

최      중  
연구보고서

## 제주연안의 영양적 환경조사

Investigation of trophic environment at Jeju coast areas

제주대학교

국토해양부지정 호남지역 씨그랜트사업단

# 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “제주 연안의 영양적 환경 조사에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2009 년 02월 28일

주관연구기관명 : 제주대학교

주관연구책임자 : 이 경 준

공 동 연 구 원 : 최 광 식

공 동 연 구 원 : 허 문 수

연 구 보 조 원 : 김 성 삼

연 구 보 조 원 : 김 주 상

연 구 보 조 원 : 오 대 한

연 구 보 조 원 : 고 경 용

연 구 보 조 원 : 송 진 우

# 요 약 문

## I. 제 목

제주 연안의 영양적 환경조사에 관한 연구보고서

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발의 목적

- 본 연구의 최종 목표는 제주 연안 수생환경의 기초 자료를 구축하는 것임.
- 제주도 연안 해역의 생태환경을 다양한 방법으로 조사하여 수산 자원 관리의 근거 자료를 마련하고, 현재 제주 연안의 오염 정도를 파악하여 제주의 특성에 맞는 새로운 환경개선 방안을 제시하고자함.

### 2. 연구개발의 필요성

제주도 연안 해역은 서로 다른 수괴의 영향으로 인해 타 지역과 비교되는 독특한 해황을 나타내는 해역이다. 이러한 환경적 특성으로 인해 제주 연안에는 다양한 해양생물이 서식하고 있다. 풍부한 어족자원은 좋은 생태환경을 유지시키는 역할을 할 뿐 아니라 그 지역의 수산경제를 활성화 시키는 원동력이 된다. 잘 조성된 연안 환경은 생태관광사업과 같은 부수적인 부가가치를 창출 할 수 있는 밑바탕이 되므로 연안 생태계의 역할은 그 중요성이 크다고 할 수 있다. 최근 제주도 연안 해역은 지구온난화와 같은 여러 환경적 영향에 의해 점차 변해가고 있는 실정이며 이와 관련된 뚜렷한 대책은 아직 강구되지 않고 있다. 생태환경을 보호하기 위한 대책을 마련하기 위해서는 먼저 해당 지역에 대한 환경평가가 선행되어야한다. 하지만 제주 연안 해역에 관련된 연구조사는 현재 미비한 실정이다. 따라서 제주 연안 해역의 생태환경을 파악하기 위한 연구가 이루어져야 할 것이며 그 결과물을 바탕으로 한 올바른 수산자원관리 기준이 마련되어야 할 것이다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 제주 연안 수생환경의 기초 자료 구축을 위한 것으로 조사항목은 다음과

같다.

- 양식장 밀집지역의 해수분석 및 저질분석 : 양식장 배출수가 제주 연안에 미치는 영향 조사
- 수생환경 모니터링 : 스킨스쿠버 다이빙을 통한 수생환경 모니터링
- 어류의 영양학적 분석 : 어획된 어류의 위 내용물을 통한 영양적 조사

먼저 제주도 내 양식장 밀집 지역과 비밀집 지역의 해수 분석 및 저질 분석을 통해 배출수가 주변 생태계에 미치는 실질적인 영향을 조사 하였다. 다음으로 스킨스쿠버 다이빙을 이용한 제주 연안 수생환경 관찰을 통해 연안 해양생물의 서식환경을 조사하였으며 마지막으로 어류의 영양 상태를 통해 먹이 환경을 파악하였다. 이와 같은 연구 결과물을 바탕으로 수산자원관리 및 연안 생태계 보전을 위한 방안을 도출하였다.

## 1. 양식장밀집지역의 해수 분석 및 저질 분석

제주 연안의 서부지역과 동부지역의 양식장 밀집지역과 비밀집 일반지역을 각각 2지점씩 총 4지점을 선정하였다. 해수 채취는 조사기간 동안 매월 1회씩 총 6회에 걸쳐 실시되었다. 시료는 각 지점 연안의 표층수를 채취하였으며 밀집 지역의 경우 배출수가 배출되는 곳과 인접한 지점에서 시료를 채취하였다. 채취된 해수는 제주대학교 연구실로 운송되어졌으며 화학적산소요구량(COD), 용존산소(DO), 총무기질소(TIN), 암모니아질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), 아질산질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ), 인산염인, 부유물질(SS)분석에 곧바로 사용되어 졌다. 수온, 염분, pH는 휴대용 수질 분석기를 이용하여 현장에서 측정하였다.

양식장 배출수와 함께 배출되는 유기물이 연안 해역의 저질에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 저질 유기물 함량을 측정하였다. 시료는 해수 채취가 이루어진 장소와 동일한 지점에서 채취하였다. 시료 채취 시 수중 지면 상층에서 10cm 깊이까지의 저질을 채취하였으며 각 지점에서 총 3회 샘플을 채취하였다. 채취된 시료는 샘플보관용 플라스틱 용기에 담아 실험실로 운반하였으며 운반된 시료는 분석 전 까지 동결보관(-70℃)하였다. 분석 방법은 시료의 무게를 달고 도가니에 넣은 뒤 회화로를 이용하여 550℃에서 12시간 동안 태운 뒤 정량하였다.

## 2. 수생환경 모니터링

조사 지점은 제주도를 서부지역과 동부지역으로 구분하여 양식장 밀집지역과 인접한 연안과 밀집되지 않은 일반지역을 대상으로 선정하였다. 수생환경 관찰은 스킨스쿠버를 통한 직접적인 관찰

에 의해 이루어졌다. 선정된 조사지점의 해안으로부터 약 100m 떨어진 지역을 임의로 선정하여 이동하면서 관찰하였다. 이동 중 발견되는 어류, 해조류 군락 등의 해양생물과 해저 지형은 수중 메모판을 통해 기록함과 동시에 사진촬영을 실시하였다. 조사를 마친 후 수중에서 기록한 자료와 촬영물을 바탕으로 서식 생물을 동정하였다. 수생환경 모니터링은 연구기간 동안 총 5회 실시되었다.

### 3. 어류의 영양학적 분석

어류샘플 채집은 제주도내 주요 어시장 및 주요항구(성산항, 모슬포항, 서귀포항, 제주항)에서 이루어졌으며 어류의 영양학적 분석에 사용된 어류는 점감팽(*Scorpaena onaria*), 보구치(*Pennahia argentata*), 전갱이(*Trachurus japonicus*), 고등어(*Scomber australasicus*), 빨돔(*Cookeolus japonicus*), 붉은솜뱀이(*Sebastiscus tertius*) 총 6종이다. 샘플채집은 연구기간동안 매월 2회에 걸쳐 총 12회 실시되었다. 채집한 샘플은 해부하여 위 내용물을 채취하였다. 위 내용물의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C, 3h)으로 측정하였고, 단백질은 자동 조단백 분석기 (Kejltec System 2300, Sweden)로 분석하였으며, 지방은 Folch et al. (1959)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치를 (Soxhlet Heater System C-SH6, Korea) 이용하여 분석하였다.

## IV. 연구개발 결과

### 1. 양식장밀집지역의 해수 분석

해수 분석 결과 각 지점의 염분은 차이를 나타내지 않았지만 양식장 밀집지역과 일반지역 간에 수온과 pH는 차이를 나타내었으며 저질 유기물 측정 결과 또한 뚜렷한 차이를 나타내었다. pH의 경우 일반지역에 비해 양식장 밀집지역의 값이 비교적 낮은 값을 보였다. pH의 값은 양식장 밀집지역의 경우 7.3~7.8정도의 값을 보였으며 일반지역의 경우 7.9~8.2정도의 값이 측정되었다. 이러한 이유는 양식장에서 유입되는 유기물이 침전되어 부패하기 때문으로 사료된다. 저질 유기물 함량 측정 결과 일반지역의 경우 저질 내 유기물함량이 20~30% 범위의 값을 보였으며 양식장 밀집지역의 경우 60~70% 범위의 값을 나타내었다. 이 결과는 양식장에서 배출수와 함께 흘러나오는 유기물이 연안 저질에 다량 축적되고 있다는 것을 짐작할 수 있게 하는 증거이며 또한 양식장 밀집지역의 상대적으로 높은 pH값에 대한 이유를 뒷받침 할 수 있는 결과이다.

제주도 양식장밀집지역과 일반지역의 수질분석 비교결과 부유물질(SS), 총 무기질소(TIN), 인산염인의 항목을 제외한 다른 항목에서는 양식장 배출수에 의한 별다른 영향이

관찰되지 않았다. 또한 모든 분석항목의 값이 해수수질등급 1~2등급에 해당하는 값을 보였다. 이로 미루어 볼 때 아직까지는 양식장 배출수가 연안 수질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다 하지만 양식장 밀집지역과 일반지역 사이에 수질오염의 지표로 사용되는 부유물질(SS), 총 무기질소(TIN) 분석항목에서 차이를 보인 것을 감안할 때 앞으로 연안 수질이 오염될 가능성이 있다고 할 수 있다. 제주도는 감귤산업과 더불어 어류 양식업이 중요한 1차 산업으로 자리 잡고 있으며 전국적으로 가장 많은 넙치를 생산하고 있다. 현재 제주도 전역에 걸쳐 225개의 육상수조식 양식장이 허가를 받아 운영하고 있다. 이러한 상황을 고려해 볼 때 연안 수질 오염의 가능성은 더욱 크다고 할 수 있다.

## 2. 수생환경 모니터링

모든 조사지점의 해저지형은 완만한 암반지대와 모래지대가 혼합된 지형을 이루고 있었으며 관찰지점의 수심은 평균 6~9m 정도였다. 해조류군락의 경우 일반지역이 양식장밀집지역에 비해 잘 발달되어 있었다. 특히 양식장 배수구와 인접한 지점은 해조류 군락이 존재하지 않았으며 일부 개체가 간헐적으로 관찰되었다. 생물상 조사결과 각 조사지점에서 대부분 동일한 종이 출현하는 것을 알 수 있었으며 계절에 따른 차이를 보이지 않았다. 하지만 출현 종수는 하계나 추계에 비해 상대적으로 수온이 낮은 동계에 다소 적게 출현하는 현상을 보였다. 양식장밀집지역과 일반지역의 관계를 살펴보면 일반지역에 출현하는 어류의 종 다양성과 개체수가 상대적으로 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 어류에게 은신처를 제공하고 산란장 및 성육장 역할을 하는 해조류 군락이 잘 형성되어있기 때문인 것으로 판단된다.

## 3. 어류의 영양학적 분석

분석된 모든 어종에 있어서 계절에 따른 위 내용물의 단백질 및 지방함량은 차이를 보이지 않았다. 위 내용물의 중량 측정 결과는 각 개체별로 차이를 보였으며 채집시기에 따른 차이 또한 나타났다. 위내용물 중량 측정시 많은 개체가 공복상태로 채집된 것을 알 수 있었다. 이는 어류가 어획되는 과정 중 발생하는 스트레스에 의한 것, 또는 이미 소화가 많이 진행된 상태로 어획된 것으로 판단된다. 따라서 위 내용물의 개체, 계절간의 중량차이는 환경적 영향에 의한 것이라 판단하기 어렵다. 분석결과 전체적으로 모든 어종들은 제주 연안 생태계 내에서 성장 및 대사활동에 필요한 단백질을 충분히 보충하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 먹이 사슬 관계에 있어서 하위 생물인 소형 갑각류, 소형어류, 난바다곤쟁이류, 요각류 등이 제주 연안 생태계에서 충분히 공급되어 지고 있으며 생태 환경내 먹이사슬 또한 원활히 유지되고 있다고 사료된다.

## V. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구의 수행으로 얻어진 제주도 연안 환경에 대한 자료는 먼저 추후에 진행될 연구 및 사업에 있어서 참고 자료로 활용될 수 있으며 해양과 관련된 바다 목장화 산업이나 해양을 이용한 레저, 관광과 같은 3차 산업을 추진하는데 도움이 되는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

제주도는 지정학적으로 육지와는 다른 환경을 지니고 있다. 이는 육상뿐만 아니라 해양에서도 마찬가지이다. 또한 제주도는 사면이 바다로 둘러싸인 섬이라는 환경적 요인으로 인해 바다에 대한 중요성이 매우 크다고 할 수 있다. 하지만 이런 중요성에도 불구하고 아직 기초 자료가 많이 미흡한 상황이다. 따라서 장기적인 자료 수집을 통해 제주 해양 환경 연구의 새로운 기준을 세울 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 최근 해양 환경의 변화로 인해 제주 연안의 서식생물이 감소, 새로운 종이 서식하는 등 생태계에 많은 변화가 일어나고 있다. 이러한 제주연안 환경의 변화는 최근 추진되고 있는 바다 목장화 사업의 대상 어종 선택이나 입지 선정에 있어서 중요한 요인으로 작용될 것이다. 따라서 정확한 연안 환경에 대한 평가가 선행된다면 보다 효과적인 바다 목장화 사업을 추진할 수 있을 것이다. 이는 어민들의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 수산물 가공업체들의 유치를 통해 제주도 경제에 긍정적인 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

# SUMMARY

## I .Title

Investigation of trophic environment at Jeju coast areas

## II . Significance and Objectives of the Study

Jeju coast is the most productive fisheries grounds in Korea. High productivity is due to wide shelf area, large nutrient supply from the different waters and other freshwater discharges along the Jeju coast. However, the productivity of Jeju coast has considerably been decreased due to environmental deterioration and overfishing, which is a concern for marine food security of Korea. The Jeju coast is under the strong influence of global climate changes in addition to serve human impacts such as environmental degradation and overfishing. Therefore, the Jeju coast may provide a useful model showing a proper way of the coexistence of human and the coastal marine ecosystems. For the establishment of the model, cooperative ecosystem study focusing on nutritional status of aquatic organisms along the inshore of Jeju should be developed. However, no information is available on the investigation of subtrophic environment at Jeju coast. Therefore, this study was conducted to investigate the degree of water pollution, nutritional condition of fish and pollution by adjacent fish farms in Jeju Island.

## III. Content and Scope of the Study

1. Effects of fish farm discharge water on coastal marine ecosystem in Jeju coast
2. Monitoring of aquatic environment by skin scuba diving
3. Investigation of nutritional conditions of fishes by determining the contents in the stomach of fishes caught at Jeju coast



#### IV. Application plan of the Study

##### 1. Effects of fish farm discharge water on coastal marine ecosystem in Jeju coast

This study was conducted to investigate the level of water pollution by fish farms or not. The analysis of sea water (chemical oxygen demand, dissolved oxygen, ammonia nitrogen, nitrite nitrogen) was not significantly different between crowded fish farm and non-crowded fish farm areas, except for suspended solids (SS) and total inorganic nitrogen (TIN). All parameter values indicate 1st~2nd degree of sea water quality. Therefore, fish farm discharge water was not the direct reason for sea water pollution up to now. However, SS and TIN values in the crowded fish farm areas were significantly higher than those in non-crowded fish farm areas. The findings in this investigation suggest that fish farm discharge water will eventually affect to the pollution of Jeju coast in the near future.

##### 2. Monitoring of aquatic environment by skin scuba diving

This study was conducted to monitor the aquatic environment by skin scuba diving in both the coastal areas adjacent to fish farms and the areas away from the fish farms. The marine topography of all the research points consists of gentle rocks and sand. The average depth of water was 6 to 9 m. Non-crowded fish farm areas were more developed with the populations of sea algae than that of crowded fish farm areas. Particularly, the populations of sea algae were not observed in the fish farm surrounding aquatic environments. We observed the same fish species in each area we investigated and the species was not different by the season. However, the appearance of fish species and population in the summer season was greater than those in the winter season. The findings in this investigation suggest that crowded fish farm areas have some problems of providing shelters and spawning ground such as sea algae populations and clean benthos.

3. Investigation of nutritional conditions of fishes by determining the contents in the stomach of fishes caught at Jeju coast

In this study, we investigated the stomach contents of the caught fishes and their proximate composition. The proximate composition of all the fish species according to season was not significantly different. The weight of stomach contents was significantly different among each samples. Also, the sampling times affected to the weight of stomach contents. We observed an empty stomach in many sample when measured the weight of stomach contents. The reason for the empty stomach of many samples in this study might be attributed to stress and/or the timing of catch for the fish that had already digested foods. Therefore, difference in weight of stomach contents according to each sample and sample times was not by the environmental impact. The findings in the present study suggest that all the fish species receive the enough nutrient for growth and metabolism, which indicates that the Jeju coast has a plenty of nutrients for the aquatic organisms. In conclusion, Jeju coastal marine ecosystem was supplied with enough plankton such as small crustacean, euphausiid, and copepod in the food chain.

## V. Expected effects

The results of this study can be used of reference materials for the future research such as sea ranch projects, marine leisure and tourism industries. Finally, this study could be used to predict future environmental changes in Jeju coastal areas.

# CONTENTS

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>11</b>
Section 1 Significance and Objectives of the Study.....	11
Section 2 Scope of the Study .....	12
<b>Chapter 2 Present situation of the Study on inside and     outside of the country</b> .....	<b>14</b>
Section 1 Research trend in Korea .....	14
Section 2 Research trend in developed country .....	15
<b>Chapter 3 Achievement and Result of the Study</b> .....	<b>17</b>
Section 1 Content of the Study .....	17
1 Seawater analysis of fish farm area .....	17
2 Aquatic environment monitoring .....	18
3 Nutritional analysis of fish .....	22
Section 2 Result of the Study .....	28
1 Seawater analysis of fish farm area .....	28
2 Aquatic environment monitoring .....	35
3 Nutritional analysis of fish .....	39
<b>Chapter 4 Levels of Attainment goal and International     Contribution of the Study</b> .....	<b>42</b>
<b>Chapter 5 Application plan of the Study</b> .....	<b>43</b>
<b>Chapter 6 Reference</b> .....	<b>45</b>

# 목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	11
제 1 절 연구개발의 필요성, 목적 및 범위 .....	11
1. 연구개발의 필요성 및 목적 .....	11
2. 연구개발의 범위 .....	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보 .....	14
제 1 절 국내외 기술개발 현황 .....	14
1. 국내 기술동향 .....	14
2. 국외 기술동향 .....	15
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	17
제 1 절 연구개발수행 내용 .....	17
1. 양식장밀집지역의 해수 분석 및 저질 분석 .....	17
2. 수생환경 모니터링 .....	18
3. 어류의 영양학적 분석 .....	22
제 2 절 연구개발수행 결과 .....	28
1. 양식장밀집지역의 해수 분석 및 저질 분석 .....	28
2. 수생환경 모니터링 .....	35
3. 어류의 영양학적 분석 .....	39
제 4 장 연구개발 목표달성도 .....	42
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	43
제 6 장 참고문헌 .....	45

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 필요성, 목적 및 범위

### 1. 연구개발의 필요성 및 목적

제주도는 동경 126° 09'~126° 58', 북위 34° 06'~34° 00'에 위치하고 있으며, 전형적인 해양성 기후를 나타내어 기온의 연교차가 적고 겨울에도 최저 기온이 0℃ 이상을 나타낸다. 또한 제주도 해역은 쿠로시오 난류와 쓰시마 난류 외에 중국의 대륙연안수와 황해 저층수, 한국 연안수, 일본 서부의 연안수 등 서로 다른 수괴가 혼합되어 해양생물에 다양한 영향을 미치고 있다 (Choi et al., 2003).

해양 생태계에서 연안 해역은 높은 생산력을 유지하는 지역이다. 그 중에 특히 수서식물이 밀생하고 있는 지역은 연안 해역 중에서도 가장 높은 생산력을 나타내는 기초생산지역으로서 수서식물로 인해 직접 또는 간접적으로 생산되는 유기물질이 포함된 복잡한 먹이 사슬이 존재한다 (Kim, 2003). 복잡한 해황 구조를 형성하는 제주도 연안 해역은 다른 지역에 비해 어류의 먹이가 되는 소라, 전복, 성게, 등의 부착 생물과 뚝, 감태, 등의 해조류가 풍부하다. 이러한 환경적 특성으로 인해 제주 연안 해역은 다양한 어류의 산란장 및 치어 성육장을 제공하는 역할을 하며 한국 연근해에 내유하는 회유성 어종의 회유 경로가 되기도 한다. 이와 같이 제주도 연안 해역은 해양학적 측면에서 중요성이 크며 더불어 수산자원조성과 관리는 물론 어촌소득 증대를 위한 수산업적 측면에서도 매우 중요하다 (Ko et al., 2003). 이 밖에도 풍부한 연안 수산자원은 생태관광(Eco-tourism)자원으로 활용될 수 있다. 생태관광이란 관광객들이 지역의 생태계 또는 문화를 손상시키거나 회복하기 어려운 정도로 영향을 주지 않는 범위에서 자연과 문화를 감상할 수 있도록 적절한 배려를 취한 환경적으로 건전하고 지속가능한 관광을 말한다. 생태관광은 이미 세계 여행시장의 5~10%를 점유하고 있는 것으로 추정되며 매년 10~15%씩 급성장하고 있다. 이러한 추세는 기존의 혼잡하고 일률적인 관광경험에서 벗어나 자연 그대로의 환경에서 보다 의미있고 교육적인 경험을 얻고자 하는 사회적 가치관에서 기인한다 할 수 있다. 생태관광을 활성화시키기 위해서는 무엇보다 잘 보전된 자연환경이 뒷받침 되어야 할 것이다. 제주도의 경우 우수한 해양 생태관광자원을 가지고 있다. 제주도 서귀포시 남단에 위치한 문섬은 연산호 군락이 잘 발달되어 있어 스킨스쿠버를 즐기는 많은 дай버들이 해마다 이곳을 찾고 있으며 또한 문섬을 포함한 우도, 마라도 등에서 잠수함을 이용한 해저 관광이 이루어지고 있다. 이처럼 제주 연안 해역 생태계는 경제 및 문화적 측면에서 보호해야 할 필요성이 크다고 할 수 있다.

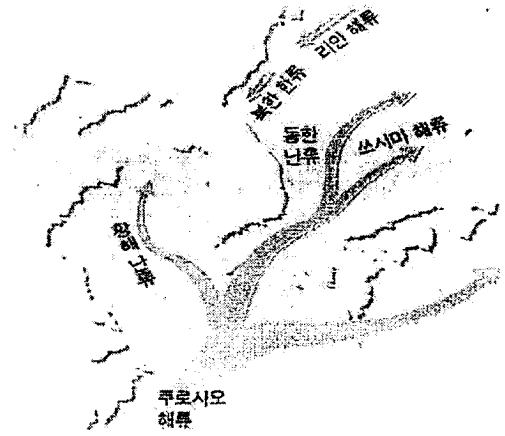


그림 1-1. 제주도의 해황

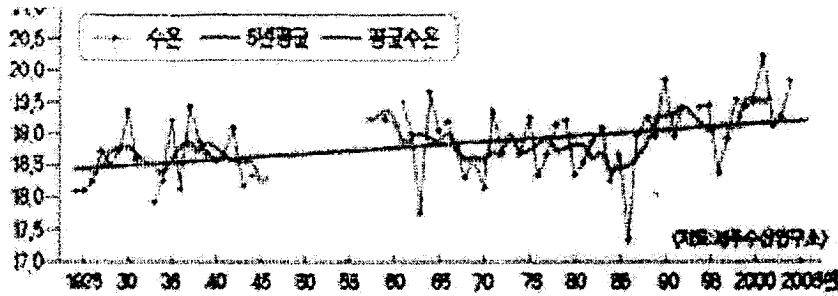


그림 1-2 마라도 연안의 연평균 수온상승추세

최근 제주도 연안 해역에는 엘니뇨와 같은 기상이변과 지구온난화에 따른 수온상승으로 인한 이열대성 어종의 증가, 해조류 군락소멸 등 많은 변화가 진행되고 있다. 통계 자료를 살펴보면 제주도의 해조류 생산량은 2006년 5,576만 톤으로 1998년 7,531만 톤에 비해 약26% 감소하였으며 가장 수온 변화가 적은 것으로 알려진 마라도의 연평균 수온은 지난 30년간 약 0.9℃ 상승하였다. 이러한 변화는 제주도 연안 해역의 산란장 및 성육장 역할을 약화 시킬 뿐만 아니라 전반적인 수서 생물 분포에도 영향을 미칠 것이다. 이는 곧 해양 생태의 변화를 야기 시킬 것이며 결과적으로 주요 수산물의 어획량 또한 감소시켜 제주도 수산경제가 침체되는 결과를 가져올 것이다. 하지만 이와 관련된 대책마련을 위한 연구 조사는 미비한 실정이며 수산경제 활동의 주체가 되는 어민들 또한 환경변화에 대한 중요성을 인식하지 못하고 있다.

앞서 말한바와 같이 제주도 연안해역은 독특한 환경을 구성하고 있으며 풍부한 수산자원을 가지고 있다. 환경적, 경제적 중요성이 큰 제주 연안 해역의 수생환경을 보전하기 위해서는 먼저 현재 제주 연안 해역의 실질적인 상태를 파악해야 할 것이다. 이를 위해서는 해양 생태계에 영향을 미치는 요소들에 대한 전반적인 조사가 이루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구는 제주 연안 수생환경의 실질적인 상태를 파악하기 위해 수질분석 및 어류영양평가 등 다양한 접근 방법을 통해 조사를 실시하였으며 이를 토대로 제주 연안 환경의 기초 자료를 구축하고자 한다. 또한 제주 연안 수생환경에 영향을 미치는 요소들을 파악하여 이에 대한 개선방안을 제시함으로써 연구 목표를 달성하고자 한다.

## 2. 연구개발의 범위

본 연구는 제주 연안 수생환경의 기초 자료 구축을 위한 것으로 조사항목은 다음과 같다.

- 양식장 밀집지역의 해수분석 및 저질분석 : 양식장 배출수가 제주 연안에 미치는 영향

## 조사

- 수생환경 모니터링 : 스킨스쿠버 다이빙을 통한 수생환경 모니터링
- 어류의 영양학적 분석 : 어획된 어류의 위 내용물을 통한 영양적 조사

먼저 제주 연안에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 제주도 내 양식장 밀집 지역과 비밀 집 지역의 해수 분석과 저질 분석을 통해 양식장 배출수가 실제적으로 주변 생태계에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 조사하였다. 다음으로 스킨스쿠버 다이빙을 이용한 제주 연안 수생환경 관찰을 통해 연안 해양생물의 서식환경과 양식장 밀집지역의 수생환경을 조사하였다. 마지막으로 제주 연안 해역에서 어획된 어류의 위 내용물을 통한 영양적 분석을 수행하여 서식지역의 먹이 환경을 파악하였다. 이와 같은 연구 결과물을 바탕으로 수산자원관리 및 연안 생태계 보전을 위한 기초 자료를 구축하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보

### 제 1 절 국내외 기술개발 현황

#### 1. 국내 기술동향

우리나라의 해양환경조사 연구는 특정 생물종 또는 특정지역을 대상으로 수행되어 왔다. 보고된 연구들을 살펴보면 어류상 및 어류분포, 자원량, 영양단계 등 생물의 생태에 관련된 조사와 수질분석을 통한 오염정도, 해수변동, 해황 등의 수 환경에 관련된 조사들이 있다. 1997년부터 2002년까지 6년간 국립수산과학원에서 한국남부 연안의 영양상태를 평가하였다. 이 연구에서는 남해연안을 3개의 영양상태로 구분하였으며 주 평가 요소는 용존성 무기질소와 인 농도, 과잉 질소 등으로 이루어 졌다. 연구 결과에 의하면 제주도의 경우는 중영양 상태인 것으로 나타났다. 그리고 제주도 문섬의 생물생태학적 특성을 조사하기 위해 제주대학교에서 실시한 연구에서는 약 10개월 동안 영양 염류의 분포와 플랑크톤의 군집 구조가 조사되었다. 지금까지 제주 연안 수산 자원에 관한 조사는 주로 채집을 통해 어종과 어획량에 중심을 두고 이루어져 왔기 때문에 어종과 분포에 대해서는 알 수 있었지만 실질적인 연안 어종들의 먹이 환경과 장기적인 어종 관리에 대한 자료는 미흡하였다. 또한, 채집을 통해 조사가 이루어질 경우에는 실질적인 시장가치가 있는 어종이 아닌 특이 종에 대해서 조사가 이루어져 왔기 때문에 해양 산업의 추진에 있어서 효과적인 기초 자료로 활용이 되지 못한 경우가 많다. 그리고 제주 연안의 해수를 평가함에 있어서도 COD(화학적 산소 요구량)과 부유물질(SS)을 중심으로 이루어져 왔기 때문에 실제적으로 연안 생물에 영향을 미칠 수 있는 인, 암모니아 등에 대한 분석 자료는 매우 미흡한 실정이다. 이 밖에도 부분적인 여러 연구가 이루어졌지만 아직 어류의 위 내용물을 통해 제주 연안의 수생 먹이 환경을 조사한 연구는 전무한 실정이다.

2006년 OECD의 한국에 대한 환경성과보고서의 내용을 살펴보면 한국정부의 통합 환경관리체계 구축에 대한 권고사항이 있다. 이렇듯 최근 해양생태에 대한 중요성이 부각됨에 따라 다방면에 걸친 장기적인 해양환경 조사가 이루어지고 있다. 그 예로 국토 해양부에서 실행중인 해양생태계기본조사사업을 들 수 있다. 이 사업은 해양생태계 종합 조사의 하나로서 우리나라 해양의 종합적인 생태도 작성 및 관리를 위해 시행되는 것으로 동·서 남해의 빈지 해안사구 등을 포함한 조건대부터 배타적 경제 수역까지의 해양 생태계를 10년 주기로 조사하고 있다. 또한 갯벌의 생태환경을 조사하기 위한 연안습지 기초조사가 5년 주기로 실시되고 있으며 독도, 새만금과 같이 환경적 중요성이 높은 특정지역을 대상으로 한 환경조사가 이루어지고 있다. 이밖에도 연근해의



해양환경상황 및 오염원의 조사 등을 위해 해양환경 측정망을 구축하여 운영하고 있다. 이 시스템을 통해 축적된 자료들은 해양환경보전정책 수립 및 해양환경기준설정을 위한 기본 자료로 활용되고 있으며 국제기구 및 국제 환경협약에 따른 해양환경 통계자료로 제공되고 있다. 이렇듯 최근 우리나라의 환경조사는 환경 선진국의 관리체계와 같이 체계적으로 변화되어 가고 있다.

## 2. 국외 기술동향

국외의 경우, 기후 온난화에 따른 해수온의 변화는 물론 그에 따른 수서환경의 변화와 어류 종들의 변화에 대한 지속적이고 장기적인 모니터링을 통해 수서 환경의 변화를 관찰하고 있다. 또한 국내의 경우와 달리 기후 온난화에 따른 해양환경에 대한 구체적이고 심도 높은 연구가 다방면으로 이루어지고 있는 상황이다. 넓은 해역의 수서 환경을 조사 할 경우 지표 생물을 장기적으로 채집 및 해부 분석하여 각 해역의 수서환경을 비교 평가하고 있다. 연안의 수서환경의 영양상태를 평가하기 위한 생물의 위 내용물 또는 조직검사를 이용하고 있다. 정부 간 기후 변화 패널인 IPCC (International Panel on Climate Change)에서는 향후 1세기에 걸쳐 세계 평균 온도가 최소 1.8℃에서 4℃까지 상승할 것이라는 전망을 발표하였다. 실제로 1900년 이후 60년간 지구의 평균 온도는 0.14℃ 상승하였으나 이후 45년간은 0.60℃나 상승하였다. 이러한 기후 변화는 해양환경에도 큰 영향을 미치고 있다. 지구의 평균 온도가 상승함에 따라 해수면과 수온 또한 비례적으로 상승하고 있다. IPCC 발표 자료에 따르면 해수면 상승의 주요 원인은 그린란드와 남극의 대륙빙하로 요약하고 있으며 1993년에서 2003년 동안에는 3.1mm의 빠른 속도로 증가하고 있다고 하였다. 해수면의 증가와 수온 상승은 해양 생물자원에 많은 변화를 가져오고 있다. 기존 어종들의 어획량이 급감하는 사례가 보고되고 있으며 한류성 어종들이 북극이나 심해로 이동하는 한편 기존의 한류성 어종이 있어야 할 곳에는 난류성 어종들이 그 자리를 대신하고 있다.

기후 변화로 인한 생태계의 지리적 이동 및 내부 변화로 인해 해면 및 내수면 어종이 뒤섞이는 현상, 산란 지역의 변동 발생, 사산자원의 성장 기간 장기화, 겨울철 치사율 감소 및 고위도 지역 어류의 빠른 성장, 수산자원의 산란 패턴 변화, 회유 이동 경로 변화 야기, 새로운 어족 자원의 분포도가 형성되면서 어장의 변화가 일어날 것이며 이러한 요소들은 세계 해양 산업에 큰 혼란을 가져 올 것으로 예상되어 지고 있다. 위와 같은 예로 지중해 북서 지역은 한류 지대이지만 최근 난류성 어종인 놀래기과의 Wrasse, 세네갈 서대 등이 종종 발견되어지고 있고 러시아에서는 2001년 이후 명태의 어획량이 지속적으로 감소하고 있다. 또한, 북미 지역의 미국과 캐나다 남방 해역에서 난류성 어종인 가자미, 넙치의 생산량이 감소할 것으로 예상되어지며 대구의 주요 산란 지역인 북해 남부 해역에서 대구가 사라질 위험에 있다고 보고되어졌다. 이러한 변화에 대응하여 미국의 North Pacific Fishery Management에서는 2007년 미국 대구 총 쿼터량을 전년대비 6%를 삭감

한 1,394톤으로 책정하였다. 송어와 농어를 비롯한 약 20여 종의 어류도 미국의 한류 해역에서 주로 서식하고 있으나 이 어종들의 생산량도 감소할 것으로 예상하고 있다.

유럽의 집행부는 유럽 해양산업의 경쟁력과 해양 에코시스템의 보호를 조화롭게 양립시켜 나가기 위해서 해양과 해양자원에 대한 연구의 조정을 추진할 계획이다. 새로운 전략은 다음의 활동을 통해서 유럽의 해양연구의 분산을 수정해나간다는 전망을 제시한다. 전문화된 해양 관측소나 연구 선박 등의 새로운 인프라를 개발하기 위한 역량 강화, 연안과 해양의 에코시스템이 인간의 경제 활동에 미치는 영향 등 다 영역적 주제에 대한 학제간 연구를 진흥시킴으로서 해양활동(해양 수송, 석유 플랫폼, 어업 등)과 해양 에코시스템에 대한 연구의 통합을 강화, 해양에 관계된 문제는 전 지구적인 규모를 가짐을 감안하여, 국제 협력을 중시하면서 차원국가, 지역, 공동체 차원에서 연구의 시너지 진흥, 이와 같이 유럽의 전략이 추구하는 바의 하나는 해양 자원을 보다 잘 관리하고 활용하기 위한 혁신적인 해결책을 제시하면서, 해양 관련 산업부문의 경제적 성장과 해양 에코시스템의 보호를 양립시켜 나가는 것이다. 유럽의 조 보그(Joe Borg) 어업해사 집행위원(Commissioner for Fisheries and Maritime Affairs)은 환경적 차원에서 지속적일 수 있는 해양 활동의 잠재력을 완전하게 개발해나가는 것이 필요하다고 강조한다. 현실적으로, 선박제조, 관광, 연안개발 등의 해양과 관련된 활동은 유럽 경제의 5%까지 차지한다. 또한 유럽연합에서 대외 무역의 90%와 유럽 공동체 내 무역의 40%가 해상 교통을 통해 이루어진다. 그런데 이러한 활동은 해양 환경을 위협할 수 있다. 2007년 10월에 유럽 집행위원회에 의해서 소개된 유럽연합의 통합 해양 정책에 이어서 이번에 소개된 전략은 해양 연구를 더욱 심화시킬 필요를 강조하고 있다. 이를 통해서 해양 시스템의 복잡성과 기후 변화에서의 해양의 역할을 보다 잘 이해할 수 있을 것이기 때문이다.

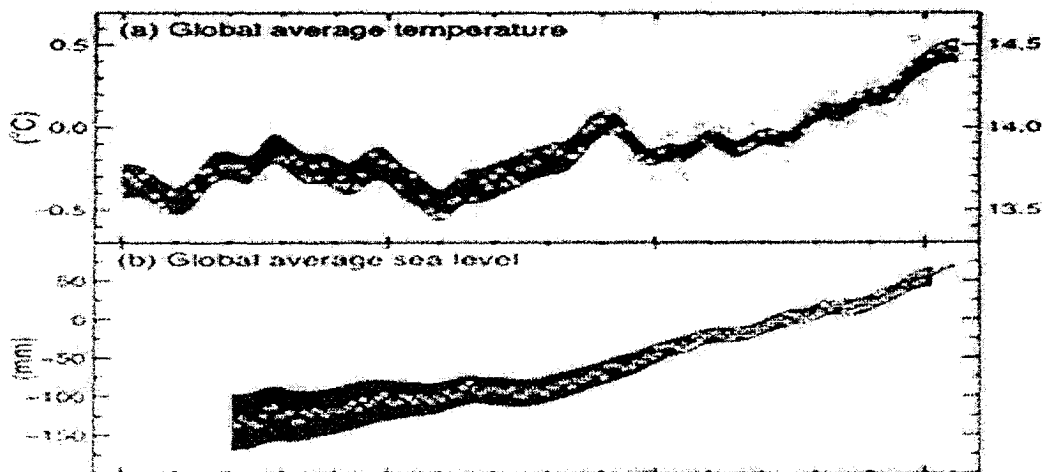


그림 2-1. IPCC 발표자료의 지구평균온도 및 해수면 상승 1850~2005.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제 1 절 연구개발수행 내용

### 1. 양식장밀집지역의 해수 분석 및 저질 분석

해수 채취는 조사기간 동안 매월 1회씩 총 6회에 걸쳐 실시되었다. 조사지역은 서부지역과 동부지역의 양식장 밀집지역과 비밀집 일반지역을 각각 2지점씩 총 4지점을 선정하였다. 서부지역의 경우 애월(양식장 밀집지역)과 도두(일반지역) 연안에서 시료를 채취하였으며 동부지역은 행원(양식장 밀집지역)과 세화(일반지역) 연안에서 시료를 채취하였다. 시료는 각 지점 연안의 표층수를 채취하였으며 밀집 지역의 경우 배출수가 배출되는 곳과 인접한 지점에서 시료를 채취하였다. 채취된 해수는 제주대학교 연구실로 운송되었으며 화학적산소요구량(COD), 용존산소(DO), 총무기질소(TIN), 암모니아질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), 아질산질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ), 인산염인, 부유물질(SS) 분석에 곧바로 사용되어졌다. 수온, 염분, pH는 휴대용 수질 분석기를 이용하여 현장에서 측정하였다.

표 3-1. 수질분석항목 및 분석방법

항 목	시 험 방 법
화학적산소요구량(COD)	알카리성 과망간산 칼륨법으로 측정
용존산소(DO)	현장에서 용존산소 고정후 실험실에 잉클러이지드변법으로 측정
총무기질소(TIN)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ , $\text{NO}_2^-\text{-N}$ , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 합
암모니아질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )	Standards methods의 phenate method에 의한 비색정량
아질산질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ )	Standards methods의 sulfanilamide-N.E.D에 의한 비색정량
질산질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )	Standards methods의 cadmium reduction method에 의한 비색정량
인산염인	Ascorbic acid에 의한 비색정량
부유물질(SS)	유리섬유여과지를 이용, 시수를 여과(1~3L)후 105℃에서 건조 후 평량하여 무게차로 구함

양식장 배출수와 함께 배출되는 유기물이 연안 해역의 저질에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 저질 유기물 함량을 측정하였다. 시료는 해수 채취가 이루어진 장소와 동일한 지점에서 채취하였다. 시료 채취 시 수중 지면 상층에서 10cm 깊이까지의 저질을 채취하였으며 각 지점에서 총 3회 샘플을 채취하였다. 채취된 시료는 샘플보관용 플라스틱 용기에 담아 실험실로 운반하였으며 운반된 시료는 분석 전 까지 동결보관(-70℃)하였다. 분석 방법은 시료의 무게를 달고 도가니에 넣은 뒤 회화로를 이용하여 550℃에서 12 시간 동안 태운 뒤 정량하였다 (그림 3-1).

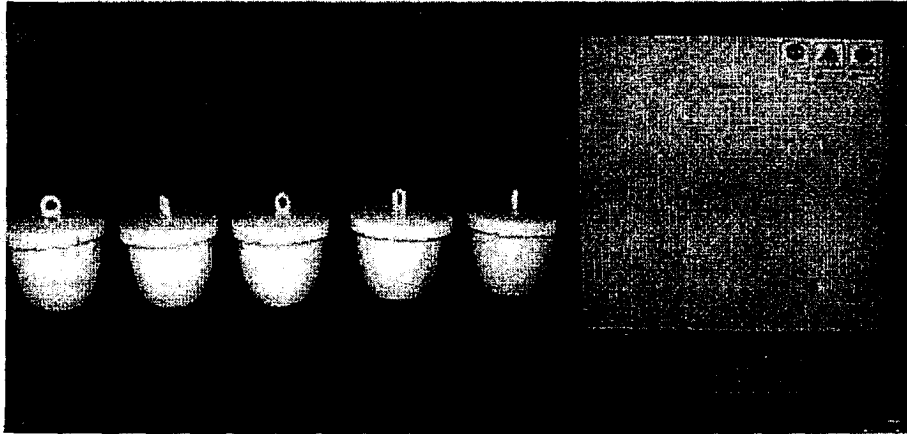


그림 3-1. 분석에 사용된 기자재

## 2. 수생환경 모니터링

조사 지점은 제주도를 서부지역과 동부지역으로 구분하여 선정하였으며 그림 3-2와 같이 각 지역에 2곳의 지점을 선정하여 조사를 실시하였다. 선정 기준은 해수채집이 실시된 양식장 밀집지역과 인접한 연안과 밀집되지 않은 일반지역을 대상으로 선정하였다.

- 서부지역 : 양식장밀집지역 (애월, W1), 일반지역 (도두, W2)
- 동부지역 : 양식장밀집지역 (행원, E1), 일반지역 (표선, E2)

수생환경 관찰은 스킨스쿠버를 통한 직접적인 관찰에 의해 이루어졌다. 선정된 조사지점의 해안으로부터 약 100m 떨어진 암초지역을 아래의 그림과 같이 임의로 50m 이내의 지점을 선정하여 지그재그 형태로 이동하면서 관찰하였다. 이동 중 발견되는 어류, 해조류 군락 등의 해양생물과 해저 지형은 수중 메모판을 통해 기록함과 동시에 사진촬영을 실시하였다. 조사를 마친 후 수중에서 기록한 자료와 촬영물을 바탕으로 시식 생물을 동정하였다. 수생환경 모니터링은 연구기간 동안 총 5회 실시되었다.

- 하계조사 : 2008년 7월, 8월
- 추계조사 : 2008년 9월, 10월
- 동계조사 : 2008년 12월

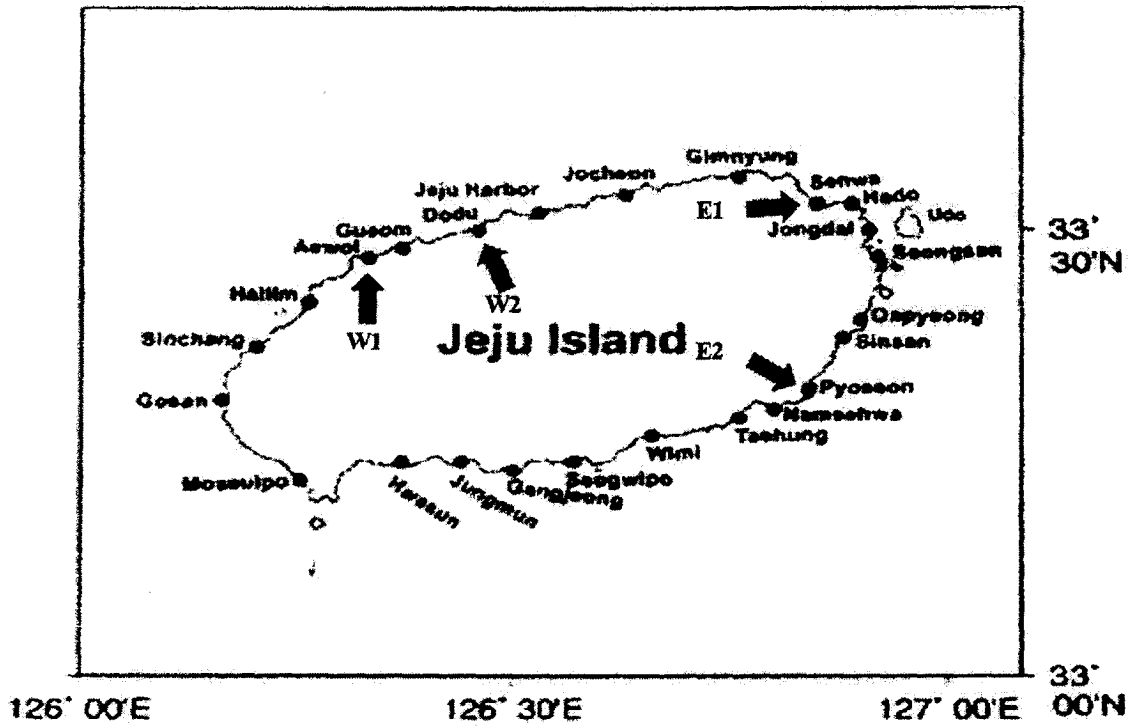


그림 3-2 수생환경 모니터링 조사지점

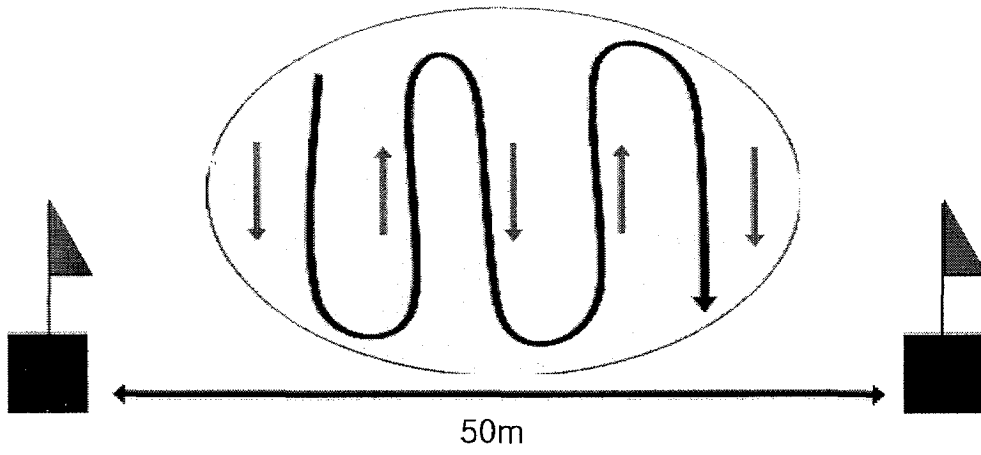


그림 33. 수중관찰 이동경로

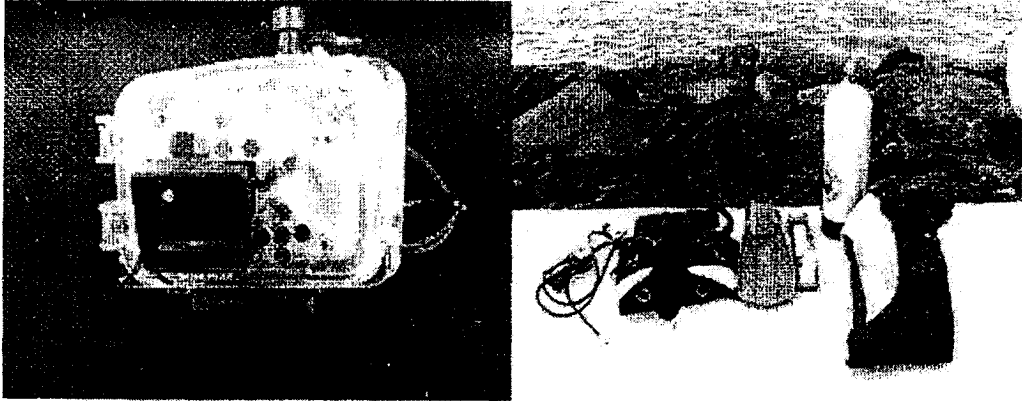


그림 34. 수중관찰에 이용된 장비

### 3. 어류의 영양학적 분석

분석에 사용된 어류샘플 채집은 제주도내 주요 어시장 및 주요항구(성산항, 모슬포항, 서귀포항, 제주항)에서 이루어졌으며 연구기간동안 매월 2회에 걸쳐 총 12회 실시되었다. 제주도내에서 어획된 어류는 채집된 어류샘플은 아이스박스에 냉장상태로 운반하였다. 운반된 어류는 각 개체의 형태를 관찰하였으며 어류도감을 이용하여 동정을 실시하였다. 동정이 끝난 어류는 해부하여 위를 적출한 후 위 내용물을 채취하였다. 채취된 최종 분석샘플은 분석을 실시하기 전까지  $-40^{\circ}\text{C}$  초저온 냉동실에 보관 하였다. 위 내용물의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법( $125^{\circ}\text{C}$ , 3h)으로 측정 하였고, 단백질은 자동 조단백 분석기 (Kejlttec System 2300, Sweden)로 분석하였으며, 지방은 Folch et al. (1959) 의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치를 (Soxhlet Heater System C-SH6, Korea) 이용하여 분석 하였다 (그림 3-5).

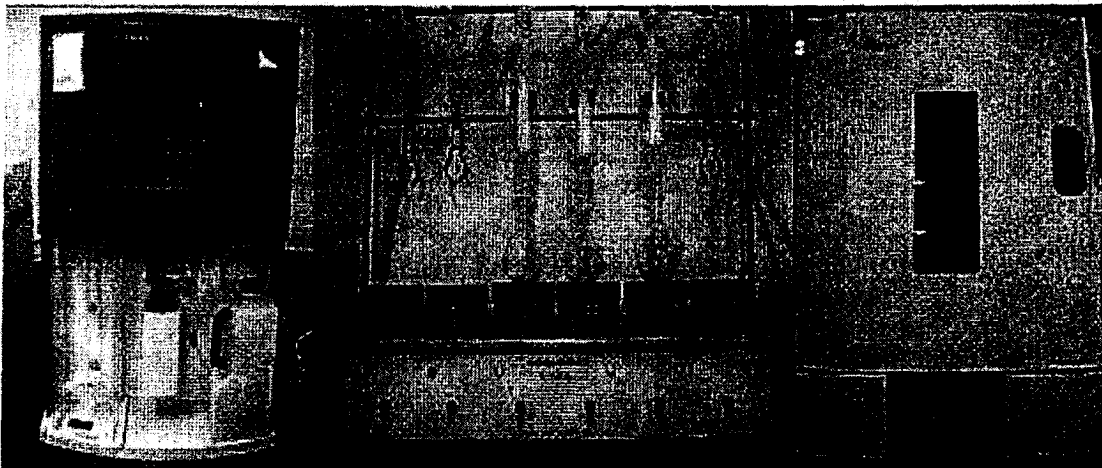


그림 3-5. 일반성분 분석에 사용된 분석기기



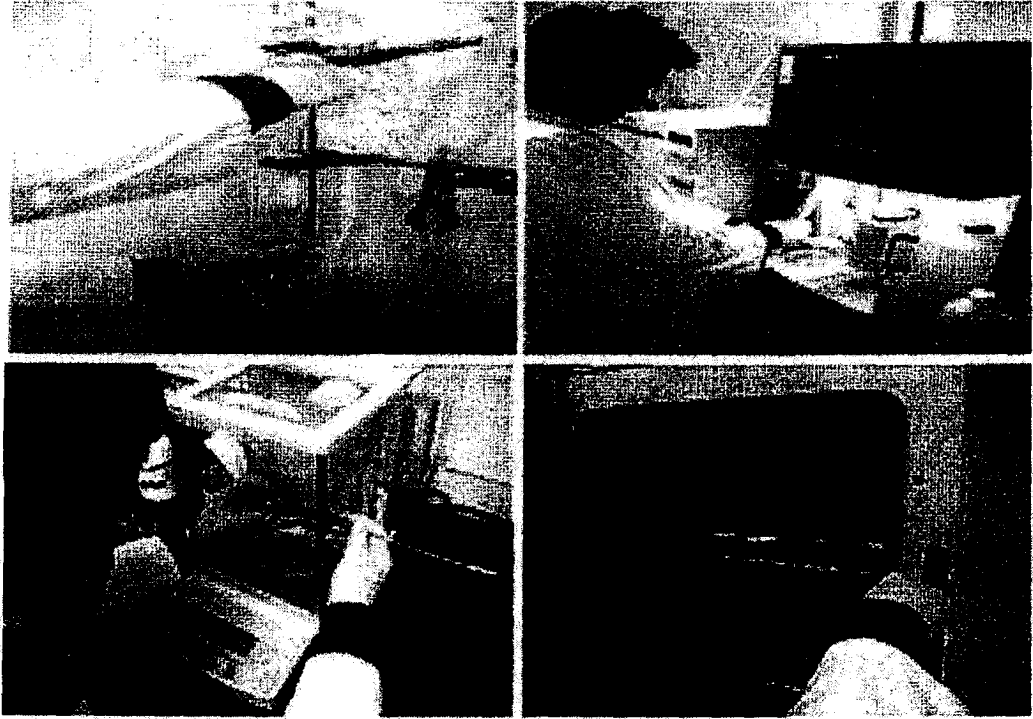


그림 3-6. 일반성분 분석과정

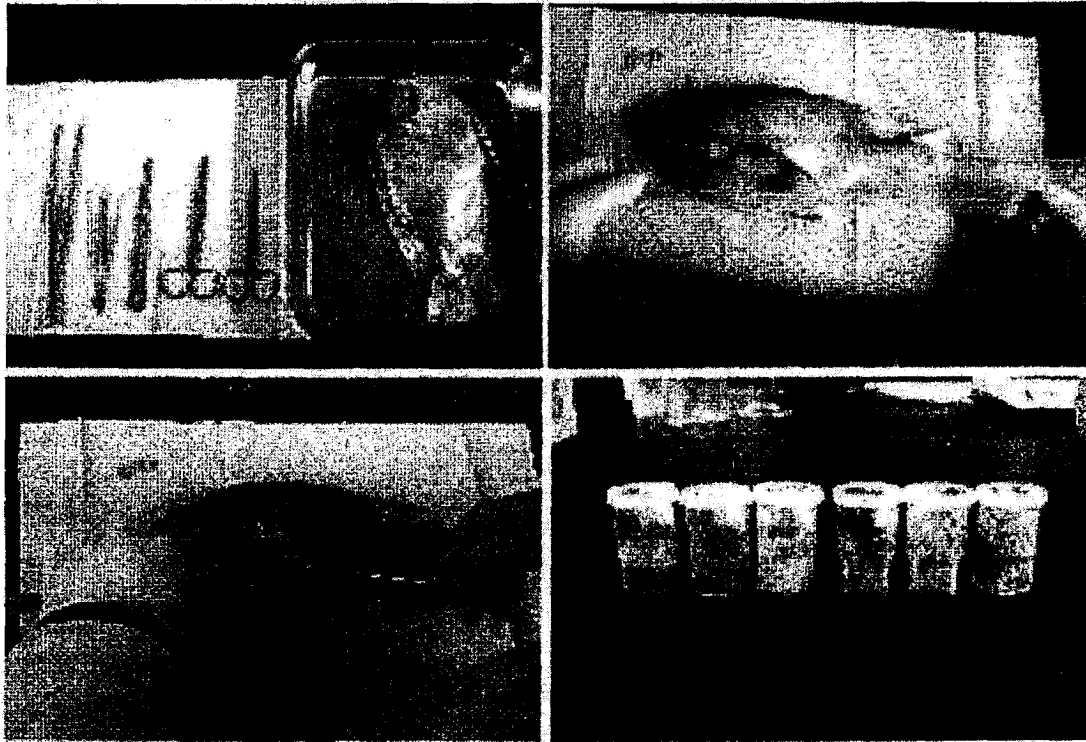


그림 3-7. 위 내용물 채취과정

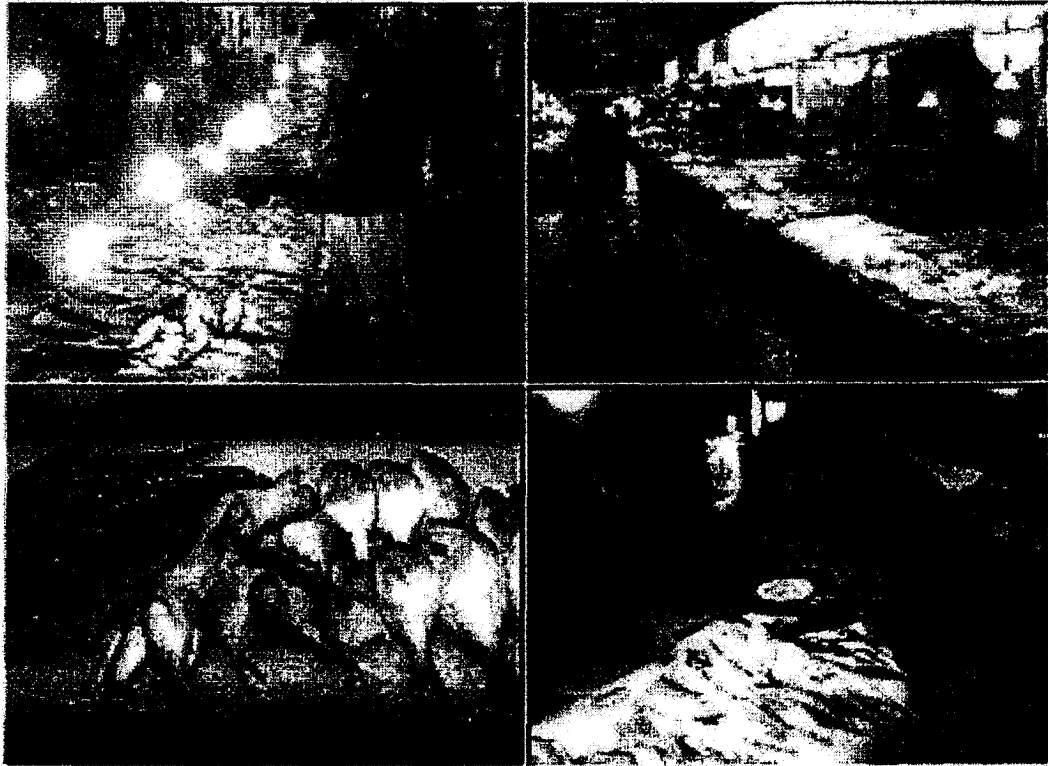


그림 3-8. 어류 채집 과정

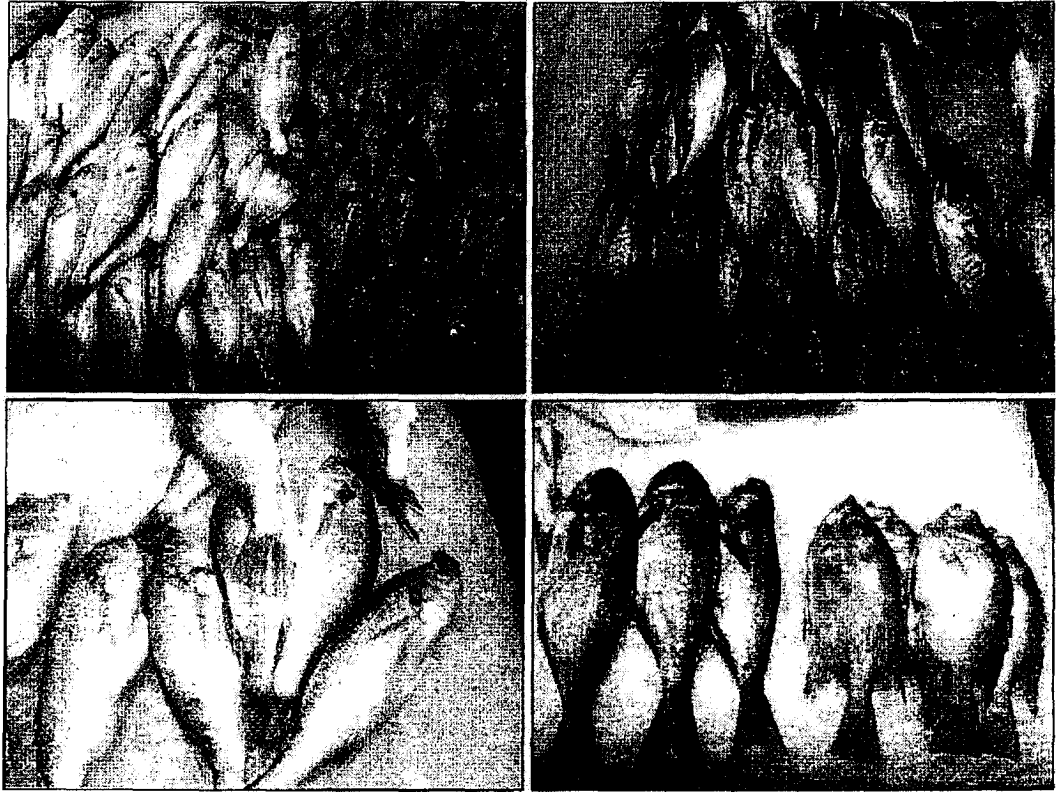


그림 39. 제주 연안에서 어획된 어류

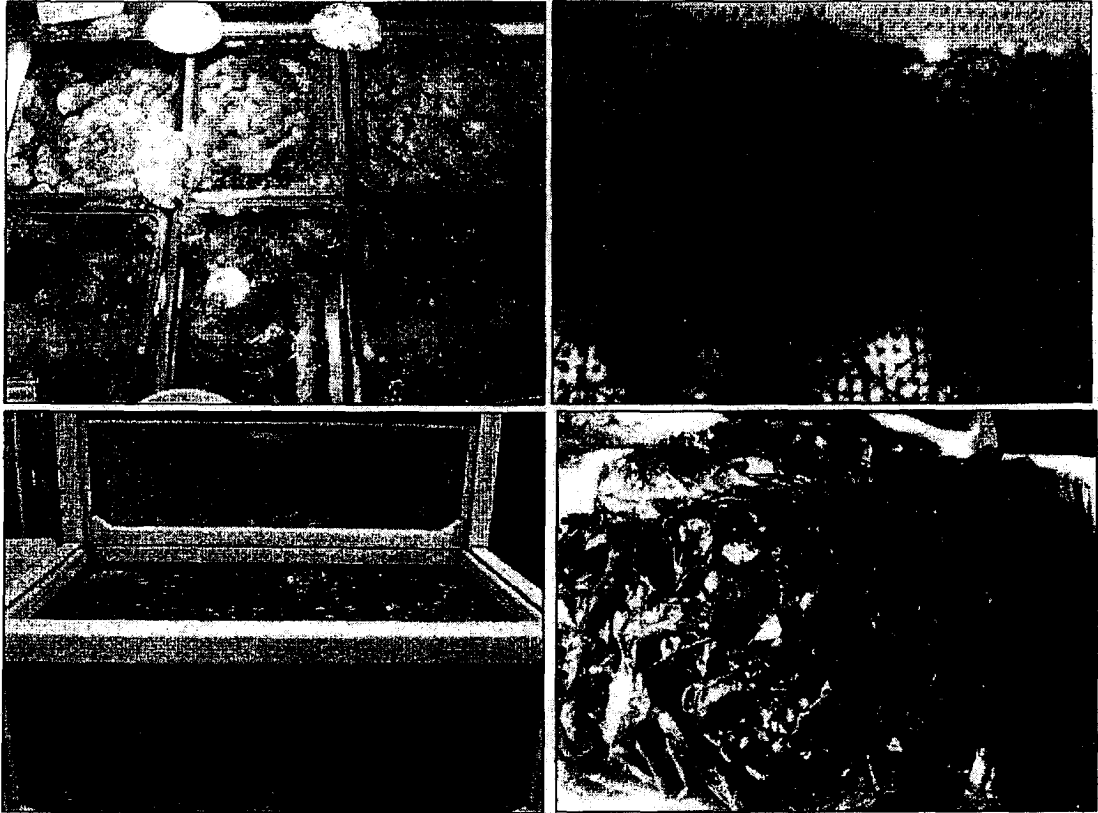


그림 3-10. 제주 연안에서 채취된 해조류 및 부척추동물

## 제 2 절 연구개발수행 결과

### 1. 양식장밀집지역의 해수 분석 및 저질 분석

해수 분석 결과 각 지점의 염분은 차이를 나타내지 않았지만 양식장 밀집지역과 일반지역 간에 수온과 pH는 차이를 나타내었으며 저질 유기물 측정 결과 또한 뚜렷한 차이를 나타내었다. pH의 경우 일반지역에 비해 양식장 밀집지역의 값이 비교적 낮은 값을 보였다. pH의 값은 양식장 밀집지역의 경우 7.3~7.8정도의 값을 보였으며 일반지역의 경우 7.9~8.2정도의 값이 측정되었다. 이러한 이유는 양식장에서 유입되는 유기물이 침전되어 부패하기 때문으로 사료된다. 저질 유기물 함량 측정 결과 일반지역의 경우 저질 내 유기물함량이 20~30% 범위의 값을 보였으며 양식장 밀집지역의 경우 60~70% 범위의 값을 나타내었다. 이 결과는 양식장에서 배출수와 함께 흘러나오는 유기물이 연안 저질에 다량 축적되고 있다는 것을 짐작할 수 있게 하는 증거이며 또한 양식장 밀집지역의 상대적으로 높은 pH값에 대한 이유를 뒷받침 할 수 있는 결과이다. 수온은 하계의 경우 양식장 밀집지역이 상대적으로 낮은 수온이 측정되었으며 동계의 경우 반대 경향이 나타났다. 수온의 측정값은 양식장밀집지역과 일반지역 간에 하계에는 1~2℃정도의 차이를 보였으며 동계의 경우 약 1℃정도의 차이를 나타냈다. 이는 양식장에서 사용하는 지하 해수의 영향으로 사료된다. 지하해수의 수온은 16~18℃의 범위를 나타내며 연중 수온의 변화가 매우 적다. 때문에 제주도 육상수조식 양식장에서는 계절별 수온의 변화를 조절하기 위한 방법의 하나로 지하해수를 사용하고 있다.

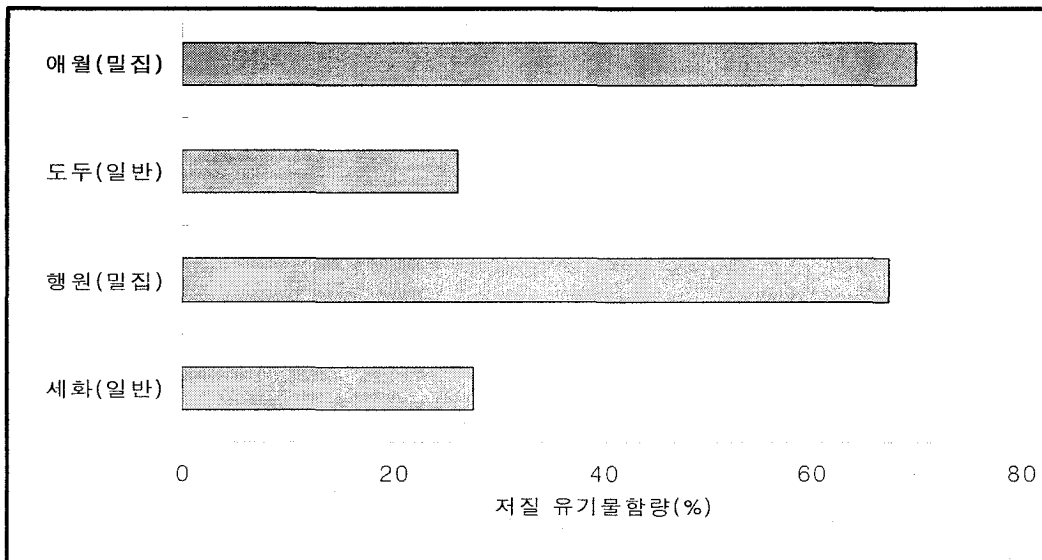


그림 3-11. 저질 유기물 함량 측정결과

화학적산소요구량(COD), 용존산소(DO), 총무기질소(TIN), 암모니아질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ), 아질산질소( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ), 질산질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ), 인산염인, 부유물질(SS)분석 결과의 대부분은 양식장 밀집 지역과 일반지역 간에 뚜렷한 차이를 보였으나 8월의 경우 큰 차이가 나타나지 않았다. 이것은 채집 및 운송과정에서의 문제로 생각되어 진다. 먼저 화학적산소요구량은 각 지역 간에 별다른 경향을 보이지 않았으며 측정값 역시 대부분 2.0ppm 이내로 해수 수질등급을 기준으로 1~2등급에 해당하는 값을 보였다. 해수 내 총 무기질소 함량의 경우 월, 계절에 관계없이 양식장밀집지역이 일반지역보다 뚜렷하게 높은 값을 나타내었다. 이것은 양식장에서 고밀도로 사육되는 어류의 대사활동에 의한 것으로 사료된다. 총 무기질소 함량은 수질상태를 파악하는 주요지표이며 생물에게 직접적으로 악영향을 줄 수 있는 요인이다. 부유물질의 경우 역시 밀집지역에서 높은 값을 보였다. 부유물질은 유기질 및 무기질이 고형상태로 있는 것을 말하며 부유물질이 높을 경우 물의 탁도를 높이고 유기질이 생물 분해되면서 용존산소가 줄어들어 주변 생태계에 영향을 미치게 된다. 양식장 밀집지역의 부유물질이 높은 원인은 배출수와 함께 흘러나오는 사료찌꺼기 및 배설물에 의한 것으로 사료된다.

제주도 양식장밀집지역과 일반지역의 수질분석 비교결과 부유물질(SS), 총 무기질소(TIN), 인산염인의 항목을 제외한 다른 항목에서는 양식장 배출수에 의한 별다른 영향이 관찰되지 않았다. 또한 모든 분석항목의 값이 해수수질등급 1~2등급에 해당하는 값을 보였다. 이로 미루어 볼 때 아직까지는 양식장 배출수가 연안 수질에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 하지만 양식장 밀집지역과 일반지역 사이에 수질오염의 지표로 사용되는 부유물질(SS), 총 무기질소(TIN) 인산염인 분석항목에서 상대적인 차이를 보인 것을 감안할 때 앞으로 연안 수질이 오염될 가능성이 있다고 할 수 있다. 즉 해양 생태계 내에서 스스로 정화 할 수 있는 한계점을 점차 넘어서고 있는 것이다. 제주도는 감귤산업과 더불어 어류 양식업이 중요한 1차 산업으로 자리 잡고 있으며 전국적으로 가장 많은 넙치를 생산하고 있다. 현재 제주도 전역에 걸쳐 225개의 육상수조식 양식장이 허가를 받아 운영하고 있다. 이와 같은 상황을 고려해 볼 때 연안 수질 오염의 가능성은 더욱 크다고 할 수 있다.

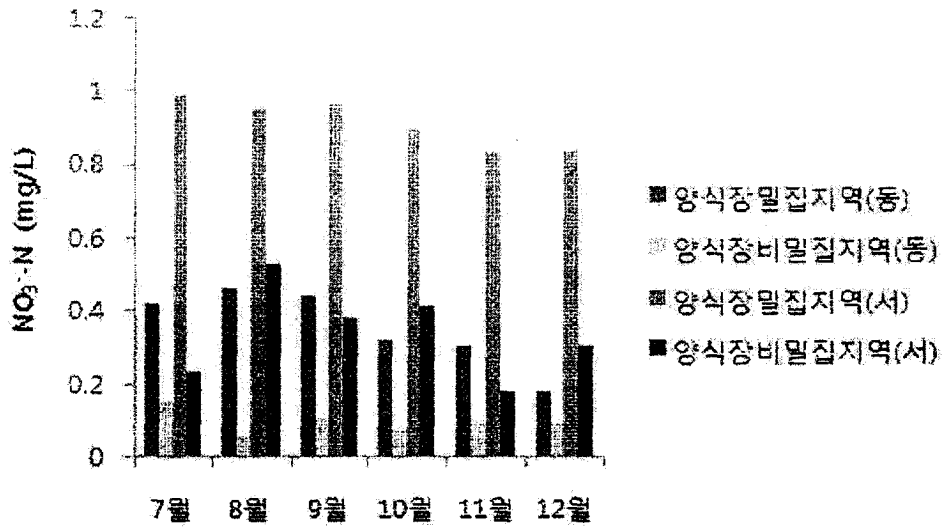


그림 3-12 질산질소 분석결과

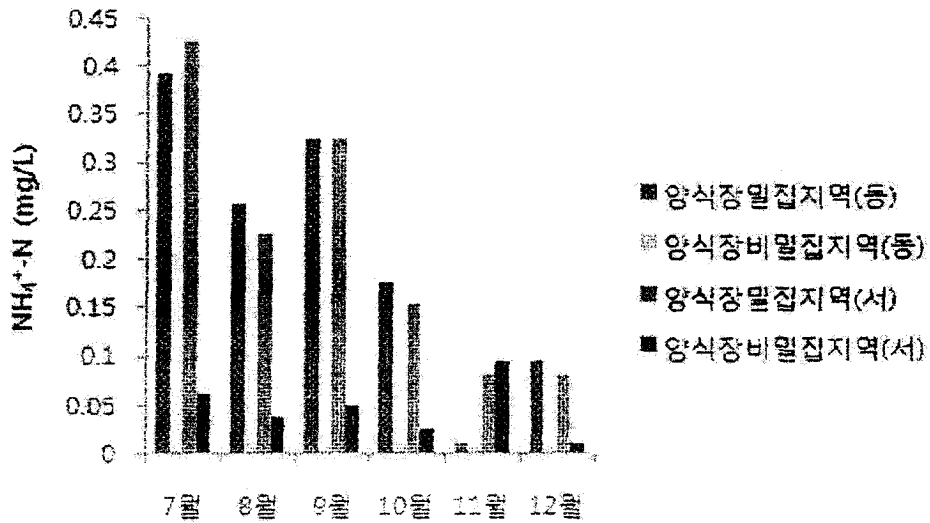


그림 3-13. 암모니아질소 분석결과



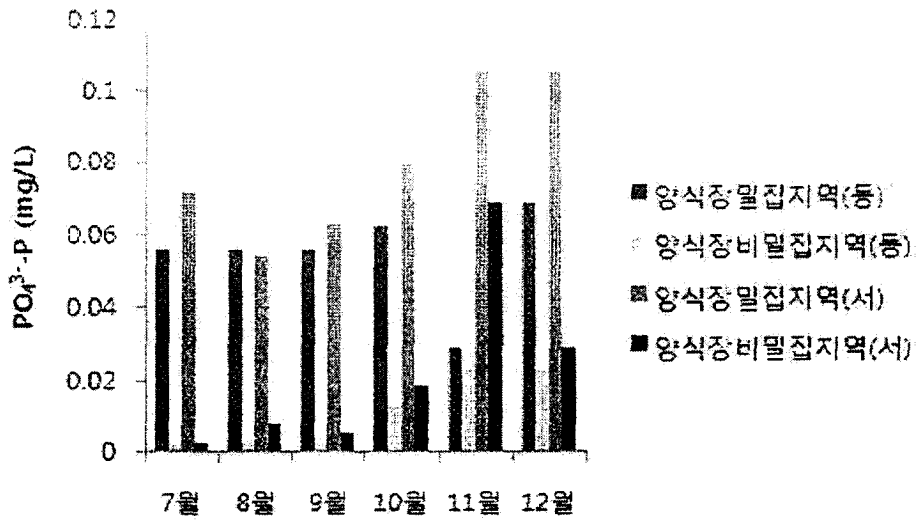


그림 3-14. 인산염인 분석결과

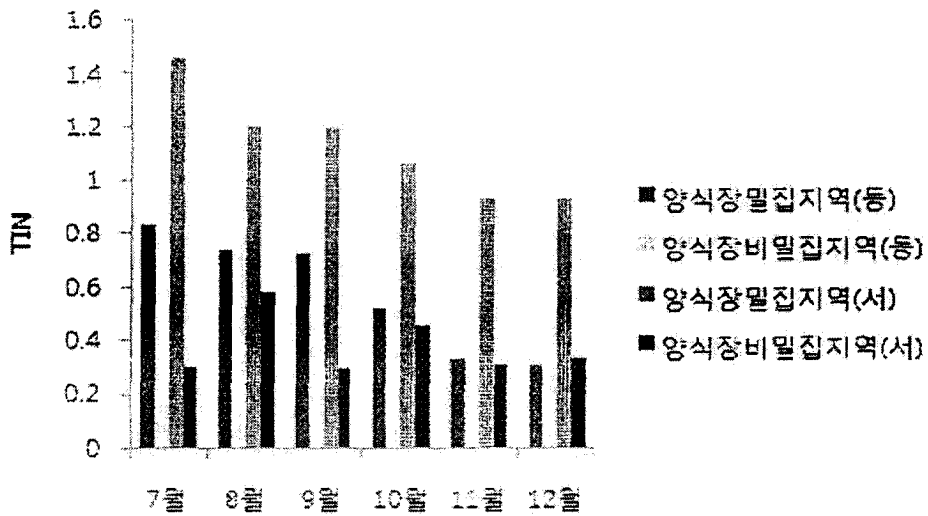


그림 3-15. 총 무기질소(TIN) 분석결과

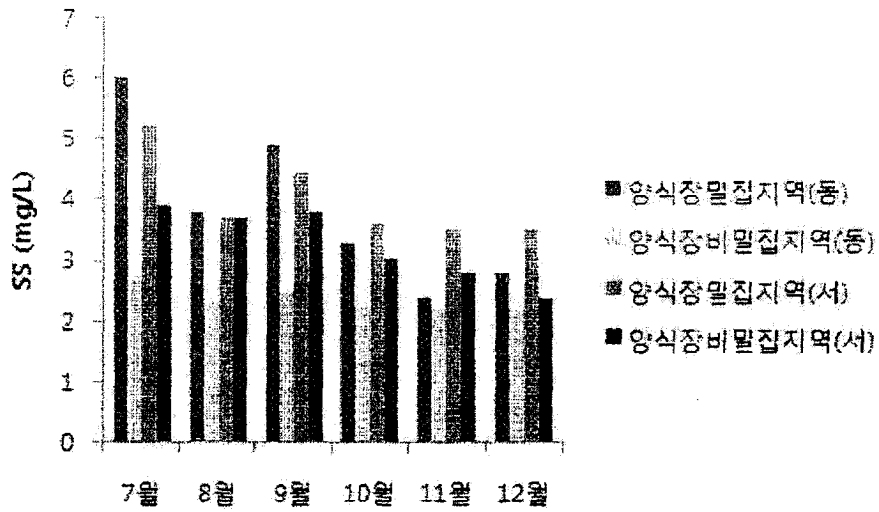


그림 3-16. 부유물질(SS) 분석결과

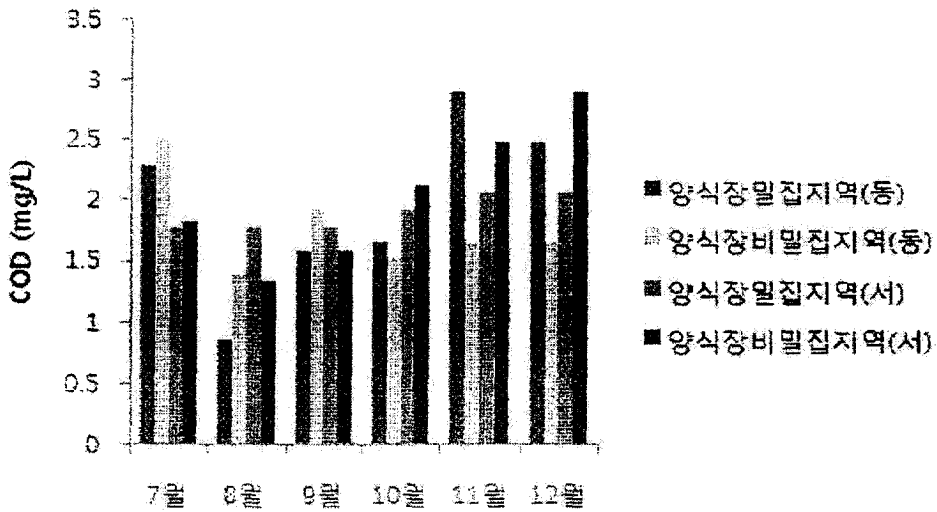


그림 3-17. 화학적산소요구량(COD) 분석결과

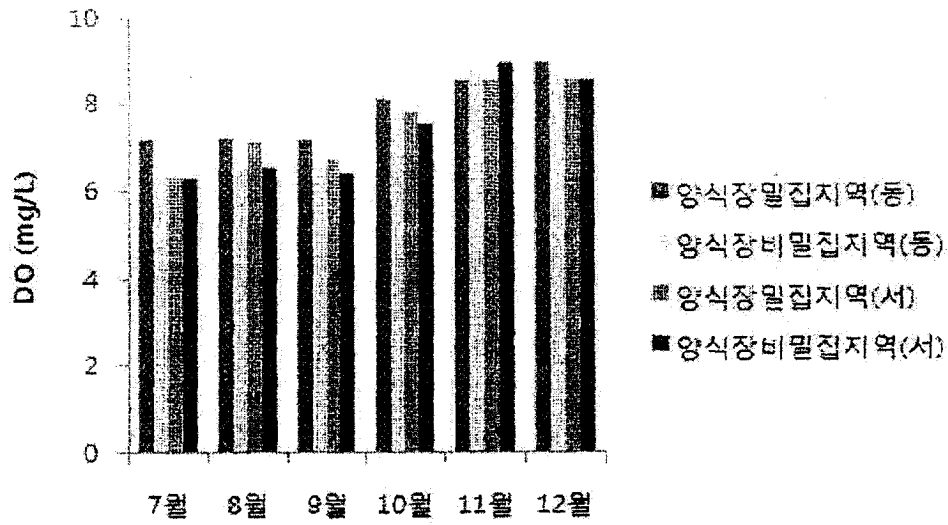


그림 3-18. 용존산소(DO) 분석결과

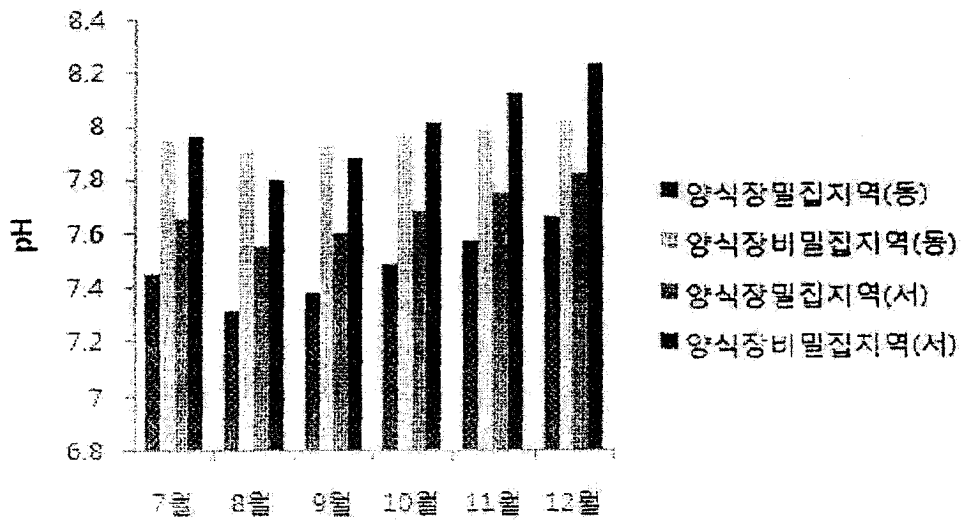


그림 3-19. 수소이온농도(pH) 분석결과

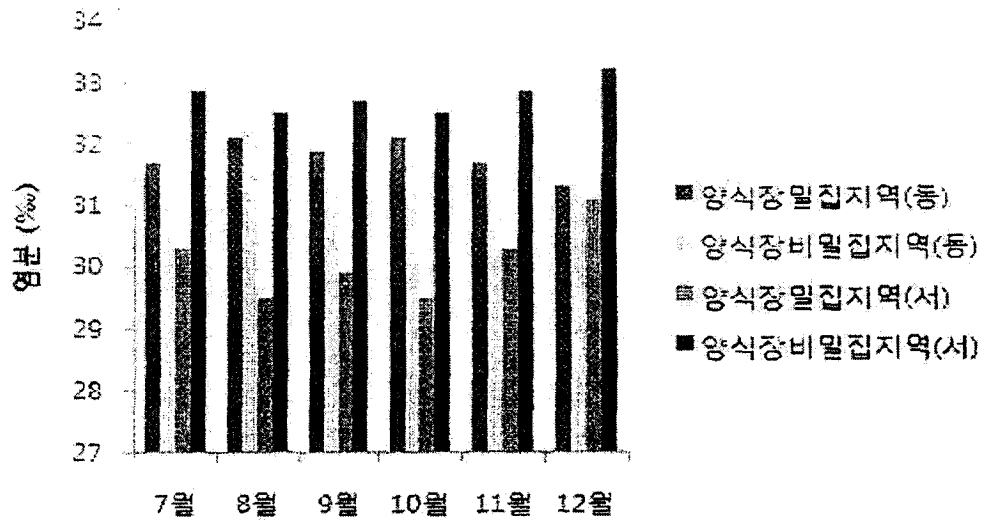


그림 3-20. 임분 분석결과

## 2. 수생환경 모니터링

수생환경 모니터링을 통해 관찰된 결과는 다음과 같다. 모든 조사지점의 해저지형은 완만한 암반지대와 모래지대가 혼합된 지형을 이루고 있었으며 관찰지점의 수심은 평균 6~9m 정도였다. 해조류군락의 경우 일반지역(W1, E1)이 양식장밀집지역(W2, E2)에 비해 잘 발달되어 있었다. 특히 양식장 배수구와 인접한 지점은 해조류 군락이 존재하지 않았으며 일부 개체만이 간헐적으로 관찰되었다. 이와 같은 현상은 그림 3-20에서 보는 바와 같이 양식장 밀집지역의 암반에 퇴적된 유기물에 의한 것으로 사료된다. 해조류는 광합성에 의해 에너지를 생산하여 살아간다. 때문에 유기물이 다량으로 유입되는 양식장배수구 인근해역은 해조류가 생존하기에 부적절한 환경을 제공한다 할 수 있겠다.

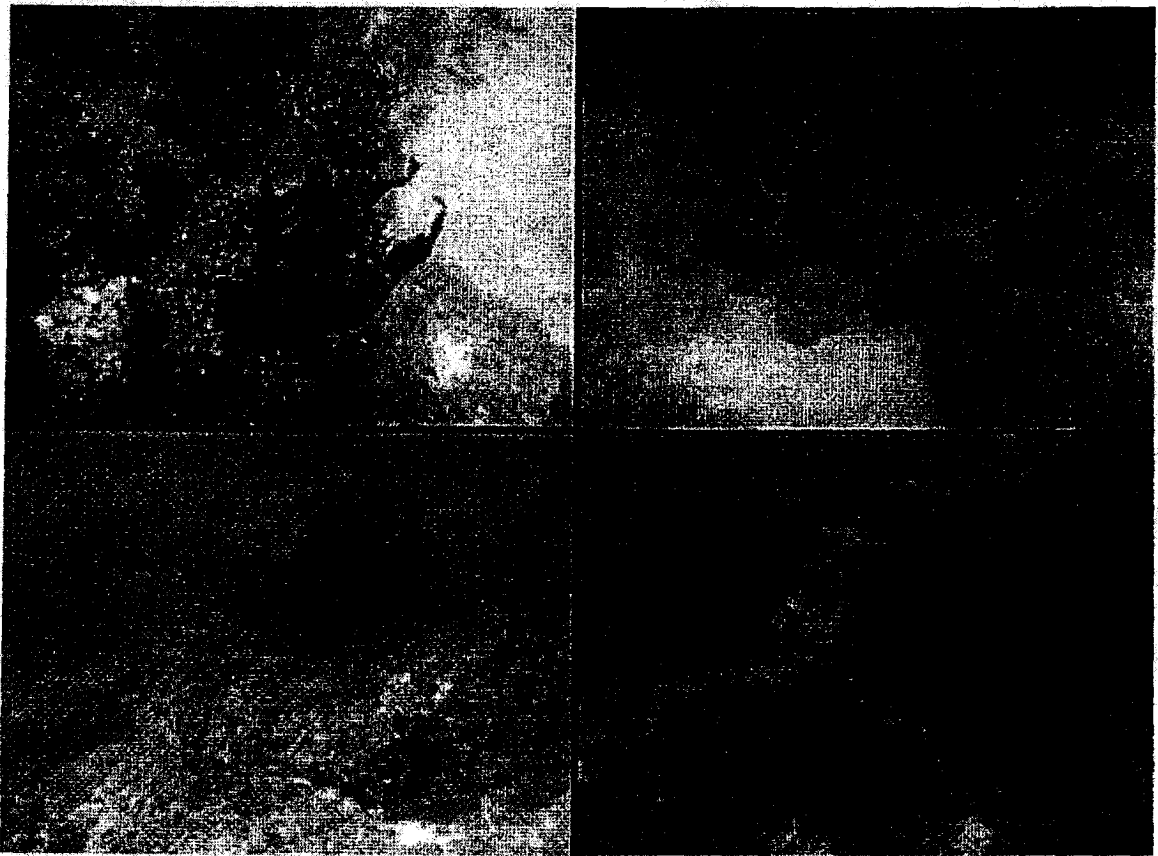


그림 3-21. 양식장밀집지역 수중촬영 사진

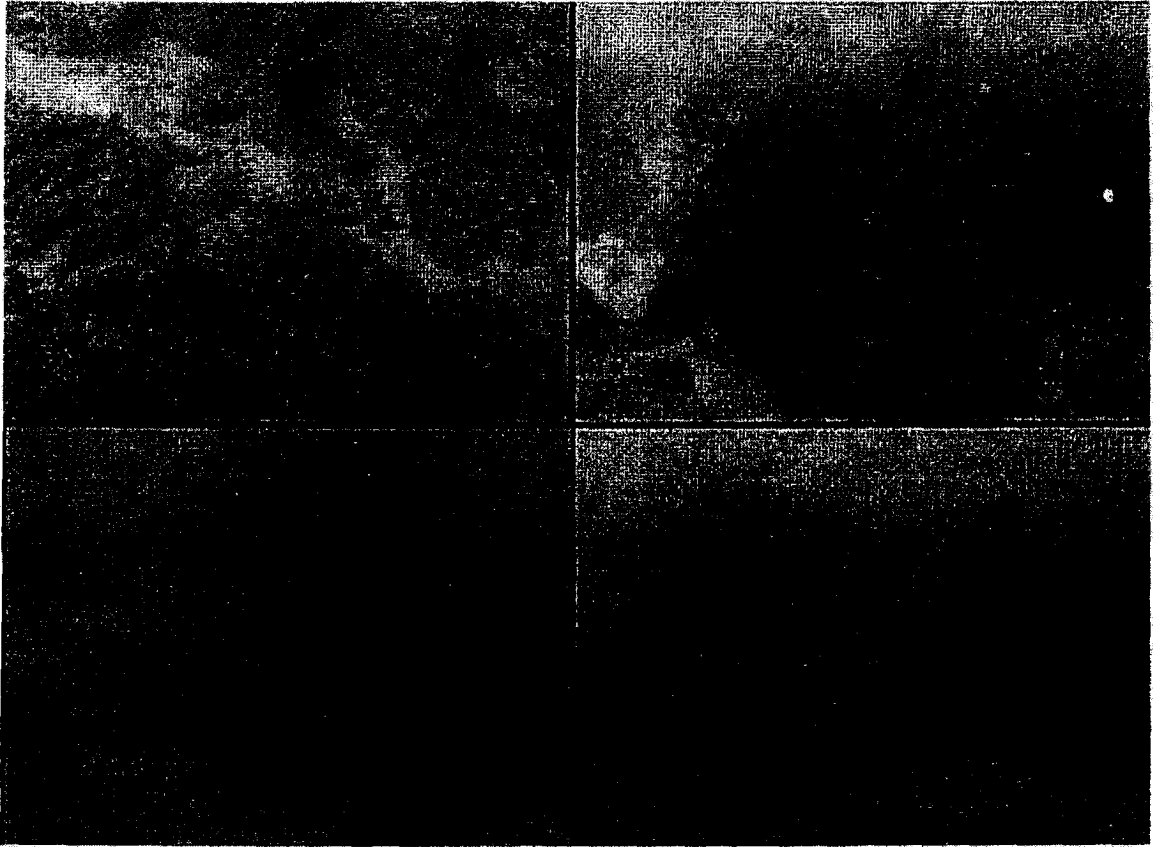


그림 3-22 일반지역 수중촬영사진

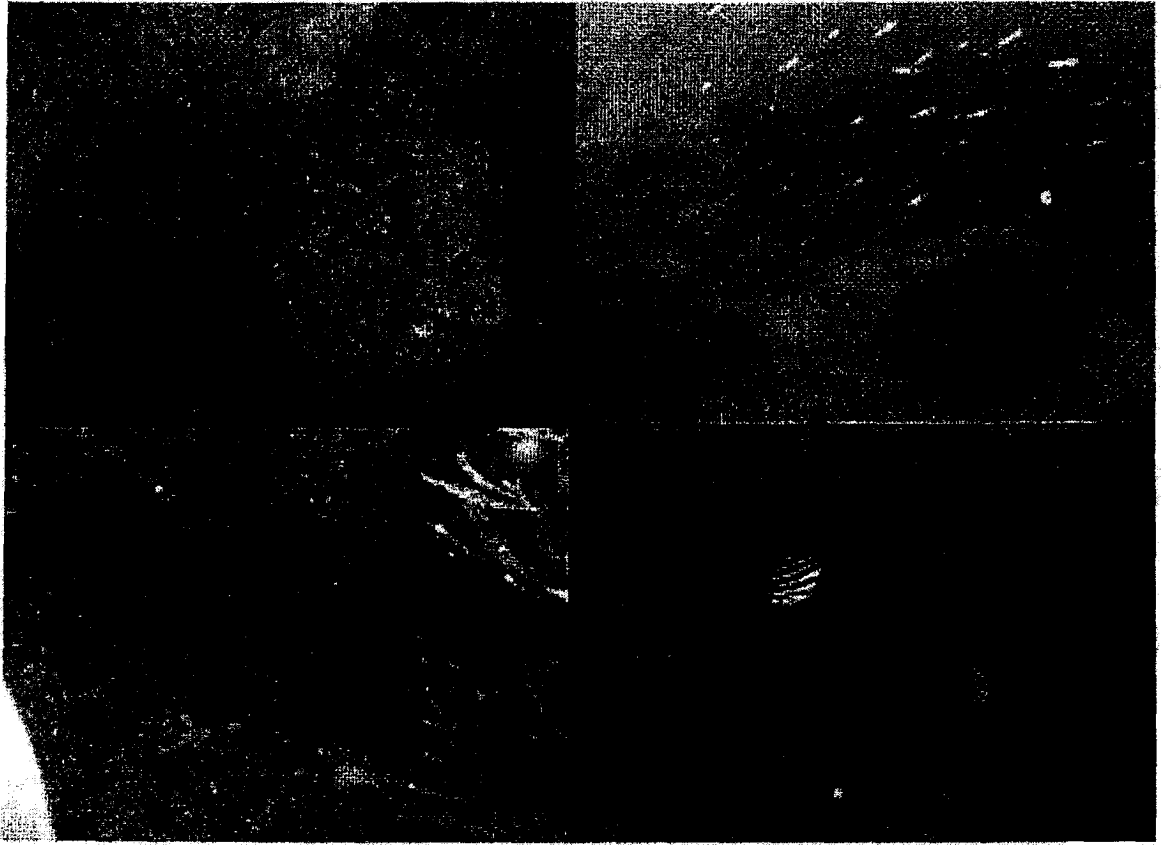


그림 3-23. 조사지역의 어류사진

표 3-2. 조사지점에서 관찰된 어류

조사시기	조사지점			
	W1	W2	E1	E2
하계 (7, 8월)	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 꺾치( <i>Stephanolepis cirrhifer</i> ) 송어( <i>Mugil cephalus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> )	벵에돔( <i>Girella punctata</i> ) 자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 거북복 ( <i>Ostracion immaeulatus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )	송어( <i>Mugil cephalus</i> ) 자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 꺾치( <i>Stephanolepis cirrhifer</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 어랭놀래기 ( <i>Pteragogus flagellifer</i> )	벵에돔( <i>Girella punctata</i> ) 자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 거북복 ( <i>Ostracion immaeulatus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )
추계 (9, 10월)	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 송어( <i>Mugil cephalus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> )	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 돌돔( <i>Oplegnathus fasciatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 거북복 ( <i>Ostracion immaeulatus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 어랭놀래기 ( <i>Pteragogus flagellifer</i> )	벵에돔( <i>Girella punctata</i> ) 자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 범돔( <i>Microcanthus strigatus</i> ) 돌돔( <i>Oplegnathus fasciatus</i> ) 독가시치( <i>Siganus fuscescens</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )
동계 (12월)	용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 어랭놀래기 ( <i>Pteragogus flagellifer</i> )	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 돌돔( <i>Oplegnathus fasciatus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )	자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> )	벵에돔( <i>Girella punctata</i> ) 자리돔( <i>Chromis notatus</i> ) 송어( <i>Mugil cephalus</i> ) 용치놀래기 ( <i>Halichoeres poecilopterus</i> ) 놀래기 ( <i>Halichoeres tenuispinnis</i> ) 탁자블락 ( <i>Sebastes taczanowskii</i> )

표 3-2는 각 조사지점에서 관찰된 어류 목록을 보여주고 있다. 각 조사지점에서 대부분 동일한 종이 출현하는 것을 알 수 있으며 계절에 따른 차이를 보이지 않았다. 하지만 출현 종수는 하계나 추계에 비해 상대적으로 수온이 낮은 동계에 다소 적게 출현하는 현상을 보였다. 양식장밀집지역(W1, E1)과 일반지역(W2, E2)의 관계를 살펴보면 일반지역에 출현하는 어류의 종 다양성과 개체수가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 어류에게 은신처를 제공하고 산란장 및 성육장 역할을 하는 해조류 군락이 잘 형성되어있지 않기 때문인 것으로 판단된다. 육식성 어류의 먹이가 되는 소형어류의 경우 포식자의 공격을 피하기 위한 은신처가 필수적으로 요구된다. 그러므로 은신처가 형성되지 않은 지역은 피식자의 서식장소를 제공하지 못한다. 이에 따라 소형어류를 포식하는 육식성어류들 또한 섭식할 먹이가 존재하지 않는 지역에 서식하지 않는 것이다. 이러한 일련의 현상들은 기본적인 생태계의 원리에 의해 나타나는 것이다. 따라서 양식장밀집지역 연안 생태계



를 원활히 유지하기 위해서는 양식장으로부터 유입되는 사료찌꺼기와 배설물 같은 유기물질들을 효과적으로 처리하여야한다.

대부분의 제주도 어류 양식장에서는 양식 어류에게 생사료를 공급한다. 생사료는 어류에게 공급되어질 때 그 물리적 특성에 의해 풀림현상이 많이 일어난다. 따라서 어류가 섭취하지 않은 사료찌꺼기는 그대로 해수에 떨어져 연안으로 유입되게 되어 연안 해수의 수질을 악화시키는 역할을 하게 된다. 현재 유럽의 여러 양식 국가들은 생사료가 아닌 배합사료를 사용하고 있으며 배합사료는 생사료에 비해 보관 및 인력절감 등 여러 이점이 있지만 환경적인 측면에서 특히 뛰어나다. 배합사료는 생사료와는 달리 풀림 현상이 거의 없다. 그러므로 양식어류가 섭취하지 않은 사료를 그대로 회수 할 수 있기 때문에 사료찌꺼기가 연안으로 유입되는 현상을 최소화 할 수 있다. 이러한 환경적 이점에도 불구하고 우리나라에서는 아직까지 대부분 생사료를 사용하고 있는 실정이다. 정부에서도 배합사료 직불제와 같은 제도를 도입하여 배합사료 사용을 권장하고 있지만 양식어민들과의 엇갈린 이해관계로 인해 진척이 더딘 실정이다.

제주도는 지금까지 감귤이나 양식 산업 외에도 관광사업으로 많은 이윤을 추구하고 있다. 이러한 이윤추구가 가능한 것은 제주가 지닌 천혜의 자연환경 때문이다. 따라서 앞으로의 제주발전을 위해서는 민관이 협력하여 생태환경을 보전할 수 있는 기틀을 마련하여야 한다. 그러기 위해서는 장기적인 생태 조사와 환경감시시스템을 통한 DB구축이 요구된다. 이렇게 실질적이고 과학적인 자료를 축적하여 이를 어업 및 양식업에 종사하는 어민들에게 제시한다면 보다 좋은 이해관계를 형성할 수 있을 것이며 이를 발판으로 양식장 환경개선 제도의 설치와 같은 실제적인 생태계 보전 대책을 강구할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3. 어류의 영양학적 분석

어류의 영양학적 분석에 사용된 어류는 점감팽(*Scorpaena onaria*), 보구치(*Pennahia argentata*), 전갱이(*Trachurus japonicus*), 고등어(*Scomber australasicus*), 빨돔(*Cookeolus japonicus*), 붉은쏨뱅이(*Sebastiscus tertius*) 총 6종이다. 점감팽과 붉은쏨뱅이는 제주도 연안 암초지대에 서식하는 어종으로 주로 어류 및 갑각류를 섭식하는 육식성 어종이다. 전갱이와 고등어는 표층을 유영하는 부어류로서 주로 난바다곤쟁이류, 요각류, 갑각류 유생, 소형 어류를 섭식하는 것으로 알려져 있다. 보구치는 모래와 갯벌지역의 저층부에서 서식하며 새우류, 게류, 소형어류 등을 섭식한다. 빨돔은 우리나라 남해안, 일본 남부 등지에 서식하는 저서성 어종으로 갑각류와 어류를 섭식하는 육식성 어종이다. 이와 같이 분석에 사용된 어류들은 최대한 넓은 범위의 분석이 이루어질 수 있도록 서식지역이 상이한 어종을 이용하였다. 분석된 어류들의 위 내용물의 단백질과 지방 분석 결과는 그림 3-24와 같다. 단백질과 지방은 어류의 성장 및 대사에 이용되는 주 에너지원으로 그 중에서도 단

백질을 가장 효율적으로 이용하는 것으로 알려져 있다. 분석된 모든 어종에 있어서 계절에 따른 위 내용물의 단백질 및 지방함량은 차이를 보이지 않았다. 위 내용물의 중량 측정 결과는 각 개체별로 차이를 보였으며 채집시기에 따른 차이 또한 나타났다. 위내용물 중량 측정시 많은 개체가 공복상태로 채집된 것을 알 수 있었다. 이는 어류가 어획되는 과정 중 발생하는 스트레스에 의한 것, 또는 이미 소화가 많이 진행된 상태로 어획된 것으로 판단된다. 따라서 위 내용물의 개체, 계절간의 중량차이는 환경적 영향에 의한 것이라 판단하기 어렵다.

분석결과 전체적으로 모든 어종들은 제주 연안 생태계 내에서 성장 및 대사활동에 필요한 단백질을 충분히 보충하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 미루어 볼때 먹이사슬 관계에 있어서 하위 생물인 소형 갑각류, 소형어류, 난바다곤쟁이류, 요각류 등이 제주 연안 생태계에서 충분히 공급되어 지고 있다고 판단된다. 현재까지 연구되어진 해수어 및 담수어의 경우 (Nutrient requirements of fish, 1993) 전체 먹이 내 단백질 양이 30~55%라고 보고하였다. 이러한 보고 결과와 비교하였을 때 채집된 어류들의 위 내용물의 건 중량 단백질 함량이 어류의 필수 요구량을 충족시키고 있는 것으로 나타났다. 따라서 현재 제주 연안의 생태환경내 먹이사슬은 원활히 유지되고 있다고 사료된다.

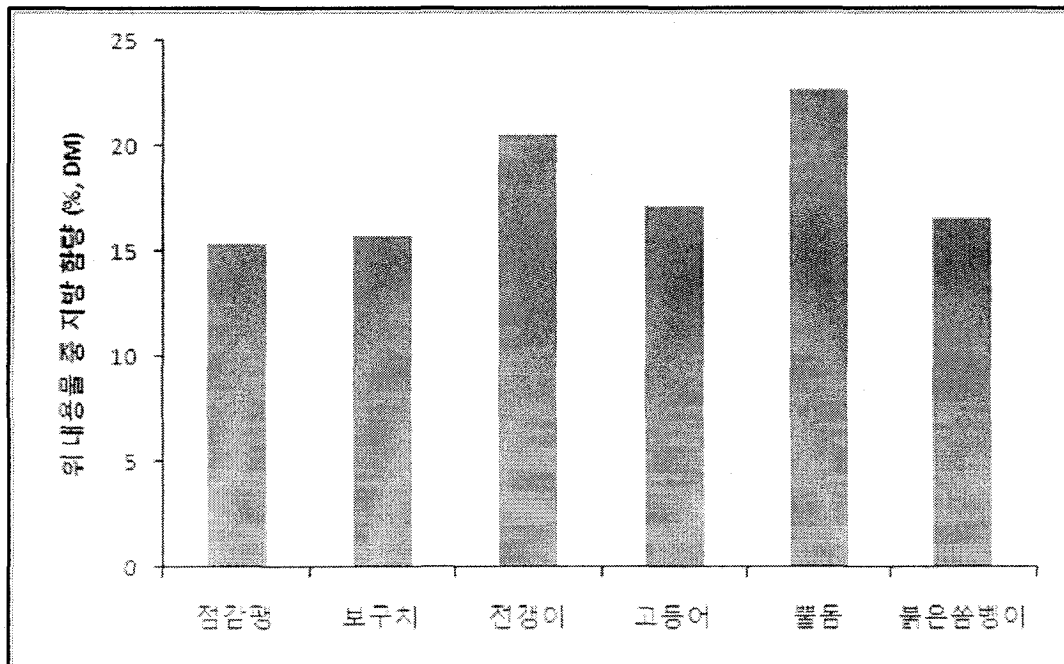
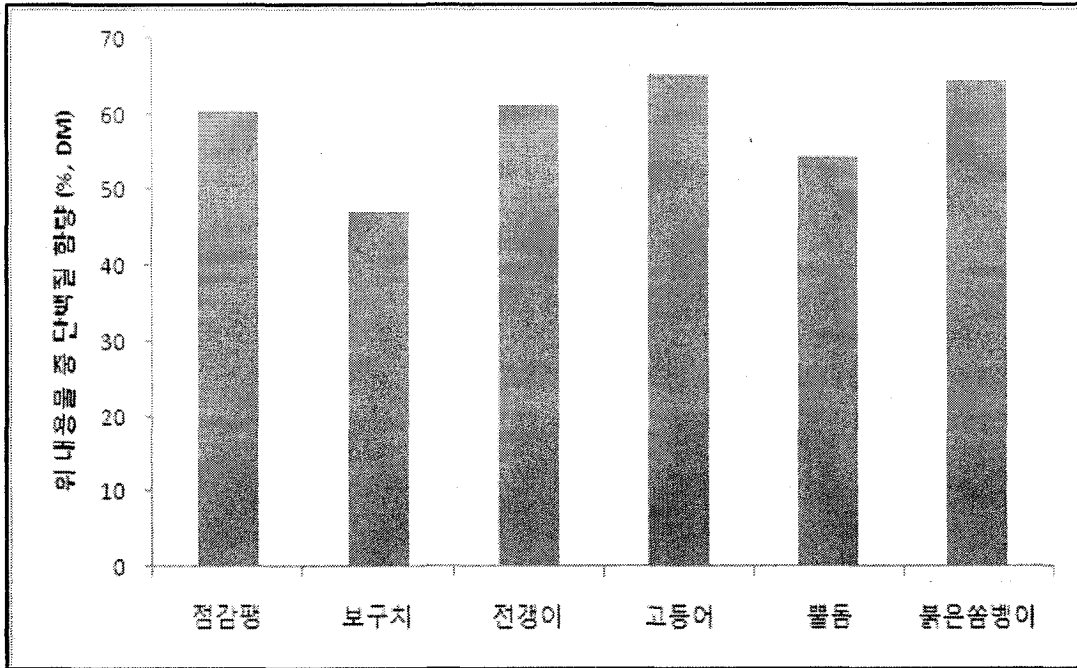


그림 3-24. 위 내용물의 단백질 및 지방 함량

## 제 4 장 연구개발 목표달성도

본 연구의 최종 목표는 제주 연안 수생환경의 기초 자료 구축하기 위한 것이다. 연구목표를 달성하기 위해 다음과 같은 조사 및 분석을 실시하였다.

- 양식장 배출수가 제주 연안에 미치는 영향 조사
- 스킨스쿠버 다이빙을 통한 수생환경 모니터링
- 어획된 어류의 위 내용물을 통한 영양학적 분석

먼저 제주 연안의 양식장밀집지역과 일반지역을 대상으로 한 수질분석결과 아직까지 제주연안의 수질은 오염되지 않았다는 것을 알 수 있었다. 하지만 양식장이 존재하지 않는 일반지역에 비해서는 상대적으로 좋지 않은 수질상태를 나타냈다. 이를 통해 양식장 배출수에 의한 제주 연안의 오염 가능성을 판단할 수 있었다. 또한 스킨스쿠버 다이빙을 통한 수생환경 모니터링 결과 양식장밀집지역 연안의 해양생물이 일반지역에 비해 서식 밀도가 비교적 낮다는 것을 알 수 있었으며 관찰 결과 배출수와 함께 유입되는 유기부유물의 퇴적에 의한 해조류 군락 소멸로 이러한 현상이 나타난 것이라는 추측을 할 수 있었다. 마지막으로 제주 연안에서 어획된 어류의 위 내용물을 통한 영양학적 분석을 한 결과 제주연안에 서식하는 어류의 영양적 섭이상태가 양호한 것으로 나타났다. 이는 생태계 먹이사슬이 전반적으로 원활하게 순환되고 있다는 것을 짐작할 수 있게 했다. 이와 같은 결과를 토대로 제주연안 생태환경의 지속적인 모니터링의 필요성과 체계적인 환경감시시스템의 구축, 민관협력을 통한 양식장 환경개선 제도의 설치를 제시함으로써 본 연구의 목표를 달성하였다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구의 수행으로 얻어진 제주도 연안 환경에 대한 자료는 먼저 추후에 진행될 연구 및 사업에 있어서 참고 자료로 활용 될 수 있으며 또한 해양과 관련된 바다 목장화 사업이나 해양을 이용한 레저, 관광과 같은 3차 산업을 추진하는데 도움이 되는 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

최근 해양 환경의 변화로 인해 제주 연안의 서식생물이 감소, 새로운 종이 서식하는 등 생태계에 많은 변화가 일어나고 있다. 이러한 제주연안 환경의 변화는 최근 추진되고 있는 바다 목장화 사업에 있어서 중요한 요인으로 작용될 것이다. 바다 목장화 사업은 입지선정 및 대상어종 선택 등의 사전 계획이 매우 중요하다. 해당지역의 환경적 요건을 고려하여 그에 맞는 어종을 선정하여야만 효과적으로 사업을 진행할 수 있다. 연안 환경에 대한 조사 자료들은 이와 같은 사업 진행에 있어 많은 정보를 제공 할 것이다. 따라서 본 연구 결과를 바탕으로 하여 보다 심층적이고 장기적인 연안 환경 조사가 수행된다면 보다 효과적으로 바다 목장화 사업을 추진하는데 할 수 있을 것이며 사업계획에 소요되는 사업비를 절감할 수 있을 것이다. 이는 어민들의 소득증대에 기여할 뿐만 아니라 수산물 가공업체들의 유치를 통해 제주도 경제에 긍정적인 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

제주도는 지형학적으로 육지와는 다른 환경을 지니고 있다. 이는 육상뿐만 아니라 해양에서도 마찬가지이다. 더불어 제주도는 사면이 바다로 둘러싸인 섬이라는 환경적 요인으로 인해 바다에 대한 중요성이 매우 크다고 할 수 있다. 하지만 이런 중요성에도 불구하고 아직 장기적인 조사에 의한 기초 자료가 많이 미흡한 상황이다. 10개월이라는 단기간에 걸쳐 수행된 본 연구의 결과들은 제주도 연안 환경을 파악하는데 참고자료로 활용될 수 있으나 변화되어가는 해양환경을 정확히 이해하는데 무리가 있다. 해양환경은 여러 요인에 의해 영향을 받고 그 영향들이 축적됨에 따라 점차적으로 변화되어간다. 이러한 해양환경의 변화를 예측하고 정확히 이해하기 위해서는 앞서 말한 바와 같이 장기적이고 보다 다양한 측면에서 환경조사를 실시하여 구체적인 자료를 수집해야 할 것이다. 이러한 연구들이 수행된다면 제주도의 특성에 맞는 새로운 해양 환경 연구의 기준을 세울 수 있을 것이며 보다 체계적인 환경보전 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

제주도는 지역적 특성으로 인해 각 해안별로 많은 어촌계들이 조직되어 해당 연안 지역을 관리하고 있다. 이처럼 잘 조직된 어촌계들과 협력하여 제주 연안에 대한 환경관리 체계를 구축한다면 보다 효율적으로 연안 생태계를 보전 할 수 있을 것이다. 하지만 어촌계에 소속되어 어업에 종사하는 어민들은 아직까지 연안 환경보호에 대한 중요성을 인식하지 못하고 있는 실정이다. 이는 어민들이 현재 제주 연안 환경의 실질적인 상태에 대한 정보를 접하지 못해 그 상황을 모르기 때문이라 생각된다. 따라서 본 연구를 통해 도출된 자료들을 어민들에게 공개하여 현재 제주 연안의 상태를 인식시키고 그에 따른 연안 환경 보호의 중요성을 홍보하여 어민들이 자발적으로 협력 할

수 있도록 유도해야할 것이다. 그러기 위해서는 정기적으로 대화를 나눌수 있는 회의를 개최하여 점진적으로 어민들과 유대관계를 쌓는 것이 중요하다 여겨진다.

본 연구 통해 얻어진 자료들은 제주 연안에 서식하는 특정 생물에 대한 연구와 해양 환경과 관련된 사업에 기초 정보를 제공 할 것이다. 비록 10개월이라는 단기간에 걸쳐 얻어진 연구결과들이 현재 제주 연안 환경을 모두 설명 할 수는 없겠지만 앞으로 진행될 제주도 연안 환경에 관한 연구가 지속적으로 수행될 수 있는 계기를 마련하고 그러한 연구를 계획하는데 있어 중요한 기초자료를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 6 장      참고문헌

- Hyslop, E. J., 1980. Stomach contents analysis-a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17(4), 411-429.
- Harleb, C. F. and Moring, J. R., 1995. An improved gastric lavage device for removing stomach contents from live fish. *Fisheries Research* 24, 261-265.
- Cortes, E., 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54(3), 726-738.
- Kim, G. S. and Choi, Y. C., 2000. The Estimation of Environmental Capacity in the Southern Coastal Area of Cheju Island using an Ecosystem Model. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*. Vol.3, No.1, pp. 52-61.
- Choa, J. H. and Lee, J. B., 2000. Bioecological Characteristics of Coral Habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea 1. Environment Properties and Community Structures of Phytoplankton. *Journal of the Korean Society of Oceanography*. Vol.5, No.1, pp. 59-69.
- Lee et al., 2004. The Assessment of Trophic State and the Importance of Benthic Boundary Layer in the Southern Coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*. Vol.9, No.4, pp.179-195.
- Choi, Y. C. and Kim, J. S., 2006. Distribution of physico-chemical characteristics on the Development of Marine Ranching program in the Chagwi-Do coastal waters, Jeju Island. 한국해양환경공학회. 추계학술대회.
- Cha et al., 2004. Fluctuation Characteristic of Temperature and Salinity in Coastal Waters around Jeju Island. *J. Kor. Fish. Soc.* 36(3), 306-316.
- Choi et al., 2003. Fish Fauna of the Southern Coastal Waters in Jeju-do, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 15(2), 120~126.
- Go, Y. B. and Cho, S. H., 1997. Study on Fish Community in the Seagrass Belt around Cheju Island. *Korean J. Ichthyol.* 9(1), 48~60.

## 주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 해양과학기술연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 해양과학기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용을 대외적으로 발표 또는 공개할 수 없습니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

- 문의처 : 한국해양수산기술진흥원 TEL 02)3460-4000  
                  제주대학교 TEL 064)754-3423

R&D / \*\* -0000

(제주 연안의 영양적 환경조사) 연구보고서

- 발행일 / 2009. . .
- 발행처 / 제주대학교  
                  제주특별자치도 제주시 아라1동 제주대학교 해양과학대학  
                  TEL : 064-754-3423(대)
- 인쇄처 / 000