

2000-2007년 통영바다목장해역에서 식물플랑크톤 현존량 및 생체량에 따른 우점종의 변동 및 관계

정승원^{1,2} · 권오윤¹ · 이진환^{1*}

(¹상명대학교 자연과학대학 생명과학전공, ²(주)한국연안환경생태연구소)

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

Seung Won Jung^{1,2}, Oh Youn Kwon¹ and Jin Hwan Lee^{1*}

¹Department of Life Science, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

²Korea Institute of Coastal Ecology, Inc. Incheon 402-835, Korea

In order to understand variation and relationship between standing crops and biomass of phytoplankton dominant species for the long term periods, this study was seasonally investigated in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters from 2000 to 2007. Total 268 taxa representing 217 Bacillariophyceae, 46 Dinophyceae, 4 Dictyochophyceae, 1 Euglenophyceae were observed in phytoplankton communities. Dominant species consisted of 5 species as standard in standing crops: *Chaetoceros curvisetus* (18.01%), *Chaetoceros socialis* (12.95%), *Skeletonema costatum* (8.39%), *Chaetoceros compressus* (6.87%), *Asterionellopsis glacialis* (5.02%). However, to determine dominant species as biomass concept, *Ditylum brightwellii*, *Guinardia striata*, *Rhizosolenia* spp. and *Skeletonema costatum* were occupied with dominant species (19.67%). As determining for cell sizes, dominant species were divided with two groups such as micro- and nanophytoplankton (standing crops) and mesophytoplankton (biomass). However, *Skeletonema costatum* in nanophytoplankton was associated to affect fluctuation between standing crops and biomass.

Key Words: biomass, dominant species, micro and nano-phytoplankton, Tongyeong marine ranch

서 론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 일차생산자로서 에너지 흐름에 중요한 위치를 차지하고 있으며, 생태계 내에서 환경 요인의 변화에 매우 민감한 반응을 나타내기 때문에 이들의 군집구조를 파악하는 것은 해역의 특성을 평가하는 중요한 자료로 이용되고 있다(Raymont 1980). 특히 우리나라와 같이 4계절이 뚜렷한 온대해역의 경우, 식물플랑크톤 군집은 뚜렷한 천이양상을 보이며, 우점종 또한 계절에 따라 다양한 변화양상을 나타낸다. 이와 같이 식물플랑크톤 우점종이 차지하는 비율은 20%에서 많게는 80-90%까지 우점을 하여 해

역의 생산력을 좌우하고 있다(Reynolds 2006).

우리나라에서도 식물플랑크톤의 우점종에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. 서해에서는 경기만에서 식물플랑크톤 군집의 변화(Choi and Shim 1986), 시화호 주변해역의 일차생산력(최 등 1997), 아산만에서 식물플랑크톤 크기별 변화양상(이 등 2005; 현 등 2006) 등이었으며, 남해에서는 득량만에서 수질과 식물플랑크톤 적조(이와 이 1999), 여자만에서 수질과 식물플랑크톤의 군집변화(이와 윤 2000), 여름철 남해 연안의 식물플랑크톤 군집 변화(임 등 2003) 및 출현양상(조 등 2006), 마산만의 식물플랑크톤 군집(이 등 2004), 통영해역에서 동·식물플랑크톤 분포(Lee et al. 2001) 및 환경요인에 따른 식물플랑크톤 현존량의 변화(강 등 2003; 정 등 2007) 등이 연구되었다. 동해에서는 고리, 월성, 울진에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성(강과 최 2002), 동해 축산

*Corresponding author (jhlee@smu.ac.kr)

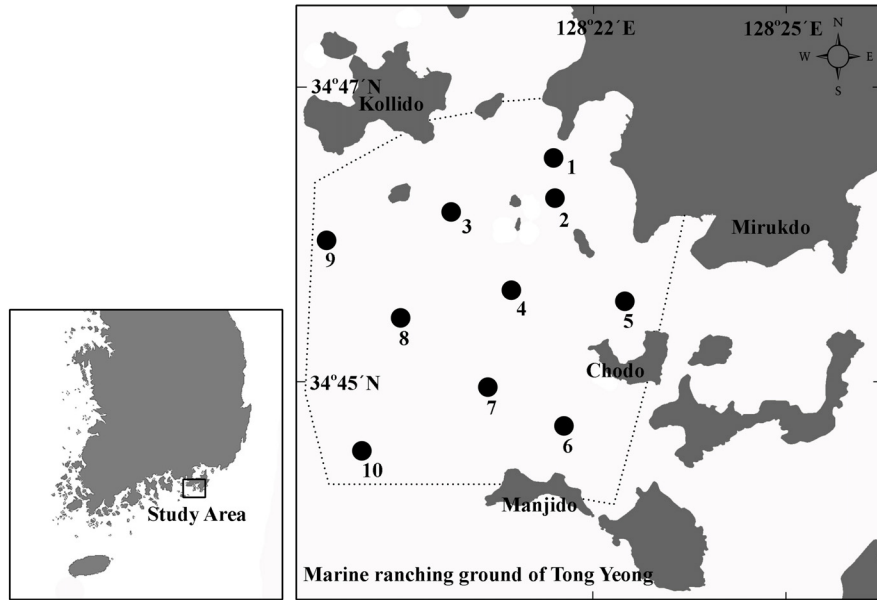


Fig. 1. A map showing the sampling stations in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters.

항 연안의 식물플랑크톤 출현양상(강 등 2005) 등의 보고가 있다. 그러나 대부분의 연구는 특정시기의 식물플랑크톤 출현양상과 단기간의 조사에 국한되어 장기간의 변화를 파악하는데 한계를 가지고 있다.

본 연구는 장기간에 걸쳐 통영바다목장 해역에서 식물플랑크톤 군집에 우점종이 차지하는 중요성을 규명하고 계절적 천이양상을 밝히며, 현존량과 생체량의 관계를 파악하여 조사해역의 생태계의 구조를 이해하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

조사지 개황

본 조사해역인 통영바다목장 해역은 남해안 다도해 초입에 위치하며(위도 34°45'N, 경도 128°23'E), 해안선의 굴곡이 심한 리아스식 해안으로서 쓰시마 난류의 지류가 통과하며, 평균 수심이 약 10-40 m로 비교적 얇고 어획되는 수산물이 약 100여 종으로 우리나라에서 가장 풍부한 자원을 갖춘 곳 중의 하나이다.

통영바다목장 해역 540 ha는 어류산란 및 성육장으로 보호 및 어업질서의 문란과 단속을 위하여 보호수면으로 지정되었다(2000. 12. 19, 해양수산부 공고 제2000-113호). 2005년 1월에는 “수산자원관리수면 관리이용 규정”이 제정되어, 2월에 해양수산부 장관의 승인을 거쳐, 3월 14일부터 경상남도지사에 의해 공식 지정되었다.

조사시기 및 방법

본 조사는 2000년 4월부터 2007년 1월까지 계절별로 총 24회에 걸쳐 통영바다목장 해역 10개 정점의 표·저층에서 실

시되었다(Fig. 1).

식물플랑크톤의 채집은 표층과 저층에서 van Dorn 채수기를 이용하여 시수 1 L를 채수한 다음 선상에서 각 식물플랑크톤 분류군의 특성에 따라 각 500 mL씩 4% 중성 포르말린 및 2% 글루타탈데하이드로 따로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 시료는 24시간 이상 침전시킨 후 상등액을 siphon으로 버리고 150-200 mL로 농축하였다. 정량분석은 농축된 시료를 균일하게 섞은 후 1 mL을 취하여 Palmer-Maloney Counting Chamber에 넣고 광학현미경(Zeiss Axioskop 40) ×400배 하에서 3회 계수한 후 cells L⁻¹의 단위로 환산하였다. 정성분석은 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 광학현미경의 400-1000배 하에서 동정 및 크기를 측정하였으며, 크기가 작은 미소식물플랑크톤은 주사전자현미경(Jeol, 5600LV)으로 동정 및 그 크기를 측정하였다. 우점종의 선정 기준은 조사기간 동안 전체 출현한 현존량에서 평균 5% 이상 출현한 종으로 하였으며, 우점종의 선정 기준에 속하지 않더라도 계절 특이적으로 높은 현존량으로 출현한 종들은 추가적으로 선정하였다.

생체량(탄소량)은 Sun and Liu(2003)가 제안한 공식에 의해 각 종들의 부피를 측정하여 Strathmann(1967)에 의해 탄소량을 구한 후, 전체 현존량에 대입하여 μgC L⁻¹ 단위의 생체량을 구하였다. 이렇게 측정된 생체량을 가지고 현존량의 우점종 선정 방법에 의거, 전체 평균 5% 이상 차지한 종들을 우점종으로 선정하였다. 각 우점종들의 현존량과 생체량에 따른 관계는 선형 회귀분석(linear regression) 및 상관분석(Pearson correlation)을 실시하였으며, 이때 통계는 SPSS(v. 10.0)를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Classification of phytoplankton communities from 2000 to 2007 in the marine ranching ground of Tongyeong

Class		Ord.	Subord.	Fam.	Gen.	Spe.	Var.	For.	Total spe.
Bacillariophyceae	Centrales	1	3	13	28	142	5	5	152
	Pennales	1	4	7	18	59	2	4	65
Dinophyceae		5	·	8	12	44	·	2	46
Dictyophyceae		1	·	1	2	4	·	·	4
Euglenophyceae		1	·	1	1	1	·	·	1
Total		9	7	30	61	250	9	9	268

Table 2. Seasonal fluctuations of number of species in phytoplankton communities from 2000 to 2007 in the marine ranching ground of Tongyeong

Taxa	Depth		Spring (%)	Summer (%)	Autumn (%)	Winter (%)
	Surface	Bottom				
Bacillariophyceae	205	201	112 (84.21)	144 (77.01)	150 (86.71)	107 (91.45)
Dinophyceae	41	38	19 (14.29)	39 (20.86)	18 (10.40)	7 (5.98)
Dictyophyceae	4	4	2 (1.50)	3 (1.60)	4 (2.31)	3 (2.56)
Euglenophyceae	1	·	· (0.00)	1 (0.53)	1 (0.58)	· (0.00)
Total	251	243	133 (100)	187 (100)	173 (100)	117 (100)

결 과

출현 분류군 및 종조성

조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤 군집은 돌말류가 2목 7아목 20과 46속 201종 7변종 9품종으로 총 217종, 와편모조류가 5목 8과 12속 44종 2품종으로 46종이 출현하였다. 또한 규질편모조류가 1목 1과 2속 4종이 출현하였고, 유글레나조류가 1종으로 전체 268종이 출현하였다(Table 1). 이렇게 출현한 분류군에 따라 돌말류가 가장 높은 점유율을 보였으며 (84.84%), 다음으로 12.83%의 와편모조류가 출현하였다. 특히 돌말류에서 중심목(Centrales)이 152종으로 70.05%를, 우상목(Pennales)이 65종으로 29.95%를 차지하여 본 해역에서는 중심목 돌말류가 가장 높은 출현빈도를 나타내었다. 시·공간적인 출현종의 양상은 표층(251종)과 저층(243종)이 큰 차이를 보이지 않았으며, 봄철에 133종, 여름철에 187종, 가을철에 173종, 겨울철에 117종으로 여름철에 가장 다양하게 출현하였다(Table 2).

식물플랑크톤 현존량에 따른 우점종

주요 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*(18.01%), *Chaetoceros socialis*(12.95%), *Skeletonema costatum*(8.39%), *Chaetoceros compressus*(6.87%), *Asterionellopsis glacialis*(5.02%)로 모두 돌말류가 차지하였고, 크기별로는 20-200 μm 의 소형식물플랑크톤과 2-20 μm 의 미소식물플랑크톤이었다(Fig. 2).

최우점을 차지한 *Chaetoceros curvisetus*는 표층이 평균 5.45

$\times 10^4$ cells L^{-1} 를 보여 저층보다 1.83배 높은 출현을 보였다. 계절별로는 가을철에 평균 8.75×10^4 cells L^{-1} 로 가장 높은 현존량을 보였고, 상대적으로 봄철과 겨울철에 각각 평균 1.47×10^4 cells L^{-1} 와 0.17×10^4 cells L^{-1} 로 낮은 현존량을 나타내었다. *Chaetoceros socialis*는 평균 저층(1.63×10^4 cells L^{-1})보다 표층(4.43×10^4 cells L^{-1})에서 높은 현존량을 보였으며, 다른 계절에 비해 가을철에 평균 8.69×10^4 cells L^{-1} 로 가장 높은 현존량을 보였다. 특히 2000년 10월 표층에서 4.75×10^5 cells L^{-1} , 2002년 10월 표층에서 4.51×10^5 cells L^{-1} 로 10^5 cells L^{-1} 이상의 높은 현존량을 보였다. *Skeletonema costatum*은 평균 표층에서 2.34×10^4 cells L^{-1} , 저층에서 1.59×10^4 cells L^{-1} 로 표층이 높았으나, 우점율은 저층(9.61%)이 표층(7.73%)보다 높았다. 계절별로는 봄철에 7.29×10^2 cells L^{-1} (0.61%), 여름철에 4.83×10^3 cells L^{-1} (2.59%), 가을철에 5.16×10^4 cells L^{-1} (11.13%), 겨울철에 3.06×10^3 cells L^{-1} (10.58%)로 가을철에 가장 높은 현존량을 보였으며, 겨울철에는 높은 빈도로 출현하였다. *Chaetoceros compressus*는 평균 표층에서 2.15×10^4 cells L^{-1} , 저층에서 1.06×10^4 cells L^{-1} 로 표층에서 약 2배 정도 높은 현존량을 보였다. 계절별로는 봄철에 1.33×10^3 cells L^{-1} (1.11%), 여름철에 1.28×10^4 cells L^{-1} (6.86%), 가을철에 3.30×10^4 cells L^{-1} (7.11%), 겨울철에 2.82×10^3 cells L^{-1} (9.73%)로 가을철에 가장 높은 현존량을 보였으며, 우점율은 겨울철에 가장 높았다. *Asterionellopsis glacialis*는 평균 표층에서 1.43×10^4 cells L^{-1} , 저층에서 9.17×10^3 cells L^{-1} 를 보여 표층에서 높은 현존량을 보인 반면, 저층(5.53%)이 표층(4.75%)보다 높은 우점율을 나타내었다. 이 종은 다

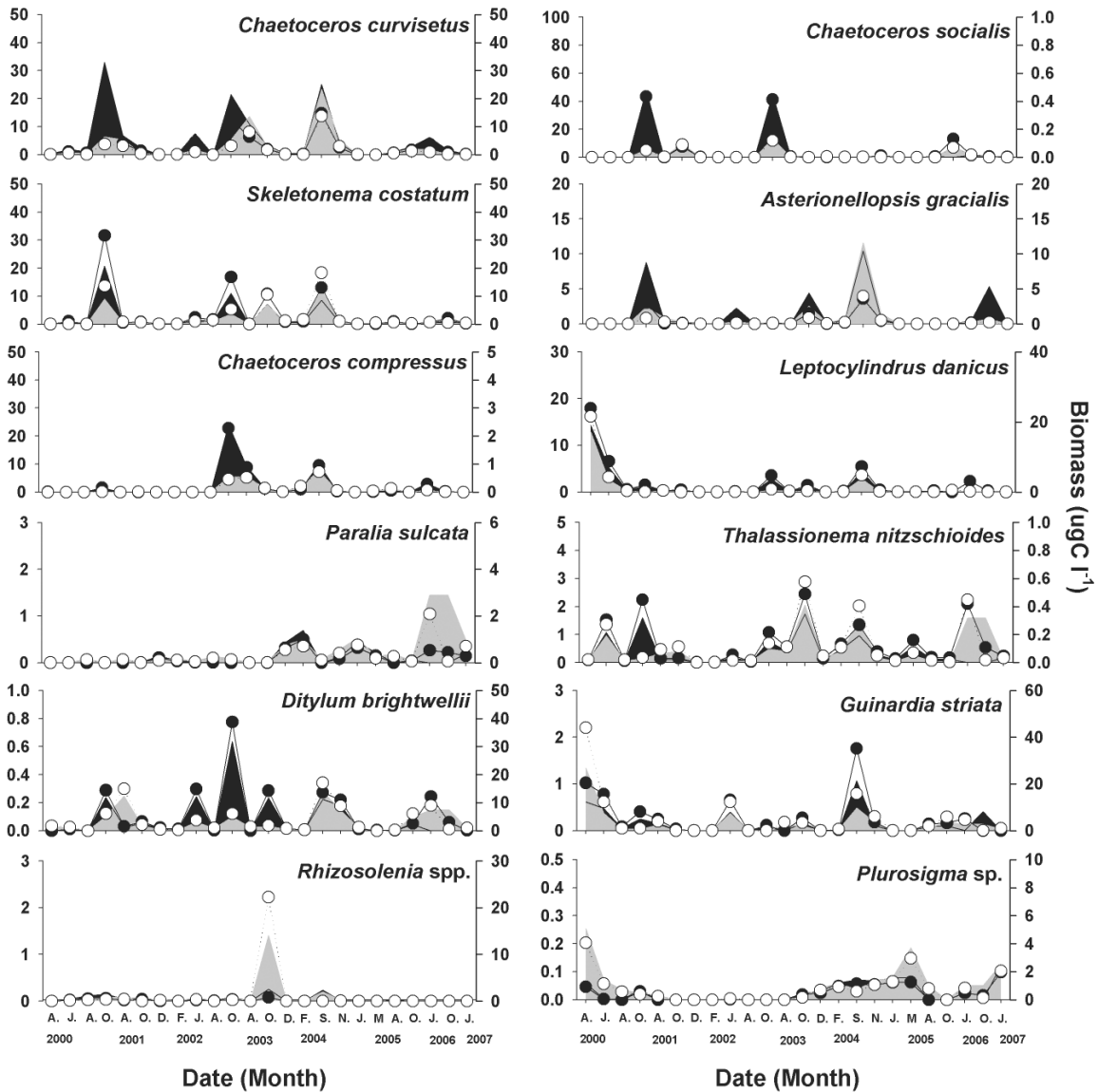


Fig. 2. Variations of standing crops and biomass of dominant species of phytoplankton community from 2000 to 2007. (■); standing crops in surface, (▣); standing crops in bottom, (●); biomass in surface, (○); biomass in bottom.

른 우점종들에 비해 낮은 우점율을 보였으나, 2004년 9월에 1.15×10^5 cells L⁻¹의 최우점을 기록하였다. 계절별로는 *Skeletonema costatum*의 변동과 같이 가을철에 평균 3.11×10^4 cells L⁻¹로 가장 높은 현존량을 보였으며, 가을철(6.71%)과 겨울철(5.13%)에 높은 우점율을 보였다.

주요 우점종 외에 계절 특이적으로 높은 우점을 보인 종들은 봄철에 *Leptocylindrus danicus*, 여름철에 *Pseudo-nitzschia pungens*, 겨울철에 *Paralia sulcata*와 *Thalassionema nitzschioides*가 간헐적으로 우점하였다(Fig. 2). *Leptocylindrus danicus*는 봄철에 평균 6.81×10^4 cells L⁻¹로 56.53% 우점하였으며, 특히 2000년 4월에는 1.35×10^5 cells L⁻¹로 평균 64.72%의 극우점을 기록하였다. 여름철에는 *Pseudo-nitzschia pungens*가 평균 5.99×10^3 cells L⁻¹로 4.27%의 우점율을 나

타내었다. 특히 2000년 8월에는 표층에서 평균 1.08×10^4 cells L⁻¹(14.48%)를, 저층에서 3.22×10^4 cells L⁻¹(46.14%)로 저층에서 높은 출현을 보였다. 겨울철에는 *Paralia sulcata*와 *Thalassionema nitzschioides*가 각각 평균 3.99×10^4 cells L⁻¹(11.46%)와 1.58×10^4 cells L⁻¹(4.54%)로 우점을 보였다. *Paralia sulcata*는 2005년 1월에 평균 20.03%로 조사기간 중 가장 높았으나 그 외 계절에서는 1% 미만의 낮은 출현빈도를 보였으며, 표층에서 평균 3.47×10^4 cells L⁻¹(0.48%)를, 저층에서 4.64×10^4 cells L⁻¹(1.17%)로 저층에서 상대적으로 높은 출현을 하였다. *Thalassionema nitzschioides*는 겨울철에 평균 1.58×10^4 cells L⁻¹로 4.54%의 우점을 하였다. 2004년 2월 표층에서 평균 4.69×10^3 cells L⁻¹(7.23%)를 보였고, 2007년 1월 표층에서 평균 1.63×10^3 cells L⁻¹(6.10%)로 다른 조사 기

간보다 높게 출현하였다.

식물플랑크톤 생체량에 따른 주요종

식물플랑크톤 전체 생체량의 평균 5% 이상을 보인 주요종은 200 μm 이상의 중형식물플랑크톤으로, *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia hebetata* f. *hebetata*, *Rhizosolenia calcar-avis*를 포함한 *Rhizosolenia* spp.와 chain form을 이루는 소형 및 미소식물플랑크톤 *Guinardia striata* 및 *Skeletonema costatum*이 15.33 μg C L⁻¹로 24.69%를 차지하였다. 이 종들은 표층에서 평균 16.73 μg C L⁻¹를, 저층에서 평균 15.33 μg C L⁻¹로 표층에서 높았으며, 계절별 평균은 봄철에 19.53 μg C L⁻¹(34.88%)를, 여름철에 13.02 μg C L⁻¹ (17.47%), 가을철에 25.97 μg C L⁻¹(32.20%), 겨울철에 1.32 μg C L⁻¹(15.19%)로 가을철에 높은 생체량을, 봄철에 높은 우점 양상을 나타내었다. 특히 봄철에는 저층에서 위 종들이 40.94%의 높은 우점율을 나타내었다. 그 외 2002년 8월에는 적조 유발종인 *Gymnodinium impudicum*이 표층에서 평균 225.08 μg C L⁻¹(93.35%)로 가장 높은 생체량을 보였으나, 그 외 전 조사기간에는 거의 출현을 하지 않았다. 또한 각 계절별로 높은 생체량을 보인 종들은 *Leptocylindrus danicus*가 봄철에 높은 현존량과 같이 생체량에서도 26.48%를 차지하였고, 여름철에는 2002년 적조 발생에 따라 *Gymnodinium impudicum* (28.52%)과 *Alexandrium* sp.(11.48%)의 와편모조류가 높은 생체량을 보였다. 겨울철에는 *Pleurosigma* sp.가 9.97%를 나타내었다.

현존량 및 생체량에 따른 식물플랑크톤 우점종의 비교

현존량에 따른 우점종은 소형 및 미소식물플랑크톤인 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros compressus*, *Skeletonema costatum*, *Asterionellopsis glacialis*로 전체 51.25%를 차지하였으나, 생체량에서 10.17%를 나타내었다. 이와는 달리 생체량에 따른 우점종인 *Ditylum brightwellii*, *Guinardia striata*, *Rhizosolenia* spp.가 생체량에서 19.67%를 차지하였으나, 현존량에서는 2.22%로 좋은 대조를 보였다(Table 3).

크기별 식물플랑크톤 및 우점종간의 현존량 및 생체량에 따른 상관계수는(p < 0.05) 소형 및 중형식물플랑크톤이 각각 0.516 및 0.529를 보였고, 미소식물플랑크톤이 0.476으로 상대적으로 낮은 값을 보였다(Table 4). 우점종들의 상관계수는 *Asterionellopsis glacialis*가 0.974, *Guinardia striata*가 0.902, *Ditylum brightwellii*가 0.821로 높았으며, *Chaetoceros socialis*가 0.636와 *Rhizosolenia* spp.가 0.630을 보였다. 생체량에 의한 현존량의 선형회귀분석 결과, 식물플랑크톤의 크기가 클수록 현존량에 낮은 기여도를 보였고, 반면, 크기가 작을수록 높은 기여를 하였다. 특히 미소식물플랑크톤인

Table 3. Comparison of dominant rate with standing crops and biomass of phytoplankton during the periods from 2000 to 2007 in the marine ranching ground of Tongyeong

Dominant species	Dominant rate	
	Standing crops (%)	Biomass (%)
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	18.01	4.16
<i>Chaetoceros socialis</i>	12.95	0.05
<i>Skeletonema costatum</i>	8.39	5.02
<i>Chaetoceros compressus</i>	6.87	0.25
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	5.02	0.69
<i>Ditylum brightwellii</i>	0.45	10.35
<i>Guinardia striata</i>	0.79	7.02
<i>Rhizosolenia</i> spp.	0.98	2.30

Table 4. A correlation and linear regression analysis of standing crops by variations of biomass in size fraction and dominants species

Size	r	Formula	N
Mesophytoplankton	0.529	SC=0.09BM+4.35	2064
Microphytoplankton	0.516	SC=0.48BM+2.20	8832
Nanophytoplankton	0.476	SC=1.27BM+0.01	576
Dominant species	r	Formula	N
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0.816	SC=2.81BM+0.03	48
<i>Chaetoceros socialis</i>	0.636	SC=85.52BM+0.03	48
<i>Skeletonema costatum</i>	0.820	SC=1.01BM+0.02	48
<i>Chaetoceros compressus</i>	0.875	SC=17.44BM+9.18	48
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	0.974	SC=3.89BM+0.01	48
<i>Ditylum brightwellii</i>	0.821	SC=0.04BM+2.97	48
<i>Guinardia striata</i>	0.902	SC=0.12BM-7.97	48
<i>Rhizosolenia</i> spp.	0.630	SC=0.39BM+2.03	48

*SC: Standing crops, BM: Biomass, (p < 0.05)

*Chaetoceros socialis*는 생체량이 현존량의 변동에 가장 큰 영향을 미쳤다(SC = 85.52BM + 0.03).

고 찰

식물플랑크톤 군집은 해역 특성에 따라 크기 및 분류군별 조성이 다르게 나타난다. 일반적으로 온대지역의 연안해역에서는 소형식물플랑크톤(micro-) 및 미소식물플랑크톤(nano- phytoplankton)이 높은 출현을 보인 반면(Cermeño et al. 2006), 외양에서는 초미소식물플랑크톤(pico-phytoplankton)이 높은 생산력을 차지하고 있다(Strickland et al. 1969; Beers and Stewart 1971). 우리나라 연안에서는 소형 및 미소식물플랑크톤이 높은 출현을 보이고 있다(최 1969; 유와 이 1976; 심과 이 1979; 이 등 2000; 현 등 2006). 신 등(1990)에 의하면, 서해 천수만에서 미소식물플랑크톤이 전

체 개체수의 평균 66%를 차지하며, chlorophyll *a*의 농도는 평균 64%를 차지하고 있었다. 본 연구에서도 2 μm 이상의 식물플랑크톤이 전체 현존량의 80% 이상을 차지하고 있었으며, 식물플랑크톤 크기별 chlorophyll *a* 농도를 측정 한 결과, 각 계절별 차이를 보이고 있었으나, 평균 소형 식물플랑크톤의 chlorophyll *a* 농도가 79.90%를 차지하였고, 미소식물플랑크톤의 농도가 18.15%로, 위 두 농도가 98.05%이었다(미 발표 자료). Ansoetegi *et al.* (2003)은 Urdaibai estuary (Northern Spain)에서 본 연구결과와 유사하게 소형 및 미소 식물플랑크톤이 80% 이상을 보인다는 결과를 보고하였다. 그러나 해역 특성에 따라 크기별 식물플랑크톤 군집이 다르게 나타나고 있다. 주 등(2005)은 북극해 주변 연안 해역에서 미소 및 초미소식물플랑크톤이 전체 85% 이상을 차지한다고 보고하였고, Partensky *et al.* (1999)는 열대 외양 해역에서 초미소식물플랑크톤이 전체 50% 이상 나타내었으며, 노와 이(2006)는 남태평양 해역에서 초미소식물플랑크톤이 전체 chlorophyll *a*의 65.3%를 차지하고 있음을 보고하였다. 따라서 각 식물플랑크톤 군집의 출현양상은 그 해양환경에 특성에 따라 차이를 보이고 있으며, 통영바다목장해역은 소형 및 미소식물플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향이 절대적이었다.

돌말류는 연안 해역에서 가장 높은 생산력을 차지하는 식물플랑크톤으로(Round *et al.* 1990), 우리나라 연안에서도 전 계절에 걸쳐 가장 높은 현존량 및 종 다양성을 보이고 있다(이와 장 1996). 본 연구에서 제1우점을 차지한 *Chaetoceros curvisetus*는 북 온대부터 열대해역까지 빈번히 출현하는 연안성 종으로(Shevchenko *et al.* 2006), 우리나라에서는 서해 천수만(심과 이 1979), 인천 연안(이 등 1997), 남해 진해만(Yoo and Lee 1979), 남서해역(Shim and Lee 1983; 조와 최 2005), 남해 해역(박과 이 1990), 남해 해창만(윤 2000), 동해 고리해역(심 등 1991)에서 가을철에 높은 현존량을 보여, 본 연구결과와 유사하였다. 제2우점종인 *Chaetoceros socialis*는 북 온대 연안해역에서 널리 분포하는 종으로(Sieracki *et al.* 1998), 극지의 저온 수계에서도 우점하는 종으로도 알려져 있다(Grøntved and Seidenfaden 1938). 우리나라에서 *Chaetoceros socialis*의 출현양상은 진해만과 남해연안에서 가을철의 높은 출현을 보였고(이 등 1981; Shim and Lee 1983), 이 등(2000)은 겨울철 제주도에서 37-70%의 높은 우점을 하였다. 그러나 고리, 월성 연안해역에서는 봄철과 여름철에 높은 현존량을 보였고(강과 최 2002), 제주도 해안에서 춘계와 추계에 우점하였다(윤 1993). 따라서 본 종은 우리나라 연안에서 각기 다른 출현 특성을 보이고 있었다. *Chaetoceros compressus*는 온대 연안성으로(Okamura 1907; Furuya and Marumo 1983), 우리나라 전 연안해역에서 출현하는 종이다(이와 장 1996). 김(1998)에 따르면 가을철에서 겨울철에 군

산연안에서 높은 우점을 보였고, 가을철 여자만에서도 높은 출현빈도를 나타내어(이와 윤 2000), 본 조사와 유사한 경향을 보였다. *Skeletonema costatum*은 광온, 광염성으로 기수역과 연안해역에 널리 분포하는 범존종으로(Werner 1977), 우리나라 연안해역에서 계절에 상관없이 높은 출현빈도를 보이고 있다(이 1984). 본 조사에서도 전 계절에 걸쳐 출현하였으며, 특히 가을철에서 겨울철에 높은 우점을 보였다. 겨울철에 우점한 *Asterionellopsis glacialis*는 북 온대 연안해역에서 주로 출현하며, 가을철부터 봄철까지 저수온기시 출현하는 특성을 가지고 있다(Smayda 1980). 우리나라에서도 가을철 및 겨울철에 높은 출현빈도를 보이고 있었으며(심 등 1984; Shim and Park 1984; Choi and Shim 1986), 본 연구 결과도 저수온기시에 우점하였다.

봄철에 특이적으로 우점한 *Leptocylindrus danicus*는 혐염성의 일시 플랑크톤으로 주로 표층에서 대발생하는 종으로 알려져 있다(Brunel 1962; Werner 1977). 이 종은 봄철 마산만에서 높은 출현빈도를 보였으며(유와 이 1976), 통영연안에서 봄철에 높은 우점을 하였고(Kang *et al.* 1999), 남동해역에서도 늦봄에 우점을 나타내었다(최 1969). 한편, 이 등(1998)에 의하면 동해에서 가을철에 주요 우점종으로 보고하여 지역 및 계절에 따라 출현양상이 달랐다. 겨울철에 우점한 *Thalassionema nitzschioides*는 연안 및 부유성 종으로(Hendey 1964), 극한대에서도 출현이 보고되고 있다(Riley 1967). 우리나라에서 *Thalassionema nitzschioides*는 봄철에 금강 및 군산 연안에서 높은 출현을 보였고(Shim and Yang 1982), 여름철에는 동해안에서 주요 출현종으로 기록되어(Park *et al.* 1991), 계절 특이성을 보이지 않았다. *Paralia sulcata*는 저서성 돌말류로 낮은 광도와 수온, 염분에 대한 내성이 강하며 수괴의 혼합에 의하여 일시 부유하는 종으로 알려져 있다(Werner 1977). 본 연구에서는 겨울철에 우점하였고, 서해에서 겨울철에 대표적 우점종으로 보고되었다(Choi and Shim 1986). 위와 같이 통영바다목장해역에서의 주요 우점종들은 북온대 연안에서 주로 출현하는 종들로 모두 소형 및 미소크기의 돌말류가 차지하였다.

본 조사에서 현존량에 따른 주요 우점종들은 군체를 형성하고 있다. 특히 최우점한 *Chaetoceros*는 센털(setae)에 의해 군체를 형성하는 대표종으로, 크기가 작아 높은 현존량을 보이더라도 생체량에는 큰 영향을 미치지 않았다. 즉, 세포의 크기가 매우 작은 *Chaetoceros socialis*와 상대적으로 큰 *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia hebetata*는 생체량에서 약 780배와 400배 이상의 차이를 보이고 있었으며, 유와 김(1989)은 *Chaetoceros socialis*와 *Coscinodiscus radiatus*, *Rhizosolenia hebetata* f. *hebetata*가 215배와 37배의 차이를 보고하였다. 이렇게 생체량은 개체수의 개념인 현존량보다 이를 구성하는 각각의 세포 크기에 좌우되고 있다.

심과 신(1989)은 미소식물플랑크톤 군집 변화에서 현존량과 생체량 사이에 상관관계가 나타나지 않으며, 일부시기에 높은 우점을 보인 소형식물플랑크톤은 생체량과 상관관계가 있다는 것을 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 각 크기별 식물플랑크톤 군집의 현존량과 생체량의 상관관계는 크기에 따라 중형>소형>미소식물플랑크톤 순으로 나타났고, 이는 식물플랑크톤 군집의 크기가 생체량과 현존량에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그러나 미소식물플랑크톤인 *Chaetoceros socialis*가 50% 이상의 우점을 보였던 2001년 10월에 현존량과 생체량 상관관계가 $r = 0.571(p < 0.05)$ 를 보였고, 2000년 4월에 *Leptocylindrus danicus*가 60% 이상의 극우점시에 상관관계는 $r = 0.639$ 로 높은 상관관계를 보였다. 따라서 *Chaetoceros socialis*와 *Leptocylindrus danicus*와 같이 계절 특이적으로 높은 우점을 보일 시에는 미소식물플랑크톤도 현존량과 생체량의 상관성에 높게 기여하고 있었다. 또한 미소식물플랑크톤인 *Skeletonema costatum*은 현존량 및 생체량에서 높은 우점과 높은 상관성($r = 0.820, p < 0.05$)으로 본 해역에서 식물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 주요 종으로 파악되었다.

통영바다목장 해역에서 중형식물플랑크톤인 *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia* spp.는 높은 생체량을 가지는 종으로서, 유와 김(1989)은 마산만에서 *Ditylum brightwellii*가 생체량 변동에 큰 영향을 미친다고 하였고, Booth et al. (2002)는 *Chaetoceros socialis*가 현존량에서 높은 우점을 하여도, *Rhizosolenia*가 출현하면 *Chaetoceros socialis*가 생체량에 의한 우점을 하지 않는다고 하였다. 따라서 본 해역에서도 *Ditylum brightwellii*와 *Rhizosolenia* spp.는 비록 낮은 출현 개체수를 보인다 하더라도 생체량 변동에 영향을 주는 주요 종으로 판단된다.

따라서, 통영바다목장 해역에서는 현존량과 생체량에 따른 우점종이 크기에 의하여 다르게 나타났다. 현존량에서는 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis* 등 소형 및 미소식물플랑크톤이 우점을 하였고, 생체량에서는 *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia* spp. 등 중형식물플랑크톤이 우점을 하였다. 또한, 전체 식물플랑크톤 군집 중 현존량과 생체량에서 높은 비율을 차지하는 군집은 소형식물플랑크톤으로 나타나 본 해역에서 가장 중요한 식물플랑크톤 군집으로 판단된다.

결 론

통영바다목장 해역에서 출현한 우점 분류군은 모두 돌말류며, 우점종들은 주로 북 온대 해역의 연안성의 소형 및 미소식물플랑크톤이었다. 현존량에 따른 상위 5% 이상의 주요 우점종은 *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*,

Chaetoceros compressus, *Skeletonema costatum*, *Asterionellopsis glacialis*로 주로 가을철에 높은 출현양상을 보였으며, 일부 종들은 계절에 상관없이 상시 출현하였다. 생체량에 따른 우점종들은 비록 출현빈도는 낮으나 크기가 중형식물플랑크톤인 *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia* spp.와 군체를 형성하는 미소 및 소형식물플랑크톤인 *Guinardia striata*, *Skeletonema costatum*이었다. 따라서 본 해역에서 개체수 및 생체량에 따른 우점종들은 크기에 따라 구분이 되었으며, 이는 생태계를 이해하는데 있어 큰 의미를 가지고 있다. 현재까지는 식물플랑크톤 현존량에 따른 우점종에 의한 생태학적 변화를 연구하는 논문이 대다수였으나, 개체수와 생체량의 정량적 연구를 동시에 수행한다면 군집 생태학 연구에 있어서 더 정확한 의미를 파악할 수 있으며, 장기간 생태계 조사는 앞으로 발생할 식물플랑크톤의 변동을 이해하고 및 정확한 예측이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강양순, 권정노, 손재경, 정창수, 홍석진, 공재열. 2003. 2002년 통영 연안의 적조발생 전후의 식물플랑크톤 군집구조의 특성. 한국수산학회지 36: 515-521.
- 강연식, 최중기. 2002. 고리, 월성, 울진 및 영랑 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. II. 현존량 분포 및 환경요인들(1992-1996). 한국해양학회지 7: 108-128.
- 강연식, 최휴창, 임주환, 전인성, 서지호. 2005. 동해 축산항 연안의 식물플랑크톤 군집 동태. *Algae* 20: 345-352.
- 김종연. 1998. 줄포부근 해역의 계절에 따른 기초생산력 변화. 군산대학교 수산과학연구소 논문집 14: 107-122.
- 노재훈, 이미진. 2006. 남태평양 축 라군의 초미소 식물플랑크톤 분포 특성. 한국환경생물학회지 24: 81-88.
- 박주석, 이삼근. 1990. 한국 남해의 식물플랑크톤의 분포와 수리 특성. 한국수산학회지 23: 208-214.
- 신윤근, 심재형, 조준성, 박용철. 1990. 천수만 미세식물플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력. 한국해양학회지 25: 217-228.
- 심재형, 신윤근. 1989. 천수만 일차생산자의 생물량. 한국해양학회지 24: 194-205.
- 심재형, 신윤근, 이원호. 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지 19: 172-186.
- 심재형, 여환구, 신윤근. 1991. 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향 I. 고리 원자력발전소 주변해역에서 미소 및 초미소 자가영양 플랑크톤의 중요성. 한국해양학회지 26: 77-82.
- 심재형, 이원호. 1979. 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여. 한국해양학회지 14: 6-14.
- 유광일, 김진규. 1989. 식물플랑크톤의 크기분포에 따른 군집구조 해석. 한양대학교 환경과학논문집 19: 111-119.
- 유광일, 이종화. 1976. 마산만의 환경학적 연구 2. 식물성플랑크톤의 년 변화. 한국해양학회지 11: 34-38.
- 윤양호. 1993. 제주연근해 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 기초생산. 제주대학교 해양연구보고 17: 33-56.
- 윤양호. 2000. 해창만의 생물해양학적 환경특성. 1. 식물플랑크톤 군

- 집의 계절변동 및 분포 특성. 한국수산학회지 **33**: 43-50.
- 이상현, 신용식, 양성렬, 박 철. 2005. 아산만 식물플랑크톤의 계절별 군집 분포 특성. *Ocean and Polar Res.* **27**: 149-159.
- 이준백, 한명수, 양한섭. 1998. 한국 동해 남부 연안생태계 연구 I. 1994년 9월에 있어서의 식물플랑크톤 군집구조와 1차생산력. 한국수산학회지 **31**: 45-55.
- 이준백, 좌종현, 강동우, 고유봉, 오봉철. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성: II. 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력. *Algae* **15**: 37-47.
- 이진환. 1984. 진해만 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태에 관한 연구. 한양대학교 박사학위논문.
- 이진환, 윤수미. 2000. 여자만의 수질과 식물플랑크톤 군집. *Algae* **15**: 89-98.
- 이진환, 이은호. 1999. 득량만의 수질과 식물플랑크톤 적조. 한국환경생물학회지 **17**: 271-278.
- 이진환, 장만. 1996. 한국해산돌말(규조)도감 I. 실패돌말아목. 자유아카데미.
- 이진환, 송현숙, 이은호. 1997. 인천항 선거내의 식물플랑크톤 돌말류의 적조. 한국환경생물학회지 **15**: 119-129.
- 이진환, 한명수, 허형택. 1981. 진해만의 적조원인생물에 관한 연구. 해양연구소보 **3**: 21-26.
- 이호원, 박기룡, 김은희, 윤종길. 2004. 2004년 봄철 마산만 식물플랑크톤 군집구조의 변화. 경남대학교 환경문제연구소 환경연보 **27**: 5-15.
- 임월애, 강창근, 김숙양, 이삼근, 김학균, 정익교. 2003. 여름철 남해도 연안 식물플랑크톤 군집 구조의 단기 변화. *Algae* **18**: 49-58.
- 정승원, 권오윤, 주형민, 이진환. 2007. 2000-2007년 통영바다목장해역에서 환경요인의 영향에 따른 식물플랑크톤 현존량의 변화. 한국환경생물학회지 **25** (4): 303-312.
- 주형민, 이진환, 정경호, 강재신, 강성호. 2005. 북극해 하계 남동바렌츠 해역에서 식물플랑크톤 크기별 분포와 환경요인에 관한 연구. *Ocean and Polar Res.* **27**: 265-276.
- 조은섭, 최용규. 2005. 남서해역의 유해성 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef 모니터링을 위한 환경특성과 식물플랑크톤 군집 동태. 한국환경과학회지 **14**: 177-184.
- 조은섭, 김정배, 안경호, 유준, 권정노, 정창수. 2006. 2004년 한국 남해연안 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 시·공간적 특성 조사. 한국환경생물학회지 **15**: 539-562.
- 최상. 1969. 한국해역의 식물플랑크톤의 연구. III. 1967년 5월 북동부 한국해협 표층수의 식물플랑크톤의 양과 분포. 한국해양학회지 **4**: 1-8.
- 최중기, 이은희, 노재훈, 허성희. 1997. 시화호와 시화호 주변 해역 식물플랑크톤의 대증식과 일차 생산력에 관한 연구. 한국해양학회지 **2**: 78-86.
- 현봉길, 신용식, 박 철, 양성렬, 이영준. 2006. 아산만 식물플랑크톤 크기구조의 시·공간적 변동. 한국환경생물학회지 **24**: 7-18.
- Ansotegui A., Sarobe A., Trigueros J.M., Urrutxuru I. and Emma O. 2003. Size distribution of algal pigments and phytoplankton assemblages in a coastal-estuarine environment: contribution of small eukaryotic algae. *J. plankton Res.* **25**: 341-355.
- Beers J.R. and Stewart G.L. 1971. Microzooplankters in the plankton communities of the upper waters of the eastern tropical Pacific. *Deep-sea Research I* **18**: 861-883.
- Booth B.C., Larouche P., Bélanger S., Klein B., Amiel D. and Mei Z.-P. 2002. Dynamics of *Chaetoceros socialis* blooms in the North Water. *Deep-Sea Research II* **49**: 5003-5025.
- Brunel P. 1962. Inventaire taxonomique des invertébrés marins du Golfe Saint-Laurent. *Sta. Biol. Mar. Grande-Rivière, Rapp. Ann.* **1961**: 39-44.
- Cermeño P., Maranon E., Perez V., Serret P., Fernandez E. and Castro C.G. 2006. Phytoplankton size structure and primary production in a highly dynamic coastal ecosystem (Ria de Vigo, NW-Spain): Seasonal and short-time scale variability. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* **67**: 251-266.
- Choi J.K. and Shim J.H. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea* **21**: 156-170.
- Furuya K. and Marumo R. 1983. The structure of the phytoplankton community in the subsurface chlorophyll maxima in the western North Pacific Ocean. *J. Plankton Res.* **5**: 393-406.
- Grøntved J. and Seidenfaden G. 1938. The Godthaab expedition 1928: the phytoplankton of the waters west of Greenland. *Meddelelser om Gronland* **82**: 1-380.
- Hendey N.I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters 5: Bacillariophyceae (Diatoms). In: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (ed.), *Fishery Investigations Series IV*. HMSO, London, 317 pp.
- Kang Y.J., Ko T.H. Lee, J.A. Lee, J.-B. and Chung I.K. 1999. The community dynamics of phytoplankton and distribution of dinoflagellate cysts in Tongyoung Bay, Korea. *Algae* **14**: 43-54.
- Lee J.H., Chae J.H., Kim W.-R. Jung S.W. and Kim J.M. 2001. Seasonal variation of Phytoplankton and Zooplankton Communities in the Coastal Waters off Tongyeong in Korea. *Ocean and Polar Res.* **23**: 245-253.
- Okamura K. 1907. Some *Chaetoceros* and *Peragallia* of Japan. *Bot. Mag.* **21**: 89-106.
- Park J.S., Kang C.K. and An K.H. 1991. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the polar front region off the east coast of Korea in summer. *Bull. Kor. Fish. Soc.* **24**: 237-247.
- Partensky F., Blanchot J. and Vaultot D. 1999. Differential distribution of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in oceanic waters: a review. In: Charpy L. and Larkum A.W.D. (eds), *Marine cyanobacteria*. Bull. Inst. Oceanogr. pp. 457-475.
- Raymont J.E.G. 1980. *Plankton and Productivity in the Oceans*. 2nd. Pergamon Press, Oxford.
- Reynolds C.S. 2006. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 550 pp.
- Riley G.A. 1967. The plankton of estuaries. In: Lauff G.A. (ed.), *Estuaries*. Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science. pp. 316-328.
- Round F.E., Crawford R.M. and Mann D.G. 1990. *The Diatoms*. Cambridge University Press, Cambridge, 758 pp.
- Shim J.H. and Lee W.H. 1983. Plankton study in the southwestern sea of Korea (I) Phytoplankton distribution in September, 1981. *J. Oceanol. Soc. Korea* **18**: 91-103.
- Shim J.H. and Park Y.C. 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the Southwestern Sea of Korea, in early summer. *J. Oceanol. Soc. Korea* **19**: 68-81.
- Shim J.H. and Yang J.S. 1982. The community structure and

- distribution of phytoplankton of the Kum river estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea* **17**: 1-11.
- Shevchenko O.G., Orlova T.Y. and Hernandez-Becerril D.V. 2006. The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) from Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Bot. Mar.* **49**: 236-258.
- Sieracki M.E., Gifford D.J., Gallager S.M. and Davis C.S. 1998. Ecology of a *Chaetoceros socialis* Lauder patch on Georges Bank: distribution, microbial associations, and grazing losses. *Oceanography* **11**: 30-35.
- Smayda T.J. 1980. Phytoplankton species succession. In: Moris I. (ed.), *The physiological ecology of phytoplankton*. University of California Press, Berkeley. pp. 493-570.
- Strathmann R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* **12**: 411-418.
- Strickland J.D.H., Epply R.W. and Mendiola B.R. De. 1969. Phytoplankton populations, nutrients and photosynthesis in Peruvian coastal waters. *Bol. Inst. Mar. Peru* **2**: 1-45.
- Sun J. and Liu D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *J. Plankton Res.* **25**: 1331-1346.
- Werner D. 1977. *The Biology of Diatoms*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 498 pp.
- Yoo K.I. and Lee J.H. 1979. Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population 1976-1978. *J. Oceanol. Soc. Korea* **14**: 26-31.

Received 11 September 2007

Accepted 27 December 2007