

## 저수온기 동해연안의 식물플랑크톤 크기에 따른 군집구조

이 주 연 · 장 만\*

한국해양과학기술원 해양생태계연구부

### Size Dependent Analysis of Phytoplankton Community Structure during Low Water Temperature Periods in the Coastal Waters of East Sea, Korea

Juyun Lee and Man Chang\*

*Marine Ecosystem Research Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST),  
787, Haeanro, Ansan 426-744, Korea*

**Abstract** - In order to understand the phytoplankton community structure based on their cell size during low water temperature periods, we studied 10 stations in the East Sea, Korea on March, 2012. The minimum standing crops of total phytoplankton were  $3.4 \times 10^6$  cells  $L^{-1}$  at the station 5. The maximum values were  $7.6 \times 10^6$  cells  $L^{-1}$  at the station 8, which is two times the amount of the minimum. The carbon mass at the station 4 ( $6.3 \times 10^8$  pg  $L^{-1}$ ) was more than forty times higher compared with station 5 ( $0.08 \times 10^8$  pg  $L^{-1}$ ). From these results, we found a significant difference between standing crops and carbon mass which might have caused due to their differences in community structure and cell size. Therefore, we considered the types of plankton biomass to estimate the primary product in the specific location and/or time. The phytoplankton communities were classified in 3 types: microplankton ( $>20 \mu m$ ), nanoplankton ( $<20 \mu m$ ) and picoplankton ( $<2 \mu m$ ). In the case of picoplankton, various morphological types were observed during the study period. These various picoplankton species were further classified as S (spherical), SF (spherical & flagella), O (oval), OF (oval & flagella) or R (rod) type, and we analyzed their community structure based on these categories. The picoplankton was found to be the most dominant type at 8 stations and S type as the most popular. The picoplankton seems to be the significant organism in the marine ecology during low water temperature periods in the coastal waters of East Sea. Therefore, picoplankton with scientific surveys can be considered as the database for their identification. In conclusion, we suggest that cell size of the phytoplankton would be the best criteria to accurately analyze their community structure and to reveal groups having more ecological influence.

**Key words** : phytoplankton community structure, cell size, picoplankton, low water temperature periods, East Sea

\*Corresponding author: Man Chang, Tel. 031-400-6468,  
Fax. 031-400-6495, E-mail. mchang@kiost.ac

## 서론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 일차생산자로 탄소순환에 중요한 역할을 한다. 수괴 내에서 물리·화학적 환경요인의 변화에 따라 출현량 및 종조성이 뚜렷한 변화를 보이기 때문에 이들의 군집구조를 파악하는 것은 해양의 특성을 평가하는 데 중요한 자료가 된다(Raymont 1980; Yang and Kim 1990). 이들은 크기에 따라 미세(Mirco-; 20~200  $\mu\text{m}$ ), 미소(Nano-; 2~20  $\mu\text{m}$ ), 극미소(Pico-; 0.2~2  $\mu\text{m}$ ) 플랑크톤으로 구분된다(Sieburth *et al.* 1978). 최근 형광현미경, CHEMTAX, flow cytometer와 같은 분석 기법 개발로 극미소플랑크톤의 분포 및 현존량 등의 연구가 활발하게 진행되고 있다(Noh *et al.* 2005; Casey *et al.* 2013). 극미소플랑크톤은 해양에서 일

차생산력의 큰 부분을 차지하고 영양염 재생산과 순환에 중요한 역할을 한다(Shim *et al.* 2008). 또한 이들의 생물량에 의해서 부유생물 먹이망의 구조와 식물플랑크톤의 생산율도 결정된다(Legendre and Rassoulzagan 1996; Vanucci and Mangoni 1999). 특히 빈영양 환경에서는 극미소플랑크톤이 총 식물플랑크톤 생물량에 큰 영향을 끼치는 것으로 보고되었다(Johnson and Sieburth 1979; Waterbury *et al.* 1979; Stockner 1988). 이와 같이 세포 크기에 따른 군집구조 분석을 통해 해양 생태계를 이해하는 연구는 전 세계적으로 태평양(Noh *et al.* 2006), 대서양(Zubkov *et al.* 2000), 동중국해(Pan *et al.* 2006), 지중해 및 아라비아 해와 같은 대양에서 활발하게 진행되고 있다.

극미소플랑크톤은 대양의 성격을 가진 해양에서 현존량의 큰 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다(Chung

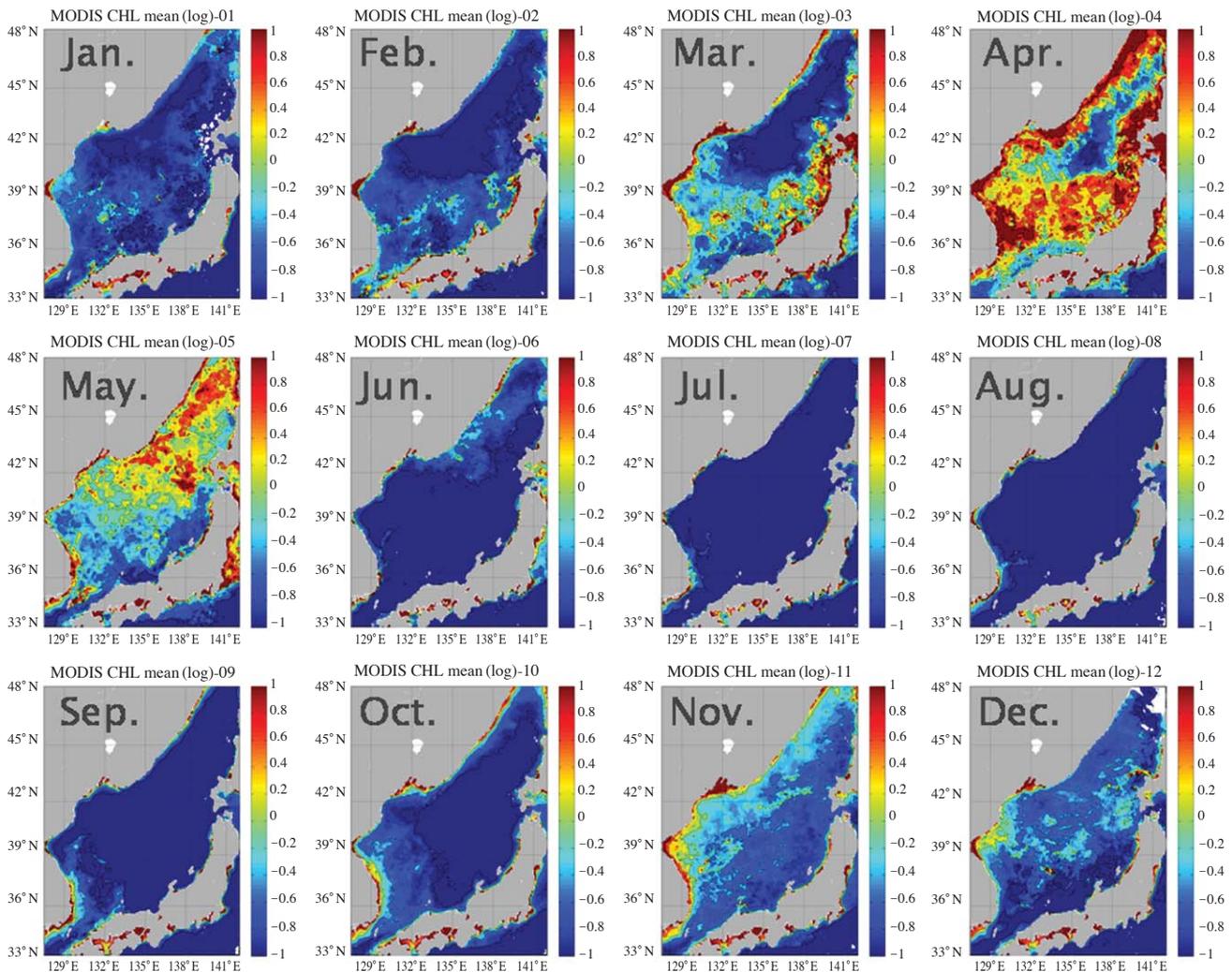


Fig. 1. MODIS chlorophyll *a* mean in East Sea from 2001 to 2010.

and Kang 1996). 동해는 대양에 비하여 공간적인 크기가 작으나 대양과 유사한 이중 대순환(double gyre) 형태의 상층순환이 존재하고, 이러한 현상들로 인해 ‘해양의 축소판(Miniature Ocean)’이라고 불리어지고 있다(Ichiye 1984). 동해의 일반적인 식물플랑크톤의 계절적 변동을 살펴보면 연중 봄과 가을 두 차례에 걸쳐 대증식이 관찰된다. 4월 이후에 시작되는 봄 대증식의 경우, 남쪽에서 먼저 일어난 뒤 북쪽으로 옮겨가고 가을 대증식은 동시다발적으로 발생하나 연안 쪽에서 먼저 시작되는 유형을 보인다고 알려졌다(Yoo and Kim 2011). 그러나 2001년부터 2010년까지의 MODIS(MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)로 측정된 월별 평균 엽록소  $a$  값을 보면(oceancolor.gsfc.nasa.gov), 봄과 가을 대증식과 더불어 저수온기(3, 11월)에 연안에서 높은 엽록소  $a$ 가 관찰되었다(Fig. 1). 동해 해양생태계 변화 양상을 이해하기 위하여 현상에 대한 원인 규명은 중요할 것으로 판단되나 저수온기의 식물플랑크톤 출현 양상 및 생물량에 대한 연구결과가 부족한 실정이다. 따라서, 2012년 저수온기 동해연안의 미세·미소플랑크톤 군집구조 분석과 더불어 생물량에서 누락되었던 극미소플랑크톤의 현존량과 형태학적 특이성을 조사하여 변화하는 동해연안 생태계를 이해하기 위한 기반을 만들고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 지역 및 시료 채취

본 연구는 저수온기 동해연안에서의 식물플랑크톤 군집구조를 조사하기 위하여 속초부터 울산까지의 10개 정점을 선정하였다(Fig. 2). 현장조사는 2012년 3월 15일과 26~27일 2차례에 걸쳐 실시하였고, 수온, 염분과 같은 이화학적 인자는 YSI(YSI-Model 556, YSI, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료는 각 정점에서 표층수 1L를 채취하여 Lugol's solution으로 최종농도 2%로 고정하여 농축한 후 상등액을 제거하고 분석을 실시하였다.

### 2. 분석 방법

식물플랑크톤은 크기에 따라 미세(Mirco-; 20~200  $\mu\text{m}$ ), 미소(Nano-; 2~20  $\mu\text{m}$ ), 극미소(Pico-; 0.2~2  $\mu\text{m}$ ) 플랑크톤으로 구분하였다(Sieburth *et al.* 1978). 각 정점에서 출현한 미세, 미소, 극미소플랑크톤의 생물량을 분석하기 위하여 총 개체수와 총 탄소량을 측정하였다. 미세·미소플랑크톤의 개체수를 구하기 위해 농축한 시료

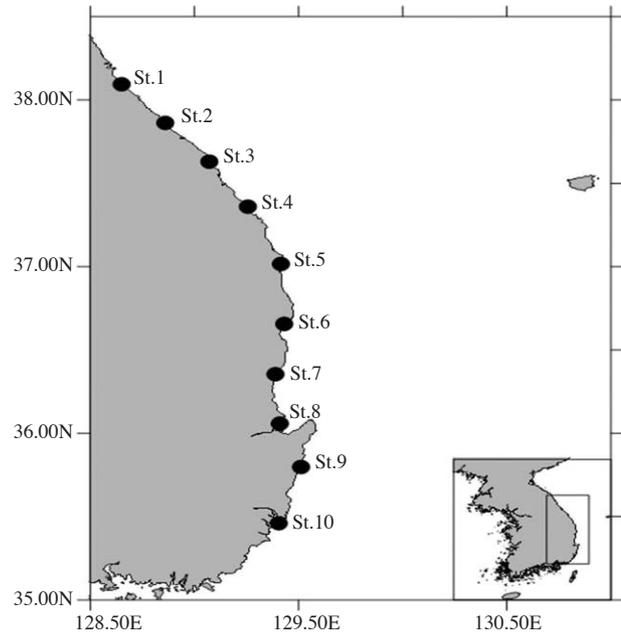


Fig. 2. Sampling stations in the coastal waters of East Sea.

를 Sedgwick-Rafter chamber에 분주한 후, 광학현미경(Olympus IX71, olympus, Japan)을 이용하여 200배율에서 계수하였다. 극미소플랑크톤은 DAPI(4'-diamidino-2-phenylindole)로 5분간 염색하고 nuclepore filter(Millipore Corp., Ireland)로 여과한 후 바로 immersion oil로 봉입하여 슬라이드를 제작하였다(Sherr *et al.* 1993). 그리고 형광현미경 1000배로 UV 광하에서 자가 형광을 띄는 2 $\mu\text{m}$  이하인 세포를 극미소플랑크톤으로 계수하였다. 또한 식물플랑크톤 탄소량을 분석하기 위하여 광학현미경을 통해 각 출현종의 폭과 길이를 측정하여 평균 체적( $\mu\text{m}^3$ )을 환산하였다(Kovala and Larrance 1966). 미세·미소플랑크톤의 군집구조를 분석하기 위하여 농축한 시료를 광학현미경으로 400배율에서 분류 및 동정을 실시하였다. 식물플랑크톤의 분류 체계는 Dodge(1982), Parke and Dixon(1968), Simonsen(1979)의 분류체계에 따랐다. 또한 극미소플랑크톤은 형태에 따라 5가지 종류인 S(spherical), SF(spherical & flagella), O(oval), OF(oval & flagella), R(rod) type으로 정하여 구분하고 이들의 군집구조를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

저수온기 동해연안 식물플랑크톤 크기에 따른 군집구조 조사 시의 최저 수온은 정점 3에서 8.24°C이고, 최고

**Table 1.** Temperature (°C) and salinity (psu) of sampling stations

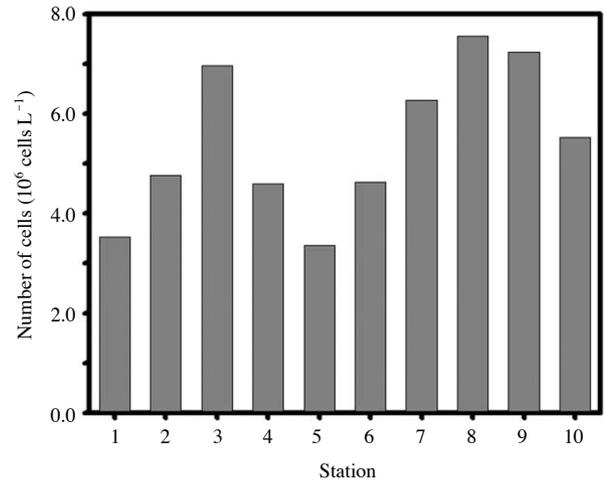
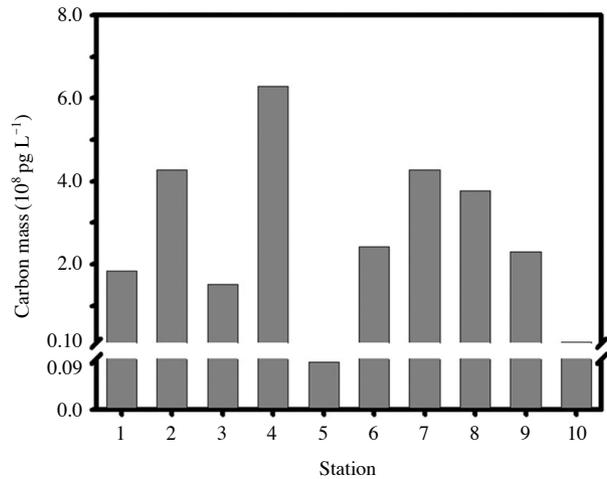
Station	Temperature (°C)	Salinity (psu)
1	8.97	32.57
2	8.76	35.03
3	8.24	1.76
4	8.89	33.27
5	8.37	33.25
6	11.23	33.25
7	12.03	33.22
8	13.05	35.22
9	12.22	35.35
10	11.91	26.26

수온은 정점 8에서 13.05°C이며, 평균 10.37°C로 나타났다(Table 1). 염분은 정점 3에서 1.76 psu로 가장 낮았으며, 정점 9에서 35.35 psu로 가장 높았고, 정점 3을 제외한 지역 평균은 33.05 psu로 정점 간의 유의한 차이는 없었다(Table 1). 정점 3의 염분이 다른 정점에 비하여 현저하게 낮은 것은 인근에 있는 주수천에서 유입되는 담수의 영향을 받은 것으로 판단된다.

### 1. 식물플랑크톤 생물량 분석

식물플랑크톤의 총 개체수는 정점 5에서  $3.4 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>로 가장 낮게 나타났으며, 정점 8에서  $7.6 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났다(Fig. 3). 총 개체수가 가장 적은 정점과 많은 정점을 비교하였을 때 2배의 차이를 보였다. 동해 영일만에서 조사된 식물플랑크톤 군집 구조 연구 결과에서는 1999년 동계 식물플랑크톤의 개체수가  $7.0 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 나타났다(Jo *et al.* 2000). 그리고 동해 축산항의 동계 식물플랑크톤 개체수가 2001년은  $2.7 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>이고, 2002년에는  $5.6 \times 10^5$  cells L<sup>-1</sup>으로 나타났다고 보고되어(Kang *et al.* 2005) 본 연구 결과와 비교하였을 때 큰 차이를 보였다. 염분이 낮게 나타난 정점 3의 경우, 다른 정점과 비교해 낮지 않은 개체수로 나타났다(Fig. 3).

식물플랑크톤의 총 탄소량은 각 정점에 따라 큰 차이를 나타냈다. 정점 5에서  $0.08 \times 10^8$  pg L<sup>-1</sup>로 가장 낮았고 정점 4에서  $6.3 \times 10^8$  pg L<sup>-1</sup>로 가장 높았으며, 두 정점을 비교하였을 때 40배 이상의 차이를 보였다(Fig. 4). 이러한 결과는 총 개체수를 기반으로 최소값을 보인 정점 5와 최대값을 보인 정점 8이 2배의 차이를 나타낸 것과 상이한 결과이다. 정점에 따른 생물량을 살펴 보면, 식물플랑크톤의 개체수가 최대값인 곳은 정점 8인 반면에 탄소량이 최대값인 곳은 정점 4로 나타났다. 그리고 특이하게도 염분이 낮고 개체수가 높게 나타났던 정점

**Fig. 3.** Total phytoplankton abundance at each station.**Fig. 4.** Total phytoplankton carbon mass at each station.

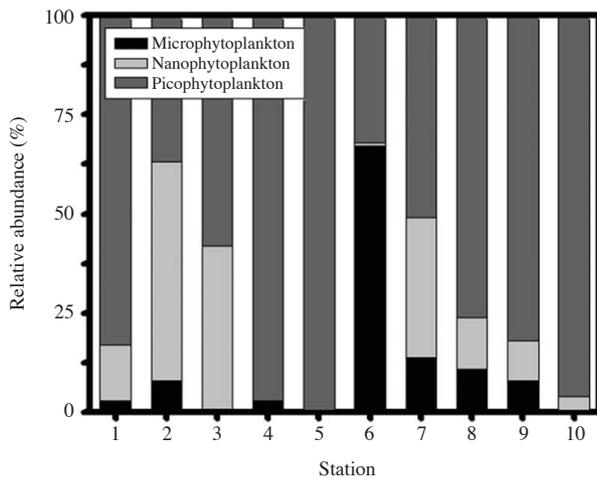
3의 경우, 탄소량이 다른 조사 정점에 비해 낮게 나타났다(Fig. 4).

### 2. 식물플랑크톤 군집 분석

각 정점에서의 우점종을 살펴보면 정점 2와 정점 6을 제외한 총 8개 정점에서 극미소플랑크톤이 제 1우점종으로 나타났다(Table 2). 또한 정점 5의 제 1우점종이 R type의 극미소플랑크톤인 것을 제외하고, 총 7개 정점에서 S type의 극미소플랑크톤이 제 1우점종으로 분석되었다. 반면 정점 2는 미소플랑크톤인 *Chaetoceros debilis*가 51.4%, 정점 6에서는 미세플랑크톤인 *Achnanthes longipes*가 47.4%로 우점하였다. 정점 3과 정점 7에서는 제 2우

**Table 2.** Phytoplankton dominant species at each station (U.P.: Unidentified phytoplankton, S: Spherical <2 μm plankton, O: Oval <2 μm plankton, OF: Oval & flagella <2 μm plankton, R: Rod <2 μm plankton)

St.	1 <sup>st</sup> .	%	2 <sup>nd</sup> .	%	3 <sup>rd</sup> .	%
1	U.P. (S type)	32.7	U.P. (R type)	31.5	<i>Chaetoceros debilis</i> , U.P. (O type)	13.1
2	<i>Chaetoceros debilis</i>	51.4	U.P. (S type)	25.1	U.P. (O type)	9.8
3	U.P. (S type)	36.3	<i>Thalassiosira allenii</i>	26.1	U.P. (O type)	12.0
4	U.P. (S type)	66.7	U.P. (O type)	10.3	U.P. (OF type)	4.3
5	U.P. (R type)	42.2	U.P. (S type)	21.9	U.P. (OF type)	15.6
6	<i>Achnanthes longipes</i>	47.4	U.P. (S type)	14.9	<i>Cocconeis scutellum</i>	11.2
7	U.P. (S type)	33.1	<i>Chaetoceros socialis</i>	19.5	<i>Fragilariopsis</i> sp.	10.4
8	U.P. (S type)	48.6	U.P. (O type)	16.2	<i>Chaetoceros debilis</i>	6.7
9	U.P. (S type)	40.7	U.P. (O type)	10.6	<i>Chaetoceros didymus</i>	4.8
10	U.P. (S type)	72.9	U.P. (O type)	18.1	<i>Thalassiosira allenii</i>	3.4

**Fig. 5.** Phytoplankton size fraction community structure at each station.

점종으로 각각 미소플랑크톤인 *Thalassiosira allenii*와 *Ch. socialis*가 출현하였고 나머지 8개 정점에서는 극미소플랑크톤이 제 2우점종으로 나타났다. 제 3우점종으로는 O type과 OF type의 극미소플랑크톤이 분석되었다. 우점한 극미소플랑크톤 중에서 S type이 가장 높은 비율을 차지하였고, R type은 정점 5와 정점 1에서 각각 42.2%, 31.5%로 나타났다. 5종류의 극미소플랑크톤 중 SF type은 우점도가 가장 낮았다.

총 10개 정점에서 미세플랑크톤은 최대 67.5%, 미소플랑크톤은 최대 54.7%, 극미소플랑크톤은 최대 99.8%의 비율로 나타났다(Fig. 5). 특히 극미소플랑크톤의 개체수는  $1.9 \times 10^6 \sim 6.7 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>였고 8개 정점에서 극미소플랑크톤의 개체수가 미세·미소플랑크톤보다 높은 비율로 나타났다. 반면 극미소플랑크톤의 개체수가 50% 미만인 정점 2에서는 미소플랑크톤이 54.7%로 가

장 많았고, 정점 6에서는 미세플랑크톤이 67.5%로 출현하였다. 한편 미소플랑크톤의 개체수는 정점 4와 정점 6을 제외한 모든 정점에서 미세플랑크톤의 개체수보다 높은 비율로 나타났다.

높은 극미소플랑크톤의 점유율로 인해 각 정점에서 총 개체수와 탄소량이 상이하게 나왔다. 정점 3은 전체 식물플랑크톤 개체수 중 극미소플랑크톤이 59%, 미소플랑크톤이 41%의 비율을 차지하였고, 정점 10은 극미소플랑크톤의 비율이 96%로 나타났다(Fig. 5). 두 정점에서 총 개체수가 높은 반면 탄소량은 현저하게 낮았는데, 이는 세포 크기가 작은 종의 비율이 압도적으로 높기 때문인 것으로 판단된다. 정점 4에서는 극미소플랑크톤의 높은 우점율에도 불구하고 *Coscinodiscus centralis*와 같이 100 μm 이상의 미세플랑크톤이 다양하게 출현하여 탄소량이 가장 높게 나타났다. 그러나 정점 5는 *Coscinodiscus* sp.와 같이 크기가 큰 미세플랑크톤이 출현함에도 불구하고 미세·미소플랑크톤의 개체수 비율이 0.2% 밖에 되지 않아 탄소량이 가장 낮게 나타났다(Fig. 5). 본 결과는 Jung *et al.* (2008)의 연구에서 탄소량으로 계산되는 생체량은 각각의 개체수와 세포 크기의 비율에 의해 좌우된다는 결론과 같이 나타났다. 개체수, 탄소량, 엽록소 *a*와 같이 다양한 생물량 표현법에 따라 다른 양상을 보인 연구 결과는 마산만에서도 조사된 바 있다 (Lee and Han 2007). 이러한 연구 결과들을 살펴보았을 때, 대상 해역의 정확한 생태학적 해석을 위해 다양한 측면에서 조사된 생물량 측정 결과의 통합적 분석이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 본 연구 결과에서 극미소플랑크톤이 29.7~99.8%로 높은 비율을 차지하고 있음에도 불구하고 기존연구에서는 조사가 거의 이루어지지 않았다. 앞에서도 언급한 동해 축산항에서의 생물량 (2001년:  $2.7 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>, 2002년:  $5.6 \times 10^5$  cells L<sup>-1</sup>)과

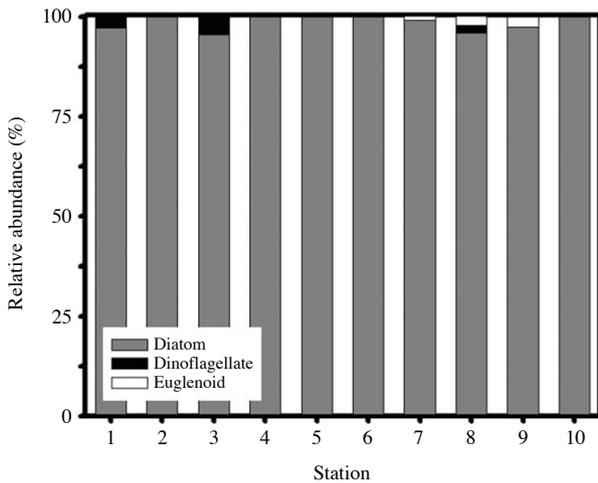


Fig. 6. Microplankton and nanoplankton community structure at each station.

비교하였을 때, 전체 식물플랑크톤의 개체수에서 극미소플랑크톤의 개체수를 제외한 생물량 (최저:  $2.9 \times 10^5$  cells  $L^{-1}$  (정점 5), 최대:  $3.6 \times 10^6$  cells  $L^{-1}$  (정점 7))과 유사하게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 그 외, 국내에서 수행된 극미소플랑크톤 현존량에 대한 연구는 이어도관측지 주변 해역에서 극미소플랑크톤을 *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, picoeukaryotes로 구분하여 수행한 결과가 있다 (Noh *et al.* 2005). 이 지역의 2004년 3월 *Synechococcus*의 개체수는  $2.1 \times 10^6$  cells  $L^{-1}$ 로 나타났으며, *Prochlorococcus*는 출현하지 않았고 picoeukaryotes는  $1.3 \times 10^6$  cells  $L^{-1}$ 로 보고되었다. 이러한 결과는 극미소플랑크톤의 총 개체수로 환산해 보았을 때 본 연구 결과와 유사하게 나타났다. 이와 같이 해역에 따라 큰 차이 없이 나타나는 상당수의 극미소플랑크톤 현존량은 해양생태계 생산력 측정에서 반드시 고려해야 할 것으로 판단된다.

미세·미소플랑크톤의 군집구조를 살펴보면, 총 10개 정점에서 규조류가 95% 이상 우점하는 것으로 나타났다 (Fig. 6). 일반적으로 우리나라 연안에서 규조류는 전 계절에 걸쳐 미세·미소플랑크톤의 가장 높은 현존량 및 종 다양성을 보이고 있다. 외편모조류는 정점 1과 정점 3에서 각각 2.8%, 4.4%의 비율로 출현하였다. 정점 7~9에서는 유글레나류가 0.9~2.5%로 나타났으며, 정점 8은 규조류, 외편모조류, 유글레나류 모두 출현하였다. 앞에서 언급한 저염분수의 영향을 받았던 정점 3에서는 규조류 중 *Th. allenii*가 주요 우점종이었다. 이들은 광염분성으로 저염분 조건에서 적응하는 종으로 알려져 있다 (Brand 1984). 따라서 정점 3의 경우, 담수의 영향

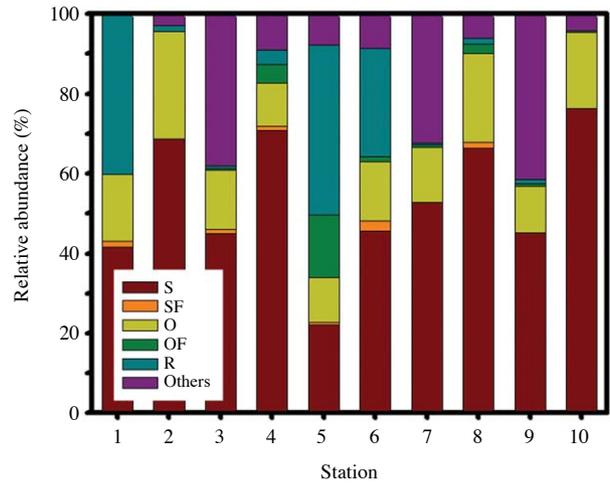


Fig. 7. Picoplankton community structure at each station (S: Spherical type, SF: Spherical & flagella type, O: Oval type, OF: Oval & flagella type, R: Rod type).

으로 낮아진 염분에도 불구하고 식물플랑크톤의 생물량이 높게 나타났으며, 염분의 내성이 높은 다양한 종이 출현한 것으로 판단된다.

극미소플랑크톤은 형태에 따라 S, SF, O, OF, R, 그 외의 Other type이 관찰되었다. 본 연구에서 출현한 극미소플랑크톤의 다양한 형태학적 특성을 파악하기 위하여 형광현미경으로 관찰하였다. S type은 지름이 0.6~1.4  $\mu m$ 이고 세포 표면이 개체에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. SF type은 지름이 0.6  $\mu m$ 이고 세포 크기에 비해 긴 편모가 있어서 S type과 구별된다. O type의 경우, 장축이 0.7~1  $\mu m$ , 단축은 0.3  $\mu m$ 인 난형으로 2종류가 관찰되었다. 그리고 OF type은 장축이 1.4  $\mu m$ , 단축이 0.3  $\mu m$ 의 난형 세포이며 긴 편모가 관찰되었다. R type의 경우는 장축이 0.8~2  $\mu m$ , 단축이 0.1~0.3  $\mu m$ 인 막대모양으로 2종류가 관찰되었다. 정점에 따른 극미소플랑크톤의 군집구조는 S type이 정점 5를 제외한 모든 정점에서 가장 높은 비율을 차지하였다 (Fig. 7). SF type은 4개 정점에서 출현하지 않았고, 정점 6에서 전체 극미소플랑크톤의 2.5%로 나타났다. O type은 모든 정점에서 큰 차이 없이 출현하여 10.9~26.9%의 비율을 나타냈다. OF type은 정점 5에서 15.8%로 가장 높은 비율을 나타내는 반면 정점 1과 정점 2에서는 출현하지 않았다. R type의 극미소플랑크톤 또한 0.5~42.5%로 정점에 따라 점유율에 큰 차이를 보였으며 정점 10에서는 출현하지 않았다. 본 연구에서 형태적으로 구분한 5개 type의 극미소플랑크톤 이외에 다른 형태를 가진 종들은 Fig. 7에서 others로 표현하였다. 이들의 비율은 3.0~41.5%로

정점에 따라 큰 차이를 보였으며 정점 1에서는 관찰되지 않았다. 선행연구들에서 일반적으로 구분되는 극미소플랑크톤인 *Prochlorococcus*속은 세포가 0.5~0.8  $\mu\text{m}$ 의 구형으로 본 연구에서 S type에 속한다. 일반적으로 이 속은 영양염이 풍부한 환경보다 빈영양 환경에서 높은 현존량을 보인다(Jiao *et al.* 2002). 한편 *Synechococcus*속은 타원형 혹은 막대모양으로 O type 또는 R type으로 구분된다. 이들은 전 해역에 분포하며 영양염이 높은 환경에서 개체수가 많고 대양의 성격을 가진 해역보다는 연안의 환경에서 더 높은 현존량을 나타낸다(Partensky *et al.* 1999). 그리고 이외의 type에 속하게 되는 picoeukaryotes는 수온과 염분의 영향은 뚜렷하지 않으며 춘계와 추계 식물플랑크톤 대증식기에 높아지는 현상을 보인다(Noh *et al.* 2005). 본 연구에서 출현한 극미소플랑크톤을 생리학적 특성을 기반으로 기존에 알려진 종들로 명확하게 분류하기 어렵다. 따라서, 다양한 형태를 가지고 있는 극미소플랑크톤의 분류학적 연구를 위하여 이들의 배양주를 확립하고 이를 활용하여 생리학적 특성을 파악하는 것이 필요하다고 판단된다. 이러한 연구 결과를 바탕으로, 조사 지역의 생태학적 특성 이해에 큰 도움이 될 것이다. 그리고 세포 크기에 따라 식물플랑크톤을 분류하여 수행한 생물량 조사에서 극미소플랑크톤의 영향력이 큰 것으로 나타났다. 따라서 향후, 저수온기 동해연안에서 관측되는 일차생산력의 월별 조사와 더불어 식물플랑크톤 군집 조사를 함께 수행하여 환경 변화에 따른 생물량 변화 현상과 원인에 대한 규명이 이루어져야 할 것이다.

## 적 요

본 연구는 2012년 3월 저수온기 동해연안의 10개 정점에서 식물플랑크톤의 군집구조를 세포의 크기에 따라 구분하여 조사하였다. 식물플랑크톤의 총 개체수는  $3.4 \times 10^6 \sim 7.6 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ , 탄소량은  $0.0^8 \times 10^8 \sim 6.3 \times 10^8 \text{ pg L}^{-1}$ 로 나타났다. 개체수를 기반으로 생물량을 보았을 때, 극미소플랑크톤의 비율이 미세·미소 플랑크톤보다 높았다. 그러나 탄소량을 기반으로 하는 생물량을 보았을 때, 극미소플랑크톤은 세포 크기가 작아 기여도가 미미하였고, *Coscinodiscus*속과 같이 크기가 큰 종들은 기여도가 높았다. 이와 같이 식물플랑크톤의 생물량을 정확하게 파악하기 위해서는 다양한 관점으로 여러 항목을 조사할 필요성이 있는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤의 군집 구조를 확인한 결과, 총 10개 정점 중에 8 정

점에서 극미소플랑크톤이 우점하였다. 또한 8개 정점에서 미소플랑크톤의 개체수가 미세플랑크톤보다 높은 비율을 나타냈다. 미세·미소플랑크톤 중에서는 규조류의 비율이 95% 이상이었다. 극미소플랑크톤의 군집구조를 살펴보면, 5가지의 형태학적 특성이 다른 군집이 확인되었으며, 7개 정점에서 S type이 가장 우점한 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 확인된 극미소플랑크톤이 차지하는 생태학적 기여도가 커 이들에 대한 연구가 꾸준히 수행되어야 하며, 이를 위하여 그들의 분류학적 체계 구축과 생리학적 특성 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 이와 같은 연구를 기반으로 향후, 변화하고 있는 동해연안에서 생물 군집 변화 현상을 규명할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 해양수산부가 지원하는 강원씨그랜트사업인 ‘환경변화에 따른 동해 생물자원 변동 예측을 위한 1차 생산력 모니터링’, 미래창조과학부의 ‘해양 유해조류 자동판별시스템 개발 및 방제 적용기술 타당성 분석(NRF-2013M3A2A1067529)’, 한국해양과학기술원의 ‘동해 심해 극한환경 및 서식생물 특성 연구 I [DEEP-EAST: 후포뱅크-울릉분지] (PE99201)’의 지원을 받아 수행된 연구임.

## REFERENCES

- Brand LE. 1984. The salinity tolerance of forty-six marine phytoplankton isolates. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 18:543-556.
- Casey JR, JP Aucan, SR Goldberg and MW Lomas. 2013. Changes in partitioning of carbon amongst photosynthetic picoplankton groups in the Sargasso Sea in response to changes in the North Atlantic Oscillation. *Deep-Sea Res.* II. 93:58-70.
- Chung IK and YH Kang. 1996. The ultrastructure of the Chlorococcalean picoplankton isolated from the western channel of the Korea Strait. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 30:529-536.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. pp. 303. Her majesty's stationery office.
- Ichiye T. 1984. Some problem of circulation and hydrography of the Japan Sea and Tsushima Current. pp.15-54. In *Ocean hydrography of the Japan Sea and China Seas* (Ichiye T ed.). Elsevier Sci. Publishers. Amsterdam.
- Jo EY, JH Cha, MK Kim and KT Kim. 2000. Studies on the

- ecosystem in the Young-II Gulf of Korea: 1. Species composition and diversity of phytoplankton communities. *Algae* 15:49-59.
- Johnson PW and JMN Sieburth. 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Ocenogr.* 24:928-935.
- Jun KO and CK Park. 1969. Studies on the chlorophyll in East sea of Korea. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency* 4:27-43.
- Jung SJ, OY Kwon and JH Lee. 2008. Variation and relationship between standing crops and biomass of phytoplankton dominant species in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters from 2000 to 2007. *Algae* 23:53-61.
- Kang YS, HC Choi, JH Lim, IS Jeon and JH Seo. 2005. Dynamics of the phytoplankton community in the coastal waters of Chuksan Harbor, East Sea. *Algae* 20:345-352.
- Kovala PE and JD Larrance. 1966. Computation of phytoplankton cell numbers, cell volume, cell surface and plasma volume per liter, from microscopical counts. Special Report No. 38 of university of Washington department of Oceanography.
- Lee JY and MS Han. 2007. Change of blooming pattern and population dynamics of phytoplankton in Masan bay, Korea. *J. Korean Soc. Oeanogr.* 12:147-158.
- Lee WJ. 2007. Temporal distribution of pico- and nanoplankton at a station in Okkye bay. *J. Environ. Sci.* 16:855-863.
- Legendre L and F Rassoulzadegan. 1996. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans hydro-dynamics control. *Mar. Eco. Pro. Ser.* 145:179-193.
- Noh JH, SJ Yoo, JA Lee, HC Kim and JH Lee. 2005. Phytoplankton in the waters of the Ieodo ocean research station determined by microscope, Flow Cytometry, HPLC pigment data and remote sensing. *Ocean Polar Res.* 27:397-417.
- Noh JH, SJ Yoo and SH Kang. 2006. The summer distribution of picophytoplankton in the Western Pacific. *Korean J. Environ. Biol.* 24:67-80.
- Pan LA, J Zhang, Q Chen and B Deng. 2006. Picoplankton community structure at a coastal front region in the northern part of the South China Sea. *J. Plankton Res.* 28:337-343.
- Parke M and J Dixon. 1968. Check list of British marine algae – Second revision. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 45:537-557.
- Partensky F, J Blanchot and D Vaultot. 1999. Differential distribution of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in oceanic waters: a review. In *Marine cyanobacteria* (Charpy L and WD Larkum eds.). *Bull. Institut. Oceanogr. Monaco* 19: 457-475.
- Raymont JEG. 1980. *Plankton and productivity in the oceans* 2nd Ed. volume 1 *Phytoplankton*. Pergamon Press. 489pp.
- Sherr EB, DA Caron and BF Sherr. 1993. Staining of heterotrophic protists for visualization via epifluorescence microscopy. pp.213-227. In *Aquatic Microbial Ecol* (Kemp PF, BF Sherr, EB Sherr and JJ Cole eds.). Lewis. Boca Raton.
- Shim JM, SH Yun, JD Hwang, HG Jin, YH Lee, YS Kim and SC Yun. 2008. Seasonal variability of picoplankton around Ulneung Island. *J. Environ. Sci. Int.* 17:1243-1253.
- Sieburth JMN, V Smetacek and J Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 23:1256-1263.
- Simonsen R. 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria.* 2:9-71.
- Stockner JG. 1988. Phototrophic picoplankton: an overview from marine and freshwater eco-systems. *Limnol. Oceanogr.* 33:765-775.
- Vanucci S and O Mangoni. 1999. Pico and nano phytoplankton assemblages in a subantarctic ecosystem in the Strait of Magellan. *Bota. Mari.* 42:563-572.
- Waterbury JB, SW Watson, RRL Guillard and LE Brand. 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic cyanobacterium. *Nature* 227:293-294.
- Yang HS and SS Kim. 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula. 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the southern sea of Korea in summer. *Bull. Korean Fish. Soc.* 23:417-424.
- Yoo SJ and HC Kim. 2011. Primary productivity of the East sea. pp.105-121. In *The Plankton Ecology of Korean coastal waters* (Choi JK ed.). DongHwa Technology Publishing Co. Seoul.
- Zubkov MV, MA Sleigh, PH Burkill and RJG Leakey. 2000. Picoplankton community structure on the Atlantic Meridional Transect: a comparison between seasons. *Prog. Oceanogr.* 45:369-386.

Received: 12 May 2014

Revised: 15 July 2014

Revision accepted: 16 July 2014