

석사학위논문

제주 중문 연안역의 극미소, 미소,
소형 플랑크톤의 동태와 상관성



제주대학교 대학원
해양학과

신범

2000년 12월

제주 중문 연안역의 극미소, 미소, 소형 플랑크톤의 동태와 상관성

지도교수 이 준 백

신 범

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2000년 12월

신 범의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장

위 원

위 원

고 유 봉

이 준 백 (인)

최 영 찬 (인)




제주대학교 대학원

2000년 12월

**Dynamics and interrelationship of pico-, nano-,
micro-plankton in Chungmoon costal waters of
Cheju Island, Korea**

Bumm Shynn

(Supervised by Professor Joon-Baek Lee)

 제주대학교 중앙도서관
**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE**

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

December 2000

목 차

국문요지.....	i
List of Figures and Tables.....	iii
1. 서론.....	1
2. 재료 및 방법.....	2
3. 결과 및 고찰.....	7
1. 크기별 현존량 동태특성.....	7
1.1. 극미소 플랑크톤의 현존량.....	7
1.2. 미소 플랑크톤의 현존량.....	10
1.3. 소형 플랑크톤의 현존량.....	10
2. 크기별 생물량 동태특성.....	12
2.1. Chlorophyll <i>a</i> 농도.....	12
2.2. 탄소량.....	16
3. 크기별 일차생산력 동태특성.....	18
4. 환경특성.....	20

4.1. 물리적 특성.....	20
4.2. 화학적 특성.....	24
5. 통계분석.....	24
5.1. 크기별 단순상관관계.....	24
5.2. 요인분석.....	24
4. 결론.....	26
5. 참고문헌.....	29
6. Abstract	32
APPENDIX.....	33
1. Plankton abundance of each size in the study area.....	34
2. Chlorophyll a concentration of each size fraction in the study area.....	40
3. Row data of size-fractionated ¹⁴ C measurement in the study area.....	44
감사의 글.....	56



국문요지

1999년 7월부터 2000년 6월까지 제주도 중문 연안역의 내해역과 외해역에서 미생물 먹이망의 기초하에 각각의 크기별 플랑크톤의 현존량, 탄소량, chlorophyll *a*, 일차생산력을 조사하였다.

종속영양성 극미소 플랑크톤(heterotrophic bacteria)의 현존량은 $8.0 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $0.9 \pm 1.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였고, 독립영양성 극미소 플랑크톤(cyanobacteria)의 현존량은 $0.3 \times 10^3 \sim 1.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $0.8 \pm 1.7 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)로 변화의 폭이 컸다. 종속영양성 미소 플랑크톤(heterotrophic nanoplankton)의 현존량은 $0.04 \times 10^3 \sim 8.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $7.2 \pm 8.6 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였고, 독립영양성 미소 플랑크톤(autotrophic nanoplankton)의 현존량은 $0.1 \times 10^3 \sim 8.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ ($9.1 \pm 9.6 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였다. 소형 플랑크톤의 현존량은 $0.1 \sim 27.0 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ ($13.1 \pm 29.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$)의 분포를 보였다. 총 chlorophyll *a* 농도는 $0.22 \sim 3.20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $0.81 \pm 0.52 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)이었고, 내해에서의 연평균 농도는 $0.89 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 외해역의 $0.78 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 비교적 높았다. 월별 구성비율을 보면 극미소 플랑크톤의 Chlorophyll *a* 는 11월이 전체 구성비율의 70%를 차지하여 가장 높았으며, 미소 플랑크톤은 2월에 전체의 50%, 소형 플랑크톤은 7월에 전체의 73%로 가장 높았다. 종속영양성 극미소 플랑크톤(heterotrophic bacteria)의 탄소량은 $0.6 \sim 170.6 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $18.7 \pm 24.3 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$) 범위를 보였고, 독립영양성 극미소 플랑크톤(cyanobacteria)의 탄소량은 $0.4 \sim 384.0 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $16.8 \pm 36.1 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$), 종속영양성 미소 플랑크톤(heterotrophic nanoplankton)은 $0.8 \sim 165.5 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $15.0 \pm 17.8 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$), 독립영양성 미소 플랑크톤(autotrophic nanoplankton)은 $2.1 \sim 167.8 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $18.9 \pm 20.1 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$), 소형 플랑크톤(micro plankton)은 $4.3 \sim 96.7 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $5.1 \pm 15.3 \mu\text{g} \text{ C} \cdot \text{l}^{-1}$)의 범위를 보였다. 해역별 연간 총 일차생산력은 내해역(정점 1)이 $12 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이고, 외해역(정점 5)이 $54 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 분포를 보였고, 크기별 플랑크톤 구성 비율은 극미소 플랑크톤이 내해역에서 41.7%, 미소 플랑크톤은 28.4%, 소형 플랑크톤은 30.0%의 비율을 보여 가장 작은 크기인 극미소 플랑크톤의 생산력이 가장 큰 것으로 조사되었다. 크기별 플랑크톤 상호간의 단순 상관관계의 경우 내해에서는 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)의 상관계수

($r=0.552$), 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 자가영양성 미소조류(ANP)의 상관계수($r=0.493$)가 높은 상관관계를 보였으며, 외해에서는 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)이 높은 상관관계를 나타내었다. 요인분석을 한 결과 내해역의 제1요인은 동계($TEMP = -0.888$, $SAL = 0.939$)에 질산과 인의 증가($TIN = 0.653$, $P = 0.519$)와 소형 플랑크톤 현존량의 감소($MP = -0.693$)였고, 외해역의 제 1요인은 겨울철 ($TEMP = -0.764$, $SAL = 0.590$) 규소과 질소, 인의 증가에 따른 독립영양성 극미소 플랑크톤의 현존량 증가 ($CYAN = 0.858$)였다. 결론적으로 크기별 플랑크톤의 먹이망은 내해역에서 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)이 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)의 섭식이 두드러지며, 그 이외의 플랑크톤 군집은 동계에 영양염류의 상승에 따른 개체수의 변동이 두드러진다.



List of Figures and Tables

- Fig 1. A map showing sampling stations in the study area..... 3
- Fig 2. Diagrammatic representation of the microbial loop and relationship to the plankton food web 4
- Fig 3. Temporal and spatial distribution of CYAN abundance in the Chungmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000 9
- Fig 4. Temporal and spatial distribution of ANP abundance in the Chungmoon costal waters of Cheju from January 2000 to June 2000..... 11
- Fig 5. Temporal and spatial distribution of MP abundance in the Chungmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000 13
- Fig 6. Percentage contribution (A: Inner sea, B: Outer sea) of size fractionated chlorophyll a concentration in the Choonmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000..... 15
- Fig 7. Photosynthesis-irradiance curves at each station of the study area..... 21

Fig 8. Temporal and spatial distribution of water temperature in the Chungmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.....	22
Fig 9. Temporal and spatial distribution of salinity in Chungmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.....	23
Table 1. Abundance of each size class of plankton in the Chungmoon costal waters of Cheju from June 1999 to July 2000. (unit: cells/ml).....	8
Table 2. Size fractionated chlorophyll <i>a</i> concentration in the Chungmoon costal waters of Cheju from June 1999 to July 2000. (unit: $\mu\text{g}/\ell$).....	14
Table 3. Carbon biomass of each size class of plankton in the Chungmoon costal waters of Cheju from June 1999 to July 2000. (unit: $\mu\text{g}/\ell$).....	17
Table 4. Seasonal changes in size-fractionated primary production($\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$) in the surface water at stations 1 and 5 in the study area. Percentages of the total production are shown in parentheses.....	19
Table 5. Correlation matrix for abundance of each data of (A) inner sea and (B) outer sea in the Chungmoon costal waters of Cheju during the period from January, 2000 to June, 2000.....	25

Table 6. Varimax rotated factor matrix among abiotic and biotic parameters determined in the Chungmoon costal waters of Cheju during the period from January, 2000 to June, 2000 27



1. 서론

식물플랑크톤은 해양생태계의 1차생산자로서 저차생산의 기본을 이루고 있으며 세포의 크기에 따라 극미소(pico-), 미소(nano-), 소형(micro-) 플랑크톤으로 나누고 있다(Sieburth, 1979). 전통적으로 식물플랑크톤은 소형인 크기 즉 20 - 200 μm 범위를 중심으로 많은 연구가 있어 왔지만 최근에는 연구방법의 개발로 극미소 (0.2 - 2 μm), 미소 (2 - 20 μm) 크기 범위에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다.

극미소 플랑크톤과 미소 플랑크톤이 포함된 먹이망은 저차생산 체계에서 매우 중요하며 기존의 식물플랑크톤-동물플랑크톤-어류에 이르는 먹이사슬 개념을 수정하여 새로운 개념의 먹이망을 제시하고 있으며 이를 미생물 먹이고리(microbial loop)라고 한다(Pomeroy, 1974). 미생물 먹이고리에 있어 식물플랑크톤과 박테리아플랑크톤과의 상호관계에 대하여 근래 20여년간 많은 연구가 진행되어 왔으나 이것이 계절적인 물리화학적 요인에 의하여 어떻게 제한을 받는가에 대해서는 아직도 분명하지 않다 (Vrede *et al.*, 1999).

한편 한반도 주변해역에서의 박테리아와 미소 및 소형생물간의 상호관계에 대한 많은 연구가 진행되어져 왔다(Cho and Shim, 1992; 심 등, 1993; 조 등, 1994; Cho *et al.*, 1998). 그러나 제주도 주변해역에서의 미생물 먹이고리에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구해역인 제주도 남부해역은 대마난류수와 양자강수의 영향을 받고있으며 특히, 여름철 양자강의 저염수 확장은 제주도 남부 및 서부해역의 피해를 가져온다(서 등, 1999). 또한, 연구해역은 중문관광단지 조성과 주변도시의 확장에 의해 하수종말 처리 시설의 확충으로 인한 영양염류의 변화가 있을 것으로 예상된다. 이와 같은 물리·화학적 변화가 미생물 먹이고리에 상당히 중요하게 작용할것이 예상되며, 저차생산자와 소비자간의 상호관계에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 본 연구는 이러한 변화에 대한 해양생물학적 접근과 현상규명을 위해 1999년 7월부터 2000년 6월까지, 제주도 중문해역의 내해역과 외해역에서, 각각의 크기별 현존량, 생물량(carbon biomass, chlorophyll *a* 농도), 일차생산력을 조사하여 크기별 플랑크톤의 상호관계 및 이·화학적 변화를 따른 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사정점 및 채집방법

조사는 1999년 7월부터 2000년 6월까지 제주도 남부 연안역에 위치한 중문 주변해역에서 내해정점(정점 1, 2, 3)과 외해정점(정점 4, 5, 6)을 선정하여 매월 실시하였다(Fig. 1).

연구 대상 플랑크톤에 대한 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 각 정점의 표층, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m층에서 행해졌다. 소형 플랑크톤은 1ℓ씩 채수한 다음 선상에서 Lugol 용액으로 고정하였다. 미소 플랑크톤과 극미소 플랑크톤은 각각 멸균된 captube 30ml와 10ml captube에 해수를 채운 후 현장에서 최종농도 0.5% glutaraldehyde로 고정한 다음 냉장보관 한뒤 48시간 내에 분석을 행하였다.

2.2. 크기별 플랑크톤의 구분과 약어

해양의 플랑크톤간의 피식자와 포식자는 크기 및 영양형에 따라 밀접한 관계를 가지며, 미생물 먹이고리의 흐름을 이해하는데 상당히 중요하다. 본 연구에서는 플랑크톤의 크기 및 영양형에 따라 Fig. 2와 같이 종속영양성과 독립영양성 플랑크톤으로 구분하며, 사용되는 약어들은 다음과 같이 정리한다. 극미소 플랑크톤(pico-plankton; PP)은 0.2~2 μ m의 범위로써 독립영양성 극미소 플랑크톤(autotrophic pico-plankton: CYAN)과 종속영양성 박테리아(heterotrophic bacteria: BACT)로 구분된다. 미소 플랑크톤(nano-plankton; NP)은 2.0~20 μ m의 범위에서 독립영양성 미소 플랑크톤(autotrophic nano-plankton: ANP)과 종속영양성 미소 플랑크톤(heterotrophic nano-plankton: HNP) 그리고 소형플랑크톤은(micro-phytoplankton: MP)은 20~200 μ m의 범위로 식물플랑크톤을 포함하고 있다.

2.3. 크기별 현존량 계수

극미소 플랑크톤 : glutaraldehyde로 고정된(0.5%) 해수 시료를 4℃에 보관하여, 24시간 이내에 Nucleopore filter(Whatman, 0.2 μ m)로 여과했다. 이때 DAPI(0.25 μ g/mg stock sol.)를 여과기에 첨가하여 최종농도 5 μ g/mg로

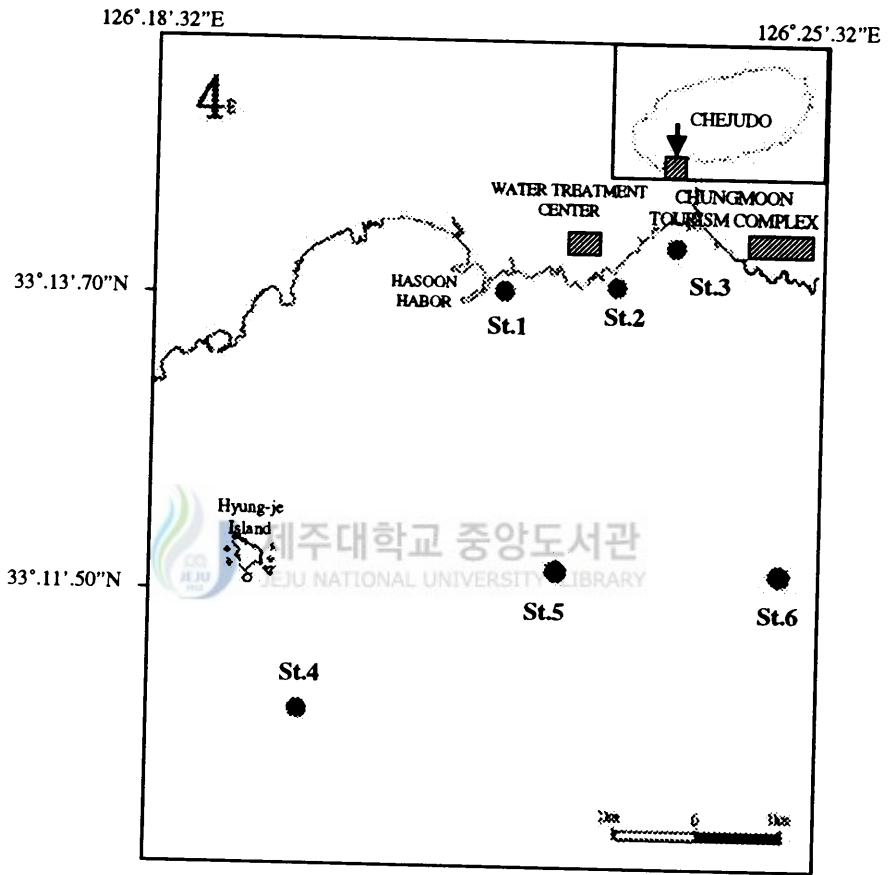


Fig. 1. A map showing sampling stations in the study area.

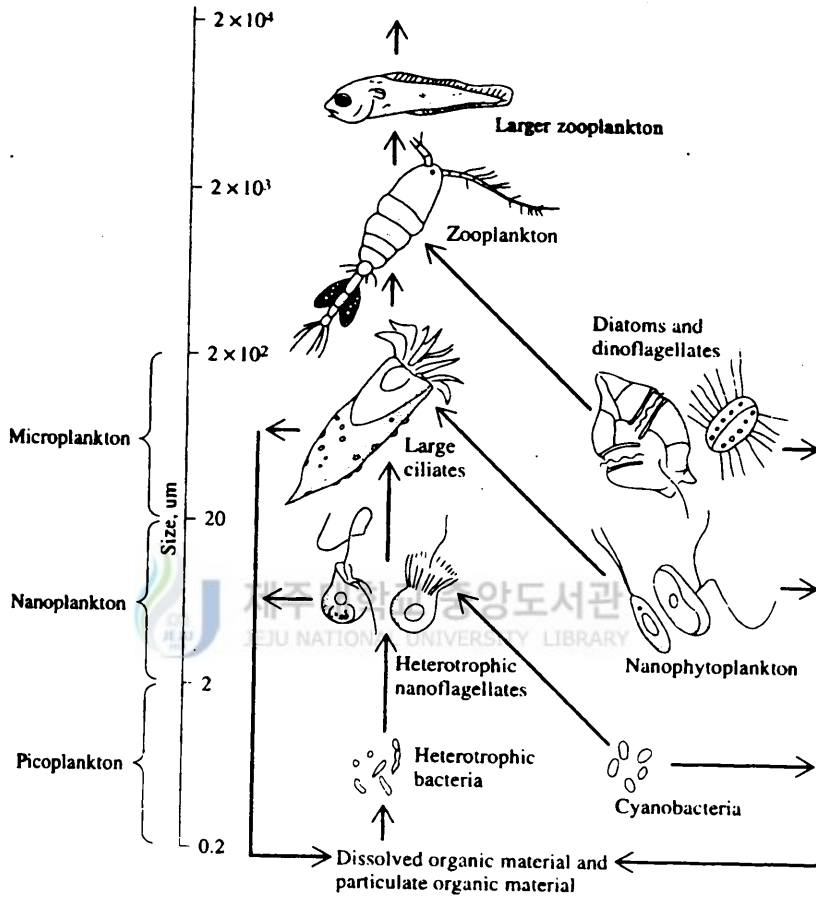


Fig 2. Diagrammatic representation of the microbial loop and relationship to the plankton food web (Fenchel, 1988).

약 5분간 여과기 내에서 염색을 실시하였다(Poter and Feig, 1980). 여과기 내에 시료가 소량 남을 때까지 여과한 다음, 슬라이드면에 여과지를 놓고, 여과지위에 immersion oil을 떨어뜨려, cover slip을 덮은후, 형광현미경(Zeiss axioplan 2)을 이용하여 UV광 하에서 푸른색으로 염색된 총 세포수를 계수를 했다. 독립영양성 극미소 플랑크톤은 blue광 하에서 내는 염색되지 않은 phycoerythrin의 자가형광(붉은색)을 계수하였다. BACT는 총 세포수에서 CYAN을 감하여 세포수로 계산하였다.

미소 플랑크톤 : glutaraldehyde로 고정된(0.5%) 해수 시료를 4°C에 보관하여, 24시간 이내에 Nucleopore filter(Whatman, 2.0 μ m)로 여과했다. 이때 Proflavin(0.033% stock sol.)을 여과기에 첨가하여 최종농도 0.00066%로 약 5분간 여과기 내에서 염색을 실시하였다(Hass, 1982). 여과기 내에 시료가 소량 남을 때까지 여과한 다음, 슬라이드면에 여과지를 놓고, 여과지위에 immersion oil을 떨어뜨려, cover slip을 덮은후, 형광현미경(Zeiss axioplan 2)의 blue광 하에서 독립영양성 미소 플랑크톤은 녹색바탕에 붉은 점(chlorophyll 자가형광)을 가진 세포와 종속영양성 미소 플랑크톤은 녹색바탕에 flagella를 가진 세포를 구분하여 계수하였다.

소형 플랑크톤 : 현장에서 고정된 시료를 실험실로 운반하여 침전법에 의해 농축된 시료를 균일하게 섞은 후 1ml를 Sedgwick - Rafter counting chamber에 넣고 광학현미경하에서 전체 세포수를 계수한 다음 cells \cdot l⁻¹로 환산하여 현존량으로 표시하였다.

2.4. 크기별 생물량 측정

플랑크톤의 생물량은 chlorophyll *a* 농도와 세포에 함유된 탄소량을 계산하여 나타내었다. 극미소 플랑크톤의 탄소량 중 박테리아는 15 fg C \cdot bacterium⁻¹, cyanobacteria는 200 fg C \cdot cyanobacterium⁻¹의 전환상수를 이용하여 변환하였고, 미소 플랑크톤의 탄소량은 개체수와 각각 세포의 평균 부피를 183 fg C μ m⁻³의 전환상수를 이용하여 계산하였다 (Caron *et al.*, 1995). 소형 플랑크톤의 탄소량 계산은 탄소 : Chl-*a*의 비가 50으로 가정하여 계산하였다(Eppley *et al.*, 1977).

Chl *a* 측정시료는 수층별로 해수 1 l를 취하여 20 μ m, 2.0 μ m, 0.2 μ m의 filter로 여과한 다음 90% acetone에 24시간 동안 냉장 추출한 후 3,500rpm에서 원심분리 시킨 후 UV-VIS spectrophotometer(Shimadzu, UV 1201)로 측정하여 Parsons *et al.* (1984)의 식에 의해 단위 체적당 클로로필량

($\mu\text{g chlorophyll } a \cdot \ell^{-1}$)으로 나타내었다.

2.5. 크기별 일차생산력 측정

크기별 일차생산력은 $2\mu\text{m}$ 여과지를 통과시킨 해수(pico-fraction)와 $20\mu\text{m}$ 여과지를 통과시킨 해수(pico-와 nano-fraction)와 여과지를 통과시키지 않은 해수(total-fraction)로 나누어 Parson *et al.*(1984)에 의한 방법으로 배양용 80ml cap test tube에 해수를 채운 후 $2\mu\text{Ci}$ 의 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 를 주입하여 현장 수온의 자연광 조건하에서 약 2시간 정도 배양하였다. 배양이 끝난 각각의 시료는 Watman GF/F여과지로 여과하여 포집한 후 20ml 섬광계수병(scintillation vial)에 옮긴 다음 여과지 위의 무기 ^{14}C 를 제거하기 위하여 0.5N HCl 용액을 사용하여 산 처리를 하였다. 이 후 각각의 vial에 15ml의 섬광액(scintillation cocktail)을 첨가한 다음 섬광계수기(scintillation counter; PACKARD, Tri-Carb-2700TR)의 external standard method에 의하여 carbon activity를 측정하였다. 현장해수의 total CO_2 의 값은 pH와 alkalinity로 계산하였다. 배양조건은 표층광도의 100, 68, 35, 15, 5%의 광조건에서 배양하여 단위 체적당 일차생산력 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$)을 계산하였으며, 광도계 (Li - Cor 1000)에 의해 측정된 1일 광량과 배양시 광량의 비례에 의해 1일 일차생산력을 구하였다. 수층의 일차생산력을 구하기 위하여 투명도로 유광층을 계산하고 각 광조건으로부터 추정된 수심을 결정하였다. 이를 기초로 수층의 1일 일차생산력 ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)을 계산하였다.

2.6. 환경요인

수온과 염분은 CTD (SBE 19-03)로 표층에서 저층까지 측정하였으며, 각각의 층별 영양염류 자료는 제주대학교 해양화학 실험실에서 분석한 자료를 인용하였다. 환경특성을 위한 분석으로 pH는 pH meter (Orion 920A)로 그리고 투명도는 Secchi disk로 현장에서 측정하였다.

2.7. 통계분석

통계분석은 SYSTAT 8.0 package program을 사용하여 단순상관관계 분석과 요인분석을 실시하여, 극소생물간의 상관관계와 물리·화학적 변화

에 따른 생물간의 변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 크기별 현존량 동태특성

3.1.1. 극미소 플랑크톤의 현존량

극미소 플랑크톤(PP)의 총 현존량은 $1.4 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $1.2 \pm 1.7 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였다(Table 1). 월별 평균 현존량은 6월에 $0.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 의 범위로 가장 적었고, 8월에 $3.6 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 의 범위로 가장 많았다. 해역별 평균 현존량은 외해역이 $1.3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 내해역의 $0.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 많았다.

중속영양성 극미소 플랑크톤(HB)의 현존량은 $8.0 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $0.9 \pm 1.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였고(Table 1), 월별 평균 현존량은 10월에 $0.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 적었고, 4월에 $3.4 \pm 3.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균은 외해역이 $9.9 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 내해역의 $8.6 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 약간 많았다.

독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)의 현존량은 $3.2 \times 10^2 \sim 1.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $0.8 \pm 1.7 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)로 변화의 폭이 컸으며(Table 1), 월별 평균 현존량은 1월에 $1.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 적었고, 11월에 $4.3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균은 외해역에서 $9.5 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$, 내해역에서 $7.4 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 외해역에서 많이 분포하였다(Fig. 3).

HB와 CYAN의 현존량은 서해 경기만의 평균 현존량인 $4.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$, $0.79 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (Lee and Choi, 2000)보다 훨씬 많았고, PP의 총 현존량은 독도 연안의 유광층에서의 현존량 $0.1 \sim 0.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (Cho *et al.*, 1998), 황해 중동부 해역의 현존량 $0.5 \sim 19 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (조 등, 1994)보다 많았다. 이와같이 다른 해역보다 많은 이유는 본 조사해역이 높은 수온, 양호한 광조건 그리고 낮은 탁도에 의해 많은 것으로 생각되며, HB와 CYAN 모두 내해역보다 외해역에서 많은 현존량 분포를 보이고 있는데, Vrede *et al.* (1999)이 보고한 bacterioplankton의 기본적인 제한인자인 인(P)이 외해역이 $0.32 \mu\text{M}$ 로 내해역의 $0.29 \mu\text{M}$ 보다 높기 때문이라고 생각된다.

Table 1. Abundance of each size class of plankton in the Chungmoon coastal waters of Cheju from June 1999 to July 2000.
(unit: cells/ml)

Size Class of Plankton	Location	Whole Range	Annual Mean
HB	Total	$8.0 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^4$	9.5×10^3
	Inner sea	$6.8 \times 10^3 \sim 1.1 \times 10^4$	8.6×10^3
	Outer sea	$8.0 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^4$	9.9×10^3
CYAN	Total	$3.2 \times 10^2 \sim 1.9 \times 10^3$	8.4×10^2
	Inner sea	$6.4 \times 10^2 \sim 5.4 \times 10^3$	7.4×10^2
	Outer sea	$3.2 \times 10^2 \sim 1.9 \times 10^3$	9.5×10^2
HNP	Total	$4.2 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$	7.2×10^2
	Inner sea	$1.3 \times 10^2 \sim 2.2 \times 10^3$	8.3×10^2
	Outer sea	$4.2 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$	6.8×10^2
ANP	Total	$1.0 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$	9.1×10^2
	Inner sea	$1.0 \times 10^2 \sim 3.6 \times 10^3$	1.2×10^3
	Outer sea	$1.1 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$	7.9×10^2
MP	Total	$1.0 \sim 2.7 \times 10^2$	13.1
	Inner sea	$1.0 \sim 1.3 \times 10^2$	14.3
	Outer sea	$1.0 \sim 2.7 \times 10^2$	12.7

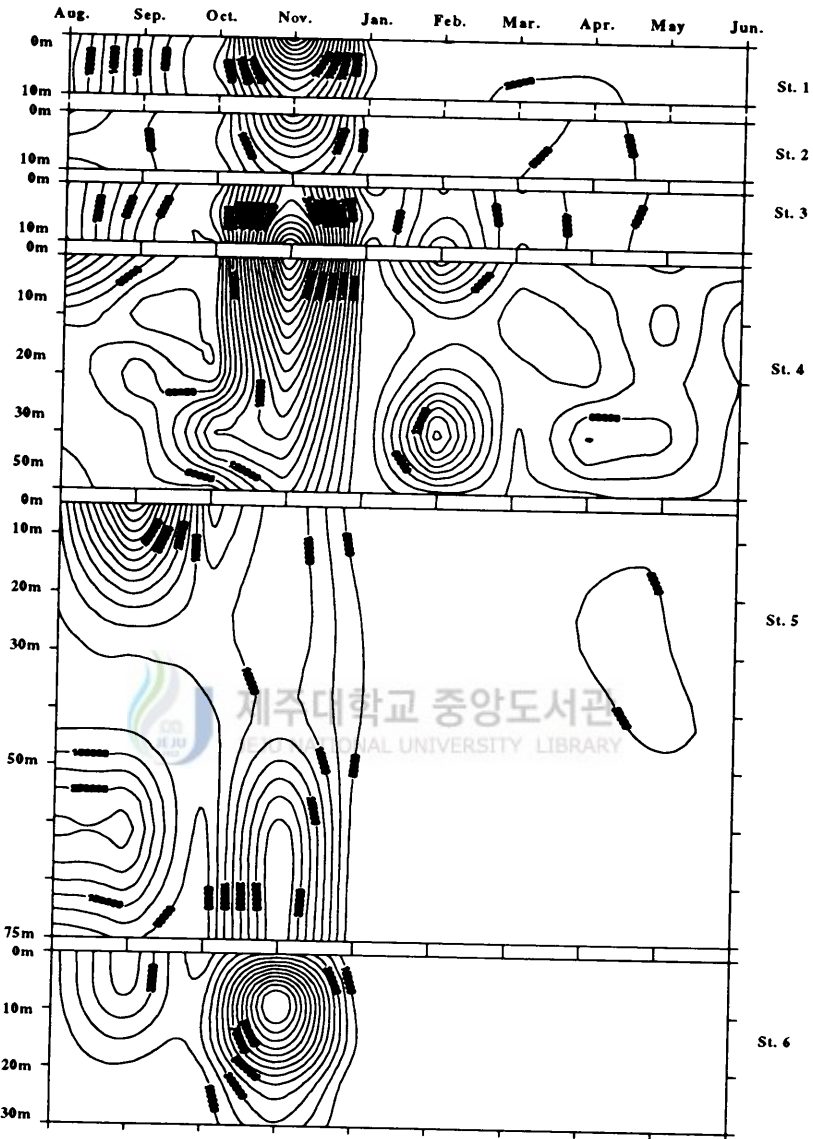


Fig 3. Temporal and spatial distribution of cyanobacteria (cells ml^{-1}) abundance in the Chungmoon coastal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.

3.1.2. 미소 플랑크톤의 현존량

미소 플랑크톤(NP)의 총 현존량은 $0.2 \times 10^3 \sim 16 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $1.6 \pm 1.7 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 분포를 보였고(Table 1), 월별 평균 현존량은 1월에 $0.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 적었고, 2월에 $2.9 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균은 보면 내해역이 $2.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 외해역의 $1.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 많은 분포를 보였다.

중속영양성 미소 플랑크톤(HNP)의 현존량은 $0.04 \times 10^3 \sim 8.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $7.2 \pm 8.6 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였고(Table 1), 월별 평균 현존량은 3월에 $4.4 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 적었고, 2월에 $1.2 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균은 내해역이 $8.3 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 외해역의 $6.8 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 많은 분포를 보였다.

독립영양성 미소 플랑크톤(ANP)의 현존량은 $0.1 \times 10^3 \sim 8.1 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $9.1 \pm 9.6 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 범위를 보였고(Table 1), 월별 평균 현존량은 1월에 $4.8 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 적었고, 2월에 $1.6 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균은 내해역이 $1.2 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 외해역의 $7.9 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 많은 분포를 보였다(Fig 4).

HNP의 현존량은 서해 경기만의 $2.81 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (Lee and Choi, 2000)보다 적었고, 독도 주변해역의 현존량 $3.9 \sim 6.4 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (Cho *et al.*, 1998)보다 비교적 많았다. ANP는 서해 경기만의 $4.18 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (Lee and Choi, 2000)보다 적었다. 제주도 다른 해역의 nano-flagellate 현존량과 비교하면 제주도 문섬 주변해역에서 $0.7 \times 10^3 \sim 9.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (이 등, 2000), 북부 연안역에서의 $8.8 \times 10^3 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (윤 등 1990)를 보여 본 연구의 미소 플랑크톤의 현존량과 비슷하였다.

미소 플랑크톤이 외해역에 비해 내해역에 많은 현존량이 분포하는 이유는 내해역이 육지에서 공급되는 영양염(TIN: 연평균 $6.2 \mu\text{M}$, SiO_2 : 연평균 $11.3 \mu\text{M}$)이 외해역(TIN: 연평균 $4.4 \mu\text{M}$, SiO_2 : 연평균 $10.4 \mu\text{M}$)에 비해 원활하고 또한 수심이 10m 이내로 수직 혼합이 활발하며 연 평균수온도 1°C 높아 영양염 섭취 및 광합수에 유리하기 때문이라고 생각된다.

3.1.3. 소형 플랑크톤의 현존량

소형 플랑크톤(MP)의 현존량은 $1 \sim 270 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (연평균 $13.1 \pm 29.5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$)의 분포를 보였고, 월별 평균 현존량은 3월에 $1.1 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 가장

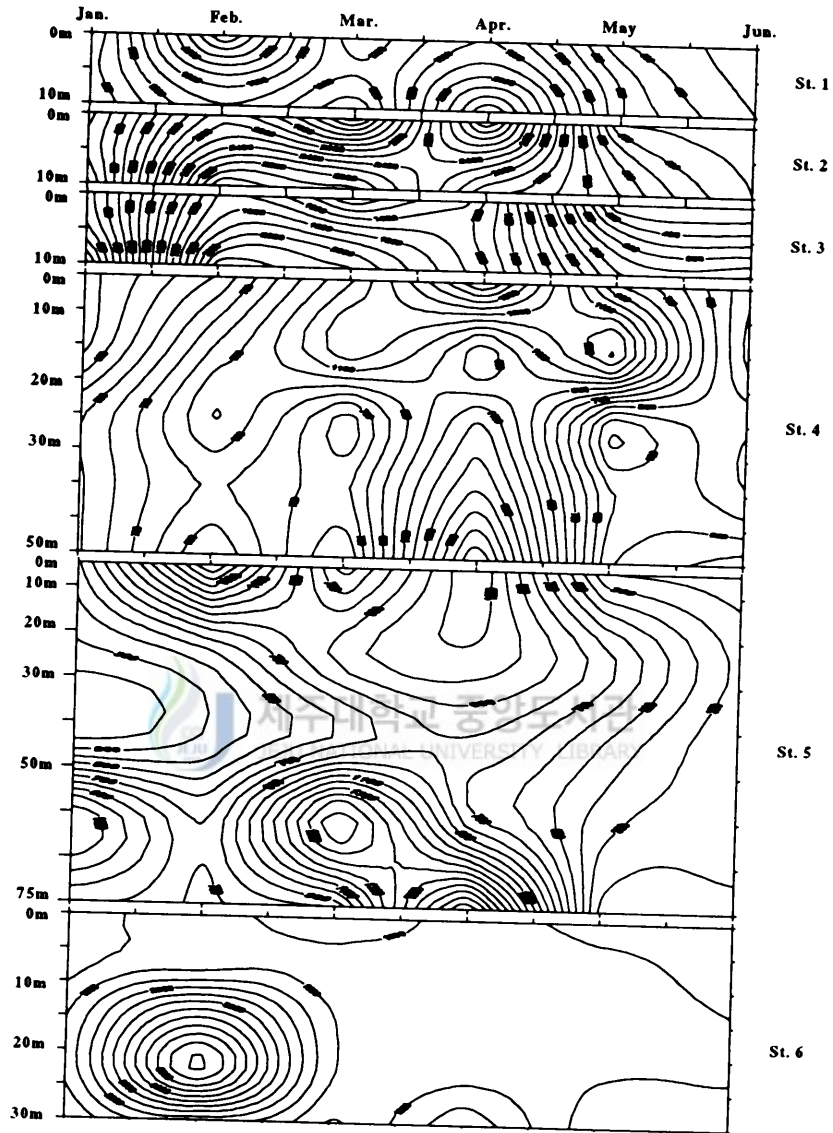


Fig 4. Temporal and spatial distribution of autotrophic nano plankton (ANP) abundance (cells ml^{-1}) in the Chungmoon coastal waters of Cheju from January 2000 to June 2000.

많았다. 해역별 분포는 내해역이 $14.3\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 로 외해역의 $12.7\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 보다 많았다(Fig 5).

MP의 평균 현존량을 제주도 다른 해역과 비교하면 해안선 주변의 2~1300 $\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (이 등 1989)와 문섬 주변의 2~3900 $\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ (이 등 2000)에 비해 다소 적은 현존량을 보였다. MP의 현존량 또한 미소플랑크톤과 같이 외해역에 비해 상대적으로 내해역이 높았는데, NP와 마찬가지로 영양염과 수심 그리고 연평균 수온과 관련이 있다고 생각된다. 특히 N/P값은 자연상태에서 N:P ratio 16:1을 기준으로 일반적으로 담수역에서는 높아 P가 제한요인으로 작용하고, 해양에서는 N가 제한요인으로 작용한다. 조사해역은 화순천과 중문천에서 유입되는 담수의 영향으로 영양염류의 N/P의 값이 외해역(13.8)에 비해서 내해역(21.3)이 상당히 높기 때문에, 해양에서의 제한인자인 N의 공급이 원활한 내해역에서 미소 플랑크톤과 소형플랑크톤의 현존량이 많다고 생각된다.

3.2. 크기별 생물량 동태특성

3.2.1. Chlorophyll a 농도

조사기간중 총 Chl-a 농도는 $0.22 \sim 3.20\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $0.81 \pm 0.52\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)이었다(Table 2). 월별 분포는 6월에 $0.54\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 7월에 $0.81\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 높았다. 내해에서의 연평균은 $0.89\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 외해역의 $0.78\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 비교적 높았다.

극미소 플랑크톤(cyanobacteria)의 Chl-a 농도는 $0.03 \sim 2.45\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $0.27 \pm 0.32\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)이었다. 내해에서의 연평균은 $0.31\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 외해의 $0.25\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 비교적 높은 값을 보였다. 월 평균 구성비율은 11월에 전체의 70%를 차지하여 가장 높았다(Fig. 6). 미소 플랑크톤(nanoplankton)의 Chl-a 농도는 $0.02 \sim 1.69\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $0.20 \pm 0.19\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)이었다. 내해에서의 연평균은 $0.21\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 외해역의 평균 Chl-a 농도 $0.19\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 비교적 높은 값을 보였다. 월 평균 구성비율은 2월에 전체의 50%를 차지하여 가장 높았다. 소형 플랑크톤(microplankton)의 Chl-a 농도는 $0.09 \sim 1.93\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $0.35 \pm 0.31\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)이었다. 내해에서의 연평균은 $0.37\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 외해역의 $0.34\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 비교적 높은 값을 보였다. 월 평균 구성비율은 7월에 전체의 73%로 가장 높았다.

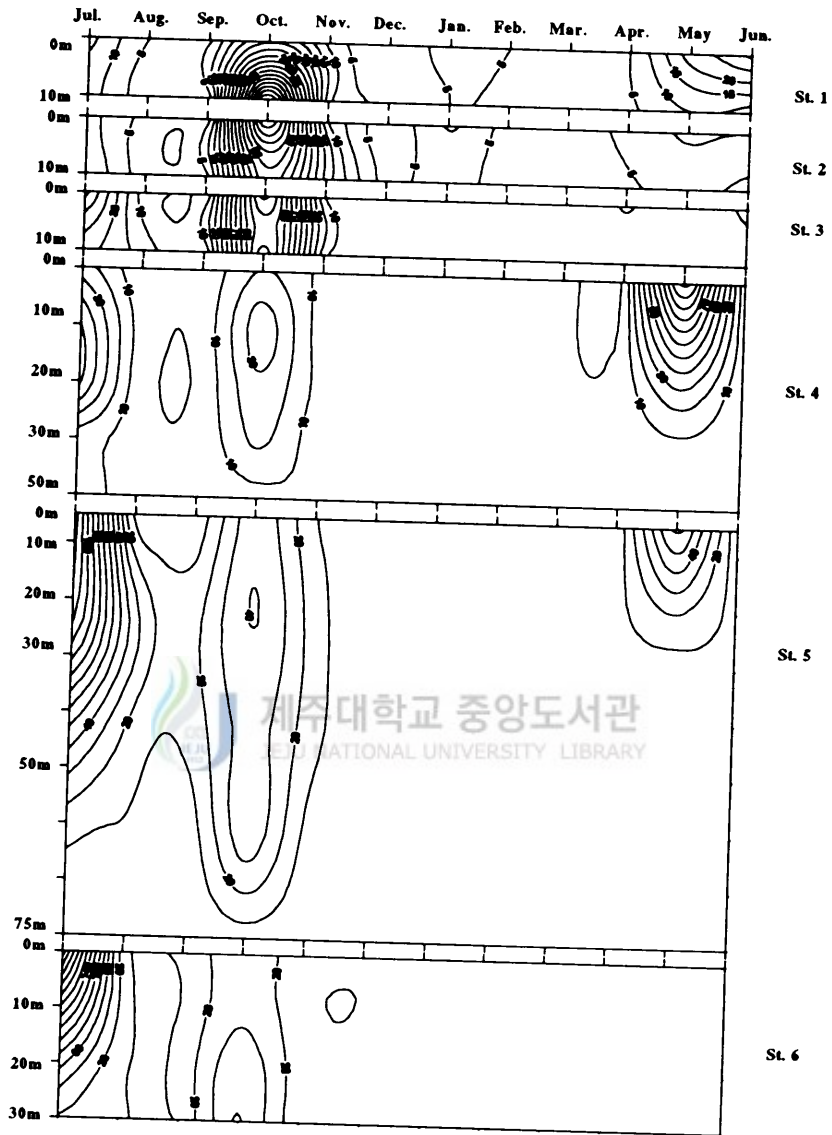


Fig 5. Temporal and spatial distribution of micro-plankton abundance (cells ml^{-1}) in the Chungmoon coastal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.

Table 2. Size fractionated chlorophyll *a* concentration in the Choongmoon costal waters of Cheju from June 1999 to July 2000. (unit: $\mu\text{g}/\ell$)

Size Fraction of Plankton	Location	Whole Range	Annual Mean
Pico-fraction	Total	0.03~2.45	0.27(32.9%)
	Inner sea	0.03~2.26	0.31
	Outer sea	0.03~2.45	0.25
Nano-fraction	Total	0.02~1.69	0.20(24.4%)
	Inner sea	0.02~1.07	0.21
	Outer sea	0.09~1.69	0.19
Micro-fraction	Total	0.09~1.93	0.35(42.7%)
	Inner sea	0.09~1.36	0.37
	Outer sea	0.09~1.93	0.34
Total sum	Total	0.22~3.20	0.81(100%)
	Inner sea	0.22~2.82	0.89
	Outer sea	0.24~3.20	0.78

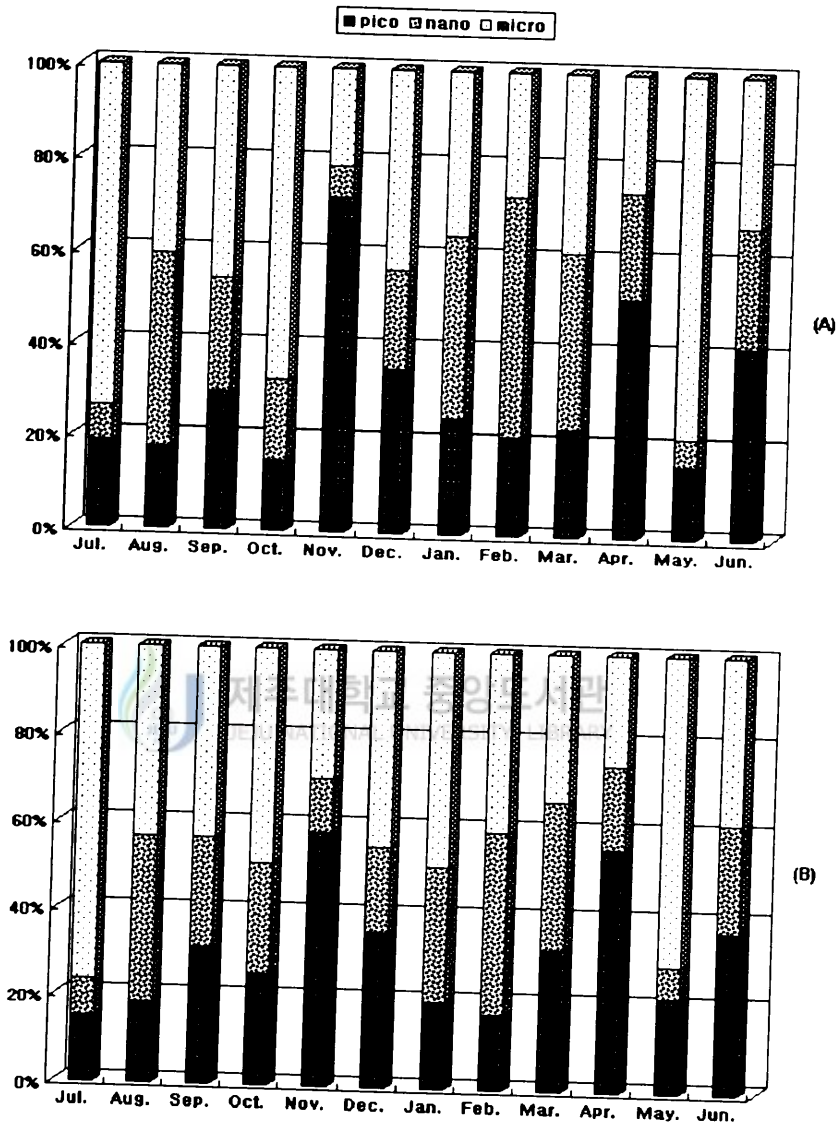


Fig 6. Percentage contribution (A: Inner sea, B: Outer sea) of size fractionated chlorophyll *a* concentration in the Chungmoon coastal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.

조사기간중 총 Chl-*a* 농도를 제주도 주변해역에서 보고된 Chl-*a* 값의 분포와 비교해 보면, 제주도 남부의 $0.12 \sim 1.51 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (좌와 이, 2000), 제주도 주변해역의 $0.45 \sim 2.95 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (이 등, 1989), 제주도 북부 연안역의 $0.10 \sim 1.23 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (최 등, 1991), 동부 연안역 $0.21 \sim 2.12 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (이 등, 1993), 서부 연안역 $0.17 \sim 1.06$ (최 등, 1994)로 약간의 차이는 있지만, 평균값의 범위에서는 비슷한 분포를 보이고 있다.

Lee and Choi는 서해 경기만에서 $20 \mu\text{m}$ 이하 크기의 플랑크톤의 Chl-*a* 농도가 1월에 73%로 높은 점유율을 보이는데 이는 본조사의 극미소·미소 크기의 Chl-*a* 농도가 동계에 높은 점유율을 보이는 것과 일치했다.

극미소 크기의 Chl-*a* 농도의 경우 황해의 중동부 해역 $0.5 \sim 4.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (조 등, 1994)에 비해 상당히 낮은 분포를 보이고 있으며, 미소 크기의 Chl-*a* 농도의 경우 극미소 크기 보다 낮은 분포를 보였다. 극미소 플랑크톤의 현존량은 Chl-*a* 농도와 내해역과 외해역에서 서로 상반되게 분포한다. 즉, 내해역에서 Chl-*a* 가 외해역보다 높는데 반해, 세포수는 외해역에서 더 높다. 그 원인은 크게 두가지로 첫째는 내해역에서 극미소 플랑크톤의 느린 성장률과 두번째는 미소플랑크톤의 높은 섭식율로 볼 수 있다. 그 이유는 내해역에서의 종속영양성 미소플랑크톤의 현존량 분포가 높게 나타났고, 극미소 플랑크톤과의 단순 상관관계 역시 높은 상관성을 보여, 미소플랑크톤의 섭식으로 인한 극미소 플랑크톤의 현존량 감소로 사료된다. Cho *et al.* (1998)은 독도 주변해역 연구에서 Chl-*a* 농도로 부터 기대되어지는 박테리아의 현존량이 10배 정도 낮은 값을 나타내었는데, 이는 미소플랑크톤의 높은 섭식율에 의해 극미소 플랑크톤의 현존량이 낮게 유지된 것으로 보고한 바 있다.

3.2.2. 탄소량

종속영양성 극미소 플랑크톤(HB)의 탄소량은 $0.16 \sim 279.83 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $18.67 \pm 24.30 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$) 범위를 보였고 (Table 3), 월별 평균 탄소량은 10월에 $0.16 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 적었고, 7월에 $279.83 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균 탄소량은 외해역이 $25.99 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 내해역의 $16.53 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 보다 상당히 높은 분포를 보였다. 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)의 탄소량은 $0.06 \sim 384.00 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ (연평균 $16.79 \pm 36.10 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$)의 범위를 보였고, 월별 평균 탄소량은 1월에 $0.06 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 적었고, 11월에 $384.00 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균 탄소량은 외해역이 $17.66 \mu\text{gC}$

Table 3. Carbon biomass of each size class of plankton in the Choongmun costal waters of Cheju from June 1999 to July 2000. (unit: $\mu\text{g}/\ell$)

Size Class of Plankton	Location	Whole Range	Annual Mean
HB	Total	0.16 ~ 279.83	18.67
	Inner sea	0.27 ~ 66.92	16.53
	Outer sea	0.16 ~ 279.83	25.99
CYAN	Total	0.06 ~ 384.00	16.79
	Inner sea	0.27 ~ 66.92	14.62
	Outer sea	0.16 ~ 279.83	17.66
HNP	Total	0.87 ~ 167.80	15.00
	Inner sea	2.79 ~ 46.13	18.54
	Outer sea	0.87 ~ 167.80	14.11
ANP	Total	2.08 ~ 167.80	18.87
	Inner sea	2.08 ~ 75.50	24.83
	Outer sea	2.37 ~ 167.80	16.48
MP	Total	4.30 ~ 97.20	15.13
	Inner sea	5.10 ~ 53.70	18.32
	Outer sea	4.30 ~ 97.20	17.13

· ℓ^{-1} 로 내해역의 $14.62\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 보다 상당히 높은 분포를 보였다. 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)의 탄소량은 $0.87 \sim 167.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ (연평균 $15.00 \pm 17.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$)의 범위를 보였고, 월별 평균 탄소량은 6월에 $0.87\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고, 2월에 $167.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균 탄소량은 내해역이 $18.54\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 외해역의 $14.11\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 보다 높은 분포를 보였다.

독립영양성 미소 플랑크톤(ANP)의 탄소량은 $2.80 \sim 167.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ (연평균 $18.87 \pm 20.10\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$)의 범위를 보였고, 월별 평균 탄소량은 1월에 $2.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고, 2월에 $167.80\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 분포를 보면 내해역이 $24.83\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 외해역의 $16.48\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 보다 높은 분포를 보였다.

소형 플랑크톤(MP)의 탄소량은 $4.30 \sim 96.70\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ (연평균 $15.13 \pm 15.3\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$)의 범위를 보였고, 월별 평균 탄소량은 3월에 $4.30\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고, 7월에 $96.70\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다. 해역별 평균 탄소량은 내해역이 $18.32\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 로 외해역의 $17.13\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 보다 많았다.

종속영양성 극미소 플랑크톤의 탄소량은 서해 경기만의 $0.9\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$, 독립영양성 극미소 플랑크톤 $0.6\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ (Lee and Choi, 2000)보다 상당히 많았다. 종속영양성 미소 플랑크톤의 탄소량은 서해 경기만의 $14.1\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ 과 유사한 분포를 나타냈고, 독립영양성 극미소 플랑크톤의 탄소량은 경기만의 $25.8\mu\text{gC} \cdot \ell^{-1}$ (Lee and Choi, 2000)보다 적었다.

3.3. 크기별 일차생산력 동태특성

본 조사시기 중 일일 총 일차 생산력은 $14.56 \sim 144.23\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 의 범위로 평균 $79.7\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었다. 월별, 정점별 분포를 보면 1월 정점 1(내해역)에서 $14.56\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 최소치를 보였고, 5월 정점 5(외해역)에서 $144.23\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 최대치를 보였다(Table 4). 크기별 플랑크톤의 구성비율은 소형 플랑크톤이 1월에 정점 5에서 66.44%, 미소 플랑크톤이 5월에 정점 5에서 82.52%, 극미소 플랑크톤이 10월에 정점 1에서 47.44%를 차지하였다(Table 4).

해역별 연간 총 일차생산력은 내해역(정점 1)이 $12\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이고, 외해역(정점 5)이 $54\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 분포를 보이고 있다(Table 4). 크기별 일차생산력은 극미소 플랑크톤은 내해역에서 연간 $5\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이고, 외해역에서 $16\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 분포를 보였다.

Table 4. Seasonal changes in size-fractionated primary production ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$) in the surface water at Stations 1 and 5 in the study area. Percentages of the total production are shown in parentheses.

Month	Station	Primary production			Total
		Micro fraction	Nano fraction	Pico fraction	
October	St.1	10.41 (29.73%)	7.89 (22.54%)	16.61 (47.44%)	35.01
	St.5	42.58 (34.98%)	27.15 (22.30%)	51.50 (42.31%)	121.73
November	St.1	ND	789.0	1545.0	ND
	St.5	ND	1128.0	5544.0	ND
January	St.1	4.57 (31.39%)	3.72 (25.55%)	6.17 (42.38%)	14.56
	St.5	76.42 (66.44%)	21.88 (18.45%)	19.80 (16.69%)	118.6
March	St.1	13.22 (29.97%)	10.99 (24.91%)	19.80 (44.89%)	44.11
	St.5	ND	135.62	83.78	ND
May	St.1	ND	8.57	10.22	ND
	St.5	14.49 (10.05%)	119.02 (82.52%)	10.22 (7.09%)	144.23
Annual production	St.1	3.85 (30.0 %)	3.64 (28.4 %)	5.32 (41.7 %)	12.91
	St.5	19.19 (35.5 %)	18.23 (33.8 %)	16.60 (30.7 %)	54.52

이 등(1989)은 제주도 해안선에서 추정된 일일 총 일차생산력이 $1.31 \sim 117.04 \text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 보고하였고, 이 등(1989)은 제주도 문섬 산호 서식지에서 $32.3 \sim 364.9 \text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 로 보고한 바 있다. 한편, 서해 경기만에서는 $976 \text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (Lee and Choi, 2000), 황해 중동부에서는 $67 \sim 666 \text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (조 등, 1994)로 보고되어, 본 연구의 결과 일일 일차생산력은 서해 경기만 과 중동부 해역보다 상당히 낮은 생산력을 나타내었다.

탄소 고정능력인 광합성효율(photosynthesis rate)은 $0.93 \sim 4.40$ (평균 2.73 ± 1.39) $\text{mgC} \cdot \text{mgchl } a^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 조사되었다(Fig. 7, Appendix III-I). 제주도 내의 다른 해역인 문섬주변이 평균 $10.2 \text{mgC} \cdot \text{mgchl } a^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ (이 등, 2000)로 본 조사 결과가 훨씬 낮았다.

내해역과 외해역에서 극미소 플랑크톤의 생산력은 일일 총일차생산력의 7.09%~47.44%를 보여, 독도 주변해역에서 박테리아의 비율이 8~12%(Cho *et al.*, 1998)인것에 비해 상당히 높은 비율을 차지하고 있었다.

3.4. 환경특성

3.4.1. 물리적 특성



조사기간중 수온은 $13.7 \sim 32.7^\circ\text{C}$ (연평균 $18.2 \pm 3.6^\circ\text{C}$)의 범위를 보였고, 월별 평균은 2월에 13.9°C 로 가장 낮은 값을 보였고, 9월에 23.1°C 의 범위로 가장 높은 값을 보였다(Fig. 8). 해역별 평균 수온은 수심이 낮은 내해역에서 19.0°C 로 외해역의 18.0°C 보다 높았다.

염분은 $29.4 \sim 34.6 \text{psu}$ (연평균 $33.50 \pm 1.75 \text{psu}$)의 범위를 보였고, 월별 평균은 9월에 31.30psu 로 가장 낮았고, 2월에 34.58psu 의 범위로 가장 높았다(Fig. 9). 해역별 평균은 외해역이 33.56psu 로 내해역의 33.37psu 보다 높았다.

조사기간중 연 평균 수온과 염분은 이 등(1999)의 제주도 남부의 연평균 수온 17.4°C ($14.2 \sim 26.6^\circ\text{C}$)보다 다소 높은 분포를 보이며, 연 평균 염분 34.60psu ($30.67 \sim 35.38 \text{psu}$)보다 다소 낮은 분포를 보이고 있다. 하계의 수온($21.01 \pm 1.06^\circ\text{C}$)과 염분($32.77 \pm 0.60 \text{psu}$)은 고온 저염으로, 이러한 현상은 양자강수의 유입으로 해양생태계의 큰 손실을 초래한다(서 등, 1999). 겨울철의 수온($16.14 \pm 1.36^\circ\text{C}$)과 염분($34.46 \pm 0.12 \text{psu}$)은 저온 고염으로, 이러한 현상은 겨울철 대마난류의 확장으로 인한 것으로, 현 등(1997)의 연구에서 쿠

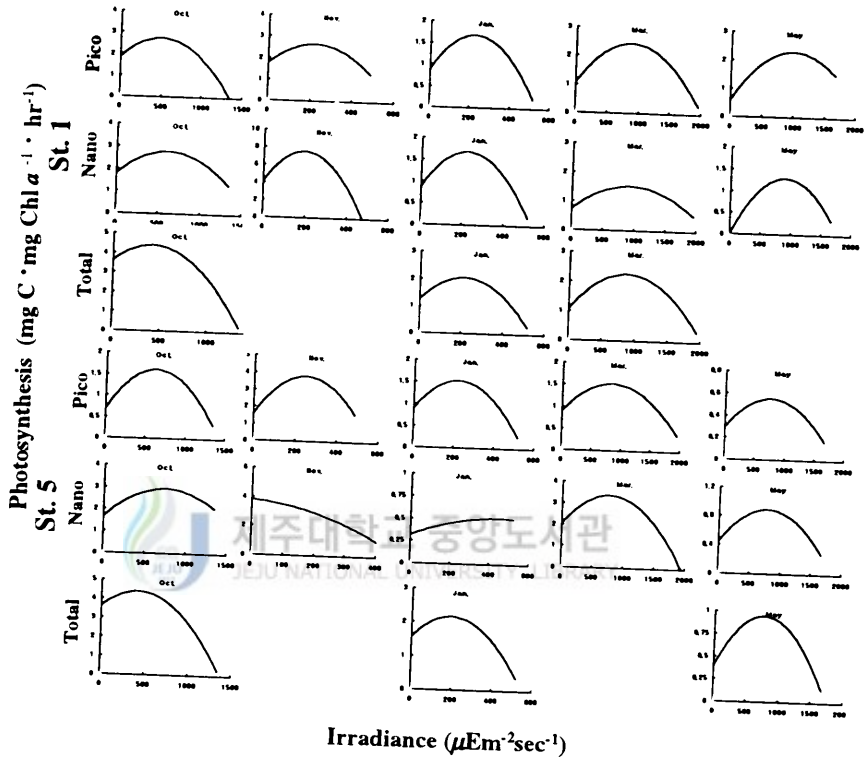


Fig 7. Photosynthesis-irradiance curves at each station of the study area.

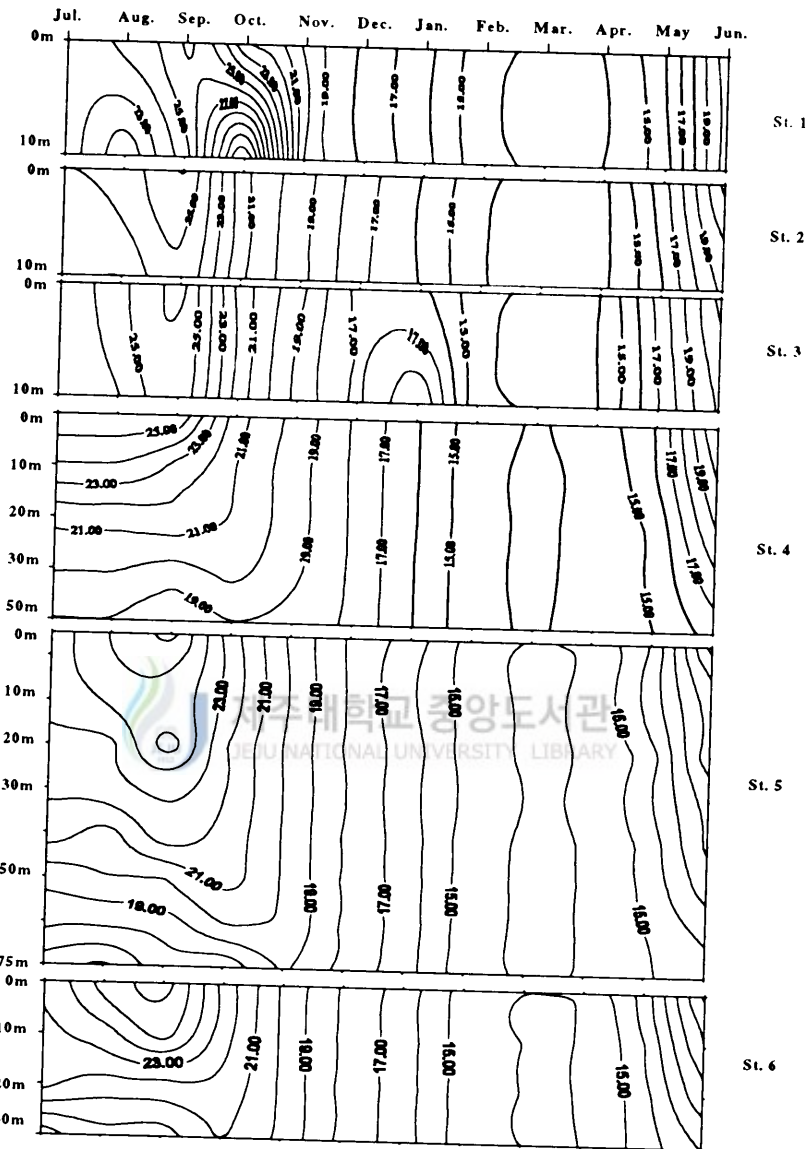


Fig 8. Temporal and spatial distribution of water temperature (°C) in the Chungmoon coastal waters Cheju from July 1999 to June 2000.

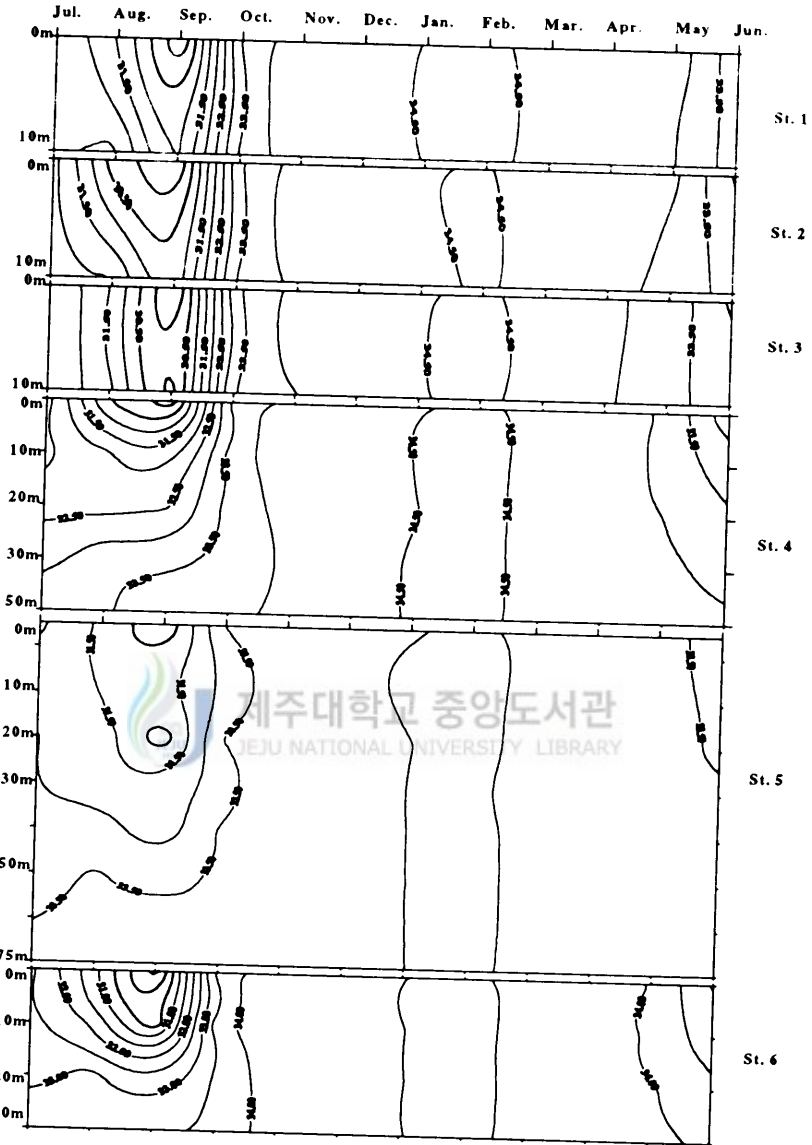


Fig 9. Temporal and spatial distribution of salinity (psu) in the Chungmoon costal waters of Cheju from July 1999 to June 2000.

로시오의 지류인 대마난류수의 특성(34.46psu)과 겨울철 제주도 주변해역의 해수특성이 일치함을 보고한바 있다.

3.4.2. 화학적 특성

영양염류중 인(P)은 $0.004 \sim 2.050 \mu\text{M}$ (연평균 $0.32 \pm 0.26 \mu\text{M}$)의 범위를 보였다. 월별 평균은 9월에 $0.02 \mu\text{M}$ 로 가장 낮았고, 11월에 $0.77 \mu\text{M}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균은 외해역이 $0.32 \mu\text{M}$ 로 내해역의 $0.29 \mu\text{M}$ 보다 다소 높았다. 규소(Si)는 $0.10 \sim 60.06 \mu\text{M}$ (연평균 $10.68 \pm 9.11 \mu\text{M}$)의 범위를 보였다. 월별 평균은 9월에 $2.68 \mu\text{M}$ 로 가장 낮았고, 2월에 $18.18 \mu\text{M}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균은 내해역에서 $11.28 \mu\text{M}$ 로 외해역의 $10.46 \mu\text{M}$ 보다 높았다. 총질소(N)는 $0.07 \sim 84.86 \mu\text{M}$ (연평균 $4.92 \pm 6.82 \mu\text{M}$)의 범위를 보이고 있다. 월별 평균은 11월에 $3.96 \mu\text{M}$ 로 가장 낮았고, 7월에 $8.36 \mu\text{M}$ 로 가장 높았다. 해역별 평균은 내해역에서 $6.16 \mu\text{M}$ 로 외해역의 $4.45 \mu\text{M}$ 보다 높았다. 조사기간중 영양염류의 농도를 최근 보고된 제주도의 다른 해역과 비교하면 제주도 남부해역의 인과 규소는 각각 $0.05 \sim 1.70 \mu\text{M}$, $3.08 \sim 21.86 \mu\text{M}$ 로 비슷한 분포를 보였으나 총질소는 $0.07 \sim 10.58 \mu\text{M}$ 로 본 조사 결과가 상당히 높았다.

3.5. 통계분석

3.5.1. 크기별 상관관계

크기별 플랑크톤 상호간의 단순 상관관계의 경우 내해에서는 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)의 상관계수($r=0.552$), 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 자가영양성 미소조류(ANP)의 상관계수($r=0.493$)가 높은 상관관계를 보였으며, 외해에서는 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)이 높은 상관관계를 나타내었다(Table 5). 이렇게, 크기별 상관관계는 내해역에서 HNP와 CYAN과의 상관관계 이외의 크기별 생물간 상관관계는 없었다.

3.5.2. 요인분석

조사 기간 중 얻어진 전체자료에 의해 요인분석을 한 결과 플랑크톤에

Table 5. Correlation matrix for abundance of each data of
 (A) inner sea and (B) outer sea in the Chungmoon
 coastal waters of Cheju during the period from
 January, 2000 to June, 2000.

(A)

	BACT	CYAN	HNP	ANP	MP
BACT	1.000				
CYAN	0.093	1.000			
HNP	-0.098	0.552	1.000		
ANP	-0.114	0.493	0.410	1.000	
MP	-0.163	-0.180	0.221	-0.365	1.000

(B)

	BACT	CYAN	HNP	ANP	MP
BACT	1.000				
CYAN	-0.086	1.000			
HNP	-0.093	0.005	1.000		
ANP	-0.008	-0.008	0.585	1.000	
MP	0.133	0.012	-0.222	-0.188	1.000

영향을 미치는 각각의 요인들을 분류해 내었다(Table 6). 그 결과 전체 조사해역 중 내해역과 외해역으로 부터 각각 3개의 요인을 추출할 수 있었는데, 내해역의 제1요인은 동계(TEMP = -0.888, SAL = 0.939)에 소형 플랑크톤 현존량의 감소(MP = -0.693)에 따른 규소의 증가(Si=0.748), 제2요인은 인의 증가(P = 0.623)에 따른 독립 및 종속영양성 미소 플랑크톤과 독립영양성 극미소 플랑크톤의 현존량 증가(ANP = 0.767, HNP = 0.793, CYAN = 0.828), 제 3요인은 인의 감소(P= -0.423)에 따른 종속영양성 극미소 플랑크톤(HB = 0.939)을 나타내었다. 외해역의 제 1요인은 동계(TEMP = -0.764, SAL = 0.590)에 규소와 질소의 증가(SI=0.705, TIN=0.884)에 따른 독립영양성 극미소 플랑크톤의 현존량 증가 (CYAN = 0.858)였으며, 2요인은 겨울철(TEMP = -0.746, SAL = 0.590) 독립·종속영양성 미소 플랑크톤(ANP = 0.888, HNP = 0.687)의 현존량 증가를 나타내었다.

이상의 결과는 조사기간중 중문 해역에서 물리·화학적 요소의 변화에 따른 크기별 플랑크톤의 변화를 설명할수 있다. 따라서, 중문 해역의 생태계의 특성은 동계에 소형플랑크톤(MP)의 감소, 영양염류(Si, P, N)의 증가와 그로인한 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)의 대발생이 특징적인 것으로 분석되었다.



4. 결론

해역별로 크기별 현존량과 Chl-*a* 농도를 비교해보면, 극미소 플랑크톤을 제외한 미소플랑크톤과 소형플랑크톤은 내해역의 현존량과 Chl-*a* 농도가 외해역에 비해 높은 분포를 보였다. 극미소 플랑크톤의 현존량은 Chl *a* 농도와 내해역과 외해역에서 서로 상반되게 분포한다. 즉, 내해역에서 Chl *a* 가 외해역보다 높는데 반해, 개체수는 외해역의 개체수가 더 높다. 그 원인은 크게 두가지로 내해역에서 극미소 플랑크톤의 느린 성장율과 미소플랑크톤의 높은 섭식율로 볼수있는데, 연구기간중 종속영양성 미소플랑크톤의 현존량 분포가 내해역에서 높게 나타났고, 극미소 플랑크톤과의 단순 상관관계 역시 높은 상관성을 보여, 미소플랑크톤의 섭식으로 인한 극미소 플랑크톤의 현존량 감소로 사료된다. 탄소량의 해역별 분포역시 현존량과 같이 미소 플랑크톤과 소형 플랑크톤이 내해역에서 높은 분포를 보였고, 극미소 플랑크톤은 외해역에서 높은 분포를 보였다. 크기별 일차생산력은 극미소 플랑크톤 구성 비율은 내해역에서 41.7%, 미소 플랑크톤은 28.4%, 소형 플랑크톤은 30.0%의 비율을 보여, 가장 작은 크기인 극미소 플랑크톤의 생산력이 가장 큰 것으로 조사되었으며, 외해역은 극미소 플랑크톤이

Table 6. Varimax rotated factor matrix among abiotic and biotic parameters determined in the Chungmoon costal waters of Cheju during the period from January, 2000 to June, 2000.

INSHORE				OFFSHORE			
FACTOR				FACTOR			
PARA	1	2	3	PARA	1	2	3
TEMP	-0.888	-0.192	0.202	TEMP	-0.533	-0.746	0.008
SAL	0.939	-0.169	-0.041	SAL	0.687	0.590	0.049
SI	0.749	0.324	0.121	SI	0.705	0.196	0.461
P	0.434	0.623	-0.423	P	0.343	0.05	0.820
TIN	0.469	-0.183	0.061	TIN	0.884	-0.107	-0.117
MP	-0.693	-0.132	-0.153	MP	0.086	-0.264	-0.860
ANP	0.499	0.767	-0.253	ANP	-0.016	0.888	0.051
HNP	-0.436	0.793	-0.045	HNP	-0.161	0.678	-0.007
CYAN	0.011	0.828	0.201	CYAN	0.858	-0.115	0.140
BACT	0.138	0.013	0.939	BACT	0.006	0.111	-0.261
VA	3.557	2.512	1.252	VA	2.920	2.301	1.730
PC.CA	35.7	25.1	12.5	PC.CA	29.2	23.0	17.3
CUMM	35.7	60.2	72.7	CUMM	29.2	52.2	59.5

PARA ; Parameter, VA ; Variance explained by rotated loadings,
 PC.VA ; Percent of variance, COMM. ; Cummulative percent of variance
 TEMP ; Water temperature, SAL ; Salinity, SI ; Silicate, P ; Phosphate,
 TIN ; Total nitrogen, MP ; micro-plankton, ANP ; Autotrophic nanoplankton
 HNP ; Heterotrophic nanoplankton, CYAN ; Cyanobacteria, BACT ; Bacteria

30.7%, 미소플랑크톤이 33.8%, 소형 플랑크톤이 35.5%로 조사되어, 가장 큰 크기의 소형 플랑크톤의 생산력이 큰 것으로 조사되었다. 크기별·특성별 생물 상호간의 단순 상관관계의 경우 내해에서는 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)의 상관계수($r=0.552$), 독립영양성 극미소 플랑크톤(CYAN)과 자가영양성 미소조류(ANP)의 상관계수($r=0.493$)가 높은 상관관계를 보였으며, 외해에서는 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)과 종속영양성 미소 플랑크톤(HNP)이 높은 상관관계를 보였고, 다른 생물군간의 상관관계는 나타나지 않았다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

5. 참고문헌

- 서해림, 조양기, 서호영, 김대환, 1999. 1996년 제주도에 나타난 대형저서동물의 대량폐사 : 물리해양학적 요인. 한국환경생물학회지, 17: 175—182
- 심재형, 신윤근, 조병철, 1993. 만경·동진강 하구에서의 박테리아 및 식물플랑크톤의 역할과 상호관계. 한국해양학회지, 28: 107—113
- 윤양호, 노홍길, 김영기, 1990. 제주도 북방 함덕연안해역에 있어서 춘·하계 식물성 무각편모조류의 동태. 제주대 해양연구 보고, 14: 9—24
- 이준백, 좌종헌, 강동우, 고유봉, 오봉철, 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성: II. 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력. 한국조류학회지, 15: 37—47
- 이준백, 좌종헌, 고유봉, 최영찬, 1993. 제주도 동부연안역의 생태학적 기초연구(II). 우도주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지, 14: 458—466.
- 이준백, 최영찬, 고유봉, 1989. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10: 62—67.
- 조병철, 강연식, 최중기, 1994. 황해 중동부해역에서 박테리아의 시·공간적 분포의 특성. 한국해양학회지 29: 145—151.
- 좌종헌, 이준백, 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성: I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지, 5: 59—69.
- 최영찬, 문영석, 고유봉, 이준백, 1991. 제주도 북부 연안역의 생물생태학적 기초연구. 제주도 북방 함덕 해역의 화학적 특성. 한국지구과학회지, 12: 38—45.

- 최영찬, 이준백, 고유봉, 1994. 제주도 서부연안역의 생물생태학적 기초연구 (I). 고산주변 연안역의 해수 특성. 제주대 해양연구 보고, 18: 39—48.
- 현경훈, 방익찬, 이제학, 노홍길, 1997. 여름철 동중국해의 수괴분석과 대마난류의 북상경로. 제주대 해양연구 보고, 21: 85—101.
- Caron, D. A., H. G. Dam, P. Kremer, E. J. Lessard, L. P. Madin, T. C. Malone, J. M. Napp, E. R. Peele, M. R. Roman and M. J. Youngbluth, 1995. The contribution of microorganisms to particulate carbon and nitrogen in surface water of the Sargasso Sea near Bermuda. *Deep - Sea Res.*, 42: 943-972.
- Caron, D. A., E. R. Peele, E. L. Lim and M. R. Dennett, 1999. Picoplankton and nanoplankton and their trophic coupling in surface waters of Sargasso Sea, south of Bermuda. *Limnol. Oceanogr.*, 44: 259—272.
- Cho, B. C. and J. H. Shim, 1992. Significance of Estuarine mixing in Distribution of bacterial abundance and production estuarine system of the mankung river and dongjin river, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 27: 154—163.
- Cho, B. C., J. H. Shim and G. H. Hong, 1998. Bacterial Abundance and Production in July 1997 in the vicinity of Tokdo, East Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 33: 205—211.
- Eppley, R. W., W. G. Harrison, S. W. Chisholm and E. Stewart, 1977. Particulate organic matter in surface waters off southern California and its relationship to phytoplankton. *J. Mar. Research.* 35: 671—696.

- Fenchel, T. 1988. Marine planktonic food chains. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 19: 19—38.
- Hass, W. L., 1982. Improved epifluorescence microscopy for observing planktonic micro-organisms. *Ann. Inst. oceanogr., Paris*, 58: 261—266.
- Lee, W. J and J. K. Choi, 2000. The role of heterotrophic protists in the planktonic community of Kyeonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 35:46—56
- Parsons, T.R., Y. Maita and C. M. Lalli, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Pomeroy, L.R., 1974. The ocean's food web, a changing paradigm. *Bioscience* 24: 499—504.
- Porter, K. G. and Y. S. Feig, 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 943—948.
- Sieburth, J. M., 1979. Sea Microbes. Oxford University Press, N.Y. 491pp.
- Vrede, K., T. Vrede, A. Isaksson and A. Karlsson, 1999. Effects of nutrients (phosphorous, nitrogen, and carbon) and zooplankton on bacterioplankton and phytoplankton - a seasonal study. *Limnol. Oceanogr.*, 44: 1616—1624.

Abstract

Abundance, carbon biomass, chlorophyll concentration, and primary productivity of each size-fractionated plankton were investigated on the basis of microbial food web at the inshore stations and the offshore stations in Chungmoon coastal waters of Cheju Island from July 1999 to June 2000. Total chlorophyll a concentration ranged from 0.22 to $3.20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ($0.81 \pm 0.52 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) and annual mean showed higher at the inshore of $0.89 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ than at the offshore of $0.79 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. The chlorophyll percentage of each fraction represented that micro-plankton contributed 32.9%, nano-plankton contributed 24.4% and pico-plankton contributed 42.7%. Heterotrophic bacterial (HB) abundance ranged from $8.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ to $1.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$, while cyanobacterial (CYAN) abundance from 0.3×10^3 to $1.9 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$. Autotrophic nano-plankton (ANP) was much higher than heterotrophic nano-plankton (HNP) in terms of abundance and carbon biomass, but they were also most abundant in winter. Annual primary productivity was $12 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ and $54 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ at the inshore and offshore, respectively, of which the composition rates were 30.0%, 28.4%, 41.7% at the inshore and 35.5%, 33.8%, 30.7% at the offshore for micro-, nano-, pico-fraction, respectively. Correlations existed between CYAN and HNP ($r=0.552$) at the inshore, and between HNP and ANP ($r=0.585$) at the offshore based on the abundance. On the other hand, correlations between other size groups were insignificant. From factor analysis, at the inshore the first factor means the increasing of ANP with full of silicate source in the winter, while at the offshore the first factor represents the bloom of CYAN with full of nitrogen source in the winter. In conclusion, the inshore and the offshore show different composition rates of size-fractionated plankton, and CYAN is important taxa in the study area in terms of microbial food web, especially in the winter.

APPENDICES



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

I . Plankton abundance of each size in the study area.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Stn.		Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.
1	CYAN	216000	89200	19600	371000	811	21900	5350	14600	8923	4056
	(cells/ml)	208000	89200	18000	176000	3447	10500	29200	26700	10500	8112
2		160000	59200	16600	548000	2271	10500	8920	63200	24300	ND
		28000	65600	10700	204000	648	10300	49400	87600	20300	ND
3		162000	78700	21500	267000	5475	85100	17000	58400	34000	32448
		162000	48700	17100	401000	2974	ND	15800	ND	21900	34070
4		178000	74600	23900	444000	2028	157000	32800	48600	34100	ND
		51100	11900	34200	322000	2109	36500	8520	24300	70600	3244
5		30800	75000	23100	243000	1946	73000	29200	14600	43000	19468
		22700	33000	160000	ND	ND	194000	16400	82700	66500	9734
5		13500	35000	27000	129000	690	31600	17000	12600	18600	16224
		154000	730000	ND	206000	2595	ND	11300	26700	43800	ND
6		14200	173000	18600	306000	ND	4250	14600	70600	73000	811
		138000	119000	23100	292000	324	4250	14600	7300	59200	48627
6		349000	365000	11500	454000	405	7900	10900	14600	25900	16224
		4800	16200	7098	523000	973	9370	19400	9730	34900	811
6		7800	67600	16000	ND	1946	3040	10900	17000	35200	5678
		48700	486000	7503	383000	1622	4860	20600	26000	17000	2433
6		8100	459000	2230	1920000	1784	1150	21900	19400	40600	3244
		7800	78400	5948	699000	1622	5470	48600	21000	16200	48672
6		7300	64800	18100	292000	1784	3650	20600	19000	ND	ND

Stn.		Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.
1	BP	547800	2660400	359000	972189	464100	1968100	407650	552400	1221077	68944
	(cells/ml)	834800	1682000	174000	402553	1329500	548500	566800	849300	922500	527188
2		730800	1143400	358000	435729	475500	536500	478080	641800	2055700	ND
		684400	1159300	542000	323352	719700	457700	482600	836400	897700	ND
3		711300	1798500	333000	448525	1064900	546900	559000	961600	3346000	551616
		831300	2842900	77000	280026	666450	ND	373200	ND	2388100	549994
4		45400	2106100	92000	378972	268000	463000	526200	778400	1695900	ND
		1388100	1605800	107000	394891	516500	626500	465480	924700	2149400	ND
5		895000	1196900	276000	500054	377000	486000	614800	715400	1177000	ND
		1467000	1670000	341000	ND	ND	450000	335600	967300	1233500	ND
6		452000	946000	406000	315310	198400	5475000	486000	1177400	1401400	146016
		470000	1493700	ND	418405	480075	1050000	636700	2093300	2076200	ND
7		987000	2041400	148000	387541	ND	512750	496400	1649400	2487000	323669
		1691000	2346900	300000	356676	761750	609750	374400	868700	1920800	352467
8		1505000	1328500	8000	469595	819100	649100	281100	1175400	1074100	381264
		518800	1022902	134000	202027	580630	549630	483600	1190270	792100	80309
9		492400	714000	155000	ND	476960	580960	500100	1003000	1204800	172786
		2114000	2122497	176000	347378	707140	475140	636400	11374000	1523000	167919
10		2221000	1947770	ND	606216	619850	1378850	866100	1480600	1889400	313124
		894600	2304052	ND	281378	675530	809530	583400	660000	1183800	81120
11		787200	1501900	235000	444216	653350	531350	441400	784000	ND	ND

Stn.		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun
1	ANP	579	2839	1014	1622	405	101
	(cells/ml)	608	1390	811	2839	811	202
2		324	1926	648	3650	202	162
		162	3425	3082	1622	1014	202
3		648	1723	1297	1622	202	202
		270	2271	2109	1622	811	811
4		162	507	1081	1825	811	324
		162	811	1297	811	1419	270
		486	1014	540	1216	202	486
		486	811	674	1419	405	486
5		486	1014	486	1825	304	135
		486	1622	540	1216	202	135
		135	180	976	1216	811	202
		162	463	540	811	270	162
		1216	507	1784	608	324	324
		1014	1622	946	2028	162	162
6		811	648	811	2028	364	135
		324	811	1460	811	202	115
		324	946	486	1014	1014	324
		811	8112	648	608	588	676
		486	1622	405	2028	162	162



제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Stn.		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun
1	HNP	712	1825	608	1216	608	1521
	(cells/ml)	135	347	405	2028	202	608
2		237	608	162	1622	202	486
		422	1081	811	1419	1419	1014
3		633	1622	486	1419	811	2230
		316	811	324	608	202	811
4		119	304	324	1825	162	648
		158	405	811	202	1419	405
5		79	202	270	202	811	486
		181	463	270	811	202	162
6		277	709	162	608	405	676
		648	1662	243	608	608	270
7		42	108	324	811	608	202
		181	463	540	1216	695	2230
8		198	507	648	811	324	324
		633	1622	135	202	324	324
9		506	1297	270	1216	608	135
		369	946	324	405	202	347
10		369	946	486	608	1825	486
		3164	8112	486	405	135	1487
11		633	1622	1216	579	648	324

Stn.		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.
1	micro	17	5	4	24	8	1	8	5	1	5	23	31
	(cells/ml)	12	1	2	92	11	3	5	4	1	4	10	7
2		12	3	2	85	14	1	11	3	1	7	11	10
		15	2	3	55	23	3	9	1	1	4	7	3
3		64	3	2	130	7	7	5	3	1	11	2	12
		34	16	2	120	12	3	8	4	1	7	5	6
4		24	1	2	21	7	2	5	2	1	1	122	2
		50	5	2	38	4	5	5	1	2	2	66	3
		52	3	1	29	6	2	6	1	2	2	27	1
		15	3	2	23	3	1	5	1	1	2	6	1
		20	2	1	5	9	5	6	1	1	3	7	2
5		125	2	2	40	10	1	4	1	1	2	67	2
		133	13	3	70	6	2	3	2	1	2	10	3
		16	7	2	44	4	3	7	1	1	1	3	7
		13	10	3	41	5	3	3	3	1	2	8	3
		17	2	1	21	10	3	2	1	1	1	2	2
		2	1	1	5	1	8	3	1	1	2	1	1
		274	3	3	37	6	1	3	1	1	20	6	2
6		170	5	1	41	2	1	3	1	1	1	16	1
		66	4	3	62	5	3	6	1	1	4	1	3
		18	2	1	65	4	2	3	2	1	2	2	2

II. Chlorophyll *a* concentration of each size in the study area.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

II. Chlorophyll *a* concentration of each size in the study area.



Stn.		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1	pico	0.220	0.118	0.220	0.308	0.899	0.322	0.102	0.221	0.102	0.442	0.032	0.662
		0.220	0.205	0.118	0.205	0.662	0.102	0.102	0.102	0.205	0.442	0.043	0.323
2		0.118	0.118	0.102	0.205	1.799	0.322	0.205	0.102	0.102	0.339	0.051	0.425
		0.102	0.118	0.102	0.323	1.120	0.221	0.118	0.102	0.102	0.442	0.032	1.977
3		0.205	0.119	0.102	0.205	2.257	0.339	0.118	0.102	0.205	0.442	0.032	0.442
		0.102	0.102	0.102	0.205	1.460	0.221	0.102	0.102	0.102	0.324	0.100	0.102
4		0.102	0.103	0.102	0.322	0.780	0.205	0.102	0.102	0.086	0.442	0.112	0.323
		0.118	0.102	0.102	0.322	0.544	0.118	0.102	0.102	0.205	0.339	0.054	0.544
5		0.339	0.102	0.102	0.322	0.662	0.221	0.102	0.119	0.103	0.442	0.032	0.323
		0.102	0.118	0.103	0.442	0.425	0.323	0.102	0.118	0.205	0.442	0.032	0.323
6		0.102	0.119	0.103	0.323	0.204	0.339	0.102	0.102	0.205	0.102	0.032	0.425
		0.102	0.119	0.221	0.102	0.425	0.323	0.102	0.102	0.118	0.442	0.066	0.307
7		0.102	0.237	0.102	0.307	0.662	0.251	0.102	0.102	0.323	0.221	0.087	0.205
		0.086	0.119	0.102	0.323	0.765	0.221	0.102	0.102	0.219	0.442	0.043	1.210
8		0.086	0.119	0.205	0.102	0.425	0.323	0.102	0.119	0.221	0.339	0.054	0.544
		0.102	0.119	0.102	0.323	0.409	0.221	0.205	0.102	0.323	0.236	0.032	0.425
9		0.102	0.119	0.221	0.102	0.205	0.339	0.102	0.102	0.322	0.221	0.138	0.307
		0.323	0.119	0.102	0.102	0.442	0.221	0.102	0.102	0.221	0.221	0.249	0.307
10		0.442	0.119	0.102	0.102	1.001	0.323	0.102	0.119	0.102	0.339	0.056	0.205
		0.221	0.119	0.205	0.102	1.223	0.221	0.086	0.119	0.322	0.560	0.140	0.425
11		0.220	0.119	0.086	0.457	1.120	0.221	0.102	0.119	0.119	0.221	0.167	2.447

Stn.		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1	pico	0.220	0.118	0.220	0.308	0.899	0.322	0.102	0.221	0.102	0.442	0.032	0.662
		0.220	0.205	0.118	0.205	0.662	0.102	0.102	0.102	0.205	0.442	0.043	0.323
2		0.118	0.118	0.102	0.205	1.799	0.322	0.205	0.102	0.102	0.339	0.051	0.425
		0.102	0.118	0.102	0.323	1.120	0.221	0.118	0.102	0.102	0.442	0.032	1.977
3		0.205	0.119	0.102	0.205	2.257	0.339	0.118	0.102	0.205	0.442	0.032	0.442
		0.102	0.102	0.102	0.205	1.460	0.221	0.102	0.102	0.102	0.324	0.100	0.102
4		0.102	0.103	0.102	0.322	0.780	0.205	0.102	0.102	0.086	0.442	0.112	0.323
		0.118	0.102	0.102	0.322	0.544	0.118	0.102	0.102	0.205	0.339	0.054	0.544
5		0.339	0.102	0.102	0.322	0.662	0.221	0.102	0.119	0.103	0.442	0.032	0.323
		0.102	0.118	0.103	0.442	0.425	0.323	0.102	0.118	0.205	0.442	0.032	0.323
6		0.102	0.119	0.103	0.323	0.204	0.339	0.102	0.102	0.205	0.102	0.032	0.425
		0.102	0.119	0.221	0.102	0.425	0.323	0.102	0.102	0.118	0.442	0.066	0.307
7		0.102	0.237	0.102	0.307	0.662	0.251	0.102	0.102	0.323	0.221	0.087	0.205
		0.086	0.119	0.102	0.323	0.765	0.221	0.102	0.102	0.219	0.442	0.043	1.210
8		0.086	0.119	0.205	0.102	0.425	0.323	0.102	0.119	0.221	0.339	0.054	0.544
		0.102	0.119	0.102	0.323	0.409	0.221	0.205	0.102	0.323	0.236	0.032	0.425
9		0.102	0.119	0.221	0.102	0.205	0.339	0.102	0.102	0.322	0.221	0.138	0.307
		0.323	0.119	0.102	0.102	0.442	0.221	0.102	0.102	0.221	0.221	0.249	0.307
10		0.442	0.119	0.102	0.102	1.001	0.323	0.102	0.119	0.102	0.339	0.056	0.205
		0.221	0.119	0.205	0.102	1.223	0.221	0.086	0.119	0.322	0.560	0.140	0.425
11		0.220	0.119	0.086	0.457	1.120	0.221	0.102	0.119	0.119	0.221	0.167	2.447

Stn.		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1	nano	0.118	0.340	0.103	0.307	0.102	0.205	0.220	0.323	0.119	0.441	0.102	0.205
		0.118	0.459	0.102	0.307	0.118	0.205	0.205	0.220	0.204	0.102	0.102	0.252
2		0.102	0.222	0.102	0.205	0.102	0.102	0.221	0.339	0.511	0.102	0.102	0.102
		0.102	0.222	0.102	0.220	0.102	0.086	0.102	0.339	0.291	0.220	0.102	0.205
3		0.119	0.340	0.102	0.306	0.221	0.205	0.205	0.323	0.102	0.102	0.102	1.074
		0.102	0.237	0.102	0.307	0.102	0.118	0.205	0.221	0.102	0.221	0.019	0.597
4		0.102	0.340	0.102	0.205	0.205	0.118	0.102	0.221	0.102	0.118	0.102	0.307
		0.102	0.339	0.102	0.188	0.102	0.205	0.102	0.221	0.102	0.102	0.102	1.687
		0.119	0.237	0.102	0.204	0.102	0.102	0.205	0.339	0.102	0.102	0.102	0.205
		0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.086	0.205	0.221	0.102	0.119	0.102	0.102
		0.102	0.102	0.086	1.364	0.205	0.205	0.102	0.323	0.102	0.102	0.102	0.205
5		0.119	0.561	0.086	0.205	0.102	0.102	0.205	0.119	0.323	0.221	0.102	0.205
		0.119	0.561	0.102	0.102	0.102	0.102	0.221	0.323	0.221	0.119	0.102	0.102
		0.102	0.339	0.204	0.204	0.102	0.102	0.323	0.339	0.221	0.102	0.102	0.102
		0.102	0.103	0.102	0.205	0.102	0.102	0.205	0.221	0.222	0.102	0.102	0.102
		0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.322	0.409	0.119	0.102	0.205
		0.102	0.118	0.102	0.204	0.102	0.102	0.102	0.221	0.307	0.102	0.102	0.102
6		0.339	0.339	0.102	0.102	0.102	0.205	0.102	0.221	0.102	0.102	0.102	1.671
		0.324	0.458	0.102	0.221	0.205	0.205	0.220	0.323	0.511	0.102	0.194	0.205
		0.221	0.339	0.086	0.205	0.220	0.205	0.102	0.205	0.322	0.102	0.102	0.205
		0.102	0.119	0.102	0.205	0.118	0.205	0.220	0.323	0.102	0.102	0.102	0.205

Stn.		Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
1	micro	0.679	0.442	0.205	0.560	0.205	0.323	0.221	0.119	0.307	0.323	0.205	0.663
		0.679	0.221	0.220	0.899	0.544	0.221	0.205	0.221	0.425	0.339	0.221	0.425
2		0.545	0.323	0.205	1.018	0.442	0.221	0.221	0.118	0.102	0.102	0.221	0.425
		0.442	0.221	0.102	1.342	0.205	0.425	0.102	0.118	0.221	0.221	0.307	0.442
3		0.899	0.340	0.205	1.239	0.339	0.323	0.102	0.221	0.086	0.102	0.392	0.442
		0.560	0.222	0.205	1.357	0.662	0.339	0.205	0.119	0.221	0.102	0.102	0.662
4		0.899	0.323	0.102	0.662	0.323	0.323	0.205	0.221	0.323	0.442	0.221	0.323
		0.442	0.560	0.205	0.662	0.205	0.441	0.102	0.221	0.323	0.102	0.103	0.442
5		0.679	0.324	0.220	0.442	0.323	0.307	0.102	0.221	0.102	0.221	0.903	0.662
		0.205	0.323	0.102	0.221	0.322	1.194	0.102	0.221	0.221	0.118	0.581	0.545
6		0.205	0.103	0.102	0.205	0.102	0.205	0.220	0.221	0.323	0.221	0.102	0.426
		1.799	0.102	0.102	0.323	0.323	0.510	0.102	0.323	0.221	0.119	0.205	0.324
7		1.697	0.561	0.323	0.323	0.442	0.307	0.580	0.323	0.205	0.221	0.103	0.442
		0.339	0.544	0.323	0.441	0.323	0.221	0.853	0.221	0.307	0.102	0.119	1.040
8		0.221	0.103	0.220	0.543	0.323	0.220	0.205	0.323	0.221	0.102	0.102	1.104
		0.205	0.221	0.086	0.322	0.323	0.205	0.220	0.339	0.307	0.102	0.102	0.441
9		0.119	0.102	0.102	0.188	0.221	0.102	0.220	0.339	0.221	0.102	0.086	0.205
		1.816	0.221	0.205	0.322	0.323	0.205	0.220	0.236	0.119	0.119	0.205	0.425
10		1.934	0.205	0.221	0.544	0.506	0.102	0.220	0.221	0.119	0.102	1.091	0.544
		0.679	0.426	0.205	0.662	0.442	0.307	0.323	0.221	0.102	0.102	0.205	1.104
11		0.221	0.221	0.205	1.443	0.221	0.220	0.323	0.221	0.119	0.102	0.102	0.544

III. Row data of Size-fractionated ^{14}C measurement in the study area.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 1	D-1	87.14	184.87					
(October)	L-1	829.83	1760.54	1490.01	11057107.42	1.25	0.21	6.07
TOTAL	L-2	574.80	1219.48					
	1점-1	817.60	1734.59	1678.85	12656966.21	1.43		6.95
	1점-2	765.05	1623.11					
	2점-1	510.12	1082.25	1025.13	7118661.65	0.80		3.91
	2점-2	456.27	968.01					
	3점-1	246.07	522.05	512.43	2775083.67	0.31		1.52
	3점-2	237.00	502.81					
	4점-1	214.00	454.02	400.98	1830823.69	0.21		1.01
	4점-2	164.00	347.94					
NANO	D-1	87.31	185.23					
	L-1	626.53	1329.23	1340.28	9785542.31	0.37	0.10	3.63
	L-2	636.95	1351.33					
	1점-1	612.29	1299.01	1314.84	9570034.99	0.29		2.82
	1점-2	627.21	1330.67					
	2점-1	581.04	1232.72	1157.45	8236639.59	0.31		2.98
	2점-2	510.09	1082.19					
	3점-1	334.62	709.92	595.93	3479391.81	0.16		1.60
	3점-2	227.16	481.94					
	4점-1	162.97	345.75	481.53	2510237.94	0.17		1.68
	4점-2	290.97	617.31					
PICO	D-1	72.00	152.75					
	L-1	340.10	721.55	915.30	6460276.89	0.73	0.22	3.31
	L-2	522.75	1109.05					
	1점-1	462.30	980.80	977.85	6990237.97	0.79		3.58
	1점-2	459.52	974.90					
	2점-1	365.67	775.79	802.91	5508108.37	0.62		2.82
	2점-2	391.23	830.02					
	3점-1	209.98	445.49	390.65	2015505.73	0.23		1.03
	3점-2	158.29	335.82					
	4점-1	162.65	345.07	267.65	973377.74	0.11		0.50
	4점-2	89.66	190.22					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 5	D-1	97.41	206.66					
(October)	L-1	511.11	1084.35	1053.59	7165026.47	0.81	0.10	7.91
TOTAL	L-2	482.11	1022.83					
	1점-1	447.17	948.70	943.27	6231706.39	0.70		6.88
	1점-2	442.05	937.84					
	2점-1	424.42	900.44	898.64	5854160.47	0.66		6.46
	2점-2	422.73	896.85					
	3점-1	412.37	874.87	2361.59	18230703.83	2.05		20.13
	3점-2	378.93	3848.31					
	4점-1	247.39	524.85	494.10	2431747.52	0.27		2.68
	4점-2	218.40	463.35					
NANO	D-1	69.37	147.17					
	L-1	284.48	603.54	656.88	4312118.26	0.16	0.09	1.88
	L-2	334.76	710.22					
	1점-1	429.30	910.79	910.38	6456690.38	0.41		4.79
	1점-2	428.91	909.96					
	2점-1	390.98	829.49	771.09	5278373.77	0.24		2.81
	2점-2	335.93	712.70					
	3점-1	222.53	472.11	518.52	3141609.24	0.12		1.35
	3점-2	266.28	564.93					
	4점-1	235.20	498.99	498.31	2970650.13	0.23		2.71
	4점-2	234.56	497.63					
PICO	D-1	95.43	202.46					
	L-1	272.21	577.51	542.41	2875971.99	0.32	0.22	1.47
	L-2	239.12	507.31					
	1점-1	254.69	540.34	533.14	2797537.20	0.32		1.43
	1점-2	247.90	525.94					
	2점-1	276.73	587.10	573.04	3135058.05	0.35		1.60
	2점-2	263.47	558.97					
	3점-1	190.54	404.24	451.97	2110829.00	0.24		1.08
	3점-2	235.53	499.69					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate	
St. 1 (November)	D-1	80.7	171.21						
	L-1	1331.75	2825.40	2922.79	15750031.85	1.77	0.629	2.82	
	TOTAL	L-2	1423.56	3020.18					
	1점-1	1133.75	2405.33	2394.85	12728094.57	1.43		2.28	
	1점-2	1123.87	2384.37						
	2점-1	767.84	1629.02	1629.02	8344527.67	0.94		1.49	
	2점-2								
	3점-1	385.7	818.29	688.15	2958971.41	0.33		0.53	
	3점-2	263.02	558.01						
	4점-1	189.73	2662.77	1556.77	7930934.66	0.89		1.42	
4점-2	212.47	450.77							
NANO	D-1	75.97	161.18						
	L-1	111.2	235.92	1152.71	5675551.49	0.49	0.102	4.76	
	L-2	975.46	2069.50						
	1점-1	1088.87	2310.11	2265.82	12047006.53	1.36		13.30	
	1점-2	1047.12	2221.54						
	2점-1	550.88	1168.73	1177.68	5818484.65	0.66		6.42	
	2점-2	559.32	1186.64						
	3점-1	268.72	570.11	612.19	2581601.15	0.29		2.85	
	3점-2	308.39	654.27						
	4점-1	135.43	287.32	295.24	767370.12	0.09		0.85	
4점-2	142.89	303.15							
PICO	D-1	68.4	145.12						
	L-1	174.07	369.30	382.95	1361386.73	0.15	0.322	0.48	
	L-2	186.94	396.61						
	1점-1	282.04	3958.29	3767.21	20732891.12	2.33		7.25	
	1점-2	254.81	3576.13						
	2점-1	189.77	2663.33	2563.12	13840674.98	1.56		4.84	
	2점-2	175.49	2462.92						
	3점-1	116.76	1638.67	1529.34	7923306.36	0.89		2.77	
	3점-2	101.18	1420.01						
	4점-1	88.57	1243.04	1296.72	6591777.91	0.74		2.31	
4점-2	96.22	1350.40							

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 5								
(November)	D-1	68.97	146.32					
TOTAL	L-1	565.39	1199.51	1276.06	6466602.13	0.73	0.75	0.97
	L-2	637.55	1352.61					
	1검-1	607.47	1288.79	1361.96	6958306.77	0.78		1.05
	1검-2	676.45	1435.13					
	2검-1	377.33	800.53	747.49	3441082.40	0.39		0.52
	2검-2	327.33	694.45					
	3검-1	175.71	372.78	361.17	1229747.35	0.14		0.19
	3검-2	164.76	349.55					
	4검-1	105	222.76	234.94	507248.77	0.06		0.08
	4검-2	116.48	247.12					
NANO								
	D-1	83.77	177.72					
	L-1	687.49	1458.56	1259.74	6193486.86	0.70	0.102	6.84
	L-2	500.07	1060.93					
	1검-1	511.4	1084.97	1058.21	5039881.47	0.57		5.56
	1검-2	486.17	1031.44					
	2검-1	291.94	619.37	584.91	2330709.13	0.26		2.57
	2검-2	259.45	550.44					
	3검-1	139.63	296.23	281.63	594745.24	0.07		0.66
	3검-2	125.86	267.02					
	4검-1	154.04	326.81	258.80	464077.37	0.05		0.51
	4검-2	89.93	190.79					
PICO								
	L-1	162.32	344.37	1394.94	7172352.54	0.81	0.323	2.50
	L-2	174.25	2445.51					
	1검-1	174.9	2454.64	2427.48	13082588.52	1.47		4.56
	1검-2	171.03	2400.32					
	2검-1	131.77	1849.33	1845.33	9750353.25	1.10		3.40
	2검-2	131.2	1841.33					
	3검-1	98.38	1380.72	1423.94	7338338.68	0.83		2.56
	3검-2	104.54	1467.17					
	4검-1	83.53	1172.30	1167.67	5871448.23	0.66		2.05
	4검-2	82.87	1163.04					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 1	D-1	44.24	47.99					
(January)	L-1	694.67	753.60	838.41	4524369.32	0.51	0.54	0.94
TOTAL	L-2	851.03	923.23					
	1ㄱ-1	465.10	504.56	638.55	3380345.52	0.38		0.70
	1ㄱ-2	712.13	772.54					
	2ㄱ-1	552.90	599.80	646.51	3425923.91	0.39		0.71
	2ㄱ-2	639.01	693.22					
	3ㄱ-1	336.37	364.91	333.37	1633494.73	0.18		0.34
	3ㄱ-2	278.23	301.83					
	4ㄱ-1	200.60	217.62	198.40	860928.60	0.10		0.18
	4ㄱ-2	165.17	179.18					
NANO	D-1	39.24	42.57					
	L-1	427.67	463.95	418.85	2153827.32	0.04	0.22	0.19
	L-2	344.52	373.75					
	1ㄱ-1	480.33	521.08	507.72	2662516.92	0.15		0.68
	1ㄱ-2	455.70	494.36					
	2ㄱ-1	401.09	435.12	477.86	2491597.96	0.11		0.50
	2ㄱ-2	479.89	520.60					
	3ㄱ-1	200.40	217.40	257.06	1227760.12	0.05		0.23
	3ㄱ-2	273.52	296.72					
	4ㄱ-1	187.34	203.23	199.28	897037.36	0.06		0.29
	4ㄱ-2	180.06	195.34					
PICO	L-1	344.30	373.51	395.02	1778621.63	0.20	0.10	1.96
	L-2	383.95	416.52					
	1ㄱ-1	265.77	288.32	312.57	1336402.95	0.15		1.48
	1ㄱ-2	310.49	336.83					
	2ㄱ-1	314.37	341.04	347.56	1524096.40	0.17		1.68
	2ㄱ-2	326.40	354.09					
	3ㄱ-1	197.56	214.32	209.03	781003.75	0.09		0.86
	3ㄱ-2	187.81	203.74					
	4ㄱ-1	105.56	114.52	123.76	323597.35	0.04		0.36
	4ㄱ-2	122.60	133.00					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 5	D-1	41.00	44.48					
(January)	L-1	443.00	480.58	480.00	9459533.61	1.07	0.41	2.60
TOTAL	L-2							
	1점-1	521.00	565.20	565.00	12271800.00	1.38		3.38
	1점-2							
	2점-1	261.00	283.14	283.00	6146760.00	0.69		1.69
	2점-2							
	3점-1	130.50	141.57	141.00	3062520.00	0.34		0.84
	3점-2							
	4점-1	119.54	129.68	129.00	2801880.00	0.32		0.77
	4점-2							
NANO	D-1	46.60	50.55					
	L-1	327.97	355.79	298.31	1418177.20	0.16	0.21	0.78
	L-2	222.00	240.83					
	1점-1	367.69	398.88	320.80	457708.87	0.05		0.25
	1점-2	223.73	242.71					
	2점-1	362.00	392.71	392.00	854536.44	0.10		0.47
	2점-2							
	3점-1	138.00	149.71	149.00	852876.00	0.10		0.47
	3점-2							
	4점-1	155.00	168.15	168.00	961632.00	0.11		0.53
	4점-2							
PICO	D-1	44.00	47.73					
	L-1	295.91	321.01	348.87	1723720.07	0.19	0.10	1.90
	L-2	347.27	376.73					
	1점-1	163.47	177.34	278.02	1318140.70	0.15		1.46
	1점-2	349.08	378.69					
	2점-1	326.13	353.80	303.02	1461240.70	0.16		1.61
	2점-2	232.51	252.23					
	3점-1	130.64	141.72	152.65	600560.49	0.07		0.66
	3점-2	150.79	163.58					
	4점-1	119.54	129.68	125.86	447214.67	0.05		0.49
	4점-2	112.50	122.04					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 1	D-1	34.74	73.70					
(March)	L-1	323.89	687.15	671.64	12413069.25	1.40	0.54	2.57
TOTAL	L-2	309.26	656.12					
	1점-1	300.99	638.57	466.34	8292526.01	0.93		1.72
	1점-2	138.63	294.11					
	2점-1	299.60	635.62	619.98	11340604.03	1.28		2.35
	2점-2	284.85	604.33					
	3점-1	173.82	368.77	387.66	6517813.80	0.73		1.35
	3점-2	191.63	406.56					
	4점-1	135.66	287.81	264.38	3958431.70	0.45		0.82
	4점-2	113.57	240.95					
NANO	D-1	40.21	85.31					
	L-1	166.82	353.92	420.98	6968601.55	0.49	0.32	1.53
	L-2	230.04	488.05					
	1점-1	161.55	342.74	391.50	6466843.99	0.51		1.59
	1점-2	207.52	440.27					
	2점-1	174.40	370.00	380.73	6132871.46	0.41		1.27
	2점-2	184.51	391.45					
	3점-1	159.00	337.33	327.70	5031998.02	0.39		1.22
	3점-2	149.92	318.07					
	4점-1	77.24	163.87	197.25	2323968.28	0.20		0.63
	4점-2	108.71	230.64					
PICO	L-1	106.57	226.10	213.88	2586689.22	0.29	0.12	2.45
	L-2	95.05	201.66					
	1점-1	86.30	183.09	179.27	1900734.61	0.21		1.80
	1점-2	82.70	175.45					
	2점-1	94.99	201.53	209.69	2499702.82	0.28		2.37
	2점-2	102.68	217.84					
	3점-1	76.93	163.21	163.79	1546816.37	0.17		1.46
	3점-2	77.47	164.36					
	4점-1	57.67	122.35	114.52	524120.58	0.06		0.50
	4점-2	50.29	106.69					

Station		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 5	D-1	36.47	77.37					
(March)	L-1	185.18	392.87	438.16	7489859.28	0.84	0.66	1.27
TOTAL	L-2	227.87	483.44					
	1점-1	336.84	714.63	631.83	11710218.89	1.32		1.99
	1점-2	258.79	549.04					
	2점-1	277.80	589.37	581.55	10466776.10	1.18		1.78
	2점-2	270.43	573.74					
	3점-1	127.39	270.27	355.36	5771052.08	0.65		0.98
	3점-2	207.61	440.46					
	4점-1	108.10	229.34	239.82	3372429.66	0.38		0.57
	4점-2	117.98	250.30					
NANO	D-1	39.43	83.65					
	L-1	123.84	262.73	328.64	5085951.61	0.57	0.22	2.59
	L-2	185.97	394.55					
	1점-1	447.80	950.04	646.44	11886088.37	1.34		6.06
	1점-2	161.60	342.85					
	2점-1	146.14	310.05	317.92	4863310.47	0.55		2.48
	2점-2	153.56	325.79					
	3점-1	112.47	238.61	235.36	3149348.08	0.35		1.60
	3점-2	109.40	232.10					
	4점-1	61.72	130.94	123.57	828683.09	0.09		0.42
	4점-2	54.77	116.20					
PICO	L-1	160.88	341.32	320.04	5086171.83	0.57	0.32	1.77
	L-2	140.82	298.76					
	1점-1	129.42	274.57	304.47	4845484.21	0.55		1.69
	1점-2	157.60	334.36					
	2점-1	134.47	285.29	276.63	4185036.78	0.47		1.46
	2점-2	126.31	267.98					
	3점-1	101.57	215.49	204.52	2687989.84	0.30		0.94
	3점-2	91.23	193.55					
	4점-1	78.51	166.56	146.40	1481411.41	0.17		0.52

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 1	D-1	76.61	162.53					
(May)	L-1	167.63	355.64	379.80	5344835.91	0.60	0.63	0.96
TOTAL	L-2	190.41	403.97					
	1점-1	163.46	346.79	347.52	4550756.44	0.51		0.81
	1점-2	164.15	348.26					
	2점-1	169.71	360.05	335.76	4261359.75	0.48		0.76
	2점-2	146.81	311.47					
	3점-1	120.91	256.52	260.63	2413291.79	0.27		0.43
	3점-2	124.79	264.75					
	4점-1	117.85	250.03	246.52	2065963.57	0.23		0.37
	4점-2	114.54	243.00					
NANO	D-1	83.90	178.00					
	L-1	155.71	330.35	315.47	3381687.75	0.04	0.32	0.11
	L-2	141.68	300.58					
	1점-1	158.30	335.84	328.15	3693787.34	0.20		0.63
	1점-2	151.05	320.46					
	2점-1	171.02	362.83	341.88	4031460.31	0.45		1.41
	2점-2	151.27	320.93					
	3점-1	132.15	280.37	287.79	2700861.82	0.30		0.94
	3점-2	139.15	295.22					
	4점-1	112.37	238.40	226.92	1203514.46	0.14		0.42
	4점-2	101.55	215.45					
PICO	D-1	42.08	89.28					
	L-1	106.57	226.10	213.88	3065151.97	0.35	0.21	1.68
	L-2	95.05	201.66					
	1점-1	131.49	278.96	278.48	1889820.41	0.21		1.04
	1점-2	131.03	277.99					
	2점-1	130.88	277.67	259.98	4199252.98	0.47		2.31
	2점-2	114.20	242.28					
	3점-1	112.93	239.59	235.28	3591754.78	0.40		1.97
	3점-2	108.87	230.98					
	4점-1	99.61	211.33	208.03	2921366.96	0.33		1.60
	4점-2	96.50	204.73					

Station (Month)		CPM	DPM	AVE		P.P/hour	chl	photosynthesis rate
St. 5	D-1	39.69	84.21					
(May)	L-1	202.95	430.57	425.08	8385458.32	0.94	1.09	0.87
TOTAL	L-2	197.77	419.58					
	1점-1	190.30	403.73	392.53	7584855.03	0.85		0.79
	1점-2	179.74	381.33					
	2점-1	214.17	454.38	463.77	9337414.25	1.05		0.97
	2점-2	223.03	473.17					
	3점-1	170.40	361.52	331.73	6089073.39	0.69		0.63
	3점-2	142.32	301.94					
	4점-1	78.85	167.29	169.46	2097277.91	0.24		0.22
	4점-2	80.90	171.63					
NANO	D-1	42.25	89.64					
	L-1	167.05	354.41	349.37	6389430.10	0.62	0.66	0.93
	L-2	162.30	344.33					
	1점-1	153.63	325.94	324.21	5770449.98	0.51		0.78
	1점-2	152.00	322.48					
	2점-1	168.03	356.49	354.64	6519123.66	0.62		0.93
	2점-2	166.29	352.80					
	3점-1	126.19	267.72	270.39	4446636.26	0.38		0.58
	3점-2	128.71	273.07					
	4점-1	100.67	213.58	193.55	2556293.95	0.24		0.96
	4점-2	81.79	173.52					
PICO	L-1	56.23	119.30	121.60	920902.55	0.10	0.21	0.51
	L-2	58.40	123.90					
	1점-1	63.12	133.91	132.85	1197773.50	0.13		0.66
	1점-2	62.12	131.79					
	2점-1	56.35	119.55	126.38	1038592.27	0.12		0.57
	2점-2	62.79	133.21					
	3점-1	51.54	109.35	105.81	532604.73	0.06		0.29
	3점-2	48.21	102.28					
	4점-1	52.00	110.32	102.32	446751.25	0.05		0.25
	4점-2	44.46	94.32					

Appendix I. Photosynthetic parameters in each size fraction of phytoplankton in Chungmoon of Cheju.

Station/month	α $\mu\text{g C mg Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$ $(\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1})^{-1}$	P_m $\mu\text{g C mg Chl a}^{-1}\text{h}^{-1}$	I_m $\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	I_k $\mu\text{E m}^{-2}\text{ s}^{-1}$
Pico St.1				
Oct.	0.003	2.80	500	143.8
Nov	0.008	2.65	225	60.0
Jan.	0.006	1.69	220	65.5
Mar.	0.007	2.45	875	250.0
May	0.003	2.30	1000	285.7
St.5				
Oct.	0.003	1.62	625	175.0
Nov	0.016	3.80	245	70.0
Jan.	0.005	1.30	240	78.0
Mar.	0.002	1.55	850	200.0
May	0.001	0.60	750	220.0
Nano St.1				
Oct.	0.002	2.55	600	160.0
Nov	0.027	7.60	190	60.0
Jan.	0.004	1.68	220	84.0
Mar.	0.001	1.55	920	280.0
May	0.003	1.30	890	260.0
St.5				
Sep.	0.004	2.95	740	170.0
Nov	ND	ND	ND	ND
Jan.	0.0006*	0.53	430	145.0
Mar.	0.003	3.45	750	230.0
May	0.001	0.90	760	170.0
Total St.1				
Oct.	0.006	4.40	400	200
Nov	ND	ND	ND	ND
Jan.	0.003	2.06	210	105
Mar.	0.002	2.38	850	425
May	ND	ND	ND	ND
St.5				
Oct.	0.004	4.40	400	200
Nov	ND	ND	ND	ND
Jan.	0.005	2.18	200	100
Mar.	ND	ND	ND	ND
May	0.001	0.93	760	380

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 한결같이 지도와 편달을 아끼지 않으시고, 이끌어주신 이준백 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 항상 관심을 갖고 격려해 주신 고유봉 교수님을 비롯하여 최영찬 교수님, 윤정수 교수님, 방익찬 교수님, 윤석훈 교수님께도 감사를 드립니다.

제주도에서 항상 돌보아 주시고 격려해주신 천원기 교수님과 형수님 그리고 다예 에게도 감사의 마음을 전합니다.

실험실 식구들인 좌종현 선배님, 고희범 선배님, 보영, 요혜누나, 지은, 수경, 태룡, 기현, 달수, 태현, 해진, 자영에게도 감사의 마음을 전합니다.

멀리 부산대학에서 박사과정에 계신 동우 선배님과 서해수산 연구소에서 연구중인 무형에게도 감사의 마음을 전합니다. 대학원 생활동안 많은 힘이 되어준 해양 물리 실험실의 경희 선배님과 창수, 화학실험실의 승민과 연구원들, 해양 생태학 실험실과 지질연구실, 층서연구실 여러분들께도 감사의 마음을 전합니다. 학과 사무실에서 항상 응원을 해주신 윤형 선배님과 경표 에게도 감사의 뜻을 전하며, 지금껏 한결같은 사랑으로 저를 지켜주시고 격려를 아끼지 않으신 부모님과 누님들과 자형들에게도 감사의 마음을 전하며 이 작은 결실을 바칩니다.