

## 제주 중문연안역의 초미세, 미소, 소형플랑크톤 시·공간적 분포

신 범·이준백\*  
제주대학교 해양학과

### Spatial and Temporal Distribution of Picoplankton, Nanoplankton and Microplankton in Jungmun Coastal Waters of Jeju Island, Korea

BUMM SHYNN AND JOON-BAEK LEE\*

Department of Oceanography, Cheju National University, Jeju 690-756 Korea

제주도 중문 연안역의 각 크기별 플랑크톤을 영양형에 따라 구분하여 세포수, 탄소량, 엽록소량의 시·공간 분포 그리고 환경요인의 상관관계를 1999년 7월부터 2000년 6월까지 조사하였다. 종속영양성 초미세플랑크톤(HPP) 세포수의 연평균은 외해에서  $1.4 \times 10^6$  cells · ml<sup>-1</sup>, 해안에서  $8.3 \times 10^5$  cells · ml<sup>-1</sup>을 보였고, 독립영양성 초미세플랑크톤(APP)도 외해에서  $9.9 \times 10^4$  cells · ml<sup>-1</sup>, 해안에서  $7.1 \times 10^4$  cells · ml<sup>-1</sup>을 보여 외해에서 더 많은 분포를 보였으며 우리나라 다른 해역에 비해서도 많았다. 그러나 종속 및 독립영양성 미소플랑크톤(HNP, ANP)은 해안이 외해보다 더 많은 세포수 분포를 보였다. 소형플랑크톤(AMP) 세포수는 해안에서는 규조류의 변동( $r=0.962$ ,  $P \leq 0.001$ ), 외해에서 외편모조류의 변동( $r=0.868$ ,  $P \leq 0.001$ )에 의해 영향을 받고 있었다. 그러나 영양형과 크기별 구분에 의한 각 그룹간 상관관계에서 포식자와 피식자의 상관성은 보이지 않았다. 탄소량의 공간적인 분포는 세포수와 같았으나 크기별 비율은 전혀 달라 독립영양성 미소플랑크톤(ANP) 탄소량이 가장 높은 비율을 보였다. 크기군에 따라 엽록소량의 계절변동은 달랐으며 초미세플랑크톤(APP)은 2000년 3월에  $0.42 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$ (57.9%)로 가장 높은 비율을 보였고, 미소플랑크톤(ANP)은 2000년 5월에  $1.42 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$ (74.7%)로 가장 높았으며 소형플랑크톤(AMP)은 1999년 7월에  $1.51 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$ (81.8%)로 가장 높았다. 생물인자와 환경요인의 상관성을 주성분 분석에 의한 요인을 추출한 결과 인, 규소 증가와 자가영양성 미소플랑크톤(ANP)증가에 미치는 요인이 해안과 외해에서 동일하게 가장 큰 설명력을 보였다. N:P 비도 해안에서 36.4, 외해에서 32.6을 보이고 있어 인이 상당히 부족한 것으로 나타났다. 따라서 조사해역은 인이 식물플랑크톤 성장에 중요한 제한요인으로 작용하고 있다고 판단된다.

Abundance, carbon biomass and chlorophyll *a* concentration of each size-fractionated plankton on the basis of trophical level were investigated in terms of spacial and temporal distribution, and interactions between each biological parameter and environmental factors in Jungmun coastal waters of Jeju Island from July 1999 to June 2000. Heterotrophic picoplankton (HPP) abundance averaged  $1.4 \times 10^6$  cells · ml<sup>-1</sup> at offshore and  $8.3 \times 10^5$  cells · ml<sup>-1</sup> at inshore, while autotrophic picoplankton (APP) abundance  $9.9 \times 10^4$  cells · ml<sup>-1</sup> at offshore and  $7.1 \times 10^4$  cells · ml<sup>-1</sup> at inshore. They were more abundant at offshore than at inshore, and also more abundant than the other areas of Korean waters. On the other hand, heterotrophic and autotrophic nanoplankton (HNP, ANP) were more abundant at inshore than at offshore. Microplankton (AMP) abundance was affected by diatom ( $r=0.962$ ,  $P \leq 0.001$ ) at inshore and by dinoflagellate ( $r=0.868$ ,  $P \leq 0.001$ ) at offshore. However correlations between each plankton group in terms of size and trophic level were not significant. Carbon biomass showed as same as the distribution pattern of abundance, but composition percentage of each biomass of plankton group were quite different from that of abundance, representing the highest percentage in ANP. Seasonal fluctuation of chlorophyll *a* were different according to size class, showing the highest with  $0.42 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$  (57.9%) of APP in March 2000,  $1.42 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$  (74.7%) of ANP in May 2000, and  $1.51 \mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$  (81.8%) of AMP in July 1999. Correlation between biological parameters and environmental factors by principle component analysis revealed that the first factor as main explanation is the increasing of phosphorus and silica and the increasing of ANP at both offshore and inshore. The N:P ratio were 36.4 at inshore and 32.6 at offshore, showing the lack of phosphorus. Thus we suggest that phosphorus might be a main limiting factor to affect phytoplankton community in the study area.

**Key words:** Picoplankton, Nanoplankton, Microplankton, Carbon biomass, Chlorophyll, Abundance, Jeju Island

\*Corresponding author: jblee@cheju.ac.kr

## 서 론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 1차생산자로서 저차 먹이사슬의 기초를 이루고 있으며 각 세포 크기는 상위 포식자를 결정하는 중요한 요인이 된다. 식물플랑크톤의 크기는 초미세(pico-; 0.2~2  $\mu\text{m}$ ), 미소(nano-; 2~20  $\mu\text{m}$ ), 소형(micro-; 20~200  $\mu\text{m}$ )으로 나눌 수 있으며(Sieburth *et al.*, 1978), 과거에는 소형플랑크톤에 관한 연구가 중심이었지만 최근에는 연구방법의 개발로 초미세, 미소 크기의 플랑크톤 연구도 활발히 진행 중에 있다. 해양생태계의 먹이연쇄는 phytoplankton - copepod - fish에 이르는 단순한 경로가 오랫동안 정설로 받아들여져 구조류가 중요한 위치를 차지하고 있었지만, 근래에는 Pomeroy(1974)에 의해 초미세 또는 미소 플랑크톤의 역할이 더 중요한 것으로 강조되었다. 또 Azam *et al.*(1983)에 의해 미생물 먹이고리, 즉 'microbial loop'의 신 패러다임이 정립된 이후, 각 영양단계의 parameter 들을 연결시켜주는 상호관계가 실험실과 현장의 관찰을 토대로 제시되었다. 예컨대 미생물 그룹간의 먹이사슬 체계, 즉 박테리아와 원생생물(Sherr and Sherr, 1994), 원생생물과 소형 동물플랑크톤(Stoecker and Capuzzo, 1990)간의 상호관계에 대하여 많은 연구가 진행되었다. 그러나 이들이 물리화학적 요인들의 계절변화에 의하여 어떻게 제한을 받는가에 대해서는 아직도 분명하지 않다(Vrede *et al.*, 1999).

우리나라 주변해역에서 식물플랑크톤 크기 구분에 의한 연구는 1980년대 중반 미소 및 소형플랑크톤을 구분하면서 시작되었다(Shim *et al.*, 1985; 심과 신, 1989). 종속영양성 박테리아플랑크톤에 관한 연구는 만경 및 동진강 하구역(Cho and Shim, 1992; 심 등, 1993), 황해(조 등, 1994), 경기만(Lee and Choi, 2000)에서 보고되었고, 특히 초미세플랑크톤이 포함된 연구는 최근에 이루어졌다(정 등, 1998, 2000; Lee and Choi, 2000; No and Choi, 2001). 그러나 제주도 주변해역에서의 크기별 플랑크톤 분포에 대한 연구는 문섬 주변해역에서 플랑크톤에 대한 연구(좌와 이, 2000)가 있을 뿐 미비하며 더욱이 박테리아플랑크톤 연구는 전무한 실정이다. 본 연구해역인 제주도 남부 중문 주변해역은 대마난류수의 계절적인 영향을 받고 있으며(방 등, 2001), 특히 하계에는 양자강의 저염수 확장에 의한 영향도 받고 있다(서 등, 1999). 또 주변해안선에 조성된 관광단지의 확장과 하수종말 처리 시설의 확충에 의한 유입수 증가는 해양 환경변화에 영향을 미칠 것으로 예상되는 해역이다. 본 연구는 제주도 중문해역의 물리·화학적 변화가 저차생태계의 구성요소 상호간에 어떠한 영향을 미치는가 파악하기 위하여 크기별 플랑크톤의 세포수와 생물량의 분포특성과 환경요인간의 상관관계를 규명하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

조사는 제주도 남부에 위치한 중문 주변해역에서 해안(inshore)의 3개 정점(정점 1, 2, 3)과 외해(offshore)의 3개 정점(정점 4, 5, 6)을 선정하여 1999년 7월부터 2000년 6월까지 매월 실시하였다(Fig. 1). 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 해안은 표층과 저층(10 m 이내), 외해는 표층, 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m층에서 채집하였다.

초미세플랑크톤(세포구경 기준 0.2~2  $\mu\text{m}$ )과 미소플랑크톤(세

포구경 기준 2~20  $\mu\text{m}$ ) 계수를 위한 처리는 최종농도 0.5% glutaraldehyde로 고정한 시료를 가지고 즉시 이루어졌다. 초미세 플랑크톤은 고정시료중 10ml를 취하여 빛을 차단하고 DAPI (4'-diamidino-2-phenylindole) 로 5분간 염색 후 Nuclepore filter(공극 0.2  $\mu\text{m}$ , black stained)로 여과하여 바로 immersion oil로 봉입하여 슬라이드를 제작하여 검경하였다(Sherr *et al.*, 1993). 먼저 UV 광하에서 x1,000 배율로 검경하여 2  $\mu\text{m}$  이하의 세포를 계수하여 총 박테리아세포수로 환산하였으며 같은 슬라이드로 blue광하에서 염색소를 갖고 있어 자가형광을 내는 것을 독립영양성 초미세 플랑크톤(autotrophic picoplankton, 이하 APP)세포수로 하였다. 종속영양성 초미세플랑크톤(heterotrophic picoplankton, 이하 HPP)은 총 박테리아수에서 APP 세포수를 감한 값을 취하였다(Porter and Feig, 1980).

미소플랑크톤은 고정시료중 20 ml를 취하여 proflavine(3-6-diamino-acridine hemi-sulfate)으로 5분간 염색 후 Nuclepore filter(공극 0.8  $\mu\text{m}$ , black stained)로 여과하여 바로 immersion oil로 봉입하여 슬라이드를 제작하여 검경하였다(Sherr *et al.*, 1993). 검경은 blue광하에서 x1,000 배율로 초록색을 띄는 2~20  $\mu\text{m}$  크기 범위 세포중 염색소에 의해 붉은 색을 내는 것을 독립영양성 미소플랑크톤(autotrophic nanoplankton, 이하 ANP)으로 계수하고, 단순히 초록색의 세포에 편모를 가진 것을 종속영양성 미소플랑크톤(heterotrophic nanoplankton, 이하 HNP)으로 계수하여 구분하였다. 20  $\mu\text{m}$  이하의 섬모충류도 때때로 출현하였으나 미소플랑크톤 계수에서 제외하였다.

소형플랑크톤(세포구경 기준 20~200  $\mu\text{m}$ )은 해수 1 l를 Lugol 용액으로 고정하여 침전법에 의해 농축된 시료중 1 ml를 Sedgwick-Rafter 계수판에 넣어 광학현미경으로 20  $\mu\text{m}$  이상 세포를 계수하여 독립영양성 소형플랑크톤(autotrophic microplankton, 이하 AMP) 세포수로 환산하였다.

탄소량은 세포수와 염색소량 자료를 바탕으로 환산하였는데 HPP탄소량은 15 fgC·bacterium<sup>-1</sup>, APP탄소량은 200 fgC·cyanobacterium<sup>-1</sup>의 전환상수를 이용하여 변환하였다. HNP와 ANP의 탄소량은 세포부피를 구하여 변환한 183 fgC· $\mu\text{m}^{-3}$ 의 전환상수를 이용하여 각 세포수로부터 계산하였다(Caron *et al.*, 1995). AMP탄소량은 탄소: Chl-*a*의 비를 50:1로 가정하여 염색소량으로부터 환산하였다(Eppley *et al.*, 1977). 크기별 염색소 *a*량은 해수 1 l를 취하여 공극 크기 20  $\mu\text{m}$ , 2.0  $\mu\text{m}$ , 0.2  $\mu\text{m}$ 의 filter로 여과한 다음 Parsons *et al.*, (1984)의 방법으로 측정하여 단위 체적당 chlorophyll *a*량 ( $\mu\text{gChl-}a \cdot \text{l}^{-1}$ )으로 나타내었다.

수온과 염분은 CTD(SBE 19-03)로 표층에서 저층까지 측정하였으며, 각 층별 영양염류(총질소, 인산-인, 규산-규소)는 Parsons *et al.*,(1984)의 방법으로 측정하였다. 통계분석은 SYSTAT v8.0 통계프로그램을 이용하여 상관분석과 주성분분석을 실시하였다.

## 결 과

### 세포수

초미세플랑크톤중 종속영양성(HPP)은 해안에서  $1.4 \times 10^4 \sim 3.3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ , 외해에서  $8.0 \times 10^3 \sim 1.4 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$ 의 범위로 외해가 더 높은 세포수 분포를 보였으며 전체 평균도 외해

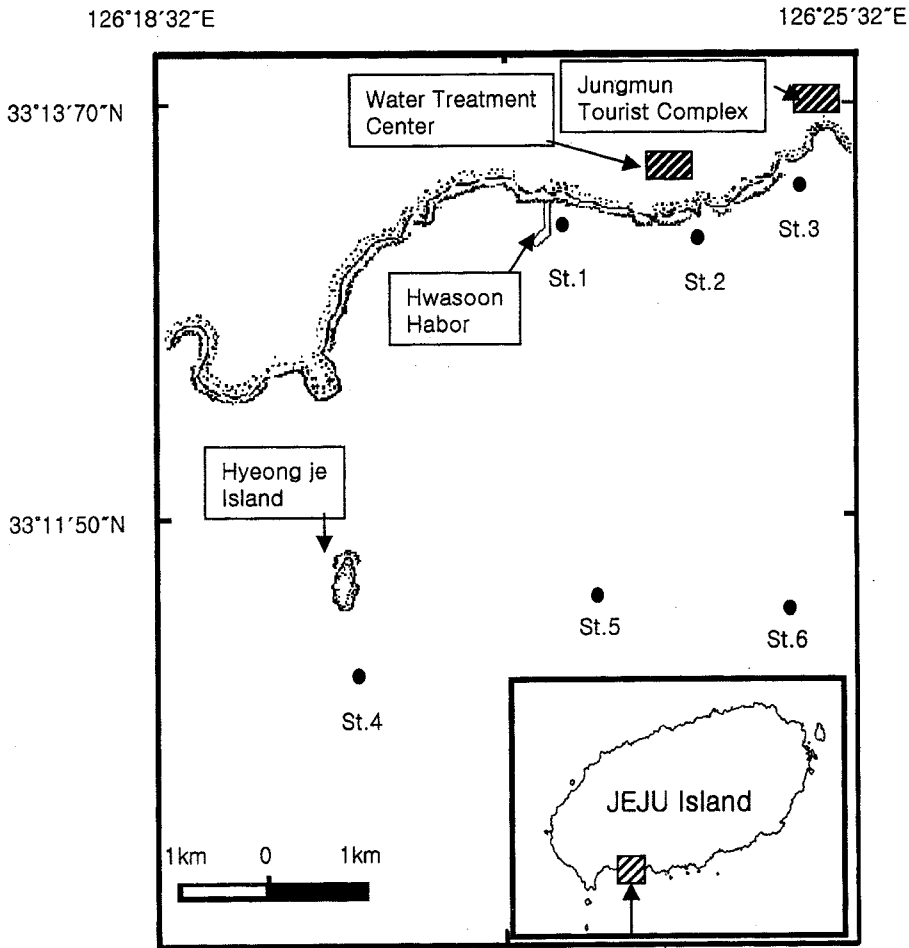


Fig. 1. Map showing sampling stations in the study area.

Table 1. Ranges of abundance, carbon biomass and chlorophyll *a* concentration in each plankton's size category in Jungmun coastal waters of Jeju Island from July 1999 to June 2000

Size class	Trophic type	Location	Abundance	Carbon biomass	Chlorophyll <i>a</i>
			cells · ml <sup>-1</sup>	μgC · l <sup>-1</sup>	μgChl- <i>a</i> · l <sup>-1</sup>
picoplankton	heterotrophic	inshore	1.4×10 <sup>4</sup> ~ 3.3×10 <sup>6</sup>	0.2 ~ 50.2	
		offshore	8.0×10 <sup>3</sup> ~ 1.4×10 <sup>7</sup>	0.1 ~ 209.9	
	autotrophic	inshore	6.4×10 <sup>2</sup> ~ 5.5×10 <sup>5</sup>	0.1 ~ 109.6	0.04 ~ 1.02
		offshore	3.2×10 <sup>2</sup> ~ 1.9×10 <sup>6</sup>	0.1 ~ 384.0	0.02 ~ 1.09
nanoplankton	heterotrophic	inshore	1.4×10 <sup>2</sup> ~ 2.2×10 <sup>3</sup>	2.8 ~ 46.1	
		offshore	4.2×10 <sup>2</sup> ~ 8.1×10 <sup>3</sup>	0.9 ~ 167.8	
	autotrophic	inshore	1.0×10 <sup>2</sup> ~ 3.6×10 <sup>3</sup>	2.1 ~ 75.5	0.0 ~ 2.0
		offshore	1.2×10 <sup>2</sup> ~ 8.1×10 <sup>3</sup>	2.4 ~ 167.8	0.0 ~ 2.5
microplankton	autotrophic	inshore	1.0 ~ 1.3×10 <sup>2</sup>	5.1 ~ 53.7	0.10 ~ 1.07
		offshore	1.0 ~ 2.7×10 <sup>2</sup>	4.3 ~ 97.2	0.09 ~ 1.94

(평균 1.4×10<sup>6</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)가 해안(평균 8.3×10<sup>5</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)보다 높았다(Table 1, 2). 독립영양성 초미세플랑크톤(APP)은 해안에서 6.4×10<sup>2</sup>~5.5×10<sup>5</sup> cells · ml<sup>-1</sup>, 외해에서 3.2×10<sup>2</sup>~1.9×10<sup>6</sup> cells · ml<sup>-1</sup>의 범위를 보였고 전체 평균도 외해(평균 9.9×10<sup>4</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)가 해안(평균 7.1×10<sup>4</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)보다 약간 높았다(Table 1, 2). 초미세플랑크톤은 종속 및 독립영양성 모두 외해가 해안보다 높은 세포수 분포를 보였다. 수층별로 보면 해안에서는 HPP와 APP 모두

표층이 저층보다 많은 분포를 보였으나, 외해에서는 HPP는 표층에서 아래로 갈수록 낮아졌지만 APP는 10 m층이 가장 높은 분포를 보였다(Table 2).

미소플랑크톤의 종속영양성(HNP)은 해안에서 1.4×10<sup>2</sup>~2.2×10<sup>3</sup> cells · ml<sup>-1</sup>, 외해에서 4.2×10<sup>2</sup>~8.1×10<sup>3</sup> cells · ml<sup>-1</sup>의 범위로 해안이 외해보다 높았고 전체 평균도 해안(평균 8.3×10<sup>2</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)이 외해(평균 7.1×10<sup>2</sup> cells · ml<sup>-1</sup>)보다 약간 높았다(Table 1, 2).

**Table 2.** Average abundance, average carbon biomass, and average chlorophyll *a* concentration of each size-fractionated trophic category at each depth in Jungmun inshore and offshore of Jeju Island from July 1999 to June 2000 (abbreviation: HPP, heterotrophic picoplankton; APP, autotrophic picoplankton; HNP, heterotrophic nanoplankton; ANP, autotrophic nanoplankton; AMP, autotrophic microplankton)

Location	Depth	HPP	APP	HNP	ANP	AMP
<b>Abundance (cells · ml<sup>-1</sup>)</b>						
Inshore	0 m	882,994	80,810	945	1,065	15
	10 m	784,411	61,613	720	1,337	14
	Average	833,702	71,212	883	1,201	14
Offshore	0 m	1,787,229	108,955	556	702	22
	10 m	1,429,476	123,963	568	689	19
	20 m	1,026,551	73,074	1,176	989	11
	30 m	1,183,294	90,032	551	773	7
	Average	1,356,637	99,006	713	788	15
<b>Carbon biomass (μgC · l<sup>-1</sup>)</b>						
Inshore	0 m	13.2	16.1	19.5	22.0	14.5
	10 m	11.7	12.3	14.9	27.6	14.4
	Average	12.5	14.2	17.2	24.8	14.5
Offshore	0 m	26.8	21.7	11.5	14.5	19.1
	10 m	21.4	24.7	11.7	14.2	22.3
	20 m	15.4	14.6	24.3	20.4	14.7
	30 m	17.7	18.0	11.4	15.9	11.3
	Average	20.4	19.8	14.7	16.3	16.9
<b>Chlorophyll <i>a</i> (μgChl-<i>a</i> · l<sup>-1</sup>)</b>						
Inshore	0 m		0.22		0.25	0.29
	10 m		0.15		0.28	0.29
	Average		0.19		0.26	0.29
Offshore	0 m		0.17		0.31	0.38
	10 m		0.18		0.25	0.45
	20 m		0.18		0.27	0.29
	30 m		0.19		0.28	0.23
	Average		0.18		0.28	0.34

독립영양성 미소플랑크톤(ANP)은 해안에서  $1.0 \times 10^2 \sim 3.6 \times 10^3$  cells · ml<sup>-1</sup>, 외해에서  $1.2 \times 10^2 \sim 8.1 \times 10^3$  cells · ml<sup>-1</sup>의 범위였으며 전체 평균도 해안(평균  $1.2 \times 10^3$  cells · ml<sup>-1</sup>)이 외해(평균  $7.9 \times 10^2$  cells · ml<sup>-1</sup>)보다 높았다. 미소플랑크톤은 종속 및 독립영양성 모두 해안이 외해보다 높은 세포수를 나타내었다(Table 1, 2). 수층별 분포는 외해에서 HNP와 ANP 모두 20 m 층에서 가장 높은 분포를 보였으나, 해안에서는 HNP는 표층에서 높았고 ANP는 저층에서 높았다(Table 2).

독립영양성 소형플랑크톤(AMP)은 해안에서  $1 \sim 1.3 \times 10^2$  cells · ml<sup>-1</sup>, 외해에서  $1 \sim 2.7 \times 10^2$  cells · ml<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며 전체 평균은 해안(평균 14 cells · ml<sup>-1</sup>)과 외해(평균 15 cells · ml<sup>-1</sup>)이 거의 같았다(Table 1, 2). 수층별 분포는 해안과 외해 모두 표층에서 가장 높고 그 이하 수심에서는 내려갈수록 낮아지는 분포를 보였다(Table 2).

**탄소량**

종속영양성 초미세플랑크톤(HPP)은 해안에서  $0.2 \sim 50.2$  μgC · l<sup>-1</sup>, 외해에서  $0.1 \sim 209.9$  μgC · l<sup>-1</sup>의 범위로서 전체 평균은 외해(평균  $20.4$  μgC · l<sup>-1</sup>)가 해안(평균  $12.5$  μgC · l<sup>-1</sup>) 보다 훨씬 높았다(Table 1, 2). 독립영양성 초미세플랑크톤(APP)은 해안에서  $0.1$

$\sim 109.6$  μgC · l<sup>-1</sup>, 외해에서  $0.1 \sim 384.0$  μgC · l<sup>-1</sup>으로 외해(평균  $19.8$  μgC · l<sup>-1</sup>)가 해안(평균  $14.2$  μgC · l<sup>-1</sup>) 보다 높았다(Table 1, 2). 초미세플랑크톤의 탄소량과 세포수는 외해가 해안보다 높은 분포를 나타내었다.

종속영양성 미소플랑크톤(HNP)은 해안과 외해에서 각각  $2.8 \sim 46.1$  μgC · l<sup>-1</sup>,  $0.9 \sim 167.8$  μgC · l<sup>-1</sup>을 보였으며 해안이 외해보다 평균값이 약간 높았다(Table 1, 2). 독립영양성(ANP)은 외해가  $2.4 \sim 167.8$  μgC · l<sup>-1</sup>로써  $2.1 \sim 75.5$  μgC · l<sup>-1</sup>의 해안 보다 범위폭이 컸지만 전체 평균은 해안(평균  $24.8$  μgC · l<sup>-1</sup>)이 외해(평균  $16.3$  μgC · l<sup>-1</sup>)보다 높았다(Table 1, 2). 미소플랑크톤 탄소량은 종속영양성과 독립영양성 모두 해안이 외해보다 높았다. 독립영양성 소형플랑크톤(AMP)은 해안이  $5.1 \sim 53.7$  μgC · l<sup>-1</sup>, 외해가  $4.3 \sim 97.2$  μgC · l<sup>-1</sup>로 외해에서 범위가 컸으며 전체 평균도 외해(평균  $16.9$  μgC · l<sup>-1</sup>)가 해안(평균  $14.5$  μgC · l<sup>-1</sup>) 보다 약간 높았다(Table 1, 2). 수층별 분포는 모든 플랑크톤 그룹에서 세포수와 같은 분포 경향을 보였다(Table 2).

**엽록소량**

독립영양성 초미세플랑크톤(APP)의 엽록소 *a* 량은 해안에서  $0.04 \sim 1.02$  μgChl-*a* · l<sup>-1</sup>, 외해에서  $0.02 \sim 1.09$  μgChl-*a* · l<sup>-1</sup>의 범

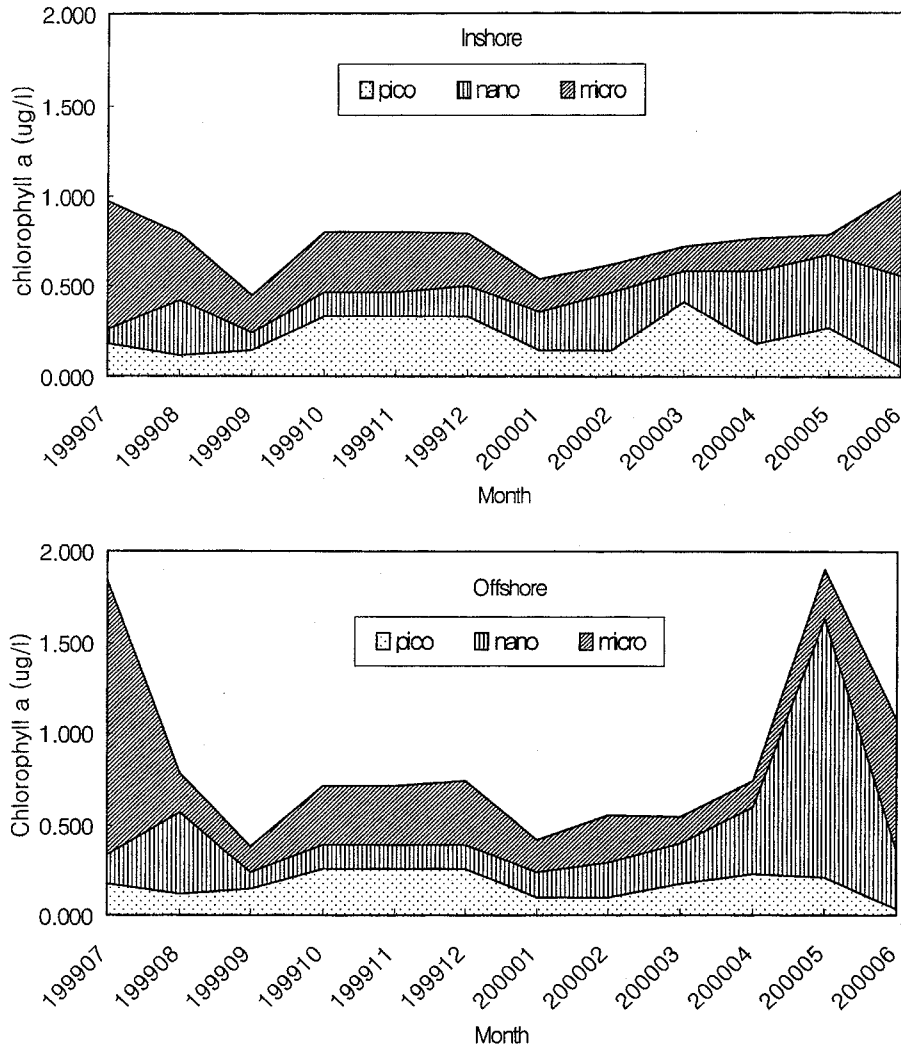


Fig. 2. Monthly variations of pico-, nano-, micro-fraction of chlorophyll *a* in Jungmun coastal waters from July 1999 to June 2000.

위로서 해안과 외해의 평균 이 각각  $0.19 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 과  $0.18 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 를 보여 큰 차이를 보이지 않았다(Table 1, 2). 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)은 해안에서  $0 \sim 2 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ , 외해에서  $0 \sim 2.5 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 로 범위가 매우 컸으나 평균값은 각각  $0.26 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 과  $0.28 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 을 보여 큰 차이가 없었다(Table 1, 2). 독립영양성 소형플랑크톤(AMP)은 해안에서  $0.1 \sim 1.07 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ , 외해에서  $0.09 \sim 1.94 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ 의 범위로 평균값은 외해 ( $0.34 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ )가 해안( $0.29 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$ ) 보다 높았다(Table 1, 2). 수층별 분포는 APP의 경우 해안은 표층이 저층보다 높았고 외해는 층별 차이가 아주 적었다(Table 2). ANP는 해안에서는 저층이 표층보다 높았고 외해에서는 표층이 가장 높았지만 그이하에서는 30 m층이 가장 높았다(Table 2). AMP인 경우 해안은 표, 저층이 차이가 없었으며 외해에서는 10 m층이 가장 높았다(Table 2).

계절변동은 해안과 외해에서 차이가 있었으며 외해인 경우 1999년 7월과 2000년 5월에 높았으며 1999년 9월에 가장 낮았다(Fig. 2). 해안은 1999년 9월에 가장 낮았으며 1월부터 서서히 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 크기별 chlorophyll *a*량을 해안과 외해의 표층에서 각 크기에 따라 비교하면 계절변동이 다른 특성을 보였

다. 소형플랑크톤(AMP)은 1999년 7월에 해안과 외해에서 모두 가장 높았는데 각각  $0.708 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$  (73.1%)과  $1.505 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$  (81.8%)을 나타내었다(Fig. 2). 미소플랑크톤(ANP)은 해안에서 2000년 6월에  $0.510 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$  (49.9%), 외해에서 2000년 5월에  $1.423 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$  (74.7%)로 가장 높았고 1999년 9월부터 12월까지 낮은 분포를 보였다. 초미세플랑크톤(APP)은 해안과 외해에서 1999년 10월부터 12월까지 전체 chlorophyll *a*량에서 높은 비율을 보였으며 가장 높은 값은 2000년 3월에 해안에서  $0.415 \mu\text{gChl-}a \cdot \Gamma^{-1}$  (57.9%)을 나타내었다(Fig. 2)

#### 생물인자간의 상관관계

본 연구에서 측정된 각 크기별 세포수, 탄소량, 엽록소량의 상관계수를 구하였다. 세포수와 다른 생물인자간의 상관성을 보면 해안에서는 독립영양성 플랑크톤(AMP)과 규조류(DIATOM)가  $0.962$  ( $P \leq 0.001$ )의 높은 상관성을 나타내어 AMP 변동은 대부분 규조류에 의해 영향인 것으로 생각된다(Table 3). 반면 외해에서는 AMP와 와편모조류(DINO)가  $0.868$  ( $P \leq 0.001$ )로 높은 상관성을 보여 와편모조류가 AMP 변동에 영향을 미치고 있었다. 미세

**Table 3.** Pearson correlation coefficients between biotic parameters in Jungmun coastal waters of Jeju Island (abbreviation : HPP, APP, HNP, ANP, AMP, abundance of each size class; DIATOM, DINO, abundance of diatom and dinoflagellate; HPP-C, APP-C, HNP-C, ANP-C, AMP-C, carbon biomass of each size class; P-CHL, N-CHL, M-CHL, T-CHL, chlorophyll *a* of picoplankton, nanoplankton, microplankton, and total)

	HPP	APP	HNP	ANP	AMP	DINO	HPP-C	HNP-C	AMP-C	P-CHL	N-CHL	M-CHL
<Inshore>												
DIATOM					0.962*							
HPP-C	0.990*											
APP-C		1.000*										
HNP-C			1.000*									
ANP-C				1.000*								
AMP-C						0.455**						
M-CHL						0.454**			0.998*			
T-CHL									0.463**		0.650*	0.464**
<Offshore>												
ANP			0.798*									
AMP	0.456*											
DIATOM					0.496*							
DINO	0.546*				0.868*							
HPP-C	0.977*				0.467*	0.555*						
APP-C		1.000*										
HNP-C			1.000*	0.798*								
ANP-C			0.798*	1.000*						0.798*		
AMP-C	0.323**				0.602*	0.656*	0.307**					
M-CHL	0.323**				0.602*	0.656*	0.307**		1.000*			
T-CHL					0.460*	0.454*			0.707*	0.392*	0.618*	0.707*

Note: \*,  $P \leq 0.001$ ; \*\*,  $P \leq 0.01$

및 극미소플랑크톤의 탄소량과 각 크기군의 세포수, 그리고 소형 플랑크톤 탄소량과 각 크기군의 엽록소량은 높은 상관관을 보였는데 이는 탄소량 환산을 세포수 또는 엽록소량을 기준으로 하였기 때문이다. 총 엽록소량(T-CHL)과 각 크기군의 엽록소량사이의 상관관에서 보면 해안에서는 미소플랑크톤(N-CHL)이 0.650 ( $P \leq 0.001$ )으로 가장 높은 상관관을 보였고 외해에서는 소형플랑크톤(M-CHL)이 0.707 ( $P \leq 0.001$ )로 높은 상관관을 보였었다(Table 3). 각 크기군의 세포수 간 특성을 보면 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)과 종속영양성 미소플랑크톤(HNP)이 외해에서 0.798 ( $P \leq 0.001$ )로 높은 상관관을 보이고 있지만 다른 크기군간의 상관관은 그다지 높지 않았었다(Table 3).

**환경요인**

조사기간중 연중 수온은 해안에서 13.7~26.3°C(평균 18.9°C), 외해에서 13.9~26.5°C(평균 18.5°C)의 범위를 보였었다(Table 4). 염분은 연중 해안에서 29.5~34.6 psu(평균 33.4 psu), 외해에서 29.4~34.6 psu(평균 33.6 psu)의 범위를 보였으며 수온, 염분의 평균은 거의 같았다(Table 4). 영양염류중 총질소(Total N)의 연중 범위는 해안에서 0.07~84.86  $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ (평균 6.16  $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ ), 외해에서 0.26~38.90  $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ (평균 4.34  $\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ )을 보여 연중 범위가 매우 넓었으며 해안이 연안보다 더 높은 분포를 보였었다(Table 4). 인산-인( $\text{PO}_4\text{-P}$ )은 해안에서 ND~2.05

**Table 4.** Ranges and averages of water temperature, salinity, nutrients in Jungmun coastal waters of Jeju Island from July 1999 to June 2000

Factor	Unit	Location	Range	Average
Water temperature	°C	inshore	13.7 ~ 26.3	18.9±4.2
		offshore	13.9 ~ 26.5	18.5±3.5
Salinity	psu	inshore	29.5 ~ 34.6	33.4±1.4
		offshore	29.4 ~ 34.6	33.6±1.1
Total N	$\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$	inshore	0.07 ~ 84.86	6.16±6.80
		offshore	0.26 ~ 38.90	4.34±2.65
$\text{PO}_4\text{-P}$	$\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$	inshore	ND ~ 2.05	0.29±0.21
		offshore	ND ~ 1.41	0.31±0.19
N:P ratio		inshore	0.1 ~ 726.3	36.4±65.0
		offshore	0.4 ~ 1156.0	32.6±94.8
$\text{SiO}_2\text{-Si}$	$\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$	inshore	0.10 ~ 60.07	11.28±8.04
		offshore	0.10 ~ 47.48	10.33±6.57

**Table 5.** Loading matrixes of principle component analysis between plankton abundance and environmental parameters in the inshore and offshore of Jungmun coastal waters of Jeju Island (Abbreviation: HPP, heterotrophic picoplankton; APP, autotrophic picoplankton; HNP, heterotrophic nanoplankton; ANP, autotrophic nanoplankton; AMP, autotrophic microplankton; TEMP, water temperature; SAL, salinity; TN, total nitrogen; PO<sub>4</sub>, phosphate; SiO<sub>2</sub>, silicate; VAR, variance explained by rotated components; VAR(%), percent of total variance explained)

Parameter	Inshore		Parameter	Offshore	
	Factor 1	Factor 2		Factor 1	Factor 2
ANP	0.995	-0.048	TEMP	-0.837	0.209
TEMP	-0.661	0.687	ANP	0.689	0.554
PO <sub>4</sub>	0.631	-0.020	SiO <sub>2</sub>	0.618	0.149
SiO <sub>2</sub>	0.608	0.000	PO <sub>4</sub>	0.515	0.042
SAL	0.470	-0.825	AMP	-0.503	0.148
APP	0.440	0.812	APP	-0.149	0.663
HNP	0.368	0.525	HPP	-0.006	0.618
TN	-0.021	0.284	HNP	0.311	0.560
HPP	-0.051	0.237	TN	-0.113	0.452
AMP	-0.379	0.023	SAL	0.453	-0.321
VAR	2.892	2.226	VAR	2.413	1.839
VAR(%)	28.921	22.261	VAR(%)	24.134	18.387

$\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ , 외해에서  $\text{ND} \sim 1.41 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위를 보였으나 외해의 평균( $0.31 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ )이 해안보다 약간 높았다. 규산-규소( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )는 해안의 평균( $11.28 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ )이 외해보다 약간 높았다(Table 4).

#### 플랑크톤과 환경요인간의 상관관계

플랑크톤 각 크기군과 환경요인과의 상관성을 주성분분석에 의해 해안과 외해에서 각각 2개의 요인을 추출하였다. 해안의 경우 각 인자들에 의해 추출된 제 1 요인과 독립영양성 미소플랑크톤(ANP,  $r=0.995$ ), 인( $r=0.631$ ), 규소( $r=0.608$ )는 정의 상관성을 보인 반면 수온( $r=-0.661$ )은 부의 상관성을 보여 첫 번째 요인은 수온이 감소하면서 인, 규소의 영양염류증가가 ANP 증가에 미치는 요인으로 28.9%의 설명력을 나타내었다(Table 5). 제 2 요인과 독립영양성 초미세플랑크톤(APP,  $r=0.812$ ), 종속영양성 미소플랑크톤(HNP,  $r=0.525$ ), 수온( $r=0.687$ )은 정의 상관성을 보였고 염분( $r=-0.825$ )은 부의 상관성을 보여 두 번째 요인은 수온상승과 염분감소가 APP, HNP 두 그룹에 영향을 미치고 있는 요인으로 22.2%의 설명력을 나타내었다(Table 5). 외해의 경우 제 1 요인과 독립영양성 미소플랑크톤(ANP,  $r=0.689$ ), 규소( $r=0.618$ ), 인( $r=0.515$ )은 정의 상관성, 수온( $r=-0.837$ )은 부의 상관성을 보여 첫 번째 요인은 수온이 감소하고 규소, 인 증가가 ANP 증가에 영향을 미치는 요인으로 24.1%의 설명력을 보이고 있어 해안과 외해가 같은 특성의 요인이 추출되었다(Table 5). 제 2 요인과 독립영양성 초미세플랑크톤(APP,  $r=0.663$ ), 종속영양성 초미세플랑크톤(HPP,  $r=0.618$ ), 종속영양성 미소플랑크톤(HNP,  $r=0.560$ ), 독립영양성 미소플랑크톤(ANP,  $r=0.554$ )과 총질소( $r=0.452$ )가 정의 상관성을 보여 두 번째 요인은 질소원 증가에 의한 APP, HPP, HNP, ANP의 증가를 나타내는 요인으로 18.3%의 설명력을 나타내었다(Table 5). 따라서 본 연구해역은 해안과 외해에서 수온변동 그리고 인과 규소변동이 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)에 영향을 미치는 요인이 가장 높은 설명력을 보이고 있다고 평가된다.

## 고 찰

일반적으로 종속영양성 초미세플랑크톤은 해양세균에 포함되며 유기물 등 분해산물이 많은 하구역에서 주로 많이 분포한다. 조사해역의 종속영양성 초미세플랑크톤(HPP)는 서해 경기만에서 해양세균 평균  $4.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (Lee and Choi, 2000)과 황해의 해양세균 범위  $2.6 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (조 등, 1994) 보다 많고 만경·동진강 하구역에서  $0.4 \times 10^6 \sim 5.8 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (Cho and Shim, 1992)의 범위와 비슷하였다. 한편 조사해역의 종속 및 독립영양성 초미세플랑크톤(HPP와 APP) 세포수는 모두 해안보다 외해가 약 1.4~1.6배 많았다. 이와같이 초미세플랑크톤 세포수가 많은 이유를 두가지 측면에서 볼 수 있는데, 첫째 조사해역은 육상으로부터 유입되는 하천이 매우 제한적으로 흐르고 있어 다른 지역의 하구역과 다른 환경이지만 중문에 위치한 하수종말처리장의 배출수가 외해에 위치하고 있어 이것이 유기물의 공급원이 될 수 있다고 생각된다. 또 한가지는 조사해역의 초미세플랑크톤이 해안보다 외해가 많은 것은 일반적으로 외양으로 갈수록 영양염 농도가 낮아지며 이때 크기가 작은 플랑크톤이 영양염 흡수에 유리하다고 알려져 있는 것과 관계가 있다고 생각된다(Chang *et al.*, 1995).

종속영양성 미소플랑크톤(HNP)의 세포수는 서해 경기만의 평균  $4.8 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (Lee and Choi, 2000)보다 적었고, 독도 주변해역의  $3.9 \sim 6.4 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (Cho *et al.*, 1998)보다 비교적 많았다. 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)은 서해 경기만의  $4.18 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  (Lee and Choi, 2000)보다 적었다. 제주도 다른 해역의 미소플랑크톤 세포수와 비교하면 제주도 문섬 주변해역의  $0.7 \times 10^3 \sim 9.8 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  (이 등, 2000)보다 많고, 북부 연안역의  $8.8 \times 10^3 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  (윤 등, 1990)와 비슷하였다. 해역 별로 보면 미소플랑크톤(HNP와 ANP)은 외해보다 해안에서 더 많은 세포수 분포를 보였는데, 이것은 육지로부터 해안에 공급되는 총질소(TN, 연평균  $6.2 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ )와 규소( $\text{SiO}_2$ , 연평균  $11.3$

$\mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ )가 외해보다 많고 수심이 10 m 이내로 수직 혼합이 활발하기 때문이라고 생각된다.

우리나라 해역의 플랑크톤 탄소량에 관한 자료는 아주 미비한 상태이다. 탄소량을 구하기 위한 체적계산에 어려움이 있어 대부분이 세포수로부터 환산된 탄소량을 제시하고 있다. 본 연구에서도 세포수와 엽록소량을 이용하여 탄소량을 구하였으나 각 크기군의 탄소량 분포는 세포수와 전혀 다른 양상을 보였다. 독립영양성 플랑크톤 APP, ANP, AMP 세그룹의 비율이 세포수인 경우 초미세플랑크톤인 경우 98%이상을 차지하였지만 탄소량에서는 해안에서 26.5%, 외해에서 37.3%를 나타내고 있어 세포수 비율과 매우 큰 차이를 보이고 있다(Table 2). 이것은 세포크기에 따라 탄소량이 차이를 보이기 때문이며 소형플랑크톤은 비록 세포수에서는 1% 미만의 아주 적은 비율을 보였지만 탄소량은 27.1~31.9%를 차지하였다(Table 2). 우리나라 연안의 플랑크톤 탄소량은 군산해역에서 미소플랑크톤이  $11,900 \sim 70,700 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ (평균  $28,300 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ )로 매우 높은 범위를 나타내었고(Shim and Yoo, 1985), 천수만에서는 미소플랑크톤이  $2.1 \sim 101.5 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ , 소형플랑크톤이  $7.79 \sim 999.4 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위를 보인다고 보고되었다(심과 신, 1989). 본 조사에서는 미소플랑크톤이  $0.9 \sim 167.8 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ , 소형플랑크톤이  $4.3 \sim 97.2 \mu\text{gC} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위를 보여 미소플랑크톤은 천수만 범위와 비슷하였지만 소형플랑크톤은 매우 낮았다. 그러나 세포수에 의한 환산값은 2배 이상의 변화 폭이 있어 세포 크기의 정확한 측정이 어려운 초미세 및 미소플랑크톤의 경우 어떤 환산치를 이용하는가에 따라 차이가 많이 나기 때문에 체적의 산출방법과 체적·탄소의 환산방법을 상세히 고려하여 계산해야 한다. 이러한 탄소량은 해양생태계 탄소순환 시스템을 이해하는데 결정적인 자료로 이용되기 때문에 앞으로 많은 보고가 있어야 한다고 생각된다.

총 엽록소 *a* 량(APP+ANP+AMP 엽록소량)의 연평균은 해안이  $0.74 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ , 외해에서  $0.8 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ 로써 제주도 다른 해역과 비교하면 해역에 따라 약간의 차이는 있으나 대체적으로 해안선일대 평균값인  $0.91 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ (최 등, 1989)보다 낮고 문섬일대 평균값( $0.73 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ ) 보다는 약간 높았다. 그러나 천수만의 평균  $1.90 \sim 4.33 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ (신 등, 1990), 황해 중동부해역의  $1.6 \sim 2.8 \mu\text{gChl-a} \cdot \text{l}^{-1}$ (조 등, 1994)보다는 낮았다. 총 엽록소량에 대한 기여율은 초미세플랑크톤이 22.5~25.7%, 미소플랑크톤이 35.0~35.1%, 소형플랑크톤이 39.2~42.5%를 차지하였다(Table 2). 우리나라 해역에서 미소플랑크톤(ANP)의 기여율은 동해남서해역에서 평균 75%(Shim *et al.*, 1985)로 가장 높았고, 감포용승역에서 평균 44%(김 등, 2001) 그리고 동해전역에서 43~100%(정 등, 1989)을 보이고 있어 조사해역의 ANP 기여율은 이보다 대체적으로 낮았다. 그러나 초미세플랑크톤(APP)는 감포용승역의 평균 34%(김 등, 2001)보다는 낮았지만 그의 낙동강하구의 평균 7%(정 등, 2000)와 대한해협의 평균 12%(정 등, 1998) 보다는 높아 조사해역의 APP의 생물량은 세포수와 마찬가지로 다른 해역보다 높은 분포를 보이고 있다고 생각된다.

조사 해역은 대마난류수와 하계 양자강 저염수의 영향을 받고 있으며 강우기에는 집중적인 담수가 유입되는 복잡한 양상을 띄는 특징을 보이고 있다. 조사기간동안 수온의 연평균은 해안 18.9°C, 외해 18.5°C 그리고 염분의 연평균은 해안 33.4 psu, 외해 33.6 psu 로써 문섬 주변해역의 연평균 수온 18.5°C, 연평균 염분 34.06 psu

(이 등, 2000)과 유사한 분포를 보였으나 염분은 예년에 비해 약간 낮았다. 영양염류 분포는 제주도 연안역에서 보고된 범위와 비슷하였으나 몇가지 특이한 점이 있었다. 조사해역의 질소원은 암모늄-질소, 아질산-질소, 질산-질소 세가지 형태중 질산-질소가 가장 많은 농도로 분포하였다. 최(1998)는 제주도 주변해역의 질소원은 대부분 육상기원으로 보고하였는데, 조사해역 주변에도 화순천, 황개천, 색달천, 중문천등 담수 유입이 활발하여 해안이 외해에 비해 질소와 규소농도가 약간 높았다. 그러나 인산-인은 외해가 해안보다 약간 더 높은 평균값을 보였는데 이는 중문해역 주변에 위치한 오폐수 처리장의 배출관이 외해에 위치하기 때문인 것으로 추정된다. 제주도 주변해역의 인산-인 농도는 계절별로 다르지만 일반적으로  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 분포를 보여 우리나라 다른 해역에 비해 낮은 것이 특징이었으며(최, 1998), 조사해역에서도 연평균  $0.3 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 낮은 농도였다. 인산-인은  $0.6 \mu\text{g-at} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 범위 이하인 경우 식물플랑크톤에 제한인자로 작용할수 있어 본 조사해역에서도 인산-인의 농도가 매우 낮아 N:P 비가 연평균 해안은 36.4, 외해는 32.6을 나타내어(Table 4), 인이 식물플랑크톤에 제한인자로 작용하고 있는 것으로 생각된다. 주성분 분석 결과 조사기간 중 크기별 플랑크톤의 변화는 물리·화학적 변화에 영향을 받고 있다고 설명할 수 있으며 그중 인과 규소에 의한 독립영양성 미소플랑크톤(ANP)의 영향이 조사해역의 가장 중요한 특성이라고 평가된다.

## 사 사

본 논문은 1977년 한국학술진흥재단의 연구비(KRF-1997-022-H00020)에 의하여 연구되었다.

## 참고문헌

- 김영남, 문창호, 송환석, 양성렬. 2001. 남서해안 감포 용승역에서 미세식물플랑크톤의 생물량과 생산량. 한국해양학회 2001 춘계 학술대회초록, p. 77(BP-01).
- 방익찬, 홍창수, 오경희, 2001. 제주도 중문 연안역의 물리해양환경에 대한 연구. 한국해양학회지 '바다', 6: 211-217.
- 서해림, 조양기, 서호영, 김대환, 1999. 1996년 제주도에 나타난 대형저서동물의 대량폐사: 물리해양학적 요인. 한국환경생물학회지, 17: 175-182.
- 신윤근, 심재형, 조준성, 박용철. 1990. 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력. 한국해양학회지 25: 217-228.
- 심재형, 신윤근. 1989. 천수만 일차생산자의 생물량 - 식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계. 한국해양학회지, 24: 194-205.
- 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, 좌종현, 강동우, 고유봉, 오봉철, 2000. 제주도 문섬 산호



- 서식지 주변의 생물생태학적 특성 II. 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력. 한국조류학회지, **15**: 37-47.
- 정창수, 심재형, 박용철, 박상갑. 1989. 한국 동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계. 한국해양학회지, **24**: 52-61.
- 정익교, 강윤향, 김영진, 권오섭. 1998. 한국 연안 초미세플랑크톤 생태 I. 대한해협 서수도 해역. *Algae*(한국조류학회지), **13**: 101-107.
- 정익교, 강영작, 권오섭, 서정관. 2000. 낙동강 하구 해역 식물플랑크톤의 군집동태. *Algae*(한국조류학회지) **15**: 99-110.
- 조병철, 강연식, 최중기, 1994. 황해 중동부해역에서 박테리아의 시·공간적 분포의 특성. 한국해양학회지 **29**: 145-151.
- 최종현, 이준백, 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성 I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지 '바다', **5**: 59-69.
- 최영찬, 이준백, 고유봉. 1989. 제주도 해안선주변의 해수특성 (1987년 6월-1988년 4월). 한국지구과학회지, **10**: 54-61.
- 최영찬, 1998. 해양화학. In: *제주도의 바다*, 고유봉 등 공저, (사)제주도해양개발협의회, pp. 45-94.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, R.A. Meyer-Reil and F. Thingstad, 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**: 257-263.
- 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.
- Chang, F.H., J.M. Bradford-Grieve, W.F. Vincent, and P.H. Woods, 1995. Nitrogen uptake by the summer size-fractionated phytoplankton assemblages in the Westland, New Zealand, upwelling system. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, **29**: 147-161.
- 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.
- 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
- No, J.H. and J.K. Choi, 2001. Contribution of picoplankton to size-fractionated primary productivity and characteristics of photosynthesis parameters in the East China Sea and the southern Yellow Sea. Proc. 2001 Spring Meeting, Korean Soc. Oceanogr., p. 53 (BO-01).
- 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.
- Sherr, E.B., D.A. Caron and B.F. Sherr, 1993. Staining of heterotrophic protists for visualization via epifluorescence microscopy. In: *Aquatic Microbial Ecology*, edited by Kemp, P.F., B.F. Sherr, E.B. Sherr and J.J. Cole, Lewis, Boca Raton, pp. 213-227.
- Sherr, E.B. and B.F. Sherr, 1994. Bacterivory and herbivory: Key roles of phagotrophic protists in pelagic food webs. *Microb. Ecol.*, **28**: 233-235.
- Shim, J.H. and S.J. Yoo, 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **20**: 31-42.
- 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 crops, nanofraction, and primary production. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **20**: 37-54.
- Sieburth, J.McN., V. Smetacek and J. Lenz, 1978. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, **33**: 1225-1227.
- Stoecker, D.K. and J.McD. Capuzzo, 1990. Predation on protozoa: Its importance to zooplankton. *J. Plankton Res.*, **12**: 891-988.
- 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.

2001년 2월 6일 원고접수

2002년 5월 21일 수정본 채택

담당편집위원: 이상훈