

博士學位論文

濟州島 沿岸域 浮游 및 附着 微細藻類의  
生態學的 研究



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 大學院

海 洋 學 科

左 宗 憲

2003年 12月

# 濟州島 沿岸域 浮游 및 附着 微細藻類의 生態學的 研究

指導教授 李 峻 佰

左 宗 憲

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함.

2003年 12月

左宗憲의 理學 博士學位 論文을 認准함.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長

高 有 峰



委 員

李 晉 煥



委 員

崔 仲 基



委 員

최 영 찬



委 員

이 준 희



濟州大學校 大學院

2003年 12月

**Ecological Studies of Planktonic and Attached  
Microalgae in the Coastal Area  
of Jeju Island**

**Jong-Hun Choa**

**(Supervised by Professor Joon-Baek Lee)**



**제주대학교 중앙도서관**  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL  
FULFILLMENT  
OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF PHILOSOPHY**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**December 2003**

# 목 차

List of Figures -----	iv
List of Table -----	viii
요 약 -----	ix
Summary -----	xiii
총 문 -----	1
<b>I. 제주도 중문 연안역 부유 미세조류의 생물량 분포 특성</b>	
1. 연구배경 및 목적 -----	5
2. 재료 및 방법 -----	6
2.1. 조사시기 및 조사정점 -----	6
2.2. 물리·화학적 분석 -----	6
2.3. 분류군별 현존량 -----	8
2.4. 크기별 엽록소량 -----	8
2.5. 일차생산력 측정 -----	10
2.6. 통계분석 -----	10
3. 결 과 -----	11
3.1. 물리·화학적 환경특성 -----	11
3.2. 크기별 chlorophyll <i>a</i> 의 분포 -----	23
3.3. 식물플랑크톤의 현존량분포 -----	27
3.4. 우점종의 계절적 천이 -----	31
3.5. 크기별 일차생산력 -----	33
3.6. 식물플랑크톤과 환경요인과의 상관관계 -----	35
4. 고 찰 -----	37

## II. 제주도 해안 부착 미세조류의 군집구조와 생태학적 특성

1. 연구배경 및 목적	45
2. 재료 및 방법	46
2.1. 조사 시기 및 정점	46
2.2. 시료의 채집	46
2.3. 물리·화학적 분석	46
2.4. 정량분석	49
2.5. 정성분석	49
2.6. Chlorophyll <i>a</i> 분석	49
2.7. 규조류의 종 분석 및 종다양성지수	49
3. 결 과	50
3.1. 물리·화학적 환경특성	50
3.2. 출현 종조성	53
3.3. 우점종의 계절적 천이	57
3.4. 부착형에 따른 종조성	59
3.5. Chlorophyll <i>a</i> 량의 변화	64
3.6. 현존량 변화	64
3.7. 종다양성지수	67
4. 고 찰	69

### III. 제주연안 갯녹음 해역의 부착 미세조류 생태특성

1. 연구배경 및 목적	77
2. 재료 및 방법	77
2.1. 조사 시기 및 정점	77
2.2. 채집방법	79
2.3. 물리·화학적 분석	79
2.4. 정량분석	79
2.5. 정성분석	82
2.6. Chlorophyll <i>a</i> 분석	82
3. 결 과	82
3.1. 물리·화학적 특성	82
3.2. 부착규조류의 현존량	87
3.3. Chlorophyll <i>a</i> 량의 변화	89
3.4. 부착규조류의 우점종 동태	91
4. 고 찰	93
종합결론 및 고찰	103

### IV. 참고문헌

112

### V. Appendix

I. Data

II. Systematic list

감사의 글

## List of Figures

- Fig. 1. Map showing the sampling stations in the study area ----- 7
- Fig. 2. Flow diagram showing the size fractionation of chlorophyll *a* ----- 9
- Fig. 3. Monthly variations of temperature (°C) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 12
- Fig. 4. Monthly variations of salinity (‰) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 13
- Fig. 5. Monthly variations of ammonia (μM) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 15
- Fig. 6. Monthly variations of nitrite (μM) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 16
- Fig. 7. Monthly variations of nitrate (μM) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 17
- Fig. 8. Monthly variations of phosphate (μM) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 19
- Fig. 9. Monthly variations of silicate (μM) in the study area from July 1997 to June 1999 ----- 20
- Fig. 10. Vertical distribution of chlorophyll *a* (μg chl-*a* · ℓ<sup>-1</sup>) in the study area

from July 1997 to June 1999 -----	25
Fig. 11. Chlorophyll <i>a</i> concentration of inshore and offshore for the size fraction -----	26
Fig. 12. Vertical distribution of standing crops ( $\times 10^4$ cells $\cdot \ell^{-1}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999 -----	29
Fig. 13. Mean standing crops of diatoms, dinoflagellates and phytoflagellates in the study area -----	30
Fig. 14. Seasonal succession of dominant species in the study area -----	32
Fig. 15. Map showing the sampling stations at the subtidal coast of Jeju Island. -----	47
Fig. 16. Diagram showing attachment plates in the study area -----	48
Fig. 17. Monthly variations of species number of attached diatoms in the study area -----	54
Fig. 18. Composition rate (%) of araphidinean and raphidinean diatoms in the study area -----	56
Fig. 19. Monthly succession of the dominant attached diatoms in the study area -----	58
Fig. 20. Diagram of the attached type by the extracellular polymeric substances (EPS) A, B: Stalks, C: tubes, D: Adhering films, E, F: Apical pads (Kawamura and Hirano 1992) -----	60

Fig. 21. Monthly variations of composition rate (%) of attached type by the EPS in the study area -----	62
Fig. 22. Variation of attached type by regional groups -----	63
Fig. 23. Monthly variation of standing crops of attached diatoms in the study area -----	65
Fig. 24. Monthly variation of chlorophyll <i>a</i> concentration of attached diatoms in the study area -----	66
Fig. 25. Map showing the sampling station at the subtidal coast of Jeju Island -----	78
Fig. 26. A scene to install sampling plates in the bottom and middle layer of the surveyed area -----	80
Fig. 27. Diatoms (A) and crustose coralline algae (B) on slides of experiment plates -----	81
Fig. 28. Monthly variation of water temperature (°C) and salinity (‰) in the study area -----	83
Fig. 29. Standing crops of attached diatoms on sampling slide glass in the study area -----	88
Fig. 30. Concentration of chlorophyll <i>a</i> on sampling slide glass in the study area -----	90
Fig. 31. Dominant ratio (%) of attached diatoms on sampling slide glass in study area -----	92

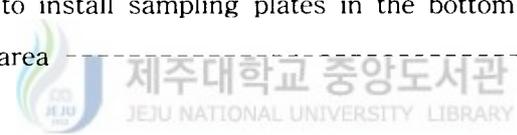


Fig. 32. Photos showing barren grounds (white phenomenon) at each depth of seawater in sublittoral zone (0M: Jungmun coast, 6M: whitening rock, 12M: whitening rock, 15M: whitening spot) -----	95
Fig. 33. Distribution of seaweed, herbivorous animal and microalgae in intertidal zone -----	96
Fig. 34. Growth stage of crustose coralline algae ( $\times 400$ ) -----	97
Fig. 35. Various benthic diatoms to grow on sampling plates (A: <i>Navicula</i> sp., B: <i>Licmophora</i> sp., C: <i>Cylindrotheca closterium</i> , D: <i>Achnanthes</i> sp., $\times 400$ ) -----	98
Fig. 36. Habitat competition of crustose coralline algae (white arrow) and attached diatoms (black arrow). ( $\times 400$ ) -----	99
Fig. 37. Growth type of crustose coralline algae -----	100
Fig. 38. Attached diatoms growing in a crustose coralline algae topside (The above diatoms contributing with useful feed resource of herbivorous animal in whitening coast) -----	101
Fig. 39. Various seaweeds growing on the surface of crustose coralline algae. ( $\times 200$ ) -----	102

## List of Tables

Table 1. N/P ratio and Si/P ratio c around Jungmun from August 1998 to June 1999 -----	22
Table 2. Primary productivity of phytoplankton around Jungmun from August 1998 to June 1999 -----	34
Table 3. Results of Pearson correlation coefficient matrix between standing crops and environmental variables in the study area -----	36
Table 4. Distribution of chlorophyll <i>a</i> concentrations of phytoplankton in different region of Korea -----	40
Table 5. Distribution of phytoplankton standing crops in different region of Korea -----	42
Table 6. Physical parameters and nutrient concentrations at the subtidal coast of Jeju Island from October 1997 to August 1998 -----	51
Table 7. List of attached diatoms classified by the EPS form at the subtidal coast of Jeju Island from September 1997 to August 1998 -----	61
Table 8. Monthly variations of Shannon-Wiener's species diversity ( $H'$ ) of attached diatoms in the study area -----	68
Table 9. Physical parameters and nutrient concentrations at the subtidal coast of Jeju Island from April 2002 to January 2003 -----	85
Table 10. N/P ratio and Si/P ratio from April 2002 to January 2003 -----	86

## 요 약

제주도 연안역 부유성 및 부착성 미세조류의 생태학적 특성을 파악하기 위하여 연구를 실시하였다.

I. 각종 개발과 연안역 이용이 가장 활발한 제주도 중문 연안 해역에 있어서 환경 변화에 따른 환경요인과 부유성 미세조류의 생물량 분포특성을 파악하기 위하여 1997년 7월부터 1999년 6월까지 6개 정점에서 매월 조사하였다. 연안해역의 6개 정점을 수심에 의해 수역을 구분하여 10m 이내인 정점들을 내해역(inshore), 10m 이상인 정점들을 외해역(offshore)으로 구분하여 나타내었다.

조사해역의 물리·화학적 환경특성을 살펴보면 평균수온은 내해역이 외해역보다  $0.85^{\circ}\text{C}$ 가 높고, 평균 염분농도는 외해역이 내해역보다  $0.29\text{‰}$ 이 높았다. 내해역은 표층과 저층이 수직적 혼합이 활발하여 수온과 염분의 분포 차이는 크게 나타나지 않았다. 외해역은 계절에 따라 수온과 염분이 변화하여 표층과 저층의 차이가 수온은 약  $10^{\circ}\text{C}$ , 염분은 약  $2\text{‰}$  정도로 큰 차이가 있었다.

영양염류 중 암모니아성 질소의 분포경향은 식물플랑크톤의 대발생시기에 모든 해역에서 낮아지는 분포를 보였다. 아질산성 질소의 분포경향은 동계에 증가를 하고 춘계와 추계에 감소하였으며, 평균농도는 내해역이 외해역보다 높았다. 질산성 질소는 식물플랑크톤의 대증식시기인 춘계와 추계가 동계와 하계보다 낮은 분포를 보였고, 평균농도는 내해역이 외해역보다 높았다. 인산 인의 분포경향은 하계에서 동계로 진행될수록 높은 분포를 나타냈고 춘계와 추계에 낮은 분포를 보였고, 평균농도는 외해역이 내해역보다 높았다. 규산성 규소의 분포양상은 춘계와 동계가 규조류의 대증식에 도 불구하고 하계와 추계보다 높은 분포를 보였고, 평균농도는 내해역이 외해역보다 높았다. 최 등(1989)의 보고에 의하면 제주도 해안선 주변역의 규산염의 농도는 제주도 남동쪽이 서쪽역보다 높고, 특히 석귀포 지역은 육상수의 유입으로 인해 타해역보다 높은 농도를 나타낸다는 결과와 유사한 특성이 있었다.

년 평균 N:P비는 23.4로 일반적인 해양의 Redfield 비인 16:1보다 높아 질산염보다 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자로 작용하고 있었다. 내해역은 식물플랑크톤이 대증식 시기에 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있지만 그 외의 계절에는 인산염

이 제한인자로 작용하고 있고 지속적으로 질산염이 유입되고 있음을 알 수 있다. 외해역은 식물플랑크톤의 대증식시기와 그 외 계절에도 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있어 내해역과는 다른 양상을 보여 주고 있었다. 년 평균 Si:P 비는 32.0으로 일반적인 해양의 Si:P 비인 15.0보다 높아 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있다.

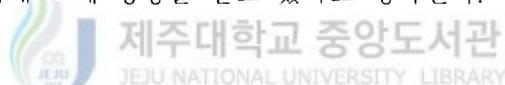
엽록소 *a*의 농도분포는 내해역에서 동계가 낮고, 춘계에 높았고, 외해역에서 동계가 낮고 하계와 춘계에 높았다. 해역별 분포특성은 내해역이 외해역보다 높고 특히 소형플랑크톤(microplankton)의 대증식이 크게 기여를 하고 있었다. 총 엽록소 농도에 대한 소형플랑크톤(microplankton)의 평균점유율은 내해역과 외해역이 각각 25.8%와 38.3%를 보였다. 미소플랑크톤(nanoplankton)의 평균점유율은 내해역과 외해역이 각각 38.3%와 39.5%를 보였다. 초미소플랑크톤(picoplankton)의 평균점유율은 내해역과 외해역이 각각 74.2%와 73.6%를 나타내었다.

총 현존량의 분포특성은 내해역이 외해역보다 현존량이 높은 현존량을 유지하고 있었고 9월에 식물편모조류, 11월, 5월과 6월에 규조류가 현존량에 영향을 끼치고 있었다. 현존량의  $10^4$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상, 우점율이 20% 이상을 중을 우점종으로 선정할 결과 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum* 등 부유성 규조류가 2종과 식물편모조류인 *Hillea fusiformis* 1종이었다. 일차생산력은 chlorophyll *a*의 변화 경향과 유사하게 소형플랑크톤보다 미소플랑크톤과 초미소플랑크톤이 일차생산력에 크게 기여를 하고 있었다.

II. 제주도 해안선 주변해역의 저서생태계 내에서 우점하는 부착성 미세조류의 생물생태학적 특성을 조사하였다. 조사는 제주도 해안선 주변의 4개 정점에서 1997년 9월부터 1998년 8월까지 1년에 걸쳐 매월 실시하였다. 조사기간 중 수온은 11.5~28.4℃, 염분도는 29.0~34.5‰, pH는 7.89~9.01이었다. 암모니아, 질산성 질소 및 아질산성 질소는 각각 0.01~7.60μM, 2.31~85.3μM, 0.04~0.61μM 이었고, 인산 인은 0.04~1.72μM, 규산 규소는 8.84~73.67μM,의 분포 범위를 보였다.

조사기간 중 부착 규조류의 총 출현종수는 143종으로 중심돌말류(centric diatom)가 18종 그리고 깃돌말류(pennate diatom)가 125종이었다. 깃돌말류 등줄(배선)의 유부에 따라 105종의 등줄돌말류(raphidinean diatom)과 20종의 헛등줄돌말류(araphidinean

diatom)으로 분류되었고 등줄돌말류가 헛등줄돌말류 보다 5배 이상의 많은 출현종수를 나타내었다. 현존량의 30%이상을 점유하는 부착 규조류를 우점종으로 선정시 *Amphora coffeaeformis* Kützing, *Cocconeis scutellum* Ehrenberg, *Gomphonema exinum* Kützing, *Licmophora lyngbyei* (Kützing) Grunow, *Nitzschia navicularis* (Brébisson) Ralfs, *Synedra tabulata* (Agardh) Kützing. 등 6종이었다. 부착 미세조류의 extracellular polymeric substances (EPS)의 형태는 모든 해역에서 평균적으로 흡착막형-정단부착반형-자루형-관형의 높은 순서로 종조성비가 구성되고 있었다. 부착 규조류의 현존량은  $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6$  cells · cm<sup>2</sup>의 분포범위로 추계에 높았고 동계에 감소하였으며 춘계부터 하계까지 증가하였다. 엽록소 a 량(mg chl-a · m<sup>2</sup>)은 부착 미세조류의 생물량으로 평가되며 1~2,160 mg · m<sup>2</sup>의 범위를 나타내었다. 종다양성 지수(H')는 0.43~3.05의 변화 범위를 보였고 남부해역과 동부해역에서 높았으며 서부해역은 낮았다. 따라서 제주도 해안의 부착 미세조류 군집구조는 해역별 및 계절별에 따라 종의 천이가 달라지는 특징을 보이며 환경요인 중 수온과 바람 등의 물리적인 환경요인에 의해 크게 영향을 받고 있다고 생각된다.



Ⅲ. 제주도 표영생태계와 저서생태계에 있어서 미세조류의 생태학적특성 결과를 토대로 갯녹음이 진행되고 있는 제주도 조간대 및 조하대 해역의 갯녹음 해역을 대상으로 부착성 미세조류의 기능과 역할에 대해 연구를 하였다. 제주도 연안역중에서 갯녹음 현상이 심한 강정 갯녹음해역, 보목 갯녹음해역, 표선 갯녹음해역과 성산 갯녹음해역 등 4곳을 선정하여 2001년 4월부터 2002년 1월까지 매월 조사를 하였다

조사기간 중 수온의 분포 범위는 남부 갯녹음해역 정점들이 높았고, 동부 갯녹음해역들은 낮았다. 염분의 분포 범위는 남부 갯녹음해역이 높고, 동부 갯녹음해역이 낮았다. 영양염류 중 총 질소(TIN)의 년 평균농도는  $0.11 \text{mg} \cdot \ell^{-1} \sim 0.21 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 보였고, 총 인(T-P)의 년 평균농도는 전해역이  $0.01 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 이었다. 규산 규소의 년 평균농도는  $0.18 \text{mg} \cdot \ell^{-1} \sim 0.57 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 를 나타내었다. 년 평균 N:P 비는 19.5~32.3를 보였고, Si:P 비는 43.1~134.8를 나타내었다.

부착된 규조류의 년 평균현존량은 성산 갯녹음해역이  $8,456 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 보목과 강정이 각각  $6,313 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 와  $6,021 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 표선 갯녹음해역이  $5,035 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 를 나타내었다. 엽록소 a 량은  $0.11 \sim 0.29 \text{ mg chl-a} \cdot \text{m}^{-2}$ 를 보였고, 현존량의

30%이상을 점유하는 우점종은 *Amphora coffeaeformis*, *Bacillaria paxillifer*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis pellucida*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia longissima*, *Navicula* sp. 등 7종이었다.

갯녹음 현상이 심한 해역의 무절산호말류와 부착규조류와의 서식 특성을 살펴보면 기질 상부에 1차 생물막(primary film)을 형성한 부착규조류 군집 위에 무절산호말류가 피복 또는 천이로 새로운 2차 생물막(secondary film) 형성이 반복 진행되고 있었다.



## Summary

This study was conducted to identify ecological characteristics of planktonic and attached microalgae in coastal areas of Jeju Island.

1. The coastal areas in Jungmun, Jeju Island, are the most dynamically used as well as various kinds of development have been conducted there. To identify biomass distribution characteristics of planktonic microalgae and environment factors in accordance with changes of environment, six stations in those areas were surveyed every month from July 1997 to June 1999. The waters of six stations were divided by the depth of water and so the stations within 10m and out of 10m were classified into inshore and offshore stations.

For physical and chemical environment characteristics of the surveyed areas, mean water temperature was 0.85°C higher in inshore stations than in offshore ones. The average salinity was 0.29‰ higher in offshore stations than in inshore ones. Inshore stations didn't have significant differences in water temperature and distribution of salinity because vertical mixing from the surface to the bottom layer was dynamically processed. For offshore stations, water temperature and salinity were changed by season. Then, the differences of water temperature and salinity between the surface and the bottom layer were about 10°C and 2‰, respectively.

For the distribution of ammonia-nitrogen among nutrients, it tended to be decreased in all areas in blooming times of phytoplankton. The distribution of nitrite-nitrogen was increased in winter and decreased in spring and fall. The mean concentration was higher in inshore stations than in offshore ones. Nitrate-nitrogen was decreased more in spring and fall when phytoplankton is blooming than in winter and summer. Its mean concentration was higher in inshore stations than in offshore ones.

The distribution of phosphate-phosphorous was increased in the process from

summer to winter and decreased in spring and fall. Its mean concentration was higher in offshore stations than in inshore ones.

Silicate-silica increased more in spring and winter than in summer and fall in spite of blooming of diatoms. Its mean concentration was higher in inshore stations than in offshore ones. The research of Choi et al.(1989) reported the similar characteristics as this study that the concentration of silicate along the coast line of Jeju Island was higher in the southeastern area than in the western area. In particular, Seogwipo showed higher concentration than other areas because of influx of water from the land.

Annual mean N:P ratio was 23.4, which was higher than 16:1 that was Redfield ratio of general sea water. Then, phosphate acted as the limiting factor against phytoplankton than nitrate did. While N-nutrient in inshore stations played the role of the limiting factor in the blooming time of phytoplankton, phosphate acted as the limiting factor in other seasons and nitrate was continuously flowed in. Offshore stations showed the different tendency as N-nutrient was the limiting factor in the blooming time of phytoplankton as well as in other seasons.

Annual mean Si:P ratio was 32.0, which was higher than 15.0, Si:P ratio of general sea water. So this study found that phosphate was the limiting factor.

Concentration of chlorophyll a was decreased in winter and high in spring in inshore stations and low in winter and high in summer and fall in offshore stations. Distribution characteristics by coastal areas were higher in inshore stations than in offshore station. In particular, the blooming of microplankton played the significant roles. The mean occupied ratios of microplankton over the concentration of chlorophyll were 25.8% and 38.3% in inshore and offshore stations, respectively. The mean occupied ratios of nanoplankton were 38.3% and 39.5% in inshore and offshore stations, respectively. the mean occupied ratios of picoplankton were 74.2% and 73.6% in inshore and offshore stations, respectively.

For the distribution characteristics of total standing crops, inshore stations showed higher standing crops than in offshore stations. Phytoflagellates and

diatoms gave impacts on standing crops on September, and November, May and June, respectively. This study selected the dominant species of which standing crops and dominant ratio were over  $10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$  and 20%, respectively. Accordingly, two types of planktonic diatoms such as *Chaetoceros socialis* and *Skeletonema costatum* one type of *Hillea fusiformis*, phytoflagellates, were selected. For primary productivity, nanoplankton and picoplankton rather than microplankton significantly contributed on the primary productivity, which was similar as the changes of chlorophyll *a*

II. The next research was about bioecological characteristic of attached microalgae dominating in benthic ecosystem along the coast line of Jeju Island. The research was carried out in four stations along the coast line of Jeju Island every month for one year from September 1997 to August 1998. During research, water temperature, salinity and pH were 11.5~28.4°C, 29.0~34.5‰ and 7.89~9.01, respectively. Ammonia, nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen were 0.01~7.60μM, 2.31~85.3μM and 0.04~0.61μM, respectively. Phosphate-phosphorous and silicate-silica showed the scope of distribution as 0.04~1.72μM and 8.84~73.67μM, respectively.

Total attached diatoms species detected during the research were 143 species: 18 species of centric diatom, 125 species of pennate diatom. In accordance with the existence of pennate diatom raphe, 105 species of raphidinean diatom and 20 species of araphidinean diatom were classified. The species of raphidinean diatom emerged five times higher than araphidinean diatom. When selecting attached diatoms possessing over 30% of standing crops as the dominant species, six species were dominant: *Amphora coffeaeformis* Kützing, *Cocconeis scutellum* Ehrenberg, *Gomphonema exinum* Kützing, *Licmophora lyngbyei* (Kützing) Gruno and, *Nitzschia navicularis* (Brébisson) Ralfs, *Synedra tabulata* (Agardh) Kützing. For the types of extracellular polymeric substances (EPS) of attached microalgae, the species consisted of adhering film type, apical pad type, stalk type and tube

type, which was higher in that order in average in all areas. The standing crops of attached diatoms was higher in fall with the scope of distribution of  $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6$  cells  $\cdot$  cm<sup>-2</sup> and decreased in winter and increased from spring to summer. The amount of chlorophyll *a* (mg chl-*a*  $\cdot$  m<sup>-2</sup>) was calculated by biomass of attached microalgae, which showed the scope of 1~2.160 mg  $\cdot$  m<sup>-2</sup>. Species diversity index (*H'*) changed between 0.43 and 3.05, and was higher and lower in the southern and eastern areas, and western areas, respectively. Therefore, the colony composition of attached microalgae along the coastal line of Jeju Island had the characteristics that the succession of species vary on areas and seasons and was substantially influenced by physical environment factors such as water temperature and wind action among environment factor.

III. This study also examined the functions and roles of attached microalgae in whitening areas in intertidal and subtidal zones in Jeju Island, where whitening phenomenon was developed on the basis of the ecological characteristics of microalgae in pelagic ecosystem and benthic ecosystem in Jeju Island. Four whitening areas where the whitening phenomenon was seriously developed among coastal areas of Jeju Island were selected: Kangjung whitening areas, Bomok whitening areas, Pyosun whitening areas and Sungsan whitening areas. These areas were examined every month from April 2001 to Jan. 2002.

During research, water temperature was higher in the southern whitening stations and lower in the eastern whitening stations. Next, the salinity was higher in the southern whitening stations and lower in the eastern whitening stations. Annual mean concentration of total inorganic nitrogen (TIN) and silicate silica among nutrients were  $0.11 \text{mg} \cdot \ell^{-1} \sim 0.21 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$  and  $0.18 \text{mg} \cdot \ell^{-1} \sim 0.57 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$ . Annual mean concentration of total phosphate (T-P) was  $0.01 \text{mg} \cdot \ell^{-1}$  in all areas. Annual mean N:P ratio and Si:P were 19.5~32.3 and 43.1~134.8, respectively.

Annual mean standing crops of attached diatoms were  $8,456 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,  $6,313$

cells · cm<sup>-2</sup>, 6,021 cells · cm<sup>-2</sup>, 5,035 cells · cm<sup>-2</sup> in Sungsan, Bomok, Kangjung and Pyosun whitening areas, respectively. The amount of chlorophyll *a* was 0.11~0.29 mg chl-*a* · m<sup>-2</sup> and the dominant species possessing over 30% of standing crops were 7 species: *Amphora coffeaeformis*, *Bacillaria paxillifer*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis pellucida*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia longissima* and *Navicula* sp.

For the habitat characteristics of crustose coralline algae and attached diatoms in the sea where whitening phenomenon was serious, attached diatoms colony formed primary film over the upper layer of substrate and on these attached diatoms, crustose coralline algae formed new secondary films by coating or succession. This process was repeated.



## 총 론

지구상의 광범위한 해양 표영생태계내에서 광합성 작용으로 유기물질을 생산하는 미세조류인 식물성 부유생물(phytoplankton)들은 일차생산자인 동시에 해양생물자원의 근간을 이루고 있다. 그러나 적조와 같은 유해성 미세조류들의 다량번식은 인간과 해양생물들에 엄청난 경제적 피해와 생물자원의 감소를 일으킨다.

이러한 식물플랑크톤들은 서식지의 물리, 화학 및 생물학적 환경요인들의 변화와 수많은 생태계내의 먹이사슬 구조에 따라 시·공간적으로 군집구조, 생물량, 일차생산력과 먹이사슬 내 에너지 흐름의 경향을 변화시킨다. 또한 식물플랑크톤들은 서식형태에 따라 부유성(planktonic), 일시부유성(tychopelagic)과 저서성(benthic)이 있으며 이들의 생활형에 따라 각각의 생태적 특성도 달라진다. 첫째 부유성 미세조류들은 해양의 표영생태계내에서 먹이사슬에 큰 기여를 하며, 유광층 내의 광합성으로 산소를 생산하여 대기중으로 방출하고 생성된 탄수화물은 지구상의 생명체에 기초에너지를 제공한다. 또한 무기영양염류와 빛에 의해 생물활성과 식물플랑크톤 대번식(phytoplankton bloom)으로 해양 표영생태계의 일차생산력과 먹이망내의 에너지 흐름을 좌우한다. 둘째 일시부유성 미세조류들은 저서생태계에서 서식을 하면서 강한 조류나 와류, 바람에 의한 수직적 교란에 의해 표영생태계로 이동되어 저층의 먹이흐름을 표층으로 연결시키기도 한다(Choi and Shim, 1986). 셋째 저서성 또는 부착성 미세조류들의 역할은 저서생물의 먹이원이며 퇴적물의 확산과 이동을 방지하고, 산호 군집의 먹이원과 대사에 중요한 역할을 하며(Sorokin 1991; Fabricius *et al.* 1995, 1998), 수산생물의 중요생산에 초기먹이와 변태유도에 이용되고 있다(Kajihara 1987; Admiraal 1984). 해조류에 부착하는 일부 미세조류들은 해조류 업체의 건강상태를 악화시키고(大貝 1987; Lee and Kim 1989), 생물오손군집(biofouling community)의 부착을 촉진시켜 열효율의 저하와 수중구조물의 부식을 일으킨다(Shim and Jurng 1987; Kawamura *et al.* 1988). 이러한 부착미세조류들에 대한 연구는 종조성과 밀도가 기반에 따라 계절적 변화(Bacon and Taylor, 1976; Tanaka *et al.*, 1984), 부착동물의 섭식으로 인한 종조성의 변화(Suzuki *et al.*, 1987), 생리생태학적 연구(Morris, 1980; Fogg and Thake, 1987) 그리고 부착기작과 기능에 관한 연구(Hogland *et al.*,

1993) 등이 있지만 국내의 연구로는 인공기질표면에 대한 부착과 성장에 관한 연구(심 등, 1998)가 최근에 이루어졌다.

제주도는 쿠로시오에서 분리된 서로 다른 특성을 갖는 고염의 대마난류수, 저염의 중국대륙연안수, 저온의 황해 중앙저층냉수와 제주도 연안역에서 형성되는 연안수가 계절적으로 복잡하게 영향을 미치고 있다(Pang *et al.*, 1992; 방 등, 1994, 1995, 2001; 현 등, 1997; 홍과 방, 1998). 또한 하계에는 남동풍, 동계에는 북서풍의 영향을 받고 있으며 강우기에는 연안에 유입되는 육수 및 년 중 해안선에서 용출되는 용천수의 영향으로 독특한 해양환경을 이루고 있고 아열대에서 온대에 이르기까지 다양한 해양특성을 나타내고 있다. 따라서 이러한 물리·환경적 변화는 제주도 주변에 서식하는 미세조류의 생태에 중요한 영향을 미치고 있다.

제주도 주변해역의 미세조류에 관한 연구는 1960년대 제주도 남방해역의 식물플랑크톤 현존량과 출현경향에 대한 연구(최, 1966)를 시작으로 한국해협외의 조사정점에 제주해역이 포함되거나 주변해역을 중심으로 진행되었다(Lee *et al.*, 1967; 최, 1969). 1970년대는 동중국해의 미세플랑크톤 분포(최, 1978)와 서귀포해역의 식물플랑크톤 계절변화에 대한 연구가 되었다(이, 1979). 1980년대 이후 활발한 연구가 수행되고 있으며, 주로 식물플랑크톤의 현존량과 출현종의 분포에 관한 연구(전 등, 1986; 이, 1989; 이와 좌, 1990; 이 등, 1990, 1991, 1993, 1995; 윤 등, 1990, 1991, 1992, 이와 신, 2000), 식물플랑크톤의 엽록소량 동태(정 등, 1983; 전과 고, 1983; Shim and Park, 1984)와 일차생산력에 관한 연구(Shim and Park, 1986; 이 등, 1989; Chung and Yang, 1991)등이 이루어졌다. 최근 문섬 산호서식지(좌와 이, 2000; 이 등, 2000)와 조수웅덩이(이 등, 2001)에 대한 연구가 수행되었다. 그렇지만 특정 연안역에 대한 체계적이고 장기적인 분석을 통한 부유성 미세조류의 생태에 관한 연구는 매우 미미하였으며, 제주도 암반생태계에 우점하는 부착성 미세조류에 관한 연구는 전무한 실정이다.

제주도 뿐 만아니라 우리나라의 동해안 및 남해안의 조간대 및 조하대에 발생되고 있는 갯녹음(백화) 발생은 제주도 서귀포 연안에서 최초로 보고된 이후 계속 확장되고 있다. 조류학적인 의미에 있어 갯녹음 현상은 “대형해조류의 양적 쇠퇴를 수반하는 퇴행적 천이에 의해 계층구조의 하층에 서식하고 있는 석회조류에 의한 식생구조가 비교적 장기간에 걸쳐서 유지되고 있는 현상으로 해조자원의 가입 개체수가 감소

하고 사망수가 일시에 증가하여 산호조류에 의한 기질점유의 확대가 지속적으로 나타나는 현상” (김남길, 1999)이라 할 수 있다. 즉 해안의 암반을 기질로 하여 자라는 유용해조류가 사라지고 그 자리를 악성해조류인 산호말류가 차지하여 번무하다가 죽어 탈색되면 암반이 하얗게 변하는 현상을 말한다. 갯녹음 현상의 주요 원인은 지역이나 환경에 따라 여러 가지 요인으로 나누지만 연구자들에 의한 일반적인 견해는 해수온의 상승에 수반되는 해황변화가 주원인이 되고 이외에 조식동물과 해조류의 관계, 해양조건, 빈영양 등이 복합요소가 회복을 방해하고 지속화시키는 요인들이지만 이외에 육상에서의 공사와 홍수에 따른 토사유입으로 유용해조류가 감소하고 산호말류가 번무하는 원인을 제공하고 있다고 보여 진다. 또한 이들 해역은 조식동물들이 대량 번식하여 유용해조류나 산호말류들을 섭식하기 때문에 갯녹음 현상이 장기간 지속시켜 결국은 해중립 주변에 서식하는 어류들의 산란장이나 성육장이 없어지고 전복, 소라 등 패류들의 생산이 감소하게 된다. 갯녹음 발생 해역에 대량 분포하는 성체는 먹이인 해조류의 부족으로 생식소가 발달되지 않아 상품가치가 상실한다. 지금까지 갯녹음에 관한 연구는 일본해역에서 다수의 연구가 있으나 부분적인 방안 제시에 그치고 갯녹음의 원인 규명과 구체적인 구제방법에 대한 연구는 현재까지 없는 실정이다. 우리나라에서는 제주도 서귀포연안의 갯녹음 현상에 대한 연구(정 등, 1998; 한국해양연구소, 1997, 2000)와 강릉하구역의 갯녹음 현상 진단(김, 1998, 2001; 김 등, 2000) 등이 있고, 복원에 관한 연구로는 동해안 해조장 조성(국립수산진흥원 동해수산연구소, 2001; 손 등, 2002)과 제주도 바다목장화(제주대 해양과학대학, 1994 a, b) 등이 있을 뿐 매우 미비한 실정이다.

종합적으로 본 연구는 제주도에서 각종 개발과 연안역 이용이 가장 활발한 중문 연안 해역에 있어서 저차생물 생산자인 부유성 미세조류의 생물량 분포, 우점종의 동태와 일차생산력에 대해 영향을 끼치는 환경요인과의 상관관계를 장기간 조사하였다. 이러한 조사결과를 가지고 우리나라 연안역에 있어서 부유성 미세조류의 생태학적 특성과 비교함으로써 제주도 연안역에 있어서 독특한 표영생태계내 부유성 미세조류의 생물생태학적 특성을 밝히고자 연구를 실시하였다. 한편 제주도 해안선 주변해역은 우리나라 해안선 주변해역과는 다른 암반이 많은 저서생태계로 이루어 있다. 이러한 저서생태계 내에서 우점하는 부착성 미세조류의 생물생태학적 특성을 조사함으로써 저서생태계에서 부착성 미세조류의 기능과 역할을 규명하고자 연구를 실시하였다.

이러한 결과를 토대로 갯녹음이 진행되고 있는 제주도 조간대 및 조하대 해역의 갯녹음 해역을 대상으로 부착성 미세조류가 갯녹음해역의 해조류와 조식성 동물에 어떠한 역할과 기능을 하고 어떤 생태학적 지위를 차지하는가를 최초로 체계적으로 연구를 실시하여 제주도 연안역에 서식하는 부유 및 부착성 미세조류의 기능과 역할을 밝히고자 하였다.



# I. 제주도 중문 연안역 부유 미세조류의 생물량 분포 특성

## 1. 연구배경 및 목적

이 연구를 위하여 아열대성 해역의 특성과 다양한 해류들의 영향을 받는 제주도의 특징을 잘 나타내는 제주도 남부의 중문해역이 조사되었다. 특히 중문해역은 최근 중문관광단지, 해수욕장, 화력발전소 및 하수종말처리장들이 신설되었거나 건설이 현재 진행 중이고 기상의 악천후에는 대규모 중국 및 우리나라 어선 선단 등이 피난해역의 역할도 한다. 따라서 이러한 연안해역의 환경은 물리적, 화학적 및 생물학적 변화가 매우 크고 육상으로부터의 영양염류의 공급이 원활하기 때문에 해양학적으로 외해역보다 해양의 저차생물생산이 매우 높다.

해양의 생태계에서 1차생산자인 부유성 미세조류는 다양한 환경변화에 적응하면서 이들 해역에 있어서 생물생산의 기초를 담당한다. 이러한 부유성 미세조류들이 시·공간적으로 분포하는 생태학적 특성과 생물량을 파악한다면 이들 해역의 저차소비자와 먹이사슬을 이해하는데 도움이 될 것이다. 부유성 미세조류들의 현존량 분포는 태양광의 세기, 수온, 염분, 해류와 지형의 물리적 특성(Plat, 1976; Mukai, 1987, Sommer, 1994; Vries *et al.*, 1998)과 질소계 영양염, 인산염, 규산염 및 미량원소 등의 화학적 특성(Mukai, 1987; Sommer, 1994; Caroppo *et al.*, 1999)과 섭식, 경쟁, 기생과 같은 생물학적인 요인(Deason and Smayda, 1982; Kim *et al.*, 1992)에 의해 지배를 받는다. 이외에 계절, 위도 등과 같은 다양한 환경요인들에 의해 부유성 미세조류의 분포는 복잡한 양상을 나타낸다. 이와 같은 특성에 따라 제주도 중문해역에서 2년에 걸쳐 부유성 미세조류의 현존량분포 및 엽록소 농도, 우점종의 동태를 분석하고 여기에 영향을 끼치는 무생물학적인 환경요인을 파악하여 상호관계를 조사함으로써 제주도 중문연안역의 저차생물생산자인 부유성 미세조류의 특성과 한국 연안역의 부유성 미세조류의 분포 특성을 비교함으로써 독특한 제주 연안역의 부유성 미세조류의 기능과 역할에 대해 밝히고자 연구를 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사시기 및 조사정점

조사는 1997년 7월부터 1999년 6월까지 제주도 남부 중문 연안해역의 6개 정점을 수심에 의해 수역을 구분하여 10m 이내인 정점(정점 1, 2, 3)들을 내해역(inshore), 10m 이상인 정점(정점 4, 5, 6)들을 외해역(offshore)으로 정의하고 2년에 걸쳐 매월 실시하였다(Fig. 1). 이와 같이 내해와 외해를 구분한 것은 육지의 영향을 받는 내해와 외양의 영향을 받는 외해의 해양학적 특성을 비교하기 위한 것이다.

### 2.2. 물리·화학적 분석

물리·화학적 특성에 대한 분석은 제주대학교 해양학과 화학연구실의 자료를 기초로 하였으며 수온과 염분은 CTD (Sea-Bird Electronics, Inc., SBE 19-03), 투명도는 Secchi disc로 측정하였다. 영양염류인 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )는 phenol-hypochlorite 법, 아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )는 NED법, 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 cadmium reduction 법, 인산 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 ascorbic acid 법, 규산성 규소( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )는 molybdenum blue 법에 의해 정량하였다(Parsons *et al.* 1984).

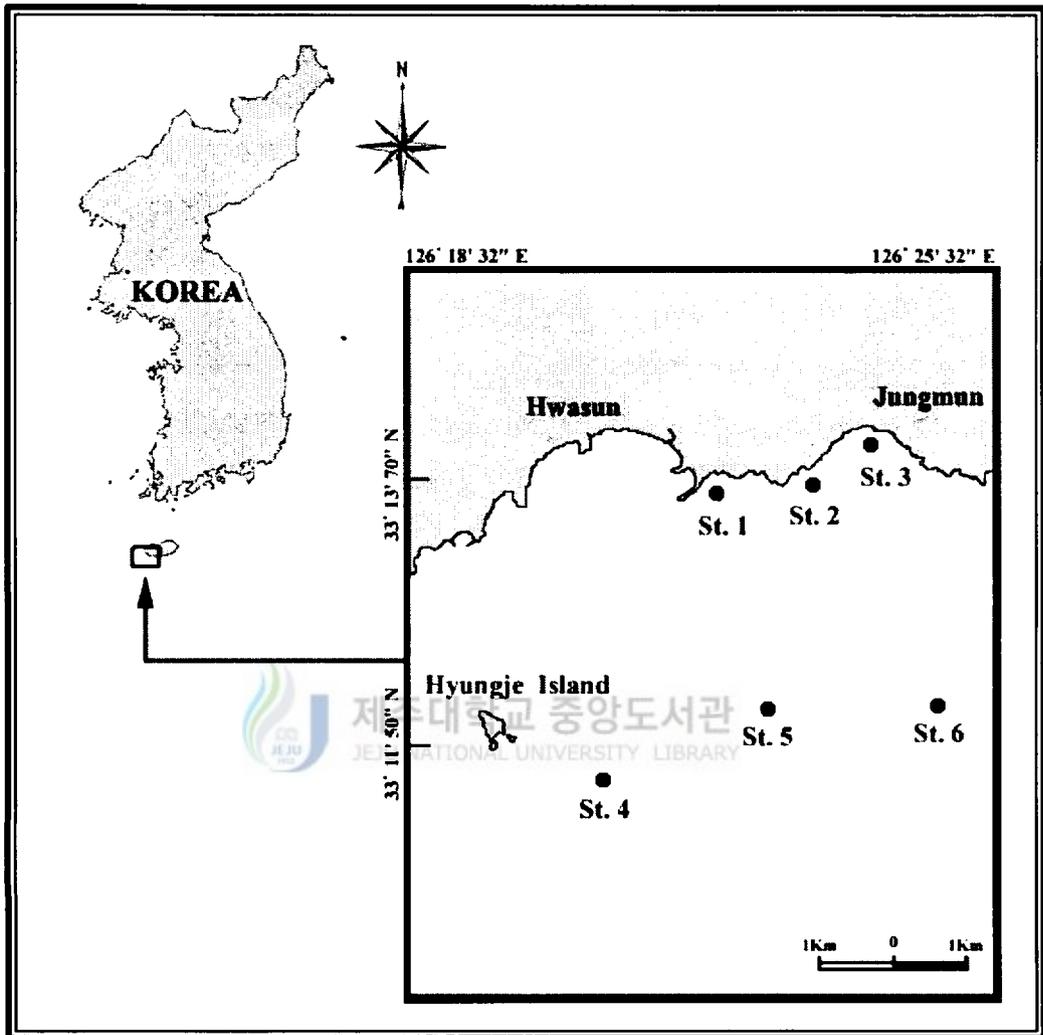


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the study area.

### 2.3. 분류군별 현존량

식물플랑크톤의 재료는 내해역인 정점 1, 정점 2와 정점 3은 표층과 10m층에서, 외해역인 정점 4(50m층), 정점 5(75m층)와 정점 6(30m층) 등은 각 정점의 표준채집 수층별(표층, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m)로 Niskin 채수기를 이용하여 1ℓ를 채수하여 현장에서 Lugol 용액으로 고정한 후 차광을 하여 실험실로 운반하여 침전법에 의해 농축된 재료를 균일하게 섞은 후 1 ml를 Sedgwick - Rafter counting chamber에 넣고 광학현미경(Zeiss, Axioplan 2)에서 분류군별(규조류, 와편모조류, 식물편모조류)로 세포수를 3회 계수 한 뒤 평균하여 cells · ℓ<sup>-1</sup>로 환산하여 현존량으로 표시하였다.

### 2.4. 크기별 엽록소량

크기별 식물플랑크톤의 chlorophyll *a* 는 각 정점의 표준채집 수층별로 2ℓ를 채수하여 소형 식물플랑크톤(micro-phytoplankton)의 micro-chlorophyll 용은 망목 크기가 20μm인 net로 여과하였고, 미소 식물플랑크톤(nano-phytoplankton)의 nano-chlorophyll 량은 20μm net를 통과한 것을 2μm filter로 여과하여 나타내었고, 극미소 식물플랑크톤(pico-phytoplankton)의 pico-chlorophyll 량은 2μm filter를 통과한 것을 다시 GF/F filter(pore size 0.45μm, 47mm)로 여과한 다음 각각 90% 아세톤으로 24시간 냉동암실에서 색소를 추출하여 UV-VIS spectrophotometer (Shimadzu, UV-1201)로 측정한 후 Parsons *et al.* (1984)의 식에 의해 단위 체적당 클로로필량 (μg chlorophyll *a* · ℓ<sup>-1</sup>)로 계산하였다. 한편 총 chlorophyll *a* 량은 micro-, nano-와 pico- chlorophyll *a* 량을 전부 합한 값을 사용하였으며 1997년 7월부터 1998년 6월까지의 pico-chlorophyll *a* 량을 제외한 total-, micro-, nano-chlorophyll *a* 량을 측정하였다(Fig. 2).

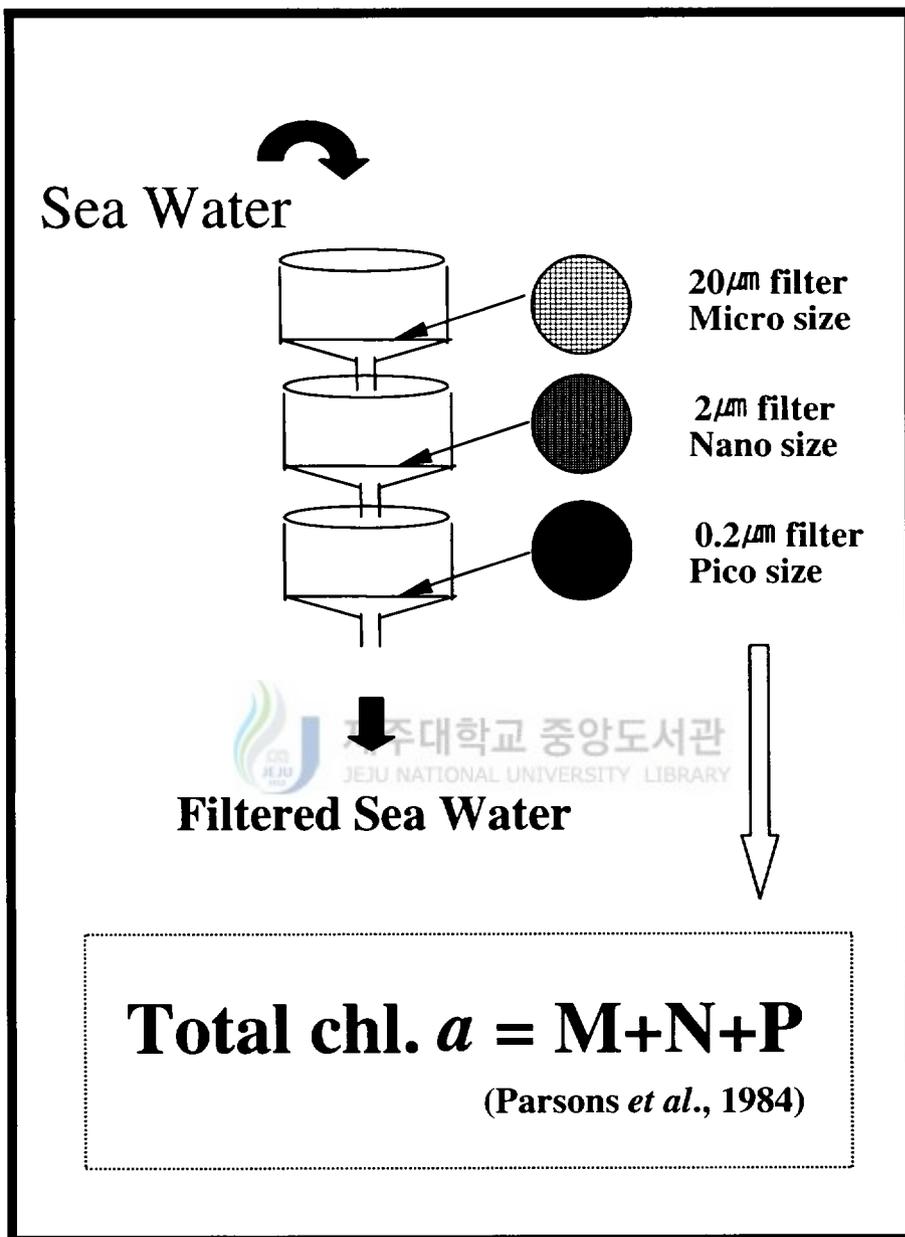


Fig. 2. Flow diagram showing the size fractionation of chlorophyll *a*.

## 2.5. 일차 생산력 측정

해수 중 1차생산력의 측정은 정점 1과 정점 5의 표층 해수를 채수하여 배양용 test tube에 80ml의 해수를 채운 후, 2 $\mu$ Ci NaH<sub>14</sub>CO<sub>3</sub>을 주입하여 주간(주간)에 현장 수온의 자연 광조건 하에서 표층 광도의 100, 68, 35, 15, 5% 광조건 하에서 약 2시간 배양을 실시하였고, 배양이 끝난 각각의 시료는 Whatman GF/F filter로 여과하여 포집한 후 용량 20ml의 scintillation vial에 옮긴 다음 여과지 위의 inorganic <sup>14</sup>C를 제거하기 위하여 0.5N HCl 용액을 사용하여 acid fuming을 하였다. 이 후 각각의 vial에 15ml의 cocktail solution을 첨가한 다음 scintillation counter (Bethold, BF-8000)의 external standard method에 의하여 carbon activity를 측정하였다. 현장해수의 total CO<sub>2</sub> 값은 pH와 alkalinity에 의해 계산한 후 단위 체적당 1차 생산력 (mgC · m<sup>3</sup> · hr<sup>-1</sup>)을 계산하였다.

## 2.6. 통계분석

조사해역의 부유성 미세조류의 현존량 분포와 이에 영향을 주는 환경요인과의 상관관계 분석을 위해 SYSTAT 통계처리 프로그램(ver. 8.0)을 이용하여 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)를 구하였다.



### 3. 결 과

#### 3.1. 물리·화학적 환경특성

조사기간 중 수온은 1999년 2월에 14.40℃ (정점 2; 10m층)로 가장 낮았고 1998년 8월에 27.28℃ (정점 6; 표층)로 가장 높았다. 월 평균수온의 분포범위는 최저 14.82℃ (1998년 2월)부터 최고 23.97℃ (1998년 11월)까지 보였고, 모든 해역의 년 평균수온은 19.22℃를 나타내었다(Fig. 3).

내해역에서 월평균수온의 분포 범위는 최저 14.65℃ (1998년 2월)부터 최고 26.45℃ (1998년 8월)를 보였고 년 평균수온은 19.64℃를 나타내었다.

외해역에서 월평균수온의 분포 범위는 최저 14.89℃ (1998년 2월)부터 최고 23.93℃ (1997년 9월)를 보였고 년 평균수온은 18.79℃의 분포를 나타내었다.

염분은 1997년 7월에 31.77‰ (정점 3; 10m층)로 가장 낮았고 1998년 3월에 34.67‰ (정점 5; 표층, 10m층)로 가장 높았다. 월 평균염분의 분포범위는 32.29‰ (1997년 8월)부터 34.47‰ (1999년, 3월)이었고 전체해역의 년 평균염분은 33.66‰를 보였 다(Fig. 4).

내해역에서 월평균 염분농도의 분포범위는 최저 31.48‰ (1998년 7월)부터 최고 34.54‰ (1998년 3월)를 보였고 년 평균염분농도는 33.51‰이었다.

외해역에서 월 평균 염분농도는 최저 32.42‰ (1997년 8월)부터 최고 34.65‰이었고 년 평균염분농도는 33.80‰를 나타내었다.

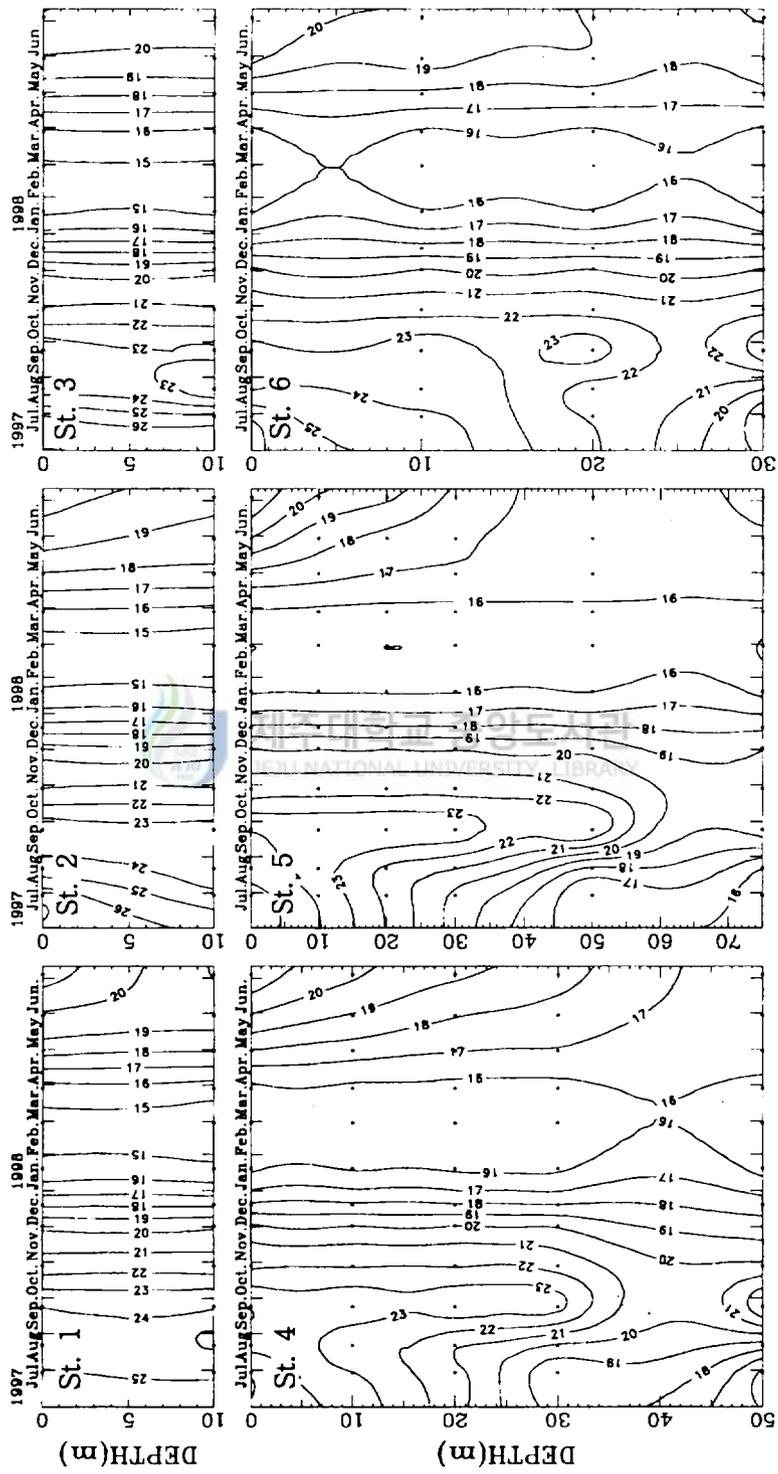


Fig. 3. Monthly variations of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

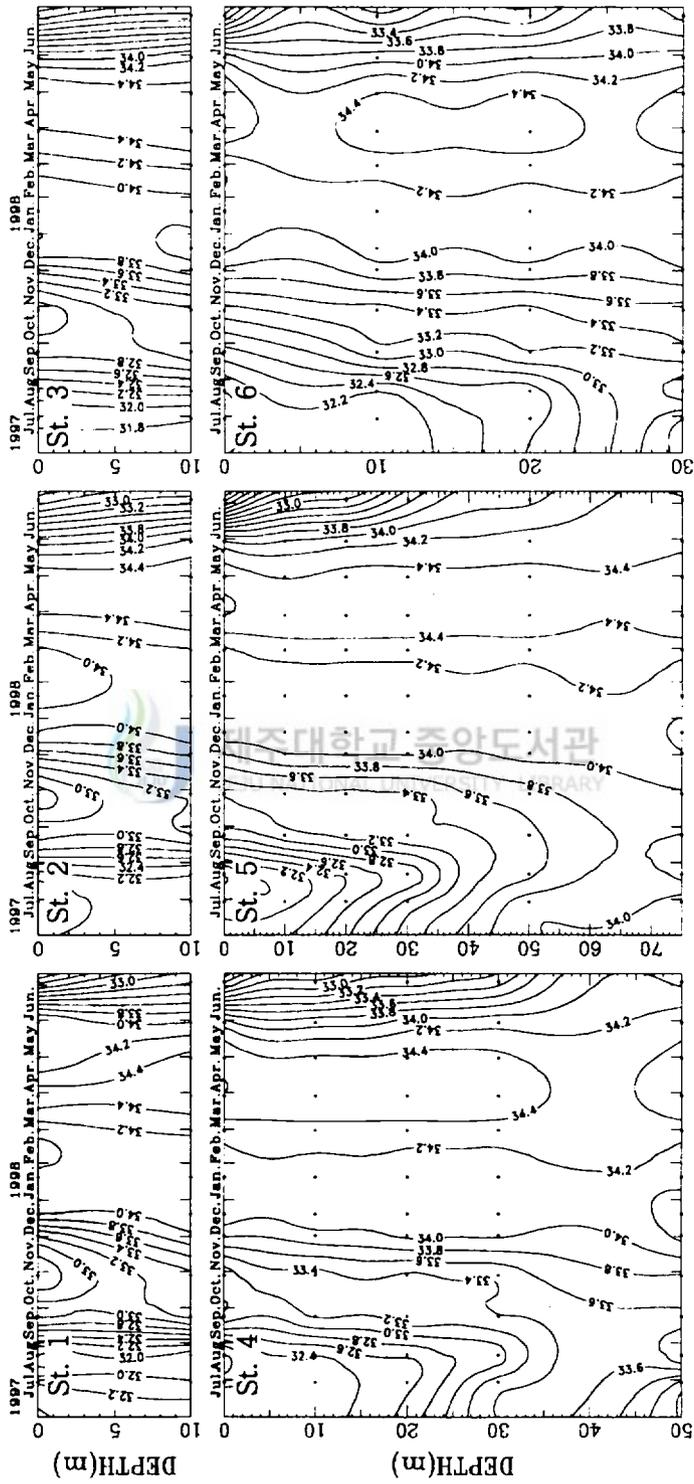


Fig. 4. Monthly variations salinity (‰) in the study area from July 1997 to June 1999.

암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )는 ND부터 1997년 11월에  $15.57\mu\text{M}$  (정점 2; 10m층)로 가장 높았다. 월 평균농도 범위는  $0.21\mu\text{M}$  (1998년 2월)부터  $3.99\mu\text{M}$ (1997년 7월)이었고 전체해역의 년 평균농도는  $0.97\mu\text{M}$ 를 보였다(Fig. 5). 내해역에서 월 평균농도의 범위는 최저  $0.08\mu\text{M}$  (1999년 2월)부터 최고  $4.74\mu\text{M}$  (1997년 7월)를 보였고, 년 평균농도는  $0.99\mu\text{M}$ 이었다. 외해역에서 월 평균농도는 최저  $0.19\mu\text{M}$  (1997년 10월)부터 최고  $3.69\mu\text{M}$ (1997년 7월)를 보였고 년 평균농도는  $0.95\mu\text{M}$ 이었다.

아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )는 ND부터 1998년 1월에  $11.47\mu\text{M}$ 로 가장 높았다. 월 평균농도 범위는  $0.03\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터  $6.72\mu\text{M}$  (1998년 3월)이었고 모든 해역의 년 평균농도는  $0.59\mu\text{M}$ 를 보였다(Fig. 6). 내해역에서 월 평균농도의 범위는 최저  $0.03\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터 최고  $6.06\mu\text{M}$  (1998년 3월)를 나타내었고, 년 평균농도는  $0.62\mu\text{M}$ 이었다. 외해역에서 월 평균농도는 최저  $0.02\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터 최고  $6.98\mu\text{M}$  (1998년 3월)이었고 년 평균농도는  $0.56\mu\text{M}$ 를 나타내었다.

질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 1997년 8월에  $0.01\mu\text{M}$  (정점 3; 10m층)로 가장 낮았고 1998년 1월에  $67.70\mu\text{M}$  (정점 1; 표층)로 가장 높았다. 월 평균농도의 변화범위는  $1.15\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터  $10.43\mu\text{M}$  (1998년 1월)이었고 모든 해역의 년 평균농도는  $4.29\mu\text{M}$ 를 나타내었다(Fig. 7). 내해역에서 월 평균농도의 범위는 최저  $0.78\mu\text{M}$  (1998년 10월)부터 최고  $23.71\mu\text{M}$  (1998년 1월)를 나타내었고, 년 평균농도는  $5.06\mu\text{M}$ 이었다. 외해역에서 월 평균농도의 범위는 최저  $0.70\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터 최고  $6.57\mu\text{M}$  (1997년 8월). 년 평균농도는  $3.52\mu\text{M}$ 이었다.

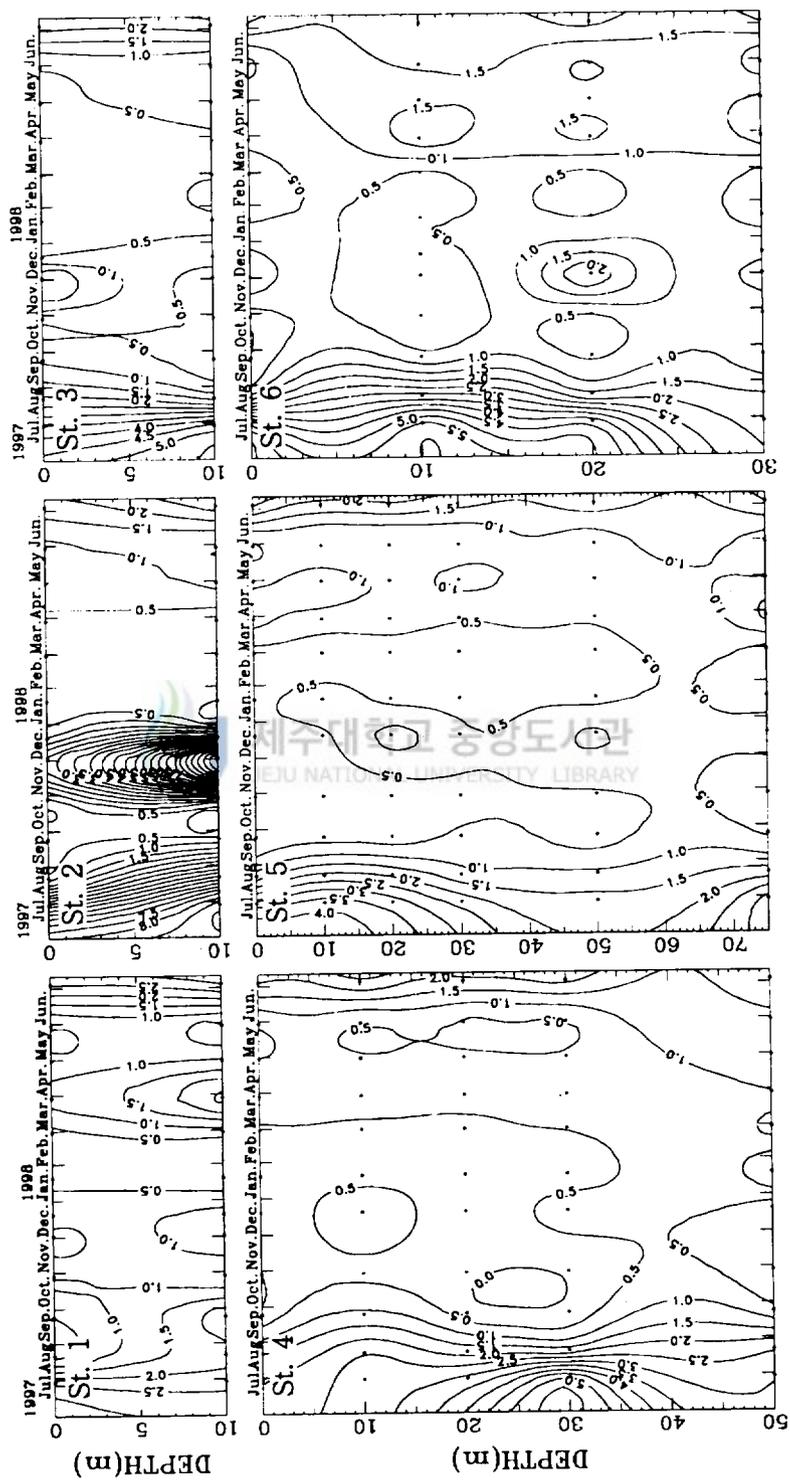


Fig. 5. Monthly variations ammonia ( $\mu\text{M}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

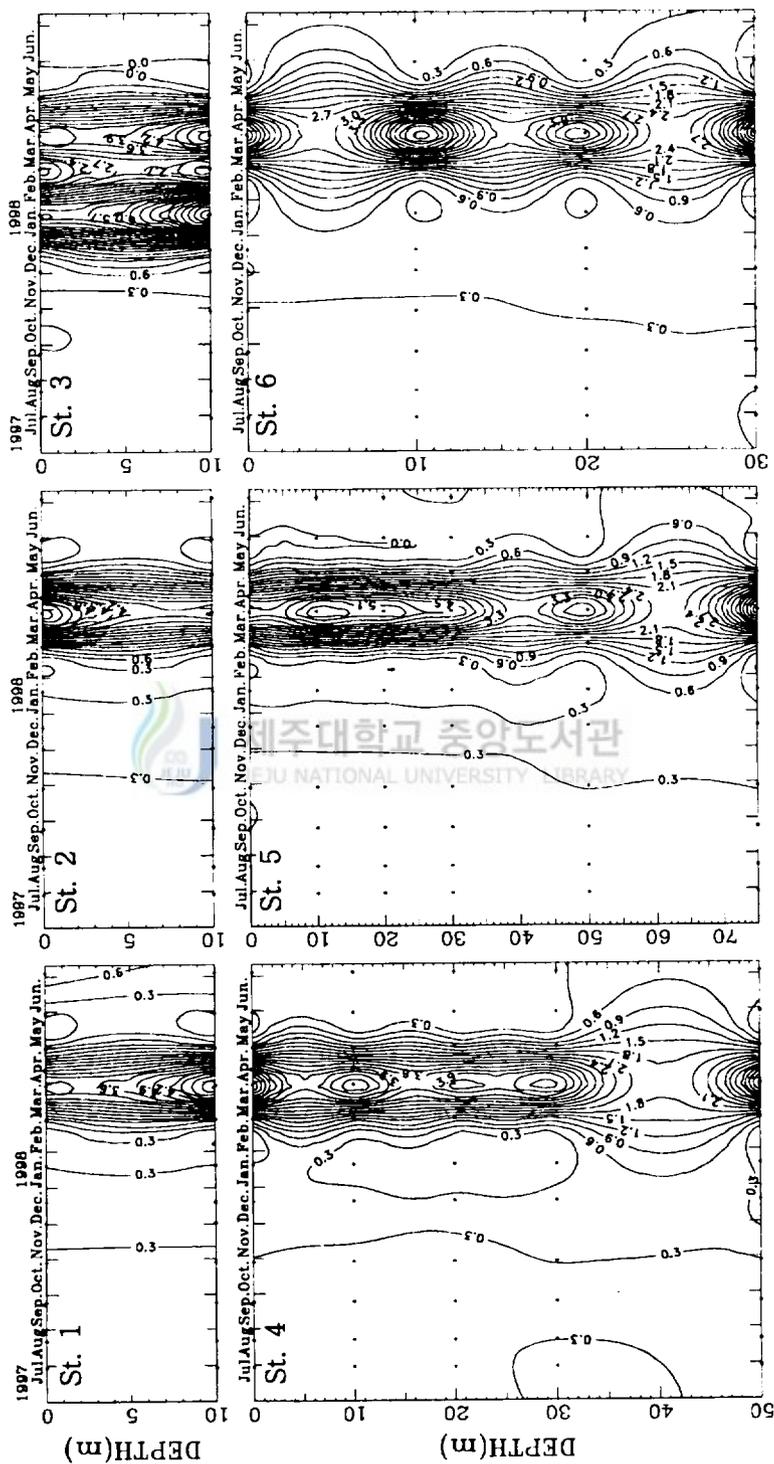


Fig. 6. Monthly variations nitrite ( $\mu\text{M}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

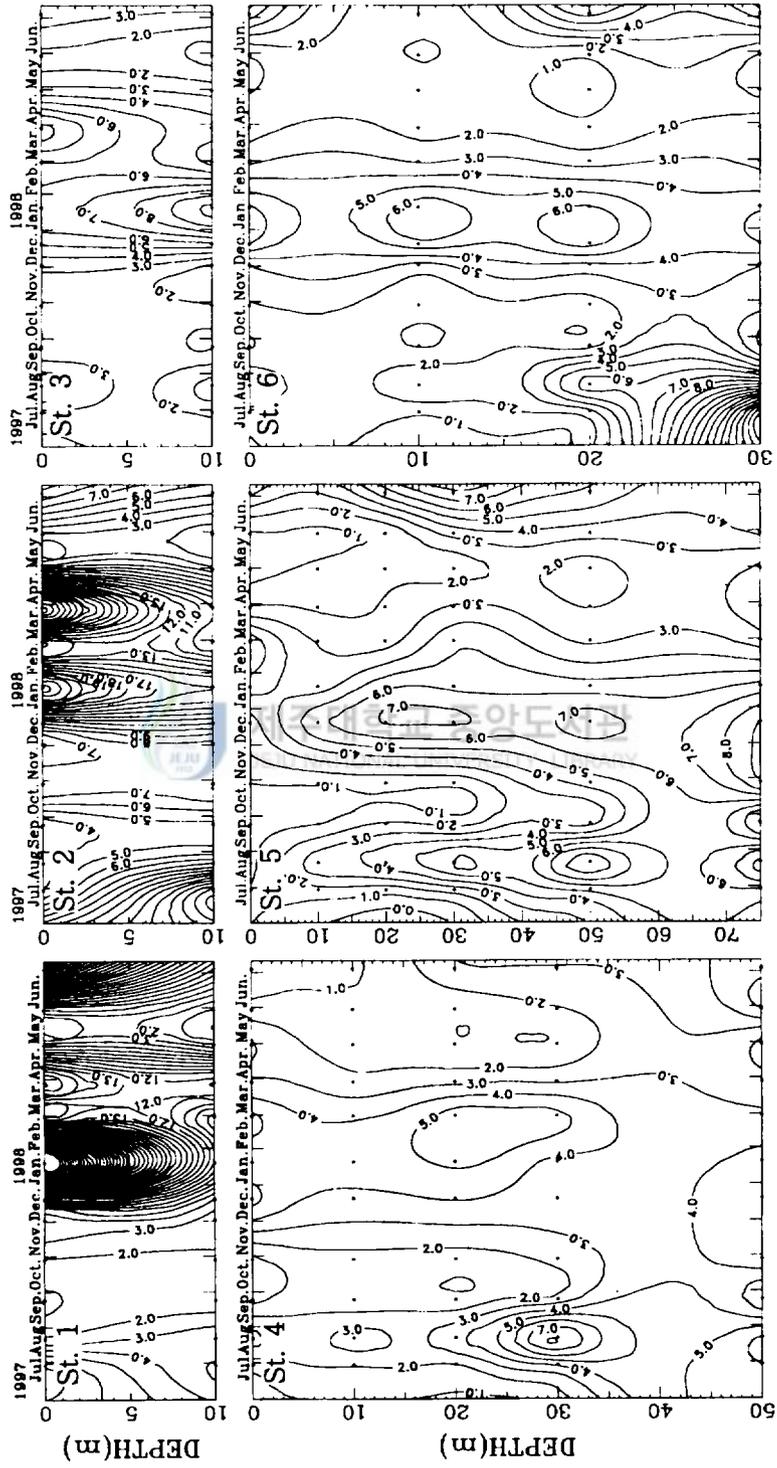


Fig. 7. Monthly variations nitrate ( $\mu\text{M}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

인산 인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 1997년 9월에 ND (정점 4; 20m층)로 가장 낮았고 1998년 12월에  $5.09\mu\text{M}$  (정점 5; 75m층)로 가장 높았다. 월 평균농도의 변화범위는  $0.07\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터  $2.36\mu\text{M}$  (1998년 12월)이었고 모든 해역의 년 평균농도는  $0.42\mu\text{M}$ 를 나타내었다 (Fig. 8). 내해역에서 월 평균농도는 최저  $0.06\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터 최고  $2.83\mu\text{M}$  (1998년 12월), 년 평균농도는  $0.33\mu\text{M}$ 이었다. 외해역에서 월 평균농도는 최저  $0.06\mu\text{M}$  (1997년 9월)부터 최고  $2.837\mu\text{M}$  (1998년 12월), 년 평균농도는  $0.50\mu\text{M}$ 이었다.

규산성 규소( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )는 1998년 5월에  $0.11\mu\text{M}$  (정점 4; 10m층)로 가장 낮았고 1998년 4월에  $42.28\mu\text{M}$  (정점 2; 10m층)로 가장 높았다. 월 평균농도의 변화범위는  $0.21\mu\text{M}$  (1997년 8월)부터  $15.44\mu\text{M}$  (1998년 8월)이었고 모든 해역의 년 평균농도는  $7.12\mu\text{M}$ 를 나타내었다 (Fig. 9). 내해역에서 월 평균농도는 최저  $0.18\mu\text{M}$  (1997년 8월)부터 최고  $19.08\mu\text{M}$  (1998년 4월), 년 평균농도는  $7.41\mu\text{M}$ 이었다. 외해역에서 월 평균농도는 최저  $0.22\mu\text{M}$  (1997년 8월)부터 최고  $15.47\mu\text{M}$  (1998년 8월)를 보였고 년 평균농도는  $6.83\mu\text{M}$ 이었다.



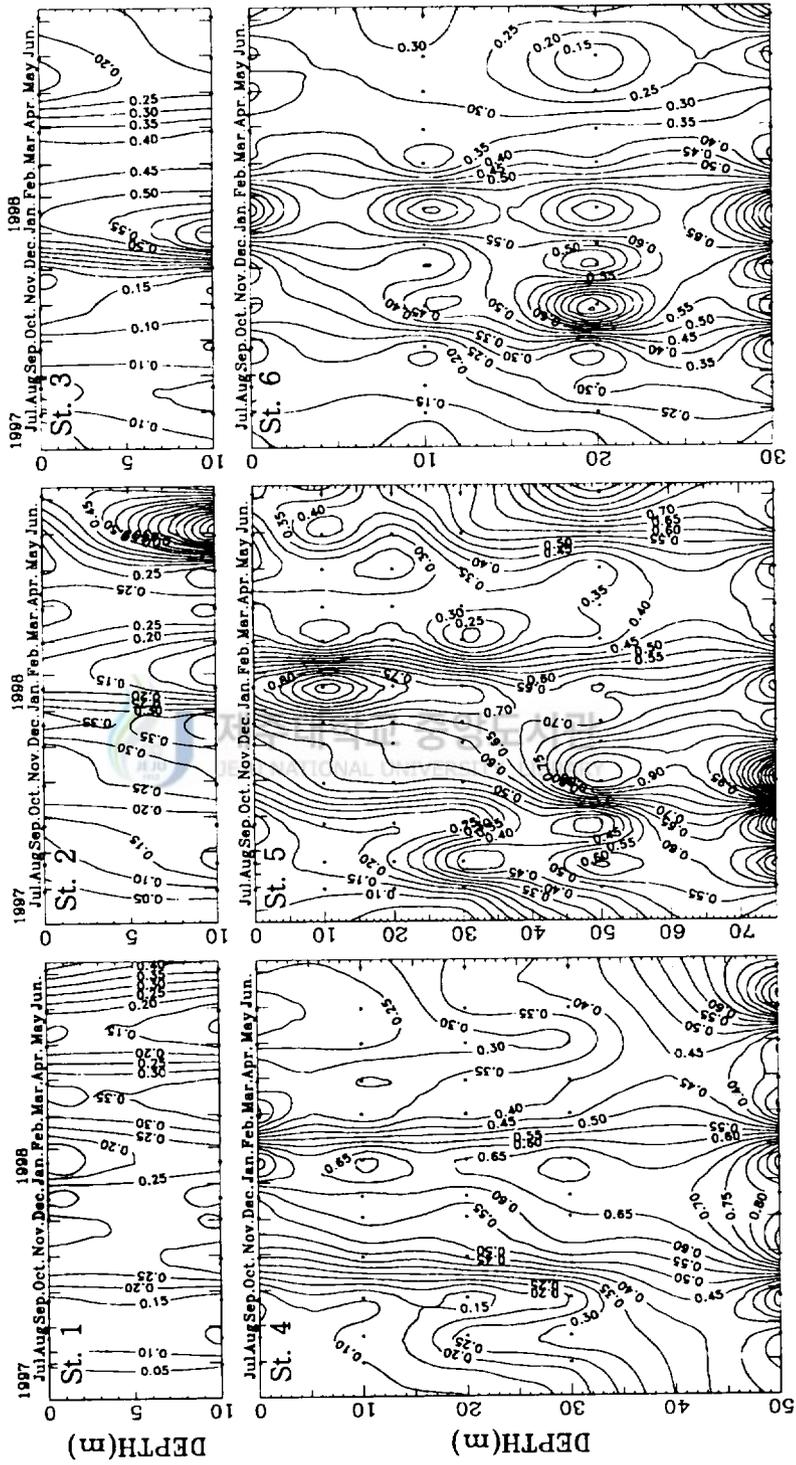


Fig. 8. Monthly variations phosphate ( $\mu\text{M}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

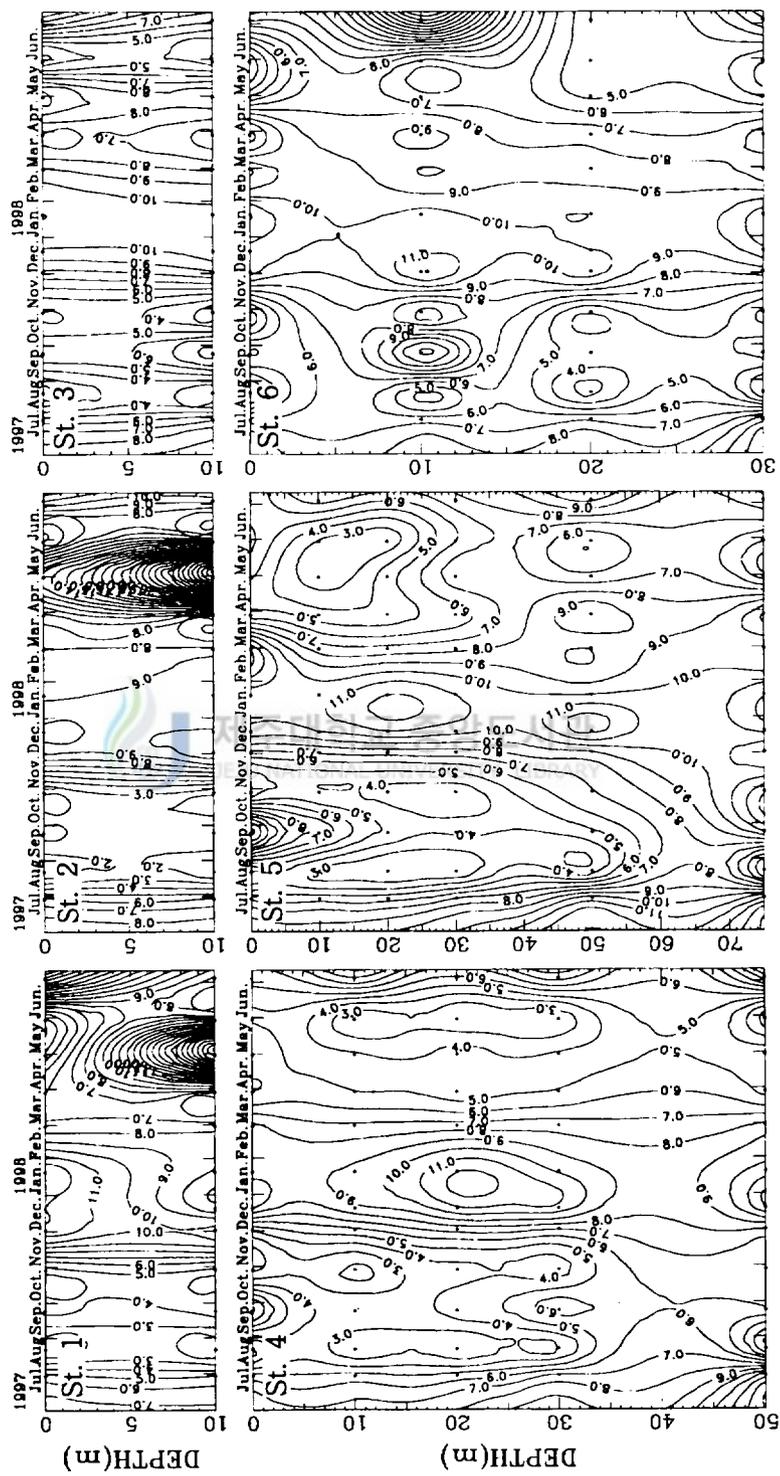


Fig. 9. Monthly variations silicate ( $\mu\text{M}$ ) in the study area from July 1997 to June 1998.

조사해역의 월 평균 N:P 비는 최저 1.3 (1998년 12월)부터 최고 116.8 (1997년 7월) 이었고 년 평균은 23.4를 나타냈다. 내해역에서 월평균은 1.4 (1998년 12월)부터 196.5 (1997년 7월)이었고 년 평균은 31.9을 나타냈다. 외해역에서 월평균은 1.2 (1998년 12월)부터 37.1 (1997년 7월)이었고 년 평균은 14.8을 나타냈다(Table 1).

월 평균 Si:P 비는 최저 0.8 (1997년 8월)부터 최고 81.1 (1997년 7월)이었고 년 평균은 32.0를 나타냈다. 내해역에서 월평균은 1.0 (1997년 8월)부터 140.0 (1998년 8월) 이었고 년 평균은 39.0을 나타냈다. 외해역에서 월평균은 0.5 (1997년 8월)부터 135.7(1997년 9월)이었고 년 평균은 25.0을 나타냈다.



Table 1. N/P ratio and Si/P ratio of inshore and offshore around Jungmun from August 1998 to June 1999

Sampling month	N/P ratio			Si/P ratio		
	Inshore	Offshore	Mean	Inshore	Offshore	Mean
'97 Jul.	196.5	37.1	116.8	117.3	44.9	81.10
Aug.	29.8	20.3	25.1	1.0	0.5	0.8
Sep.	39.6	15.6	27.6	72.4	135.7	104.1
Oct.	18.2	3.9	11.1	8.4	4.8	6.6
Nov.	42.1	8.3	25.2	55.7	15.5	35.6
Dec.	14.6	13.0	13.8	19.7	20.4	20.1
'98 Jan.	112.4	6.2	59.3	42.0	11.7	26.9
Feb.	18.7	17.9	18.3	26.5	33.9	30.2
Mar.	60.0	25.8	42.9	14.5	17.5	16.0
Apr.	24.0	10.1	17.1	136.3	21.0	78.7
May	4.9	5.7	5.3	9.2	7.1	8.2
Jun.	33.8	14.5	24.2	30.0	19.5	24.8
Jul.	13.0	4.9	9.0	18.0	7.1	12.6
Aug.	25.0	15.3	20.2	140.0	69.2	104.6
Sep.	9.9	14.2	12.1	13.2	13.4	13.3
Oct.	4.9	5.7	5.3	13.8	10.7	12.3
Nov.	11.3	16.9	14.1	9.6	13.8	11.7
Dec.	1.4	1.2	1.3	5.5	2.1	3.8
'99 Jan.	14.6	16.6	15.6	9.6	13.9	11.8
Feb.	2.7	10.9	6.8	6.9	9.6	8.3
Mar.	46.9	32.4	39.7	46.5	50.0	48.3
Apr.	4.9	11.5	8.2	22.7	18.5	20.6
May	17.6	24.4	21.0	44.4	16.8	30.6
Jun.	18.6	22.9	20.8	72.0	42.2	57.1
Average	31.9	14.8	23.4	39.0	25.0	32.0

### 3.2. 크기별 chlorophyll *a* 의 분포

해양생태계의 식물플랑크톤은 세포 크기에 따라 소형플랑크톤(microplankton, 20 $\mu$ m 이상), 미소플랑크톤(nanoplankton, 2~20 $\mu$ m)와 초미소플랑크톤(picoplankton, 0.2~2 $\mu$ m) 등으로 구분할 수 있다(Sieburth, 1978).

식물플랑크톤의 총 엽록소 *a* 량의 변화범위는 0.10 ~ 5.38 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 1997년 8월(정점 5; 75m층)에 가장 낮았고 1999년 5월(정점 3; 표층)에 가장 높았다(Fig. 10). 전체 평균농도는 0.79 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 을 나타내었다. 월별 평균엽록소 *a* 농도는 1997년 9월에 0.22 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 낮았고 1999년 5월에 2.02 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 해역에 따른 평균농도는 내해역이 최저가 0.22 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 9월)이었고, 최고가 2.69 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1999년 5월)이었으며, 년 평균현존량은 0.85 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 0.22 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 9월)이었고, 최고가 1.91 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1998년 5월)이었으며, 년 평균현존량은 0.73 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 이었다.

소형플랑크톤(microplankton)에 의한 엽록소 *a* 량의 변화범위는 0.0 ~ 3.79 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 으로 최소치는 계절별로 여러 정점에서 보였고 1998년 5월(정점 5; 10m층)에 가장 높았다. 전체 평균농도는 0.36 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 를 나타냈다. 월별 평균농도는 1998년 10월에 0.03 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 낮았고 1999년 5월에 1.34 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균농도는 내해역이 최저가 0.05 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 10월)이었고, 최고가 1.10 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1999년 5월)이었으며, 년 평균현존량은 0.366 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 0.03 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 10월)이었고, 최고가 1.44 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1998년 5월)이었으며, 년 평균현존량은 0.31 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 이었다 (Fig. 11).

미소플랑크톤(nanoplankton)에 의한 엽록소 *a* 량의 변화범위는 0.01 ~ 3.81 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 으로 최소치는 계절별로 여러 정점에서 보였고 1999년 5월(정점 3; 표층)에 가장 높았다. 전체 평균농도는 0.32 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 를 나타내었다. 월별 평균농도는 1997년 9월에 0.04 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 낮았고 1999년 5월에 1.14 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균농도는 내해역의 최저치가 0.02 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 9월), 최고치는 1.54 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1999년 5월)이었고, 년 평균현존량은 0.36 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저치가 0.04 $\mu$ g chl-*a* ·  $\ell^{-1}$  (1997년 8월), 최고치는 1999년 6월에 0.99

$\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$  (1999년 5월)이었고, 년 평균현존량은  $0.33\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 이었다.

초미소플랑크톤(picoplankton)에 의한 엽록소 *a* 량의 변화범위는 0.00 ~  $1.291\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 으로 최소치는 계절별로 여러 정점에서 보였고 1998년 7월(정점 4; 20m층)에 가장 높았다. 전체 평균농도는  $0.25\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 를 나타내었다. 월별 평균농도는 1999년 1월에  $0.08\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 낮았고 1998년 9월에  $0.47\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균농도는 내해역이 최저치가  $0.10\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$  (1999년 1월), 최고치는  $0.60\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$  (1998년 9월)이었고, 년 평균현존량은  $0.30\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저치가  $0.08\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$  (1998년 11월), 최고치는  $0.44\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$  (1999년 5월)이었고, 년 평균현존량은  $0.23\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ 이었다.

총 엽록소량 중 내해역에서 소형플랑크톤에 의한 점유율은 8.1~47.6% (평균 25.8%), 미소플랑크톤과 초미소플랑크톤에 의한 점유율은 각각 12.2~57.4% (평균 38.3%)와 17.3~59.7%(평균 35.9%)를 차지하였다. 외해역에서 소형플랑크톤에 의한 점유율은 87.5~58.7% (평균 38.3%), 미소플랑크톤과 초미소플랑크톤에 의한 점유율은 각각 16.4~60.7% (평균 39.5%)와 10.0~68.9% (평균 34.1%)를 차지하였다.

미소플랑크톤(nanoplankton)과 초미소플랑크톤(picoplankton)을 합한 엽록소 량은 내해역이 52.4~92.0%와 외해역이 41.3~92.5%로 각각 1998년 10월과 1999년 2월이 높게 나타났다.

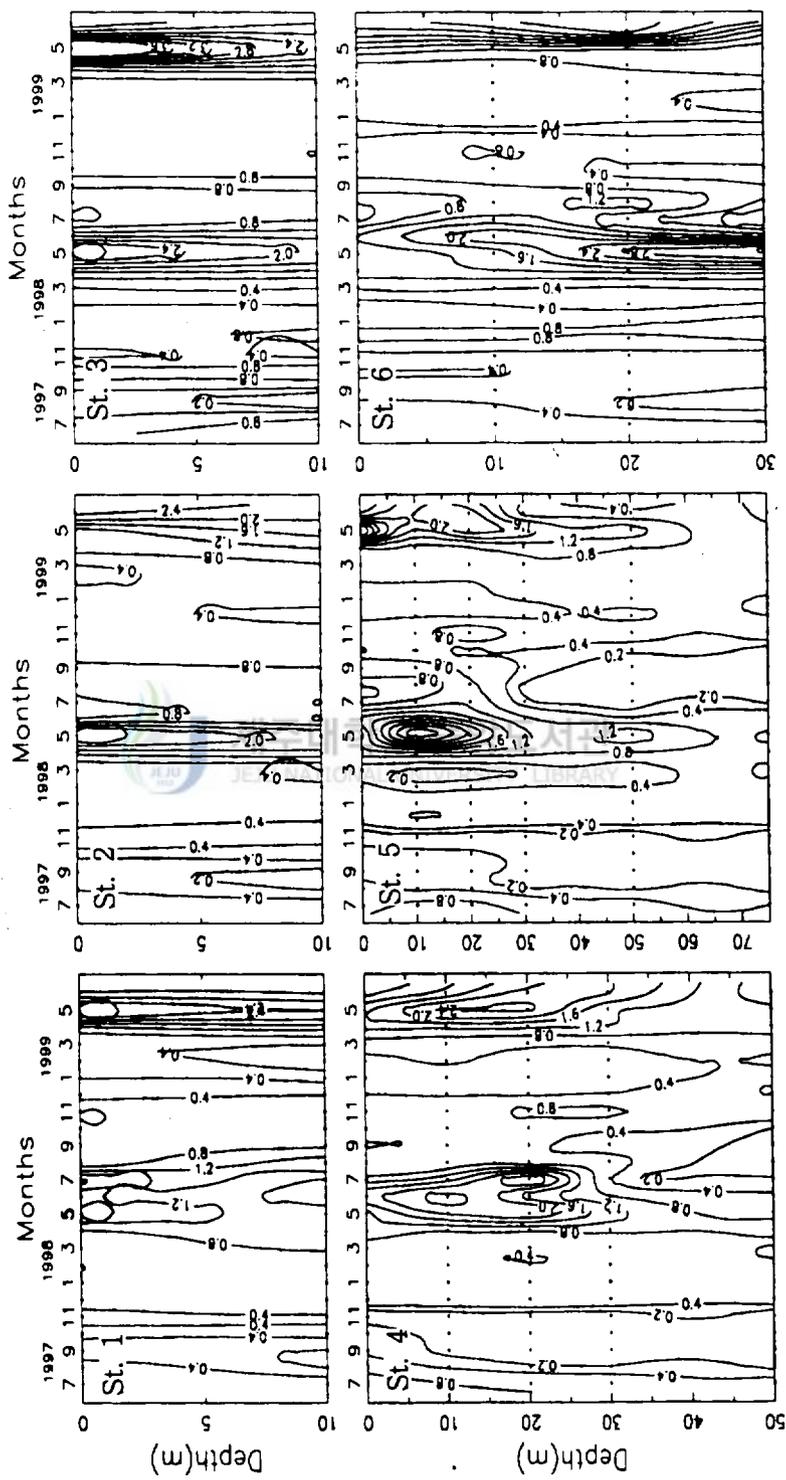


Fig. 10. Vertical distribution chlorophyll *a* ( $\mu\text{g chl-a} \cdot \ell^{-1}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

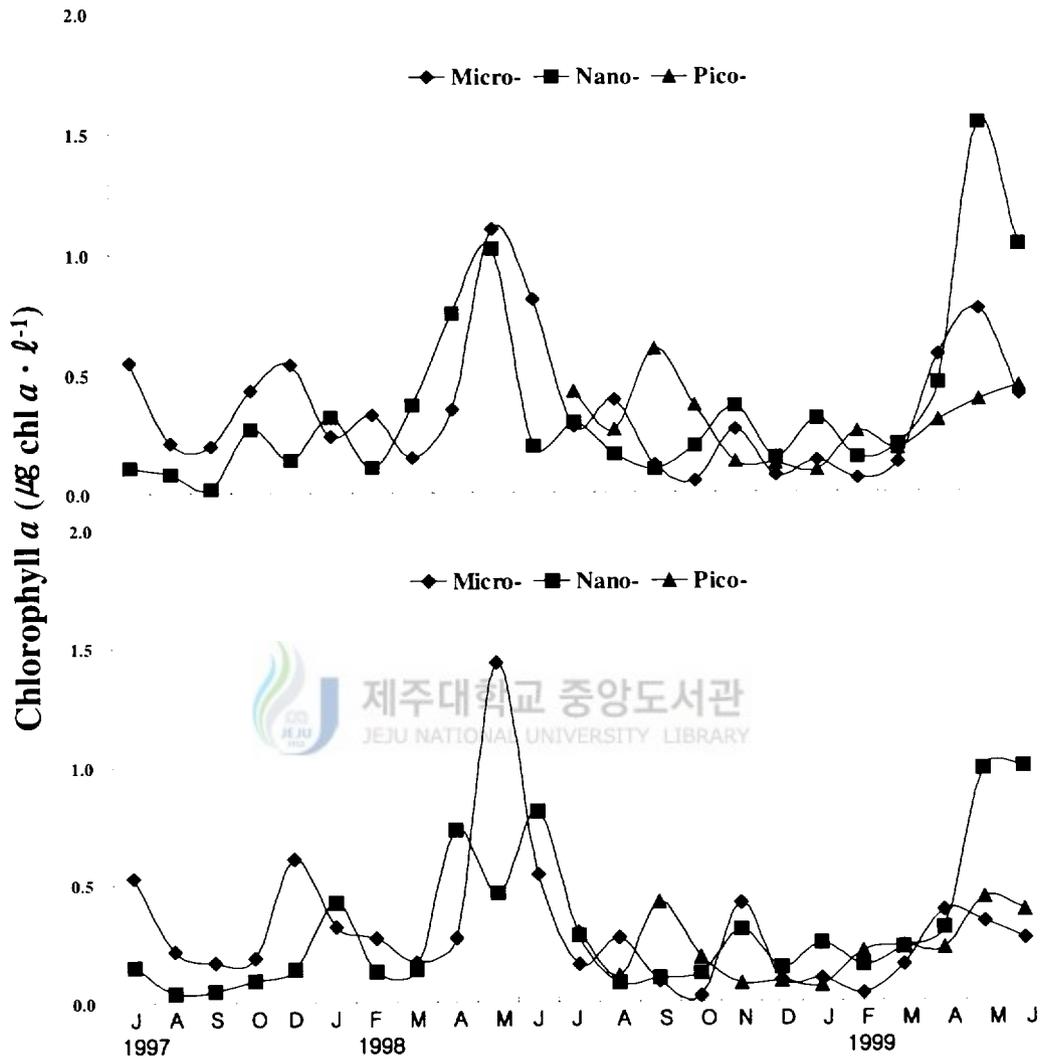


Fig. 11 Chlorophyll *a* concentration of inshore and offshore for the size fraction.

### 3.3. 식물플랑크톤의 현존량 분포

조사기간 동안 식물플랑크톤의 총 현존량은  $4.1 \times 10^3 \sim 2.6 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 의 범위로 1997년 8월 (정점 4; 50m층)에 가장 낮았고 1998년 5월 (정점 6; 20m층)에 가장 높았다(Fig. 12). 월별 평균 현존량은 1999년 2월에  $7.0 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고 1998년 5월에  $1.7 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역에 따른 평균현존량은 내해역이 최저가 1999년 2월에  $5.6 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$  이었고 최고가 1998년 5월에  $2.0 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$  이었다. 년 평균현존량은  $3.6 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 1997년 11월에  $7.1 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었고 최고가 1998년 5월에  $1.6 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 년 평균현존량은  $3.0 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 내해역이 외해역보다 높게 나타났다.

분류군별 현존량은 규조류가  $0.1 \times 10^3 \sim 2.5 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 의 범위로 1997년 8월 (정점 4; 50m층)에 가장 낮았고 1998년 5월 (정점 4; 10m층)에 가장 높았다(Fig. 13). 월별 평균현존량은 1997년 8월에  $2.0 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고 1998년 5월에  $1.6 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역에 따른 평균현존량은 내해역이 최저가 1999년 3월에  $2.1 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$  이었고 최고가 1998년 5월에  $1.8 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었고, 년 평균현존량은  $2.3 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 1997년 8월에  $1.2 \times 10^3$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었고 최고가 1998년 5월에  $1.5 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었고 년 평균현존량은  $1.6 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 내해역이 외해역보다 높게 나타났다.

와편모조류의 현존량은  $0 \sim 7.5 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 의 범위로 동계(1월, 2월)에 최저를 보였고 1999년 5월 (정점 5; 표층)에 가장 높았다. 월별 평균현존량은 동계(1월, 2월)에는 전혀 출현이 없었고 1998년 5월에  $8.3 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역에 따른 평균현존량은 내해역이 최저는 1월과 2월로 출현이 없었고 최고가 1999년 5월에  $1.2 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 년 평균현존량은  $1.0 \times 10^4$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 1월과 2월로 출현이 거의 없었고 최고가 1999년 5월에  $6.7 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 이었다. 년 평균현존량은  $4.7 \times 10^3$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 내해역이 외해역보다 높게 나타났다.

식물편모조류가  $1.1 \times 10^3 \sim 1.9 \times 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 1997년 8월(정점 4; 50m층)에 가장 낮았고 1998년 3월 (정점 5; 10m층)에 가장 높았다. 월별 평균현존량은 1997년 8월에  $4.8 \times 10^3$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고 1998년 9월에  $4.3 \times 10^5$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역에 따른 평균현존량은 내해역이 최저가 1997년 8월에  $5.9 \times 10^3$  cells  $\cdot \ell^{-1}$  이었고

최고가 1998년 6월에  $3.9 \times 10^6$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 이었다. 년 평균현존량은  $1.1 \times 10^5$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 이었다. 외해역은 최저가 1997년 8월에  $4.3 \times 10^3$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 이었고 최고가 1998년 6월에  $1.0 \times 10^6$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 이었고 년 평균현존량은  $1.3 \times 10^5$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 로 외해역이 내해역보다 높게 나타났다.

유글레나류는 5월부터 8월까지, 규질편모조류는 9월부터 12월까지 각각 모두  $1.0 \times 10^3$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$  이하의 계절적 분포 특성을 보였다.



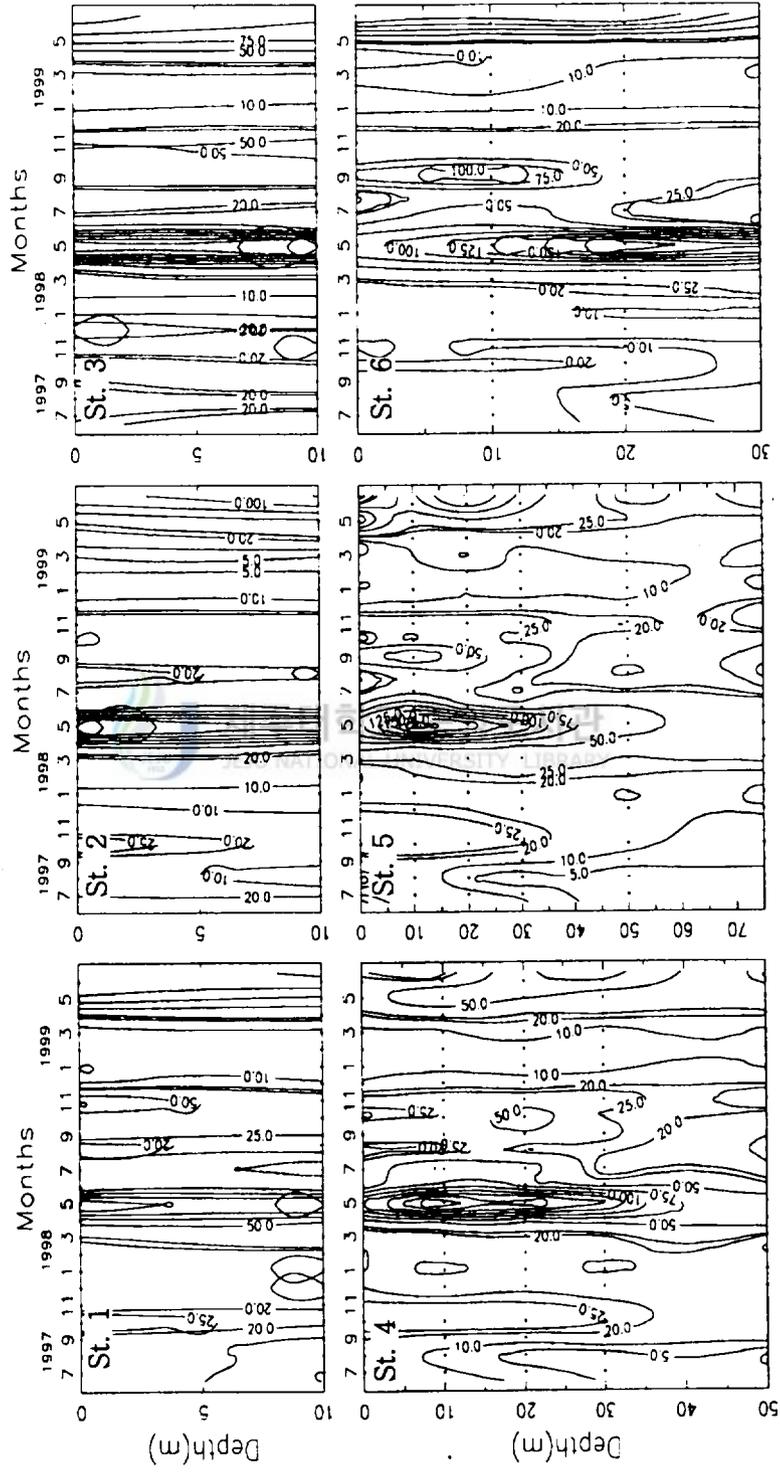


Fig. 12. Vertical distribution of standing crops ( $\times 10^4$  cells  $\cdot$   $l^{-1}$ ) in the study area from July 1997 to June 1999.

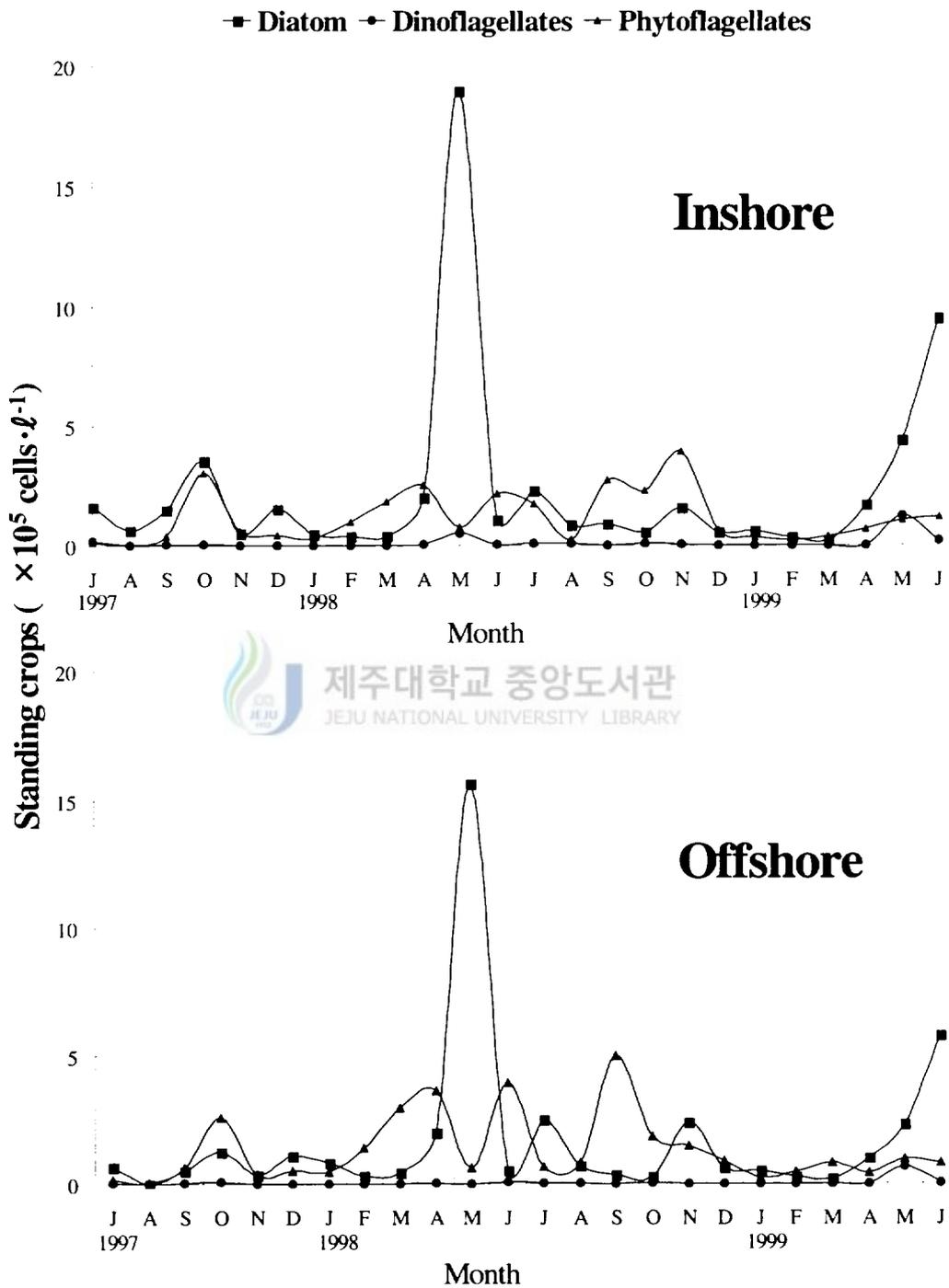


Fig. 13. Mean standing crops of diatoms, dinoflagellates and phytoflagellates in the study area.

### 3.4. 우점종의 계절적 천이

현존량이  $10^4$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상, 우점율이 20% 이상을 차지한 종을 우점종으로 한 결과 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum* 등 부유성 규조류가 2종이었고, 식물편모조류는 *Hillea fusiformis* 1종이었다(Fig. 14).

우점종의 해역별 분포를 보면 내해역은 *Chaetoceros socialis* (1997년 7월~1998년 1월) - *Hillea fusiformis* (1998년 2월) - *Chaetoceros socialis* (1998년 3월~5월) - *Hillea fusiformis* (1998년 6월) - *Chaetoceros socialis* (1998년 7월) - *Hillea fusiformis* (1998년 8월~11월) - *Skeletonema costatum* (1998년 12월~1999년 1월) - *Chaetoceros socialis* (1999년 2월) - *Hillea fusiformis* (1999년 3월) - *Chaetoceros socialis* (1999년 4월~6월)가 우점하였다.

외해역의 우점종의 분포경향은 *Skeletonema costatum* (1997년 7월~10월) - *Chaetoceros socialis* (1997년 11월-1998년 1월) - *Hillea fusiformis* (1998년 2월) - *Skeletonema costatum*과 *Chaetoceros socialis* (1998년 3월) - *Chaetoceros socialis* (1998년 4월~5월) - *Hillea fusiformis* (1998년 6월) - *Chaetoceros socialis* (1998년 7월) - *Hillea fusiformis* (1998년 8월~11월) - *Chaetoceros socialis* (1998년 12월) - *Skeletonema costatum* (1998년 1월) - *Chaetoceros socialis* (1999년 2월) - *Hillea fusiformis* (1999년 3월) - *Chaetoceros socialis* (1999년 4월) - *Skeletonema costatum* (1999년 5월-6월)이 우점하였다.

내해역에서 우점율의 분포경향은 *Chaetoceros socialis*가 23.2%(1997년 7월) ~ 83.1%(1998년 1월), *Skeletonema costatum*이 20.9%(1998년 3월) ~ 40.6%(1999년 1월), *Hillea fusiformis*는 21.0%(1998년 8월) ~ 76.1%(1998년 11월)을 보였다.

외해역에서 우점율의 분포경향은 *Chaetoceros socialis*가 16.1%(1999년 1월) ~ 56.5%(1997년 11월), *Skeletonema costatum*이 12.9%(1997년 12월) ~ 51.1%(1999년 6월), *Hillea fusiformis*는 35.0%(1998년 8월) ~ 81.3%(1998년 11월)을 나타냈다.

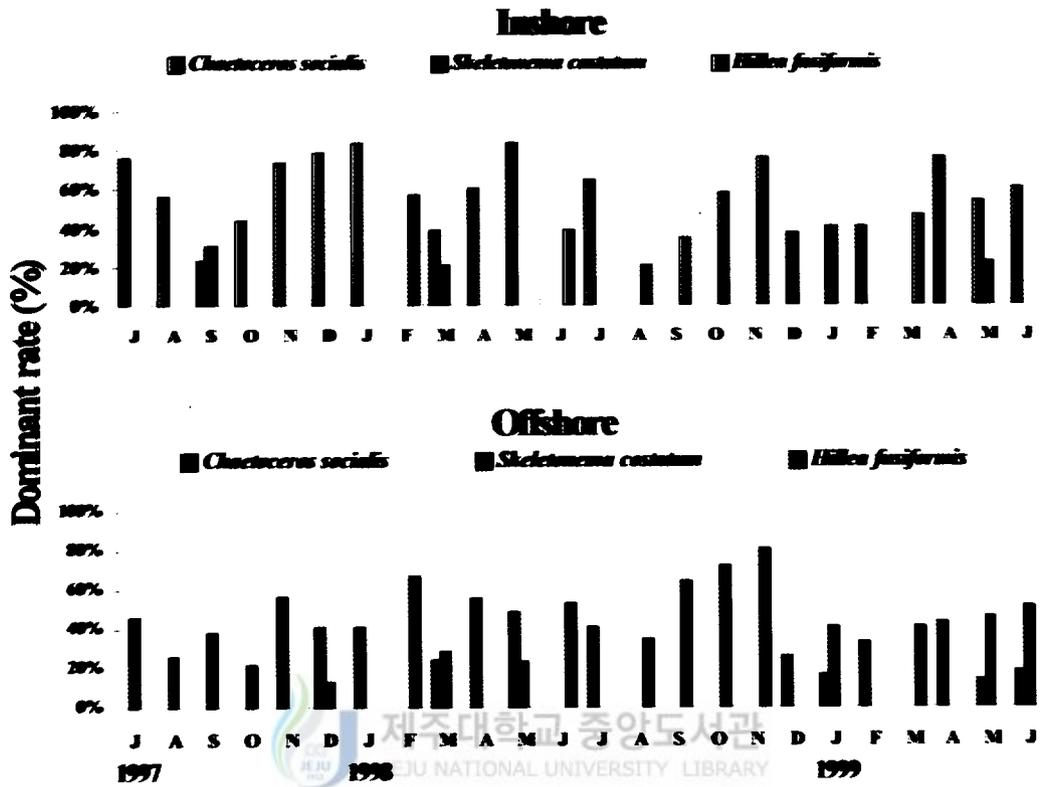


Fig. 14. Seasonal succession of dominant species in the study area.

### 3.5. 크기별 일차생산력

1998년 7월부터 1999년 6월까지 내해역(정점1)과 외해역(정점 5)에서 측정된 일차생산력의 범위는  $1.53 \sim 24.97 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 계절별 분포 경향은 하계가 높고 동계와 춘계가 낮았으며, 해역별 일차생산력은 내해역이 외해역보다 훨씬 높은 생산력을 보였다(Table 2).

소형플랑크톤(microplankton)에 의한 일차생산력은  $0.02 \sim 9.53 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 최대치는 6월에 정점 1에서, 최소치는 8월에 정점 5에서 나타났고, 외해역보다는 연안해역이 높은 일차생산력을 유지하고 있었다.

미소플랑크톤(nanoplankton)에 의한 일차생산력은  $0.4 \sim 5.17 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 정점 5에서 최대치는 12월과 최소치는 10월에 나타났다. 내해역은 동계에 낮고 하계에 높았으며, 외해역은 하계와 동계가 다른 계절보다 높게 나타났다.

초미소플랑크톤(picoplankton)에 의한 일차생산력은  $0.25 \sim 5.21 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 최대치는 8월에 정점 5에서, 최소치는 4월에 정점 1에서 나타났다. 내해역은 동계에 낮고 하계에 높은 경향을 보였고 외해역은 하계가 다른 계절보다 높은 특성을 보였다.

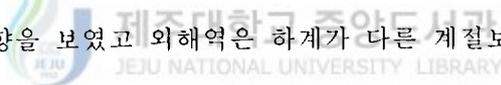


Table 2. Primary productivity of phytoplankton around Jungmun from August 1998 to June 1999

Mon.	St.	Depth (m)	Secchi depth (m)	Euphotic depth (m)	Primary Productivity ( $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ )			
					Total-	Micro-	Nano-	Pico-
					( $\%$ )			
Aug.	1	17	7.0		6.78	0.37	1.84	4.57
					(100)	(5.5)	(27.1)	(67.4)
	5	75	16.0	43.2	9.31	0.02	4.08	5.21
					(100)	(0.2)	(43.8)	(56.0)
Oct.	1	17	13.0		6.31	1.04	3.40	1.87
					(100)	(16.5)	(53.9)	(29.6)
	5	75	15.5	41.9	1.53	0.25	0.40	0.88
					(100)	(16.4)	(26.1)	(57.5)
Dec.	1	17	11.0		4.26	1.06	1.24	1.96
					(100)	(24.9)	(29.1)	(46.0)
	5	75	11.5	31.1	7.30	0.74	5.17	1.39
					(100)	(10.1)	(70.8)	(19.1)
Feb.	1	17	11.5		1.85	0.72	0.46	0.67
					(100)	(38.9)	(24.9)	(36.2)
	5	75	13.0	35.1	2.30	0.78	0.66	0.86
					(100)	(33.9)	(28.7)	(37.4)
Apr.	1	17	12.0		6.61	4.69	1.67	0.25
					(100)	(70.9)	(25.3)	(3.8)
	5	75	12.0	32.4	2.96	0.91	1.59	0.46
					(100)	(30.7)	(53.7)	(15.6)
Jun.	1	17	10.0		19.63	9.53	4.94	5.16
					(100)	(48.5)	(25.2)	(26.3)
	5	75	11.0	29.7	5.14	0.41	2.63	2.10
					(100)	(7.9)	(51.2)	(40.9)

### 3.6. 식물플랑크톤과 환경요인과의 상관관계

식물플랑크톤의 현존량을 상용대수로 치환한 것을 종속변수로 사용하여 9개의 환경요인(수온, 염분도, pH, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 아질산성 질소, 인산 인, 규산성 규소, 용존산소)을 독립변수로 하여 계산한 결과를 해역별, 계절별로 나타내었다 (Table 3).

내해역에서 여름철은 규산염과 역(-)의 상관관계( $r=0.62$ ,  $p<0.01$ )를 보였으며 용존산소와 높은 상관관계를 보였다. 가을철에는 아질산염과 역(-)의 상관관계, 겨울철은 수온과 역(-)의 상관관계와 암모니아와 아질산염과는 높은 상관관계를 보였다. 봄에는 수온과 염분이 높은 상관관계를 나타내었다.

외해역에서 여름철은 규산염과 역(-)의 상관관계를 보였고, 가을에는 온도와 높은 상관관계를 보였다. 겨울철에는 용존산소와 역(-)의 상관관계( $r=0.73$ ,  $p<0.01$ )를 보였고 아질산염과 높은 상관관계를 나타내었다. 봄에는 아질산염이 역(-)의 상관관계( $r=0.68$ ,  $p=0.01$ )를 나타내었다.



Table 3. Results of Pearson correlation coefficient matrix between standing crops and environmental variables in the study area

Coastal area	Season	Temp.	Sal.	pH	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3</sup> -P	SiO <sub>2</sub> -Si	DO
Inshore	Summer (n=36)								-0.53**	0.64**
	Autumm (n=36)	0.37**				-0.70**				
	Winter (n=36)	-0.71**		0.26*	0.70**	0.75**	0.20*			
	Spring (n=36)	1.16**	0.86**					0.30*		
Offshore	Summer (n=72)		0.28**	0.41**					-0.42**	0.34*
	Autumm (n=64)	0.46**				-0.40**				
	Winter (n=72)					0.39**		-0.22*		-0.49**
	Spring (n=75)			0.25*	-0.26**	-0.69**	-0.29**			

\* : P<0.05, \*\* : p<0.01

#### 4. 고 찰

조사해역의 물리·화학적 환경특성을 살펴보면 평균수온은 내해역이 외해역보다 0.85℃가 높고, 평균 염분농도는 외해역이 내해역보다 0.29‰이 높았다. 내해역은 수심이 10m 내외로 표층과 저층이 수직적 혼합이 활발하여 수온과 염분의 분포 차이는 수온은 1~2℃, 염분은 1‰내외로 크게 나타나지 않았다. 외해역은 계절에 따라 수온과 염분이 변화하여 표층과 저층의 차이가 수온은 약 10℃, 염분은 약 2‰ 정도로 큰 차이가 있었다. 성층현상을 살펴보면 수심이 10m 내외인 내해역은 없고, 외해역은 여름철에 20~30m 수심에서 성층이 형성되어 추계에 소멸되었다. 따라서 조사해역은 겨울철 특성인 고염은 12~4월에, 여름철 특성인 고온·저염화는 6~10월에 보이고 나머지 시기는 중간특성이 나타났다. 저층은 년 중 대마난류수가 분포하는데 비해 상층은 겨울에는 대마난류수, 여름에는 중국 양자강연안수의 영향으로 표층이 저염화 되는 현상도 나타나고 있었다.

해양생태계내에서 식물플랑크톤의 성장과 분포에 미치는 가장 큰 요인 중의 하나인 영양염류는 해양에서 대부분 용존 무기물의 형태로 존재하고 해양식물들의 성장을 제한하는 요인으로 작용한다. 이와 같은 영양염의 공급은 육상유입수에 의한 공급, 해양미생물의 유기물 분해과정, 수층의 수직적 혼합에 의한 저층으로부터의 공급, 해양의 bacteria에 의한 질소고정에 의한 공급, 수괴자체에서 미생물과 동물플랑크톤에 의해 재생산되는 과정과 수직 와류 확산 등이 있다(Carpenter *et al.*, 1984; Park, 1986; Park *et al.*, 1986; Shim and Park, 1986).

조사해역의 암모니아성 질소의 월별 분포경향은 식물플랑크톤의 대발생시기에 전체 해역에서 낮아지는 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 크지 않지만 외해역은 표층보다 저층이 대마난류수의 영향으로 훨씬 낮은 농도를 보였고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높게 나타났다. 아질산성 질소의 월별 분포경향은 동계에 증가를 하고 춘계와 추계에 감소하였다. 수층별 분포는 저층이 내해역과 외해역에서 높은 분포를 보였고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높았다. 질산성 질소는 식물플랑크톤의 대증식시기인 춘계와 추계가 동계와 하계보다 낮은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 표층이 저층보다 높고 외해역은 저층이 높은 분포경향을 나타냈고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높은 분포를 보였다. 이와 같이 조사

해역의 질소화합물 농도의 변화양상은 제주도 해안선 주변역(최 등, 1989)에서 용존 질소 화합물중 암모니아성 질소가 년 간 ND~8.67 $\mu$ M, 아질산성 질소는 년 평균 0.22(0.05~0.81) $\mu$ M, 질산성 질소는 11.51(2.68~49.56) $\mu$ M의 농도와 제주도 연안 2마일 이내 해역 10m이내 수심에서의 질산성 질소 1~4 $\mu$ M(박, 1982)인 분포경향과 유사한 계절적 변화를 보이고 있다.

인산 인의 분포경향은 하계에서 동계로 진행될수록 높은 분포를 나타냈고 춘계와 추계에 낮은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 없지만 외해역은 저층이 높은 분포 경향을 보였다. 해역별 평균농도는 외해역이 내해역보다 높았다. 최 등(1989)의 제주도 해안선 주변역에서 농도 분포특성인 여름에서 가을까지 증가하는 경향과 유사한 특성이 있었다.

규산성 규소의 월별 분포양상은 춘계와 동계가 규조류의 대증식에도 불구하고 하계와 추계보다 높은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 없지만 외해역은 저층이 높았다. 해역별 평균농도는 내해역이 외해역보다 높은 분포를 보였다. 최 등(1989)의 보고에 의하면 제주도 해안선 주변역의 규산염의 농도는 제주도 남동쪽이 서쪽역보다 높고, 특히 서귀포 지역은 육상수의 유입으로 인해 타 해역보다 높은 농도를 나타낸다는 결과와 유사한 특성이 있었다.

조사해역의 년 평균 N:P비는 23.4로 일반적인 해양의 Redfield 비인 16:1보다 높아 질산염보다 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자로 작용하고 있었다. 내해역은 식물플랑크톤이 대증식시기에 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있지만 그 외의 계절에는 인산염이 제한인자로 작용하고 있고 지속적으로 질산염이 유입되고 있음을 알 수 있다. 외해역은 식물플랑크톤의 대증식시기와 그 외 계절에도 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있어 내해역과는 다른 양상을 보여 주고 있었다. 한국 연안역들의 N:P비는 동해에서 Shim *et al.*(1992)은 12.5를 질소계 영양염이 제한인자로 보고했고, 정과 박(1988)은 경기만에서 7.9~74.5의 N:P 비를 보고했다. 강과 최(2002)는 고리, 월성, 울진 그리고 영광해역에서 각각 3.2~57.3(평균 18.8), 3.1~109.0(평균 25.9), 2.6~102.0(평균 30.0) 그리고 1.0~165.0(평균 26.9)를 보고하여 인산염이 제한인자로 작용하고 있다고 보고했다. 조사해역의 년 평균 Si:P 비는 32.0으로 일반적인 해양의 Si:P 비인 15.0(Raymont, 1980)보다 높아 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 강우기에는 N:P 비와 Si:P 비가 내해역이 외해역보다 월등히 높아 육

상에서 지속적으로 질소계 영양염류와 규산염이 공급됨을 알 수 있다.

조사해역의 엽록소 *a*의 농도는 식물플랑크톤의 대증식을 일으킨 시기에 높은 농도를 나타내어 현존량과 일치하는 경향을 보였다. 수층별 변화는 내해역에서 큰 차이는 없었다. 외해역은 10m와 20m층이 다른 수층에 비해 높은 농도를 나타내었는데 이는 식물플랑크톤의 현존량이 최대층과 질소계 영양염류의 최상층과 일치하고 있었다. 일반적으로 해양에서 일차생산과 엽록소 농도의 최대층은 질소계 영양염류가 급격히 변화하는 층(nitracline)에서 나타난다는 보고와 일치하고 있었다(Cullen, 1982). 지금까지 보고된 제주도 주변해역에서 농도분포와 비교시 유사한 분포경향을 나타내고 있지만 우리나라 내만해역과는 낮은 분포 경향을 나타내었다(Table 4). 내해역에서의 월별 변화특성은 동계에 낮고, 춘계에 높은 경향을 나타내었다. 외해역은 동계에 낮고 하계와 춘계에 높은 경향을 보였다. 해역별 분포특성은 내해역이 외해역보다 높고 특히 소형플랑크톤(microplankton)의 대증식이 크게 기여를 하고 있었다.

해양에서 미소플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 현존량의 약 80~100%를 차지하고, 해역과 계절에 따라 크기가 큰 소형플랑크톤보다 수층에서 안정화 되어 있다(Takahashi *et al.*, 1982). 따라서 본 조사해역도 소형플랑크톤(microplankton)보다 미소플랑크톤(nanoplankton)과 초미소플랑크톤(picoplankton)이 총 식물플랑크톤의 엽록소 량에 크게 기여를 하고 있다고 생각된다. 지금까지 제주도 연안역에서 크기별 엽록소 *a* 량은 보고된 적이 없지만 총 엽록소 농도에 대한 소형플랑크톤의 점유율을 우리나라 주변 연안역과 비교시 고리, 월성, 울진 및 영광해역(강과 최, 2002)은 각각 9.8~65.6(평균 43.9)%, 24.3~61.0(평균 44.5)%, 8.0~65.0(평균 39.1)% 그리고 23.2~56.6(평균 35.8)%로 본 조사해역은 내해역(평균 25.8%)은 낮고 외해역(평균 38.3%)은 비슷한 경향을 보였다. 미소플랑크톤의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역은 각각 34.5~90.2(평균 56.1)%, 39.0~75.7(평균 55.5)%, 35.0~92.0(평균 60.9)% 그리고 43.4~76.8(평균 64.2)%로 본 조사해역은 내해역(평균 38.3%)과 외해역(평균 39.5%) 모두 낮은 경향을 보였는데 이는 초미소플랑크톤에 의한 점유율이 적용되지 않았기 때문이다. 초미소플랑크톤을 적용시 내해역과 외해역은 각각 평균 74.2%와 73.6%를 차지해 다른 해역보다 높음을 알 수 있다. 이외의 미소플랑크톤에 의한 점유율은 동해남부해역의 16.0~99.0%(Shim *et al.*, 1985), 동해의 25.0~83.0%(조, 1985), 황해의 평균 46.2%(Chang *et al.*, 1987) 등과 비교시 유사한 특성을 보였다.

Table 4. Distribution of chlorophyll *a* concentrations of phytoplankton in different region of Korea

Local		Chlorophyll <i>a</i> ( $\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ )	Reference
제주 동부해역	성산항 주변	0.06 ~ 5.39	이와 좌(1990)
	성산 우도 주변	0.21 ~ 2.12	이 등(1993)
제주 서부해역	북서해역	0.02 ~ 0.58	전과 고(1983)
	한림항 주변	0.02 ~ 2.59	이와 좌(1990)
제주 남부해역	남동해역	0.03 ~ 0.74	전과 고(1983)
	남부해역	0.20 ~ 1.32	전 등(1986)
	서귀포 문섬 주변	0.12 ~ 1.51	좌와 이(2000)
	남부 조수웅덩이	0.60 ~ 86.7	이 등(2001)
	중문해역	0.00 ~ 5.38	<b>Present study</b>
제주 북부해역	삼양연안	8.15 ~ 14.72	고와 전(1984)
	함덕연안	0.12 ~ 0.91	이 등(1995)
	삼양발전소 주변	0.04 ~ 0.77	이 등(1998)
	제주항 주변	0.10 ~ 2.49	이와 신(2000)
제주 해안선역	해안선 주변	0.45 ~ 2.59	이 등(1989)
	해안선역	1.0 ~ 2,160	이 등(1999) ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ )
한국 서해	경기만	1.20 ~ 5.78	정과 박(1988)
	영광연안	1.71 ~ 5.88	강과 최(2002)
한국 동해	동해남부역	0.21 ~ 8.26	박 등(1998)
	울진연안	0.71 ~ 3.98	강과 최(2002)
	월성연안	0.91 ~ 4.52	강과 최(2002)
한국 남해	낙동강 하구역	1.19 ~ 43.18	문과 최(1991)
	진해만	0.38 ~ 89.25	박 등(2001)

조사해역의 총 현존량의 분포특성은 내해역이 외해역보다 현존량이 높은 현존량을 유지하고 있었는데 이는 내해역이 영양염 공급이 원활하고 수층 간 혼합이 활발히 발생하기 때문이라 생각된다. 또한 제주도 주변해역의 일반적인  $10^5 \sim 10^6$  cells  $\cdot$   $\ell^{-1}$ 의 현존량 분포특성과 유사한 특성을 보였다(Table 5). 총 현존량에 영향을 미치는 분류군은 계절에 따라 다르게 나타나고 있으며, 특히 9월에는 식물성편모조류, 11월, 5월과 6월에는 규조류가 영향을 끼치고 있었다. 와편모조류는 수온이 상승하고 광량이 증가하는 5월의 표층과 10m층에서 영향을 끼치고 있었다. 내해역에서는 규조류 현존량의 높은 반면 외해역은 계절에 따라 식물편모조류가 점차 증가 하고 있는 경향이 있었다. 분류군별 평균현존량의 점유율을 살펴보면 내해역은 규조류가 19.3~99.9%로 동계가 높고 하계가 낮았고, 와편모조류는 0~43.7%로 하계에만 높은 점유율을 보였으며 식물편모조류는 0.3~52.2%로 하계에 높은 분포를 보였다. 한편 외해역은 규조류가 2.7~99.9%로 동계에 높고 하계가 낮았고, 와편모조류는 0~94.5%로 하계에만 높은 점유율을 보였고 식물편모조류는 0.3~52.2%로 하계에 높은 분포를 보였다.

식물플랑크톤의 대증식 시기에는 질소계 영양염들이 년 중 최저치를 나타내고 있는데 이는 지속적인 영양염 공급과 적당한 수온, 최적의 광조건이 식물플랑크톤을 대번식하여 질소계 영양염이 소진되기 때문이라 생각된다. 이러한 식물플랑크톤의 현존량과 환경요인과의 상관관계를 분석하여 해역별, 계절별로 살펴보면 내해역은 여름철과 가을철에 물리적 영향, 봄과 겨울철은 물리적인 영향과 질소계 영양염의 영향을 받는 것으로 생각된다. 외해역은 여름과 가을철에 물리적인 요인, 봄과 겨울철에 질소계 영양염류의 영향을 받고 있다고 생각된다.

Table 5. Distribution of phytoplankton standing crops in different region of Korea

Local		Standing crops (cells · ℓ <sup>-1</sup> )	Reference	Remark
제주 동부해역	성산항 주변	$6.4 \times 10^3 \sim 1.8 \times 10^6$	이와 좌(1990)	
	성산 우도 주변	$4.1 \times 10^3 \sim 8.1 \times 10^5$	이 등(1993)	
제주 서부해역	서남부해역	$6.7 \times 10^3 \sim 3.9 \times 10^5$	Shim and Park (1984)	
	한림항 주변	$3.2 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^6$	이와 좌(1990)	
제주 남부해역	남부해역	$0.0 \sim 3.9 \times 10^4$	최(1966)	
	서귀포연안	$1.5 \times 10^3 \sim 6.6 \times 10^4$	정 등(1983)	
	남부해역	$3.2 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^5$	전 등(1986)	
	서귀포 보목 주변	$4.4 \times 10^3 \sim 7.1 \times 10^6$	정 등(1998)	
	서귀포 새섬 주변	$3.9 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^5$	정 등(1998)	
	서귀포 문섬 주변	$1.5 \times 10^3 \sim 7.0 \times 10^5$	좌와 이(2000)	
	남부 조수웅덩이 중문해역	$1.9 \times 10^4 \sim 1.1 \times 10^6$ $4.1 \times 10^3 \sim 2.6 \times 10^6$	이 등(2001) <b>Present study</b>	
제주 북부해역	삼양연안	$2.4 \times 10^3 \sim 5.9 \times 10^5$	고와 전(1984)	
	탐동연안	$1.8 \times 10^3 \sim 5.4 \times 10^5$	이(1989)	
	함덕해안	$4.1 \times 10^3 \sim 2.4 \times 10^5$	윤 등(1990), 윤 등(1992)	
	함덕연안	$5.8 \times 10^3 \sim 7.3 \times 10^4$	이 등(1995)	
	삼양발전소 주변 제주항 주변	$7.1 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5$ $1.5 \times 10^3 \sim 3.1 \times 10^7$	이 등(1998) 이와 신(2000)	
제주 해안선역	해안선 주변	$2.0 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5$	이 등(1989)	
	해안선 주변	$1.8 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^6$	이 등(1990)	
	해안선역	$10^2 \sim 1.2 \times 10^7$	윤 등(1991)	
	해안선역* 갯녹음해역*	$1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6$ $2.6 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^6$	이 등(1999) <b>Present study</b>	cells · cm <sup>2</sup> cells · cm <sup>2</sup>
한국 서해	경기만	$1.6 \times 10^4 \sim 1.7 \times 10^6$	Choi and Shim (1986)	
	영광연안	$4.2 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^6$	강과 최(2002)	
한국 동해	동해남서역	$2.1 \sim 5.5 \times 10^6$	Shim <i>et al.</i> (1992)	
	울진연안	$1.3 \times 10^5 \sim 1.6 \times 10^6$	강과 최(2002)	
한국 남해	월성연안	$1.7 \times 10^5 \sim 2.6 \times 10^6$	강과 최(2002)	
	낙동강 하구역	$1.7 \times 10^5 \sim 3.5 \times 10^6$	문과 최(1991)	
	광양만	$2.5 \times 10^4 \sim 2.1 \times 10^6$	Cho <i>et al.</i> (1994)	

현존량의  $10^4$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상, 우점율이 20% 이상을 중을 우점종으로 선정을 한 결과 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum* 등 부유성 규조류가 2종과 식물편모조류인 *Hillea fusiformis* 1종이었다.

부유성 규조류인 *Chaetoceros socialis* Lauder 종은 온대역 연안종으로 군체를 형성하고 또한 냉수종으로 동계에 많이 출현한다고 보고 되었다(Fukuyo *et al.*, 1990). 우리나라의 연안역에서는 주로 겨울철에  $10^5$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상으로 대증식을 하지만 (Shin and Bae, 1985; 강 등, 2003) 가끔 여름철에도 대증식을 발생한다(강 등, 2003). 이종은 제주도 문섬 주변역에서 동계에 37.1~70.0% 우점율을 보였고(이 등, 2000), 한림항과 성산항은 각각 하계와 춘계에 대증식을 하였다(이와 좌, 1990). 우도주변해역에서는 모든 계절에 걸쳐 우점을 하였고, 삼양 연안역에서는 춘계(이 등, 1998), 제주항내에서는 춘계와 추계에 우점을 하였다(이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서는 1998년 추계를 제외하면 전 계절에 우점을 하였다.

부유성 규조류인 *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve 종은 기수역과 모든 해역에 분포하는 보편종이고 광온성과 광염성을 지닌 종으로 우리나라 연안역에서는 계절에 관계없이 년 중 출현한다(유와 이, 1982; Fukuyo *et al.*, 1990; 강과 최, 2003). 제주도 문섬 주변역에서 추계에 우점을 하였고(이 등, 2000), 한림항과 성산항은 모두 춘계와 추계에 대증식을 하였다(이와 좌, 1990). 우도주변해역에서는 동계에 걸쳐 우점을 하였고, 삼양 연안역에서는 춘계(이 등, 1998), 제주항내에서는 춘계와 추계에 우점을 하였다(이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서는 각각 동계와 하계에 우점을 하였다.

식물편모조류인 *Hillea fusiformis* (Shiller) Shiller 종은 은편모조강에 속하는 종으로 크기가  $20\mu\text{m}$  이하인 미소플랑크톤(nanoplankton)으로 이전에는 주로 소형플랑크톤(microplankton)에 대한 연구만 집중되어 미소플랑크톤에 대한 동정과 계수가 누락이 되었다고 볼 수 있다. 최근에 미소플랑크톤의 중요성에 대한 연구가 집중되면서 미소플랑크톤도 우점종으로 출현하고 있다. 이종은 제주도 주변해역에서 년 중 출현하고 있고 특히 제주항내에서 동계에 우점종으로 보고 되었다(이 등, 2000; 이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서 모두 하계와 추계에 우점을 하고 있었다. 이때의 현존량과 환경요인과의 상관관계를 보면 수온과 상관관계가 있고 아질산염과는 역(-)의 상관관계를 나타내고 있었다. 이종에 대하여는 차후에 좀더 많은 연구가 필요하다.

각 크기별 식물플랑크톤의 총 일차생산력에 기여한 비율을 살펴보면 소형플랑크톤(microplankton)은 내해역에서 5.5(8월)~70.9(4월)%, 외해역에서 0.2(8월)~33.9(2월)%로 외해역보다 내해역에서 크게 기여를 하고 있었다. 미소플랑크톤(nanoplankton)은 내해역에서 24.9(2월)~53.9(10월)%, 외해역에서 26.1(10월)~70.8(12월)%로 내해역보다 외해역에서 크게 기여를 하고 있었다. 초미소플랑크톤(picoplankton)은 내해역에서 3.8(4월)~67.4(8월)%, 외해역에서 15.5(4월)~57.5(10월)%를 보여 계절에 따라 상반된 특성을 보였다. 조사해역의 일차생산력은 chlorophyll *a*의 변화 경향과 유사하게 소형플랑크톤보다 미소플랑크톤과 초미소플랑크톤이 일차생산력에 크게 기여를 하고 있다고 생각된다.



## II. 제주도 해안 부착 미세조류의 군집구조와 생태학적 특성

### 1. 연구배경 및 목적

부착 미세조류는 수중 기질에 고착 또는 부착하며 세포크기가  $100\mu\text{m}$  이하로써 규조류가 대부분을 차지하며 일부 남조류, 와편모조류, 기타 식물편모조류 등이 있다. 이들은 다양한 서식지에서 자가영양체로서 풍부하게 존재하며 광범위한 물리적 환경과 다양한 영양조건하에서 1차생산자로서 중요한 역할을 하고 있다(Hogland *et al.*, 1993).

제주 연안해역의 미세조류에 대한 연구는 부유성 미세조류의 생태학적인 연구가 대부분이었으며(고와 전, 1984; 이, 1989; 이와 좌, 1990; 이 등, 1989, 1991, 1993; 윤 등, 1992), 부착 미세조류에 대하여는 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 연구의 일환으로 수행된 것과 부착기질에 따른 부착규조류의 종조성에 관한 연구가 있었다(이 등, 1990, 1991).

제주도 해안선 주변은 화산섬의 영향으로 한반도 다른 해안보다 많은 암반이 조성되어 있어 많은 종류의 부착 미세조류가 분포하며(이 등, 1991), 이들의 생태적 지위는 치패류 및 치자어의 초기 먹이생물로 중요하게 인식되고 있다. 최근 제주도 주변 해역의 어패류 및 섭식동물의 자연생산량이 매년 감소하고 있어(정과 홍, 1993), 그 직접적인 원인은 갯녹음 현상(algal whitening)과 같은 해양생태계의 변화(정 등, 1998)와 치패의 초기 먹이생물인 부착 미세조류의 생태적 특성 변화와도 관련이 있을 수 있다고 생각된다. 따라서 본 연구는 제주도 해안선주변 부착규조류의 생태적 및 지역적 분포특성을 비교하여 해양환경 및 수산양식분야에 유용한 기초 자료를 제시하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사 시기 및 정점

조사는 제주도 해안을 동, 서, 남, 북의 4방위로 설정하여 동부의 성산, 서부의 옹포, 남부의 중문 그리고 북부의 함덕 등 4개의 대표 정점에서 1997년 9월부터 1998년 8월까지 매월 부착판 채집에 의한 부착규조류를 조사하였다(Fig. 15).

### 2.2. 시료의 채집

시료의 채집은 10개의 slide glass (76×26mm)를 끼워 넣은 부착판을 2개씩 각 정점의 최저 간조선 바로 밑 조하대에 skin diving 또는 SCUBA를 이용하여 설치한 후 1개월 뒤에 부착판을 수거하고 새로운 부착판을 설치하는 방식으로 이루어졌다(Fig. 18). 그 이유는 부착하는 종류들의 빠른 천이로 인하여 1개월이 지난 부착판에서는 부착 규조류를 관찰하기 어렵기 때문이다.

### 2.3. 물리·화학적 분석

각 정점의 물리·화학적 환경요인을 파악하기 위해 수온과 염분은 현장에서 측정기기(YSI 85)로 측정하였다. 영양염류인 암모니아성 질소( $\text{NH}_4\text{-N}$ )는 phenol-hypochlorite 법, 아질산성 질소( $\text{NO}_2\text{-N}$ )는 NED법, 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )는 cadmium reduction 법, 인산인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 ascorbic acid 법, 규산성 규소( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )는 molybdenum blue 법에 의해 정량하였다(Parsons *et al.* 1984).

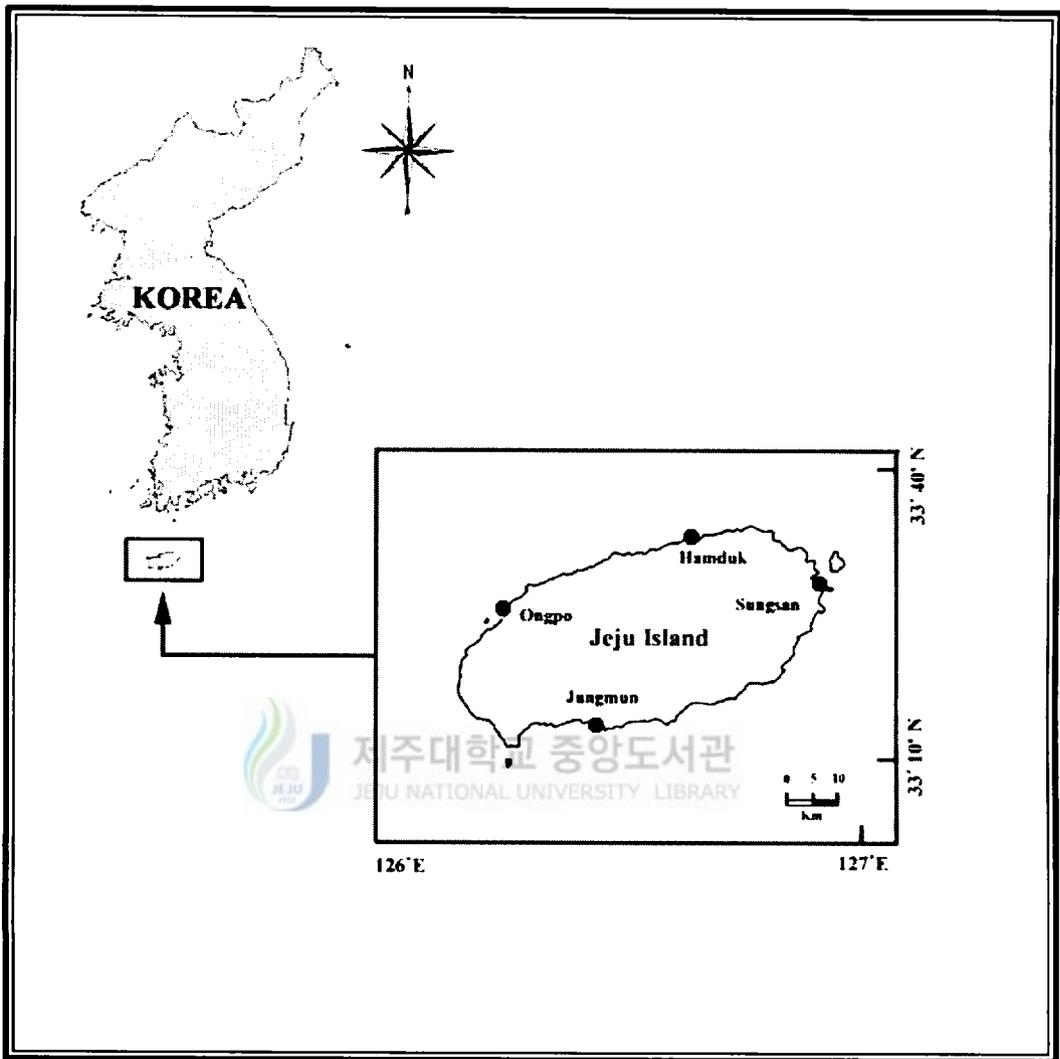


Fig. 15. Map showing the sampling stations at the subtidal coast of Jeju Island.

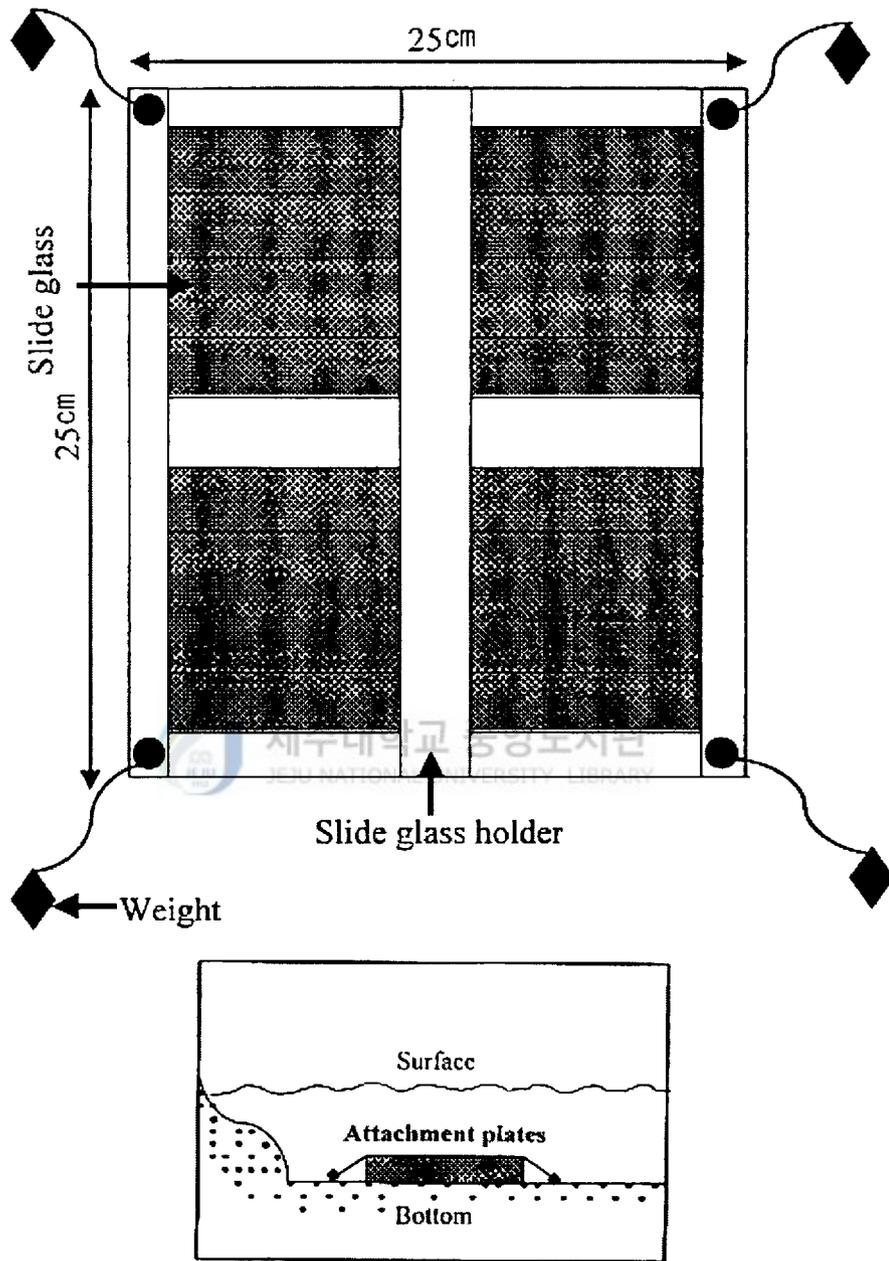


Fig. 16. Diagram showing attachment plates in the study area.

## 2.4. 정량분석

정량분석 시료는 부착판의 slide glass중 2개를 선별하여 각각 100ml 시료병에 여과해수와 함께 넣고 Lugol 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 고정된 slide glass의 앞뒤면을 부드럽고 가는 붓으로 부착된 시료를 모두 수거하여 농축시킨 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경(Zeiss, Axioplan II)으로 반복 계수하여 단위 면적당 개체수 ( $\text{cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ )로 현존량을 표시하였다.

## 2.5. 정성분석

정성분석 시료는 약 1% glutaraldehyde용액으로 현장에서 고정한 후 냉장보관 하였으며, 농축된 시료 중 일정량을 취하여 광학현미경으로 400~1,000 배율에서 관찰하였고, 미세구조 관찰은 Hasle (1983)의 전 처리 과정을 거쳐 SEM (Hitachi, S2460N)을 이용하였다.

## 2.6. Chlorophyll *a* 분석

 제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부착 미세조류의 chlorophyll *a* 농도는 정성분석과 동일한 방법으로 시료를 포집한 뒤 GF/C filter (Whatman, 47mm)로 여과하여 90% acetone으로 추출하고 spectrophotometer (Shimadzu, UV-1020)로 측정해서 단위 면적당 chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ )으로 표시하였다(Parsons *et al.*, 1984).

부착판 설치기간 중 부착판에 생성된 chlorophyll *a* 량을 기준으로 일일 단위면적당 chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ )으로 계산하였다.

## 2.7. 규조류의 종 분석 및 종다양성지수

부착 미세조류의 종분석은 가장 우점하고 있는 분류군인 규조류를 중심으로 이루어 졌으며 기타 분류군들은 제외시켰다. 군집구조의 분석을 위한 종다양성 지수는 Shannon-Wiener (1963)의 식을 이용하였고 규조류 분류체계와 각 분류군의 한글 이름과 용어는 최 등(1995)을 따랐다.

### 3. 결 과

#### 3.1. 물리·화학적 환경특성

조사기간 중 수온의 해역별 분포 범위는 성산이 12.7~26.1℃ (평균 18.5℃), 옹포가 11.5~28.4℃ (평균 19.4℃), 중문은 14.2~27.6℃ (평균 19.8℃), 함덕은 13.1~26.8℃ (평균 18.8℃)를 보여 남부해역이 높았고, 동부해역이 낮은 편이었고 해역간 년 평균 1.3℃의 차이를 보였다(Table 1). 한편 염분의 해역별 분포 범위는 성산이 29.0~34.1‰ (평균 32.5‰), 옹포는 27.8~34.1‰ (평균 31.3‰), 중문은 28.6~34.3‰ (평균 32.3‰), 함덕은 29.6~34.7‰ (평균 33.2‰)로써 북부해역이 높았고, 서부해역이 낮았으며 해역간 년 평균 1.9‰ 차이를 보여 해역간 차이가 높았다(Table 6).

영양염류 중 총 질소는 2.68~144.24μM의 범위로 년 평균농도는 성산 21.54μM, 옹포 34.73μM, 중문 49.47μM, 함덕 20.68μM로써 남부해역이 높았고, 북부해역이 낮았으며 해역간 큰 차이를 보였다. 인산 인은 0.05~1.72μM의 범위로 년 평균농도는 성산 0.55μM, 옹포 0.41μM, 중문 0.39μM, 함덕 0.31μM로써 동부해역이 높았고, 북부해역이 낮은 편으로 해역간 큰 차이가 없었다. 규산 규소는 8.85~73.67μM의 범위로써 년 평균농도는 성산 34.88μM, 옹포 24.33μM, 중문 19.59μM, 함덕 20.18μM 분포로 동부해역이 높았고, 남부해역이 낮은 편이었다(Table 6).

Table 6. Physical parameters and nutrient concentrations at the subtidal coast of Jeju Island from October 1997 to August 1998

Station	Month	Temp. (°C)	Salinity (‰)	NH <sub>4</sub> (μM)	NO <sub>3</sub> (μM)	NO <sub>2</sub> (μM)	DIN*	SiO <sub>2</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)
Sungsan	1997 Oct.	20.0	31.5	1.08	3.78	0.27	5.13	32.29	0.34
	Nov.	17.5	31.7	0.86	31.47	0.50	32.83	33.72	1.72
	Dec.	13.2	30.9	0.11	63.12	0.27	63.50	39.02	0.74
	1998 Jan.	13.0	33.8	0.16	10.04	0.40	10.60	18.58	0.70
	Feb.	15.0	34.0	0.13	5.79	0.19	6.11	14.32	0.37
	Mar.	12.7	29.0	0.24	25.48	0.38	26.10	73.67	0.19
	Apr.	17.8	34.1	1.36	7.26	0.06	8.68	36.09	0.34
	May	17.7	33.5	1.72	21.79	0.22	23.73	34.84	0.51
	Jun.	24.1	34.1	2.15	18.16	0.13	20.44	43.14	0.47
	Jul.	25.9	32.6	3.44	14.53	0.31	18.28	23.12	0.13
Aug.	26.1	31.8	-	-	-	-	-	-	
Average	18.5	32.5	1.13	20.14	0.27	21.54	34.88	0.55	
Ongpo	1997 Oct.	19.5	27.8	1.72	4.53	0.27	6.53	22.19	0.47
	Nov.	17.8	31.4	0.24	71.04	0.61	71.89	15.14	0.65
	Dec.	15.9	33.3	0.01	55.98	0.21	56.20	19.07	0.37
	1998 Jan.	11.5	34.1	2.44	31.47	0.16	34.08	26.43	0.51
	Feb.	12.7	33.2	-	-	-	-	-	-
	Mar.	13.9	28.8	0.40	24.13	0.19	24.72	29.29	0.93
	Apr.	22.0	31.6	1.65	59.32	0.29	61.26	40.54	0.21
	May	21.5	32.6	1.65	38.74	0.27	40.66	36.79	0.13
	Jun.	28.4	30.2	7.60	8.47	0.18	16.26	32.72	0.13
	Jul.	27.4	29.1	5.22	8.64	0.25	14.11	10.02	0.49
Aug.	23.0	32.1	3.39	17.90	0.29	21.58	11.14	0.19	
Average	19.4	31.3	2.43	32.02	0.27	34.73	24.33	0.41	

\* DIN=NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>, -: no data

next continued

Table 6. continued

Station	Month	Temp. (°C)	Salinity (‰)	NH <sub>4</sub> (μM)	NO <sub>3</sub> (μM)	NO <sub>2</sub> (μM)	DIN* (μM)	SiO <sub>2</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)
Jungmun	1997 Oct.	19.4	28.6	1.65	23.00	0.22	24.87	12.91	0.26
	Nov.	18.1	32.6	0.23	144.01	0.01	144.25	23.61	0.23
	Dec.	17.5	34.3	0.27	14.09	0.17	14.53	13.50	0.23
	1998 Jan.	14.2	33.4	-	-	-	-	-	-
	Feb.	15.6	32.8	2.37	92.00	0.27	94.64	17.31	0.38
	Mar.	15.1	31.8	0.43	87.64	0.21	88.28	36.51	0.14
	Apr.	20.8	33.8	1.65	20.58	0.07	22.30	30.28	0.30
	May	20.1	34.1	3.80	6.05	0.15	10.00	19.16	0.17
	Jun.	23.6	32.2	1.65	53.14	0.37	55.16	8.85	1.54
	Jul.	27.6	30.1	2.37	15.74	0.24	18.34	23.66	0.26
	Aug.	26.1	31.7	3.10	19.96	0.27	23.33	10.13	0.39
	Average	19.8	32.3	1.75	47.62	0.22	49.57	19.59	0.39
Hamduk	1997 Oct.	21.4	32.6	1.36	4.53	0.18	6.08	22.19	0.26
	Nov.	16.8	32.6	0.31	85.32	0.44	86.07	17.05	0.37
	Dec.	15.1	34.0	0.20	11.39	0.13	11.72	16.72	0.28
	1998 Jan.	14.9	34.1	-	-	-	-	-	-
	Feb.	14.7	34.7	0.32	2.32	0.04	2.68	15.30	0.14
	Mar.	13.1	33.8	0.31	3.09	0.11	3.50	20.82	0.05
	Apr.	17.8	34.5	-	-	-	-	-	-
	May	17.9	34.1	2.01	21.79	0.16	23.96	28.49	0.34
	Jun.	23.5	32.8	2.73	19.37	0.37	22.46	26.92	0.38
	Jul.	24.9	32.0	2.44	24.21	0.22	26.87	24.74	0.68
	Aug.	26.8	29.6	1.78	0.82	0.17	2.77	9.44	0.24
	Average	18.8	33.2	1.27	19.20	0.20	20.68	20.19	0.31

\* DIN=NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>, -: no data

### 3.2. 출현 종조성

조사기간 중 부착 규조류의 총 출현종수는 143종(50속 118종 15변종 10 미동정종)으로 중심돌말류(centric diatom)가 18종(10속 17종 1변종) 그리고 깃돌말류(pennate diatom)가 125종(40속 101종 14변종 10미동정종)이었다(Appendix 2). 해역별 출현종수는 성산이 88종(31속 71종 9변종 8미동정종), 옹포가 65종(26속 58종 6변종 1미동정종), 중문이 84종(37속 77종 3변종 4미동정종), 함덕이 40종(18속 37종 1변종 2미동정종)으로 동부해역이 많았고 북부해역이 적었으며 해역간 큰 차이를 보였다. 각 해역별 출현종수의 계절분포는 성산이 14~39종으로 추계에 많은 출현종수를 보였고 동계로 접어들면서 감소하였으며 춘계와 하계에는 비슷하였다. 옹포는 8~25종으로 추계와 춘계에 증가하고 동계에 감소하였으며, 중문은 19~41종으로 추계에 많은 종수를 나타내었지만 그외 계절에는 고른 출현경향을 나타내었다. 또 함덕은 9~18종으로 춘계에 많은 출현종수를 보였고 그 외 계절은 대체적으로 적었다(Fig. 17).

조사기간중 월별 출현빈도가 8회 이상 되는 종들을 살펴보면 성산에서 *Achnanthes brevipes*, *Amphora acutiuscula*, *A. coffeaeformis*, *Cocconeis pellucida*, *C. placentula*, *C. scutellum*, *Grammatophora marina*, *Navicula britannica*, *N. mollis*, *Nitzschia socialis* 등 10종, 옹포는 *Amphora coffeaeformis*, *Cocconeis dirupta*, *C. scutellum*, *Navicula britannica*, *N. mollis*, *Synedra tabulata* 등 6종, 중문은 *Amphora acutiuscula*, *A. coffeaeformis*, *Cocconeis pseudomarginata*, *C. scutellum* 등 4종, 함덕은 *Amphora coffeaeformis*, *Cocconeis placentula*, *C. scutellum*, *Nitzschia punctata* 등 4종이었다. 그 중 *Amphora coffeaeformis*와 *Cocconeis scutellum*은 모든 해역에서 년 중 출현을 하고 있었다.

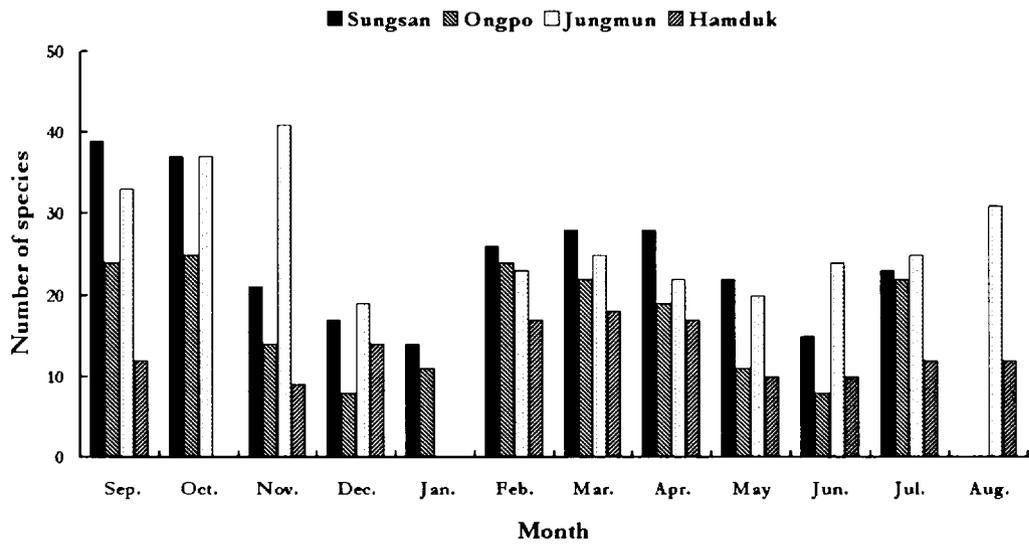


Fig. 17. Monthly variations of species number of attached diatoms in the study area.

깃돌말류 등줄(배선) 유무에 따라 105종(약 84%)의 등줄돌말류(raphidinean diatom)과 20종(약 16%)의 헛등줄돌말류(araphidinean diatom)으로 분류되었고 등줄돌말류가 헛등줄돌말류 보다 5배 이상의 많은 출현종수를 보이고 있었다. 헛등줄돌말류가 차지하는 종조성비의 해역별 분포는 성산이 0(1월과 6월)~28.3%(2월)로 동계에 증가를 한 후 하계로 접어들수록 감소하였고, 옹포는 1.1(11월)~71.1% (1월), 중문은 1.7(6월)~35.9%(4월), 함덕은 0.8(6월)~52.2%(2월)의 범위로 동계와 춘계에 높은 조성비를 나타내었고, 하계와 추계에 낮은 조성비를 보였다. 한편 등줄돌말류의 종조성비는 성산에서 71.7(2월)~100%(1월과 6월), 옹포는 28.9(1월)~98.9% (11월), 중문은 64.1(4월)~98.3%(6월), 함덕은 47.8(2월)~99.2%(6월)의 범위로써 헛등줄 돌말류와는 달리 하계와 추계에 높고 동계와 춘계가 낮은 경향을 나타내었다 (Fig. 18).

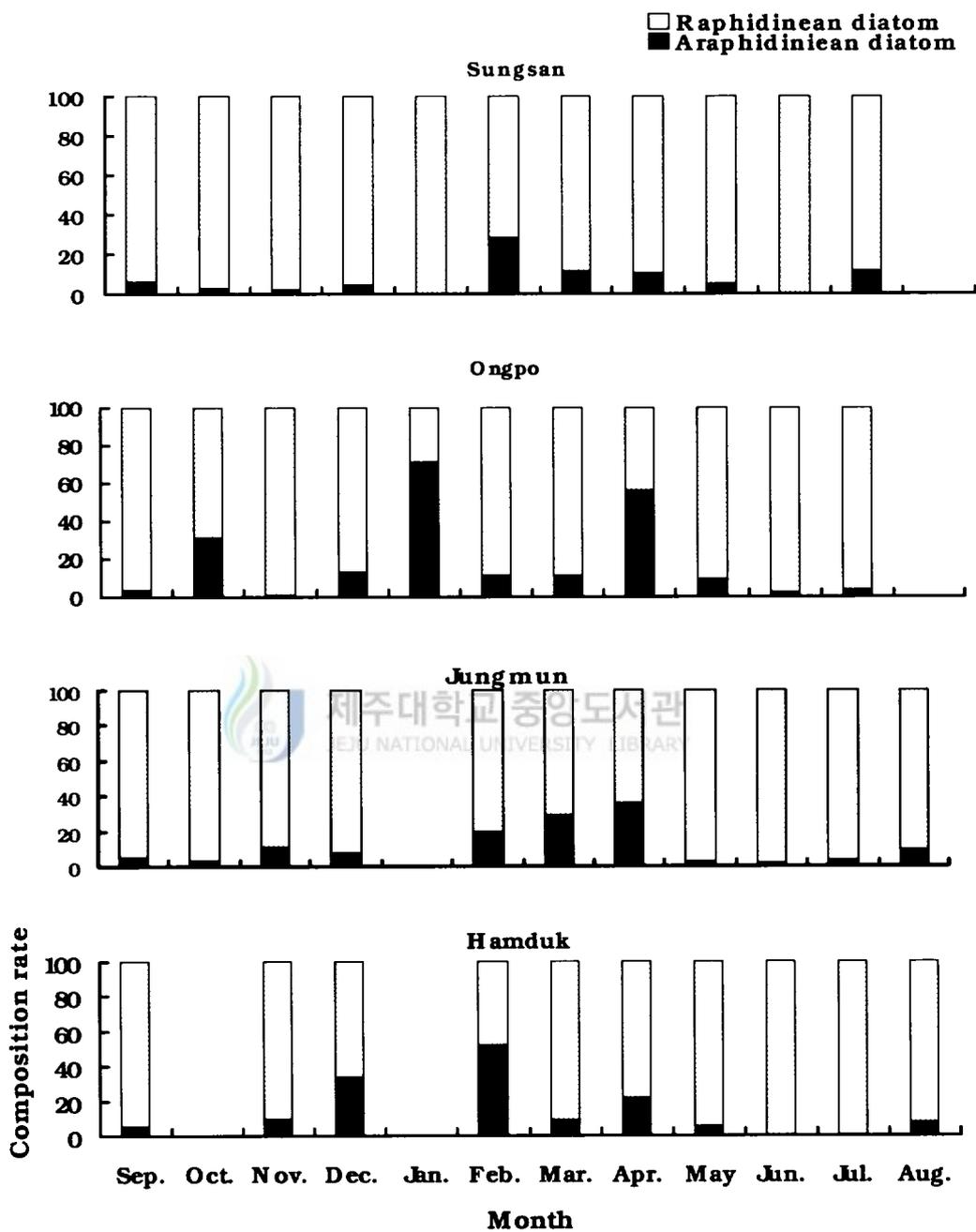


Fig. 18. Composition rate (%) of araphidinean and raphidinean diatoms in the study area.

### 3.3. 우점종의 계절적 천이

현존량의 30%이상을 점유하는 부착 규조류를 우점종으로 선정하여 해역별 분포를 보면 성산은 11월과 12월에 *Cocconeis scutellum* (57.0~50.9%), 5월에 *Nitzschia navicularis* (39.2%), 7월에 *Nitzschia socialis* (47.8%)가 우점하였고, 옹포는 11월에 *Cocconeis scutellum* (76.0%), 1월에 *Licmophora lyngbyei* (47.4%), 4월에 *Synedra tabulata* (52.7%), 5월부터 7월까지 *Cocconeis scutellum* (78.7~92.0%)이 우점하였다. 또 중문은 9월부터 10월까지 *Gomphonema exinum* (41.5~42.9%), 12월에 *Amphora coffeaeformis* (33.3%), 7월에 *Amphora coffeaeformis* (68.9%)가 우점하였으며, 함덕은 9월에 *Amphora coffeaeformis* (32.7%), 11월에 *Cocconeis scutellum* (36.7%), 12월과 2월에는 *Synedra tabulata* (30.0~37.8%), 3월부터 8월까지 *Cocconeis scutellum* (30.8~79.4%)이 우점하였다(Fig. 19). 따라서 우점종의 계절별 천이는 해역에 따라 우점종 구성과 우점율이 다른 양상을 보이고 있었다.



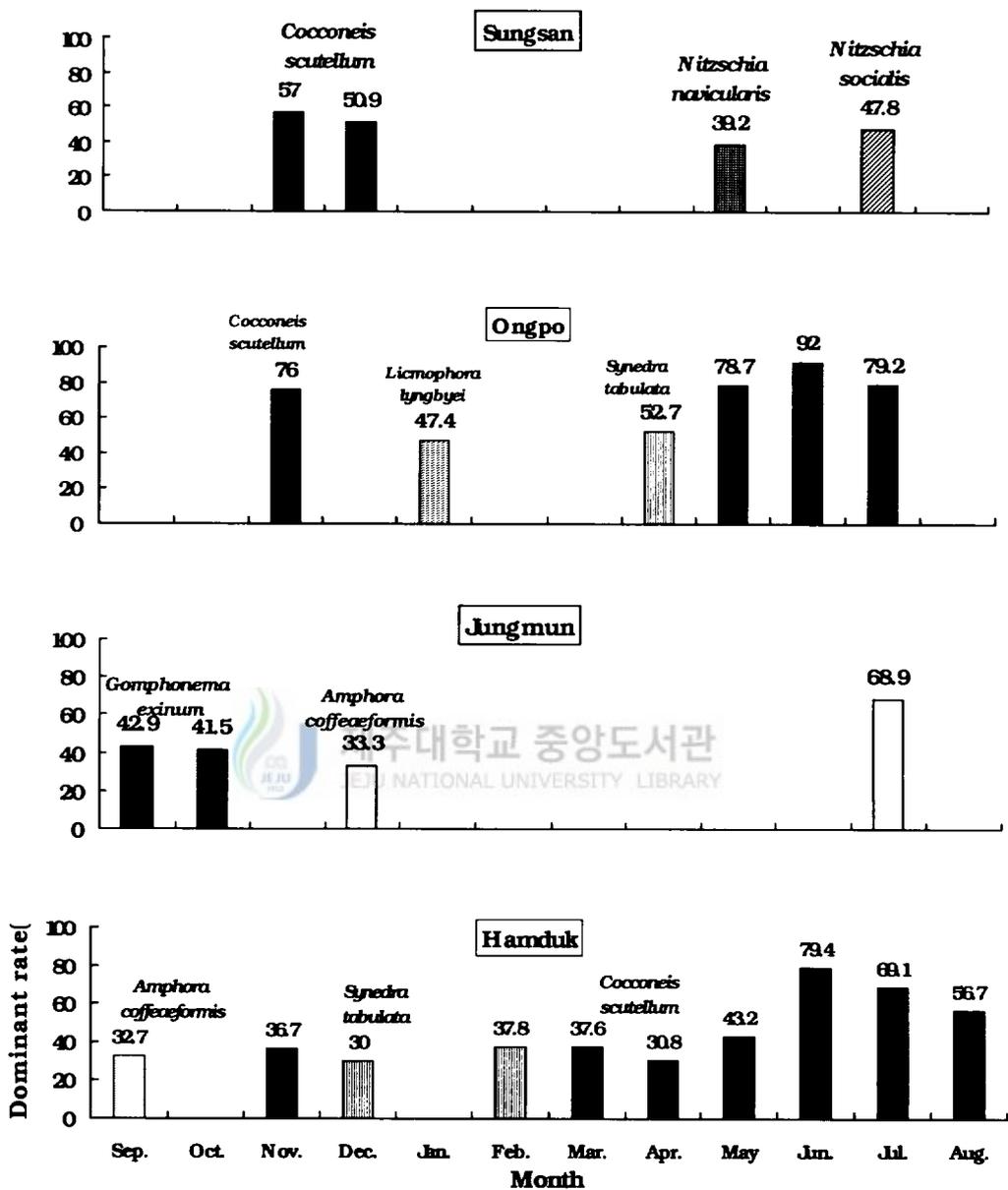


Fig. 19. Monthly succession of the dominant attached diatoms in the study area.

### 3.5. 부착형에 따른 종조성

부착 미세조류들은 영구적으로 부착하기 위해 다양한 세포의 분비물을 방출하는데 이를 총칭하여 extracellular polymeric substances (EPS)라 하며 주성분은 원형질막 외부로 분비되는 거대분자인 산성 다당류로 알려져 있다(Hogland *et al.*, 1993). EPS의 형태는 자루형(stalk type), 관형(tube type), 정단부착반형(apical pad type) 그리고 흡착막형(adhering film type) 등의 4가지 부착형으로 나눌 수 있으며 본 연구에서는 Kawamura and Hirano(1992)의 도식형을 이용하여 분석하였다(Fig. 20). Table 7은 각 부착형에 속하는 부착 규조류의 속명과 종명을 나타내며 대부분 같은 속명내의 종류들은 동일한 부착형을 가지나 일부 속은 종에 따라 다른 부착형을 나타내기도 하였다. 부착형에 따른 해역별 종조성비를 보면 성산은 흡착막형이 37.0(4월)~63.4%(9월)(평균 50.6%), 정단부착반형이 14.3(1월)~38.1%(5월)(평균 27.9%), 자루형이 5.3~32.0%(2월)(평균 17.7%), 관형이 0(1월)~6.7%(6월)(평균 3.8%), 옹포는 흡착막형이 33.3(2월)~62.5%(12월)(평균 51.5%), 정단부착반형이 8.0(9월)~45.8%(2월)(평균 24.5%), 자루형이 0(12월)~28.0%(9월)(평균 19.9%), 관형이 0(5월, 6월)~9.1%(1월)(평균 5.0%), 중문은 흡착막형이 34.4(8월)~55.3%(10월)(평균 45.3%), 정단부착반형이 23.5(9월)~41.7%(12월)(평균 31.9%), 자루형이 12.5(12월, 6월)~27.3%(4월)(평균 19.5%), 관형이 0(12월, 7월)~5.9%(1월)(평균 3.3%), 함덕은 흡착막형이 30.0(5월)~60.0%(6월)(평균 43.9%), 정단부착반형이 16.7(8월)~50.0%(11월)(평균 35.8%), 자루형이 0(11월)~33.3%(8월)(평균 14.8%), 관형이 0(9월, 7월)~10.0%(11월, 5월, 6월)(평균 5.5%)의 범위를 보였다(Fig. 21). 따라서 각 해역별 부착형의 종조성비는 해역과 계절에 따라 다른 분포 양상을 보이고 있지만 전 해역에서 평균적으로 흡착막-정단부착반-자루-관형의 높은 순서로 종조성비가 구성되고 있었다(Fig. 22).

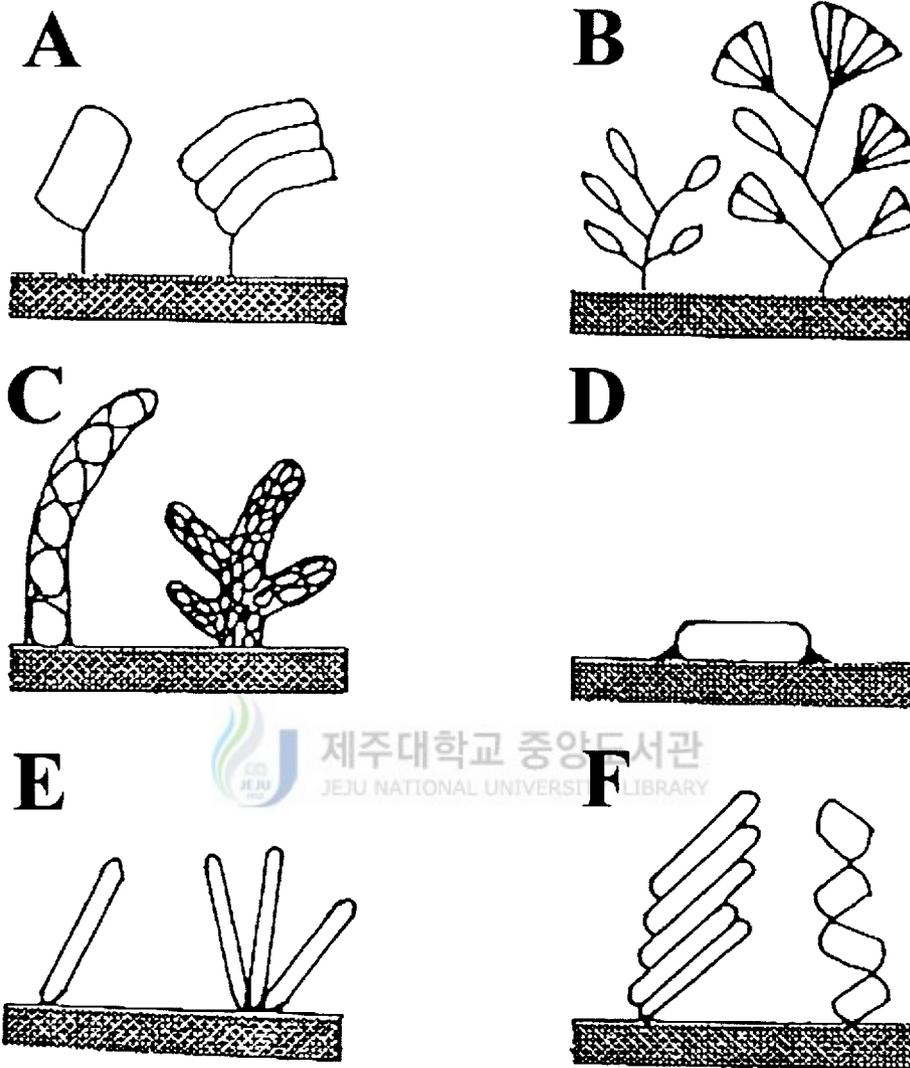


Fig. 20. Diagram of the attached type by the extracellular polymeric substances(EPS). A, B: stalks, C: tubes, D: adhering films, E, F: apical pads (Kawamura and Hirano 1992)

Table 7. List of attached diatoms classified by the EPS form at the subtidal coas of Jeju Island from September 1997 to August 1998

EPS Type	Genus or Species name
Stalks	<i>Achnanthes</i> , <i>Amphora coffeaeformis</i> , <i>Cymbella</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Licmophora</i> , <i>Melosira</i> , <i>Pseudogomphonema</i> , <i>Rhoicosphenia</i>
Tubes	<i>Bleakeleya</i> , <i>Navicula mollis</i>
Apical Pads	<i>Bacillaria</i> , <i>Biddulphia</i> , <i>Fragilariopsis</i> , <i>Hantzschia</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Pseudo-nitzschia</i> , <i>Podosystis</i> , <i>Rhabdonema</i> , <i>Synedra</i> , <i>Surirella</i> , <i>Thalassionema</i> , <i>Thalassiothrix</i>
Adhering Films	<i>Actinocyclus</i> , <i>Actinopytchus</i> , <i>Amphiprora</i> , <i>Amphora</i> , <i>Arachnoidiscus</i> , <i>Auricula</i> , <i>Caloneis</i> , <i>Campylodiscus</i> , <i>Campylosira</i> , <i>Cavinula</i> , <i>Climacosphenia</i> , <i>Cocconeis</i> , <i>Coscinodiscus</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Cylindrotheca</i> , <i>Diploneis</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Grammatophora</i> , <i>Gyrosigma</i> , <i>Haslea</i> , <i>Lioloma</i> , <i>Isthmia</i> , <i>Navicula</i> , <i>Pleurosigma</i> , <i>Rhopalodia</i> , <i>Striatella</i> , <i>Thalassiosira</i> , <i>Trachyneis</i> , <i>Triceratium</i> , <i>Tropidoneis</i>



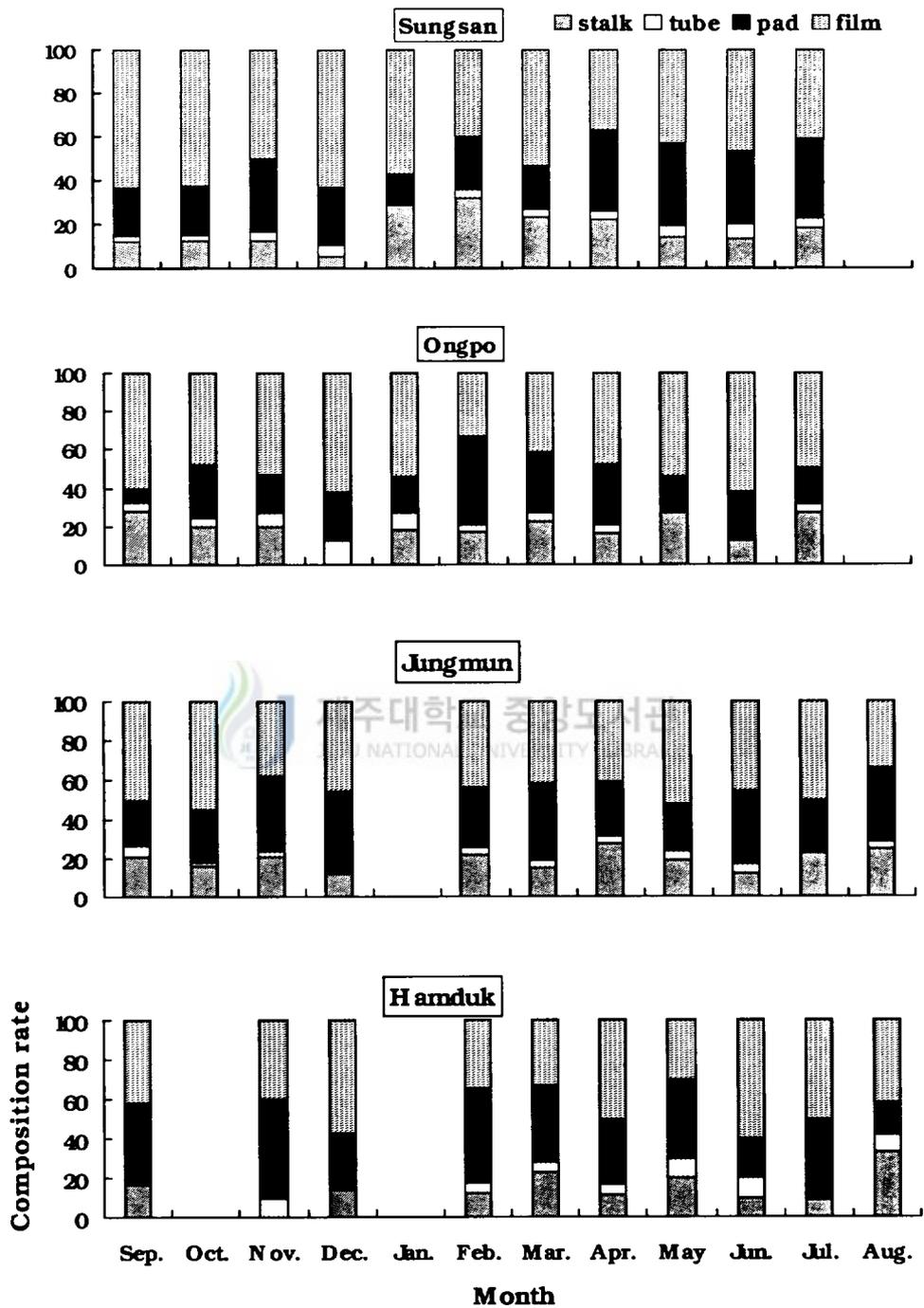


Fig. 21. Monthly variations of composition rate (%) of attached type by the EPS in the study area.

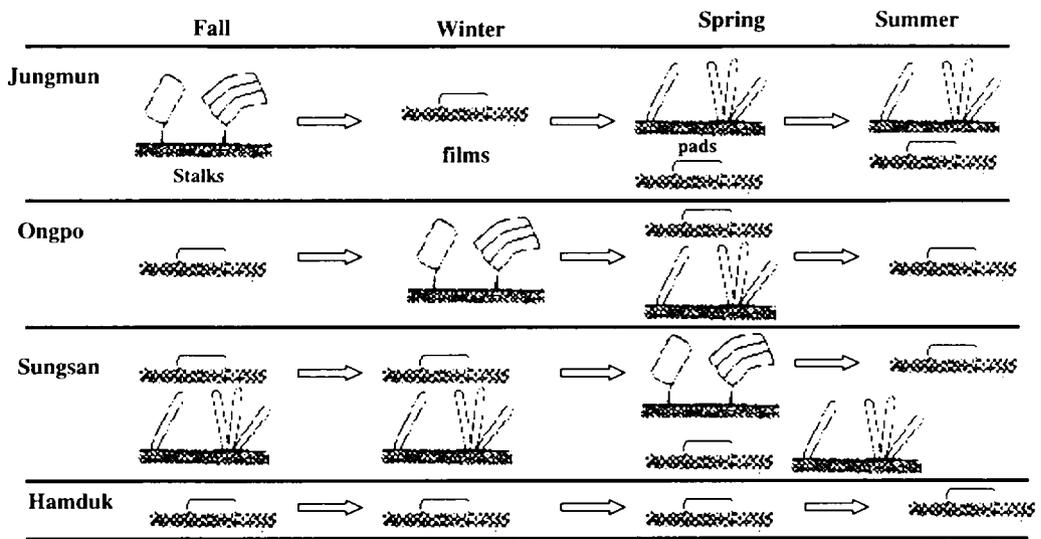


Fig. 22. Variation of attached type by regional groups.

### 3.5. Chlorophyll *a* 량의 변화

Chlorophyll *a* 량( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ )은 부착 미세조류의 생물량으로 평가되며 1~2,160  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ 의 범위로써 중문에서 11월에 가장 높고 옹포에서 12월에 가장 낮은 분포를 보였다(Fig. 23). 각 해역별 년 평균은 성산이 188 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 옹포가 229 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 중문은 442 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 함덕은 94 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ 로 남부해역이 높았고 북부해역에서 낮았으며 해역간 차이가 많았다. 일일 평균 chlorophyll *a* 량은 성산이 6.4 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 옹포가 7.5 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 중문이 10.6 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ , 함덕이 3.2 $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로써 남부해역에서 높았고 북부해역에서 낮은 농도분포를 나타내었다.

### 3.6. 현존량변화

조사기간 중 부착 규조류의 현존량은  $1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 의 분포범위로 추계에 높았고 동계에 감소하였으며 춘계부터 하계까지 증가하였다(Fig. 24). 해역별로는 성산이  $6.1 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$  (년 평균  $5.2 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), 옹포가  $1.4 \times 10^4 \sim 6.9 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$  (년 평균  $3.8 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), 중문이  $7.5 \times 10^4 \sim 1.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$  (년 평균  $2.8 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), 함덕이  $2.2 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$  (년 평균  $1.1 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ )를 나타내었으며 동부해역이 높았고 북부해역에서 낮은 분포를 보였으며 해역간 차이를 많이 나타내었다.

각 정점의 월별 현존량의 변화를 살펴보면 성산은 10월에  $2.0 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 높고 4월에  $6.1 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 분포를 보여 추계와 하계에 증가하고 동계와 춘계에 감소하는 경향을 보였다. 옹포는 6월에  $6.9 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 높고 12월에  $1.0 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 분포로 춘계와 하계에 증가하고 추계와 동계에 감소하는 경향이 있었다. 중문은 8월에  $1.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 높고 4월에  $7.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 분포를 보여 하계에 일시적으로 증가하였지만 대체적으로 추계에 높고 춘계에 낮은 경향을 보였다. 함덕은 3월에  $3.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 높고 5월에  $2.2 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 분포를 보였으며 다른 해역에 비해 낮은 분포를 보였다.

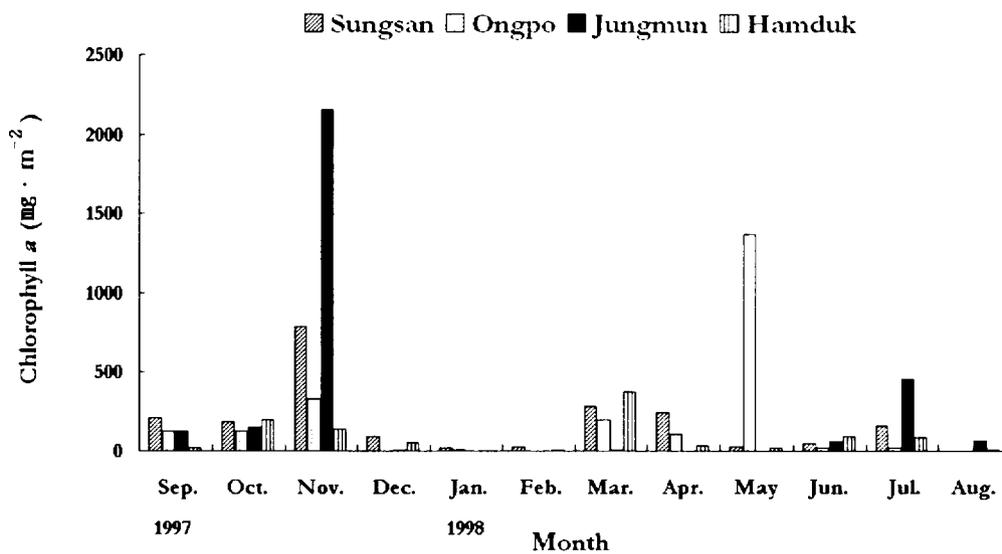


Fig. 23. Monthly variations of chlorophyll *a* concentration of attached diatoms in the study area.



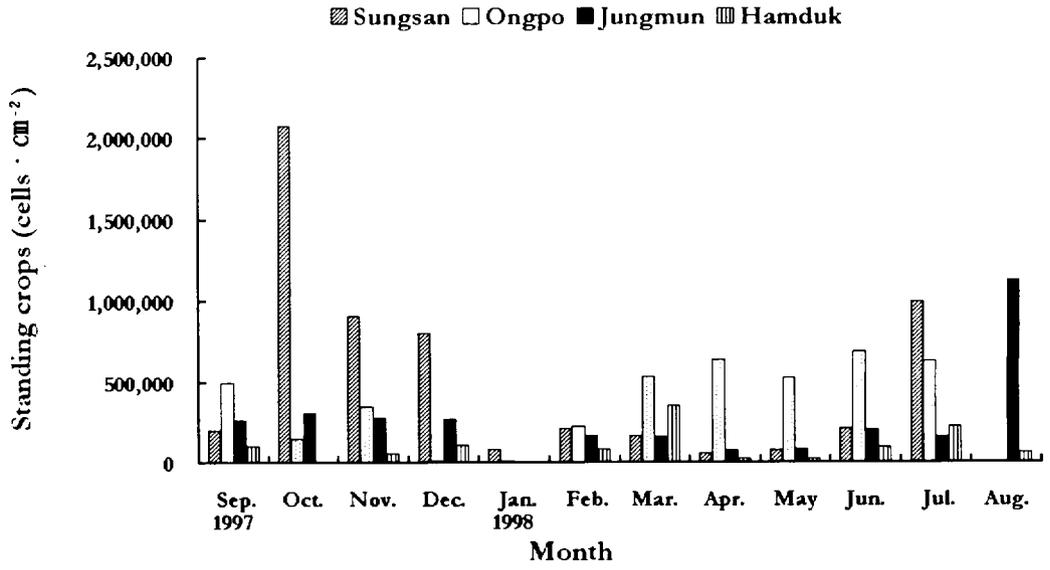


Fig. 24. Monthly variations of standing crops of attached diatoms in the study area



### 3.7. 종다양성지수

종다양성지수는 0.43(옹포, 6월)~3.05(성산, 4월)의 변화 범위를 보였으며(Table 8), 계절별로 보면 성산이 1.91~3.05(년 평균 2.53)로 추계가 낮고 춘계로 접어들수록 증가하는 경향이 있었다. 옹포는 0.43~2.82(년 평균 1.84)로 춘계와 추계가 높고 하계에 낮았으며, 중문은 1.54~2.97(년 평균 2.61)로 6월이 낮은 것을 제외하고는 계절에 관계없이 비슷한 값을 보였고, 함덕은 1.30~2.51(년 평균 2.02)로 하계와 추계가 낮고 춘계와 동계가 높은 경향을 나타내었다. 해역별 남부해역과 동부해역에서 높았으며 서부해역은 낮았다.



Table 8. Monthly variations of Shannon-Wiener's species diversity ( $H'$ ) of attached diatoms in the study area

Station	Sungsan	Ongpo	Jungmun	Hamduk
' 97 Sep.	3.04	2.82	2.22	1.98
Oct.	2.80	2.58	2.22	-
Nov.	1.91	1.16	2.97	1.98
Dec.	1.97	2.02	2.63	2.22
' 98 Jan.	2.32	1.84	-	-
Feb.	2.95	2.70	2.84	2.23
Mar.	2.97	2.74	2.94	2.27
Apr.	3.05	1.88	2.81	2.51
May	2.39	0.93	2.79	1.88
Jun.	2.32	0.43	2.85	2.16
Jul.	2.16	1.11	1.54	1.30
Aug.	-	-	2.92	1.66
Average	2.53	1.84	2.61	2.02

-: no data

#### 4. 고찰

일반적으로 부착 미세조류의 종조성과 현존량의 계절변화는 수온, 염분, 영양염 농도, 파도, 일사량, 광의 강도 및 포식압의 강도 등의 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다(Bacon and Taylor, 1976; Admiraal *et al.*, 1982; Tanaka *et al.*, 1984; Kawamura and Hirano, 1992). 조사기간 중 해역간 수온과 염분은 해역별 및 계절별로 차이를 보이고 있었으며 이는 일반적인 제주도 해안역의 환경특성으로써 계절에 따라 각기 다른 해류의 영향과 해안선에서 용출되는 용천수 및 육수 유입의 영향 때문이다(노와방, 1998). 또 직접적인 육상 유입원의 영향을 받는 영양염류도 해역간 차이가 보이고 있었는데 이는 최 등(1989)의 결과와 같았으며, 이러한 해역간 환경요인의 차이는 부착 규조류의 시공간적 출현분포 특성에 영향을 미치고 있다고 생각된다.

해역별 출현종수는 성산이 88종, 중문이 84종으로 동부와 남부해역에서 많았으며 함덕이 가장 적었고, 계절별 출현종 분포는 대부분 해안역에서 추계가 가장 다양하였고 동계에는 출현종수가 감소하였다. 조사기간 중 부착 규조류의 현존량은 추계와 하계에 높고 동계에 감소하는 특징을 보이고 있으나 제주도 해안역의 식물플랑크톤 현존량은 일반적으로 춘계와 추계에 높다고 보고된 바 있어(이 등, 1990) 일반적인 식물플랑크톤 동태와는 다른 결과를 보였다. 또한 해안역의 부착 규조류 현존량은 년 평균이  $10^5$  cells · cm<sup>2</sup>의 범위로써 년 평균이  $10^4$  cells · ℓ<sup>-1</sup>의 범위에 있는 외양역보다 높은 현존량을 유지하고 있으며 해안역의 이매패류 등 저서생물의 초기 먹이로서 중요한 생태적 지위를 나타내고 있다고 판단된다(Castenholz, 1961; Kawamura and Kikuchi, 1992).

엽록소 *a*량은 추계와 춘계가 높고 동계가 낮은 특징을 보이며 현존량과 같은 결과를 보였고 남부해역 - 서부해역 - 동부해역 - 북부해역의 순서로 감소하고 있었다. 또 종다양성도 남부해역 - 동부해역 - 북부해역 - 서부해역 순으로 감소하여 부착 규조류의 생물량과 종다양성은 남부해역이 가장 높게 나타났는데 이는 남부해역이 대마난류수의 직접적인 영향을 받고 있으며 이로 인하여 상대적으로 높은 수온과 년중 일조조건이 다른 해역보다 유리한 조건을 갖고 있기 때문이라 생각된다(홍과방, 1998).

연구기간 동안 출현한 부착 규조류는 총 143종으로 기존의 보고보다 많은 종이 출현하였으며 수층에서 플랑크톤으로 발견되지 않은 많은 종류도 포함하고 있었다(Appendix II). 출현종 가운데 *Amphora coffeaeformis* Kützing과 *Cocconeis scutellum* Ehrenberg은 전 해역에서 년 중 출현하여 제주도 해안역의 대표종이었다. 출현종의 대부분은 갯돌말류에 속하였으며 등줄돌말류가 헛등줄돌말류 보다 5배이상 많은 종수를 보이고 있었다. 특히 헛등줄돌말류는 동계와 춘계에 높은 종조성비를 나타내는 특징을 보이고 있었는데 이는 헛등줄류가 EPS에 의한 부착능력이 등줄류 보다 높기 때문이며(Stevenson and Peterson, 1989), 헛등줄류가 동계와 춘계에 걸쳐 북서계절풍의 영향을 많이 받는 제주도 해안역에서 상대적으로 높은 적응력을 보이고 있다고 생각된다(방 등, 1994). 또한 이 등(1990)은 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 연구에서 저서성 및 일시 부유성 종류의 비율이 49.8%로 다른 한국 연안역 보다 높은 분포를 차지한다고 하였는데 이것은 제주도 해안에 암반해안과 해조류가 잘 발달되어 있어 저서성 미세조류가 상대적으로 많고 사계절 바람의 영향으로 부유할 수 있는 기회가 높기 때문이라 생각된다.

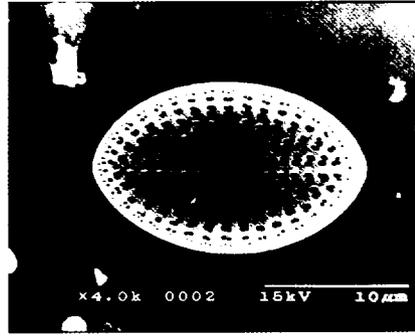
우점종 중에서 *Cocconeis scutellum*과 *Licmophora lyngbyei* 등은 제주 해안의 해조류 연상체와 암석기질에서 50%이상 점유하고(이 등, 1991), 이외의 다양한 형태의 출현종들을 Plates로 나타내었다(Plates I ~ VI). 우점종들은 각 해안역에서 단일종에 의한 계절적 천이경향을 나타내는 특징을 보이고 있으며 이것은 각 해역이 지닌 환경요인의 변화에 대한 우점종의 적응력이 종 특이성을 보이고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 EPS에 의한 부착형의 종조성비는 전 해역에서 흡착막형이 가장 많았고 정단 부착반형, 자루형, 관형의 순서로 적어지는 특징을 보이고 있지만 부착형에 따른 부착규조류의 공간적 및 시간적 군집구조에 미치는 영향은 확실치 않으며 추후 연구가 더 필요하다고 판단된다.

이상의 연구결과를 종합하면 제주도 해안의 부착 규조류군집구조는 해역별 및 계절별에 따라 종의 천이가 달라지는 특징을 보이며 환경요인 중 수온과 바람 등의 물리적인 환경요인에 의해 크게 영향을 받고 있다고 생각된다. 그러나 저염분과 부영양화 등과 같은 국지적 환경변화에도 민감할 것으로 생각되며, 앞으로 제주도 해안의 환경요인 변화에 적응력이 뛰어나고 부착력이 강한 부착 규조류들을 선택적으로 배양하여 어패류의 종묘생산에 응용할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

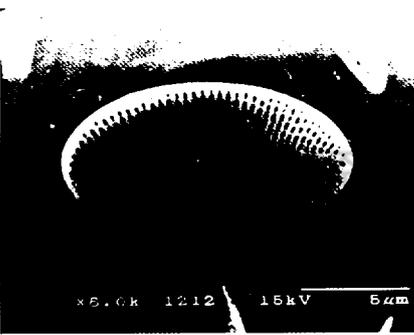
Plate I



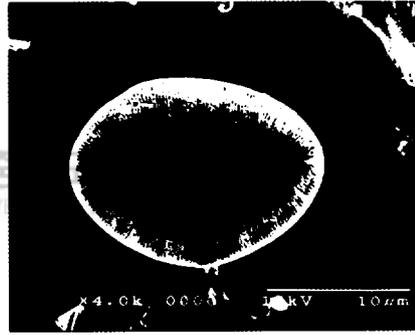
*Cocconeis pseudomarginata* Gregory



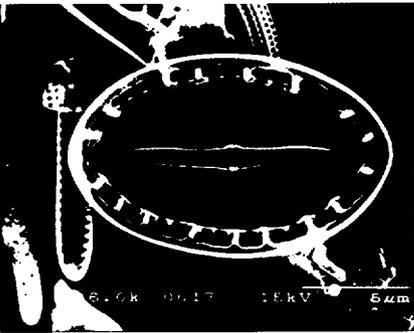
*Cocconeis scutellum* Ehrenberg



*Cocconeis dirupta* Gregory



*Cocconeis grata* A. Schmidt



*Cocconeis placentula* Ehrenberg

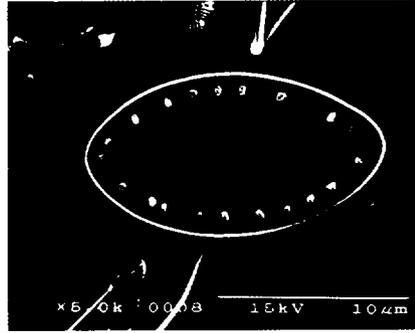
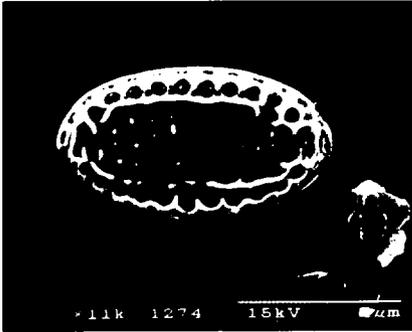
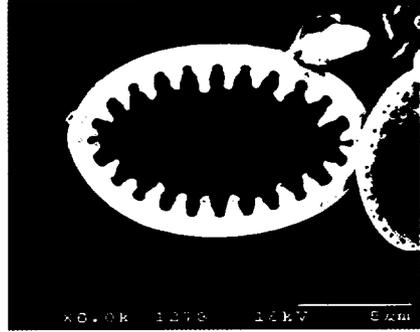


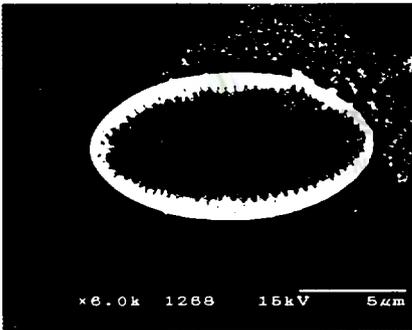
Plate II



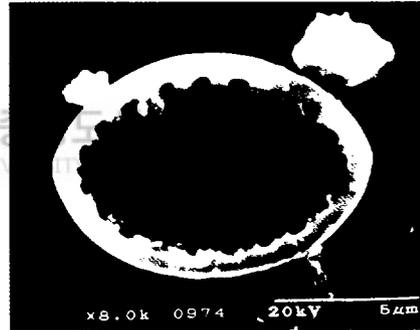
*Cocconeis* sp. 1



*Cocconeis* sp. 2



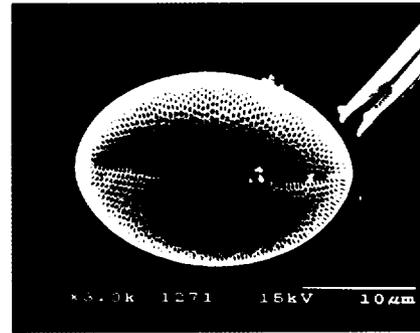
*Cocconeis* sp. 3



*Cocconeis* sp. 4

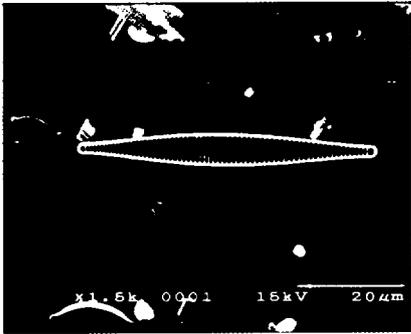


*Pseudogomphonema kamtschaticum*  
(Grunow) Medlin



*Cocconeis molesta* var. *crucifera* Grunow

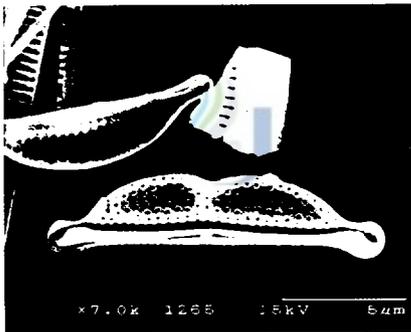
Plate III



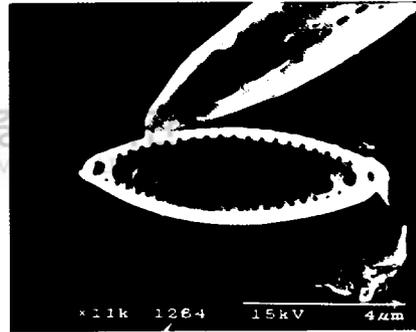
*Synedra tabulata* (Agardh) Kutzing



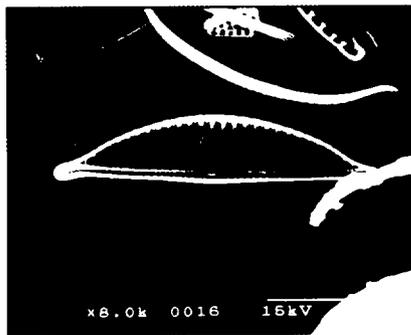
*Cylindrotheca closterium*  
(Ehrenberg) Lewin & Reimann



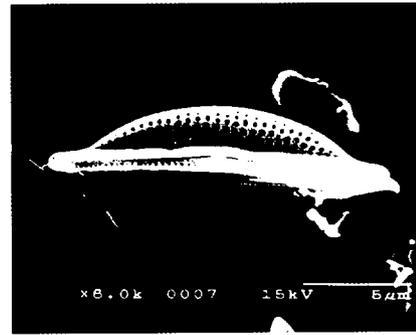
*Amphora bigibba* Grunow



*Nitzschia* sp.

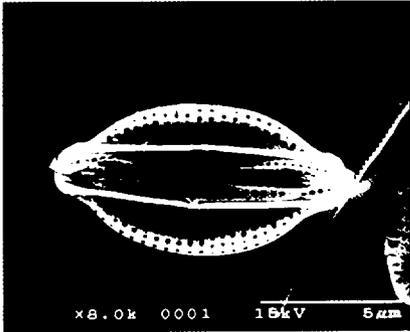


*Amphora coffeaeformis*  
var. *acutiuscula* Kutzing

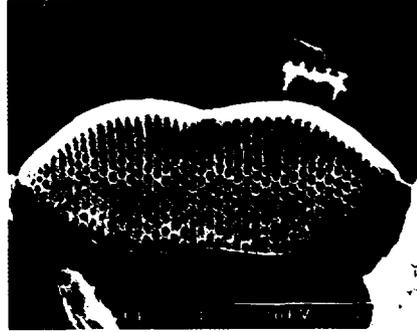


*Amphora coffeaeformis* Kutzing

Plate IV



*Amphora ovalis* Kutzing



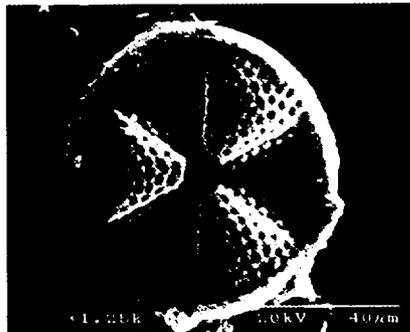
*Nitzschia* sp.



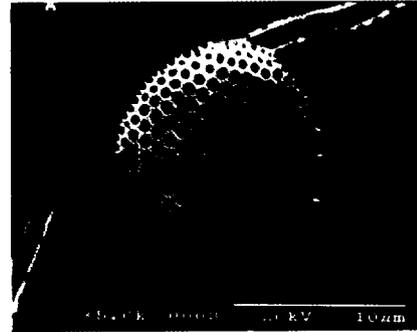
*Achnanthes longipes* Agardh



*Navicula* sp.



*Actinoptychus senarius* Ehrenberg

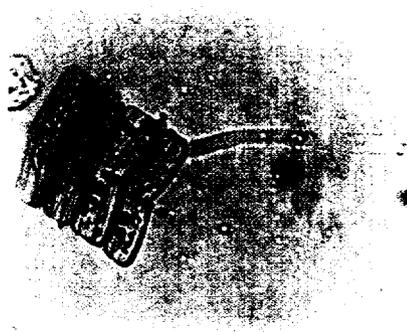


*Thalassiosira oestrupii* var. *venrickae*  
Fryxell, G. A. & Hasle, G. R.

# Plate V



*Achnanthes brevipes* Agardh

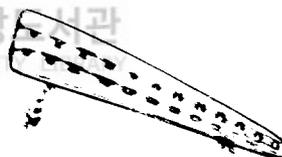


*Achnanthes longipes* Agardh



*Bacillaria paxillifera* (Muller) Hendey

제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY



*Climacosphenia moniligera* Ehrenberg



*Roperia tessellata* (Roper) Grunow

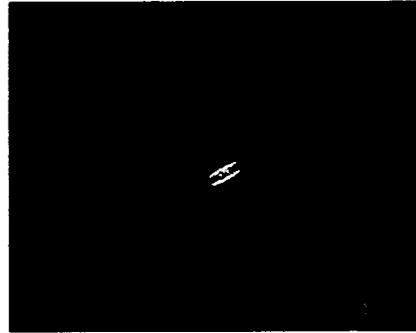


*Licmophora lyngbyei* (Kutzing)

## Plate VI



*Melosira nummuloides* Agardh



*Nitzschia longissima* (Brebisson) Ralfs



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

### Ⅲ. 제주연안 갯녹음 해역의 부착 미세조류 생태특성

#### 1. 연구배경 및 목적

제주도 해안선 주변은 화산활동의 영향으로 다공성의 현무암질로 구성되어 있어 한반도의 다른 지역 해안보다 많은 부착미세조류가 분포하고 있고, 특히 이들의 생태적 지위는 어린 어패류의 먹이생물로 중요하게 인식되고 있다. 그러나 최근 확산되고 있는 제주도 일부 하천, 조간대 및 조하대 해역의 갯녹음(백화) 현상과 관련하여 부착미세조류의 1차 생물막(primary film) 형성에 대하여 지금까지 연구된 자료는 미미한 실정이다(이 등 1990, 1991, 1999; 정 등 1998). 따라서 지금까지 연구된 내용을 바탕으로 갯녹음(백화) 해역인 조하대에 서식하는 부착규조류와 갯녹음 원인종인 무절산호말류의 1차 생물막(primary film) 형성에 대한 생태적, 지역적 분포특성을 비교하여 갯녹음 해역에서의 미세조류의 역할과 중요성에 대한 유용한 기초 자료로 활용하고자 연구를 실시하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 2.1. 조사 시기 및 정점

조사는 제주도 연안역중에서 갯녹음 현상이 심한 강정 갯녹음해역, 보목 갯녹음해역, 표선 갯녹음해역과 성산 갯녹음해역 등 4곳을 선정하여 2001년 4월부터 2002년 1월까지 매월 조사를 실시하였다(Fig. 25).



Fig. 25. Map showing the sampling stations at the subtidal coast of Jeju Island.

## 2.2. 채집방법

부착미세조류의 채집은 20개의 slide glass (76×26mm)를 끼워 넣은 부착판을 각각 조사정점의 조하대 표층과 저층에 skin diving 또는 SCUBA를 이용하여 설치하였다 (Fig. 26). 설치한 후 1개월 이 경과한 뒤에 지난달의 부착판을 수거하고 새로운 부착판을 설치하여 월별 변화를 알아보았다(Fig. 27).

## 2.3. 물리·화학적 분석

각 정점의 물리·화학적 특성에 대한 분석은 제주대학교 해양학과 화학연구실의 자료를 기초로 하였으며 수온과 염분은 현장에서 측정기기(YSI 85)로 측정하였고, 영양염류로서 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+$ -N)는 phenol-hypochlorite법(Solorzano, 1969), 아질산성 질소( $\text{NO}_2^-$ -N)는 NED 법, 질산성 질소( $\text{NO}_3^-$ -N)는 cadmium reduction 법으로 정량하여 총 무기질소량으로 (Total-N)로 나타내었고, 인산 인( $\text{PO}_4^{3-}$ -P)은 ascorbic acid 법, 규산성 규소( $\text{SiO}_2$ -Si)는 molybdenum blue 법에 의해 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984).

## 2.4. 정량분석

정량분석 시료는 채집된 slide glass중 2개를 선별하여 각각 100ml 시료병에 여과해수와 함께 넣고 Lugol 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 고정된 slide glass를 부드럽고 가는 붓으로 부착된 시료를 모두 수거하여 농축시킨 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경(Zeiss, Axioplan II)으로 반복 계수하여 단위 면적당 개체수 ( $\text{cells} \cdot \text{cm}^{-2}$ )로 정량하였다.

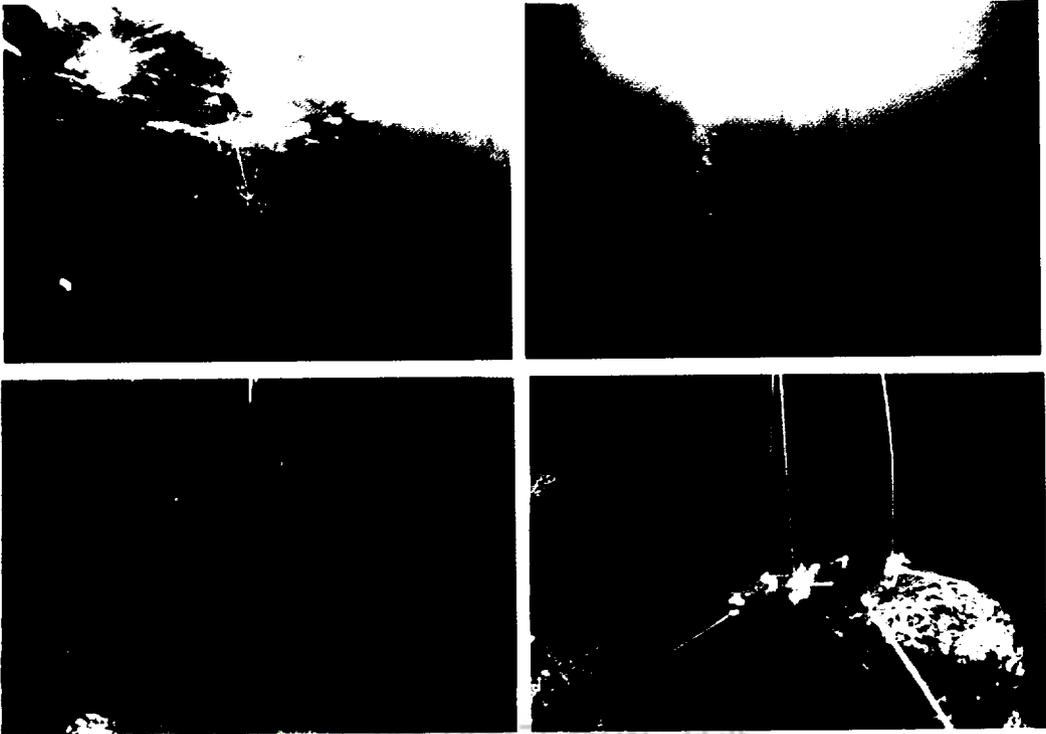


Fig. 26. A scene to install sampling plates in the bottom and middle layer of the surveyed area.

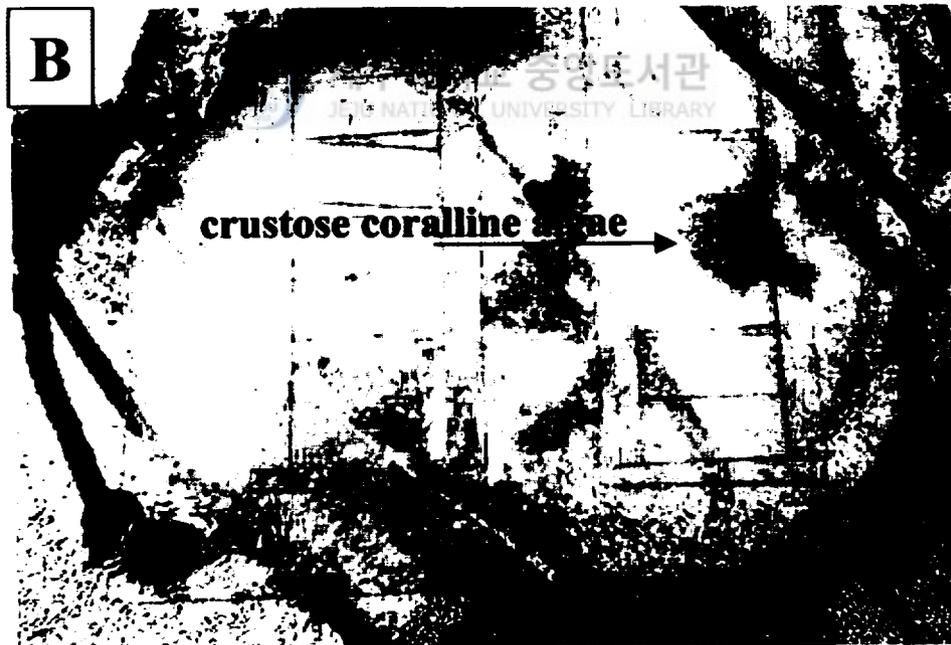
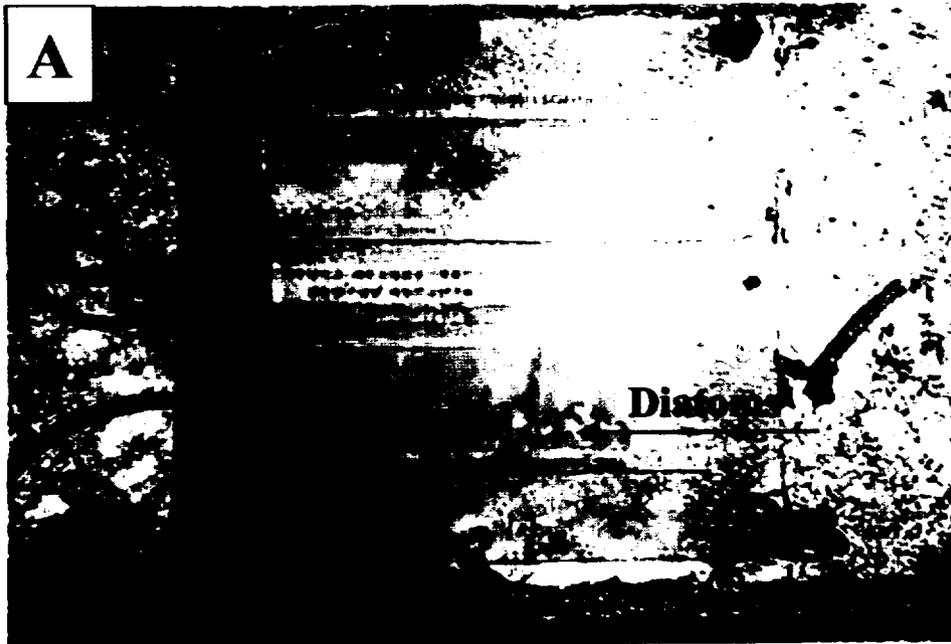


Fig. 27. Diatoms (A) and crustose coralline algae (B) on slides of experiment plates.

## 2.5. 정성분석

정성분석 시료는 1% glutaraldehyde용액으로 현장에서 고정한 후 냉장보관 하였으며, 농축된 시료 중 일정량을 취하여 광학현미경으로 400~1,000 배율에서 동정하였고, 미세한 구조는 Hasle (1983)의 전 처리 과정을 거쳐 SEM (Hitachi, S2460N)을 이용하여 관찰하였다.

## 2.6. Chlorophyll *a* 분석

부착 미세조류의 chlorophyll *a* 농도는 채집된 slide glass중 1개의 시료를 포집한 뒤 GF/C filter (Whatman, 47mm)로 여과하여 90% acetone으로 추출하고 spectrophotometer (Shimadzu, UV-1020)로 측정해서 단위 면적당 chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^2$ )으로 표시하였다(Parsons *et al.*, 1984).

## 3. 결 과



### 3.1. 물리·화학적 환경특성

조사기간 중 수온의 해역별 분포 범위는 강정이 14.0~27.0℃ (평균 20.9℃), 보목이 14.5~28.0℃ (평균 20.8℃), 성산은 14.0~27.5℃ (평균 20.4℃), 표선은 13.6~26.5℃ (평균 19.2℃)를 보였다(Fig. 28). 남부해역 정점들이 높았고, 동부해역이 낮은 편이었고 해역간 년 평균 1.7℃의 차이를 보였다.

염분의 해역별 분포 범위는 강정이 30.15~34.80‰ (평균 33.32‰), 보목은 30.09~34.62‰ (평균 33.13‰), 성산은 30.30~34.65‰ (평균 33.0‰), 표선은 31.20~34.50‰ (평균 32.92‰)로써 남부해역이 높았고, 동부해역이 낮았으며 해역간 년 평균 0.4‰ 차이를 보여 해역간 차이는 없었다(Fig. 28).

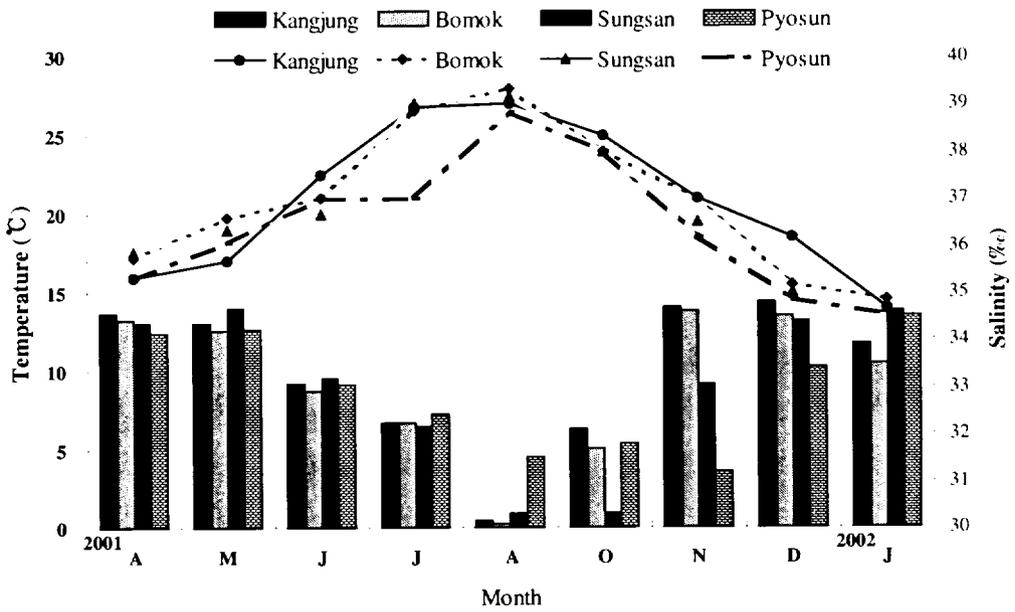


Fig. 28. Monthly variation of water temperature (°C) and salinity (‰) in the study area.

염양염류 중 총 질소(TIN)의 년 평균농도는 강정 갯녹음해역이  $0.11\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 보목 갯녹음해역이  $0.17\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 성산 갯녹음해역이 평균  $0.14\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 표선 갯녹음해역이  $0.21\text{mg} \cdot \ell^{-1}$  로써 표선 갯녹음해역이 높았다(Table 9).

총 인(T-P)의 년 평균농도는 전해역이  $0.01\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 로 해역간 차이가 없었다(Table 9).

규산 규소의 년 평균농도는 강정 갯녹음해역이  $0.18\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 보목 갯녹음해역이  $0.25\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 성산 갯녹음해역이  $0.43\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ , 표선 갯녹음해역이  $0.57\text{mg} \cdot \ell^{-1}$  로써 표선 갯녹음해역이 높았다(Table 9).

조사해역의 N:P 비는 강정 갯녹음해역이 최저 2.3 (2001년 4월)부터 최고 61.7 (2001년 10월)이었고 년 평균은 19.5를 나타냈다. 보목 갯녹음해역은 최저 2.1 (2001년 4월)부터 최고 59.9 (2001년 10월)이었고 년 평균은 25.9를 나타냈다. 성산 갯녹음해역은 최저 7.8 (2001년 7월)부터 최고 81.5 (2001년 10월)이었고 년 평균은 27.3를 나타냈다. 표선 갯녹음해역은 최저 6.4 (2001년 4월)부터 최고 76.4 (2001년 11월)이었고 년 평균은 32.3를 나타냈다(Table 10).

조사해역의 Si:P 비는 강정 갯녹음해역이 최저 3.0 (2001년 6월)부터 최고 226.5 (2001년 5월)이었고 년 평균은 43.1를 나타냈다. 보목 갯녹음해역은 최저 10.9 (2001년 8월)부터 최고 107.3 (2001년 7월)이었고 년 평균은 44.2를 나타냈다. 성산 갯녹음해역은 최저 3.3 (2002년 1월)부터 최고 521.7 (2001년 5월)이었고 년 평균은 109.7를 나타냈다. 표선 갯녹음해역은 최저 10.7 (2002년 1월)부터 최고 617.5 (2001년 10월)이었고 년 평균은 134.8를 나타냈다(Table 10).

Table 9. Physical parameters and nutrient concentrations at the subtidal coast of Jeju Island from April 2002 to January 2003

Local	W. T. (°C)	Salinity (‰)	pH	TIN (mg · ℓ <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg · ℓ <sup>-1</sup> )	SiO <sub>2</sub> -Si (mg · ℓ <sup>-1</sup> )
Kangjung	14.0 ~ 27.0 (20.9)	30.15 ~ 34.80 (33.32)	8.21 ~ 8.38 (8.27)	0.029 ~ 0.218 (0.114)	0.001 ~ 0.019 (0.010)	0.028 ~ 0.035 (0.178)
Bomok	14.5 ~ 28.0 (20.8)	30.09 ~ 34.62 (33.13)	8.10 ~ 8.45 (8.35)	0.016 ~ 0.484 (0.173)	0.002 ~ .025 (0.008)	0.057 ~ 0.552 (0.249)
Pyosun	14.0 ~ 27.5 (20.4)	30.30 ~ 34.65 (33.0)	8.20 ~ 8.40 (8.31)	0.030 ~ 0.371 (0.143)	0.001 ~ 0.013 (0.007)	0.031 ~ 1.167 (0.433)
Sungsan	13.6 ~ 26.5 (19.2)	31.20 ~ 34.50 (32.92)	8.16 ~ 8.39 (8.31)	0.013 ~ 0.512 (0.206)	0.001 ~ 0.018 (0.008)	0.040 ~ 1.651 (0.570)

note: parenthesis is mean value



Table 10. N/P ratio and Si/P ratio from April 2002 to January 2003 in the study area

Sampling month	N/P ratio				Si/P ratio			
	Kangjung	Bomok	Sungsan	Pyosun	Kangjung	Bomok	Sungsan	Pyosun
'01 Apr.	2.3	2.1	17.4	20.5	9.0	14.9	105.8	38.5
May	46.6	5.9	71.7	21.1	226.5	31.4	521.7	63.7
Jun.	9.6	27.7	9.6	10.9	3.0	80.4	33.0	31.9
Jul.	12.5	29.7	7.8	7.0	50.1	107.3	71.5	118.0
Aug.	10.4	15.4	11.5	6.4	11.1	10.9	7.9	11.3
Oct.	61.7	59.9	81.5	58.1	27.4	68.3	92.5	617.5
Nov.	9.3	26.9	15.1	76.4	21.6	44.2	87.0	246.2
Dec.	17.1	12.3	22.8	33.6	35.0	25.7	64.9	75.6
'02 Jan.	6.6	52.7	8.6	57.0	4.3	15.1	3.3	10.7
Min	2.3	2.1	7.8	6.4	3.0	10.9	3.3	10.7
Max	61.7	59.9	81.5	76.4	226.5	107.3	521.7	617.5
Average	19.5	25.9	27.3	32.3	43.1	44.2	109.7	134.8

### 3.2. 부착규조류의 현존량

조사기간 중 부착판에 부착된 규조류의 해역별 현존량은 강정 갯녹음해역이 12,923 ~ 577,662 cells · cm<sup>2</sup> 로 5월(표층)이 가장 높았고 8월(저층)이 가장 낮았다. 보목 갯녹음해역은 81,146 ~ 383,815 cells · cm<sup>2</sup> 로 8월(표층)이 가장 높고 1월(저층)이 가장 낮았으며, 표선 갯녹음해역은 58,262 ~ 305,685 cells · cm<sup>2</sup> 로 10월이 가장 높고 4월이 가장 낮았다. 한편 성산 갯녹음해역은 26,008 ~ 1,219,938 cells · cm<sup>2</sup> 로 1월(표층)이 가장 높고 4월(저층)이 가장 낮았다. 년평균 현존량은 성산 갯녹음해역이 8,456 cells · cm<sup>2</sup> 로 가장 높고 보목과 강정이 각각 6,313 cells · cm<sup>2</sup> 와 6,021 cells · cm<sup>2</sup> 로 비슷하고 표선 갯녹음해역이 5,035 cells · cm<sup>2</sup> 로 가장 낮았다(Fig. 29).

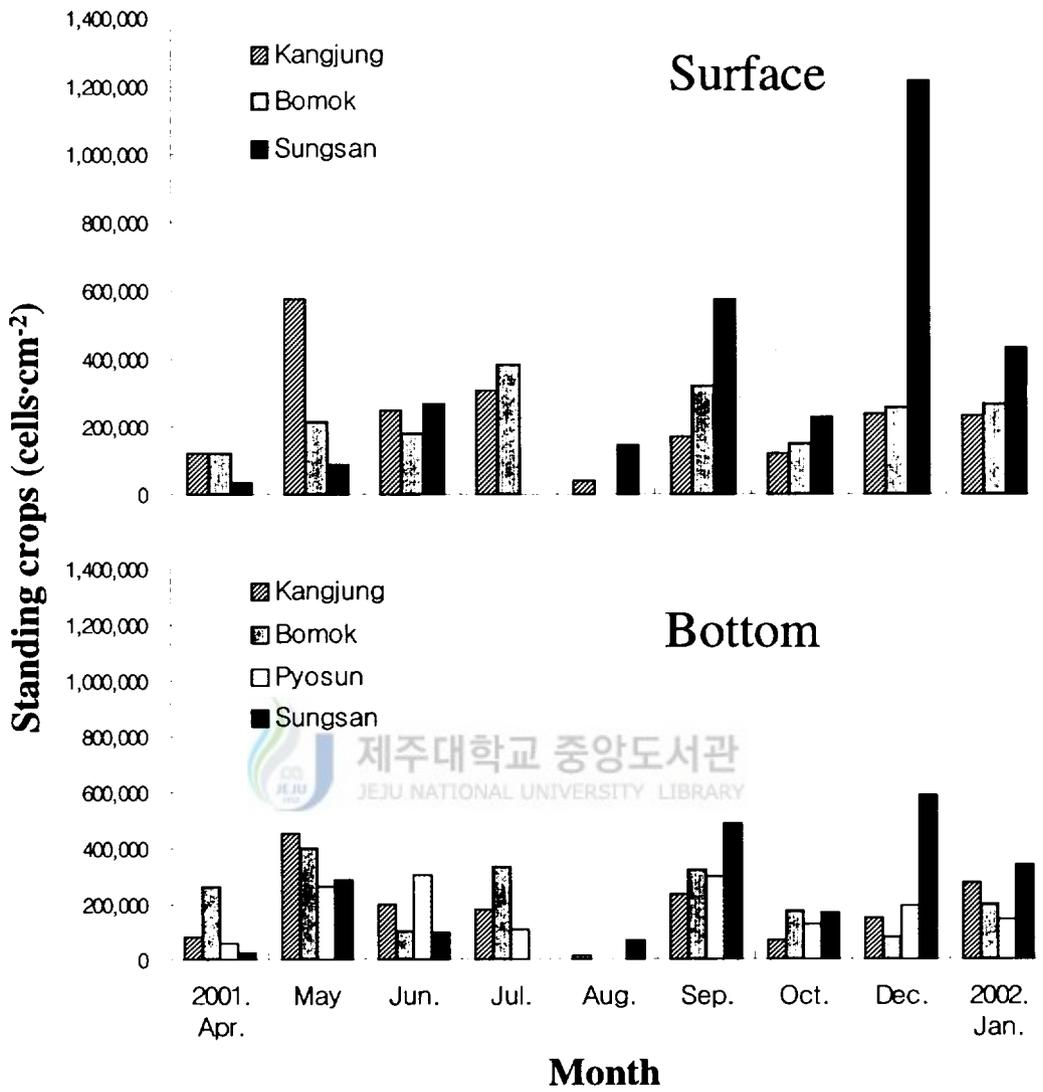


Fig. 29. Standing crops of attached diatoms on sampling slide glass in study area.

### 3.3. Chlorophyll *a* 량의 변화

Chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ )은 부착미세조류의 생물량으로 평가되며 각 연안별 표층에서 일 평균 chlorophyll *a* 량은 강정 갯녹음해역이  $0.19 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 보목 갯녹음해역이  $0.29 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 성산 갯녹음해역이  $0.26 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ 로 보목 갯녹음해역이 높고, 저층은 강정 갯녹음해역이  $0.14 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 보목 갯녹음해역이  $0.11 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 표선 갯녹음해역이  $0.11 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ , 성산 갯녹음해역이  $0.16 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ 로 성산 갯녹음해역이 높았다. 계절별 분포는 강정 갯녹음해역과 보목 갯녹음해역은 하계에 높고 성산 갯녹음해역은 동계가 높은 특징을 보였다(Fig. 30).



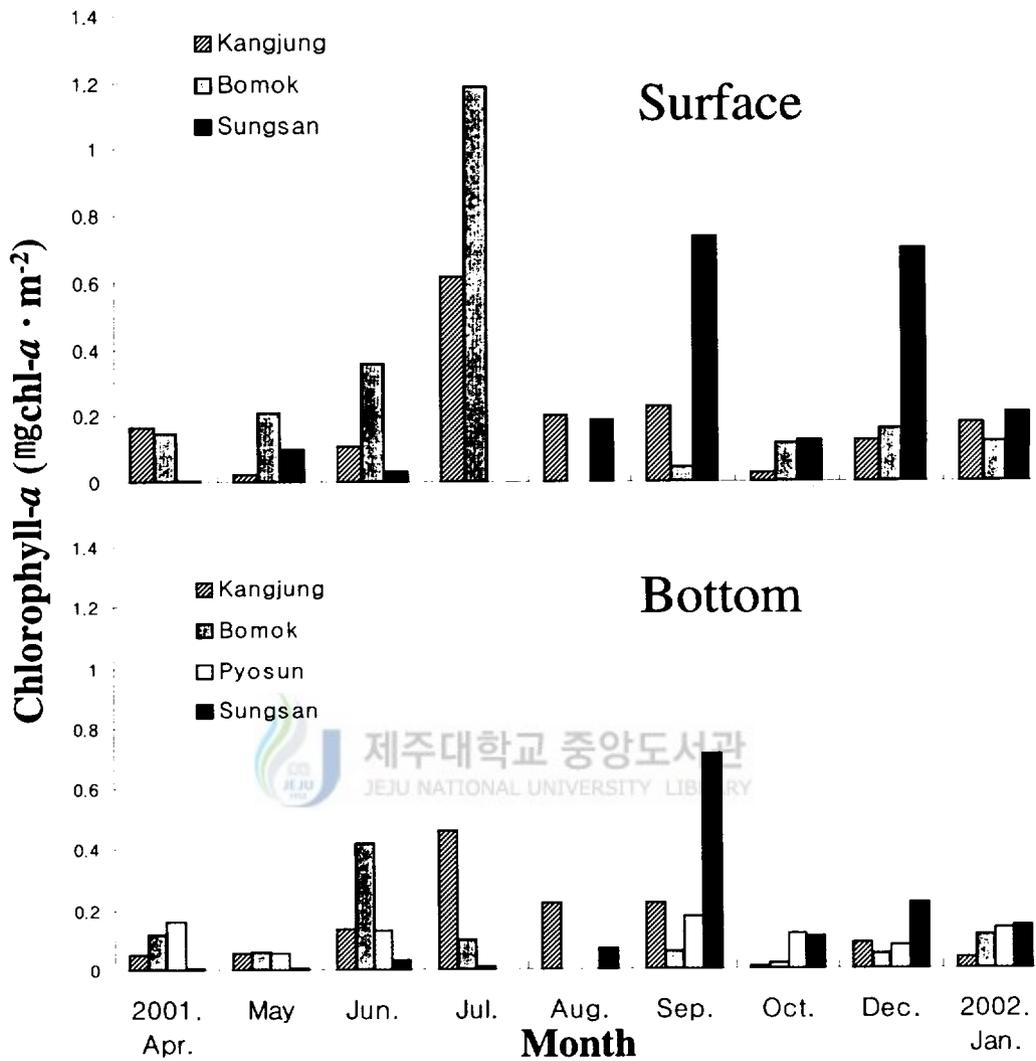


Fig. 30. Concentration of chlorophyll *a* on sampling slide glass in the study area.

### 3.4. 부착규조류의 우점종 동태

현존량의 30%이상을 점유하는 우점종은 강정 갯녹음해역에서 *Bacillaria paxillifer*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis pellucida*, *Cylindrotheca closterium* 등 4종이, 보목 갯녹음해역에서 *Cocconeis scutellum*와 *Cylindrotheca closterium* 2종, 표선 갯녹음해역에서 *Amphora coffeaeformis*, *Cocconeis scutellum*, *Navicula* sp. 등 3종, 성산 갯녹음해역에서 *Bacillaria paxillifer*, *Cocconeis scutellum*, *Nitzschia longissima*, *Navicula* sp. 등 4종이었다. 이들 우점종들 중 *Cocconeis scutellum* 는 약한 광도하에 서식하는 종으로 특히 조사기간 중 무절산호말류의 기저부 및 상부에 우점하고 있었다(Fig. 31).



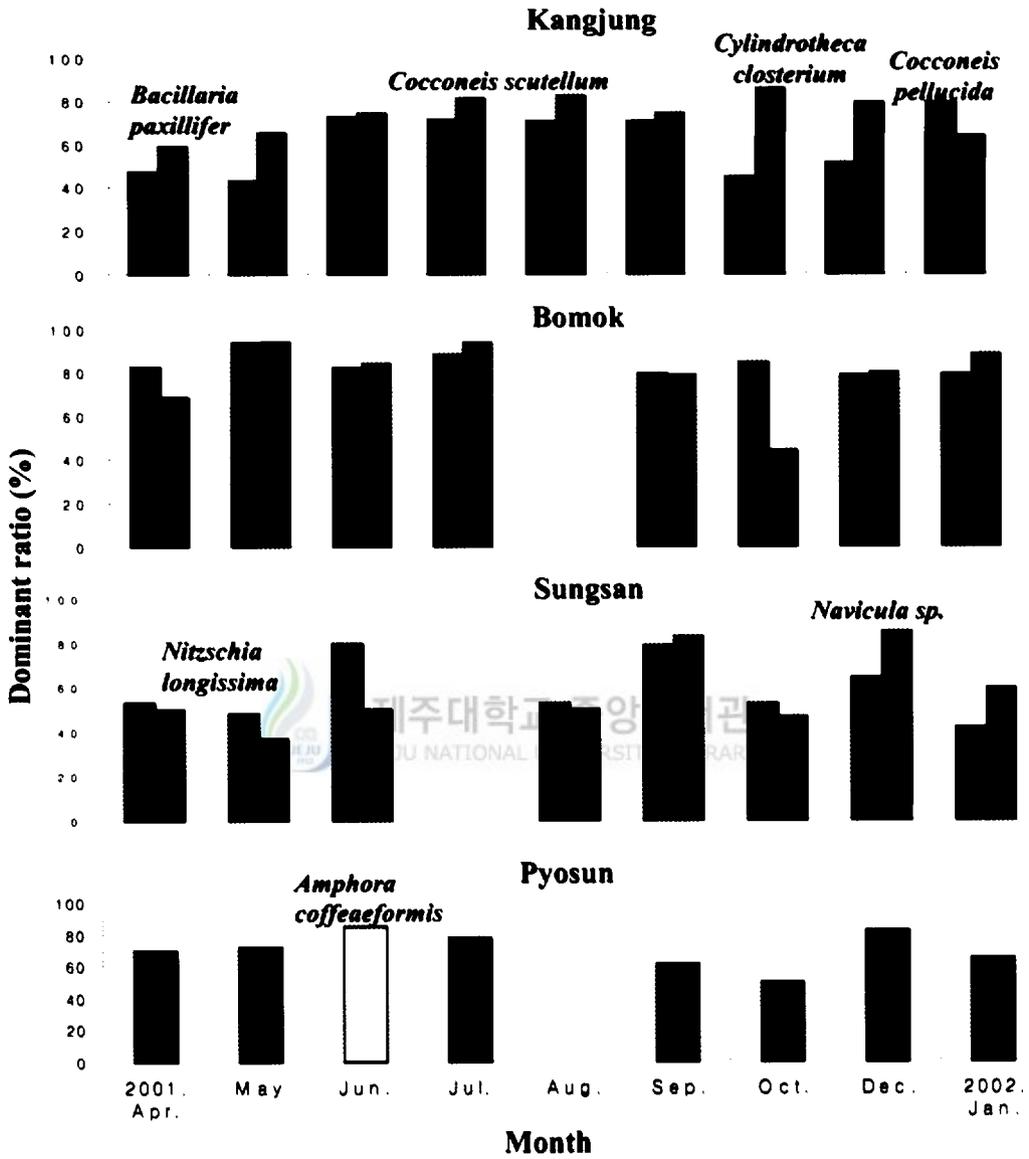


Fig. 31. Dominant ratio (%) of attached diatoms on sampling slide glass in the study area (left bar: surface, right bar: bottom, Pyosun: bottom).

### 3. 고 찰

제주도 주변 천해역에서 갯녹음은 이미 많은 범위에 걸쳐 확산되어있고 그 주체가 되는 무절산호말류는 제주도에 9속 20종이 분포하고(Kim, 2000), 암반 또는 동식물체 표면을 덮는 부착형태가 대부분이며, 일부는 기질에 부착하지 않고 작은 알갱이 형태를 이루고 있으면서 조간대부터 조하대까지 넓게 분포를 하고 있었다(Fig. 32, 33). 무절산호말류는 성장기에 가는 사상체모양이 조포사들이 돌기되어 있고 여기에 부착력이 강한 부착규조류들이 부착되어 있다(Fig. 34, 35). 부착규조류들은 무절산호말류와 끊임없는 서식지 경쟁을 통해 서로 자기의 지위를 선점하려고 하는 특징을 나타내고 있었다(Fig. 36). 조사해역에서 갯녹음 무절산호말류의 성장형태는 크게 4가지 형태로 구분되는데 그 종류에는 가운데를 중심으로 서서히 확장하는 형태, 가장자리 부분이 빠르게 확장하는 형태, 드문드문 군체를 이루는 형태, 점 형태로 모여 번식하는 형태로 나누어지고 있었다(Fig. 37). 갯녹음이 확장되는 미세구조는 무절석회조류가 상대적으로 부착력이 약한 부착미세조류를 밀어내며 서식지를 넓혀가고 있지만 자세히 관찰해보면 무절산호말류의 빈 공간이나 윗부분에 부착규조류가 서식하는 모습을 관찰할 수 있었고(Fig. 38), 녹조류나 홍조류의 유연이 무절산호말류의 정상부분에 부착기를 부착시켜 서식하는 것도 관찰되었다(Fig. 39). 갯녹음 현상이 심한 해역의 무절산호말류와 부착규조류와의 서식 특성을 살펴보면 기질 상부에 1차 생물막(primary film)을 형성한 부착규조류 군집 위에 무절산호말류가 피복 또는 천이로 새로운 2차 생물막(secondary film) 형성이 반복 진행된다고 볼 수 있다.

본 연구가 진행된 제주도 갯녹음 해역들의 환경적특성을 비교해보면 총 질소(TIN)와 규산염인 경우 표선 갯녹음해역이 다른 연안역보다 높는데 이는 주변에 육상양식장들이 밀집되어 있어 양식장에서 나오는 배출수들이 외해로 확산되지 못하고 조간대 및 조하대에 잔류하기 때문이라 생각된다. 또한 전체 조사해역 가운데 표선 갯녹음해역이 갯녹음이 가장 심하게 노출된 해역이었다.

조사해역들의 평균 N:P 비는 일반적인 해양의 Redfield 비인 16:1보다 높아 질산염보다 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자로 작용하고 있었다. 특히 부유성 미세조류들이 대증식 시기에는 해역에 따라 낮게 나타나고 있었다. 표선 갯녹음해역인 경우 여름철을 제외하면 년 중 질소계 영양염들이 계속 공급되고 있음을 알 수 있다.

조사해역의 년 평균 Si:P 비는 일반적인 해양의 Si:P 비인 15.0(Raymont, 1980)보다 훨씬 높아 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있다. 표선 갯녹음해역은 N:P 비의 경향과 마찬가지로 년 평균 Si:P 비도 다른 갯녹음해역보다 약 3배 정도 높음을 알 수 있다.

부착규조류의 년 평균 현존량은 성산 갯녹음해역이 가장 높고 표선 갯녹음해역이 가장 낮았으며 대부분 저층보다는 표층에서 높게 나타났다. 성산 갯녹음해역은 대체적으로 갯녹음발생이 적은 지역으로 마을어장관리가 잘 진행되고 있으며 굴곡있는 해안선을 가지고 있으며 모자반목의 해조류와 다년생 감태가 년 중 풍부하게 번식되는 해역이다. 반대로 표선 갯녹음해역은 주변해역이 이미 갯녹음으로 황폐화되어 있고 완만한 해안선의 영향으로 파랑이 높아 부착력이 약한 생물은 생존하기 힘든 지역임으로 가장 낮은 현존량을 나타내었다고 생각된다.

Chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ )은 각 연안별 표층은 보목 갯녹음해역이 높고, 저층은 성산 갯녹음해역이 높았다. 계절별 분포는 강정 갯녹음해역과 보목 갯녹음해역은 하계에 높고 성산 갯녹음해역은 동계가 높은 특징을 보였는데 이는 남부 연안에 위치한 강정 갯녹음해역과 보목 갯녹음해역은 다른 갯녹음해역보다 파도가 약하고 수온이 높으며 또한 광량이 풍부하여 다른 갯녹음해역보다 높다고 생각된다(Fig. 30). 갯녹음 해역에서 우점종 가운데 *Cocconeis scutellum* Ehrenberg 이 가장 우점종이 높고, 출현빈도가 높게 우점을 하였다. 이는 개각면이 횡으로 넓은 타원형이며 부착형태 또한 가장 강한 흡착막형(adhering film type)으로 부착력이 강하고 약한 광도에 잘 적응하는 종으로 무절산호말류를 피복하고 있었다. 이와 같이 부착규조류들은 갯녹음해역에서 어린 소라, 전복, 성게, 이매패류 또는 초식동물의 먹이로 활용되고 있기 때문에 갯녹음 해역이 반드시 초식동물의 고갈로 진행되는 것은 아니라고 설명할 수 있다. 실제로 무절산호말류만 있는 수조와 무절산호말류와 부착규조류를 투입한 수조 실험에서 참전복 유생은 무절산호말류만 있는 곳보다 무절산호말류와 부착규조류가 혼합된 수조에서 월등히 성장속도가 빠르게 나타나는 결과로 알 수 있다(Takami *et al.*, 1997). 이와 같이 갯녹음 해역의 해양환경과 부착규조류의 군집들은 직·간접적으로 무절산호말류의 생태에 영향을 끼치고 있다. 따라서 기존의 연구결과와 차후에 진행되는 연구 성과들을 복합적으로 종합한다면 갯녹음 해역의 미세조류들의 생태 특성에 대한 올바른 이해를 할 수 있을 것으로 생각된다.

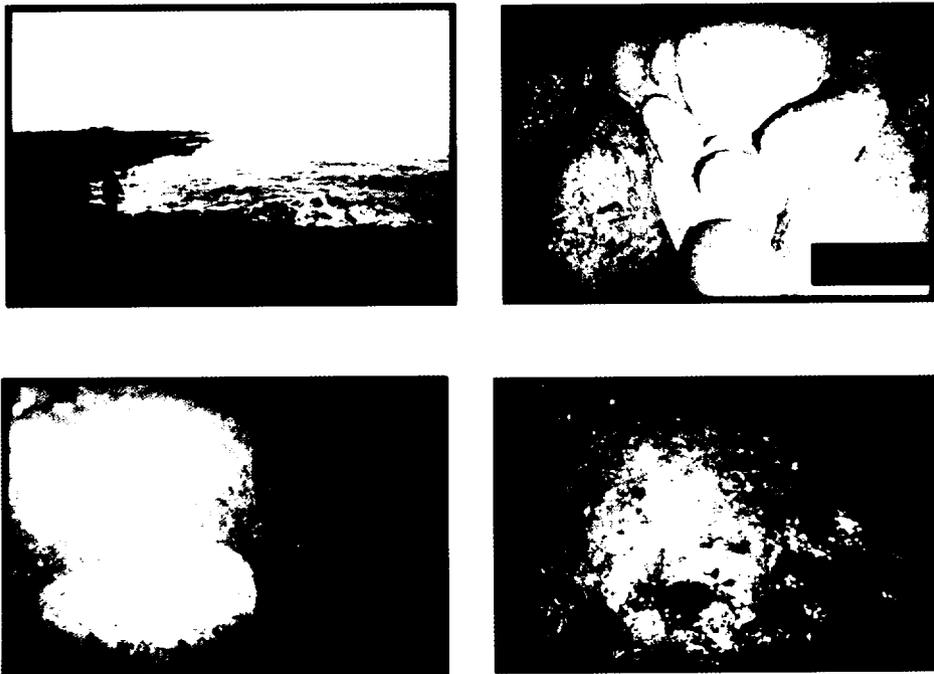
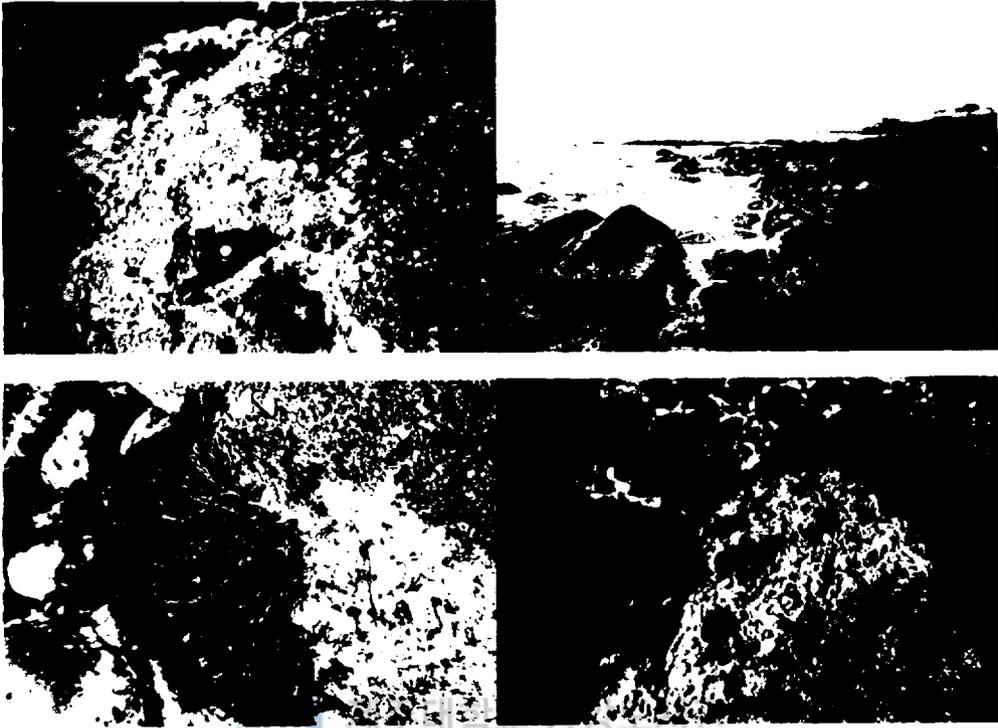
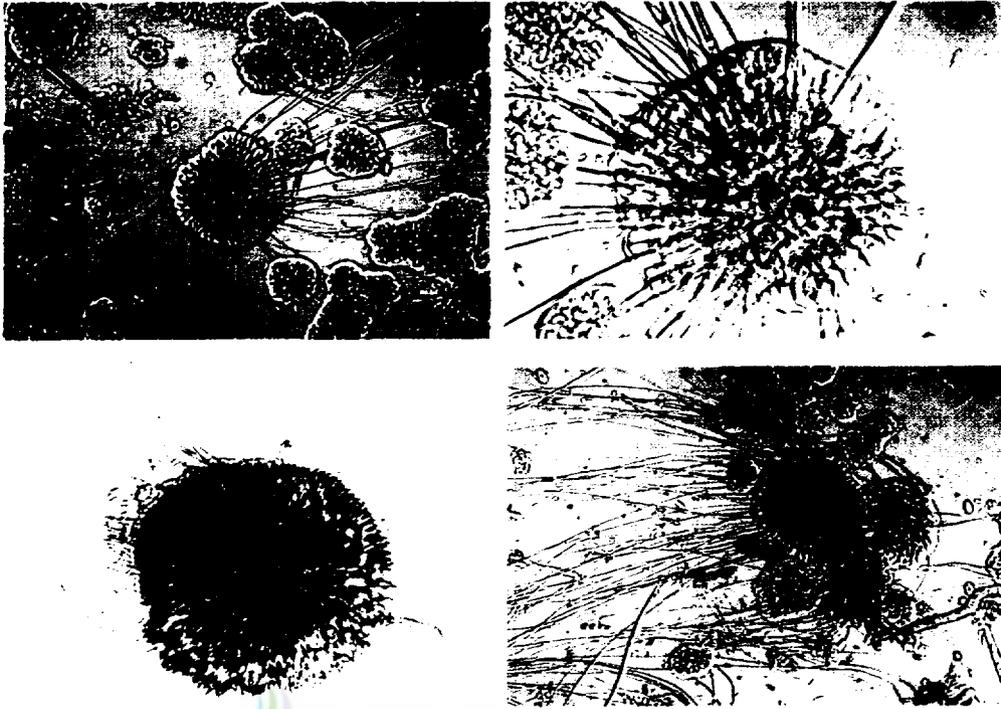


Fig. 32. Photos showing barren grounds (white phenomenon) at each depth of seawater in sublittoral zone (0M: Jungmun coast, 6M: whitening rock, 12M: whitening rock, 15M: whitening spot).



JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 33. Distribution of seaweed, herbivorous animal and microalgae in intertidal zone.



제주대학교 중앙도서관  
LIBRARY

Fig. 34. Growth stage of crustose coralline algae ( $\times 400$ ).

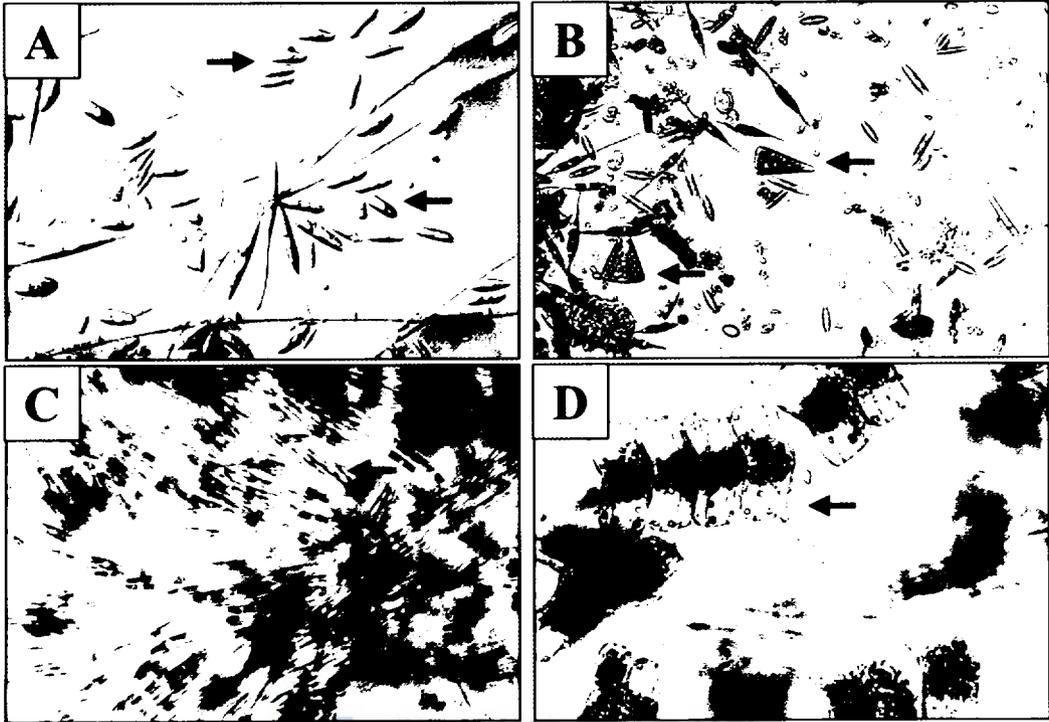


Fig. 35. Various benthic diatoms to grow on sampling plates (A: *Navicula* sp., B: *Licmophora* sp., C: *Cylindrotheca closterium*, D: *Achnanthes* sp.,  $\times 400$ ).

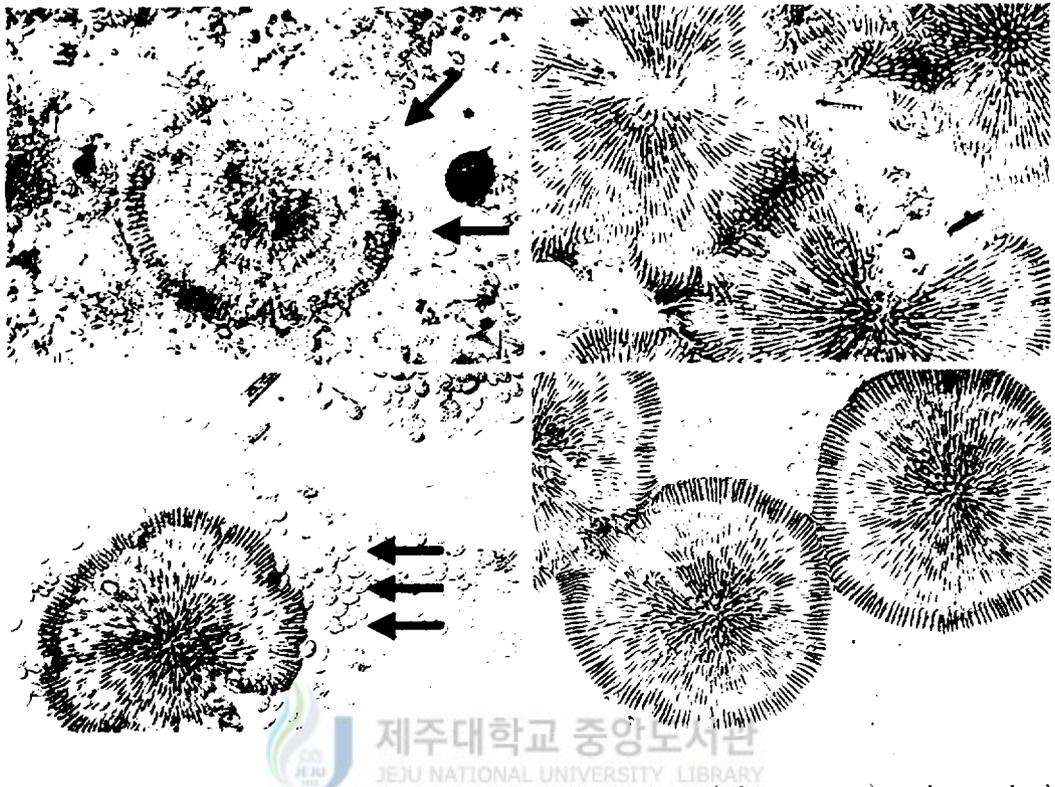


Fig. 36. Habitat competition of crustose coralline algae (white arrow) and attached diatoms (black arrow). ( $\times 400$ )

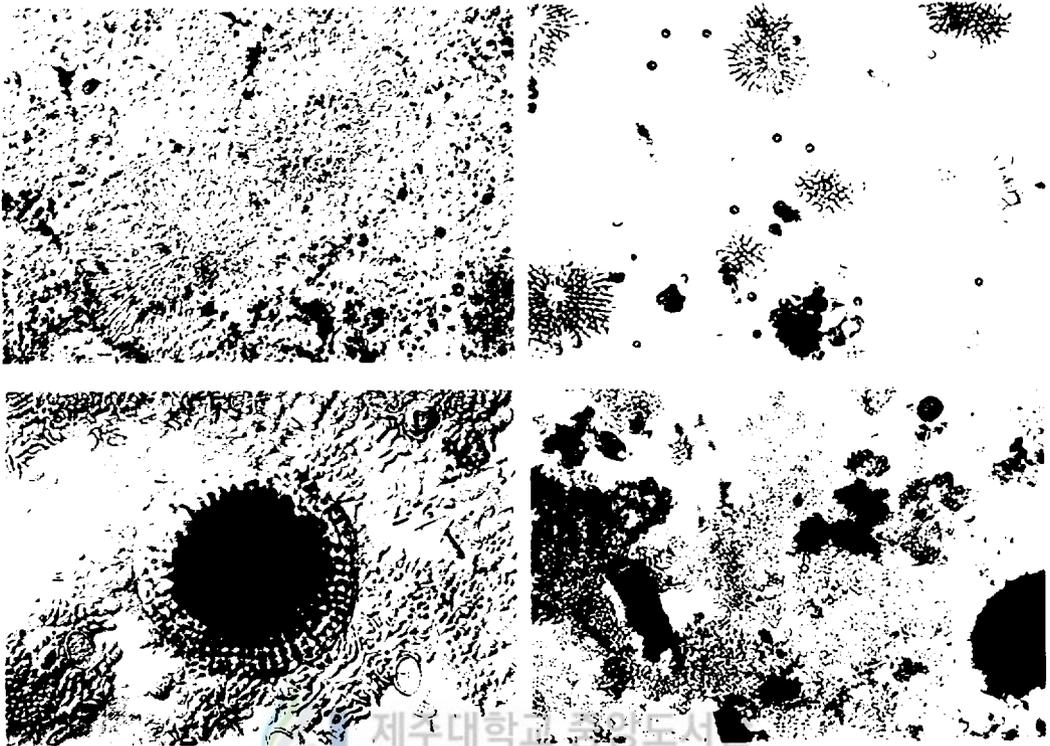


Fig. 37. Growth type of crustose coralline algae ( $\times 400$ ).

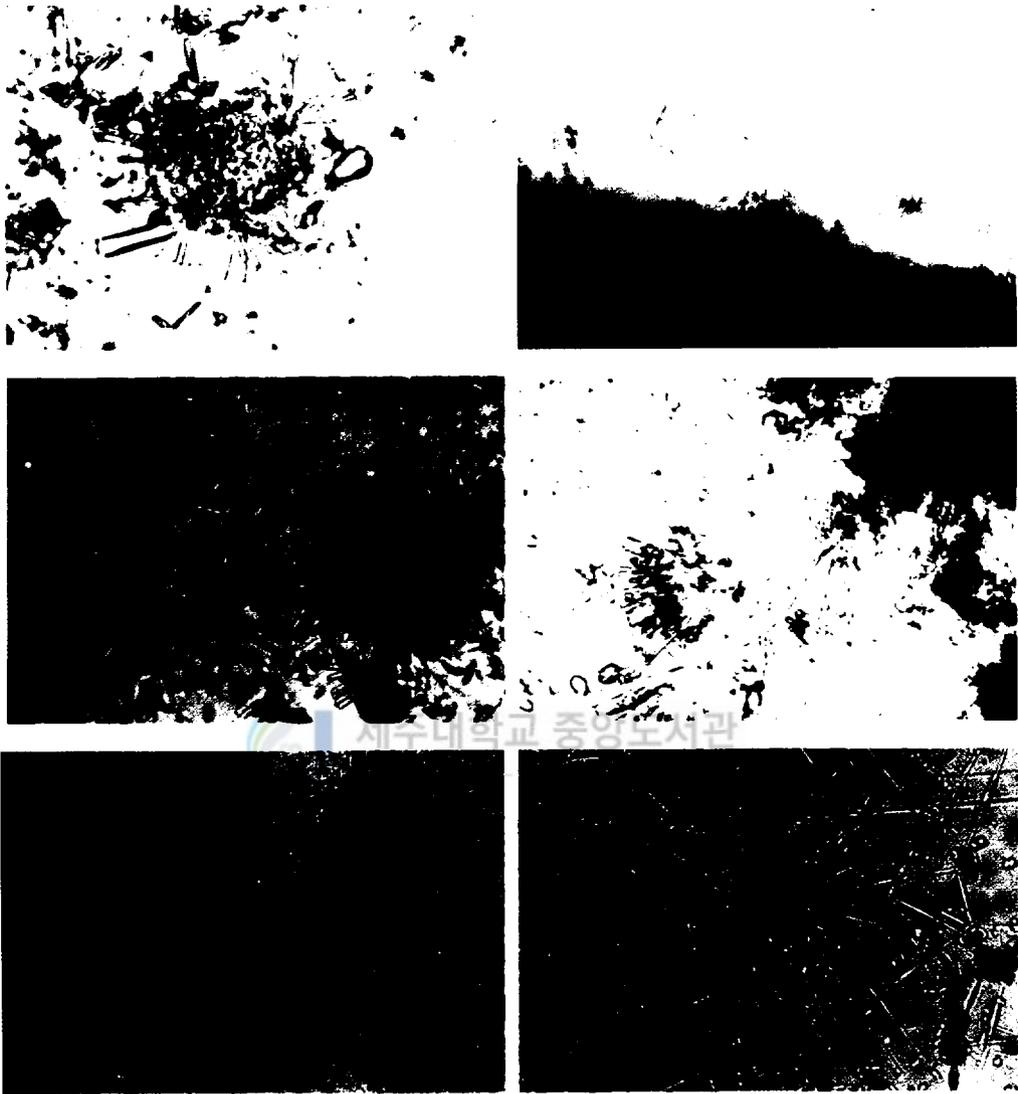


Fig. 38. Attached diatoms growing in a crustose coralline algae topside (The above diatoms contributing with useful feed resource of herbivorous animal in whitening coast).

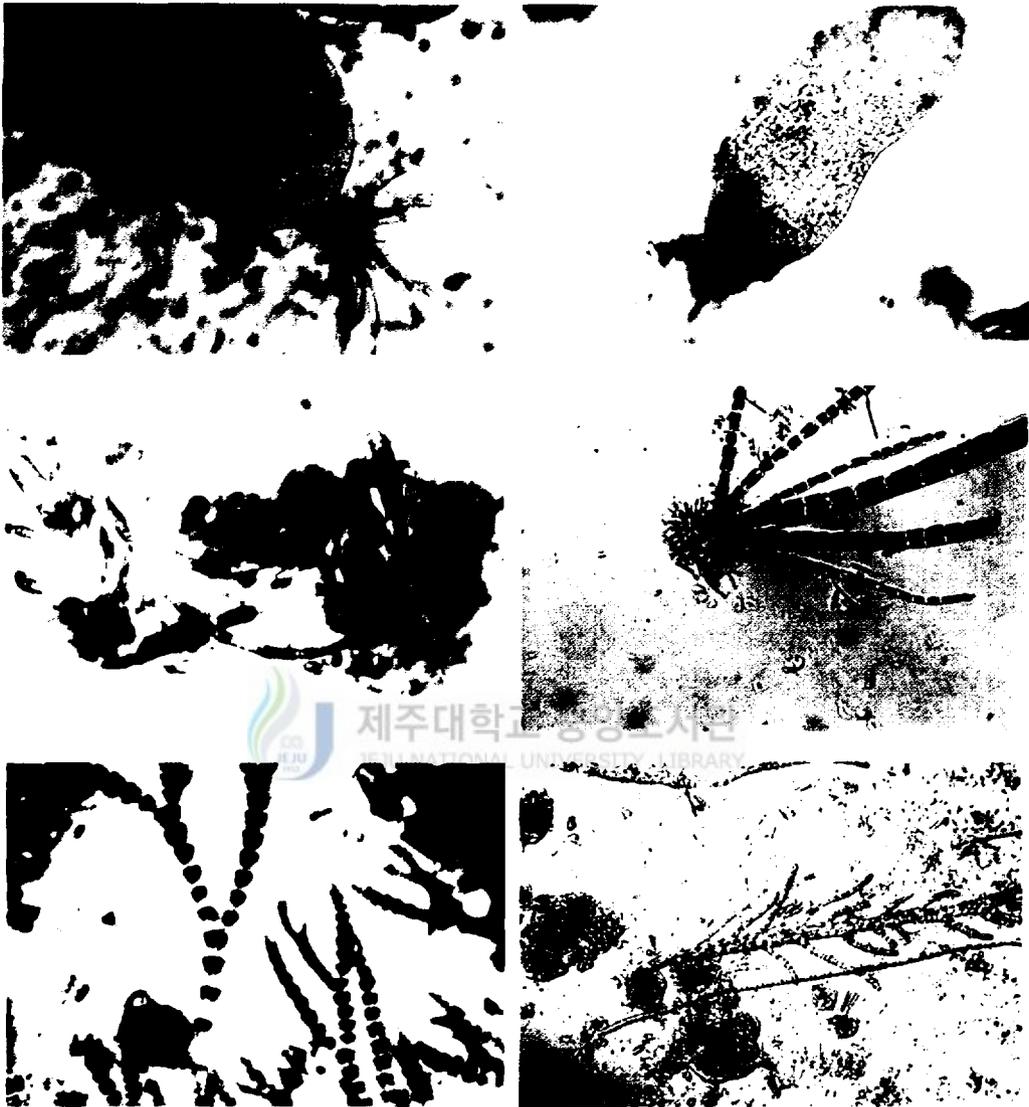


Fig. 39. Various seaweeds growing on the surface of crustose coralline algae. ( $\times 200$ )

## 종합고찰 및 결론

이상의 연구결과에서 제주도 연안 부유 및 부착성 미세조류의 생태학적 특성은 미세조류들의 서식생태계, 계절적 및 환경적 특성에 따라 독특한 특성을 나타내며 제주도 연안역의 저차생산자의 역할과 기능을 유지하고 있었다.

제주도에서 각종 개발과 연안역 이용이 가장 활발한 중문 연안 해역에 있어서 표영생태계내 부유성 미세조류의 생물생태학적 특성과 환경요인과의 특성을 밝히고자 연구가 실시되었다.

중문연안역의 물리·화학적 환경특성을 살펴보면 평균수온은 내해역이 외해역보다  $0.85^{\circ}\text{C}$ 가 높고, 평균 염분농도는 외해역이 내해역보다  $0.29\%$ 이 높았다. 내해역은 수심이 10m 내외로 표층과 저층이 수직적 혼합이 활발하여 수온과 염분의 분포 차이는 수온은  $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ , 염분은  $1\%$ 내외로 크게 나타나지 않았다. 외해역은 계절에 따라 수온과 염분이 변화하여 표층과 저층의 차이가 수온은 약  $10^{\circ}\text{C}$ , 염분은 약  $2\%$  정도로 큰 차이가 있었다. 성층현상을 살펴보면 수심이 10m 내외인 내해역은 없고, 외해역은 여름철에 20~30m 수심에서 성층이 형성되어 추계에 소멸되었다. 따라서 조사해역은 겨울철 특성인 고염은 12~4월에, 여름철 특성인 고온·저염화는 6~10월에 보이고 나머지 시기는 중간특성이 나타났다. 저층은 년중 대마난류수가 분포하는데 비해 상층은 겨울에는 대마난류수, 여름에는 중국 양자강연안수의 영향으로 표층이 저염화되는 현상도 나타나고 있었다. 해양생태계내에서 식물플랑크톤의 성장과 분포에 미치는 가장 큰 요인 중의 하나인 영양염류 가운데 암모니아성 질소의 월별 분포경향은 식물플랑크톤의 대발생시기에 전체 해역에서 낮아지는 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 크지 않지만 외해역은 표층보다 저층이 대마난류수의 영향으로 훨씬 낮은 농도를 보였고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높게 나타났다. 아질산성 질소의 월별 분포경향은 동계에 증가를 하고 춘계와 추계에 감소하였다. 수층별 분포는 저층이 내해역과 외해역에서 높은 분포를 보였고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높았다. 질산성 질소는 식물플랑크톤의 대증식시기인 춘계와 추계가 동계와 하계보다 낮은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 표층이 저층보다 높고 외해역은 저층이 높은 분포경향을 나타냈고 평균농도는 내해역이 외해역보다 높은 분포를 보였다. 인산 인의 분포경향은 하계에서 동계로 진행될수록 높은 분포를 나타

낮고 춘계와 추계에 낮은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 없지만 외해역은 저층이 높은 분포 경향을 보였다. 해역별 평균농도는 외해역이 내해역보다 높았다. 최 등(1989)의 제주도 해안선 주변역에서 농도 분포특성인 여름에서 가을까지 증가하는 경향과 유사한 특성이 있었다. 규산성 규소의 월별 분포양상은 춘계와 동계가 규조류의 대증식에도 불구하고 하계와 추계보다 높은 분포를 보였다. 수층별 분포는 내해역에서 수층간 농도차이가 없지만 외해역은 저층이 높았다. 해역별 평균농도는 내해역이 외해역보다 높은 분포를 보였다. 최 등(1989)의 보고에 의하면 제주도 해안선 주변역의 규산염의 농도는 제주도 남동쪽이 서쪽역보다 높고, 특히 서귀포 지역은 육상수의 유입으로 인해 타 해역보다 높은 농도를 나타낸다는 결과와 유사한 특성이 있었다. 조사해역의 년 평균 N:P비는 23.4로 일반적인 해양의 Redfield 비인 16:1보다 높아 질산염보다 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자로 작용하고 있었다. 내해역은 식물플랑크톤이 대증식시기에 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있지만 그 외의 계절에는 인산염이 제한인자로 작용하고 있고 지속적으로 질산염이 유입되고 있음을 알 수 있다. 외해역은 식물플랑크톤의 대증식시기와 그 외 계절에도 질소계 영양염이 제한인자로 작용하고 있어 내해역과는 다른 양상을 보여주고 있었다. 한국 연안역들의 N:P비는 동해에서 Shim *et al.*(1992)은 12.5를 질소계 영양염이 제한인자로 보고했고, 정과 박(1988)은 경기만에서 7.9~74.5의 N:P 비를 보고했다. 강과 최(2002)는 고리, 월성, 울진 그리고 영광해역에서 각각 3.2~57.3(평균 18.8), 3.1~109.0(평균 25.9), 2.6~102.0(평균 30.0) 그리고 1.0~165.0(평균 26.9)를 보고하여 인산염이 제한인자로 작용하고 있다고 보고했다. 년 평균 Si:P 비는 32.0으로 일반적인 해양의 Si:P 비인 15.0 (Raymont, 1980) 보다 높아 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 강우기에는 N:P 비와 Si:P 비가 내해역이 외해역보다 월등히 높아 육상에서 지속적으로 질소계 영양염류와 규산염이 공급됨을 알 수 있었다. 엽록소 *a* 농도는 식물플랑크톤의 대증식을 일으킨 시기에 높은 농도를 나타내어 현존량과 일치하는 경향을 보였다. 수층별 변화는 내해역에서 큰 차이는 없었다. 외해역은 10m와 20m층이 다른 수층에 비해 높은 농도를 나타내었는데 이는 식물플랑크톤의 현존량이 최대층과 질소계 영양염류의 최소층과 일치하고 있었다. 일반적으로 해양에서 일차생산과 엽록소 농도의 최대층은 질소계 영양염류가 급격히 변화하는 층(nitracline)에서 나타난다는 보고와 일치하고 있었다(Cullen, 1982). 지금까지 보고

된 제주도 주변해역에서 농도분포와 비교시 유사한 분포경향을 나타내고 있지만 우리나라 내만해역과는 낮은 분포 경향을 나타내었다. 내해역에서의 월별 변화특성은 동계에 낮고, 춘계에 높은 경향을 나타내었다. 외해역은 동계에 낮고 하계와 춘계에 높은 경향을 보였다. 해역별 분포특성은 내해역이 외해역보다 높고 특히 소형플랑크톤(microplankton)의 대증식이 크게 기여를 하고 있었다. 해양에서 미소플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 현존량의 약 80~100%를 차지하고, 해역과 계절에 따라 크기가 큰 소형플랑크톤보다 수층에서 안정화 되어 있다(Takahashi *et al.*, 1982). 따라서 본 조사해역도 소형플랑크톤(microplankton)보다 미소플랑크톤(nano-plankton)과 초미소플랑크톤(picoplankton)이 총 식물플랑크톤의 엽록소 량에 크게 기여를 하고 있다고 생각된다. 지금까지 제주도 연안역에서 크기별 엽록소 *a* 량은 보고된 적이 없지만 총 엽록소 농도에 대한 소형플랑크톤의 점유율을 우리나라 주변 연안역과 비교시 고리, 월성, 울진 및 영광해역(강과 최, 2002)은 각각 9.8~65.6(평균 43.9)%, 24.3~61.0(평균 44.5)%, 8.0~65.0(평균 39.1)% 그리고 23.2~56.6(평균 35.8)%로 본 조사해역은 내해역(평균 25.8%)은 낮고 외해역(평균 38.3%)은 비슷한 경향을 보였다. 미소플랑크톤의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역은 각각 34.5~90.2(평균 56.1)%, 39.0~75.7(평균 55.5)%, 35.0~92.0(평균 60.9)% 그리고 43.4~76.8(평균 64.2)%로 본 조사해역은 내해역(평균 38.3%)과 외해역(평균 39.5%) 모두 낮은 경향을 보였는데 이는 초미소플랑크톤에 의한 점유율이 적용되지 않았기 때문이다. 초미소플랑크톤을 적용시 내해역과 외해역은 각각 평균 74.2%와 73.6%를 차지해 다른 해역보다 높음을 알 수 있다. 이외의 미소플랑크톤에 의한 점유율은 동해남부해역의 16.0~99.0%(Shim *et al.*, 1985), 동해의 25.0~83.0%(조, 1985), 황해의 평균 46.2%(Chang *et al.*, 1987) 등과 비교시 유사한 특성을 보였다. 조사해역의 총 현존량의 분포특성은 내해역이 외해역보다 현존량이 높은 현존량을 유지하고 있었는데 이는 내해역이 영양염 공급이 원활하고 수층 간 혼합이 활발히 발생하기 때문이라 생각된다. 또한 제주도 주변해역의 일반적 인  $10^5 \sim 10^6$  cells  $\cdot \ell^{-1}$ 의 현존량 분포특성과 유사한 특성을 보였다. 총 현존량에 영향을 미치는 분류군은 계절에 따라 다르게 나타나고 있으며, 특히 9월에는 식물편모조류, 11월, 5월과 6월에는 규조류가 영향을 끼치고 있었다. 와편모조류는 수온이 상승하고 광량이 증가하는 5월의 표층과 10m층에서 영향을 끼치고 있었다. 내해역에서는 규조류 현존량의 높은 반면 외해역은 계절에 따라 식물편모조류가 점차 증가 하

고 있는 경향이 있었다. 분류군별 평균현존량의 점유율을 살펴보면 내해역은 규조류가 19.3~99.9%로 동계가 높고 하계가 낮았고, 외편모조류는 0~43.7%로 하계에만 높은 점유율을 보였으며 식물편모조류는 0.3~52.2%로 하계에 높은 분포를 보였다. 한편 외해역은 규조류가 2.7~99.9%로 동계에 높고 하계가 낮았고, 외편모조류는 0~94.5%로 하계에만 높은 점유율을 보였고 식물편모조류는 0.3~52.2%로 하계에 높은 분포를 보였다. 식물플랑크톤의 대증식 시기에는 질소계 영양염들이 년 중 최저치를 나타내고 있는데 이는 지속적인 영양염 공급과 적당한 수온, 최적의 광조건이 식물플랑크톤을 대번식하여 질소계 영양염이 소진되기 때문이라 생각된다. 이러한 식물플랑크톤의 현존량과 환경요인과의 상관관계를 분석하여 해역별, 계절별로 살펴보면 내해역은 여름철과 가을철에 물리적 영향, 봄과 겨울철은 물리적인 영향과 질소계 영양염의 영향을 받는 것으로 생각된다. 외해역은 여름과 가을철에 물리적인 요인, 봄과 겨울철에 질소계 영양염류의 영향을 받고 있다고 생각된다. 현존량의  $10^4$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상, 우점율이 20% 이상을 종을 우점종으로 선정을 한 결과 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum* 등 부유성 규조류가 2종과 식물편모조류인 *Hillea fusiformis* 1종이었다. 부유성 규조류인 *Chaetoceros socialis* Lauder 종은 온대역 연안종으로 군체를 형성하고 또한 냉수종으로 동계에 많이 출현한다고 보고 되었다(Fukuyo *et al.*, 1990). 우리나라의 연안역에서는 주로 겨울철에  $10^5$  cells ·  $\ell^{-1}$  이상으로 대증식을 하지만(Shin and Bae, 1985; 강 등, 2003) 가끔 여름철에도 대증식을 발생한다(강 등, 2003). 이종은 제주도 문섬 주변역에서 동계에 37.1~70.0% 우점율을 보였고(이 등, 2000), 한림항과 성산항은 각각 하계와 춘계에 대증식을 하였다(이와 좌, 1990). 우도 주변해역에서는 모든 계절에 걸쳐 우점을 하였고, 삼양 연안역에서는 춘계(이 등, 1998), 제주항내에서는 춘계와 추계에 우점을 하였다(이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서는 1998년 추계를 제외하면 전 계절에 우점을 하였다. 부유성 규조류인 *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve 종은 기수역과 모든 해역에 분포하는 보편종이고 광온성과 광염성을 지닌 종으로 우리나라 연안역에서는 계절에 관계없이 년 중 출현한다(유와 이, 1982; Fukuyo *et al.*, 1990; 강과 최, 2003;). 제주도 문섬 주변역에서 추계에 우점을 하였고(이 등, 2000), 한림항과 성산항은 모두 춘계와 추계에 대증식을 하였다(이와 좌, 1990). 우도주변해역에서는 동계에 걸쳐 우점을 하였고, 삼양 연안역에서는 춘계(이 등, 1998), 제주항내에서는 춘계와 추계에 우점을 하였다

(이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서는 각각 동계와 하계에 우점을 하였다. 식물편모조류인 *Hillea fisiformis* (Shiller) Shiller 종은 은편모조강에 속하는 종으로 크기가 20 $\mu$ m 이하인 미소플랑크톤(nanoplankton)으로 이전에는 주로 소형플랑크톤(microplankton)에 대한 연구만 집중되어 미소플랑크톤에 대한 동정과 계수가 누락이 되었다고 볼 수 있다. 최근에 미소플랑크톤의 중요성에 대한 연구가 집중되면서 미소플랑크톤도 우점종으로 출현하고 있다. 이종은 제주도 주변해역에서 년 중 출현하고 있고 특히 제주항내에서 동계에 우점종으로 보고 되었다(이 등, 2000; 이와 신, 2000). 본 조사해역인 내해역과 외해역에서 모두 하계와 추계에 우점을 하고 있었다. 이때의 현존량과 환경요인과의 상관관계를 보면 수온과 상관관계가 있고 아질산염과는 역(-)의 상관관계를 나타내고 있었다. 각 크기별 식물플랑크톤의 총 일차생산력에 기여한 비율을 살펴보면 소형플랑크톤(microplankton)은 내해역에서 5.5(8월)~70.9(4월)%, 외해역에서 0.2(8월)~33.9(2월)%로 외해역보다 내해역에서 크게 기여를 하고 있었다. 미소플랑크톤(nanoplankton)은 내해역에서 24.9(2월)~53.9(10월)%, 외해역에서 26.1(10월)~70.8(12월)%로 내해역보다 외해역에서 크게 기여를 하고 있었다. 초미소플랑크톤(picoplankton)은 내해역에서 3.8(4월)~67.4(8월)%, 외해역에서 15.5(4월)~57.5(10월)%를 보여 계절에 따라 상반된 특성을 보였다. 조사해역의 일차생산력은 chlorophyll *a*의 변화 경향과 유사하게 소형플랑크톤보다 미소플랑크톤과 초미소플랑크톤이 일차생산력에 크게 기여를 하고 있다고 생각된다.

제주도 해안선 주변해역은 우리나라 해안선 주변해역과는 다른 암반이 많은 저서생태계로 이루어져 있다. 이러한 저서생태계 내에서 우점하는 부착성 미세조류의 생물생태학적 특성을 조사함으로써 저서생태계에서 부착성 미세조류의 기능과 역할을 규명하고자 연구를 하였다.

일반적으로 부착 미세조류의 종조성과 현존량의 계절변화는 수온, 염분, 영양염 농도, 파도, 일사량, 광의 강도 및 포식압의 강도 등의 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다(Bacon and Taylor, 1976; Admiraal *et al.*, 1982; Tanaka *et al.*, 1984; Kawamura and Hirano, 1992). 조사기간 중 해역간 수온과 염분은 해역별 및 계절별로 차이를 보이고 있었으며 이는 일반적인 제주도 해안역의 환경특성으로써 계절에 따라 각기 다른 해류의 영향과 해안선에서 용출되는 용천수 및 육수 유입의 영향 때문이다(노와 방, 1998). 또 직접적인 육상 유입원의 영향을 받는 영양염류도 해역간 차이가 보이고

있었는데 이는 최 등(1989)의 결과와 같았으며, 이러한 해역간 환경요인의 차이는 부착 규조류의 공간적 출현분포 특성에 영향을 미치고 있다고 생각된다. 해역별 출현종수는 성산이 88종, 중문이 84종으로 동부와 남부해역에서 많았으며 함덕이 가장 적었고, 계절별 출현종 분포는 대부분 해안역에서 추계가 가장 다양하였고 동계에는 출현종수가 감소하였다. 조사기간 중 부착 규조류의 현존량은 추계와 하계에 높고 동계에 감소하는 특징을 보이고 있으나 제주도 해안역의 식물플랑크톤 현존량은 일반적으로 춘계와 추계에 높다고 보고된 바 있어(이 등, 1990) 일반적인 식물플랑크톤 동태와는 다른 결과를 보였다. 또한 해안역의 부착 규조류 현존량은 년 평균이  $10^5$  cells · cm<sup>-2</sup>의 범위로써 년 평균이  $10^4$  cells · l<sup>-1</sup>의 범위에 있는 외양역 보다 높은 현존량을 유지하고 있으며 해안역의 이매패류 등 저서생물의 초기 먹이로서 중요한 생태적 지위를 나타내고 있다고 판단된다(Castenholz, 1961; Kawamura and Kikuchi, 1992). Chlorophyll a 량은 추계와 춘계가 높고 동계가 낮은 특징을 보이며 현존량과 같은 결과를 보였고 남부해역 - 서부해역 - 동부해역 - 북부해역의 순서로 감소하고 있었다. 또 종다양성도 남부해역 - 동부해역 - 북부해역 - 서부해역 순으로 감소하여 부착 규조류의 생물량과 종다양성은 남부해역이 가장 높게 나타났는데 이는 남부해역이 대마난류수의 직접적인 영향을 받고 있으며 이로 인하여 상대적으로 높은 수온과 년중 일조조건이 다른 해역보다 유리한 조건을 갖고 있기 때문이라 생각된다(홍과 방, 1998). 연구기간 동안 출현한 부착 규조류는 총 143종으로 기존의 보고보다 많은 종이 출현하였으며 수층에서 플랑크톤으로 발견되지 않은 많은 종류도 포함하고 있었다. 출현종 가운데 *Amphora coffeaeformis*와 *Cocconeis scutellum*은 전 해역에서 년중 출현하여 제주도 해안역의 대표종이었다. 출현종의 대부분은 깃돌말류에 속하였으며 등줄돌말류가 헛등줄돌말류 보다 5배이상 많은 종수를 보이고 있었다. 특히 헛등줄돌말류는 동계와 춘계에 높은 종조성비를 나타내는 특징을 보이고 있었는데 이는 헛등줄류가 EPS에 의한 부착능력이 등줄류 보다 높기 때문이며(Stevenson and Peterson, 1989), 헛등줄류가 동계와 춘계에 걸쳐 북서계절풍의 영향을 많이 받는 제주도 해안역에서 상대적으로 높은 적응력을 보이고 있다고 생각된다(방 등, 1994).또한 이 등(1990)은 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 연구에서 저서성 및 일시 부유성 종류의 비율이 49.8%로 다른 한국 연안역 보다 높은 분포를 차지한다고 하였는데 이것은 제주도 해안에 암반해안과 해조류가 잘 발달되어 있어 저서성 미세조류가 상

대적으로 많고 사계절 바람의 영향으로 부유할 수 있는 기회가 높기 때문이라 생각된다. 우점종 중에서 *Coconeis scutellum*과 *Licmophora lyngbyei* 등은 제주 해안의 해조류 엽상체와 암석기질에서 50%이상 점유하고 있었다(이 등, 1991). 우점종들은 각 해안역에서 단일종에 의한 계절적 천이경향을 나타내는 특징을 보이고 있으며 이것은 각 해역이 지닌 환경요인의 변화에 대한 우점종의 적응력이 종특이성을 보이고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 EPS에 의한 부착형의 종조성비는 전 해역에서 홑착막형이 가장 많았고 정단 부착반형, 자루형, 관형의 순서로 적어지는 특징을 보이고 있지만 부착형에 따른 부착규조류의 공간적 및 시간적 군집구조에 미치는 영향은 확실치 않으며 추후 연구가 더 필요하다고 판단된다. 제주도 해안의 부착 미세조류 군집구조는 해역별 및 계절별에 따라 종의 천이가 달라지는 특징을 보이며 환경요인 중 수온과 바람 등의 물리적인 환경요인에 의해 크게 영향을 받고 있다고 생각된다.

제주도 표영생태계와 저서생태계에 있어서 미세조류의 생태학적특성 결과를 토대로 갯녹음이 진행되고 있는 제주도 조간대 및 조하대 해역의 갯녹음 해역을 대상으로 부착성 미세조류가 갯녹음해역의 해조류와 조식성 동물에 어떠한 역할과 기능을 하고 어떤 생태학적 지위를 차지하는가를 최초로 체계적으로 연구를 실시하여 제주도 연안역에 서식하는 부유 및 부착성 미세조류의 기능과 역할을 밝히고자 하였다.

제주도 주변 천해역에서 갯녹음은 이미 많은 범위에 걸쳐 확산되어있고 그 주체가 되는 무절산호말류는 제주도에 9속 20종이 분포하고(Kim, 2000), 암반 또는 동식물체 표면을 덮는 부착형태가 대부분이며, 일부는 기질에 부착하지 않고 작은 알갱이 형태를 이루고 있으면서 조간대부터 조하대까지 넓게 분포를 하고 있었다. 무절산호말류는 성장기에 가는 사상체모양이 조포사들이 돌기되어 있고 여기에 부착력이 강한 부착규조류들이 부착되어 있었다. 부착규조류들은 무절산호말류와 끊임없는 서식지 경쟁을 통해 서로 자기의 지위를 선점하려고 하는 특징을 나타내고 있었다. 갯녹음 해역에서 무절산호말류의 성장형태는 크게 4가지 형태로 구분되는데 그 종류에는 가운데를 중심으로 서서히 확장하는 형태, 가장자리부분이 빠르게 확장하는 형태, 드문드문 군체를 이루는 형태, 점 형태로 모여 번식하는 형태로 구분되었다. 갯녹음이 확장되는 미세구조는 무절산호말류가 상대적으로 부착력이 약한 부착미세조류를 밀어내며 서식지를 넓혀가고 있지만 자세히 관찰해보면 무절산호말류의 빈 공간이나 윗부분에 부착규조류가 서식하는 모습을 관찰할 수 있었고, 녹조류나 홍조류의 유연이 무

철산호말류의 정상부분에 부착기를 부착시켜 서식하는 것도 관찰되었다. 갯녹음 현상이 심한 해역의 무절산호말류와 부착규조류와의 서식 특성을 살펴보면 기질 상부에 1차 생물막(primary film)을 형성한 부착규조류 군집 위에 무절산호말류가 피복 또는 천이로 새로운 2차 생물막(secondary film) 형성이 반복 진행된다고 볼 수 있었다. 본 연구가 진행된 제주도 갯녹음 해역들의 환경적특성을 비교해보면 총 질소(TIN)와 규산염인 경우 표선 갯녹음해역이 다른 갯녹음해역 보다 높는데 이는 주변에 육상양식장들이 밀집되어 있어 양식장에서 나오는 배출수들이 외해로 확산되지 못하고 조간대 및 조하대에 잔류하기 때문이라 생각된다. 또한 전체 조사해역 가운데 표선연안역이 갯녹음이 가장 심하게 노출된 해역이었다. 갯녹음 해역들의 평균 N:P 비는 일반적인 해양의 Redfield 비인 16:1보다 높아 질산염보다 인산염이 식물플랑크톤의 제한인자로 작용하고 있었다. 특히 부유성 미세조류들이 대증식 시기에는 해역에 따라 낮게 나타나고 있었다. 표선연안역인 경우 여름철을 제외하면 년 중 질소계 영양염들이 계속 공급되고 있음을 알 수 있다. 갯녹음 해역의 년 평균 Si:P 비는 일반적인 해양의 Si:P 비인 15.0(Raymont, 1980)보다 훨씬 높아 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있다. 표선 갯녹음해역은 N:P 비의 경향과 마찬가지로 년 평균 Si:P 비도 다른 연안역보다 약 3배 정도 높음을 알 수 있다.

부착규조류의 년 평균 현존량은 성산 갯녹음해역이 가장 높고 표선 갯녹음해역이 가장 낮았으며 대부분 저층보다는 표층에서 높게 나타났다. 성산 갯녹음해역은 대체적으로 갯녹음발생이 적은 지역으로 마을어장관리가 잘 진행되고 있으며 굴곡있는 해안선을 가지고 있으며 모자반목의 해조류와 다년생 감태가 년 중 풍부하게 번식되는 해역이다. 반대로 표선 갯녹음해역은 주변해역이 이미 갯녹음으로 황폐화되어 있고 완만한 해안선의 영향으로 파랑이 높아 부착력이 약한 생물은 생존하기 힘든 지역임으로 가장 낮은 현존량을 나타내었다고 생각된다.

갯녹음 해역별 Chlorophyll *a* 량 ( $\text{mg chl-}a \cdot \text{m}^{-2}$ )은 표층에서 보목 갯녹음해역이 높고, 저층은 성산 갯녹음해역이 높았다. 계절별 분포는 강정 갯녹음해역과 보목 갯녹음해역은 하계에 높고 성산 갯녹음해역은 동계가 높은 특징을 보였는데 이는 남부 연안역에 위치한 강정갯녹음해역과 보목 갯녹음해역은 다른 연안역보다 파도가 약하고 수온이 높으며 또한 광량이 풍부하여 다른 갯녹음해역 보다 높다고 생각된다.

갯녹음 해역에서 우점종 가운데 *Cocconeis scutellum*은 우점율이 가장 높고, 출현

빈도가 가장 높게 점유하고 있었다. 이는 개각면이 횡으로 넓은 타원형이며 부착형태 또한 가장 강한 흡착막형(adhering film type)으로 부착력이 강하고 약한 광도에 잘 적응하는 종으로 무절산호말류를 피복하고 있었다. 이와 같이 부착규조류들은 갯녹음 해역에서 어린 소라, 전복, 성게, 이매패류 또는 초식동물의 먹이로 활용되고 있기 때문에 갯녹음 해역이 반드시 초식동물의 고갈로 진행되는 것은 아니라고 설명할 수 있다. 실제로 무절산호말류만 있는 수조와 무절산호말류와 부착규조류를 투입한 수조 실험에서 참전복 유생은 무절산호말류만 있는 곳보다 무절산호말류와 부착규조류가 혼합된 수조에서 월등히 성장속도가 빠르게 나타나는 결과로 알 수 있다(Takami *et al.*, 1997). 이와 같이 갯녹음 해역의 해양환경과 부착규조류의 군집들은 직·간접적으로 무절산호말류의 생태에 영향을 끼치고 있었다.

종합적으로 기존의 연구결과와 차후에 진행되는 연구성과들을 복합적으로 종합한다면 제주도 연안역의 저염분, 부영양화 등과 같은 국지적 환경변화와 갯녹음 현상과 같은 광역적인 환경변화 해역에 있어 부유 및 부착성 미세조류들의 생태특성에 대한 체계적인 연구가 필요하다고 생각된다. 이러한 연구결과들을 가지고 차후에 제주도 연안역의 표영생태계 및 저서생태계에 있어서 먹이흐름에 대한 이해와 미세조류의 역할과 기능을 밝힘으로써 미세조류의 중요성에 대한 많은 연구가 수행되리라 생각된다.

#### IV. 참고문헌

- 강연식, 최중기. 2001. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 I. 종조성 및 분포(1992년~1996년). 한국조류학회지 'Algae', 16: 85-111.
- 강연식, 최중기. 2002. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 II. 현존량 분포 및 환경요인들(1992~1996). 한국해양학회지 '바다', 7: 108-128.
- 강연식, 최중기, 엄희문. 2003. 고리, 월성, 울진과 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 III. 우점종분포와 환경요인들. 한국조류학회지 'Algae', 18: 29-47.
- 고유봉, 전득산. 1984. 제주도 삼양연안역에서의 플랑크톤 연구. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 8: 19-30.
- 국립수산진흥원 동해수산연구소. 2001. 동해안 생산력 향상을 위한 해조장 조성 워크숍. pp. 56.
- 김남길. 1999. 갯녹음이나 백화나 우리 이야기 한번 나눠 봅시다. 한국조류학회 소식지, 10: 19-24.
- 김형근. 1998. 동해안의 해양환경 실태. 강원환경의 이해, pp. 155-164.
- 김형근, 박중구, 손용수. 2000. 연곡천 하구연안의 갯녹음(백화)현상. 강릉대 환경과학, 3: 35-41.
- 김형근. 2001. 강릉하천 하구역에 발생하는 갯녹음(백화)현상의 진단. 강원지역환경기술센터, pp. 32.
- 노홍길, 방익찬. 1998. 제주의 바다. 고유봉의 공저. 제주도 수산해양개발협의회 pp. 11-42.
- 문창호, 최혜지. 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한국해양학회지, 26: 144-154.
- 박길순. 1982. 제주도 연안해수의 영양염류에 관한 연구. 한국수산학회지, 15: 255-262.

- 박종규, 허성희, 정해진. 2001. 진해만의 식물플랑크톤: I. 광환경에 따른 광합성 특성과 일차생산력. 한국조류학회지 'Algae', 16: 189-196.
- 방익찬, 노홍길, 김태희. 1994. 제주도 북서해역의 해수분포와 해수순환. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 18: 1-14.
- 방익찬, 노홍길, 이재학. 1995. 제주도 북서해역의 해수분포의 계절변화와 여름철의 황해난류. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 19: 49-66.
- 방익찬, 홍창수, 오경희. 2001. 제주도 중문 연안역의 물리해양환경에 대한 연구. 한국해양학회지 '바다', 6: 211-217.
- 손철현, 김형근, 한현섭. 2002. 갯녹음 연안을 바다숲으로 (번역서). 청문각, pp. 163.
- 심재형, 강정훈, 조병철, 김용서. 1998. 해수에 잠긴 인공기질 표면에서 미세조류의 부착과 성장: 1. 부착 및 천이. 한국해양학회지 '바다', 3: 249-260.
- 유광일, 이진환. 1982. 고리 원자력발전소 주변해역의 부유성 구조류에 대하여. 한국해양연구소보, 4: 53-62.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1990. 제주도 북방 함덕연안해역에 있어서 춘·하계 식물성 무각편모조류의 동태. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 14: 1-8.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1991. 제주도 연안해역에 출현하고 있는 적조생물. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 15: 1-14.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1992. 제주북방 함덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 16: 27-42.
- 이기완. 1979. 제주도 서귀포연안 식물성 플랑크톤의 계절변화. 제주대학교 임해연구소 연구보고, 3: 23-27.
- 이준백. 1989. 제주도 북방 탐동연안해역 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 13: 35-45.
- 이준백, 최영찬, 고유봉. 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10: 62-67.
- 이준백, 고유봉, 좌중헌. 1990. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, 5: 159-171.
- 이준백, 좌중헌. 1990. 제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 14: 9-24.

- 이준백, 좌종헌, 김일수. 1991. 제주도 해안선주변 부착규조류의 종조성 및 분포. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 15: 61-72.
- 이준백, 좌종헌, 고유봉, 최영찬. 1993. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구(II) - 우도주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지, 14: 458-466.
- 이준백, 고희범, 최영찬, 고유봉. 1995. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구. 함덕해역의 식물플랑크톤 동태와 일차생산력. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 19: 103-113.
- 이준백, 좌종헌, 강동우, 고유봉, 오봉철. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성. II. 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력. 한국조류학회지 'Algae', 15: 37-47.
- 이준백, 신 범. 2000. 제주항 주변 식물플랑크톤의 계절변화. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 24: 79-85.
- 이준백, 신 범, 이무형. 2001. 제주도 남부 조간대 조수웅덩이의 미세조류 군집의 계절 동태. 한국조류학회지 'Algae', 16: 197-207.
- 이진환, 이은호. 1997. 화력발전소(보령, 서천) 주변해역에서 식물플랑크톤 군집의 계절적인 변동. 한국조류학회지, 12: 159-171.
- 전득산, 고유봉. 1983. 제주도 주변해역의 chlorophyll *a* 함량분포. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 7: 23-27.
- 전득산, 변충규, 노 섬. 1986. 진주조개(*Pinctada fucata*)의 치패생산 및 양식에 관한 환경학적 연구 - 식물플랑크톤의 현존량과 환경특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 10: 65-73.
- 정경호, 박용철. 1988. 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지, 23: 194-206.
- 정상철, 노홍길, 박길순, 전득산. 1983. 서귀포 연안해역의 기초생산에 영향을 미치는 해양환경. 한국수산학회지, 16: 305-315.
- 정상철, 홍영자. 1993. 제주도 동귀 어촌계의 잠수노력량 및 어획량분석. 한국수산학회지, 26: 41-48.
- 정호성, 조기용, 정경호, 김지희, 신종헌, 서영완, 강재신, 이인규. 1998. 제주도 서귀포 연안의 백화현상에 대한 생태학적 특성. 한국조류학회지 'Algae', 13: 361-374.

- 제주대 해양과학대학, 한국해양연구소. 1994a. 제주도 바다 목장화모델 개발 연구보고서. 339pp.
- 제주대 해양과학대학, 한국해양연구소. 1994b. 제주도 바다 목장화모델 개발 연구보고서(자료집).
- 조기안, 위인선, 최청일. 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물학회지, 12: 137-150.
- 조창환. 1986. 가을철 한국 주변해역의 Microplankton 및 Nanoplankton의 클로로필 함량과 분포. 한국수산학회지, 18: 63-66.
- 좌종현, 이준백. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성. I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지 '바다', 5: 59-69.
- 최 상. 1966. 한국해역의 식물플랑크톤의 연구 I. 1965년 하계의 한국해협 표층수의 식물플랑크톤의 양과 분포. 한국해양학회지, 1: 14-21.
- 최 상. 1969. 한국해역의 식물플랑크톤의 연구 IV. 동해, 남해 및 서해 해역의 식물플랑크톤. 한국해양학회지, 4: 49-67.
- 최영찬, 고유봉, 이준백. 1989. 제주도 해안선주변의 해수특성(1987년 6월-1988년 4월). 한국지구과학회지, 10: 54-61.
- 최영찬, 고유봉, 이준백. 1992. 제주도 남부 연안역의 생물생태학적 기초 연구(I). 서귀포 주변 연안역의 해수특성. 한국지구과학회지, 13: 327-335.
- 최정신. 1978. 동지나해의 두 해역에 있어서 미세플랑크톤의 분포. 한국수산학회지, 11: 123-127.
- 최중기, 박용철, 김용철, 이영철, 정창수, 손승규, 황학진, 한범석. 1988. 서해 연안 어장의 생산력 조사. 국립수산진흥원 연구보고, 42: 143-168.
- 최중기, 이진환, 이 경. 1995. 한국산 돌말류(규조류)의 분류학적 연구 I. 분류체계와 분류계급의 한국명화. 한국조류학회지, 10(Supplement): 1-11.
- 한국해양연구소. 1997. 한국천해 경성저질에서의 백화현상에 대한 연구(예비조사). BSPE 97667-00-1088-7, 98pp.
- 한국해양연구소. 2000. 백화현상의 원인규명과 방제를 위한 생화학적 연구 2. 한반도 일원의 석회조류 분류. BSPE 99770-00-1250-4, pp. 39-85.

- 현경훈, 방익찬, 이재학, 노홍길. 1997. 여름철 동중국해의 수괴분석과 대마난류의 북상경로. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 21: 85-101.
- 홍창수, 방익찬. 1998. 제주도 중문 연안역의 물리해양환경의 년 변화. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 22: 69-78.
- 大貝政治. 1987. 附着硅藻. 海産附着生物と水産増殖(梶原 武 編). 恒星社厚生閣, pp. 50-61.
- Admiraal W. 1984. The ecology of estuarine sediment-inhabiting diatoms. In: F.E. Round and D.J. Chapman *Progress in Phycological Research*. Vol.3(eds.). Biopress, Bristol. 387 pp.
- Admiraal W., H. Peletier and H. Zomer. 1982. Observation and experiments on population dynamics of epipelagic diatoms from an estuarine mudflat. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 14: 471-487.
- Bacon G.B. and A.R.A. Taylor. 1976. Succession and stratification in benthic diatom communities colonizing plastic collectors in a Prince Edward Island Estrary. *Bot. Mar.*, 19: 231-240.
- Caroppo C., A. Fiocca, P. Sammarco and G. Magazzu. 1999. Seasonal variations of nutrients and phytoplankton in the coastal SW Adriatic Sea (1995-1997). *Botanica Marina*, 42: 389-400.
- Carpenter E.J., C.C. Remsen and S.W. Watson. 1972. Utilization of the urea by some marine phytoplankters. *Limnol. and Oceanogr.*, 17: 265-269.
- Castenholz R.W. 1961. The effect of grazing on marine littoral diatom populations. *Ecology* 42: 783-794.
- Chang M., J.H. Shim and H.T. Huh. 1987. Nanoplankton of the Korean Coastal waters. *Ocean Research*, 9: 7-14.
- Choi J.K and J.H. Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychoplagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21: 156-170.

- Choi J.K and J.H. Shim. 1988. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. IV. Succession mechanism and the structure of the phytoplankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **23**: 1-12.
- Chung C.S. and D.B. Yang. 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 242-254.
- Cox E.J. 1977. The tube-dwelling diatom flora at two sites in the estuary. *Botanica Marina*, **20**: 111-119.
- Cullen, J.J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll *a*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**: 791-803.
- Deason E.E. and T.J. Smayda. 1982. Ctenophore-zooplankton-phytoplankton interactions in Narragansett Bay, Rhode Island, USA, during 1972-1979. *J. Plankton Res.* **4**: 203-217.
- Fabricius, K.E, Y. Benayahu and A. Genin. 1995. Herbivory in asymbiotic soft corals. *Science*, **268**: 90-91.
- Fabricius, K.E, G. Yahel and A. Genin, 1998. In situ depletion of phytoplankton by an azooxanthellate soft coral. *Limnol. Oceanogr.*, **43**: 354-356.
- Fogg G.E. and B. Thake. 1987. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. The University of Wisconsin Press, Madison. 269 pp.
- Fukuyo Y.H., H. Takano, M. Chihara and K. Matsuoka. 1990. Red Tide Organisms in Japan: An Illustrated Taxonomic Guide, Uchida Rokakuho, Tokyo. 407pp.
- Hasle G.R. 1983. Notebook of the International Phytoplankton Course, 22 Aug.-10 Sept. 1983. A guide to marine plankton diatom. Univ. of Oslo. 1-53 pp.
- Hogland K.D., J.R. Rosowski, M.R. Gretz and S.C. Roemer. 1993. Diatom extracellular polymeric substances : function, fine structure, chemistry and physiology. *J. Phycol.*, **29**: 537-566.
- Kajihara T. 1987. Present status and problems in the study of attaching organism. *Attaching Organisms and Aquaculture*. pp. 9-17. (in Japanese).

- Kawamura T., Nimura Y. and Hirano R. 1988. Effects of bacterial films on diatom attachment in the initial phase of marine fouling. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **44**: 1-15.
- Kawamura T. and R. Hirano. 1992. Seasonal changes in benthic diatom communities colonizing glass slides in Aburatsubo Bay, Japan. *Diatom Research*, **7**: 227-239.
- Kawamura T. and S. Kikuchi. 1992. Effects of benthic diatoms on settlement and metamorphosis of abalone larvae. *Suisan Zoshoku*, **40**: 403-409. (in Japanese).
- Kim J.H. 2000. Taxonomy of the Corallinales, Rhodophyta in Korea. Ph.D. Thesis. Seoul National University, pp. 349.
- Kim W.S., M. Chang and J.H. Shim. 1992. Multitrophic interactions as a trigger of the *Gyrodinium aureolum* bloom in Reeves Bay, New York. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 1-12.
- Lee M.J., J.H. Shim and C.K. Kim. 1967. Studies on the plankton of the neighboring seas of Korea. part 1. On the marine conditions and phytoplankton of the Yellow Sea in summer. Rep. Inst. Mar. Bio., SNU., **1**: 1-14.
- Lee J.H. 1994. Neurotoxic-producing diatom, *Pseudonitzschia pungens* Grunow f. *multiseriata* Hasle, off the coastal waters of southern Korea. I. Morphological features. *Korean J. Phycol.*, **9**: 125-134.
- Lee Y.H. and J.R. Kim. 1989. A quantitative study on the epiphytic diatoms of *Porphyra* species from the coastal waters of the Yellow Sea, Korea. *Mar. Develop. Res. KNU.*, **1**: 51-66.
- Morris I. 1980. The Physiological Ecology of Phytoplankton. University of California Press, Berkeley. 625 pp.
- Mukai T. 1987. Effects of micro-scale in situ environmental gradients concerning water qualities on the structure of the phytoplankton community in a coastal embayment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **25**: 447-458
- Park Y.C. 1986. Nitrogen regeneration and glutamate dehydrogenase activity of macrozooplankton in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*,

- 21: 251-256.
- Park Y.C. E.J. Carpenter and P.G. Falkowski. 1986. Ammonium excretion and glutamate dehydrogenase activity of Zooplankton in Great South Bay, New York. *J. Plankton Res.*, **8**: 489-503.
- Pang I.C., H.K. Rho and T.H. Kim. 1992. Seasonal variations of water mass distribution and their cause in the Yellow Sea, the East China Sea and the adjacent seas of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **25(2)**: 151-163.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. M., 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.
- Plat, T. and A.D. Jassby. 1976. The relationship between photosynthesis in natural assemblages of coastal marine phytoplankton. *J. Phycol.*, **12**: 421-30.
- Raymont J.E.G. 1980. Plankton and Productivity in the Oceans. 2nd Ed. volume I Phytoplankton. Pergamon Press. 489pp.
- Rizzo, W.M. 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries*, **13**: 219-216.
- Shannon C. and W. Wiener. 1963. The Mathematical Theory Communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 117 pp.
- Shim J.H. and Y.C. Park, 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southeastern sea of Korea, in early summer. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **19**: 68-81.
- Shim J.H., W.H. Lee and S.Y. Bak. 1985. Studies on the plankton in the Southwestern Waters of the East sea(Sea of Japan)(II)-Phytoplankton standing crop, nanofraction and primary production. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **20**: 13-24.
- Shim J.H. and Y.C. Park. 1986. Primary productivity measurement using Carbon-14 and nitrogen nutrient dynamics in southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 13-24.
- Shim J.H. and M.S. Jung. 1987. Development and succession of marine fouling organisms on artificial substrata. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 257-270.

- Shim J.H., H.G. Yeo and J.G. Park. 1992. Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea I. Biomass and productivity. *J. Oceanol. Soc. Korea*. **27**: 91-100.
- Sieburth J.McN. 1978. Sea Microbes. Oxford University Press, New York. 491pp.
- Solorzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanog.* **14**: 779-801.
- Sommer U. 1994. The impact of light intensity and daylength on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnol. and Oceanogr.* **39**: 1680-1688.
- Sorokin, Y.I., 1991. Biomass, metabolic rates and feeding of some common reef zoantharians and octocorals. *Aust. J. Mar. Fresh Res.* **42**: 729-741.
- Stevenson R.J. and C.G. Peterson. 1989. Variation in benthic diatom immigration with habitat characteristics and cell morphology. *J. Phyco.* **25**: 120-129.
- Suzuki H., T. Ioriya, T. Seki and Y. Aruga. 1987. Changes of algal community on the plastic plates used for rearing the abalone *Haliotis discus hannai*. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **53**: 2163-2167.
- Takami H., T. Kawamura and Y. Yamashita. 1997. Contribution of diatoms as food sources for post-larval abalone *Haliotis discus hannai* on a crustose coralline alga. *Molluscan Research* **18**: 143-151.
- Tanaka N., K. Had, M. Sgyama, A. Asakaa, T. Iikura and S. Kitamura. 1984. Seasonal occurrences of epiphytic micro-algae on the natural seaweeds and artificial seagrasses in Ago Bay. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish* **50**: 1665-1669.
- Vries, I. de, R.N.M. Duin, J.C.H. Peeters, F.J. Los, M. Bokhorst and R.W.P.M. Laane. 1998. Patterns and trends in nutrients and phytoplankton in Dutch coastal waters: comparison of time-series analysis, ecological model simulation, and mesocosm experiments. *ICES J. mar. Sci.*, **55**: 620-634.

# V. Appendix



Appendix I - 1. Monthly distribution of diatoms standing crops (cells ·  $\ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1987 to June 1989

(m)	1987												1988												1989											
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun												
100	18383	15024	6108	25385	28880	11703	8409	42747	56192	25794	148807	8649	15742	52253	82818	34903	158817	47816	65822	36109	30753	121875	48548	93179												
1100	38842	6404	57851	24638	18884	148534	41545	48257	56822	168135	1301965	80294	28030	168017	64475	38333	123530	85717	65189	31431	18477	216986	64800	1067860												
200	14026	13778	7813	281004	41084	75858	42727	30004	24865	248103	223287	7826	213179	60009	78725	61049	102718	43750	37618	34414	16465	93821	172312	61741												
2100	15888	30275	80130	273488	55543	65718	33940	41418	33177	186501	1812676	34487	111738	126600	35163	134682	54829	57241	37345	18241	164312	48548	1028886													
300	140857	3081	162822	538192	30357	280779	44887	38251	30077	132400	1808857	125108	108765	64066	75423	88370	178783	61975	54448	42842	28832	212483	348435	1133446												
3100	138836	4732	87200	138076		161623	4430	24005	2768	92124	1276013	58221	287822	44049	62589	30229	171930	47083	34485	42882	16425	91597	363635	215888												
400	104254	541	34729	16546		93976	186400	19152	32414	171833	2577155	68817	833836	38615	43180	25370	204427	53382	54000	25642	14151	234785	665334	141853												
4100	61748	210	46392	185012		128885	105403	20228	42717	94883	2138019	77023	567885	40482	52336	52020	248557	36500	41431	25565	37437	173172	463682	622172												
4300	24869	157	59129	131671		108532	149112	30218	34563	134630	1661156	38207	73687	52354	34689	22827	194458	62885	38308	24615	6440	229615	237730	704333												
4500	16818	145	52420	74662		106776	110021	23694	44882	518312	612000	23818	54134	62432	11337	25718	242001	67721	57023	35085	15041	190008	247685	130172												
500	54403	4182	33970	124571		148023	94304	16378	49244	161230	1148768	53882	111235	31334	43633	141116	257200	34884	24601	20416	16551	43556	224659	83861												
5100	94870	1747	69156	111932		124890	94804	37575	45324	126195	244625	44531	346311	84171	31351	18280	228314	37378	28219	21082	17024	56678	108631	520742												
51200	110075	748	61703	88453		118014	94288	4749	32755	157091	2018800	88105	178849	152233	32413	45862	310057	36503	84576	25447	43738	37223	324616	1257337												
5300	58534	653	34836	65452		80346	74020	37652	64879	121721	1607530	40785	101301	78285	38212	26723	272280	64633	30233	24572	4402	90074	347752	544433												
55200	16227	307	25619	45133		83858	41282	36523	33330	124436	647682	36141	117718	30683	18612	27922	182150	34441	47216	25062	37886	101314	180375	1133046												
5750	10304	222	30308	121731		85585	43684	24536	48670	143248	443227	72880	43448	19171	8756	43379	214280	90070	44185	44480	12423	88741	130453	178221												
600	152345	2248	53487	162014	31763	110171	61684	16114	34888	272284	844480	38073	75810	16105	44753	37348	284280	70284	53016	24120	30700	27582	76527	1191948												
6100	90286	1172	42721	219400	31820	107073	45660	21186	41321	240779	1550219	52667	74465	117116	40254	25531	310651	67380	79173	24252	20486	34063	97673	1000005												
61200	63821	270	62131	111308	38816	87134	40082	33948	58235	310882	2534951	28169	97518	228887	16008	22884	24024	94000	64721	24657	12632	54667	109666	1347733												
6300	15600	407	30222	136638	38313	94452	48385	50046	77894	328282	1907382	32251	108778	83630	24635	32343	348818	87646	67886	24042	21816	56169	114700	570627												
Inner av.	161141	65465	146738	357400	52483	145721	48349	38431	37740	144482	1847282	107234	230147	87131	40262	57433	157615	53637	58638	33071	21354	170184	434885	932315												
Outer av.	65552	1390	52453	125914	35703	163729	82830	30440	44820	210488	1570715	51385	251816	72137	33880	24301	288700	61041	45777	28285	21029	100423	242279	575915												
Maximum	345022	150224	454344	588182	138484	240779	186400	50446	7834	518312	2577155	164436	443846	248867	126500	84070	310657	93000	84576	44480	43738	247685	665334	1347733												
Minimum	10704	145	25619	65452	25742	65718	33940	16114	21214	92124	443227	28169	43448	16105	8756	14116	102718	36539	246014	20416	6440	27582	76527	84861												
Total av.	92883	20534	74088	193075	46071	122584	73371	52446	42797	200775	1661371	67344	245625	76421	50067	37330	215331	58882	52009	30224	21122	130712	201597	684855												

Appendix 1 -2. Monthly distribution of dinoflagellates standing crops (cells ·  $\ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.												
1(0)	16332	364	4280	7911	217	766	174	0	0	3221	5343	21397	4894	16654	603	5986	4098	199	0	0	0	304	369684	24584												
1(10)	2841	198	2137	4077	354	122	800	0	777	2246	3448	3348	4718	5180	664	7321	991	94	0	0	0	445	16615	10767												
2(0)	47379	507	4073	4173	169	80	0	0	228	5478	28615	515	3358	9941	310	7171	1651	0	0	0	119	505	13643	21004												
2(10)	7891	377	3798	5445	509	68	0	0	135	1838	13944	3214	8324	4451	450	6743	1877	291	0	0	0	750	715	10157												
3(0)	17921	3884	4304	3923	83	140	0	0	62	840	245000	9149	8455	9635	622	20257	4301	194	0	0	0	1513	327015	20854												
3(10)	15088	1652	3622	5892	62	521	0	0	0	2426	12867	173	21150	5614	1558	6597	2234	94	0	95	0	503	14754	36746												
4(0)	7313	4732	8533	6114		142	0	0	280	1462	6570	9855	2921	8131	1677	18566	301	216	0	0	0	1776	13551	4281												
4(10)	1649	541	8965	15239		240	0	0	137	692	1569	43891	3378	2266	1370	20836	136	624	0	0	0	488	43186	5114												
4(20)	9029	210	5257	11797		194	0	0	384	2802	2591	15815	16759	1900	980	6205	497	309	0	0	0	207	26543	1762												
4(30)	643	157	7428	6151		167	0	0	254	2069	1383	6535	806	328	1057	1821	642	153	0	126	0	667	4608	2361												
4(50)	364	0	2739	1733		0	0	0	54	2893	160	3727	394	258	0	261	603	239	0	0	0	514	5384	146												
5(0)	3761	4182	3948	14619		488	0	0	386	2417	1066	4691	1751	5731	1965	1845	800	331	0	0	0	691	735806	451												
5(10)	4432	1747	3152	7202		262	0	0	615	2442	279	22154	4275	2927	1661	2423	1834	813	0	0	176	550	27127	2060												
5(20)	9173	798	5083	5131		358	0	0	420	4364	67	4026	5008	1124	989	1485	1602	356	0	0	87	597	34912	428												
5(30)	1661	633	3001	4214		74	0	0	306	1831	146	4440	1241	1581	1410	469	1132	96	0	0	331	10204	148													
5(50)	281	307	1956	4584		0	0	0	296	2428	118	717	160	422	490	160	1050	153	0	0	0	588	8894	76												
5(75)	1236	222	415	946		0	0	0	161	2255	96	240	57	290	152	105	0	209	0	170	0	148	466	177												
6(0)	2304	2248	3930	5953		141	0	0	87	2885	2191	3866	10000	14153	2486	6894	1907	72	0	0	0	1114	65894	6339												
6(10)	2429	1172	2120	7245		156	0	0	100	3438	2030	11125	2453	3003	887	4227	590	93	0	0	0	232	14123	15395												
6(20)	1146	270	2874	8140		157	0	0	98	2654	2754	1843	916	1780	541	1718	630	102	0	0	222	9502	22031													
6(30)	518	470	1926	4200		152	0	0	90	3136	929	112	980	472	570	2377	91	93	0	0	562	1796	855													
Inner av.	17910	1180	3704	5237		283	42	0	200	2975	40885	6289	8483	8628	701	9013	2525	145	0	16	20	670	123738	20700												
Outer av.	3656	1175	3654	6985		169	0	0	250	2345	1464	8869	3533	2958	1082	4624	788	257	0	30	18	579	67782	4158												
Maximum	47379	4742	8965	15259		766	174	0	777	5478	235000	43891	21150	16654	2486	20836	4301	813	0	170	176	1776	735806	36746												
Minimum	264	0	415	946		0	0	0	0	692	67	112	57	290	0	105	0	0	0	0	0	148	466	76												
Total av.	7300	1177	3882	6414		81	201	12	236	2554	15288	8135	9947	4578	973	5878	1284	225	0	19	18	685	83770	8884												

Appendix I -3. Monthly distribution of phytoflagellate standing crops (cells · ℓ<sup>-1</sup>) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St (m)	1997												1998											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1(0)	10883	9473	54638	383444	84489	64380	62792	100325	162344	258928	125669	75828	313577	24117	23744	219214	694783	30916	46936	25489	48677	68883	143882	131113
1(10)	3283	4251	17100	23182	42519	38013	33000	84800	41610	280507	49473	100818	428381	23889	193425	228814	252741	33087	32226	23516	43625	65386	63384	125685
2(0)	10019	6216	23972	349181	79044	41218	31182	123486	128674	283020	92481	221121	88343	24438	244337	124658	340588	97551	30018	17084	27143	45786	51331	93790
2(10)	32805	3015	37336	180483	84035	28807	20890	133113	165271	207109	35493	250274	97117	46429	311289	220653	316680	65067	14320	14082	23341	62888	86527	140888
3(0)	21271	6339	44730	435380	32817	42835	15792	68527	130765	168880	55013	483010	57539	23833	327822	198604	375814	60418	40380	29401	37405	66541	175645	130336
3(10)	3886	6470	47730	241294	28850	31463	13088	67713	159444	315615	93622	187141	63180	19782	330033	300680	380308	95243	50368	19143	41953	103388	123045	90645
4(0)	13240	7159	102133	317486		40335	43877	65172	113043	238083	40878	29082	85900	44401	377006	128209	147549	58623	26117	39776	51581	88821	92601	77202
4(10)	5327	3351	72948	368941		16312	76061	105213	125222	331215	46021	520802	36557	33516	431830	154330	178078	78283	34325	41507	51815	35163	158248	85883
4(20)	9281	1363	70225	364163		51686	51707	85323	169137	354336	30461	370075	118859	78382	461406	635880	131762	75051	24254	28074	142177	39637	113586	81547
4(30)	4632	1417	112762	298244		25783	88650	121002	138844	501517	100370	146238	49770	1550883	250085	146134	164235	19833	18000	31432	17800	48513	77511	92482
4(50)	4755	1108	84755	138835		28746	48011	57863	133310	222825	48845	202824	52380	10084	98485	112885	175744	91674	25461	66671	57572	36575	75308	58718
5(0)	15343	8364	56142	389286		95830	38180	62877	197122	525750	31414	503826	44657	32004	680854	80738	185600	70166	21706	39730	38619	26587	308830	43283
5(10)	58854	8838	65194	448463		103868	50763	162714	1978635	342761	80372	1031800	98080	139355	1103374	109028	182228	74078	23858	32024	75416	54774	76749	68728
5(20)	13161	2794	60276	339434		83304	44038	192277	280941	504818	123248	341210	60084	308481	634794	178585	131737	58825	25463	50883	223882	21920	119303	78333
5(30)	28076	1719	53818	280126		42336	43847	280149	181582	420254	34165	168875	84306	111489	357582	130521	103417	75717	20801	54151	42562	44805	67642	38212
5(50)	7446	1741	41851	129248		28024	28887	197940	130037	258075	32300	477583	62608	28211	120245	98769	98323	46126	14044	35000	96418	35535	80128	62186
5(75)	21316	1986	45177	61235		24561	22312	152210	227547	138353	52238	313280	53785	10420	61752	71356	144653	192139	20859	65790	47732	23333	48373	124707
6(0)	10103	9116	50370	249829	37784	54838	36889	118232	157806	280488	80864	544253	61740	21474	886610	172255	138864	106251	23887	54373	95086	23194	60858	127865
6(10)	42571	11578	38610	274680	25760	55887	53319	116888	215886	446337	64158	703362	92105	55228	1512444	242201	208352	35780	195215	79050	124009	58819	63384	128154
6(20)	4872	2837	58019	219589	31388	46522	24833	196131	207353	460424	147086	262209	38831	147091	220082	245849	113721	116421	23845	42484	60031	52000	53451	112909
6(30)	11330	2580	25556	43741	47832	42000	18823	215882	191046	435976	58628	75231	52019	44659	261891	221865	121091	124645	21943	61193	83220	41494	49135	68776
Inner av.	13863	5061	38459	303537	58289	40563	29486	96691	183851	252337	75280	216382	178948	27088	274440	230759	303485	64864	34003	21605	37024	61275	107146	118736
Outer av.	16751	4377	62449	259891	35891	48309	45028	140171	288894	963704	63877	394107	68325	80177	500351	185435	148361	88559	22365	48149	81468	42151	97019	83174
Maximum	58854	11578	112762	448463	84489	103868	88650	280149	1978635	525750	147086	1051800	423834	308481	1512444	635800	694783	192139	50368	79050	223882	103388	308830	140888
Minimum	3283	1108	17100	43741	25760	16312	13088	57863	165271	136353	30461	75201	36557	10084	61752	71356	98323	30916	14320	14082	17800	21920	49135	38212
Total av.	15826	4844	56166	272362	49250	46322	46381	127748	282888	331886	67138	34329	97075	65226	435807	198885	218386	81789	26112	40585	68770	44401	98812	98864

Appendix 1-4. Monthly distribution of total standing crops of phytoplankton (cells ·  $\ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												Inner av.	Outer av.	Maximum	Minimum	Total av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.					
1(0)	163848	160425	120786	646113	112094	162820	147035	143272	222480	530005	1628508	183694	476883	48314	317165	264943	856707	78361	110219	616308	68430	191062	1000165	1088875					
1(10)	45079	79650	77367	496231	181504	232915	138657	467328	452069	1444885	184861	178672	197586	258585	272488	370073	87888	80165	58437	62102	282886	727961	1224362						
2(0)	204321	144462	113679	614358	120508	117354	78000	158552	160156	496601	2553983	300192	304881	99488	326162	192878	449387	141340	576386	515308	437288	138013	272786	786629					
2(10)	201006	34170	121654	461906	140427	92729	52820	174531	138807	389448	1862113	300513	468829	162638	413077	282559	453220	118888	71601	52327	41585	227760	452920	1188651					
3(0)	180049	136724	211901	1007465	63330	324105	65190	104778	160001	325620	2187031	588277	175759	98534	404847	300822	500860	122588	94059	72245	61228	283637	851085	1285186					
3(10)	364203	80664	508486	771936	52839	271198	53444	94619	180368	535887	2657751	354286	330570	85277	484420	468856	630068	161274	128169	47524	72385	316705	754833	982858					
4(0)	154379	178478	198633	462185	202889	90536	94177	137101	329369	1322361	238722	304733	102141	441282	167004	319839	100882	65462	82138	71006	183194	360787	257384						
4(10)	111220	69730	140040	546156	110028	262552	124625	138173	503740	2624744	634882	905771	74387	476679	304363	383641	132839	88326	67119	65866	270436	877088	232940						
4(20)	80037	14675	132524	522110	184775	157110	103906	212239	457300	2171072	462913	703504	120834	514782	694025	348016	111958	65685	53830	170614	211917	530172	706480						
4(30)	302234	8027	181238	400006	134960	28762	152016	173661	638276	1763119	191980	127343	307775	238830	171611	353394	162182	36308	56173	24760	390785	341849	793776						
4(50)	21886	4136	140280	231130	136552	159033	84468	170355	744031	601005	238456	100888	72774	104831	138864	404548	134634	83885	102256	72613	24760	390785	341849	793776					
5(0)	74567	184271	90430	538476	245651	137484	70055	248678	689417	2149249	550117	157613	68069	726472	99480	423600	107361	48307	60145	56170	70834	235007	328378	180835					
5(10)	157455	163708	139043	567617	228345	149030	200289	243574	471388	2526777	1134210	448617	213752	1138945	120730	413376	112269	107361	48307	60145	56170	70834	235007	328378					
5(20)	132466	31708	127418	427018	201818	136326	238026	314117	606273	2141615	438500	224821	461908	688106	225805	443906	97885	108839	76430	267806	30740	478832	1337008						
5(30)	88379	14744	115818	340301	32430	119866	203301	246867	543816	1641841	214294	188849	191316	398214	157719	378828	140416	50835	78723	51165	135210	347888	58793						
5(40)	23455	15464	69719	228965	109181	71238	27462	24463	384489	740101	514442	180485	56236	138347	128851	281521	160120	62211	60052	134283	137437	393008	175868						
5(75)	33955	17076	78455	188972	108256	63496	178737	271578	281857	455562	386300	97280	29732	70000	114840	358833	282419	65144	115940	60155	112222	180283	303105						
6(0)	136952	178822	108500	417286	60634	165646	98373	134346	197782	555547	948136	586238	148540	51732	912849	216486	43061	185307	76703	78494	125787	51800	211279	1252852					
6(10)	144429	182457	88813	501894	58500	163072	94465	140781	258806	704851	1618317	70351	840612	175347	1553545	322869	518303	127251	92380	108302	140044	97214	175412	1179454					
6(20)	69710	16483	126251	338510	198801	64945	230080	203086	764851	2088291	246221	138255	375738	300401	270452	334535	207123	86945	63112	81663	100880	172300	1462472						
6(30)	27308	12808	58519	181624	88005	136680	67308	234928	157808	767303	1944949	107654	161778	127770	267026	254535	131000	208484	84808	91182	103415	98225	165601	640287					
Inner av.	193952	105354	102311	666340	111782	190203	77857	132335	221715	455003	2022492	300306	412746	122836	345014	297291	533867	118533	95812	58888	240129	670778	1016142						
Outer av.	80650	80620	120651	312314	71949	150452	128008	170560	225248	567240	1632356	454508	320391	133572	535425	219477	387649	149007	72782	76451	102514	148658	870980	665246					
Maximum	364203	253381	508486	1007465	181504	324105	262552	249801	467328	767383	2886231	1134210	905771	461908	1553545	694025	856707	282419	128169	115940	267806	316705	1243736	1462372					
Minimum	21836	4136	58519	181624	52839	92729	52820	78000	137101	281857	455562	107654	97280	29732	70000	114840	358833	282419	65144	115940	60155	112222	180283	303105					
Total av.	114622	87472	140007	471036	63809	169881	113979	160584	224239	535208	1743815	419021	346712	146225	486903	241085	435311	140777	78121	70808	88010	171221	175279	787073					

Appendix I -5. Monthly variation of water temperature (°C) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.												
1(0)	25.26	24.14	24.27	21.30	19.97	17.69	15.17	14.76	15.43	18.53	19.84	21.55	25.87	26.85	25.83	20.93	19.67	18.51	16.36	14.99	15.69	16.55	17.73	20.68												
1(10)	24.96	23.72	24.28	21.35	20.06	17.69	15.04	14.49	15.34	18.22	19.40	18.86	25.07	26.01	25.81	20.82	19.86	18.38	16.36	14.92	15.60	16.31	17.27	19.66												
2(0)	27.14	23.97	23.94	20.80	19.64	17.28	15.01	14.44	15.83	18.00	19.51	20.37	26.10	26.90	25.67	21.00	19.14	17.85	16.08	14.60	15.59	16.79	17.99	19.57												
2(10)	24.36	23.06	23.78	20.84	19.65	17.15	14.98	14.42	15.59	17.80	18.36	19.54	24.05	26.00	25.67	20.92	19.38	17.83	15.86	14.40	15.57	16.26	17.40	19.53												
3(0)	26.43	23.12	24.01	20.84	19.99	17.54	14.58	14.88	15.77	18.25	19.92	20.98	27.08	26.79	25.77	20.74	19.53	18.04	16.26	14.67	15.66	16.85	18.48	19.90												
3(10)	25.67	21.64	23.54	20.85	20.03	17.41	14.60	14.88	15.72	18.21	19.89	20.16	25.96	26.34	25.77	20.64	19.69	17.38	16.26	14.55	15.67	16.70	17.57	19.91												
4(0)	25.18	23.54	24.31	21.73		17.94	15.74	15.06	15.56	18.18	20.00	21.83	26.22	26.61	25.30	21.39	20.15	18.82	16.48	15.16	15.71	16.49	17.59	21.52												
4(10)	23.40	21.46	24.32	21.74		17.94	15.69	15.02	15.57	17.54	18.97	20.24	22.68	25.07	25.30	20.76	20.11	18.51	16.48	15.16	15.67	16.07	17.38	20.65												
4(20)	21.64	20.41	24.37	21.69		17.84	15.70	15.00	15.57	17.12	17.99	19.23	19.70	24.03	25.39	20.59	19.99	18.49	16.49	15.13	15.64	15.94	17.35	18.48												
4(30)	18.02	19.44	24.36	21.42		17.74	15.60	14.98	15.56	17.03	17.58	18.49	16.31	21.29	22.00	20.44	19.97	18.45	16.50	15.11	15.63	15.91	17.27	18.09												
4(50)	15.36	18.06	23.44	20.22		17.52	15.50	14.91	15.56	16.73	16.48	16.48	15.81	17.56	17.13	17.08	19.91	18.41	16.49	15.04	15.57	15.86	16.84	17.76												
5(0)	25.91	24.10	24.27	21.26		17.99	15.80	14.87	15.83	17.81	20.10	21.88	26.30	26.96	24.86	21.44	20.22	18.81	16.44	15.01	15.77	16.54	17.73	20.49												
5(10)	24.05	23.03	24.29	21.28		17.99	15.81	14.85	15.70	17.46	18.20	19.92	23.50	25.75	25.59	21.42	20.30	18.76	16.46	15.01	15.76	16.03	17.56	19.21												
5(20)	21.88	21.28	24.40	21.30		17.87	15.81	14.84	15.65	17.04	17.57	19.39	21.70	22.52	25.53	20.76	20.33	18.66	16.46	15.01	15.75	15.99	17.30	18.41												
5(30)	19.61	20.80	24.39	21.33		17.85	15.81	14.84	15.64	16.98	17.05	17.70	16.44	19.90	23.08	20.42	20.15	18.66	16.46	15.01	15.74	15.92	17.22	17.82												
5(50)	15.82	16.78	24.41	20.58		17.79	15.79	14.77	15.64	16.97	16.60	16.57	16.08	17.40	16.24	18.60	20.09	18.61	16.44	15.00	15.71	15.91	17.12	17.39												
5(75)	15.23	15.51	19.94	19.08		17.77	15.60	14.77	15.62	16.89	16.18	15.68	15.71	15.52	16.09	16.48	19.62	18.22	16.45	14.99	15.71	15.86	16.00	16.55												
6(0)	26.25	23.58	23.59	21.39	20.44	18.18	15.79	14.87	15.66	17.98	20.55	20.98	26.68	27.28	24.82	21.42	20.33	18.84	16.47	15.09	15.81	16.99	17.94	19.73												
6(10)	24.81	22.56	24.31	21.40	20.43	18.19	15.80	14.87	15.63	17.83	19.73	19.97	24.69	25.59	25.54	21.45	20.35	18.40	16.50	15.09	15.82	16.08	16.25	19.32												
6(20)	22.04	20.97	24.27	21.45	20.42	18.15	15.80	14.87	15.60	17.78	19.08	18.91	20.90	22.81	26.02	21.35	20.35	18.37	16.45	15.09	15.81	16.00	16.90	18.88												
6(30)	18.09	19.55	24.21	21.62	20.39	18.04	15.78	14.87	15.60	17.77	18.71	17.84	17.11	19.54	25.91	20.46	20.17	18.37	16.44	15.09	15.81	16.75	17.76													
Inner av.	25.64	23.28	23.97	21.00	19.89	17.46	14.90	14.65	15.61	18.17	19.49	20.24	25.68	26.45	25.76	20.84	19.54	18.00	16.20	14.69	15.63	16.58	17.74	19.87												
Outer av.	21.15	20.74	23.93	21.17	20.30	17.92	15.73	14.89	15.63	17.41	18.32	19.01	20.86	22.52	23.25	20.27	20.14	18.56	16.47	15.06	15.73	16.10	17.21	18.80												
Maximum	27.14	24.14	24.41	21.74	20.44	18.19	15.81	15.06	15.83	18.53	20.55	21.88	27.08	27.28	26.02	21.45	20.35	18.84	16.50	15.16	15.82	16.99	18.48	21.52												
Minimum	15.23	15.51	19.94	19.08	19.20	17.15	14.58	14.42	15.34	16.73	16.18	15.68	15.71	15.52	16.09	16.48	19.14	17.38	15.86	14.40	15.57	15.86	16.00	16.55												
Total av.	22.43	21.46	23.94	21.12	20.18	17.79	15.50	14.82	15.62	17.62	18.65	19.36	22.09	23.64	23.97	20.43	19.97	18.40	16.39	14.96	15.70	16.24	17.36	19.11												

Appendix I -6. Monthly variation of salinity (‰) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1(0)	32.28	31.49	33.25	32.53	33.10	34.17	34.02	33.99	34.60	33.90	34.41	32.43	31.45	31.99	33.17	32.51	33.93	34.35	34.23	34.24	34.36	34.40	34.17	33.73
1(10)	32.09	31.68	33.44	33.30	34.00	34.21	34.06	34.21	34.60	34.48	34.04	33.14	31.68	32.00	33.21	32.91	33.85	34.43	34.51	34.47	34.50	34.45	34.30	33.83
2(0)	31.88	32.01	33.25	32.58	33.50	34.09	33.90	33.91	34.43	34.53	33.96	32.61	31.32	31.87	33.10	32.44	33.63	34.29	34.38	34.33	34.40	34.42	34.16	33.84
2(10)	32.20	32.09	33.31	33.17	33.87	34.16	34.08	34.15	34.58	34.49	34.34	33.02	31.95	31.97	33.32	32.81	33.39	34.33	34.41	34.41	34.41	34.45	34.25	33.82
3(0)	31.82	32.09	32.98	32.59	33.45	34.12	33.73	34.09	34.39	34.60	34.02	32.41	31.13	31.88	32.61	32.62	33.69	34.09	34.15	34.38	34.17	34.35	34.15	33.74
3(10)	31.77	32.27	33.25	33.09	33.94	34.13	33.90	34.23	34.62	34.46	34.26	32.78	31.37	31.91	33.03	32.57	33.66	34.16	34.23	34.34	34.24	34.42	34.21	33.72
4(0)	32.21	31.74	33.35	32.97	34.18	34.10	34.10	34.26	34.64	34.55	34.15	32.32	31.39	31.93	31.81	32.69	33.92	34.37	34.47	34.48	34.47	34.44	34.31	33.57
4(10)	32.30	32.20	33.45	33.19	34.21	34.11	34.28	34.66	34.46	34.01	32.68	32.29	32.14	32.92	32.87	33.99	34.44	34.51	34.50	34.54	34.46	34.30	33.40	
4(20)	32.52	32.48	33.52	33.20	34.24	34.09	34.27	34.66	34.45	34.19	33.00	33.07	32.45	33.43	32.92	33.97	34.47	34.54	34.50	34.53	34.47	34.29	34.00	
4(30)	33.49	32.66	33.53	33.32	34.26	34.08	34.27	34.65	34.46	34.20	33.22	33.93	33.05	33.25	32.91	33.96	34.48	34.54	34.49	34.52	34.46	34.31	34.05	
4(50)	34.20	33.06	33.58	33.75	34.39	34.10	34.26	34.65	34.46	34.35	33.94	34.04	33.80	33.82	33.96	33.97	34.47	34.54	34.49	34.51	34.47	34.33	34.09	
5(0)	32.11	31.62	33.04	33.18	34.18	34.09	34.10	34.67	34.52	34.08	31.88	31.24	31.84	32.03	32.82	33.81	34.34	34.37	34.47	34.47	34.46	34.29	33.76	
5(10)	32.15	31.86	33.35	33.19	34.18	34.11	34.24	34.67	34.35	34.15	32.85	32.01	32.07	33.25	32.92	33.43	34.43	34.52	34.47	34.52	34.46	34.24	33.81	
5(20)	32.60	32.25	33.47	33.21	34.23	34.11	34.24	34.66	34.47	34.22	32.87	32.01	32.76	33.43	32.84	34.01	34.43	34.54	34.46	34.46	34.46	34.30	33.93	
5(30)	33.19	32.39	33.51	33.22	34.23	34.10	34.23	34.66	34.45	34.27	33.54	33.90	33.32	33.38	32.83	33.99	34.43	34.54	34.46	34.46	34.46	34.31	34.09	
5(50)	34.06	33.44	33.56	33.69	34.26	34.10	34.23	34.66	34.46	34.32	33.91	33.98	33.85	33.80	33.41	33.99	34.44	34.54	34.47	34.51	34.46	34.31	34.15	
5(75)	34.17	33.68	33.79	33.98	34.27	34.10	34.23	34.66	34.47	34.38	34.20	34.08	34.15	33.89	34.18	33.95	34.49	34.54	34.47	34.51	34.46	34.38	34.23	
6(0)	31.92	31.95	32.53	33.09	33.75	34.11	34.10	33.98	34.63	34.53	34.17	32.40	31.15	31.68	32.42	32.82	33.79	34.05	34.38	34.45	34.53	34.48	34.23	33.91
6(10)	31.98	32.02	33.33	33.22	34.02	34.13	34.11	34.24	34.65	34.47	33.98	32.90	31.69	31.98	32.94	32.90	33.95	34.41	34.50	34.46	34.54	34.46	34.30	33.86
6(20)	32.55	32.30	33.34	33.23	34.01	34.15	34.11	34.25	34.65	34.47	34.04	33.18	32.76	32.60	33.39	32.85	33.98	34.43	34.51	34.46	34.54	34.44	34.33	33.95
6(30)	33.52	32.72	33.39	33.49	34.00	34.19	34.10	34.24	34.65	34.47	34.10	33.51	32.76	33.08	33.36	32.91	33.97	34.42	34.51	34.46	34.54	34.46	34.28	34.06
Inner av.	32.00	31.94	33.25	32.88	33.64	34.15	33.95	34.10	34.54	34.41	34.17	32.73	31.48	31.94	33.07	32.64	33.69	34.28	34.32	34.36	34.35	34.41	34.20	33.78
Outer av.	32.86	32.42	33.38	33.33	34.04	34.21	34.10	34.22	34.65	34.47	34.17	33.09	32.75	32.71	33.14	33.06	33.95	34.41	34.50	34.47	34.52	34.46	34.30	33.93
Maximum	34.20	33.68	33.79	33.98	34.30	34.39	34.11	34.28	34.67	34.60	34.41	34.20	34.08	34.15	33.89	34.18	34.01	34.49	34.54	34.50	34.54	34.48	34.38	34.23
Minimum	31.77	31.49	32.53	32.53	33.10	34.09	33.73	33.91	34.39	33.90	33.96	31.88	31.13	31.68	31.81	32.44	33.39	34.05	34.15	34.24	34.17	34.35	34.15	33.40
Total av.	32.62	32.29	33.34	33.20	33.93	34.19	34.06	34.19	34.62	34.45	34.17	32.99	32.39	32.49	33.12	32.94	33.87	34.37	34.45	34.44	34.47	34.45	34.27	33.88

Appendix I -7. Monthly variation of ammonia-nitrogen ( $\mu\text{M}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.													
1(0)	2.73	0.00	0.46	1.12	0.00	1.14	0.07	0.26	1.28	0.59	0.33	2.61	0.51	0.75	0.17	0.33	0.69	0.34	1.52	0.09	0.73	0.09	0.84	0.37	0.68												
1(10)	2.40	1.66	2.61	0.37	1.64	1.28	0.07	0.47	3.07	0.81	0.17	3.10	0.29	0.20	0.34	0.39	0.30	0.22	1.79	0.05	0.68	0.12	1.26	0.42	0.99												
2(0)	5.20	0.00	0.42	0.00	3.28	0.61	0.22	0.13	0.36	0.81	0.78	1.79	0.37	0.75	0.57	0.11	0.23	0.37	1.36	0.14	0.59	0.06	1.23	0.42	0.82												
2(10)	9.31	5.06	0.50	0.37	15.57	1.08	0.14	0.17	0.11	1.26	0.78	2.83	1.76	0.45	0.75	0.28	0.48	0.50	1.74	0.05	0.64	0.03	1.44	0.23	1.90												
3(0)	3.64	2.02	0.92	0.45	2.46	0.20	0.43	0.13	0.19	0.52	0.33	2.28	0.22	0.95	0.17	0.06	0.18	0.44	1.36	0.05	0.77	0.18	1.08	0.05	0.79												
3(10)	5.16	1.01	0.15	0.52	0.00	1.01	0.00	0.00	0.41	0.76	0.33	2.39	0.07	0.80	0.40	0.28	0.34	0.34	1.68	0.14	0.73	0.15	1.08	0.14	0.74												
4(0)	1.96	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.26	1.15	0.44	0.45	2.07	0.66	0.25	0.63	0.06	0.41	0.25	0.92	0.14	0.41	0.24	1.17	0.37	0.60												
4(10)	2.76	2.75	1.07	0.37	1.14	0.22	0.17	1.09	0.52	0.17	2.72	1.02	0.40	0.40	0.46	0.17	0.41	0.31	1.79	0.09	0.54	0.54	1.38	0.42	0.89												
4(20)	3.24	1.66	0.00	0.07	0.07	0.36	0.17	0.85	0.59	0.17	2.01	1.02	0.90	0.40	0.56	0.55	0.65	1.58	0.23	0.45	0.75	1.41	0.37	0.79													
4(30)	6.07	1.01	0.00	0.00	0.88	0.14	0.47	1.22	0.52	0.17	2.39	0.95	0.30	1.15	0.45	1.12	0.62	1.25	0.36	0.73	0.30	0.69	0.42	0.92													
4(50)	3.02	2.60	0.50	0.00	0.07	1.74	0.13	1.07	1.26	1.39	1.85	1.68	0.55	1.49	0.22	0.87	0.78	1.58	0.32	0.32	1.41	0.81	0.28	1.04													
5(0)	3.53	1.23	0.00	0.22	0.40	0.43	0.17	1.32	0.89	0.17	2.61	0.15	0.35	0.17	0.22	0.23	0.31	1.14	0.27	0.41	0.09	1.26	0.19	0.69													
5(10)	4.15	2.31	0.15	0.00	0.27	0.94	0.00	0.83	1.55	0.11	1.90	0.22	0.25	0.29	0.33	0.30	0.37	1.25	0.23	0.14	0.93	1.17	0.37	0.79													
5(20)	3.46	1.95	0.00	0.22	1.55	0.14	0.43	0.62	1.03	0.11	2.17	0.29	0.15	1.09	0.28	0.40	0.59	0.92	0.32	0.68	0.90	1.14	0.33	0.82													
5(30)	2.47	0.94	0.65	0.30	0.54	0.29	0.34	0.43	1.40	0.33	1.74	0.59	0.75	1.49	0.33	0.28	0.57	2.01	0.68	1.45	0.57	1.14	1.17	0.89													
5(50)	1.71	1.08	0.00	0.45	1.35	0.14	0.43	0.47	1.11	0.50	1.96	0.51	0.55	1.49	1.51	0.41	0.84	1.68	0.41	1.54	1.23	0.90	0.61	0.91													
5(75)	3.46	1.74	0.35	0.00	0.74	0.22	0.13	1.86	0.89	0.61	2.07	0.95	0.60	3.67	1.28	0.18	0.59	2.06	0.59	0.50	0.54	1.11	0.75	1.08													
6(0)	6.18	0.87	0.00	0.07	1.64	1.14	0.43	0.13	0.66	0.96	0.11	2.01	0.15	0.70	0.23	0.33	0.23	0.28	1.85	0.05	1.50	4.65	1.26	1.91	1.14												
6(10)	6.36	3.04	0.31	0.07	0.00	0.40	0.51	0.04	2.26	1.26	1.61	1.90	1.02	0.60	0.40	0.39	0.35	0.50	1.20	0.27	1.27	1.26	1.20	2.84	1.21												
6(20)	5.20	0.87	0.35	0.00	3.28	1.28	0.43	0.13	1.98	1.18	0.67	2.34	0.22	0.60	0.57	0.78	0.60	0.69	2.06	0.23	1.18	4.47	0.84	1.63	1.32												
6(30)	1.78	1.59	0.31	1.12	0.00	0.94	0.14	0.26	2.03	1.63	0.50	2.12	0.81	0.90	1.95	1.84	0.98	0.34	1.68	0.07	0.68	1.05	0.93	1.54	1.05												
Inner av.	4.74	1.63	0.84	0.47	3.83	0.89	0.16	0.19	0.90	0.79	0.45	2.50	0.54	0.65	0.40	0.24	0.27	0.37	1.58	0.08	0.69	0.10	1.15	0.27	0.99												
Outer av.	3.69	1.68	0.25	0.19	1.23	0.72	0.43	0.22	1.19	1.02	0.47	2.12	0.68	0.52	1.03	0.58	0.49	0.51	1.53	0.28	0.79	1.26	1.09	0.88	0.95												
Maximum	9.31	5.06	2.61	1.12	15.57	1.55	1.74	0.47	3.07	1.63	1.61	3.10	1.76	0.95	3.67	1.84	1.12	0.84	2.06	0.68	1.54	4.65	1.44	2.84	2.93												
Minimum	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.44	0.11	1.74	0.07	0.15	0.17	0.06	0.09	0.22	0.92	0.05	0.14	0.03	0.69	0.05	0.28												
Total av.	3.99	1.67	0.42	0.27	2.79	0.77	0.35	0.21	1.11	0.95	0.47	2.23	0.64	0.56	0.85	0.49	0.43	0.47	1.54	0.23	0.76	0.93	1.11	0.71	1.00												

Appendix I - 8. Monthly variation of nitrite-nitrogen ( $\mu\text{M}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	
1(0)	0.08	0.05	0.02	0.16	0.51	0.40	0.34	0.17	4.47	0.02	0.08	0.80	0.06	0.06	0.37	0.51	0.17	0.44	0.46	0.12	0.33	0.58	0.43	0.10	0.45
1(10)	0.12	0.10	0.04	0.13	0.51	0.37	0.39	0.27	7.02	0.07	0.06	0.46	0.09	0.06	0.35	0.67	0.17	0.44	0.55	0.07	0.73	0.54	0.27	0.12	0.57
2(0)	0.08	0.05	0.02	0.13	0.51	0.40	0.34	0.29	7.66	0.08	0.10	0.28	0.09	0.02	0.43	0.35	0.17	0.42	0.50	0.04	0.37	0.46	0.38	0.12	0.55
2(10)	0.18	0.22	0.09	0.20	0.64	0.32	0.42	0.20	5.11	0.08	0.10	0.27	0.06	0.29	0.12	0.76	0.19	0.48	0.57	0.04	0.33	0.35	0.11	0.05	0.47
3(0)	0.08	0.14	0.00	0.03	0.50	0.40	6.84	0.20	5.11	0.03	0.16	0.11	0.02	0.04	0.00	0.32	0.13	0.48	0.52	0.03	0.31	0.50	0.31	0.41	0.69
3(10)	0.14	0.19	0.02	0.10	0.53	0.37	11.47	0.27	7.01	0.03	0.04	0.11	0.04	0.19	0.04	0.41	0.15	0.40	0.64	0.04	0.39	0.48	0.31	0.00	0.97
4(0)	0.08	0.05	0.00	0.30	0.47	0.39	0.29	7.66	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.41	0.70	0.21	0.44	0.36	0.03	0.44	0.58	0.16	0.24	0.57
4(10)	0.06	0.14	0.00	0.26	0.42	0.16	0.27	7.02	0.03	0.02	0.07	0.19	0.15	0.15	0.14	0.41	0.21	0.44	0.43	0.11	0.39	0.63	0.52	0.98	0.57
4(20)	0.08	0.29	0.00	0.20	0.37	0.16	0.22	5.75	0.13	0.12	0.30	0.22	0.13	0.31	0.92	0.27	0.42	0.50	0.03	0.39	0.54	0.25	0.12	0.51	
4(30)	0.45	0.31	0.02	0.36	0.40	0.13	0.24	6.38	0.08	0.16	0.25	0.19	0.23	0.10	0.48	0.25	0.51	0.46	0.05	0.44	0.67	0.54	0.19	0.56	
4(50)	0.27	0.31	0.04	0.33	0.25	0.26	0.24	6.38	0.10	0.24	0.35	0.22	0.48	0.14	0.48	0.23	0.40	0.41	0.10	0.39	0.67	0.04	0.24	0.55	
5(0)	0.08	0.02	0.00	0.03	0.45	0.18	0.22	5.75	0.05	0.02	0.02	0.13	0.33	0.35	0.51	0.32	0.44	0.41	0.04	0.41	0.48	0.22	0.77	0.49	
5(10)	0.12	0.14	0.02	0.07	0.45	0.29	0.29	7.66	0.08	0.04	0.05	0.02	0.06	0.41	0.57	0.21	0.48	0.39	0.04	0.41	0.60	0.27	0.17	0.56	
5(20)	0.10	0.24	0.04	0.10	0.42	0.24	0.27	7.02	0.03	0.12	0.27	0.06	0.10	0.04	1.05	0.19	0.46	0.43	0.09	0.44	0.63	0.18	0.19	0.55	
5(30)	0.25	0.31	0.02	0.16	0.42	0.21	0.24	6.38	0.07	0.16	0.32	0.19	0.23	0.33	0.44	0.19	0.51	0.62	0.04	0.52	0.63	0.34	0.10	0.55	
5(50)	0.19	0.14	0.02	0.36	0.40	0.16	0.22	5.75	0.12	0.16	0.28	0.19	0.44	0.08	0.44	0.17	0.44	0.55	0.04	0.46	0.69	0.22	0.24	0.51	
5(75)	0.23	0.17	0.11	0.33	0.37	0.21	0.29	7.66	0.07	0.22	0.16	0.13	0.21	0.14	0.29	0.29	0.29	0.29	0.02	0.03	0.37	0.79	0.67	0.10	0.60
6(0)	0.10	0.05	0.00	0.16	0.71	0.50	0.21	2.77	7.02	0.02	0.02	0.05	0.09	0.02	0.14	0.35	0.21	0.42	0.39	0.04	0.48	0.35	0.56	0.10	0.51
6(10)	0.12	0.17	0.00	0.16	0.55	0.50	0.18	0.37	9.58	0.12	0.04	0.11	0.02	0.08	0.31	0.70	0.23	0.40	0.52	0.07	0.52	0.50	0.18	0.10	0.65
6(20)	0.16	0.27	0.02	0.40	0.55	0.47	0.21	2.77	7.02	0.05	0.06	0.11	0.19	0.23	0.10	0.38	0.21	0.46	0.75	0.11	0.48	0.63	0.34	0.10	0.57
6(30)	0.33	0.31	0.07	0.49	0.51	0.47	0.24	2.29	7.66	0.07	0.04	0.32	0.28	0.40	0.33	0.57	0.40	0.44	0.48	0.05	0.44	0.71	0.18	0.07	0.63
Inner av.	0.11	0.13	0.03	0.13	0.53	0.38	3.30	0.23	6.06	0.05	0.09	0.34	0.06	0.11	0.22	0.50	0.16	0.45	0.54	0.06	0.41	0.49	0.30	0.13	0.62
Outer av.	0.17	0.19	0.02	0.25	0.58	0.42	0.22	0.27	6.98	0.07	0.10	0.18	0.14	0.21	0.22	0.55	0.24	0.44	0.49	0.06	0.44	0.61	0.31	0.25	0.56
Maximum	0.45	0.31	0.11	0.49	0.71	0.50	11.47	0.37	9.58	0.13	0.24	0.80	0.28	0.48	0.43	1.05	0.40	0.51	0.75	0.12	0.73	0.79	0.67	0.98	1.35
Minimum	0.06	0.02	0.00	0.03	0.50	0.25	0.13	0.17	4.47	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.29	0.13	0.29	0.36	0.06	0.31	0.35	0.04	0.00	0.45
Total av.	0.16	0.17	0.03	0.21	0.55	0.41	1.10	0.26	6.72	0.06	0.09	0.23	0.12	0.18	0.22	0.54	0.22	0.44	0.50	0.06	0.43	0.57	0.31	0.21	0.57

Appendix I -9. Monthly variation of nitrate-nitrogen (µM) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	av.											
1(0)	7.76	1.45	0.83	1.78	3.87	2.72	67.7	4.20	20.69	3.24	1.59	29.45	2.49	0.44	1.11	0.75	1.41	0.32	8.23	3.29	5.05	2.92	3.40	1.20	7.33											
1(10)	2.40	4.15	0.93	1.92	2.49	3.02	10.36	5.67	15.05	0.86	0.45	6.80	2.14	1.76	1.99	0.94	1.69	0.64	12.93	2.19	7.34	0.97	2.04	0.60	3.72											
2(0)	3.28	3.73	2.48	8.79	5.11	8.16	28.67	6.72	35.71	2.59	2.72	9.06	2.78	0.44	1.99	0.56	1.12	0.64	14.10	1.10	5.50	1.46	2.04	1.20	6.25											
2(10)	19.61	6.43	4.34	8.65	6.77	11.03	17.2	7.56	10.88	2.81	0.91	5.23	2.85	4.40	1.99	1.13	1.41	2.25	14.69	1.65	7.34	1.46	3.40	0.90	6.04											
3(0)	2.64	5.60	1.65	2.88	2.91	5.29	6.84	5.46	9.35	3.03	1.59	3.78	1.07	3.96	0.89	0.56	1.69	0.64	11.75	1.10	10.55	0.76	3.40	1.50	3.70											
3(10)	2.00	0.01	3.51	1.99	1.12	6.04	11.47	2.94	4.60	2.59	0.23	3.02	1.78	0.88	1.33	0.75	1.97	0.32	17.04	0.55	9.17	1.51	3.40	2.11	3.35											
4(0)	0.96	3.94	0.41	0.41		5.74	3.97	5.67	2.76	3.36	1.13	0.76	2.49	0.44	1.99	0.94	0.58	0.64	15.86	1.10	12.38	1.51	0.68	0.60	2.97											
4(10)	1.60	4.56	0.72	1.65		3.78	4.41	3.99	1.99	1.35	1.13	0.76	1.78	0.88	1.55	1.50	0.28	0.64	17.04	2.74	8.26	1.51	0.68	1.81	2.81											
4(20)	1.12	4.77	0.41	1.51		4.23	5.29	6.30	2.45	0.90	1.14	3.02	3.21	2.20	0.89	1.50	3.65	0.96	17.04	1.65	4.02	0.76	0.68	0.60	2.97											
4(30)	2.72	11.4	0.72	2.47		3.62	3.31	6.09	2.61	0.67	2.00	3.02	4.27	2.20	1.33	2.81	4.50	0.32	1.76	7.68	3.65	2.27	2.04	0.60	3.13											
4(50)	5.92	6.84	1.34	5.08		4.53	4.41	3.15	2.30	1.35	5.71	4.53	4.63	8.37	4.21	2.44	2.53	3.86	8.81	8.77	4.02	3.78	4.08	1.20	4.43											
5(0)	1.12	0.69	0.52	0.89		2.42	4.46	6.30	1.84	0.67	0.57	4.39	1.07	0.88	0.80	0.75	0.84	1.29	14.10	3.29	5.85	3.02	0.68	0.60	2.48											
5(10)	1.20	4.82	0.41	0.71		6.8	2.65	2.94	1.69	1.24	0.29	2.92	1.78	1.44	0.80	0.75	0.28	1.93	10.58	3.84	5.12	3.78	0.68	0.60	2.49											
5(20)	0.40	5.74	2.06	0.89		7.85	6.14	2.10	1.99	2.02	0.29	6.05	0.71	1.15	2.14	3.57	1.41	3.21	4.70	4.94	6.21	4.53	5.56	0.90	3.24											
5(30)	1.20	8.49	0.52	0.71		8.00	5.36	5.25	3.22	1.09	3.43	8.47	2.14	3.75	5.89	4.32	1.41	2.89	8.23	3.29	5.48	0.76	3.71	0.90	3.85											
5(50)	3.92	11.93	0.62	4.64		8.31	5.25	2.52	1.84	1.09	3.43	6.05	2.14	7.21	10.17	3.94	1.69	3.86	10.58	13.71	5.85	4.53	8.65	1.81	5.38											
5(75)	5.44	9.64	1.45	9.46		9.36	6.36	2.31	1.23	1.55	4.57	4.84	2.49	8.08	21.40	3.38	4.78	4.50	9.99	1.10	4.38	6.04	9.27	8.33	6.08											
6(0)	1.36	3.44	0.52	2.14	2.46	6.65	6.36	2.73	1.53	0.93	0.57	5.85	0.71	0.29	1.34	0.56	1.41	1.61	8.23	2.19	4.75	0.76	3.09	1.49	2.54											
6(10)	0.40	4.13	0.21	1.43	1.57	6.80	7.37	2.52	1.53	1.55	0.57	1.46	1.78	0.58	1.61	1.31	1.97	2.25	4.11	2.74	4.38	0.76	7.42	0.89	2.47											
6(20)	0.72	9.18	0.31	1.61	3.13	7.70	6.47	2.31	0.92	0.62	0.29	7.31	2.14	1.44	4.01	3.00	5.06	2.89	4.70	1.65	4.02	2.27	6.18	2.38	3.35											
6(30)	22.89	8.95	0.21	2.50	2.69	5.44	4.91	2.52	2.91	0.31	0.57	5.85	2.49	1.44	14.71	4.50	1.41	3.86	2.94	6.58	3.29	5.29	15.45	3.27	5.21											
Inner av.	6.28	3.56	2.29	4.34	3.71	6.04	23.71	5.43	16.04	2.52	1.25	9.57	2.18	1.98	1.55	0.78	1.55	0.80	13.12	1.65	7.49	1.51	2.94	1.25	5.06											
Outer av.	3.40	6.57	0.70	2.41	2.46	6.08	5.11	3.78	2.05	1.25	1.71	4.85	2.26	2.69	4.86	2.35	2.12	2.31	9.24	4.85	5.44	2.77	4.59	1.73	3.52											
Maximum	22.89	11.93	4.34	9.46	6.77	11.03	67.70	7.56	35.71	3.36	5.71	29.45	4.63	8.37	21.40	4.50	5.06	4.50	17.04	13.71	12.38	6.04	15.45	8.33	14.06											
Minimum	0.40	0.01	0.21	0.41	1.12	2.42	2.65	2.10	0.92	0.31	0.23	0.76	0.71	0.29	0.80	0.56	0.28	0.32	1.76	0.55	3.29	0.76	0.68	0.60	0.92											
Total av.	4.22	5.71	1.15	2.96	3.21	6.07	10.43	4.25	6.05	1.61	1.58	5.84	2.24	2.49	3.91	1.90	1.96	1.88	10.35	3.58	6.03	2.41	4.12	1.60	3.98											

Appendix 1 - 10. Monthly variation of phosphate-phosphorous ( $\mu\text{M}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	av.											
1(0)	0.04	0.15	0.11	0.31	0.18	0.39	0.04	0.31	0.37	0.14	0.20	0.46	0.11	0.05	0.34	0.31	0.16	0.66	1.57	1.01	0.13	0.43	0.37	0.05	0.33											
1(10)	0.04	0.19	0.08	0.40	0.20	0.37	0.19	0.38	0.40	0.11	0.10	0.37	0.16	0.11	0.55	0.31	0.11	0.86	1.31	0.75	0.30	0.43	0.12	0.11	0.33											
2(0)	0.02	0.08	0.10	0.26	0.18	0.45	0.15	0.25	0.34	0.17	0.20	0.41	0.11	0.05	0.04	0.31	0.16	1.02	0.78	0.69	0.21	0.38	0.25	0.05	0.28											
2(10)	0.06	0.25	0.15	0.31	0.34	0.53	0.00	0.09	0.37	0.06	1.25	0.46	0.27	0.16	0.04	0.42	0.05	2.75	1.05	0.16	0.04	0.43	0.25	0.16	0.40											
3(0)	0.04	0.21	0.02	0.22	0.11	0.45	0.50	0.41	0.40	0.14	0.15	0.23	0.43	0.11	0.21	0.26	0.26	1.08	0.78	0.64	0.17	0.43	0.25	0.05	0.32											
3(10)	0.14	0.19	0.02	0.13	0.14	0.81	0.57	0.44	0.42	0.22	0.30	0.27	0.21	0.16	0.13	0.26	0.32	0.66	0.78	0.69	0.25	0.46	0.25	0.11	0.33											
4(0)	0.08	0.08	0.02	0.35		0.45	0.88	0.09	0.40	0.22	0.15	0.27	0.43	0.05	0.34	0.26	0.26	0.89	1.05	0.37	0.13	0.41	0.06	0.11	0.33											
4(10)	0.08	0.15	0.02	0.48		0.53	0.84	0.19	0.42	0.20	0.20	0.27	0.70	0.22	0.21	0.58	0.16	0.95	0.78	0.53	0.04	0.43	0.31	0.16	0.38											
4(20)	0.14	0.38	0.00	0.53		0.53	0.73	0.31	0.40	0.25	0.40	0.37	0.48	0.11	0.68	1.05	0.05	1.62	0.26	0.16	0.04	0.38	0.19	0.16	0.41											
4(30)	0.18	0.42	0.08	0.62		0.67	0.77	0.38	0.42	0.25	0.40	0.41	0.64	0.16	0.13	1.20	0.11	0.94	1.05	0.48	0.34	0.38	0.19	0.05	0.46											
4(50)	0.52	0.55	0.11	0.93		0.75	1.07	0.16	0.37	0.25	1.10	0.78	0.80	0.33	0.47	0.52	0.16	4.61	0.52	0.48	0.25	0.43	0.12	0.05	0.68											
5(0)	0.12	0.17	0.02	0.31		0.47	0.84	0.38	0.40	0.17	0.20	0.37	0.43	0.16	0.09	0.16	0.05	1.60	0.26	0.64	0.25	0.43	0.12	0.05	0.34											
5(10)	0.10	0.19	0.17	0.53		0.51	1.30	0.09	0.40	0.20	0.60	0.27	0.43	0.11	0.21	0.37	0.11	2.30	0.52	0.59	0.21	0.38	0.25	0.11	0.43											
5(20)	0.08	0.32	0.11	0.57		0.53	0.92	0.38	0.37	0.17	0.25	0.50	0.54	0.22	0.17	0.47	0.11	3.81	0.78	0.00	0.38	0.41	0.19	0.21	0.50											
5(30)	0.08	0.76	0.06	0.53		0.63	0.88	0.03	0.37	0.33	0.60	0.55	0.80	0.27	0.68	0.42	0.11	3.47	0.78	0.43	0.17	0.35	0.19	0.11	0.55											
5(50)	0.42	0.83	0.06	1.23		0.57	0.80	0.28	0.40	0.25	0.60	1.01	0.75	0.49	0.60	0.94	0.47	4.70	0.26	0.59	0.17	0.41	0.44	0.21	0.72											
5(75)	0.56	1.00	0.08	1.76		0.61	1.03	0.28	0.42	0.22	0.75	0.73	0.80	0.60	1.07	1.62	0.74	5.09	0.52	0.53	0.21	0.41	0.25	0.27	0.85											
6(0)	0.12	0.28	0.06	0.35		0.37	0.88	0.31	0.37	0.20	0.40	0.18	0.48	0.05	0.17	0.10	0.05	1.89	1.31	0.53	0.30	0.38	0.37	0.05	0.39											
6(10)	0.08	0.23	0.04	0.62		0.27	0.33	0.96	0.13	0.40	0.25	0.30	0.32	0.43	0.11	0.09	0.47	0.05	2.75	0.26	0.11	0.25	0.35	0.37	0.16	0.39										
6(20)	0.16	0.42	0.06	1.28		0.16	0.53	0.92	0.34	0.40	0.17	0.05	0.32	0.91	0.11	0.30	0.52	0.05	3.58	0.78	0.43	0.08	0.38	0.31	0.11	0.52										
6(30)	0.22	0.47	0.04	0.84		0.20	0.84	1.11	0.22	0.40	0.33	0.05	0.55	0.86	0.33	1.24	0.52	0.05	4.20	1.05	0.59	0.25	0.49	0.31	0.05	0.63										
Inner av.	0.06	0.18	0.08	0.27	0.19	0.50	0.24	0.31	0.38	0.14	0.37	0.37	0.21	0.11	0.22	0.31	0.18	1.17	1.05	0.66	0.18	0.43	0.25	0.09	0.33											
Outer av.	0.20	0.42	0.06	0.73	0.51	0.55	0.93	0.24	0.40	0.23	0.40	0.46	0.63	0.22	0.43	0.61	0.17	2.83	0.68	0.43	0.21	0.40	0.25	0.13	0.50											
Maximum	0.56	1.00	0.17	1.76	0.88	0.84	1.30	0.44	0.42	0.33	1.25	1.01	0.91	0.60	1.24	1.62	0.74	5.09	1.57	1.01	0.38	0.49	0.44	0.27	1.01											
Minimum	0.02	0.08	0.00	0.13	0.11	0.33	0.00	0.03	0.34	0.06	0.05	0.18	0.11	0.05	0.04	0.10	0.05	0.66	0.26	0.00	0.04	0.35	0.06	0.05	0.13											
Total av.	0.16	0.35	0.07	0.60	0.42	0.54	0.73	0.26	0.39	0.20	0.39	0.43	0.51	0.19	0.37	0.53	0.17	2.36	0.78	0.50	0.20	0.41	0.25	0.11	0.46											

Appendix I - 11. Monthly variation of silicate-silicon ( $\mu\text{M}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St. (m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	av.											
1(0)	6.14	0.14	4.95	3.46	12.83	11.55	13.59	7.04	5.90	3.18	0.75	19.88	2.97	13.03	2.53	1.00	0.68	1.23	7.43	1.78	6.56	10.04	16.89	5.69	6.64											
1(10)	5.63	0.19	5.16	3.71	12.07	6.28	7.95	8.09	4.32	32.55	7.22	7.86	3.37	14.65	3.05	8.53	1.54	6.71	8.83	4.85	5.18	16.14	8.08	1.72	7.65											
2(0)	6.94	0.18	4.04	1.11	9.68	10.49	8.63	8.09	7.76	14.86	3.07	11.74	7.65	20.50	3.05	1.52	2.51	9.90	7.62	1.58	9.10	9.07	7.99	5.42	7.19											
2(10)	6.83	0.20	3.54	1.18	12.18	9.95	9.15	9.14	4.59	42.18	5.79	9.87	2.01	15.01	3.05	8.68	3.40	7.86	7.67	2.82	8.33	9.01	6.99	20.15	8.74											
3(0)	6.32	0.18	6.67	3.20	7.83	10.01	11.20	9.38	6.01	11.85	1.19	10.74	3.78	15.43	3.24	2.42	0.56	6.96	17.22	7.77	11.64	8.22	13.26	3.25	7.43											
3(10)	8.02	0.21	10.41	0.99	9.46	10.66	10.43	8.01	4.86	9.73	2.13	6.40	3.42	13.74	2.53	3.89	1.39	6.22	11.62	8.26	10.31	5.99	13.26	2.35	6.85											
4(0)	6.37	0.18	9.81	1.11		10.37	8.29	8.90	4.37	6.28	4.50	6.49	1.11	10.00	5.07	1.28	1.63	3.68	3.14	1.34	7.33	6.59	1.82	3.98	4.87											
4(10)	6.66	0.19	5.36	0.31		9.77	9.23	7.36	4.54	4.69	0.11	10.19	4.03	17.54	3.29	1.14	7.27	4.58	5.02	0.49	11.47	5.56	11.99	2.98	5.80											
4(20)	6.43	0.22	5.66	3.09		12.03	12.82	7.44	3.66	5.22	1.01	6.08	1.81	22.12	2.82	17.59	1.30	6.14	12.40	6.83	9.04	7.62	7.81	2.71	7.03											
4(30)	8.82	0.23	8.49	2.24		12.74	9.49	7.77	4.59	4.60	0.53	9.60	1.76	15.64	6.57	9.77	1.51	9.57	2.85	1.58	11.30	8.59	4.72	2.44	6.31											
4(50)	13.31	0.25	6.47	6.25		13.21	10.26	8.74	4.10	5.04	0.15	10.83	8.21	22.61	12.58	19.01	2.78	7.20	5.50	8.56	9.43	8.40	3.45	12.02	8.56											
5(0)	6.66	0.15	16.17	2.03		10.25	10.00	14.32	4.75	5.22	6.50	5.03	1.36	12.54	4.55	1.75	1.71	3.85	3.28	1.53	8.82	7.98	1.91	3.61	5.86											
5(10)	6.83	0.20	9.70	2.71		10.78	10.51	7.36	4.04	1.86	2.13	8.13	5.79	13.38	3.76	6.35	0.50	3.27	7.43	3.96	9.15	9.43	3.09	5.42	5.94											
5(20)	6.43	0.22	5.66	3.09		12.03	12.82	7.44	3.66	5.22	1.01	6.08	5.49	15.01	3.71	5.26	0.56	7.69	16.59	4.06	6.89	7.20	3.18	6.05	6.34											
5(30)	8.42	0.23	5.16	2.54		11.08	11.11	7.85	4.70	8.67	5.60	8.00	5.89	17.96	6.15	2.80	2.36	4.75	11.58	0.79	12.08	6.11	3.54	5.51	6.68											
5(50)	13.03	0.27	4.85	7.18		14.87	9.49	7.12	11.26	5.75	3.95	11.06	4.18	17.19	13.38	5.93	2.33	6.87	12.73	5.24	10.26	6.11	6.45	5.33	8.02											
5(75)	13.88	0.32	12.03	13.49		11.91	12.22	8.41	12.19	3.10	5.16	8.91	10.17	17.68	15.02	18.78	3.72	10.23	4.58	1.58	8.55	6.71	3.54	5.96	9.01											
6(0)	7.57	0.16	7.48	1.18	11.31	10.25	12.82	6.79	13.94	3.98	1.38	9.28	1.06	5.42	3.05	0.19	2.13	3.85	16.06	4.21	10.04	5.62	1.27	10.84	6.24											
6(10)	8.14	0.18	16.88	2.29	14.79	9.89	11.11	6.79	10.71	5.84	4.28	22.85	9.41	11.48	2.86	0.24	2.78	3.93	16.74	1.98	13.18	8.10	2.54	4.07	7.96											
6(20)	8.36	0.23	5.96	2.15	12.72	9.36	10.51	8.09	8.09	4.16	4.21	3.98	2.97	14.93	1.97	0.81	1.74	6.30	10.08	4.40	13.34	8.71	3.00	3.79	6.24											
6(30)	11.04	0.22	6.47	3.03	8.70	10.96	12.14	6.63	9.35	3.10	2.59	8.23	4.18	18.46	1.64	7.87	2.48	5.16	13.41	15.59	13.34	8.47	3.36	4.34	7.53											
Inner av.	6.65	0.18	5.80	2.28	10.68	9.82	10.16	8.29	5.57	19.08	3.36	11.08	3.87	15.39	2.91	4.34	1.68	6.48	10.06	4.51	8.52	9.75	11.08	6.43	7.41											
Outer av.	8.80	0.22	8.41	3.51	7.96	11.30	10.85	8.07	6.93	4.85	2.87	6.98	4.49	15.47	5.76	6.59	2.32	5.80	9.42	4.14	10.28	7.41	4.11	5.27	6.83											
Maximum	13.88	0.32	16.88	13.49	14.79	14.87	13.59	14.32	13.94	42.28	7.22	22.85	10.17	22.61	15.02	19.01	7.27	10.23	17.22	15.59	13.34	16.14	16.89	20.15	15.50											
Minimum	5.63	0.14	3.54	0.31	3.28	6.28	7.95	6.63	3.66	1.86	0.11	3.98	1.06	5.42	1.64	0.19	0.50	1.23	2.85	0.49	5.18	5.56	1.27	1.72	2.94											
Total av.	8.18	0.21	7.66	3.16	8.74	10.88	10.66	8.13	6.54	8.91	3.01	9.58	4.31	15.44	4.95	5.95	2.14	6.00	9.61	4.25	9.78	8.08	6.10	5.60	6.99											

Appendix I 12. Monthly variation of dissolved oxygen ( $\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.													
1(0)	7.17	5.76	4.51	5.90	5.35	5.66	7.58	5.96	6.99	7.07	6.06	4.75	7.73	6.21	7.13	7.33	7.85	7.73	7.88	7.64	7.86	8.43	3.62	3.62	6.49												
1(10)	7.82	5.49	4.75	5.41	5.72	5.45	6.26	6.57	6.67	6.77	6.26	4.95	7.73	8.94	7.13	7.88	6.25	8.18	7.35	7.92	8.55	8.71	3.49	3.36	6.57												
2(0)	6.67	5.39	4.67	5.58	5.66	5.86	5.05	6.46	6.34	6.46	6.16	4.95	6.97	8.03	6.83	7.74	6.45	7.88	7.75	7.64	8.14	8.77	3.23	2.93	6.32												
2(10)	7.17	5.64	4.95	6.63	5.76	7.07	6.46	6.46	6.67	6.16	6.16	5.09	7.42	8.03	6.83	7.58	6.57	7.73	6.70	7.92	8.42	8.82	3.21	3.59	6.54												
3(0)	6.83	5.13	4.73	5.45	5.47	5.86	6.57	6.46	6.75	6.16	5.66	4.91	7.27	7.27	8.04	7.88	6.55	7.88	8.40	7.92	7.98	8.77	3.59	3.49	6.46												
3(10)	7.45	4.87	5.62	8.04	5.66	6.06	6.26	6.57	6.32	5.96	5.76	4.75	7.27	7.27	8.04	7.43	6.59	7.27	7.48	7.92	8.55	8.82	3.59	3.88	6.56												
4(0)	7.09	5.09	4.87	5.58	5.45	6.36	6.57	7.01	6.16	6.16	6.16	5.76	7.58	7.12	6.97	7.52	6.40	7.58	7.48	7.64	8.26	7.69	3.41	3.10	6.35												
4(10)	7.11	4.91	4.95	5.39	5.56	5.26	6.06	6.87	6.36	5.56	4.85	4.85	7.58	7.27	6.97	7.68	6.42	7.58	7.62	7.40	8.14	8.00	3.49	3.49	6.32												
4(20)	6.85	4.85	5.15	5.27	5.56	6.36	6.26	6.67	5.86	5.35	4.73	4.73	6.82	7.88	6.53	7.64	6.11	7.12	7.88	7.64	8.36	7.75	3.49	3.49	6.21												
4(30)	6.08	4.69	5.90	5.29	5.35	6.06	6.16	6.59	6.16	5.45	4.81	4.81	6.21	7.42	6.06	8.12	6.76	7.42	7.48	9.05	8.08	8.03	3.36	3.36	6.21												
4(50)	5.45	4.55	4.75	4.87	4.85	6.77	6.06	6.46	6.16	5.45	4.35	4.35	6.52	6.21	5.31	5.76	5.62	6.82	7.88	7.35	9.11	7.69	3.36	2.97	5.81												
5(0)	6.61	5.15	5.13	5.27	5.56	6.06	6.26	6.48	5.96	5.15	5.31	5.31	7.42	7.12	6.97	7.13	6.55	7.73	7.48	7.64	8.61	7.92	3.39	3.62	6.24												
5(10)	6.79	5.05	5.09	5.49	5.56	6.06	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	5.05	8.03	7.58	6.83	7.43	6.88	7.27	8.01	7.78	8.99	8.82	3.67	3.36	6.44												
5(20)	6.14	4.81	4.87	5.56	5.35	5.96	7.17	6.36	6.06	5.15	5.09	5.09	7.88	7.73	6.83	7.13	6.93	8.03	7.35	7.49	7.27	7.86	3.49	3.10	6.21												
5(30)	5.25	4.75	5.64	5.39	5.45	6.77	6.26	6.63	6.06	4.85	4.75	4.75	6.36	6.97	6.36	7.62	6.96	7.27	7.48	7.35	7.47	7.60	3.36	2.97	6.04												
5(50)	4.95	4.06	4.95	5.19	5.66	6.26	6.36	6.28	6.06	4.65	5.29	5.29	7.58	6.97	6.06	6.67	7.20	7.27	7.35	7.64	7.33	7.47	3.57	3.10	5.97												
5(75)	4.55	4.04	4.83	4.30	5.25	6.16	6.57	6.34	6.16	5.05	4.24	4.24	6.21	6.21	5.45	5.45	5.21	6.82	7.48	7.64	7.29	7.07	3.23	2.87	5.54												
6(0)	7.45	5.03	5.27	5.47	6.97	5.66	6.26	6.46	6.26	5.86	6.06	4.91	7.27	6.82	7.74	6.12	6.18	8.18	7.48	8.06	7.76	8.26	3.36	3.13	6.35												
6(10)	6.30	5.07	5.01	5.35	5.76	5.76	6.06	6.36	6.42	6.46	5.96	5.35	7.27	9.39	6.97	7.43	6.42	7.27	7.48	7.35	7.21	7.98	3.49	3.23	6.31												
6(20)	6.26	4.91	5.19	5.37	5.56	5.56	6.36	6.36	6.30	6.26	5.56	5.15	6.82	7.27	6.97	7.74	6.13	7.42	7.62	7.64	7.33	7.66	3.59	3.10	6.17												
6(30)	5.45	4.63	4.93	5.49	5.86	5.35	5.96	6.36	6.18	5.96	5.45	4.81	6.21	6.67	6.22	7.33	6.11	7.12	7.48	7.49	7.56	8.26	3.28	3.10	5.97												
Inner av.	7.19	5.38	4.87	6.17	5.60	5.99	6.36	6.41	6.62	6.43	6.01	4.90	7.40	7.63	7.33	7.64	6.71	7.78	7.59	7.82	8.25	8.72	3.46	3.48	6.49												
Outer av.	6.16	4.77	5.10	5.29	5.42	5.46	6.25	6.38	6.48	6.13	5.48	4.98	7.05	7.24	6.55	7.14	6.39	7.39	7.57	7.68	7.92	7.92	3.44	3.20	6.14												
Maximum	7.82	5.76	5.90	8.04	6.97	7.07	7.58	7.17	7.01	7.07	6.36	5.76	8.03	9.39	8.04	8.12	7.85	8.18	8.40	9.05	9.11	8.82	3.67	3.88	7.29												
Minimum	4.55	4.04	4.51	4.30	4.45	4.85	5.05	5.96	6.18	5.86	4.65	4.24	6.21	6.21	5.31	5.45	5.21	6.82	6.70	7.45	7.21	7.07	3.21	2.87	5.34												
Total av.	6.45	4.95	5.04	5.54	5.47	5.61	6.28	6.39	6.52	6.21	5.63	4.95	7.15	7.35	6.77	7.28	6.48	7.50	7.58	7.72	8.01	8.15	3.44	3.28	6.24												

Appendix I -13. Monthly variation of pH in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	av.											
1(0)	8.21	8.13	8.06	8.06	8.40	8.19	7.90	8.19	8.18	8.18	8.21	8.13	8.23	8.08	8.39	8.17	8.41	8.24	8.32	8.14	8.14	8.45	8.35	8.41	8.21											
1(10)	8.23	8.1	8.04	8.04	8.43	8.19	7.83	8.16	8.17	8.20	8.23	8.08	8.23	8.28	8.38	8.18	8.41	8.23	8.29	8.15	8.28	8.45	8.34	8.41	8.22											
2(0)	8.22	8.13	8.03	8.03	8.42	8.26	8.00	8.21	8.19	8.16	8.25	8.10	8.24	8.31	8.36	8.19	8.38	8.24	8.31	8.16	8.32	8.46	8.30	8.41	8.24											
2(10)	8.22	8.09	8.06	8.06	8.43	8.15	7.97	8.21	8.19	8.17	8.22	8.09	8.22	8.31	8.36	8.20	8.40	8.24	8.31	8.17	8.32	8.46	8.31	8.43	8.23											
3(0)	8.23	8.08	8.05	8.05	8.45	8.36	7.62	8.21	8.22	8.18	8.26	8.12	8.20	8.29	8.39	8.22	8.42	8.26	8.31	8.15	8.31	8.45	8.35	8.39	8.23											
3(10)	8.22	8.09	8.06	8.06	8.46	8.28	7.86	8.21	8.22	8.18	8.26	8.12	8.18	8.29	8.38	8.21	8.42	8.26	8.31	8.14	8.31	8.45	8.35	8.40	8.24											
4(0)	8.23	8.13	8.09	8.09	8.11	8.19	7.61	8.21	8.20	8.17	8.26	8.15	8.19	8.32	8.37	8.23	8.43	8.26	8.32	8.15	8.22	8.43	8.34	8.40	8.21											
4(10)	8.20	8.06	8.08	8.08	8.09	8.39	7.92	8.21	8.21	8.06	8.27	8.12	8.15	8.29	8.37	8.22	8.42	8.25	8.32	8.14	8.28	8.42	8.34	8.41	8.22											
4(20)	8.18	8.08	8.09	8.09	8.10	8.41	7.83	8.21	8.21	8.06	8.22	8.11	8.04	8.31	8.35	8.21	8.41	8.25	8.32	8.14	8.28	8.43	8.35	8.44	8.21											
4(30)	8.09	8.07	8.05	8.05	8.22	8.30	7.90	8.21	8.22	8.07	8.2	8.08	7.96	8.29	8.28	8.05	8.40	8.24	8.32	8.13	8.49	8.43	8.30	8.43	8.20											
4(50)	8.02	7.97	8.05	8.05	8.22	8.22	7.82	8.22	8.22	8.06	8.14	8.02	7.92	8.19	8.13	8.20	8.40	8.24	8.31	8.12	8.43	8.42	8.33	8.42	8.17											
5(0)	8.24	8.08	8.09	8.09	8.10	8.34	7.81	8.22	8.20	8.06	8.14	8.18	8.21	8.35	8.39	8.24	8.43	8.27	8.31	8.13	8.39	8.43	8.34	8.41	8.23											
5(10)	8.20	8.12	8.05	8.05	8.10	8.39	7.65	8.22	8.25	8.08	8.25	8.17	8.18	8.38	8.37	8.24	8.42	8.27	8.30	8.14	8.40	8.43	8.34	8.45	8.23											
5(20)													8.14	8.33	8.36	8.21	8.42	8.26	8.30	8.12	8.41	8.43	8.34	8.43	8.31											
5(30)													7.99	8.29	8.31	8.21	8.42	8.27	8.30	8.12	8.39	8.42	8.34	8.43	8.29											
5(50)	8.04	7.94	8.04	8.04	8.10	8.30	7.87	8.22	8.26	8.07	8.16	8.04	7.84	8.18	8.12	8.14	8.42	8.27	8.31	8.12	8.32	8.43	8.31	8.43	8.17											
5(75)	7.95	7.96	8.07	8.07	8.12	8.27	7.92	8.23	8.26	8.07	8.15	8.02	7.68	8.15	8.13	8.05	8.31	8.23	8.30	8.12	8.38	8.42	8.30	8.46	8.15											
6(0)	8.24	8.1	8.08	8.08	8.44	8.29	7.91	8.22	8.23	8.10	8.28	8.21	7.53	8.38	8.38	8.26	8.42	8.28	8.33	8.12	8.41	8.45	8.35	8.47	8.24											
6(10)	8.23	8.15	8.08	8.08	8.43	8.35	7.83	8.22	8.25	8.09	8.28	8.18	7.38	8.39	8.39	8.26	8.42	8.28	8.30	8.12	8.42	8.44	8.34	8.45	8.22											
6(20)	8.18	8.16	8.08	8.08	8.44	8.39	7.92	8.23	8.24	8.10	8.27	8.17	8.10	8.36	8.38	8.25	8.31	8.23	8.29	8.12	8.14	8.42	8.30	8.39	8.23											
6(30)	8.08	7.98	8.07	8.07	8.44	8.36	7.85	8.23	8.26	8.10	8.25	8.11	8.00	8.21	8.32	8.23	8.43	8.28	8.33	8.17	8.49	8.46	8.35	8.47	8.23											
Inner av.	8.22	8.10	8.05	8.05	8.43	8.24	7.86	8.20	8.20	8.18	8.24	8.11	8.22	8.26	8.38	8.19	8.41	8.24	8.31	8.15	8.28	8.45	8.33	8.41	8.23											
Outer av.	8.14	8.06	8.07	8.07	8.22	8.32	7.83	8.22	8.23	8.09	8.22	8.12	7.95	8.29	8.31	8.20	8.40	8.26	8.31	8.13	8.36	8.43	8.33	8.43	8.21											
Maximum	8.24	8.16	8.09	8.09	8.46	8.41	8.00	8.23	8.26	8.20	8.28	8.21	8.24	8.39	8.39	8.26	8.43	8.28	8.33	8.17	8.49	8.46	8.35	8.47	8.29											
Minimum	7.95	7.94	8.03	8.03	8.09	8.15	7.61	8.16	8.17	8.06	8.14	8.02	7.38	8.08	8.12	8.05	8.31	8.23	8.29	8.12	8.14	8.42	8.30	8.39	8.09											
Total av.	7.39	7.31	7.30	7.30	7.50	7.51	7.10	7.43	7.44	6.19	7.44	7.34	8.03	8.28	8.33	8.20	8.40	8.25	8.31	8.14	8.34	8.44	8.33	8.42	7.78											

Appendix I - 14. Monthly variation of total chlorophyll  $a$  ( $\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.													
1(0)	0.65	0.38	0.24	0.49	0.24	0.64	0.54	0.36	0.74	0.70	1.81	1.13	2.20	0.52	0.68	0.67	0.83	0.21	0.42	0.53	0.43	1.14	3.17	1.68	0.86												
1(10)	0.53	0.17	0.18	0.47	0.32	0.82	0.54	0.50	0.88	0.96	0.96	0.53	0.69	1.52	0.68	0.75	0.74	0.36	0.44	0.32	0.34	1.48	2.50	1.56	0.76												
2(0)	0.53	0.39	0.23	0.46	0.22	0.53	0.42	0.52	0.44	1.20	2.86	0.68	0.76	0.84	0.98	0.44	0.80	0.45	0.53	0.36	0.32	0.93	0.93	2.48	0.76												
2(10)	0.53	0.16	0.11	0.56	0.22	0.41	0.56	0.45	0.37	1.42	1.97	0.68	1.30	0.84	0.83	0.44	0.60	0.24	0.59	0.53	0.77	1.24	1.80	2.12	0.78												
3(0)	0.51	0.26	0.34	1.06	0.21	0.76	0.66	0.39	0.36	1.20	3.10	1.56	0.29	0.60	0.84	0.75	0.76	0.43	0.52	0.56	0.66	1.66	5.38	1.58	1.02												
3(10)	1.10	0.15	0.21	1.14	0.24	0.93	0.66	0.39	0.37	1.13	1.97	1.50	0.76	0.60	0.90	0.67	0.82	0.37	0.74	0.46	0.56	1.59	2.38	1.90	0.90												
4(0)	1.09	0.60	0.36	0.40		0.63	0.56	0.45	0.44	1.17	1.05	1.95	0.97	0.37	0.91	0.36	0.84	0.37	0.24	0.32	0.54	1.36	1.56	0.66	0.75												
4(10)	0.81	0.33	0.14	0.13		0.69	0.66	0.45	0.44	0.75	2.12	2.71	1.36	0.45	0.84	0.51	0.83	0.30	0.31	0.44	0.54	1.24	2.70	1.21	0.87												
4(20)	0.73	0.18	0.13	0.14		0.80	0.66	0.38	0.44	0.75	2.65	1.12	3.41	0.45	0.46	0.52	0.90	0.28	0.36	0.34	0.46	1.24	2.70	2.12	0.92												
4(30)	0.63	0.17	0.14	0.18		0.71	0.66	0.52	0.44	0.91	1.43	0.74	1.14	0.53	0.31	0.44	0.98	0.36	0.37	0.24	0.46	1.26	1.12	2.14	0.65												
4(50)	0.53	0.10	0.12	0.16		0.62	0.68	0.49	0.28	1.13	0.52	0.41	0.20	0.07	0.08	0.20	0.69	0.36	0.52	0.34	0.56	1.02	0.92	0.43	0.45												
5(0)	0.63	0.56	0.28	0.37		0.52	0.70	0.52	0.16	0.97	1.05	1.79	0.51	0.38	1.29	0.23	0.77	0.28	0.23	0.34	0.78	0.68	4.62	1.22	0.82												
5(10)	0.97	0.25	0.28	0.29		0.90	0.66	0.23	0.14	0.90	4.47	2.26	0.84	0.45	1.13	0.28	0.68	0.34	0.44	0.34	0.88	0.56	1.33	2.02	0.90												
5(20)	0.97	0.28	0.27	0.27		0.70	0.75	0.30	0.14	0.97	2.95	1.57	1.22	0.98	0.76	0.23	1.35	0.28	0.36	0.34	0.66	0.66	2.49	2.45	0.91												
5(30)	0.65	0.11	0.16	0.15		0.63	0.68	0.38	0.16	0.97	1.21	0.82	0.13	0.08	0.38	0.37	0.68	0.29	0.45	0.55	0.78	0.90	2.02	0.43	0.56												
5(50)	0.53	0.10	0.16	0.22		0.63	0.75	0.36	0.14	0.83	1.62	0.29	0.14	0.08	0.08	0.22	0.60	0.30	0.59	0.46	0.54	0.78	1.59	0.34	0.49												
5(75)	0.41	0.10	0.16	0.08		0.62	0.66	0.53	0.28	0.75	0.83	0.60	0.11	0.07	0.08	0.07	0.66	0.38	0.36	0.39	0.65	0.66	0.46	0.32	0.41												
6(0)	0.63	0.52	0.28	0.45	0.22	0.93	0.68	0.45	0.37	1.05	0.83	1.28	0.23	0.38	1.06	0.43	0.75	0.29	0.45	0.46	0.56	0.68	1.56	2.68	0.72												
6(10)	0.53	0.46	0.28	0.46	0.20	0.93	0.68	0.39	0.37	1.21	1.28	2.63	1.52	0.83	0.84	0.54	0.91	0.36	0.60	0.65	0.66	1.14	2.80	0.87													
6(20)	0.51	0.12	0.28	0.32	0.24	0.76	0.77	0.17	0.36	1.28	3.16	1.31	0.29	1.60	0.53	0.22	0.77	0.28	0.51	0.44	0.54	0.90	1.12	4.07	0.86												
6(30)	0.43	0.12	0.18	0.34	0.22	0.93	0.90	0.38	0.44	1.36	3.47	0.75	0.00	0.31	0.38	0.36	0.60	0.36	0.45	0.22	0.56	1.14	0.99	1.70	0.69												
Inner av.	0.64	0.29	0.22	0.70	0.24	0.68	0.56	0.44	0.53	1.10	2.11	1.01	1.00	0.82	0.82	0.62	0.76	0.34	0.54	0.46	0.51	1.34	2.69	1.89	0.85												
Outer av.	0.67	0.27	0.21	0.26	0.22	0.73	0.70	0.40	0.31	1.00	1.91	1.35	0.74	0.47	0.61	0.34	0.80	0.32	0.42	0.40	0.61	0.92	1.75	1.64	0.71												
Maximum	1.10	0.60	0.36	1.14	0.32	0.93	0.99	0.53	0.88	1.42	4.47	2.71	3.41	1.60	1.29	0.75	1.35	0.45	0.74	0.65	0.88	1.66	5.38	4.07	1.57												
Minimum	0.41	0.10	0.11	0.08	0.20	0.41	0.42	0.17	0.14	0.70	0.52	0.29	0.00	0.07	0.08	0.07	0.60	0.21	0.23	0.22	0.32	0.56	0.46	0.32	0.41												
Total av.	0.66	0.27	0.22	0.30	0.23	0.72	0.66	0.41	0.37	1.03	1.97	1.25	0.81	0.57	0.67	0.42	0.79	0.33	0.45	0.42	0.58	1.04	2.02	1.71	0.75												

Appendix I - 15. Monthly variation of micro-chlorophyll *a* ( $\mu\text{g chl } a \cdot \ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1987 to June 1999

St.(m)	1987												1988												1989											
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	av.												
1(0)	0.41	0.46	0.22	0.34	0.52	0.20	0.35	0.27	0.16	1.35	0.69	0.45	0.15	0.23	0.07	0.31	0.07	0.14	0.10	0.10	0.46	0.46	0.56	0.34												
1(10)	0.41	0.16	0.16	0.24	0.70	0.20	0.38	0.41	0.51	0.58	0.37	0.16	0.92	0.01	0.08	0.23	0.07	0.08	0.00	0.12	0.58	1.03	0.44	0.33												
2(0)	0.41	0.22	0.22	0.29	0.36	0.05	0.38	0.08	0.23	1.88	0.52	0.23	0.39	0.08	0.07	0.23	0.08	0.15	0.00	0.12	0.36	0.35	0.56	0.30												
2(10)	0.51	0.10	0.10	0.34	0.29	0.22	0.29	0.02	0.67	1.07	0.53	0.31	0.38	0.08	0.08	0.23	0.08	0.15	0.00	0.22	0.58	0.68	0.54	0.31												
3(0)	0.49	0.20	0.32	0.64	0.64	0.33	0.27	0.13	0.37	0.75	1.42	0.22	0.30	0.08	0.00	0.23	0.07	0.15	0.12	0.10	0.80	1.14	0.12	0.37												
3(10)	1.08	0.10	0.20	0.74	0.75	0.43	0.29	0.02	0.18	0.91	1.35	0.31	0.23	0.22	0.00	0.37	0.08	0.15	0.12	0.10	0.69	0.92	0.22	0.39												
4(0)	0.99	0.59	0.34	0.34	0.52	0.10	0.27	0.33	0.57	0.36	1.43	0.23	0.07	0.15	0.00	0.53	0.07	0.08	0.00	0.10	0.80	0.56	0.10	0.37												
4(10)	0.73	0.22	0.12	0.12	0.58	0.32	0.29	0.31	0.07	1.36	1.88	0.45	0.15	0.09	0.07	0.45	0.08	0.08	0.12	0.10	0.68	0.80	0.20	0.40												
4(20)	0.58	0.12	0.12	0.13	0.69	0.33	0.26	0.31	0.07	2.28	0.96	0.91	0.23	0.08	0.00	0.45	0.07	0.07	0.00	0.12	0.46	1.14	0.44	0.43												
4(30)	0.51	0.12	0.12	0.11	0.57	0.21	0.27	0.32	0.09	1.20	0.22	0.01	0.31	0.00	0.00	0.53	0.15	0.07	0.00	0.12	0.68	0.22	0.56	0.28												
4(50)	0.51	0.09	0.11	0.12	0.45	0.35	0.27	0.18	0.30	0.37	0.14	0.00	0.07	0.07	0.07	0.31	0.15	0.15	0.00	0.22	0.68	0.24	0.10	0.21												
5(0)	0.41	0.45	0.24	0.22	0.40	0.37	0.27	0.03	0.23	0.76	0.67	0.08	0.16	0.07	0.08	0.31	0.07	0.00	0.12	0.22	0.12	0.44	0.10	0.25												
5(10)	0.53	0.24	0.22	0.24	0.75	0.11	0.14	0.03	0.15	3.79	0.37	0.23	0.23	0.31	0.00	0.45	0.07	0.15	0.02	0.22	0.12	0.22	0.22	0.38												
5(20)	0.78	0.22	0.22	0.22	0.58	0.31	0.28	0.03	0.16	2.51	0.31	0.16	0.68	0.15	0.00	0.76	0.07	0.15	0.02	0.22	0.12	0.36	0.32	0.37												
5(30)	0.53	0.10	0.10	0.10	0.52	0.31	0.27	0.03	0.16	1.18	0.15	0.01	0.08	0.01	0.08	0.31	0.08	0.16	0.00	0.22	0.34	0.34	0.10	0.22												
5(50)	0.41	0.09	0.10	0.12	0.52	0.31	0.27	0.03	0.16	1.18	0.15	0.00	0.01	0.08	0.00	0.23	0.08	0.15	0.02	0.10	0.34	0.12	0.10	0.20												
5(75)	0.28	0.09	0.10	0.06	0.50	0.33	0.29	0.16	0.31	0.45	0.37	0.07	0.06	0.01	0.00	0.36	0.15	0.08	0.12	0.20	0.24	0.12	0.10	0.19												
6(0)	0.61	0.40	0.22	0.24	0.81	0.22	0.27	0.14	0.32	0.68	0.30	0.15	0.16	0.08	0.00	0.37	0.07	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12	0.44	0.25												
6(10)	0.32	0.41	0.22	0.24	0.81	0.34	0.35	0.14	0.46	0.97	0.44	0.08	0.45	0.00	0.10	0.53	0.15	0.15	0.00	0.10	0.12	0.12	0.34	0.29												
6(20)	0.41	0.11	0.22	0.17	0.64	0.45	0.15	0.25	0.45	2.49	0.34	0.00	1.21	0.15	0.00	0.38	0.07	0.07	0.00	0.10	0.36	0.12	0.44	0.36												
6(30)	0.34	0.11	0.12	0.18	0.81	0.64	0.35	0.21	0.53	2.73	0.30	0.00	0.24	0.08	0.00	0.31	0.07	0.08	0.00	0.12	0.58	0.10	0.34	0.34												
Inner av.	0.55	0.21	0.20	0.43	0.54	0.24	0.33	0.15	0.35	1.09	0.81	0.28	0.39	0.12	0.05	0.26	0.07	0.13	0.06	0.13	0.58	0.76	0.41	0.34												
Outer av.	0.53	0.22	0.17	0.17	0.61	0.31	0.27	0.17	0.27	1.49	0.53	0.16	0.27	0.09	0.03	0.42	0.09	0.10	0.03	0.15	0.38	0.33	0.26	0.29												
Maximum	1.08	0.59	0.34	0.74	0.81	0.64	0.38	0.41	0.67	3.79	1.88	0.91	1.21	0.31	0.10	0.76	0.15	0.16	0.12	0.22	0.80	1.14	0.56	0.74												
Minimum	0.28	0.09	0.10	0.06	0.29	0.05	0.14	0.02	0.07	0.36	0.14	0.00	0.01	0.00	0.00	0.23	0.07	0.00	0.00	0.10	0.12	0.10	0.10	0.19												
Total av.	0.54	0.22	0.18	0.25	0.59	0.29	0.28	0.16	0.29	1.37	0.61	0.19	0.31	0.10	0.03	0.37	0.09	0.11	0.04	0.15	0.44	0.46	0.30	0.31												

Appendix I -16. Monthly variation of nano-chlorophyll *a* ( $\mu\text{g chl } a \cdot \ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1997												1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.														
1(0)	0.24	0.12	0.02	0.15	0.12	0.34	0.02	0.47	0.52	0.46	0.44	0.84	0.17	0.07	0.23	0.37	0.07	0.22	0.10	0.10	0.34	2.38	0.679	0.35													
1(10)	0.12	0.01	0.02	0.23	0.12	0.34	0.12	0.47	0.45	0.38	0.16	0.23	0.38	0.14	0.23	0.37	0.22	0.29	0.10	0.12	0.56	1.02	0.679	0.28													
2(0)	0.12	0.17	0.01	0.17	0.17	0.37	0.14	0.36	0.97	0.98	0.16	0.23	0.10	0.24	0.15	0.37	0.23	0.31	0.12	0.10	0.34	0.35	1.357	0.31													
2(10)	0.02	0.06	0.01	0.22	0.12	0.34	0.17	0.36	0.75	0.90	0.15	0.39	0.11	0.00	0.15	0.23	0.08	0.30	0.22	0.32	0.44	0.78	1.136	0.30													
3(0)	0.12	0.06	0.02	0.42	0.12	0.33	0.12	0.23	0.83	2.35	0.15	0.01	0.07	0.08	0.23	0.45	0.15	0.31	0.22	0.34	0.52	3.81	1.121	0.50													
3(10)	0.02	0.05	0.01	0.40	0.18	0.22	0.10	0.36	0.95	1.06	0.15	0.08	0.14	0.08	0.23	0.37	0.15	0.44	0.12	0.22	0.56	0.92	1.239	0.33													
4(0)	0.10	0.01	0.02	0.06	0.11	0.46	0.18	0.11	0.60	0.69	0.52	0.37	0.08	0.07	0.15	0.31	0.08	0.16	0.10	0.22	0.34	0.56	0.339	0.24													
4(10)	0.08	0.11	0.02	0.01	0.11	0.34	0.16	0.13	0.68	0.76	0.83	0.45	0.19	0.07	0.15	0.37	0.15	0.23	0.10	0.22	0.34	1.24	0.782	0.33													
4(20)	0.15	0.06	0.01	0.01	0.11	0.33	0.12	0.13	0.68	0.36	0.16	1.22	0.11	0.00	0.23	0.37	0.15	0.30	0.22	0.22	0.41	1.12	1.357	0.34													
4(30)	0.12	0.05	0.02	0.07	0.14	0.44	0.24	0.13	0.82	0.23	0.52	0.06	0.11	0.15	0.15	0.37	0.15	0.23	0.12	0.22	0.31	0.68	1.357	0.29													
4(50)	0.02	0.01	0.01	0.04	0.17	0.32	0.22	0.11	0.84	0.15	0.31	0.10	0.00	0.01	0.07	0.31	0.15	0.29	0.22	0.22	0.22	0.56	0.205	0.20													
5(0)	0.22	0.11	0.04	0.15	0.12	0.33	0.24	0.13	0.75	0.29	1.12	0.22	0.00	0.24	0.07	0.38	0.15	0.23	0.10	0.22	0.22	3.39	0.560	0.40													
5(10)	0.44	0.01	0.06	0.05	0.15	0.55	0.09	0.11	0.75	0.68	1.88	0.31	0.12	0.08	0.07	0.23	0.09	0.29	0.10	0.32	0.22	0.66	1.136	0.36													
5(20)	0.19	0.06	0.05	0.05	0.12	0.44	0.02	0.11	0.82	0.44	1.27	0.33	0.10	0.00	0.07	0.29	0.15	0.22	0.10	0.22	0.32	1.36	1.579	0.37													
5(30)	0.12	0.01	0.06	0.05	0.11	0.34	0.04	0.12	0.75	0.68	0.60	0.06	0.00	0.07	0.15	0.29	0.15	0.23	0.22	0.22	0.34	0.90	0.221	0.25													
5(50)	0.12	0.01	0.06	0.10	0.11	0.44	0.09	0.11	0.67	0.44	0.15	0.07	0.07	0.00	0.07	0.23	0.15	0.29	0.12	0.22	0.34	0.92	0.235	0.22													
5(75)	0.13	0.01	0.06	0.02	0.12	0.33	0.24	0.13	0.44	0.37	0.23	0.02	0.01	0.07	0.07	0.29	0.17	0.22	0.24	0.22	0.32	0.34	0.221	0.19													
6(0)	0.02	0.12	0.06	0.21	0.12	0.46	0.18	0.23	0.74	0.15	0.98	0.00	0.11	0.16	0.14	0.31	0.15	0.23	0.10	0.22	0.22	1.00	1.460	0.31													
6(10)	0.21	0.05	0.06	0.22	0.12	0.34	0.04	0.23	0.75	0.31	2.18	0.68	0.25	0.32	0.22	0.30	0.15	0.31	0.22	0.22	0.32	0.80	1.578	0.41													
6(20)	0.10	0.01	0.01	0.15	0.12	0.33	0.02	0.11	0.83	0.67	0.97	0.15	0.06	0.01	0.07	0.31	0.15	0.29	0.22	0.22	0.32	0.68	2.731	0.35													
6(30)	0.09	0.01	0.06	0.16	0.12	0.33	0.03	0.23	0.83	0.75	0.45	0.00	0.05	0.28	0.15	0.22	0.22	0.23	0.12	0.22	0.34	0.56	1.136	0.27													
Inner av.	0.11	0.08	0.02	0.27	0.14	0.32	0.11	0.37	0.75	1.02	0.30	0.29	0.16	0.10	0.20	0.36	0.15	0.31	0.15	0.20	0.46	1.54	1.04	0.35													
Outer av.	0.11	0.04	0.04	0.09	0.12	0.38	0.13	0.14	0.73	0.46	0.81	0.28	0.08	0.10	0.12	0.30	0.14	0.25	0.15	0.23	0.31	0.98	0.99	0.29													
Maximum	0.44	0.17	0.06	0.42	0.18	0.55	0.24	0.47	0.97	2.35	2.18	1.22	0.38	0.32	0.23	0.45	0.23	0.44	0.24	0.34	0.56	3.81	2.73	0.79													
Minimum	0.02	0.01	0.01	0.01	0.11	0.22	0.02	0.11	0.44	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.07	0.22	0.07	0.16	0.10	0.10	0.22	0.34	0.20	0.19													
Total av.	0.13	0.05	0.03	0.14	0.13	0.37	0.12	0.21	0.73	0.62	0.64	0.29	0.11	0.10	0.14	0.32	0.15	0.27	0.15	0.22	0.35	1.14	1.01	0.31													

Appendix I 17. Monthly variation of pico chlorophyll  $a$  ( $\mu\text{g chl-}a \cdot \ell^{-1}$ ) in Jungmun coastal area from July 1997 to June 1999

St.(m)	1998												1999												av.
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.							
1(0)	0.91	0.21	0.39	0.37	0.15	0.07	0.07	0.32	0.22	0.34	0.44	0.32	0.07	0.32	0.22	0.34	0.34	0.34	0.44	0.44	0.32	0.32			
1(10)	0.31	0.22	0.53	0.44	0.14	0.08	0.07	0.22	0.10	0.34	0.41	0.41	0.08	0.24	0.10	0.24	0.22	0.22	0.56	0.41	0.28	0.28			
2(0)	0.30	0.36	0.67	0.23	0.20	0.15	0.08	0.24	0.10	0.24	0.22	0.28	0.08	0.24	0.10	0.24	0.22	0.34	0.44	0.44	0.32	0.32			
2(10)	0.61	0.34	0.75	0.22	0.15	0.08	0.15	0.31	0.22	0.22	0.34	0.44	0.15	0.31	0.22	0.22	0.34	0.44	0.44	0.34	0.29	0.29			
3(0)	0.07	0.24	0.68	0.52	0.08	0.22	0.07	0.22	0.22	0.34	0.44	0.44	0.07	0.22	0.22	0.34	0.44	0.44	0.34	0.44	0.32	0.32			
3(10)	0.37	0.24	0.60	0.44	0.07	0.15	0.15	0.22	0.24	0.34	0.54	0.41	0.15	0.22	0.24	0.34	0.54	0.54	0.41	0.41	0.32	0.32			
4(0)	0.37	0.22	0.69	0.22	0.00	0.23	0.00	0.22	0.22	0.22	0.44	0.22	0.00	0.22	0.22	0.22	0.44	0.44	0.22	0.22	0.25	0.25			
4(10)	0.45	0.12	0.68	0.30	0.00	0.08	0.00	0.22	0.22	0.22	0.66	0.22	0.00	0.22	0.22	0.22	0.66	0.66	0.22	0.22	0.26	0.26			
4(20)	1.29	0.12	0.38	0.29	0.08	0.07	0.00	0.12	0.12	0.34	0.44	0.32	0.00	0.12	0.12	0.34	0.44	0.44	0.32	0.30	0.30	0.30			
4(30)	0.07	0.12	0.16	0.30	0.08	0.07	0.08	0.12	0.12	0.24	0.22	0.22	0.08	0.12	0.12	0.24	0.22	0.22	0.22	0.15	0.15	0.15			
4(50)	0.10	0.00	0.00	0.07	0.08	0.07	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.08	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.08	0.08	0.08			
5(0)	0.22	0.22	0.98	0.15	0.08	0.07	0.00	0.12	0.34	0.34	0.78	0.56	0.08	0.12	0.34	0.34	0.78	0.78	0.56	0.32	0.32	0.32			
5(10)	0.31	0.10	0.75	0.22	0.00	0.18	0.00	0.22	0.34	0.22	0.44	0.66	0.00	0.22	0.34	0.22	0.44	0.44	0.66	0.29	0.29	0.29			
5(20)	0.53	0.21	0.61	0.16	0.30	0.07	0.00	0.22	0.22	0.22	0.78	0.54	0.00	0.22	0.22	0.22	0.78	0.78	0.54	0.32	0.32	0.32			
5(30)	0.06	0.00	0.31	0.15	0.08	0.07	0.07	0.32	0.34	0.22	0.78	0.10	0.00	0.32	0.34	0.22	0.78	0.78	0.10	0.21	0.21	0.21			
5(50)	0.07	0.00	0.00	0.15	0.15	0.07	0.15	0.32	0.22	0.10	0.56	0.00	0.15	0.32	0.22	0.10	0.56	0.56	0.00	0.15	0.15	0.15			
5(75)	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.24	0.22	0.10	0.00	0.00	0.07	0.24	0.22	0.10	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.06			
6(0)	0.08	0.12	0.83	0.29	0.07	0.08	0.15	0.24	0.22	0.34	0.41	0.78	0.08	0.24	0.22	0.34	0.41	0.41	0.78	0.30	0.30	0.30			
6(10)	0.76	0.12	0.52	0.22	0.08	0.07	0.15	0.43	0.34	0.22	0.88	0.33	0.15	0.43	0.34	0.22	0.22	0.22	0.88	0.33	0.33	0.33			
6(20)	0.15	0.32	0.37	0.15	0.08	0.07	0.15	0.22	0.22	0.22	0.90	0.26	0.15	0.22	0.22	0.22	0.32	0.32	0.90	0.26	0.26	0.26			
6(30)	0.00	0.02	0.02	0.22	0.08	0.08	0.15	0.10	0.22	0.22	0.32	0.14	0.08	0.10	0.22	0.22	0.32	0.32	0.32	0.14	0.14	0.14			
Inner av.	0.43	0.27	0.60	0.37	0.13	0.12	0.10	0.26	0.18	0.30	0.39	0.44	0.10	0.26	0.18	0.30	0.39	0.39	0.44	0.30	0.30	0.30			
Outer av.	0.30	0.11	0.42	0.19	0.08	0.09	0.07	0.22	0.23	0.22	0.44	0.38	0.07	0.22	0.23	0.22	0.44	0.44	0.38	0.23	0.23	0.23			
Maximum	1.29	0.36	0.98	0.52	0.30	0.23	0.15	0.43	0.34	0.34	0.78	0.90	0.15	0.43	0.34	0.34	0.78	0.78	0.90	0.35	0.35	0.35			
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03			
Total av.	0.34	0.16	0.47	0.24	0.09	0.10	0.08	0.23	0.22	0.25	0.42	0.40	0.08	0.23	0.22	0.25	0.42	0.42	0.40	0.25	0.25	0.25			

Appendix II. Systematic list of attached diatoms occurred at the subtidal coast of Jeju Island from September 1997 to August 1998.

**Division Bacillariophyta (규조식물문)**

**Class Bacillariophyceae (돌말강)**

**Order Centrales (중심돌말목)**

**Suborder Coscinodiscineae (채돌말아목)**

**Family Thalassiosiraceae Lebour 1930, emend. Hasle 1973 (끈원반돌말과)**

Genus *Cyclotella* (Kützing) Brébisson 1938 (단추돌말속)

*Cyclotella meneghiniana* Kützing

*Cyclotella striata* (Kützing) Grunow

**Family Melosiraceae Kützing 1844 (원통돌말과)**

Genus *Melosira* Agardh 1824

*Melosira nummuloides* Agardh

**Family Coscinodiscaceae Kützing 1844 (채돌말과)**

Genus *Coscinodiscus* Ehrenberg 1838 (채돌말속)

*Coscinodiscus angustelineatus* A. Schmidt

*Coscinodiscus bathyomphalus* Cleve

*Coscinodiscus bathyomphalus* var. *hispidus* Chung & Chin

*Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg

*Coscinodiscus minor* Ehrenberg

*Coscinodiscus rothii* (Ehrenberg) Grunow

**Family Hemidiscaceae Hendy 1937, emend. Simonsen 1975 (반원반돌말과)**

Genus *Actinocyclus* Ehrenberg 1837 (바퀴돌말속)

*Actinocyclus subtilis* (Gregory) Ralfs in Pritchard

**Family Heliopeltaceae H.L.Smith 1872 (요철판돌말과)**

Genus *Actinoptychus* Ehrenberg 1841 (너울돌말속)

*Actinoptychus senarius* Ehrenberg

**Suborder Biddulphiineae (실패돌말아목)**

**Family Cymatosiraceae Hasle *et al.* 1983 (옥대돌말과)**

Genus *Campylosira* Grunow ex Van Heurck 1885 (올띠돌말속)

*Campylosira cymbelliformis* (Schmidt) Grunow

**Family Biddulphiaceae Kützing 1844 (실패돌말과)**

Genus *Biddulphia* Gray 1821 (실패돌말속)

*Biddulphia pulchella* Gray

*Biddulphia reticulata* (Ehrenberg) Roper

Genus *Isthmia* Agardh 1832 (베개돌말속)

*Isthmia nervosa* Kützing

Genus *Arachnoidiscus* Deane ex Pritchard 1852 (거미줄돌말속)

*Arachnoidiscus ehrenbergii* Bailey

**Family Eupodiscaceae Kützing 1849 (눈돌말과)**

Genus *Triceratium* Ehrenberg 1839 (삼각돌말속)

*Triceratium dubium* Brighwell

**Order Pennales (깃돌말목)**

**Suborder Arphidineae(헛등줄돌말아목)**

**Family Diatomaceae Dumortier 1822(막돌말과)**

Genus *Bleakeleya* Round in Round *et al.*, 1990

*Bleakeleya notata* (Grunow) Round in Round *et al.*

Genus *Clamacosphenia* Ehrenberg 1854 (노돌말속)

*Climacosphenia moniligera* Ehrenberg

Genus *Fragilaria* Lyngbye 1819 (김발돌말속)

*Fragilaria inflata* (Heiden) Hustedt

Genus *Grammatophora* Ehrenberg 1840 (골패돌말속)

*Grammatophora angulosa* Ehrenberg

*Grammatophora marina* (Lyngbye) Kützing

Genus *Licmophora* Agardh 1827 (민부채돌말속)

*Licmophora californica* Grunow

*Licmophora flabellata* Agardh

*Licmophora gracilis* (Ehrenberg) Grunow

*Licmophora lyngbyei* (Kützing) Grunow

*Licmophora mediterranea* Mereschk

*Licmophora paradoxa* (Lyngbye) Agardh

Genus *Lioloma* Hasle

*Lioloma pacificum* (Cupp) Halse

Genus *Podocystis* Bailey 1854 (비과돌말속)

*Podocystis americana* Bailey

Genus *Rabdonema* Kützing 1844 (토막돌말속)

*Rhabdonema adriticum* Kützing

*Rhabdonema arcuatum* var. *robusta* (Grunow) Hustedt

Genus *Striatella* Agardh 1832 (주름띠돌말속)

*Striatella unipunctata* (Lyngbye) Agardh

Genus *Synedra* Ehrenberg 1830 (대바늘돌말속)

*Synedra fasciculata* (Agardh) Kützing

*Synedra fulgens* (Greville) Smith

*Synedra tabulata* (Agardh) Kützing

- Synedra unla* (Nitzsch) Ehrenberg  
Genus *Thalassionema* Grunow ex Hustedt 1932 (부채살돌말속)  
*Thalassionema bacillaris* Hallegraeff  
Genus *Thalassiothrix* Cleve & Grunow 1880 (장대돌말속)  
*Thalassiothrix longissima* Cleve & Grunow

**Suborder Raphidineae (등줄돌말아목)**

**Family Achnantheae Kützing 1844 (땅콩돌말과)**

- Genus *Achnanthes* Bory 1822 (땅콩돌말속)  
*Achnanthes brevipes* Agardh  
*Achnanthes brevipes* var. *angustata* (Greville) Cleve  
*Achnanthes citronella* (Mann) Hustedt  
*Achnanthes longipes* Agardh  
Genus *Cocconeis* Ehrenberg 1838 (날알돌말속)  
*Cocconeis costata* Gregory  
*Cocconeis decipiens* Cleve  
*Cocconeis dirupta* Gregory  
*Cocconeis heteroidea* Hantzsch  
*Cocconeis molesta* Kützing  
*Cocconeis molesta* var. *crucifera* Grunow  
*Cocconeis pellucida* Grunow  
*Cocconeis pellucida* var. *minor* Grunow  
*Cocconeis placentula* Ehrenberg  
*Cocconeis pseudomarginata* Gregory  
*Cocconeis scutellum* Ehrenberg

**Family Naviculaceae Kützing 1844 (쪽배돌말과)**

- Genus *Amphiprora* Ehrenberg 1843 (양날개돌말속)  
*Amphiprora angustata* Hendy  
*Amphiprora paludosa* Smith  
Genus *Amphora* Ehrenberg ex Kützing 1844 (보리돌말속)  
*Amphora acutiuscula* Kützing  
*Amphora angusta* Gregory  
*Amphora angusta* var. *diducta* (Schmidt) Cleve  
*Amphora arenaria* Donkin  
*Amphora bigibba* Grunow  
*Amphora coffeaeformis* Kützing  
*Amphora commutata* Grunow

*Amphora costata* Smith  
*Amphora costata* var. *inflata* (Grunow) Peragallo H. & M.  
*Amphora decussatum* Grunow  
*Amphora exigua* Gregory  
*Amphora laevis* var. *laevissima* Gregory  
*Amphora lineolata* Ehrenberg  
*Amphora ovalis* Kützing  
*Amphora protens* var. *aculata* Peragallo H. & M.  
*Amphora* sp.

Genus *Cavinula* Mann & Stickle 1855

*Cavinula cocconeiformis* (Gregory ex Greville) Mann & Stickle

Genus *Caloneis* Cleve 1894 (오이돌말속)

*Caloneis silicula* (Ehrenberg) Cleve

Genus *Cymbella* Agardh 1830 (반달돌말속)

*Cymbella cymbiformis* Agardh

*Cymbella lanceolata* (Ehrenberg) Van Heurck

*Cymbella minuta* Hasle

*Cymbella* sp1.

*Cymbella* sp2.

Genus *Diploneis* Ehrenberg ex Cleve 1894 (도관돌말속)

*Diploneis advena* (Schmidt) Cleve

*Diploneis crabro* Ehrenberg

*Diploneis weissflogi* (Schmidt) Cleve

Genus *Gomphonema* Ehrenberg 1832 (썩기돌말속)

*Gomphonema exignum* Kützing

Genus *Gyrosigma* Hassall 1845 (나선돌말속)

*Gyrosigma spencerii* Cleve

Genus *Haslea* Simonsen 1974

*Haslea ostrearia* (Gaillon) Simonsen

Genus *Navicula* Bory 1822 (쪽배돌말속)

*Navicula britannica* Hustedt & Aleem

*Navicula cancellate* Donkin

*Navicula conferbacea* (Kützing) Grunow

*Navicula directa* var. *javanica* Cleve

*Navicula distans* (Smith) Ralfs

*Navicula mollis* (Smith) Cleve

*Navicula ramosissima* (Agardh) Cleve

*Navicula spectabilis* Gregory

*Navicula* sp1.

*Navicula* sp2.

*Navicula* sp3.

Genus *Pseudogomphonema* Medlin 1986

*Pseudogomphonema kamtschaticum* (Grunow) Medlin

Genus *Pleurosigma* Smith 1853 (갯나선돌말속)

*Pleurosigma delicatulum* Smith

*Pleurosigma normanii* Ralfs

Genus *Rhoicosphenia* Grunow 1860 (가지돌말속)

*Rhoicosphenia curvata* (Kützing) Grunow

Genus *Thalassiophysa* Conger 1954 (박취돌말속)

*Thalassiophysa hyalina* (Greville) Paddock & Sims

Genus *Trachyneis* Cleve 1894 (꽃배돌말속)

*Trachyneis aspera* var. *vugaris* Cleve

Genus *Tropidoneis* Cleve 1891 (용골돌말속)

*Tropidoneis lepidoptera* (Gregory) Cleve

#### Family Auriculaceae Hendy 1964

Genus *Auricula* Castracane 1873

*Auricula amphitritis* Castracane

#### Family Epithemiaceae Grunow 1860 (피각돌말과)

Genus *Rhopalodia* Müller 1895 (활돌말속)

*Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) Müller

#### Family Nitzschiaceae Grunow 1860 (등침돌말과)

Genus *Bacillaria* Gmelin in Linnaeus 1788 (웃돌말속)

*Bacillaria paxillifera* (Müller) Hendey

Genus *Cylindrotheca* Rabenhorst 1859 (봉침돌말속)

*Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin

Genus *Fragilariopsis* Hustedt in Schmidt emend. Hasle 1993

*Fragilariopsis kerguelensis* (Smith) Grunow

Genus *Hantzschia* Grunow 1877 (마름돌말속)

*Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow

*Hantzschia elongata* (Hantzsch) Grunow

*Hantzschia marina* (Donkin) Grunow

Genus *Nitzschia* Hassall 1845 (등침돌말속)

*Nitzschia acuta* Hantzsch

*Nitzschia brevirostris* Hustedt

*Nitzschia cocconeiformis* Grunow  
*Nitzschia constricta* (Gregory) Grunow  
*Nitzschia fasciculata* Grunow  
*Nitzschia hungarica* Grunow  
*Nitzschia hybrida* Grunow  
*Nitzschia lancolata* var. *minor* Van Heurck  
*Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs  
*Nitzschia longissima* var. *revers* Smith  
*Nitzschia navicularis* (Brébisson) Grunow  
*Nitzschia obtusa* var. *scalpellifolmis* Grunow  
*Nitzschia panduriformis* Gregory  
*Nitzschia punctata* (Smith) Grunow  
*Nitzschia punctata* var. *coarctata* (Grunow) Hustedt  
*Nitzschia scalaris* Smith  
*Nitzschia sigma* (Kützing) Smith  
*Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) Smith  
*Nitzschia socialis* Gregory  
*Nitzschia spectabilis* (Ehrenberg) Ralfs  
*Nitzschia subtilis* Grunow  
*Nitzschia vitrea* Norman  
*Nitzschia* sp1.  
*Nitzschia* sp2.  
*Nitzschia* sp3.  
*Nitzschia* sp4.

Genus *Pseudo-nitzschia* Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo 1900  
 (사슴등침돌말속)

*Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Peragallo

**Family Surirellaceae Kützing 1844 (방패돌말과)**

Genus *Campylodiscus* Ehrenberg ex Kützing 1844 (키돌말속)

*Campylodiscus fastuosus* Ehrenberg

*Campylodiscus ralisii* Smith

Genus *Surirella* Turpin 1828 (방패돌말속)

*Surirella amoricana* Peragallo

*Surirella fastuosa* (Ehrenberg) Kützing

## 감사의 글

오랫동안 연구를 수행하는 동안에 항상 격려와 지도로 일관 해주신 지도교수이신 이준백 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 학부시절 부터 지금까지 보살펴주시고 심사위원장님을 맡아주신 고유봉 교수님께 항상 고마움을 느낍니다. 저의 논문의 좋은 결과를 맺게 해주시고 귀중한 화학자료들을 보완해주신 최영찬 교수님께 정말 감사드립니다. 학위심사를 받을 때는 반드시 두 분께 심사를 받고 싶다고 생각했었고 바쁘신 중에도 제주도로 내려와서 날가로운 비평과 조언 그리고 향후의 시작에 대하여도 걱정을 해주신 조류학회 회장이신 상명대학교 이진환 교수님과 한국해양학회 회장이신 인하대학교 최중기 교수님께 정말 감사드립니다. 또한 지금까지 해양학과에서 많은 관심과 지도를 해주신 윤정수 교수님, 방익찬 교수님과 윤석훈 교수님께도 감사를 드립니다.

학부시절 연구를 한답시고 연구실에 처음 입실하여 지금까지 수많은 후배들과 동고동락을 한지도 벌써 20년이 다되어 갑니다. 그렇지만 이제 또 다른 분야를 위한 도약의 길이라 생각하며 지금까지 악천후에도 채집과 분석을 위해 묵묵히 임해준 연구실 후배들인 고희범 박사, 부산대학교 박사과정에 있는 강동우, 이무형, 김요혜, 신범, 이지은, 홍수경과 새벽까지 논문정리를 위해 시간을 할애하여 준 김보영, 윤태룡에게도 감사드립니다. 그리고 학부생들인 홍성주, 장재원, 오은희, 양현아, 김태정, 김수용에게도 감사를 드립니다.

전자현미경 작업에 자기의 시간을 투자하면서 많은 격려와 조언을 해준 제주대학교 해양과환경연구소의 다정한 벗 강태연 선생님과 논문의 토론에 정성을 다해주신 국립수산과학원 남제주수산종묘시험장의 김재우 박사님, 물심양면으로 도움과 토론에 응해준 국립수산과학원 자원조성연구소의 조성환 박사와 국립수산과학원 서해수산연구소의 이 윤 박사님께도 고맙게 생각합니다.

악천후에도 채집과 동고동락을 한 해양학과 대학원 후배인 강경표, 이승중, 홍창수, 장승민 외에 많은 대학원 후배와 김수강, 고희종 조교들에게 감사를 드립니다.

제주산업정보대학 환경시스템관리학과에 재직 중이신 동료 교수인 김창영 교수님, 강현춘 교수님과 박용이 교수님께 중요한 입시철에 시간을 내주신 것에 대해 이 논

문으로 대신하여 감사드립니다.

갯녹음 연구과제를 수행하면서 많은 조언과 도움을 주신 한국해양연구원의 극지연구센터의 정호성 박사님과 김지희 박사님, 제주도 해양수산자원연구소 이종만 소장님과 성균관대학교 김정하 교수님께도 감사를 드립니다.

또한 한겨울에도 자기일 같이 SCUBA를 하면서 고락을 함께 해준 일강정 영어조합법인의 이원석, 고종표, 문용식 동생들께도 감사를 드립니다.

항상 논문에 대해서 관심과 격려를 해주신 제주환경개발 주식회사의 강경수 사장님과 직원 여러분께 고마움을 표합니다. 논문정리를 위해 도움을 준 신원종 해영테크 대표와 오랜 학부시절부터 항상 친구를 위해 물심양면으로 도움을 준 조명신, 천안지점장 윤경영, 한라대학 박진원 교수, 양영수, 정형주, 온세통신 홍성광 지점장, 영앤니 지니어링 이영문께도 감사를 드립니다. 20여년을 호형호제하면서 항상 토론의 장을 열어준 제주도 해양수산자원연구소의 고경민 박사와 짝금회 회원들에게도 고마움을 표합니다.

마지막으로 묵묵히 자식을 믿고 버팀목이 되어 주신 아버님, 어머님께 한없는 고마움과 이 작은 결실을 바칩니다. 세분의 형님 내외분들과 조카들에게도 감사를 드립니다. 항상 애정과 관심으로 우리를 지켜봐 주신 장모님께도 감사를 드립니다. 또한 늦은 학업과 연구로 애들과 가정생활에 신경을 소홀히 했지만 그래도 사람을 믿고 가정을 이끌어간 사랑하는 아내와 아름답고 귀여운 딸들인 우정과 소정, 아들인 수창이와 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.

다시 한 번 모든 분들께 건강과 행복을 기원하며 보다 나은 연구하는 모습을 보여드릴 것을 약속드립니다.