 이 중에서 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 1방울을 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 방류효과를 높여 준다.

### (1) 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. 조피블락, 블락, 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 빨이 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.

### (2) 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.

### (3) 세부 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 해안선에서 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 순간

적으로 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 은신처까지 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/길이<sup>3</sup>))  
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.

## ▶ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

본 기술은 바다목장 자원증대를 위한 최적 방류 조건을 수립하기 위한 기술내용으로, 방류대상어종 및 방류해역의 특성에 따라 신축

성 있게 적용해야 하며 그 활용방안은 다음과 같다.



- 지자체 주도의 소규모 바다목장 및 특정지역의 수산자원조성
- 위기종의 자원회복
- 특정해역의 종다양성 회복을 위한 다종 방류기술 개발



## 자원조성

방류 기술



## 자원조성

### 4. 음향 순치 기술



# 음향 순치 기술

## ① 기술이 추구하는 목표

인공 사료와 가두리 혹은 수조에서 성장한 치어는 자연에 방류하는 순간 급격한 자연 조건과 먹이의 변화로 인해 많은 양이 사망할 수 있다. 이러한 이유는 방류어의 환경 자연 적응 및 자연 먹이의 효율이 낮기 때문이다. 이러한 낮은 섭이 효율성을 높이는 방법 가운데 하나가 먹이 공급과 소리를 이용한 어류의 조건 반

사 능력을 이용하는 음향 순치 기법이다. 초기 방류 단계에 발생하는 자연 적응 및 먹이 포획 능력의 부족을 일정 시간 음향 유집을 이용한 인공 먹이로 보완하여 바다목장 해역 내에 방류한 대상 어류의 자연 적응력을 높여 생존율을 증가시키는 것이 최종 목표이다.

## ② 기술의 필요성

자연 조건에 대상 어류를 방류하기 전에 실시하는 중간 육성의 최종 목표는 방류어의 환경 적응력을 통한 자연에서의 생존율 극대화에 있다. 이러한 목표를 이루기 위해서는 방류 대상어가 환경에 직접적으로 노출되기 직전에

주변 환경 조건의 적응과 먹이 섭식 훈련이 필요로 하게 된다. 가두리에서 먹이를 이용한 중간 육성은 인간의 지속적인 접촉이 수반되므로 자연으로 방류되는 어류 입장에서 보면 환경 적응의 방해 요소이다. 따라서 인간의 접촉

이 최소화되며, 기존의 가두리보다 깊은 수심에 설치된 음향급이기를 이용한 중간 육성은 방류어의 자연 적응 측면에 장점을 제공할 수 있다. 음향 순치는 어류의 전 생활사 동안 대

상 어류를 유집하는 것이 아니라 초기 자연 적응력을 향상시키는 기간에 적용하는 것이 기술 목표이다.

### ③ 기술의 내용

#### 가. 음향 급이기의 적용 원리

어류는 귀, 측선, 부레를 통한 수중에서의 소리를 감지. 일반적으로 16 - 13,000 Hz 대역의 주파수를 느끼지만, 대부분 1,000 Hz 미만의 저주파 대역의 소리에 민감하게 반응하는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성을 이용하여 수중에서 어류의 청각 능력과 “먹이 공급-음향 신호”를 이용하는 조건 반사의 반복적인 훈련을 실시하는 것이 음향순치의 기본 원리이다. 이러한 음향 순치 특성을 시스템화한 것이 음향급이기의 시작으로 1980년 후반 부터 일본의 바다목장에서는 대상 어류에 대한 음향 학습 및 현장 적용을 실시하여 가능성을 파악하였으며, 현재도 운영 중이다.

#### 나. 음향 급이기의 적용을 위한 단계별 과정

방류어에 대한 인간의 영향을 최소화시키는 것이 어류의 자연 적응 기술 측면에서는 최고의 기술이므로 이러한 기술 목표를 이루기 위해 음향급이 시스템은 무인화하는 작업이 필요하다. 이러한 목표를 이루기 위해 해상에 설치된 음향급이기와 육상의 기지국 사이를 무선으로 연결하는 네트워크

구축이 필요하다. 또한 어류의 음향 청각 역치 특성 파악 등 여러 가지 요소들에 고려가 필요하다. 다음은 음향급이기의 현장 운영을 위한 단계별 과정이다.

##### ■ 1단계

- ▶ 대상 어류의 청각 능력 및 반응하는 수중 신호음 선택.

##### ■ 2단계

- ▶ 음향급이기 적용 해역의 계절별 환경 요소 (주변 소음 및 음파 전달 요소) 파악.

##### ■ 3단계

- ▶ 음향 및 급이기의 개별 및 통합 시스템 구성.

##### ■ 4단계

- ▶ 음향급이기 시스템의 효율적인 현장 설치.

## ▶ ④ 기술의 현장적용 절차

### (1) 대상 어류의 청각 능력 및 반응하는 수중 신호음 선택

음향급이기에 사용 가능한 음원은 정현파 신호, 섭식음, 자연음 이외에 교미음 등이 있으며, 이들 가운데 정현파 신호와 섭식음이 가장 많이 사용되어 왔다. 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 필요하다. 이때 사용된 여러 음 가운데 가장 반응이 좋은 음을 선택하여 반응 주파수 대역 및 음압 수준을 선정하여 음향급이기 시스템을 위한 음원으로 사용한다.

### (2) 음향급이기 적용 해역의 계절별 환경 요소 파악

해양에는 선박에서 발생하는 음원, 새우, 멸치 등의 생물에 의한 음원 등 여러 주파수 대역의 음원이 존재한다. 이들 음원들은 대상 어종의 음향 순치 측면에서 보면 주파수 대역 혹은 음압 측면에서 가로막는 소음으로 작용할 수 있다. 수중 스피커로 구동되는 특정 소리는 이들 주변 소음보다 커야 대상 어류의 훈련 및 현장 적용 과정에서 어류가 그 음을 인식하므로 이에 대한 사전 조사를 실시해야 한다. 또한 음파 전달 거리 측면에서 소음의 크

기 정보가 필요하다. 주변 소음 측정은 음향급이기 설치 주변 해역에서 계절별, 수심별로 측정해야 하며, 측정 방법은 수중 청음기를 이용한다. 수신된 수중 청음기의 신호로부터 주파수별 주변 소음의 음원 크기를 파악해야 하며 측정 과정에서 실험 선박의 모든 동력은 차단하여 인위적인 요소는 제한시켜야 한다. 이러한 수중 소음 특성 파악은 [단계 1]에서 선정한 음원의 주파수 및 크기를 결정하는 필요 요소로 사용된다. 음파 전달 특성 측정은 주파수-음압이 결정된 음원을 수중 스피커로부터 모든 방향으로 방사한 후, 각 거리별로 음원의 감소 손실 정도를 수중 청음기로 측정한다.

### (3) 음향 및 급이기 시스템의 구성

음향 시스템 구성은 하드웨어로는 음원 발생부(수중 스피커 구동부), 음원 작동의 시간-주파수-음원을 제어할 수 있는 제어부로 구성된다. 추가적으로 음향 순치 효과를 모니터링할 수 있는 1-2개의 수평 어군 탐지기 제어부에 포함 시켜야 한다 (적정 주파수는 약 50 kHz). 사료 공급을 위한 시스템은 사료양 제어부, 확산 모터부로 구분된다. 이때 상위 제어 시스템으로 음향 시스템과 급이기 시스템의 제어부를 포함하는 통합 시스템으로 구성되어야 시간 동기화를 시킬 수 있다. 한편, 음향급이기 작동을 위한 전원은 육상 공급 방식과 태양열 공급 방식을 가운데 하나를 선정하여 설치한다.

소프트웨어 구성 부분은 해상의 음향급이기 시스템과 육상 기지국과의 무선 제어 및 쌍방향 자료 전송이 가능한 시스템을 고려해야 한다. 이들 위하여 기존의 R/F 방식과 최근에 사용되고 있는 CDMA 무선 전화기 사용 방식 등의 원격 시스템을 설치해야 한다. 이때 최대 전송 거리, 최대 자료 전송량을 사전에 파악해야 한다. 이때 원격 시스템 구축을 실시하고자 할 때는 육상 기지국에서 해상에 설치된 음향급이기 시스템을 가동할 수 있는 제어 프로그램이 수반되어야 하며, 이때 사료양, 공급 시간, 음원의 주파수 선정, 음원 제어, 시스템 동작 여부, 어탐 동작 여부 등을 원격으로 제어할 수 있게 서버 프로그램이 구성되어야 한다.

#### (4) 음향급이기 시스템의 현장 설치

해상에 설치될 음향급이기의 적절한 설치 지점을 위하여 (a) 전송 거리 및 양질의 자료 전송을 위한 육상 기지국과의 거리, (b) 양질의 자료 전송을 위한 육상 기지국과 해상 음향급이기 사이의 방해물 유무, (c) 음향급이기 효과 극대화를 위한 주변 해역의 인공 어초 설치 지점 혹은 자연 암반 존재 파악, (d) 6-8 계류 정점 확보를 통한 안정된 음향급이기 계류, (e) 남향으로 태양 전지판 위치 고정, (f) 음향급이기 안정성과 투입 사료의 유실을 최소화 하기 위한 적절한 해류 흐름 파악 등의 현장 조건 점검이 필요하다.

## 5 기술의 적용방법

음향급이기 시스템을 이용한 음향 순치 기술의 현장 적용, 실험 및 관리를 위한 단계별 과정은 다음과 같다. (a) 순치 대상 어류를 위한 음향급이기 주변을 둘러싸는 그물망 설치, (b) 현장 음향 급이기 시스템에 순치 대상 어류의 이동, (c) 순치 대상 어류의 개체수를 고려한 1일 사료의 총 소요량 산출 (총 어류 체중의 3-5%) 하여 사료 급이기에 대용량의 사료 저장, (d) 초기에는 현장 적용을 위하여 2-4일간 사료 공급 제한, (e) 음향급이기의 제어 프로그램 설정을 통한 작동 변수 설정 (적정 주파수 - 적정 음압 - 작동 주기 - 1회 투입 사료량 - 수평어군 탐지기 작동), (f) 작동 주기는 1일에 3-4회로 설정하며, 1일 예상 사료

소비량을 3-4회로 나누어 공급, (g) 원격 시스템으로 시스템 작동 → 어군탐지기 작동 시작 → 수중 스피커 작동 시작 → 사료 공급 시작 → 사료 공급 끝 → 수중 스피커 작동 끝 → 어군탐지기 작동 끝 → 원격 서버에 시스템 작동 결과 및 어탐 자료 전송.

## ⑥ 적용결과 및 활용 방안

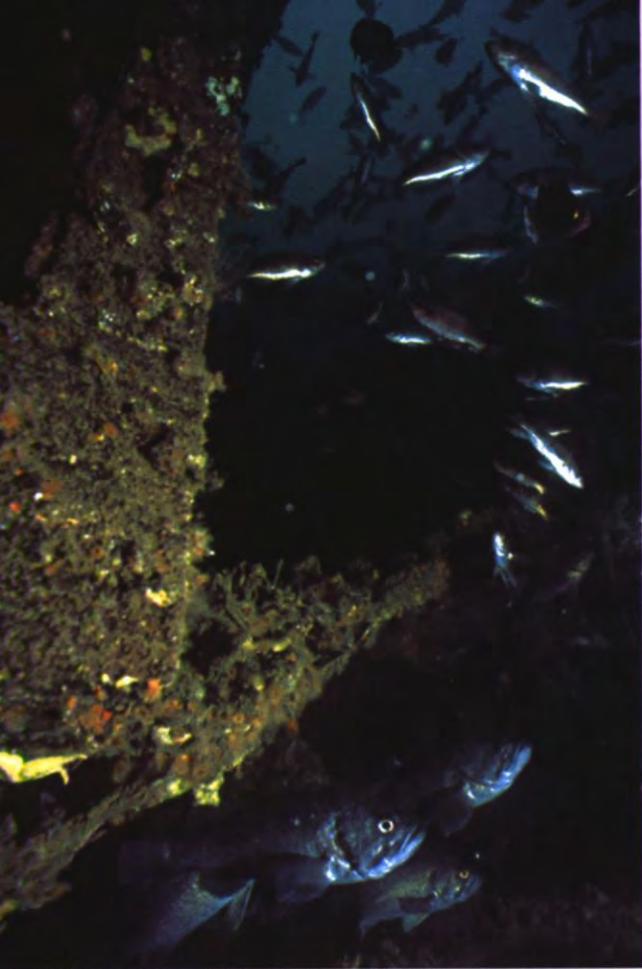
음향순치 효과는 초기 4 주 정도면 기초적인 유집 효과를 보이나 일반적으로 8주 이상은 실시해야 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 실제 해역으로의 방류는 방류 해역의 수온이 적정 온도가 되어야 하므로 이에 대한 사전 고려가 필요하다. 우리나라 해역은 동계 시기에 수온이 낮게 떨어지므로 이동이 큰 어류는 남해, 외해로 이동하고, 정착어는 최소 먹이만

섭식하거나 혹은 아예 먹이를 먹지 않으므로 음향순치 기술의 최종 목적 자체는 소리와 먹이를 이용한 어류의 유집 및 지속 기간이 전계절일 수 없다. 따라서 음향 급이기의 최종 활용 방안은 방류 이전의 중간 육성 단계에서 자연 적응력 증가를 위한 잔류 시간 증대에 있다.



## 자원조성

### 5. 자원량 평가 기술



## ● ● ● ● ● ● ● ● 자원량 평가 기술

### ▶ ① 기술이 추구하는 목표

1. 바다 목장해역에서 서식하는 생물군집의 구조적 특성 파악.
2. 주요 생물군집의 자원량 변동 및 생태적 특성 파악.
3. 생물자원의 생산성을 극대화시키기 위한 방안 구축을 위한 기초 자료 제공.

### ▶ ② 기술의 필요성

유용한 수산자원 생물의 증대를 위하여 바다 목장 조성 해역에 분포하는 수산생물의 자원량(개체수 및 생체량) 파악이 기본적으로 요구됨.

1. 바다목장에서 시행되고 있는 장기간의 생태계 조사 결과를 기초로 각 생물군별 군집 구조의 파악이 절실함.
2. 배타적 경제수역(EEZ) 선포에 따른 어장축소, 육상에서 유입되는 오염원의 증가, 양식장의 노후화와 무분별한 폐어구 등의 해양투기에 따른 오염, 적조 및 지구 온난화에 의한 백화현상, 매립, 준설 및 해사채취 등에 의해서 해양생태계가 영향을 받고 있으며, 결국 수산생물의 자원량 감소가 불가피하므로 바다 목장화 사업 등을 통하여 수

산생물의 어획률의 극대화를 위한 기초 조사 자료가 필요함.

3. 이러한 환경 하에서 수산 자원생물의 증대와 안정적 공급을 위하여 이용 가능한 어장을 적극적으로 선택하거나 새롭게 조성하여, 연안 역의 생산성을 극대화하여야 할 것이며, 이를 실현하기 위하여 수산자원의 조성·관리·생

산기술의 체계화가 절실히 요구됨.

4. 바다목장 사업은 궁극적으로 조성, 관리, 생산기술의 체계화를 위한 첨단 해양수산기술이며, 이러한 목적을 달성하기 위하여 해당 지역 생태계에 대한 이해와 더불어 체계적인 생물군집의 변화 양상을 파악하기 위한 기술개발이 절실히 요구됨.

### ▶ ③ 기술의 내용

서식하는 생물(저서생물, 어류 및 해조류)의 종조성 파악.

- ▶ 서식하는 생물의 종조성을 토대로 우점종 및 종 목록 파악.
- ▶ 서식하는 생물의 출현량(현존량) 파악
- ▶ 유용 수산자원의 생태적 특징 파악.
- ▶ 서식하는 생물의 자원량 및 생산력 평가.

### ▶ ④ 기술의 현장 적용 절차(기술적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

- 분기별 조사를 기초로 하여 생물생산이 높은 시기에는 조사 주기의 단축화 필요.
- 정량화를 기본으로 하되, 주변해역의 해양환경의 특성 상 정량화가 이루어지지 못할 시에는 정성분석을 적절하게 병행함.
- 기본적인 현장조사가 필수적임.
- 실험실내에서의 철저한 종 분석 및 결과 도출을 위한 실험 수행.
- 과거의 자료를 통한 체계적인 자료 분석
- 현장조사의 결과 이전자료와의 비교 분석을 통한 앞으로의 결과 예측 실시.

## ▶ 5 기술의 적용방법

### 가. 저서동물은 서식하는 장소에 따라 조하대, 암반 조하대 및 조간대 동물로 구분

- 조하대 연성 저서동물은 Van Veen Grab을 이용(1회, 채집면적 0.1m<sup>2</sup>)하며, 1 mm 망목의 체로 sieve 하여 퇴적물 및 생물로 선별한 후, 10% 중성 포르말린 용액으로 고정하여 실험실내에서 분류, 동정 및 계수함.
- 조하대 암반(경성) 저서생물은 수심별로 상,중,하부로 구분한 후 SCUBA를 통하여, 50cm×50cm(0.25m<sup>2</sup>)의 수증방형구와 끌칼로 정량적으로 채집한 후, 현장에서 10% 중성 포르말린 용액으로 고정하여 실험실내에서 분류, 동정 및 계수함.
- 조간대 저서생물은 50cm×50cm 방형구를 설치하여, 방형구 내 모든 저서동물을 끌칼과 핀셋으로 채집한 후, 10 % 중성 포르말린 용액으로 고정하여 실험실내에서 분류, 동정 및 계수함.

### 나. 어류는 현장조사 및 탐문조사를 실시

- 현장조사는 주변해역에서 거주하고 있는 어민들이 주로 이용하는 어업을 이용하여 조사하며, 대표적으로 연안통발, 자망 및 정치망을 들 수 있음. 그러나 정량적인 자료가 필요할 시에는 소형 오토 트롤이 적합하지만, 이 어구는 불법어구이어서 관계기관의 허가공문이 수반되어야 함.

- 채집된 어류는 현장에서 10% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실에서 선별, 분류 및 동정한 후, 개체수 및 생체량(g)을 측정하고, 표준 체장은 1mm까지, 체중은 0.1g까지 측정함.

### 다. 해조류는 정성 및 정량 채집을 병행하여 실시

- 정성채집은 조간대와 조하대에 출현하는 해조류를 모두 채집하여, 현장에서 10% 포르말린으로 고정하여 실험실내에서 분류, 동정 및 계수
- 정량채집은 대표 암반에서 50cm×50cm 방형구를 2~5개 무작위로 설치하여, 현장에서 10% 포르말린용액으로 고정하여 실험실내에서 분류, 동정 및 계수함. 현존량은 dry oven에서 105℃로 24-48시간 건조하여 건중량 측정함.

## ⑥ 적용결과 및 활용 방안

### 가. 적용결과

- 출현량(생물량)은 개체수 및 생체량을 파악하여, 조사해역에서 우점하는 종을 결정하고 이들의 양적변동을 파악
- 저서생물은 개체수는 개체/m<sup>2</sup>, 개체수/m<sup>2</sup>으로, 생물량은 g/m<sup>2</sup>, gwetWt/m<sup>2</sup>으로 표시하며, 조사해역에서 우점하는 저서생물의 출현량을 파악함.
- 어류의 경우도 개체수 및 생체량을 gram, kilogram으로 표시하며, 조사해역의 우점종 및 출현량을 결정함.
- 해조류의 생체량은 건중량으로 g dry wt/m<sup>2</sup>으로 표시하거나, 생물량 평균치와 단위면적당 현존량 구성비(%)로 표시하며 조사해역에서 서식하는 해조류의 생물량을 나타냄.

### 나. 활용방안

- 적용결과를 토대로 수산자원 생물의 종리스트 및 우점종 목록을 작성하여 기초자료 확보.
- 서식하는 생물의 현존량을 시기별로 파악.
- 현존량을 토대로 생물의 연도별 예상 현존량 및 생산력 추정.
- 지속적인 조사를 통한 미래의 바다목장 조성해역에서 서식하는 생물의 자원량 추정 및 평가.
- 바다목장 운영에 따른 유용 수산자원 생물의 정착화 과정 진단.
- 연안 생물의 생산성 증대를 위한 기본 계획 수립을 위한 자료 제공.

## ⑦ 종합 평가

- 현장조사의 정밀성을 통한 서식하는 생물군집의 구조적인 특성 파악 용이.
- 분석방법의 객관화 및 수집 자료의 정확성을 통한 수산생물의 자원량 추정 및 평가 가능.
- 현장조사 및 분석방법의 정확성을 통한 수산생물의 자원량 추정 /자료의 질적 해석 가능.



## 자원 조성

자원량 평가 기술



## 자원조성

### 6. 자원 관리 기술



# ● ● ● ● ● 자원 관리 기술

## ▶ ① 기술이 추구하는 목표

자원조성 및 관리 분야는 바다목장 조성의 가장 핵심적인 연구 분야로 대상종 선정, 건묘 생산, 표식 및 방류기술, 행동 및 서식생태 특성연구, 수중구조물 개발 및 배치기술, 자원학

적 평가 등의 일련의 전반적인 연구과정을 포함하며 이들 연구를 유기적으로 연계하여 궁극적인 목표인 자원 조성을 달성하는데 의미가 있다.

## ▶ ② 기술의 필요성

수산자원은 지구상에 존재하는 인간이 활용 가능한 여러 가지 형태의 자원들 중에 특이하게도 재생산이 가능하고, 합리적인 이용 방법이 수립된다면, 현재 수준보다 더욱 증대시킬 수 있는 자원이라고 판단된다. 결국 수산자원이 갖고 있는 재생산력을 저해시키지 않는 범위에서 합리적인 관리가 가능하다면 지속적인 생산성을 유지시킬 수 있는 무한한 잠재력을

갖는 대상인 것이다. 그러므로 자원을 관리한다는 의미 즉, 자원 관리기술이 갖는 필요성은 바다목장 사업의 성공 가능성을 제시하는 중요한 관점일 것이다.

### ▶ ③ 기술의 내용

자원조성에 필요한 기술 요소 중 핵심적인 몇가지를 들어보면 아래와 같다.

- 대상종 선정 : 자원관리 대상의 선정

- 대상종의 행동 및 서식생태 특성연구 : 대상 자원관리를 위한 과학적 기초 근거
- 표식 및 방류 기술 : 자원관리를 위한 기법
- 자원의 관리 : 방법론의 평가 및 확립

### ▶ ④ 기술의 현장 적용 절차(기술적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

본 기술의 내용에서 언급된 대상종의 선정 및 서식생태 특성 연구 분야는 기반조성 단계(제 1단계)에서부터 기초 연구가 시작되어야 하고, 기반기술 적용단계(제 2단계)에서부터 본격적인 자원관리 프로그램이 현장에 적용 가

능한가를 확인하여야하고, 마지막 단계인 이용 관리 단계(제 3단계)에 가서 종합적인 기법의 적용 결과를 평가하여 시행착오를 보완하는 단순한 논리를 근거로 수행되어야 한다.

### ▶ ⑤ 기술의 적용방법

#### (가) 대상종 선정 및 생태특성연구

바다목장사업의 성격에 맞는 현지 해역의 고급수산어종을 대상어종을 택한다.

##### (1) 대상종의 서식생태 특성

- 수조 내

대상 종의 행동 특성을 파악하기 위하여 수조 내에 다양한 구조를 가진 수중구조물을 설치하고 행동 및 군집 특성을 관찰 기록한다.

- 가두리내

대상 종의 행동 특성을 파악하기 위하여

여 해상 가두리(14m x 14m x 10m) 내에 다양한 구조(지붕형, 측면 격벽형, 모자이크형, 로우프형 등)을 가진 수중구조물을 설치하고 행동 및 군집 특성을 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 원칙으로 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.

(가) 수심별 분포 특성

계절별 나이별 대상종의 수심별 분포 특성을 잠수 관찰한다.

(나) 표식 및 방류기술

어체표식방법 개발 과 아울러 방류어의 방류 시기, 방법 등에 대한 연구를 진행한다(분야기술부분에서 자세히 언급함)

(다) 자원의 관리

자원조성 진행 사항을 어구, 어탐 및 잠수조사를 병행하여 모니터링하고 년도별 총 자원량에 대한 평가와 각 종별 어획 가능한 자원량을 제시한다.

▶ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

가. 대상종 선정

통영다목장 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 참돔, 전복과 해역환경정화를 고려한 해삼 등을 시험어종으로 택하였다.

(1) 대상종의 서식생태 특성

- 암반 및 어초에 대한 군집 특성  
1-2세를 대상으로 한 행동 실험 결과

0-1세 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 썰 바닥보다는 사패질이나 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.

(나) 표식 및 방류기술

분야기술부분에서 자세히 언급함

(다) 자원의 관리

자원조성 진행 사항을 어구, 어탐 및 잠

수조사를 병행하여 자원조사 결과 총 자원량을 추정하고 어획가능한 량을 제시한다. 조피볼락의 경우 2004, 2005년의 통영바다목장의 표지 방류법을 이용한 연령 군별 추정 자원량은 [표 6-1]과 같다.

[표 6-1] 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 MSY시어획노

력량(fMSY)은 358톤, ABC시 어획노력량(fABC)은 108톤이었다.

**7 현장적용을 위한 구체적인 제안**

목적형 바다목장의 자원조성을 성공적으로 이끌기 위해서는 기본적으로 해당 해역의 환경과 자원 현황을 정확히 파악하는 것이 우선이다.

환경은 크게 해양물리, 해양화학, 지질환경

과 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 초기충격매물  
량을 파악하여야 한다.

생물환경으로는 생물상, 주 대상종 및 유용  
자원 및 초기 자원량 파악이 우선되어야 한다.

주 대상종이 선정되면 대상종의 생태, 행동  
생태학적 특성을 파악하여 설치할 인공어초어  
장의 어초와 배치가 결정되도록 하여야 한다.

그후 건강한 종묘를 중간육성 과정을 거쳐 해  
당 해역에 방류한 후 자원량의 변동을 모니터  
링 하면서 자원량에 따른 어획허용량을 제시  
하여야 한다.

기본적인 자원이 조성되면 어획시기, 어획  
제한 사항을 정하고 어민자치회 및 관리위원  
회로 하여금 철저히 관리토록 하여야 한다.





## 이용, 관리

---

### 1. 바다목장 이용, 관리 기술



# 바다목장 이용, 관리 기술

## ① 기술이 추구하는 목표

바다목장은 연안에 인공어초를 시설하여 산란장 및 서식장을 조성하고 우량종묘를 대량 방류하여 자원증대를 도모하며, 여기에 인위적인 어획통제와 지속적 이용·관리체계를 적용함으로써 어업인 소득향상과 지역경제 활성화에 기여하는 새로운 어업생산시스템을 의미

한다.

여기에서 이용관리 분야의 목표는 해당 바다목장의 해역 및 이용자 특성을 반영하여 최적의 관리·이용시스템을 구축함과 동시에 사업전반에 대한 사전 및 사후효과 분석을 수행하는데 있다.

수산자원의 증대  
환경조성+종묘방류

어장+자원관리  
자원첨가+모니터링

지속적 관리체계  
어장, 조직, 판매

새로운 어업생산시스템  
- 어업 및 기타소득 증대  
- 어촌지역 활성화

## ▶ ② 기술의 필요성

바다목장사업에서 이용·관리는 크게 3가지 측면에서 기여를 한다. 먼저, ㉠ 바다목장 조성과정에서 필요한 사업이다. 이는 사업추진계획 수립, 관련 제도 확립, 목장해역 모니터링 및 현장실태 조사, 이용·관리체제의 구성이다. ㉡ 사업효과 분석으로 사업초기의 사전타당성평가, 중간평가, 최종 경제성평가지다. 마지막으로 ㉢ 사후관리체제 확립인데, 여기에는 바다목장 조성 이후 사후관리의 범위, 참여간 역할 분담, 비용 조달 등의 내용을 담게 된다.

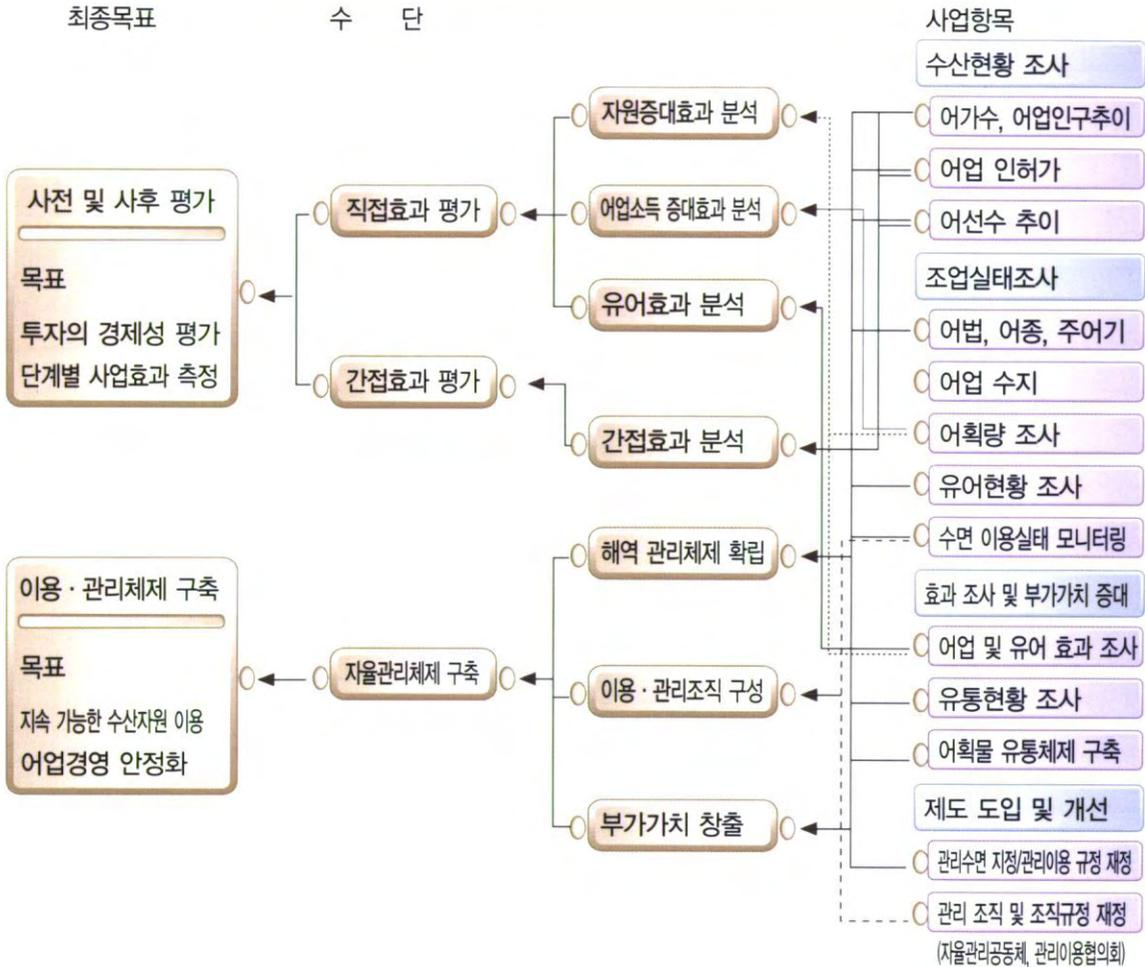
특히 바다목장사업은 자원조성사업과 성격을 달리하고 있으므로 이용관리기술이 필요하다. 즉 바다목장사업에서는 인공어초, 종묘방류, 해중립 조성 등 자원조성 단위사업이 종합적으로 이루어진다. 여기에 자원조성 및 어장이용에 대한 지속적 관리이용이 포함된다. 이는 바다목장사업은 단순히 자원조성에서 끝나지 않고 조성된 자원을 어떻게 하면 합리적으로 관리하고 효율적으로 이용하는가를 포함하는 지속적 사업의 개념을 가진다.

## ▶ ③ 기술의 내용

전술한 바다목장 이용·관리 분야의 목표를 달성하기 위해 필요한 수단 및 세부사업항목을 정리하면 다음 그림과 같다. 먼저, 지속적 이용관리체제는 어업인을 위시한 이용자들의 자율적인 관리체제를 지향하는데, 이러한 체제를 수립하기 위해서는 해역관리체제 확립, 이용·관리조직 구성, 바다목장 부가가치 창출 등이 필요하다. 다음으로 바다목장의 사전

및 사후평가는 직접, 간접효과 평가로 나뉘며, 직접효과는 자원 증가, 어업소득 증대, 유어효과 등의 분석으로 측정한다. 간접효과는 어가수, 어업인구, 인허가, 낚시점포 등을 계산하여 그 증감 유무로 측정한다.

바다목장 이용관리 분야 연구 추진도



#### ④ 기술의 현장 적용 절차(기술적용을 위한 시기적 타당성 및 적절성)

바다목장의 추진체계는 적지선정단계, 계획 수립단계, 바다목장조성단계, 사후관리단계로 나눌 수 있다. 각 단계별로 자연과학과 사회과

학의 연구분야로 나뉘어져 있으며, 이용관리에서 담당하는 분야는 다음과 같다.



적지선정단계에서는 어업실태 및 인문사회 여건, 사회과학적 평가, 평가위원회 구성 등이 있다. 다음으로 계획수립단계에서는 기본계획 및 사전타당성 평가, 투자계획 및 자금조달 방안 수립을 담당한다. 조성단계에서는 목장해역 이용실태조사, 효율적 관리이용시스템 확

립 및 보완, 수산자원관리수면 지정 및 규정 제정, 관리조직의 구성 등을 수행한다. 마지막으로 사후관리단계에서는 사후관리 역할 분담, 이용관리체제 수정·확립, 직간접 효과 분석, 향후 개선방안 도출 등을 실시한다.

## 5 기술의 적용방법

목 표	수 단		항 목	접 근 방 법
사전 및 사후 평가	직접 효과	수산자원 증대	- 조업실태 : 어획량 조사 - 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어효과 조사	- 매년조사 · 어업인 및 관계자 샘플조사 · 모니터링 요원 전화 설문 · 유어단체 면담, 설문
		어업소득 증대	- 조업실태 : 어업수지, 어획량 조사	- 매년조사 · 업종별 샘플 면담조사 · 모니터링 요원 전화 설문 · 관련 전문가 면담
		유어효과	- 조업실태 : 유어현황 - 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어효과 조사	- 매년조사 · 낚시 점포수 · 낚시객, 낚시어선업자, 낚시단체 면담 및 설문조사
	간접 효과	간접효과	- 수산현황 : 어가수, 어업인구, 허가, 어선척수 등	- 매년조사 · 해수부 및 지자체 통계수집 · 어업인 및 관계자 면담조사 · 목장 조성 이전과 이후 비교
합리적 이용 · 관리 체계 구축	자율적 관리체 제	해역관리 체제 확립	- 수산현황 : 어가수, 어업인구, 허가, 어선척수 등 - 조업실태 : 어법, 어종, 주어기, 어획량, 유어현황, 수면이용실태 - 제도 도입 : 관리수면 지정 및 규정 적용, 사후관리 수정 보완	- 매년조사 · 해수부 및 지자체 통계수집 · 어업인 및 관계자 면담조사 - 목장조성단계부터 시작 · 자원, 어장조성 계획 검토 · 통영바다목장 사례조사 - 사후관리 단계 · 관련 제도의 수정 보완
		이용관리 조직 구성	- 조업실태 : 수면 이용실태 모니터링 - 제도 도입 : 관련 조직 및 조직규정 제정	- 매년조사 · 어업인 및 관계자 면담 조사 - 목장조성단계부터 시작 · 기존 제도 검토 및 분석 · 통영바다목장 사례조사 · 관련조직의 역량강화
		부가가치 창출	- 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어효과 조사, 유통현황 조사, 어획물 유통체제 구축	- 목장조성단계부터 시작 · 유어낚시객 설문조사 · 유통실태 및 브랜드 구축 설문조사 · 관련 계획 검토

바다목장사업에서 사전 및 사후평가, 이용·관리체제 구축이라는 이용·관리 분야의 최종목표를 달성하기 위해서는 단계별로 조사항목과 검토내용을 달리한다. 우선, 적지선정과 계획수립단계에서는 후보지의 선정과 바다목장 기본계획, 사전 경제성 평가가 이루어진다. 바다목장 조성단계에서는 사후 타당성 분석과 이용·관리체제 구축에 기초자료로 활용하기 위해 조업실태 조사 및 경영수지, 유어낚

시 등 실태조사가 이루어진다. 그리고 바다목장 해역에 수산자원관리수면을 지정하고 관리·이용 규정을 제정하며, 관리이용조직을 발족시켜 자율적인 이용체제로 발전시켜 나간다. 마지막으로 사후관리단계에서는 사후관리 역할 분담, 관리·이용체제의 보완, 관리조직의 역량 강화를 통해 지자체, 어업인 중심의 관리체제를 확립해 나간다.

## ▶ ⑥ 적용결과 및 활용 방안

통영바다목장 이용관리 분야의 단계별, 항목별 조사내용에 대한 적용결과 및 평가는 다음과 같이 정리할 수 있다.

이러한 바다목장의 연구결과는 현재 추진 중인 여수, 동서제주바다목장, 소규모바다목장 조성사업에 활용할 수 있는데, 특히 수산자

원관리수면의 지정과 관리이용 규정의 제정, 관련 조직의 구성 등에 많은 참고가 될 것이다. 그리고 나아가서는 우리나라 자원조성사업, 혹은 수산분야 공공투자사업의 평가에도 본 연구에서 도출된 사전 및 사후평가 모델을 응용할 수 있을 것이다.

목 표	수 단		항 목	결과 및 평가	
사전 및 사후 평가	직접 효과	수산자원 증대	- 조업실태 : 어획량 조사 - 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어 효과 조사	- 어종별 어획량 자료 축적('98~)	- 마스터플랜 초안수립('99) - 자원별 연도별 투자계획수립('99) - 투자계획수정('00)  - 사전경제성 분석('98) - 투자계획수립에 따른 재평가('00) - 중간평가('03)
		어업소득 증대	- 조업실태 : 어업수지, 어획량 조사	- 어종별 어획량, 경영수지 추이 비교('98~)	
		유어효과	- 조업실태 : 유어현황 - 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어 효과 조사	- 유어낚시와 관련된 자료 축적	
	간접 효과	간접효과	- 수산현황 : 어가수, 어업인구, 허가, 어선척수 등	- 매년 자료 축적('98~)	
합리적 이용 · 관리 체계 구축	자율적 관리 체제	해역관리 체제 확립	- 수산현황 : 어가수, 어업인구, 허가, 어선척수 등 - 조업실태 : 어법, 어종, 주어기, 어획량, 유어현황, 수면이용실태 - 제도 도입 : 관리수면 지정 및 규정 적용, 사후관리 수정 보완	- 매년 자료축적('98~) - 보호수면 지정('00) - 기르는어업육성법 제정('02), 목장 규정 - 수산자원관리수면 관리이용규정 제정('05) - 수산자원관리수면 지정('05) - 사후관리체제의 수립('07) - 수산자원관리수면 관리이용규정 개정('07) - 시범조업, 모니터링 요원 고용('07)	
		이용관리 조직 구성	- 조업실태 : 수면 이용 실태 모니터링 - 제도 도입 : 관련 조직 및 조직규정 제정	- 수산자원공동관리위원회 구성('98) - 자율관리어업위원회 발족('04) - 관리이용협의회 발족('05) - 관련 규정의 제정('05) - 자율관리공동체 · 위원회 재구성('07) - 관련 규정의 개정('07) - 사후관리 역할 분담('07)	
		부가가치 창출	- 효과조사 및 부가가치 증대 : 어업 및 유어효과 조사, 유통현황 조사, 어획물 유통체제 구축	- 인공낚시터 제작('06), 활용방안('07) - 바다목장 상표등록('06) - 어획물관리센터 설립('07)	

## ▶ 7 종합 평가

통영바다목장 시범사업은 우리나라 최초의 바다목장사업으로서 동 사업의 추진을 통해서 바다목장사업의 이론정립, 종합적 자원조성사업의 방향 제시, 새로운 규정 및 수산자원관리수면의 설정, 이용·관리체제의 틀 구축, 어업인 조직화 및 참여 의식고취, 어업소득 증대 등 여러 가지 긍정적인 측면이 있었다. 하지만 통영바다목장 시범사업이 바다목장사업 중에서 처음으로 수행되었으므로 많은 부정적인 측면도 있었던 것도 사실이다.

연구 추진 상의 문제점을 정리하면, 우선 ㉠ 바다목장사업에 대한 개념정립 및 체계화의 어려움을 들 수 있다. 비록 사업 초기부터 연구진들에 의해서 바다목장에 대한 개념이 정립되었으나 동 개념에 대한 사회적 확산 및 공감대 형성에는 미약하였다. 따라서 이후 학계, 연구계, 관계, 어업인 등 수많은 개개인이 나름대로의 개념을 형성하여 바다목장을 해석함으로써 통영바다목장사업의 추진에 여러가지 시행착오가 불가피하게 나타났다. ㉡ 관리·이용체제의 수립에서도 바다목장 연구진의 목표, 정부의지, 지자체 및 어업인 인식 차이로 인해 수산자원관리수면 지정, 관리이용협의회 및 자율관리위원회 구성, 양륙항 및 어획물관리센터 설립 등에 많은 어려움이 있었다. 또한, ㉢ 대상자원의 생태, 회유로, 분포도 및 밀도 등에 대한 자연과학적 자료의 구축이 늦어져 수산자원관리수면의 역할을 둘러싼 논란이 있었다. 특히 자원의 확산 정도 및 이동경로 등에 대한 정보가 미흡한 상황에서 수산자원관리수면의 성격, 그리고 범위에 대한 재검토가 필요하였고 또한 관리수단의 적용에 한계

가 나타났다. ㉣ 지속적인 교육 및 홍보에도 불구하고 어업관리에 대한 어업인의 인식부족 및 저항, 그리고 정부 의존적 태도로 인해서 어업인 스스로의 조업질서가 뿌리내리지 못하였다. 일부 어업인들은 보호수면에서 불법어업이 성행되고 있고, 관리수면에서도 금지어업인 통발과 자망이 근절되지 못하였다.

이러한 상황을 극복하여 시범사업의 종료 후에도 통영바다목장이 성공적으로 정착해 나가기 위해서는 지속적인 자원조성과 어업관리를 추진해 나가는 한편, 이용관리 조직의 활성화 등을 통한 이용관리체제의 보완이 필요하다. 또한 무엇보다도 지역 어업인과 지자체의 적극적 참여가 전제되어야 하며 이를 위해서 어업소득 증대를 위한 다양한 프로그램의 개발이 추가되어야 한다. 이러한 것이 하나씩 달성될 때 통영바다목장에는 인위적 자원조성, 적극적 자율관리, 부가가치 증대가 통합된 새로운 어업생산방식이 정착될 수 있을 것이다.



## 이용, 관리

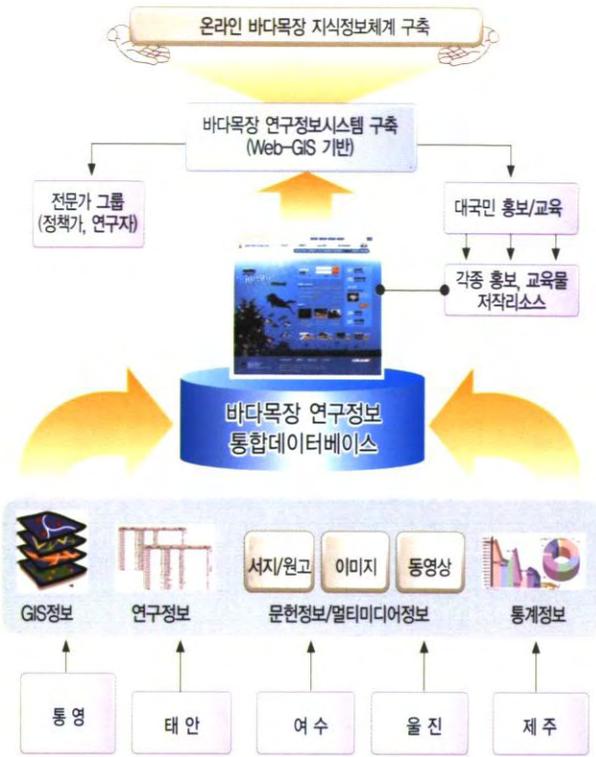
바다목장 이용 · 관리



## 이용, 관리

---

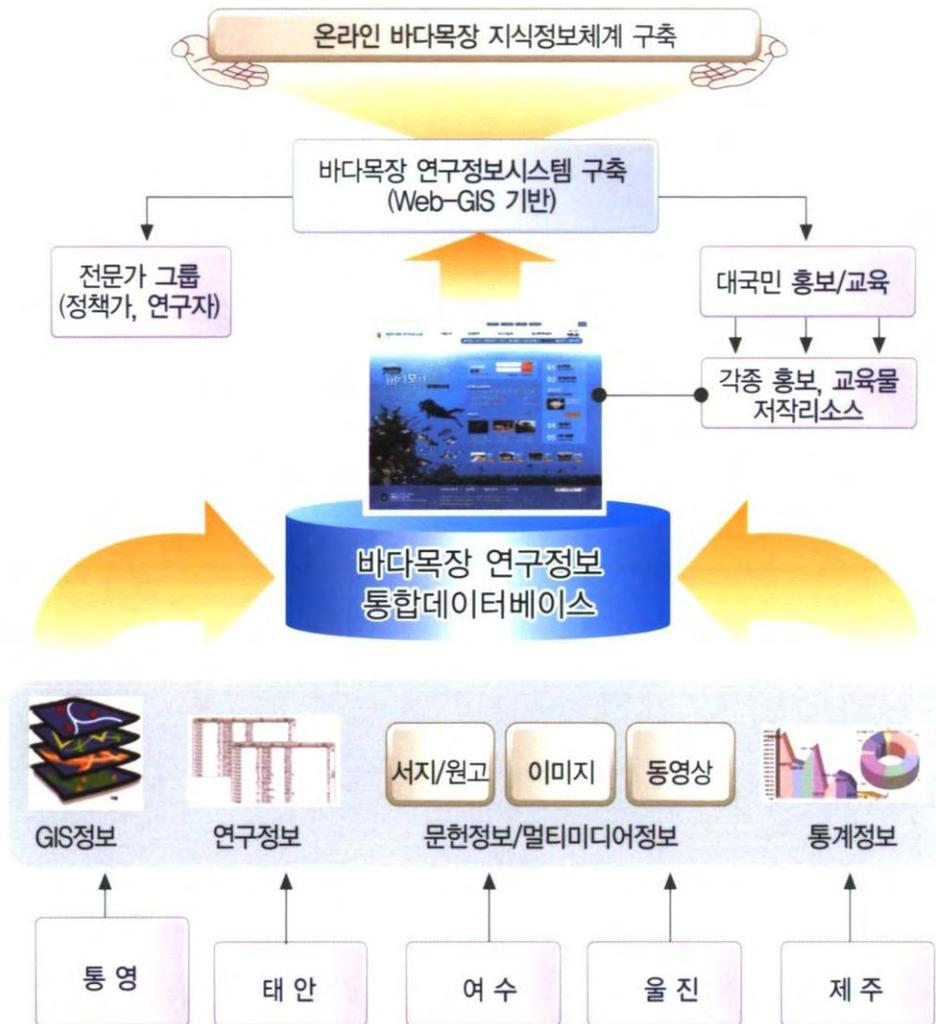
### 2. 바다목장 기술정보 구축방안



# 바다목장 기술정보 구축 방안

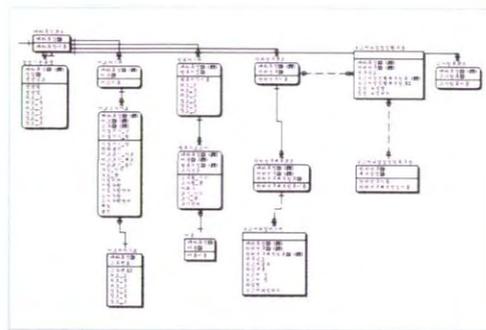
## ▶ ① 기술이 추구하는 목표

- ◆ 바다목장사업 결과의 영구보존
- ◆ 바다목장 사업의 기술정보 축적, 공유 및 활용
- ◆ 온라인 국가 수산지식정보체계로서의 기능, 역할 수행
- ◆ 바다목장 정책 및 업무지원
- ◆ 대국민 홍보, 교육 정보인프라 구축



## ② 정보기술의 필요성

- ◆ 바다목장 관측, 조사정보의 표준화 및 체계화
- ◆ 각종 문헌정보에 대한 전산화 및 검색서비스 지원
- ◆ 정보관리, 활용 및 공유체계 구축
- ◆ 정보의 효과적인 전달 및 홍보, 교육정보로서의 활용성 증대
- ◆ 시, 공간을 초월한 정보서비스 환경(유비쿼터스) 지원기반 마련



### 3 정보화 기술의 주요내용

#### ◆ GIS(지리정보체계)

바다목장 조성을 위한 기초적인 해양환경 조사, 샘플채취, 어초시설, 방류등 위치정보를 기반으로 한 각종 정보들을 2, 3차원 해양공간에 나타내어 각종 공간분석, 밀도분석, 농도분석, 효과분석등의 가시화 및 거리측정, 면적측정, 속성정보연계등을 통한 입체적인 정보제공 체제를 구축하고 주요 연구분석결과나 어초시설도, 방류현황도등 주제도제작 및 도면출력등을 지원한다. 바다목장 연구에 있어 위치정보는 가장 중요하다고 할 수 있으며 기본이 되는 정보인프라로서 통합형 WebGIS S/W의 도입 및 시스템 구축이 중요하다.

#### ◆ 연구문헌정보의 전산화 및 검색서비스

문헌정보의 전산화(PDF)를 통한 자료의 영구보존 및 다양한 조건 검색서비스 제공

#### ◆ 정보표준화, 축적체계 구축을 위한 데이터모델 설계

5개 바다목장별 연구정보의 통합화와 체계화를 위한 각종 코드설계 및 데이터모델 설계, 각 바다목장별 동일한 자료취합체계 마련(자료취합용 템플릿 선정등)

#### ◆ 관계형 데이터베이스 구축

정보간의 유기적인 관계설정을 통한 정

보의 지능적 관리 및 제공기술을 활용할 수 있으며 다양한 조건 검색어를 사용함으로써 사용자 요구에 맞는 맞춤형 데이터셋의 추출이 가능하다. 또한 각종 집계, 통계기능을 제공함으로써 관련 업무지원 기능을 수행할 수 있다. 검색결과는 엑셀등의 자료형태로 가공하거나 그래프등으로 제공된다.

◆ 온라인 기반 기술정보관리, 활용체계를 위한 네트워크 기술

정보시스템의 효율적인 구축 및 정보서비스를 위한 중앙집중형 웹서버시스템 구축을 통해 정보갱신, 관리의 효율성을 확보하고

필요할 경우, 현장에서 연구정보를 제공받거나 원격조사정보를 전송할 수 있는 등, 양방향 네트워크 서비스(모바일 기술등)의 구축이 가능한 이점이 있다.

◆ 멀티미디어 활용 정보기술

바다목장 연구와 관련한 각종 사진, 영상, 가상체험콘텐츠등을 활용하여 연구정보의 가공, 홍보, 교육을 위한 온라인콘텐츠 제작을 통해 효과적 정보 전달을 할 수 있으며 각종 오프라인 홍보, 교육매체(팜플렛, 책자, 비디오, CD)로 제작하여 배포할 수도 있다.

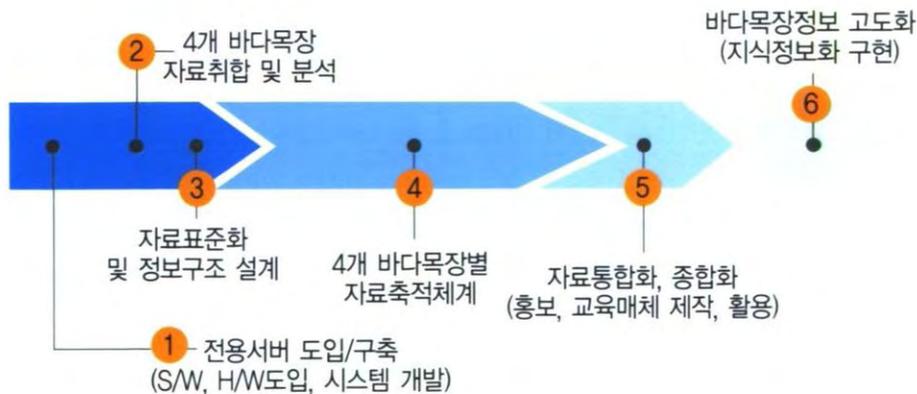
▶ 4 정보화를 위한 적용절차

가. 바다목장 정보구축

2006년 통영바다목장 연구정보시스템의 구축을 기반으로 하여 4개 바다목장사업의 정보화를 지속적으로 추진하되 자료의 표준화 및 통합화를 고려한 자료구조설계 및 단

계적 정보화 추진(일정), 발전계획이 필요하다.

특히, 전체 바다목장 사업의 정보화를 위한 통합형 코드체계 및 데이터모델 설계가 수행되어야 하며 이를 위한 사업추진이 선행되는

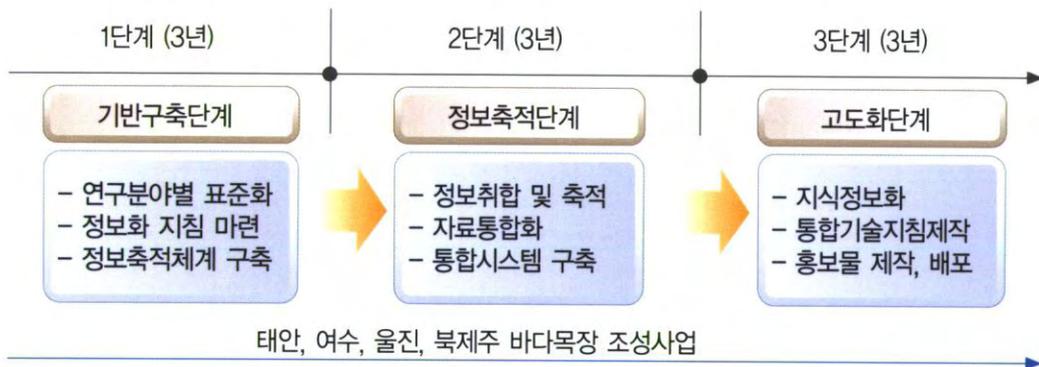


것이 바람직하다.

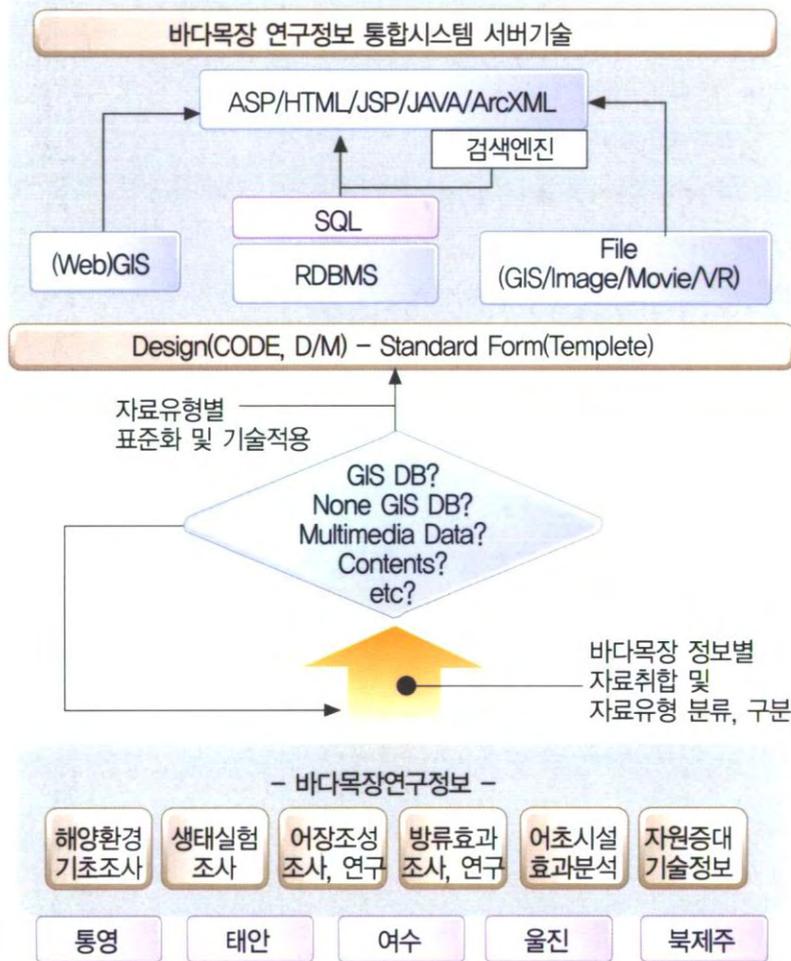
또한 각 바다목장 연구시기를 고려한 지속적이고 단계적인 추진계획이 필요할 뿐 아니라 통합화를 위한 고려 및 추진도 병행되어야 한다. 2007년부터 통영을 제외한 4개 바다목장사업에 대한 각종 자료, 정보의 분석을 통해 연구정보 통합시스템의 구축기반을 마련해 나아가야 한다.

### 나. 바다목장 통합연구정보시스템 구축단계

바다목장 연구정보 통합시스템은 공간정보, 관계형데이터베이스, 웹프로그램, 검색엔진(문헌정보검색), 멀티미디어 정보기술등 다양한 기술들이 통합적으로 구현되는 것이 바람직하며 이를 통한 입체적인 정보제공체계로 구성하여 정보전달 및 활용효과를 극대화할 수 있어야 한다.



## 5 정보화 기술의 적용(구현) 방법



특히 웹기반의 GIS엔진 S/W의 도입은 바다목장의 각종 위치기반 정보인프라를 통합하기 위하여는 필수적인 사항으로서 5개 바다목장해역의 공간정보를 웹기반에서 일괄적으로 관

리하고 운영, 활용하기 위한 중요한 기반이다. (현재 바다목장연구정보시스템을 위한 전용 서버장비 및 소요 S/W의 도입이 없음.)

## ⑥ 기술정보구축을 위한 지침(안)

### 가. 연구정보의 표준화 및 제출 의무화

바다목장 사업과 관련한 해양기초조사 자료 및 각종 정량화 형태의 자료에 대하여선 표준화된 양식과 규칙에 따라 제출하여야 하며 이를 의무화 하여야 함. 특히, 그래프 등의 상세정보 포함 함.)

미 제출시 사업비 신청을 불허하는 등의 제도적 장치가 수반되는 것이 효과적 임.

### 나. 기기를 이용한 정보의 처리원칙

기기를 이용한 관측, 관찰, 분석정보의 경우, 원시자료의 명세서 및 원시자료 일체를 제출하도록 함.(기기 재원, 용도등 명세 내용 포함.)

### 다. 현장조사(짐수조사, 어초투하등)정보의 처리 원칙

현장조사 실행 전, 지점정보(위, 경도, 주소등) 및 실행일자, 담당자, 실행목적등 필수사항 기록지를 활용하고 좌표독취 및 사진촬영으로 메타정보를 남기는 것을 원칙으로 하여야 함.

### 라. 메타데이터 처리원칙

모든 메타데이터(정보를 설명하기 위한 각종 부가정보 : 작성자, 위치, 주소등등) 정보들은 자료군별로 빠짐 없이 명확히 기록되거나 보관되어야 하며 향후 제공되어질 자료표준템플릿 내용에 포함되도록 한다.

### 마. 사진, 동영상 자료의 처리원칙

방류, 채집, 잠수, 어초등과 관련한 사진 및 동영상 촬영시에는 향후, 자료의 시계열 구분 및 연속성 확보등을 고려하여 반드시 메타정보를 기록하는 것을 원칙으로 하여야 하며 바다목장 해역별로 필수 촬영목록과 매수를 사전에 산정하여 취득하도록 하여야 한다.(시계열적 환경변화 유추 및 해석에 중요한 정보로 쓰여 짐.)

### 바. 각종 문헌정보의 처리원칙

각 바다목장사업의 최종보고서는 원본과 일을 정해진 규격에 따라 제출하여야 하며 필요시, 부분적인 사전 자료 제공이 가능하여야 한다.

또한 보고서에 사용한 각종 원시파일(사진, 도표, 그래프) 데이터도 모두 별도로 포함하여 제출하여야 한다.

## ⑦ 적용결과 및 활용(발전) 방안

### 가. 바다목장 연구정보시스템 적용결과 (2006~2007)

2006~2007년도 통영바다목장사업에 대한 연구정보시스템을 구축하였다. 이는 최초로 시도 되었던 통영해역의 정보들을 기반으로 한 온라인시스템으로 개발되었다.

총 9여년간의 연구보고서를 모두 전산화(PDF변환)하여 내용검색 및 원문다운로드 서비스가 가능하도록 하였으며 원시자료검색, 어초시설현황, 연구참여자 인명조회, 주요 연구성과정보등, 연구전반에 걸친 자료들을 편리하고 알기 쉽도록 재구성한 것이다.

특히, 원시자료의 경우, 해양환경기초조사 일체를 제공하고 있으며 해역의 GIS정보 또한 제공하고 있어 정보활용도를 높이고자 하였으며 온라인 기반의 정보관리, 활용체계 기반을 구축함으로써 향후 바다목장 사업별 지속적인 추진과 통합이 가능하다.

전체 바다목장 기술정보를 통합화하기 위한 통합코드설계 및 메뉴구성을 적용하여 향후 통합형 연구정보시스템으로서의 발전 방향을 제시하였다.

### 나. 바다목장 통합연구정보시스템의 활용방안

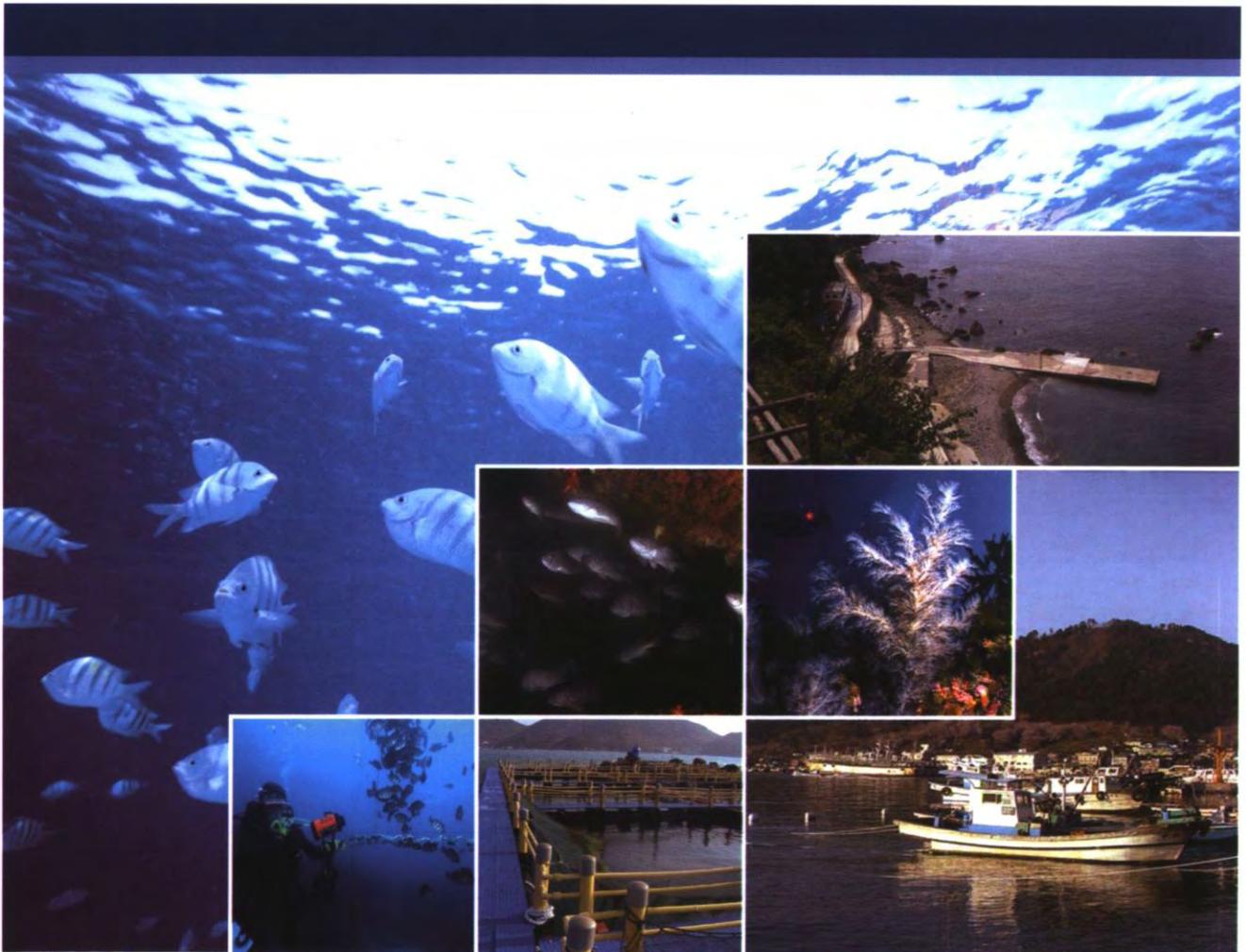
- ◆ 바다목장사업 문헌자료 전산화를 통한 신속한 자료검색 및 제공(검색엔진 도입 포함)
- ◆ 바다목장 해양환경 기초조사 원시자료의 제공
- ◆ 어초시설현황정보 제공(위치, 수량, 형태, 시기등)
- ◆ 바다목장사업 참여 연구진 인명정보 제공
- ◆ GIS자료 검색, 운영 및 분석주제도 제공(위성영상 포함), 도면 제작, 출력
- ◆ 바다목장 정책지원자료 제공 및 보고, 기획업무 지원
- ◆ 대국민 홍보, 교육을 위한 온라인콘텐츠 및 오프라인 매체(영상, 책자, 포스터, CD등)제작 리소스로 활용
- ◆ 외국어사이트 구축을 통한 국제적 관련 기술 교류 및 수산과학 선진국으로서의 입지선점.
- ◆ 국가 지식정보망으로서의 기능과 역할 수행
- ◆ 중소규모 신규 바다목장사업 레퍼런스(기술지침)정보 제공



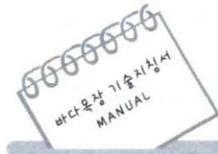
## 이용, 관리

바다목장 기술정보 구축방안

통영해역 어업형[정착성]  
**바다목장 기술지침서 부록**  
Marine Ranching Manual



여 백



# 생태특성 평가 부록

## I. 생태특성 연구 분야

## ▶ ① 생태특성 연구 분야

### 가. 해양환경 특성 분야

해양생태계의 구조는 생물적 구성요소 (biotic components)와 비생물적 구성요소 (abiotic components)로 이루어져 하나의 시스템을 형성하고 있다. 생물적 구성요소는 자가 영양생물로서 규조류, 와편모조류, 녹조류, 남조류와 같은 크기가 작은 식물플랑크톤과 육안으로 관찰이 가능한 해조류로 구성되며, 이들 녹색식물은 햇빛 에너지를 이용하여 일차생산을 담당하고 있다. 종속 영양생물인 동물플랑크톤과 크고 작은 어류 등은 소비자로서 일차생산자를 먹이원으로 한다. 미생물은 분해자로서 유기물을 무기물로 분해하고 생물 재생산에 기여하고 하고 있다. 비생물적 구성요소는 환경요인으로 태양 에너지, 수온, 염분, 해류, 바람, 수소이온농도 등과 영양염류, 중금속, 환경호르몬 등이 있다. 이와 같은 요인은 기초생산에 중대한 영향을 미치며, 더 나아가 저차 소비자에서 고차 소비자에 이르기까지 자원량 증감에 결정적 역할을 한다. 결국 생태계는 생물적 구성요소에 비생물적 요소가 복잡하게 유기적으로 작용 또는 반작용하여 기능을 발휘하고 있다.

저질 생태계의 특징 중 해양 퇴적물의 입자는 극세립의 경우 이들 퇴적물의 매우 완만하고 편평한 경사와 더불어 퇴적물 내의 물을 빠져나가지 않게 하고 기질 내에 머무르게 한다. 해수의 긴 정체시간은 공극수와 펄 상부 해수의 교환의 불량과 연관되어 있는데, 내부의 높은 박테리아 밀도와 더불어

표층으로부터 최초 몇 cm 깊이의 퇴적물 속에서 산소 고갈을 초래시킨다. 따라서 퇴적물의 내부는 혐기성 (anaerobic) 상태가 우세하고, 이것은 연성기저에서 펄 바닥과 모래 바닥을 구분하는 가장 중요한 특징 중의 하나가 된다. 펄 바닥은 유기물을 축적하는 경향이 있다. 따라서 이곳에 서식하는 생물들에게 풍부한 잠재적 먹이의 공급원으로 작용한다. 그러나 해저-수 경계층 (benthic boundary layer)으로 비오듯 떨어지는 무수한 작은 유기물 입자가 바닥에 서식하는 저서동물들의 호흡기관의 표면을 막아버리는 경우도 많다.

해양 미생물군집은 생태계에서 먹이사슬의 기초를 이루는 생산자이자 에너지를 재생산하는 분해자로서 유기물을 이산화탄소와 물과 같은 무기물로 전환하여 물질순환과 에너지 흐름에서 중요한 역할을 하며 (Odum 1971), 동시에 피식·포식관계로 이루어진 먹이순환과 탄소순환에서 연결고리로 작용하여 생태계의 동적 평형유지에 중요한 역할을 담당한다 (Pace and Orcutt 1981; Mohapatra *et al.* 2004). 수계 종속영양세균 군집의 특성은 수서 생태계의 영양물질 순환에 대한 지표가 되며 종속영양세균은 유기물의 분해와 물질순환을 통하여 영양단계가 다른 생물에 필수 영양인자를 제공하거나 다른 생물의 먹이원이 된다 (Church *et al.* 2000). 해양 생태계의 물리·화학적 환경요인의 변화는 총 세균수와 같은 미생물적 요인과 높은 상관관계를 보이므로 (Morita *et al.* 1973), 해양 생태

계를 보다 잘 파악하기 위해서는 종속영양 세균의 군집을 조사하는 것이 필요하다.

식물 플랑크톤은 해양의 일차생산자로서 광합성을 통해 유기물을 합성하게 된다. 이들이 생산한 유기물은 미세 먹이망을 포함한 먹이 사슬을 거치며 어류를 포함한 상위 생물군의 생명 활동에 필요한 에너지를 공급하게 된다. 따라서 식물플랑크톤의 일차 생산은 해양생태계의 생산성을 결정하는 가장 중요한 요인이라 할 수 있다. 식물플랑크톤의 성장과 일차생산력은 수온변화에 따라 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다 (Platt and Jassby 1976; Raven and Geider 1988; Davison 1991).

동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 섭식하고, 육식동물들에게 최초의 먹이 역할을 하는 이차생산자이다. 바꾸어 말하면, 동물플랑크톤은 광합성 원생생물, 또는 유기화합물-박테리아 연결에서 비롯된 일차 생산에 대한 최초, 또는 그 다음 단계의 소비자이며, 더 높은 영양단계(trophic level) 생물로의 에너지 전달 매개자이기도 하다. 저차 영양단계의 일차적 소비자는 타가영양 원생생물(heterotrophic protists)과, 단세포 생물을 선택적으로 섭식할 수 있을 정도로 작은 동물들이 모두 포함될 수 있으나, 단세포 원생동물과 다세포 동물의 생물학적 차이가 크기 때문에 시료 채집을 비롯한 연구 접근 방법이 매우 다를 수밖에 없다. 일반적으로 동물플랑크톤을 일컬을 때는, 타가영양 편모류나 섬모충류(ciliates) 등의 원생동물을 포함하지 않는 동물 종류의 플랑크톤, 즉 후생동물플랑크톤(metazoan zooplankton)이면서 크기로는 중형동물플

랑크톤(mesozooplankton)과 대형동물플랑크톤(macrozooplankton) 만을 다루는 경우가 많다. 동물플랑크톤 가운데 종생부 유생물(holoplankton)은 저서동물에 비해 많은 종을 포함하지 않는 것으로 알려져 있으나 (May 1988), 일시 부 유생물(meroplankton)까지 고려할 경우, 저서무척추동물과 어류들이 포함되므로 거의 대부분의 동물 문(phyla) 종류들이 동물플랑크톤으로서 해양에 분포하는 셈이 되며 약 4,000 여종으로 추정하고 있다. 동물플랑크톤 가운데 절지동물 종은 전체 중형동물 플랑크톤의 약 66 %를 점유하는 것으로 추정되며, 이 가운데 요각류(copepods)는 다양성이나 생물량에서 가장 중요한 종류이다. 과거부터 일반적으로 사용되어온 네트 채집(net tow)에서 적절히 시료가 얻어지지 않아 간과된 경우가 많았으나, 외양에서의 잠수(bluewater diving) 등의 방법을 응용하면서, 혹은 최근에 생물량이 증가하는 것으로 추정되면서 중요성이 부각된 동물플랑크톤이 흔히 젤라틴 플랑크톤(gelatinous zooplankton)이다. 해파리(medusae), 관해파리(siphonophores), 빗해파리류(ctenophores), 모약동물류(chaetognaths), 유형류(appendicularians), 살파류(salps), doliolids 등 분류학적으로 광범위한 동물군을 총칭하는데 우리나라에서도 과거에는 간과된 면이 없지 않으나, 매우 다양성과 생물량에서 중요하거나 생태계에 미치는 영향이 클 것으로 기대되므로 고려해야 할 생물군이다.

저서동물의 경우 이동이 원만하지 않고, 생활사에서 그 일부를 플랑크톤 생활 시기

를 거치는 것이 대부분이기 때문에 자신을 방어할 만큼 상대적으로 크지 못한 시기에 수괴의 급격한 영향은 생물의 안정적인 가 입을 저해하는 요소로 작용할 것이다. 특히 대부분의 저서동물은 유생 기간 동안 안정적인 기질을 찾기 위한 능동적인 활동이 이루어지며, 주로 수괴의 영향 중 조류의 이동, 수온, 염분도 등에 영향을 받을 수 있다. 탈피기간 동안 안정된 환경을 찾지 못하는 경우 일단 착지한 후에 각 생물별 내성 정도에 따라 서식양상이 좌우되는 것으로 알려져 있다. 일정지역에서 이러한 행위가 장기적으로 유지되는 경우 수괴 변동이 심한 해역은 일정 군집구조를 유지하지 못하고, 환경에 비교적 안정적인 상이한 생물이 가입되든지, 기존 서식생물의 연급군 유지가 어려워지면서 군집구조가 바뀌는 양상을 보일 것이다.

1990년대 말부터 시작한 통영바다목장은 2007년 사업기간이 종료됨에 따라 각급 지방자치단체 및 많은 어민이 관심이 집중되고 있다. 또한 통영바다목장과 유사한 바다목장이 동해, 서해, 남해, 제주해역에 설정됨에 따라 해양생태계의 조사를 위한 시료 채취 및 분석 방법의 적합화, 분석 방법의 표준화, 자료해석의 객관화 등이 뒤따라야 한다. 이 지침서는 바다목장 해역의 조사방법 및 결과 도출의 표준화를 위해 통영바다목장 해역에서 조사된 생태계 조사 자료를 바탕으로 조사방법에 대한 문제점을 도출하

며, 적절한 조사방법의 지침서를 제안하는데 목적을 두었다.

## (1) 물리화학적 환경요인

### (가) 수중 생태계

#### ① 수온, 염분, pH, 용존산소량

수온과 염분을 수온과 염분은 T-S meter (YSI 85)로, 수소이온농도와 용존산소량은 수온과 염분은 T-S meter 휴대용 pH meter (YSI-60)로 현장에서 각각 측정하였고, 투명도는 Secchi disk(직경=30cm)를 이용하여 측정하였다(그림 1).

#### ② 부유물질(SS : Suspended Solids)

여과지를 진공으로 흡인되는 여과기에서 증류수로 염분이 완전히 제거될 때까지 반복하여 여과 세척한 다음, 건조기를 이용하여 103~105℃에서 1시간 동안 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 방냉한 다음 전자저울로 무게(mg)를 측정한다. 일정 부피의 잘 혼합된 해수시료를 준비된 여과지에 진공으로 흡인되는 여과기로 여과한 후 여과지의 염분을 제거하기 위하여 약 10mL의 증류수로 3회 반복하여 여과 세척한다. 시료 여과시에는 여과지의 물기가 거의 제거되도록 추가로 3분간 흡인·여과한다. 건조기를 이용하여 103~105℃에서 1시간 동안 시료 여과지를 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 방

$$\text{부유물질의 양(mg/L)} = (A - B) / V$$

V : 여과한 시료의 부피(L)

냉한 다음 전자저울로 무게(mg)를 측정한다. 부유물질의 양은 여과 전(B)과 후(A)의 무게차이를 여과한 시료의 부피(V)로 나누어 계산한다[그림. I-1].

### ③ 화학적산소요구량(COD : Chemical Oxygen Demand)

#### ㉑ 시약제조

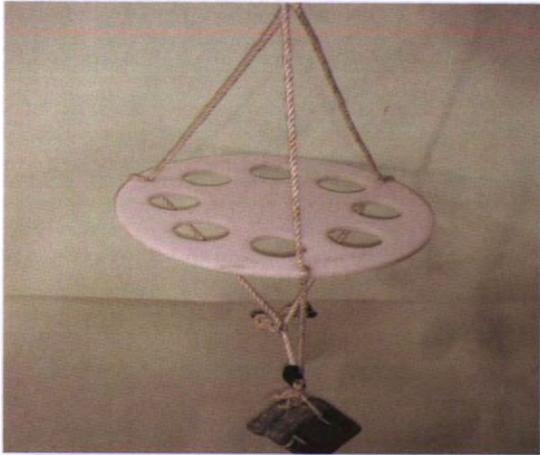
- 황산용액(1+1) : 황산( $H_2SO_4$ )을 증류수에 1:1의 비율로 혼합한다. 이때 발생하는 열을 식혀가며 혼합하여야 한다.
- 0.025N 티오황산 나트륨 표준용액 : 티오황산나트륨( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) 6.205g을 증류수에 녹여 정확히 1000mL로 한다
- 0.01N 요오드산칼륨 표준용액 (1.667mM) : 적당량의 요오드산칼륨 ( $KIO_3$ )을 120℃에서 약 2시간동안 건조시킨 후 데시케이터에서 방냉한다. 요오드산칼륨 약 0.357g을 정확히 취하여 증류수에 녹여 정확히 1000mL로 한다. 이때 쓰이는 증류수는 약 10분간 끓인 다음 식혀서 사용한다.
- 20% 수산화나트륨 용액 : 수산화나트륨(NaOH) 20g을 증류수에 녹여 100mL로 한다.
- 0.025N 과망간산 칼륨용액 : 과망간산칼륨( $KMnO_4$ ) 0.790g을 증류수에 녹여 정확히 1000mL로 하고 1~2시간 조용히 끓인 다음 하루 동안 암소에 방치하고 유리 여과기로 여과하여 갈색병에 넣어 암소에 보관

한다.

- 10% 요오드화칼륨용액 : 요오드화칼륨(KI) 5g을 증류수에 녹여 50mL로 한다.
- 10% 황산용액 : 황산( $H_2SO_4$ ) 20mL을 증류수에 천천히 넣어 혼합하여 열을 식힌 다음 200mL로 한다.
- 1% 녹말지시약 : 수용성 녹말 1g을 증류수 10mL에 혼합하여 열수 90mL중에 넣고 액이 투명해질 때까지 끓인 후 상온으로 방냉하여 사용한다. 만약 장기간 보관하여야 할 경우에는 방부제 ( $Hg_2I_2$ )를 소량 첨가한다.

#### ㉒ 시험방법

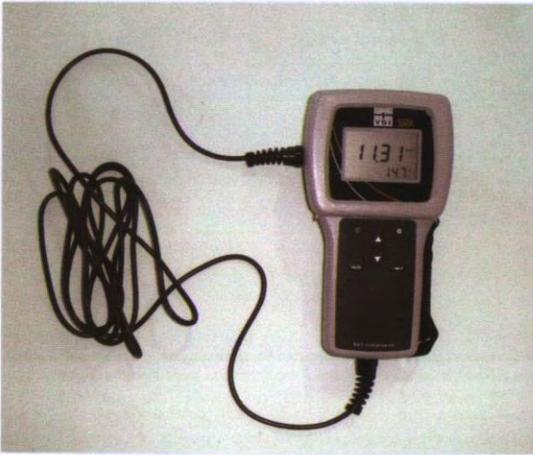
300mL 둥근바닥 플라스크에 시료 25~50mL를 취하고 20% 수산화나트륨용액 1mL를 넣어 알칼리성으로 한다. 여기에 0.025N 과망간산칼륨용액 10mL를 넣은 다음 둥근바닥 플라스크에 냉각관을 붙이고 수욕의 수면이 시료의 수면보다 높게 하여 끓는 수욕 중에서 60분간 가열한다. 냉각관의 끝을 통하여 증류수 소량으로 세척한 다음 냉각관을 떼어내고 10% 요오드화칼륨용액 1mL를 넣어 방냉한다. 이후 10% 황산용액 5mL를 넣어 유리된 요오드를 0.025N 티오황산나트륨액으로 엷은 노란색이 될 때까지 적정하고 지시약으로 녹말지시약 2mL를 넣은 다음 푸른색이 없어질 때까지 계속 적정한다. 따로 시료량과 같은 양의 증류수를 바탕용액으로 하여 같은 조건에서 바



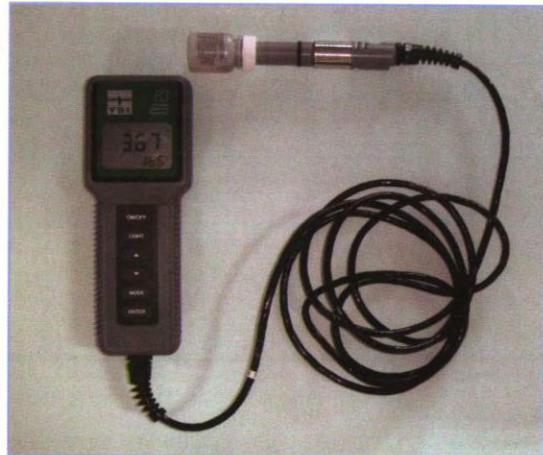
투명도 판



여과기



수온, 염분 측정기



DO, pH 측정기



Dry oven



분광광도계

[그림. I-1] 물리학적 환경요인 측정 및 분석 장비

$$\text{COD (mg/L)} = [(A-B) \cdot f \cdot 1000 / V] \cdot 0.2$$

A : 바탕용액 적정에 소비된 0.025N 티오황산나트륨용액(mL)

B : 해수시료 적정에 소비된 0.025N 티오황산나트륨용액(mL)

f : 0.025 N 티오황산나트륨용액의 농도계수 : 용존산소측정의 티오황산나트륨 용액 검정에 따른다.

V : 시료의 양(mL)

탕용액 시료의 시험을 행한다. 해수시료의 화학적산소요구량은 위와 같이 결정한다.

티오황산나트륨 표준용액의 농도계수 f는 다음과 같다.

0.025N 티오황산나트륨 용액의 역가 검정은 다음과 같이 실험한다.

요오드산칼륨 표준용액 20.00mL을 정확히 삼각플라스크에 취한 다음 증류수 30mL을 더하여 50mL가 되게 한다. 동 용액에 요드화 칼륨용액 (KI) 2mL를 첨가하고 잘 혼합한 다음 (1+1) 황산용액 1mL를 첨가하여 혼합한다. 유리되어 나온 요오드를 0.025N 티오황산나트륨 표준용액으로 엷은 노란색이 될 때까지 적정한다. 표정시료에 녹말지시약 1mL를 넣고 푸른색이 없어질 때까지 계속 적정한다.

검정시료 적정에 사용한 0.025N 티오황산나트륨의 양을 Vf (mL)라 할 때

#### ④ Chlorophyll a

Chlorophyll a (Chl. a)의 농도를 분석하기 위하여 채수한 시료를 냉장 보관하여 실험실로 운반한 후 시수 500ml를 Milipore membrane filter를 사용하여 여과한 후 90% acetone을 15ml 넣은 후 24시간 동안 암·냉 보관하여 엷록소를 추출하였다. 추출액을 원심분리기(Beckman GS-6)에서 3,000rpm에서 20분간 원심분리 시킨 후 상층액을 UV-VIS spectrophotometer (SHIMADZU 1700)에서 파장 630nm, 647nm, 664nm, 750nm에서 흡광도를 측정한 뒤 아래의 계산식으로 정량하였다 (UNESCO/SCOR 1966).

$$f = (0.01 \times 20 \times f_{\text{KIO}_3}) / (0.025 \times V_f)$$

$f_{\text{KIO}_3}$  = KIO<sub>3</sub>의 표준시약의 factor

= KIO<sub>3</sub>의 표준시약의 실제 칭량값 / KIO<sub>3</sub>의 표준시약의 이론 칭량값

Vf = 0.025N 티오황산나트륨 표준용액적가량(mL)

$$\text{Chlorophyll a} = 11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630}$$

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g}/\ell) = (C' \times V') / (V \times C)$$

※ C' = Chlorophyll a, V' = Acetone vol.(mL),

V = Filtering vol.(mL), C = Cell size(cm)

⑤ 암모니아 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)

㉠ 시약제조

- 페놀용액 : 무색의 페놀(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) 20g을 에틸알코올(95V/v%) 200mL에 녹인다. 이 용액은 유리용기에 유리마개로 단단히 봉하여 보관하며 수개월간 사용할 수 있다.
- 니트로프러시드용액 : 니트로프러시드나트륨[Na<sub>2</sub>Fe(CN)<sub>5</sub>NO · 2H<sub>2</sub>O] 1.0g을 초순수 200mL에 녹인다. 이 용액은 반드시 빛을 차단할 수 있는 차광용기에 보관하여야 한다. 이 용액의 유효기간은 2~3개월 정도이다.
- 염기성 용액 : 구연산나트륨(Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> · 2H<sub>2</sub>O) 100g과 수산화나트륨(NaOH) 5g을 초순수 500mL에 녹인다. 이 용액은 폴리에틸렌(HDPE) 용기에 보관하며 매우 안정하다.
- 차아염소산용액 : 차아염소산나트륨(NaOCl, 1.5N) 또는 일반적으로 상용의 표백제(예, Chlorox) 등을 이용할 수 있으나 시간의 경과에 따라 점차 차아염소산의 유효농도 (0.1 M의 NaOH용액 중 3.5%의 염소농도 이상)가 낮아지기 때문에 가능한 새로운 시약을 분석직전 구입하여 사용하거나 다음과 같이 티오황산나트륨

를 적정시험을 통하여 유효농도에 대한 점검을 수시로 하여야한다.

- 산화용액 : 산화용액은 앞서의 염기성용액과 차아염소산용액을 4:1의 비율로 혼합하여 만든다. 이 혼합용액은 분석 직전 매번 새롭게 준비하여 사용한다.
- 암모니아 질소 표준 원액(100mg N/L) : 105~110℃에서 1시간 건조한 후 데시케이터에서 방냉한 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl) 0.3819g을 정확히 취하여 적량의 초순수에 녹인 후 정확히 1000mL로 한다.

㉡ 차아염소산 용액 유효농도 점검

티오황산나트륨(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O) 12.5g을 초순수에 녹여 500mL로 한다.

요오드화칼륨(KI) 2g을 50mL의 초순수에 녹이고 1mL의 차아염소산용액을 첨가한 후 혼합한다.

염산 0.5mL를 첨가하고 혼합한 후 티오황산나트륨용액으로 노란색이 사라질 때까지 적정한다. 이때 적정에 소요된 티오황산나트륨용액이 12mL 이상이어야 한다.

㉢ 시험방법

여과지의 암모니아 오염 가능성 때문

에 여과해서는 안된다. 시험관에 10mL의 시료를 넣고 0.4mL의 페놀용액을 첨가한 후 혼합한다. 니트로프러시드용액 0.4mL를 넣고 혼합한다. 산화용액 1.0mL을 넣고 혼합한다. 이상의 모든 시약이 순차적으로 혼합되고 나면 시험관을 마개 또는 밀봉필름으로 봉한 후 항온조에 넣고 35℃에서 1시간 동안 발색시킨다. 일단 발색된 시료는 30시간 정도 안정하다. 분광광도계의 셀에 넣고 640nm의 파장에서 흡광도를 측정한다. 암모니아 질소 표준용액을 이용하여 유효측정범위내에서 4~5개의 표준액열을 만들고 시험과정에 따라 분석하여 흡광도와 농도의 상관관계식, 염분보정식을 이용하여 시료의 암모니아 질소 농도를 환산한다.

## ⑥ 아질산 질소(NO<sub>2</sub>-N)

### ㉞ 시약제조

- 술퍼닐아미드용액: 술퍼닐아미드(C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> · N<sub>2</sub>S) 5g를 염산 50mL와 초순수 450mL에 녹인다. 이 용액은 플라스틱용기에 넣어 보관하며 수개월간 사용할 수 있다.
- 염화나프틸에틸렌디아민용액: 염화나프틸에틸렌디아민(C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub> · 2HCl) 0.493g을 초순수에 녹여 500mL로 한다. 이 용액은 차광용기에 넣어 냉장 보관(8℃ 이하)하며 유효기간은 한달 이상이다. 그러나 용액이 갈색으로 변색될 경우 새롭게

만들어야 한다.

- 아질산 질소 표준원액(100mg N/L) : 105~110℃에서 1시간 동안 건조 후 데시케이터에서 방냉한 다음 아질산나트륨(NaNO<sub>2</sub>) 0.439g을 정확히 취하여 적당량의 초순수에 녹인 후 정확히 1000mL로 한다.

### ㉟ 시험방법

시료를 membrane (Millipore, HA type) 또는 GF/F 여과지로 여과한 후 실험한다. 시험관에 시료 50mL를 넣고 술퍼닐아미드용액 1mL를 첨가한 후 약 2분 이상 방치한 후 8분 이내에 염화나프틸에틸렌디아민용액을 첨가한다. 염화나프틸에틸렌디아민용액 1mL를 첨가하고 혼합한 후에 약 10분 이상 2시간 이내에 543nm의 파장에서 흡광도를 측정한다. 아질산 질소 표준용액을 이용하여 유효측정범위내에서 4~5개의 표준액열을 만들고 시험과정에 따라 분석하여 흡광도와 농도의 상관관계식을 이용하여 시료의 아질산 질소 농도를 환산한다.

## ⑦ 질산 질소(NO<sub>3</sub>-N)

### ㉞ 시약제조

- 진한 염화암모늄 완충용액 : 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl) 125g을 초순수에 녹여 500mL로 하여 유리 또는 플라스틱 용기에 넣어 보관한다[그림. I-2].
- 묽은 염화암모늄 완충용액 : 진한 염

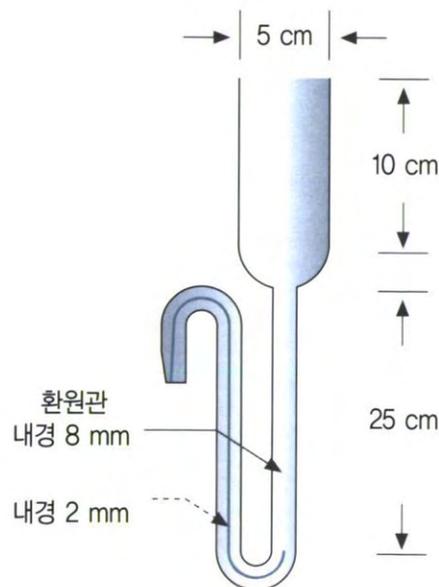
$$\text{최종농도(mg N/L)} = \text{상관관계식을 이용하여 구한 농도} \times (1+0.007 \times \text{염분})$$

화암모늄 완충용액 25mL를 초순수로 희석하여 1000mL로 만들어 유리 또는 플라스틱 용기에 넣어 보관한다.

- 카드뮴 입자 : 환원관에 충전할 카드뮴 입자의 크기는 대략 직경 1mm 내외이어야 하며 직접 제작하거나 상업적으로 제작되어 있는 것을 이용한다. 준비된 카드뮴 입자는 불순산화물을 제거하기 위해 2N 염산용액으로 세척한 후 초순수로 3회 이상 세척하여 염산을 완전히 제거시킨다.
- 황산구리용액 : 황산구리 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 10g을 초순수에 녹여 500mL로 한다.
- 술퍼닐아미드용액 : 술퍼닐아미드 ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2 \cdot \text{N}_2\text{S}$ ) 5g를 염산 50mL와

초순수 450mL에 녹인다. 이 용액은 플라스틱 용기에 넣어 보관하며 수개월간 사용할 수 있다.

- 염화나프틸에틸렌디아민용액 : 염화나프틸에틸렌디아민 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$ ) 0.5g을 초순수에 녹여 500mL로 한다. 이 용액은 차광용기에 넣어 냉장 보관하며 유효기간은 한달 정도이다. 그러나 용액이 갈색으로 변색될 경우 새롭게 만들어야 한다.
- 질산질소 표준원액(100mg N/L) : 105~110℃에서 약 4시간 건조한 후 데시케이터에서 방냉한 질산칼륨 ( $\text{KNO}_3$ ) 약 0.7218g을 정확히 취하여 적당량의 초순수에 녹인 후 정확히 1000mL로 한다.



[그림. I-2] 질산 질소 측정 환원관의 모식도

㉔ 환원관 제작 및 카드뮴-구리입자 충전 환원관은 그림 2와 같이 경질유리로 제작한다.

카드뮴 입자 약 50g를 황산구리용액 200mL가 담긴 비이커에 넣고 황산구리용액의 열은 푸른색이 없어질 때까지(약 3분간) 충분히 흔들어준다. 이때 촉매 역할을 하는 구리가 충분히 흡착되면 카드뮴 입자는 검은색을 띠게 된다. 완성된 카드뮴-구리 충전물이 담긴 비이커에 남은 황산구리용액을 따라버리고 초순수로 여러번 세척하여 미세입자를 제거한다. 제작된 환원관에 묽은 염화암모늄용액을 채우고 하부에 적당량의 유리섬유를 밀어 넣어 아랫마개를 만든다. 그 다음 준비된 카드뮴-구리 충전물을 환원관의 약 20cm정도까지 환원관 중간부분을 연필 등으로 부드럽게 두드리며 집어 넣는다. 최종적으로 충전된 환원관의 상부에 적당량의 유리섬유를 이용하여 윗마개를 만든다. 충전된 환원관의 정상 유속은 분당 약 10mL내외이다.

㉕ 시험방법

시료를 membrane (Millipore, HA type) 또는 GF/F 여과지로 여과한 후 실험한다. 삼각플라스크에 담긴 시료 100mL에 진한 염화암모늄 완충용액 2mL를 첨가하고 혼합한 다음 먼저 약 30mL의 혼합시료를 환원관에 통과시켜 흘려보낸다. 나머지 혼합시료를 환원관에 모두 통과시킨 후 얻어진 시료를 복수의 시험관에 나누어 넣는다. 시

료에 10mL 수퍼닐아미드용액 0.2mL을 첨가하고 혼합한 후 약 2분간 반응시킨다. 염화나프틸에틸렌디아민용액 0.2mL을 첨가하고 혼합한 후 약 15분에서 30분 동안 반응시킨다. 발색된 시료를 분광광도계의 셀에 넣고 543nm의 파장에서 흡광도를 측정한다. 질산질소 표준용액을 이용하여 유효측정범위내에서 4~5개의 표준 열을 만들고 시험과정에 따라 분석하여 흡광도와 농도의 상관관계식을 이용하여 시료의 질산 질소 농도를 환산한다. 상기의 농도는 환원된 질산 질소 농도와 시료중의 기존 아질산 질소 농도가 포함된 값이므로 질산 질소의 농도는 상기의 과정에서 구해진 농도에서 이미 측정된 아질산 질소 농도를 뺀 나머지 값이 된다.

㉖ 환원관의 효율 검정

0.1mg N/L의 아질산 질소 표준용액을 아질산 질소 시험방법에 따라 처리하여 흡광도(A1)를 구한다. 0.1mg N/L의 아질산 질소 표준용액을 환원과정까지 포함한 질산 질소 시험과정에 따라 처리하여 흡광도(A2)를 구한다.

A2/A1의 비율을 백분율로 계산한다. 만일 이 비율이 95%보다 작을 경우에는 과도한 환원(over reduction)이 일어나는 것이므로 환원관의 카드뮴-구리 충전물의 일부를 결손율에 비례하여 덜어낸 후 흡광도(A2) 과정을 반복한다. 이는 카드뮴-구리입자의 활성면적을 감소시킴으로써 과도한 환원을

교정하고자 함이다. 만일 이 비율이 95%보다 같거나 클 경우에는 다음 단계를 실행한다.

0.1mg N/L의 질산 질소 표준용액을 환원과정까지 포함한 질산 질소의 시험과정에 따라 처리하여 흡광도(A3)를 구한다.

A3/A1의 비율을 백분율로 계산한다. 만일 이 비율이 95%보다 작을 경우에는 불충분한 환원(under reduction)이 일어나는 것이므로 환원관의 카드뮴-구리 충전물의 일부를 결손율에 비례하여 더해준 후 흡광도(A3)의 과정을 반복한다. 이는 카드뮴-구리입자의 활성면적을 증가시킴으로써 충분한 환원을 유지하고자 함이다. 만일 이 비율이 95%보다 같거나 클 경우에는 정상 효율을 유지하는 환원관으로써 사용할 수 있다.

### ⑧ 인산 인( $PO_4-P$ )

#### ㉓ 시약제조

- 몰리브덴산암모늄용액 : 파라몰리브덴산암모늄  $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$  15g을 초순수에 녹여 500mL로 한다. 이 용액은 플라스틱용기에 넣어 암소에서 보관하면 수개월간 사용할 수 있다.
- 황산용액 : 황산( $H_2SO_4$ ) 140mL를 적량의 초순수에 잘 혼합하여 열을 식힌 다음 증류수로 1000mL로 한다. 용액을 식힌 후 유리용기 또는 플라스틱 용기에 보관한다.
- 아스코르빈산용액 : 아스코르빈산

( $C_6H_8O_6$ ) 27g을 초순수에 녹여 500mL로 한다. 이 용액은 유리용기 또는 플라스틱용기에 넣어 냉장 보관하며 유효기간은 일주일 이내이다.

- 타르타르산안티모닐칼륨용액 : 타르타르산안티모닐칼륨  $[K(SbO)C_4H_4O_6]$  0.34g을 초순수에 녹여 250mL로 한다. 이 용액은 플라스틱 용기에 보관하며 유효기간은 수 개월이다.
- 혼합용액 : 몰리브덴산암모늄용액 100mL와 황산용액 100mL, 아스코르빈산용액 100mL, 타르타르산안티모닐칼륨용액 50mL를 모두 혼합한다. 이 혼합용액은 분석 직전에 매번 새롭게 준비하여 사용한다.
- 인산인 표준원액(100mg N/L) : 105~110°C에서 미리 건조한 후 데시케이터에서 방냉한 인산칼륨( $KH_2PO_4$ ) 약 0.4390g을 정확히 취하여 적량의 초순수에 녹인 후 정확히 1000mL로 한다.

#### ㉔ 시험방법

시료를 membrane (Millipore, HA type) 또는 GF/F 여과지로 여과한 후 실험한다. 시험관에 10mL를 넣고 혼합용액 1mL를 첨가한 후 발색시킨다. 반응 후 10분에서 1시간 사이에 분광광도계 셀에 넣고 885nm의 파장에서 흡광도를 측정한다. 인산 인 표준용액을 이용하여 유효측정범위내에서 4~5개의 표준액열을 만들고 시험과정에 따

라 분석하여 흡광도와 농도의 상관관계식을 이용하여 시료의 인산 인 농도를 환산한다. 일단 발색된 시료는 수시간 동안 안정하나 그 이후에는 점차 규산 규소의 간섭에 의해 발색정도가 증가될 수 있으므로 가능한 1시간 이내에 흡광도를 측정하도록 한다.

⑨ 규산 규소(SiO<sub>2</sub>-Si)

㉑ 시약제조

- 몰리브덴산용액 : 파라몰리브덴산암모늄[(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O] 4g을 초순수 300mL에 녹인 후 염산 12mL를 첨가하고 혼합하여 500mL로 되게 한다. 이 용액은 플라스틱용기에 넣어 암소에서 보관하며 수개월간 사용할 수 있다.
- 메톨-무수아황산나트륨용액 : 무수아황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) 6g을 초순수 500mL에 녹이고 메톨(metol : p-methylaminophenol) 10g을 첨가한 후 혼합한 다음 여과지(Whatman, NO. 5C)로 걸러 플라스틱용기에 보관한다. 이 용액은 분석 직전 매번 새롭게 만든다.
- 옥살산용액 : 옥살산[(COOH)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O] 50g을 초순수에 녹여 500mL로 한다. 이 용액은 플라스틱용기에 넣어 실온에서 보관하며 매우 안정하다.
- 황산용액(1+1) : 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 초순수와 1:1의 비율로 혼합한다. 용액을 식힌 후 플라스틱용기에 보관한다.
- 환원용액 : 메톨-무수아황산나트륨

용액 100mL와 옥살산용액 60mL를 혼합한 다음 천천히 황산용액 60mL와 혼합하여 최종 용량이 300mL가 되도록 초순수로 채우고 혼합한다. 이 혼합용액은 분석 직전 매번 새롭게 준비하여 사용한다.

- 규산 규소 표준원액(100mg Si/L) : 105~110℃에서 미리 건조하여 데시케이터에서 방냉한 불화규소나트륨(Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) 0.671g를 정확히 취하여 적량의 초순수에 녹인 후 정확히 1000mL로 한다.

㉒ 시험방법

시료를 membrane (Millipore, HA type)으로 여과한 후 실험한다. 유리용기로부터 미량의 규산 규소가 용출될 수 있으므로 규산 규소 분석을 위한 모든 시료병과 시약병 그리고 시험관 등은 반드시 플라스틱(예: HDPE) 재질이어야 한다. 시료 10mL에 몰리브덴산용액 4mL를 첨가 혼합하고 약 10분간 반응시킨다. 환원용액 6mL를 첨가한 후 즉시 혼합하여 약 2~3 시간 동안 반응시킨다. 분광광도계의 셀에 넣고 810nm의 파장에서 흡광도를 측정한다. 규산 규소 표준용액을 이용하여 유효측정범위내에서 4~5개의 표준액열을 만들고 시험과정에 따라 분석하여 흡광도와 농도의 상관관계식, 염분보정식을 이용하여 시료의 규산 규소 농도를 환산한다.

$$\text{최종농도(mg Si/L)} = \text{상관관계식을 이용하여 구한 농도} \times (1+0.0044 \times \text{염분})$$

⑩ 수은(Mercury : Hg)

㉓ 시험 방법

참고문헌은 김경태, 조성록, 이수형, 강성현, 이진영, Ocean Reaserch 20(3): 251-260(1998)에 준한다.

해수시료중의 수은을 측정하기 위하여 냉증기-원자흡광광도계(Cold Vapor Atomic Absorption Spectrophotometer : CVAAS)(자동화된 농축/탈착 모듈)를 사용하여 253.7nm에서 흡광도를 측정한다.

염화제일주석에 의해 환원된 수은 증기는 운반기체에 의해 액상으로부터 분리되어 금 트랩에 흡착되어 농축된다. 농축된 수은은 열에 의해 탈착되어 원자흡수분광기에 의해 측정된다.

⑪ 카드뮴(Cadmium : Cd), 납(Lead : Pb) 및 크롬(Chromium : Cr)

㉓ 시약제조

- 유기착화제(킬레이트) 혼합용액 : 10g의 암모니움 피롤리딘 디티오카바메이트(ammonium pyrrolidine dithiocarbamate: APDC)와 10g의 디에틸암모니움디에틸디티오카바메이트(diethylammoniumdiethyldithiocarbamate: DDDC)를 500mL의 초순수에 녹여 APDC/DDDC혼합용액을 만든다. 이 혼합용액은 사용 직전 매번 새롭게 준비한다.

- 메틸이소부틸케톤(MIBK : 4-methyl-2-pentanone) : 99.5% HPLC grade
- 1N 질산용액(원자흡광도 분석용) : 71mL의 질산을 초순수로 희석하여 1000mL로 만든다.

㉓ 시험방법

1L 용량 테플론 분액깔때기에 500mL의 해수시료를 취하고 질산을 사용하여 pH 2로 조절한다. 유기착화제 혼합용액(APDC/DDDC 혼합용액) 5mL를 가한 다음 20초간 강하게 교반한다. MIBK를 20mL 가한 다음 2~3분간 흔들어 준다. 분액깔때기를 층이 완전히 분리되도록 정지한 후 유기용매층(상층)만 테플론 가열용기에 받는다. 시료용액이 포함되지 않도록 주의한다. 재추출을 위해 MIBK를 20mL 가한 다음 2~3분간 흔들어 준 후, 층이 완전히 분리되면 유기용매층(상층)만 테플론 가열용기에 받는다. 테플론 용기를 열판에서 80℃로 가열하여 MIBK를 휘발시킨 다음 진한 질산 5mL를 추출시료에 넣고 열판에서 가열하여 완전히 분해, 건조시킨다. 농축배수를 결정하여 적당량의 1N 질산용액으로 추출시료를 재용해시킨다.

검량선 작성을 위하여 검량선 작성용액을 만들고 시험과정에 따라 분석하여 ICP/MS의 신호와 농도의 상관관계

$$\text{회수율(\%)} = (\text{시료로 분석된 표준물질의 농도} / \text{표준물질의 농도}) \times 100$$

식을 이용하여 시료의 중금속 농도를 환산한다.

㉔ 회수율

시료 개수의 10%에 해당하는 개수의 바탕용액과 같은 수의 표준물질을 미국의 NIST, 캐나다의 NRC 등 외국의 공인기관에서 구입하여 시료와 똑같은 조작을 행하고, 그 결과와 제시된 농도 값을 비교한 후 회수율(recovery ratio)을 계산하여 분석된 시료의 결과와 함께 제시한다

⑫ 페놀류(Phenols)

㉑ 시약제조

- 메틸오렌지용액(0.1w/v%) : 메틸오렌지(C<sub>14</sub>H<sub>14</sub>N<sub>3</sub>SO<sub>3</sub>Na) 0.1g을 따뜻한 증류수로 녹인 후 부피가 100mL가 되게 하고, 냉장 후 사용한다.
- 인산 : 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 1용량과 증류수 9용량을 혼합한다.
- 황산구리용액 : 황산구리(CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O) 10g을 증류수에 녹여 100mL 되게 한다.
- 염화암모늄 · 암모니아완충액(pH10.0) : 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl) 6.75g와 암모니아수(NH<sub>4</sub>OH) 57mL을 넣고 증류수로 희석하여 전체용액의 부피가 100mL가 되게 한다. 이 용액은 밀봉하여 냉소에 보관한다.

- 4-아미노안티피린용액(2w/v%) : 4-아미노안티피린(C<sub>11</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>O) 2g을 증류수로 희석하여 전체용액의 부피가 100mL가 되게 한다.
- 페리시안화칼륨용액 : 페리시안화칼륨(Ⅲ)(K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) 9g을 취하여 소량의 물로 녹인 후 100mL로 희석한다.
- 페놀표준용액 : 페놀(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O) 1g을 증류수로 희석하여 전체용액의 부피가 1000mL가 되게 한다.

㉒ 시험방법

시료 500mL를 1L 증류플라스크에 넣고 메틸오렌지 용액 0.1%를 10방울 넣고 10% 인산용액을 넣어 pH를 약4로 조절한 후 황산구리 용액을 5mL 넣은 후 증류한다. 증류플라스크를 증류 장치의 냉각관과 연결하고 500mL 매스실린더를 수기로 사용한다. 증류액이 450mL 되었을 때 가열을 중지하고 증류플라스크에 정제수 50mL를 넣어 다시 증류를 시작한다. 전체 증류액이 500mL가 되었을 때 끝낸다. 증류액 500mL를 1L 유리 분액깔때기에 넣고 염화암모늄-암모니아완충액(pH 10.0)을 10mL 넣어 섞고 pH를 9.8~10.2로 조절한다. 2% 4-아미노안티피린용액 3mL를 넣어 흔들어 섞고 페리시안화칼륨 용액 3mL를 넣어 흔들어 섞은 다음 3분간 방치한다. 클로로포름 10mL

를 정확히 넣어 1분 이상 세게 흔들어 섞어 정치하여 생성된 안티피린계색소를 클로로포름층(하층)으로 추출한다. 이 유기층에 무수황산나트륨을 약 1g 넣어 탈수시킨다. 증류한 시료에 염화암모늄-암모니아 완충액을 넣어 pH 10으로 조절한 다음 4-아미노안티피린과 페리시안화칼륨을 넣어 생성된 적색의 안티피린계색소의 흡광도를 측정하는 방법으로 분광광도계로 460nm에서 측정한다. (이때 blank는 증류수 100mL를 사용하여 시료의 시험방법에 따라 시험하여 바탕용액으로 하였다.) 페놀 표준용액 (1mg C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH/L) 2.5~50.0mL를 단계적으로 취하여 250mL 분액깔때기에 각각 넣고 100mL가 되도록 증류수로 채운다. 이하 시료의 시험방법에 따라 시험하여 페놀의 양과 흡광도와와의 관계식을 결정한다.

### ⑬ 트리부틸주석화합물(Tributyltin : TBT)

#### ㉠ 시약제조

- 0.1% 트로폴론-염화메틸렌 : 트로폴론(C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) 1g을 1000mL의 염화메틸렌(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)에 녹여 만들고, 유리용기에 보관한다.
- 유기주석화합물 표준용액(1ppm) : 트리부틸틴 클로라이드(C<sub>12</sub>H<sub>27</sub>ClSn, 밀도(d):1.199) 10mg을 헥산 100mL에 녹인 후 이 용액 1mL를 취하여 다시 헥산으로 희석하여 전체용액의 부피가 100mL가 되게한다.

#### ㉡ 시험방법

시료 1L를 2L 유리 분액깔때기에 취해 진한염산 5mL를 가한다. 0.1%트로폴론-염화메틸렌 50mL를 가한 후 10분 동안 진탕하여 추출한다. 다시 수층에 0.1%트로폴론-염화메틸렌 50mL를 가한 후 10분 동안 진탕하여 재 추출한다. 추출하여 합친 유기층에 무수황산나트륨 1g을 넣어 탈수시킨다. 이 용액에서 50mL만 취해 테플론 비커에 넣고 가열하여 유기용매를 휘발시킨다. 테플론 비커 속 잔사에 진한 질산 5mL를 넣어 용해시킨다. 다시 이를 가열 분해하여 건고시킨 후 잔사를 1N 질산 0.5mL를 넣어 완전히 재 용해시킨 후 ICP-MS로 분석한다.

회수율 실험을 위해 한 정점의 시료 1L에 1ppm 트리부틸틴 클로라이드 표준원액 1mL를 넣어 2L 유리 분액깔때기에 넣고 진한 염산 5mL를 가한다. 회수율을 위한 시료의 추출, 분해 과정은 위의 바닷물 시료의 시험방법과 동일하다. 이 시료를 ICP-MS로 분석한다.

### ⑭ 폴리클로리네이티드비페닐

(Polychlorinated biphenyls : PCBs)

#### ㉠ 시약제조

- 내부표준용액(1ppm): PCB No. 198, 0.1mg을 노르말헥산 100mL에 녹여 회수율 검정을 위한 내부 표준물질로 사용한다.
- 2, 4, 5, 6-Tetrachloro-m-xylene(TCMX): TCMX 0.2mg을

취해 n-hexane 100mL에 녹여 기체크로마토그래프 내부 표준물질용액으로 사용한다.

㉔ 시험방법

시료 1L를 2L 유리 분액깔때기에 취하고 시료용기를 아세톤 10mL로 2회 세척하여 분액깔때기에 넣는다. 노르말 헥산 100mL를 넣고 10분간 진탕 추출한다. 수층은 다른 유리 분액깔때기로 옮기고 비커에 노르말 헥산 층을 받는다. 다시 수층에 노르말 헥산 50mL를 넣어 10분간 진탕 추출한다. 위에서 추출하여 합친 노르말 헥산에 무수황산나트륨을 1g 넣어 탈수시킨다. 추출액은 회전 증발농축기를 사용하여 30℃에서 약1mL까지 감압 농축하고 전처리액으로 한다. 노르말 헥산 5mL로 세척한 Sep-Pak Silica Cartridges(Waters)에 추출액 1mL와 노르말 헥산 4mL를 넣어 용출시킨다. (2번반복) 용출액을 회전 증발농축기를 사용하여 약 1mL로 농축 후 바이알에 옮긴다. 농축 용기를 노르말 헥산으로 세척하여 바이알에 합치고 질소 가스를 사용하여 그 양을 정확히 1mL로 농축시킨다. 1mL로 농축한 시료에 TCMX (tetrachloro - m - xylene) 2ppm을 10μL 주입한 후 GC/MS 로 분석한다.

검량 곡선 실험을 위해 각 각의 정제수 1L에 혼합 PCB(각 각 1ppm의 PCB 8, 29, 52, 101, 153, 180, 194, 206, 209)를 200, 400, 600, 800,

1000μL씩 넣어 2L 유리 분액깔때기에 취하고 아세톤 10mL를 2번 유리 분액 깔때기에 넣는다. 내부표준용액(1ppm PCB 198; Cl 8개)을 100μL 넣는다. 검량곡선을 위한 시료의 추출, 정제 과정은 위의 바닷물 시료의 실험방법과 동일하다. 이 시료를 TCMX (tetrachloro - m - xylene) 2ppm을 10μL 주입한 후 GC/MS 로 분석한다.

㉕ PCBs

- PCB 8(2,4' -Dichlorobiphenyl)
- PCB 29(2,4,5-Trichlorobiphenyl)
- PCB 52  
(2,2',5,5' -Tetrachlorobiphenyl)
- PCB 101  
(2,2',4,5,5' -Pentachlorobiphenyl)
- PCB 153  
(2,2',4,4',5,5' -Hexachlorobiphenyl)
- PCB 180  
(2,2',3,4,4',5,5' -Heptachlorobiphenyl)
- PCB 194  
(2,2',3,3',4,4',5,5' -Octachlorobiphenyl)
- PCB 206(2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonachlorobiphenyl)
- PCB 209(2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decachlorobiphenyl)

(나) 저서 생태계

해양의 바닥이 연질인 경우 그것이 조건대이건 또는 조하대이건 분석 방법은 기본적으로 같다. 다만 퇴적물의 채취 방법은 다르다. 조건대의 경우 물이 빠지고 난 후 필요하다고 판단되는 지점에 도착하여 퇴적물

을 채취하거나 또는 현장에서 간극수를 채취하여 아래 사항의 이화학적 특성을 측정한다. 기본적으로 채취한 퇴적물은 냉암소에 보관 후 실험실로 옮겨 분석한다. 저질조사항목의 분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부 1998, 2005)에 따라 행하며, 여기에서는 주요 개념과 주의 사항만을 간략하게 기술하며, 측정 방법과 관련한 자세한 내용을 상기 책자를 참고한다.

일반적으로 해양 퇴적물의 입자가 극세립의 경우는, 이들 퇴적물의 매우 완만하고 편평한 경사와 더불어, 퇴적물 내의 물을 빠져나가지 않게 하고 기질 내에 머무르게 한다. 해수의 긴 정체시간은 공극수와 펄 상부 해수의 교환의 불량과 연관되어 있는데, 내부의 높은 박테리아 밀도와 더불어 표층으로부터 최초 몇 cm 깊이의 퇴적물 속에서 산소 고갈을 초래시킨다. 따라서 퇴적물의 내부는 혐기성 (anaerobic) 상태가 우세하고, 이것은 연성기저에서 펄 바닥과 모래 바닥을 구분하는 가장 중요한 특징 중의 하나가 된다. 펄 바닥은 유기물을 축적하는 경향이 있다. 따라서 이곳에 서식하는 생물들에게 풍부한 잠재적 먹이의 공급원으로 작용한다. 그러나 해저-수 경계층 (benthic boundary layer)으로 비오듯 떨어지는 무수한 작은 유기물 입자가 바닥에 서식하는 저서동물들의 호흡기관의 표면을 막아버리는 경우도 많다.

① 해저퇴적물 시료 채취 시 고려해야 할 사항

해저 퇴적물은 그 특성상 시간적으로 단기간 내에 크게 변화하지는 않으나,

주변 퇴적물이 여러 가지 크기의 다양한 입자들로 구성되어 있어 경우에 따라서는 공간적으로 심하게 변하는 경우가 많다. 따라서 그 지점의 대표성과 동질성을 감안한 시료 채취가 매우 중요하다. 따라서 시간적으로는 계절 간격의 시료로서 충분한 경우가 많으나 조사의 목적이나 특성에 따라서는 시간 간격의 길이도 달라질 수 있다. 한편, 공간적으로는 일반적으로 대상 지역의 입도 분포를 면밀히 파악한 다음 시료 채취 지점을 결정하는 것이 좋으며, 또한 같은 장소에서도 반복 채취 및 부시료를 채취하는 것이 좋다.

표층 퇴적물은 핸드 채니기나 그랩으로 채취한 후 플라스틱 주걱으로 표층에서 약 2cm 깊이까지 취하여 500ml 용량의 입구가 넓은 고밀도 폴리에틸렌 병에 넣는다. 이 때 채니기의 금속 재질과 접촉하지 않도록 조심해야 하며 접촉된 부분은 제외한다.

주상시료는 특히 퇴적물 내의 공극수 분석 시 필요하다. 주상 퇴적물의 시료는 상자형 채니기(box corer)나 중력식 주상시료 채니기(gravity corer)를 이용한다. 채취된 주상시료로부터 수직분포를 알기 위해 공극수를 추출할 경우에는 채취하고자 하는 정해진 깊이가 잘 유지되도록 조치를 취하면서 플라스틱 재질의 주걱이나 칼을 이용하여 조심스럽게 절단한다. 절단된 시료는 밀봉이 가능한 비닐 백에 담은 후 잘 혼합하여 원심관이나 압력 추출기에 옮겨 담은 후 정해진 공극수 추출법에 따라 추출한다.

## ② 공극수의 추출법

공극수란 퇴적물 입자 사이의 빈 공간에 포함된 해수를 말한다. 이러한 공극수는 여러 가지 방법으로 분리할 수 있는데, 퇴적물에 외부의 압력을 가하여 짜내는 방법과 퇴적물을 원심 분리하여 분리해 내는 방법 등으로 나눌 수 있다.

원심분리를 이용한 추출법은 공극수를 포함하는 퇴적물을 원심분리함으로써 퇴적물과 공극수를 분리시키는 방법이다. 이 방법은 추출 방법이 비교적 쉽고, 공기와의 접촉을 최소화할 수 있다는 장점이 있으나 추출하여 얻을 수 있는 공극수의 양에 제한이 있다는 단점이 있다.

기체압력 추출법은 퇴적물 내의 공극수를 질소 기체 압력으로 밀어냄으로써 퇴적물로부터 공극수를 분리하는 방법이다. 공극수를 추출하는 용기에 따라 원하는 양만큼 추출할 수 있다는 장점이 있으나 장치나 실험 방법이 원심분리법에 비해 복잡하고 불편한 단점이 있다.

조간대 갯벌 표면의 공극수를 분석할 경우 가장 간단한 방법으로는 현장에서 주사기를 이용한 공극수 추출법이다. 원하는 지점에 도착하여 적당량의 퇴적물을 조심스럽게 파헤치고 물(공극수라고 간주한다)이 고이면 주사기 앞면에 원하는 크기의 망목을 씌워 동시에 현탁물질을 제거하면서 시료(물)를 채취한 후 분석하기도 한다.

## ㉓ 수소이온농도 (pH)

수중에 용해되어 있는 산소나 이산화탄소는 수산동식물의 호흡과 수산식물

의 광합성에 있어서 필수적 요소가 되며, 이들은 수온과 태양광 요인에 의해 변화한다. 호흡과 광합성에서는 산소와 이산화탄소의 흡수와 방출이 전혀 역의 관계에 있으므로 조수웅덩이와 같은 폐쇄성이 강한 수계에서 식물플랑크톤이나 해조류가 대량으로 번식하고 있으면 낮에는 수중의 산소량이 과포화 상태에까지 도달하게 되며, 밤에는 반대로 산소량이 급격히 감소하기 때문에 거기에 살고 있는 동물에 중대한 영향을 주는 수가 많다.

순수한 물에서는 수소이온( $H^+$ )과 수산이온( $OH^-$ )의 농도가 각기  $10^{-7}mol$ 이다. 수소 이온 농도는 pH로 나타낸다. 수소 이온 농도를  $[H^+]$ 라고 하면,

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

와 같다. 따라서, 순수한 물의 pH는 7이다[그림. I-3].

pH가 7보다 크면 알칼리성, 7과 같으면 중성, 7보다 작으면 산성을 나타낸다. 해수는 pH가 8.0~8.3으로 약 알칼리성이다.

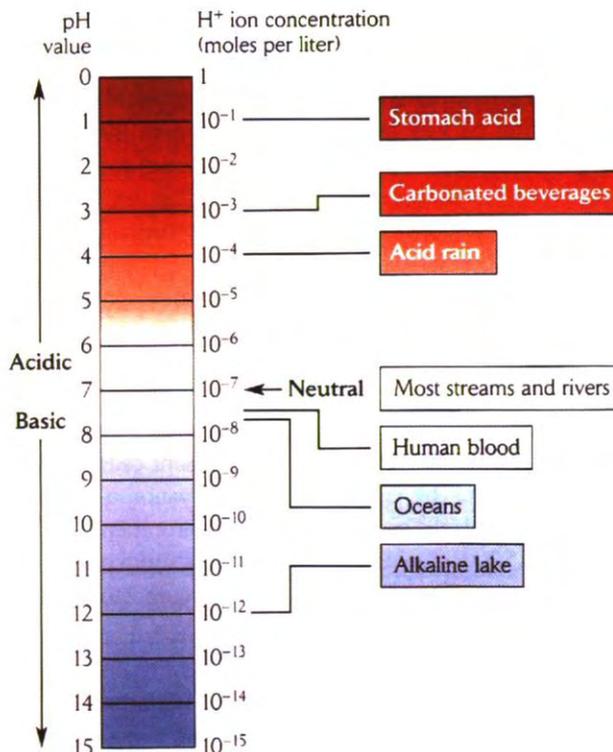
pH의 측정은 pH meter를 이용하며 매우 간단하다. 원하는 지점의 퇴적물 시료의 pH를 위한 정점을 선정한다. 측정에 들어가기 전에 전극은 적당한 표준물질을 이용하여 사전에 검정한다. 퇴적물 속에서 값이 어느 정도 안정이 될 때까지 기다린다. pH는 pH/ORP 측정기(예, Horiba, D-55 모니터 + 9621-10D 전극)를 이용해 현장에서 조심스럽게 퇴적물 표면 아래 약 5cm 정도의 깊이에 전극을 꽂아 3곳 이상을

측정하여 평균값을 구한다.

㉞ 산화-환원 전위 (Oxygenation Reduction Potential)

퇴적물을 채취한 후 그 수직 단면을 보면 상부의 산화층과 하부의 환원층 사이는 전이지대로서 산화-환원전위 불연속층 [redox potential discontinuity (RPD) layer]이라 부른다. 이 층에서는 전극으로 측정할 때 양의 산화환원전위(Eh)부터 음의 산화환원전위까지 급격히 변하는 것이 특징이다. RPD층 아래에 있는 퇴적물은 혐기성이며, 유기화합물(organic compounds)은 혐기성 박테리아에 의해 분해된다. RPD

층 상부는 호기성 방법으로 분해가 일어난다. RPD층의 퇴적물 색깔은 회색을 띠며, 상부의 산화층은 보통 갈색 혹은 황색, 그리고 무산소층은 검은색으로 나타난다(그림4). RPD층은 여러 가지 이유로 인해 생물학적으로 중요하다. 첫째 환원화합물이 상부로 확산되어 산소 이용이 가능해지면 박테리아가 즉시 이들 환원화합물들을 산화시킨다. CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> 등을 포함하는 산화된 최종산물은 박테리아의 생체량으로 합성되어 새로운 먹이사슬의 기저를 형성한다 그러나 어떤 물질은 RPD층 아랫방향으로 확산되며 혐기성 박테리아에 의해 사용된다[그림. I-4].



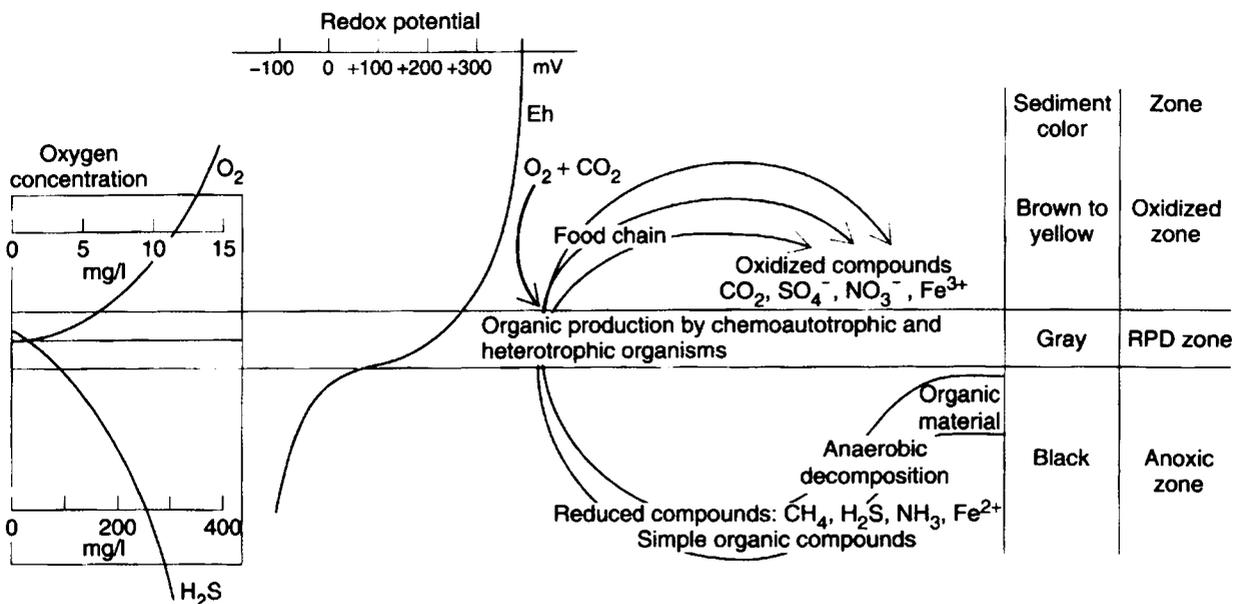
[그림. I-3] pH 농도의 범위 : 0(매우높은 산성)에서 15(매우 높은 알칼리성)까지 변화

산화-환원전위는 해양환경에서 염분 및 pH와 더불어 생물활동과 화합물안정도에 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나이며, 어떤 화합물을 산화 또는 환원시키는 데 필요한 에너지의 변화량이다. 산화-환원전위는 pH/ORP 측정기(예, Horiba, D-55 모니터 + 9300-10D 전극)를 이용해 현장에서 조심스럽게 표면 아래 약 5cm 깊이에 대해 백금 전극을 꽂아 3곳 이상을 mV 단위로 측정하여 평균값을 사용한다. 측정에 들어가기 전에 전극은 적당한 표준물질을 이용하여 사전에 검정한다. 퇴적물 속에서 값이 어느 정도 안정이 될 때까지 기다린다. 산화-환원전위는 용존산소(DO)가 많으면 양(+의) 값 쪽으로 커지므로 퇴적물 내 공극수중 용

존산소의 침투정도나 고갈, 즉 산화-환원상태를 짐작할 수 있는 척도가 됨으로 최근 퇴적물의 건강도 측정에도 많이 사용된다.

㉔ 산취발성황화물(AVS, Acid Volatile Sulfide)

해저퇴적물 내 황화물이 많다는 것은 저질 내 산소의 고갈 및 결핍을 의미하며, 이는 저층수질에 나쁜 영향을 줄 뿐 아니라 환경을 평가하는데 있어서 중요한 의미를 가진다. 황화물은 대기 중 산소와 접촉하게 되면 아주 빨리 산화되어 황산염으로 바뀐다. 따라서 시료를 처리하는 전 과정에서 공기와 접촉하지 않도록 해야 한다. 황화물의 정량은 적당량의 산을 가하여 퇴적물내



[그림. I-4] 산화환원전위 불연속층(RPD Layer)을 전후한 물리화학적 특성과 생물학적 과정을 나타내는 모식도.

퇴적물 내에서의 산소량과 H<sub>2</sub>S, 그리고 Eh의 수직분포는 퇴적물의 색깔과 성상을 파악하는 1차적 요인이 된다(Nybakken and Bertness 2005).

의 황화물을 황화수소 형태로 바꾼 후 발생하는 황화수소를 측정하는 방법을 사용한다. 즉, 발생하는 황화수소를 침전물(황화아연)로 포집하여 요오드적정법(iodometry)으로 정량한다.

시료의 채취는 표층 퇴적물 채취의 경우와 동일하며 가능한 한 병에 시료가 딱 차게 넣어 뚜껑을 닫았을 때 최대한 공기가 들어가지 않도록 하는 것이 좋다. 시료는 4℃ 이하로 냉장 보관 하되 가능한 한 빨리 실험실로 옮겨 분석을 실시하도록 한다. 이러한 온도 상태에서는 채취 후 1주일까지도 분석이 가능하다.

따라서 시료와 산(acid)을 반응시키기 전까지 시료를 취급함에 있어 공기와 접촉을 최소화하여 황화물(sulfide)이 산화되어 황산염(sulfate)으로 바뀌지 않도록 주의해야 한다. 측정 방법을 간단하게 요약한다면 다음과 같다. 퇴적물 습시료 약 2g을 정확히 취해 기체 발생관에 넣고 기체가 새지 않도록 뚜껑을 꼭 닫은 후 초순수와 황산을 더해 수 초 기다려 황화물을 황화수소(H<sub>2</sub>S)로 발생시키고, 연결된 펌프를 서서히 당기면서 황검지관의 색이 더 이상 변하지 않을 때까지 황화수소를 흡수시켜, 검지관의 눈금 값과 함수율로부터 건조 무게당 황량(mg S/g.dry)으로 나타낸다.

㉔ 화학적산소요구량 (COD, Chemical Oxygen Demand)

해저퇴적물 중 유기물량은 퇴적물의

환경을 평가하는데 중요한 척도 중의 하나로 사용된다. 일반적으로 유기물량의 측정은 강열감량법이나 유기탄소량 측정법 등을 이용하여 직접 정량하는 방법이 주로 사용된다. 반면 유기물이 산화될 때 환경에 미치는 영향을 알아내기 위해, 유기물이 산화될 때 소비되는 산소량을 측정하는 방법이 있는데, 이를 화학적 산소요구량 (COD : Chemical Oxygen Demand) 이라 한다. 화학적 산소요구량은 퇴적물 내 유기물을 강한 산화제로 산화시킬 때, 소모되는 산소량으로 정의한다. 산화제로는 과망간산칼륨 혹은 중크롬산칼륨 등을 이용하나, 측정범위가 넓은 과망간산칼륨법을 보다 많이 이용한다. 이 방법은 생물학적 산소요구량, 유기탄소량 혹은 유기물량과 상관관계가 좋은 것으로 알려져 있으며, 퇴적물 오염의 지표로 많이 사용된다.

자갈, 패각, 목편, 생물체를 제거한 습시료 적당량을 무게를 정확히 취해 알칼리성으로 하여 강산화제인 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 100℃ 수욕상에서 60분간 가열반응시킨 후 GF/F 여과지(공경 0.7μm)로 여과하여 입자물질을 제거한다. 여기에 요오드화칼륨과 황산을 넣어 남아있는 산화제에 의하여 유리된 요오드의 양을 측정하여 산소량으로 나타낸다. 분석하여 얻은 자료는 함수율을 보정하여 건조무게당 산소량(mg O<sub>2</sub>/g-dry)으로 나타낸다. 상세한 방법은 해양수산부(2005)에 따른다. 화학적 산소요구량의 측정범위

$$\text{화학적산소요구량(COD, mg O}_2\text{/kg)} = 0.8 \times (A - B) \times f \times \frac{500}{100} \times \frac{1000}{M} \div \left(1 - \frac{W(\%)}{100}\right)$$

A = 바탕시료 적정 시 소요된 양 (mL)

B = 시료 적정 시 소요된 양 (mL)

M = 시료의 무게 (g)

W = 함수율

f : 역가 f는 검정에 따른다.

는 시험할 때 사용하는 시료의 양과 사용하는 산화제의 농도에 따라 달라진다. 검출한계는 0.1N 산화제를 사용할 경우 5mg/l 이며, 표준편차율은 10% 정도이다.

화학적 산소요구량은 위와 같은 식으로 계산한다.

㉠ 강열감량 (Ignition Loss)

퇴적물 중 유기물의 양을 측정하는데 있어서는 유기물질 중 가장 많은 양을 차지하며 비교적 그 측정이 간편한 탄소를 이용하는 것이 간편하면서도 정밀한 값을 얻을 수 있다. 퇴적물 중 탄소량을 측정하는 방법은 퇴적물을 고온으로 가열하여 무게 차이를 측정하는 방법, 강한 산화제를 이용하여 탄소화합물을 선택적으로 산화시켜 그 무게를 알아내는 방법, 특정 시약과 반응시킨 후 퇴적물로부터 나오는 이산화탄소를 측정하는 방법 등 여러 가지가

있다. 이 중 퇴적물을 고온으로 가열한 후 그 무게 차이를 알아내는 방법을 강열감량법(Ignition Loss)이라 한다. 이 방법은 시험방법이 비교적 간편하며, 다양한 종류의 퇴적물에 대해 일관적으로 적용할 수 있는 장점이 있다. 반면, 광물격자 안의 수분과 약한 화합물들이 고온에서 없어져 오차를 유발하는 단점이 있다.

자갈, 패각, 목편, 생물체를 사전에 제거한 습시료 적당량을 60℃ 열풍건조기에서 건조한 후 막자사발에서 곱게 분마한다. 이 건조분말시료 적당량을 도가니에 담아 정확히 무게를 재고 전기로에서 550℃로 2시간 동안 가열한다. 가열 후 데시케이터 안에서 실온으로 식히고 가열 전후의 무게의 차(손실량)를 이용하여 강열감량(%)을 계산하며, 3회 정도 결과의 평균값을 이용한다. 강열감량법의 측정한계는 일반적으로 0.05% 이며 시험의 표준편차

$$\text{강열감량(\%)} = \frac{(\text{가열 전 시료 무게} - \text{가열 후 시료 무게})}{\text{가열 전 시료 무게}} \times 100$$

율은 10% 정도이다.

시료 보관 및 전처리를 할 경우에는 젖은 시료 약 50g을 플라스틱 숟가락으로 시료용기에서 덜어내 125ml 광구 플라스틱 병에 넣는다. 플라스틱 병에 담긴 시료를 냉동고에서 완전히 얼리고, 이를 동결건조기에 넣고 완전히 건조시킨다. 건조된 시료는 막자사발을 사용하여 곱게 분마하며, 분마된 시료는 230 메쉬(0.063 mm) 크기의 체를 모두 통과하여야 한다. 분마된 시료는 다시 플라스틱병에 보관한다. 단, 동결건조기가 준비되지 못한 경우 시료를 건조기(dry oven)에서 건조할 수 있으나 이 경우 건조기의 온도가 65℃ 이상 올라가지 않도록 조심하여야 한다.

㉞ 함유율 (Water content)

해저퇴적물은 항상 해수와 접촉하고 있으므로 퇴적물을 구성하는 입자사이의 빈 공간, 즉 공극은 해수로 채워져 있다. 퇴적물 내에 포함된 해수의 비율, 즉 함유율(water content)은 따라서 퇴적물의 공극률과 함유관계를 가진다. 함유율의 측정은 해저퇴적물의 건조 전 무게와 건조 후 무게 차이로 의해 측정한다. 함유율의 측정범위와 정밀도는 사용하는 저울의 성능과 퇴

적물의 완전 건조 여부에 따라 달라진다. 항량 건조 후의 무게를 ‘건조 후 무게’ 로 하여 함유율을 구한다.

㉟ 입도(grain size)

해양생물의 서식처로서 연안의 퇴적물을 어떻게 특징지을 수 있을까 하는 기본적인 물음에 대하여 아마도 가장 분명한 것은 다양한 입도의 특성을 파악하는 일일 것이다. 퇴적물의 입도는 해양에 있어서 저질의 상태, 생물의 분포, 파랑의 작용, 조류의 세기 등을 이해하는 데 필요한 가장 중요한 인자들 중의 하나이다. 퇴적물의 입도 분포와 분급도를 결정하는 두 가지 요소는 파랑의 작용과 조류의 세기이다.

입자의 크기는 길이로 표시되는 척도이다. 일반적으로 입자크기는 입자가 통과할 수 있는 가장 작은 체의 눈금으로 표시하거나, 입자의 침강속도와 같은 침강속도를 가지는 구의 지름, 혹은 입자의 장축으로 나타낼 수 있다. 그러므로 입자의 크기를 직접 측정할 수 없는 세립 입자의 경우, 입자들을 일정한 크기별로 분리하여 질량을 측정한 다음 각 크기별 퇴적물 입자의 분포 비율을 이용하여 입자의 크기를 구하는 방법을 해저퇴적물 입자 크기를 구하는

$$\text{강열감량(\%)} = \frac{(\text{가열 전 시료 무게} - \text{가열 후 시료 무게})}{\text{가열 전 시료 무게}} \times 100$$

(건조 전 시료 무게 = 건조 전 시료가 담긴 병 무게 - 병 무게)

건조 후 시료 무게 = 건조 후 시료가 담긴 병 무게 - 병 무게)

## 시료전처리 - 습식체질 - 자갈 : 장축을 측정

- 모래 : 건식체질

- 펄 : 피펫팅 혹은 기기로 측정

기본적인 방법으로 한다.

입자크기를 측정하는 원리는 입자의 크기에 따라 다르다. 입자의 크기는 자갈과 모래, 그리고 펄로 크게 나눌 수 있다. 자갈 이상의 크기를 가지는 퇴적물 입자는 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 그 장축과 단축을 측정하여, 모래 크기의 입자는 건식체질로, 그리고 모래와 펄은 습식체질로 분리한다. 건식체질법은 입자가 통과하는 가장 작은 체의 간격을 입자의 크기로 하여, 각 체의 간격에 따른 입자들의 무게를 측정하여 무게비율로 입자의 평균입도를 계산한다. 피펫팅법은 입자의 침강속도가 입자크기에 비례한다는 이론(스토크의 법칙)에 근거하여 퇴적물 입자를 측정하는 간접방법이다. 이 방법은 매질의 밀도, 입자의 비중, 입자의 크기에 따라 계산된 입자의 침강속도에 의해 일정한 시간에 시료의 일부분을 계속 뽑아낸 다음, 입자의 무게를 측정하여 역시 무게비율로 평균입도를 계

산한다.

현장에서 채취한 시료는 별다른 전처리가 필요 없으며, 되도록 빨리 실험실로 옮겨 분석한다. 하지만, 보관기간이 길어질 경우 냉장보관한다. 대부분의 시료에서는 모래와 펄이 혼합되어 있다. 따라서 건식체질과 습식체질을 한 시료에 대해 동시에 실시해야 하는 경우가 대부분이며 이 때 입자 크기 측정 방법의 순서는 위와 같다.

그러나 시료에 자갈만 있을 경우는 시료전처리와 습식체질이 필요 없고, 모래만 있을 경우는 시료전처리는 해야 하지만 습식체질이 필요 없다.

이론적으로 입도분석 후 얻어지는 평균입도와 분급도는 건식체질법에서 사용하는 각기 다른 크기의 눈금을 가지는 체의 수와 피펫팅하는 횟수에 관련이 있다. 예를 들어  $4\phi$ 에서  $4\phi$ 까지의 체를 사용한다면 더욱 넓은 범위의 평균입도를 계산할 수 있다. 그리고 습식체질법에서도 피펫팅하는 횟수를 7

$$\text{평균입도}(\phi) = \frac{(\phi 16 + \phi 50 + \phi 84)}{3}$$

$$\text{분급도}(\phi) = \frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6.6}$$

(Folk and Ward, 1957)

( $\phi 16, 16, 50, 84, 95$ , : 각 퍼센타일에 해당하는 입자의 크기)

[표 I-1] 퇴적물 입도등급 (Udden-Wentworth 규격 Lewis 1984)

입경 (mm)	$\phi$ scale	분 류		
1024	-10	Boulder (암괴)	Gravel (자갈, 역질)	
256	-8	Cobble (왕자갈)		
64	-6	Pebble (자갈)		
4	-2	Granule (왕모래)		
2	-1	Very coarse sand (극조립사)	Sand (모래, 사질)	
1	0	Coarse sand (조립사)		
0.5	1	Medium sand (중립사)		
0.25	2	Fine sand (세립사)		
0.125	3	Very fine sand (극세립사)		
0.0625	4	Coarse silt (조립미사)	Silt (미사)	Mud (펄, 니질)
0.0313	5	Medium silt (중립미사)		
0.0156	6	Fine silt (세립미사)		
0.0078	7	Very fine silt (극세립미사)		
0.0039	8	Clay (점토)	Clay (점토)	
0.0019	9			
0.0010	10			

분급도 ( $\phi$ )	분급의 분류	의미
< 0.35	매우 양호 (very well sorted)	↓ 입자 크기의 다양도
0.35 ~ 0.71	양호 (well sorted)	
0.71 ~ 1.00	보통 (moderately sorted)	
1.00 ~ 2.00	불량 (poorly sorted)	
2.00 ~ 4.00	매우 불량 (very poorly sorted)	
> 4.00	극히 불량 (extremely poorly sorted)	

회 이상으로 늘인다면 더욱 넓은 범위의 자료를 포함하는 평균입도가 계산될 수 있다. 하지만, 이와 같이 넓은 범위의 자료는 본 방법에서 제시하는 자료 분석법에서 계산되는 평균입도와 분급도에 큰 영향을 미치지 않는다. 이 분석 방법의 표준편차율은 5% 이하이다.

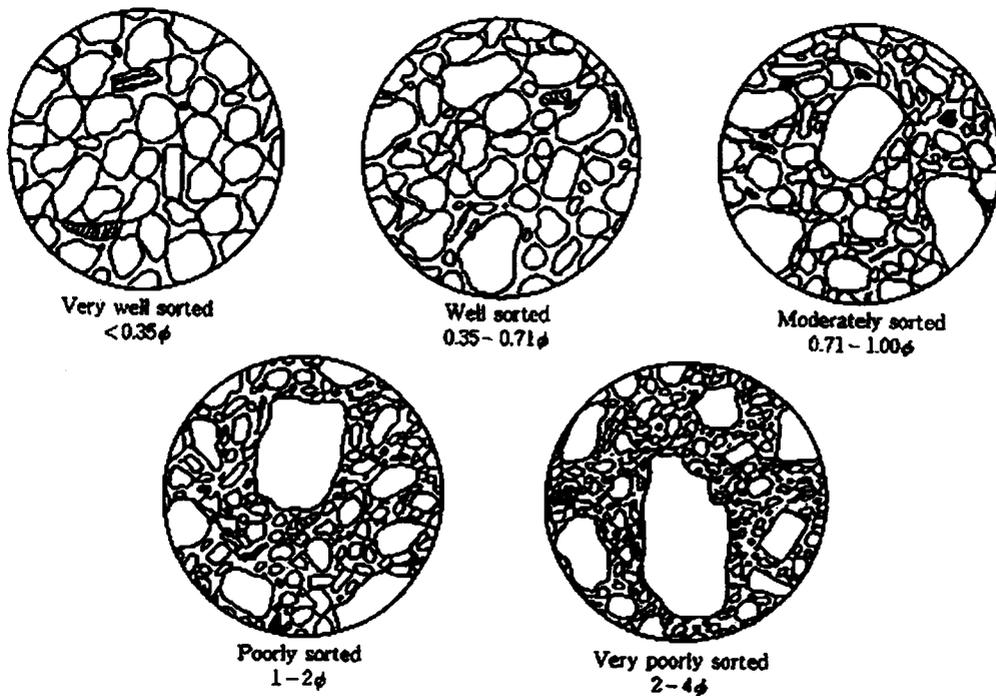
입도분석의 절차: 입도분석을 위해

패각, 목편, 생물체를 제거한 적당량의 습시료에 묽은 염산과 과산화수소수를 넣어 각각 유기물과 탄산염을 제거한 후 2~3회의 물갈이를 통하여 잔류약품, 용해성 염분 등 기타 이물질 제거한다. 4 $\phi$ (망목 62.5  $\mu$ m) 표준체로 습식체질하여 4 $\phi$  이하(sand, gravel)와 4 $\phi$  이상(mud=silt+clay)의 퇴적물로

분리한다. 4 $\phi$  이하의 조립질퇴적물은 체 진탕기(Sieve shaker)로 건식체질하여 입도등급별 무게를 측정하고, 표준체를 통과한 4 $\phi$  이상의 세립질퇴적물은 입도분석기(micromeritics, SediGraph 5100)로 분석한다.

입도분석기를 이용한 세립질퇴적물의 분석절차는 다음과 같다. 즉 표준체를 통과한 4 $\phi$  이하의 세립질 용액 중 일부를 두 그룹으로 분취(피펫팅)하여 한 그룹은 확산제인 Calgon((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>)을 첨가한 후 입도분석기로 입도등급별 부피(%)를 측정하고, 다른 한 그룹은 105 $^{\circ}$ C에서 건조 후 무게를 측정하여, 이 부피와 무게로부터 세립질 퇴적물의 입도등급별 무게를 구한다. 이렇게 측정한 조립질 및 세립질 퇴적물의 무게 값으로부터 입도등급별 무게백분

율을 구한다. 퇴적물의 입도등급은 Udden-Wentworth 규격(Lewis, 1984)에 따라 구분한다[표 I-1]. 퇴적물의 조직특성치(평균입도, 분급도 등)는 Folk and Ward(1957)의 그래프방식으로 계산하고, 분급도는 [그림. I-5, I-6, I-7]과 같이 분류한다. 저질의 입도(mean grain size)와 분급도(sorting coefficient)는 저질의 상태 및 저서생물의 분포와 관련하여 가장 중요한 두 개의 매개변수가 된다(Gray 1981). 분급도는 입도가 얼마나 균일하게 분포하는지 그 정도를 나타내며, 따라서 분급도가 양호한 곳은 같은 크기의 입도로 구성되며 반대로 불량한 곳은 다양한 크기의 입도로 구성된다.



[그림. I-5] 해저 퇴적물의 분급도. 저서생물의 분포를 이해하는 데 중요한 요인이 된다.

각 시료의 퇴적물유형(sediment type)은 Folk(1954, 1968)의 삼각분류도를 이용하여 분류하며[그림. I-6, I-7], 이것으로부터 조사지역의 퇴적상(sediment facies)을 파악한다.

## (2) 생물학적 요인

### (가) 미생물

#### ① 현장 조사

해수 시료는 70% 에탄올로 소독한 van Dorn 채수기를 이용하여 채수한다. 표층수는 표층 수심 0.5m 사이에서, 저층수는 저층 1m 상층에서 각각 채수한다. 채수된 각 시료는 멸균된 conical tube에 담아 저온을 유지하여 실험실로 운반한 후 즉시 실험에 사용한다.

#### ② 종속영양세균의 개체수 측정

#### ③ 측정 원리

##### ㉠ 재료 및 방법

채수된 해수 시료는 artificial seawater salts(해수무기염)용액을 희석용액으로 사용하여 단계희석하고 seawater nutrient agar(해수영양한천)배지에 분주·도말하여 배양한 후 출현한 집락수(colony forming unit; cfu)를 평판계수법에 따라 계수하여 종속영양세균의 개체수(생균수)를 결정한다.

##### ㉡ 기구 및 기기

Bent glass rod, Petri dish, Test

tube, Erlenmeyer flask, Micropipette, Magnetic stirrer, Voltex mixer, pH meter, Chemical balance, Dry oven, Autoclave, Ultrapure water purification system, Clean bench, Incubator[그림. I-8].

#### ㉢ 시약 및 배지

• Artificial seawater salts 용액

표 2와 같이 제조하여 pH를 7.0으로 맞추고 121℃, 15분간 고압증기멸균한 후 사용한다[표 I-2].

• Seawater nutrient agar 배지

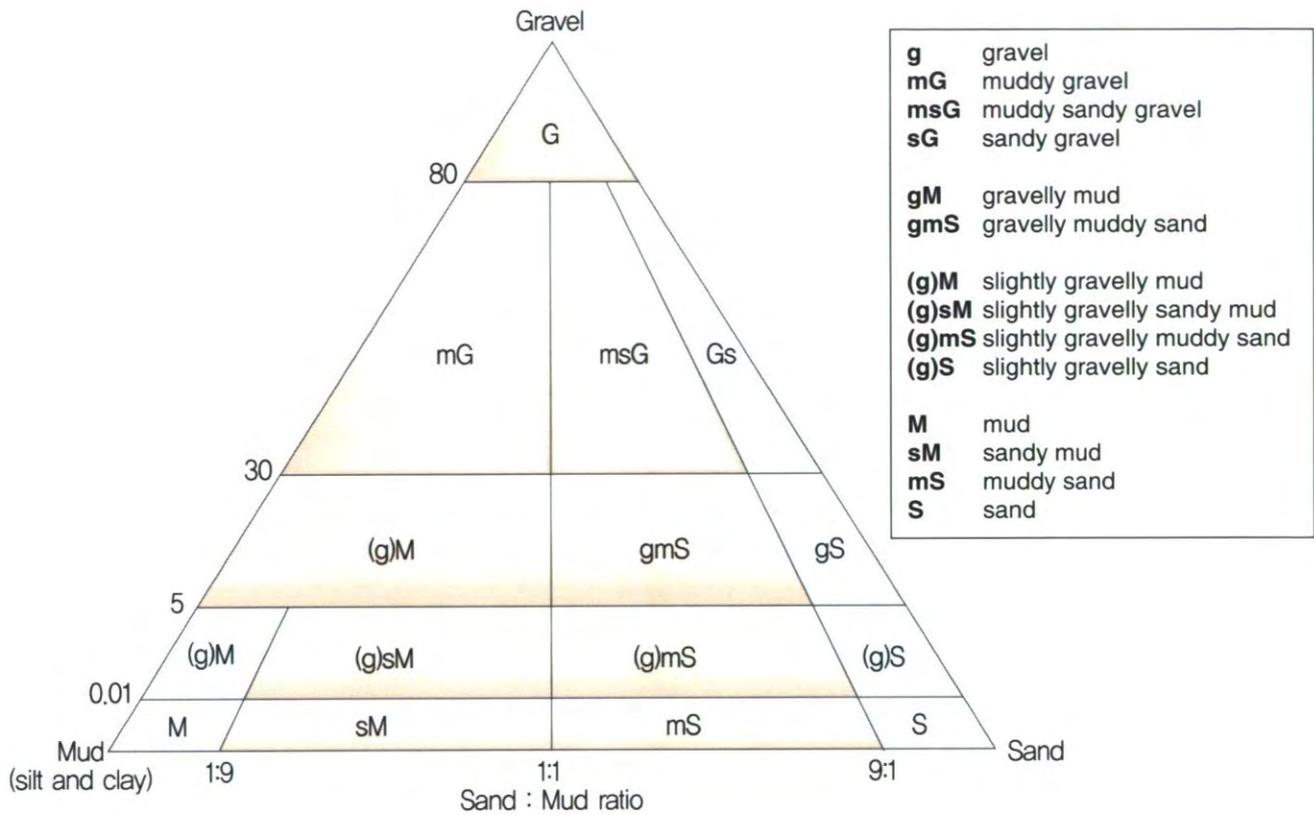
표 3과 같이 A, B 및 C용액을 각각 제조하고 121℃, 15분간 고압증기멸균한 후 50℃가 될 때까지 냉각한다. B와 C용액을 clean bench 안에서 섞은 뒤 멸균 petri dish에 분주하여 응고시킨다. A용액을 그 위(B+C용액)에 붓고 응고시킨다[표 I-3].

#### ㉣ 실험 과정

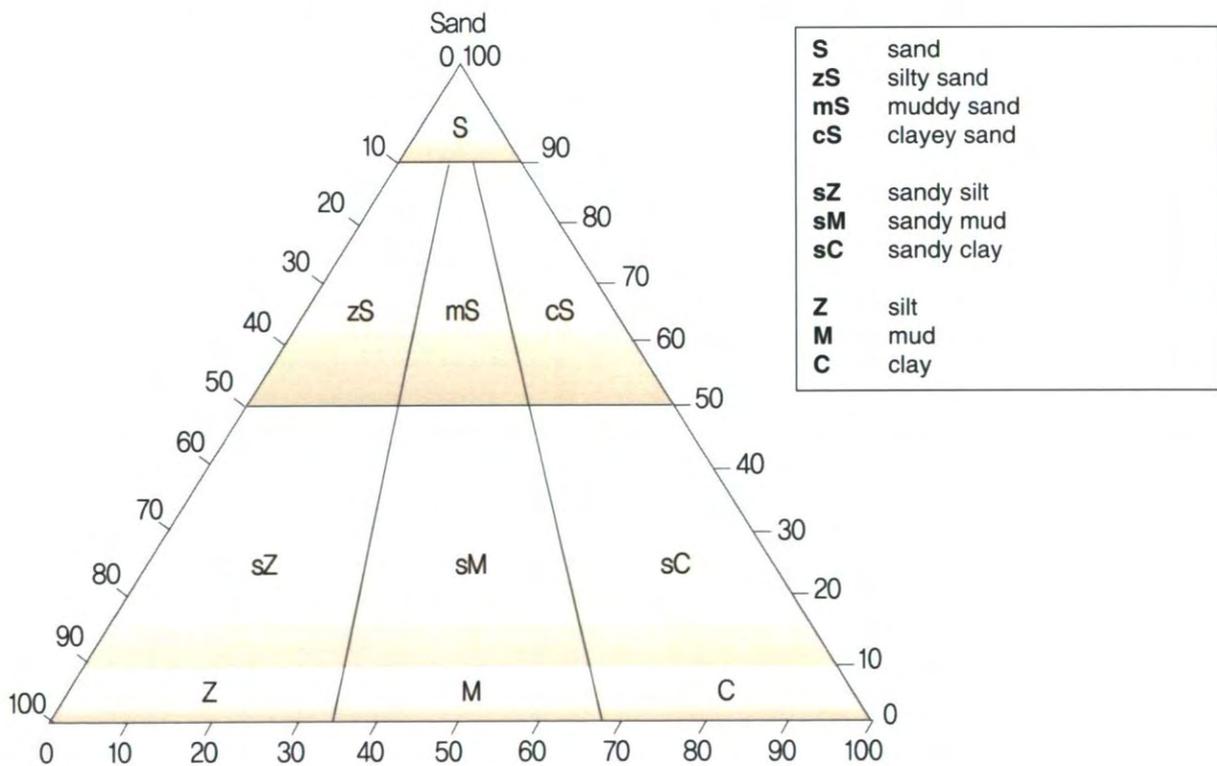
• 모든 실험과정은 clean bench 안에서 무균적으로 실시하는 것을 원칙으로 한다.

Seawater nutrient agar 배지와 artificial seawater salts 용액을 제조하고 멸균한다. Artificial seawater salts 용액에 해수 시료를 넣고 vortex mixer를 이용하여 잘 혼합해 가면서 단계희석한다.

• 희석액 0.1ml 씩을 seawater nutrient agar에 떨어뜨리고 멸균 bent glass rod로 배지 표면에 희석 균액을 골고루 도말한다.



[그림. I-6] 자갈-모래-펄 혼합퇴적물의 삼각분류도 (Folk 1968).



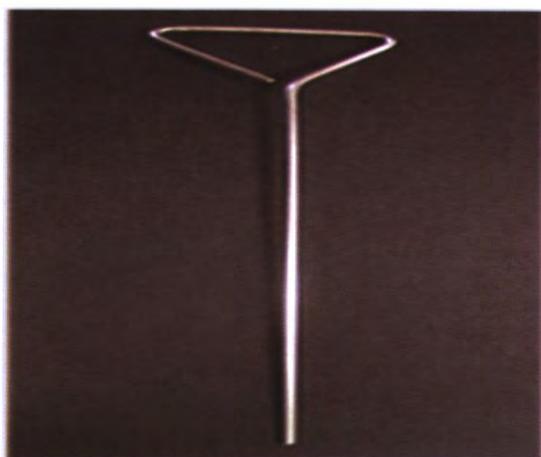
[그림. I-7] 모래-실트-점토 혼합퇴적물의 삼각분류도 (Folk 1954).

[표 I-2] Artificial seawater salts 용액의 조성

Component	Amount
Sodium chloride(NaCl)	24 g
Magnesium sulphate hydrate(MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	7 g
Potassium chloride(KCl)	0.75 g
Distilled water	1ℓ

[표 I-3] Seawater nutrient agar 배지의 조성

Solution	Component	Amount
A	Artificial seawater salts solution	500 ml
	Agar	10 g
	Proteose peptone	10 g
	Yeast extract	3 g
B	Casein	10 g
	Distilled water	250 ml
C	Agar	10 g
	Distilled water	250 ml



Bent glass rod



Petri dish

[그림. I-8] 종속영양세균의 개체수 측정에 사용되는 기구 및 기기



Test tube



Erlenmeyer flask



Micropipette



Magnetic stirrer



Voltex mixer



Dry oven

[그림. I-8] 종속영양세균의 개체수 측정에 사용되는 기구 및 기기



pH meter



Ultrapure water purification system



Chemical balance



Auto-clave



Clean bench



Incubator

[그림. I-8] 종속영양세균의 개체수 측정에 사용되는 기구 및 기기

- Incubator에서  $15 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $5 \pm 2$ 일간 도치배양한다.
- 평판배지 당 콜로니 수가 30~300범위로 형성된 것을 대상으로 계측한다. 수 회 반복실험을 실시하여 평균값과 표준편차로 결과를 제시한다.

#### ④ 종속영양세균의 동정

##### ㉓ 측정 원리

세균의 동정은 다양한 방법에 의하여 이루어지며, Vitek Microbe Identification System을 이용한 동정 방법은 다음과 같다. 개체수 측정에 사용한 종속영양세균의 콜로니를 순수

분리 배양하여 Gram 염색성 조사, 측정 및 광학현미경으로 형태와 크기 oxidase test와 catalase test를 실시한 후 Vitek Microbe Identification System을 이용하여 생화학적 특성을 조사하여 동정한다.

##### ㉔ 기구 및 기기

Loop, Optical microscope, Vitek Microbe Identification System [그림. I-9].



Loop



Optical microscope



Vitek Microbe Identification System

[그림. I-9] 종속영양세균의 동정에 사용되는 기구 및 기기

㉔ 시약

Gram염색 시약, Oxidase test 시약, Catalase test 시약[그림. I-10]



Gram 염색 시약



Oxidase test 시약



Catalase test 시약

[그림. I-10] 증속영양세균의 동정에 사용되는 시약

㉕ 실험 과정

- 증속영양세균의 개체수 측정에 사용한 seawater nutrient agar 상에 형성된 콜로니를 형태, 크기, 색깔에

따라 구분하여 동일한 새 배지에 접종하고 incubator에서  $15 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $5 \pm 2$ 일간 배양하면서 순수분리한다.  
- Gram염색을 통해서 양성 및 음성

을 판별한다.

- Gram 양성세균은 catalase test를 실시하고, Gram 음성세균은 oxidase test를 실시하여 그 결과를 Vitek card에 기록한다.
- Oxidase test : Oxidase 시약을 검사용지에 한 방울 떨어뜨리고 신선한 균체를 취하여 문지렀을 때 색깔 변화로 결과를 판독한다. 10~30초 이내에 보라색으로 변하면 양성으로, 색깔 변화가 없거나 30초 이후에 옅은 보라색으로 변하면 음성으로 판별한다.
- Catalase test : Slide glass 위에 catalase 시약을 떨어뜨리고 loop를 이용하여 균체를 골고루 섞어준 후 약 5초 이내에 기포가 발생하면 양성으로, 기포 생성이 없을 경우 음성으로 판별한다.
- 균액을 0.8% 멸균생리식염수에 현탁하여 Vitek card에 주입 후 Microbe Identification System을 이용하여 각 세균의 생화학적 특성을 조사하여 동정한다.

## (나) 식물플랑크톤

### ① 식물플랑크톤의 채집과 전처리

식물플랑크톤 시료는 정해진 정점에서 해양의 수심에 따라 표층·중층·저층을 구분하여 van Dorn 채수기 또는 Niskin 채수기로 시료를 채집한다. 시료는 즉시 선상에서 분석목적에 따라 5% 중성 formalin(또는 최종농도 0.4% formaldehyde(W:V)), Lugol's

solution, glutaraldehyde로 고정한다. 한편 전자현미경 사진을 위한 시료는 실험실에서 osmic acid( $OsO_4$ )으로 고정한다.

### ㉓ 정량분석

현장에서 실험실로 운반된 시료는 24시간 이상 침전시킨 후, 상등액을 siphon으로 버리고 150~200ml로 농축한다. 정량분석은 농축된 시료를 균일하게 혼합한 후 1ml을 취하여 Sedgwick-Rafter 계수판 또는 Palmer Maloney 계수판에 넣고 광학현미경(Nikon 115)×100~×400배하에서 3회 계수한 후 평균치를 구하여 단위 체적당 세포수를 현존량으로 환산한다.

### ㉔ 정성분석

정량분석에서 사용한 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 methylene blue 또는 fuchsin으로 염색한 후 광학현미경 100~1000배하에서 검경·동정한다. 한편 크기가 작아 광학현미경에서 동정하기 어려운 식물플랑크톤 돌말류는 전자현미경으로 동정하기 위하여 세포내 유기물을 제거한다(Hasle and Fryxell 1970: Hasle 1983). 주사전자현미경 관찰을 위하여 세포내 유기물을 제거한 시료는 aluminum stub에 올려놓고 건조시켜 gold-palladium으로 코팅(JEOL, MSC-101) 후 주사전자현미경(SEM, JEOL 5600LV)으로 동정하

며 사진을 촬영한다. 시료의 전처리, 영구 프레파라아트 제작 및 주사전자현미경 동정용 프레파라아트 제작과정은 아래와 같다.

- ㉠ 시료를 시험관에 넣고 원심분리기를 이용하여 2차 증류수로 2~3회 세척 하여 염분(salts)을 제거한다.
- ㉡ 원심분리 후 시험관 내에 있는 물을 spoid로 가능한 한 제거하여 농축된 시료만 남도록 한다.
- ㉢ 시료와 같은 양의 HNO<sub>3</sub>를 넣고 다시 4배의 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 첨가한다.
- ㉣ 후드 내에서 알콜 램프 또는 가스 버너로 서서히 가열하여 끓인 후 수분 간 식한다.
- ㉤ 원심분리기를 사용하여 2차 증류수로 5~6회 세척하여 강산(질산, 황산)을 제거한다.
- ㉦ 96% 알코올로 세척한 덮개(cover-slip) 유리위에 시료를 한 방울 떨어뜨리고, 그 위에 2차 증류수를 1~2방울 떨어뜨린다.
- ㉧ 대기중에서 24시간 이상 건조시키며, 또는 빠르게 수행할 때는 slide warmer 또는 hot plate 에서 건조시킨다.
- ㉨ cover slip위에 봉입제(Coumarone, Hyrax, Pleurax 등)를 한 방울 떨어뜨리고 알콜로 세척한 슬라이드 글라스를 덮는다.
- ㉩ 기포가 있으면 hot plate에서 적당한 온도로 서서히 가열하여 기포를 제거시킨 후 식한다.

㉪ 덮개 유리와 슬라이드 글라스 사이에 embedding resin이 흘러나와 있으면 칼로 제거한 후 무색의 메니큐어로 봉입한다.

- 주사전자현미경 관찰을 하고자 할 때는 상기 ㉤ 과정이 끝난 후 시료를 stub위에 적당량 떨어뜨려 표본이 겹치지 않고 골고루 퍼지게 하여 건조시킨 후 coating 한다.

또한 외부골격이 규산질이 아닌 와편모조류, 녹조류, 남조류, 유글레나조류는 2% glutaraldehyde로 고정시킨 후, osmic acid (OsO<sub>4</sub>)의 최종농도가 1~2%가 되도록 부가하여 실 내에서 1~2시간 동안 고정한다 (Reimann *et al.* 1980). 이후 Et-OH series로 탈수하여 isoamylacetate로 치환시켜 Critical Point Dryer (SPI, Dry-CPD)로 건조시킨 후 주사전자현미경에서 검경·동정한다.

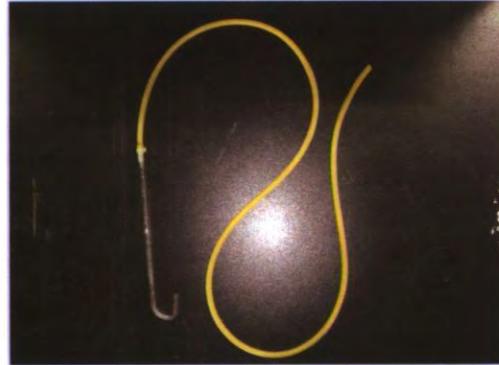
② 연구기자재

식물플랑크톤군집의 미세조류를 동정하기 위해서는 무엇보다도 400~1,000 배의 배율이 가능한 성능 좋은 광학현미경(LM)이 있어야 한다. 또한 크기가 아주 작은 분류군은 미세구조를 관찰해야만 동정이 가능하기 때문에 배율이 높고 해상력이 뛰어난 주사전자현미경(SEM)이 있어야 한다. 주사전자현미경을 사용하기 위하여 시료의 금 코팅 또는 탄소 코팅을 하기 위하여 코팅 장치가 있어야 한다[그림. I-11].

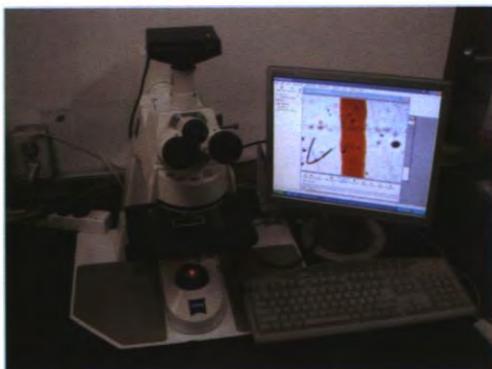
한편, 식물플랑크톤군집의 해양생태계의 구조와 기능을 파악하기 위하여 식물플랑크톤 군집의 우점도 지수, 종 다양성지수, 풍부도 지수, 균등성 지수를 분석해야 하며, 식물플랑크톤 군집과 환경요인들과의 상관성 및 영향인자를 파악하기 위하여 상관분석 (Correlation Analysis), 변량분석(Analysis of Variablance), 회귀분석(Regression Analysis), 주성분분석(Principle Component Analysis), 군집분석(Cluster Analysis)등으로 분석해야 하



채수기



Siphon

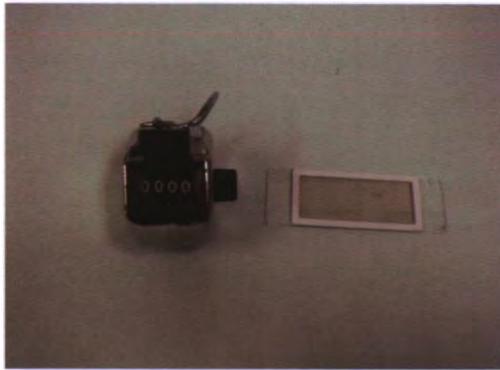


광학현미경



주사전자현미경

[그림. I-11] 식물플랑크톤 채집 및 분석 장비



계수기



플랑크톤 채집망(net)

[그림. I-11] 식물플랑크톤 채집 및 분석 장비

며, 이를 위하여 SPSS 프로그램이 있어야 한다.

### ③ 문헌

#### ㉓ 돌말류(규조류)

식물플랑크톤군집의 정확한 동정을 위하여 무엇보다도 분류에 관련된 문헌이 확보되어 있어야 한다. 현재 국내의 각 연구실에서 일반적으로 사용하는 식물플랑크톤군 돌말류의 분류 및 동정에 있어서 사용되는 문헌은 아래와 같다.

국내: 정(1968), 심(1994), 이와 장(1996), 이(1997)

국외: Hustedt(1914, 1930, 1959), 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), Tomas(1996)

위와 같은 문헌은 전자현미경 사진을 수록하기도 하였으나, 대부분 광학현미경을 기초로 하여 기재 또는 사진을

수록하여 동정에 어려움이 있다. 특히 크기가 작은 미세한 돌말류의 분류학적 특징(아래에서 지적할 것임)을 관찰하기는 어렵다. 따라서 도감류와 최신 발간되는 분류논문을 망라하여야 올바른 동정을 할 수 있다.

국내에서 발행되는 돌말류와 같은 미세조류 취급 전문 학회지는 한국조류학회지에서 가장 활발하게 다루며, 그 이외에도 한국해양학회지, 한국식물학회지, Ocean and Polar Research, 한국환경생물학회지, 한국수산학회지, 한국생태학회지, 한국식물분류학회지 등이 있다.

외국의 대표적인 전문 학술잡지에는 Am. J. Botany, Bacillaria, Botanica Marina, Eur. Phycol. J., Cryptogamie Algologie, Diatom Research, J. Phycol., J. Plankton Research, Limnol. & Oceanogr., Nor. J. Bot., Nova Hedwigia, Phycologia, Polar Biol., Sarsia, Taxon 등이 있다. 이외에도 수많은 도

감류와 단행본이 있으며, 다양한 분류 문헌을 독일의 과학도서 전문 취급점인 Koeltz에서 판매하고 있다.

우리나라 분류 전문가들이 외국의 전문 잡지를 전부 구독하기는 힘들어도 1~2종씩은 정기 구독하고 있으며, 한국해양연구원, 국립수산과학원, 서울대학교 도서관과 같은 곳에서도 수종의 잡지를 정기 구독하고 있다. 또한 전문가마다 관심있는 분야의 논문은 internet을 통하여 알아 볼 수 있으며 필요시 제공받을 수 있어 문헌사정은 비교적 좋다고 할 수 있다.

#### ㉔ 와편모조류

와편모조류의 정확한 동정을 위해서도 돌말류와 마찬가지로 분류에 관련된 문헌이 다량 확보되어 있어야 한다. 현재 국내에는 돌말류에 비해 연구기관이나 연구자 수가 적으며, 각 연구실에서 일반적으로 사용하는 식물플랑크톤군 와편모조류의 분류 및 동정에 있어서 사용되는 문헌은 아래와 같다.

국내: 정(1968), 한과 유(1983a,b), 심(1994), 이(1997)

국외: Dodge (1982), Round *et al.* (1990), 山路(1991), Hasle and Syvertsen (1996), Tomas(1996)

위와 같은 문헌도 돌말류와 마찬가지로 전자현미경 사진을 수록하기도 하였으나 대부분 광학현미경에 근거하여 기재 또는 사진을 수록하고 있다. 따라서 크기가 작은 미세한 와편모조류의 분류학적 특징을 관찰하기는 어렵다.

국내에서 발행되는 미세조류 중 와편모조류를 취급 전문 학회지는 한국조류학회지, 한국해양학회지, 한국식물학회지, Ocean and Polar Research, 한국환경생물학회지, 한국수산학회지, 한국생태학회지, 한국식물분류학회지 등이 있다.

외국의 대표적인 전문 학술잡지에는 Am. J. Botany, Botanica Marina, Eur. Phycol. J., Cryptogamie Algologie, J. Phycol., J. Plankton Research, Limnol. & Oceanogr., Nor. J. Bot., Phycologia, Polar Biol., Sarsia, Taxon 등이 있다.

#### ① 식물플랑크톤의 동정 및 분류시 주의 깊게 관찰해야 할 특징

##### ㉕ 돌말(규조류)

해양생태계에서 생물량이나 종조성이 가장 풍부한 것이 돌말류로서 이들은 햇빛에너지를 이용해 광합성을 하며 유기물을 합성하므로써 기초생산을 담당하고 있다. 따라서 먹이연쇄(food chain) 구조에서 기초생산자로서 중요할 뿐만 아니라 생태학적으로 수괴의 지표를 나타내므로 이들의 정확한 동정 및 분류는 무엇보다 중요하다. 우리나라 연안에서 출현빈도가 높은 속(genus)의 동정시 고려해야 할 사항은 아래와 같다.

##### - *Thalassiosira*속

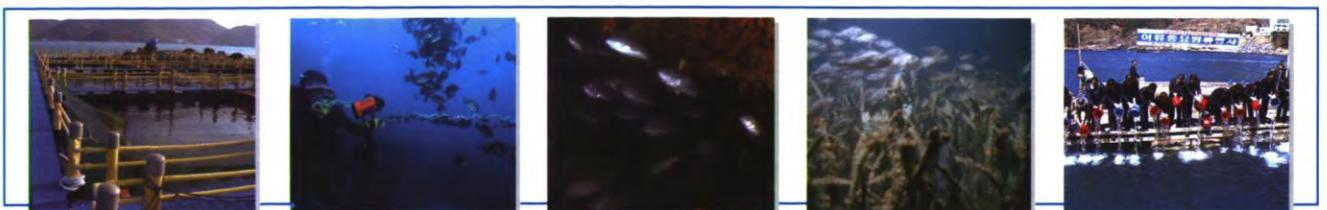
우리나라에서 출현하는 이 속의 종은 세포의 크기가 매우 작아 광학현

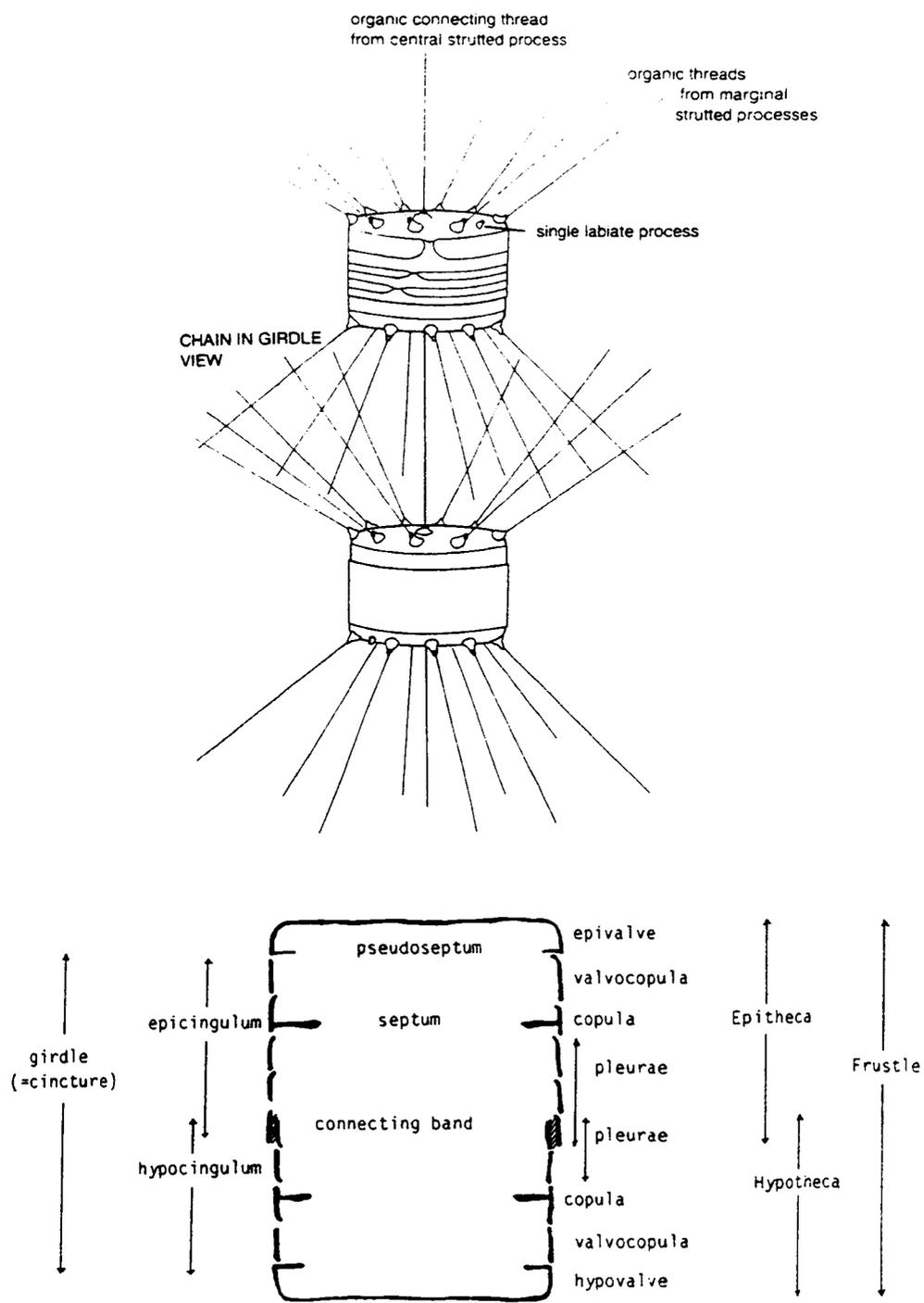
미경(LM) 100~1,000배에서 정확한 동정이 거의 불가능하며, 주사전 자현미경(SEM)으로 미세구조를 관찰해야만 가능하다. SEM으로 동정하기 위해서는 시료의 전처리 과정이 매우 중요하다. 본 속의 종들은 서식 환경이 다양하여 해양성, 기수성 및 담수성이 있으며, Makarova(1971)는 유효한 이름으로 73종류를 보고하였으며 해양성이 가장 많았다. 우리나라에는 해산성 25 종류가 기록되어 있다(Lee 1995).

본 속을 정확히 동정하기 위하여 세포의 뚜껑면보기(valve view)와 둘레면보기(girdle view)의 미세구조를 관찰해야 하며, 아래와 같은 분류학적 형질을 살피고 또한 구조를 이해하여야 한다[그림. I-12, I-13, I-14].

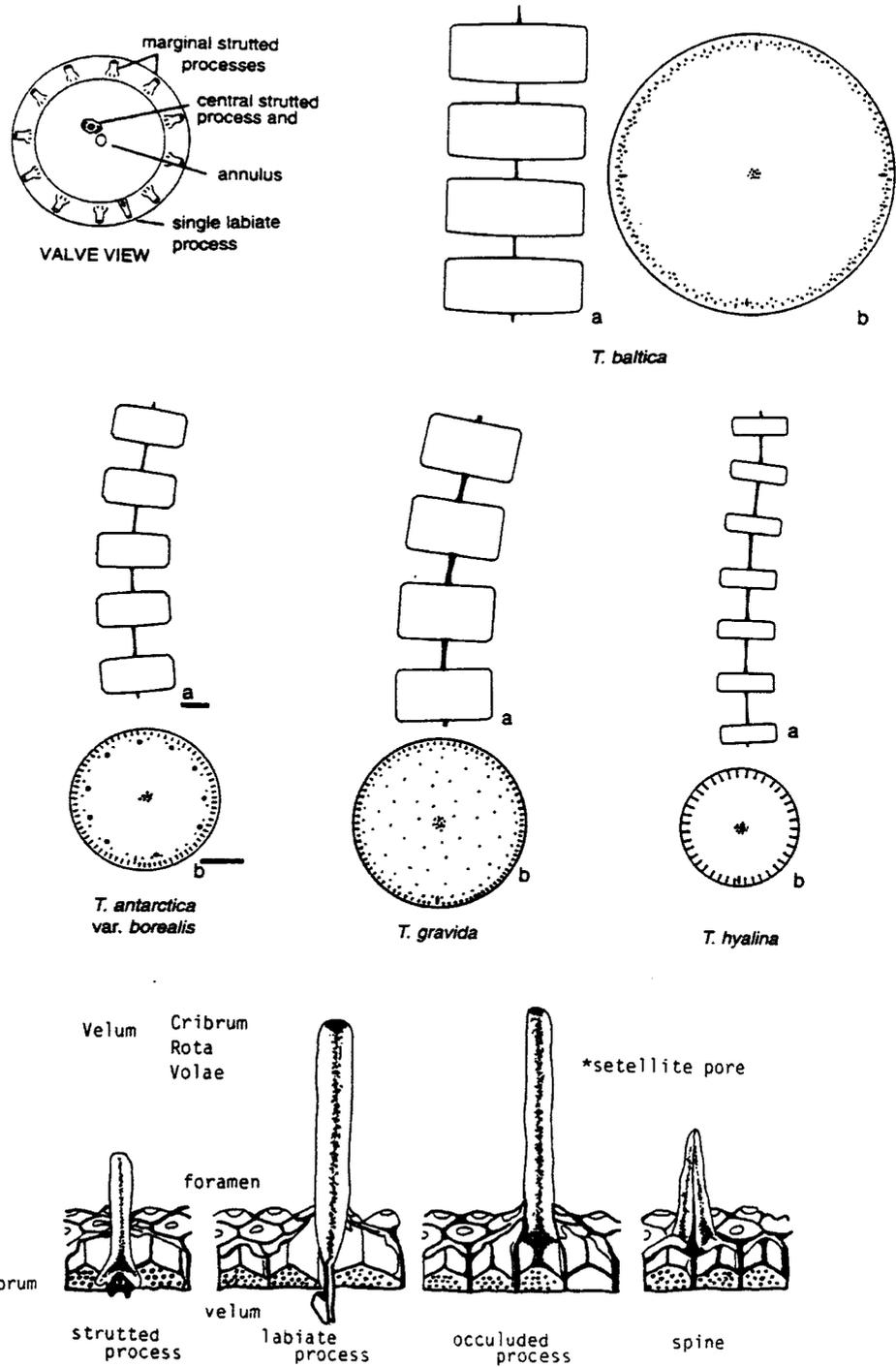
- 뚜껑면의 요철(undulation)
- 세포의 직경(cell diameter)
- 각투(valve mantle)의 모양과 높이

- 연결사(connecting threads)의 길이와 굵기
- 연결사가 나오는 곳이 뚜껑표면(valve face)인지 각투인지
- 가장자리 받침돌기의 환상의 수(number of marginal rings of strutted processes)
- 가장자리 받침돌기의 단위 길이 당 수
- 입술돌기의 수와 위치(number and location of labiate processes)
- 받침돌기(strutted processes)의 수와 길이 배열상태
- 막힌돌기(occluded processes)의 유·무
- 그물눈의 모양과 크기 및 배열 상태(areolae size and array)

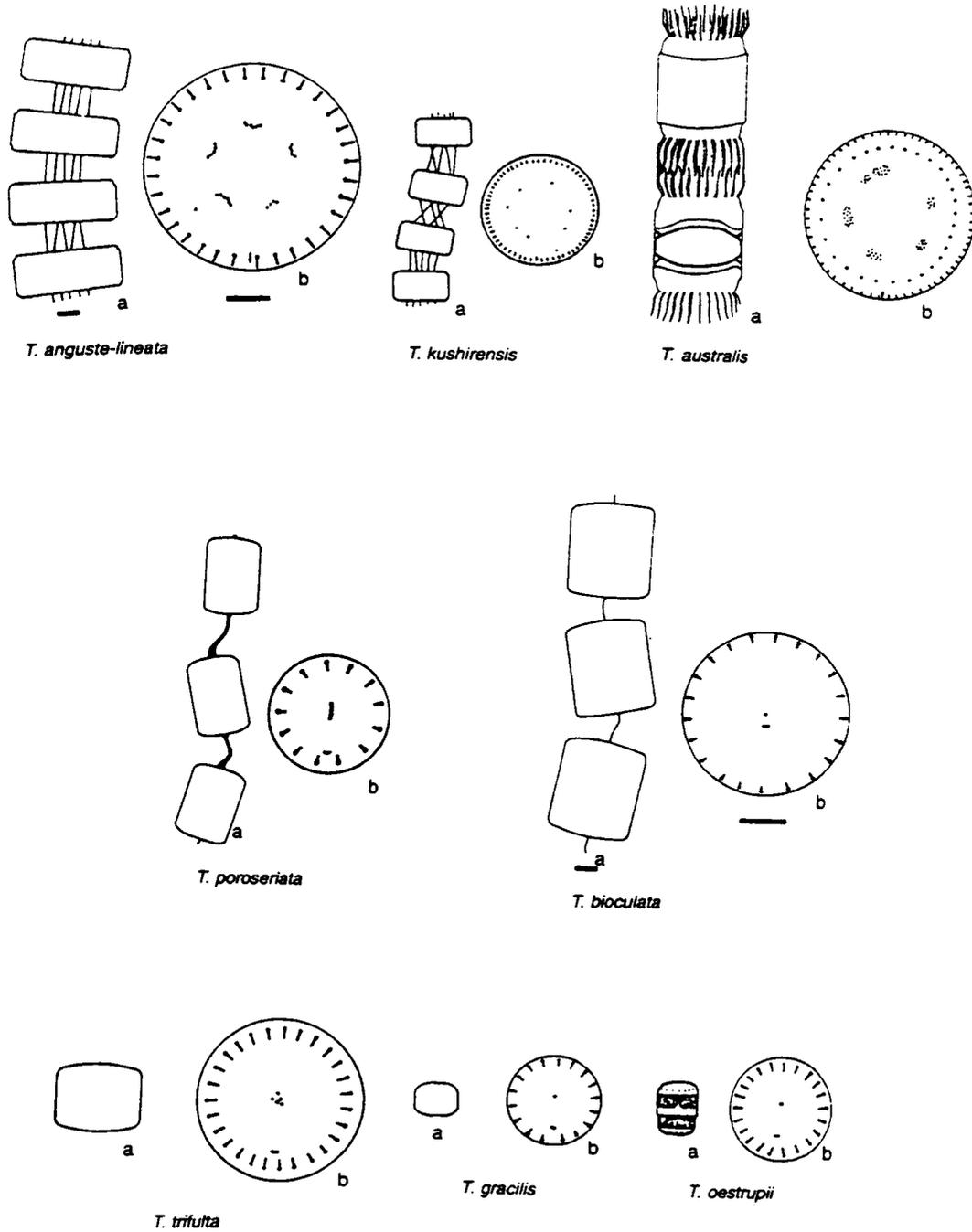




[그림. I-12] *Thalassiosira* 속의 미세구조(아래)와 군체형태(위)



[그림. I-13] *Thalassiosira* 속의 들레면 보기와 뚜껑면 보기에서의 돌기형태와 각 돌기의 미세구조(아래)



[그림. I-14] *Thalassiosira*속의 각 종의 돌레면 보기와 뚜껑면 보기에서의 돌기 모습

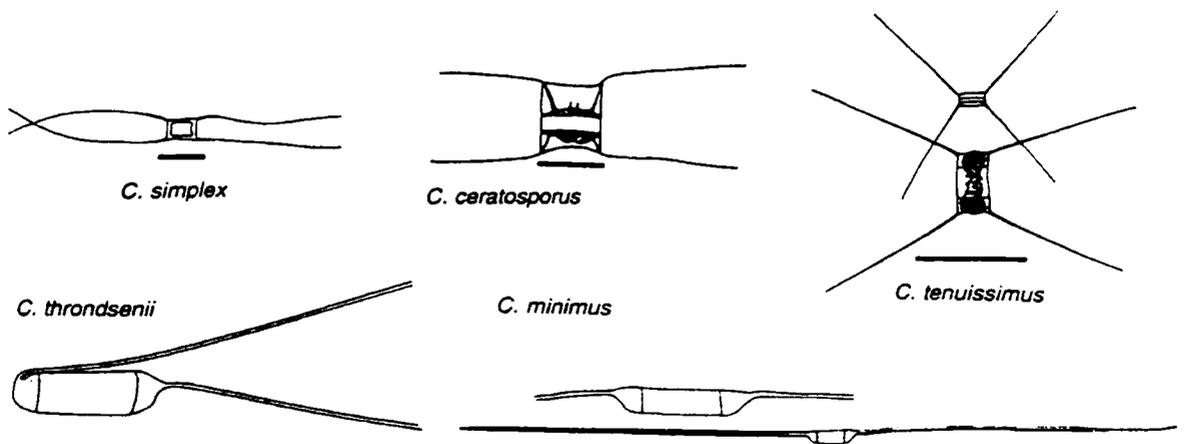
- *Chaetoceros*속

본 속은 분류학적으로 매우 크게 해양에서는 매우 보편적으로 출현하고, 우리나라에는 81종류가 기록되어 있다 (Lee 1995). 본 속의 일반적인 특징은 둘레면(girdle view)에서 보았을 때 하나의 세포에 4개의 센털(setae)이 있으며, 이들이 이웃세포의 그것과 기부에서 서로 연결하여 군체를 이룬다 (그림 15, 16). 본 속의 대부분의 종들은 주사전자현미경(SEM)에 의한 미세구조를 관찰하지 않고, 광학현미경(LM)의 저배율에서도 동정이 가능하다. 군체를 이루거나 단일 세포인 종을 동정할 때 아래의 분류학적 형질을 살펴야 한다[그림. I-15, I-16].

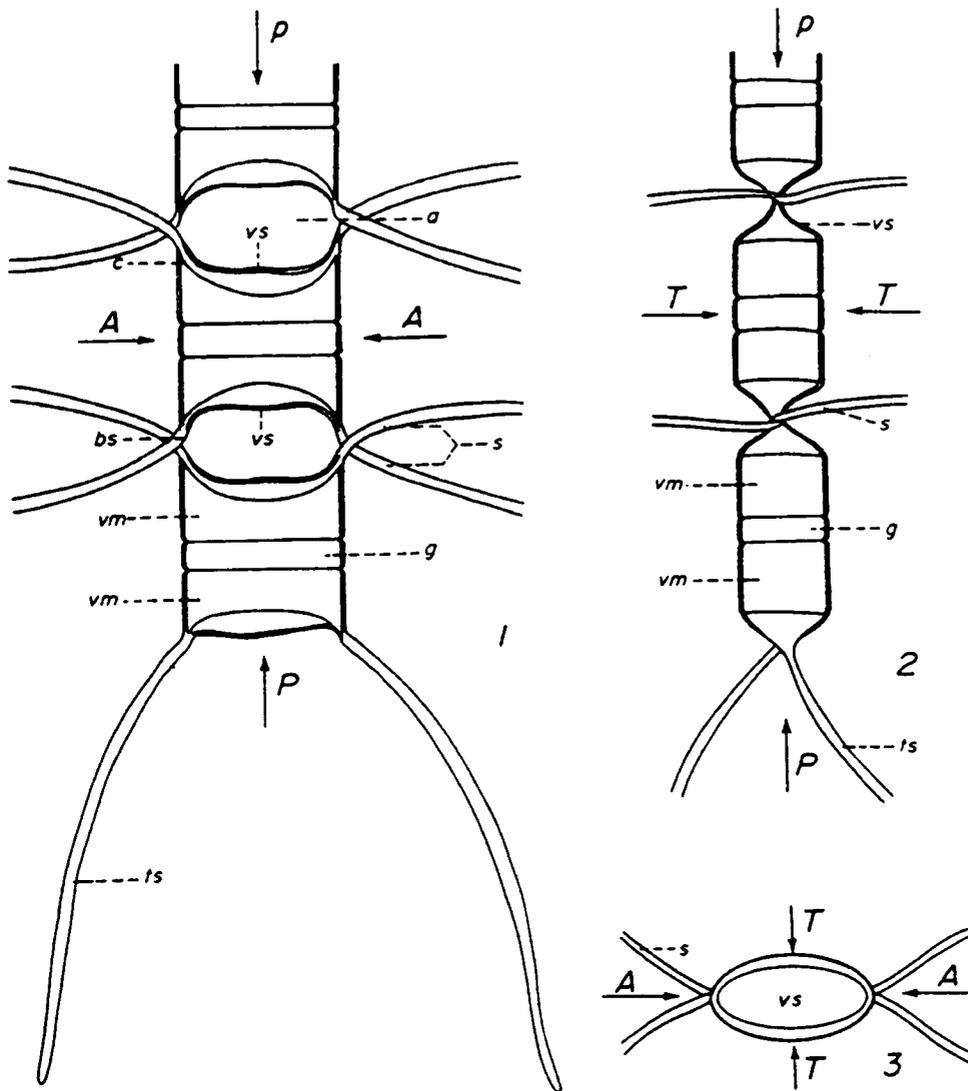
- 세포당 엽록체의 수, 모양, 크기
- 센털안에 엽록체 유·무
- 센털의 방향과 배열상태, 이웃세포의 것과 연결되는 부위
- 끝센털(terminal setae)의 모양

- 군체가 직선인지, 구부러져 있는지, 꼬여 있는지
- 사이틈(aperture)의 모양과 크기, 혹(protuberance)의 유·무
- 둘레면의 높이(height of girdle)
- 휴면포자(resting spore)의 유무
- 휴면포자의 가시가 있는지 민땃한지 (spiny or smooth of resting spore)
- 휴면포자에서 제 1, 2차 뚜껑면의 유사 정도
- 휴면포자에 분지된 혹이 있는지 (protuberances with branches)

군체 중 하나 또는 2~3개의 세포로 되어 있는 종에는 *Chaetoceros simplex*, *C. gracile*, *C. septentrionale*, *C. ceratosporus*, *C. tenuissimus*, *C. minimus*, *C. throndsenii* 등이 있으며 특징은 아래와 같다.



[그림. I-15] 단세포형 또는 짧은 군체형의 *Chaetoceros* 종류들

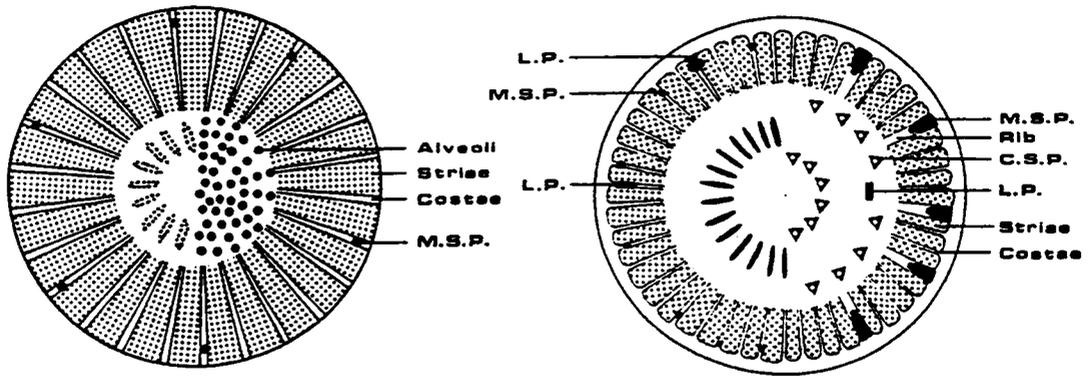


[그림. I-16] *Chaetoceros* 속의 미세구조: 1. 넓은 둘레면 보기, 2. 좁은 둘레면 보기, 3. 뚜껑면 보기

- *Cyclotella*속

본 속은 대부분이 담수 및 기수성 종이며 육상에서의 화석종도 많이 보고되어 있고 북유럽의 여러 나라에서 활발히 연구되고 있다(Håkansson 1984, 1989, 1990, Håkansson et al. 1993). 해양성 종은 비교적 크기가 커서 광학현미경(LM)으로 동정

이 가능하지만 일부 종은 아주 작아 주사전자현미경(SEM)을 사용하여야 정확히 동정할 수 있다[그림. I-17]. 우리나라 연안에서는 해양성 13 분류군이 기록되어 있다(Lee 1995). 이 속의 종들은 대부분 하나의 세포(single cell)로 존재하여 군체를 이루는 분류군보다는 분류학적 형질이



[그림. I-17] *Cyclotella* 속의 외부(왼쪽)와 내부(오른쪽) 보기

상대적으로 많지않다. 따라서 소형 종의 정확한 종 동정을 하기 위하여 여는 세포내의 유기물을 완전히 산(acid)으로 제거한 후 아래와 같이 뚜껑면 보기(valve view)의 구조를 잘 살펴야 한다.(Hasle and Syversten 1996).

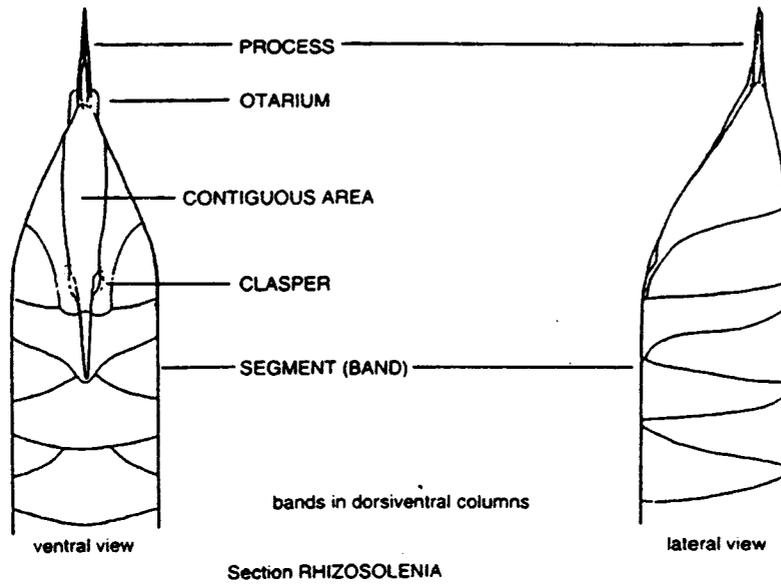
- *Rhizosolenia*속

본 속의 일반적인 특징으로 뚜껑면은 원뿔모양이며, 귀돌기(otaria)와 조임부분(claspers)이 있다. 세포의 정단인 원뿔 꼭대기는 끝이 열려 있는 돌기가 있고, 입술구조에 의해 세포내부와 연결된다. 전자현미경(SEM)하에서 각환대 그물눈은 대개 방상(loculate)이고 측면은 특히 두 개에서 여러개의 세로 열(columns)이 수많은 띠와 각환대의 연결띠(segments)로 이루어져 있다. 각환대의 외형은 세포의 넓이와

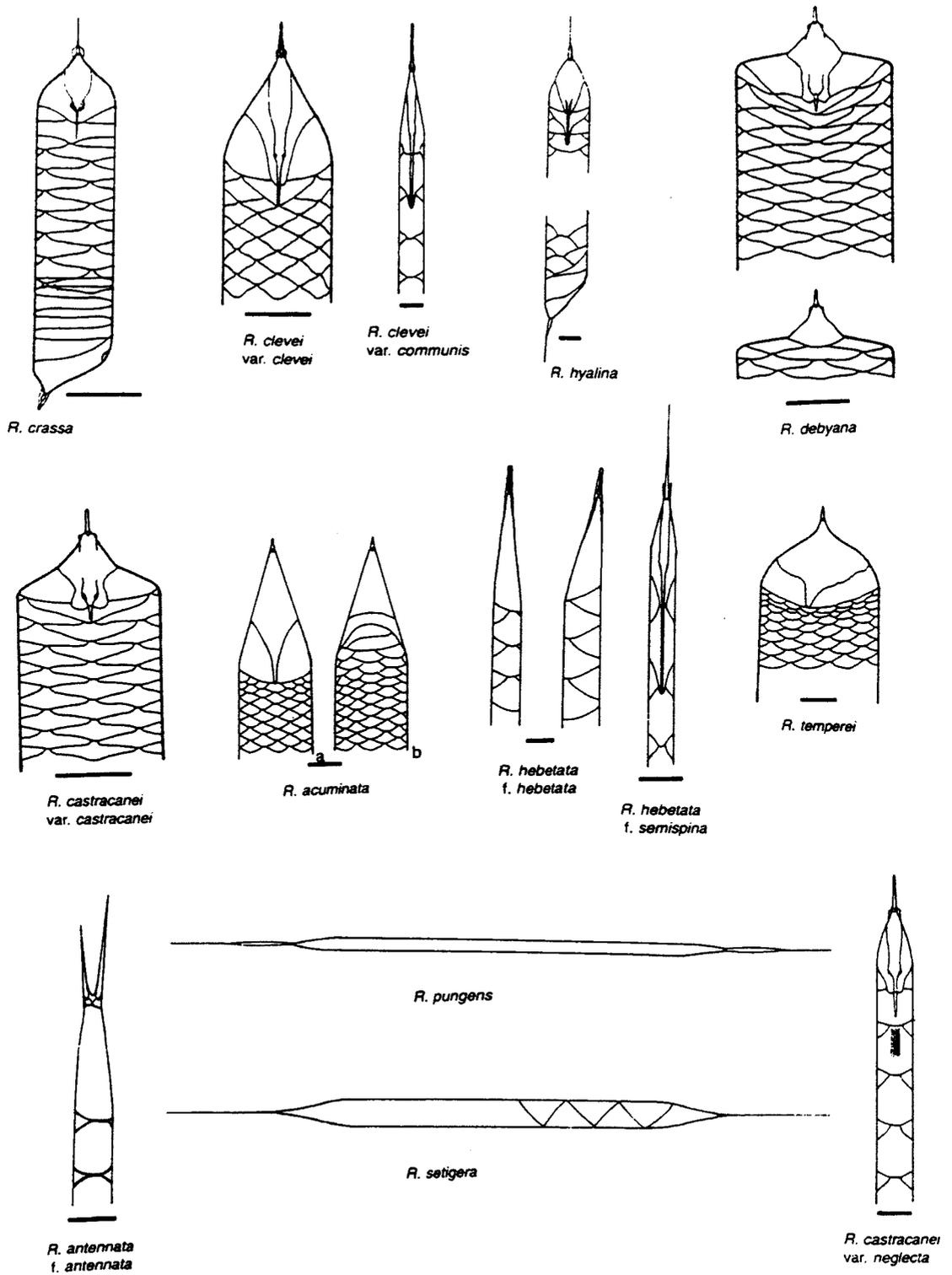
열의 수에 따라서 사다리꼴 모양(trapezoidal)과 날개 모양(wing-shaped) 같은 인편(scale)으로 되어 있다[그림. I-18]. 뚜껑면 각환대는 오직 하나이며 크기가 큰 종에서 드물게 2개 나타난다. 뚜껑면 각환대는 다른 각환대보다 더 크고 모양도 다르다. 본 속의 종을 동정할 때 광학현미경(LM)으로도 가능하며, 일부종의 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 통해야 분류학적 형질을 관찰할 수 있다. 종을 동정할 때는 아래의 특징을 살펴야 한다(Hasle and Syversten 1996). 여러 가지 *Rhizosolenia* 종의 모양을 살펴보면 [그림. I-18, I-19]와 같다.

- 원통상 세포 앞뒤에 있는 연결띠와 측면 열(columns)
- 연결띠의 열의 수
- 뚜껑면과 돌기의 모양

- 귀돌기의 위치, 연장정도, 크기 및 모양
- 입술구조가 LM으로 관찰 할 수 있는 지 여부
- 입술구조가 LM으로 관찰 할 수 있



[그림. I-18] *Rhizosolenia* 속의 미세구조



[그림. I-19] *Rhizosolenia* 종류들의 세포형태, 정단 돌기(apical process), 띠(band) 모양

#### ㉔ 와편모조류

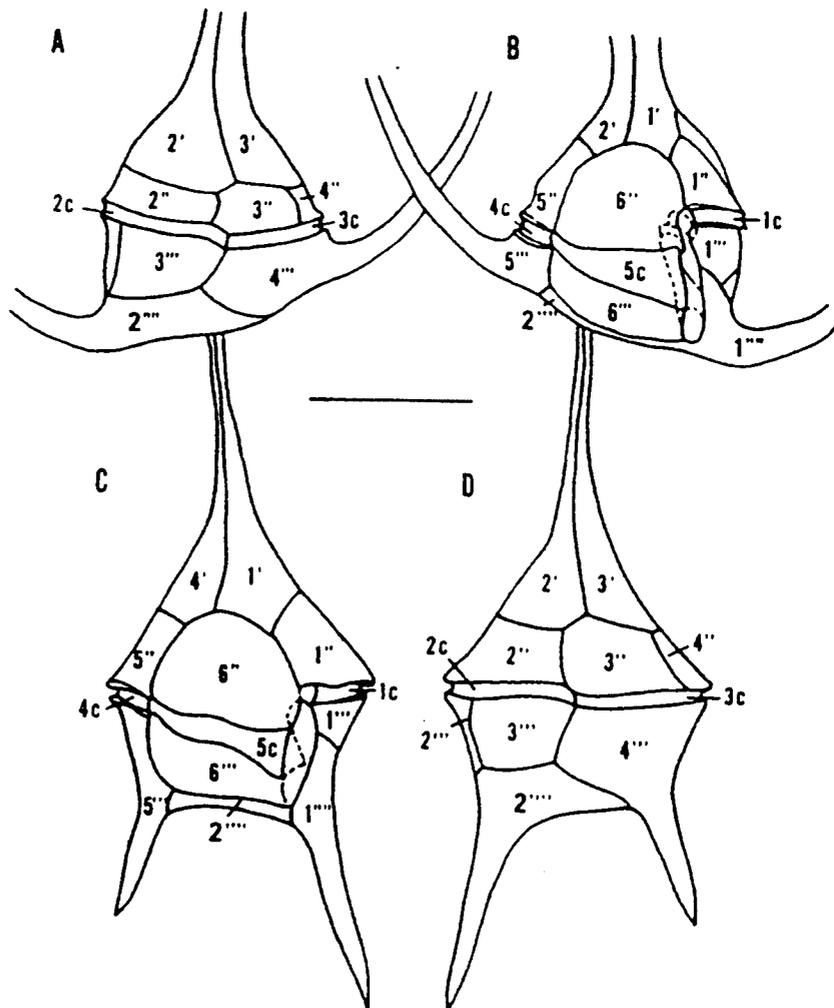
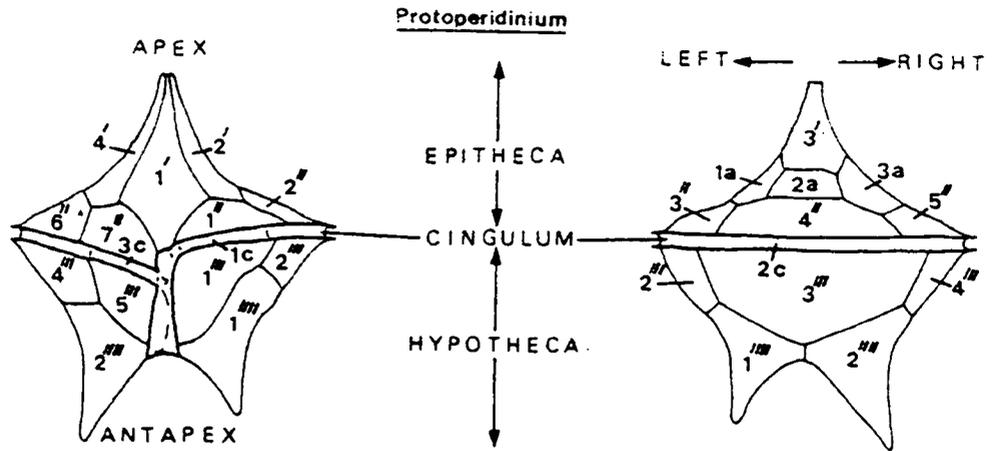
해양생태계에서 돌말류 다음으로 생물량이나 종조성이 풍부한 것은 와편모조류로서 돌말류와 마찬가지로 일차 생산을 담당하고 있다. 전 세계 와편모조류는 2,000여종으로 알려져 있으며, 이 중 약 60여종 정도가 유독성이다 (Smayda 1990). 우리나라의 해산 와편모조류는 299종류가 알려져 있고 대부분의 종들이 부영양화 해역에서 적조를 유발시켜 경제적으로나 사회적으로 큰 문제가 되고 있다 (Lee and Kawk 1981; Kim *et al.* 1997). 최근에 전라남도 해역에서 발생하는 적조는 원인생물이 *Cochlodinium polykrikoides*로서 막대한 피해를 주고 있다. 따라서 와편모조류의 정확한 분류는 해양생태계의 환경관리와 심미적 차원에서도 중요한 과제라 할 수 있다. 우리나라 주변 해역에서 빈번하게 출현하는 분류군을 살펴보면 아래와 같다.

#### - *Ceratium*속

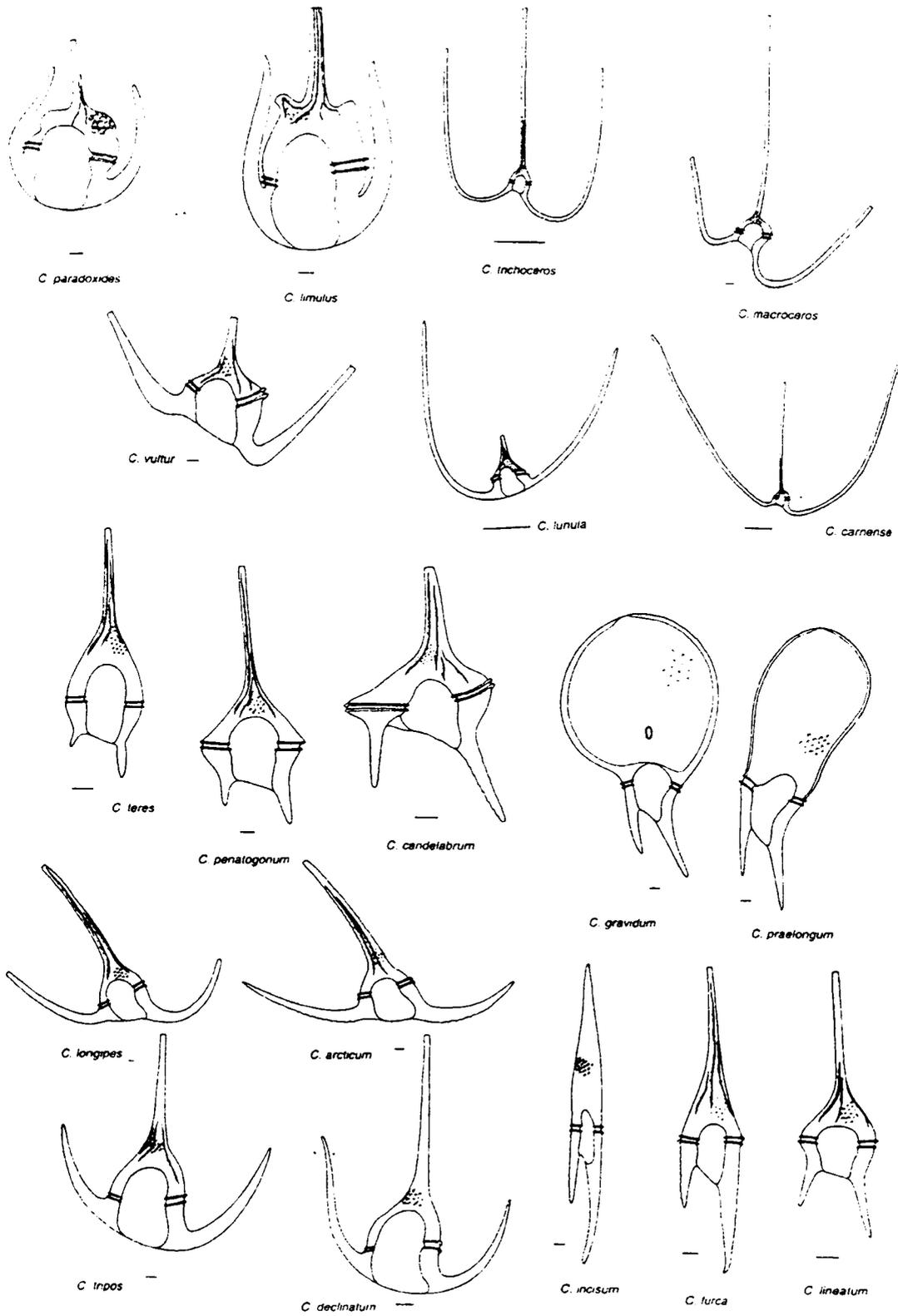
본 속의 종은 해양성이 압도적으로 우세하며 기수성 및 담수성이 일부 존재하며, 우리나라에는 57종류가 알려져 있다. 이들은 크기가 매우 작은 것으로부터 1mm가 넘는 것도 있다. 따라서 광학현미경(LM) 또는 주사전자현미경(SEM)을 통하여 정확한 동정을 할 수 있다. 본 속은 원형질막 바깥에 섬유소로 된 여러 조각의 판(the cal plate)이 마치 축구공과 같

이 판상구조를 이루고 있어 유각류(armored or thecate)라 칭하며, 이들 판의 배열이 동정할 때 중요한 검색기준이 되며 아래의 분류학적 형질을 살펴야 한다. 한편 *Protoperidinium*속의 모형[그림. I-20]과 여러 가지 *Ceratium*종은 [그림. I-20, I-21]과 같다.

- 세포의 외부형태 및 크기
- 뿔(horns)의 수와 개폐 여부
- 세포벽 판상 공식(plate formula):  
(예) Po, c, 4', 6', 5c, 2+s, 6'', 2'''
- 배면 및 복면의 형태
- 정단 또는 후단 판상구조(apical and antapical plates)



[그림. I-20] *Protoperidinium*속의 형태와 *Ceratium*의 배쪽보기(ventral view; B, C)와 등쪽보기(dorsal view; A, D)



[그림. I-21] *Ceratium*속의 여러 종류들

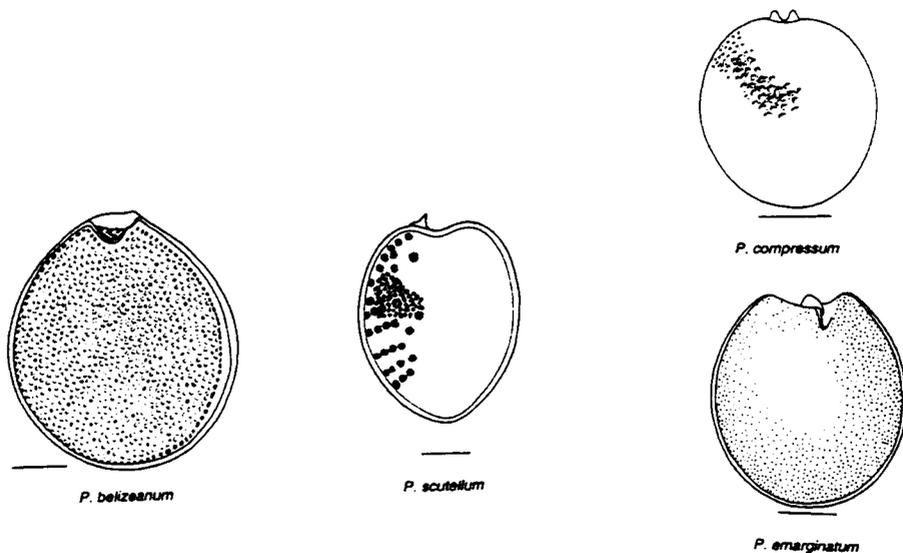
- *Prorocentrum*속

세포는 위아래 뚜껑(valve)이 있고 이것이 접하는 곳에 봉합선(縫合線, suture)이 뻗어있다. 세포의 앞쪽에는 편모공(flagellar pore)이 있고 여기서 2개의 편모가 나오며, 편모공 주변에는 1개 또는 2개의 앞쪽을 향한 가시(spine)가 있다. 뚜껑표면(valve face) 전체에는 작은 가시(minute spine)가 돌아 있는 종도 있다[그림. I-22].

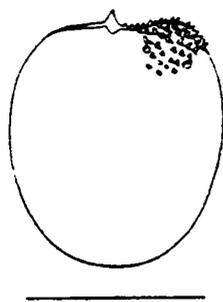
대부분이 부유성이지만 부착생활을 하는 종도 있다. 본 속은 해양성으로 우리나라 연안 및 근해역에서 기록된 것은 모두 17종류이다. 본 속의 종을 동정하기 위하여 아래와 같은 분류학적 형질을 살펴야 하며, 종별 크기가 다양하여 큰 세포는 광학현미경(LM)으로 동정이 가능하지만 소형종은 주사전자현미경(SEM)으로 관찰해야 뚜껑

면의 가시를 판별할 수 있다[그림. I-23].

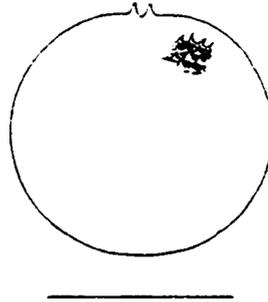
- 세포의 모양과 크기
- 정단돌기(apical process)의 유·무
- 편모기부 주변부의 모양(shape of periflagellar area)
- 편모기부 주변부의 판의 수와 양상(number and pattern of periflagellar plates)
- 그물눈 혹은 다공의 크기와 수(number and size of areolae or poroids)
- 다공 양상(pore pattern)
- 중간대 위에 표시정도(markings on intercalary bands)
- 세포 표면의 작은 가시(minute spine)
- 편모공(flagellar pore)의 배열 및 형태



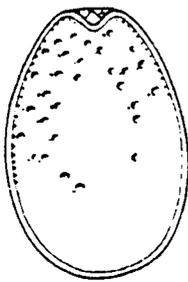
[그림. I-22] *Prorocentrum* 속의 정단 돌기, 편모주위, 세포표면의 미세구조.



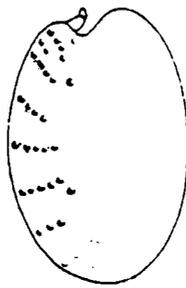
*P. minimum*



*P. balticum*



*P. lima*



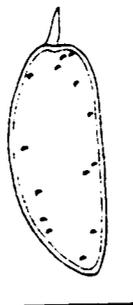
*P. mexicanum*



*P. dentatum*



*P. rostratum*



*P. triestinum*



*P. gracile*



*P. arcuatum*



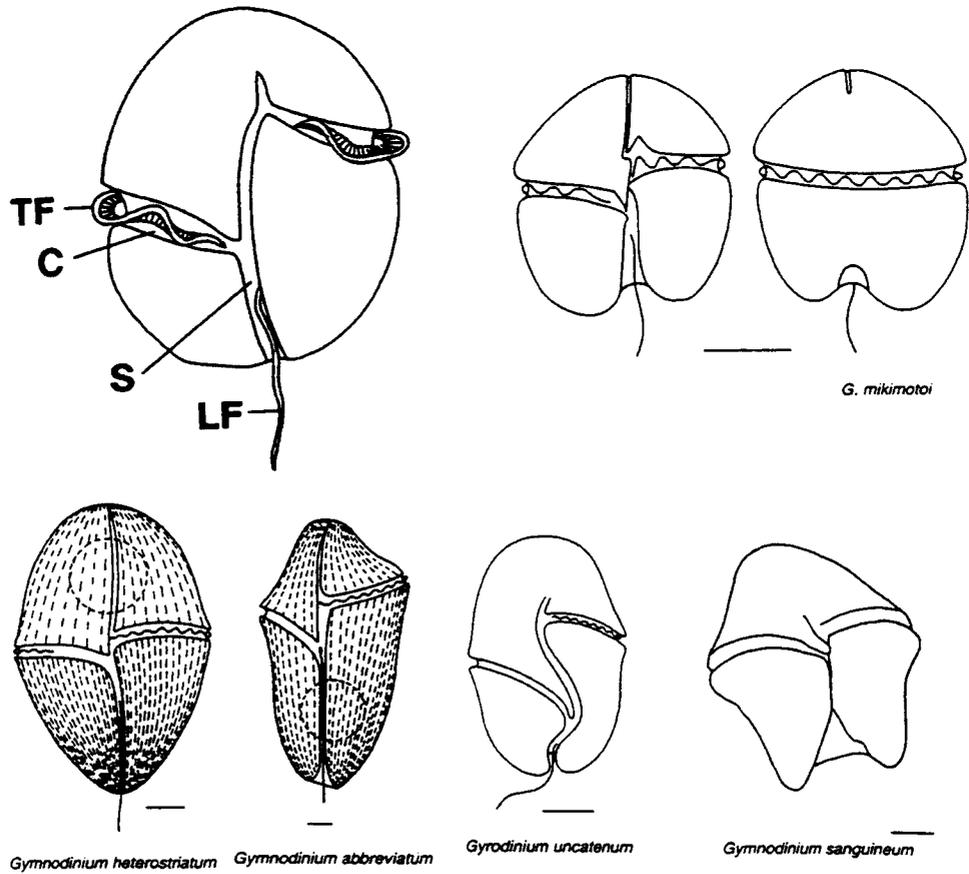
*P. micans*

[그림. I-23] *Prorocentrum* 속의 정단 돌기, 편모주위, 세포표면의 미세구조.

- *Gymnodinium*속

와편모조류에서 섬유질의 각판이 없는 종류를 무각류(無殼類, naked or unarmored)라고 하며, 본 속은 Gymnodinales목에 해당된다. 정확히 동정하기 위하여 외부형태의 특징을 잘 관찰해야 하며, 횡구의 위치, 횡구의 시단(始端)과 말단(末端)의 차이, 횡구의 회전길이가 중요한 검색 기준이 된다. Kofoid와 Swezy(1921)에 따르면 세포의 앞쪽 끝을 정단(apex), 뒤쪽 끝을 후단(antapex), 세포의 측면을 감고

있는 구를 횡구(girdle 혹은 transverse groove), 복면에 종으로 있는 구를 종구(sulcus 혹은 longitudinal groove)라 한다[그림. I-24]. 그리고 횡구와 종구에는 각각 편모가 나와 있는데 횡구에 있는 것을 횡편모(transverse flagellum)라 하고, 종구에 있는 것을 종편모(longitudinal flagellum)라 한다. 또한 정단에는 폭이 좁은 구를 정구(apical groove)라 한다. 우리나라 해양에서 기록된 본 속에 속하는 종들은 24종류로 알려져 있다.



[그림. I-24] *Gymnodinium* 속의 여러 종류들과 용어 (C: 횡구(가로홈), S: 종구(세로홈), LF: 종편모(긴편모), TF: 횡편모(꼬인편모)).

① 식물플랑크톤군집의 생태학적 분석

바다목장 해양생태계에 식물플랑크톤 군집의 구조와 기능을 파악하기 위하여 다음의 지수를 구해야 한다.

㉓ 우점도 지수

생태계내에서 지배적인 영향이나 중요성을 갖는 종 또는 종의 집단을 생태적 우점종(生態的 優占種, ecological dominant species)라고 한다. 이들은 생태계 내에서 기능적으로 보았을 때 군집의 에너지 흐름을 조절하며 생활 환경을 크게 변화시키는 종 또는 종의 집단이다. 이들의 우열의 비율을 총합적으로 나타내는 척도로서 아래와 같은 우점도 지수(dominance index)를 이용한다.

- $DI = y_1 / y \times 100 (\%)$
- $\delta_2 = (y_1 + y_2) / y \times 100 (\%)$   
(McNaughton, 1968)
- $c = \sum (n_i/N)^2$  (Simpson, 1949)

여기서 y와 N은 총 출현 개체수,  $y_1$ 은 출현 개체수 중 가장 많이 출현하는 종,  $y_2$ 는 그 다음으로 많이 출현하는 종을 말한다. 한편  $n_i$ 는 각각의 종이 차지하는 개체수를 말한다.

㉔ 종 다양성 지수

종 다양성 지수 ( $H'$ : species diversity index)는 Shannon and Weaver(1949)와 Margalef(1958)의 아래의 공식을 따른다.

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

여기서 N은 식물플랑크톤 현존량이고,  $n_i$  각각의 종이 차지하는 세포수이다.

㉕ 풍부도지수

풍부도지수(R: richness index)는 아래의 Margalef(1958)의 공식에 따라 구한다.

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

여기서 N은 식물플랑크톤 현존량이고, S는 출현종수이다.

㉖ 균등성지수

균등성지수(e: evenness index)는 Lloyd and Ghelard(1964)와 Pielou(1966)의 아래의 식을 이용한다.

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

여기서  $H'$ 는 종다양성지수이고, S는 출현종수이다.

① 통계적 방법을 이용한 생태계 이해

㉑ 상관분석 (Correlation Analysis)

서로 상관성이 있는 두 변수의 연관 관계를 찾아내어 한쪽 것으로 다른 쪽 값을 예측하는 통계적 분석이다. 바다

목장 해역 내에 식물플랑크톤 현존량 및 각 식물플랑크톤군집의 현존량과 물리·화학적 환경요인들 간의 각각의 상관관계를 알기 위하여 Pearson 상관 계수 (Pearson correlation coefficient)를 구한다. 여기에서 상관 계수(correlation coefficient)는 두 변수 X, Y간의 관계의 정도를 나타내는 지수의 통칭하고, 흔히 상관계수라고 할 때는 Pearson 상관계수를 가리킨다. Pearson 상관계수는 두 연속변수가 선형관계를 보일 때, 두 변수가 얼마나 직선적으로 관계되어 있는가의 정도를 나타내고, 기호는 표본 상관은  $r$ 로, 모집단 상관은  $\rho$ 로 표시한다. 상관계수는 두 변수간의 관계의 정도만을 표시할 뿐 인과관계를 나타내지는 않으며, 크기는 -1에서 1까지이다. 부호가 +인 경우는 정의 상관을 나타내고, -인 경우는 부의 상관을 나타낸다.

㉔ 분산분석 (Analysis of Variance: ANOVA)

두개 이상의 집단에서 얻어진 평균치들의 차이가 집단에 의한 차이인지, 아니면 표본에 의한 우연한 차이인지를 검증하는 분석방법으로, 변수가 하나일 때는 One-way ANOVA, 변수가 두개 이상일 때는 다변량 분산분석 (multivariate analysis of variance: MANOVA)로 분석한다. 결과에 따른 사후분석은 Duncan, Turkey, LSD 검증 등이 있어, 각 목적에 따라 적절한 분석을 하여야 한다. 바다목장 해역

에서 ANOVA 분석은 각 생물요인별, 환경요인에 따른 정점간의 변화, 수심에 따른 차이 등을 파악 할 수 있으며, 사후분석 결과에 따라 Grouping이 가능하다. 이외에 공분산분석(Analysis of Covariance: ANCOVA)이 있으며, 이는 일반선형모형에 기초한 통계적 기술로서 회귀분석과 분산분석 방법이 결합된 통계적 방법으로 실험연구와 비실험 연구 모두에서 유용하다.

㉕ 주성분분석 (Principle Component Analysis)

주성분분석은 관찰된 여러 변수들 중에서 서로 연관성이 있는 변수들끼리 선형 결합형으로 묶어 몇 개의 잠재변수(latent variable)로 변수를 축약하는 분석방법이다. 바다목장 해역의 자료를 이용하여 주성분 분석 시 유사하게 변화되는 성분에 따라 Grouping을 할 수 있으며, 이때 분석은 직각회전 방법 중 Varimax 회전 방법으로 요인 분석을 하고, 요인 결정방법은 고유치 (Eigen value)를 이용하고, 신뢰성을 파악하기 위하여 Cronbach's  $\alpha$ 계수를 구하여야 한다.

㉖ 회귀분석 (Regression Analysis)

어떤 변수가 다른 변수에 의하여 설명된다고 보고 그 함수 관계를 해석하는 방법으로  $y=b_0+bx$ ( $y$ : 종속변수,  $b_0$ :  $y$ 의 intercept,  $x$ : 독립변수)와 같이 독립변수(independent index)가 하나인 선형 회귀분석(linear regression

analysis)과  $y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_nx_n$ 의 (y: 종속변수,  $b_0$ : y의 intercept,  $x_n$ : 독립변수)와 같이 독립변수가 2개 이상인 중회귀분석(multiple regression analysis)이 있다. 따라서 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 현존량 및 군집의 현존량 변화 등의 동태에 미치는 여러 환경요인들의 영향력을 알기 위하여 중회귀 분석을 실시한다. 이때 중회귀 분석에서 데이터의 다중공선성(Multicollinearity)의 문제를 피하기 위하여 독립변수 사이의 상관관계가 큰 요인들( $r>0.80$ ) 제외시켜 사용하여야 하고, 환경요인이 식물플랑크톤의 변동에 기여하는 정도를 파악하기 위해서 각 요인들의 자료(data)를 표준화시킨 후 분석한다[표 I-4].

통하여 동일집단으로 분류된 개체들은 공유하는 공통된 특성을 해석할 때 사용되어지며, 통계학적 방법은 집단 내 개체들간의 유사성을 개체내 변수들간의 상관계수, 개체간의 거리, 확률적 유사성 측정치 등을 활용하여 측정하고, 이에 기초하여 개체들을 유사한 동류집단으로 분류할 수 있다.

요인분석이 다양한 변수들을 소수의 변수묶음으로 단순화하는 반면에, 군집분석은 변수가 아니라 개체를 소수의 집단으로 분류를 하여, 개체들의 분류체계를 수립하는 경우, 개체를 유사 집단으로 분류하는 유용한 개념적 틀 또는 기준을 탐색하는 경우, 기존의 분류기준의 적절성에 대한 가설검정을 하는 경우에 유용하게 활용된다.

㉓ 군집분석(Cluster Analysis)

관찰대상인 개체들을 유사성에 근거하여 보다 유사한 동류집단으로 분류하는 다변량 분석기법으로 군집분석을

[표 I-4] 다중 변수 분석 방법. (종속변수 (DV), 독립변수 (IV) 및 종속변수(주황색)와 독립변수(파랑색)의 관계)

Method	No. of DV	No. of IV	Dependent	Independent	Icon
Multiple regression	1	many	continuous	either	
Manova	many	1 or many	categorical	continuous	
PCA	many *	-----	continuous	-----	
Canonical	many *	many *	continuous	continuous	

(다) 동물플랑크톤

① 동물플랑크톤의 채집 및 현장 측정

㉠ 직접 채수에 의한 방법

일정량의 해수를 직접 채수하여 그 안에 분포하는 동물플랑크톤을 조사하는 방법이나, 미소플랑크톤(microplankton) 이하의 크기에 적합하며, 조사되는 해수의 양이 적을 수밖에 없기 때문에 분포 밀도가 일반적으로 그 보다 훨씬 낮은 중형, 대형 동물플랑크톤의 채집 방법으로는 적합하지 않다. 식물플랑크톤의 채집방법에 기술한 바와 같이 원하는 수심에서 Niskin bottle이나 van Dorn Sampler 등을 이용하여 채수할 수 있다.

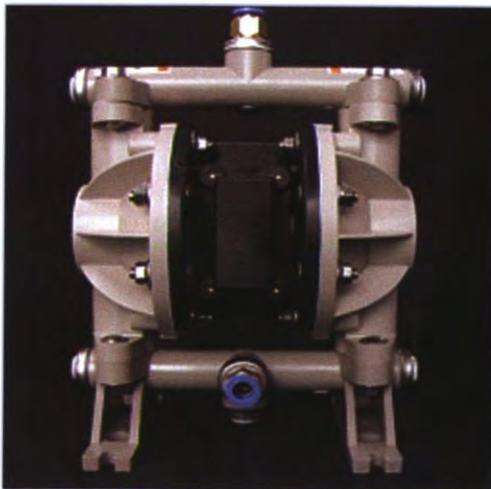
㉡ 양수기를 이용하는 방법

양수기(pump)를 이용할 경우, 점 단위(point source)의 공간이나 특정하게 미세한 깊이에서의 채집이 가능하기 때문에 미소환경(micro-environments)에 대한 연구에 유용하다. 그러나 일반

적으로 선상에서 다루기가 매우 번거로우며, 동력을 얻기 위해 가솔린을 쓰는 것이 좋는데 소음과 진동이 동물플랑크톤 분포에 다소 영향을 줄 수 있을 것이다. 더욱이 채집 깊이에 한계가 있으며, 양수기의 발동기와 튜브에 의해 발생하는 해수의 난류(turbulence)나 물리적 압박에 의해 시료가 상하기 쉽다. 따라서 해수가 발동기를 지나거나 냉각수로 쓰이는 방식의 양수기는 쓸 수 없으며, 격막형 양수기(다이어프램 펌프, diaphragm pump)나 와동형 양수기(vortex pump)가 바람직하다[그림. I-25].

㉢ 네트를 이용한 채집 방법

플랑크톤 네트(net)는 동물플랑크톤을 채집하는 가장 일반적이면서 비용이 적게 드는 방법이다. 상당히 많은 양의 해수를 여과하여 대상 생물을 채집하기 때문에 조사할 수 있는 해수부



[그림. I-25] 다이어프램 펌프의 일종

피가 클 수 있는 장점이 있다. 뒤에 설명할 여러 가지 다른 수단으로 동물플랑크톤의 분포나 생물량, 밀도 등을 측정할 경우에도 네트 채집은 병행해서 수행되어야 하는 경우가 많다. 왜냐하면 네트 채집은 대량의 해수로부터 손쉽게 동물플랑크톤 시료를 직접 얻을 수 있는 수단일 뿐만 아니라 과거로부터의 동물플랑크톤 연구에서 가장 흔히 쓰여 온 방법이기 때문에 자료의 비교가 용이하며, 방법에 대한 표준화가 잘 제시되었기 때문이다. 플랑크톤 네트는 다양한 모양과 크기를 연구 목적에 맞게 쓸 수 있는데, 여과 효율(filtration efficiency), 동물의 네트에 대한 도피(net avoidance), 네트 망 거즈(net cloths)의 망목 크기(mesh aperture)에 따라 잃어버리게 되는 동물의 크기(loss of organisms through the meshes) 등을 고려하여야 한다.

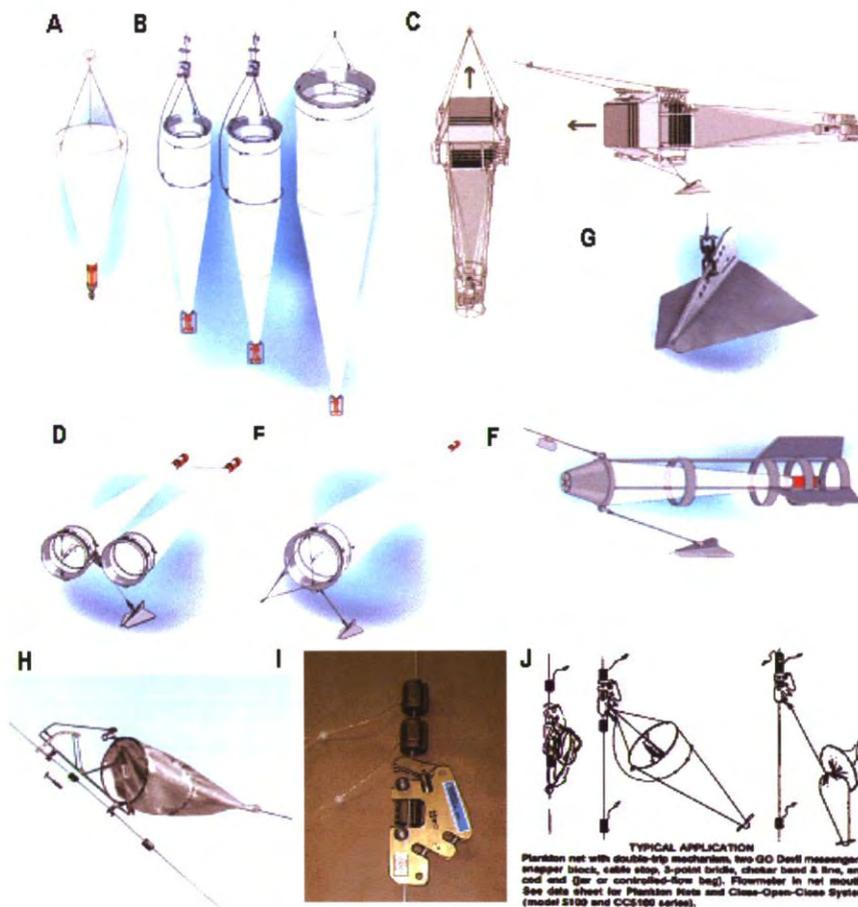
#### - 네트의 종류

네트는 일반적으로 단순한 원추형(conical)이거나 앞의 망구(net mouth) 위에 망구와 같은 넓은, 또는 더 좁은 이음(collar)이 있는 형태이다. 연구에 사용되는 네트들은 어떤 방식으로 채집되었는가에 대한 정확한 정보를 전달하기 위해 형태, 크기, 부속장치, 망목 크기 등을 정확히 명시해야 한다. 따라서 과거부터 쓰여 온 네트들은 각 모델마다 규격과 망목크기 등이 정해져 있다

(Ikeda and Omorii 1984). 그러나 다양한 동물플랑크톤 네트들은 연구의 목적과 해역의 특성을 반영하여 각 모델은 조금씩 개선되기도 하였다. 예를 들면 NORPAC net (North Pacific Standard Net)와 Kitahara net은 북서태평양과 일본 근해 등에서 수직 예망(vertical tow)을 하여 시료를 얻는 경우 오래도록 쓰여 표준화되었으며, 망목은 전자가  $330\mu\text{m}$ (GG54), 후자가  $100\mu\text{m}$ (NXX13)으로 정해져 있으나, 각각  $150\sim 330\mu\text{m}$ , 75,  $100\mu\text{m}$  등 목적에 맞게 쓰는 형편이다. 또한 Kitahara net의 경우는 수심 2~30m 정도의 천해대에서 사용할 경우에는 여과 효율이 100% 이상으로 확인된 네트이므로 유량계의 부착없이 사용할 수 있는 가장 보편적인 정량채집용 네트이다. NORPAC net의 경우, 네트의 길이를 더 길게 한 개량형도 쓰이고 있는데 과거의 일반 NORPAC net에서 얻어진 자료와 비교할 경우, 물론 자료 보정이 필요하다. 한편, 미국, 캐나다 연안 쪽의 태평양과 대서양 등지에서 많이 쓰이는 모델은 WP-2이며 사양에 따르면  $200\mu\text{m}$ 의 망목이 쓰이나, 목적에 따라  $330\mu\text{m}$  망목크기의 거즈를 장착하기도 한다. WP-3는 WP-2와 같은 형태이나,  $1000\mu\text{m}$ 의 망목을 쓰고 있다[그림. I-26]. 따라서 어떤 형식의 네트를 쓴다고 명시하더라도 망구의 크기(직경, 또

는 넓이), 망목의 크기 등을 명시하여 혼란을 피하는 것이 좋다. 네트는 배에서부터 수직으로 예망하거나, 수평으로 예망하며, 이런 예망 방법에 따라 네트의 기본적 장착 기구들이 달라지고, 경우에 따라서는 두 개의 서로 다른 망목 크기의 네트를 한꺼번에 장착하여 시료를 채집할 수

도 있다(Bongo net). 경사 예망(oblique tow)은 부수적으로 장착해야 하는 장비 면에서 기본적으로 수평예망과 다르지 않다. 깊이에 따른 동물플랑크톤의 분포 차이를 조사하기 위해서는 개폐장치가 달린 네트를 쓰는데, 선상으로부터 공이치기 메신저(messenger)를 이용해 수동



[그림. I-26] 네트의 여러 가지. A; 기본적인 원추형의 플랑크톤 네트, B; 왼쪽부터 WP-2 closing net, Nansen closing net, Indian Ocean standard net, C; 일종의 multiple strata towing net. 그림의 Hydrobios 사 제품은 수직, 수평 채집이 모두 가능한 형태이다, D; Bongo net, E; 일반적 수평채집 네트이며, 개폐장치가 있게 되면 ORI net의 형태, F; High speed Plankton Collector, G; 수평 채집에서 네트의 각도를 안정적으로 유지시키는 V-fin Depressor, H; MTD closing net, I; GO 사의 double releaser, J; I의 double releaser를 이용하여 네트를 닫은 상태로 투입하고 원하는 깊이에서 네트를 열어 채집한 후, 다시 닫은 상태로 끌어올려, 각 수층에서의 동물이 섞이지 않게 하는 방법.

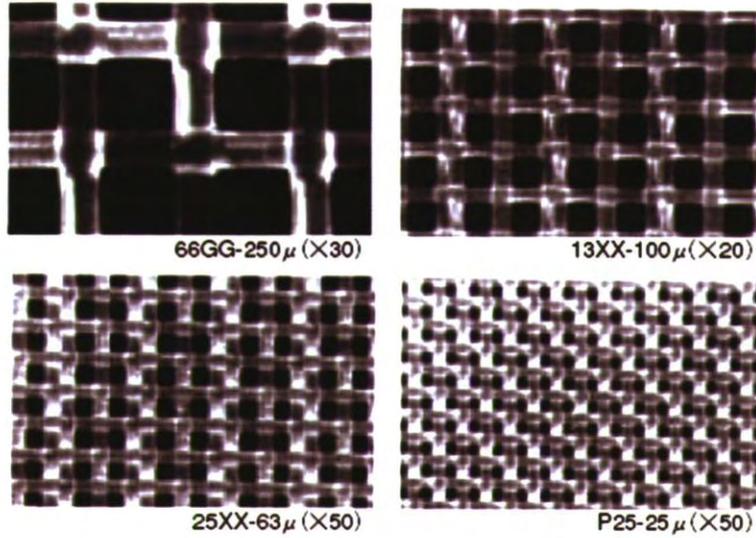
적으로 개패를 조작하거나, 전기신호를 이용하여 네트 입구를 열고 닫을 수 있다. 여러 네트를 한꺼번에 여러 수심에서 예망하거나(MTD closingnet, double releaser를 이용한 multiple horizontal net 등), 전기 신호로 하나의 네트를 열고 다른 네트를 닫는 방식(MOCNESS, RMT 등) 등이 있으며, 이들은 여러 차례 변형, 개선되어왔다. 수평적 예망을 할 경우, 네트가 물속에서 안정적으로 일정한 깊이에서 움직이게 하기 위해서는 잘 만들어진 depressor를 사용해야한다.

#### - 네트의 망 거즈(gauze)와 망목의 크기

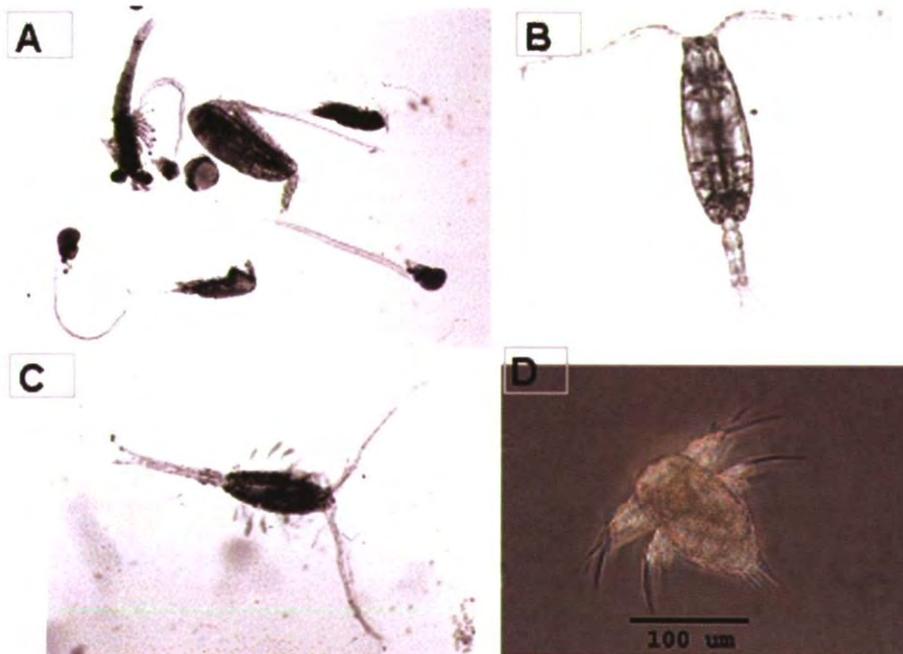
네트에 쓰이는 거즈는 직물가닥의 형태, 짜는 방법, 직물의 무게, 망개공률(mesh porosity: 전체면적에 대한 구멍이 나있는 부분의 총면적) 등에 의해 규격이 달라진다. 일반적으로 망개공률이 높고, 형태가 변형되지 않으며, 내구성이 강해야하는데, 따라서 단선가닥(monofilament strand)으로 된 열처리평직(heat-set plain weave)의 나일론이 가장 좋다. 현재 Swiss Silk Bolting Cloth Mfg.Co., Ltd.(스위스)가 만든 NYTEL의 명주나일론 망지(silk bolting cloths)와 일본 Rigosha Co., Ltd.의 나일론 망지(nylon bolting cloths) 등이 플랑크톤 네트의 거즈로서 만족할 만한 품질을 제

공할 것이다[그림. I-27]. 이들 제품들은 직물번호가 있고, 이에 따라 재질, 무게 등을 알 수 있다. 예를 들어 GG(grid gauze), XX(double extra), XXX(triple extra) 등은 직물의 무게를 나타내며, GG54이면, 명주 재질의 망목 크기가 315  $\mu\text{m}$ 인 경우이고, NXX13이면 나일론 재질의 망목크기가 100  $\mu\text{m}$ 인 경우이다(Rigosha Co., Ltd.의 홈페이지 가운데 플랑크톤 네트 부분: <http://at2.tactnet.co.jp/rigo/dldata/8PlanktonNet.pdf>).

사용할 망목의 크기를 정하는 데는 대상 생물의 크기가 결정적으로 중요하며 망목의 크기가 작을수록 많은 생물이 빠져나가지 않지만, 대신 막힘(clogging)이 일어나기 쉽다. Omorii and Ikeda(1984)와 Harris *et al.*(2000)은 분포하는 생물량을 고려하여 외양에서 100  $\mu\text{m}$ , 연안역에서 200  $\mu\text{m}$ 보다 작은 망목의 네트를 쓰지 말 것을 제안하고 있다. 아울러 일반적으로 시료를 채집할 때 시료에 압력이 걸리는 편이므로 망목보다 더 큰 동물도 빠져나가기 쉬우며, 동물의 체장보다 체폭을 고려해야함은 물론이다. 체폭이 350  $\mu\text{m}$ 인 요각류는 망목 200  $\mu\text{m}$ 의 네트에서는 채집이 될 수 있으나, 330  $\mu\text{m}$ 의 네트에서는 빠져나가기 쉬울 것이다[그림. I-28].



[그림. I-27] 스위스 NYTAL의 플랑크톤 네트 망지(cloths)의 확대 사진.



[그림. I-28] 통영 바다목장 해역에서 채집되는 동물플랑크톤의 예. A; 330  $\mu\text{m}$  망목크기의 네트에 채집된 동물들; B, *Acartia* sp., 330  $\mu\text{m}$ 의 네트에 채집됨, C; *Oithona plumifera*, 330  $\mu\text{m}$ 의 네트에 채집되기도 하거나 빠져나감. 더 작은 망목의 네트 자료와 비교하면 330  $\mu\text{m}$ 에서의 밀도가 낮게 산정됨, D; *Oithona davisae*의 nauplius 유생. 330  $\mu\text{m}$ 의 네트에서는 채집이 전혀 불가능하다. 따라서 연안역에서는 황해와 같이 탁도가 높아 네트 막힘이 심한 해역을 제외하고는 100  $\mu\text{m}$ 의 네트를 사용하는 것이 정량 채집의 신뢰도를 높이는 방안의 하나이다.

- 네트의 선택

네트의 선택은 물론 연구 목적에 따라야 하지만, 기본적으로 대상생물의 크기 범위에 따른 결정이 우선되어야 하며, 이와 함께 네트 모델과 망목 크기에 따른 여과 효율(filtration efficiency)과 개구비(open area ratio)를 고려하여야 한다. 여과 효율은 실제 네트에 의해 여과되는 물의 용량과 네트 입구만 있을 때 여과되는 물의 용량의 비율이다(Omorii and Ikeda 1984).

여과효율  $F = V / AD$  이며,  
 V는 네트에 의해 여과된 물의 양,  
 A는 네트 망구(mouth opening)의 면적,  
 D는 예망거리이다.

여과효율은 네트의 형태, 개구비에 의해서 가장 큰 영향을 받고, 부분적으로는 끝에 위치한 채집통(cod-end bucket)에 의해서도 영향을 받는다. 네트를 통과하는 물의 유속이 네트 가장자리로 가면서 각 변형(angular deformation)이 더 커지게 된다. 따라서 이론적으로 Kitahara net와 같이 앞쪽 링의 입구가 좁은 것이 유리할 것이다. 실제 현장의 네트 채집에서 더 중요하게 고려해야하는 것은 예망을 하는 거리와 네트의 막힘(clogging)이다. 동물플랑크톤은 공간적으로 균등하

게 분포하지 않고 패치 분포(patchiness)를 하는데, 따라서 예망 거리가 길수록 패치분포에 의해서 발생하는 분포밀도 산정의 오차를 줄일 수 있다. 그러나 예망이 진행되면서 네트 입구의 반대쪽에 위치한 채집통(cod end) 부근으로부터 시작되는 막힘(clogging) 현상도 동시에 진행되어 여과효율이 점점 떨어지게 된다. 따라서 이 두 점을 고려하여 적절한 채집 거리를 정하기 위해 사전 조사를 해야 한다(Wiebe 1968). 많은 경우, 먼 거리를 채집하지 않더라도 깊이에 따르는 전체 수괴의 여과가 가능한 수직 채집에 의해 네트 막힘 문제를 해결할 수도 있으나, 역시 수평적 패치가 문제가 된다. 네트 막힘은 개구비를 높이는 것으로도 최소화할 수 있는데, 현장에서의 예를 토대로 보통 6에 가까운 개구비를 추천하고 있다(Harris 2000).

개구비(Open-area ratio)  $R = aP / A$  이며,  
 a는 네트의 총 표면 면적,  
 P는 망개공률(mesh porosity: 전체 면적에 대한 구멍이 나있는 부분의 총 면적),  
 A는 망구의 면적이다.

Tranter and Smith (1968)은 연안해역에서 330  $\mu\text{m}$ 의 개구비 6의

네트로 채집했을 때, 여과 효율을 85% 유지할 수 있는 전체 물의 용적이, 플랑크톤과 입자가 많은 연안에서는 300 m<sup>3</sup>, 외양의 해수는 2564 m<sup>3</sup>이라고 보고하였다. 네트는 최소한 3.5 이상의 개구비를 가져야하며, 플랑크톤 밀도가 높은 곳에서는 6에 가까운 네트가 사용되어야 한다. 개구비가 6.0보다 높은 네트는 WP-2(mesh aperture 200 μm, 개구비 6.0)와 Bongo net(mesh aperture 500 μm, 개구비 6.8)이며, ORI 100, Indian Ocean Standard, NORPAC Standard, Kitahara net 등이 개구비 3.5를 넘는 네트들이다(Omorii and Ikeda 1984).

Kim *et al.*(1993)은 우리나라의 남해에서 조사한 16 개의 논문에서 요각류 밀도의 차이가 사용한 네트에 의해 매우 컸다는 것을 제시하였는데, 주로 많이 쓰이고 있는 네트의 망목 크기는 150~330 μm의 범위였다. 박(1991)은 망구 60 cm, 망목 300 μm의 플랑크톤 네트를 우리나라 동물플랑크톤 채집의 표준 네트로 제안하였다. 예망거리를 확보하기 위해서는 여과효율을 유지하기 위해 망목이 클 필요가 있으나, 통영 목장화 지역의 경우 그 해역에서 출현한 동물플랑크톤 가운데에는 *Oithona* spp. 등과 같은 작은 요각류가 우점하였다(Lee *et al.* 2001). 이 동물의 경우, 일반적으로 많이 쓰이는 330 μm의 네트에 의해서는 시

료 손실이 많으며, 따라서 더 작은 망목의 네트가 필요하다. 따라서 200 μm 이하의 망목 크기를 갖으면서 개구비가 3.5를 넘는 네트라면 WP-2와 Kitahara net가 적합하다고 할 수 있다. WP2의 제원을 참고로 제시하면 네트의 입구 구경은 57 cm이며 네트의 길이는 260 cm이다. Kitahara 네트는 망구 구경이 22.5 cm, 길이가 115 cm이다.

#### - 정량 분석을 위한 네트 예망의 선택

동물플랑크톤은 일반적으로 패치 분포를 하고 있으면서 일주기성을 갖는 수직이동(DVM: diel vertical migration)을 한다. 따라서 하나의 네트를 이용하여 수직 채집이나 수평채집을 할 경우, 불균등분포에 의한 오차를 피하기 어렵다. 만일, 동물플랑크톤의 DVM이나 특정한 미세환경에 대한 연구가 조사 목적이면, 이에 맞는 여러 개의 개폐 장치가 장착된 네트를 서로 다른 수심에서 이용할 필요가 있을 것이다. 그러나 에너지 수지나 섭식, 또는 다양성이나 군집구조, 개체군 동태 등의 목적으로 어떤 해역에서의 전반적 밀도에 대한 값을 얻으려고 할 경우, 하나의 네트로 수괴 전반에 걸친 채집을 하면서 가능한 패치에 의한 오차를 줄이는 방법을 택하면 될 것이다. 위에 예시한 우리나라 연안역에서 적합한 네트 가운데 Kitahara 네트는 개구비가 높으면서 망목 크기

가 작아 앞서 예시한 통영 바다목장화 지역 등에서의 채집에 적합하나, 역시 작은 망목 크기 때문에 막힘이 염려되므로 수직 채집에 이용하는 것이 좋을 것이다. 만일 훨씬 긴 예망 거리를 통해 가능한 많은 시료를 확보하여 공간에 대한 오차를 줄이는데 다층의 깊이에서 채집하지 않고 하나의 네트 만 이용한다면, 모든 깊이에서 채집하면서 예망거리를 길게 할 수 있는 경사채집(oblique tow)이 좋을 것이다. 개폐장치를 별도로 이용하지 않고 전체 수층에서 고른 예망을 하기 위해서는 적절한 depressor를 장착하고 중복경사채집을 하는 것을 권고할 수 있다 (Omori and Ikeda 1984). 매우 높은 개구비를 갖으며 따라서 좋은 여과효율을 유지하면서 먼 거리를 예망할 수 있는 WP-2나 또는 같은 형식의 네트가 추천되나, 작은 종류의 동물 시료를 얻지 못하는 것이 염려가 될 경우, 앞의 Kitahara 네트와 병행하여 데이터를 얻는 것이 좋을 것이다. 이럴 경우, 유영 속도가 빠르고 크기가 비교적 큰 난바다곤쟁이(euphausiids)나 mysids(곤쟁이), 그리고 일부 요각류 등 동물플랑크톤들은 WP-2에서 더 정량적으로 채집될 것이며, 작은 *Oithona* spp. 등과 같은 종류는 Kitahara 네트에서 오차가 적은 정량채집이 가능할 것이다.

동물플랑크톤 밀도에 대한 정량적

분석은 채집할 때 네트에 여과된 해수의 총 용적을 알아야 가능하므로 유량계(flow meter)를 네트에 장착해야 할 필요가 있다. 세계적으로 가장 많이 쓰이는 플랑크톤 네트 용 유량계는 독일 Hydrobios사, 미국 General Oceanics사, 일본 Rigo사 등의 제품들이다(그림. I-29). 전자의 두 개는 플라스틱과 일부 금속으로 제조된 유선형의 모델들이 있으며, 후자 회사의 2030R 모델은 rotor 주위에 주사기로 수돗물을 넣을 수 있게 디자인 되어 깊이 변화에 따르는 수압 변화에 의한 Rotor constant 보정을 하지 않아도 되게끔 하였다. Rigosha의 제품은 스테인리스강으로 제조되어 튼튼하며, 투망을 할 때마다 회전수를 영점에서부터 시작하게 할 수 있어 앞의 두 제품과 다르다. 앞의 두 제품은 rotor constance를 제시해주어 유량계를 지난 물의 용적을 계산할 수 있게 하며, Rigosha의 제품은 사용자가 이 수치를 구해서 사용하여야 한다. 모든 유량계는 어느 정도 사용하면 보정을 필요로 한다. 보정은 해수의 유동에 Rotor가 간섭을 받지 않도록 디자인된 틀에 유량계를 장착하고 정밀한 유속 조절이 가능한 유동장(fluid field)에서 실시하는 것이 좋지만, 바다가 고요한 날 정확한 깊이로부터 수직으로 유량계를 당겨 보정하기도 한다.



[그림. I-29] 대표적인 플랑크톤 네트용 유량계. A; Hydrobios사, B; GO사, C; Rigosha사

㉠ 이 외의 방법

네트는 많은 양의 해수를 여과하면서 그 안에 분포하는 동물플랑크톤 시료를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 실제 해양 공간에서 분포하는 모드에 대한 자료를 연속적이거나 실시간으로 얻어내기 힘들다. 아울러 강한 패치, 즉, swarm, school, near-bottom aggregation 등 여러 형태의 aggregation에 대한 자료를 네트 채집으로부터 얻기는 대단히 어려운 일이다. 우리나라에서의 예를 들어보면, 울진원자력발전소 인근에서 1987년부터 2005년까지 약 650 정점에서 일반적 네트 채집으로 채집된 동물플랑크톤 자료에서는 난바다곤쟁이 *Euphausia pacifica*의 출현밀도가 매우 낮거나 거의 없었으나, Ecosounder를 병행한 조사에서는 대량의 *E. pacifica*가 인근에 분포하고 있는 것을 관찰할 수 있었다(Lee *et al.* 2005).

따라서 동물플랑크톤에 의한 음파산란층(DSL)으로부터 분포 자료를 얻어

내는 방법을 비롯하여, 광학적 방법으로 OPR(Optical Plankton Recorder), OPC(Optical Plankton Counter), VPR(Video Plankton Recorder), SIPPER(Shadowed Image Particle Profiling and Evaluation Recorder) 등이 최근 활발하게 쓰이면서 방법론이 발전하고 있다. 이들 음향이나 광학적 플랑크톤 기록 방법들은 현재 매우 정확한 동물 동정과 생물량 측정이 가능해진 수준에 도달하고 있다.

섬세한 젤라틴질 플랑크톤의 경우, 다이빙을 이용한 방법 등도 많이 쓰이고 있다(Hamner *et al.* 1975).

㉡ 채집의 빈도

어느 정도의 빈도로 채집을 하는가 하는 문제도 역시 연구의 목적에 따라 달라질 수 있다. 하루 주기의 변화를 조사하는 연구도 있을 수 있으며, 조석 주기에 따른 변화, 물리적 현상 등에 따른 특정 시기의 집중적 조사 등이 있을 수 있기 때문에 목적에 부합하는 빈도를 정하

는 것이 중요하다. 우리나라에서 연구된 과거의 자료들은 사계절 조사 자료가 가장 많다. 우리나라가 온대 지역이며, 사계절의 변화에 따라 연중 변화가 가장 크게 일어날 것으로 기대하여, 환경영향평가 등을 목적으로 하는 경우, 시행령 등에 사계절 조사가 방법론으로 명시되어 있기도 하다. 그러나 개체군 동태를 연구하는 목적으로 조사하는 경우, 동물플랑크톤 종에 따라 다르긴 하나, 대부분의 종류들이 비교적 짧은 세대기간을 갖고 있으므로 적어도 월 1회의 조사를 제안하는 경우가 많다. 아울러, 우리나라 연안에서는 식물플랑크톤의 대발생과 함께 동물플랑크톤의 대발생이나 드라마틱한 개체군 변화가 빠른 시기 안에 일어날 수 있으므로 각 계절에 1회의 조사로는 중요한 이벤트를 놓치고 조사할 가능성이 매우 높다.

### ③ 시료의 보전과 동정

#### ㉞ 시료의 고정과 보전

동물플랑크톤 시료는 선상에서 즉시 formaldehyde 용액으로 고정하는 것이 일반적이나 필요한 기간, 또는 긴 시간 보전하기 위해서는 pH나 삼투압에 의한 손실 및 변형을 주의해야 한다. 또한 20년 이상 보존한 시료에서는 판상결정이 생성되며 영하의 기온에서 보관할 경우에는 formaldehyde가 para-formaldehyde 형태로 변성되어 흰색 가루 형태의 침전물이 생성되면서 보전력이 떨어지는 단점이 있다. 첫 번째의 고정에서부터 완충용액이

섞인 고정액을 쓸 필요가 있다. 가장 많이 쓰이는 완충제로서 borax (sodium tetraborate)가 있으며, 엄밀한 의미에서는 최초의 고정에서부터 보전의 다른 과정으로 이행하여야 할 필요가 있고, 오랜 시간 동안의 보전액으로 가장 많이 쓸 수 있는 것이 Steedman's solution (종종 PPG로 불림)이다. 첫 고정 이후 약 6 주 후에 보전액으로 시료를 옮기는 것을 많은 경우 추천하고 있다(Steedman 1976, Huys and Boxshall 1991). Steedman's solution은 propylene phenoxetol (0.5 ml), propylene glycol (4.5 ml)을 증류수나 여과해수 95 ml에 넣어 만든다.

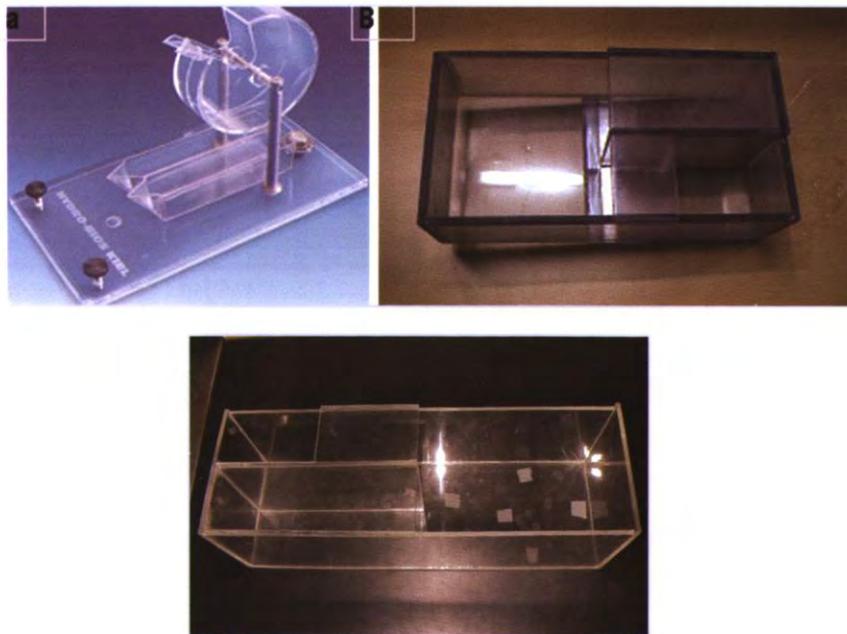
#### ㉟ 시료의 분할, 염색 및 동정

대부분의 동물플랑크톤 시료들은 채집된 모든 개체들을 계수할 수 없을 정도로 양이 많을 수도 있고, 목적에 따라 동정 등에 이용하거나 생물량 측정이나 화학적 분석 등에 이용해야 할 경우도 있다. 이럴 경우 고정하기 전이나 고정한 후, 목적에 따라 처리과정이 일괄적이지 않고 서로 달라져야 할 필요가 있을 수 있다. 네트 등에 의해서 채집된 동물플랑크톤은 분할기(splitter 또는 divider)에 의해 1/2, 1/4, 1/16 등으로 나누어지는데 가장 많이 쓰이는 분할기는 Folsom plankton sample splitter와 Motoda의 박스 타입 두 가지이다(그림. I-30).

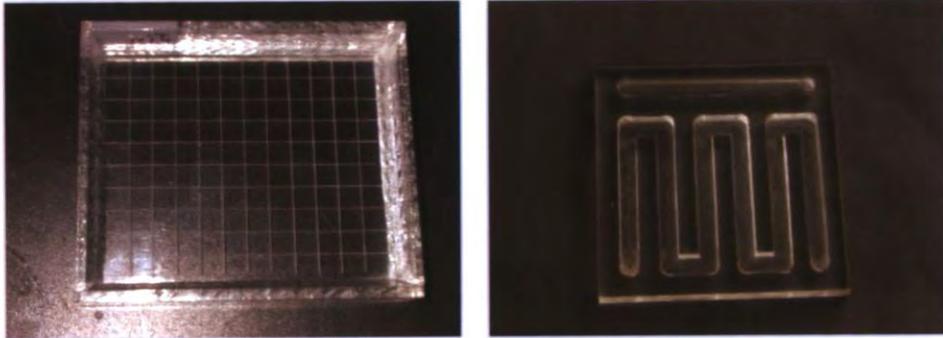
동물플랑크톤을 동정하기 위해서는

많은 경우, 광학현미경에서 미세한 몸의 구조를 관찰해야할 필요가 있는데, 투명한 규티클 등에 의해 관찰이 어려울 때, 염색하지 않은 상태의 시료를 광학현미경의 DIC 광경로를 이용해 관찰할 경우, 관찰이 가능하거나 쉬워진다. DIC 또는 Phase Contrast 등의 광경로 관찰 방법이 유용하지 않을 경우, 염색을 통해 정확한 관찰을 하기도 하는데, 과거부터 매우 많은 종류의 염색시약들이 응용되어 왔다. Rose Bengal (bulk staining을 할 경우), Lignin Pink, Chlorazol Black E, Borax carmine 등이 많이 사용되며, English and Heron (in Steedman 1976)의 Solophenol blue 2RL은 특히 갑각류에 매우 이상적인 염색시약이다.

동물플랑크톤의 동정을 위해서는 이 밖에 시료를 닦아내거나, 부드럽게 하고, 부속지를 해부하고, 몸 전체나 부속지를 영구적 또는 일시적으로 슬라이드 위에 올려 표본화할 필요가 있다. 이를 위해 필요한 시약 및 해부 침 등은 Huys and Boxhall (1991), Omorii and Ikeda (1984), Steedman (1976) 등에 잘 기술되어 있다. 정량적 계수를 위해서는 보통 현미경 시야에서 상하가 들어올 수 있게 하여 중복이나 누락을 피할 수 있는 Vogorov's chamber 등을 사용한다 [그림. I-31]. 또한 단위체적당 개체수 밀도(출현량)가 아주 높거나 숙달된 관찰자의 경우는 UNESCO 계수판을 사용하는 것이 효율적인 경우도 있다.



[그림. I-30] 동물플랑크톤 분할기(splitter). A , Folsom splitter; B, Motoda식 분할기

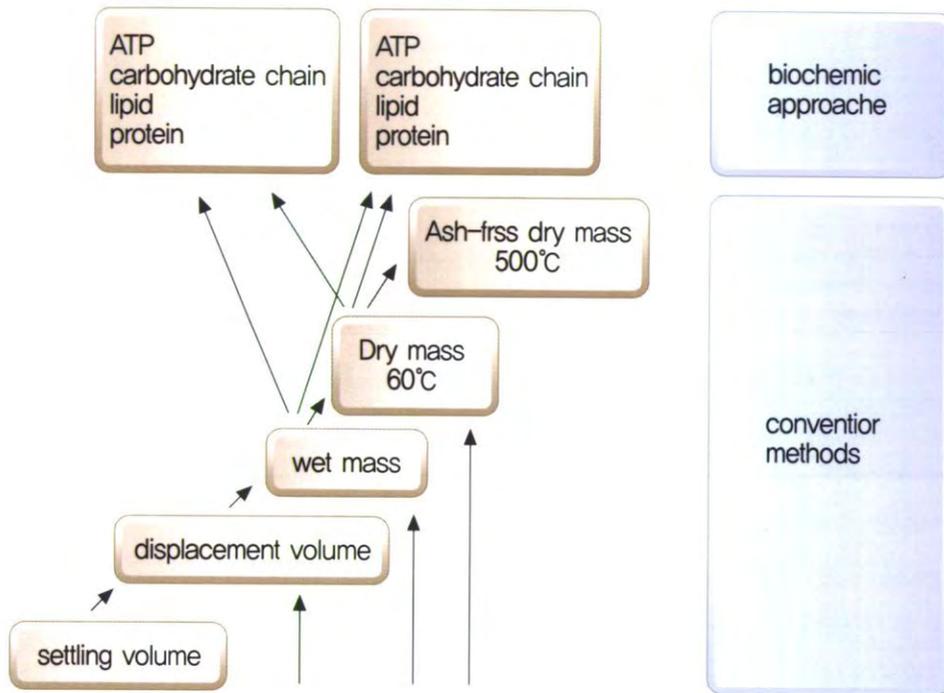


[그림. I-31] 동물플랑크톤 계수 판인 Vogolov's chamber

#### ④ 생물량 측정

동물플랑크톤 시료를 동정하고 계수하여 얻을 수 있는 자료는 주로 각 동물종의 분포 개체수 밀도에 관한 것이다. 그러나 에너지 수치 및 이동, 생산력, 물질 순환 등의 측면에서 동물플랑크톤의 역할을 이해할 필요가 있는 연구의 목적이라면, 생물용적(biovolume)이나 생물량(biomass)으로 동물플랑크톤의 밀도를 표현할 필요가 있다. 전체 동물플랑크톤이나 분류군에 따른 생물량을 측정하는 것은 계수를 하고 동정을 하는 것보다 시간이 훨씬 단축되는 방법이기도 하다. 생물용적이나 생물량을 측정하는 수단은 다양하며, 침전량(settling volume)부터 건조유기물중량(ash-free dry weight)까지 총량 단위의 생물용적 및 생물량을 측정하는 과거로부터의 방법이며, 이런 과정을 거치면서 그대로 분석을 진행시키면서 여러 가지 생화학적 측정의 과정으로 그대로 이행이 가능하다[그림. I-32]. 단, 침전량이나 배수량(displacement volume) 등 생물용적은 시료를 동정이나 다른 용도

로 계속 이용해야할 필요가 있을 때에 국한해서 쓰는 것이 좋다. 각각의 생물량을 측정하는 방법은 매우 표준화되어 있으며, Omorii and Ikeda(1984)와 더 자세하고 발전한 방법으로 Harris *et al.*(2000)에 설명되어있다.



[그림. I-32] 생물량 측정의 과정(Harris et al. 2000)

(라) 연성저서동물

① 문헌 조사

1994년부터 2003년까지 통영, 여수, 울진, 태안에서 조사된 보고서 총 11개를 검토하였다(한국해양연구원 1998, 1999, 2000, 2002a·b, 2003a·b, 2004, 2005a·b·c). 각 보고서별 조사항목과 방법을 정리하면 다음과 같다. 제주해역의 바다목장 해역은 기저가 암반이므로 연질기질을 다루는 이 영역에서는 제외하였다.

㉞ 조사간격

기본적으로 모든 해역에서 계절별 조사를 실시하여야 하나 해에 따라 2계절 또는 3계절 조사를 한 경우 적도 있었다.

㉞ 조사대상 생물의 크기

일반적으로 그랩을 사용하여 1mm의 체에 걸러 남는 대형저서생물을 대상으로 하였다. 서해 바다목장에서는 유용수산생물을 대상으로 할 목적으로 드렛지도 사용하였다.

㉞ 정점의 설정

태안연안처럼 갯벌이 있는 조간대의 경우, 정선(transect line)을 정하고 각 정선 위에 정점을 정하였다[표 I-5]. 조하대의 경우, 기질이 자갈 내지 거친 모래로 되어 있어서 저서동물을 채집하기에는 특수한 방법을 사용해야 하는 곳은 피하고, 그랩(grab, 採泥器)으로 저서동물을 채집할 수 있는 연성기질(軟性基質, soft bottom)로 되어

있는 지점을 탐색하여 정점으로 설정하였다[표 I-6].

[표 I-5] 바다목장 건설 예정지에서 조간대 연질기질 저서생물 조사 방법

조사 특징	태안
정점수	5 lines x 5 station = 25
채집기구의 종류	원형 corer
채집면적	0.008m <sup>2</sup>
한 정점에서 반복채집 회수	6
한 정점에서 총채집 면적	0.048
체의 망목크기(mm)	1
조사간격	계절별

[표 I-6] 바다목장 건설 예정지에서 조하대 연질기질 저서생물 조사 방법

조사 특징	통영	울진	태안	여수
정점수	12-8	12-8	6	11, 20
그랩의 종류	S-M*	S-M	van Veen	van Veen
그랩의 채집면적	0.05m <sup>2</sup>	0.05m <sup>2</sup>	0.1m <sup>2</sup>	0.1m <sup>2</sup>
한 정점에서 반복채집 회수	4	4	1	1
한 정점에서 총채집 면적	0.2m <sup>2</sup>	0.2m <sup>2</sup>	0.1m <sup>2</sup>	0.1m <sup>2</sup>
체의 망목(mm)	1	1	1	1
조사간격	계절별	계절별	계절별	계절별

\* Smith-McIntyre

㉠ 채집기구

통영과 울진 바다목장에서는 채집에는 채니면적이 0.05m<sup>2</sup> 되는 Smith-McIntyre grab을 사용하였다. 태안과 여수 바다목장에서는 채니면적이

0.1m<sup>2</sup>되는 van Veen grab을 사용하였다.

㉡ 각 정점에서 반복채집 회수 및 채집 면적

채니면적이 0.05m<sup>2</sup>되는 Smith-McIntyre grab을 사용하였을 경우에 각 정점에서 4회씩 채집하였으므로 1개 정점에서 채집되는 면적은 0.2m<sup>2</sup>가 되는 셈이다. 채니면적이 0.1m<sup>2</sup>되는 van Veen grab의 경우에는 각 정점에서 1회씩 채집하였으므로 1개 정점에서 채집되는 면적은 0.1m<sup>2</sup>가 되는 셈이다.

㉞ 거르기용 체

모두 대형저서생물을 대상으로 하였으므로 인양된 퇴적물은 선상에서 1.0x1.0mm 그물코(mesh size)의 체를 사용하여 걸렀다.

㉟ 생물의 고정

체에 걸린 모든 퇴적물은 10% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다.

㊱ 동정

입체현미경하에서 종 수준까지 동정하여 계수하였다. 명확한 동정은 어렵지만 다른 종으로 구분할 수 있는 것은 번호를 붙여 각기 다른 종임을 표시하였다. 특히 일부의 분류군은 문 또는 과 수준까지만 동정하였다.

㊲ 생체량

생체량(biomass)을 나타내기 위하여 각 종을 대상으로 습중량으로 측정하였으며, 여과지 위에서 1분 정도 흡수시킨 후에 무게를 0.01g 단위까지 측정하였다.

㊳ 수심, 온도, 염도

선박에 장치된 어탐계로 수심을 측정하였고, 디지털 온도계와 염분계를 사용하여 표층에서 수온과 염분을 각각 측정하였다.

㊴ 퇴적물

막대모양의 디지털온도계를 사용하여 퇴적물의 온도를 측정하였다. 입도 분석을 위하여 퇴적물 표면에서 깊이 5cm의 퇴적물을 100cc 이상 채취하여 총유기탄소(Total Organic Carbon) 분석용으로 사용하였다.

① 자료 분석 및 제시

1994년부터 2003년까지 통영, 여수, 울진, 태안에서 조사된 보고서 총 11개를 검토하였다(한국해양연구원 1998, 1999, 2000a, 2002a·b, 2003a·b, 2004, 2005a·b·c). 각 보고서에서 분석하고 제시한 항목을 정리하면 다음과 같다. 제주해역의 바다목장 해역은 기저가 암반이므로 연질기저를 다루는 이 영역에서는 제외하였다.

㉞ 종수

종 수준까지 분류되지 않았던 분류군도 한 종으로 취급하여 종수를 나타내었다. 이러한 종수를 종다양도 분석까지 사용하였으며, 계절별, 정점별 종별로 나타내었다.

㉟ 개체수

채집된 저서동물은 단위면적당

(indiv.m<sup>2</sup>)의 개체수로 환산하였으며, 계절별, 정점별 종별로 나타내었다. 개체수를 단위 면적으로 환산하여 나타내므로 타 조사와 결과를 비교할 수 있는 호환성을 갖추었다[표 I-7, I-8].

㉔ 생체량

습중량으로 나타내었고, 단위면적당의 생체량으로 환산하여 계절별, 정점별 종별로 나타내었다. 다만 일부 조사에서는 생체량 대한 언급이 없었다. 생

[표 I-7] 바다목장 건설 예정지에서 조간대 연질기저 저서생물 군집의 분석항목

조사 특징	태안
입도분석	분석
퇴적물의 총유기탄소	분석
동정수준	종
개체수	개체수/m <sup>2</sup>
생체량	gwwt/m <sup>2</sup>
종다양도	분석
군집유사도	분석
우점종	분석
상관관계	분석
가입양상	분석

[표 I-8] 바다목장 건설 예정지에서 조하대 연질기저 저서생물 군집의 분석항목

조사 특징	통영	울진	태안	여수
퇴적물의 RPD* layer depth				분석
입도분석	분석	분석	분석	분석
퇴적물의 TOC	분석	분석	분석	분석
동정수준	종	종	종	종
개체수	개체수/m <sup>2</sup>	개체수/m <sup>2</sup>	개체수/m <sup>2</sup>	개체수/m <sup>2</sup>
생체량	gwwtg/m <sup>2</sup>	gwwtg/m <sup>2</sup>	gwwtg/m <sup>2</sup>	gwwtg/m <sup>2</sup>
종다양도	H'	H'	H'	H'
군집유사도	분석	분석	분석	분석
우점종	분석	분석	분석	분석
PCA#	분석	분석		분석
DCA\$				분석
상관관계			분석	
가입양상			분석	
2차생산력			분석	분석
SEP%				분석

체량은 일정해역의 생물생산력 자료 및 출현종의 특성을 파악할 수 있는 부분이다.

㉔ 우점종의 분포

대체로 개체수 밀도에서 상위 95%까지 차지하는 종을 우점종으로 취급하여 그 밀도와 분포를 계절별, 정점별 종별로 나타내었다.

㉕ 종다양도

저서동물 군집의 특성과 기능을 설명하는 종 다양도는 종별 개체수 자료를 분석하여 Shannon-Weaver의 종다양도 지수(Pielou 1977)를 구하였다. 계절별 정점별로 계산하였다.

㉖ 군집유사도

조사해역을 구분하기 위해 종조성과 개체수를 기초로 한 군집 유사도를 분석하였다. 군집유사도 분석에는 유사도 지수(Bray and Curtis 1957)를 사용하였고, 개체수 자료는 정점간과 종간 밀도의 차이를 줄여 자료의 편중을 피하기 위하여 대수로 변환하였으며 수지도(dendrogram)와 MDS plot을 도시하였다.

㉗ 다른 환경자료와 저서동물 군집의 상관관계

수심, 수온, 염분, 퇴적물 온도, 퇴적물 입도, 퇴적물의 총유기탄소의 분포와 저서동물 군집과의 상관관계를 분석하였다.

저서환경의 상태를 파악하기 위하여 다음의 분석법을 이용하였다.

• RPD:

Redox Potential Discontinuity

• PCA:

주성분분석(Principal Component Analysis)으로 다양한 환경요인을 몇 개의 축에 압축시켜 다변량 자료의 변동을 요약설명하는 기법

• DCA: Detrended Correspondence Analysis. 정점간 생물량의 유사한 정도와 출현종간의 관계 그리고 시기에 따른 변화 파악

• SEP: Shannon-Weaver Evenness Proportion. 생태적 스트레스를 측정하여 생태계의 질을 평가

③ 기존 조사의 고찰

㉘ 조사 기간 및 회수

어린 개체군의 가입이나 사망, 그리고 군집구조의 장기적 변화 등을 고려해 볼 때 최소 계절별 1회 이상 조사를 실시하여야 한다.

㉙ 조사대상 생물의 크기

일반적으로 그랩을 사용하여 1mm의 체에 걸러 남는 대형저서동물을 모니터링의 대상생물로 한다. 그러나 그랩은 채집면적이 적고, 작은 생물을 주 대상으로 수행되고 있다. 따라서 유용수산생물을 모니터링 대상으로 할 경우에는 드렛지나 트롤을 이용하여 조사할 필요가 있다. 주로 자원량 추정

등 상업적 생물의 모니터링을 위해서는 조사대상 생물을 크게 확대할 필요가 있다.

한편 저서동물 중 크기 1mm 이하의 생물을 중형동물이라 부른다. 이러한 생물은 크기가 작고 환경에 민감하여 미세한 환경 변화를 모니터링 할 때 고려해야 할 부분이다. 그러나 중형동물 분야는 아직 종까지 동장하는 수준에 이르지 못하여 N/C ratio 등 단순 분석 방식에 의존하는 문제가 있다. 대형 동물 조사에서 나타나지 않는 생태계 변화는 중형동물 군집의 조사에 의해 모니터링 할 수도 있다.

#### ㉔ 정점의 선정

바다목장 해역을 대표할 수 있는 정점을 선정하여야 한다. 시간, 인력 그리고 연구비 등이 충분하게 여유가 있을 때에는 남북, 동서 구조의 바둑판 모양의 같은 간격으로 정점을 설정할 수 있지만, 보통은 해안선이나 등심선에 직각으로 수 개의 측선(transect)을 긋고, 지리와 지형적으로 대표적인 단면을 얻을 수 있도록 하는 것이 좋다. 이 때, 기존 연구 자료를 통한 퇴적환경 파악하거나 예비조사를 통하여 간단한 음향측심기(어군탐지기)라도 있으면 조사의 정밀도를 크게 올릴 수 있다.

정점은 대상해역의 해저지형, 저질 구조, 강물의 유입, 오폐수의 유입, 양식장의 위치, 해류의 방향 등을 고려하여 포괄적인 범위에서 대표적인 정점

을 선정하는 것이 좋다.

서해안의 경우 강한 조석의 영향으로 지형적 특성에 따라 조류 방향의 변화가 크게 나타나며, 특히 최대 창조시 변화양상을 고려해야 할 것이다. 반면 동해안의 경우 주로 남북으로 진행되는 조류의 특성으로 연안을 따라 조사의 범위와 정점 수가 정해져야 할 것이며, 해안선이 복잡한 남해안의 경우 해안선 변화에 따른 해류의 교란 등이 고려되어야 할 것이다.

대부분 해역에서 10개 정점을 선정하였는데, 이러한 방식은 사전 환경영향조사 결과를 충분히 검토한 후 수행된 것이라 생각된다. 저서생물 연구에서 정점 선정은 매우 중요하게 작용하여 군집구조 해석 등에 영향을 주게 된다. 따라서 초기 정점 선정에 있어 우선 광역조사를 수행한 후 결과를 토대로 모니터링 정점을 최소화해야 할 것이다. 광역조사의 경우 주로 격자식 방식이 선호되지만 해역별로 지형적, 환경적 특성이 다르기 때문에 동일한 방식을 선정하기 보다는 해역의 특성을 고려하여 선정하여야 할 것이다.

#### ㉕ 채집기구의 선정

대부분의 저서생물은 기질면(基質面) 위에 고착하거나 기질 속에서 살고 있고, 비록 이동성 저서생물이라 할지라도 운동성이 매우 느리기 때문에 채집기구를 이용하면 정량채집이 가능하다. 한 채집정점에서 필요로 하는 시료의 양을 정하면 몇 번 반복하여 채집해

야 하는가를 정할 수 있다.

#### - 드렛지(dredge)

초대형 저서동물이나 수산생물 채취를 위해서는 형망이나 드렛지 조사를 병행하여야 한다. 드렛지는 주로 기저면 위에 사는 동물을 채집하는데 사용하는 기구이다. 오래 전부터 사용되어 온 형망의 일종인데, 정량을 요구하지 않고 많은 양의 생물을 한꺼번에 채집하는 데에는 지금도 편리한 도구이다[그림. I-33]. 끄는 손잡이가 달린 철판제의 입구틀 뒤에 그물을 붙인 Naturalist's dredge(또는 간이 드렛지)도 널리 사용되며 입구틀의 모양은 장방형이 보통이지만 삼각형이나 원형도 있다. 니이노식(新野式) 드렛지는 전체가 철판인데 모래에 자갈이 섞인 지역이나 암초지대에는 좋지만 니저에는 맞지 않다. 썰매모양의 틀 안에 좁은 그물(0.5mm내외)의 망을 붙인 썰매네트(흔히 Ockelmann dredge)는 해저 표층을 가볍게 떠내는 것으로 다량의 연구재료를 채집하는 데는 편리하다. 심해용으로는 sled가 있는 앵커드렛지(Anchor dredge)가 사용된다(Sanders *et al.* 1965).

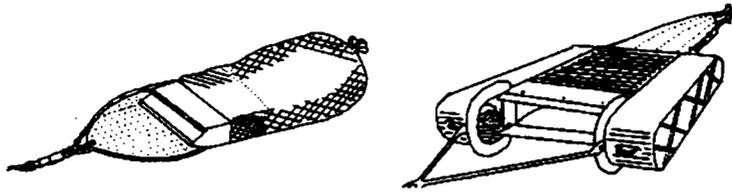
#### - 저인망(trawl)

저서생물의 채집에는 선상에서 해저의 표면을 일정한 거리만큼 굽는 저인망에 의한 방법이 오래 전부터 사용되어 온 효과적인 정성 연구를

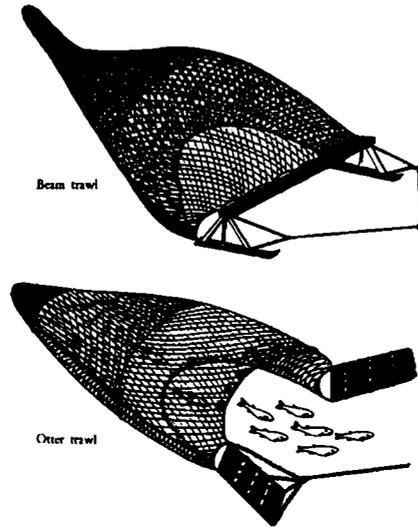
위한 채집방법이다. 저서어류를 포함하여 대형의 저서생물을 채집하는데에는 드렛지보다 대형인 저인망이 적당한데 크게 2가지 형이 있다[그림. I-34]. 하나는 빔트롤(Beam trawl)인데 역 D자형의 쇠틀(trawl head)을 전후 2개의 금속 파이프의 빔(beam)으로 연결시켜 망의 입구틀로 한 것이다. 또는 썰매모양의 발이 양쪽에 있고 그 사이를 판으로 연결한 것도 있다. 다른 하나는 오토트롤(Otter trawl)로서 입구틀을 갖추지 않고 전개판(otter board)이라고 불리는 판이 망구의 양측에 있어서 연의 원리로 좌우로 열린다. 어업용으로는 넓게 끄는 와이어가 좌우 2개의 윈치(winch)로 감겨지지만, 심해계의 조사연구용 채집에는 빔트롤(Beam trawl)과 같이 좌우의 끄는 망을 중앙에서 묶어서 한 줄로 인양하도록 되어 있다. 망목은 일반적으로 드렛지보다 크지만 중망(中網)을 갖춘다면 작은 것도 채집된다.

#### - 그랩(grab)

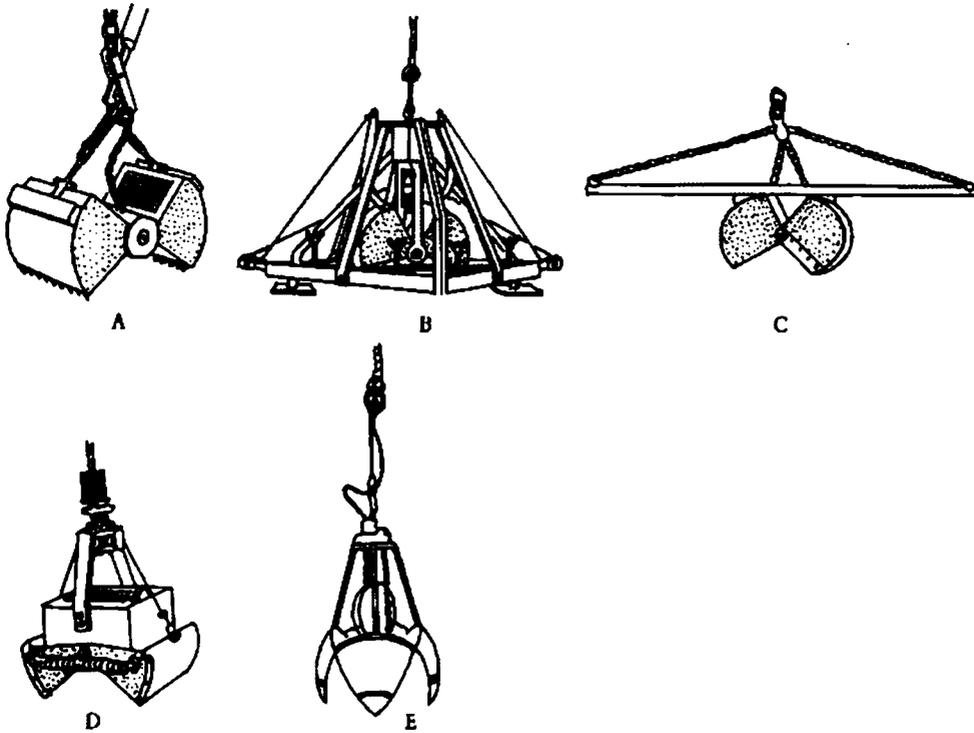
해저의 한 지점에서 일정 면적내의 퇴적물을 그랩으로 채집하여 이것을 체(sieve)로 쳐서 생물을 골라내는 것이 일반적인 정량연구의 방법이다. 이 방법은 무엇보다 정량적인 채집을 할 수 있다는 점이 장점이며, 최근에는 외양이나 심해에서도 정량적으로 채집이 가능한 그랩이 고안되어 있다.



[그림. I-33] 드렛지의 예. 왼쪽: Anchor dredge, 오른쪽: 쉘매네트(Ockelmann dredge)(윤과 홍 1995)



[그림. I-34] 저인망의 예. 위: Beam trawl 아래: Otter trawl (윤과 홍 1995)



[그림. I-35] 그랩의 예. A; Petersen grab, B; Smith-McIntyre grab, C; van Veen grab, D; Ekman-Birge grab, E; Orange peel grab (윤과 홍 1995)



[그림. I-36] Smith-McIntyre grab. 왼쪽: 채니하기 위해 내리려고 하는 상태. bucket의 입구가 열려 있다. 오른쪽: 채니하고 올라 온 상태. bucket의 입구가 닫혀 있다.

연성기질 조하대에서 저서생물을 채집하는 데에는 보통 그랩을 이용하여 원격채집을 한다[그림. I-35]. 입구가 열린 상자모양의 그랩이 해저에 닿으면 자체의 무게에 의하여 입구가 닫혀져서 일정 면적의 퇴적물을 채집하는 것으로서 원래부터 정량채집을 목적으로 한다. 저서생물 군집연구의 창시자인 C. G. J. Petersen이 고안한 피터슨 그랩(Petersen grab)은 원통형의 상자가 중앙에서 좌우로 열리고 착저시(着底時)에 걸림쇠가 빠지고 끌어올리는 힘으로 좌우 상자가 닫혀지는 것으로서 유럽에서 널리 이용되고 있다(윤과 홍 1995). 호소용으로 만들어진 Ekman-Birge grab도 있는데, 이것은 장방형 상자의 밑판은 피터슨형과 거의 비슷하지만 착저후(着底後)에 추를 투입하여 스프링의 힘으로 밑판을 닫도록 되어 있다.

2차대전 전에 피터슨 그랩을 개량하여 상자에 긴 손잡이를 달아서 닫는 힘을 강하게 하여 사니질 지역에

서도 채니할 수 있는 van Veen grab이 고안되었으며, 이것은 다루기 위험하여 후에 이것의 바깥에 형틀을 붙여 안전하게 하였으며, 스프링을 장치하여 바켓(bucket)이 퇴적물 속으로 강력하게 들어 갈 수 있도록 한 것이 Smith-McIntyre grab이다(Smith and McIntyre 1954). 이것은 현재 가장 능률이 좋은 그랩으로서 외양이나 심해에서도 사용할 수 있고 작은 돌이나 조개껍질이 많은 곳에서도 어느 정도 채집이 가능할 뿐만 아니라[그림. I-36], 퇴적물을 깨끗하게 잘라서 퇴적물의 표면이 흐트러지지 않은 상태로 채니되고 또 바켓의 두껍을 열 수 있으므로 퇴적물 표면을 그대로 관찰할 수 있는 이점이 있다(윤과 홍 1995). 소련에서는 피터슨형을 개량하여 중량을 중심축에 걸도록 한 오키안 그랩(Okean grab)이 심해에서 사용되고, 또 미국에서는 반구형의 상자를 4조각으로 갈라서 열도록 한 오렌지 필 그랩(Orange peel grab)이 사용

되는 등 이 밖에도 다소 형식이 다른 것이 몇 가지가 더 있다(Hopkins 1964).

그러니까 상자형의 채니기를 일반적으로 그랩이라고 하는데, 채집면적은 Petersen이래  $0.1\text{m}^2$ 가 표준적인 것으로 되어 있다. 그러나 심해에서처럼 생물량이 적은 곳에서는 보다 대형( $0.2\text{m}^2$ )인 것이 좋다고 할 수 있다. Ekman-Birge 형은 채집면적이  $0.04\text{m}^2$  또는  $0.02\text{m}^2$ 인데, 면적이 좁고 구조적으로 보아 밑바닥이 사질(砂質)이거나 외양이나 심해에는 맞지 않지만 작은 배에서 손쉽게 사용할 수 있으므로 내만이나 호소의 조사에는 지금도 널리 사용되고 있다.

여수와 태안 바다목장에서는 van Veen Grab을 사용하였고, 통영과 울진 바다목장에서는 Smith-McIntyre Grab을 사용하였다.

#### - 코아리(corer)

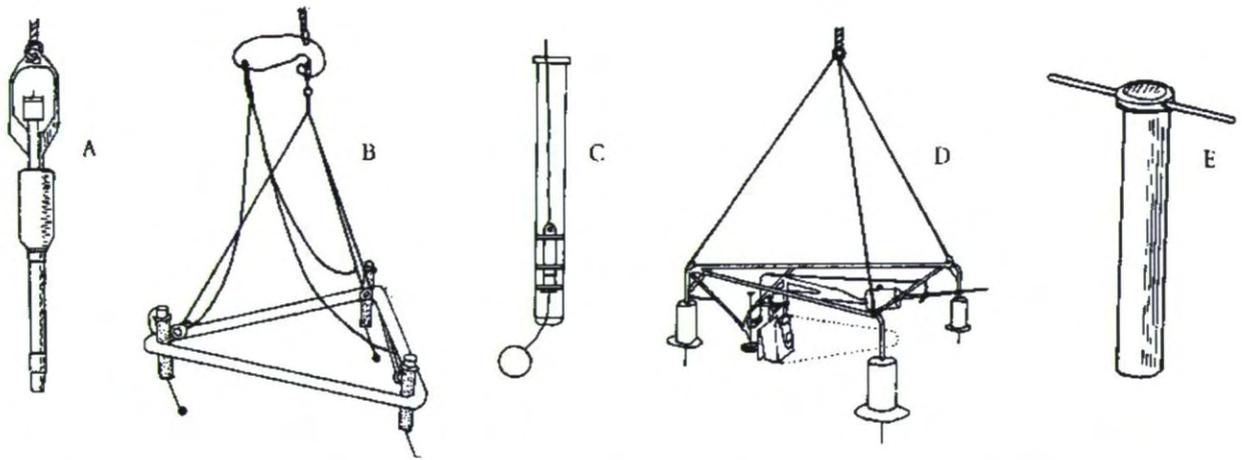
이것은 채니관(採泥管) 이라고도 불리우며 정량채집을 목적으로 한 것인데, 무거운 납 또는 금속을 장치한 좁은 관을 사용하므로 소면적의 채집으로도 연구가 가능한 중형 또는 소형 저서생물의 채집용으로 제한된다(Hulings and Gray 1971). 유공층 채집용으로 만들어진 Phleger corer가 간단할 뿐만 아니라 채집효율이 좋지만, 모래지역에는 관의 하단부에 구형의 stopper로

닫을 수 있는 Willemoes corer가 더 좋다(Willemoes 1964). 지질용의 대형 채니관은 퇴적물의 표층이 흐트러지므로 적당하지 않다. 또 코아러는 아니지만 방형구 틀이 붙은 자루로 해저의 일정면적을 긁어모으는 'Mouse trap'형 채집기는 패충류와 착저(着底)한 직후의 각종 저서생물의 어린 것과 중형저서생물 등의 정량채집에 적당하다(Muus 1964). 조간대에서는 간단히 사용할 수 있는 Hand corer를 제작하여 사용하는 것이 정확하고 편리하다[그림. I-37].

#### ④ 그랩의 크기와 반복채집 회수

반복채집 회수가 많을수록 데이터의 정밀도는 높아진다. 그러나, 연구목적에 따라 필요로 하는 채집면적이 있을 것이고 또 시간, 인력 그리고 연구비 등을 고려하여야 할 것이다. 국내의 많은 저서생물 조사에서는 정점당 3-4회 채집을 실시하였다.  $0.1\text{m}^2$ 의 van Veen grab의 경우, 대체로 1회 반복 채집을 하였고,  $0.1\text{m}^2$ 의 Smith-McIntyre grab의 경우 4회 반복채집을 하였다. 드렛지 조사는 격자망별 조사를 모두 수행하기 보다는 견인 방식으로 2-3개 격자망에서 1회 조사하는 것이 좋다.

저서동물 균집을 분석함에 있어서 그랩의 크기와 반복회수는 매우 중요하다. 어떤 크기의 것을 몇 회 반복 채집하느냐에 따라 채집효율이 달라지고 자료해석이나 종 다양도 등이 달라질 수 있기



[그림. I-37] 코아러의 예. A: Phleger corer B: Willemoes corer C: Willemoes corer의 채니관의 세부 D: Mouse trap E: Hand corer (윤과 홍 1995).

때문이다. 그랩은 0.1m<sup>2</sup>의 그랩을 사용하면 좋으나, 어려울 경우 적어도 그 절반 크기인 0.05m<sup>2</sup> 이상의 크기를 사용하는 것이 좋다. 그리고 반복횟수는 적어도 0.1m<sup>2</sup>의 그랩은 2회 이상, 0.05m<sup>2</sup>의 그랩은 4회 이상을 하여 한 정점에서의 총채집면적이 적어도 0.2m<sup>2</sup> 이상이 되도록 하여야 한다.

#### ⑤ 생물의 고정

생물과 함께 나온 모래, 자갈이나 패각을 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반한 후, 나중에 실내에서 생물이나 유해(遺骸) 등을 선별(sorting)하는 것이 보통의 방법이다(Holme 1964; Holme and McIntyre 1971). 시판하는 포르말린은 산성이므로 붕산으로 중화해야 한다.

저인망에서 채집된 초대형 저서생물의 고정도 대부분의 것은 10% 중성 포르말린으로 좋지만 패류에는 70% 또는

그 이상의 진한 공업용 메틸알코올이 바람직하다. 또 산호류, 갑각류, 극피동물류, 어류 등 석회질 골격을 가지는 것은 나중에 알코올로 옮기는 것이 좋다. 해면이나 자포동물 등은 의외로 상하기 쉬운 것이므로 중성 포르말린액을 미리 준비해 두었다가 채집 후에 곧 바로 고정하는 것이 좋다.

#### ⑥ 다른 환경요인의 조사

##### ㉠ 경도와 위도

GPS(Global Position System)를 이용하여 조사정점의 경도와 위도를 정확하게 기록해 둔다. 그리하여 다음 조사 때에 동일한 위치를 찾아갈 수 있다.

##### ㉡ 수심, 수온, 염도

수심, 수온, 염분 등을 측정한다. 수심은 어탐기에 나타난 것을 기록하고, 수온과 염분을 T-S meter로 측정한다.

#### ㉔ 퇴적물의 특징

연성기저 저서동물의 경우 다양한 환경적 변수에 영향을 받지만 분포양상에서는 퇴적 환경에 가장 높은 상관성을 나타낸다(Gray 1974; Rhoads and Young 1970). 하지만 퇴적환경은 다시 유속, 유향의 변동 등의 물리적 요인에 의해 구성되고 있으며, 저서생물의 경우도 해류의 방향이나 속도에 따라 생물의 가입과 확산, 먹이공급 등에 영향을 받게 되고, 퇴적물의 유기물 함량은 저서생물의 섭식형태와 연관되어 있어 역시 분포양상을 좌우하는 중요한 변수가 될 것이다. 이러한 퇴적상의 변화는 저서생물 군집구조의 영향을 주므로 바다목장 건설 전부터 퇴적물의 온도, 입도조성과 총유기탄소 등의 퇴적환경을 조사하여 퇴적환경과 연질기저 저서생물 군집의 천이를 계속 모니터링해 나가야 할 것이다.

퇴적물의 온도는 그랩으로 채기한 퇴적물에 막대온도계를 퇴적물 속 5cm에 꽂아 온도를 측정한다. 퇴적물의 입도를 분석하기 위하여 100cc 정도의 퇴적물을 플라스틱 숟가락으로 담아 냉동 보관한다. 그리고, 퇴적물의 총유기탄소를 분석하기 위하여 역시 100cc 정도의 퇴적물을 플라스틱 숟가락으로 담아 냉동 보관한다.

#### ⑦ 시료의 처리

##### ㉔ 퇴적물의 입도분석

그랩으로 채기한 퇴적물의 일부분을 실험실에서 입도(grain size)를 분석하

여(표 9) 삼각도법으로 나타내거나[그림. I-38] 간극수를 분석한다.

##### ㉔ 퇴적물의 총유기탄소 분석

기질에 관한 다른 요인으로서 유기물의 함량이다. 퇴적물의 총유기탄소를 분석한다. 그리고 상세한 자료를 요할 때에는 기질면과 닿아 있는 해수중의 현탁물 함량을 측정한다.

##### ㉔ 체거르기(sieving)

채니(採泥)에 의해 얻은 퇴적물은 현장에서 우선 체를 사용하여 펄을 씻어낸다. 체[그림. I-39]의 망목 크기는 연구의 목적에 따라 다르고 대형 저서생물을 채집하기 위해서는 보통 1.0mm의 망목을 사용하지만 최근에는 0.5mm 망목을 사용하는 경우도 있다. 중형 저서생물에는 0.1 또는 0.05mm 망목의 것을 사용하고 유공충이나 패충류의 연구에는 0.074mm의 체를 사용하는 경우가 많다.

#### ⑧ 생물의 동정

저서동물은 해양생물 중에 높은 종 다양성을 가지고 있다. 다양한 동물군을 선별하기 위해서는 현장조사보다는 실험실에서 장시간의 분석이 요구되는 부분이다. 장기간의 조사 자료를 토대로 대상해역별로 채집된 종을 정리하여 분류군 별로 전문가들에게 의뢰함으로써 종목록을 작성하는 방식이 있다. 종 수준의 동정이 이루어지며 단각류에는 오염 및 환경모니터링을 위한 지표종이 소개

[표 I-9] Wentworth의 입자크기 분류(Holme & McIntyre 1971)

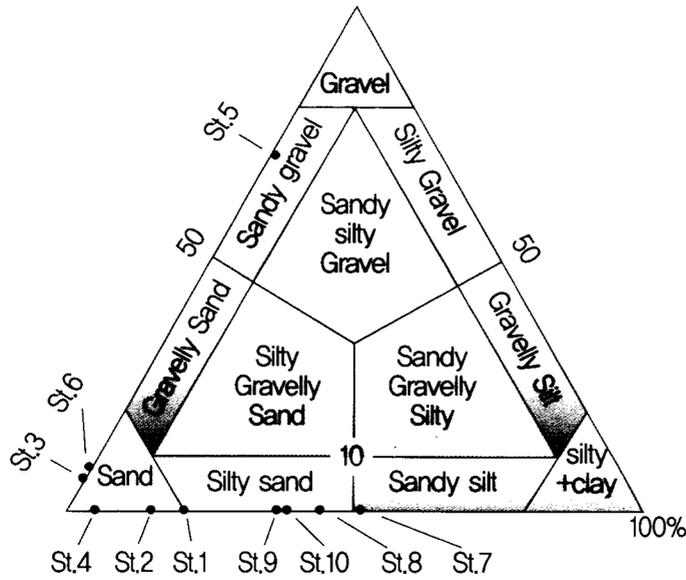
Grade limits		Name
mm	phi units	
>256	<-8	Boulder
256 ~ 128	-8 ~ -7	Large cobble
128 ~ 64	-7 ~ -6	Small cobble
64 ~ 32	-6 ~ -5	Very large pebble
32 ~ 16	-5 ~ -4	Large pebble
16 ~ 8	-4 ~ -3	Medium pebble
8 ~ 4	-3 ~ -2	Small pebble
4 ~ 2	-2 ~ -1	Granule
2 ~ 1	-1 ~ 0	Very coarse sand
1 ~ 1/2	0 ~ 1	Coarse sand
1/2 ~ 1/4	1 ~ 2	Medium sand
1/4 ~ 1/8	2 ~ 3	Fine sand
1/8 ~ 1/16	3 ~ 4	Very fine sand
1/16 ~ 1/32	4 ~ 5	Coarse silt
1/31 ~ 1/64	5 ~ 6	Medium silt
1/64 ~ 1/128	6 ~ 7	Fine silt
1/128 ~ 1/256	7 ~ 8	Very fine silt
1/256 ~ 1/512	8 ~ 9	Coarse clay
1/512 ~ 1/1024	9 ~ 10	Medium clay
1/1024 ~ 1/2048	10 ~ 11	Fine clay

되어 있어, 다모류와 더불어 환경모니터링에 매우 중요하게 작용하는 동물군이 다. 명확한 동정은 어렵지만 다른 종으로 구분할 수 있는 것은 번호를 붙여 각기 다른 종임을 표시하여 종수준까지 동정하는 것이 좋다.

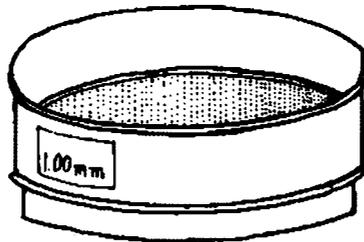
⑨ 자료 제시 및 분석

㉞ 종수 및 종수 조성

정점별, 계절별 종수의 변화는 매우 중요한 요소이다. 명확한 동정은 어렵지만 다른 종으로 구분할 수 있는 것은 번호를 붙여 각기 다른 종임을 표시하여 종수를 표시하는 것이 좋다.



[그림. I-38] 정점별 기질의 입도조성을 삼각도법으로 나타낸 예(Yun and Kikuchi 1989)



[그림. I-39] 체(sieve)(윤과 흥 1995)

㉔ 개체수 및 개체수 조성

밀도는 다른 지역 또는 다른 목적의 연구결과와 비교 분석이 가능하도록 밀도는 개체수/m<sup>2</sup>으로 제시하는 것이 좋다.

㉕ 생체량 및 생체량 조성

생체량은 습중량으로 제시하는 것이 좋다. 다른 자료와 비교 분석이 가능하

도록 생체량 자료를 gwwt/m<sup>2</sup>으로 제시하는 것이 좋다.

㉖ 우점종

우점종 분석을 통한 군집 내 구성원의 변동요인 분석하는 것이 좋다. 우점종은 적어도 개체수에서 95%까지를 차지하는 종을 대상으로 하고, 이들의 분포밀도와 퇴적물 등 다른 환경과 상

관성을 분석해 보는 것이 좋다.

㉞ 종다양도(H')

해양에서 저서동물을 대상으로 생물 통계적 분석연구는 환경 모니터링 하기에 효율적 방법이다. 저서동물의 경우 대부분이 Shannon 방식을 채택하고 있다. 따라서 정점별 종다양도는 지금까지 가장 일반적으로 사용되는 Shannon-Weaver의 종다양도 지수 (Pielou 1977)를 사용하는 것이 좋다. 지수 H'를 사용할 때 log의 밑은 자연 대수로 통일하여 사용하는 것이 좋다. 조사자에 따라 log의 밑을 서로 다른 것으로 사용할 경우, 같은 데이터라도 H' 값이 달라지므로 서로 비교 검토하기 곤란하다. 하지만 이 방법은 종수준까지 충분한 생물동정이 선행되어야 하는 문제점을 지니고 있다.

㉟ 군집유사도

군집유사도 분석에는 유사도 지수 (Bray and Curtis 1957)를 많이 사용하고 있으며, 이 때 개체수 자료는 정점간과 종간 밀도의 차이를 줄여 자료의 편중을 피하기 위하여 대수로 변환한다. 그 결과를 수지도(dendrogram)로 나타내는 것이 좋다.

㊱ 상관관계

수심, 수온, 염도, 퇴적물의 입도 및 총유기탄소 자료를 군집 자료와 연관시켜 상관관계를 찾아서 환경영향 여부를 평가할 수 있다.

⑩ 저서연성동물의 방법의 제언

바다목장 생태계 조사를 위한 조사 표준지침으로서 다음과 같이 제안한다[표 I-10].

[표 I-10] 바다목장 생태계 조사를 위한 조사 지침 제언

항목		특징
조사 기간 및 회수		- 최소 계절별 1회 이상
조사대상 생물의 크기		- 기본적으로 그랩으로 채집한 대형저서생물 - 연구목적에 따라 추가로 초대형저서동물, 중형저서동물
채집	정점의 수	- 초기의 광역조사 위해 10개 이상 정점 - 모니터링 위해 소수의 최소정점으로 축소
	채집기구	- 대형저서동물 위해서는 0.1m <sup>2</sup> 의 van Veen 또는 0.05m <sup>2</sup> 의 Smith-McIntyre grab - 연구목적에 따라 드렛지나 코아러를 추가
	반복채집 회수 및 채집면적	- 0.1m <sup>2</sup> 의 그랩은 2회 이상, 0.05m <sup>2</sup> 의 그랩은 4회 이상을 하여야 하며 한 정점에서의 총 채집면적이 적어도 0.2m <sup>2</sup> 이상이 되도록 하여야
	환경요인 측정	- 경도와 위도, 수심, 수온, 염도 - 퇴적물의 온도, 입도, 총유기탄소
	생물의 고정	- 10% 중성 포르말린 - 연구목적에 따라 다른 용액
자료의 분석	퇴적물	- 입도와 총유기탄소
	생물의 동정	- 종수준까지 - 번호를 붙여 다른 종임을 표시
자료의 제시	종수 및 종조성	- 종수준까지 동정하지 못한 것은 한 종으로 취급
	개체수 및 개체수 조성	- 개체수/m <sup>2</sup> 로 환산
	생체량 및 생체량 조성	- 습중량(gwwt)/m <sup>2</sup> 로 환산
	우점종	- 개체수에서 상위 95% 이상을 차지하는 종
	종다양도	- Shannon-Weaver의 종다양도 지수(H')
	군집유사도	- 군집유사도 지수 사용 - 개체수 자료는 대수로 변환 - 수지도(dendrogram)로 표시
	상관관계	- 여러가지 환경요인과 군집 자료와 상관관계



**생태특성 평가**

생태특성 연구 분야



# 생태특성 평가 부록

## II. 생태계 모델 활용 기술

## ② 생태계 모델

### 가. 서론

수산업에 의해서 이용되고 있는 어업자원 생물들은 해양생태계의 일부를 구성하는 생물들이다. 이들 생물들은 서로 먹고 먹히는 관계나 혹은 동일 먹이생물을 대상으로 경쟁을 하는 등 서로 생태학적인 상호작용을 하면서 생존하고 있으며 또한 어업자원으로 이용되고 있다. 수산자원을 지속적으로 이용하면서 유지하기 위해서는 생태계 차원에서 관리를 하는 거시적인(holistic) 관리방식을 채택해야 할 필요성이 대두된다. 최근 수산학자와 해양학자, 그리고 수산행정가들은 수산자원관리를 전통적인 단일종 관리방식에서 생태계 관리방식으로 전환해야 한다는 인식전환(paradigm shift)의 필요성을 강조하고 있다.

따라서, 최근에는 전세계적으로 선진국들의 주도로 생태계 모델링에 의한 생태계 구성 생물군의 변동을 구명하고, 생물자원의 이용이 생태계의 구조와 기능에 어떻게 영향을 미치는지 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

해양생물자원의 평가와 관리에 관한 이론은 많지만 국내에서는 이 분야 연구에서 주로 개체군 역학적인 연구만이 주로 수행되어 왔으며, 생태계 차원에서의 연구는 매우 희귀하다. 그 동안 국내에서는 주로 잉여생산량모델 계열과 가입당생산량 모델 계열에 의한 자원평가가 주축을 이루어 왔다.

그러나 미국과 캐나다, 유럽 여러 나라 등 국외에서는 1980년대 이후 컴퓨터를 활

용한 다양한 생태계 분석 방법론을 개발하여 이론적인 연구에 응용하고 있으며, 현재 실용화를 위한 컴퓨터 모델들을 개발하고 있다. 대표적인 연구결과로는 다종생물자원의 평가를 위해 개발된 MSVPA (Sparre, 1991), 생물의 생리생태학적 분석모델인 bioenergetics models (Kitchell et al., 1996)이 있다. 또한 생태계를 거시적으로 보고 유사생물군을 합쳐서 영양물질균형(trophic mass-balance)을 분석하는 생태계 모델인 Ecopath (Polovina, 1984) 및 Ecopath II (Christensen and Pauly, 1992)이 있다. 그리고 어획강도를 시뮬레이션으로 변환시켜서 이에 따른 생태계 구성 생물군의 시간적인 변동을 추적하는 Ecosim (Walters et al., 1997) 모델 등이 있다. 생태계 모델을 이용하기 위해서는 대상해역에 서식하는 생물들의 자원생태학적 특성치 및 자원량, 그리고 식성연구에 대해 보다 세부적인 연구가 필요할 것이다.

본 매뉴얼의 목적은 생태계 모델링과 개체군 모델링에 입문하는 독자에게 생태계 모델링과 개체군 모델링에 대한 개념 및 방법론을 제시함으로써 두 가지 모델링을 통한 생태계 구조와 기능을 연구하는데 도움을 주고자 하였다.

### 나. 생태계 모델링

지금까지 많은 생태계 분석 모델들이 제시되었지만 해양생태계의 영양관계 분석에 사용되는 실용적인 방법은 Polovina

(1984)에 의해서 개발된 Ecopath 모델이다. 이것은 Christensen and Pauly (1992, 1995)에 의해 더욱 발전되었고, 수산자원의 평가나 양식장의 평가와 같이 수중 생태계에 널리 응용되고 있으며 또한, 최근에는 육상목장 시스템 (farming system)을 분석하는데도 적용되고 있다 (Dalsgaard et al., 1995).

Ecopath는 주어진 시스템에 대한 정보를 요약할 수 있는 방법으로 인정을 받고 있다. 즉, 이 모델을 사용해서 생태계의 구조와 기능을 설명해 주는 다양한 생태계 특성치를 계산하고 이 값들을 다른 생태계의 값들과도 비교할 수 있다. 그러나, Ecopath는 생태계 영양 구조의 정적인 단면만을 보여 준다. 이를 극복하기 위해서 Ecopath 모델에 의한 생태계 특성치를 기초로 구성생물들의 시간에 따른 변동을 분석할 수 있는 생태계 역학 모델이 개발되었다 (Ecosim module of Ecopath). 이것은 미분방정식들로 이루어진 시스템으로 역학 시뮬레이션과 평형상태의 변화를 분석할 수 있다 (Pauly et al., 2000). 이 방법은 간단한 질량균형 모델 (mass-balanced model)을 만들 수 있을 정도의 자료가 있으면 어업에 의한 생태계 반응을 이해하는데 사용될 수 있다. 또한, 이 모델은 생태계 영양 상호관계를 나타내는 포식-피식 효과를 설명하는데 'top-down'대 'bottom-up'에 관한 가설을 선택해서 생태계 분석에 사용될 수 있다.

만약 대상생태계 내 구성생물들의 이입·이출량이 같고 평형상태라 가정하면, Ecopath에서의 질량균형 모델은 다음 식에 의해 정의된다.

$$(i) \text{의 생산량} = (i) \text{의 어획량} + \text{포식자에 의한 } (i) \text{의 소비량} + (i) \text{의 기타사망량}$$


---


$$\text{----- (1)}$$

여기서  $i$ 는 특정 환경, 특정 시간의 시작과 끝까지 동일한 상태를 가지는 생태계 내의 특정그룹 (단일 종 또는 두 종 이상으로 구성)이다.

식 1은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_i \cdot (P/B)_i = Y_i + \sum_{j=1}^n B_j \cdot (Q/B)_j DC_{ji} + M_0 B_i$$


---


$$\text{----- (2)}$$

여기서  $B_i$ 는 특정 기간 동안  $i$ 의 생체량이다( $P/B$ ). 는 평형상태 하에서 순간전사망계수 ( $Z_i$ )와 같은  $i$ 의 생산량/생체량 비이다 (Allen, 1971).  $Y_i$ 는  $i$ 의 어획량으로  $Y_i = F_i \cdot B_i$ 로 나타낼 수 있고, 여기서  $F$ 는 순간어획사망계수이다.  $B_j$ 는 소비자 혹은 포식자의 생체량이다.  $(Q/B)_j$ 는 소비자  $j$ 의 단위 생체량당 먹이 소비량이고,  $DC_{ji}$ 는  $j$ 의 먹이에서  $i$ 가 차지하는 부분 ( $j$ 가  $i$ 를 먹지 않을 때,  $DC_{ji}=0$ )이다. 그러므로, 특정 기간 동안 포식자  $j$ 가 피식자  $i$ 를 섭취한 총 섭취량 ( $Q_{ji}$ )은  $Q_{ji} = B_j (Q/B)_j DC_{ji}$ 으로 나타낼 수 있다.  $M_0$ 는 어획과 섭식에 의한 사망을 제외한 기타사망계수이다.

식 2를 다시 표현하면,

$$0 = B_i \cdot (P/B)_i - F_i \cdot B_i - \sum_{j=1}^n Q_{ji} - M_0 B_i$$


---


$$\text{----- (3)}$$

와 같다. 기초 생산자를 제외하고, Ecopath에서는  $B_i \cdot (P/B)_i$ 를 그룹  $i$ 에 의해 섭식된 먹이량 ( $\sum Q_{ij}$ )과 성장효율 ( $g_i$ )과의 곱으로 계산한다. 즉, 소비자  $i$ 로의 영향 흐름  $Q_{ij}$ 는  $B_i \cdot (P/B)_i = g_i \sum Q_{ij}$ 이 만족되도록 계산되어진다.

식 3을 역학 모델로 바꾸기 위해서는, 식 3의 좌변을 생체량 변화율인  $dB_i/dt$ 로 나타내고, 기초생산자 그룹은 생체량  $B_i$ 에 따르는  $(P/B)_i$ 의 변화를 예측할 수 있도록 관계식을 제공해야 한다. 이 기능적인 관계는 빛과 영양염 및 공간을 위한 경쟁을 나타내는 것이다. 다음으로는, 고정된 섭식량  $Q_{ij}$ 를 생체량  $B_i$ 와  $B_j$ 의 변화에 따라 섭식량이 어떻게 변하는지를 예측해 주는 관계식으로 대체해야 한다.

식 3은 식 4와 같이 쓸 수 있다.

$$dB_i/dt = f(B) - F_i B_i - \sum_{j=0}^n C_{ij}(B_i, B_j) - M_o B_i$$

----- (4)

여기서,  $i$ 가 기초생산자라면  $f(B)$ 는  $B_i$ 의 함수가 되고, 만약 소비자라면  $f(B) = g_i \sum C_{ij}(B_i, B_j)$ 가 된다. 여기서,  $C_{ij}(B_i, B_j)$ 는  $B_i$ 와  $B_j$ 로부터  $Q_{ij}$ 를 예측하는데 사용되는 함수이다. 만약  $F(B)$ 와  $C_{ij}(B_i, B_j)$  함수를 알 수 있다면 식 4는 시간에 따르는  $F_i$ 로 적분될 수 있다.

### (가) 생태계 모델링 연구체제

생태계 모델링 연구에는 해양조사와 자원조사, 어업조사 등 방대한 조사에 의한 엄청난 규모의 자료가 분석에 사용되며 이를 바탕으로 다양한 생태학적 파라미터들이 추정된다. 이들을 입력자료로 사용하여 생태계 구조모델에 의해 생태계의 영양단계별 구조와 에너지 흐름이 밝혀지고 환경수용량 (carrying capacity)이 추정된다. 이러한 분석결과를 사용하여 생태계 기반 자원관리 방안이 마련될 수 있다. 이 관리방안에 대한 효과는 다시 생태계 역학적 시뮬레이션 모델에 의해 측정되고 생태계의 구조가 어떻게 변형되는지를 예측할 수 있다. 생태계 모델링의 구체적인 연구단계와 해당 단계에서의 연구목표는 다음과 같다.

#### ① 대상생태계 정의

생태계 모델을 구축하기 위해서는 먼저 조사대상해역의 경계 및 면적이 명확히 정의되어야 한다. 경계를 정의함에 있어서 대상해역의 해수이동, 수온, 염분, 영양염류 분포 및 이동, 그리고 저질 등과 같은 해양물리학적 및 지화학적 특성, 생물의 분포양상과 이동경로의 파악 등 생태학적 관점에서 대상생태계의 설정이 필요하다.

#### ② 서식 생물종 파악

대상생태계가 설정되면 그 해역에서 식하는 모든 생물들, 즉, 기초생산에서부터 최고포식자 (상어류, 고래류)에 이르기까지 모두 파악되어야 하며, 또한 해양생물은 아니지만 이들에게 직·간

접적으로 영향을 미치는 바다새류까지 포함되어야 한다.

### ③ 생물군 그룹핑

서식 생물종들이 파악되면, 이 수많은 생물들을 생태학적 유사성에 따라 하나의 종 또는 여러 종들을 묶어서 그룹으로 나누어야 한다. 따라서 세부적인 생태·생리학적 연구가 이루어져야 의미 있는 그룹을 나눌 수 있다. 동일 그룹에 속하는 생물들은 영양단계 (trophic level)가 같아야 한다.

### ④ 해양조사 및 자원조사

현재까지 연구된 관련 자료 및 보고서를 근거로 조사된 생물들을 개략적으로 분류하면 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 해조류, 저서동물 그리고 어류로 나눌 수 있고 여기에 고래류 및 바다새류를 포함시킬 수 있다.

#### ㉠ 해양조사

미세생물 및 플랑크톤 조사, 그랩샘 플링, 방향구법 등에 미세생물, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 해조류 그리고 저서동물에 대한 생산량 (P)과 현존량을 조사하여 이들로부터 생체량 (B) 및 사망률 (P/B)을 구해야 한다. 또한, 각 생물의 식성조사에 의해 섭식량 (Q) 및 먹이조성 ( $D_{ij}$ )을 구하고, 섭식량 (Q)과 생체량 (B)을 이용하여 체중당섭식량 (Q/B)을 추정해야 한다. 고래류 및 바다새류의 경우도 마찬가지로 실제 채집조사 및 목시조사 등에 의해 생산량

(P), 생체량 (B), 사망률 (P/B), 섭식량 (Q), 먹이조성 ( $D_{ij}$ ) 그리고 체중당섭식량 (Q/B)이 분석되어야 한다. 또한 미세생물 먹이망 (microbial loop)을 밝혀서 이를 모델에 포함시켜야 한다. 각 파라미터의 기본단위는  $t/km^2/year$ 이다.

#### ㉡ 직접자원조사

주 관리대상이 되는 어류에 대해서는 직접자원조사를 실시해야 한다. 저어류의 경우에는 저층트롤조사, 그리고 부어류는 표층트롤조사 및 과학어탐 조사를 수행하여 생체량 (B)이 추정되어야 한다. 또한 각 생물들의 체장-연령조성을 분석하여 사망률 (P/B)을 구해야 하며, 식성조사에 의해 섭식량 (Q) 및 먹이조성 ( $D_{ij}$ )을 구해야 한다. 생체량 (B)과 섭식량 (Q)을 이용하여 체중당섭식량 (Q/B)을 구할 수 있다. 각 파라미터의 기본단위는 동일하다.

#### ㉢ 어업자원조사

어업별 어종별 어획량 (C)조사를 통해 어종별 연령조성 및 식성을 분석하여야 한다. 따라서 어획량과 연령조성 자료를 사용하여 사망률 (P/B)이 추정되고, 코호트 분석법을 사용하여 간접적으로 생체량 (B)을 추정할 수 있으며, 식성연구에 의해 섭식량 (Q), 먹이조성 ( $D_{ij}$ ) 그리고 체중당섭식량 (Q/B)을 분석할 수 있다. 각 파라미터의 기본단위는 동일하다.

⑤ 기본입력자료 비교 분석

직접조사방법 (해양조사, 트롤조사, 과학어탐조사)과 간접조사방법 (어업자원조사)에 의해 추정된 기본입력자료 (생산량 (P), 생체량 (B), 어획량 (C), 사망률 (P/B), 섭식량 (Q), 먹이조성 (Dij), 체중당섭식량 (Q/B))는 서로 비교 분석하여 수정·보완되어야 한다.

해양조사 및 자원조사에 의한 결과와 보정된 기본입력자료를 바탕으로 대상 생태계를 재설정하고 조사에 의한 생태·생리학적 특성에 따라 생물군을 재그룹핑하여 생물군별로 기본입력자료를 재계산하는 feedback loop 체제를 구

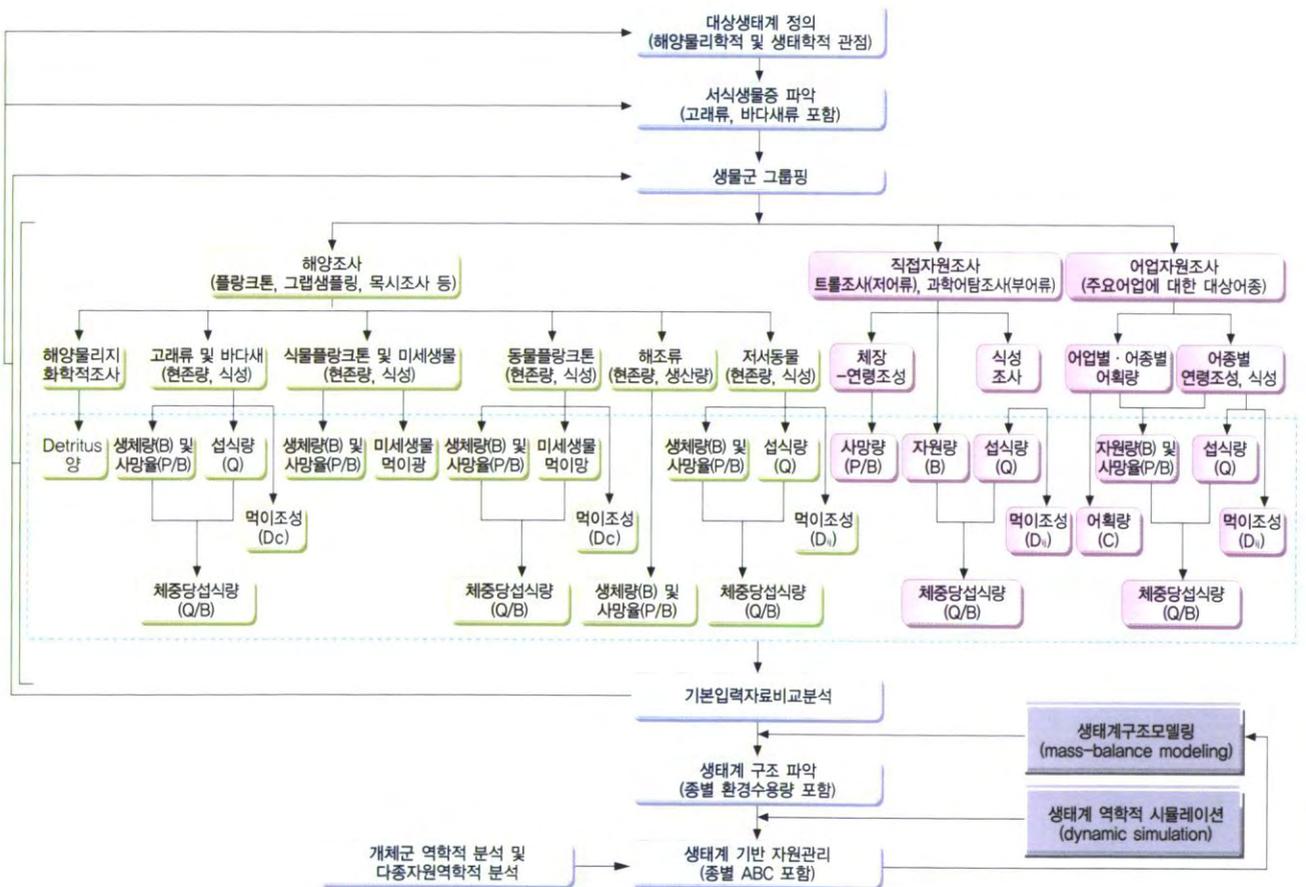
축해야 한다.

⑥ 생태계 구조 파악

위 연구 결과를 이용하여 생태계 구조 분석 모델 (예로, Ecopath)에 의해 에너지 흐름에 의한 생태계 구조를 파악하고, 이에 근거하여 환경수용량을 추정한다.

⑦ 생태계 변화 예측 및 기능 연구

생태계 구조 분석 모델에 의해 추정된 생태계 구조를 바탕으로 생태계 역학 모델 (예로, Ecosim)을 사용하여 생태계 내 인위적인 시설에 대해서나 혹은 어업



[그림. II-1] 생태계 모델링 연구체제

별 어종별 어획강도에 따른 생태계 구조의 변화를 시뮬레이션 하여 예측해 봄으로써 안정적인 생태계 구조 유지를 위한 관리 방안을 모색해야 한다.

[그림. II-1]은 해양생태계 모델링 연구체제와 방법에 관한 flowchart이다.

### (나) 생물군 그룹핑

대상생태계가 설정되면 그 해역에 서식하는 모든 생물들, 즉, 기초생산자에서부터 최고포식자(상어류, 고래류)에 이르기까지 모두 파악되어야 하며, 또한 해양생물은 아니지만 이들에게 직·간접적으로 영향을 미치는 바다새류까지 포함되어야 한다. 생태계 모델에 대한 적용에 있어서 생태계 내 서식하는 모든 종들을 하나의 종그룹으로 고려하는 것이 가장 바람직하다. 그러나, 모든 종들을 하나의 종그룹으로 고려하게 되면 한 종마다 입력파라미터를 일일이 추정해야 한다는 어려움이 있다. 따라서, 생태계 모델에서는 서식지, 먹이습성 등 유사한 생태학적 특성을 가진 종들은 하나의 생물군으로 묶어서 모델에 적용하는 것이 훨씬 효율적이다. 본 매뉴얼에서는 최근에 생물군 그룹핑에 가장 많이 사용되는 자가구성법 모델에 대해 소개하고자 한다.

#### ① 자가구성법(Self-Organizing Map, SOM) 모델

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 설

명하는 모든 특성들은 반드시 인공신경망에 제시되어지고 있으며, 최근 생태계 모델링에 ANNs 방법이 적용되어지고 있다(Lek and Guegan, 1999). 그중에서도 대상생태계에 서식하는 생물들을 생태학적 유사성에 따라 그룹핑하기 위해 인공신경망을 인지하는 테크닉의 하나인 자가구성법(self-organizing mapping, SOM)이 많이 사용되고 있다. 여기에서는 매트랩(MATLAB) 프로그램을 사용하여 자가구성법을 적용하였다. 매트랩은 Mathwork사에서 개발하여 판매하고 있는 공학용 언어 프로그램으로, 데이터 입출력, 시스템 모델링 또는 시뮬레이션, 데이터 분석 및 시각화, 행렬과 벡터의 연산 및 다양한 toolbox를 지원하는 것이 장점이다. 자가구성법 역시 toolbox를 이용하여 계산되어지며, 필요한 toolbox는 인터넷 검색(<http://www.google.co.kr>)을 통하여 무료로 다운로드 받을 수 있다. 다운로드 받은 toolbox를 MATLAB이 인식하기 위해서는 경로의 지정이 필수적이며, 경로는 'set path' 항목에서 해당 toolbox 폴더의 위치를 찾아 저장해주면 된다. 매트랩 프로그램은 한국 Mathworks(<http://www.mathworks.co.kr>)를 통해서 구입할 수 있다.

#### ② 자가구성법에 의한 생물군 그룹핑 작업 순서

- ㉓ 대상생태계의 서식생물종을 조사한다.
- ㉔ 서식생물의 그룹핑을 위해 고려할 생태학적 특성을 결정한다.

- ㉔ 생태학적 특성을 참고문헌 및 직접조사를 통해 조사한다.
- ㉕ Excel 프로그램을 실행한다.

㉖ Excel sheet 1에 종명과 조사한 생태학적 특성을 작성한다 [그림. II-2].

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	종명	목(order)	과(Family)	유형능력	체장 (m)	연골/경골	서식수층	체형	서식지	
2	상괘미	고래목	쇠물고래과	강		경골	유영	유선형		
3	수달	식육목	족제비과	강	0.6-0.7	기타	기타	기타		
4	바다새류			강		기타	기타	기타		
5	홍어	홍어목	홍어과	강	1.5	연골		편평형		
6	문치가자미	가오리목	가오리과	강	1+	경골	100	편평형	모래/펄/저서성	
7	물가자미	가오리목	가오리과	강	1+	경골	100	편평형	모래/펄/저서성	
8	넙치	가자미목	넙치과	강	0.4-0.5	경골	200	편평형	모래/펄/저서성	
9	별넙치	가자미목	넙치과	강	0.4-0.5	경골	200	편평형	모래/펄/저서성	
10	노랑각시서대	가자미목	서대과	강		경골	100	편평형	모래/펄/저서성	
11	각시서대	가자미목	서대과	강		경골	100	편평형	모래/펄/저서성	
12	참서대	가자미목	서대과	강		경골	100	편평형	모래/펄/저서성	
13	조피볼락 성어	양볼락목	양볼락과	강	0.6	경골	10-100	방추형	암초	
14	조피볼락 치어	양볼락목	양볼락과	강	0.6	경골	10-100	방추형	암초	
15	볼락	양볼락목	양볼락과	강	0.3	경골	연안 정착성	방추형	암초	
16	황점볼락	양볼락목	양볼락과	강	0.3	경골	연안 정착성	방추형	암초	
17	편꼬리볼락	양볼락목	양볼락과	강	0.3	경골	연안 정착성	방추형	암초	
18	개볼락	양볼락목	양볼락과	강	0.3	경골	연안 정착성	방추형	암초	
19	불볼락	양볼락목	양볼락과	강	0.3	경골	연안 정착성	방추형	암초	
20	돔류	농어목	도미과	강	0.3	경골	30-150	방추형	암초	
21	장어류	범장어목	범장어과	강	0.5	경골	50	장어형	모래/펄/암초	
22	농어류	농어목	농어과	강	1+	경골	50	방추형	표층	
23	송어	송어목	송어과	강	1.2	경골		방추형	표층/저층/모래	
24	갈치	농어목	갈치과	강	1.5	경골	100	촉편형	반저서성	
25	인상어	농어목	망상어과	강		경골				
26	망상어	농어목	망상어과	강	0.25	경골	30	방추형	모래/펄/암초	
27	가시망둑	솜뱅이목	특종게과	강		경골				
28	미역치	솜뱅이목	양볼락과	강	0.15	경골		방추형	펄/모래/암초	
29	노래미	솜뱅이목	쥐노래미과	강	0.3	경골	5	방추형	수심 5m 이내	
30	쥐노래미	솜뱅이목	쥐노래미과	강	0.5	경골		방추형	모래/펄/암초	
31	쌍둥가리	농어목	양동미리과	강	0.2	경골	100-150	방추형	펄/모래	
32	홍민어			강		경골				
33	비단망둑	농어목	망둥어과	강		경골				
34	양태	양볼락목	양태과	강	0.3	경골		편평형	모래진흙바닥/저서성	
35	그물코베도라치	농어목	장강이과	강		경골				
36	기타			강		경골				
37	방어	농어목	전갱이과	강	1+	경골	20	방추형	표층	
38	삼치	농어목	고등어과	강	0.8	경골	30	방추형	표층	
39	전갱이	농어목	전갱이과	강	0.3	경골	6~20	방추형	표층	
40	쥐치	복어목	쥐치과	강	0.3	경골	100	촉편형	모래/펄/반저서성	
41	말쥐치	복어목	쥐치과	강		경골				
42	멸치	청어목	멸치과	강	0.15	경골	0-20	방추형	표층	
43	전어	청어목	청어과	강	0.25	경골	50	방추형	표층	
44	청어	청어목	청어과	강	0.2	경골	60-90	방추형	표층	
45	오징어	오징어목	살오징어과	강	0.2	연체	표층~200		반저서성	

[그림. II-2] 엑셀 파일 정리 화면

㉗ Excel sheet 2에서는 각 종에 대해 조사된 생태학적 특성에 적합한 각각의 숫자값을 부여한다 [그림. II-3]

㉘ 생태학적 특성 (B열)부터 종번호 (I 열)까지 복사해서 텍스트 파일을 만든 다음 저장한다.

㉙ MATLAB을 실행한다 [그림. II-4].

[F] 파일(F) [E] 편집(E) [V] 보기(V) [I] 삽입(I) [Q] 서식(Q) [T] 도구(T) [D] 데이터(D) [W] 창(W) 도움말(H)									
A12 상괭이									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	약함 = 0	소형 = 0	연골 = 0	표영성 = 0	유선형 = 0	표층 = 0	이빨 = 1		
2	강함 = 1	초대형 = 1	경골 = 1	반저서성 = 1	편평형 = 1	모래/펄 위 = 1	부리 = 2		
3		중형 = 3	연체 = 2	저서성 = 2	장어형 = 2	암초/바위 = 2	기타 = 0		
4		대형 = 2	갑각 = 3	유영성 = 3	기타 = 3	해저바닥 = 3	비섭식 = 3		
5			기타 = 4			1+2=4			
6						1+3=5			
7						기타 = 6			
8						유영 = 7			
9									
10		유영능력	체장(m)	연골/ 경골	서식수층	체형	서식지	섭이방식	
11	종명	Swim	Size	Bone	Depth	Shape	Habitat	Feeding	Species
12	상괭이	1	2	1	3	0	7	1	s1
13	수달	1	3	4	3	3	0	1	s2
14	바다새류	1	3	4	3	3	7	2	s3
15	홍어	1	2	0	2	1	3	1	s4
16	문치가자미	1	3	1	2	1	3	1	s5
17	물가자미	1	3	1	2	1	3	1	s6
18	넙치	1	3	1	2	1	3	1	s7
19	별넙치	1	3	1	2	1	3	1	s8
20	노랑각시서대	1	3	1	2	1	3	1	s9
21	각시서대	1	3	1	2	1	3	1	s10
22	참서대	1	3	1	2	1	3	1	s11
23	조피볼락 성어	1	3	1	1	0	5	1	s12
24	조피볼락 치어	1	0	1	1	0	5	0	s13
25	볼락	1	3	1	1	0	5	1	s14
26	황점볼락	1	3	1	1	0	5	1	s15
27	편교리볼락	1	3	1	1	0	5	1	s16
28	개볼락	1	3	1	1	0	5	1	s17
29	불볼락	1	3	1	1	0	5	1	s18
30	돔류	1	3	1	1	0	4	1	s19
31	장어류	1	3	1	1	2	5	1	s20
32	농어류	1	1	1	0	0	0	1	s21
33	송어	1	3	1	0	0	0	1	s22
34	갈치	1	3	1	1	3	5	1	s23
35	인상어	1	0	1	1	0	4	1	s24
36	망상어	1	0	1	1	0	4	1	s25
37	가시망둑	1	0	1	1	0	4	1	s26
38	미역치	1	0	1	1	0	4	1	s27
39	노래미	1	0	1	1	0	4	1	s28
40	쥐노래미	1	0	1	1	0	4	1	s29
41	쌍둥가리	1	0	1	1	0	4	1	s30
42	홍민어	1	0	1	1	0	4	1	s31
43	비단망둑	1	0	1	1	0	4	1	s32
44	약태	1	0	1	1	0	4	1	s33

[그림. II-3] 생태학적 특성에 적합한 숫자값 부여

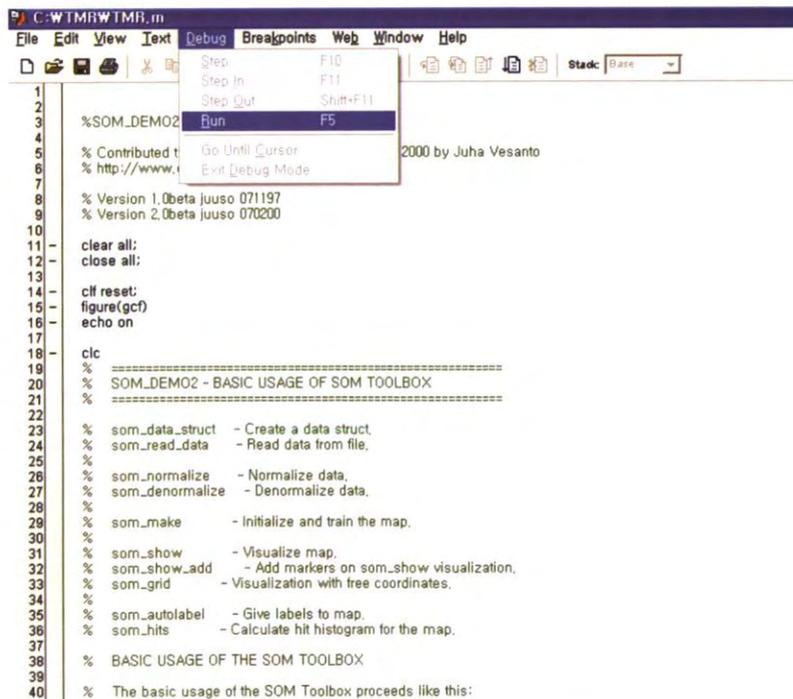
- ㉔ MATLAB에서 "\*\*\*.m" 파일을 연다.
- ㉕ "\*\*\*.m" 파일에서 저장한 텍스트 파일의 경로를 지정한다.
- ㉖ SOM 모델을 실행(Run)한다 [그림. II-5].
- ㉗ [그림. II-5]화면을 띄운 상태에서 "Enter"키를 누른다.
- ㉘ U-matrix, 생태학적 변수 및 그룹핑 결과를 확인한다[그림. II-6].

```

C:\WTMR\WTMR.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
1
2
3 %SOM_DEMO2 Basic usage of the SOM Toolbox.
4
5 % Contributed to SOM Toolbox 2.0, February 11th, 2000 by Juha Vesanto
6 % http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/
7
8 % Version 1.0beta juuso 071197
9 % Version 2.0beta juuso 070200
10
11 clear all;
12 close all;
13
14 clf reset;
15 figure(gcf)
16 echo on
17
18 clc
19 % =====
20 % SOM_DEMO2 - BASIC USAGE OF SOM TOOLBOX
21 % =====
22
23 % som_data_struct - Create a data struct,
24 % som_read_data - Read data from file,
25 %
26 % som_normalize - Normalize data,
27 % som_denormalize - Denormalize data,
28 %
29 % som_make - Initialize and train the map.
30 %
31 % som_show - Visualize map,
32 % som_show_add - Add markers on som_show visualization,
33 % som_grid - Visualization with free coordinates,
34 %
35 % som_autolabel - Give labels to map,
36 % som_hits - Calculate hit histogram for the map.
37
38 % BASIC USAGE OF THE SOM TOOLBOX
39
40 % The basic usage of the SOM Toolbox proceeds like this:

```

[그림. II-4] 매트랩 실행 화면



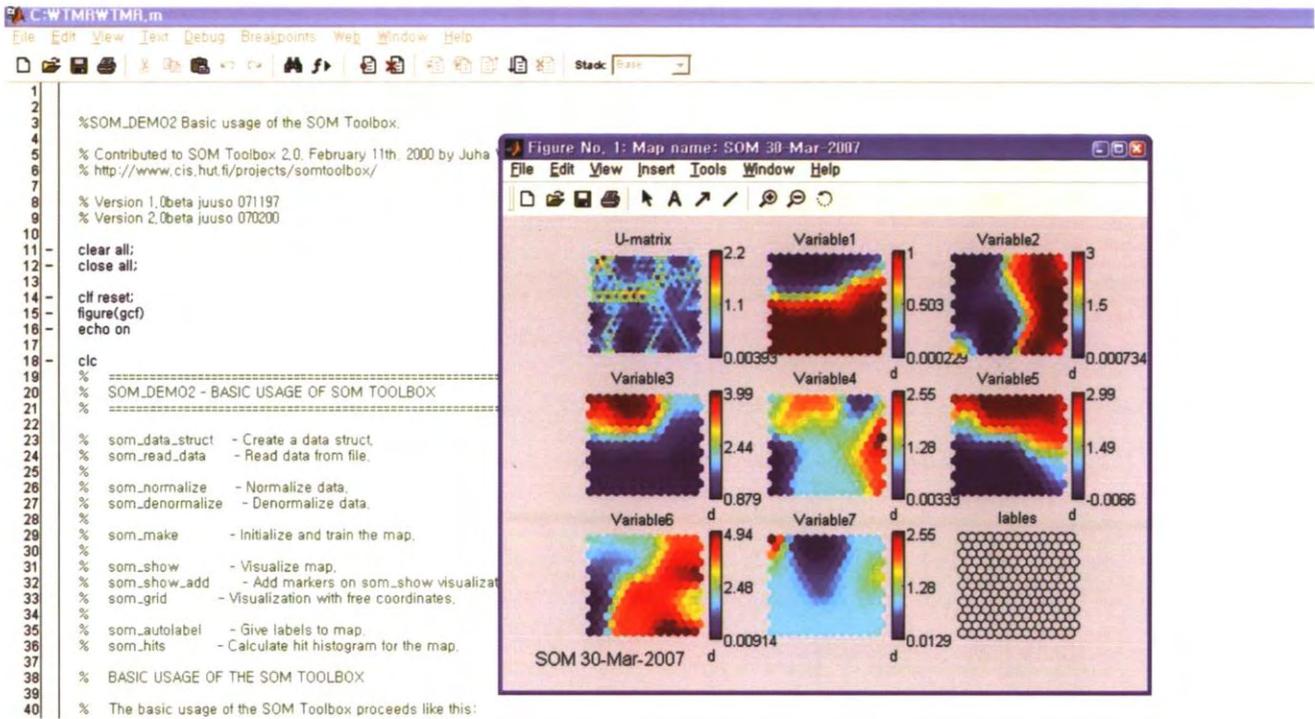
```

C:\WTMR\WTMR.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
1
2
3 %SOM_DEMO2
4
5 % Contributed to SOM Toolbox 2.0, February 11th, 2000 by Juha Vesanto
6 % http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox/
7
8 % Version 1.0beta juuso 071197
9 % Version 2.0beta juuso 070200
10
11 clear all;
12 close all;
13
14 clf reset;
15 figure(gcf)
16 echo on
17
18 clc
19 % =====
20 % SOM_DEMO2 - BASIC USAGE OF SOM TOOLBOX
21 % =====
22
23 % som_data_struct - Create a data struct,
24 % som_read_data - Read data from file,
25 %
26 % som_normalize - Normalize data,
27 % som_denormalize - Denormalize data,
28 %
29 % som_make - Initialize and train the map.
30 %
31 % som_show - Visualize map,
32 % som_show_add - Add markers on som_show visualization,
33 % som_grid - Visualization with free coordinates,
34 %
35 % som_autolabel - Give labels to map,
36 % som_hits - Calculate hit histogram for the map.
37
38 % BASIC USAGE OF THE SOM TOOLBOX
39
40 % The basic usage of the SOM Toolbox proceeds like this:

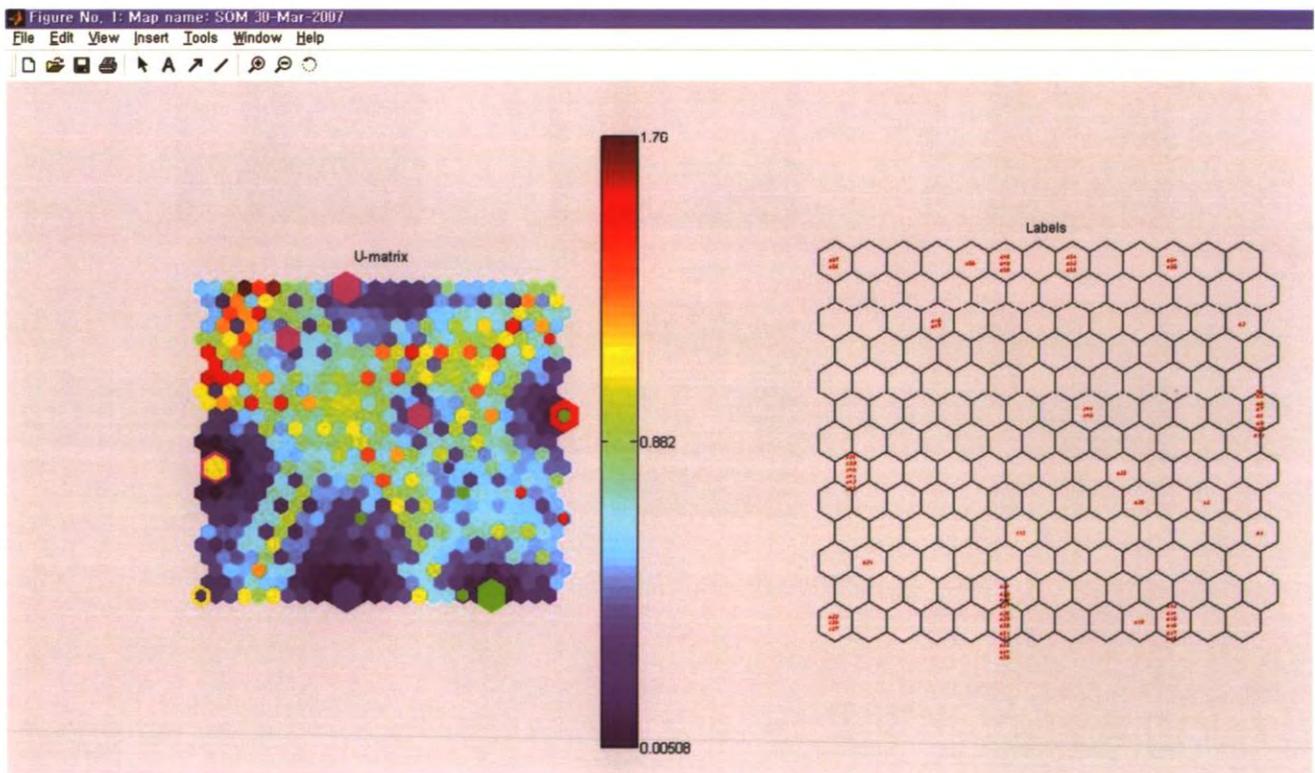
```

[그림. II-5] SOM 모델 실행 화면

(가)



(나)

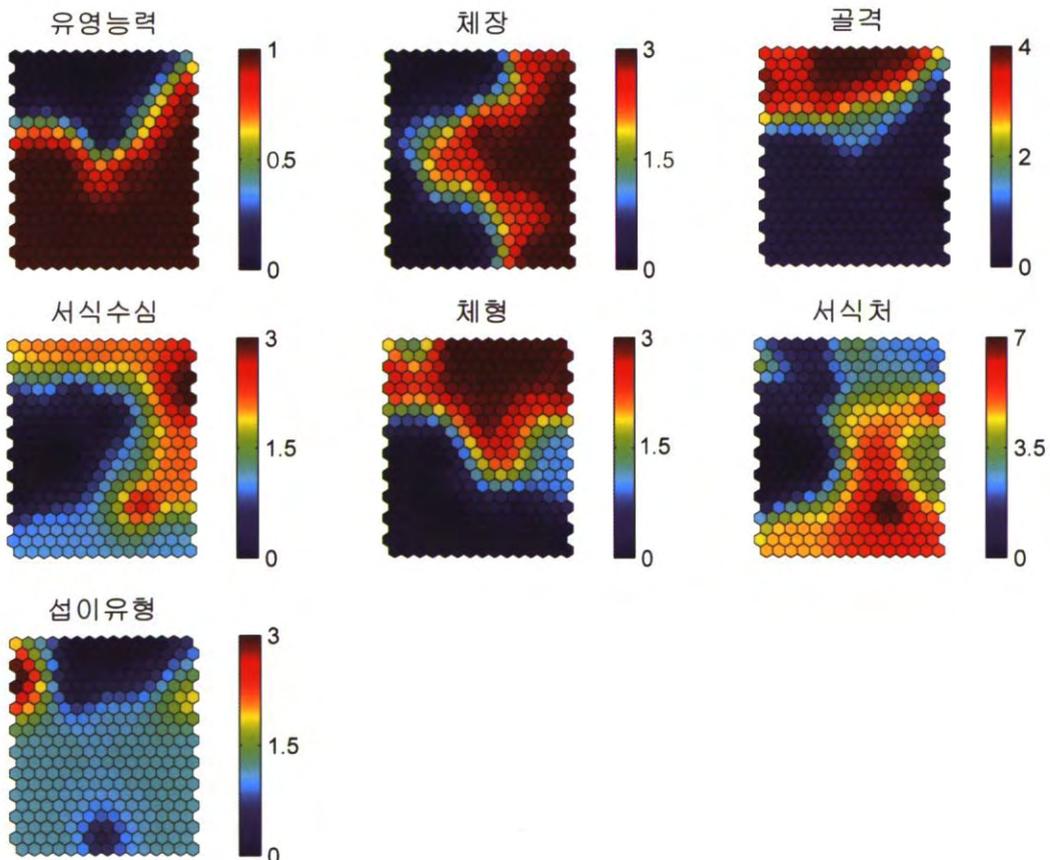


[그림. II-6] U-matrix, 생태학적 변수 및 그룹핑 결과 표시화면

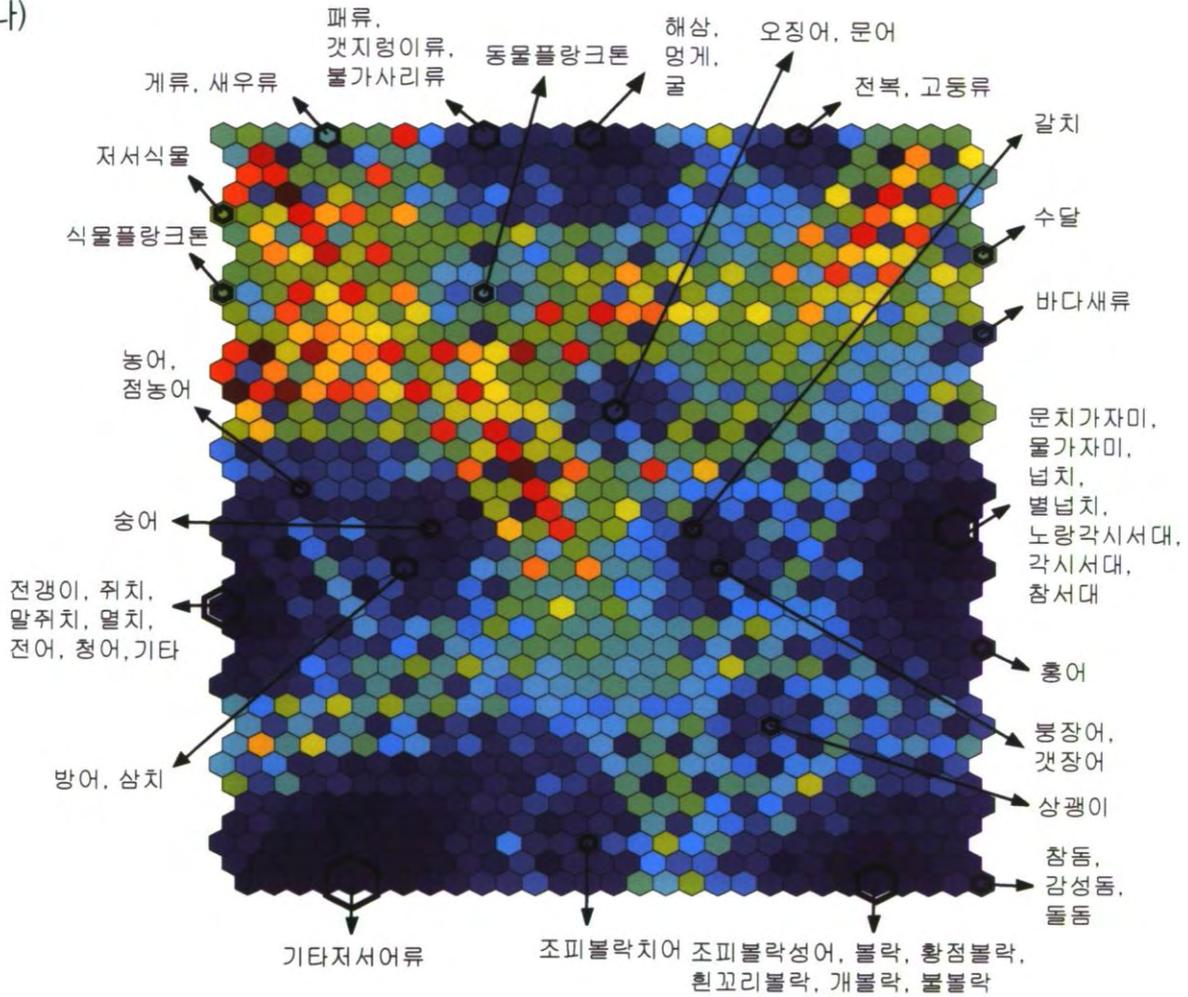
**【적 용 예】** 통영바다목장에 서식하는 서식생물들을 SOM 모델을 이용하여 그룹핑하였다. 통영바다목장에 서식하는 생물상에 대한 정보를 참고하여 58종을 고려하였다. 통영 바다목장해역에 서식하는 생물들은 다음의 7가지 생태학적 특성에 기초하여 그룹핑되었다. 7가지 생태학적 특성은 (1) 유영능력 (약함-0, 강함-1), (2) 체장 (소형-0, 초대형-1, 대형-2, 중형-3), (3) 골격 (연골-0, 경골-1, 연체-2, 갑각-3, 기타-4), (4) 서식수심 (표영성-0, 반저서성-1, 저서성-2, 유영성-3), (5) 체형 (유선형-0, 편평형-1, 장어형-2, 기타-3), (6) 서식처 (표층-0, 모래/빨-1, 암초/바위-2, 해저바닥-3, 모래/암초-4, 모래/해저바닥-5, 기타-6, 유영-7), (7) 섭식유형 (기타-0, 이

빨-1, 부리-2, 비섭식-3)이다 [그림. II-7](가). 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. II-7](가)의 유영능력에서 상단의 파란색으로 나타내어진 부분은 유영능력이 약함을, 하단의 붉은색으로 나타내어진 부분은 유영능력이 강함을 나타낸다. 이러한 특성에 기초하여 [그림. II-7](나)의 matrix 상단의 종들은 하단의 종들에 비해 유영능력이 약한 종들을 나타낸다. [그림. II-7](나)는 이러한 7가지 생태학적 특성을 모두 고려하여 동일한 생태학적 특성을 가진 종끼리 그룹핑되어진 것을 나타낸다.

(가)



(나)



[그림. II-7] 자가구성법 (SOM)을 이용한 통영 바다목장 생태계 생물군 그룹핑, (가) 7가지 생태학적 특성, (나) 각 생물군에 속하는 종명과 생태학적 위치

(다) 생태계 모델의 기본 입력파라미터 추정법

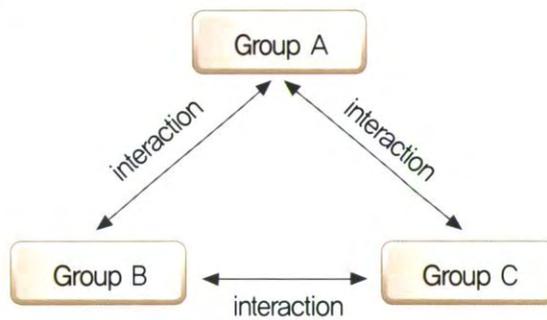
생태계 구조 모델 (Ecopath 모델)은 생태계의 구조를 설명해 주는 다양한 생태계 특성치를 추정하여 대상생태계 영양구조의 정적인 단면을 나타내고, 생태계 역학 모델 (Ecosim 모델)은 생태계 구조 모델에서 추정된 결과를 바탕으로 어획과 환경의 변화가 생태계에 미치는 영향을 역학적 시뮬레이션으로 보여준다.

생태계 모델의 구조를 파악하고 역학적 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 [그림. II-8]과 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.

Ecosystem



Ecosystem parameters

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

[그림. II-8] 생태계의 구조와 생태계 모델에 사용되는 기본 입력파라미터

① 생물군별 기본입력파라미터

생물군별 필요한 기본입력파라미터는 [표 II-1]과 같다. 최고포식자는 모든 기본입력파라미터를 필요로 하고, 바다 새류는 어획이 이루어지지 않기 때문에 어획량 파라미터는 입력하지 않아도 된다. 어류, 두족류 및 저서동물 또한 모든 입력파라미터를 필요로 하고, 그 외 어획이 이루어지지 않는 동·식물플랑크톤은 어획량 자료가 필요없으며, 저서식

물과 식물플랑크톤은 먹이를 섭식하지 않기 때문에 섭식량/생체량 비와 먹이조성 자료가 필요없다.

[표 II-1] 생물군별 필요한 입력파라미터

그룹명/파라미터	생체량 (B)	생산량/생체량 (P/B)	섭식량/생체량 (Q/B)	먹이조성 (DC)	어획량 (C)
단위	t/km <sup>2</sup>	/yr	/yr		t/km <sup>2</sup>
최고포식자	○	○	○	○	○
바다새류	○	○	○	○	X
어류	○	○	○	○	○
두족류	○	○	○	○	○
저서동물	○	○	○	○	○
동물플랑크톤	○	○	○	○	X
저서식물	○	○	X	X	○
식물플랑크톤	○	○	X	X	X

㉑ 기초생산자 (식물플랑크톤 및 저서식물)

• 생체량 (Biomass, B)

해양조사나 자원조사에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 (t/km<sup>2</sup>)으로 구한다. 식물플랑크톤의 경우에는 NEMURO 모델을 사용하여 생체량을 추정할 수도 있다.

• 생산량 (Production, P)

식물플랑크톤에 의한 기초 생산량을 측정하는 방법으로 광합성의 결과 증가된 산소의 양을 측정하는 산소명 압법 측정법과 광합성 결과 감소된 이산화탄소의 양을 측정하는 C-14 측정법 등이 있다 (Ko et al., 1997).

※ 용존산소 측정법

$$P_g = P_n + P_p$$

(P<sub>g</sub> : 총일차생산량, P<sub>n</sub> : 순일차생산량, P<sub>p</sub> : 호흡으로 소모한 산소량)

$$----- (5)$$

※ 동위원소 C-14 측정법

$$\text{일차생산량} = \frac{\text{동화된 C}^{14}\text{양}}{\text{주입된 C}^{14}\text{양} \times \text{CO}_2\text{의 농도}} ----- (6)$$

부유식물의 기초생산량은 일정한 해수내의 부유식물의 엽록소 (Chlorophyll-a) 농도를 측정하여 부유식물의 광포화도 (I<sub>s</sub>)와 현재 광

상태 (I), 최대 광합성능력 ( $Q_{max}$ )을 구해,

$$P = \frac{I}{I_s} \times Q_{max} \times Chlorophyll\ a \quad (7)$$

관계에 의해 측정한다 (Ko et al., 1997).

• 생산량/생체량 비  
(Production/biomass ratio, Q/B ratio)

생산량/생체량 (P/B)비는 생산량을 생체량으로 나누어 계산하거나, 만약 둘 (P, B) 중 하나의 추정이 불가능한 경우, 생산량과 생체량간의 관계를 이용하여 추정할 수 있다.

· 회전율 (turnover ratio : T) 이용 :

$$P/\bar{B} = T \text{ (Waters, 1969)} \quad (8)$$

㉞ 동물플랑크톤

동물플랑크톤의 경우, 먹이섭식의 특성에 따라 초식성 동물플랑크톤자 (Calanoids 등)과 육식성 동물플랑크톤 (Euphausiids, Mysids, Amphipods 등)으로 분류하여야 한다.

• 생체량 (Biomass, B)

해양조사나 자원조사에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 ( $t/km^2$ )으로 구한다.

NEMURO 모델을 사용하여 생체량을 추정할 수도 있다.

• 생산량 (Production, P)

생체량  $B_t$ 는  $B_t = N_t \cdot W_t$ 로 표현되며, 생체량의 시간에 따른 순간 변화율은  $\frac{dB}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt} = W \cdot \frac{dN}{dt}$ 이며, 생산율 ( $dP/dt$ )은 생체량 변화율 가운데서 사망으로 인한 감소율을 뺀 값이 되므로,

$$\frac{dB}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt} \quad (9)$$

이다. 식 (9)를 시간  $t_1$ 에서  $t_2$ 까지 적분하면, 이 기간에서의 생산량은

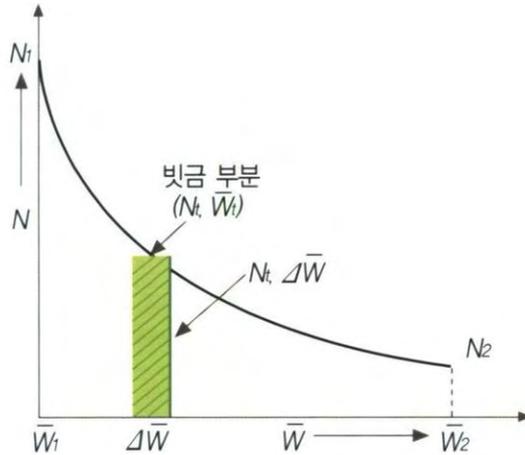
$$P(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} N \cdot \frac{dW}{dt} dt \quad (10)$$

으로 나타낼 수 있다.

생산량은 Allen 곡선을 이용하여 그래프로도 추정이 가능하다 [그림. II-9]. 초기의 개체수 ( $N_1$ )는 한달 후 사망에 의해서  $N_2$ 로 줄어들게 되는 것과 동시에 개체의 중량은  $\bar{W}_1$ 에서  $\bar{W}_2$ 로 증가한다. 이 기간 동안의 생산량  $P_1$ 은  $N_2(\bar{W}_2 - \bar{W}_1)$ 이 된다. 전 조사기간에 걸친 생산량은 각 시간간격에 대한 생산량을 더한 값이 되므로

[그림. II-9]의 곡선에서 빗금부분의 면적이 된다. 즉,

$$P = \sum_{i=0}^m P_i = \sum_{i=0}^m \bar{N}_i (\bar{W}_{i+1} - \bar{W}_i) = \sum_{i=0}^m \bar{N}_i \Delta \bar{W}_i \cong \int_{W_0}^{W_m} N_i dW \text{ ----- (11)}$$



[그림. II-9] Allen 방법에 의한 생산량 추정 이론.

생산량은 순간 성장률 (G)을 사용하여 추정할 수도 있다. 생산율 ( $dP/dt$ )은  $\frac{dP}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt}$  이고,  $\frac{dW}{dt} = W \cdot G$  이므로,

$$\frac{dP}{dt} = N \cdot \frac{dW}{dt} = N \cdot W \cdot G = B \cdot G \text{ ----- (12)}$$

이다. 따라서,

$$P = \bar{B} \cdot G \text{ ----- (13)}$$

또한, 생산량을 추정하는 방법에는 소실량 합산법이 있는데, 이 방법은 생활사가 단순한 생물종의 생산량 추정에 적합하다. 시간 t에서 시간 t+1으로

변하는 동안의 생체량은  $B_t$ 에서  $B_{t+1}$ 로 변동하고, 이 기간 동안에 이입이나 이출이 없다고 가정하면,

$$P = (B_{t+1} - B_t) + E_t \text{ ----- (14)}$$

으로, 여기서,  $E_t$ 는 사망으로 인한 소실량으로, 이다.

• 생산량/생체량 비

(Production/biomass ratio, Q/B ratio)

생산량을 생체량으로 나눈 비로 계산하거나, 만약 둘 (P, B) 중 하나의 추정이 불가할 경우, 보통 어업생물

학자들에 의해 사용되어지는 순간전 사망계수 (Z)가 P/B 값으로 사용될 수 있다 (Allen, 1971).

$$Z = \ln\left(\frac{N_t}{N_{t-1}}\right) \text{-----} (15)$$

또 다른 방법으로 식(8)을 사용하여 회전을 추정에도 의해서도 가능하다.

• **섭식량/생체량 (Q/B) 비**

섭식량/생체량 (Q/B) 비는 생물의 단위 생체량당 먹이 섭식량으로 위내용물 분석에 의해 구한 시간당 섭식량 (Q)을 생체량 (B)으로 나눈 비로, 생물그룹 구성종들의 생체량으로 가중평균해서 추정한다.

• **먹이조성 (DC)**

먹이조성은 생물군간의 피식-포식 관계를 나타내는 것으로, DC<sub>ij</sub>는 포식자 i가 섭식한 먹이 중에서 피식자 j가 차지하는 부분이다. 즉,

$$DC_{ij} = \frac{Q_{ij}}{Q_i}$$

$$\sum_{j=1}^k DC_{ij} = 1 \text{-----} (16)$$

으로, 여기서, Q<sub>i</sub>는 생물 i의 시간당 총 섭식량이고, Q<sub>ij</sub>는 포식자 I에 의해 섭식된 피식자 j의 양이다.

㊤ **저서동물**

저서동물의 경우, 먹이섭식의 특성에

따라 초식자 (고동류, 삿갓조개류, 군부류, 성게류 등), 육식자 (자포동물, 권패류 (대수리, 두드럭고동, 청자고동, 구술우렁이, 좁쌀무늬고동, 대수리류 등), 불가사리류, 갑각류 등), 부유물식자 (다모류, 이매패류, 멍게류), 그리고 퇴적물식자 (이매패류 (*Scrobicularia plana*), 대양조개류 (*Macoma nasuta*), 빛조개, 단각류 (*Corophium volutator*), 갯지렁이류 등)로 분류하여야 한다.

• **생체량 (Biomass, B)**

자원조사 또는 어획조사에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 (t/km<sup>2</sup>)으로 구한다. 어획물 조사에 의한 자원생태학적 특성치를 이용하여 코호트 분석법을 통해 간접적으로 추정할 수도 있다. 또한, 어획량과 어획사망계수의 관계 (B=C/F)로부터 추정할 수도 있다.

· 자원조사 (소해면적법)

$$B = \frac{AC}{aq} \text{ (A : 전체면적(km}^2\text{), C : 어획량, a : 단위시간당 소해면적, q : 어획능률)-----} (17)$$

여기서, 트롤 어구가 단위 시간당 훑은 면적 (a)은 배의속도 (v)와 그물이 물속에서 열린 상태 (X=그물이 바다속에서 어획시 벌어진 폭의 길이 (h')/ 그물 폭의 실제 길이 (h), 어획 시간 (t) 등으로 표시되는데

$$a = t \times v \times h \times X$$

로 나타낼 수 있다.

**【적 용 예】** 배의 속도는 5노트, 전개된 그물폭이 8m, 어획능률이 0.5, 시간당 평균어획량이 50kg, 전체 분포해역의 면적이 1,000km<sup>2</sup>일 경우, 생체량은 다음과 같이 추정된다.

$$B = \frac{1,000 \text{ km}^2 \times 50 \text{ kg/hr}}{5 \times 1.852 \text{ km/hr} \times 0.008 \text{ km} \times 0.5} = 1,349,892 \text{ kg}$$

1) 회전율 (turnover ratio : T) 이용 :  $P/B = T$  (Waters, 1969) ----- (18)

2) 척추동물의 경우 :  $P/B = 0.65 \times M^{-0.37}$  (M : body mass, kcal) (Banse and Mosher, 1980)  
----- (19)

3) 생산량이 체장과 관계없는 생물의 경우 :  $P/B = T/10$  (T : annual mean temperature, °C)  
(Johnson and Brinkhurst, 1971) ----- (20)

4) 순간전사망계수 (instantaneous coefficient of total mortality, Z) 이용  
 $P/B = Z$  ----- (21)

5) 성장률 (growth rate, G) 이용  
 $P/B = G$  ----- (22)

무척추동물의 경우는 식 (8)을 사용하여 회전율 추정에 의해서도 가능하다.

• **섭식량/생체량 (Q/B) 비**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

• **먹이조성 (DC)**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

• **생산량 (Production, P)**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

• **생산량/생체량 (P/B) 비**  
생산량/생체량 (P/B)비는 생산량을 생체량으로 나누어 계산하거나, 만약 둘 (P, B) 중 하나의 추정이 불가능한 경우, 생산량과 생체량간의 관계를 이용하여 추정할 수 있다.

• **어획량 (C)**  
현장조사에 의해 어획된 어종별 어업별 면적당 평균 어획량 (단위: t/km<sup>2</sup>/yr)을 구한다.

㉠ **두족류**  
두족류에는 문어류, 오징어류 등이 포함된다.

• **생체량 (Biomass, B)**  
자원조사 또는 어획조사에 의해 직

접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 (t/km<sup>2</sup>)으로 구한다. 어획물 조사에 의한 자원생태학적 특성치를 이용하여 코호트 분석법을 통해 간접적으로 추정할 수도 있다. 또한, 어획량과 어획사망계수의 관계(B=C/F)로부터 추정할 수도 있다.

- **생산량 (P, production)**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.
- **생산량/생체량 (P/B) 비**  
저서동물의 추정 방법과 동일하다.
- **섭식량/생체량 (Q/B) 비**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.
- **먹이조성 (DC)**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.
- **어획량 (C)**  
현장조사에 의해 어획된 어종별 어업별 면적당 평균 어획량 (단위: t/km<sup>2</sup>/yr)을 구한다.

㉠ 어류

- **생체량 (B, biomass)**  
자원조사 또는 어획조사에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 (t/km<sup>2</sup>)으로 구한다. 어획물 조사에 의한 자원생태학적 특성치를 이용하

여 코호트 분석법을 통해 간접적으로 추정할 수도 있다. 또한, 어획량과 어획사망계수의 관계(B=C/F)로부터 추정할 수도 있으며, 표지방류법을 사용하기도 한다.

- 표지방류법(Petersen 모델)

$$\hat{N} = \frac{CX}{x} \quad (\hat{N}: \text{방류시의 자원 개체수, } X: \text{표지방류 개체수, } C: \text{어획개체수, } x: \text{표지어의 재포 개체수}) \text{-----(23)}$$

**【적 용 예】** 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 생체량을 표지방류법으로 추정하였다. 2001년 6월에 조피볼락 표지 방류 조사에서 표지방류 개체수(x)는 14미, 재포 개체수(x)는 4미, 어획 개체수(C)는 320,064미의 결과를 얻었다. 방류시의 자원 개체수(N)은 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{N} = \frac{CX}{x} = \frac{320,064 \times 14}{4} = 1,120,224 \text{ 미}$$

- **생산량 (P, production)**  
동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.
- **생산량/생체량 (P/B) 비**  
저서동물의 추정 방법과 동일하다.

**【적 용 예】** 종그룹의 생산량/생체량 비를 추정하기 위해 기 추정된 소형부어류의 순간전사망계수를 참고문헌을 통해 조사하였다. 이렇게 조사된 소형부어류의 전사망계수를 종별 어획비율에 가중평균하여 소형부어류 그룹의 생산량/생체량

비는 1.180/년으로 추정되었다[표 II-2].

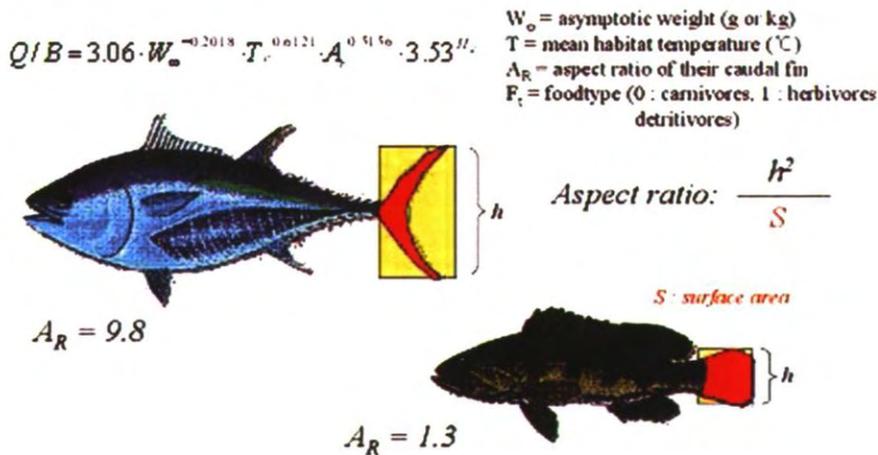
[표 II-2] 소형부어류그룹의 생산량/생체량 비 추정예

Species name	Catch (%)	F	M	Z	Reference
Pacific sardine	0.013	0.233	0.510	0.743	Kim and Kim, 1984
Horse mackerel	0.045	0.909	0.475	1.384	Lee, 2000
Pacific saury	0.001				
Common mackerel	0.397	0.424	0.864	1.288	Choi et al., 2004
Anchovy	0.516	0.030	1.060	1.090	MacCall, 1973
Half beak	0.001				
Sand smelt	<0.001				
Puffers	0.005				
Pacific sand lance	<0.001				
Gizzard-shad	0.017				
Pacific herring	0.006				
Chinese herring	<0.001				
Weighted mean	1.000	0.235	0.945	1.180	

• 섭식량/생체량 (Q/B) 비

섭식량/생체량 (Q/B) 비는 생물의 단위 생체량 당 먹이 섭식량으로 위내용물 분석에 의해 구한 연간 섭식량 (Q)을 생체량 (B)으로 나눈 비로, 생

물군 구성종들의 생체량으로 가중평균해서 추정한다. 또한, Palomares and Pauly(1989)의 방법으로도 추정할 수 있다 [그림 II-10].



[그림. II-10] 꼬리지느러미의 형상비를 이용한 섭식량/생체량 추정방법.

**【적 용 예】** 공치의 섭식량/생체량 비를 Palomares and Pauly(1989)의 방법에 의해 추정하였다. 공치의 경우 이론적 최대체중은 251.3g, 서식수온은 15°C, 꼬리지느러미 형상비는 0.15, 섭이유형은 잡식성으로 0.5를 적용하여 공치의 섭식량/생체량 비는 3.72/년으로 추정되었다.

• 먹이조성 (DC)

어류의 형태학적 특징은 어류의 식성에 대한 간접적인 증거를 제공해 줄 수 있지만, 어류가 무엇을 먹는지에 대한 직접적인 증거로부터 어류의 식성에 대한 확인이 가능하다. 가장 일반적인 방법은 어류의 위(stomach)에서 먹이 생물의 출현 빈도를 조사하는 것이다. 먹이 조성에 대한 설명은 먹이의 상대적 중요도를 포함하여야 한다. 따라서, 위 내용물에서 각각의 먹이 생물을 구분한 후에 위에서 채집된 전체 숫자에 대한 각각의 먹이 생물의 비율로 표시한다. 먹이조성은 생물군간의 피식-포식 관계를 나타내는 것으로,  $DC_{ij}$ 는 포식자  $i$ 가 섭식한 먹이 중에서 피식자  $j$ 가 차지하는 부분이다. 즉,

$$DC_{ij} = \frac{Q_{ij}}{Q_i}$$

$$\sum_{j=1}^k DC_{ij} = 1 \text{-----} (24)$$

으로, 여기서,  $Q_i$ 는 생물  $i$ 의 시간당 총 섭식량이고,  $Q_{ij}$ 는 포식자  $i$ 에 의해 섭

식된 피식자  $j$ 의 양이다.

• 어획량 (C)

현장조사에 의해 어획된 어종별 어업별 면적당 평균 어획량 (단위:  $t/km^2/yr$ )을 구한다.

㉞ 바다새류

• 생체량 (B, biomass)

목시조사 등에 의해 조사된 자원개체수에 평균 중량을 곱하여 서식면적당 평균 생체량 (단위:  $t/km^2$ )으로 구한다.

• 생산량 (P, production)

동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

• 생산량/생체량 (P/B) 비

앞에서 언급한 방법에 의해 추정된 연간 생산량을 평균 생체량으로 나누어 추정한다.

• 섭식량/생체량 (Q/B) 비

동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

• 먹이조성 (DC)

동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

㉟ 최고포식자

생태계마다 차이는 있지만, 일반적으로 최고포식자에는 이빨고래류와 대형

상어류가 포함된다.

- 생체량 (B, biomass)  
 자원조사 또는 목시조사에 의해 직접 추정하여 서식면적당 평균 생체량 (t/km<sup>2</sup>)으로 구한다.
- 생산량 (P, production)  
 동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.
- 생산량/생체량 (P/B) 비  
 어류의 추정 방법과 동일하다.
- 섭식량/생체량 (Q/B) 비  
 동물플랑크톤의 추정 방법과 동일

하다.

- 먹이구성 (DC)  
 동물플랑크톤의 추정 방법과 동일하다.

**【적 용 예】** 소형상어 그룹의 먹이구성비를 다음과 같이 추정하였다. 소형상어 그룹을 구성하고 있는 청새리상어 (blue shark), 곱상어 (spiny dogfish), 칠성상어 (broadnose sevengill shark)의 선호먹이를 조사한 후 소형상어 그룹의 피식종별 먹이구성비를 추정하였다[표 II-3].

[표 II-3] 소형상어 그룹의 먹이구성비

	Species	Importance (Q)	Predator (I)			Weighted imp.	DC
			Blue shark	Spiny dogfish	Broadnose sevengill shark		
Prey (j)	SS			1		5.0	0.083
	CS		1			3.3	0.056
	SP		1	1		8.3	0.139
	LP				1	5.0	0.083
	SD		1		1	8.3	0.139
	BD			1	1	10.0	0.167
	CP				1	5.0	0.083
	BF			1		5.0	0.083
	EP		1			3.3	0.056
	GA		1			3.3	0.056
	IN		1			3.3	0.056
sum			6	4	4	60.0	1.000
Reference imp. (RI)			0.2	0.2	0.2		

SS : Small sharks, CS : Common squid, SP : Small pelagic fish, LP : Large pelagic fish,  
 SD : Semi-demersal fish, BD : Benthic demersal fish, CP : Cephalopods, BF : Benthic feeders,  
 EP : Epifauna, GA : Gastropods, IN : Infauna

• 어획량 (C)

현장조사에 의해 어획된 어종별 어업별 면적당 평균 어획량 (단위: t/km<sup>2</sup>/yr)을 구한다.

② NEMURO 모델

영양염 - 식물플랑크톤 - 동물플랑크톤 (NPZ; Nutrients - Phytoplankton - Zooplankton) 모델은 해양에서 저차 영양단계 생물들의 역학을 잘 표현하는 유용한 도구이다. NPZ 모델에 대한 연구는 대개 간단한 모델의 완벽한 이해로부터 시작해서, 간단한 모델로 해양현상을 시뮬레이션하고 설명할 수 없을 때에는 점차 더 복잡한 모델을 사용한다. 흔히, 생태계 모델링의 결과는 실제 해양현상과는 다르게 나타날 수 있지만, NPZ 모델은 생태계 역학의 일부이긴 하지만 저차영양단계의 실제적인 현상을 표현하는데 유용하다고 알려져 있다 (Franks, 2002). NPZ 모델을 비롯한 생태계 모델의 적용은 모의실험을 통해서 생태계 구조를 실제 환경에 근접하게 표현하는 데에 목적을 두고 있다 (Kim and Cho, 1998).

NPZ 모델의 하나로 북태평양 해역을 대상으로 개발된 NEMURO 모델은 세계 여러 나라의 과학자들이 2000년 일본의 NEMURO에서 개최한 워크숍에서 개발되었다. NEMURO 모델은 모델의 변수들을 평가하고, 모델의 기준 정점을 선정해서 채택된 자료들을 모델에 적용 비교하여 지역적인 대조 작업을 수행하였다. 참가자들은 기본 모델의 이름

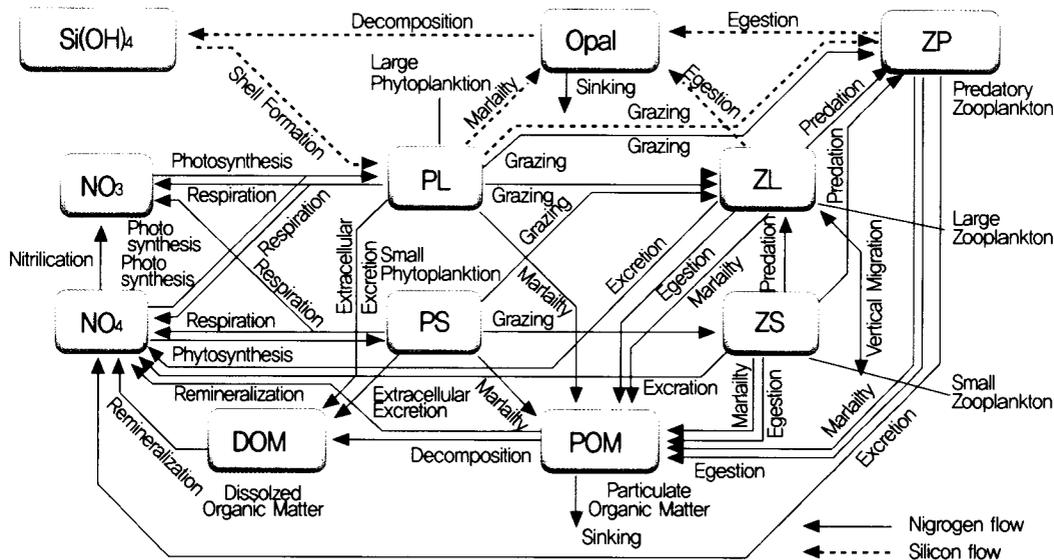
을 NEMURO, 지역 해양학을 위한 북태평양 생태계 모델 (NEMURO; North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography)이라 명명했다 (Eslinger et al., 2002).

NEMURO 모델은 북태평양의 다양한 해양현상을 해석하고 이해하기 위하여 여러 지역에 적용되었다. NEMURO 모델은 일차원 수직혼합모델을 포함시켜 정점 A-7 (Yamanaka et al., 2004)과 KNOT (Fujii et al., 2002)에 적용된 바 있으며, Aita et al. (2003)은 삼차원 수직혼합모델을 NEMURO 모델에 결합하여 정점 P, A-7과 KNOT에 적용하였다. Yoshie et al. (2003)은 정점 A-7에 동물플랑크톤 수직회유 효과를 평가하는데 이 모델을 사용하였으며, Kishi et al. (2004)은 서부 태평양의 입자 유동 시뮬레이션을 위하여 NEMURO 모델을 사용하였다. 최근 fish bioenergetics 성장 모델과 NEMURO 모델이 결합된, NEMURO.FISH 모델이 개발되어 북동태평양 청어와 북동태평양 정어리에 적용되었다 (Ito et al., 2004; Megrey et al., 2006). 한편, 어류의 성장에 대한 기후 효과를 조사하기 위해 이 NEMURO.FISH 모델에 생지구화학적 부분을 결합시킨 모델이 최근 개발 중에 있다 (Megrey et al., 2006).

NEMURO 모델은 해양의 저차생태계를 기반으로 하여, 차분 방정식과 처리 방정식으로 11가지 인자들에 대한 초

기값과 이들 사이의 변동과정으로 구성 되어있다. 각각의 구성 인자들은 질산염 (NO<sub>3</sub>), 암모늄 (NH<sub>4</sub>), 입자형 유기질소 (PON), 용존 유기질소 (DON), 입자형 유기규소 (Opal), 규산염 (Si(OH)<sub>4</sub>), 소형 식물플랑크톤 생체량 (PS), 대형 식물플랑크톤 생체량 (PL), 소형 동물플랑크톤 생체량 (ZS), 대형 플랑크톤 생체량 (ZL), 그리고 포식형 동물플랑크톤 생체량 (ZP)이다. [그림. II-11]은

NEMURO 모델의 개요도로서 동·식물플랑크톤과 영양염 사이의 에너지 흐름을 나타내고 있다. 직선은 질산염, 점선은 규산염의 흐름을 나타낸다. 각 인자들 사이의 관계는 영양염과 식물플랑크톤의 광합성, 호흡, 분해, 질산화 작용, 침강과 동물플랑크톤의 사망, 호흡, 섭이, 배설, 수직회유 등이 관여된다[그림. II-11].



[그림. II-11] NEMURO 모델의 개요도. 11가지 구성요소들 사이의 질소(직선)와 규소(점선)의 흐름을 보여준다 (Kishi et al., 2006).

아래의 식 25과 26은 비선형 최소자승법을 사용하여 수온과 태양복사에너지 자료를 각각의 정현 (sinusoid) 함수식으로 나타낸 것이다. NEMURO 모델 내의 입력 자료는 일일 자료가 사용되며, 이에 따라 추정되는 동·식물플랑크톤의 생체량 및 영양염 역시 일일 단위

로 추정된다.

$$7.9 + (17.6 \cdot 0.5 \cdot (1 - \cos(\frac{2 \cdot \pi \cdot (DAY - 30)}{365})))$$

----- (25)

$$0.075 + (0.06 \cdot 0.5 \cdot (1 - \cos(\frac{2 \cdot \pi \cdot (JDAY+7)}{365})))$$

----- (26)

여기서, JDAY는 율리우스일 (Julian day)로 각 년도의 1일부터 365일을 의미한다.

NEMURO 모델로 추정된 영양염과 동·식물플랑크톤의 계절적 변동현상에 대한 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해서, 모델에서 추정된 식물플랑크톤 농도와 남해도 남안에서 실측한 클로로필 a 값의 상관관계를 구하였다. 추정된 식물플랑크톤의 생체량은 소형과 대형으로 나뉘어진 값들을 더해서 사용하였다. 관측된 클로로필 a 값은 월평균치이므로 추정된 식물플랑크톤의 생체량도 월평균치를 구하여 사용하였다.

NEMURO 모델은 NPZ 모델로서 크게 세 가지 상태 변수 (영양염-식물플랑크톤-동물플랑크톤)에 대한 방정식이 큰 골격을 이룬다. 이 방정식들은 식물플랑크톤의 빛에 대한 반응,  $f(I)$  식물플랑크톤의 영양염 흡수  $g(N)$ , 동물플랑크톤의 섭이  $h(P)$ , 그리고 식물플랑크톤  $i(P)$ 과 동물플랑크톤  $j(Z)$ 의 사망, 배설과 모델 내에 포함되지 않은 생물에 의한 포식에 의한 손실 등이다 (Parsons et al., 1984; Franks, 2002). 먼저, 빛에 대한 식물플랑크톤의 반응은 식 27

$$f(I) = \frac{I}{I_0} \exp(1 - \frac{I}{I_0})$$

----- (27)

과 같이 나타내어 사용하였다.

여기서,  $I$ 는 광도이며,  $I_0$ 는 광합성이 최대일 때의 광도이다.

일반적으로 대부분의 식물플랑크톤에 의한 영양염 흡수  $g(N)$ 은 포화한 직각 쌍곡선인 Michealis-Menten 방정식에 의해 식 28과 같이 나타낸다.

$$g(N) = \frac{V_m \times N}{k_s + N}$$

----- (28)

여기서,  $V_m$ 은 최대 영양염 흡수율이며,  $K_s$ 는 영양염 흡수율이 최대의 절반 정도인 경우의 기저농도,  $N$ 은 영양염의 농도이다.

동물플랑크톤의 섭이  $h(P)$ 에 관한 방정식은 식 29와 같이 모델을 안정화 할 수 있는 섭이 한계 (grazing thresholds)가 포함된 것이다.

$$h(P) = R_{max} [1 - \exp(-\lambda(P_0 - P))]$$

----- (29)

여기서,  $R_{max}$ 는 동물플랑크톤의 최대 섭이량,  $P_0$ 는 식물플랑크톤의 농도,  $P$ 는 식물플랑크톤의 최소 또는 한계 농도, 그리고  $\lambda$ 는 비례상수이다.

식물플랑크톤  $i(P)$ 와 동물플랑크톤  $j(Z)$ 의 사망 또는 감소를 나타내는 방정

식은 동·식물플랑크톤의 생체량이 많은 경우 사망률도 높은 밀도 종속적 변동을 나타내는 식 30과 식 31으로 나타내었다.

$$i(P) = \varepsilon P \text{ ----- (30)}$$

$$j(Z) = \varepsilon Z \text{ ----- (31)}$$

MorPLn, MorZSn, MorZLn 그리고 MorZPn는 각 동·식물플랑크톤의 사망률 (Mortality rate)이다. ExcPSn와 ExcPLn은 소형과 대형 식물플랑크톤의 세포외배출률 (Extracellular excretion rate)이다. 그리고 ExcZSn, ExcZLn, ExcZPn은 각 동물플랑크톤의 암모늄 (NH<sub>4</sub>)의 배설률 (Excretion rate)이다. EgeZSn, EgeZLn, EgeZPn는 각 동물플랑크톤의 입자형 영양염

$$PS = GppPSn - ResPSn - MorPSn - ExcPSn - GraPS2ZSn - GraPS2ZLn \text{ ----- (32)}$$

$$PL = GppPLn - ResPLn - MorPLn - ExcPLn - GraPS2ZLn - GraPL2ZPn \text{ ----- (33)}$$

$$ZS = GraPS2ZSn - GraZS2ZLn - MorZSn - ExcZSn - EgeZSn - GraZS2ZPn \text{ ----- (34)}$$

$$ZL = GraPL2ZLn + GraZS2ZLn - MorZLn - ExcZLn - EgeZLn + GraPS2ZLn - GraZL2ZPn \text{ ----- (35)}$$

$$ZP = GraPL2ZPn + GraZS2ZPn - MorZPn - ExcZPn - EgeZPn + GraZL2ZPn \text{ ----- (36)}$$

여기서, 은 동·식물플랑크톤의 사망률이며, P와 Z는 각각의 농도이다.

NEMURO 모델에서 동·식물플랑크톤의 생체량을 구하는 식은 식 32~36에서 소형 식물플랑크톤은 PS, 대형 식물플랑크톤은 PL, 소형 동물플랑크톤은 ZS, 대형 동물플랑크톤은 ZL, 그리고 포식형 동물플랑크톤의 생체량을 구하는 방정식은 ZP로 각각 나타내었다.

여기서, GppPSn은 소형식물플랑크톤의 총기초생산율, GppPLn는 대형 식물플랑크톤의 총기초생산율 (Gross primary production rate)이다. ResPSn와 ResPLn은 각각 소형과 대형 식물플랑크톤의 호흡률이다. MorPSn,

(PON, Opal)의 배설률 (Egestion rate)이다. GraPS2ZSn는 소형 식물플랑크톤이 소형 동물플랑크톤에 섭이되는 비율 (Grazing rate), GraPS2ZLn는 소형 식물플랑크톤이 대형 동물플랑크톤에 섭이되는 비율, GraPL2ZLn과 GraPL2ZPn은 각각 대형 식물플랑크톤이 대형과 포식형 동물플랑크톤에 섭이되는 비율이다. GraZS2ZLn과 GraZS2ZPn은 각각 소형 동물플랑크톤이 대형과 포식형 동물플랑크톤에 섭이되는 비율이며, GraZL2ZPn는 대형 동물플랑크톤이 포식형 동물플랑크톤에 섭이되는 비율이다.

동·식물플랑크톤의 생산량을 구하는

$$PP_{totPS} = GppPS_n \times MLD \text{ ----- (37)}$$

$$PP_{totPL} = GppPL_n \times MLD \text{ ----- (38)}$$

$$PP_{totZS} = (GraPS2ZS_n - ExcZS_n - EgeZS_n) \times MLD \text{ ----- (39)}$$

$$PP_{totZL} = (GraPS2ZL_n + GraPL2ZL_n + GraZS2ZL_n - ExcZL_n - EgeZL_n) \times MLD \text{ ----- (40)}$$

$$PP_{totZP} = (GraPL2ZP_n + GraZS2ZP_n + GraZL2ZP_n - ExcZP_n - EgeZP_n) \times MLD \text{ ----- (41)}$$

식은 식 37~41로 각각 나타내었다.

여기서, 소형 식물플랑크톤은  $PP_{totPS}$ , 대형 식물플랑크톤은  $PP_{totPL}$ , 소형 동물플랑크톤은  $PP_{totZS}$ , 대형 동물플랑크톤은  $PP_{totZL}$ , 그리고 포식형 동물플랑크톤의 생산량을 구하는 방정식은  $PP_{totZP}$ 로 나타내었다. 생산량을 구하는 식의 각 항은 생체량을 구하는 식과 동일하다. MLD는 혼합층의 수심으로 단위는 m이다.

**【적 용 예】** NEMURO 모델을 사용하여 북부 동중국해 저차생태계 분석을 실시하였다 (Lee and Zhang, in press). 2002년부터 2005년까지 시간에 따른 영양염과 동·식물플랑크톤의 변동을 NEMURO 모델을 사용하여 추정 한 결과 대체로 계절변동은 강하고, 경년변동은 약하게 나타났다 [그림. II-12].

식물플랑크톤이 직접 이용하는 세 가지 영양염 중 질산염 ( $NO_3$ )과 암모늄 ( $NH_4$ )의 농도 변화는 4월부터 급격한 증가를 보여, 6월에 가장 높은 값을 나타내었다. 6월 이후 감소한 질산염과 암모늄 농도는 10월에 가장 낮아졌다 [그

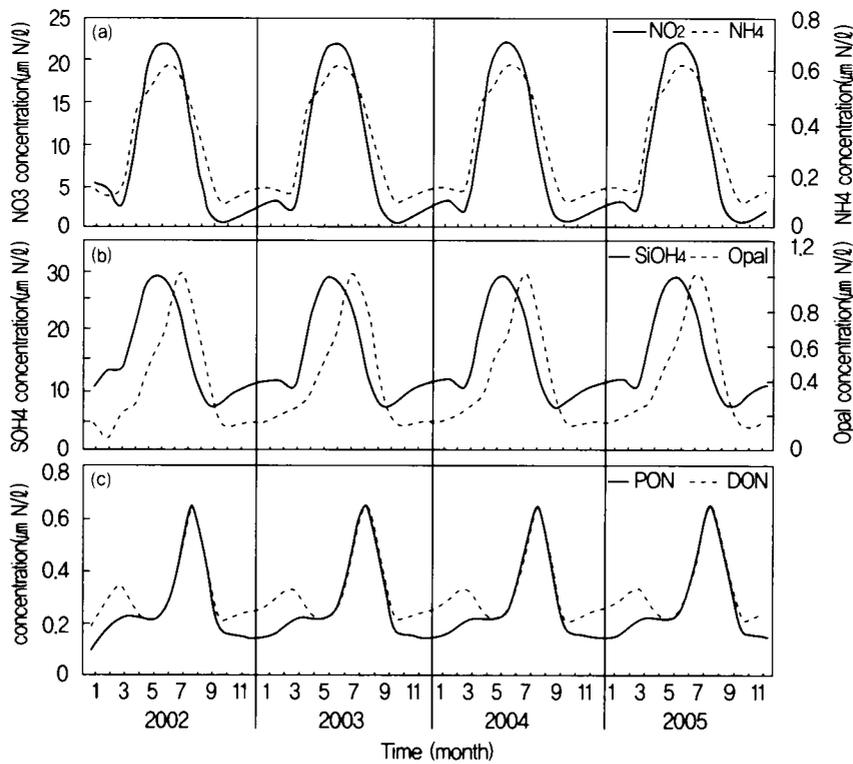
림. II-12]. 규산염의 농도 역시 4월부터 영양염의 농도가 급격히 증가하여 6월에 최대값에 달한 후 감소하였다. 그러나 최소값을 나타내는 시기는 질산염과 암모늄보다 한달 이른 9월이었다 [그림. II-12]. 동·식물플랑크톤에 의한 부산물로 나타나는 영양염은 입자형 유기규소, 용존 유기질소와 입자형 유기질소이며, 이들은 식물플랑크톤이 직접 이용하는 영양염보다 최대값에 이르는 시기가 한, 두달 느렸다. 먼저 입자형 유기규소는 5월부터 뚜렷한 증가를 보이며 7월에 최대값에 달하였고, 10월에 최소값을 보였다 [그림. II-12]. 입자형 유기질소와 용존 유기질소는 7월부터 9월까지 농도가 높았고, 그 중 8월이 가장 높았다. 최소값을 가지는 시기는 달랐는데, 입자형 유기질소는 1월에, 용존 유기질소는 5월로 나타났다 [그림. II-12].

식물플랑크톤의 생체량의 변동은 일년에 두 번의 대발생을 하였다 [그림. II-13]. 소형 식물플랑크톤은 3월과 8월에 대발생을 하였으며, 이 기간 6월과 10월에 생체량이 낮았다. 대형 식물플랑크톤은 3월과 7월에 대발생을 하였으

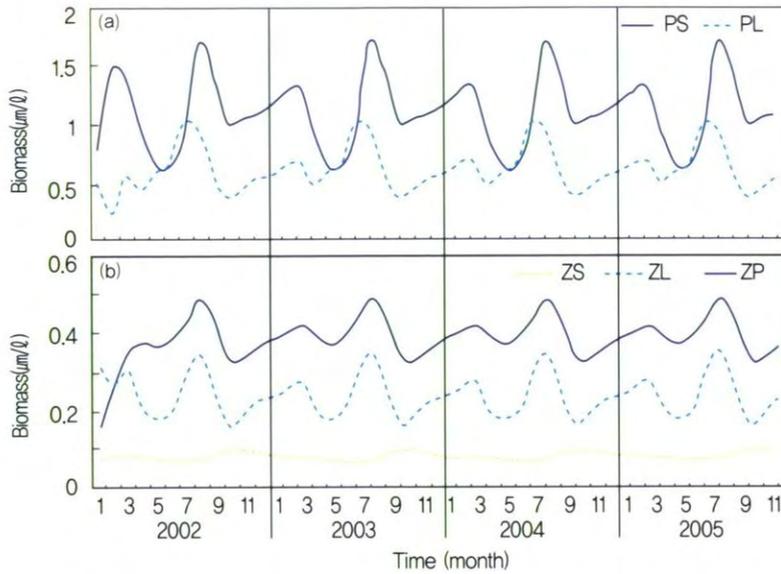
며, 생체량이 낮았던 시기는 4월과 10월이었다. 대형 식물플랑크톤은 소형 식물플랑크톤에 비하여 4월의 생체량 감소가 뚜렷하지 않았다. 소형 식물플랑크톤은 8월과 6월에 각각 최대 생체량과 최소 생체량을 나타내었다. 대형 식물플랑크톤의 최대 생체량은 소형 식물플랑크톤보다 한달 앞선 7월에 나타났으며, 최소 생체량은 10월에 나타났다[그림. II-12].

동물플랑크톤은 소형을 제외한 대형과 포식형의 경우에 식물플랑크톤과 유

사하여 생체량이 높은 시기가 2회 나타났다. 소형 동물플랑크톤의 생체량이 가장 높은 시기와 낮은 시기는 각각 10월과 7월이었고, 뚜렷한 2개의 극대기를 가지지 않았다. 대형과 포식형 동물플랑크톤은 3월과 8월에 극대기를 가졌으며, 5월과 10월에 낮은 생체량을 가졌다. 생체량이 높은 시기였던 3월과 8월 중 8월이 주된 극대기였으며, 최저 생체량을 나타낸 시기는 10월이었다[그림. II-12].



[그림. II-12] 동중국해 북부에 대해 4년 주기로 예측된 영양염 농도



[그림. II-13] 동중국해 북부에 대해 4년주기로 예측된 (a)식물플랑크톤, (b) 동물플랑크톤 생체량

(라) Ecopath 모델 사용방법

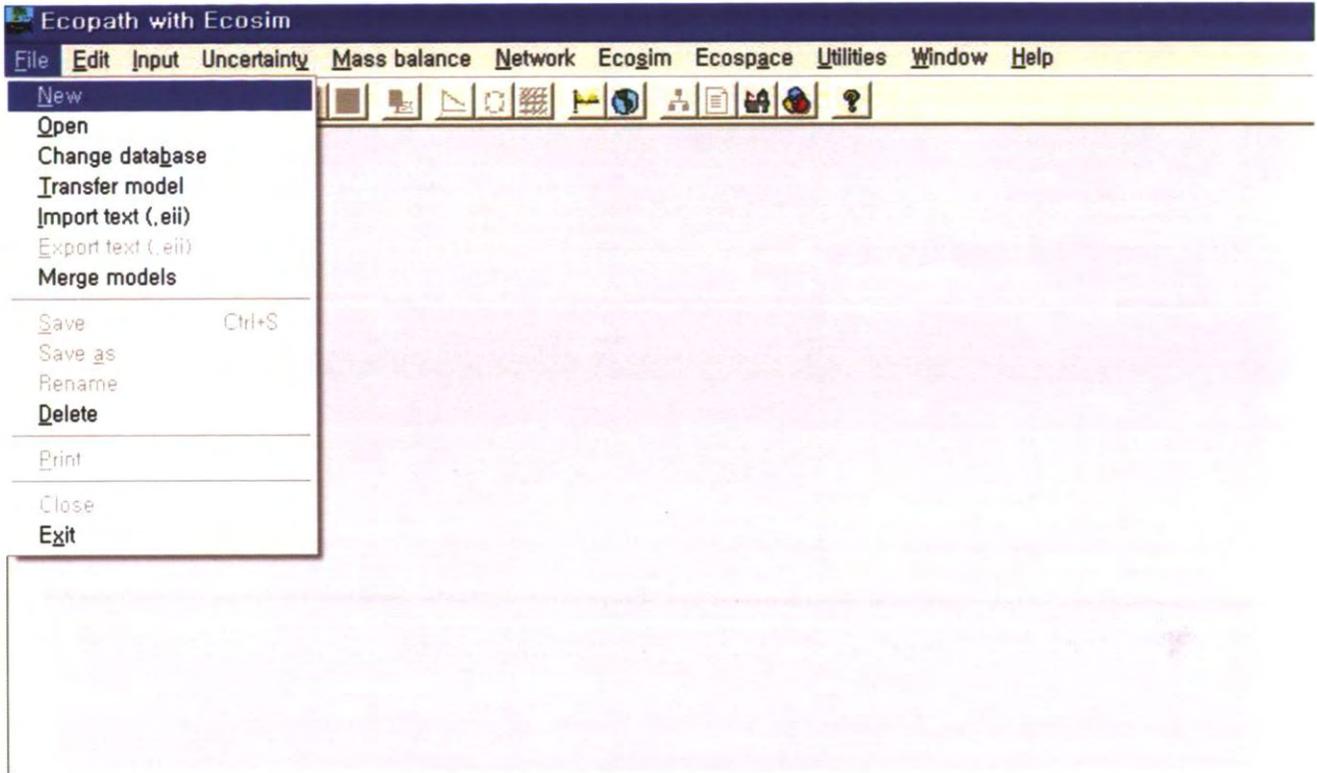
① 기본입력자료의 입력

기본 입력자료의 추정이 완료되면 Ecopath 모델에 기본입력자료를 입력해서 생태계 구조, 영양단계, 상대적인 공헌도 등 결과를 추정해야 한다. Ecopath 모델은 Ecopath 모델 홈페이지(www.ecopath.org)에서 회원가입 후 무료로 다운받을 수 있다. Ecopath 모델의 입력순서는 다음과 같다.

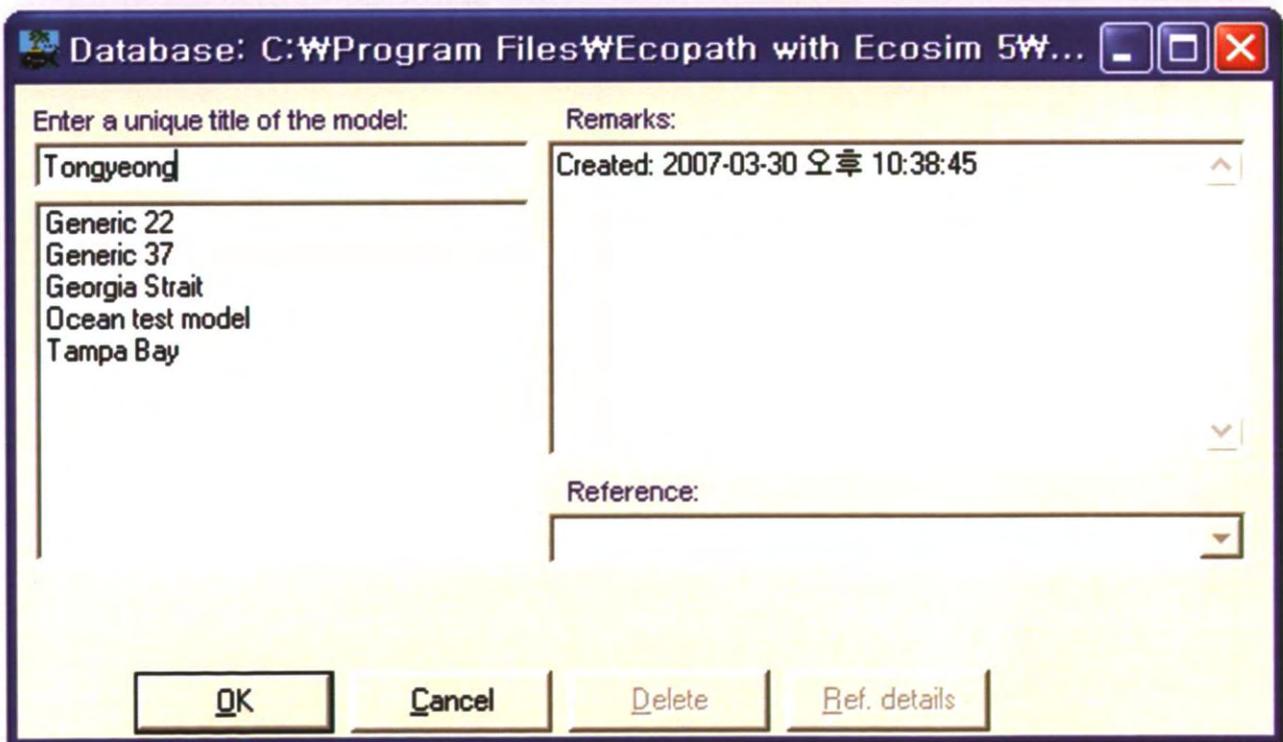
- ㉑ Ecopath 모델을 실행하여 “New” 버튼을 클릭한다[그림. II-14].
- ㉒ 파일명을 입력한 후 “OK” 버튼을 클릭한다[그림. II-15].
- ㉓ “Edit” 메뉴의 “insert group, multi stanza” 메뉴를 선택하여 그룹명을 입력한 후 “OK” 버튼을 클릭한다.[그림. II-16].

여기서, 생산자는 “producer” 항목을 클릭하여 설정하고, 그 외 소비자는 “consumer” 항목을 클릭하여 설정한다[그림. II-16].

- ㉔ 기 추정된 기본입력자료(생체량, 생산량/생체량 비, 섭식량/생체량 비)를 입력한다[그림. II-17].

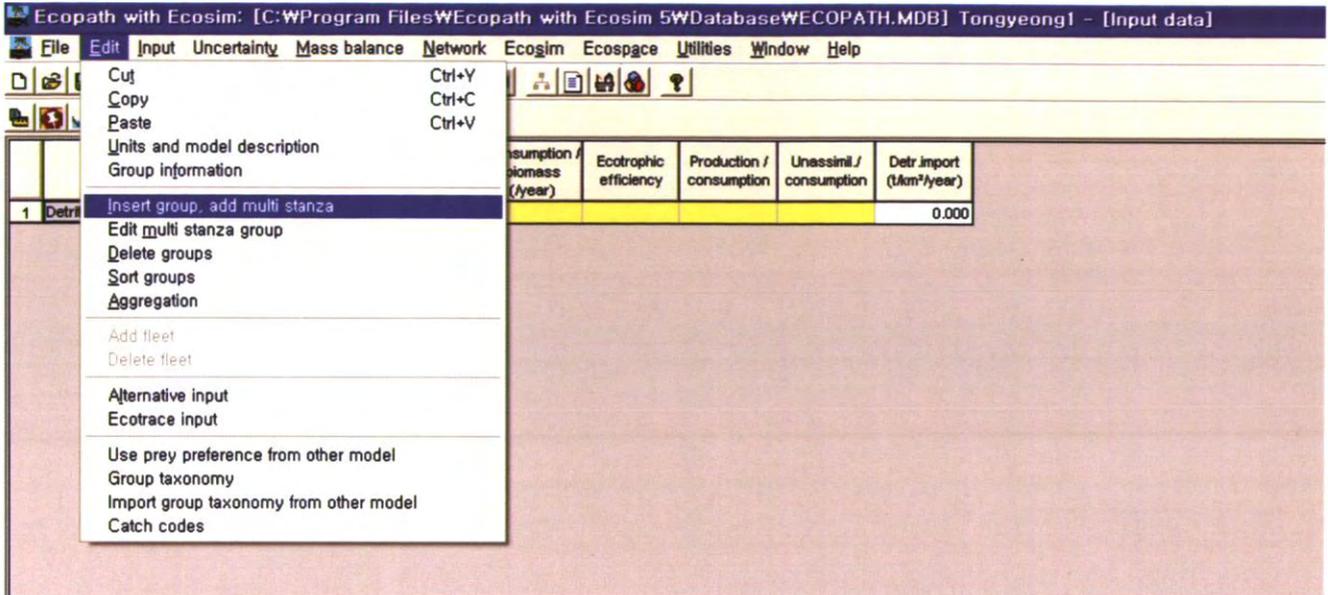


[그림. II-14] Ecopath 실행화면.

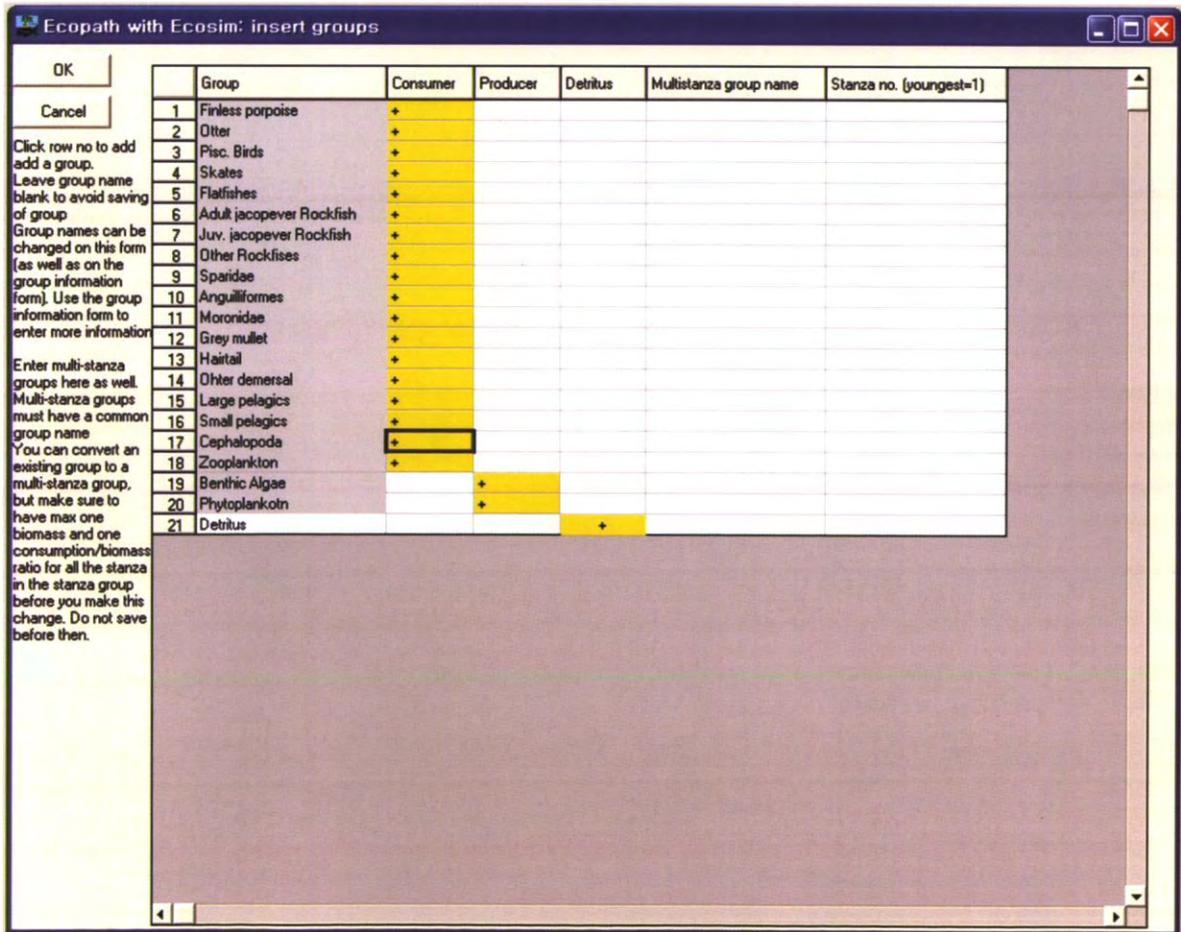


[그림. II-15] 모델 이름 입력화면.

(가)



(나)



[그림. II-16] 그룹명 입력 화면.

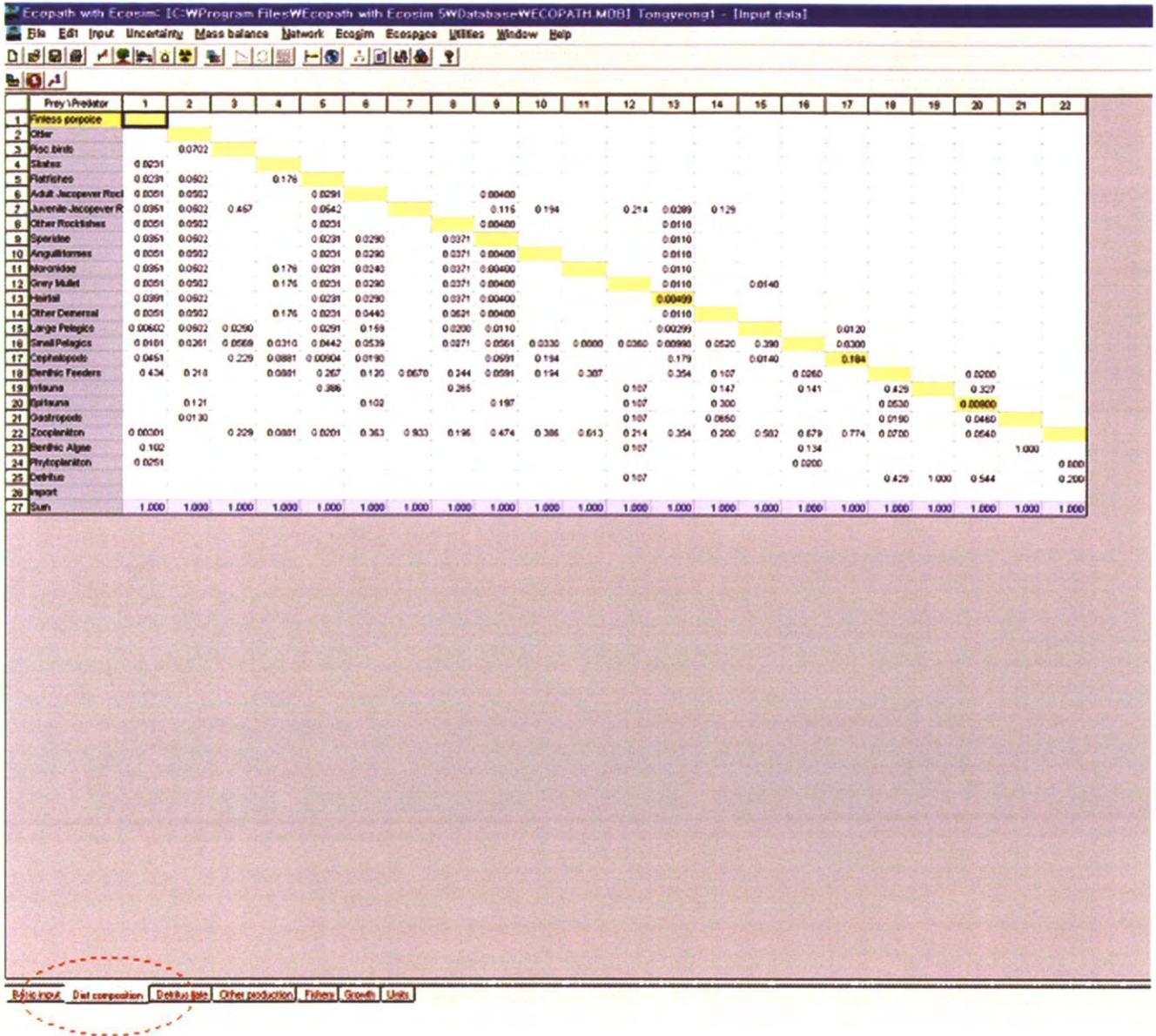
Ecopath with Ecosim: [C:\WProgram Files\Wecopath with Ecosim 5\Database\WECOPATH.MDB] Tongyeong1 - [Input data]

File Edit Input Uncertainty Mass balance Network Ecogim Ecospace Utilities Window Help

	Group name	Habitat area (fraction)	Biomass in hab. area (t/km <sup>2</sup> )	Production / biomass (/year)	Consumption / biomass (/year)	Ecotrophic efficiency	Production / consumption	Unassimil./ consumption	Detrit import (t/km <sup>2</sup> /year)
1	Finless porpoise	1.000	0.00400	0.0200	13.108			0.200	
2	Otter	1.000	0.00100	0.0600	91.250			0.200	
3	Pisc.birds	1.000	0.01000	0.800				0.200	
4	Skates	1.000						0.200	
5	Flatfishes	1.000						0.200	
6	Adult Jacopever Rockfis	1.000						0.200	
7	Juvenile Jacopever Rock	1.000						0.200	
8	Other Rockfishes	1.000						0.200	
9	Sparidae	1.000						0.200	
10	Anguilliformes	1.000						0.200	
11	Moronidae	1.000						0.200	
12	Grey Mullet	1.000						0.200	
13	Hairtail	1.000						0.200	
14	Other Demersal	1.000						0.200	
15	Large Pelagics	1.000						0.200	
16	Small Pelagics	1.000						0.200	
17	Cephalopods	1.000						0.200	
18	Benthic Feeders	1.000						0.200	
19	Infauna	1.000						0.200	
20	Epifauna	1.000						0.200	
21	Gastropods	1.000						0.200	
22	Zooplankton	1.000						0.200	
23	Benthic Algae	1.000							
24	Phytoplankton	1.000							
25	Detritus	1.000							0.000

Basic input | Diet composition | Detritus fate | Other production | Fishery | Growth | Units

[그림. II-17] 기본 입력자료 입력 화면.

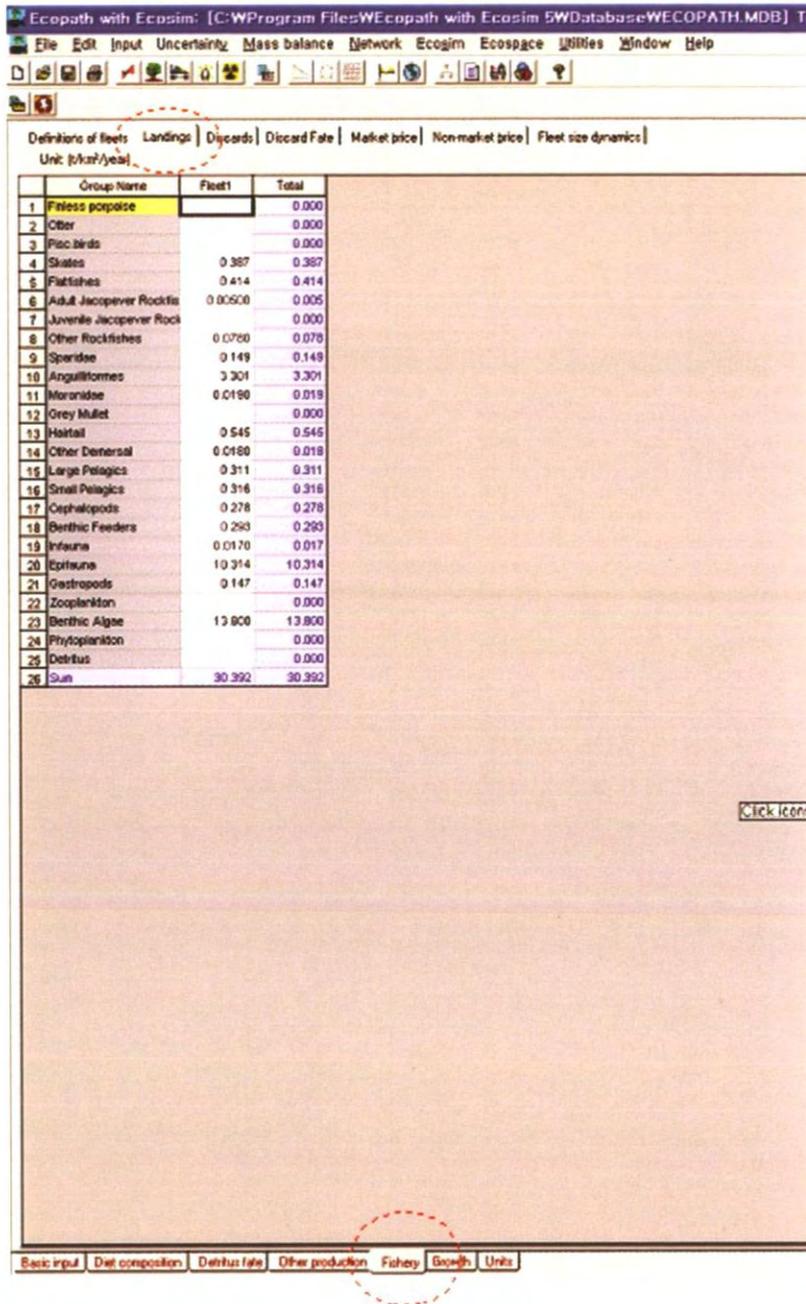


[그림. II-18] 먹이조성비 입력 화면

㉔ 화면 하단의 두번째 “Diet composition” 탭을 클릭하여 그룹별 먹이조성비를 입력한다[그림. II-18].

㉕ 화면 하단의 다섯 번째 "Fishery" 탭을 클릭하고 화면상단의  아이콘

(add new gear/fleet)을 클릭하여 두 번째 “Landing” 버튼을 클릭한 후 그룹별 어획량을 입력한다[그림 II-19].



[그림. II-19] 그룹별 어획량 입력 화면.

② 기본추정치(Basic estimates) 확인

화면 상단의  아이콘(basic estimates)을 클릭한다 [그림. II-20]. 기본추정치 화면에서는 각 생물군별 영양단계 및 생태영양효율(Ecotrophic efficiency, EE)를 확인할 수 있다. 그

리고, 화면상단의  버튼을 클릭하면 해당 생태계의 여러 가지 기본정보(system statistics)를 확인할 수 있다 [그림. II-21].

File Edit Input Uncertainty Mass balance Network Ecogim Ecospace Utilities Window Help

Results form: displays mass-balance solution

	Group name	Trophic level	Habitat area	Biomass in habitat area (t/ha <sup>2</sup> )	Biomass (t/ha <sup>2</sup> )	Prod./biom. (/year)	Cons./biom. (/year)	Ecotrophic efficiency	Production / consumption
1	Finless porpoise	3.75	1.000	0.00400	0.00400	0.020	13.100	0.000	0.002
2	Other	4.12	1.000	0.00100	0.00100	0.000	91.250	0.000	0.001
3	Piscibirds	3.86	1.000	0.01000	0.01000	0.800	60.000	0.801	0.013
4	Skates	4.13	1.000	3.503	3.503	1.365	2.560	0.091	0.533
5	Flatfishes	3.90	1.000	1.051	1.051	1.365	2.490	1.393	0.548
6	Adult Jacopever Rockf	3.05	1.000	1.920	1.920	1.386	10.790	0.035	0.128
7	Juvenile Jacopever Ro	3.04	1.000	3.606	3.606	2.772	37.176	0.765	0.075
8	Other Rockfishes	3.54	1.000	0.136	0.136	1.366	12.061	0.889	0.113
9	Sparidae	3.43	1.000	0.549	0.549	1.309	2.900	1.242	0.524
10	Argulliformes	3.99	1.000	0.659	0.659	1.366	2.600	4.434	0.533
11	Moronidae	3.25	1.000	0.596	0.596	1.055	26.160	3.957	0.040
12	Grey Mullet	3.09	1.000	1.922	1.922	1.200	2.500	1.038	0.490
13	Haftal	3.58	1.000	0.528	0.528	1.360	2.600	1.791	0.523
14	Other Demersal	3.30	1.000	2.400	2.400	1.055	16.290	1.065	0.099
15	Large Pelagics	3.37	1.000	1.606	1.606	2.214	3.000	1.093	0.736
16	Small Pelagics	2.86	1.000	2.536	2.536	2.700	3.500	1.163	0.771
17	Cephalopods	3.28	1.000	0.953	0.953	3.900	11.333	1.379	0.291
18	Benthic Feeders	2.60	1.000	8.740	8.740	2.534	7.100	1.235	0.357
19	Trifuna	2.00	1.000	30.695	30.695	1.722	11.226	1.631	0.153
20	Epifuna	2.47	1.000	26.421	26.421	0.717	5.777	1.639	0.124
21	Gastropods	2.00	1.000	7.930	7.930	1.703	5.777	0.868	0.295
22	Zooplankton	2.00	1.000	15.965	15.965	9.000	22.000	1.287	0.403
23	Benthic Algae	1.00	1.000	27.000	27.000	534.068	-	0.004	-
24	Phytoplankton	1.00	1.000	71.001	71.001	170.000	-	0.023	-
25	Detritus	1.00	1.000	-	-	-	-	0.030	-

Basic estimates | Energy indices | Mortalities | Consumption | Respiration | Niche overlap | Electivity | Search rates | Fishery | Modified diet

[그림. II-20] 기본추정치 출력 화면.

System statistics: Tongyeong

Parameter	Value	Units
Sum of all consumption	1218.086	t/km <sup>2</sup> /year
Sum of all exports	25807.000	t/km <sup>2</sup> /year
Sum of all respiratory flows	682.989	t/km <sup>2</sup> /year
Sum of all flows into detritus	26301.560	t/km <sup>2</sup> /year
Total system throughput	54010.000	t/km <sup>2</sup> /year
Sum of all production	26784.000	t/km <sup>2</sup> /year
Mean trophic level of the catch	2.01	
Gross efficiency (catch/net p.p.)	0.001147	
Calculated total net primary production	26490.010	t/km <sup>2</sup> /year
Total primary production/total respiration	38.785	
Net system production	25807.020	t/km <sup>2</sup> /year
Total primary production/total biomass	126.310	
Total biomass/total throughput	0.004	
Total biomass (excluding detritus)	209.722	t/km <sup>2</sup>
Total catches	30.392	t/km <sup>2</sup> /year
Connectance Index	0.286	
System Omnivory Index	0.179	
Total market value	30.39	EUR
Total shadow value	0.00	EUR
Total value	30.39	EUR
Total fixed cost	0.00	EUR
Total variable cost	24.31	EUR
Total cost	24.31	EUR
Profit	6.08	EUR

Close      Print      Remark

[그림. II-21] 생태계 기본정보 출력 화면.

③ 상대적 기여도(relative contribution)

Network 메뉴의 trophic level decomposition을 클릭하면, 각 생물군이 생태계 내 총 에너지흐름에 대해 얼마

마만큼의 기여를 하고 있는지를 확인할 수 있다 [그림 II-22].

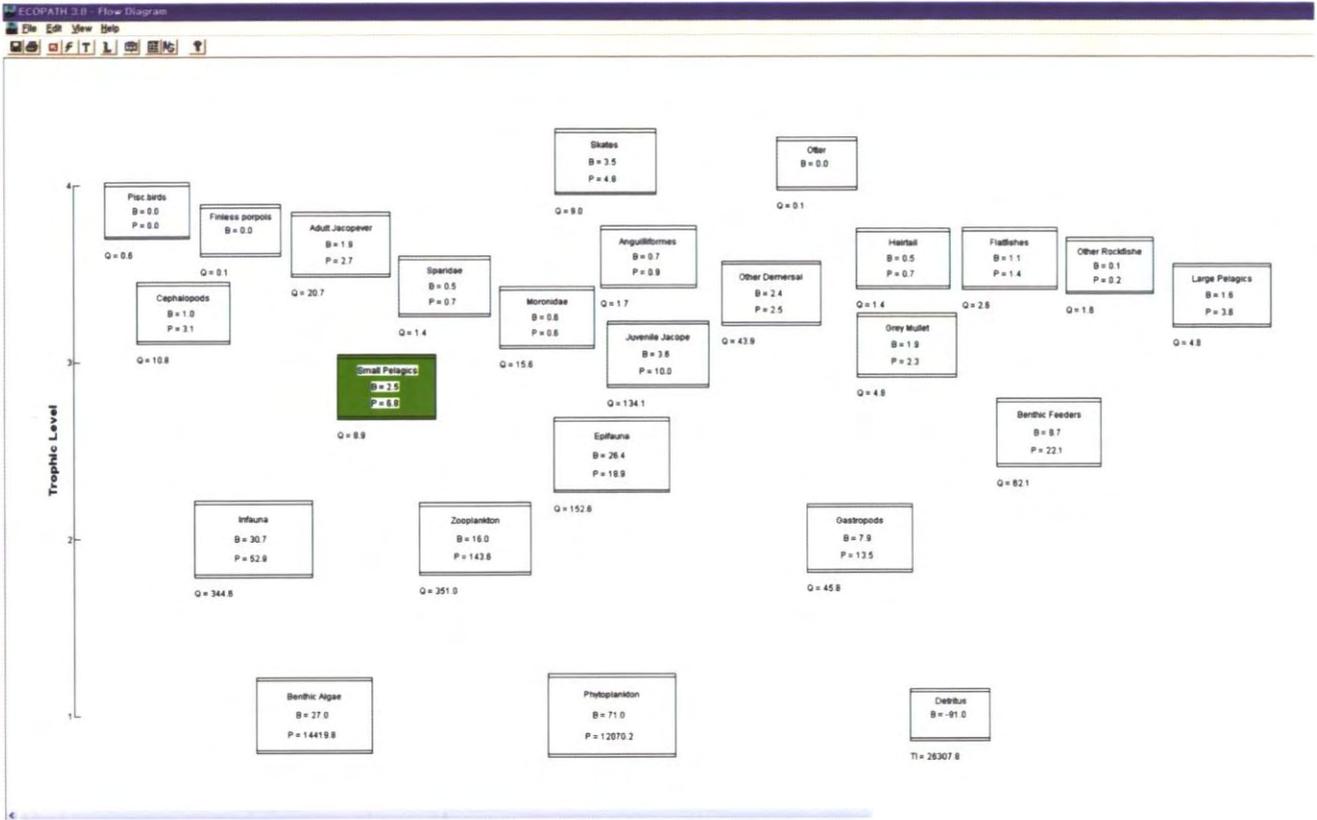
Relative flows (proportions, sum=1)		Absolute flow (t/km <sup>2</sup> /year)										
Group/Trophic level	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
1 Finless porpoise	0.000	0.007	0.010	0.026	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2 Otter	0.000	0.000	0.017	0.050	0.021	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3 Pisc. birds	0.000	0.000	0.143	0.410	0.041	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
4 Skates	0.000	0.000	1.510	5.086	2.127	0.216	0.025	0.003	0.000	0.000	0.000	
5 Flatfishes	0.000	0.000	1.392	0.964	0.228	0.029	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	
6 Adult Jacopever Rockf	0.000	0.000	10.027	7.850	2.650	0.167	0.019	0.003	0.001	0.000	0.000	
7 Juvenile Jacopever Ro	0.000	0.000	128.928	4.912	0.210	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
8 Other Rockfishes	0.000	0.000	0.948	0.515	0.164	0.012	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
9 Speridae	0.000	0.000	0.846	0.474	0.046	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
10 Anguilliformes	0.000	0.000	0.812	0.806	0.079	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
11 Moronidae	0.000	0.000	11.803	3.654	0.129	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
12 Grey Mullet	0.000	1.029	2.365	1.361	0.048	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
13 Hairtail	0.000	0.000	0.700	0.566	0.091	0.013	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	
14 Other Demersal	0.000	0.000	27.620	15.714	0.546	0.022	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
15 Large Pelagics	0.000	0.000	3.106	1.649	0.058	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
16 Small Pelagics	0.000	1.368	7.376	0.126	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
17 Cephalopods	0.000	0.000	8.409	1.900	0.399	0.075	0.014	0.003	0.000	0.000	0.000	
18 Benthic Feeders	0.000	26.621	33.933	1.449	0.049	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
19 Infauna	0.000	344.582	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
20 Epifauna	0.000	83.033	67.232	2.274	0.092	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
21 Gastropods	0.000	45.812	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
22 Zooplankton	0.000	351.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
23 Benthic Algae	14419.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
24 Phytoplankton	12070.170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
25 Detritus	26301.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
26 Total	52791.600	853.462	307.180	49.786	6.989	0.586	0.071	0.010	0.002	0.000	0.000	

[그림. II-22] 상대적 기여도 출력화면.

④ 생태계 구조(ecosystem structure)

화면 상단의  아이콘(flow diagram)을 클릭한다 [그림. II-23]. trophic level 바의 하단을 드래그 하면 전체적인 크기를 조절할 수 있고, 박스의 오른쪽 하단을 드래그하면 박스의 크

기를 조정 할 수 있다.  버튼을 클릭 하면 그룹명을 표시할 수 있다. 박스의 크기는 상대적인 생체량을 나타내며, 박스의 세로위치는 각각의 영양단계를 의미한다.



[그림. II-23] 생태계 구조 출력 화면.

### (마) Ecosim 모델 사용방법

생태계 모델인 생태계 구조 모델 (Ecopath model)은 생태계의 구조를 설명해 주는 다양한 생태계 특성치를 추정하여 대상생태계 영양구조의 정적인 단면을 나타내고, 생태계 역학 모델 (Ecosim model)은 생태계 구조 모델에서 추정된 결과를 바탕으로 어획과 환경의 변화가 생태계에 미치는 영향을 역학적 시뮬레이션으로 보여준다. 생태계 역학 모델에서는 생태계 구조 모델 결과를 바탕으로 여러 가지 옵션을 통해 어획의 변화, 특정 생물군의 변화 및 환경의 변화가 나타났을 때 해당 생태계를 구성하는 생물군간에 어떠한 변화가 나타나는지를 회고 또는 예측할 수 있다. 생태계 역학모델

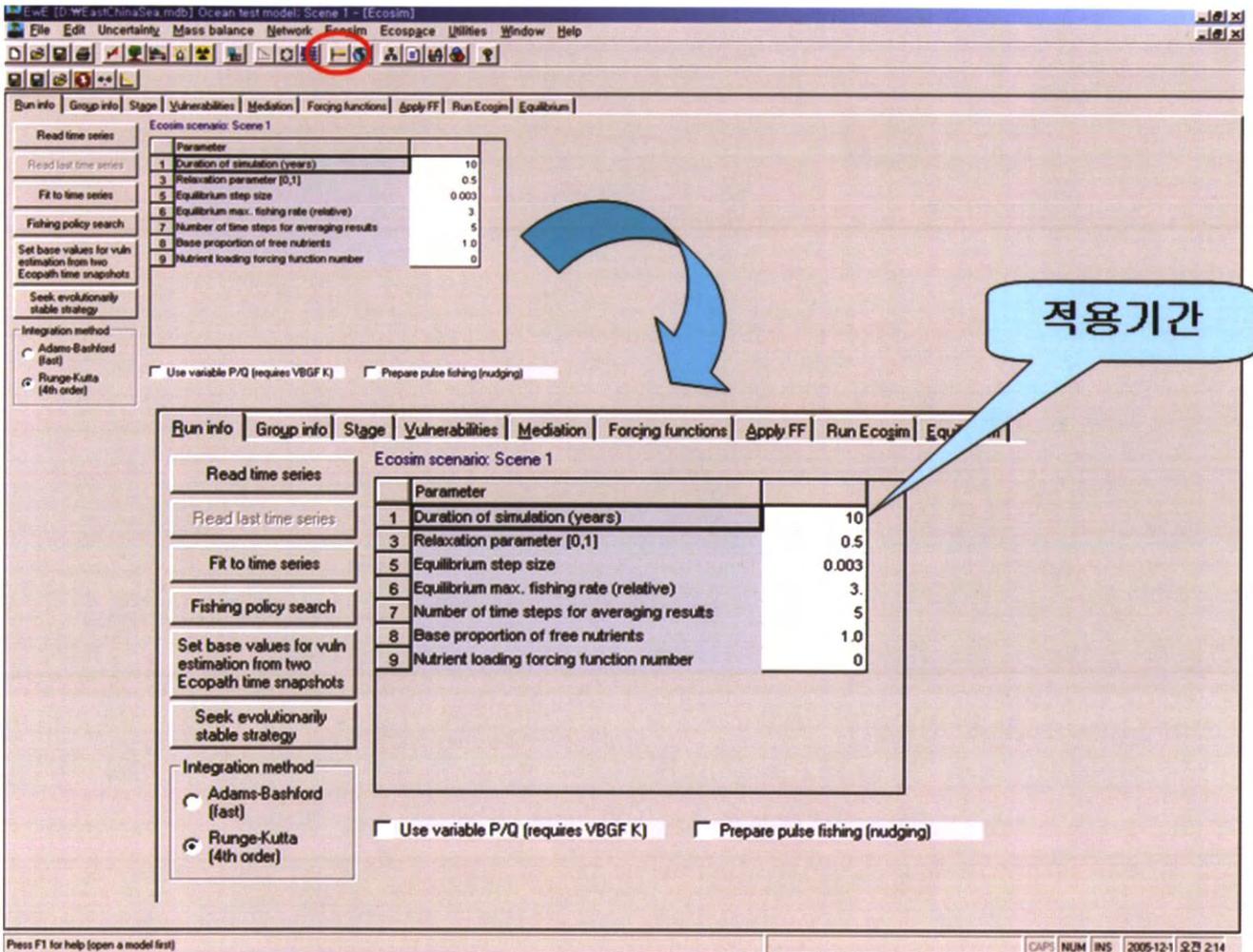
(Ecosim model)은 생태계 구조모델 (Ecopath model)을 근간으로 한다. 즉, 생태계 역학모델을 위해 별도의 파라미터 추정이라든지 기본 입력자료를 요하는 것은 아니다. 본 장에서는 생태계 모델링에 광범위하게 사용되고 있는 생태계 역학 모델 (Christensen and Pauly, 2000)의 구체적인 방법론 설명을 통해 생태계 역학 모델을 사용하려는 사용자에게 이해를 도모코자 한다. 설명에 사용된 모델은 Ecopath 기본 입력 database에 수록되어 있는 "ocean test model"이다.

#### ① 기본입력창

Ecosim 모델을 적용하기 위해서는

“Run info” 창에서 원하는 자료를 입력해야 한다. 그 중에서 시뮬레이션 기간(duration of simulation)을 설정하여 입력한다. 여기서 입력한 기간에 따라

Ecosim 창에서 시뮬레이션 기간이 변경된다. 기본적으로는 10년으로 세팅되어 있다[그림. II-24].



[그림. II-24] Ecosim 모델 적용을 위한 기본 설정 입력

② Vulnerabilities

Ecosim 모델에서는 vulnerabilities 옵션을 통해 생태계의 구조가 하위영양 단계의 변화가 상위영양단계로 영향을 미치는 bottom-up control, 이와 반대인 top-down control, 그리고 이 두가지가 혼합된 mixed control인지에 따

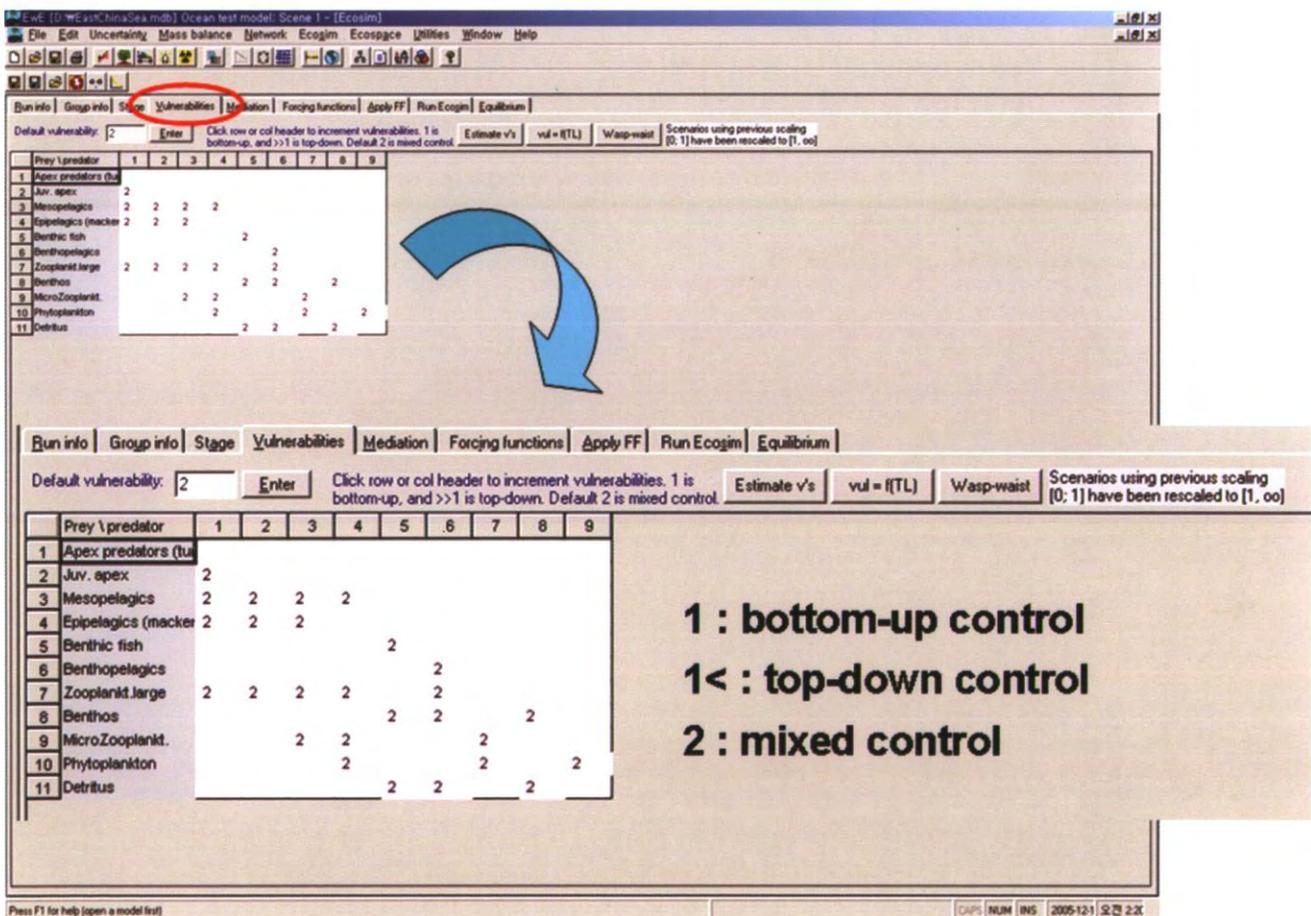
라 그 성격을 규정할 수 있다. 초기값(default value)은 “2(mixed control)”로 세팅되어 있으나 bottom-up control에 따른 변화를 검토할 경우에는 그 값을 “1”로 입력하고 top-down control에 따른 변화를 검토할 경우에는 그 값은 1과 2사이의 값으로 입력하

면 된다[그림. II-25].

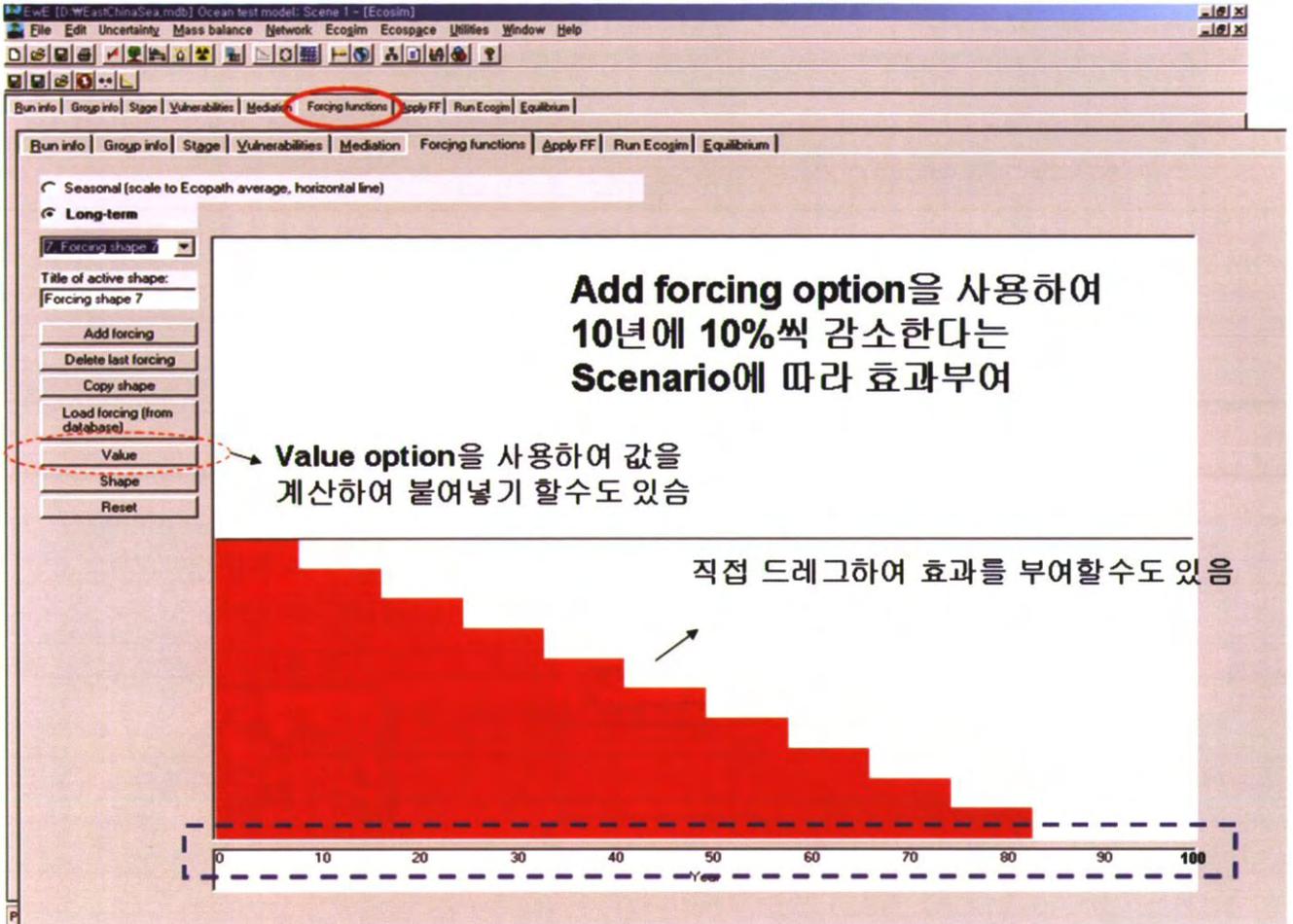
### ③ Forcing function

Forcing function을 통해 시물레이션에 여러 가지 영향을 부여할 수가 있다. 각 생물군별 생체량의 증감, 어획강도의 증감과 같은 주어진 시나리오에 따

른 영향을 이 forcing function을 통해 부여할 수 있다. 본 적용예에서는 10년마다 어떤 생물군의 생체량이 10%씩 감소한다는 시나리오에 따라 value 옵션을 통해 그 값을 계산한 후 입력하였다. 이것은 마우스로 직접 drag하여 효과를 부여할 수도 있다 [그림. II-26].



[그림. II-25] Vulnerabilities 옵션을 통한 효과 부여.



[그림. II-26] Forcing function 옵션을 통해 주어진 시나리오에 따른 영향을 부여.

④ Forcing function의 적용 (apply forcing function)

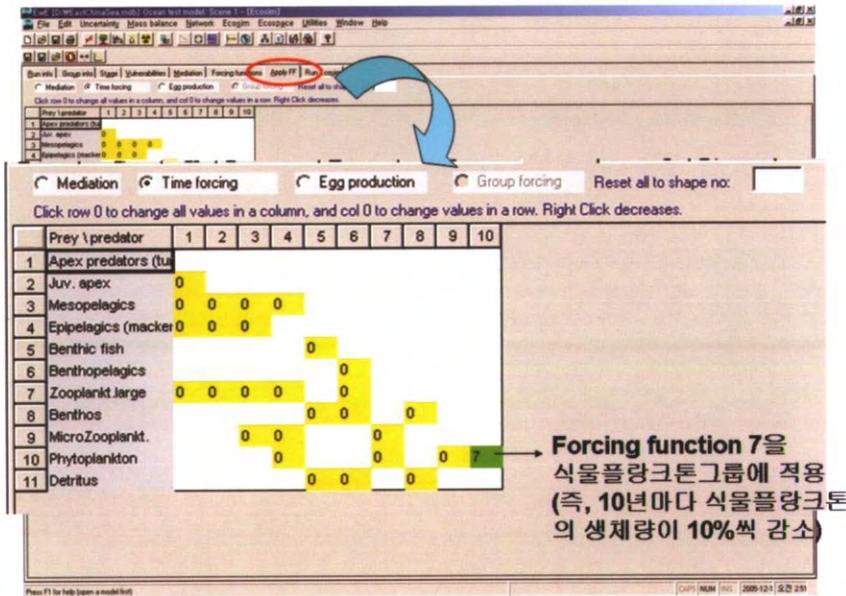
이 옵션에서는 앞서 forcing function에서 정의한 그 효과를 어느 생물군에 적용할 것인가를 결정하는 것이다. 본 적용예에서는 식물플랑크톤의 생체량이 10년마다 10%씩 감소하는 것으로 간주하여 식물플랑크톤에 이러한 forcing function 7의 효과가 입력되어 지도록 규정하였다[그림. II-27].

⑤ Ecosim의 실행 (run ecosim)

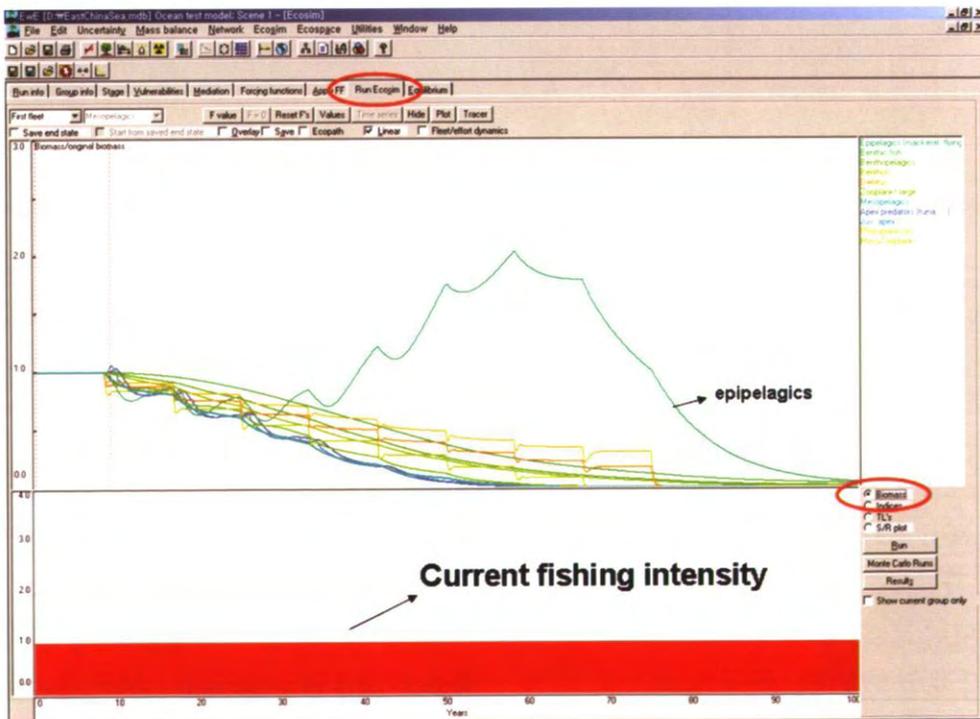
이제 주어진 설정이 완료되면 ecosim을 실행한다. 본 적용예에서는 시뮬레이션 기간을 100년으로 세팅하였고 주어진 효과 (forcing function 7)에 따른 생물군별 생체량을 변화를 시뮬레이션 하였다. 그 결과 식물플랑크톤 생체량의 감소에 따른 타 그룹의 생체량의 감소가 나타났다. 단, 표층어류 (epipelagic (mackerel, flyingfish))의 생체량은 일정부분 증가한 후 감소하는

경향이 나타났다. 이는 본 적용예에서는 apex predator (다랑어 등)에 대해서만 어획이 일어난다고 하였기 때문에 이의 주요먹이 (총 먹이의 75%차지)가 되는

표층어류의 생체량이 일정부분 증가하였지만 이후 표층어류도 타 그룹의 생체량 감소의 영향이 받은 것이라 사료된다 [그림 II-28].



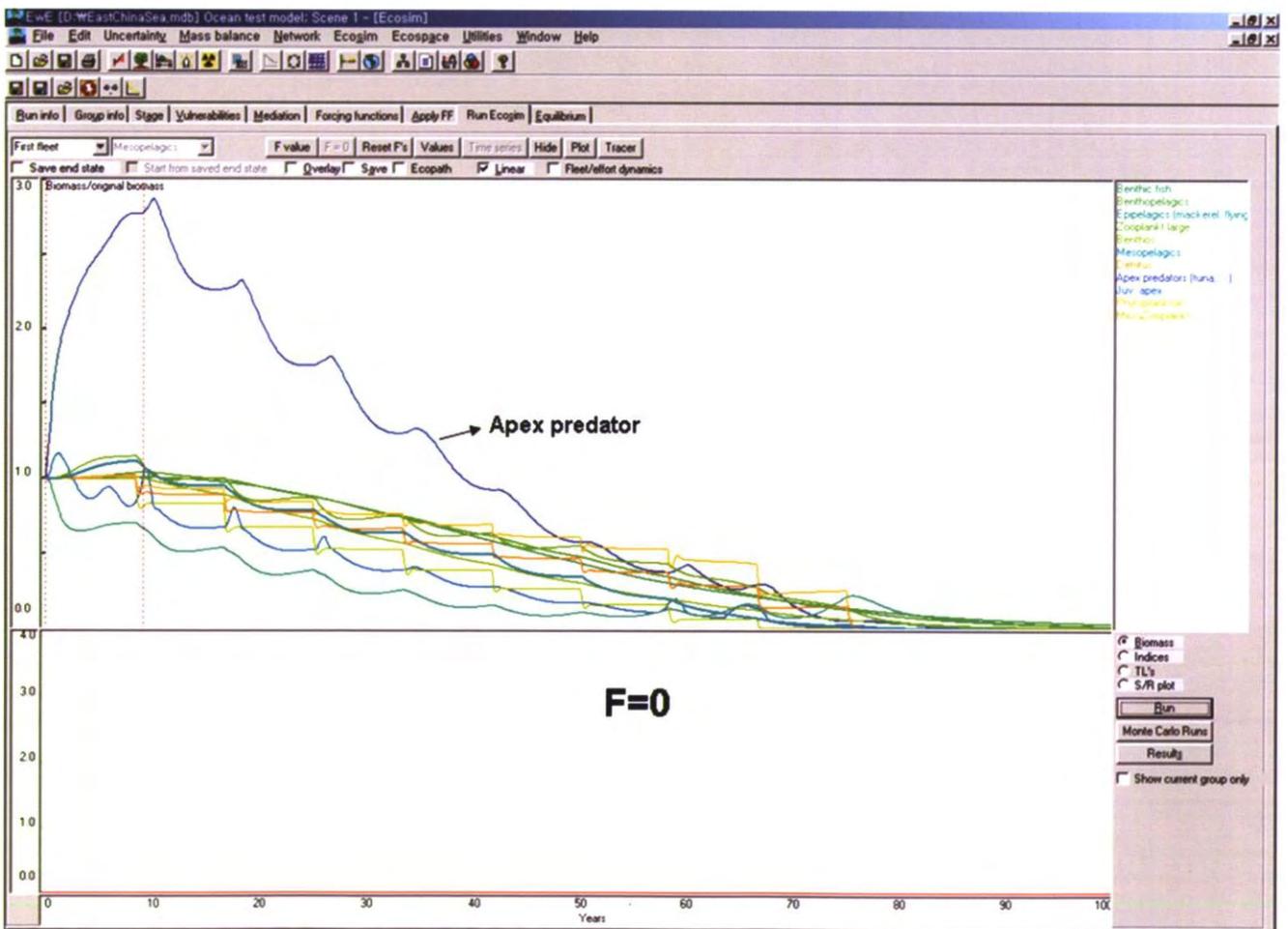
[그림. II-27] 앞서 규정한 forcing function을 해당 생물군에 효과가 주어지도록 규정



[그림. II-28] 주어진 효과 (forcing function 7)에 따른 생물군별 생체량의 변화

이는 어획강도는 현재의 어획강도를 그대로 따른다는 가정하에서 시뮬레이션 한 것으로 어획강도 변화에 따른 생물군별 생체량을 시뮬레이션 할 수도 있다. [그림. II-29]는 어획강도가 없을 때 ( $F=0$ )와 식물플랑크톤의 생체량이 10%씩 감소한다는 효과가 동시에 일어날 때 생물군별 생체량의 변화를 시뮬레이션 한 결과이다. 어획이 없으면 유일한 어

획의 대상이었던 apex predator의 생체량은 일정부분 증가하지만 일정 시간 후에는 이 역시 타 그룹의 생체량의 감소에 따른 영향을 받는다는 결과를 나타낸다. 이 외에도 현재 어획강도의 2-4배 혹은 그 외 다른 어획강도의 변화에 따른 생물군별 생체량의 변화 시뮬레이션이 가능하다.



[그림. II-29] 어획이 없을 때 ( $F=0$ )와 주어진 효과 (forcing function 7)가 동시에 주어질 때 생물군별 생체량의 변화.

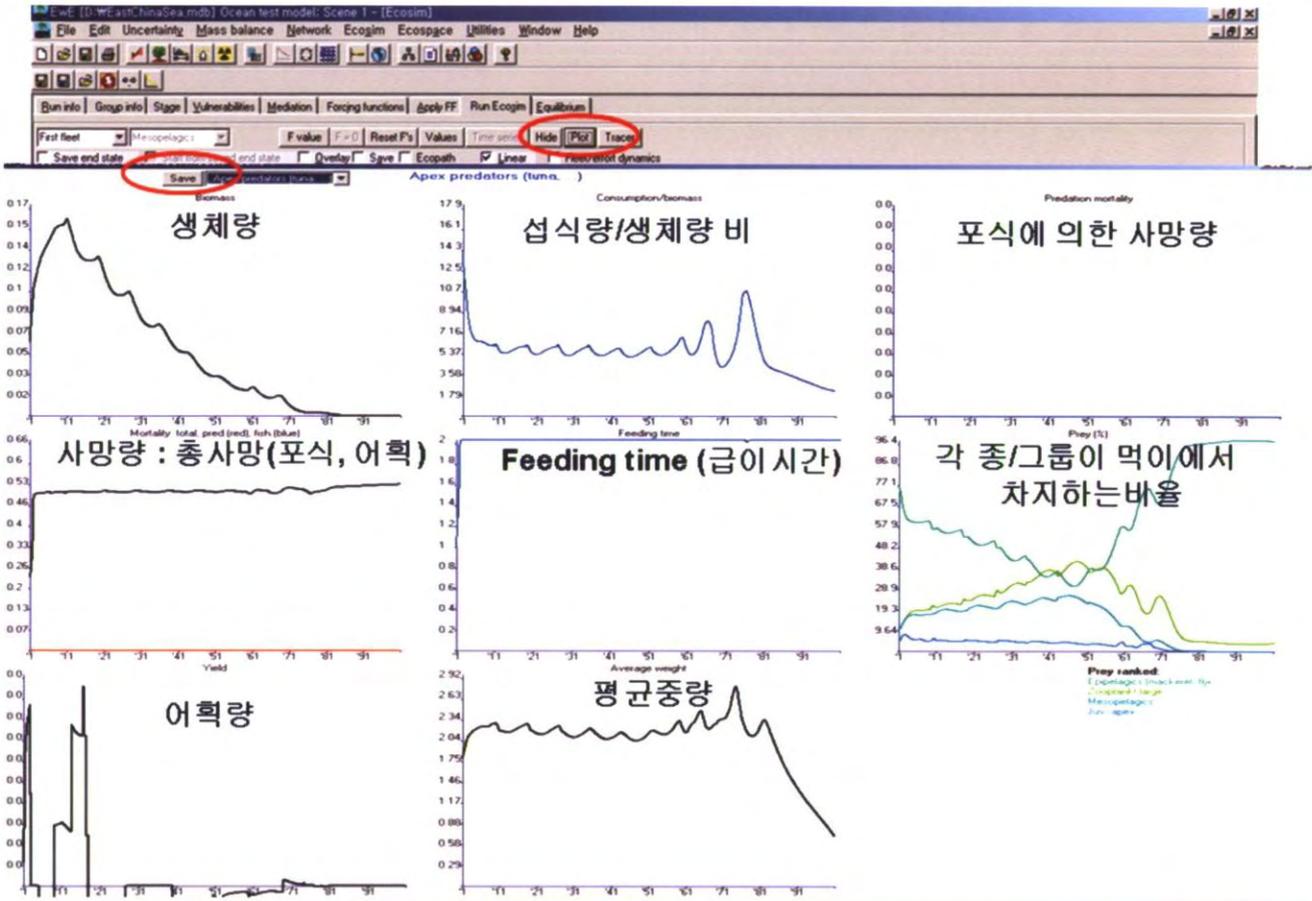
⑥ 세부자료의 확인

이 모든 자료는 “plot” 옵션을 통해

생물군별로 확인이 가능하다. [그림. II-30]은 최고포식자에 대한 생체량,

섭식량/생체량 비, 포식에 의한 사망량, 총사망량, 급이시간 (feeding time), 어획량 등이 시뮬레이션된 결과를 나타낸다. 이 자료는 모든 생물군별로 확인이

가능하고 save 옵션을 통해 저장되어 엑셀에서 불러오기가 가능하기 때문에 세부자료의 확인을 통해 자료의 확인 및 응용이 가능하게 된다.



[그림. II-30] plot을 통해 여러 파라미터의 변화를 시뮬레이션한 결과

### (3) 개체군 모델링

#### (가) 개체군 모델링 연구체제

수산자원관리는 최근까지 목표자원을 효율적으로 이용하기 위하여 개체군 수준에서 분석된 자원상태를 양적으로나 질적으로 바람직한 수준으로 변화시키거나, 혹은 유지시키는데 목표를 두어 왔다. 일반적으로 자원관리를 개체군 역학적인 개념에서 자원의

변동 요인과 관련시켜 보면, 수산자원은 사망에 의하여 자원량이 감소하고, 출생 및 성장에 의하여 자원량이 다시 증가된다. 이러한 과정을 통해 자연적으로 안정상태를 유지하는 자원에 어업이 가해지면 자연사망에 의한 감소 외에 어획에 의한 감소가 추가된다. 여기서 출생이라는 개념은 자원으로의 가입을 의미하므로 자원을 개체수로 나타낼

경우 자원의 변동은 가입수와 자연사망에 의한 개체수, 어획사망에 의한 개체수 등 세 개의 변수에 의해 결정된다. 대개의 어업자원은 증량으로 나타내므로 이 경우에는 앞에서 세 가지 요소에 개체의 성장에 의한 무게의 증가를 추가시킨다. 그러나 이러한 요소들은 수산자원이 속해있는 생태계의 환경에 의해서도 영향을 받게 된다. Russell (1931)은 이러한 관계를 다음과 같이 나타내었다.

$$S_2 = S_1 + A + G - D - Y$$

즉, 어느 해 초기의 자원량  $S_1$ 과 다음 해 초기의 자원량  $S_2$  사이에는 가입량  $A$ 와 개체의 성장에 따른 증중량  $G$ 에 의한 자원의 증가요인과 자연사망량  $D$  및 어획에 의한 사망량인 어획량  $Y$ 에 의한 감소요인이 작용한다. 그러므로 효과적인 자원평가와 관리를 위해서는 각 요소를 명확히 파악하여 자원변동의 구체적인 법칙성을 구하는 것이 필요하다. 이와 같이 개체군 수준에서의 수산자원관리는 자원량 변동과 관련되는 요소인 가입과 성장, 자연사망 및 어획사망 등 네 가지 요소에 대한 관리를 포함한다.

수산자원을 평가하고 관리하는데 있어서 필수적인 요소는 자원량이 어떻게 변동하는가를 파악하고 그 자원에 가해지는 어획의 영향을 알아내는 것이다. 수산자원의 자원량을 파악하는 데는 여러 가지 방법이 있지만 연령별 어획량 자료를 사용해서 연령별 자원량을 추정할 수 있는 코호트 분석법이 가장 많이 사용되고 있다 (Zhang, 1987). 한편, 수산자원에 대한 어획의 영향을 추정하는 모델에는 크게 두 가지 계열, 즉 잉여

생산량 모델 (surplus production models)과 가입당생산량 모델 (yield per recruit models)이 있다 (Zhang, 1987). 또한, 두 계열만큼은 자주 사용되지 않지만 제한된 어종에 대해서 사용되고 있는 재생산 모델 (spawner-recruit models)의 계열도 역시 자원평가에 있어서 중요하다.

## (나) 기본입력 파라미터 추정법

### ① 자원조성 모델

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. II-31]은 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 단위면적당가입당 현재자원량 · 생산량 · 산란자원량과 적정자원조성마리수를 이용하여 예상자원증가량 · 기대생산증가량 · 예상산란자원량을 추정함으로써 자원조성효과를 정량적으로 측정할 수 있다.



㉔ 현재가입마리수

현재가입마리수 ( $R_{F_c}$ )는 식(42)를 사용하여 추정가능하다.

$$R_{F_c} = R \times A \text{ ----- (42)}$$

여기서, R은 단위면적당 가입량 (R)이고, A는 어장의 면적이다. 여기서, 가입량은 다음과 같은 식으로 추정가능하다.

$$R = N_b e^{Z(t_b - t_c)} \text{ ----- (43)}$$

여기서,  $N_b$ 는 단위면적당 자원밀도 (inds./m<sup>2</sup>), Z는 순간전사망계수,  $t_b$ 는 우점군의 연령,  $t_c$ 는 가입연령이다.

**【적 용 예】** 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 현재가입마리수를 추정하였다. 먼저 가입량(R)은 단위면적당 자원밀도 ( $N_b$ ) 0.058 inds./m<sup>2</sup>, 순간전사망계수(Z) 0.458/yr, 우점군의 연령 ( $t_b$ ) 1세, 가입연령 ( $t_c$ ) 0.934세 자료와 식 (43)을 사용하여 0.060 inds./m<sup>2</sup>/yr로 추정되었다. 통영바다목장의 면적 (20 km<sup>2</sup>)을 사용하여 현재가입마리수는 식(42)를 사용하여 다음과 같이 추정되었다.

$$R_{F_c} = R \times A = 0.060 \text{ inds./m}^2 \text{/yr} \times 20 \times 1,000,000 = 1,198,640 \text{ inds./yr}$$

㉕ 적정자원조성가입마리수

자원조성 목표량인 적정자원조성가입마리수 ( $SR_{opt}$ )는 F=0일 때의 가입량에서 현재 F 수준 ( $F_c$ )에서의 가입량을 제함으로써 추정할 수 있다. 즉,

$$SR_{opt} = R_{F=0} - R_{F_c} \text{ ----- (44)}$$

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

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

$$R_{F=0} = \frac{B_{F=0} \times R_{F_c}}{B_{F_c}} \text{ ----- (45)}$$

**【적 용 예】** 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 적정자원조성가입마리수를 추정하였다. F=0일 때의 가입량( $R_{F=0}$ )은 단위면적당 가입당치녀자원량 ( $B_{F=0}$ ) 1,113g, 현재 F 수준 ( $F_c$ )에서의 가입량 ( $R_{F_c}$ )인 현재가입마리수 1,198,640 inds./yr, 단위면적당 가입당현재자원량( $B_{F_c}$ ) 851g을 식(45)에 대입하여 다음과 같이 추정되었다.

$$R_{F=0} = \frac{B_{F=0} \times R_{F_c}}{B_{F_c}} = \frac{1,113g \times 1,198,640 \text{ inds./yr}}{851g} = 1,568,064 \text{ inds./yr}$$

그리고, 적정자원조성가입마리수

( $SR_{opt}$ )는  $F=0$ 일 때의 가입량 ( $R_{F=0}$ )에서 현재  $F$  수준 ( $F_c$ )에서의 가입량 ( $R_{F_c}$ )을 제하여 다음과 같이 추정되었다.

$$SR_{opt} = R_{F=0} - R_{F_c} = 1,568,064 \text{ inds./yr} - 1,198,640 \text{ inds./yr} = 369,424 \text{ inds./yr.}$$

㉔ 적정자원조성마리수

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

$$SN_{opt} = SR_{opt} e^{M(t_c - t_s)} \text{-----(46)}$$

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

**【적 용 예】** 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 적정자원조성마리수 ( $SN_{opt}$ )를 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 적정자원조성가입마리수 ( $SR_{opt}$ )는 369,424 inds./yr, 순간자연사망계수 ( $M$ )은 0.297/yr, 치어연령 ( $t_s$ )은 0.579/yr, 가입연령 ( $t_c$ )은 0.934/yr였다. 앞서 설명한 자료를 식(46)에 대입하여 적정자원조성마리수 ( $SN_{opt}$ )는 다음과 같이 추정되었다.

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

$$= 369,424 \text{ inds./yr} \times \exp^{0.297 \times (0.579 - 0.934)} = 410,470 \text{ inds./yr}$$

㉕ 현재자원량

현재자원량 (Current Biomass, CB)는 단위면적당 가입당현재자원량 ( $CB/R$ )과 현재가입마리수( $R_{F_c}$ )의 곱으로써 추정가능하다. 즉,

$$\frac{CB}{R} \times R_{F_c} \text{-----(47)}$$

**【적 용 예】** 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 현재자원량 (CB)를 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당현재자원량 ( $CB/R$ ) 851g, 현재가입마리수 ( $R_{F_c}$ ) 1,198,640 inds./yr였다. 앞서 설명한 자료를 식(47)에 대입하여 조피볼락의 현재자원량은 다음과 같이 추정되었다.

$$CB = \frac{CB}{R} \times R_{F_c} = \frac{851g \times 1,198,640 \text{ inds./yr}}{1,000,000} = 1,020 \text{ mt}$$

㉖ 환경수용량

환경수용량 (Carrying Capacity, CC)는 단위면적당 가입당치녀자원량 ( $VB/R$ )과  $F=0$ 일 때의 가입량 ( $R_{F=0}$ )의 곱으로써 추정가능하다. 즉,

$$CC = \frac{VB}{R} \times R_{F=0} \text{-----(48)}$$

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 환경수용량 (CC)를 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당치녀자원량 (VB/R) 1,113g, F=0일 때의 가입량 (R<sub>F=0</sub>) 1,568,064 inds./yr였다. 앞서 설명한 자료를 식(48)에 대입하여 조피볼락의 환경수용량은 다음과 같이 추정되었다.

$$cc = \frac{VB}{R} \times R_{F=0}$$

$$\frac{1,113g \times 1,568,064inds./yr}{1,000,000} = 1,745 \text{ mt}$$

㉔ 단위면적당 가입당생산량

단위면적당 가입당생산량은 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 (Y/R) 이론을 사용한다.

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

----- (49)

여기서, U<sub>0</sub>=1, U<sub>1</sub>=-3, U<sub>2</sub>=3, U<sub>3</sub>=-1이며, W<sub>∞</sub>, K, t<sub>0</sub>는 von Bertalanffy 성장식의 계수들이다. M은 순간자연사망계수, t<sub>c</sub>는 가입연령, t<sub>L</sub>은 최고연령이고, R은 가입량으로 t<sub>c</sub>까지 생산한 개체수이다.

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 단위면적당 가입당생산량을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당현재자원량 (CB/R) 추정에 사용된 파라미터와 동일하다. 따라서 앞서 설명한 입력파라미터를 식(49)에

대입하여 단위면적당 가입당생산량은 68.5g/m<sup>2</sup>/yr로 추정되었다.

㉕ 기대생산증가량

기대생산증가량 (Yield, Y)는 단위면적당 가입당생산량 (Y/R)과 적정자원조성가입마리수 (SR<sub>opt</sub>)의 곱으로써 추정가능하다. 즉,

$$Y = \frac{Y}{R} \times SR_{opt} \text{ ----- (50)}$$

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 기대생산증가량을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당생산량 (Y/R) 68.5g/m<sup>2</sup>/yr, 적정자원조성가입마리수 (SR<sub>opt</sub>) 369,424 inds./yr였다. 따라서 이 입력파라미터를 식(50)에 대입하여 기대생산증가량은 다음과 같이 추정되었다.

$$Y = \frac{Y}{R} \times SR_{opt} =$$

$$\frac{68.5g \times 369,424inds./yr}{1,000,000} = 25 \text{ mt/yr.}$$

㉖ 예상자원증가량

예상자원증가량 (MB)는 단위면적당 가입당현재자원량 (CB/R)과 적정자원조성가입마리수(SR<sub>opt</sub>)의 곱으로써 추정가능하다. 즉,

$$MB = \frac{CB}{R} \times SR_{opt} \text{ ----- (51)}$$

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 예상자원증가량을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미

터는 단위면적당 가입당현재자원량 (CB/R) 851g/m<sup>2</sup>/yr, 적정자원조성가입마리수(SR<sub>opt</sub>) 369,424 inds./yr였다. 따라서 이 입력파라미터를 식(51)에 대입하여 기대생산증가량은 다음과 같이 추정되었다.

$$MB = \frac{CB}{R} \times SR_{opt} = \frac{851g/m^2/yr \times 369,424inds./yr}{1,000,000} = 314 \text{ mt/yr.}$$

㉔ 단위면적당 가입당산란자원량

단위면적당 가입당산란자원량 (MSB/R)은 단위면적당 가입당자원량 추정식(식(49))에 연령별 성숙비를 곱함으로써 추정가능하다. 즉,

$$\frac{MSB}{R} = m_i W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{[U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \text{----- (52)}$$

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 단위면적당 가입당산란자원량을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당현재자원량 (CB/R) 추정에 사용된 파라미터와 동일하며, 연령별 성숙비 (m)는 1세 0.25, 2세 0.5, 3세 0.75, 4세 1.00이었다. 따라서 앞서 설명한 입력파라미터를 식(52)에 대입하여 단위면적당 가입당산란자원량은 212.7g/m<sup>2</sup>/yr로 추정되었다.

㉕ 예상산란자원증가량

예상산란자원증가량(MSB)은 단위면적당 가입당산란자원량 (MSB/R)과 적

정자원조성가입마리수 (SR<sub>opt</sub>)를 곱함으로써 추정가능하다. 즉,

$$MSB = \frac{MSB}{R} \times SR_{opt} \text{----- (53)}$$

【적 용 예】 통영바다목장의 대상종인 조피볼락의 예상산란자원증가량을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 단위면적당 가입당 산란자원량 (MSB/R) 212.7 g/m<sup>2</sup>/yr, 적정자원조성가입마리수 (SR<sub>opt</sub>) 369,424 inds./yr였다. 따라서 이 입력파라미터를 식(53)에 대입하여 예상산란자원증가량은 다음과 같이 추정되었다.

$$MSB = \frac{MSB}{R} \times SR_{opt} = \frac{212.9g/m^2/yr \times 369,424inds./yr}{1,000,000} = 79 \text{ mt/yr.}$$

② 자원관리 모델

수산생물자원을 효율적으로 이용·관리하여 자원량을 높은 수준에서 유지시키면서 지속적인 어업생산성을 도모하기 위해서는 총허용어획량 (TAC) 시스템에 의해 관리체계 (그림 3-76)가 도입되어야 한다. 즉, 자원을 효율적으로 관리하기 위해서는 총허용어획량(TAC) 시스템에 의한 관리체계가 도입되어야 한다. 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 개발하였다.

$$l_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)}) \text{-----(54)}$$

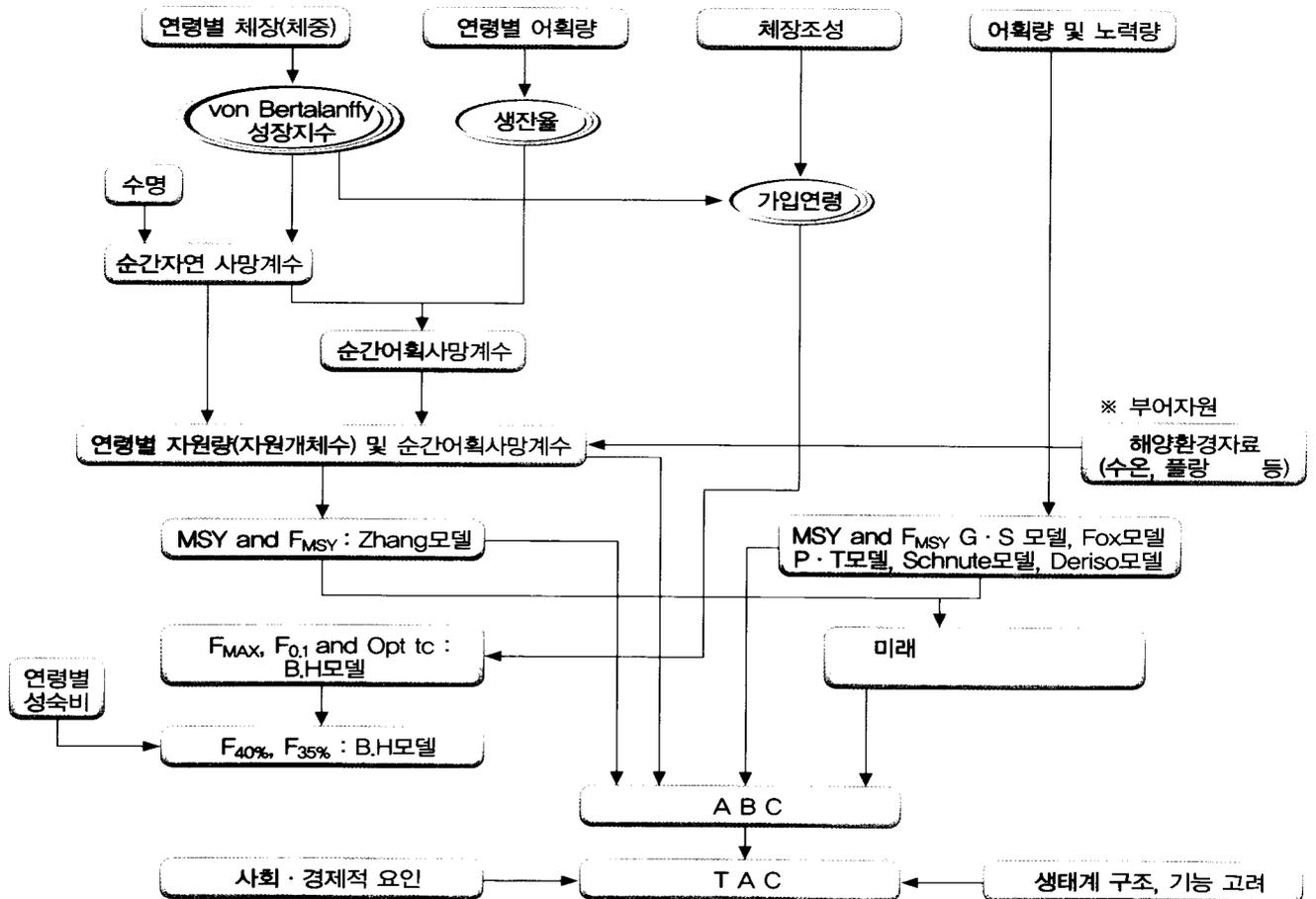
㉓ 연령조성

체장조성자료와 연령-체장 상관표 (Age-Length key)를 사용하여 연령 조성을 구한다.

여기서,  $l_t$ 는 연령  $t$ 세의 체장,  $L_{\infty}$ 는 이론적 최대체장,  $K$ 는 성장계수, 그리고  $t_0$ 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다. 그리고 연령별 체장과 체장-체중간의 관계,  $W = a \cdot L^b$ 를 사용해서 연령별 평균체중으로 환산한다.

㉔ von Bertalanffy 성장파라미터 ( $K, t_0, L_{\infty}, W_{\infty}$ )

성장파라미터는 일반적으로 가장 널리 사용되는 von Bertalanffy 성장식의 매개변수를 Walford 정착도법 및 비선형회귀방법에 의해 구하고, 성장식은 식(54)와 같다.



[그림. II-32] 자원관리 모델 체계도

㊤ 순간자연사망계수 (M)

자연사망은 자원으로의 가입이후 사망을 의미하며 어획을 제외한 다른 모든 요인들에 기인된 사망으로 간주한다.

• Alverson and Carney (1975) 방법

하나의 개체군이 지수함수적으로 감소되는 현상 (자연사망만 고려, Z=M)과 그 개체군에 속해 있는 각 개체들은 von Bertalanffy의 성장을 한다는 가정 하에서 출발하여 그 개체군의 생체량의 변화로부터 다음 식을 추정하였다.

$$M = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{\max \cdot \text{age}})} - 1} \text{-----} (55)$$

여기서, K는 성장계수, 그리고  $t_{\max \cdot \text{age}}$ 는 최고연령이다.

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락의 자연사망계수를 Alverson and Carney 방법으로 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 다음과 같다. 성장계수 K는 0.317/yr, 최고연령 ( $t_{\max \cdot \text{age}}$ )는 10세였다. 자연사망계수 (M)는 다음과 같이 추정된다.

$$\begin{aligned} M &= \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{\max \cdot \text{age}})} - 1} \\ &= \frac{3 \times 0.317}{\exp(0.317 \times (0.38 \times 10)) - 1} \\ &= 0.407/\text{yr} \end{aligned}$$

• Zhang and Megrey (2006) 방법

Zhang and Megrey (2006) 방법은 Alverson and Carney 방법을 개선한 방법으로 관계식은 다음과 같다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{\text{mb}} - t_0)} - 1} \text{-----} (56)$$

여기서,  $t_{\text{mb}} = C_i \times t_{\max \cdot \text{age}}$ 이고  $C_i$ 는 계수,  $t_{\max \cdot \text{age}}$ 는 관측된 최대 연령, K와  $t_0$ 는 von Bertalanffy 성장식에서 각각 성장계수와 체장이 0일 때의 이론적인 연령을 나타내고,  $\beta$ 는 체장-체중 관계식의 지수이다. Alverson and Carney 방법에서는 60개의 종을 대상으로 추정한 상수값 0.38을 모든 종에 적용하였으나, Zhang and Megrey 방법은 적용범위를 부어류 (pelagic fish)와 저어류 (demersal fish)로 나누어 각각 0.302와 0.440값을 적용하였다. 이 상수값은 최대연령과 자원량이 최대인 연령 ( $t_{\text{mb}}$ )의 상대비 ( $t_{\text{mb}}/t_{\max \cdot \text{age}}$ )를 나타내며, 31종의 부어류와 60종의 저어류 등 총 91종의 생활사 특성치를 사용하여 추정한 값이다. 체장-체중과의 관계를 통해 얻어지는 값을 사용함으로써 어종별 특징을 더 명확히 적용하였다.

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락의 자연사망계수를 Zhang and Megrey 방법으로 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 다음과 같다. 성장

계수 K는 0.317/yr,  $t_0$ 는 -0.039세, 는 2.898,  $t_{mb}$ 는 C값 0.440과 최고연령 ( $t_{max \cdot age}$ ) 10세를 사용하여 4.4로 추정되었다. 자연 사망계수 (M)는 다음과 같이 추정된다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_m - t_0)} - 1} = \frac{2.898 \times 0.317}{\exp(0.317 \times (4.4 - (-0.039))) - 1} = 0.297/\text{yr}$$

• Alagaraja (1984) 방법

Alagaraja(1984)는 자연사망계수는 다른 어떤 요소들보다 수명과 더욱 관계가 있다는 가정하에서 자연 사망계수를 추정하는 간단한 방법을 제시하였다. 그는 한 연급군이 자연 사망으로만 사망한다면, 그 연급군의 99%가 죽는 연령을 자연수명 ( $T_m$ )이라 정의하고, 1%가 살아남는 순간자연사망계수 ( $M_{1\%}$ ) 추정 방법을 다음과 같이 제시하였다.

$$M_{1\%} = -\frac{\ln(0.01)}{T_m} \text{-----}(57)$$

위 방법은 생물학적 정보가 별로 없는 자원에서 이 방법을 이용하면 개략적으로 순간자연사망계수를 추정할 수 있다.

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락의 자연사망계수를 Alagaraja 방법으로 추정하였다. 분석에 사

용된 파라미터는  $T_m = 10$ 세로서 자연사망계수(M)은 다음과 같이 추정된다.

$$M_{1\%} = -\frac{\ln(0.01)}{T_m} = -\frac{\ln(0.01)}{10} = 0.461/\text{yr}$$

㉔ 생산율 (S), 순간전사망계수 (Z) 및 순간어획사망계수 (F)

생산율을 추정하는 일반적인 방법은 연속되는 두 시간 간격에서의 자원 개체수를 비교함으로써 구할 수 있다. 어획된 어류 개체군 중 연령  $t$ 와  $t+1$ 에 해당하는 자원 개체수를  $N_t$ ,  $N_{t+1}$ 이라 하면, 생산율은  $N = \frac{N_{t+1}}{N_t}$ 로 나타낼 수 있다. 개체군 연구에 있어서 이 S값을 추정할 때는 어류 개체군 전체 연령을 대표할 수 있는 생산율을 추정하여 이용하는 것이 현재까지의 추세이다. 그러나 개체군의 동태를 좀 더 구체적으로 파악하기 위해서는 연령별 생산율을 구하는 것이 필요하다. 여기서는 개체군 전체 연령을 대표하는 몇 가지 생산율 추정 방법을 소개한다.

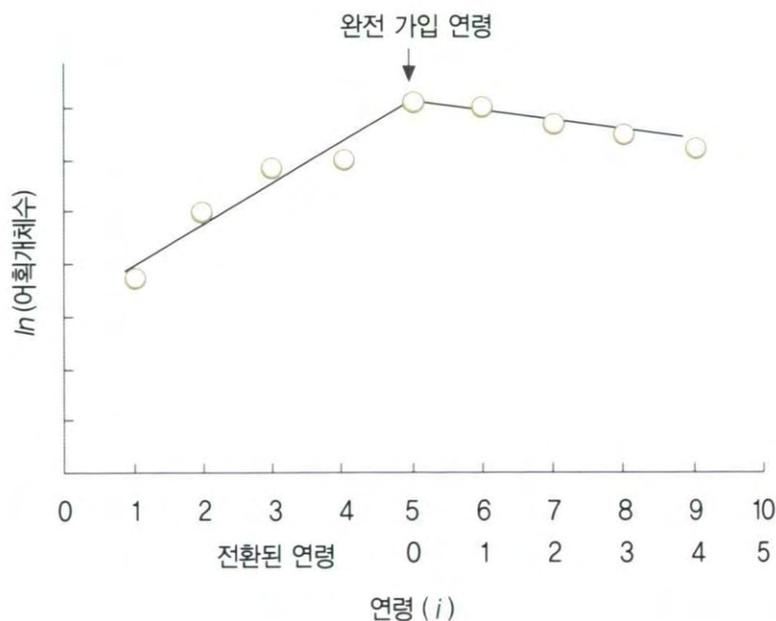
• 어획물 곡선법

Edser (1908)가 북해 가자미의 어획량을 대상으로 x축에 등간격의 체장을, y축에는 각 체장에 대한 빈도의 대수치 (자연로그)를 취하여 곡선을 그려 본 결과 최대점 부근은 약간 등글게, 그 왼쪽은 급격히 상승하고,

그 오른쪽은 완만하게 하강하는 곡선 형태로 나타났다. Heincke (1913)는 이러한 형태의 여러 곡선에서 사망률을 계산하였고, Baranov(1918)는 이 같은 곡선을 어획물 곡선 (catch curve)이라 명명하였다. 그 뒤, 체장 대신에 연령을 사용하여도 같은 형태의 곡선을 얻을 수 있었고, 연령에 대한 생산율을 추정할 수 있게 되었다.

한 개체군의 연령  $i$ 에 대한 자원개체수를  $N_i$ , 어획 개체수를  $P_i$ 라고 하자. 그러면 연령  $i$ 와 어획 개체수의 대수치  $\ln P_i$ 는 어획물 곡선을 이룰 것이다[그림. II-33]. [그림. II-33]에서 최대점 왼쪽 부분에 해당하는 연령의 개체들은 어획된 장소에서는 적게 분포하거나, 그물 혹은 낚시에 어획되기 어려운 연령층으로 여겨지

기 때문에 연령별 어획 개체수 ( $P_i$ )를 대상으로 계산되는 생산율 추정에 사용될 자료로서는 적합하지 못할 것이다. 따라서, 가장 큰  $\ln P_i$  값을 갖는 연령층을 생산율을 위한 최초가입 연급군 (first recruitment cohort)이라 하고, 이 때의 연령을 완전가입연령 (age at complete recruitment)이라 하여, 이 이상의 연령들에 대한 자료로부터 생산율을 추정하게 된다. 예를 들면, 그림 3-6-77의 경우 실제 연령  $i = 4$ 가 생산율 추정 과정에서는  $i = 0$ 으로 전환 (coded)된다. 따라서, 생산율 추정은 이렇게 전환된 연령 (coded age)들을 대상으로 수행되며, 최초 가입 연급군의 자원 개체수는  $N_0 = R$  (recruit)이 된다.



[그림. II-33] 어획물의 연령조성 자료에 의한 어획물 곡선

전환연령  $i = 0$  에서  $i$ 년 후의 자원개체수를  $N_i$ 라 하면,  $N_i = RS^i$ 가 되고, ( $p$ : 어획률 (sampling rate))이므로  $P_i = pRS^i$ 가 된다. 양변에 대수 (자연로그)를 취하면,  $\ln P_i - \ln pR + (\ln S)i$ 가 되어, [그림. II-33]에서와 같이  $\ln P_i$ 는  $i$ 에 대해  $Y = a + bX$  ( $a = \ln pR$ ,  $b = \ln S$ ) 형태의 직선식이 된다. 따라서, 추정된 생산율  $\hat{S} = e^b$ 가 된다.

**【적용 예】** 참조기 (Small yellow croaker, *Larmichthys polyactis*)의 생산율을 어획물곡선법으로 추정하였다. [표 II-4]는 우리나라 연근해에서 트롤어업으로 어획된 참조기의 연령조성 자료이다(Zhang et al., 1992).

[표 II-4] 한국 연근해 참조기의 연령조성 (트롤어업, 1986~1988)

연령(x)	1	2	3	4	5	6	7
어획 개체수(Px)	3,896	1,020	145	23	6	2	1

표3-14의 자료에서 실제 연령 1세에서 어획개체수가 최고이므로 1세를 전환

연령(coded age)  $i=0$  으로 하여  $\ln P_i$ 를 계산하면 다음과 같다.

실제연령(x)	1	2	3	4	5	6	7
전환연령(i)	0	1	2	3	4	5	6
$\ln P_i$	8.27	6.93	4.98	3.14	1.73	0.69	0

실제 연령  $i$ 를  $X$ , 어획 개체수의 대수화 시킨  $\ln P_i$ 를  $Y$ 로 두면  $\ln P_i - \ln pR + (\ln S)i$ 의 형태, 즉  $Y = a + bX$ 의 직선식 형태가 된다. 엑셀을 이용하여 회귀분석을 쉽게 할 수 있다. 엑셀의 메뉴에서「도구」→「데이터분석」을 선택한 다음 여러 항목 중에서「회귀분석」을 선택하고 직선회귀에

필요한  $X$ 와  $Y$ 의 범위를 입력한 후 실행시키면 다음과 같은 「요약출력」의 결과가 나타난다. 직선식의 기울기인  $b$ 에 해당하는 값이  $\ln S$ 이므로, 즉 생산율  $\hat{S} = e^{-1.447} = 0.253$ 이 된다 [그림. II-34].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	실제 연령(x)	어획 개체수(Px)	전환 연령(i)	Ln(Pi)	Y	요약 출력								
3			X	Y										
4	1	3,896	0	8.27		<b>회귀분석 통계량</b>								
5	2	1,020	1	6.93		다중 상관계수	0.989938							
6	3	145	2	4.98		결정계수	0.979976							
7	4	23	3	3.14		조정된 결정계수	0.975972							
8	5	6	4	1.73		표준 오차	0.489467							
9	6	2	5	0.69		관측수	7							
10	7	1	6	0										
11						<b>분산 분석</b>								
12							자유도	제곱합	제곱 평균	F 비	유의한 F			
13						회귀	1	58.6258	58.6258	244.7050	1.94E-05			
14						잔차	5	1.1979	0.2396					
15						계	6	59.8237						
16														
17							계수	표준 오차	t 통계량	P-값	하위 95%	상위 95%	하위 95.0%	상위 95.0%
18						Y 절편	8.018	0.334	24.040	0.000	7.160	8.875	7.160	8.875
19						X 1 (기름기)	-1.447	0.093	-15.643	0.000	-1.685	-1.209	-1.685	-1.209
20														

[그림. II-34] 어획물곡선을 이용하여 생산을 추정 (엑셀을 사용한 직선회귀분석 결과)

• Jackson 방법

Jackson (1939)에 의한 방법으로, 시간 t에서 어획된 최고령어 그룹의 연령을 k-1이라 하면, 개체군 전체 크기는  $\sum_{i=0}^{k-1} N_i$  이 되고, 동일 개체군이 시간 t+1에서는  $\sum_{i=1}^k N_i$  가 된다. 생산율은 시간 t에서의 개체군이 시간 t+1까지 살아남을 확률로 표현될 수 있으므로

$$S = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=0}^{k-1} N_i} = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{N_0 + N_1 + \dots + N_{k-1}} \quad (58)$$

여기서,  $N_i$ 는 어획된 표본어 중 i세의 개체수이고,  $N_0$ 는 완전가입연령 시의 개체수를 말한다.

세가 되어,  $N_0 = 3,896$ ,  $N_1 = 1,020$ ,  $N_2 = 145$ ,  $N_3 = 23$ ,  $N_4 = 6$ ,  $N_5 = 2$ ,  $N_6 = 1$  이 된다. 따라서

$$S = \frac{1020 + 145 + 23 + 6 + 2 + 1}{3896 + 1020 + 145 + 23 + 6 + 2} = 0.2350$$

• Chapman and Robson 방법

Chapman and Robson (1960)은 초기하분포이론 방법을 이용하여 다음과 같은 생산율 추정방법을 유도하였다.

$$S = \frac{T}{\sum N_i + T - 1} = \frac{\bar{X}}{1 + \bar{X} - \frac{1}{\sum N_i}} \quad (T = \sum i \cdot N_i) \quad (58)$$

[적용 예] [표 II-4]에서 실제 연령 1세가 전환연령 0 [적용 예] [표 II-4]에서

$$\sum N_i = 5,093$$

$$\bar{X} = \frac{\sum(i \cdot N_i)}{\sum N_i} = \frac{0 \times 3896 + 1 \times 1020 + \dots + 6 \times 1}{3896 + 1020 + \dots + 1} = 0.2784$$

따라서, 생산율은

$$\hat{S} = \frac{\bar{X}}{1 + \bar{X} - \frac{1}{\sum N_i}} = \frac{0.2784}{1 + 0.2784 - \frac{1}{5093}} = 0.2178$$

순간전사망계수 (Z)는 생산율 ( $S = e^{-Z}$ ) 값에서 변환하여 구하고, 순간어획사망계수 (F)는 순간전사망계수 (Z)에서 순간자연사망계수 (M)을 제함으로써 추정가능하다.

㉞ 성장률 (G)

연령별 성장률 ( $G_i$ )은 von Bertalanffy 성장계수와 체장-체중 관계식을 이용하여 연령별 체중을 구한 다음, 다음 식으로 구한다.

$$G_i = \ln\left(\frac{W_{i+1}}{W_i}\right) \dots \dots \dots (60)$$

여기서,  $W_i$ 는  $i$ 세의 체중이다.

㉞ 적정어획사망계수 ( $F_{ABC}$ )

•  $F_{0.1}$

$F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수를 의미하는데,  $F_{0.1}$ 값의 추정은 Beverton and Holt (1957) 모델인 식(49)를 순간어획사망계수에 대해 미분하고, 어획이 없을 때 ( $F=0.0$ )의 생산량 곡선의 기울기를 구하여 다음 식(61)을 사용하여 추정가능하다.

$$\frac{d(Y/R)}{dF} = \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n(M+nK) \exp[-nK(t_c - t_0)]}{(F+M+nK)^2} + \frac{\exp[-(F+M+nK)(t_L - t_c)]}{(F+M+nK)^2} \cdot [(t_L - t_c)F^2 + (M+nK)(t_L - t_c)F - (M+nK)] \right\} \dots \dots \dots (61)$$

여기서, 식(58)의 계수는 식(49)의 계수와 같다. 식(61)을 사용하여 계산한 기울기의 10%에 해당하는  $F$ 값을 찾기 위하여  $F$ 값들을 반복 대입하여  $F_{0.1}$ 값을 추정할 수 있다.

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락에 대해 적정어획사망계수인  $F_{0.1}$ 을 추정하였다. 분석에 사용된 파라

미터는 단위면적당 자원조성모델의 가입당형 재자원량 (CB/R) 추정에서 사용된 파라미터와 동일하다. 따라서, F0.1은 입력파라미터를 식 (61)에 대입하여 0.263/yr.로 추정되었다.

•  $F_{35\%}, F_{40\%}$

가입당산란자원량의 추정은 가입당산란자원량 모델식인 식(62)를 사용하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 (F=0)의 산란자원량을 기준으로 하여, 그 산란자원량의 35% 및 40%의 자원량을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수인  $F_{35\%}, F_{40\%}$ 를 추정할 수 있다.

F=0일때의 가입당산란자원량 (SB/R)은

$$\frac{SB}{R} \Big|_{F=0} = \sum_{t=t_r}^{t_h} m_t \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-M(t - t_c)} \cdot W_{\infty} (1 - e^{-K(t - t_0)})^3 \dots \dots \dots (60)$$

이 된다. 여기서, SB는 산란자원량을 의미하며 이 식에서 사용된 연령별 성숙비 (m)를 제외한 모든 값들은 위의 Beverton and Holt 모델식에서와 동일한 값들을 사용하였다.

어떤 특정 F값 F= $F_1$ 일 때의 SB/R은

$$\frac{SB}{R} \Big|_{F=F_1} = \sum_{t=t_r}^{t_h} m_t \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-(M+F)(t - t_c)} \cdot W_{\infty} (1 - e^{-K(t - t_0)}) \dots \dots \dots (61)$$

이 된다. 여기서, t세의 연령이 보다 작은 경우에는 F값이 0이 되어야 하며, 이 때의 비가 %가 되는  $F_1$ 의 값이다. 즉,

$$\frac{SB/R \Big|_{F=F_1}}{SB/R \Big|_{F=F_0}} = x\% \dots \dots \dots (60)$$

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락에 대해 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  $F_{40\%}$ 를 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 자원조성모델의 단위면적당 가입당산란자원량 (MSB/R) 추정에서 사용된 파라미터와 동일하다. 따라서,  $F_{35\%}$ 와  $F_{40\%}$ 는 입력파라미터를 식(64)에 대입하여 각각 0.4650/yr, 0.4020/yr로 추정되었다.

㉔ 생물학적 허용어획량 (ABC)

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

[표 II -5]는 수산자원에 대한 각 정보단계별 생물학적 허용어획량 (ABC) 추정 모델을 나타낸다. 이 가운데 1~3 단계에서의 ABC는 자원상태에 따라  $F_{ABC}$ 를 결정하여 저어자원의 경우는 식 (65)를 사용하여 추정하고,

부어자원의 경우는 식(66)을 사용하여

$$ABC = \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \quad (65)$$

추정한다.

$$ABC = ABC_r + \sum_{i=r+1}^{t_1} \frac{B_i F_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \quad (66)$$

여기서,  $B_i$ 는  $i$ 세초 어획대상 자원량,  $M$ 은 순간자연사망계수,  $F_{ABC}$ 는 정보수준과 자원상태에 따라 결정되는 순간 어획사망계수,  $r$ 은 가입연령이며, 는 최고 어획대상연령이다. 또한  $ABC_r$ 은 산란자원량 (SB) 및 환경인자( $E_i$ )와의 관계를 고려해서 구한 평형가입량 ( $R$ )을 가입연령에 대한 자원량으로 간주하여 식(67)을 사용하여 추정한다.

$$ABC_r = \frac{\bar{R} F_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \quad (67)$$

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

단계별 필요정보의 경우, 1~2 단계

에서 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 연수(어획대상 연급군수에 해당하는 연수)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.

**【적 용 예】** 통영바다목장 조피볼락에 대해 생물학적 허용 어획량 (ABC)을 추정하였다. 분석에 사용된 파라미터는 현재자원량( $B$ ) 1,020mt,  $F_{ABC}$ 는  $F_{0.1}$ 인 0.263/yr., 순간자연사망계수는 0.297/yr.이었다. 따라서, 입력파라미터를 식 (65)에 대입하여 생물학적 허용어획량을 다음과 같이 추정하였다.

$$\begin{aligned} ABC &= \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})}) \\ &= \frac{1,020 \times 0.263}{0.297 + 0.263} (1 - e^{-(0.297 + 0.263)}) \\ &= 205 \text{ mt} \end{aligned}$$

[표 II-5] 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 :  $B/B_{MSY} > 1$   
 $F_{ABC} \leq$  lower value out of either  $F_{MSY}$  or  $F_{X\%}$
- 1b) Stock status :  $\alpha < B/B_{MSY} \leq 1$   
 $F_{ABC} \leq$  lower value out of either  $F_{MSY} \times (B/B_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$  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 :

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

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

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

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,  $t_L$  : maximum fishing age

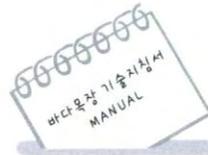
2) Without data of environmental factor in tiers 1 ~ 3, the equation for demersal stocks would be applied to determine ABC

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



## 생태특성 평가

생태계 모델 활용 기술



## 어장조성 부록

### Ⅲ. 인공어초 어장조성 기술

## ➤ ① 어장조성 기술 분야

### 가. 인공어초

#### (1) 인공어초의 시설 및 관리

##### (가) 인공어초 기능 및 어장구성

###### ① 적용범위

본 메뉴얼은 바다목장 조성을 위한 인공어초에 관한 것이며, 본 메뉴얼 이외의 사항에 대하여는 인공어초시설사업 집행및관리규정(해양수산부 훈령제328호)에 의한다

###### 해설

바다목장 조성을 위해 사용되는 인공어초는 설치형태에 따라 침설어초와 부어초로 나눌 수 있으며, 침설어초에는 콘크리트 어초, 강제어초, 강제어선어초 등으로 나눌 수 있다. 본 메뉴얼은 침설어초에 관한 것으로 강제어선 어초는 제외한다

###### ② 인공어초의 정의 및 기능

인공어초는 어류 등의 수산생물이礁나 침선 등에 위집하는 성질을 이용하여 대상으로 하는 수산생물의 어획 증대, 조업의 효율화 및 보호배양을 도모하기 위한 시설물을 말한다. 그리고 인공어초장이란 인공어초를 계획적으로 배치하여 조성하는 어장을 말한다.

###### 해설

인공어초로 조성된 인공어초 어장은 주로 어획의 증대, 조업의 효율화를 도모하기 위해 콘크리트 어초나 강제어초 등을 계획적으로 배치하여 조성하는 어장이다. 인공어초에 위집하는 어류 등은 각각 어초에 대하여 특유의 행동생태를 나타내는 것으로 알려져 있다. 이들의 어종을 어초에 대한 定位의 형태에 의하여 분류하면 3형으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

- I형 : 어초에 어체 전부 혹은 일부분을 접촉시키는 어종(쥐노래미, 조피볼락, 썸뱅이, 볼락 등)
- II형 : 어초에 어체를 접촉시키지는 않지만, 어초의 주위를 유영하는 어종(참돔, 돌돔, 농어, 벤자리 등)
- III형 : 어초로부터 떨어진 표, 중층 수역에 유영하는 어종(방어, 가다랑어, 삼치, 전갱이, 고등어 등)

이들에 속하는 형들의 어류 중에서도 어초와의 강약의 정도는 어종에 따라 다르다. 또한 동일 어종이라도 발육단계와 계절에 따라 차이가 있다고 알려져 있다. 인공어초에 위집하는 이들의 어종은 각각의 감각기관으로 인공어초의 존재를 감지하면서 특유의 행동을 나타낸다고 알려져 있다. 이들의 생물이 인공어

초의 존재를 감지하기 위한 자극으로서 는 접촉자극, 시각자극, 음파자극, 흐름 에 대한 자극 등이 있다. I형에 속하는 어종은 주로 접촉자극, 시각자극, II형 에 속한 어종은 시각자극, 음파자극, III형 에 속하는 어종은 음파자극, 흐름자극 에 각각 반응한다.

### ③ 인공어초어장의 구성

본 메뉴얼에서는 인공어초어장의 구성을 다음과 같이 한다.

어초單體 : 어초어장을 구성하는데 이 용되는 1개의 구조물

單位어초 : 1개 또는 복수개의 어초 單體에 의해 구성되어지는 최소규모의 어초어장

어 초 군 : 서로 單位어초 유효 어획 거리 내에 있는 복수의 단 위어초에 의해 구성되어 지 는 어초어장

## (나) 적지조사 및 선정

### ① 적지조사

#### ㉠ 조사계획

바다목장 조성을 위해 인공어초 시설 예정지에 대한 시설 사전조사를 위해 필요한 계획을 수립해야 한다.

#### 해설

바다목장 내의 인공어초를 조성할 해역은 대상생물의 서식 조건과 물리·화학적 환경으로부터 효과적인 인공어초어장이 형성될 수 있고, 대상해역의 어업자가 어장을 유효하게 이용할 수 있는 해

역이어야 한다.

적지조사를 실시함에 앞서 조사예정 해역 에 대하여 필요할 경우, 대상해역 및 인접해역에 있어서 생물·화학적 조건조사로부터 대상 어종마다의 적합한 어장조건 파악 및 어획효과의 추정을 행한다. 어획효과의 추정은 바다목장 해역에 있어서 대상종의 가입, 배양, 어획, 분산, 사망 등과 어초의 어군 수용 량에 의해서 추정할 수 있지만, 실제적으로는 해당해역에 있어서 기존 어초사업, 시험어초, 혹은 유사해역의 어초어장에서의 어획효과 측정 자료에 의해 대상 어종마다 어획효과를 추정한다.

### ㉡ 해역조사

#### 1) 생물적 조건 조사

인공어초의 조성위치 선정, 어초 單體의 선정, 單位어초, 어초군의 검토 및 효과 추정에 필요한 생물적 조건 등은 조사를 통하여 명확히 해야 한다. 이들 조사 결과는 물리적 조건 조사 결과와 함께 해석하여 효율적인 인공어 초어장 조성 계획의 자료로 사용한다.

#### 해설

인공어초어장은 대상어종의 위집을 기대할 수 있는 위치에 조성해야 한다. 그 조성위치는 魚道인 수역의 수온, 수질 등의 조건이 대상어종에 적합하고 또한 어초가 부족한 수역 등이다. 인공어초 어장 조성에 사용하는 어초單體의 구조, 單位어초 및 어초군의 구성은 대상어종의 행동특성에 적합해야 한다. 이를 위해 필요할 경우, 대상어종의 발육 단계별 분포, 이동범

위와 수온, 수심, 저질, 유동, 해저형상 등과의 관계 및 어초에 대한 반응특성을 명확히 할 필요가 있다. 일반적인 조사대상, 조사항목, 조사방법을 [표 III-1]에 나타내었다. 조사계획을 설정함에 있어 먼저 기존조사 연구결과를 충분히 정리 검토하고 명확하지 않는 사항에 대해서는 별도의 조사를 행한다.

인공어초의 시설 수심은 적지조사에 의거 시설적지에 시설한다. 저질은 니질의 함량이 80% 이하인 곳으로 매물이나 세굴의 영향이 없는 곳에 시설해야 한다.

[표 III-1] 생물적 조건조사 항목 및 방법

조사 항목	조사 내용	조사 방법
주요 대상어종의 서식특성	- 대상어종 - 해저지형, 저질, 유동, 수온과 행동 특성 파악	- 기존자료 활용 - 기존자료 활용 또는 청취조사

2) 물리·화학적 조건 조사

인공어초어장의 계획·설계에 필요한 수온, 염분, 유속, 수심 등 해양과 해저 등에 관한 조사를 행한다. 생물적

조건 조사 결과, 기존어장 형태조사와 함께 해석하고 효율적인 인공어초어장 조성계획의 자료로 사용한다.

**해설**

본 조사의 목적은 대상해역의 물리·화학적 특성을 파악하므로써 조성 후 환경조건을 예측하고, 생물조사, 기존의 어장형성 상황 조사를 입체적으로 분석하여 사업에 필요한 모든 조건을 수립하기 위한 자료를 얻는 것이다. 조사항목 및 내용은 [표 III-2]와 같다. 이들의 항목에 대해서는 대상해역의 특성과 대상어종에 따라 중요도를 감안하여 실시한다.

[표 III-2] 물리·화학적 조건 조사

조사항목	조사내용	조사방법
해양조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유속</li> <li>- 수온, 염분</li> <li>- 수심</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존자료 활용</li> <li>- 수온, 염분의 측정은 CTD등에 의해서 관측을 행한다.</li> </ul>
해저조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저지형</li> <li>- 저질</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저지형은 광역적으로는 해도 등을 이용하며, 이들에 의해 등수심선을 작성을 한다. 이와 함께 음향측심기 등을 이용하여 기존자료를 보강한다.</li> <li>- 저질조사는 해도 등 기존자료, 청취조사 등에 의해 관련해역의 상황을 파악하고, 필요하면 채니기를 이용하여 시설예정지의 저질을 파악해야 한다.</li> </ul>

3) 사회·경제적 조건조사  
 조성하려는 어초어장은 대상으로 하는 지역에 있어서의 연안어업 유도방향, 어장이용계획을 기본으로 하여 검

토한다. 이를 위해, 해역조사와 더불어 대상지역의 사회·경제적 조건을 조사하여 사업의 목표, 조성위치, 조성규모 검토의 기초자료로 활용한다.

**해설**

인공어초어장 조성계획을 책정함에 있어 대상지구의 연안어업에 대한 실태와 문제점을 명확하게 하여 문제점을 해결할 수 있는 어초어장의 역할을 검토할 필요가 있다. 또한, 조성하고자 하는 어장은 대상지역의 연안어장이용에 관한 효율화를 도모하지 않으면 안 된다. 때문에, 대상지구에 있어서의 산업구성, 그 가운데에서도 바다목장사업이 어느 위치에 있는가를 명확히 하여, 사업에 의해 개선되어야 할 목표를 설정하기위해 대상지구에서의 산업별 취업자수의 추이, 취업자 1인당의 소득액 및 지구연안어업의 개황에 대한 통계자료의 해석, 설문조사, 청취조사 등에 의해 명확히 밝혀낸다.

② 적지선정

조사 결과를 해석하고 대상해역의 어장특성, 자원특성 등 적합한 어장조건을

추정하여 인공어초 어장의 조성계획을 세운다.

**해설**

조사는 사전에 그 목적을 명확히 하는데 있지만 그 목적에 따라서 조사결과를 충분히 활용하는 것이 중요하다. 대상어종 등 생물적 조건조사, 물리·화학적 조건조사 및 사회·경제적 조건조사로부터 대상 해역에 있어서 적합한 어장조건을 추정하여 인공어초 시설적지 선정에 참고한다.

(다) 시설

① 예인 및 시설지 부표설치

제작된 인공어초는 시설지까지 안전하게 적재하여 시설해야 한다. 예인 시에는 예인 로프가 절단되거나 예인선의 침몰 등의 사고가 발생하지 않도록 안전

조치를 강구해야 한다.

어초의 시설 위치에는 사전에 부표를 정확히 설치해야 하고, 부표는 해상에서 발견하기 쉽고 어초 시설 기간동안 이동이나 유실되지 않도록 견고하게 시설하여야 한다.

**해설**

제작된 인공어초는 시설지까지 바지선에 적재하여 이동하는 방법이 이용되고 있다. 어초의 시설 위치에는 사전에 감독관의 입회하에 GPS (Global Positioning System) 등에 의해 부표를 정확히 설치해야 하고, 부표는 해상에서 발견하기 쉽고 어초 시설 기간동안 이동이나 유실되지 않도록 견고하게 시설하여야 한다.

② 배치 형태 및 시설규모

인공어초의 배치는 어초의 높이가 2 m이하의 용적이 적은 것은 한 곳에 집적하여 시설할 수 있고, 어초의 높이가 3 m이상의 어초는 1개씩 일정거리를 두어 시설한다. 어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 投影면적이 20배 정도

이하로 하여 시설한다. 單位어초의 시설 규모로는 1개소에 1,600~2,400 m<sup>3</sup> 정도로 한다. 복수의 單位어초로 구성되는 어초군간의 거리는 I, II형 어종의 경우 400 m, III형 어종은 600 m 이내로 배치한다

**해설**

인공어초의 배치는 집적하여 시설하거나, 1개씩 일정 거리를 두어 시설한다. 그러나 집적하여 시설할 경우 지나친 집적으로 인하여 어초의 내부의 공간이 밀폐되어 조류 소통을 방해하는 등의 사례가 없도록 주의해야 한다. 어초와 어초의 간격(분산)은 어초 전체의 투영면적이 20배 정도 이하로 시설하는 것이 바람직하다. 單位어초 J(空 m<sup>3</sup>)를 한변이 a(m)인 사각어초로 조성할 경우, 분산 반경 r(m)는 단위조성 면적을 S(m<sup>2</sup>)로 하여

$$S = \frac{J}{a^3} \times a^2 \times 20 = \frac{20J}{a}$$

$$r = \sqrt{\frac{20J}{\pi a}}$$

로 된다. 예를 들면  $J=400\text{m}^3$ ,  $a=2.0\text{m}$ 의 사각어초의 경우,  $S=4,000\text{m}^2$ ,  $r\approx 36\text{m}$ 가 限界의 크기로 되며, 이상 분산되면 어초어장의 효과는 떨어지게 된다.

單位어초의 시설 규모는  $1,600\sim 2,400\text{m}^3$  정도로 한다. 그러나 시설 수심, 사용어법 등 해역의 여건에 따라 적지조사 결과를 토대로 별도로 규모를 정하여 시설 할 수 있다.

(라) 효과 조사

원칙으로 하되, 해역실정에 따라 조정할 수 있다. 시기는 계절별로 연 1회 이상 실시하여야 한다.

① 실시시기

새롭게 시설된 인공어초의 효과조사는 시설 직후부터 1년이상 조사한 것을

**해설**

어초시설의 안정에 관여하는 유속 및 파랑은 계절적으로 변화되기 때문에 어초시설의 안정상황을 관찰, 조사하는 데에는 시설 직후부터 세굴, 매몰, 이동, 파손 등의 조사를 실시하는 것이 바람직하다. 한편, 새로 시설된 인공어초에 부착생물의 착생을 확인하는 데에는 시설 후 3개월이 경과할 무렵이며, 그 후 부착생물의 천이가 일어난다. 시설수역으로의 어군 來遊시기는 계절에 따라 다르며 어종에 따라서는 어초지역에 정착하거나 내유하여 일시 머무르게 됨으로써 어장이 조성된다. 또한 經年的, 계절적으로 인공어초에서 어획조사를 행한 결과에 의하면, 어초에서 어획량이 안정되기까지는 1년이 경과할 무렵인 점을 감안하여 시설 후 1년이 경과한 후 시설해역에서 대상어종의 분포밀도가 가장 높은 시기를 선택하여 조사한다. 조사 시기는 계절별로 연 4회이상 실시한다.

② 방법

효과조사는 어초시설 위치의 확인조사, 잠수조사 또는 선상조사로 나누어

실시한다. 단, 해역실정에 따라 조사항목을 조정하여 실시할 수 있다.

## 해설

어초시설위치의 확인조사는 어초설치 시에 측정한 위치기록 등을 토대로 하여 GPS, 어탐 등의 방법으로 정확히 파악한다. 잠수조사에서는 시설안정상태조사, 부착생물조사, 어군분포량 및 어군위치조사, 어군행동 관찰 등을 행한다. 시설안정상태조사는 어초시설의 파손, 변형, 어초에 어구가 걸린상태, 주변의 해저형상 변화량 등을 목시로 관찰한다. 부착생물 조사는 시설된 어초에 부착한 부착생물의 주요종, 부착위치, 부착범위를 목시로 관찰하고, 필요할 경우 채집한다. 어군분포량 및 어군위치조사는 조사대상의 단위어초 주변에 분포하는 어종의 분포위치를 관찰 한다.

선상조사에서는 해양관측, 어군탐지기조사, 어획조사 등을 행한다. 해양관측은 수온, 염분, 투명도 등의 해양환경을 가능한 한 선상에서 측정기 등을 이용하여 측정한다. 어군탐지기조사는 어초를 중심으로 하여 8방위로 천천히 향해 하면서 어초의 시설과 어초에 위집하고 있는 어군의 반응을 조사한다. 어획조사는 어초에 위집한 어류의 어종과 성장단계를 측정하기 위하여 낚시나 자망 등 적정어구를 사용하여 어획조사를 행한다.

어초시설상태 확인조사는 먼저 시설된 어초의 위치를 확인하고 목표로 하는 부표를 설치한다. 어초의 위치는 시설시 지정한 GPS 등의 자료를 기초로 하여 어초를 확인한 후 어초의 가까운 지점에 부표를 설치한다. 필요할 경우 잠수조사를 통하여 인공어초의 시설장소 및 그 주변에서 어초의 영향에 의해서 저질변화가 발생하지 않는 각 1점을 정하여 저질 상태를 조사할 수도 있다. 이들 2점의 저질조성의 차이에 의거 漂砂 등에 의해 생성된 저질의 이동 상황 등의 추정이 가능하다. 또한, 어선어초 시설의 파손, 변형 또는 인공어초에 어구가 걸려있는지의 여부, 인공어초시설 상태 등의 변화를 관찰하고 변화가 있으면 스케치하여 기록한다. 이와 함께 주변의 해저형상의 변화상태 등을 관찰하여 세굴의 유무, 그의 수평방향의 범위, 세굴깊이, 침하 등도 관찰한다. 또한 필요할 경우 부착생물은 인공어초 시설 장소별로 외측, 해저로부터 높이 등을 조사하고 부착생물의 우점종, 부착범위 등을 관찰한다. 30 m 이천에 시설된 어선어초의 경우, 부착생물의 채집은 20×20 cm의 면적내에 있는 생물을 긁어 모아 시료보관 자루에 넣는다. 부착생물은 시설의 형상 변화를 촉진하는 동시에 쥐치류, 돌돔 등의 위집 어류 먹이와 소형동물의 은신처 등으로 되어있어 생물의 위집과 관련하여 중요한 요소로 된다.

선상조사에서 수온, 염분, 투명도 등의 환경요인에 대하여 CTD 등의 해양관측 기기로 조사한다. 특히, 특정한 어초시설에 대하여 정기적으로, 經年的으로 조사 하는 경우에는 반드시 실시해야 되는 항목이다. 어군탐지기 조사는 어군의 이동 속도가 빠른 부어류나 어초로부터 떨어진 장소에 분포하는 저어류의 어군분포 위치 및 량을 조사하는 데에 적합한 방법으로 정밀측정을 위해서는 어군량을 정량화할 수 있는 개량어탐기기 필요하지만, 간단한 방법으로서 일반적으로 이용되고 있는 어군탐지기를 사용하는 것도 바람직하다.

어획조사는 잠수조사와 어군탐지기에 의한 조사를 함께 실시하고 관찰한 어류의 어종별, 성장단계별 측정을 위하여 어초에서 낚시나 자망 등에 의하여 어획조사를 행한다.

③ 보고서 작성

조사 보고서는 조사 單位어초마다 똑같은 순서에 의해서 간단하게 기술하고

필요에 따라서는 표나 그림 등으로 정리하며, 어탐기록지, VTR테이프, 사진 등을 정리하여 첨가한다(비교구 병행조사).

**해설**

조사 보고서는 조사단위 어초마다 똑같은 순서로 간략하게 기술하고 필요에 따라서 표나 그림 등으로 정리하지만, 이미 그림이나 표를 사용한 경우에는 현장의 원래 자료를 기록한다. 또한 필요한 경우, 어군탐지 기록지, VTR테이프, 사진 등을 정리하여 각각 적절한 방법으로 설명(촬영위치, 어종등) 첨부한다. 보고서의 목차 및 내용은 다음을 참고하여 작성한다.

〈조사대상 어초의 위치〉

- 지역명, 구역명, 수심, 조사위치(도면 첨부)

〈조사대상 어초〉

- 어초종류, 어초 空용적, 어초시설높이, 시설면적, 시설년도 등

〈조사내용〉

- 조사 년월일, 조사항목
- 조사 기관명, 조사담당자명, 사용선박명 등

〈환경조사〉

- 수온(표층, 저층), 저질, 투명도

〈어초기능 조사〉

- 세굴, 침하상태, 전도 등
- 어초의 파손유무, 파손장소, 파손상태
- 어초에 어구가 걸려있는지 유무, 어구가 걸려있을 경우 어구명 및 위치

〈부착생물 조사〉

- 부착생물의 종류, 종류별 착생부위(어초 상하, 내외, 앞 뒤)
- 해저면에 부착생물의 패각의 유무, 상태 등

〈어군분포량〉

- 어종별 어초에서의 분포위치, 흐름과 구조와 관련해서 설명

〈어군행동〉

- 분포어종, 성장단계별 섭이관계, 도피, 산란 등 행동에 대한 관찰

〈어군탐지기에 의한 조사〉

- 어초 시설 상태, 어군의 유무 등 어탐기록지 상에 나타난 기록 조사

### (마) 인공어초의 관리 유지

인공어초에 어망 등의 폐어구가 걸려 어초의 기능이 현저히 저하하여 어초어장으로

이용할 수 없다고 판단될 경우에는 어구 등을 제거할 수 있도록 관할 시·도에 통보한다.

### 해설

〈인공어초에 걸린 폐그물 제거〉

인공어초는 수심이 깊은 곳에 시설되므로 시설 후 파손, 매몰, 분산 등에 의해 기능이 저하하는 경우라도 보수가 곤란하다. 그러나, 어망 등의 어구가 어초에 걸려 조업과 어초 기능에 지장을 줄 경우에는 비용과 효과를 검토하여 제거해야 한다. 제거는 다음과 같은 방법이 있다.

#### - 잠수작업에 의한 제거방법

잠수부에 의해 어초에 걸린 어망을 절단한다든지, 회수하여 선상으로 올리는 방법으로 비교적 수심이 얇은(일반적으로 30m 이천) 어초에서 행하여지지만, 잠수회사에 의뢰할 경우에는 많은 비용이 소요된다.

- 망에 걸린 어초를 선상에 끌어 올려 제거 후, 다시 시설하는 방법  
어초 자체를 크레인 등으로 바지선에 올린 후 망을 제거하고 다시 시설하는 방법이다.

#### - 절단용 갈고리에 의한 제거방법

어선에 절단용 갈고리를 부착한 체인을 끌어 어초에 걸린 망을 제거하는 방법이다.

#### - 자기항해식 수중비디오가 장착된 절단기에 의한 제거방법

일본 “200해리 어업 개발 촉진회(Marine forum 21)”에서 개발한 방법으로 원형의 절단기를 자기항해식 수중 비디오에 장착시켜 선상에서 비디오를 보면서 조작하여 망, 로프 등을 절단하는 방법이다.

## (2) 강제어초 제작

### (가) 총칙

#### ① 적용범위

- 본 제작 매뉴얼은 강제어초 제작공사에 적용한다.

- 이 매뉴얼에 인정되지 않는 사항 및

이에 의하지 않는 사항은 특별 사양서에 준하도록 한다.

- 설계도 및 특별 사양서에 기재된 사항은 이 지방 사양서에 우선한다.

#### ② 일반사항

- 강제어초의 제작, 조립에 종사하는 용

접기술자는 자격증을 소지하고 용접 작업에 종사한 경험이 풍부한자이어야 한다.

- 공장에서 완제품을 제작하는 경우와 마찬가지로, 현장에서 조립하는 경우의 주요작업은 제작공장 파견 작업자 또는 이것과 동등 이상의 기술을 가진 자로 한다.
- 제작업자는 설계도에 정해진 제품의 품질 등을 확보하기 위해 어초개발업체의 기술지도 등에 따라 사양서에 준해 제작한다.

### ③ 시공관리

제작업자는 별도로 정하는 본 매뉴얼 및 시방서 기준에 의해 관리를 행하고, 그 기록을 감독원에 제출한다.

### ④ 검사

- 제작업자는 강제어초의 제작 또는 조립작업에 있어서 중요한 공정의 절차 및 그 작업이 완료하였을 경우는 필요에 따라 감독원에게 제출하여 검사 또는 확인을 받아야 한다.
- 제품검사는 제작업자 또는 현장대리인 및 감독관 입회하에 검사를 받아야 한다.
- 제작업자는 검사에 필요한 측정, 자료 제출, 기타 처리에 따라 검사원이 지시한 것에 대하여 따라야 한다.

## (나) 재료의 선정

### ① 종류

鋼製어초의 일반적인 부재로는 鋼材, 콘크리트 및 자연석 등이 적당하다.

### ② 鋼材

#### ㉠ 사용 강재의 규격

한국공업규격(KS품 또는 그것과 동등 이상의 품질을 가진 것으로 한다. 그 선정에 있어서는 규격 내용을 충분히 확인하고 용도, 목적에 적절한 재료를 사용하며, 규격은 별도로 협의하여 정한다.

#### ㉡ 강재의 선정

강재를 강제어초의 구조재, 기능재로서 설계, 제작, 시공면, 경제면에서 보아 적절히 사용하기 위한 검토사항을 아래 [표 Ⅲ-3]과 같이 정한다.

### ③ 콘크리트

#### ㉠ 콘크리트 규격

한국공업규격(KS품 또는 그것과 동등 이상의 품질)을 가진 것으로 한다. 그 선정에 있어서는 규격내용을 충분히 확인하고 용도, 목적에 적절한 재료를 사용하며, 규격은 별도로 협의하여 정한다

#### ㉡ 콘크리트의 선정

콘크리트재를 강제어초의 구성 재료로서 설계, 제작, 시공면, 경제면에서 보아 적절히 사용하기 위한 콘크리트 어초의 규격에 따른다.

[표 III-3] 강제선정의 검토사항

항목	고려사항	주요검토 사항
설계면에서 검토	구조적 특징 기능적 특징 시설해역의 특징	전체형상, 부재형상, 접합부 설계, 응력레벨 위집효과, 증·양식효과, 먹이생산기능, 포획기능 부식환경, 조류, 파랑, 수심, 저질, 시설조건
제작, 시공면에서 검토	용접성 가공성 균질성	화학적분, 기계적 성질, MT용접검사.
경제면에서 검토	시장성 가격 총중량	시장성 있는 규격 (정부 품셈표, KS 품, 각종 카타로그)

④ 석재

㉞ 사용석재

할석용 어초의 석재는 대상어종의 증·양식효과나 착생기질로서의 목적, 기능 등에 따라 적절한 것을 선정하여 사용하도록 한다. 또 어초의 구조상에 있어서 석재의 탈락이 없도록 크기 등에 주의를 요하여야 한다.

㉟ 석재의 선정

석재를 강제어초의 구성 재료로서 설계, 제작, 시공 면에서 보아 적절히 사용한다.

⑤ 그외 기타 재료

강재, 석재, 콘크리트 이외의 재료를 사용할 경우는 환경에 대해 문제가 없어야 하며, 필요한 강도, 내구성 및 균질성을 가져야 한다.

(다) 제작

① 제작 flow-chart[그림. Ⅲ-1]



[그림. Ⅲ-1] 강제어초 제작 흐름도

② 공작 및 부재조립

㉠ 공작도 및 치수도

- 공작도는 설계도에 근거를 두고 작성, 감독원의 승락을 얻어야 한다.

- 공작도는 공사기간 중에는 제작업자가 현장에 보관하고, 그 이후에는 어초개발 업체가 소정기간 보관하는 것으로 한다.

- 치수도는 공작도에 근거하여 그 일부 또는 전부를 생략하는 것이 가능한 것으로 한다.

㉡ 강재줄자

강재제작에 사용하는 기준줄자는 KS 규격의 1급품을 사용하고 기타 줄자를 병행 사용하는 경우는 사전에 기준줄자와 비교하고 그 오차를 확인하여 기록하는 것으로 한다. 또 비교시의 테이프 장력은 5kgf로 한다.

㉢ 가공후의 강재의 식별

- 가공후의 강재는 소재시의 재질과 동일한가 명확하게 구분 가능하도록 적당한 방법으로 식별할 수 있도록 한다.

- 서로 다른 공사의 강재가 혼재하는 경우에는 강재에 공사명칭이 명료하게 되도록 표시를 하는 것으로 한다.

㉣ SCRIBING

- SCRIBING은 공작도 또는 자, 형판으로 후의 공정에 필요한 사항을 정확, 명료하게 기록한다.

- 굽힘 가공되는 강재의 표면에는 편치나, 정 등으로 표면에 상처를 주어서는 안된다.

- SCRIBING 치수는 가공 중에 생기는 수축, 변형 등을 고려한 값으로 해야 한다.

㉤ 절단

- 강재의 절단은 그 형상에 최적방법으로 한다.

- 전단 절단하는 경우의 강재판 두께는 원칙적으로 13mm 이하로 한다.

- 가스절단면의 정도는 아래 [표 III-4]와 같이 한다.

[표 III-4] 가스절단 단면의 품질

거칠기	200S 이하
notch 깊이	2mm 이하

- ㉞ 흡가공  
흡가공은 원칙으로서 가스 절단기로

하는 것으로 하고, 흡가공면의 정도는 아래 [표 Ⅲ-5]과 같이 한다

[표 Ⅲ-5] 흡가공 면의 정도

거칠기	200S 이하
notch 깊이	2mm 이하

- ㉟ 구멍 뚫기 가공
  - 가체결 볼트용 구멍뚫기 가공은 원칙으로서 드릴 뚫기로 한다. 단, 판 두께가 13mm 이하일 때에는 전단 구멍뚫기가 가능한 것으로 한다.

- 굽힘가공은 冷間(상온)가공 또는 熱間가공으로 하지만, 熱間가공의 경우는 적열상태에서 하고, 靑熱脆性域(200~400℃)에서 하면 안 된다.

- 볼트 구멍 직경은 볼트 공칭 직경에 2mm를 더한 것으로 한다.

- 상온가공에서의 굽힘내 반경은 재료의 판두께의 1.5배 이상, 강관의 경우는 직경의 5배 이상으로 하지 않으면 안 된다.

- 구멍뚫기 가공후의 구멍 주위의 쇳가루, 작업찌꺼기 등은 완전히 제거하여야 한다.

㊱ 부재조립

- ㊱ 변형 교정
  - 가공 중에 발생한 변형은 그 변형량이 정해진 제품 정도에 이상이 생기는 경우에는 교정하지 않으면 안 된다.

1) 재료준비

- 조립에 사용하는 부재는 부재의 번호, 재질, 수량 등 확인 뿐만 아니라 오염, 부식, 유해한 흠 등이 없는가를 확인하여야 한다.
- 변형이 큰 부재는 소정의 제품정도를 확보하기 위해, 조립하기 전에 변형의 교정을 하지 않으면 안 된다.

- 변형교정은 상온 또는 熱間에서 행하는 것이나, 熱間에서 행하는 경우는 재질이 변형되지 않도록 주의하여야 한다.

2) 부재조립

- 부재조립에는 작업에 적당한 定盤이나 治具를 사용해서 행하고 부재 상호의 위치 및 각도를 정확히 유지

- ㊲ 굽힘 가공

하도록 조립하지 않으면 안 된다.

- 부재 조립시 그 구조형식, 용접방법 및 용접 순서 등을 정하여 용접에 의한 변형이 최소가 되도록 조립하지 않으면 안 된다.
- 가용접은 조립에 지장이 없는 범위에서 최소의 개소로 하고 비이드(용착금속)가 짧게되지 않도록 주의하여 용접을 행하여야 한다.

### 3) 조립후의 변형 교정

변형의 교정 방법에 대해서는 변형 교정 항에 따른다.

### 4) 가조립

제작 공장에 있어서 가조립을 행할 경우는 시공계획서를 세워서 행한다.

## (라) 용접

### ① 적용범위

어초의 용접부를 아크 손용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접, 서버머지드(submerged) 아크 자동용접으로 하는 경우에 적용하는 것으로 한다.

### ② 용접재료의 선정 및 관리

#### ㉠ 용접재료의 선정

피복아크용접봉, 와이어 및 가스등의 용접재료는 KS 규격품을 원칙으로 한다.

#### ㉡ 용접재료의 관리

용접재료는 습기를 흡수하지 않도록

보관하고, 흡습되었다고 의심이 가는 경우는 건조기 등으로 성능이 유지되도록 하여 사용하여야 한다.

### ③ 흠의 확인 및 모재의 청소

#### ㉠ 흠의 확인

용접에 앞서 흠이 적절인가, 부적절한가를 확인하고, 부적절한 흠의 경우에는 용접을 하여서는 안 되며, 흠을 수정하고, 용접에 지장이 없는 상태가 되도록 하여야 한다.

#### ㉡ 모재의 청소

모재의 용접면은 용접에 앞서 슬래그, 수분, 녹, 기름, 도료, 기타 용접에 지장을 주는 것을 제거하여야 한다.

### ④ 용접가공 일반

#### ㉠ 용접부

용접부는 균열, 기공등, 틈새부식에 유해한 결함이 있어서는 안 된다.

#### ㉡ 전류, 전압 기타

용접은 용접방법, 강종과 판두께 및 작업환경에 따라서, 용접전류, 아크전압, 용접속도, 가스유량 등의 적절한 조건을 선정하여 실시하여야 한다.

#### ㉢ 작업 지그

공장용접은 회전 지그, 포지셔너 등 적절한 지그를 사용하고 가능한 한 용접자세는 아래 보기로 행하도록 한다.

#### ㉣ 작업

용접의 작업 방법 및 순서는 변형과 잔류응력이 최소가 되도록 대책을 세워 결함이 없도록 용접한다.

㉞ 아크 개시점 및 종료점

아크 개시점에는 특히 용입불량과 슬래그 섞임에 주의하여야 한다. 또 아크의 종료점 및 비드의 종단에는 균열이 발생하지 않도록 건전한 용착금속으로 그 크레이터(crater)부를 충분히 메꾸어 두지 않으면 안 된다.

㉟ 기온, 기후 기타

- 기온이 0℃이하의 경우는 용접을 하지 않으며, 단 용접부 보다 100 mm 범위의 모재 부분을 36℃ 이상으로 가열하여 용접하는 경우는 가능할 수 있다.
- 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.
- 철망의 부착은 부식손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다.

㊱ 용접부의 청소

슬래그의 제거는 각칸벌림 및 용접 완료 후에 하며, 용접부 부근에 부착하여 있는 스파터들은 제거하여야 한다.

⑤ 맞대기 용접

받침쇠를 사용하는 경우, 건전한 루트

부 용입이 얻어지도록 충분한 루트 간격을 잡고, 받침쇠를 밀착되도록 하여야 한다. 받침쇠는 용접성에 문제가 없는 것을 선택하여야 한다.

⑥ 필릿 용접

㉠ 각장의 차

等脚 필릿 용접의 脚長은 심한 차가 있어서는 안 된다.

㉡ 부재의 밀착

필릿 용접된 상호부재는 충분히 밀착되지 않으면 안 된다.

㉢ 덧살

필릿 용접은 가능한 한 볼록형 비드를 피하고 덧살의 높이는 3mm 이하로 하여야 한다.

㉣ 둘레용접(boxing)

앤드탭(endtab)을 사용하지 않는 필립용접의 처음과 끝은 매끄럽게 둘레용접을 하도록 한다.

⑦ 용접부의 검사

용접부의 표면 결함 검사 및 정도는 육안검사를 표준으로 하지만, 그 기준은 아래 [표 Ⅲ-6]와 같다.

[표 Ⅲ-6] 용접 외관 검사 기준

결함의 종류	허용범위
용접 비드 표면의 피트(pit)	필릿 용접에는 한개의 이음부에 흠집 3개, 또는 이음부 길이 1m에 흠집 3개까지를 허용한다.
용접 비드 표면의 요철	비드 표면의 요철은 비드 길이 25 mm의 범위에 있어서 고저 차로 나타내며 3mm를 넘는 요철이 있어서는 안 된다.
언더컷	언더컷의 깊이는 0.8mm를 넘어서는 안 된다.
오버랩	오버랩이 있어서는 안 된다.
필릿 용접의 크기	필릿 용접의 크기 및 목두께는 지정 필릿 크기 및 목두께 이상이어야 한다.

⑧ 불량 용접부의 보정

용접 종료 후의 검사에 의해 불합격한 부분은 적절한 방법으로 수정하여야 한다.

- 유해한 결점이 있는 용접부분은 제거하고 재용접한다.
- 용접부에 균열이 생긴 경우는 그 용접부를 전장에 걸쳐 제거하고 재용접한다.

(마) 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 한냉해역보다 부식량이 크다. 또 통상 수심이 깊어짐에 따라 수온, 용존

산소량이 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 [표 Ⅲ-7]의 값을 기준으로 한다.

- 강제어초의 강재를 耐海水性鋼을 사용할 경우는 종류에 따라 차이가 있으나 부식량이 보통강의 약 1/2 정도이다.

④ 전기방식

부식허용량에 의한 방식에 추가로 전기방식을 함께 사용함으로써 부식에 의한 부재 두께감소 및 집중부식을 줄일 수 있다.

[표 III-7] 강제어초의 부식허용량

수 심	부 식 량(편면)
20~50 m	1.2 mm/30년
50 m 이상	0.9~1.0 mm/30년

\*여유율은 공식 등의 국부부식을 고려하여 2.0배로 한다.

- 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.

(바) 제품검사 및 운반

① 자체검사

- 공장제작이 완료된 부재는 자체검사를 행하고, 그 결과를 기록하여 감독원의 요구가 있을시 제출하여야 한다.

- 제품검사의 결과 발견된 불량개소는 신속히 보수하여야 하며, 중대한 결함이 있을 시에는 감독원과 협의하여야 한다.

② 운송 및 계획

- 운송계획은 현장조립에 지장을 주어서는 안 되도록 하고, 교통안전 등의 관계 제법령에 따라 작성한다.
- 운송에 있어서는 제품에 손상이 없도록 충분히 주의하고, 특히 운송 중에 화물이 풀어지지 않도록 하고, 부재에 손상이 가지 않도록 적절한 대책장치를 준비한다.
- 운송에 있어서 사전에 그 날짜를 감독원에 보고하여야 한다.

(사) 조립과 제품검사

① 적용범위

공사현장에 투입되는 각부재의 분류 및 조립과 부재상호의 접합에 의해 강제어초의 제작이 완료되기 까지 필요한 작업과 이들에 관한 가설공사를 대상으로 한다.

② 담당기술자의 선정

제작자는 필요에 따라 강제어초 조립

공사 담당 기술자를 별도로 정해 담당업무와 그 책임을 명확히 하여야 한다.

### ③ 현장조립

#### ㉠ 반입 구분

- 부재의 집적은 부등침하가 없도록 적절한 받침대 위에 쌓아야하며, 비틀림, 굽힘 등의 손상이 가지 않도록 하여야 한다.
- 부재의 비틀림, 굽힘 등이 발생한 경우는 조립에 앞서 이것을 수정하여야 한다.

#### ㉡ 지상조립

조립에 앞서 지상조립을 할 때에는 치수정도를 유지하기 위하여 유효한 가대, 지그 등을 사용하고 접합은 공장 및 현장용접에 준한다.

#### ㉢ 조립중기

조립중기의 선정은 최대하중, 작업반경, 작업능률, 어초의 규모 및 형상, 주변환경 등에 의해 기종과 대수를 결정한다. 이 경우 바람, 지진, 크레인운반시의 충격하중 등에 대해서 안전하여야 한다.

### ④ 공장 및 현장용접

#### ㉠ 용접방법 및 순서

- 용접은 특별사양서에 정하지 않는 한 아크 수용접, 가스실드(gas-shielded)아크 반자동용접, 셀프실드아크 반자동용접을 사용하는 것으로 한다.

- 용접은 용접 변형이 조립정도에 영향을 고려하여 그 시공 순서를 정한다.

#### ㉡ 용접조건

기온, 기후 등의 용접조건은 특별사양서에 정해져 있지 않으면, 4. 용접항, (라) 용접 중 (바) 기온, 기후, 기타 항에 따라 시공한다.

### ⑤ 제품검사

#### ㉠ 자재 검사

- 가장 최근판 및 그 부록이 적용되며, 주요 적용 규격은 다음과 같다.
- KS : KOREAN INDUSTRIAL STANDARD
- 자재는 철강사에서 발행되는 자재 시험 보고서에 따른다.
- 철강사에서 발행되는 자재 시험 보고서가 누락되었을 때는 확인하여 제출할 수 있다.
- 자재 외관 검사는 재료 표면에서 실시하며, 흠이나 균열 등의 자재 결함은 관련 사양서의 규격치 이내이어야 한다.
- 입고 자재가 적용 규격 및 기준의 요구 사항과 불일치하면 품질 관리부는 불일치 보고서를 작성하고, 적용 규격 및 기준에 맞는 자재를 입고시켜야 한다.

#### ㉡ 제작 검사

- 용접 구조물은 일반 강구조물 제작 규격에 준하여 제작한다.

- 사용 재료는 KS에 일치하거나 동등 이상의 것으로 한다.
  - 가공품은 KS의 일반 기계 가공 공작물 규정에 준하여 제작한다.
  - 설비 제작 중 제품 변경이 불가피한 경우는 승인을 득한 후 제작한다.
- ㉔ 마킹 검사
- 원래의 자재 식별 표시가 2개 이상이면 절단되어질 때, 주요 자재에 대한 원래 자재 식별 표시는 절단 전에 재질, 자재 번호 혹은 플레이트 번호 등을 각 피스에 정확히 표시 되어져야 한다.
  - 식별 표시는 연속이거나 점과 점으로 날이 무딘 스탬프 혹은 Marking 등으로 표시한다.
- ㉕ 흠 및 부착물 검사
- 흠 및 부착물은 관련 도면 및 적용 규격에 따라 실시한다.
  - 용접되어질 모든 표면은 철저히 그라인딩, 와이어 브러싱이나 솔벤트 크리닝 등으로 청정되어져야 한다.
  - FLAME이나 아크가우징이 사용되어진 표면은 가공이나, 그라인딩으로 평탄하게 해야 한다.
- ㉖ 용접 검사
- 용접부는 전개소 육안검사로 용접누락, 균열, 기포 등이 없는 것을 확인하여야 하고, 발견된 불량개소는 신속히 보수하여야 한다.
  - 용접, 용접 절차서 및 기술자 검증
- 등은 관련 적용사양의 요구사항과 일치하여야 한다.
- 용접 부는 전 길이에 대해 일정한 용접 폭과 각장을 유지해야 한다.
  - 최종 용접 층은 거친 비드형상, 흠, 오버랩, 갑작스런 요철 현상이 없어야 한다.
  - 각 용접 층의 패스간은 외관상으로 슬래그, 혼합물, 균열, 기공 및 용입 부족 등이 없어야 하며 대표적으로 1~2곳에 MT 검사를 한다.
  - 상기와 같은 용접부 결함 수정은 가용징이나 흠 방법이 아닌 그라인딩으로 실시되어져야 하며, 근접된 모재의 최소 두께에 손상되지 않도록 해야 한다.
- ㉗ 외관, 치수 검사
- 모든 용접 부는 언더컷, 오버랩, 불규칙한 비드, 부적당한 용접 덧살에 대해 육안 검사가 실시되어져야 한다.
  - 최종 검사 전 모든 슬래그, 쓰레기, 녹, 용접 스파너, 페인트, 기름 및 다른 이물질 등이 제거되어져야 한다.
  - 해당 제작용 도면과 도면에 명기되지 않은 치수 허용 공차는 규정에 따라 치수 검사를 한다.
- ㉘ 부식 방식 검사
- 수소균열, 응력부식균열 및 부식 등을 방지하기 위하여 용접봉의 건조 및 모재의 예열을 용접 사양과 같이 용접 법에 의해 실시하여야 한다.

- 응력집중에 의한 응력부식균열을 방지하기 위하여 표면 가공 부위는 평탄하게 가공하여야 한다.
- 철망의 부착은 부식 손상에 의해 이탈되지 않도록 용접하여야 한다.
- 볼트의 체결은 틈새 부식이 일어나지 않도록 밀착되어야 한다.

㉠ 조립 검사

- 모든 볼트의 체결 상태
- 제작 완료후 LOOSE ITEM과의 조립성, 공장 제작 UNIT간의 조립 상태 확인을 위하여 가조립을 실시하여야 하고 이상 부위가 발견되면 이를 수정하여야 한다.

㉡ 포장 및 출하 검사

- 출하 준비 검사
  - 제품은 공장 제작 및 출하 동안의 우기, 기계적 손상 및 해로운 이물질 등으로부터 보호될 수 있는지 확인한다.
  - 인양 부분은 분명히 Marking 되어져야 하며, 개구부는 커버되어져야 하며, 제품이 출하되기 전의 원래의 SHIPPING STOPS, BOLTS, TIES 등은 모든 수단을 이용해 재 설치되어야 한다.

· 명판 및 꼬리표

- 부식되지 않는 명판이 사용되어야 하며, 이것은 쉽게 육안으로 확인 될 수 있어야 하고, 명판에는 장비명, 모델번호 SHOP

ORDER NUMBER, SERIAL NUMBER, 기기번호, 용역, 무게(kg) 및 다른 관련 정보가 기재되어야 한다.

- 식별용 꼬리표는 기기 묶음, 매듭에 부착되어야 한다.

a. 꼬리표는 부식되어지지 않아야 하며, 직경 30mm 이상이어야 하며, 식별 그림이 스탬핑 되어야 한다.

b. 식별 그림 높이는 최소 5mm 이다.

c. 꼬리표는 공급자 도면상에 명시된 COMPONENT SYSTEM DESIGNATION SYMBOL이 포함되어야 한다.

d. 꼬리표가 부착되는 모든 제품은 자재 일람 표상에 기록되어야 한다.

· 형상검사

조립 완료 후에 대한 검사는 완성사진 및 완성관리도 등을 기초로 외관의 비틀림, 변형 및 형상치수를 측정하고 도면, 사양서 등과 일치하는 가에 대해 검사한다.

㉢ 납품

· 운반 및 납품

- 운반 및 보관이 용이한 상태로 분해하여 운반 도중 파손이나 변형이 없게 한다.

· 시설

- 설치 전에 설치 일정표를 작성하

여 통보한다.

- 설치하는 MAKER에서 제출한 도면을 기준을 하되 미소한 변경사항 발생시는 상호 협의 하에서 변경할 수 있다.

/총비용(총사업비)로 산정한다. 총편익, 총비용은 각각 분석 대상기간의 각 년도마다 계측한 편익 및 비용의 합이다. 단지, 각 년도의 비용, 편익은 할인율을 이용해서 기준년도의 가치에 현재가치화한다.

### (아) 운반

#### ① 자체검사

- 공장제작이 완료된 부재는 자체검사를 행하고, 그 결과를 기록하여 감독원의 요구가 있을시 제출하여야 한다.
- 제품검사의 결과 발견된 불량개소는 신속히 보수하여야 하며, 중대한 결함이 있을 시에는 감독원과 협의하여야 한다.

#### ② 운송 및 계획

- 운송계획은 현장조립에 지장을 주어서는 안 되도록 하고, 교통안전 등의 관계 제법령에 따라 작성한다.
- 운송에 있어서는 제품에 손상이 없도록 충분히 주의하고, 특히 운송중에 화물이 풀어지지 않도록 하고, 부재에 손상이 가지 않도록 적절한 대책장치를 준비한다.
- 운송에 있어서 사전에 그 날짜를 감독원에 보고하여야 한다.

■  $\text{비용편익비율} = \frac{\text{총편익} [\sum(B_n \times R_n)]}{\text{총비용} [\sum(C_n \times R_n)]}$

$B_n$  : 기준년으로부터 n년후의 년도에 발생하는 편익

$C_n$  : 기준년으로부터 n년후의 년도에 발생하는 비용

$R_n$  : 기준년으로부터 n년후의 년도의 할인율을 고려한 계수

#### ㉔ 割引率 및 基準年

할인율은 0.04 (4%)로 한다. 또한, 현재가치화의 기준년은 사업실시의 초년도로 한다.

#### ㉕ 유지관리비

- 편익을 발생하는 데에 필요한 유지관리비는 편익액으로부터 빼서 순증가편익액으로 산정하고, 총비용에는 포함시키지 않는다.

- 분석기간에 사용하는 공종별 내용년수는 인공어초(침설어초)의 경우 30년으로 한다.

## (3) 인공어초 비용편익분석

### (가) 어류용 인공어초 효과 평가방법

#### ① 기본 개념

##### ㉑ 費用對效果算定式

비용대 효과는  $\text{비용편익비율} = \frac{\text{총편익}}{\text{총비용}}$

#### ② 계산방법

##### ㉑ 어업생산 향상 효과의 편익액 산정방법

1) 편익액 산정 접근방법

- 어업생산향상효과란 생산량, 생산액증대효과로 어장환경의 향상, 어장 면적의 확대 등에 의한 생산량의 증가, 품질의 향상 등에 의해 부가가치액이 증가하는 효과이다.
- 편익액 산정과 관련하여 사업에 의한 어장환경개선, 어장면적 확대 등에 의해 생산량이 증가한 경우에는 증가 생산량에 의한 부가가치액 (순 증가 생산액)을 편익액으로 한다.

※ 사업의 주목적 외의 것이라도 실태로서 상정된 효과, 즉 다음의 사례는 편익의 일부로 산정한다.

- 어초설치 사업에 있어서 어초 효과 범위 이외에서의 생산량 증가효과

## 2) 편익액 산정식

■ 편익액(천원/년) = 연간 증가생산량(톤/년) × 평균단가(천원/톤)

### 가) 연간 증가생산량(톤/년)

- 증가 생산량은 사업실시 전, 사업실시지구의 생산량 (구체적으로는 과거 5년의 평균 생산량)을 기준으로 하여 타의 요인이 불변인 것으로 가정하여 사업실시에 의한 증가량을 산정한다. 단지 사업을 실시하지 않는 경우라도 천연자원의 변동, 환경오염 진행 등의 요인에 의해 지역의 생산량이 증가 또는 감소가 예측될 경우, 이 예측생산을

기준으로 하여 증가량을 산정한다.

- 연간 증가생산량의 산정근거는 사업실시지구에서의 조사연구에 기초한 자료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 타지역, 시·도에 의한 신뢰성 있는 자료가 있을 경우 이것을 사용해도 좋다. 사업실시지구에 있어서 과거 유사사업이 실시된 경우에는 당해사업의 효과파악에 노력하고 사전평가에 필요한 충분한 자료가 축적될 경우에는 이것을 연간 증가생산량의 산정에 근거한다.

### 나) 평균단가

- 대상어종의 과거 5년간의 평균단가로 한다. 그러나 과거 5년간의 자료를 이용할수 없는 경우 최근의 수치를 이용해도 좋다.

### 다) 증가생산량에 수반되는 연간어업경비(천원/년)

- 증가생산량을 얻기 위해 필요한 어업경비로 증가생산금액×당해어업종류별 직접경비율로 산정해도 좋다. 경비율은 과거 5년간의 평균 경비율로 한다. 단지, 과거 5년간의 자료를 이용할 수 없는 경우 최근의 자료를 이용해도 좋다.
- 직접경비는 감가상각비, 전적가

죽노임, 교제비·복리후생비를 제외한 생산량·금액의 변동에 따라 변동하는 경비(변동어업경비)로 한다. 또한 방류효과를 포함해서 증가생산량을 산정하는 경우에는 증가 생산금액으로부터 방류비용을 뺀다.

※  $\text{년간어업경비} = \text{년간증가생산금액} \times \text{당해어업종류별 변동어업경비율} + \text{년간방류비용}$

㉠ 어업노동개선 효과의 편익액 산정방법

1) 어로시간단축효과(항해시간 단축)

가) 편익액 산정 접근방법

- 인공어초가 근접위치에 형성되어 어장까지의 항해 시간이 단축될 경우 단축시간의 시간가치를 편익으로 산정한다.
- 인공어초를 이용하는 어업종류는 복수의 어장을 갖고 어종, 어기, 천후(기후)와 어장에서 얻어지는 어획금액(정확히는 어업소득)등을 고려하여 어장을 선택한다. 기본적으로는 정비된 인공어초의 어획금액이 다른 어장을 상회할 경우 다른 어장으로부터 이동하는 것이지만, 몇 명이 어느 어장으로부터 몇일 정도 이동할까 사전에 예측하는 것은 곤란하다. 한편, 당해 인공어초의 연간어획금액은 생산량 증대효과로 추계되며 이 어획금액에 상당하는 어업자를 수익자 수로하여 연간 당해

인공어초에서 조업하는 것으로 하여 편익액을 산정한다.

- 편익액은 당해 인공어초를 이용하는 어업종류(증가생산량의 대상 어업종류)마다 산정한다.

나) 편익액 산정식

■  $\text{편익액(천원/년)} = \text{수익어업자수(인)} \times 1\text{인당 연간 감소항해시간(h/인·년)} \times 1\text{시간당 시간가치(천원/시간)}$

여기서, 1인당 연간 감소항해시간=(사업전의 평균항해시간-당해인공어초까지의 항해시간)×년간 평균출어일수

a. 편익 어업자수(인)

- 수익업자 수는 증가어획금액(천원/년)×1통당 평균어획금액(천원/년·통)×1통당 평균승선인원(인/통)으로 산정
- 증가어획금액, 1통당 평균어획금액, 1통당 평균승선수는 당해 인공어초를 이용하는 어업종류마다 산정한다.
- 증가 어획금액은 생산량 증가에 의한 부가가치액의 증가로 산정된 당해 인공어초의 증가 어획금액을 사용하여 1통당 평균어획금액, 1통당 평균 승선수는 실태조사로 파악한다.

b. 1인당 연간 감소항해시간(시간/인·년)

- 1인당 연간 감소항해시간 = (사업전

의 평균항해시간(시간/일) - 당해인  
공어초까지의 항해시간(시간/일)×  
년간 평균출어일수(일/인·년)으로  
산정한다.

- 항해시간은 왕복으로 계산한다.
- 사업전의 항해시간은 이용어업종류  
마다의 평균항해시간으로 한다. 평  
균 항해시간은 당해 어업종류별로  
어장을 대별하여 어장의존도(기본적  
으로는 출어일수, 곤란한 경우에는  
어획 금액비)에 의한 가중 평균으로  
한다.

$$\text{※ 평균항해시간(시간)} = (\sum \text{어장별 (大區分)항해시간} \times \text{어장별 출어일수}) \div \text{총 출어일수}$$

- c. 1시간당 시간가치(천원/시간)
  - 1시간당 시간가치는 수익업자의 1인  
1시간당 어업소득으로 한다.
  - 1인 시간당 어업소득(천원/시간) = 1  
통당 평균어획금액×소득율(선원고  
용노임은 경비뿐만 아니고 소득에  
포함)÷1통당 평균총어로서간으로  
산정한다.

[표. III-8] 항해시간의 단축편익액 산정 예

算 定 項 目		受益漁業種類		
		一本釣		計
A 增加漁獲金額	천원/년	A		
B 1統當平均漁獲金額	천원/통, 년	B		
C 1統當平均垂組員數	인/통	C		
D 受益漁業者數	인	$D = A \div B \times C$		
E 事業前平均航行時間 (往復)	h/일	E		
F 當該人工魚礁까지의 航行時間(往復)	h/일	F		
G 年間平均出漁日數	일/인, 년	G		
H 1人當年間減少航行時間	h/인, 년	$H = (E - F) \times G$		
I 1時間當漁業所得 (時間價値)	천원/h	I		
J 年間便益額	천원/年	$J = D \times H \times I$		

㉔ 어업경비감소 효과의 편익액 산정방법

1) 경영경비 감소효과

가) 항해시간단축에 의한 연료비 등의 감소

a. 편익액 산정 접근방법

- 인공어초가 근접위치에 형성되어 어장까지의 항해시간이 단축될 경우, 항해시간의 단축에 의한 연료비 등의 경비감소액을 편익액으로 산정한다.

- 편익액 산정방법은 항해시간 단축과 동일하다.

b. 편익액 산정

■ 편익액(천원/년) = 수익통수(통) × 1통당 연간감소항해시간(시간/통 · 년) × 1통, 1시간당 어업경비(연료비등, 천원/시간)

여기서, 1통당 연간감소 항해시간 = (사업전의 평균항해시간 - 당해 인공어초까지의 항해시간) × 년간 평균출어일수

· 수익통수(통), 1통당 연간 감소 항해시간(시간/통 · 년)

- 산정방법은 항해시간 단축과 동일함

· 1통 1시간당 어업경비(천원/시간)

- 항해시간의 단축에 의해 감소하는 어업경비로 기본적으로는 연료비다. 그 외 선도유지를 위한 어선의 어름 費用代價가 감소하는 경우도 있다.

- 1시간당 연료비는 당해 인공어초를 이용하는 어업종류별 평균적 어선의 항해중 마력수 × 1마력 1시간당 연료소비량(연료소비율 ÷ 유류중량)으로 산정

특별한 이유가 없는 한, 다음 연료 소비율 등을 사용해도 좋다.

※ 디젤기관 100마력 미만의 연료소비율 : 0.2 (0.17~0.23)kg/ps · h  
| 100마력 미만의 연료소비율 : 0.15 (0.14~0.17)kg/ps · h  
윤 활 유 : 연료의 2% (1~3%)

※ 중 유 : 중유 860 kg/m<sup>3</sup>, 경유 840 kg/m<sup>3</sup>  
윤 활 유 : 870 kg/m<sup>3</sup>

※ 항해 중의 출력 마력 : 정격출력의 80%

(나) 증식기능을 갖는 보육초 비용편익분석

① 목적

어초의 증식기능에 대한 사업효과를 계측하는 데 목적이 있음

② 성격

인공어초의 증식기능 (먹이장, 은신처, 휴식장, 산란장)은 정량적으로 파악하여 화폐단위로 직접적으로 나타내는 것은 어려움. 수심이 얇은 곳에 시설되는 증식구조물(어초)은 먹이공급을 목적으로 하는 것이기 때문에 먹이공급효과

를 중심으로 기술함

### ③ 용어 정의

- 증식구조물 : 먹이공급 등 어초의 증식기능 증대를 목적으로 하여 시설되는 어초(기와초, 석재초, 굴패각어초 등)
- 먹이동물 : 어류 등의 먹이로 되는 모든 동물
- 선호성 먹이(餌料) : 먹이로서 가치가 높은 먹이동물. 본 지침에서는 절족동물 연갑류(새우, 게 등), 환형동물 다모류(갯지렁이류 등)
- 그외 먹이동물 : 선호성 먹이동물로 가치가 적은 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 동물. 본 메뉴얼에서는 극피동물, 편형동물, 연체동물, 연갑류 이외의 절족동물.

### ④ 증식효과, 증식구조물의 평가방법

#### ㉞ 증식효과의 취급

유용수산자원의 성장촉진, 유치자어의 생산율 향상, 산란·부화량의 증가, 해조의 증식에 수반되는 효과 등의 증식기능에 의한 효과는 중복되지 않는 범위에서 통상의 어초효과(생산증대효과, 출하과정에 있어서의 생산량 증대효과, 항해시간 단축 등 비용저감효과 등)에 가산하여 평가

#### ㉟ 증식구조물의 평가

증식구조물에 의한 먹이공급효과는 최종적으로 어초전체의 어군의 위집량, 어획량의 증가로 귀결됨. 증식구조

물에 의한 어획량 자료는 거의 없기 때문에 그의 생산효과는 어초생산량(kg/空m<sup>3</sup>)효과 등에 증식구조물의 먹이공급효과를 별도로 계측하여 가산함.

### ㉠ 費用對 효과분석 방법

#### 1) 평가기준

화폐가치로 환산할 수 있는 효과(편익)에 대해서는 아래와 같이 구하고, 총비용(C), 총편익(B)은 분석대상 기간의 매연도마다 계측한 비용 및 편익의 합으로 하며, 년도의 비용, 편익과 함께 사회적 할인율을 이용하여 기준년의 가치를 현재가치화 함

- a 비용편익비율 (CBR) = B/C
- b 순현재가치 (NPV) = B-C
- c 내부수익률 (IRR) = B/C가 1.0으로 되는 할인율
- 총비용 (C) =  $\sum (C_n \times R_n)$
- 총편익 (B) =  $\sum (B_n \times R_n)$

Cn : 기준년으로부터 n년후의 연도에 要하는 비용

Bn : 기준년으로부터 n년후의 연도에 발생하는 편익

Rn : 기준년으로부터 n년후의 연도의 사회적 할인율을 고려한 계수

2) 사회적 할인율과 현재가치화의 기준년 사회적 할인율은 0.04로 함.

#### 3) 분석 대상기간

어초의 설계연수와 동일한 30년으로 함.

⑤ 증식구조물의 먹이공급효과 편익의 계측방법

- 년간편익액(천원/년)=증식구조물에 의한 增加魚體重 (kg/년)×평균가격(천원/kg)
- 증식구조물에 의한 增加魚體重= 增加餌料動物生産量(kg/년)×利用率×餌料轉換效率
- 增加餌料動物生産量= 餌料動物現存量(kg)×[年間生産量/賢存量]比

증식구조물에 의한 먹이공급효과 연간편익액을 계측하는 방법으로 ①증식구조물에 의한 증가 魚體重으로부터 계측하는 방법 외에 ②증식구조물에 의한 위집가능량(=1일당 먹이동물 공급량 × 위집동물 년간 섭이량), ③증식구조물에 의한 증가위집량(=어초의 먹이효과에 의한 어군위집량×증식구조물 먹이 증가비율) 등의 세 방법에 대해서 검토한 결과 C의 방법은 화폐화가 곤란해서 기각했음. ①, ②의 방법은 기본적으로 동일한 생각이지만, 간편하고 필요한 원단위가 얻기 쉬운 ①를 먹이공급 효과의 계측방법으로 하였음.

㉞ 먹이현존량을 나타내는 기본지표

먹이현존량을 나타내는 기본지표는 먹이동물 습중량으로 함. 또한 그 원단위(환산 등에 사용하는 단위먹이습중량)는 어초 등의 표면에 부착하는 동물

로 kg/표면적m<sup>2</sup> 굴패각어초 등 공급에 잠입하는 동물은 kg/체적m<sup>3</sup>으로 나타내고 그 합계는 kg/개(경제적으로는 비용액)로 표시함. 편익산정에 필요한 먹이산정량은 연간생산량이며, 간단하게는 현존량(연간생산량/현존량)비율로 추계함.

이 경우 현존량은 연간평균현존량을 사용하고 있는 사례가 많으며(연간생산량/연평균현존량)비율도 원단위로 결정할 수 있다고 생각하기 때문에 기본적으로 연평균 현존량을 사용함. 즉, (연간생산량/연최대현존량)비율 등 연간생산량 추계에 필요한 데이터가 명확하지 않는 경우에는 연간최대 현존량으로부터 연간생산량을 추계해도 좋음.

㉟ 대상먹이

현존량을 계측하는 대상먹이는 위집 어류의 먹이로되는 동물로 하고 특별한 이유가 없는한 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 동물을 대상으로 함.

1) 먹이가치로 본 부착·잠입동물은 다음 3가지로 대별됨.

- A. 선호성 먹이동물 : 먹이로써 바람직한 먹이가치가 높은 절족동물 연갑류(새우, 게 등)과 환형동물 다모류(갯지렁이 등)
- B. 그 외 먹이동물 : 극피동물, 편형동물, 연체동물(패류 등), 상기 A와 하기 C이외의 동물

C. 먹이가치가 없다고 여겨지는 동물 : 해면동물, 촉수동물, 원색동물

2) 어초나 증식구조물의 부착잡입동물  
어초 등의 표면(콘크리트 표면 등)에 부착하는 동물을 습중량으로 보면은 말미잘류, 패류 등이 많음. 표면 부착형 구조물에서의 조사사례를 보면 말미잘류가 먹이동물 습중량의 80~90%를 점하고 선호성 먹이동물은 수%에 불과함. 한편 패각초, 기와초 등의 내부잡입형 구조물에서는 패류, 말미잘류 등과 함께 다모류, 연갑류 등의 선호성 먹이동물이 많음

### 3) 계측 대상 먹이

어초에 위집한 어류의 위내용물 조사 사례에서는 연갑류(새우, 게류 등)과 다모류(갯지렁이류)등의 출현율이 높지만, 감성돔, 돌돔, 쥐치류 등에서는 패류, 말미잘류 등도 먹이로 하고 있음. 따라서 먹이가치가 없다고 여겨지는 해면동물, 촉수동물, 원색동물을 제외한 부착잡입동물을 먹이동물로하여 계측대상으로 함.

㉔ 먹이현존량과 그의 계측시기  
먹이 현존량은 어초 시설 후 대략 1년 이상 경과한 후에 조사함.

㉕ 이용율, 연간생산량/현존량의 비, 먹이전환효율  
특별한 이유가 없는 한 이용율=1, 연간생산량/연평균현존량비(P/BAVE) 먹이전환효율=0.13을 사용함.



## 어장조성 부록

### IV. 해조장 조성 기술

## ▶ ② 해조장 조성

### (1) 암초성 해조류

#### (가) 수온과 염분

암초역에 서식하는 해조류의 수온, 염분 및 기타 환경요인의 범위를 [표 IV-1]에 나타내었다. 암초성 해조장을 구성하는 종에 대한 수온은 최저수온기인 2월과 최고 수온기인 8월의 수온이 중요하며 이들 해조류에 대한 수온차이는 종에 따라 다르며 염분은 최저 염분이 분포에 영향을 미친다. 검둥감태, 감태, 톱니모자반, 큰잎모자반은 30.9ppt이상 비교적 고염분 해역에서 생육하며 미역은 23.7ppt, 팽생이모자반은 26.6ppt정도로 염분이 꽤 낮은 해역에서 생육이 가능하다. 대황, 감태, 검둥감태의 전 생활사를 통해 생육에 적정한 염분은 각각 31.2-34.8ppt, 32.0-34.8ppt, 33.2-34.5ppt정도이며 모자반류의 생육에는 종에 따른 차이는 있으나 24.0-34.0ppt정도이다.

#### (나) 수중광량

해조장의 성장을 좌우하는 수중광량은 종이나 성장단계에 따라 군락자체에 필요한 광량과 군락내에서도 배우체나 어린 엽체의 필요 광량도 달라진다.

군락 내부에는 유체는 왜소한 개체가 있지만 상부의 대형해조가 유실한 경우에 광조조건이 좋아지고 급격히 성장하여 군락을 매우 일정하게 유지하고 있는 것으로 생각된다. 前川 등(1988)에 의하면 1세 이하 대황의 어린 엽체의 보상광도는  $0.42E \cdot m^{-2}d^{-1}$ 라 하였고, 해면에 대한 상대광도는 유체일

경우 약 1.1%라고 보고하고 있다. 평균표면 일사량에 대한 상대광도는 대황유체에서 1.0-1.5%이고 감태유체에서는 0.5-1.0%였다.

해조의 종류나 성장단계별로 생육에 필요한 광조조건은 대황의 경우 배우체의 생장은 수온 15℃, 조도 1,000Lux 이상에서 좋고, 아포체 및 어린포자체의 생장은 3,500Lux에서 좋고, 유엽 및 성엽의 광합성은 수온 20℃, 10,000Lux에서 광포화에 달한다. 감태의 경우 배우체의 생장은 수온 15-23℃, 3,000-5,000Lux에서 좋고 성엽의 광합성은 수온 20℃에서 약 10,000Lux에서 광포화에 달한다고 한다. 테라와키(1991)에 의하면 대황해조장의 경우 수심 3m에서 광량  $4.9E \cdot m^{-2}d^{-1}$  이고 감태해조장에서는 5m에서  $5.7E \cdot m^{-2}d^{-1}$ , 10m에서 2.6, 15m에서 2.0, 20m에서  $14E \cdot m^{-2}d^{-1}$  라고 하였다. 다시마의 발아생장은 약 2,000Lux에서 좋고 10,000Lux까지는 조도가 높을수록 생장이 빠르다. 모자반류의 생육층은 종에 따라 다르고, 생육단계별 성장에 적합한 조도 범위는 유배기 2,000Lux 이상, 유체기에 5,000Lux이상, 성체기에 5,000-10,000Lux 정도이다.

#### (다) 투명도

투명도는 해조의 생육심도에 영향을 주는 해수의 탁도와 밀접한 관계가 있고 탁도가 증대하면 수중에서의 광량이 감소할 뿐만 아니라 광합성에 이용 할 수 있는 광파장의 범위도 변하기 때문에 해조의 생육가능 수

심에 영향을 미친다. 日本水産資源保護協會(1992)의 조사에 의하면 대황, 감태, 검둥감태를 주요 구성종으로 좋은 해조장을 형성하고 있는 장소의 투명도를 월 1회 조사치의 결과로 볼 때 연 평균치 범위는 6.2-12.4m, 측정된 최소치는 3.3-8.0m이다.

(라) pH

pH는 콘크리트 구조물이 해수중에 침점될 때 콘크리트 표면에서 해수중으로 용출하는 각종 이온에 의해 상승(알카리화)하는 방향으로 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 이렇게 볼 때 콘크리트 용출수에 미역 유엽의 광합성은 pH 8.9에서 24시간후에 저해가 적었지만 pH 9.3이상에서는 뚜렷이 저해되고 72시간 후에도 1개 8.5이상에서는 저해가 적지만 pH 8.9이상에서는 현저히 저해되었기에 pH는 8.5이하가 적당한 것으로

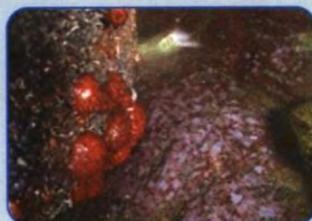
로 판단된다.

(마) COD

해조류에 대한 須藤(1992)의 실험결과를 표 3-6-24에 나타내었다. 보호수면 해조장으로서 모자반류의 COD는 5년 평균, 0.3-1.0mg/L/year이고 각 해조장에서 측정된 최대치는 1.1-1.6mg/L였다. 오오사카만의 해조상 조사결과에서 모자반류는 1.5mg/L이하의 수역에서만 생육하는 것으로 보고하고 있다.

(바) 영양염류

고농도의 NH<sub>4</sub>-N은 모자반류의 유배(수정란)의 발아에 영향을 주지만 짝잎모자반에서는 25mg/L(약 1786 $\mu$ mol/L), 팽생이모자반에서는 10mg/L(약 714 $\mu$ mol/L)의 고농도에서 영향을 미친다고 하는 보고가 있다.



[표 IV-1] 주요 해조장 구성종과 분포해역으로부터 구한 환경요인의 범위

종명			학명	현존하는 생식역에 있어서의 환경요인의 범위				
				2월수온 (°C) 하한~상한	8월수온 (°C) 하한~상한	염분 하한	COD (mg/l) 상한	파 (H <sub>1/2</sub> ·m) 하한
갈파래목	갈파래과	구멍갈파래	<i>Ulva pertusa</i>	-2~20	16~29	23.7	2.2	(1.0)
다시마목	다시마과	쇠미역사촌	<i>Costaria costata</i>	-2~7	16~24	-	-	(2.5)
		다시마	<i>Laminaria japonica</i>	-1~8	20~24	-	-	(2.5)
	미역과	미역	<i>Undaria pinnatifida</i>	2~14	20~27	23.7	2.2	1.8
		감태	<i>Ecklonia cava</i>	10~16	23~27	30.9	1.3	6.0
		검둥감태	<i>E. kurome</i>	8~14	26~27	31.8	1.4	(2.1)
		곰피	<i>E. stolonifera</i>	6~13	24~27	-	-	-
		대황	<i>Eisenia bicyclis</i>	7~14	22~27	30.0	1.6	2.5
모자반목	모자반과	팔꼴헛모자반	<i>Cystoseira hakodatensis</i>	-2~7	16~24	-	-	-
		외틀개모자반	<i>Myagropsis myagroides</i>	6~15	22~27	30.0	1.7	2.0
		툃	<i>Hizikia fusiformis</i>	5~20	20~28	30.0	1.6	1.4
		알쌍이모자반	<i>Sargassum confusum</i>	-1~13	20~27	-	-	(1.8)
		짜임모자반	<i>S. hemiphyllum</i>	7~19	25~28	30.0	1.3	2.5
		괭생이모자반	<i>S. horneri</i>	4~19	20~28	26.6	2.2	(1.0)
		큰열매모자반	<i>S. macrocarpum</i>	6~19	24~28	30.9	1.4	2.1
		쌍발이모자반	<i>S. patens</i>	6~20	24~28	29.8	1.3	(1.0)
		구슬모자반	<i>S. piluliferum</i>	5~16	20~27	29.8	1.3	(1.0)
		큰잎모자반	<i>S. ringgoldianum</i>	7~16	22~27	30.9	1.3	(4.0)
		파배기모자반	<i>S. siliquastrum</i>	5~15	20~27	30.4	1.4	(2.1)
		지충이	<i>S. thunbergii</i>	-2~20	16~28	28.5	1.7	(1.0)
		왜모자반	<i>S. yezoense</i>	2~13	20~27	-	-	(2.0)
우뭇가사리목	우뭇가사리과	우뭇가사리	<i>Gelidium amansii</i>	2~19	20~28	28.5	1.7	(1.0)
		왕우뭇가사리	<i>G. pacificum</i>	13~17	25~27	30.9	1.2	6.0
		개우무	<i>Pterocladia capillacea</i>	2~19	20~28	16.8	1.3	(1.0)
		잘피(거머리말)	<i>Zostera marina</i>	-2~16	16~28	23.7	2.2	(1.0)

(사) 수심

암초성 해조장을 형성하는 해조류는 종에 따라 분포하는 수심이 다르다. 대항 감태를 구성종으로 한 해중립은 비교적 파랑이 강한 개방해역에 생육하지만, 대항은 비교적 얇은 곳에 감태는 비교적 깊은 곳에 생육한다. 팽생이모자반 등의 모자반 해조장을 구성하는 종류는 비교적 파장이 약하고 수심이 얇은 곳에 생육한다.

(아) 착생기질

착생기질의 소재는 대상으로 하는 해조의 착생 생육에 적합한 것일 필요가 있고, 대상종이 다년생일 경우에는 안정도가 높은 것이 필요하다. 대상종의 착생에 적합한 경우에는 경쟁생물의 착생, 피복에도 좋은 경우가 많기 때문에 입식의 가능성이 있는 종의 생태와 대상종의 환경조건을 고려한 기질의 설치가 바람직하다. 寺脇(1988)가 카나가와현 코다와만에 설치한 인공기질에 각도 5-120°의 돌기물을 만들어 대항, 감태의 가입량과 착생위치를 측정하였는데 각도 60° 이상이 되면 개체수가 증가하고 120°에서 가장 많은 결과를 얻었는데 이 결과에서 유체의 착생에는 60° 이상의 경사 각도가 효과적인 것으로 보고하고 있다.

尾崎(2000)는 칸사이 공항의 호안에서 해조장조성에서 이용한 해조블록의 설치 10년후의 상황을 조사하였다. 이 결과로 보면 대형 개체는 요철이 많은 형태일수록 잘 착생하고 블록 윗면의 요철이 많을수록 대형개체의 지지 기반으로서 효과가 높다고 하는 것을 시사하고 있다.

해중립이 형성되기 위해서는 먼저 안정된 착생기질이 필요하고 파랑에 의해서 움직이는 전석에는 대형갈조는 착생하기 어렵다. 단 대상종이 1년생의 종이거나 은폐해조일 경우에는 기질이 1년에 한번 정도 큰 파도에 의해 뒤집어지고 주변의 기질표면을 깎는 등 타 해조를 박리시켜 장소나 빛의 경쟁을 피할 수 있어서 호적한 조건으로 되는 것도 있다. 기질안정성이 증대하면 감태는 상대피도가 높아지지만 반대로 모자반류는 낮아진다. 또한 천연의 대항, 감태 해조장의 압면 경사도와 기질안정도로부터 대항, 감태의 해조장조성이 있었던 곳에서 경사도가 적은 부동석이 기질로서 안정되고 투석의 경우는 착생기질로서 안정하며 보다 대형의 것이 유효하다.

대상종이 다년생으로 수명이 긴 경우에는 파도나 흐름에 의해서 움직이며 전도하지 않는 안정된 형상과 질량이 필요하다. 착생, 기질의 안정성은 크기와 수심 및 파랑에 의해서 결정되는 것으로부터 예측되는 최대 파고로부터 안정성을 계산할 필요가 있다.

(자) 종묘의 공급과 확산

파랑이나 유동은 물의 이동과 종묘의 확산에 밀접한 관계가 있다. 성숙한 모조에서 방출된 유주자나 유배등을 파랑이나 유동에 의해서 밀도를 감소시키면서 확산되고 소형의 유주자가 멀리까지 운반되는 가능성을 가지고 있다. 佐左木(1984)의 실내 실험결과에서 다시마목 해조의 유주자의 착생량이 많았던 유속은 대항에서 6-10cm/s, 감태에서 1.5cm/s, 미역에서 2cm/s였다. 또한 柳瀬

등(1993)의 실험에 의하면 이즈반도연안에서 감태 5개체의 엽상부를 포자주머니(spore bag) 1개에 넣어서 한 장소에서 250개를 투입한 뒤 수개월 후의 착생수를 조사한 결과에서 감태는 모조투입 지점에서 가까울수록 밀도가 높고 새로운 개체의 출현수는 지수곡선식으로 거리가 멀수록 감소했다. 川崎(1995)에 의하면 400m 이상 떨어진 곳에서도 대항이나 감태의 착생이 확인되었지만 비교적 높은 밀도로 출현한 것은 암초해역에서 100m까지인 것으로 나타났다.

모자반목의 유배(수정란)는 크기가 100-300 $\mu$ m 이상으로 2차 가근이 형성되지 않으면 기반에 충분히 부착하기 어렵기 때문이라고 하는 성질이 있기 때문에 상당히 큰 물의 흐름, 움직임이 영향을 받는 부유조로 되고 멀리까지 운반될 수 있는 가능성을 가지고 있다. 모자반류가 부유조가 되어 표류하면서 성숙할 경우 주변해역의 해조장과는 다른 새로운 구성종이 출현 할 수 있다. 모자반류의 유배는 모조로부터 이탈된 후 가근 형성부를 위로해서 침강한다. 유배의 침강속도는 종에 따라 다른데, 큰 유배일수록 빠르고 모조 주변의 유배 확산범위는 유배의 침강속도가 빠른 것 일수록 좁고 침강속도가 느린 것 일수록 넓다. 모조로부터 이탈하는 발생초기의 것에서는 침강속도가 큰 유배를 가지는 외톨개모자반에서 0.557cm/s, 작은 유배를 가지는 미야베모자반에서 0.124cm/s, 팽생이모자반에서 0.500cm/s 였다.

#### (차) 경합생물

암초성 해조장을 유지 보존시키기 위해서는 그 경쟁생물이 적은 것이 필요하다. 암초성 해조류의 경쟁생물은 착생기반을 경합하는 관계에 있는 부착성동물이며 주요한 경쟁생물은 갯지렁이류, 멧게류, 이매패류, 따개비류, 석회조 등이 있다.

#### (카) 초식동물

암초성 해조장의 주요한 초식동물로서 어류는 쥐치, 비늘돔, 뽕에돔, 독가시치 등이 있고 포복동물로서 전복, 소라, 성게, 군소 등을 들 수 있는데 유용종도 많이 포함된다. 암초성 해조장에 있어서는 암초성 해조류와 초식동물의 힘의 균형을 유지시키는 것으로 양호한 해조장을 만드는 것이 가능하다. 쿠로시오해류의 접안 등에 의해 고수온이 되는 해는 해조에게는 가혹한 조건이며, 하계의 수온이 높으면, 대항, 감태 등과 같이 가을에 성숙하는 해조는 유주자를 방출하기 전에 탈락해버린다.

### (2) 사니성 해초류

#### (가) 수온

須藤(1992)에 의하면 잘피가 생육하는 곳의 수온은 겨울철에 -2~16 $^{\circ}$ C, 여름철에 16~28 $^{\circ}$ C로 알려져 있다.

#### (나) 염분

잘피 해조장에 있어서 실측치에서는 20ppt이하로 저하하는 것도 있지만 대부분은 20-35ppt이고 연평균의 최저치는 23.7ppt이다.

#### (다) 수중광량

잘피의 생육에 중요한 것은 수중광량의 절대량이며 거의  $151\text{y/d}$ ,  $3\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ 에 이른다. 또한 잘피류가 생육하는 수중 상대조도는 30-50% 정도가 좋다.

**(라) 투명도(좋은 잘피장의 투명도)**

연평균 최저치는 2.3m이고 최소치는 1.0m이다.

**(마) COD**

COD의 연평균이  $0.5\text{--}2.4\text{mg/l}$ , 각 해조장의 최대 측정치는  $1.4\text{--}7.6\text{mg/l}$  이고, 연평균은 거의  $2.3\text{mg/l}$  이하가 좋다.

**(바) 영양염류**

영양염 농도는 잘피장에서 부영양화가 진행되고 있는 것으로 보이는 해역에서는  $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 최고  $36\ \mu\text{mol/L}$ , 연평균  $536\ \mu\text{mol/L}$  전후로 DIN이 최고  $8336\ \mu\text{mol/L}$ , 연평균  $1036\ \mu\text{mol/L}$  전후에  $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 최고  $336\ \mu\text{mol/L}$ , 연평균  $36\ \mu\text{mol/L}$ , 연평균  $236\ \mu\text{mol/L}$  전후에 DIN이 최고  $1036\ \mu\text{mol/L}$  연평균  $436\ \mu\text{mol/L}$  전후로  $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 최고  $0.936\ \mu\text{mol/L}$ , 연평균  $0.436\ \mu\text{mol/L}$ 이다. 잘피 해조장에서의 해수중  $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도가 장기간의 연평균치로서  $1036\ \mu\text{mol/L}$  이상으로 되면 결실율이나 완숙종자의 출현율에 영향을 준다. 열대성 해초의 경우에는 수중의 영양염이나 유기물이 필요하지만 과잉하게 되면 생육을 저해하는 것으로 논의되고 있다.

**(사) 저질**

잘피장 조성지에 있어서 저질의 무기태질소 농도는  $10036\ \mu\text{mol/L}$  이상의 장소가 좋으

나 인에 대해서는 특별히 고려할 필요는 없는 것으로 생각된다. 잘피장이 잘 생육하고 있는 장소의 저질에 관해서는 많은 토질분석, 화학적 결과로부터 아래와 같이 정리할 수 있다.

잘피 생육에 좋은 입도조성은 사니분 80-100%, 뿔성분 30%이하이다. 황화물은 변동이 커서 잘피의 생육에 관련이 없는 것으로 보인다. 잘피장에 있어서 전황화물이  $1\text{mg/g}$ 을 상회하는 일은 없다. 저층에서 20cm 깊이까지 암반이나 큰 자갈이 많으면 해초류의 지하경 신장을 저해한다.

**(아) 물의 흐름**

잘피류의 생육에 적절한 유속은 분명하게 조사된 것은 없지만 야마쿠치현의 경우  $0.13\text{cm/s}$ (평균  $0.6\text{cm/s}$ )이고 저층유속의 한계치는 시뮬레이션 결과로부터  $60\text{cm/s}$ 가 제시되고 있다.

**(자) 저층 모래면의 변동**

잘피장과 같은 해초류 해조장에서 파랑 등 외부의 힘에 의한 사면(砂面)변동에 의한 세굴의 영향으로 해초(sea-grass)의 유실이나 퇴적에 의한 매몰의 원인이 되어 생육에 저해를 가져오므로 파랑 등 파력이 강한 장소는 잘피장을 조성하지 않는 것이 좋다.

**(차) 경합생물**

부영양화가 진행되고 있는 내만의 얕은 수역에서는 파래류가 쌓이는 장소가 있다. 이러한 장소는 잘피류가 파래류에 덮이게 됨으로써 광량부족에 의해 생장이 억제되는 일이 있다. 따라서 잘피장을 조성할 장소는

파래 등의 표류성 해조가 집적하여 저면을 덮는 것에 의한 광량의 감소가 없는 장소인가를 확인할 필요가 있다. 조성자소에 파래나 굴 등이 퇴적하기도 하고 빨속에 사는 담치류의 일종(Musculista)이 층상으로 생식하고 있는 경우에는 이식할 때 이들을 제거할 필요가 있다. 해수의 유동이 약한 내만에 생육하는 잘피에는 엽체 표면에 조류가 다량으로 부착하고 갯지네류, 갯지렁이, 멧게류 등의 무척추동물이 부착하는 경우가 있다. 이와 같이 잘피 옆면에 부착생물이 다량으로 부착하면 잘피의 광합성이 저해하기도 하고 그 무게로 인해서 잘피가 바닥에 가라앉기 때문에 잘피장 조성 예정지에서는 부착생물의 출현상황을 확인할 필요가 있다.

#### (카) 초식동물

미국 워싱턴주 퓨젯만에서 잘피를 사방 20cm의 망목에 고정해서 이식한 경우 해초는 활착하여 면적도 넓어 졌지만 유일의 문제점으로서 게류가 해초를 뿌리 채 절단시켰다고 보고하고 있다. 일본의 경우 내만에 잘피를 이식하여 잘피장을 조성한 경우 잘피가 이식직후 갑각류(민꽃게나 딱총새우류로 추정)에 의해 절단된 것이 관찰된 적이 있다. 따라서 잘피장을 조성하고자 할 때 예정해역에서 이들 갑각류의 서식상황을 확인할 필요가 있다.

#### (타) 어업의 상태

사니역은 암초역과 달리 저인망 어장이 되는 경우가 있고 얇은 해역에 생육하는 잘피장에서 해삼 조망어업에 의해서 잘피가 뽑혀버리는 가능성이 있다. 또한 저인망이

불가능한 얇은 장소에 있어서도 바지락이나 대합 등의 패류채취 대상 해역일 경우에는 그러한 어업에 의해서 잘피가 뽑히기도 하고 지하경이 손상당하기도 하므로 주의가 필요하다. 어업과는 관련 없지만 수심이 얇은 곳에서 어선의 스쿠류에 의해 잘피가 뽑히거나 손상 받기도 하기 때문에 선박의 항행이 적은 곳을 조성지로 선택할 필요가 있다.

### (3) 식해 및 경쟁생물

#### (가) 해조장 조성지에서 식해에 의한 피해를 주는 조식성 동물

##### ① 무척추동물

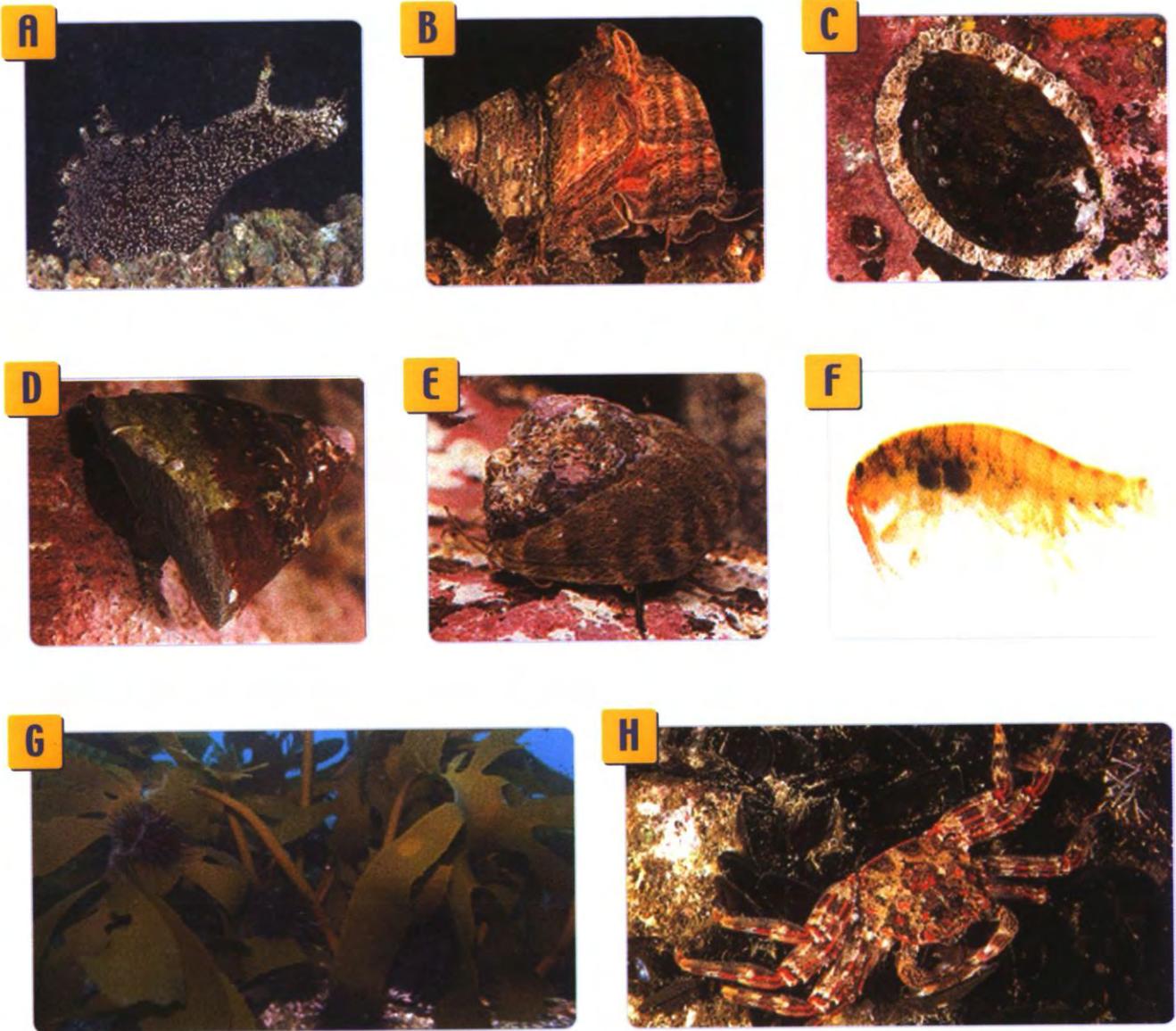
해조장에 식해에 의한 피해를 주는 대표적인 무척추동물로는 군소, 소라, 전복, 바다방석고둥, 보말고둥, 옆새우류 및 성게를 들 수 있다.

고둥류나 옆새우류는 어린 시기에 해조초류에 부착하여 옆면에 구멍을 뚫는 등의 식해를 통한 피해를 주고 있다. 특히 1년생인 군소의 경우, 수중 생태계조사에서 산란을 위한 에너지 축적을 위해 산란기 직전까지 대량의 해조류를 먹어치워 해조류 식생에 피해를 입히는 것으로 나타났다.

##### ② 어류

해조장에 식해에 의한 피해를 주는 대표적인 어류로는 독가시치, 비늘돔, 쥐돔, 쥐치, 쥐노래미 및 벵에돔이 있다. 최근 독가시치는 난류성 어족으로 남해안의 통영연안에 북상하여 가이식 중인 미역종묘를 섭식함으로써 미역양식이

A: 군소, B: 소라, C: 전복, D: 바다방석고둥, E: 보말고둥, F: 옆새우,  
 G: 초식압이 큰 것으로 알려진 성계의 감태섭식, H: 외양성으로 해조숲에서 식하는 톱장절게

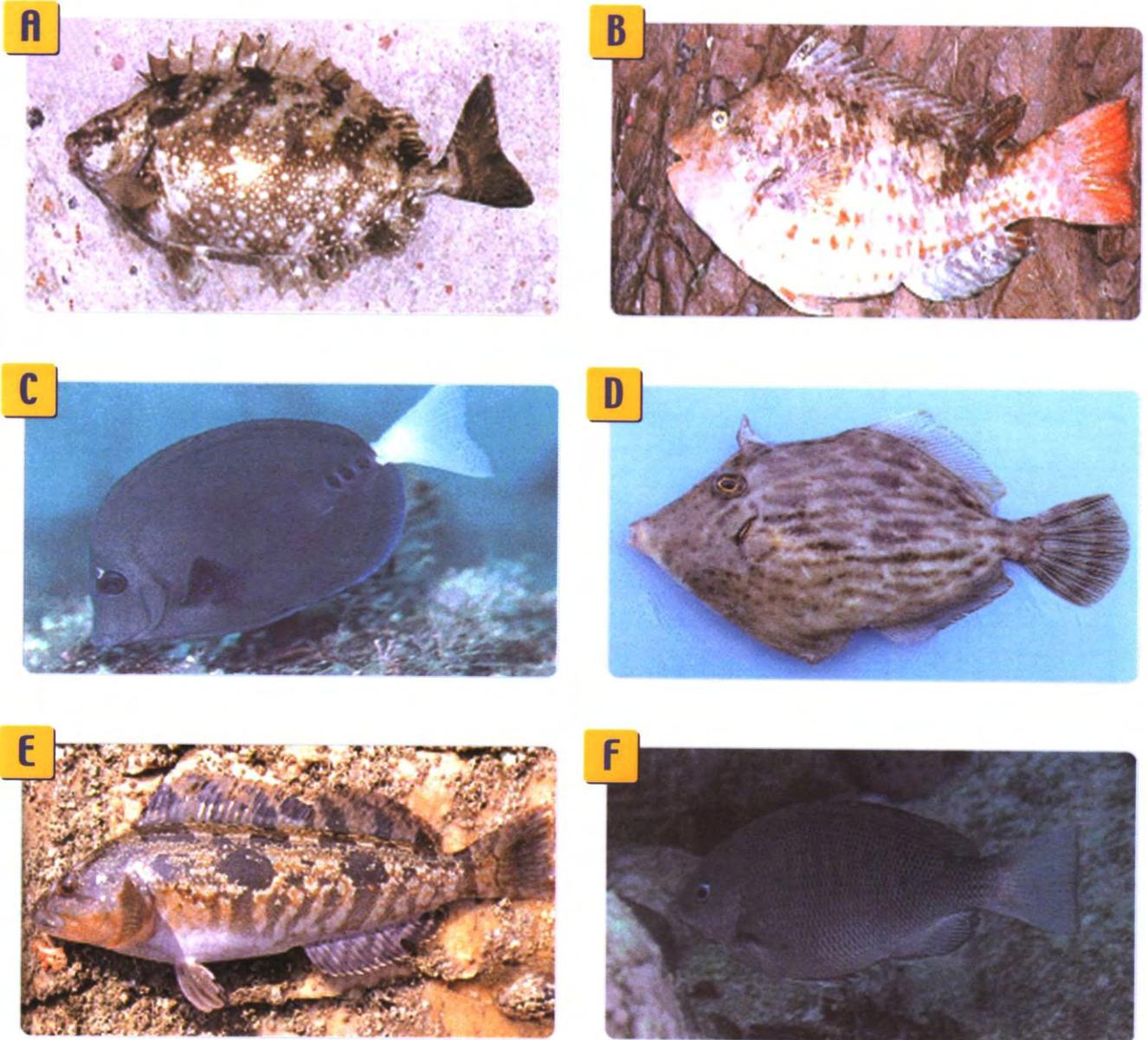


[그림. IV-1] 해조초류의 식해(grazing)의 원인 생물인 조식성 무척추동물

불가능할 정도로 막대한 피해를 입혔으며 난류를 따라 동해안 양양과 속초해역에 까지 북상하여 해조류를 섭식함으로

써 해조식생의 파괴 등 식해에 의한 피해를 가중시키고 있다.

A: 독가시치, B: 비늘돔, C: 쥐돔, D: 쥐치, E: 쥐노래미, F: 벙에돔



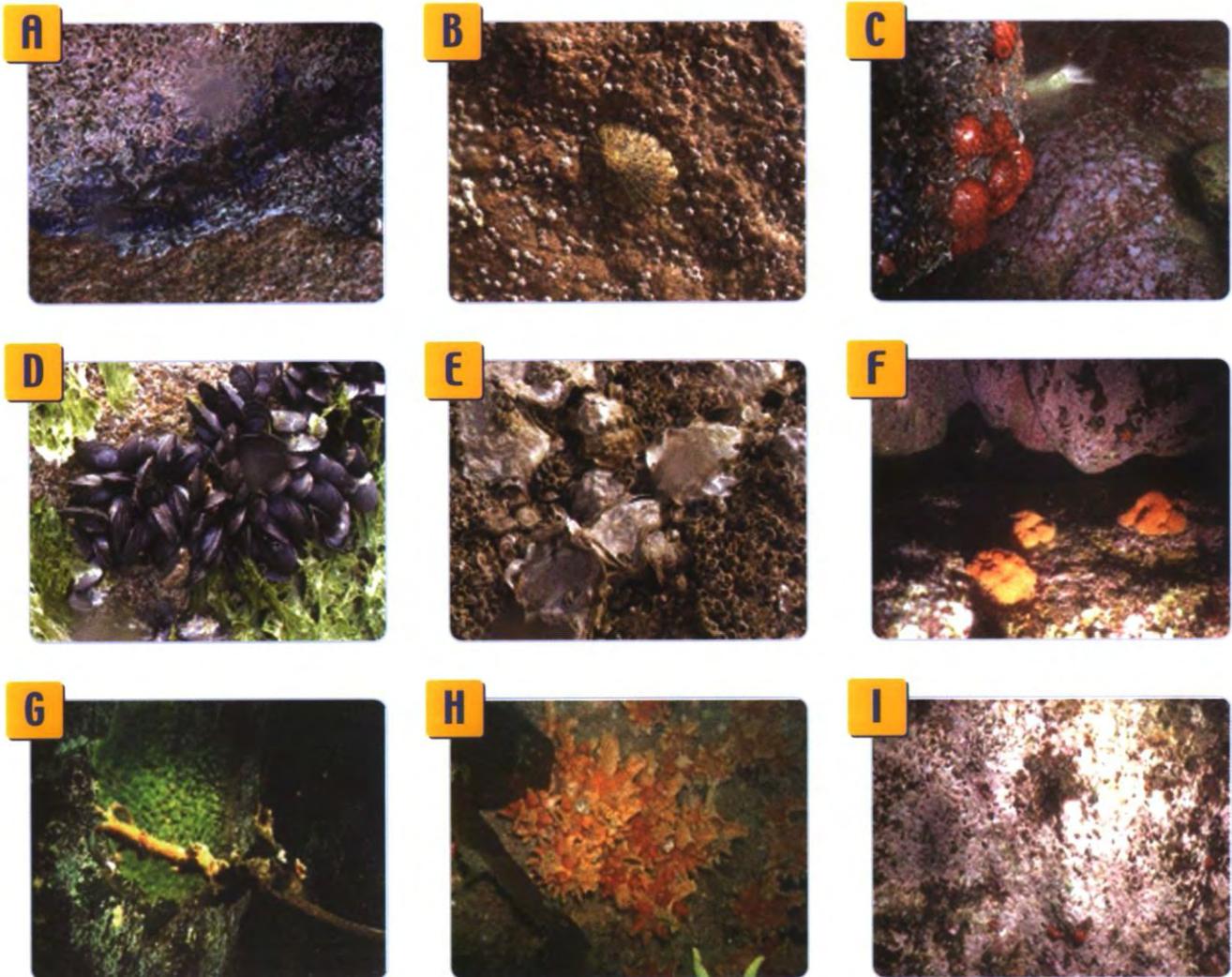
[그림. IV-2] 해조초류의 식해 원인 생물인 조식성 어류

(나) 암초성 해조장 조성지에서 부착기질 점유에 의한 피해를 주는 부착생물

암초성 해조장의 경성 기질을 점유하여 해조류의 착생기반에 대한 경쟁을 야기시켜 해조류의 번식을 저해하는 경쟁동물로는 멍게류, 관갯지렁이류, 따개비류, 담치

류, 해면류 및 굴류가 있고 경쟁해조로는 갯녹음 확산의 원인생물로 알려진 무절산호조류 (coralline algae)와 내만의 고요한 간석지에서 대량 발생하여 잘피류의 번식을 저해하는 파래류 (Ulvaceae)가 있다.

A: 조건대의 암면을 피복하고 있는 갈고리석회관갯지렁이, B: 암반 기질에 산재한 조무래기따개비와 흑색배말, C: 만두멍게, D: 군체상태의 굵은 줄격판담치, E: 굴과 따개비, F & G: 해면류, H: 멍게(우렁쟁이), I: 암면을 피복하고 있는 무절산호조류



[그림. IV-3] 암반기질을 점유하여 해조류의 번식을 저해하는 부착생물

#### (4) 국내의 해조장 조성사례

##### (가) 동해안의 조성사례

###### ① 양양 연안

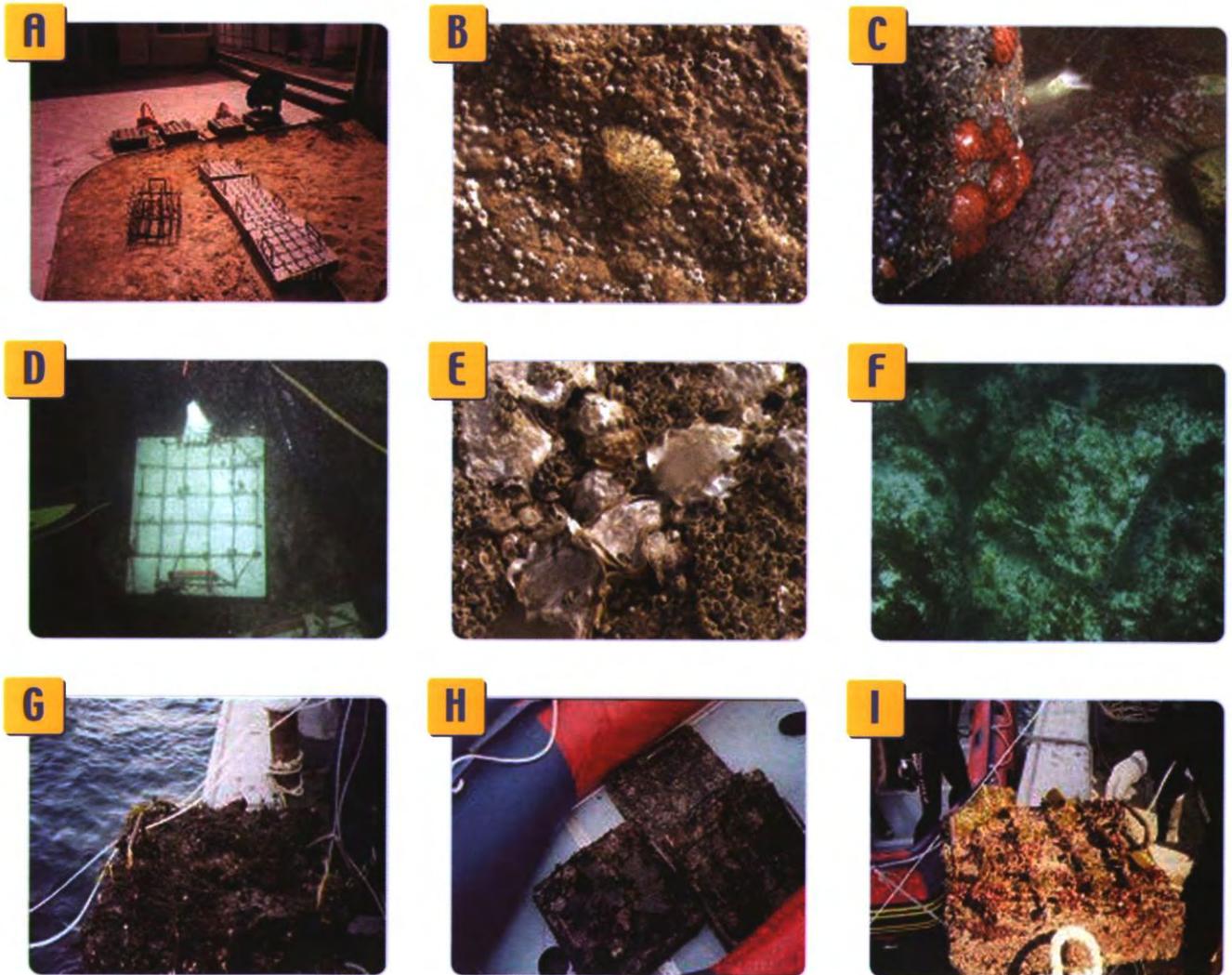
지난 2002년 동해안 양양연안에서 시행된 해조장 조성 예는 [그림. IV-4]와 같다. 강원도 환동해출장소에서 수행한 실험은 당시 갯녹음으로 인해 유실된 해조장을 복원할 목적으로 소규모로 실

험을 수행하였는데 방형구와 같은 형태와 크기로 실험용 해조초를 만든 후[그림. IV-4의 A], 우렁쟁이 양식용 팍사에 곰피의 유체를 이식시켜 감아주거나[그림. IV-4의 B] 팍사에 채묘한 종묘를 감아준 후[그림. IV-4의 C] 대상 해역에 시설하는 방법과 실험용 해조초에 곰피 성체를 이식시키거나[그림. IV-4의 E]

심층수 용승해역으로 해조장이 발달된 강원도 고성군 죽왕면 연안의 죽도해역

에 빈 해조초를 투하한 후 [그림. IV-4의 F] 3-4개월 후 인양하여 갯녹음 해

A: 해조장 실험용 방형구형 해조초, B: 곰피의 유체 이식, C: 곰피의 종묘 이식, D: 종묘이식 어초의 투하, E: 곰피 성체의 이식, F: 해조장이 발달된 강원도 고성군 죽왕면 심층수 용승해역 조하대에서 빈 해조초 블록을 투하한 후 천연해조의 착생을 유도하는 모습, G & H: 고성 연안에서 다양한 해조류가 착생한 해조초를 인양하는 모습, I: 유체 이식 후 인양하여유체의 생육을 확인한 후 재투하 함.



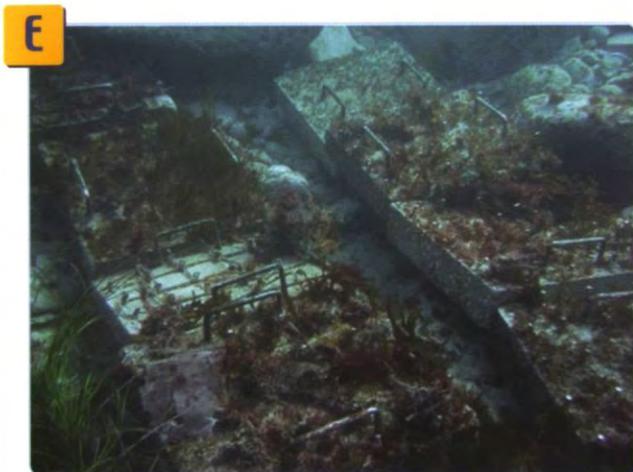
[그림. IV-4] 강원도 양양 연안에서 수행된 소규모 해조장 조성실험 예

역에 이식시키는 방법[그림. IV-4의 G와 H]으로 해조장 복원을 시도하여 좋은 결과를 얻었는데 그 이후 지속적으로

복원되는가에 대한 모니터링은 없었던 아쉬움이 있다. [그림. IV-4]의 I는 해조초에 이식한 곰피의 유체가 20-

40cm정도로 생육하고 있는 것을 확인하는 과정이다.

이러한 과정을 통해서 조성된 것이 [그림. IV-5]에 나타낸 소규모 해조장이



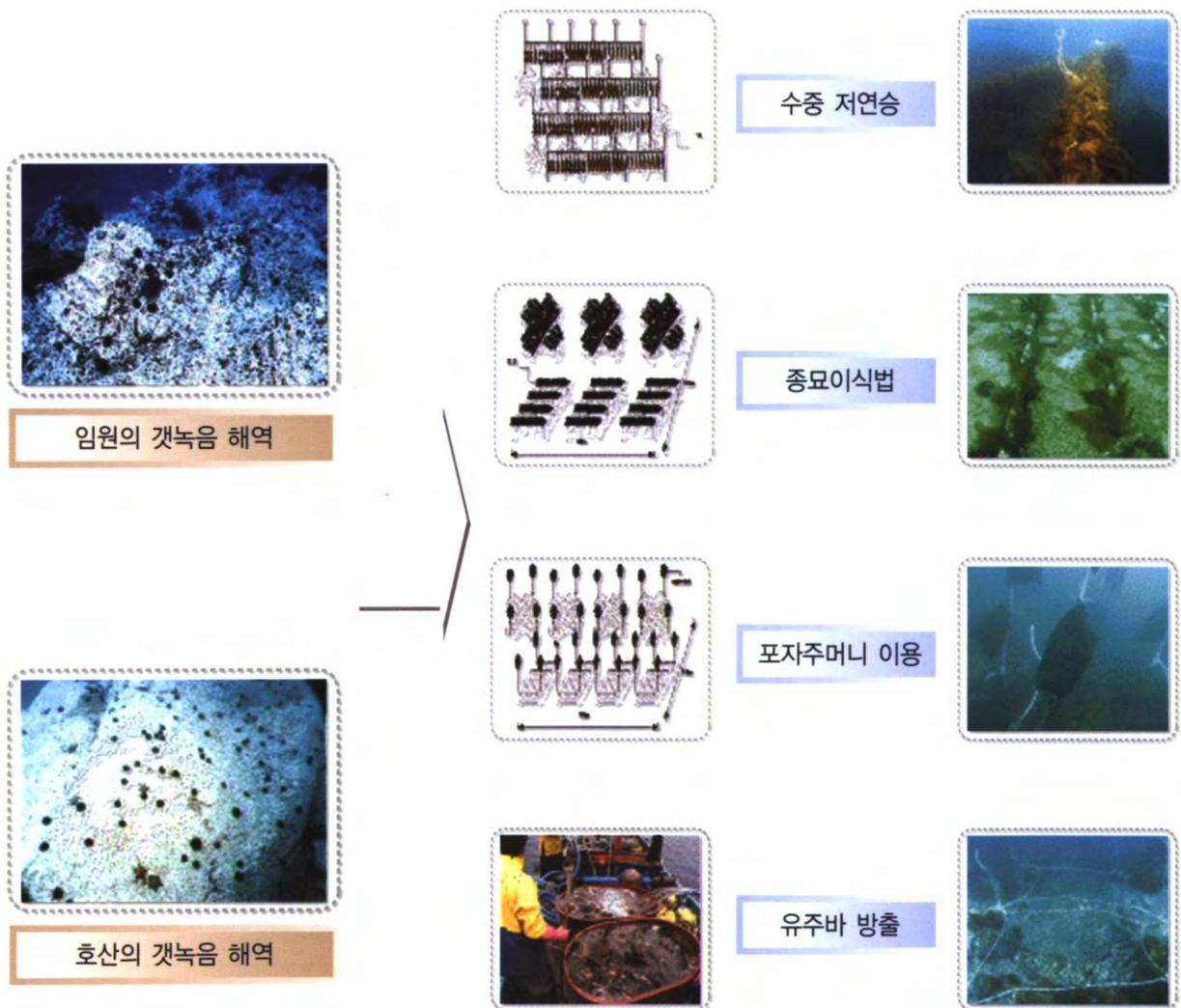
[그림. IV-5] 동해안 양양 연안에 소규모로 조성한 해조장의 조성 예

다. 이러한 실험을 통한 조성 예는 양양 연안 고유의 환경 특성에 맞는 해조장을 만들기 위해 실험적 수준의 연구과제라 할 수 있다. 이 연구에서 곰피의 엽면에 주름이 많이 나타나는 현상이 나타났는데 이는 이 해역의 영양염 부족에 의한 것으로 이러한 문제는 빈 영양해역에서의 시비재 사용과 시비효과

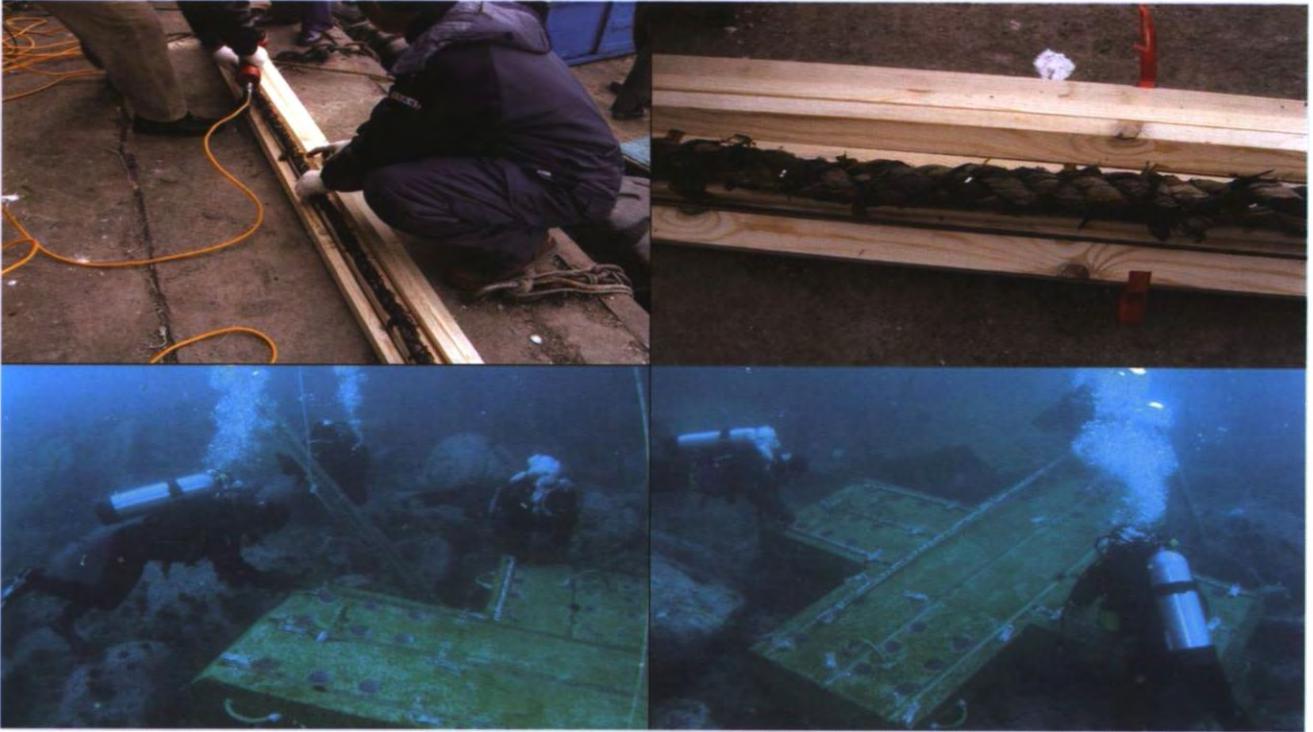
및 생태계에의 영향 등을 구명하는 등, 이에 대한 구체적인 연구를 통하여 해결점을 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

## ② 삼척연안

동해수산연구소에서 십자형 해조초를 활용하여 삼척연안에 해조장을 조성한 예는 [그림. IV-6 및 그림. IV-7]과 같다.



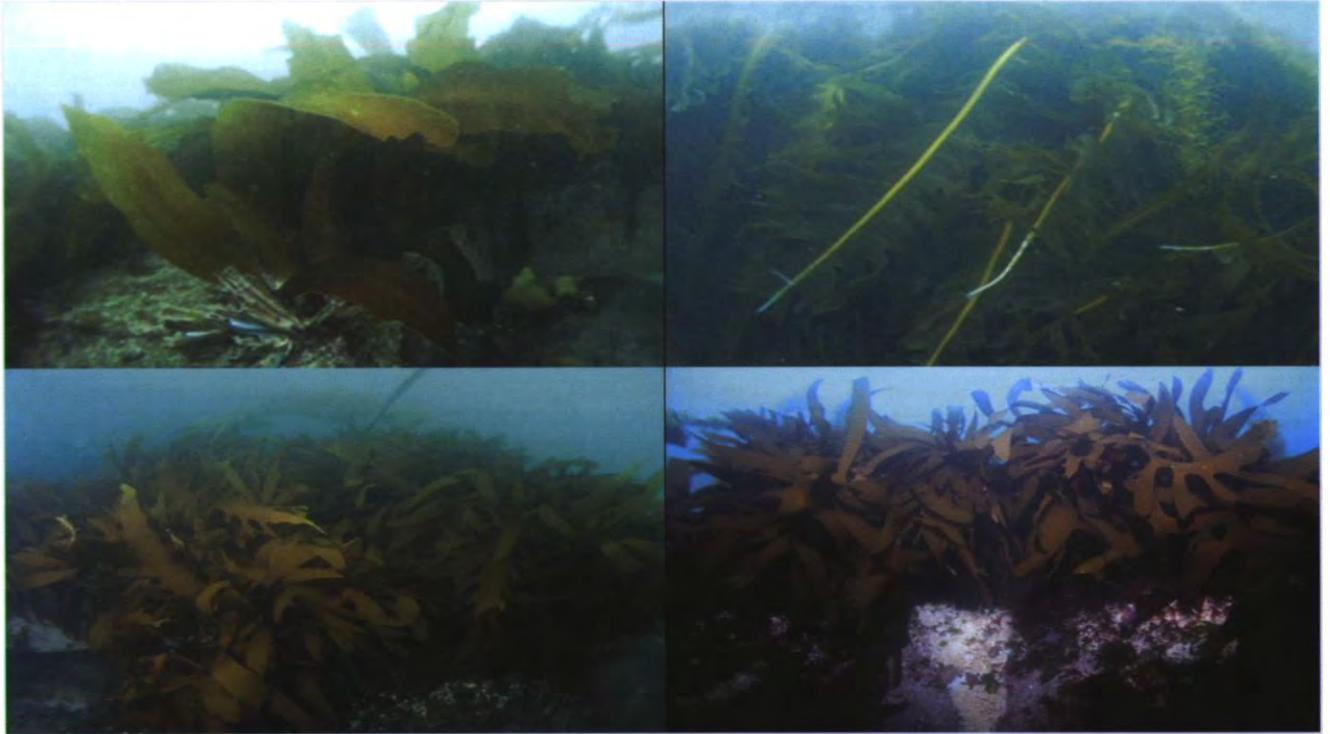
[그림. IV-6] 강원도 삼척시 임원과 호산 해역에서 수행된 해조장 조성방법 및 조성예 (동해수산연구소)



[그림. IV-7] 강원도 삼척시 임원과 호산 해역에서 십자형 조림초를 이용하여 해조장 조성을 수행한 예 (동해수산연구소)



[그림. IV-8] 강원도 삼척시 임원과 호산 해역에서 수중 저연승을 이용하여 다시마 해조장을 조성한 예 (동해수산연구소)



[그림. IV-9] 강원도 삼척시 임원과 호산 해역에서 종묘이식법과 포자주머니법 등을 이용하여 다시마, 미역, 대황 및 감태 해조장을 조성한 예(동해수산연구소)

## (나) 남해안의 조성사례

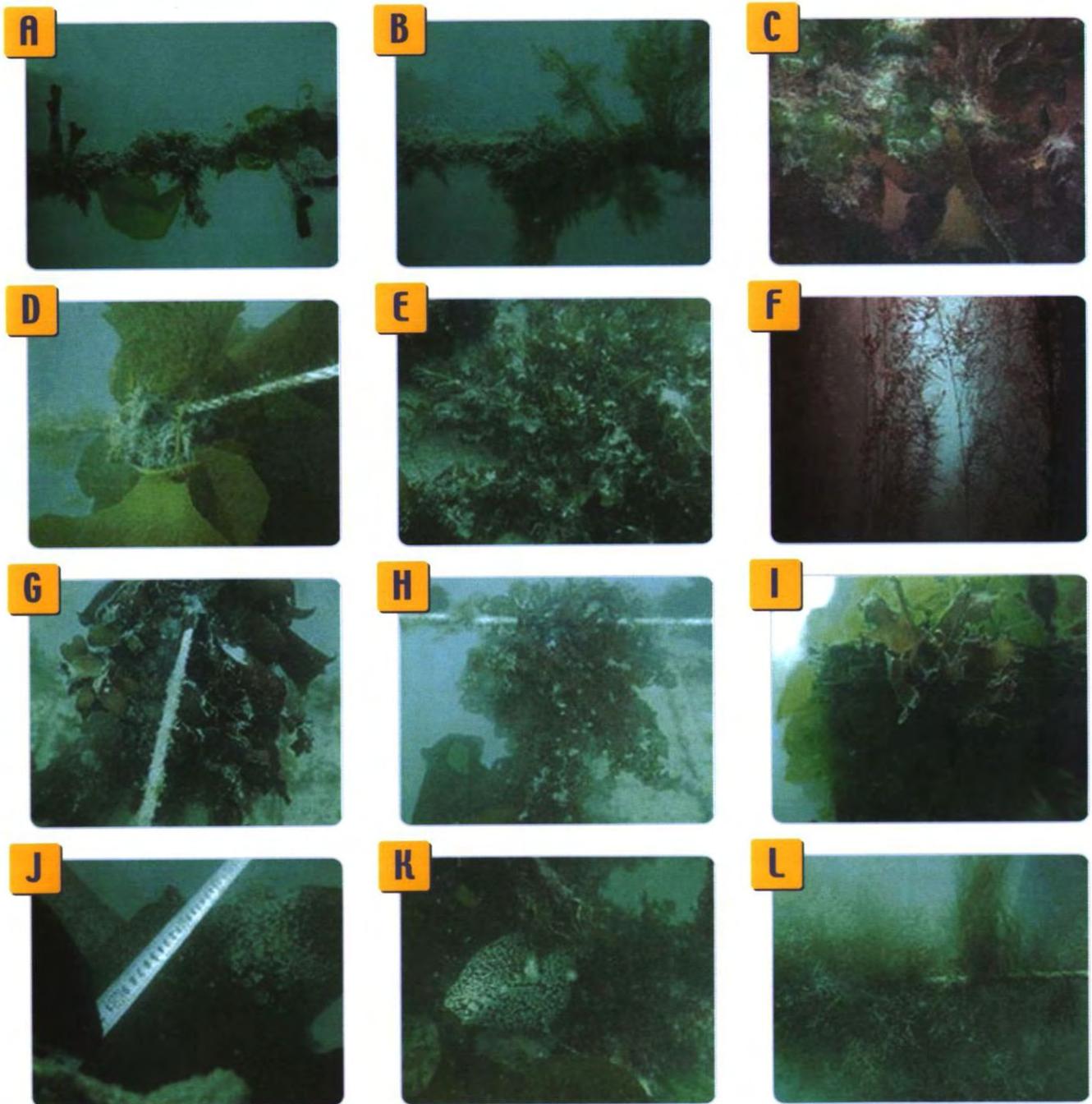
### ① 통영바다목장 해역

남해안의 통영 바다목장 해역의 해조장 조성은 소규모로 연구와 실험적 수준에서 수행되었다. 통영 연안 해역은 탁도가 높고 광량이 낮아 다시마나 쇠미역 등의 해조류를 이식할 경우 당해연도에는 생육상태가 좋으나 주변 수역에 새로운 유체가 널리 확산되지 못하는 것으로 나타났다. 이는 다시마나 쇠미역이 이 해역에서 재생산되기 어려운 것이 아닌가 하는 판단이 든다[그림. IV-10의 J와 K]. 그러나 녹조, 갈조, 홍조류의 유체 및 성체를 이식시켜 복합적인 해조장 조성실험을 수행한 결과 상대 성장율은 팽

생이모자반(*Sargassum horneri*), 곰피(*Ecklonia stolonifera*), 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*), 명주도박(*Grateloupia sparsa*), 앞꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 외톨개모자반(*Myagropsis myagroides*), 부챗살(*Gymnogongrus flabelliformis*), 넓청각(*Codium latum*), 미끈뽀대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 미야베모자반(*Sargassum miyabei*), 개그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 청각(*Codium fragile*)의 순으로 나타났다. 따라서 이들 해조류는 통영바다목장 해역에 시설된 어초에 잘 착생하여 생육이 잘되는 것으로 나타났고 이듬해에도 지

속적으로 유체가 출현함으로써 이들 해조류는 부유물질이 많고 투명도가 낮은 통영연안의 어초시설 주변에서 잘 성장하고 재생산도 잘 이루어지는 것으로 나타났다으며[그림. IV-10의 A~I 및 그림. IV-11], 특히 곰피와 팽생이모자반은 높

은 탁도에도 두드러지게 우점하는 경향을 나타내었다. 따라서 이러한 해조류는 탁도가 높은 내만성 해역에 집중적으로 번식조장 시키는 해조장 조성 전략이 필요한 것으로 생각된다.



[그림. IV-10] 통영바다목장 해역에서 녹조, 갈조 및 홍조류의 이식을 통하여 복합해조장을 조성한 예(2004년)



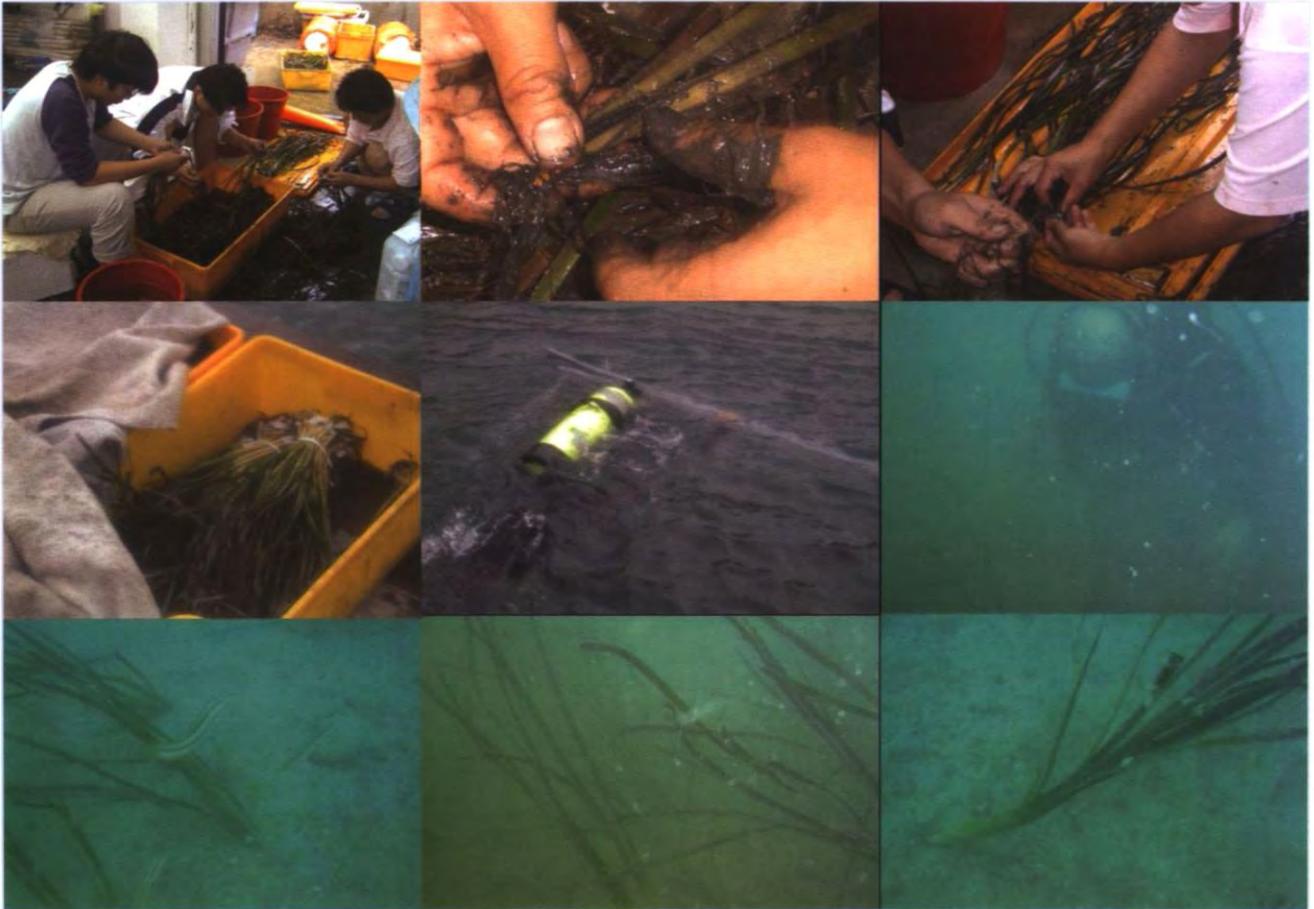
[그림. IV-11] 통영바다목장 해역에서 녹조, 갈조 및 홍조류의 이식을 통하여 복합해조장을 조성한 예(2005년)

## ② 잘피장 조성 예

남해안에서의 잘피장 조성은 바다목장화 해역에서의 잘피장 조성을 목적으로 주로 국립수산물과학원 남해연구소에 의해 수행되어 왔다. 현재까지 수행된 결과를 보면 잘피밭 분포현황 및 이식가능면적 추정(2004년), 바다목장 해역내의 잘피밭 분포 현황을 통해 개도, 자봉도, 제도, 송도의 가막만 남쪽에: 거머리말이 존재하고 있음을 확인하였고 안도에서 거머리말과 포기거머리말이 혼재하여 서식하고 있음을 확인하였다. 이를 통해 이식가능면적을 추정하였고 바다

목장 해역의 잘피 생육지 조사, 일평균 광량, 수온변화 및 영양염류 등 물리, 화학적 환경요인조사와 잘피의 형태, 평균 잎의 생산성 및 상대성장 조사를 수행하였고 이를 통해 잘피의 실험적 이식을 수행하고(10m×5m면적에 200포기(600그루) 이식 잘피의 형태, 평균 잎 생산성 및 상대성장도를 조사하였다.

이 사업은 계속사업으로 이어져 2006년에 잘피를 이식(40m×10m면적에 1,500포기)한 후 잘피장의 어류군집 동태를 포함한 잘피 생육지에 대한 생태 환경조사가 수행된 바 있다(그림. IV-12).



[그림. IV-12] 전남바다목장 해역에 잘피를 묶어 이식할 포기를 만든후 잠수부를 동원하여 이식하는 모습과 이식 후의 잘피장 조성상태 (2005년 9월)

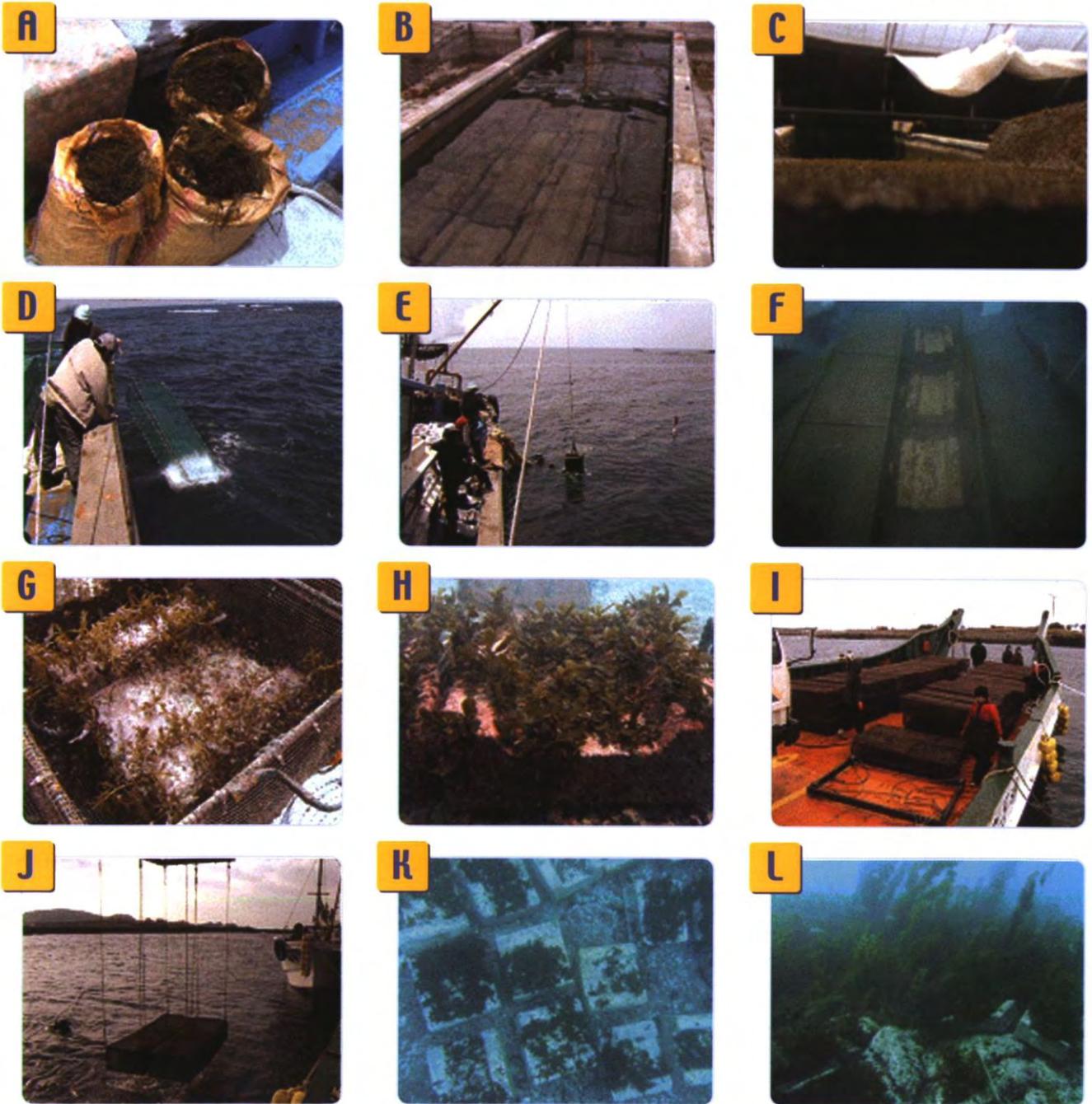
#### (다) 제주도의 조성사례

제주도 연안은 지구 온난화의 영향 뿐만 아니라 초식동물의 식해 등에 의해 갯녹음 해역이 확산되고 있는 곳이다. 제주도에서는 국립수산물과학원 제주수산연구소를 중심으로 바다목장 사업과 연계한 다양한 해조장 조성 시험이 수행되어 왔으며 부분적으로 가시적인 성과도 있었던 것으로 알려져 있다. 그러나 그 동안의 해조장 조성사례 및 조장 조성 결과를 볼 때 초식자를 배제하거나 초식압을 제어하는 일 등은 그리 간단치가 않은 것으로 보인다. 그러나 갯녹음이 확산되고 있는 만큼 해조장 조성과 관련한 다

양한 기술을 개발하여 현장에 적용시켜 시행착오와 관련한 노하우를 축적하고 있기 때문에 기존 동해안과 남해안에서 수행하여 왔던 다양한 해조장 조성기술과 사례를 접목시키면 우리나라 해조장 조성 기술개발에 큰 진전을 이룰 것으로 판단된다. [그림. IV-13]에 나타난 바와 같이 제주도의 조장 조성 방법은 기술은 모자반의 성숙모조를 채집하여 육상에서 이식용 해조초에 종묘를 채묘한 후 초식동물로부터의 섭식 등에 의한 식해를 방지하기 위해 보호망 속에서 모자반 종묘를 육성, 성장시킨 후 인양하여 해조장 조성 대상해역에 투하 이식하여 해조

장을 조성하는 것으로 유체의 초기 성장에 유효한 것으로 나타났다.

A: 성숙모조의 채집, B: 해조초를 이용한 육상채묘, C: 채묘 후의 육상 종묘배양,  
 D: 해조장 조성 대상해역에 해조 종묘 보호망투하, E: 해조초 투하,  
 F: 보호망에 종묘를 부착시킨 해조초를 넣은 상태, G: 해조초 표면에 착생, 성장한 갯생이모자반의 유체,  
 H: 해조초 표면에 생육한 모자반의 유체, I: 바다 이식 후 육성, 성장시킨 모자반 해조초의 인양,  
 J: 해조장 조성 대상해역에 모자반 종묘를 육성시켜 인양한 해조초를 시설하는 모습, K: 시설 후 의 상태,  
 L: 시설 후 성체 크기로 자라 해조장을 형성하고 있는 모자반장의 상태



[그림. IV-13] 제주도 연안 갯녹음 해역에서 모자반류의 이식을 통한 해조장을 조성한 예(2006년)

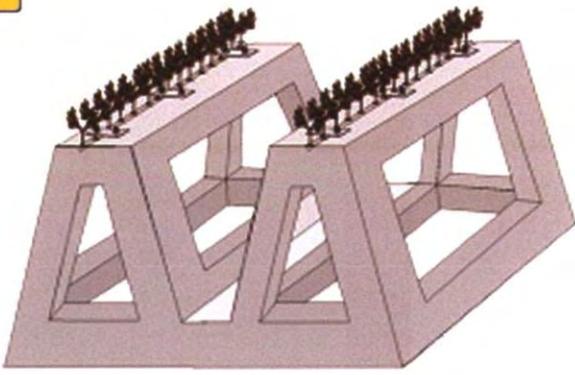
(라) 해조장 조성을 위한 해조초의 형태

해조장 조성을 위한 해조초는 다양한 형태가 개발되어 있으나 매뉴얼에서 전술한 바와 같이 대상 해역의 저층의 형태, 저질이 나, 물의 흐름 등을 고려하여 적용하는 것이

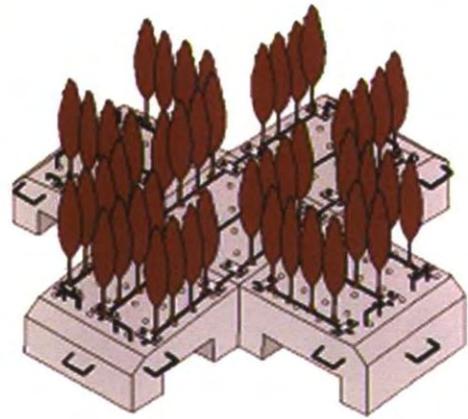
바람직하다. [그림. IV-4]에 소개하는 해조초의 형태는 동해수산연구소에서 현장에 적용한 해조초의 형태로서 여기서는 한 예로써 소개하는 것이다.

A: 신요철형 해조초, B: 십자형 해조초, C: 귀갑형 해조초, D: 방사형 해조초

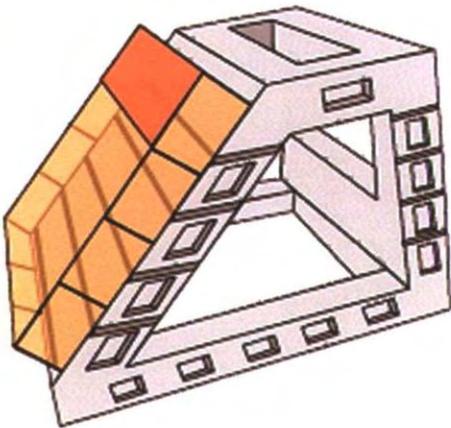
**A**



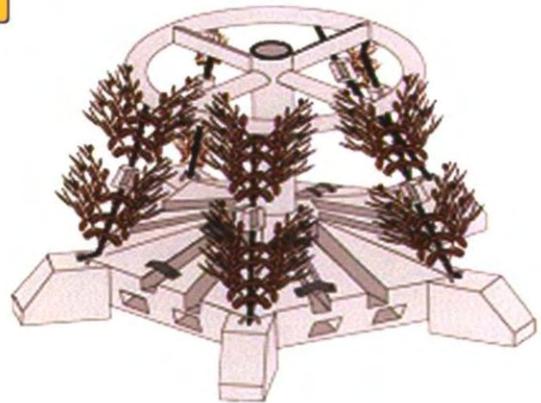
**B**



**C**



**D**

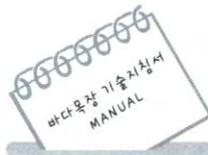


[그림. IV-14] 해조장 조성용 해조초의 다양한 형태(동해수산연구소)



## 어장조성

해조장 조성 기술



## 자원조성 부록

---

### V. 음향 순치

## ▶ ③ 음향 순치 기술

### (1) 기술 개요

#### (가) 음향급이 적용 목적

- 바다목장 해역 내에 방류한 대상 어류 가운데 정착성이 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.

#### (나) 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 반사의 반복적인 훈련을 실시.
- 1980년 후반 이후 일본의 바다목장에서 대상 어류에 대한 음향 학습 및 현장 적용을 실시하여 가능성을 파악하였으며, 현재도 운용 중임.

#### (다) 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.

### (2) 수행 방법

#### (가) 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.

#### (나) 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 혼련 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.

#### (다) 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 있

는 2개의 수평 어군 탐지기 제어부를 포함시킴 (적정 주파수는 약 50 kHz).

- 급이기 시스템은 사료 제어부, 사료 확산 모터부로 구분되며 설정된 시간-사료량을 제어하는 제어부가 필요함.
- 음향 시스템의 제어부는 상위 제어 시스템으로 급이기 시스템의 제어부를 포함하는 통합 시스템으로 구성함.
- 음향-급이 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 전력량산출이 필요함.

- 음향급이기 설치 위치가 육상 제어국과 분리되어 운용될 때는 해상 기지국과 육상 기지국과의 무선 제어 및 쌍방향 자료 전송이 가능한 시스템을 고려해야함. 이들 위하여 R/F 방식, 혹은 최근의 무선 전화기 사용 방식 등의 원격시스템을 설치해야 함. 이때 최대 전송 거리, 최대 자료 전송량을 사전에 파악해야 함.
- 원격 시스템 구축을 실시하고자 할 때는 육상 기지국에서 해상에 설치된 음향급이 시스템을 가동할 수 있는 제어 프로그램이 수반되어야 함.

#### (라) 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 20m 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.

#### (마) 단계 5 : 음향급이 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, 육상기지국에서 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 어군 유집 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 후

에 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.

### (3) 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 V-1]과 같다.

[표 V-1] 음향순치 결과 분석을 위한 평가 항목

평 가 항 목	유	무	값/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 사료량 측정 확산 모터 구동 부분 확산 모터 제어 부분			
9. 음향-급이 시스템의 통합 시스템 구성 음향시스템 구동 및 사료량 투입 시퀀스 부분 시스템내 전원 소요량 측정부			

평 가 항 목	유	무	값/방법
10. 전원 공급 방식 육상 전원 이용 방식 육상 전원을 위한 수중 매설 방법 육상 전원 이용에 따른 소요 전력 량 태양열 공급 방식 태양열 공급에 따른 전력 저장 총량 1일 동안 충전 가능한 전력 량			
11. 육상 기지국 쌍방향 통신 방법 쌍방향 통신의 자료 전송 량 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			
13. 음향급이기 현장 적용 음향급이기 주변에 실험용 그물망 설치 순치 대상 어류의 총 개체수 순치 대상 어류의 총 중량 1일 필요한 사료 량 산출 급이기에 사료 저장 총량 산출 초기 사료 공급 제한 기간 음향급이기 제어 변수 설정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주파수</li> <li>- 음압</li> <li>- 1일 작동 주기/시간</li> <li>- 1회 투입 사료 량</li> </ul> 시스템 작동 시퀀스 설정 수평 어군 탐지기 작동 설정 수중카메라 설치 유무 시스템 작동 시간 설정			

평 가 항 목	유	무	값/방법
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 량 측정 수중스피커의 부착 생물 제거 수평 어군탐지기 센서의 부착 생물 제거			
17. 육상 기지국 관리 육상 기지국에서의 자료 전송 및 저장 상태 체크			
18. 음향급이기의 실해역 적용시 문제점 기술			
19. 육상 기지국 이용시 문제점 기술			



## 이용, 관리 부록

---

### VI. 바다목장 이용 · 관리

## ⑥ 바다목장 이용 · 관리

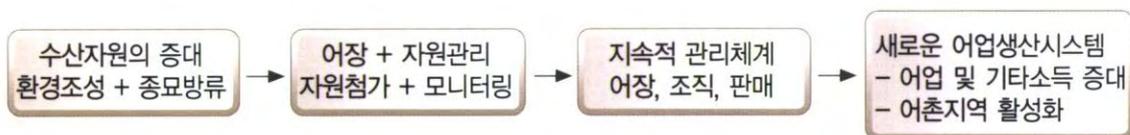
### (1) 바다목장 이용관리 역할

#### (가) 바다목장이란?

바다목장이란 연안수역에 인공어초 등을 투하하여 산란 및 서식장을 인위적으로 조성하고, 우량종묘를 방류하여 자원증대를 도모하며, 여기에 조성된 자원에 대한 인위적 어획통제 및 지속적 수산자원의 이용 ·

관리체계를 확립함으로써 어업소득 향상과 어촌지역 활성화를 도모하고자 하는 종합적인 어업생산시스템이다.

즉, 수산자원이 조성된 어장에서 자원관리, 자원평가, 자원첨가, 지속적 관리 · 이용 등이 하나의 사이클을 이루는 새로운 어업생산방식이라 할 수 있다.



[그림. VI-1] 바다목장 개념도

1998년부터 시작된 통영해역의 ‘어로형 바다목장 시범사업’은 우리나라 최초의 바다목장 시범사업이며, 그 뒤를 이어 여수, 울진, 태안, 제주 해역에서도 바다목장 시범사업이 실시되고 있다. 각 해역별 바다목장 시범사업의 형태를 보면, 통영바다목장은 내해에 정착성 자원을 조성하는 ‘어로형 바다목장’이며, 여수바다목장은 다도해에 회유성 자원을 조성하는 ‘어로형 바다목장’ 사업이다. 그리고 울진바다목장은 동해안의 특성을 살려 연안에 자원을 조성하고 이를 어업과 관광에 이용하는 ‘관광형 바다목장’ 사업이며, 태안바다목장은 서해안의 갯벌 수산자원과 조하대 어업자원을 동시에 조성하는 ‘갯벌형 바다목장’ 사업이다. 마지막

으로 제주바다목장은 조성된 수산자원을 어업체험과 수중관광에 이용하는 ‘수중체험형 바다목장’ 사업이다.

이상과 같은 바다목장 시범사업은 우리나라 연안의 해역별 특성을 고루 반영하고 있어서 바다목장 사업의 확산 시 해역별 동일한 유형의 바다목장 추진에 대한 가이드라인을 제공하는 역할을 하게 된다. 이에 따라 바다목장 시범사업으로부터 타 바다목장에 대한 가이드라인을 제공하기 위해서는 시범사업의 내용을 유형별로 표준화하여 매뉴얼화 하는 것이 필요하다.

본 매뉴얼은 통영바다목장의 이용 · 관리 분야에 대한 연구성과를 표준화한 ‘어로형 바다목장 매뉴얼’로서 바다목장의 구성에

결쳐 이용·관리 분야의 설계와 추진을 포함하고 있다.

(나) 바다목장의 특성

바다목장은 기존의 어로, 양식, 자원조성

과는 자원배양 및 이용·관리 측면에서 성격을 달리하고 있는데, 특히 바다목장은 이용자를 어느 정도 특정화할 수 있고 관리주체도 공공의 성격을 가지면서 수익자 부담이 가능하다.

[표 VI-1] 바다목장의 성격

구 분		어 로	양 식	자원조성	바다목장
자원 배양	환경용량조절	자연적	자연적	인위적	인위적
	자원첨가	무	유	유	유
	양성방법	자연적	인위적, 자연적	자연적	인위적, 자연적
자원 이용 관리	대상수역	대	소	중	중
	이용주체	불특정 다수	특정인	불특정 다수	특정화 가능
	관리주체	개인	개인	공공	공공, 수익자
	사업비규모	소규모	소규모	중규모	대규모
	투자회수기간	단기	단기	중기	장기
	어획량조절	불가능	가능	불가능	상당히 가능

일본 해양목장과 차이점은 일본에서는 제 3차 연안어장정비개발사업에서 1988년에 '해역 고도이용시스템 도입사업'이 채택되면서 처음으로 해양목장이 도입되었는데 이러한 일본의 해양목장은 음향순치 등 새로운 기술을 적용하여 연안역의 고도이용을 도모하는 것으로서 종합적이고 통합적인 개념을 가진 우리나라의 바다목장과는 개념을 달리한다고 할 수 있다.

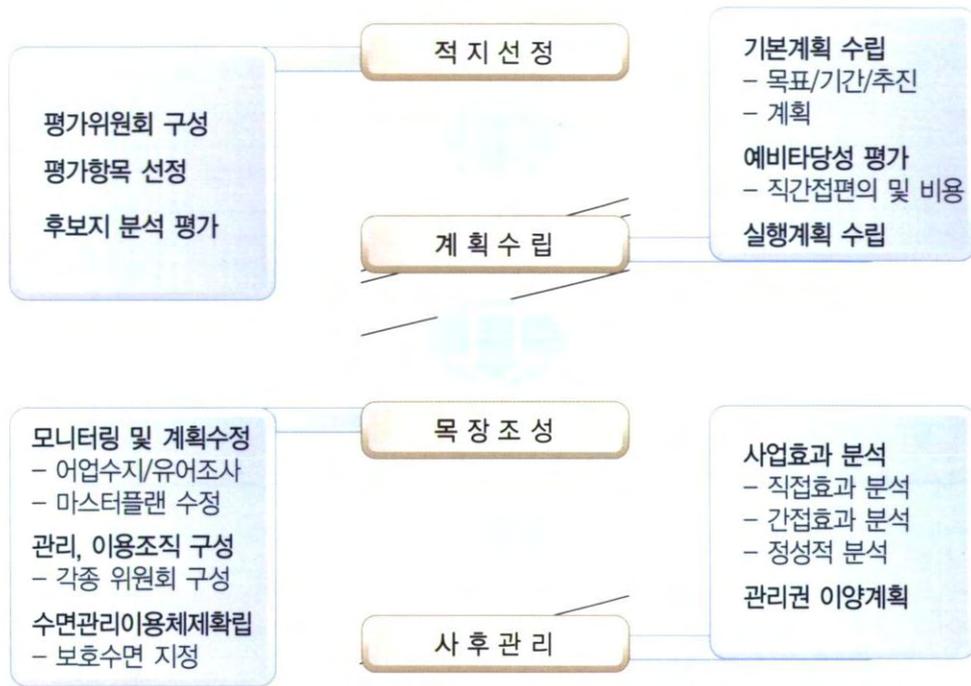
(다) 이용·관리 분야의 역할

이용·관리의 역할 및 목표는 사업추진계

획 수립, 관련 제도 확립, 목장해역 모니터링 및 현장실태 조사, 이용·관리체제 확립, 사업효과 분석 등을 통해 성공적인 바다목장 조성에 기여하는데 있다.

통영바다목장 해역 및 어업인의 특성을 반영하여 조성된 어장과 수산자원의 이용자는 누구이며, 어떠한 방식으로 관리·이용하며, 관리비용은 어떻게 부담하는가 등에 대한 최적의 관리이용시스템 구축에 기여하고자 하는 것이다.

이용·관리 분야 연구 흐름을 [그림. VI-2]에 나타내고 있다.



[그림. VI-2] 바다목장 연구 흐름도

## (2) 바다목장 이용·관리 구조

### (가) 바다목장사업의 추진체계



[그림. VI-3] 바다목장 사업 추진체계

### (2) 추진체계별 이용·관리 사업내용

가정 : 적지선정 → 계획수립 → 목장조성 → 사후관리의 4단계로 구분한다.

- ① 제1단계(적지선정 단계)는 적지 사전조사, 후보지 평가, 후보지 선정의 단계이다. 각각의 사항에 대해 살펴보면 다음과 같다.

- ㉓ 적지 사전조사 : 어장환경 및 자원상태, 어업실태 등 인문사회적 여건 고려
  - ㉔ 평가위원회 : 평가항목과 기준의 설정, 평가결과의 공정성과 객관성 유지 (관계, 지역기관, 업계, 언론, 환경단체 및 학계대표 등으로 구성)
  - ㉕ 평가자료의 객관적 검증시스템 필요
  - ㉖ 공청회 등 해역선정에 대한 여론수렴
    - ※ 특정해역을 목표로 바다목장을 조성하는 사업의 경우 생략 가능
- ② 제2단계(계획수립단계) : 구체적인 바다목장 조성을 위한 사업계획 수립단계이다.
- ㉗ 목표, 기간, 추진체계, 대상어종, 공간범위, 조성기법 결정
  - ㉘ 기본계획을 기준으로 예비타당성 평가 실시
  - ㉙ 예비타당성 평가를 기초로 어장·자원조성 등 세부계획 수립/자금조달 계획
- ③ 제3단계(조성단계) : 사업계획(기본계획 및 실행계획)에 따라 바다목장 조성, 관리이용체제의 수립이 이루어지는 단계이다.
- ㉚ 모니터링 : 목장해역의 이용자, 자원이용, 어획량, 어업경영, 유어낚시 실태조사
  - ㉛ 해역관리체제 확립 : 보호수면 및 수산자원관리수면 지정 및 관련 규정 제정
  - ㉜ 바다목장 관리이용을 위한 조직 구성 : 관리이용위원회, 어업자연합회 등
- ④ 제4단계(사후관리단계) : 사후관리계획의 수립 및 목장사업의 종합평가의 단계이다.
- ㉝ 바다목장 사후관리계획 수립 : 지자체 및 어업인 단체의 역할 분담, 사후관리비용 조달 방안
  - ㉞ 목장사업의 종합평가 : 사업추진의 성과 및 문제점 분석을 통한 사후관리 방향 수정 및 보완

### (3) 바다목장 추진단계

#### (가) 바다목장 모델선정 및 적지선정

모델선정시 고려요인은 자연과학적 측면에서는 해역여건 분석, 수산자원의 평가, 대상자원의 인위적 배양 가능성 등에 대해 전문가 의견수렴 등이 있어야 하며, 사회과학적 측면에서 지역 어업종류 및 조업형태, 어업인 경영상황 등을 감안하여 어업인 및 전문가 의견수렴 등이 고려되어야 한다. 그리고 정책적 측면에서는 지자체 수산발전정책과 연계와 자원조성사업 추진방향과 연계(‘기르는어업발전시행계획’, ‘수산자원관리세부시행계획’ 등)가 충분히 고려되어야 한다.

적지선정 기준으로는 대상지역 연안자원의 증대 가능성이 높아야 하며, 연안암반 및 수중여가 잘 발달되어 있어 어장조성이 가능한 수역이어야 한다. 그리고 불법어업 방지 등 어업인의 자율적 관리능력과 의지가 높아야 하며, 바다목장 부가가치 창출이 가능하도록 어업 및 관광의 연계 가능성이 높

고, 타 바다목장시범사업의 적지선정 기준을 참고 하여야 한다.

#### (나) 대상해역의 선정

대상해역의 선정시 평가기준은 다음과 같다.

- ① 환경친화형 어업실현 ⇒ 바다목장 조성에 적합한 해양환경
- ② 기르는 어업의 실현 ⇒ 어장조성 및 자원첨가의 가능성
- ③ 지속 가능한 어업의 실현 ⇒ 관리이용의 효율적 달성, 어업인 자율적 관리
- ④ 어업과 관광 연계 ⇒ 어업체험, 유어, 수중관광 등 부가가치 실현하는 목장
- ⑤ 천해목장과 갯벌목장과 조화 ⇒ 갯벌형 바다목장 조성(서해안)

평가항목 및 기준은 [표 VI-2]에서 보는 바와 같다.

[표 VI-2] 평가항목의 분류

분야	평가항목 대분류	평가 목적
사회과학 분야	어업실태 및 경영 여건 요인	바다목장사업이 원활하게 착수될 수 있도록 어업 및 경영 여건의 적부를 판단
	어업관리 실태 및 관리주체 요인	바다목장이 효율적으로 수행되고, 향후 이용·관리권이 이양 시 어업관리의 적합성 및 이용주체의 확립 적합성 판정
	사회경제적 여건 요인	지자체 투자여력과 어업인들의 유치여력, 후보지의 특성 반영 등 바다목장사업 실시를 위한 적합성 판정

평가항목별 목적 및 기준은 다음의 [표 VI-3, VI-4, VI-5]에서 보는 바와 같다.

[표. VI-3] 어업실태 및 경영 여건 요인

항 목	평가 목적	평가 기준
어가수	목장조성을 통한 이익이 많은 어업인들이 향유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 총가구중 어가수의 비중이 높을수록 유리</li> <li>• 총어가수중 어선어업 어가수 비중이 높으면 유리</li> <li>• 목장면적 대비 어가수 비중 낮으면 유리</li> <li>• 갯벌면적 대비 어가수 비중 낮으면 유리(서해안)</li> </ul>
어업인구수	목장조성의 이익이 관련 어업자들에게 고르게 분배	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 총인구수중 어업인구수의 비중이 높으면 유리</li> <li>• 총인가구수중 어선어업인구수 비중 높으면 유리</li> <li>• 목장면적 대비 어업인구수 비중 낮으면 불리</li> </ul>
어업인 민도	어업인들의 건전한 생산 의욕 판단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어업인 후계자 비중이 높을수록 유리</li> <li>• 어업인 학력이 높을수록 유리</li> <li>• 어업인 연령이 낮을수록 유리</li> </ul>
어선세력	목장조성을 통한 실제 어선 어업에 대한 기여 정도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 총어선중 어선어업 종사어선 비중 높으면 유리</li> <li>• 총어선중 복합어업종사어선 비중 높으면 유리</li> <li>• 목장면적 대비 어선수 비중 낮으면 유리</li> </ul>
어업허가 및 면허현황	목장조성사업의 착수 및 실시가 용이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 목장면적 대비 마을·양식·정치망어장 및 정치성구 획어업 면적 비중 낮으면 유리</li> <li>• 총인가구수중 어선어업 허가건수 비중 많으면 유리</li> </ul>
어업경영 실태	목장사업의 추진주체인 경영체의 건전성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어가별 부채 대비 자산비율이 높으면 유리</li> <li>• 어가별 어업생산비용 대비 수입비율이 높으면 유리</li> <li>• 어가별 총비용 대비 총수입비율이 높으면 유리</li> </ul>
어가소득 및 어업소득 비중	어가당 어업의존도 판단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어가당 평균소득, 평균어업소득 및 어선어업소득 비중이 높으면 유리</li> </ul>
생산기반 시설	바다목장에 대한 경제적 조성효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어선수 대비 어항수가 많을수록 유리</li> <li>• 어선당 선착장 및 물량장이 많으면 유리</li> <li>• 위판장 및 기타 시설이 넓을수록 유리</li> </ul>

[표 VI-4] 어업관리 실태 및 관리주체 요인

항 목	평가 목적	평가 기준
어촌계 현황	목장사업 추진 주체의 동질성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해당권역 어촌계 수가 적으면 유리</li> <li>• 어촌계원 중 어선어업자 비중이 높으면 유리</li> </ul>
어장이용·관리 실태	목장사업의 이용·관리 적합성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 어촌계 발전수준 중 복지비중이 높으면 유리</li> <li>• 어장이용·관리실적 비중이 높으면 유리</li> <li>• 관리규약 집행실적이 높을수록 유리</li> </ul>
어업인 자생조직	목장사업의 사후관리 및 이양시 그 적합성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수협, 어촌계 이외에 자생적 조직이 있으면 유리</li> <li>• 자주적 어업관리 실시 내지 규정이 있으면 유리</li> </ul>
불법어업 빈도	목장사업의 효율적 추진 여부 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불법어업빈도가 적을수록 유리</li> <li>• 어업별 분쟁건수가 적을수록 유리</li> </ul>

[표 VI-5] 사회경제적 여건 요인

항 목	평가 목적	평가 기준
면적	목장조성사업의 규모	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 총토지면적 대비 목장면적이 크면 유리</li> <li>• 총바다면적 대비 목장면적이 크면 유리</li> </ul>
자연구조물	목장조성 지역 내에 자연구조물이 있어 사업 안정성 제고	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 목장조성 지역에 섬이 있을수록 유리</li> <li>• 목장조성 지역이 개방성이면 불리</li> </ul>
갯벌이용 및 관리계획	서해안 바다목장조성사업의 특성 고려	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 갯벌면적 대비 면허면적이 작으면 유리</li> <li>• 갯벌면적 대비 관광객수가 높으면 유리</li> <li>• 갯벌이용 및 보존계획이 지자체 내부계획에 수립되어 있으면 유리</li> </ul>
교통시설	목장사업 지역으로 접근성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 교통시설 및 수단이 다양할수록 유리</li> <li>• 주요도시와의 거리가 가까울수록 유리</li> </ul>
배후관광지	목장조성사업의 경제적 조성효과 및 지역 특성 반영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역내 유명산, 휴양림, 사찰 등이 많으면 유리</li> <li>• 낚시점포, 스킨스쿠버 샵 등이 많으면 유리</li> </ul>
숙박시설 및 음식점	목장조성사업의 경제적 조성효과 및 지역 특성 반영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 숙박시설이 많으면 유리</li> <li>• 음식점수(횃집)가 많으면 유리</li> </ul>
관광객수	목장조성사업의 경제적 조성효과 및 지역 특성 반영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연간 관광객수(육상, 해상, 스킨스쿠버, 유어낚기 등)가 많으면 유리</li> </ul>
바다목장 계획 수립 여부	바다목장에 대한 지자체의 참여와 의지 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·도 및 시·군 수산발전계획에 바다목장 계획이 수립되어 있으면 유리</li> </ul>
바다목장 이용·관리계획	바다목장에 대한 지자체의 참여와 의지 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바다목장 조성 시에 어업제한에 대한 어업인들의 동의가 있으면 유리</li> <li>• 바다목장 내에 자율이용·관리위원회 구성 계획</li> <li>• 수산자원조성에 투자한 금액이 많을수록 유리</li> </ul>
바다목장 유치도	바다목장에 대한 지자체 및 어업인의 참여와 의지, 유치후 민관계획 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바다목장사업 유치에 대한 조직구성 및 유치노력</li> <li>• 바다목장사업에 대한 어업인 유치의지</li> <li>• 바다목장사업비 지자체 및 어업인 조달계획의 수립</li> </ul>
타 법률과의 위배성	바다목장 후보지에 해상국립공원, 향로 등이 있으면 사업의 효율성 저해	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해상국립공원에 포함되어 있지 않을수록 유리</li> <li>• 향로가 설치되어 있지 않을수록 유리</li> <li>• 연안매립계획이 수립되어 있지 않을수록 유리</li> </ul>

(다) 마스터플랜의 수립

마스터플랜 수립시 사업계획 수립, 투자 계획의 수립과 사전 경제성 평가의 단계를 거쳐 이루어진다.

① 사업계획 수립

사업계획 수립은 바다목장 추진위원회 구성(민·관·학·연)을 통해 추진되며, 이러한 추진위원회는 다양한 계층의 의견 수렴을 통한 시행착오 감소시킬 수 있으며, 사업계획 수립, 사업조정 및 연계, 분야별 추진사항 검토, 행정 및 기술 자문, 예산의 확보 및 집행에 관한 자문 역할을 한다.

기본계획에 포함되는 항목은 사업의 목표와 해역 범위, 목표 어종 선정, 어장 조성형태(인공어초, 해조장, 소파제)와 자원첨가 및 조성방법(중간육성장), 사업추진 전략 및 조직(관리·이용협의회, 자율관리어업위원회)이 있는데 이러한 항목들은 자연과학 분야와 사회과학 분야가 동시에 고려되어야 한다.

참여자의 범위 및 역할에 있어서는 해당 어업인은 바다목장의 실제적 이용자 및 관리자로 적극적 참여가 이루어져야 하며, 가공 유통업자는 목장산 어획물의 부가가치 증대 방안을 강구하여야 한다. 그리고 지자체 및 공공기관에서는 바다목장사업에 필요한 행정업무와 관련 법제도의 제정 및 개정 그리고 감시·감독 등 사업지원 역할을 수행하여야 하며, 학계 또는 연구기관은 기존 바다목장과 차별된 지역 여건이 감안된 새로운 사업 시도, 사업화 유도를 제시하여야 한다.

② 투자계획의 수립

투자계획의 수립은 어장조성사업, 자원조성사업, 연구사업의 3분야로 진행되어야 한다. 그리고 이러한 투자계획 수립은 각 사업별 투자주체를 구분하여 작성하여야 하고, 연차별 사업진행을 고려하고, 사업별로 가능하면 세분화 하여 작성할 수 있도록 하여야 한다.

투자계획 수립의 기준은 첫째, 해당 바다목장 모델에 적합하도록 수립되어야 하고, 정부의 바다목장사업 마스터플랜 혹은 기존 사업을 참고하여야 한다. 그리고 연구개발투자는 국가 투자를 원칙으로 하고 시설투자는 국가 외에 지자체, 어업인 및 민간기업의 투자를 유도, 사업추진단계에 따라 연차별 및 분야별 투자액을 배정하여야 한다. 단, 국가시범 바다목장과 이후 추진되는 바다목장 사업은 국가투자 비율이 다르므로 이를 감안하여 수립하여야 한다.

시설투자에 있어서는 크게 어장조성과 자원증대로 구분되어야 한다. 어장조성 시설은 인공어초, 해조장, 해류제어시스템(소파제 등), 환경모니터링 급이시스템, 육상관측시스템, 유어낙시터 조성 등에 투자되어야 하며, 자원증대 부문은 종묘방류와 중간육성 시설인 내파성 가두리 시설에 투자가 이루어져야 할 것이다. 단, 시설투자는 조성되는 바다목장의 형태에 따라 달라지며, 관광형 등에서 관광 시설은 민자를 원칙으로 한다.

연구개발투자는 환경관리 및 개선, 어장조성, 자원증대, 바다목장 이용·관리 분야로 나누어 투자되어야 한다[표 VI-

6, VI-7, VI-8].

㉠ 사업투자계획의 예

[표 VI-6] 총괄표(재원별)

분야	재원별	합계	00년							
합계	합 계									
	국 가									
	지 자 체									
	어 업 인									
	민간기업									
시설 투자	소 계									
	국 가									
	지 자 체									
	어 업 인									
	민간기업									
연구 개발	소 계									
	국 가									
	지 자 체									
	어 업 인									
	민간기업									

[표 VI-7] 어장조성 시설투자계획

분야	재원별	합계	00년							
재원	소 계									
	국 가									
	지자체									
	어업인									
	민 간									
시설 내역*	시설 A	소 계								
		국 가								
		지자체								
		어업인								
		민 간								
	시설 B	소 계								
		국 가								
		지자체								
		어업인								
		민 간								

\* : 인공어초(유도초, 보육초, 어획용어초), 해조장, 소파제 등, 급이시스템, 환경모니터링시스템, 육상관측시스템 등

[표. VI-8] 자원조성 시설투자계획

분야	재원별	합계	00년							
재원	소 계									
	국 가									
	지자체									
	어업인									
	민 간									
시설내역*	시설 A	소 계								
		국 가								
		지자체								
		어업인								
		민 간								
	시설 B	소 계								
		국 가								
		지자체								
		어업인								
		민 간								

\* : 종묘비, 중간육성장 관련 시설

[표 VI-9] 연구비 투자계획

분야	연구내용	합계	00년							
합계										
환경관리	소 계									
	환경조사									
	생태계특성분석									
어장조성	소 계									
	인공어초									
	해중림									
	소파제									
	환경모니터링 및 급이시스템									
자원증대	소 계									
	우량종묘 생산 및 판별									
	중간육성기술									
	음향순치기술									
	대상생물의 방류기술									
	대상생물 생태 및 행동 연구									
	해중림 조성종 생산									
	자원조사 및 평가									
이용관리	소 계									
	후보지 선정 조사 및 평가									
	마스터플랜 수립									
	이용·관리 실태조사									
	이용·관리체제 구축 및 운영									
	유통체계 구축 및 운영									
	바다목장 종합계획 수립									

### ③ 사전 경제성 평가

사전경제성 평가는 직접효과와 간접효과, 그리고 사전 경제성 분석이 이루어져야 한다.

먼저 직접효과는 바다목장으로 인한 직접효과는 바다목장에 조성된 어업자원을 상업적으로 이용하는 어업효과를 말하며, 지속적 어획량에다 어가를 곱하여 산출한다. 그리고 지속적 어획량은 방류와 어장조성 등을 통하여 목표어종

의 자원량이 증가함에 따라 매년의 지속적 생산량만을 어획하여 자원의 남획을 방지한다는 가정 하에 산출한다.

그리고 자원증가량 추정에 있어서는 어종별 자원특성에 따라 생존율을 달리 하여 재생산력이 계산되어야 하는데 방류어 생존율, 산란량, 산란어 생존율을 연차별로 자연과학 전문가의 자문을 받아 산정되어야 한다.

#### <블락의 예>

- 방류어 생존율 :  $0.4(1년) \times 0.4(2년) \times 0.5(3년)$
- 산란량 :  $친어수 \times 0.5(암수) \times 5만미(미당 산란량) \times 0.5(정상산란율)$
- 산란성어 생존율 :  $0.005(1년) \times 0.2(2년) \times 0.3(3년)$   
2사이클부터 3년차 생존율 0.2

어업비용은 고정비와 변동비로 구분하여 현지조사 결과를 기초로 산정되어야 하는데 고정비에는 어선의 감가상각비, 어선 유지보수비 등이 포함되며, 변동비는 현지 조사결과를 반영한다. 직접효과는 매년의 어업수익(어획량×어가)에서 어업비용(고정비+변동비)을 차감한 결과를 이용하여 산출한다.

다음으로 간접효과의 추정은 유어낚시효과와 관광효과로 구분하여 산출하며, 여행자비용법에 의한 분석을 위하여 설문조사를 실시하여 유어낚시객 및 관광객의 소비자 잉여를 추정한다. 그리고 총간접효과는 유어낚시객과 관광객의 소비자 잉여에다 바다목장 방문객수를 곱하여 추정하고, 각 해역별 바다목장

조성효과에 대한 설명 후 바다목장 조성 후 방문예상 수를 설문조사를 통해 파악한다. 간접효과는 바다목장 해역 방문예상 수에 소비자 잉여를 곱한 유어낚시효과와 바다목장 해역 방문예상 수와 소비자 잉여를 곱한 관광효과로 구분하여 추정한다.

유어낚시효과 추정에 있어서는 회귀분석을 사용하여 경제적 가치에 영향을 주는 변수들을 대상으로 분석하여야 하는데 사용자료는 유어낚시객을 대상으로 한 설문 결과를 바탕으로 이중 설명력이 있는 변수들을 선정하여야 한다. 바다목장은 유어낚시객별, 지역별 특성을 가지고 있어 지역에 따라 선정된 변수들이 차이가 있는데 특히 통영바다목

장은 통영에 방문한 유어낚시객 월 소득과 통영지역에서 잡은 어류의 kg으로 선정하여 추정하였다. 설문조사 항목으로는 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 21개가 사용되었으며, 출조형태와 낚시 지출비용의 항목은 각각 8개와 7개의 세부항목으로 구성되었다.

관광효과 추정에 있어서는 회귀분석을 사용하여 경제적 가치에 영향을 주는 변수들을 대상으로 분석하였는데 사용된 자료는 통영을 방문한 관광객을 대상으로 한 설문에서 통영지역에 재 방문시 지불하고자 하는 금액과 바다목장에 회

망방문기간과 설문조사 시 응답한 일인 총비용을 가지고 분석하였다. 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 19개가 사용되었다.

사전 경제성 분석은 연차별로 순이익을 추정하였는데 연차별 직접효과 + 연차별 간접효과 - 연차별 투자비로 이루어졌다. 그리고 내부수익률법(Internal Rate of Return : IRR), 순현재가치법(Net Present Value : NPV), 자본기간 회수법(payback period)을 이용하였다.

경제성 판단 기준은 아래의 표에서 보는 바와 같다.

척도	IRR	NPV	회수기간
기준	5-8% 이상	"+"면 투자	짧을수록 유리

#### (4) 바다목장 조성단계

##### (가) 이용·관리실태

바다목장의 최종목적은 일정해역을 목장으로 조성하여 자원량을 증대시키고 이에 대한 지속적 이용·관리를 통해서 어업수입 및 어업외 수입의 향상을 도모하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 우선 어장조성 및 자원조성 등을 통하여 목장이 조성되어야 한다.

하지만 본격적인 목장으로서의 기능을 수행할 때까지는 많은 시간이 필요함에 따라 바다

목장의 조성단계에서부터 해당 수역에 대한 이용·관리가 필요하다. 따라서 연차적으로 바다목장의 이용·관리에 대한 실태파악을 통해서 조성단계에서는 바다목장 추진상황의 점검 및 문제점 진단 그리고 종료단계에서는 조성효과 판정에 필요한 중요한 정보 및 자료를 제공하여야 한다.

- ① 목장 해역 내 어업별 현황 조사 및 분석  
바다목장 해역의 어업별 기본현황을

파악하고 연차별로 사업이 진행되어 감에 따른 추이를 관찰하고 수산자원관리수면 및 보호수면 지정 시 참입할 어업 및 이용자에 대한 기초자료를 제공한다.

- ㉔ 어업인허가/어업세력, 어업인구, 어촌계 현황  
어업인구 및 어촌계 현황 분석을 통해 바다목장 해역의 사회경제적 분석

을 위한 기초 자료를 제공하고 바다목장 해역 내에서 행해지고 있는 어업의 인허가를 파악함으로써 어업세력을 파악한다. 그리고 이를 통해 바다목장에 투입되고 있는 어업의 어획량 및 어획강도를 추정한다. 아래 제시된 [표]들은 통영바다목장 시범사업에서 실제 조사에 활용된 것이다.

[표 VI-10] 어선수 추이

(단위 : 척)

구 분		1998	2000	2001	2002	2003	2004
바다목장 해역	동 력						
	무동력						
	합 계						
통영지역	동 력						
	무동력						
	합 계						

[표 VI-10]은 바다목장 해역의 연차별 어선수 추이를 파악하였는데 통영 전체 어선수와 바다목장 해역 내에서

운영되는 어선수를 동력선과 무동력선으로 구분·조사하여 바다목장 해역이 차지하는 어업비중을 파악하였다.

[표 VI-11] 어업권 현황의 추이

(단위 : 건, ha)

구분	연도	정치망어업		해조류양식		패류양식		어류양식		복합양식		협동양식		마을어업	
		건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적
목장 해역	1998														
	1999														
	2000														
	2001														
	2002														
	2003														
	2004														
통영 전체	1998														
	1999														
	2000														
	2001														
	2002														
	2003														
	2004														

[표 VI-11]은 바다목장 해역의 어업권 현황의 추이를 나타내고 있는데 바다목장 해역에 소속된 어촌계들의 연차별 어업권현황(정치망어업, 해조류 양식, 패류양식, 어류양식, 복합양식, 협동양식, 마을어업) 추이를 파악하였다. 그리고 통영 전체 어업권 현황과 바다목장 해역내의 어업권 현황을 파악함으로써 바다목장 해역이 차지하는 어업비중을 파악하였고, 각 어업권별로 건수 및 면적을 파악하였다.

[표 VI-12]는 바다목장 해역의 이용 실태를 어업 인허가 사항을 통해 추정하였는데 바다목장 해역 내에서 운영되는 연안어선의 척수 및 허가어업, 구획어업, 정치망, 유어선, 양식업 등의 현황을 파악하고, 연안어선 척수 및 인허가 사항을 어촌계별로 구분하여 파악함으로써 바다목장 해역에서 각 어촌계들이 차지하는 어업비중을 파악하였다.

[표 VI-12] 바다목장 해역 이용 실태

구분	연안어선 (척)	허가어업				구획어업(건)		정치망 (건)	유어선 (척)	양식업 (건)	해녀 (명)
		복합	자망	양조망	통발	정치성	이동성				
합계											
마동											
미남											
연화											
중화											
삼덕											
원항											
곤리											
저도											
학림											
연대											
오수											

[표 VI-13] 바다목장의 해역 내 연안어선의 조업 현황

구분	외출낙시			연승		통발		자망	
	주업	보조	계	주업	보조	주업	보조	주업	보조
합계									
저도									
학림									
곤리									
오수									
연대									
삼덕									
미남									
연화									
마동									
원항									
중화									

[표 VI-13]은 바다목장해역 내의 어촌계별 연안어선의 조업 현황을 어업별로 나타내고 있는데 바다목장 해역 내에서 운영되는 연안어선의 어업별 주업 및

보조 어선 척수를 파악함으로써 바다목장 해역 내에서 실질적으로 조업에 임하고 있는 어선척수를 파악할 수 있다.

[표 VI-14] 바다목장 어가 및 인구추이

(단위 : 호, 명)

구 분		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
바다목장 해역	어 가 수							
	어업인구							
통영지역	어 가 수							
	어업인구							

[표 VI-14]는 바다목장 해역의 어가수 및 어업인구를 연차별로 나타내고 있는데 바다목장 해역내 및 통영 전체의 어가수 및 어업인구를 파악함으로써 통영 해역 전체에서 차지하는 바다목장 해역 어가수 및 어업인구의 비중을 파악하였다.

㉔ 어업별 어획량/어종구성, 조업어장, 주어업 시기 조사

바다목장 해역 내에서 행해지는 어업별 어획량 및 어종구성을 연차별로 파악하고 이를 통해 바다목장 어획관리의 기초자료로 사용하고, 조업어장 및 주어업 시기 조사를 통해 연차별로 바다목장 해역 및 기타 해역의 이용도 변화를 파악해 볼 수 있다. 이를 통해 바다목장의 어획관리 및 자원 조성 판단의 기초자료를 제공한다.

아래 제시된 <표>들을 통해 통영바다목장의 사례를 참고한다.

[표 VI-15]는 특정연도의 외출낚시어업의 어종별 평균 어획량 및 어획금액을 조사한 예시를 나타내고 있는데 바다목장 해역에서 어획되는 어종의 어획량 및 어업금액을 어업인 설문조사를 통해 파악하였고, 어획량 및 어획금액은 바다목장 해역 내·외로 지역을 구분하여 기록하고 이에 따른 비중을 파악하였다.

[표 VI-16]은 바다목장 해역의 어종별 주어획 시기를 나타내고 있다.

[표 VI-15] 년 외출낚시어업의 어종별 평균 어획량 및 어획금액

(단위 : kg, 천원, %)

구 분		합 계	참 돔	불 락	조피불락	감성돔	돌 돔	방 어	농 어	장 어
어 획 량	소 계									
	해역 내									
	해역 외									
금 액	소 계									
	해역 내									
	해역 외									

[표 VI-16] 어종별 주어기

지 명	월별 주 어종											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
감성돔												
불 락*												
농 어												
방 어												
참 돔												

[표 VI-17] 목장 해역 내 11개 어촌계별 호당 평균소득 추이

(단위 : 천원)

	해역내 11개 어촌계별 호당 평균소득											소득 평균
	미남	마동	중화	연화	삼덕	원항	곤리	저도	학림	오수	연대	
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												

[표 VI-17]은 바다목장 해역 내 어촌계들의 평균소득을 연차별로 정리하고 있는데 어촌계별 호당 평균소득은 어촌계에서 영위하는 어업권어업, 허가어업 등을 합한 전체 소득에서 어가수로 나눈 소득을 집계한 것이다.

② 어업별 경영실태 및 어업수지 조사

어업별 경영실태 및 어업수지를 조사하기 위해 바다목장 인근의 어촌계원들이 행하고 있는 어선어업 및 구획어업자들에 대하여 표본을 선정하고 설문조사를 실시하였는데 이러한 경영실태 분석 결과는 조성단계에서 바다목장 조성효과 추정 및 추후 바다목장이 완전히 조성된 후 사업성을 평가할 때 유용하게 사용될 것이다.

어선어업, 구획어업의 경영수지, 목장해역 의존도를 파악하기 위해 우선 바다

목장 대상해역의 어업경영실태를 파악하기 위하여 조사대상 지역은 바다목장 인근 마을 어촌계를 표본으로 선정하고, 어선어업 및 구획어업 종사자들 중 바다목장에서 어업을 행하고 있는 어업자들을 중심으로 설문 조사 대상자를 선정한다. 조사기간은 1년 단위로 연차별로 실시하고, 조사방법은 본 연구진과 현지조사원을 이용하여 대어업인 면접조사를 실시한다. 조사내용은 어선 및 어장규모, 어업별 생산량 및 생산액, 자산 및 부채, 어업수익 및 비용 등이며 분석내용은 부채비율, 매출액 어업이익율, 자본생산성 등 주요 경영지표이다. 본 조사는 바다목장 사업의 시작과 함께 연차별로 실시하여 연도별 변화추이를 비교·검토하도록 한다.

아래 제시된 [표]들을 통해 통영바다목장의 사례를 참고한다.

[표 VI-18] 외줄낚시어업의 수입 및 비용

구분	평균	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
수입(천원)								
비용(천원)								
이익(천원)								
이익률(%)								

[표 VI-18]은 바다목장 해역 외줄낚시어업의 수입 및 비용 그리고 이익 및 이익률을 나타내고 있는데 통영 바다목장의 경우 바다목장 해역 내에서는 복합어업만이 허용되고 있으며 자망 및 통발

어업의 경우 금지됨에 따라 외줄낚시어업자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 외줄낚시어업의 수입, 비용, 이익, 이익률을 연차별로 파악하고 평균을 도출하였다.

[표 VI-19] 외출낚시어업의 자산 및 부채 현황

구 분	자 산			부 채		
	합 계	고정자산	유동자산	합 계	고정부채	유동부채
1998						
1999						
2000						
2001						
2002						
2003						
2004						

[표 VI-19]는 바다목장 해역 어가의 외출낚시어업의 자산 및 부채 현황을 나타내고 있는데 이는 바다목장 해역의 외출낚시어업자들에 대한 설문조사를 통해 자산 및 부채 현황을 파악하였고, 자료는 연차별로 구축하며 자산 부문에서는 고정자산 및 유동자산을, 부채 부문에서는 고정부채 및 유동부채 현황을 파악하였다.

[표 VI-20]은 바다목장 해역 어가의 주요 재무지표를 나타내는데 재무지표

분석은 바다목장 해역 내에 거주하는 어업인들 중 조사대상 어업인들의 재무건전성을 파악하기 위해 실시하였고, 바다목장 조성과정에서의 어획량 증대 뿐 아니라 어획량 증대가 어가경제에 어떠한 영향을 끼치는지를 파악하기 위한 자료로 사용할 수 있다. 분석에 사용한 재무지표는 유동성비율과 안정성비율, 손익관계 비율, 활동성관계비율의 4가지를 이용하였다.

[표 VI-20] 주요 재무지표

구 분		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
유동성	자기자본비율							
안정성	고정비율							
	부채비율							
손익관계	총자본어업이익률							
	총자본순이익률							
	자기자본순이익률							
	매출액어업이익률							
활동성	총자본회전율							
	고정자산회전율							

③ 유어낚시/관광 실태조사

바다목장 조성의 파급효과를 파악하기 위해 유어낚시객과 관광객들을 대상으로 설문조사를 실시하여 그 결과를 바탕으로 간접효과를 분석하였는데 조사 방법은 설문지를 활용한 1대1 면담을 통해 실시하였고, 유어낚시 실태조사는 바다목장사업의 간접적인 효과를 계량적인 방법에 의해 측정하기 위해서 조사를 하였다.

유어낚시객의 유어형태 등 인식도, 낚시어선업의 목장해역 의존도를 파악하기 위해 유어낚시 실태분석은 바다목장 조성에 따른 자원증가가 동 지역에 있어서 지역 소득에 얼마나 기여하는지 측정하기 위해 실시하였다. 설문조사 항목은 성별, 나이, 월평균소득, 거주지, 낚시장소, 낚시여행 결정의 요소, 1년 여가생활에서 낚시 투자비용, 출조형태, 낚시여행비용, 낚시 소요시간, 어획어종, 1회 출조시의 평균어획량 등 총 21개의 항목으로 구성되었다. 출조형태와 낚시여행비용의 항목은 각각 세부항목을 5개와 9개로 추가하였다.

통영바다목장의 연차별 조사 사례의 결과는 다음과 같다. 1998년도에는 비시장가치(Non market Value)를 추정하는 경제적인 방법을 이용하지는 않고 다만 관광객이 지불하는 비용을 간접효과로 추정하였고, 1999년에는 개인면접법에 의한 설문조사를 실시한 후, 여행비용법(Travel Cost Model)을 이용하여 유어낚시의 가치를 추정하였으며, 2002년도에는 설문조사를 통하여 수집

된 자료를 이용하여 유어낚시객의 소비자 잉여를 추정하였다. 그리고 2003년도에는 계절별 및 주중, 주말 공휴일을 구분하여 설문조사를 실시하였고, 2004년도에는 바다목장 조성의 간접효과 추정하기 위하여 통영바다목장 해역을 찾는 유어낚시객 및 일반관광객을 대상으로 계절별(봄, 여름, 가을) 직접 면접조사를 실시하였다.

④ 이용자별 지속적 모니터링체제의 구축

바다목장이 조성됨에 따라 어업 이용도를 파악하기 위해 이용자별 어획량 모니터링 체제를 구축할 필요가 있는데 이는 어획량 모니터링 체제를 구축함으로써 수집된 자료는 자원량 추정 및 자원 관리에 응용할 수 있게 한다.

통영바다목장의 어획량 모니터링 조사체계 사례는 다음과 같다. 매월 1차례 어획량 모니터링을 실시하였고, 양륙항에서 어획량을 조사하기 위해 조사원을 고용하였으며 조사원의 집계를 보고받는 형식을 취하였다. 그리고 조사 대상자는 어업별, 양륙항별로 일정 인원을 선발하며 조사 내용은 조업척수, 조업구역, 어종별 어획량(활어, 선어), 단가를 파악하였다. 어획물의 판매방법에 대한 조사는 어업별 어획량을 산출하고 선어 및 활어에 따른 판매형태별 수량을 파악하는 방식을 취하였다.

통영의 어획량 모니터링 집계표(샘플)는 부록을 참고하기 바람

(나) 수면 이용 및 관리규정

① 필요성 및 역할

전술한 바와 같이 바다목장은 어장과 자원을 인위적으로 조성하여 자원을 증대시키고, 자원상태에 맞게 이용함으로써 지속적으로 어업수익을 얻고자 하는 것이다. 따라서 어장과 자원을 조성하기 위한 시설투자 및 연구개발 기간이 상당히 소요되고, 완전한 바다목장이 조성되는데 더 많은 시간이 필요하다. 그런데 바다목장 조성기간 중에 과도한 어획을 하거나 시설물을 훼손하는 행위를 할 경우 어장 및 자원조성은 이루어질 수 없다. 따라서 바다목장이 완전히 조성될 때까지는 관리수역을 지정하여 철저하게 해역을 관리할 필요가 있다. 이를 통해 성공적인 바다목장 조성이 이루어져야 한다.

바다목장 조성과정에서의 바다목장 관리가 주로 바다목장의 성공적인 조성이 목표이고, 바다목장 조성후의 관리는 바다목장의 기능을 떨어뜨리지 않도록 이용하기 위한 것이다. 따라서 바다목장 조성정도에 따라 조성된 수산자원을 적절하게 이용하여야 하고, 시설물의 보호·관리도 요구된다. 이에 효율적인 바다목장의 관리를 위해서 수산자원관리수면을 지정하여 운용할 필요가 있다.

2002년 제정되고 2003년 7월에 발효된 ‘기르는어업육성법’에는 바다목장을 조성하고자 하거나 조성중인 수면에 대하여 수산자원관리수면(이하 ‘관리수면’이라 함)으로 지정하여 운용하도록 의무화되어 있는데 그동안 법률시행을 위한 하위규정 미비로 지연되고 있었으

나 2004년 3월 해양수산부에서 ‘수산자원관리수면 업무처리요령’을 제정하여 각 시·도에 시달한 바 있어 법률시행의 근거가 마련되었다고 할 수 있다. 따라서 각 시·도에서는 2004년 4월 1일부터 바다목장 사업 시행 수역에 대하여 수산자원관리수면을 지정하여 관리하여야 한다.

② 보호수면

보호수면의 근거 및 지정여부 판정은 수산업법 제67조에 의거 다음의 세 가지 자연과학적 요건과 한 가지 인문사회학적 요건이 충족되었을 때 지정하여야 한다.

- ㉠ 당해 수면이 산란장, 성육장으로서의 기능을 하는가?
- ㉡ 당해 수면에 시설물이 집중 투하되어 기존의 산란, 성육장으로서의 기능이 유지될 곳인가?
- ㉢ 당해 수면에 대한 기존 계획에 의해 보호수면 지정이 불가하지 않은가?
- ㉣ 당해수면을 보호수면으로 지정함에 있어 어업인의 동의가 가능한 곳인가?

지정 및 해제 절차에 있어서는 지정 및 해제권자는 해양수산부장관, 시·도지사이며, 지정은 해양수산부장관 직권으로 국립수산물과학원장, 수면 관할 시·도지사의 의견을 제출받아 검토 후 지정

한다. 그리고 시장·군수·구청장은 신청에 필요한 서류(보호수면지정신청서)를 작성 후 신청수면의 구역도와 수산연구소장이 작성한 수산자원실태조사 결과서를 첨부하여 시·도지사에게 제출한다.

해제절차는 해양수산부장관 직권으로 국립수산과학원장의 의견 검토 후 결정한다. 시·도지사는 보호수면지정해제신청서를 해양수산부장관에 제출하여야 하며, 시장·군수·구청장은 보호수면지정해제신청서를 시·도지사에게 제출하여야 한다.

관리 및 주요내용에 있어서는 보호수면의 관리는 시·도지사가 보호수면관리계획을 수립·시행하는데 수산동식물의 보호를 위한 시설의 설치와 유해동식물의 제거, 수질오염 방지 등 환경 개선과 기타 보호수면의 관리에 필요한 사항에 대해 관리가 이루어진다. 수역 내 일체의 어로행위 금지와 수역 내 매립, 준설 등 공사 금지가 주요 내용이다.

### ③ 수산자원관리수면

근거 및 지정여부 판정은 기르는어업육성법 제10조, 11조, 수산자원관리수면업무처리요령에 의거 수산자원관리수면의 지정은 다음의 세 가지 요건 중 하나가 충족되면 반드시 지정토록 하고 있다.

- ㉞ 인공어초 : 1단지의 규모가 800m<sup>3</sup> 이상 설치한 수면
- ㉟ 바다목장 : 국가 또는 지자체가 조성

하였거나 조성을 추진중인 수면

- ㊸ 기타 인공어초 및 바다목장 시설물을 설치하기로 구체적 투자계획이 수립된 수면으로 바다목장 조성해역에 수산자원관리수면을 반드시 지정하여 관리해야 함

지정 및 해제권자는 시·도지사이며, 지정하고자 하는 시작일 30일 전까지 해양수산부에 신청하고 해양수산부장관의 승인을 득하여 지정한다. 그리고 승인신청서를 지정조건을 구비하고 있는 수면에 대하여 미리 법 이외의 다른 법령에 상충·저촉되는지 여부를 확인하고 수면을 관할하는 기초자치단체장의 의견과 국립수산과학원(소속 수산연구소 포함)의 자원상태 등에 대한 의견을 듣고 관리수면으로 지정한다. 단, 마을어업어장과 수산업법 등에 의하여 이미 권리가 설정된 수면은 관리수면 지정에서 제외한다. 그리고 관리수면 지정에 있어 지역적 여건 등을 고려하기 위해 이해관계가 있는 수산업협동조합·어촌계 및 어업인 등에 대해 기초자치단체장이 의견을 들은 의견서를 받아야 한다. 첨부서류에는 승인신청서, 관리·이용규정, 수면의 위치와 구역도, 이해관계자 등의 의견서가 있다.

해제절차는 존속할 필요성이 없어진 경우 해양수산부장관의 승인을 얻어 해제하여야 하며, 첨부서류는 해제대상 관리수면의 위치와 그 위치가 표시된 구역도 및 면적과 관리수면 해제의 사유, 해

제대상 관리수면 인근 어업인 등의 의견, 해제하고자 하는 시기, 기타 관리수면 해제와 관련된 의견 등이다.

관리 및 주요내용에 있어서 관리수면의 표시는 관리수면의 주요 지점에 부표를 설치하거나 관리수면 인근 항·포구 등 다수 어업인이 이용하는 장소에 입간판 설치 또는 수협, 어촌계, 어업인 공동이용 시설에 경·위도 좌표 게시방법 중 택일하여야 한다.

관리수면 이용은 시설의 기능 유지와 장애를 일으키지 않는 범위 내에서 자원상태를 고려하여 시·도지사가 인정하는 어구·어법에 한하여 수산동식물 포획·채취할 수 있으며, 관리수면 관리·이용규정에는 위치, 구역도, 면적, 지정기간, 관리자, 이용 대상자, 이용범위, 이용기간, 이용가능 어구·어법·어업종류, 이용자 준수사항, 제한·금지사항, 위반자 조치사항 등을 규정한다. (관리수면별로 구체적 내용은 다르게 규정 가능)

관리수면 관리자는 시·도지사이며, 관리수면의 지정해제는 존속할 필요성이 없는 경우 해양수산장관의 승인을 얻어 해제할 수 있다. 그리고 서류의 작성·비치는 시·도지사가 관리수면 지정대상, 관리·이용실태 조사서 작성·비치하여야 한다. 실태조사·지도·감독 보고는 반기별로 현지·확인 조사 실시 후 반기 익월 말일까지 해양수산부에 제출하여야 한다.

#### ④ 통영바다목장의 사례

2005년 3월 14일 수산자원관리수면 1,460ha 지정하였고, 지정기간은 2005. 3. 14 ~ 2009. 12. 31까지이다. 허용행위는 조사연구를 위한 어로행위 및 시설물 설치, 수산자원조성 시설물 설치 및 종묘방류, 어장정화사업, 불가사리 구제 등 자원조성 행위, 수산자원의 남획을 최소화하는 연안어업 중 연안복합어업(외줄낚시, 연승, 채낚기, 문어단지어업), 기르는어업육성법 제11조 제1항에 의한 관리권자의 허가를 받은 행위, 기존에 어업면허를 득한 면허어업 및 허가를 받은 구획어업, 갯바위낚시와 낚시터로 조성된 장소에서의 낚시행위와 바다목장사업으로 조성된 자원을 포획대상으로 하지 않는 기선권현망어업이다.

※ 기타 자세한 내용은 부록 참조

#### ④ 활용시 유의점

수산자원관리수면 지정에 있어 당해수면을 보호수면 또는 육성수면과 같이 규제를 위한 수면으로 받아들이는 어업인들의 반대가 많아 취지를 충분히 설명해야 한다. 그리고 수면관리에 있어 자원의 관리와 어업경영의 유지가 적절한 조화를 이룰 수 있어야하고, 바다목장해역의 수산자원관리수면의 지정은 조성자원의 확산 범위에 대한 충분한 검토 후 그 범위가 고려되어야 한다. 자원의 확산범위에 대한 충분한 이해 없이 수면을 축소 지정하게 되는 경우 자원관리의 어려움이 따르는 반면 자원의 확산범위

보다 수면을 과대지정하게 될 경우 자원 조성의 효과가 충분하지 않은 지역에 대한 규제라는 문제점을 가지게 된다.

수산자원관리수면은 보호수면에 대한 자원의 완충지대로서 그 역할을 충분히 수행할 수 있도록 자원관리에 대한 동의를 얻어내야 하며 제도정착을 위한 모니터링을 어업인들과 함께 해 나가야 충분한 효과를 볼 수 있다.

수산과, 관련 연구소, 지역 대학, 어업인 대표)으로 구성되어야 한다. 역할에 있어서는 수산자원관리수면 관리 및 이용에 관한 사항 협의 및 자문과 수산자원관리수면의 이용대상자 지정 여부를 결정, 수산자원 조성에 관한 협의, 협의회 운영에 관한 사항을 논의, 어업인 홍보 및 관리수면 전반에 관한 사항 협의가 있다.

(다) 이용·관리 조직의 역할과 구성

① 필요성 및 역할

민·관·학·연의 유기적 협력을 통한 합리적인 해역 이용·관리질서 구축되어야 하며, 바다목장 해역 관리·이용에서의 어업인 참여도 제고를 통해 조성된 자원에 대한 주인의식 고취하여야 하며, 자율관리체제 확립을 통해 자원의 지속적 관리 이용체제를 갖추어 성공적인 바다목장 조성 도모하여야 한다.

② 관리·이용협의회

관리이용협의회의 목적은 수산자원관리수면의 효율적 관리 및 지속적 이용을 도모하는데 있으며, 민, 관, 학, 연(지역

③ 자율관리어업위원회

자율관리어업위원회의 목적은 실질적인 바다목장 관리·이용주체인 어업인들을 중심으로 자율적인 관리·이용 권한과 참여기회를 가질 수 있도록 하는 것이며, 구성은 어촌계장과 어업협회장으로 구성된 어업인 대표이다. 역할은 바다목장 조성에 관한 조사·연구사업 지원, 바다목장 운영관리, 해당지역 어업인에 대한 홍보 및 교육, 기타 바다목장 조성, 운영 및 관리에 필요한 사항 등을 결정한다.

④ 통영의 사례

관리이용협의회의 구성은 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

**조 직**

- 협의회 회장(통영시 수산개발국장), 부회장(통영시 어업생산과장)
- 간사(통영시 어업자원관리 담당주사)

자율관리어업위원회의 구성은 다음과 같다.

**구성원**

- 통영바다목장 해역 12개 어촌계장

**조 직**

- 위원장
- 간사

(라) 바다목장의 부가가치 증대

① 필요성 및 역할

바다목장은 자원조성과 이를 통한 안정적인 수익의 확보가 목적이나, 단순 어획과 판매를 통한 기존 수익확보 방식에는 한계가 존재한다. 이는 바다목장 어획물의 판매방법에 따라 수익성에 큰 차이가 있으며, 어업 이외의 바다목장을 활용한 수익의 창출도 가능하다. 또한 유어납시, 관광자원 활용 등 다양한 수익 창출의 기회가 존재하는데 자원조성

을 위해 만들어졌지만 그 자체가 관광상품이 될 수 있으며, 어로 이외의 활용을 통해 더 큰 부가가치를 창출할 수 있다. 바다목장 부가가치 향상의 개념은 바다목장 자체를 활용하고, 조성된 자원의 가치를 이전 수준보다 up-grade된 것이며, 이를 통해 제한적 활용(어획량 제한, 체장제한 등)으로 인한 상대적 수익 감소를 극복하고, 기존 어가수익보다 높은 수준의 수익성을 확보하는 것이다.

[표 VI-21] 바다목장 부가가치의 구분

부가가치	직접적	자원의 직접 가치	자원의 조성을 통한 가치 창출
		어획물 수취가격 제고	차별화를 통한 가격의 발견
	간접적	유어납시 등	조성자원의 관광자원 활용
		관광자원 활용	바다목장 자체의 관광자원 활용

- 1) 관리이용협의회 관련 규정은 부록 참조
- 2) 자율관리어업위원회 관련 규정은 부록 참조

## ② 직접적 부가가치 향상

### ㉠ 마케팅전략기획

어획물의 판매 방법, 차별화에 따라 수취가격에 상당한 차이가 발생하는데 이는 비싸게 받는 것이 아니라 가능한 범위 내에서 더 높은 가격 형성할 수 있다. 그리고 바다목장의 제대로 된 이해를 바탕으로 잠재적인 구매층에게 적절한 제품이미지 즉 「브랜드 이미지」를 형성시키고자 하는 것인데 이는 수산물자체의 제품 우수성 즉 유전적으로 우량한 종묘의 사용, 친환경적 성육환경, 품질의 차이, 어장환경의 지속적 관리와 모니터링 등을 통해 우수성의 홍보와 아울러 바다목장의 이미지 제고를 통해 최종적인 「브랜드 이미지」를 구축하여야 한다.

이를 토대로 마케팅전략기획서의 작성을 살펴보면 다음과 같다.

우선 환경분석(SWOT분석)에는 강점(Strength)과 약점(Weakness)을 외부환경(경쟁사/고객)분석을 통하여 시장의 기회요인(Opportunity)과 위협요인(Threat)을 분석하고, 이를 통해 시장의 기회를 발견하거나, 마케팅 전략상 문제점이나 과제를 파악하여야 한다.

시장세분화와 세분시장 설정(Market Segmentation/Target Market /Positioning)에 있어서는 시장 세분화(segmentation)는 서로 다른 욕구를 갖는 시장을 몇 개의 그룹으로 구분하는 것이며, 포지셔닝 전략은 세분화된 시장 중에서 표적시장을 정한 후 경

쟁 제품과 다른 차별요소를 표적시장 내 목표 고객의 머리속에 인식시키기 위한 마케팅 믹스 활동이다.

마케팅 4p전략의 수립과 실행에 있어서 우선 제품(Product)은 바다목장산 어획물을 성공시키기 위한 처방, 브랜드, 디자인, 포장작업 등은 어떻게 할 것 인가와 상표, 포장, 로고 등을 고려하여야 하는데 이를 위해서는 브랜드의 개발이 필요하며, 바다목장은 2006년 10월 30일부로 상표권을 획득하였으며, 여타 바다목장에서도 이를 활용할 수 있다.

[표 VI-22] 통영바다목장의 SWOT분석

구분	<b>강점(Strength)</b> 1. 정부차원 브랜드 선점 가능 2. 정부사업임을 홍보활용 가능 3. 제품우수성 4. 각종 국가사업 등과 연계 가능(예 : 선어가공 등) 5. 제품 및 환경, 안전성 통제 가능	<b>약점(Weakness)</b> 1. 바다목장 이미지 취약 2. 제품인식이 자연산보다 못하고 양식보다 나은 정도 3. 제품품질 입증 실패 가능성 있음 4. 어업인들 참여가 미진 5. 제품형태 다양하지 못함
<b>기회(Opportunity)</b> 1. 신제품으로 시장 개척 가능 2. 브랜드구축에 성공시 가격 우위 가능 3. 친환경적, 위생적 수산식품으로 소비자에 호소력 있음	<b>기회에 강점 활용 전략(OS)</b> 1. 적극적 홍보전략 구축 2. 기존 시장조직과 출하조직 등과 협력체제 구축 3. 안전성 등에 대한 통제계획 수립 4. 선어가공 등 유치	<b>기회에 약점 보완 전략(OW)</b> 1. 바다목장 상표 출원 2. 제품인식제고 전략 수립 3. 다양한 제품형태 보완 - 가공, 포장 등 - 고급 구이용 선어로 판매 등 다각화
<b>위협(Threat)</b> 1. 쉽게 모방될 가능성 있음 2. 기존 유통경로가 비합리적이고 영역이 좁음 3. 위판장, 도매시장 등에 전적으로 의존하기 힘들 4. 조피볼락이 주력이므로 가격 형성이 곤란	<b>위협에 강점 활용 전략(TS)</b> 1. 독자적 유통체제 구축 - 출하조합 결성, 직판장 개설, 협약점 등 2. 브랜드 이미지의 적극적 활용 3. 판촉 위한 각종 행사 마련	<b>위협에 약점 보완 전략(TW)</b> 1. 바다목장의 이미지 제고를 위한 보완체제 구축 - 홈페이지, 로고 공모 등 2. 제품이미지와 품질인식제고를 위한 행사 마련 - 시식회, 품평회 등 3. 어업인 참여의 제고 - 실질이용자 협의회 구축 - 어업인 이용자 수요조사

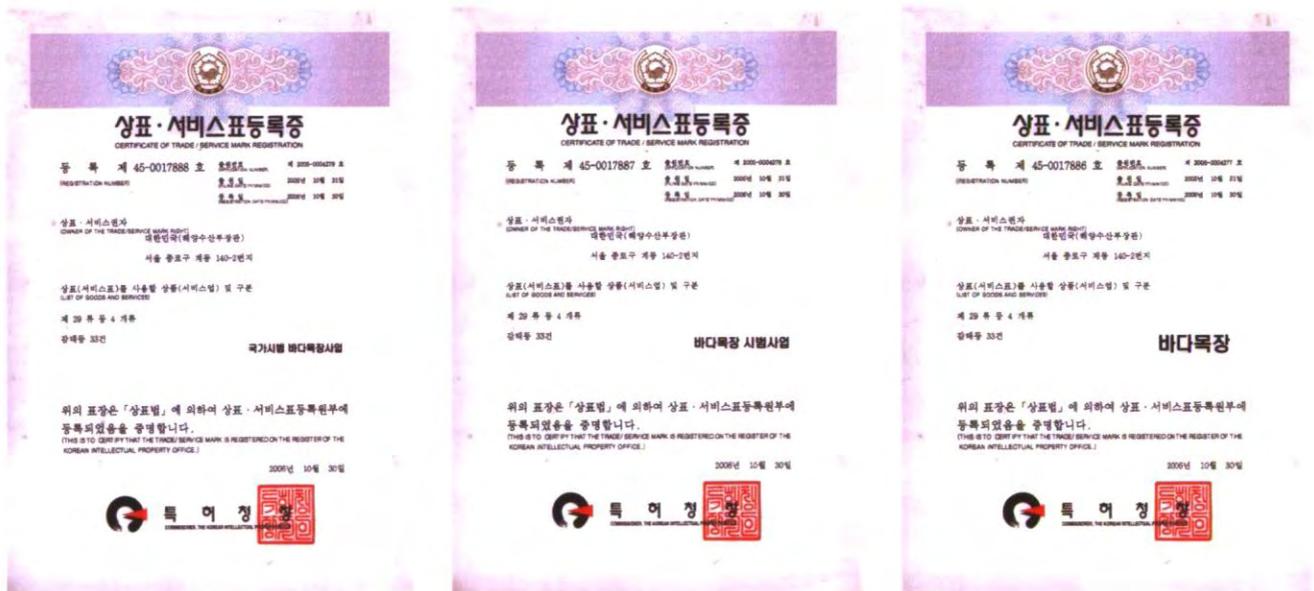
[표 VI-23] 통영바다목장의 표적시장

세분시장	표적시장	포지셔닝
최종소비자	친환경 수산물 선호, 가족단위 외식을 자주 하는 직장인 식품안전성을 중시하는 주부들 새로운 것을 선호하는 젊은 층들	속성과 경쟁제품에 대한 포지셔닝 ▼ 안전성, 품질 등 어업인들의 이미지
중간유통상인		
소매점	Hits	▼ 신뢰성, 차별화 (바다목장산 ≥ 자연산, 양식산)
	홈쇼핑	
	대형할인점 일반외식업소	
단체급식	다른 소매점과 차별화, 바다목장의 브랜드를 활용하고자 하는 Hits	
대상상품	활어, 고급 구이용 선어, 선어회용 선어 등	

[표 VI-24] 바다목장 상표권 현황

상표명	부류
국가시범바다목장사업	제29류(식용어개류, 가공수산물)
바다목장시범사업	제35류(어류판매대행업)
바다목장	제43류(요식업), 제44류(목장경영업)

주 : 활어류에 대한 직접적인 상표권은 이미 출원되어 있어 획득하지 못하였으나, 판매대행 및 요식업에 대한 것은 획득하여 사업에 활용 가능함



[그림. VI-4] 바다목장 상표권 등록증

가격(Price)전략의 유형에는 상대적 고가격 전략(Skimming Pricing), 상대적 저가격 전략(Penetration Pricing), 대등 가격 전략의 세 가지 유형이 있는데 자연산에 같거나 다소 우위의 대등 가격 전략으로 설정하여야 한다.

유통(Place)은 통영바다목장은 기존 유통경로가 비효율적 형태이고, 유통 권역도 통영으로 한정되어 부가가치

증대를 위해 별도로 유통체제 구축을 위한 계획을 수립할 필요가 있으며, 판매전담조직 및 시설로서 어획물관리센터 설립하고, 양륙항을 삼덕항으로 지정하였다.

촉진(Promotion)전략은 통영바다목장의 경우 첫째는 바다목장 자체에 대한 홍보, 둘째는 바다목장에서 어획되는 수산물 즉 상품에 대한 직접 홍보가 이루어졌다.

필요 조사사항(부록 10, 11 참조)은 어업인 및 통영관내의 활어유통실태 조사와 대도시의 활어소매점 대상 브랜드가치를 조사하였다.

㉞ 통영의 사례

통영바다목장의 경우 재래시장 좌판

판매, 물차판매 등 낮은 가격을 받을 수밖에 없는 구조적 한계가 존재하였는데 양식산과 자연산간에 가격차이가 거의 없는 판매방식과 차별화 등 판매 방법에 따라 가격차이가 존재(단순 판매와 브랜드화 판매)하였다.

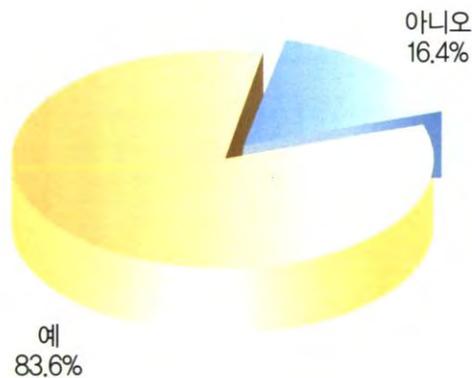


[그림. VI-5] 통영 중앙시장의 활어판매 및 좌판 정황

브랜드화 판매시의 구매의사는 통영 관내 및 대도시(서울, 부산, 광주) 모두

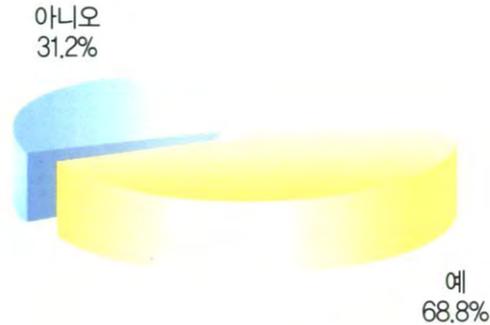
상당히 높은 것으로 추정되었다.

자료 : 통영바다목장 보고서, 2002년



[그림. VI-6] 통영관내 횃집의 브랜드화 판매시의 구매의사

자료 : 통영바다목장 보고서, 2004년



[그림. VI-7] 주요도시 횃집의 어획물의 브랜드화 판매시의 구매의사

## (5) 바다목장 관리이용단계

### (가) 어업자원관리

#### ① 필요성 및 역할

어업자원관리의 필요성 및 역할은 바다목장 수산자원의 지속가능한 이용 및 효율적 관리와 바다목장에서 자원이 성공적으로 조성되어도 대상자원에 대한 적절한 관리가 이루어지지 않을 경우, 불법어업 및 경쟁적 조업으로 자원이 쉽게 고갈될 우려가 있다. 이에 자원조성

을 가속화하고 또한 조성된 자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 어업자원의 이용에 대한 적절한 관리가 필요함

#### ② 내용 및 방법

불법어업 단속, 남획성 어구·어업의 이용제한, 자주적 관리 등 어업자원관리 수단의 종합적 적용을 통한 어업질서 확립 및 효율적 어업자원관리 도모하여야 한다.



[그림. VI-8] 바다목장 어업자원관리시스템

㉔ Input control(입구규제) : 이용자/어업 특정화

국가시범 바다목장 어업자원의 이용 및 관리에 대한 책임있는 어업의 실현을 도모하기 위해서 바다목장에 조성된 어업자원의 지속가능한 이용 및 유지력 책임을 수행할 수 있는 이용자/어업으로 특정화하고, 자원남획형 어업 제한, 무분별한 유어낚시 제한, 유어낚시 척수 제한하여야 한다. 특히 치어남획 및 폐어구 폐해 심각한 어업에 대한 강력한 규제가 필요하다.

㉕ Output control(출구규제) : 허용어획량, 유어낚시 포획량 제한

어업자원이 재생산되는 만큼 만 어획함으로써 지속적 어업생산을 통한 어업인 소득 안정화를 도모하여야 하며, “과잉어획 → 자원량 감소 → 어획량 감소 → 어업인 소득 저하 → 소득보전을 위한 과잉어획”의 악순환이 재발하지 않도록 적정어획량에 대한 정보(허용어획량, 유어낚시 허용 마릿수) 제공이 있어야 한다. 정확한 자원평가, 신뢰성 있는 어획실적 모니터링체제 수립과 어업인 적극 참여가 이루어지면 TAC(총허용어획량) 제도를 실시하여야 한다.

※ 바다목장 이용자의 사회·경제적 여건 및 바다목장 해역별 특성을 고려하여 탄력적으로 운영하여야 한다.

㉖ 기술적 규제 : 포획금지체장, 조업시

기제한

치어성장 및 산란어 보호를 통한 어업자원의 재생산 활동 촉진을 위해 치어의 경우 군집성이 강해서 집중적인 어획에 노출되기 쉬우므로 무분별한 치어 포획을 방지하기 위한 포획금지기간을 두거나, 종묘방류 시 일시적 철망이 필요하다.

㉗ 조업구역 관리 : 보호수면과 수산자원 관리수면 지정

보호수면의 지정은 산란 및 치어의 성장을 보호하여 안정적 재생산 및 확산을 통해서 바다목장 자원조성 가속화하고, 수산자원관리수면의 지정은 남획적 어구어법에 의한 무분별한 포획·채취 규제, 환경친화형 어업에 의한 지속적 어업생산 도모한다.

㉘ 어업인 주도의 자주적 어업관리 : 어업인 단체 및 자율규약

어업인 단체의 결성 및 운영을 통해서 어업인 스스로가 어업자원의 이용자이면서 관리자로서 어업행위에 대한 자율규약(어업자협정 등)을 정하고 실천하여 책임있는 어업의 효율적 수행이 이루어져야 한다.

㉙ 감시·감독 : 불법어업 감시·감독 및 모니터링

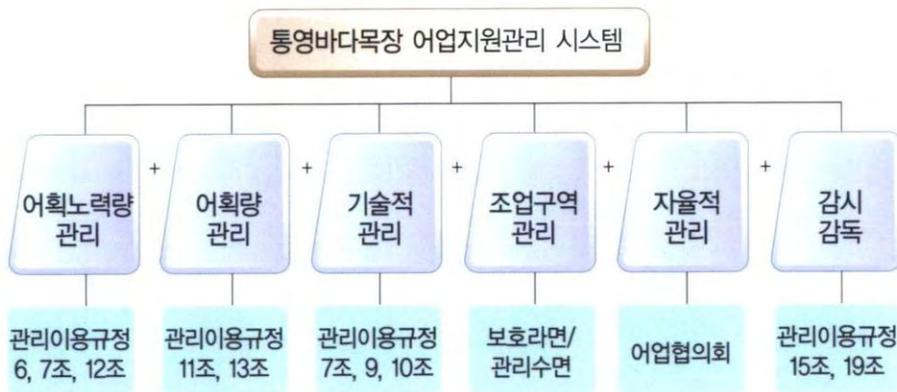
남획과 무분별한 불법어업의 단속을 통한 어업질서의 확립과 바다목장 수면의 이용·관리 현황을 모니터링하고 분석하여 바다목장 추진 중 발생할 수

있는 문제점을 개선하고 사업효과를 추적하기 위해 감시/감독이 필요하다. 이러한 감시/감독은 해양경찰의 협조를 통한 보호수면에 대한 일체의 조업 행위의 강력 단속과 바다목장 관리선 운영 및 지속적인 모니터링 실시가 이루어져야 한다. 또한 어획물관리센터 양륙 시 어업자별로 어업경영 및 어획

실적 모니터링(어종별 어획량, 어획장소, 체장 등)도 아울러 필요하다.

③ 통영바다목장 사례

통영바다목장 어업자원관리수단은 입구규제+출구규제+기술적규제+자율관리 등 관리수단의 결합을 통해 효과성 및 효율성을 제고하고자 하였다.



[그림. VI-9] 통영바다목장 어업자원관리시스템

㉑ Input control(입구규제)

입구규제는 규정 제6조(어업자제한), 제7조(허용행위), 제10조(어구·어법 및 어업의 제한)에 의거 어업자제한이 이루어졌는데 통영바다목장 해역에서 어업이 허용되는 자는 관리수면에 인접한 어촌계의 계원 등 관리이용위원회에서 정하는 기준에 적합한 자로 규정(제6조)하여 총12개 어촌계의 계원 및 유어낚시객이 주된 이용대상자가 되고 있다. 허용행위는 관리수면에서 허용되는 행위에 따라 연안복합(외출 낚시, 연승, 채낚기, 문어단지어업)과

법11조 제1항에 의거 미리 도지사의 허가를 받은 행위, 갯바위낚시 또는 낚시터로 지정된 장소에서의 낚시행위, 기존의 면허어업 및 구획어업(제7조)이다. 한편 어구·어법 및 어업의 제한은 제7조에서 허용하지 않는 어업의 금지 및 유어낚시 이용척수 제한(제10조)을 통해서 과도한 어획노력량이 투입되는 것을 방지하고 있다.

㉒ Output control(출구규제)

출구규제는 규정 제11조(어획량의 제한), 제13조(양륙장소 제한), 제10조(유

어낚시 포획량 제한)에 의거 어획량의 제한을 목표어종이 현저히 감소하거나 또는 필요하다고 인정되는 경우, 관리이용위원회의 심의를 거쳐 어종별 연간 포획·채취량을 제한토록(제11조) 규정하고 있으며, 양륙장소 제한은 관리수면 내에서 포획·채취한 어획물을 삼덕항 어획물관리센터에 양륙하는 것으로 하였다. 그리고 유어낚시의 포획량 제한은 유어낚시객 증가에 따른 자원량 감소를 방지하기 위해 유어낚시 1일 포획량(10마리) 제한하였다.

㉔ 기술적규제

기술적 규제는 규정 제7조(허용행위), 제9(포획금지체장), 제10조(어구·어법 및 어업제한)에 의거 허용행위, 어구·어법 및 어업제한은 자망과 통발 등 자원남획형 어구를 사용을 금지시키고 연안복합의 환경친화형 어구 사용으로 전환되었으며, 포획금지체장은 치어보호 및 산란을 통한 원활한 어업자원의 재생산을 위해 대상어종에 대한 포획금지체장 설정하였다.

- 볼락(16cm), 조피볼락(30cm), 감성돔(25cm), 참돔(25cm)

※ 대상어종의 브랜드화 및 부가가치 증대를 위해서 수산자원보호령의 금지체장 이상으로 자율적 금지체장 설정하였다.

㉕ 조업구역관리

조업구역관리는 보호수면(2000.12)/수산자원관리수면(2005.3)의 지정 및 운

영이 이루어지고 있으며, 통영바다목장 해역을 보호수면과 수산자원관리수면으로 이원화하여 관리(수면이용 및 관리규정 참조)하고 있다.

㉖ 자율적 관리

자율적 관리의 근거는 규정 제14조(어업자 단체의 결성 및 협정)에 의해 어업자 단체의 결성 및 협정을 체결하여 어업인 단체에 의한 자율적 관리의 기틀을 제공(조직관리 참조)한다.

㉗ 감시·감독

감시·감독은 규정 제19조(관리수면의 관리·이용실태 조사보고)에 의거 관리수면의 관리·이용실태와 지도단속 실적을 반기별로 보고하도록 규정하고 있으며, 삼덕항에 설립된 어획물관리센터에서 어업자별로 어업경영 및 어획실적을 파악하고 있다.

④ 활용시 유의사항

㉘ Input control(입구규제)

바다목장 이용자 범위에 대해 논란이 생기면서 바다목장 해역을 기존의 자원조성사업(인공어초사업+종묘방류)처럼 불특정 다수에게 개방하자는 의견 대두하고 있다. 하지만 바다목장사업은 자원조성+합리적 이용·관리를 지향하는 사업으로써 자원남획형어업에 대한 규제는 바람직한 것이다. 특정 어촌계로 이용대상자를 제한하는 것에서 이용대상자를 확대하는 것은 어획압력을 크게 증가시켜 과잉어획에 의

한 자원고갈이 재현될 수 있으므로 자원상태, 관리가능성, 관리비용 부담 등을 종합적으로 고려하여 판단해야 한다.

㉔ Output control(출구규제)

바다목장에 실효성 있는 TAC제도를 접목하기 위해서는 다음과 같은 조건들이 선결되어야 한다. 우선 대상자원의 확산·이동경로, 분포 및 밀도 등에 대한 자연과학적 자료가 구비되어야 하며, 대상자원에 대한 자원량 및 ABC 산정 결과의 신뢰성 확보와 바다목장 내측과 외측을 구분한 어획량 및 조업 실태 모니터링체제 구축과 수준 높고 적극적인 어업인 참여도, 자주적 어업 질서 확립이 전제되어야 한다.

※ 이외에도 포획금지체장, 유어낚시 포획량, 조업제한 시기 등과 관련해서 대상어종에 대한 자원생태학적 자료가 뒷받침되어야 관리수단 적용의 효과가 증대된다.

㉕ 기술적 규제 : 관리수면 관리이용 규정의 적용이 미흡

종묘방류 시 치어 남획을 방지하기 위한 일시적 포획금지기간이 필요하나 이에 대한 운영이 제대로 이루어지지 않고 있다. 또한 포획금지체장에 대한 어업인 참여가 미흡하므로 이에 대한 지속적 홍보 및 교육이 필요하다.

㉖ 조업구역 관리, 감시·감독

보호수면은 바다목장 대상자원의 재

생산력 유지를 위해 필수적으로 보호되어야 하는 수면임에도 불구하고 동수면에 있어서의 불법어업이 자행되고 있어서 조성된 어장의 파괴는 물론 준법어업인의 의지를 크게 약화시키고 있다. 이러한 문제는 보호수면에 대한 상시단속체제가 갖추어져 있지 못해 나타나고 있는데, 불법어업 단속권을 가진 통영시와 해경의 인력부족으로 인해 수역 내 상시단속에 어려움이 있다. 따라서 수역내 상시감독체제가 이루어질 수 있도록 유급감시원에 의한 수역 감시를 상시화해야 할 필요가 있다. 한편, 바다목장은 어업인 주도의 어업자원관리체제에 기반하지 않고서는 비용효율성이 크게 저하되므로 바다목장 선정 시 어획실적 모니터링과 자율적 상시감독체제의 구축 가능성에 대한 철저한 평가가 이루어져야 한다.

㉗ 어업자원관리수단의 선택

입구규제와 출구규제의 조화로운 균형에 입각하여 어업인 주도의 자원관리체제를 확립하여야 하는데 합리적인 어업관리 수단의 선정 및 적용은 바다목장의 자원조성 상황, 자원평가 결과, 어업인 의식, 해역 특성 등을 종합적으로 고려해야 한다. 입구규제와 출구규제 등 어업자원관리수단은 하나의 수단이 우월하다기 보다는 상호 보완적인 특성을 갖고 있으므로 해당 바다목장의 여러 여건 및 특성을 감안하여 이들을 병행 적용함으로써 실효성을 높여 가야한다.

㉞ 입구규제와 출구규제의 장·단점 비교 사례(체장제한과 TAC제도)

출구규제(TAC)의 장점은 바다목장의 경우 매년 자원조사를 하므로 자원평가 자료의 축적, 자원조사를 통해 관리기준 결정으로 합리적이고 과학적이고, 관리기준 준수 시 자원량 유지, 타 관리수단 결합을 최소화시킨다는데 있다. 단점은 자원조사 비용 과다, 특히 사후관리시 관리비용의 조달문제, 어업인 반발, 어획량 예측 어려움(저가 소형어 시는 유리)과 혼획문제가 있다.

입구규제(체장제한)의 단점은 연도별 시행착오 거쳐 적정 관리기준(체장) 결정, 어획강도의 변화(어선척수, 마력수, 어구크기, 조업일수 등의 투입요소 변화)의 변화에 따른 자원량 변동 문제가 발생하며, 어획강도 변화 시 자원량 유지를 위해 타 관리수단 결합이 필요하고, 체장 미달 어류 어획 후 재방류 문제와 저가 소형어 체장의 예측이 어렵다. 장점은 어업인 반발이 비교적 적고, 자원조사 필요성 낮으며 어가 상승과 연계된다.

[표 VI-25] 입구규제와 출구규제의 장·단점

	출구규제(TAC제도)	입구규제(체장제한)
관리기준	• TAC	• 체장
자연과학 필요자료	• 자원량 조사 및 ABC 산출, 이동 및 밀도분포 • 매년 조사 : 조사비 과다	• 자원량 조사 생략
어획모니터링	• 어획량 모니터링 중요	• 자원량 조사 미 실시 경우 어획량 모니터링 중요
어업인 수용성	• 수용의 어려움(규제 성격 강함, 보상 없음) • 어획량 예측의 번거로움	• 수용 용이 (규제 성격+어가상승의 가격보상 유인) • 크기 측정의 번거로움 (저가 소형어 부적격)
가격효과	• 올림픽 방식의 경우 어가 하락 • 개별할당 방식의 경우 어가 유지	• 어가 상승
관리비용	• 비용 높음(자원조사, 어획량 모니터링) * 연간 1억 정도 소요	• 비용 낮음(어획량 모니터링)
자원량 파악	• 자원조사	• 어획실적의 연도별 비교(증감에 따라 체장 규제 변화, 연도별 시행착오 거침)
모니터링 한계	• 어획량 감시감독 • 관리수면지정 경우 : 내외구분 감독 어려움	• 체장 감시감독 • 관리수면지정 경우 : 내외구분 감독 어려움

- ④ 허용어획량 관리제도 도입 및 방안  
 허용어획량 결정 및 관리절차는 TAC 제도 수용과 관리수면 관리이용 규정

적용하여 대상자는 단기적 12개 어촌 계원, 장기적으로는 확대 허용할 것이다(적정자원/수익성 전제).



[그림. VI-10] 허용어획량 관리절차

어획량 조사는 어획물관리센터에서 체크(어법, 어종, 어획량, 조업수역 등) 할 것이며, 어업인 조사표 및 모니터링 체제 활용하였다. 여기에서 문제점은 관리수면 내외 어획물 구분 곤란, 자원 이용량 파악 어려움, 어업인의 자발적 보고 없이는 어획량자료의 신뢰성이 낮다는데 있다. 자원평가는 통영시에서 전문연구기관에 위탁(자연과학 매뉴얼 이용)하였는데 문제점은 신뢰성 있는 수산자원 평가 및 ABC 산정의 어려움과 비용조달의 문제이다.

허용어획량 결정은 전체 허용어획량 70% 할당, 나머지 30%는 조정수단으로 유보(조업실적을 감안하여 배분량 소진시 나머지 30% 추가할당)하였다. 문제점은 어업인 허용어획량의 과대한 요구였으며, 대응책으로는 가능한

ABC 수준에 맞도록 협의를 추진하여야 한다. 할당방식은 초기에는 어업경영 타격 완화 측면에서 총량할당 방식으로 추진하여야 할 것이다. 허용어획량체계가 확립되고 어업인 호응이 있으면 점차 적정 자원량 및 수익성을 감안하여 개별 할당하는 것이 바람직 할 것이다. 이용자 확대 및 유어낚시 배분은 등록된 어업인 이외의 자가 조업을 희망하는 경우 관리이용협의회의 의결을 통해 배분량을 결정 및 할당하여야 한다.

(나) 바다목장의 유지 관리

① 필요성 및 역할

구성된 바다목장의 지속적인 유지·관리를 위한 검증장치로서 활용되어야 하며, 바다목장이 조성되고 이용됨에 따

라 전반적인 이용·관리상의 논의는 관리이용협의회와 자율관리어업위원회에서 진행되지만 수면 이용과 모니터링으로만 바다목장 해역을 지속시킨다는 것에는 한계를 가질 수 있다. 따라서 바다목장의 지속성을 유지하기 위한 모니터링체계 및 비용의 조달과 사용에 대한 전반에 걸친 내용에 대한 진행과정을 안내하는데 목적이 있다.

## ② 바다목장 유지 관리비용의 산출

바다목장의 유지관리비용이라 함은 바다목장 해역의 시설물에 대한 유지관리 비용 뿐 아니라 해역 내 투하된 어장 조성시설인 인공어초의 사후관리비용, 추가적인 자원의 조성이 필요할 경우 발생할 수 있는 종묘 매입·방류비용 등이 있다. 일반적으로 이러한 사후관리비용은 일시적으로 발생하고 소요액이 많은 것이 특징이기 때문에 일정금액을 매해 적립하고 이를 사용하는 것이 원칙이다.

사후관리비용 발생 원인을 살펴보면 다음과 같다.

- 시설물 보강 또는 재시설 : 시설 사용 또는 외력에 의한 시설파괴/노후화
- 자원보충 : 남획 또는 환경 변화로 인한 일시적 자원추가 필요요인 발생
- 어장청소 : 직간접 원인에 의한 조성 어장 정화요인 발생
- 자원평가 : 해역 내 자원의 평가를 위한 비용 발생

이러한 사후관리비용은 수익자부담의 원칙에 의거 해역을 이용하는 어업인이 부담하는 것이 원칙이다. 단, 시설보강, 자원평가 비용 등 많은 비용이 수반되거나 어장이용 외적인 원인으로 발생할 가능성이 있는 경우는 지방비가 일정 비율 투입되는 것도 고려해야 할 것이다. 일반적인 유지·보수비용의 산출은 기업회계기준의 감가상각충당금의 적립방식 중 정액법을 따르는 것이 타당할 것이다.

$$\text{유지 보수비용} = \text{대상시설물의 시설액} / \text{감가상각년수(잔존기간)}$$

## (다) 바다목장어획물의 판매관리

### ① 필요성 및 역할

통영바다목장의 관리권 이양시 수산자원관리수면의 관리와 어획관리 및 판매관리를 담당할 주체가 없어 이를 위한 시설이 필요하다. 이는 수산자원관리수면의 관리와 어획관리 측면에서 수산자원관리수면의 관리주체는 경상남도이나 직접 관리가 곤란하고, 통영시가 위임받아도 직접관리가 곤란한 문제는 상존한다. 어업인의 어로활동과 수산자원관리와 어획관리는 별개로 존재하기 힘들므로 “통영바다목장영어조합법인”이 이를 담당하여야 할 것이다.

판매관리와 관리재원 조달은 기존의 전근대적인 유통체계를 개선하기 위해 어획물을 집하, 분산할 수 있는 공동시설 필요하며, 통영바다목장의 관리를 위한 모니터링과 바다목장 관리재원 조달

이 필요하다.

② 어획물관리센터의 추진방안

양륙항 지정의 배경에는 어획될 수산물 양과 판매는 창구 단일화가 바람직하며, 개개인에 의존하는 분산적 유통경로는 노력이 분산되어 브랜드화가 곤란하고 상품화를 할 여지가 적기 때문이다. 선정시의 조건은 ① 어업인 출하편의, ② 구매자 접근성, ③ 배후지, ④ 물양장의 크기와 선석수, ⑤ 경합성(타 어선어업 혹은 기타업종), ⑥ 활용성(기존 시설이 있거나 활용가능한 다른 자원 여부)이 있다.

출하조직의 구성은 개별출하는 가격제고, 브랜드화 등에 한계때문에 출하조직을 구성하여 공동집하, 공동판매를 하는 형태가 바람직하다. 출하조직은 수협 등 생산자단체가 주도하는 방안과 어업인연합회에서 영어조합법인을 설립하는 방안이 있다. 통영은 “어획물관리센터”를 두어 바다목장의 관리와 운영을 담당하게 한다.

어획물관리센터의 주요 기능은 다음과 같다.

- ㉠ 통영바다목장의 수산자원관리수면에 대한 어획량 관리
- ㉡ 통영바다목장 어획물관리센터 등 공동이용시설의 설치 및 운영
- ㉢ 통영 바다목장과 관련된 수익사업의 관리 및 운영
- ㉣ 통영 바다목장 어획물의 공동출하, 가공 및 수출

- ㉤ 조합원의 수익 증대를 위한 각종 사업
- ㉥ 기타 통영바다목장 관리운영위원회 및 자율관리어업위원회에서 정하고 이를 위임한 사업에 대한 관리 및 운영

운영주체는 어업인연합회가 ‘통영바다목장영어조합법인’을 설립하여 운영하며, 구성은 소속 어촌계장 등이 이사를 담당하고, 관련 종사자들이 조합원으로 가입하여야 한다. 출자는 어업인연합회가 어획물관리센터를 현물출자하고, 각 어촌계에서 운영자금을 위해 일부 금액을 각출하여 조성한다.

수집방법은 어획물관리센터에서 삼덕항으로 양륙되는 어획물을 전량 위탁받아 판매하며, 연안복합어업의 어획물은 전량 직판을 자율관리규정으로 의무화한다. 기타 마을어장 생산물, 구획어업 등의 어획물은 각 어촌계장 협력을 얻어 직판 유도하며, 수집된 물량은 수조 등을 활용하여 사이즈구분 후 판매량을 조절한다.

판매방법은 물차판매, 협약점 사업, 인터넷 판매가 있는데 수집된 수산물은 어획물의 크기와 품질에 따라 브랜드화 수산물과 일반 판매 수산물로 구분하여 판매하며, 브랜드화 수산물은 수집된 어획물 중 대형 크기, 활선어를 선별하여 ‘통영바다목장’ 브랜드를 붙여 판매하고, 일반 판매 수산물은 수집된 어획물 중 브랜드화하기 곤란한 소형어와 품질이 상대적으로 낮은 상품을 선별하여 물차판매 등으로 전환한다.



[그림. VI-11] 바다목장 인증마크 및 부착상표

[표 VI-26] 어획물 판매방법

구 분	브랜드 판매(대형 크기)	일반 판매(중소형크기)
물 차		●
협약점	●	
인터넷 판매	●	●

물차 판매는 중소형크기의 어획물을 물차판매용으로 구분하여 수의거래하고, 인천, 미사리 등 대도시 활어시장 등에 물량을 선주문 받아 현장에서의 판매와 활어시장의 도매업자와 공급계약을 체결하고 가격은 현장에서 결정한다. 그리고 각 활어차업자마다 관리카드를 작성하여 신용도, 구매량 등을 관리한다.

협약점 사업은 통영 관내 및 대도시

횃집 등에 공급 계약을 맺고 물량을 제공하며, 협약점 간판을 제공하여 바다목장산 취급 횃집의 차별화를 강조하며, 브랜드화한다.

인터넷, 전화주문 등 직거래 판매는 바다목장 홈페이지를 통해 인터넷 거래를 활성화 시켜야하며, 인터넷판매사이트에 입점하여 판매하여야 한다.



[그림. VI-12] 바다목장 협약점 부착 간판

## (6) 종합평가

### (가) 사업의 종합평가

바다목장사업의 추진단계에서 평가단계는 사업의 진행에 있어서 사후관리단계로서 조성된 바다목장의 효율적인 이용과 관리를 위해 필요하며, 바다목장 사업의 전반적인 평가와 함께 문제점에 대한 보완과 개선작업의 토대를 마련하여 사후관리의 측면에서 필요하다.

### (나) 직간접 효과분석

사업효과 분석은 사전 타당성 분석과 동일한 방법으로 실시한다. 단, 분석에 사용되는 값이 사전타당성 분석의 경우는 예측값인 반면 사업효과 분석의 경우는 수면 이용·관리의 모니터링에서 조사되었던 실제 값이 사업 조성과정에서 사용되며, 사업 조성 이후의 분석은 사전 경제성 분석과 동일한 방법으로 추정한다.

#### ① 직접효과

바다목장으로 인한 직접효과는 바다목장에 조성된 어업자원을 상업적으로 이용하는 어업효과를 말하며 지속적 어획량에다 어가를 곱하여 산출한다.

- 직접효과 : 매년의 어업수익(어획량 × 어가) - 어업비용(고정비+변동비)
- 자원량을 통한 자원평가금액: 자원량 × 금액(단가)

#### ② 간접효과

간접효과는 유어낚시효과와 관광효과로 구분한다. 바다목장방문객을 대상으

로 설문을 통해 유어낚시객 및 관광객의 소비자 잉여를 추정하고, 총간접효과는 유어낚시객 소비자 잉여에다 전남바다목장 이용 유어객수에 의하여 추정한다. 유어낚시효과의 간접효과는 유어낚시출조(예상)수 × 바다목장 해역 이용비율 × 소비자 잉여이며, 관광효과의 간접효과는 관광객 (예상)수 × 바다목장 해역 이용비율 × 소비자 잉여이다.

### ③ 경제성분석

경제성분석은 연차별 직접효과 + 연차별 간접효과 - 연차별 투자비로 연차별로 순이익 추정한다. 그리고 내부수익률법(Internal Rate of Return : IRR), 순현재가치법(Net Present Value : NPV), 자본기간 회수법(payback period)을 경제성 판단 기준으로 이용한다.

### (다) 통영바다목장의 사례

#### ① 직접효과 분석 -외줄낚시어업의 경영수지-

수산자원관리수면 내외의 외줄낚시의 어종별 평균 어획량 및 어획금액을 파악한 결과 어획량의 지속적 증가추세와 고부가어종의 어획량의 증가로 인한 금액의 상승이 나타났다. 그리고 수입과 지출을 통해 어업수익률을 파악하였는데 유류비의 상승으로 인한 이익률의 감소가 나타났다. 한편 자산 및 부채는 단계적 감소추세를 나타냈으며, 재무지표 분석은 유동성비율(안정적 상태)과 안정성비율(비교적 안정적 상태), 손익관계비율(일정수준 유지), 활동성관계비율(안

정적 수준)의 4가지를 이용하였다.

② 간접효과 분석 - 유어낚시 및 관광 -

통영지역의 유어낚시 실태분석은 바다목장 조성에 따른 자원증가가 동 지역의 소득증대에 얼마나 기여하는지를 측정하는 것으로 설문을 통해 이루어졌다. 그리고 목장의 간접적인 경제적 가치를 측정하기 위하여 회귀분석을 사용하여 경제적가치에 영향을 주는 변수들을 대상으로 분석하였다.

통영 지역의 관광객 실태분석은 바다목장 조성이 지역 소득에 얼마나 기여하는지 측정하기 위한 것으로 설문을 통해

자료를 수집하였고, 통영바다목장이 관광형 바다목장의 개념을 가지고 있지는 않지만 바다목장을 보고자 하는 사람들이 증가함에 따라 관광의 가치를 통영지역방문객들의 지불의사액을 통해 추정하였다.

