Korean J. Environ. Biol. 28 (3) : 115~124 (2010)

〈Note〉

하계 진해만 광역조사
– 식물플랑크톤 군집구조의 단기변화와 수평적 분포특성 –

백 승 호* · 김 영 옥

한국해양연구원 남해연구소

The Study of Summer Season in Jinhae Bay
– Short-term Changes of Community Structure and Horizontal Distribution Characteristics of Phytoplankton –

Seung Ho Baek* and Young Ok Kim

Korea Ocean Research and Development Institute/South Sea Institute, Geoje 656-830, Korea

Abstract – In order to find out the short-term phytoplankton dynamics during summer season in Jinhae Bay, we investigated the environmental factors and phytoplankton population densities at 16 stations. A total of 66 phytoplankton species were appeared, diatoms occupied more than 80% of total species, and the others were dinoflagellates and raphidophyceaes. The dominant species were diatoms *Chaetoceros affinis, C. didymus, C. pseudocurvisetus, Leptocylindrus danicus, Pseudonitzchia pungens, Skeletonema costatum* and dinoflagellates *Cochlodinium polykrikoides, Gymnodinium impudicum, Karenia mikimotoi, Prorocentrium minimum, Protoperidinium bipes* and *Scrippsiella trochoidea*. According to multidimensional scaling (MSD) and cluster analysis based on phytoplankton community data from each station, the Jinhae bay was divided into two groups. The first group included stations in the inner part of Masan Bay, which is strongly influenced by high nitrogen loading and low salinity by river discharge. The second group included the other remained stations. Based on canonical correspondence analysis (CCA), small-size dinoflagellates *K. mikimotoi, P. minimum, P. bipes* and *S. trochoidea* and centric diatom *C. pseudocurvisetus* and *S. costatum*, which is dominanted in the inner area of bay, were related with DIN (ammonium, nitrate, nitrite). These results imply that the study area was grouped into the two water masses (inner and outer water of Masan Bay) and inner waters had higher phytoplankton abundances and Chl.*a* concentration than outer waters. As a result, summer phytoplankton peaks in the inner shallow bay were stimulated by increases in nitrogen and temperature.

Key words : summer phytoplankton community, canonical correspondence analysis (CCA), cluster analysis, multidimensional scaling (MDS), Jinhae Bay

* Corresponding author: Seung Ho Baek, Tel. 055-639-8513, Fax. 055-639-8509, E-mail. baeksh@kordi.re.kr

서 론

해양 생태계는 매우 다양한 생물군이 복잡 다양하게 구성되어 있으며, 이들의 군집구조를 명확하게 파악하는 것은 당 해역을 효율적으로 이용 관리하는 측면에서 매우 중요하다. 그 중 식물플랑크톤은 무기물을 유기물로 전환시켜주는 해양의 기초생산자로서 해양생태계 먹이망의 하위 영양단계를 구성하는 주요 인자이며, 그들의 출현 종조성과 군집구조의 분포특성을 파악하는 것은 생산성과 먹이망을 통하여 물질전달과정을 이해하는 데 도움이 된다.

진해만은 반폐쇄성 해역이지만 외양과 내만의 혼합 정도가 커서 난류의 형성이 보고되고 있으며 (Han *et al.* 1991; 조 등 1998), 기상 조건에 따라서 해황의 변동이 심한 곳이다. 반면 진해만에 귀속되어 있는 마산만, 행암만, 고현만은 대도시가 인접하고 있고, 이로 인한 오·폐수 유입 등의 영향을 현저하게 받는 반폐쇄성 만으로 외해수와의 교환이 원활하지 않아 수질이 나쁘고, 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양염류와 각종 미량원소가 풍부하여 식물플랑크톤의 적조가 빈번하게 발생하는 해역이다.

진해만 해역을 대상으로 한 식물플랑크톤 연구는 지금까지 식물플랑크톤의 분류 (한과 유 1983; Yoo and Lee 1986), 분포와 군집구조 (유와 이 1976; Yoo and Lee 1979; 박 1980; 박과 이 1990; Han *et al.* 1991), 환경인자와 그들의 성장 특성 (Yoo and Lee 1979, 1980), 적조생물의 발생기작 (유와 이 1976; 이 등 1981; 박 1982), 광환경에 따른 광합성 특성 (박 등 2001), 생태계모델 (김 등 1994) 등 다양하게 진행되었고, 우리나라 다른 해역에 비하여 일차 생산자의 생태학적 연구가 압도적으로 많이 수행되었다. 그러나 이들 대부분의 조사는 마산만과 진해만의 일부 국부적인 정점에서 수행되었고, 진해만 광역해역을 대상으로 종합적으로 조사 평가한 연구사례는 극히 미흡하다. 또한, 대부분의 연구는 물리화학적 환경요인과 식물플랑크톤의 상호관련성 규명을 위하여 단순한 상관분석을 통한 해석으로 식물플랑크톤의 복합적인 관계성을 규명하기에는 한계성을 보여준다.

본 연구는 마산·진해만의 광역해역에서 하계에 선택적으로 우점 출현하는 식물플랑크톤 군집구조의 수평적 분포특성을 파악하고자 각 정점별 출현종과 현존량을 바탕으로 MDS (Multidimensional Scaling)와 Cluster 분석을 행하였다. 또한 해양환경요인과 그들의 관계를 다변량 분석방법인 정준대응분석을 행하여 식물플랑크톤의 군집특성을 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

조사는 진해만 광역해역에서 2008년 8월 18일에서 19일 양일간 걸쳐 표층수를 니스킨 채수기를 이용하여 채수하였다 (Fig. 1). Chl.*a*농도 측정을 위해 표층수 500 mL를 선상에서 전체와 $<20\,\mu m$ 사이즈를 나누어서 GF/F filter (47 mm Whatman glass fiber filters)로 여과하였고, GF/F filter는 15 mL 튜브에 넣어 냉동보관하였다. GF/F filter를 통과한 여과 해수는 250 mL 채수병에 넣고 냉동보관하여 영양염 분석용으로 사용하였다. 식물플랑크톤 종조성과 정량분석을 위해 500 mL의 채수병에 표층수 500 mL를 넣고 곧바로 glutaraldehyde로 최종농도 1%가 되도록 고정했다.

영양염류 중 암모니아성 질소 (NH_4-N)는 암모니아가 차염소산 (sodium hypochlorite) 공존하에서 페놀 (phenol)과 반응하여 생기는 블루의 흡광도를 측정하여 정량하는 인도페놀법 (penenate method)을 이용하였고, 아질산과 질산 (NO_2+NO_3-N)성 질소는 하이드라진 환원 방법 (Hydrazine Reduction method)으로 측정하였다 (Kamphake *et al.* 1967). 인산염 (PO_4-P)은 인산이온이 몰리브덴 산 (molibdate solution)과 반응하여 생기는 황색의 몰리브덴 산 착제를 아스코르빅 산 (ascorbic acid)으로 환원시켜 그 흡광도를 측정하여 정량하는 아스코르빅 방법을 이용하여 분석하였다.

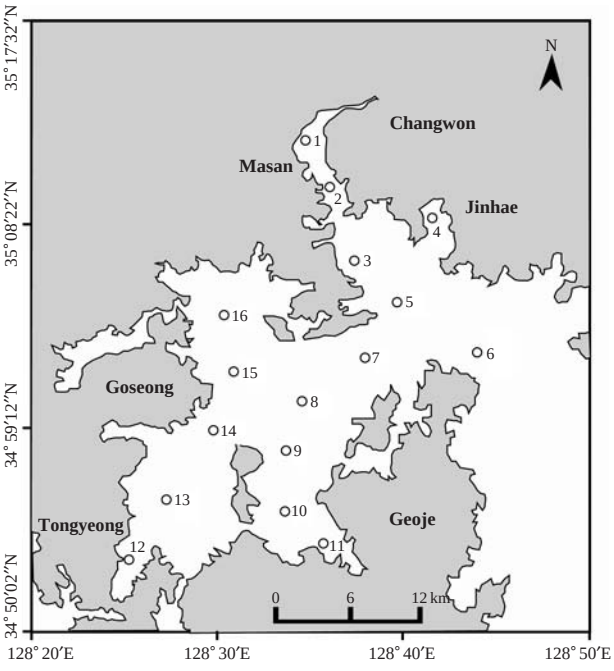

Fig. 1. Map showing the sampling locations in Jinhae Bay, Korea.

Chl.*a*농도는 여과지를 90% acetone에 넣고 24시간 냉암소에서 엽록소를 추출한 후 형광측정기 (Turner Designs 10-AU Fluorometer)로 분석하였다 (Parsons *et al.* 1984).

식물플랑크톤의 종조성과 현존량을 파악하기 위해서 500 mL의 샘플을 50 mL로 농축시킨 후 100～300 μL 분주하여 200 또는 400배율로 동정 및 계수하였다. 특히 광학현미경에서 동정이 극히 어려운 종은 속 수준에서 동정하였다.

식물플랑크톤의 군집은 출현 종수와 현존량을 바탕으로 Shannon-Wiener 종다양성지수 (H', species diversity index)와 균등도지수 (J')를 다음의 식을 이용하여 산출하였다.

$$Pi = Ni/N$$

$$H' = -\sum(Pi)\,(log2\ Pi)$$

$$J' = H'/H'max$$

여기서 N는 총개체수, Ni은 i번째의 종의 개체수, Pi은 어떤 군집의 i번째의 종의 출현확률이다.

$H'max$는 다양도 H'의 군집이 식물플랑크톤의 종수를 변환하지 않고 얻을 수 있는 값으로 H'의 최대치 구성종의 개체수를 의미하며 아래의 식으로 산출할 수 있다.

$$H'max = -\sum * 1/S * log1/S = logS$$

$$J' = H'/logS,\ 0 < J' \leq 1$$

정점별 식물플랑크톤의 군집구조를 자세히 알아보기 위해서 각 정점에 출현한 식물플랑크톤을 바탕으로 Bray-Curtis 유이도를 산출하였고, PRIMER version 5를 이용해 Cluster 분석, MDS 분석과 더불어 주성분 분석을 했다 (Clarke and Warwick 2001; 백 등 2008, 2010). 또한 그 결과를 바탕으로 식물플랑크톤 우점종과 환경인자 사이에 어떠한 관계가 있는지 CANOCO 4.5 software를 이용하여 CCA (Canonical Correspondence Analysis) 분석을 행하였다.

결과 및 고찰

남해 반폐쇄 해역인 진해만에서 여름철 단기 조사에 의한 수온, 염분 영양염농도 Chl.*a*농도 등의 물리적특성과 생지화학적 특성에 대한 분석결과를 Fig. 2에 나타내었다. 조사기간 동안 표층 수온은 26.71°C에서 30.08°C로 변동했고, 모든 정점의 평균수온은 28.3±0.79°C로 나타났다 (Fig. 2a). 수온의 수평적 분포는 마산만과 행암만 내측정점에서 높게 나타났으나, 외측으로 향할수록 점차적으로 낮아져 진해만 서부해역에서는 균등한 분포특성을 보였다. 염분은 마산만 내측 정점 2에서 가장 낮게 관찰되었고 (27.26 psu), 마산만 바깥쪽과 진해만 서부해역에서는 31 psu 전후로 균일한 양상을 보였다 (Fig. 2b). 정점별 염분변화는 전반적으로 수온변화와 반대 양상을 보였다. 즉, 담수가 유입되는 내만의 주변 정점에서는 상대적으로 낮고, 외측과 진해만 서부해역으로 갈수록 해수와의 혼합작용으로 인하여 점차적으로 높게 나

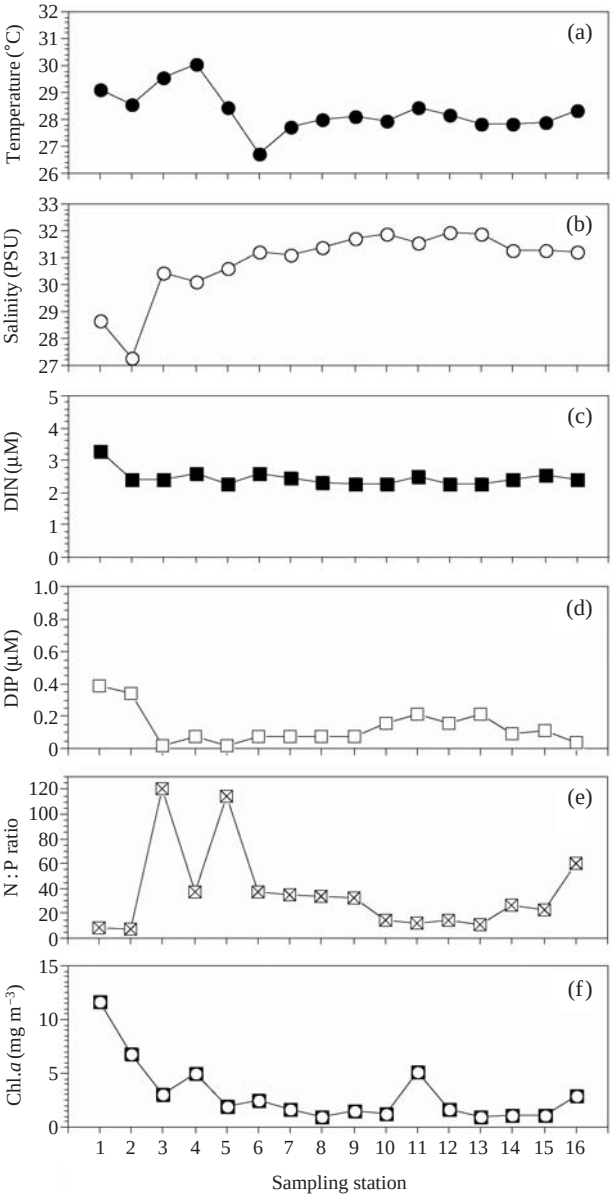

Fig. 2. Horizontal distribution changes of (a) temperature, (b) salinity, (c) DIN (ammonium, nitrate, nitrite), (d) DIP, (e) N : P ratio and Chl.*a* concentration from 18 to 19 August 2008 in Jinhae Bay.

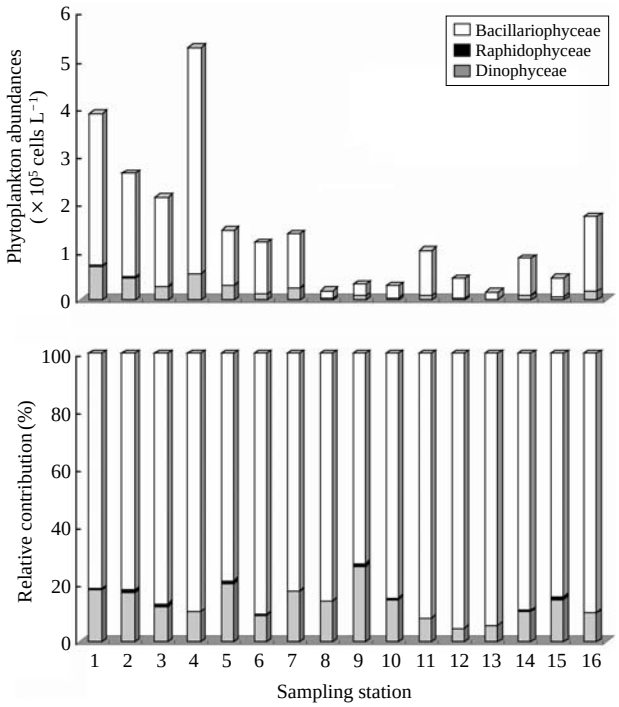

Fig. 3. Horizontal distribution changes of phytoplankton abundances (upper) and relative contribution (lower) from 18 to 19 August 2008 in Jinhae Bay.

타났다. 이러한 농도 경사는 담수의 유입이 많은 춘계와 하계에 걸쳐 더욱 뚜렷하게 나타난다는 임 등(2007)의 결과와 유사하다. 각 정점에서의 DIN (ammonium, nitrate, nitrite) 농도는 정점 1에서 3.3 μM로 가장 높았고, 나머지 정점에서는 2.3 μM 전후로 유사한 변화를 보였다 (Fig. 2c). 인산염은 마산만 내측의 두 정점 (St. 1: 0.39 μM, St. 2: 0.34 μM)을 제외한 나머지 정점에서는 0.1 μM 전후로 아주 낮게 관찰되었다 (Fig. 2d). N/P비는 마산만 내측 정점에서 낮게, 마산만과 경계가 되는 정점 4와 5에서 100 이상을 넘는 높은 값을 보였다 (Fig. 2e). Chl.*a*농도의 최대값은 정점 1에서 11.68 mg m^{-3}로, 최저값은 정점 13에서 1.01 mg m^{-3}로 관찰되었다. 각 정점별 Chl.*a*농도의 수평적 변화는 영양염 농도가 상대적으로 높았던 마산만 내측 정점과 고현만 정점 11에서 높게 나타났다 (Fig. 2f).

식물플랑크톤 현존량은 정점 4를 제외하면 Chl.*a*농도의 변화양상과 유사한 경향을 보였다 (Fig. 3). 하계 단기조사기간 동안 표층수에 출현한 식물플랑크톤은 총 66종으로 동정되었으며, 그 중 규조류 (Bacillariophyceae)가 2목 17속 26종, 와편모조류 (Dinophyceae)가 6목 15속 32종, 라피도조류 (Raphidophyceae) 1목 2속 4종으로 나타났다 (Tables 1 and 2). 조사 정점별 식물플랑크톤의 주

Table 1. The list of bacillariophyceae observed in Jinhae Bay during summer season

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Bacillariophyceae																
Asterionellopsis glacialis										+						
Chaetoceros affinis	++			++		+++	+++	++	+		++	+				
Chaetoceros danicus	+													+	+	
Chaetoceros didymus			++	++	+	++			++	+	+	++		++	++	++
Chaetoceros lauderi			++	++												
Chaetoceros lorenzianus				+		++	++			++	++		++	++		++
Chaetoceros pseudocurvisetus	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+
Coscinodiscus granii			+	+												
Cyclotella sp.	+		+		+											
Detonula pumila	++															
Ditylum brightwellii	++	+														
Guinardia flaccida	++	++														
Leptocylindrus danicus	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++
Nitzschia sp.	++	++	++	++	++	+	++							+	+	+
Odontella longicruris														+		
Pseudo-nitzchia fraudulenta											+					
Pseudo-nitzchia pungens	++	++	++	++	++	++	++				+				+	
Rhizosolenia alata				+	+	+	+		++	+		+	+	++	++	
Rhizosolenia robusta	+															
Skeletonema costatum	+++	++				+			+		++					
Streptotheca tamesis	++	+														
Thalassionema nitzschioides	++	++														
Thalassiosira rotula		++		++	++	+								+		
Thalassiosira subtilis	++															
Thalassiosira sp.	+															
Thalassiothrix longissima	+	++	++	++	++	++	++									

+++: > 10^4 cells; ++: < 10^4 and > 10^3 cells; +: < apperance

Table 2. The list of dinophyceae and raphidophyceae observed in Jinhae Bay during summer season

Species	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dinophyceae																
Akashiwo sanguinea		+					+	+				+				
Alexandrium affinis												+				
Alexandrium catenella	+	+			+	+	++					+				
Alexandrium tamarense										+						
Ceratium furca	+						+									
Ceratium kofoidii														+		
Cochlodinium polykrikoides			++	++	++	++	++	++	++		++			+	++	++
Gonyaulax milneri				+												
Gymnodinium catenella														+		
Gymnodinium conicum				+												
Gymnodinium impudicum	+		++	++	+		++		++	+				++		
Gymnodinium sp. type A														+		
Gymnodinium sp. type B			+	++	+											
Gymnodinium sp. type C	+		+	++												
Gyrodinium dominans														+		
Gyrodinium spirale	+	+	+		+		+	+	+					+	+	+
Heterocapsa triquetra														+		
Karenia breve	++	+		++	+									+		+
Karenia mikimotoi	++	++	+	+	+	+		+								
Katodinium glaucum			+	+								+				
Noctiluca scintillans							+									
Prorocentrium minimum	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+	++	++	++	++	+	++	++	++
Prorocentrium micans	+	+				+										
Prorocentrium triestinum	+	++		+						+						
Protoperidinium pellusidum		+	++	+												
Protoperidinium bipes	++	+		+												
Protoperidinium brevipes	++					+	+									
Protoperidinium depressum		+			+											
Protoperidinium pacificum		+														
Protoperidinium pellucidum									+		+					
Pyrophacus horologium	+															
Scrippsiella trochoidea	++	++	+	++	+				+	++	+		+		++	++
Raphidophyceae																
Chattonella antique					+											
Chattonella globosa	++	+	+													+
Chattonellla marina	+	+	++		++	+								+	+	+
Heterosigma akashiwo	+	+		+			+		+	+						

+++: $>10^4$ cells; ++: $<10^4$ and $>10^3$ cells; +: < apperance

요 그룹은 규조류가 80% 이상으로 압도적으로 우점을 하였고, 나머지 와편모조류와 라피도조류 순으로 나타났다. 규조류의 우점종은 *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzchia pungens*, *Skeletonema costatum* 으로 나타났고, 와편모조류는 *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium impudicum*, *Karenia mikimotoi*, *Prorocentrium minimum*, *Protoperidinium bipes*, *Scrippsiella trochoidea* 로 관찰되었다(Fig. 4). 정점별 출현 종수는 식물플랑크톤의 현존량이 높게 나타난 정점에서 높게 나타났으나 Shannon-Wiener의 다양도지수와 균등도지수는 반드시 그렇지는 않았다. 즉, 마산만 안쪽 정점에서는 출현 종수는 많음에도 불구하고 어떤 특정 종(*C. pseudocurvisetus*, *S. costatum*, *P. minimum*)이 두드러지게 높게 나타나 다양도지수와 균등도지수가 낮게 유지되었고, 마산만 외측 정점 6~10 사이에서 출현 종수는 상대적으로 적게 나타났으나, 다양도지수와 균등도지수는 높게 나타났다(Fig. 5).

조사기간 중 정점별 출현한 식물플랑크톤의 군집구조를 바탕으로 Cluster 분석과 MSD 분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 식물플랑크톤의 군집구조와 출현양상에 따른 정점별 차이는 명확하게 나누어지지 않았지만, 크게 2개의 그룹으로 구분할 수 있었다. 제1그룹은 마산만 내측의 2개 정점과 제2그룹은 나머지 14개의 정점으로 구분되었다. 제2그룹을 상세히 살펴보면, 진해만 내측의 행암만과 마산만과 진해만의 경계해역에 해당하는 정점 3,

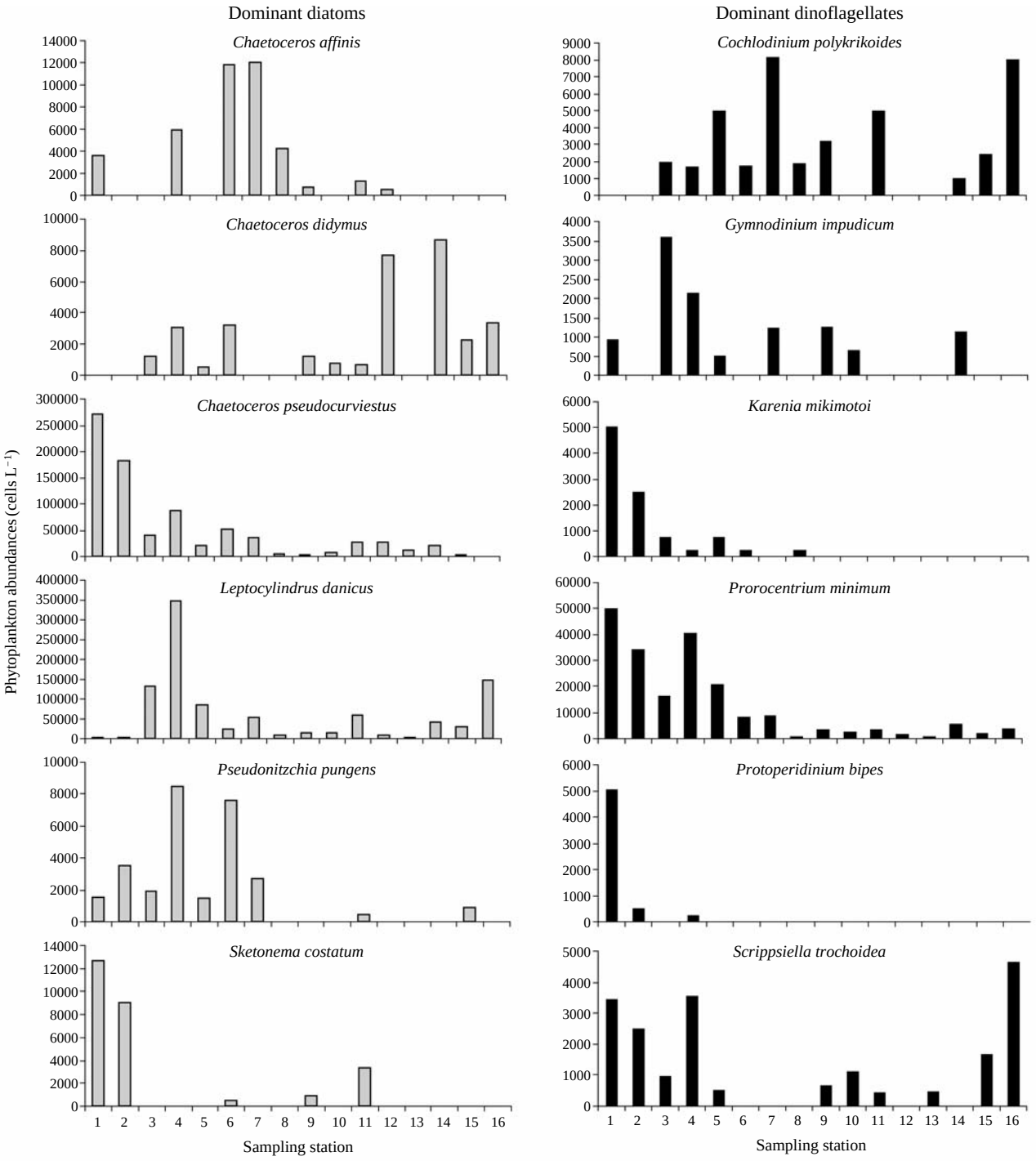

Fig. 4. Horizontal distribution changes in dominant (a) diatoms and (b) dinoflagellates during study periods.

4, 5 등이 같은 그룹으로 묶였고, 진해만 남서해역의 정점 10, 12, 13이 또다른 그룹으로 묶였다. 나머지 정점은 뚜렷한 경향을 관찰할 수 없었다. 식물플랑크톤 군집은 해역과 계절적 특성에 따라 현존량, 개체수의 크기 및 종조성이 다르게 나타날 뿐만 아니라 동일 해역에서조차도 수괴의 구조가 다르거나 국부적인 점오염원(영양염의 과다공급)의 영향으로 식물플랑크톤 현존량의 차이를 가져올 수 있다. 마산만의 경우도 해류의 이동이 제한된 만 내측에서는 소형 와편모조류 *P. minimum, S. trochoidea, K. mikimotoi, P. bipes*의 우점적 출현이 외측수역에서는 관찰되지 않거나 출현밀도가 낮은 특이성을 보였고, 반면 와편모조류 *C. polykrikoides*는 내측수역보다는 해류

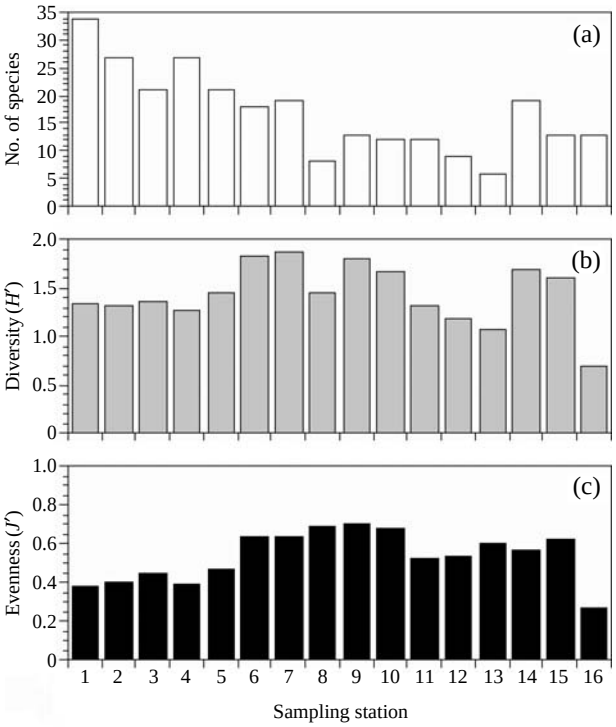

Fig. 5. Horizontal distribution changes of (a) number of observed species, (b) Shannon-Wiener diversity indices (*H′*) and (c) evenness (*J′*) from 18 to 19 August 2008 in Jinhae Bay.

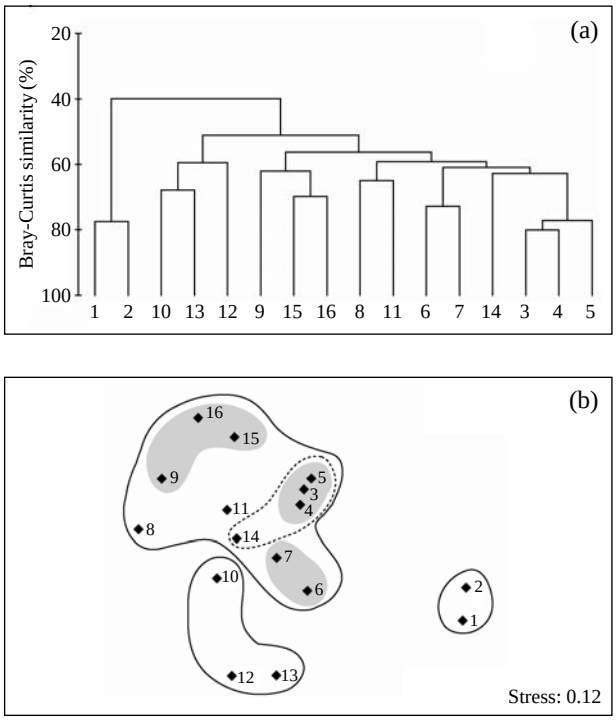

Fig. 6. Joint plots of stites association analyses obtained by (a) cluster and (b) non-metric multidimensional scaling (MDS) ordination analyses, using a data set of the surface species abundances during the study period in Jinhae Bay.

의 순환이 양호한 수역의 외측 정점에서 상대적으로 높은 밀도로 출현했다.

여기서 우점 출현한 종의 특성을 구체적으로 살펴보기 위해서 규조류와 와편모조류로 나누어 정준대응분석(CCA: canonical correspondence analysis)을 행하였다(Fig. 7). 먼저 우점 와편모조류를 대상으로 한 CCA 분석을 살펴보면, 소형 와편모조류 *P. minimum, S. trochoidea, K. mikimotoi, P.bipes*는 같은 방향으로 향하였으나, 중형 와편모조류 *G. impudicum*과 *C. polykrikoides*은 다른 방향으로 위치하였다. 앞서 언급한 것과 같이 만 내측에 우점한 종과 외측에서 우점한 종이 CCA 분석에서도 확실히 구분되었다.

*Prorocentrum minimum*은 연악역에서 적조를 유발하는 종으로 잘 알려져 있으며, 이 종은 영양염 농도가 높고 염분이 비교적 낮은 기수역에서 주로 하계 고수온기에 대발생을 한다(Grzebyk and Berland 1996; Hajdu *et al.* 2000). 본 조사에서도 마산만, 행암만 정점(1～5)에서 영양염 농도가 상대적으로 높고 저염분 수괴에서 그들의 세포밀도가 높게 관찰되었다. CCA 분석에서도 *P. minimum*의 개체수 밀도는 수온과 질소기원의 영양염과는 정(+)의 관계를 염분과는 부(−)의 관계가 성립되었다. 이 등(2005)의 배양실험에서도 저수온 25°C 내외의 고수온에서 성장이 양호하였고, 특히 31°C의 고온에서 높은 성장률을 보였다. 본 종의 특이한 생리적 특성은 여름철 고온에 저염분수괴가 쉽게 형성되는 정점에서 선택적으로 높은 밀도로 출현할 가능성이 높고, 본 조사에서도 이와 유사한 조건의 정점에서 *P. minimum*의 개체수 밀도가 높았다.

*Scrippsiella trochoideas*는 온난해역에서 6～8월 사이 고수온기에 적조를 유발하는 종으로 잘 알려져 있으며, 연안해역의 부영양화가 그들의 증식과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Ishikawa and Taniguchi 1994; Kim and Han 2000). CCA 분석에서도 *S. trochoideas*는 *P. minimum*와 같은 방향으로 위치하고 있었고, 수온, DIN과는 정(+)의 관계를 염분과는 부(−)의 관계가 성립되었다. 이 등(2005)의 배양실험의 보고에 의하면, 이들 종은 25～30 psu의 염분농도에서 높은 성장율을 보인 반면, 20 psu 이하의 조건에서는 성장율이 낮았다. 집중강우 후 다량의 영양염류의 유입과 저염분수괴가 형성되는 여름철에 대발생하는 *Heterosigma akashiwo, Eutreptiella* sp. 등과는 달리 25 psu 이하의 저염분화가 두드려진 수역에서는 *S. trochoideas*가 대발생하여 적조를 유발할 확률이 낮아지는 것을 의미할 수 있으며(이 등 2005), 이와 같이

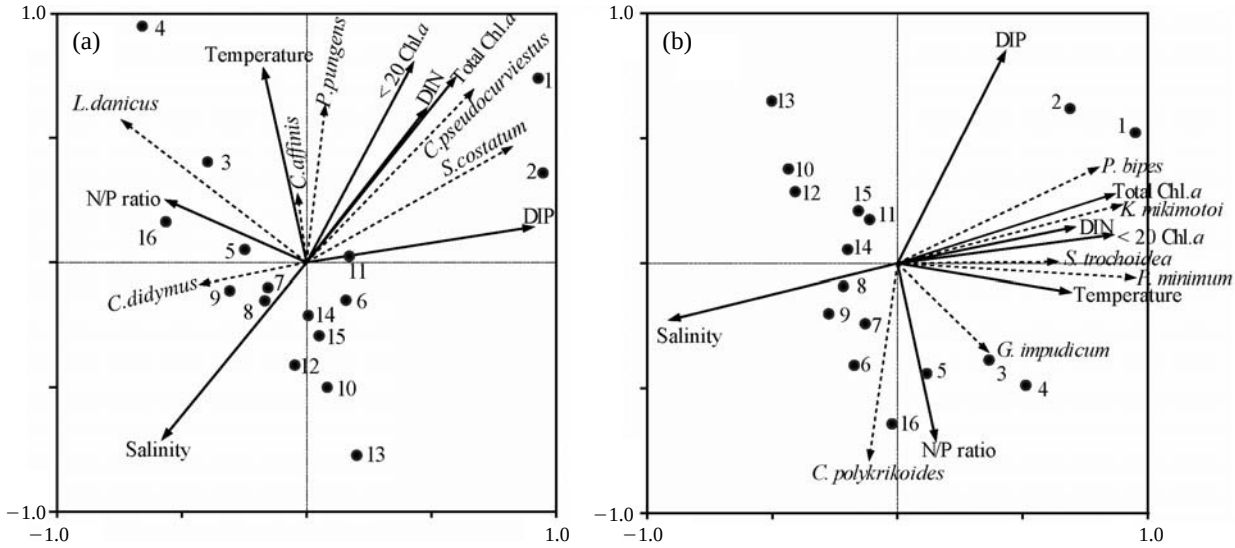

Fig. 7. Relationship between temperature, salinity, DIN, DIP, N : P ratio, Chl.*a* concentrations and phytoplankton community composition by canonical correspondence analysis (CCA). Effect of population development on each group species (a: dominant diatom group, b: dominant dinoflagellate group) was assessed based on Fig. 4.

동일해역에서조차도 염분의 차이에 따라서 우점종의 변화, 즉 종의 시프트화현상이 일어 날 수 있다는 것을 간접적으로 시사한다.

*Karenia mikimotoi*는 *Gymnodinium mikimotoi*에서 종명이 변천되었으며, 진해만에서 1981년 대규모 적조를 유발해 수산생물에 막대한 피해(당시 18억 원 상당)를 일으킨 종이다(Cho 1981). 그 후 진해만에서 매년 적조를 유발하였으나, 1990년 이후 대발생이 둔화되면서 *C. polykrikoides*의 적조현상이 남해안 일대에서 광범위하게 나타났다. CCA 분석에서도 *K. mikimotoi*는 *C. polykrikoides*과의 상관성방향이 전혀 다른 직각을 형성하였으며, *K. mikimotoi* 출현한 정점에서는 *C. polykrikoides*이 출현하지 않았거나 낮은 밀도를 유지하였다. 즉 *C. polykrikoides*이 광범위하게 출현하는 정점에서는 *K. mikimotoi*의 증식이 둔화되고 있다는 것을 의미할 수 있고, 그들의 종특이성에 따른 상호경쟁관계는 두 종의 출현양상에도 영향을 미칠수 있었다.

*Cochlodinium polykrikoides*는 내만성 적조생물과 달리 영양염농도가 비교적 낮으면서 염분농도가 높은 해역에서 8월과 9월에 집중 대발생하는 경향이 강하다(김 등 2001; 임 등 2003; 조와 최 2005). 본 연구에서도 진해만 외측해역의 정점 5, 6, 7과 더불어 진동만 정점 16에서 높은 밀도의 개체수가 관찰되었다. CCA 분석에서는 환경요인과는 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았으나, 우점한 다른 와편모조류와는 상반된 방향으로 향하는 것을 알 수 있다. 즉 *C. polykrikoides*은 동일 해역내에서도 출현양상이 다르며, 상대적으로 외양성의 특성을 지닌 정점에서 높은 출현을 보였다.

다음으로 규조류의 우점종을 대상으로 CCA 분석을 살펴보면, 정점 1과 2에서 높은 밀도로 출현한 *C. pseudocurvisetus*와 *S. costatum*는 같은 방향으로 위치하였고, 이들 두 속은 DIN과 전체 Chl.*a*농도와 정(+)의 관계가 형성된 반면 염분과는 음(−)의 관계를 보였다. 즉, 이들 2종은 마산만 내측의 낮은 염분농도와 높은 질소기원의 영양염 조건하에서 현저히 증식하여 Chl.*a*농도 증가에 기여하였다고 판단된다. *Skeletonema costatum*은 광온 광염성종으로 기수역과 연안해역에 널리 분포하는 종으로 우리나라와 일본 연안해역에서 계절에 관계없이 빈번히 출현하고, 고수온기에 저염분수에 자극을 받아 대증식을 한다(Han *et al.* 1992; 정 등 2000; 유 등 2007). *Chaetoceros pseudocurvisetus*는 하계 남해연안해역에서 높은 출현빈도를 보였는데(정 등 2000), 내만의 고농도 영양염이 이들 규조류의 급속한 성장을 야기시켰을 것이다. *Chaetoceros affinis*와 *P. pungens*는 수온과 정(+)의 관계를 보였고, 모든 정점에서 출현한 *L. danicus*와 진해만 서부해역(통영주변)에서 상대적으로 높은 밀도를 보인 *C. didymus*는 환경요인과 생물요인과도 뚜렷한 관계를 찾을 수 없었다. 결과적으로 본 해역에서 주요 규조류의 우점종은 연안종으로 구성되었고, 이들 종은 내만의 특성을 잘 나타내었으나, 동일 해역에서조차도 영양염 농도와 수괴 구조의 차이로 인하여 그들의 현존량이 최대 10배 이상의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

적 요

진해만 광역해역에서 하계 식물플랑크톤의 수평적 군집 구조를 파악하기 위해서 16개 정점에서 식물플랑크톤 개체수 밀도와 환경요인을 조사하였다. 식물플랑크톤은 총 66종이 출현하였고, 전체의 80% 이상이 규조류의 점유율을 보였고, 다음으로 와편모조류와 라피도조류순으로 관찰되었다. 규조류의 우점종은 *Chaetoceros affinis, C. didymus, C. pseudocurvisetus, Leptocylindrus danicus, Pseudo-nitzchia pungens, Skeletonema costatum*으로 나타났고, 와편모조류는 *Cochlodinium polykrikoides, Gymnodinium impudicum, Karenia mikimotoi, Prorocentrium minimum, Protoperidium bipes, Scrippsiella trochoidea*로 관찰되었다. 각 정점별 식물플랑크톤의 군집구조를 바탕으로 한 MDS와 Cluster 분석에서 하계 진해만 광역해역은 크게 2그룹으로 나누어졌다. 제1그룹은 마산만 내측 정점으로 담수기원으로 높은 영양염 농도와 낮은 염분농도의 영향을 강하게 받은 곳이다. 제2그룹은 나머지 다른 외측 정점으로 구분되었다. 정준대응을 근거로 한 분석(CCA)에서도 만 내측에 우점 출현한 크기가 작은 와편모조류 *K. mikimotoi, P. minimum, P. bipes, S. trochoidea*와 중심목 규조류 *S. costatum, C. pseudocurvisetus*는 DIN (암모니움, 질산염, 아질산염)과 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 본 해역에서 만 내측과 외측의 정점으로 식물플랑크톤의 군집조성이 확연히 구분되고 있고, 특히 만 내측에서 높은 Chl.*a*농도와 더불어 식물플랑크톤의 현존량이 높게 나타나고 있다는 것을 의미한다. 결과적으로 내만의 얇은 수심에서 하계 식물플랑크톤의 대증식을 유발할 수 있었던 것은 높은 질소기원의 영양염과 수온에 의한 영향으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원 연구과제 “남해특별관리해역의 관리를 위한 해양 생태계 건강지수 개발(PE98463)”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김종구, 박청길, 김광수. 1994. 하계 마산만의 부영양화 제어를 위한 생태계모델의 적용. 한국환경과학회지. 3:185-195.

김학균, 정창수, 임월애, 이창규, 김숙양, 윤성화, 조용철, 이삼근. 2001. 한국연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과 변천. 한국수산학지. 34:691-696.

박종규, 허성희, 정해진. 2001. 진해만의 식물플랑크톤: 1 광환경에 따른 광합성 특성과 일차 생산력. Algae 16:189-196.

박주석. 1980. 한국 남해안의 식물성 Plankton의 출현량 및 조성과 이들이 먹이와 적조로서 양식생물에 미치는 영향. 수진연보. 23:7-157.

박주석. 1982. 진해만 적조의 특성과 환경변화. 수진연보. 28:55-88.

박주석, 이삼근. 1990. 한국남해의 식물플랑크톤의 분포와 수괴특성. 한국수산학지. 23:208-214.

백승호, 시모데 신지, 한명수, 키쿠치 토모히코. 2008. 춘계와 하계의 영양염 농도와 그 구성비가 식물플랑크톤의 군집구조에 미치는 영향평가. Algae 23:277-288.

백승호, 신경순, 현봉길, 장풍국, 김현수, 황옥명. 2010. 초여름 남해광역권의 수괴별 식물플랑크톤의 군집구조 특성. Ocean Polar Res. 32:1-13.

유광일, 이종화. 1976. 마산만의 환경학적 연구 2. 식물플랑크톤의 년 변화. 한국해양학회지. 11:34-38.

유만호, 송태윤, 김은수, 최중기. 2007. 진해만 서부해역에서 식물플랑크톤의 시공간적 분포특성. 한국해양학회지-바다. 12:305-314.

이진환, 한명수, 허형택. 1981. 진해만의 적조원인생물에 관한 연구. 해양연구소 소보. 3:97-105.

이창규, 이옥희, 이삼근. 2005. 한국연안에서 분리한 적조형성 미세조류 10종의 성장에 미치는 온도, 염분, 광도의 영향. 한국해양학회지 - 바다. 10:79-91.

임동일, 김영옥, 강미란, 장풍국, 신경순, 장 만. 2007. 한국 남해 마산만에서 수질환경의 계절적 변동과 기초생산 제한인자. Ocean Polar Res. 29:349-366.

임월애, 강창근, 김숙양, 이삼근, 김학균, 정익교. 2003. 여름철 남해도 연안 식물플랑크톤 군집의 단기 변화. Algae 18: 49-58.

정해진, 박종규, 최현용, 양재삼, 심재형, 신윤근, 이원호, 김형섭, 조경제. 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구. 2. 1997년도 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지 - 바다. 5:27-36.

조경제, 최만영, 곽승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의. 1998. 마산 - 진해만 수질 부영양화 및 계절 변동. 한국해양학회지 - 바다. 3:193-202.

조은섭, 최용규. 2005. 남서해역의 유해성 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* Margalef 모니터링을 위한 환경특성과 식물플랑크톤 군집동태. 한국환경과학회지. 14:177-184.

한명수, 유광일. 1983. 진해만의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 제1보. 유각류와 무각류. 해양연구소 소보. 5:37-47.

Cho CH. 1981. On the Gymnodinium red tide in Jinhae Bay. Bull. Korean Fish. Soc. 14:227-232.

Clarke KR and RM Warwick. 2001. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Inter-

pretation, 2nd ed. PRIMER-E, Plymouth. 179pp.

Grzebyk D and B Berland. 1996. Influences of temperature, salinity and irradiance on growth of *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea. J. Plankton Res. 18:1837-1849.

Hajdu S, L Elder, I Olenina and B Witek. 2000. Spreading and establishment of the potentially toxic dinoflagellate *Prorocentrum minimum* in the Baltic Sea. Int. Rev. Hydrobiol. 85:561-575.

Han MS, K Furuya and T Nemoto. 1992. Species-specific productivity of Skeletonema costatum in the inner part of Tokyo Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 79:267-273.

Han MS, SW Kim and YO Kim. 1991. Influence of iscontinuous layer on plankton community structure and distribution in Masan Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 24:459-471.

Ishikawa A and A Taniguchi. 1994. The role of cysts on population dynamics of *Scrippsiella* spp. (Dinophyceae) in Onagawa Bay, northeast Japan. Mar. Biol. 119:39-44.

Kamphake L, S Hannah and J Cohen. 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. Water Research 1:205-216.

Kim OK and MS Han. 2000. Seasonal relationships between cyst germination and vegetative population of *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae). Mar. Ecol. Prog. Ser. 204:111-118.

Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford. 173pp.

Yoo KI and JB Lee. 1986. Taxonomical studies on dinoflagellates in Masan Bay. 1. Genus Prorocentrum Ehrenberg. J. Oceanol. Soc. Korea 21:46-55.

Yoo KI and JH Lee. 1979. Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton in relation to phytoplankton population dynamics. J. Oceanol. Soc. Korea 14: 26-31.

Yoo KI and JH Lee. 1980. Environmrntal parameters in relation to phytoplankton population dynamics. J. Oceanol. Soc. Korea 15:62-65.

Manuscript Received: July 5, 2010
Revision Accepted: July 20, 2010
Responsible Editor: Hak Young Lee