

# 해창만의 생물해양학적 환경특성. 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동 및 분포 특성

윤 양 호  
여수대학교 해양학과

## Distributional Characteristics and Seasonal Fluctuations of Phytoplankton Community in Haechang Bay, Southern Korea

Yang Ho YOON

Dept. of Oceanography, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

The observations on the seasonal fluctuations of phytoplankton community in Haechang Bay of the Korean southern sea were carried out during four seasons from 1997 to 1998. A total of 77 species of phytoplankton including 10 freshwater species, belonging to 51 genera was identified. Seasonal succession of dominant species was evident in Haechang Bay; *Chaetoceros curvisetus*, *Skeletonema costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Dictyocha fibula* and *Ceratium furca* in summer, *C. curvisetus* in autumn. *C. curvisetus*, *Rhizosolenia setigera* and *E. zodiacus* in winter and *S. costatum* in spring. The phytoplankton community in Haechang Bay showed various species composition and was occupied with centric diatoms all the year round. Densities of the phytoplankton cell number by the samples of Haechang Bay ranged from  $8.4 \times 10^3$  cells/l to  $2.0 \times 10^5$  cells/l with the mean value of  $9.2 \times 10^4$  cells/l in summer, from  $3.2 \times 10^3$  cells/l to  $4.6 \times 10^6$  cells/l with mean of  $6.2 \times 10^4$  cells/l in autumn, from  $8.4 \times 10^3$  cells/l to  $4.3 \times 10^4$  cells/l with mean  $2.2 \times 10^4$  cells/l in winter and from  $1.0 \times 10^3$  cells/l to  $4.6 \times 10^4$  cells/l with mean of  $1.1 \times 10^4$  cells/l in spring. Phytoplankton standing crops fluctuated with an annual mean of  $4.7 \times 10^4$  cells/l between the lowest value of  $1.0 \times 10^3$  cells/l in spring and the highest value of  $4.6 \times 10^5$  cells/l in autumn. That is, phytoplankton standing crops was high in summer and autumn, while it was very low in winter and spring.

Key words: Haechang Bay, phytoplankton community, seasonal fluctuation, standing crops, dominant species, centric diatoms.

### 서 론

해양 생태계는 매우 다양한 생물군에 의하여 복잡·다양하게 구성되어 있으며, 특히 연안 생태계에서 그 다양성은 더욱 현저하다. 해양생태계의 구성인자 중에서도 식물플랑크톤 군집은 해양생태계의 저차 영양단계에서 무기물을 유기물로 전환시켜 주는 에너지 결합의 생산자 역할을 수행하고 있어, 해양의 수산자원은 물론, 모든 해양동물의 생산활동을 유지·지탱시켜주고 있는 기본요소이다. 따라서 연안해역의 식물플랑크톤 군집구조는 해양생태구조의 파악이나, 해양의 효율적 이용·관리라는 측면에서도 무엇보다 우선 파악되어야 한다.

그러나, 한국 연안해역의 경우, 경제부흥과 연계하여 대규모 임해공업단지가 조성된 경우는 환경문제와 관련하여 단편적이거나 비교적 다양한 해양조사가 이루어진 반면, 수산양식 등 자원 육성 및 보호에 필요한 연구조사는 매우 빈약한 실정이다. 남해안의 경우에도 진해만, 광양만 등 일찍부터 공업단지 조성이 이루어진 남동해역의 경우는 1970년대 후반부터 해양환경과 관련하여 비교적 다양한 해양생물에 대한 연구가 보여지는 반면 (한국과학기술연구소, 1980), 주로 수산자원 생산에 이용되고 있는 여자만, 득량만 및 완도연안 해역 등 남서 해역에 대한 생물 해양학적 연구조사는 매우 빈약한 실정이다. 다만, 득량만에 대해서는 연안 어장의 생산성 향상을 위한 학제적인 연구의 일환으로 비교적 다양한 연구가 수행되어 있다 (Yoon, 1999b).

해창만은 한반도 남해 중앙부에 위치하는 해역으로서 고흥반도와 나로도에 의해 둘러 쌓여 비교적 해수교환이 원활한 소형내만이다. 만 내에는 간척사업에 의한 광활한 간척지가 위치하고

있으며, 방조제에 의해 형성된 담수호에서 3개의 수문을 통해 만으로 담수유입이 빈번히 발생하는 해역이다. 해창만의 크기는 간척지구의 방조제로부터 만 입구에 이르기까지 폭 3.5 km에서 4.0 km, 길이 7.5 km에서 8.0 km의 해역으로 만 입구에서 약 8 m전후의 비교적 얕은 수심을 나타내는 천해 해역이며, 만 내의 해저지형은 전반적으로 상당히 완만한 해저 경사를 이루고 있다. 한편 각 수문의 입구부에서 형성된 2~3 갈래의 6 m~26 m 수심을 나타내는 골이 만 중앙부까지 이르고 있고, 만 내에는 약 20여개의 크고 작은 섬들이 산재하여 다소 복잡한 해양환경 특성을 나타내고 있다. 그리고 만 내에는 굴 양식 등 활발한 수산양식이 이루어지고 있는 해역이나, 현재까지 해창만을 대상으로 이루어진 해양학적 연구보고는 매우 빈약한 실정이다 (Choi and Lee, 1988; Yoon, 1999a).

본 연구는 해창만을 대상으로 식물플랑크톤 군집의 계절 변동과 분포 특성을 파악하여, 해창만의 효율적 이용과 관리에 필요한 기초자료 제공과 함께, 대상해역의 생물해양학적 환경 특성을 고찰하여 보고자 한다.

### 재료 및 방법

해창만 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 분포 특성에 의한 생물해양학적 환경특성을 파악하기 위한 현장조사는 1997년 7월, 1997년 10월, 1998년 2월과 4월, 4계절에 만내의 16개 관측점에서 실시되었다 (Fig. 1). 식물플랑크톤의 표본 채집은 표층해수를 채수하는 채수법에 의하였다.

식물플랑크톤은 현장에서 해수 300 ml를 폴리에틸렌 표본병에 넣어 중성 포르마린으로서 최종농도가 0.4% 되게 고정하였다

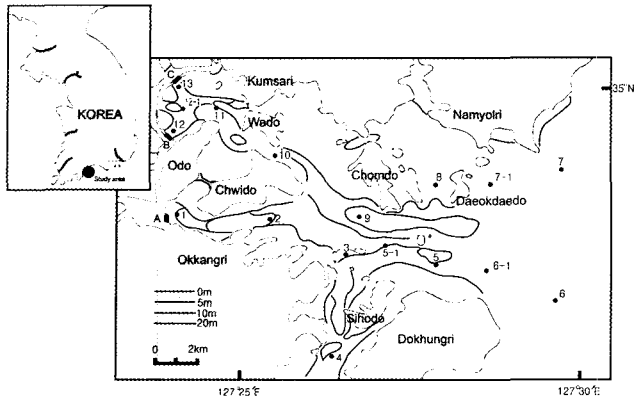


Fig. 1. A map showing bathymetry and sampling stations. (A; sluice #2, B; sluice #3, C; sluice #1)

(Thronsen, 1978). 고정된 해수는 실험실에서 250 ml를 취해 공경이 5.0  $\mu\text{m}$ , 직경이 47 mm인 박막여과지가 장착된 여과기를 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 5 ml되도록 농축하였다(飯塚, 1986). 검경은 농축된 시료 0.1 ml를 계수판에 취하고, Nikon 광학 현미경하에서 종의 동정과 단위 체적당의 출현 세포수를 산출하였다. 출현한 식물플랑크톤 종의 정리는 Park and Dixon (1976), Hatley (1985) 및 Tomas (1997)의 분류체계에 따랐다.

## 결과 및 고찰

### 1. 식물플랑크톤 종조성

해창만에서 출현이 확인된 식물플랑크톤의 종은 해양 종 43속 67종과 담수 종 8속 10종을 포함하여, 전체 51속, 77종이 동정되었다. 이와 같은 출현결과를 기존의 한국 연안해역의 식물플랑크톤 출현 종 수와 비교하면, 해창만의 식물플랑크톤 군집은 비교적 다양한 생물상에 의해 구성되고 있는 것으로 보여졌다 (Shim and Park, 1984; Shim and Shin, 1984; Yoon et al., 1992; Yoon, 1995; 1998). 분류군 별로는 규조류가 28속, 41종으로 전체 53.2%의 점유율을 나타내고 있었고, 다음으로 와편모조류가 11속 22종으로 28.6%의 점유율을, 규질편모조류가 2속, 3종으로 3.9%의 점유율, 그리고, 유글레나조류와 담수산 조류가 각각 1속 1종과 8속 10종으로 1.3%와 13.0%의 점유율을 나타내고 있어, 담수산 종이 비교적 높은 비율로 출현하고 있었다 (Fig.2).

이는 한국 남해 해역의 식물플랑크톤 군집 중 연중 규조류에 의한 점유량이 제주 함덕연안에서 57.5% (Yoon et al., 1992), 가막만에서 45.7% (Yoon, 1997), 가막만 남부 화태도에서 68.3% (Yoon, 1998b), 조사해역과 인접한 거금수도에서 66.1% (Yoon and Koh, 1995) 및 완도 신지도 연안에서 53.5% (Yoon, 1998c)를 나타내고 있는 것과 유사한 결과이나, 남서해역 식물플랑크톤 군집에서 여름에 규조류가 80.5%, 와편모조류가 16.3% (Shim and Park, 1984), 겨울에도 규조류가 81.2%, 와편모조류가 17.6% (Kim and Yoon, 1997)의 비율로 출현하고 있다는 결과와는 다소 차이를 보이는 내용이다. 즉, Nybakken (1993)는 중위도 온대해역은 연중 규조류에 의해 점유되는 비율이 높은 특성을 보이나, 고수온

기에는 와편모조류 등, 식물성 편모조류의 출현이 높게 나타나고 있는 것을 지적하고 있으며, 한국 연안해역에서도 규조류는 계절에 관계없이 비교적 오랜 기간 출현이 지속되고 있는 반면, 식물성 편모조류는 한정된 계절에 매우 일시적으로 출현하는 경향을 나타내고 있어, 동일 해역일지라도 조사 빈도에 따라 식물성 편모조류에 의한 점유율이 높아지는 결과를 나타내는 것으로 지적하고 있어 (Yoon et al., 1992; Yoon, 1995), 동일 해역일지라도 조사시점과 간격의 차이에 의해 다소 다른 결과를 나타낼 수 있는 것으로 보인다. 그리고, 해창만에서 다른 연안해역에 비하여 다양한 담수종이 출현하고 있는 것은 빈번한 수문 개폐로 방조제 인근해역은 향시 저염 현상이 지속되고 있기 때문으로 판단되었다.

해창만 식물플랑크톤 출현 종의 계절변화는 여름에 37속 48종, 가을에 45속 51종, 겨울에 20속 25종 그리고 봄에 29속 33종이 출현하여, 가을에 가장 다양한 종 출현 특성을 보이고 있는 반면, 겨울과 봄에 출현종이 빈약한 것으로 나타났다. 특히 여름과 가을철에는 와편모조류 등 식물성 편모조류가 비교적 다양하게 출현하고 있으나, 겨울철에는 와편모조류를 포함한 식물성 편모조류의 출현이 낮은 특성을 나타내었다 (Fig. 3). 이와 같이 계절에 따른 종 조성의 차이는 가막만과 제주 연안에서 격일 또는 주간 단위로 관측을 실시한 결과와 유사한 내용이다 (Yoon et al., 1992; Yoon, 1995).

이와 같은 결과는 우리 나라 남해 연안해역의 경우 여름철이 가장 다양한 종 조성을 나타내고 있는 것과는 다소 상반된 내용이나 (Yoon and Koh, 1995), 남, 서해안에서는 가을철에 보다 다양한 종 조성을 나타내고 있다는 보고와는 유사한 내용으로서 (Yoon, 1998a; 1998c), 인접 해역에서도 서로 상반된 내용을 나타내고 있다. 이는 우리 나라 연안해역의 식물플랑크톤 연구 대부분이 계절별 조사로 이루어지고 있어, 조사기간이 식물플랑크톤의 세대 시간이나 분포 변동 내용을 충분히 수용하지 못하고 있기 때문으로, 조사시점에 따라 다른 결과를 나타내고 있는 것으로 판단되었다.

### 2. 식물플랑크톤 군집의 계절변화

해창만에서 4회의 조사시점 모두에서 관찰되는 식물플랑크톤 종은 규질편모조류인 *Dictyocha fibula*, 중심목 규조류인 *Chaetoceros*

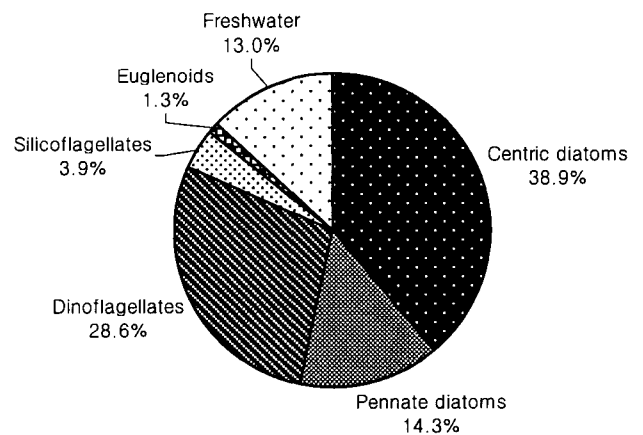


Fig. 2. Species composition of phytoplankton in Haechang Bay from 1997 to 1998.

*curvisetus*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus*, *Thalassiosira rotula*, *Skeletonema costatum*, 우상목 규조류인 *Pseudo-nitzschia pungens* 등 7종이었으며, 3회에 걸쳐 관찰이 확인된 종은 와편모조류인 *Ceratium furca*, *Noctiluca scintillans*, 규질편모조류인 *Ditylocha speculum*, *Ebria tripartita*, 중심목 규조류인 *Actinocyclus senarius*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. dydimus*, *Pseudosolenia calar-avis*, *Rhizosolenia setigera*, 우상목 규조류인 *Asterionellopsis glacialis*, *Nitzschia longissima*, 유글레나조류인 *Eutreptiella gymnastica* 등 12종으로서, 이들 19여종이 해장만 식물플랑크톤 군집을 대표하는 종들로 보아졌다 (Table 1).

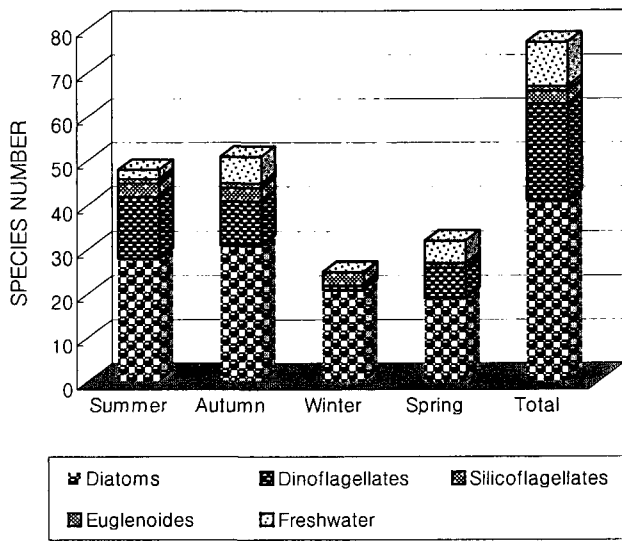


Fig. 3. Seasonal changes of phytoplankton species composition in Haechang Bay from 1997 to 1998.

Table 1. Seasonal changes of phytoplankton species in Haechang Bay

Phytoplankton species		Summer	Autumn	Winter	Spring
<b>DINOPHYTA</b>					
<i>Alexandrium</i>	<i>catenella</i>	*			
A.	sp.				*
<i>Ceratium</i>	<i>furca</i>	*	*		*
C.	<i>fuscus</i>	*			
<i>Dinophysis</i>	<i>caudata</i>		*		
D.	<i>fortii</i>				*
D.	<i>rotundata</i>	*			
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>	*			
Gy.	<i>sanguineum</i>		*		*
<i>Gyrodinium</i>	<i>falcatum</i>		*		
<i>Noctiluca</i>	<i>scintillans</i>	*	*		*
<i>Peridinium</i>	<i>quinquecornu</i>	*			
<i>Prorocentrum</i>	<i>micans</i>		*		
P.	<i>minimum</i>				*
P.	<i>triestinum</i>	*	*		
<i>Protoperdinium</i>	<i>bipes</i>	*			
Pr.	<i>claudicans</i>		*		
Pr.	<i>pallidum</i>	*			
Pr.	<i>pellucidum</i>	*			
Pr.	spp.	*	*	*	*
<i>Pyrophacus</i>	<i>steinii</i>	*			
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>	*	*		

Table 1. to be continued

Phytoplankton species		Summer	Autumn	Winter	Spring
<b>CHRYSTOPHYTA</b>					
<i>Ditylocha</i>	<i>fibula</i>	*	*	*	*
D.	<i>speculum</i>	*	*	*	
<i>Ebria</i>	<i>tripartita</i>	*	*	*	
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>					
<i>Actinocyclus</i>	<i>senarius</i>		*	*	*
<i>Bacteriastrium</i>	sp.	*			
<i>Chaetoceros</i>	<i>affinis</i>	*	*	*	
Ch.	<i>atlanticus</i>		*		
Ch.	<i>debilis</i>		*		
Ch.	<i>curvisetus</i>	*	*	*	*
Ch.	<i>dydimus</i>	*	*		*
Ch.	<i>lorenzianus</i>	*	*		
Ch.	<i>peruvianus</i>	*			
Ch.	<i>socialis</i>		*	*	
Ch.	spp.	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus</i>	<i>gigas</i>	*		*	*
C.	sp.	*	*	*	*
<i>Dactylosolen</i>	<i>fragillissimus</i>	*	*		
<i>Ditylum</i>	<i>brightwellii</i>	*	*	*	*
<i>Eucampia</i>	<i>zodiacus</i>	*	*	*	*
<i>Guinardia</i>	<i>flaccida</i>	*	*		
G.	<i>striata</i>	*	*		
<i>Helicotheca</i>	<i>tamesis</i>	*			
<i>Hemiaulus</i>	<i>sinensis</i>		*		
<i>Leptocylindrus</i>	<i>danicus</i>		*	*	
<i>Melosira</i>	sp.	*	*	*	*
<i>Pipposcia</i>	<i>alata</i>	*	*		
<i>Pseudosolenia</i>	<i>calar-avis</i>	*	*		*
<i>Rhizosolenia</i>	<i>robusta</i>		*		
Rh.	<i>setigera</i>		*	*	*
<i>Thalassiosira</i>	<i>rotula</i>	*	*	*	*
T.	spp.		*	*	*
<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	*	*	*	*
<i>Stephanopyxis</i>	<i>palmeriana</i>	*	*		
<b>PENNALES</b>					
<i>Asterionellopsis</i>	<i>glacialis</i>	*		*	*
<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifera</i>		*	*	
<i>Gyrosigma</i>	sp.		*	*	*
<i>Licmophora</i>	<i>abbreviata</i>	*		*	
<i>Neodelphineis</i>	<i>pelagica</i>	*			*
<i>Pleurosigma</i>	sp.		*		*
<i>Nitzschia</i>	<i>longissima</i>	*	*	*	
<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>pungens</i>	*	*	*	*
Pn.	<i>seriata</i>	*	*		
<i>Thalassionema</i>	<i>nitzschioides</i>			*	*
Th.	<i>frauenfeldii</i>	*			
<b>EUGLEOPHYTA</b>					
<i>Eutreptiella</i>	<i>gymnastica</i>	*	*	*	
<b>FRESHWATER SPECIES</b>					
<i>Anabaena</i>	sp.	*	*		*
<i>Ceratium</i>	<i>hirundinella</i>				*
<i>Closterium</i>	<i>setaceum</i>				*
<i>Mycrocystis</i>	sp.		*		
<i>Pediastrum</i>	<i>duplex</i>		*		*
<i>Phormidium</i>	<i>uncinatum</i>		*		
<i>Scenedesmus</i>	<i>acuminatus</i>		*		
Sc.	<i>bicaudatus</i>				*
Sc.	<i>quadricauda</i>	*			*
<i>Tribonema</i>	<i>bombycinum</i>		*		

해창만에서 3회 이상 출현을 보이는 식물플랑크톤 종들은 남해해역에서 쉽게 관찰될 수 있는 종들이며, 계절별 출현 양상은 Yoon and Koh (1995)에 의해 보고한 고흥반도 남부해역인 거금수도 식물플랑크톤 군집의 출현 특성과 유사한 결과를 나타내고 있다. 다만, 종에 따라서는 남해의 가막만 입구해역, 완도 신지도 연안해역 및 시아해의 식물플랑크톤 종 출현 특성을 나타내는 내용과 다소 출현 시기를 달리하고 있다 (Yoon, 1998a; 1998b; 1998c). 특히, 고흥반도 인근해역에서는 *Dictyocha fibula*, *D. speculum*, *E. tripartita* 등과 같은 규질편모조류가 비교적 많은 양으로 연간 출현하는 특성을 보이고 있는데, Tsujita (1956)에 의하면 이 중 *D. fibula*는 이례적이기는 하나 폐쇄성의 강한 내만 해역에서는 적조를 발생시키기도 하는 것으로 보고하고 있다.

### 3. 우점종의 계절변화

조사시점에서 한 개 이상의 관측점에서 전체 식물플랑크톤 출현 세포수에 5% 이상 점유하여 우점종으로 출현하는 식물플랑크톤 종은 Table 2에 나타내었다. 즉, 여름인 7월의 경우에는 중심목 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*가 전 해역에서 우점하는 양상을 보이고 있으며, 기타 일부 관측점에서는 중심목 규조류인 *S. costatum*, *E. zodiacus*, 규질편모조류인 *D. fibula* 및 와편모조류인 *Ceratium furca*에 의해 우점되고 있었고, 이외 우점율은 다소 낮으나 와편모조류인 *Gymnodinium catenatum*가 관측점에 따라서는 많은 양으로 출현하고 있었다. 가을인 10월에는 중심목 규조류인 *Ch. curvisetus*가 전 해역에서 우점하고 있었으며, 해역에 따라서는 *Leptocylindrus danicus*, *Dactylosolen flagillissimus* 등이 비교적 많은 양으로 출현하였다. 겨울과 봄에는 뚜렷한 우점종은 보이지 않으나, 각각 중상목 규조류인 *Ch. curvisetus*, *Rhizosolenia setigera*, *E. zodiacus*와 *S. costatum*이 우점하는 양상을 나타내어, 연간 중심목 규조류, 특히 *Chaetoceros*속 플랑크톤 출현이 지배적이었다. 이는 Nybakken (1993)이 중위도 온대해역의 경우 겨울을 제외한 계절에 *Chaetoceros*속 등 규조류가 우점한다는 결과와 일치하는 내용이다.

이와 같은 결과는 한국 남해의 중앙부에서 서부 연안해역, 즉 가막만 (Yoon, 1995), 화태연안 (Yoon, 1998b), 거금수도 (Yoon and Koh, 1995), 완도연안 (Yoon, 1998a), 해남의 시아해 (Yoon, 1998c) 등에서 봄에는 주로 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*, 우상목 규조류인 *Asterionellopsis*속과 *Thalassionema*속에

의해, 여름에는 중심목 규조류인 *S. costatum*과 *Chaetoceros*속, 그리고 일부 와편모조류에 의해, 가을에는 중심목 규조류인 *Leptocylindrus*속, *Chaetoceros*속, *Rizosolenia*속 및 *Paralia*속, 그리고 우상목 규조류인 *Basillaria*속과 *Pseudo-nitzschia*속에 의해, 겨울에는 중심목 규조류인 *S. costatum*, *Eucampia zodiacus*, *Chaetoceros*속과 *Leptocylindrus*속, 그리고 우상목 규조류인 *Thalassionema*속에 의해 주로 우점되고 있다는 결과 및 중위도 온대해역에서는 여름철 일부에서 와편모조류에 의한 우점 현상 이외에는 연간 규조류에 의해 우점된다는 내용과 전반적으로는 유사한 내용이다 (Nybakken, 1993).

그러나, 해창만은 내만 쪽에서 빈번한 담수 유입과 조석혼합이 활발한 천해 해역임에도 불구하고 우상목 규조류에 의한 우점 현상이 보여지고 있지 않은 점이나, 남해 중앙부 연안과 인근 해역에서 늦겨울에서 초 봄에 걸쳐 우점하는 *Eucampia zodiacus*가 해창만에서는 여름에 우점종으로 출현하고 있는 결과 등은 남해안 여타 해역과 다소 다른 결과를 나타내는 내용이다 (Yoon, 1995; 1998b).

### 4. 식물플랑크톤 현존량의 계절변화

해창만 식물플랑크톤 현존량은 여름과 가을에 높고, 겨울과 봄에 낮은 경향을 나타내었다 (Fig. 4). 즉, 식물플랑크톤 현존량은 시·공간적으로 큰 차이를 나타내고 있으며, 그 변동 범위는  $1.0 \times 10^3$  cells/l (봄)에서  $462.2 \times 10^3$  cells/l (가을)를 나타내었다. 다만, 가을철 최대 출현 세포수는 1호 수문과 인접하는 관측점 13의 담수구에 의한 담수산 플랑크톤으로, 이를 제외하면 여름철  $204.0 \times 10^3$  cells/l이 최대 출현 세포수가 된다 (Table 3).

계절별로 여름은, 전 식물플랑크톤 세포밀도가  $8.4 \times 10^3$  cells/l에서  $204.0 \times 10^3$  cells/l의 변동 범위를 보여,  $92.3$  cells/ml  $\pm$   $70.2 \times 10^3$  cells/ml (평균  $\pm$  표준편차, 이하 같은 방법으로 표시)로 변동하는 양상을 나타내어 비교적 큰 분포 차이를 나타내고 있으나, 조사기간 중 가장 높은 세포밀도를 나타내었다 (Fig. 4). 그리고, 타 계절에 비해 와편모조류나 기타 식물성 편모조류의 출현이 비교적 높게 나타나고 있으며 (Table 3), 특히, 규질편모조류인 *D. fibula*와 섬모충류를 주로하는 원생동물의 세포밀도가 매우 높은 특징을 보였다 (Fig. 5). 가을은 전 식물플랑크톤이  $3.2 \times 10^3$  cells/l에서  $462.2 \times 10^3$  cells/l의 범위를 보여,  $62.2$  cells/ml  $\pm$   $118.4$  cells/ml로 변동하는 양상을 보였으며, 관측점 별 출현 세포수의 분산이 가장 크게 나타났다. 그러나, 최대 출현 세포수가 1호 수문에 인접하여 담수호에서 유입된 담수플랑크톤에 의하는 것을 제외한 해양 식물플랑크톤만을 고려하면, 최고 출현 세포수가  $84.4 \times 10^3$  cells/l를 나타내어, 전체적인 분산은 그다지 크지 않게 된다 (Fig. 4, Table 3). 겨울은 전 식물플랑크톤이  $8.4 \times 10^3$  cells/l에서  $42.6 \times 10^3$  cells/l의 범위를 보여,  $21.6$  cells/ml  $\pm$   $11.1$  cells/ml로 변동하는 양상을 보여, 가장 균일한 분포특성을 나타내었다 (Fig. 4). 특히, 겨울은 와편모조류를 포함한 식물성 편모조류의 세포밀도가 매우 낮았다 (Table 3). 봄은 전 식물플랑크톤이  $1.0 \times 10^3$  cells/l에서  $46.2 \times 10^3$  cells/l의 범위를 보여,  $10.5$  cells/ml  $\pm$   $13.3$  cells/ml로 변동하는 양상으로, 매우 불균일한 분포 특성을 나타내고 있으며, 식물플랑크톤 세포밀도도 4계절 중에 가장 낮게 나타나고 있다 (Fig. 4, Table 3).

Table 2. Seasonal changes of phytoplankton dominant species in Haechang Bay

Season	Dominant species
Summer	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
	<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Eucampia zodiacus</i>
	<i>Dictyocha fibula</i>
	<i>Gymnodinium catenatum</i>
Autumn	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
Winter	<i>Chaetoceros curvisetus</i>
	<i>Rhizosolenia setigera</i>
	<i>Eucampia zodiacus</i>
Spring	<i>Skeletonema costatum</i>

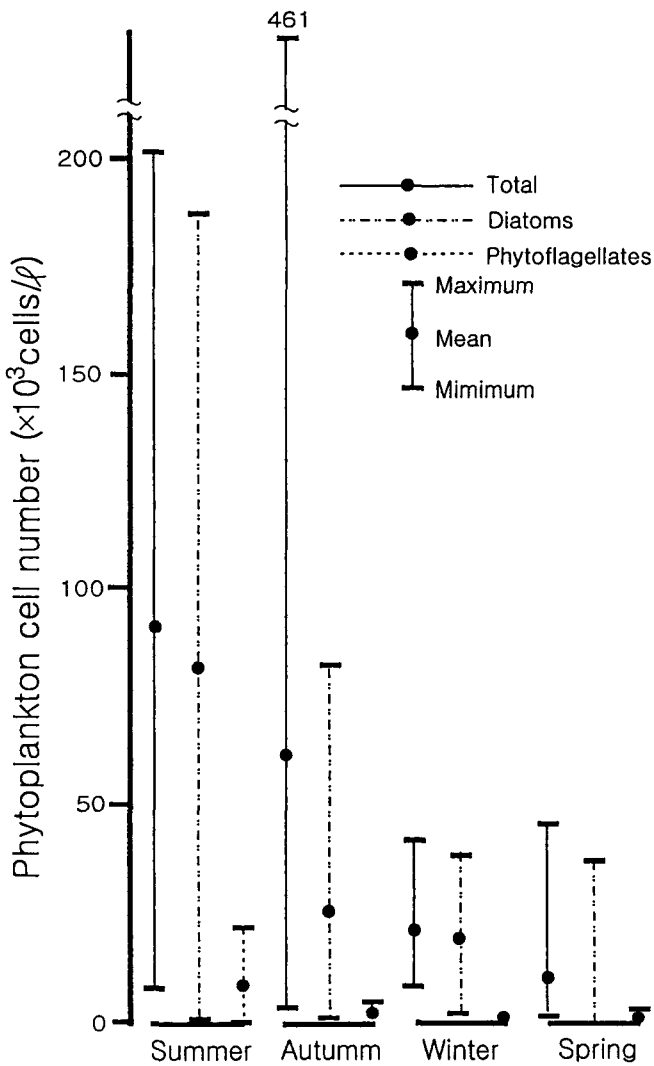


Fig. 4. Seasonal fluctuation of phytoplankton standing crops in Haechang Bay from 1997 to 1998.

해창만의 식물플랑크톤 현존량은 봄에 가장 낮고, 겨울에 가장 높은 값을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 Heinrich (1962) 등에 의해 일반적으로 온대해역에서는 봄과 가을에 규조류를 주로 하는 식물플랑크톤 대 발생이 보여진다는 내용과는 상이한 결과이나 (Sournia, 1969; Parsons et al. 1984), 부영양화가 진행된 내만 해역의 경우 생활하수 유입이 많은 여름에 더욱 높은 세포밀도를 나타낸다는 보고나 (Yoon, 1989), 한국의 남해안과 같이 얕은 수심에 조석 혼합이 강한 연안해역은 겨울철에 도리어 더욱 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타낸다는 내용과는 유사한 결과이다 (Yoon, 1995; 1998b; 1999b). 해창만에서 겨울철 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타내는 것은 조석혼합 등에 의해 표·저층 간의 활발한 혼합으로 표층으로의 풍부한 영양염류의 공급과 충분한 광조건 등이 구비되고 있기 때문으로 보아졌다.

해역별 분포경향의 경우, 여름철은 담수의 영향을 직접 받고 있는 만내 해역에서  $30.0 \times 10^3$  cells/l 이하로 낮은 세포밀도를 보이고 있는 반면, 만 중앙부와 외연 해역에 걸쳐  $100.0 \times 10^3$  cells/l 이상

Table 3. Seasonal changes of phytoplankton standing crops in Haechang Bay from July, 1997 to April, 1998 (unit ;  $\times 10^3$  cells/l).

Season	Taxon	No. of samples	minimum maximum mean Standard deviation			
			( $\times 10^3$ cells/l)			
summer	diatoms	-	-	188.8	82.7	66.1
	dinoflagellates	-	-	9.0	4.7	3.3
	phytoflagellates	9	-	11.8	3.8	4.0
	freshwater species	-	-	8.4	1.0	2.6
	total	-	8.4	204.0	92.3	70.2
summer	diatoms	0.6	-	83.0	25.6	26.8
	dinoflagellates	0.2	-	2.2	0.7	0.5
	phytoflagellates	13	-	0.8	0.3	0.3
	freshwater species	-	-	461.4	35.6	122.9
	total	3.2	462.2	62.2	150.5	
summer	diatoms	1.6	-	39.0	20.1	11.1
	dinoflagellates	-	-	0.4	0.1	0.1
	phytoflagellates	14	-	0.2	0.03	0.1
	freshwater species	-	-	1.0	0.1	0.3
	total	8.4	42.6	21.6	11.6	
summer	diatoms	-	-	37.3	7.5	12.5
	dinoflagellates	-	-	1.6	0.4	0.5
	phytoflagellates	13	-	0.2	0.1	0.1
	freshwater species	-	-	23.2	2.5	6.1
	total	1.0	46.2	10.5	13.3	

으로 비교적 높은 세포밀도를 나타냈다 (Fig. 5, A). 여름에 높은 세포 밀도로 출현하는 와편모조류의 경우, 전 식물플랑크톤과는 달리, 2호 수문의 영향을 받는 취도와 옥강리 연안해역과 나로도 인근의 외연 해역에서 높고, 1호 수문과 3호 수문이 영향을 받고 있는 와도 연안에서 고흡반도 연안에 걸쳐 낮은 세포밀도를 나타내었다 (Fig. 5, B). 또한 해창만에서 여름에 높은 생물량으로 출현하는 원생동물의 경우, 와편모조류의 분포경향과 비슷하여, 2호 수문에 인접하는 해역에서는  $500 \times 10^3$  cells/l 이상의 매우 높은 개체 밀도를 나타내어 동일 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 세포밀도보다도 높은 값을 나타내고 있었다 (Fig. 5, C).

이와 같은 출현양상에 비해 동시에 측정된 Chl-a량은 만내 평균값으로  $20 \text{ mg/m}^3$  이상을 나타내고 있어 (Yoon, 1999), 여름철 해창만 만내 해역의 낮은 식물플랑크톤 세포밀도는 상당부분 포식자에 의한 강한 포식압의 영향을 받고 있는 뿐만 아니라, 매우 소형의 picoplankton이나 nanoplankton에 의해 점유하는 비율이 높아 (Larsson and Hagstrom, 1982; Yamaguchi and Imai, 1996; Shim and Shin 1989; Shim et al. 1992), 본 연구의 현미경 관찰 방법으로는 상당부분의 식물플랑크톤 현존량이 과소평가 되고 있는 것으로 추정되었다.

가을은 여름과 달리 만내 해역에서  $30.0 \times 10^3$  cells/l 이상으로 높은 세포밀도를 나타내고 있는 반면, 나로도 협수로 및 북부 해역에서  $10.0 \times 10^3$  cells/l 이하의 낮은 세포밀도를 보였다. 그리고 만의 북동해역인 남열리 연안에서 외연 해역에 걸쳐서도  $30.0 \times 10^3$  cells/l 이상의 높은 세포밀도가 보여지고 있었다 (Fig. 6, A).

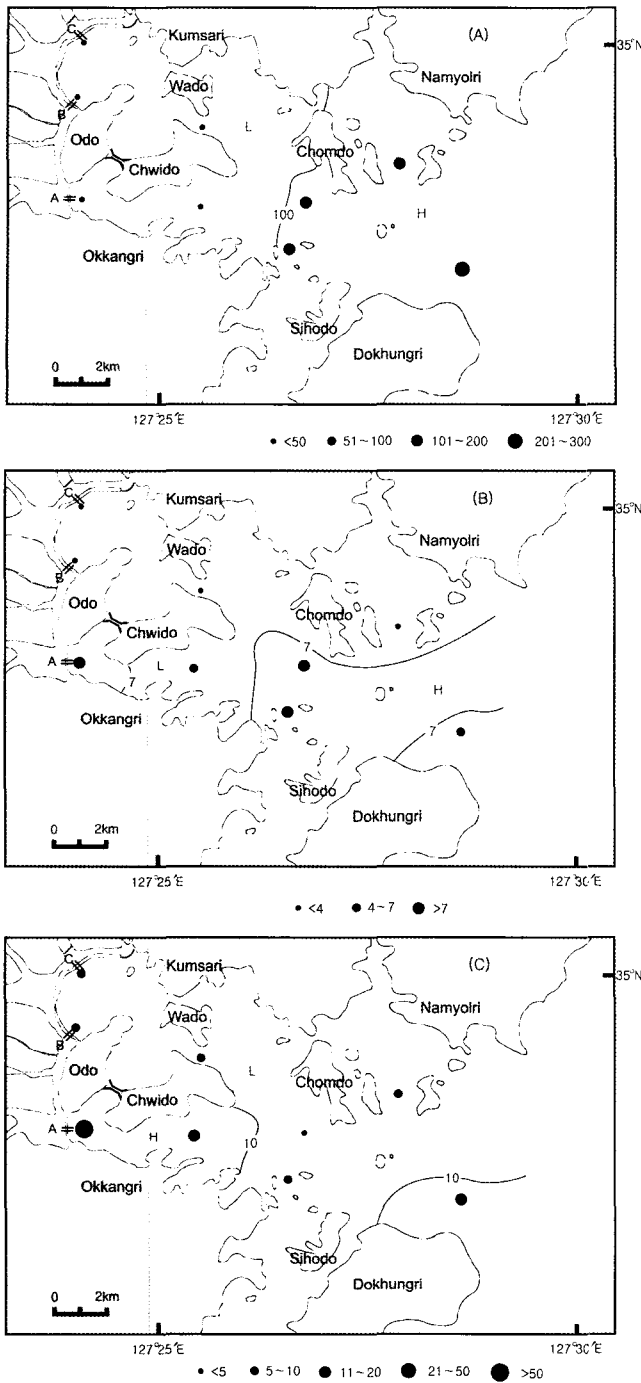


Fig. 5. Horizontal distribution of plankton standing crops in Haechang Bay during summer season in 1997 (A, phytoplankton; B, dinoflagellates; C, protozoa).

겨울은 여름과 유사하여 2호 수문의 영향을 받고 있는 만내 해역에서  $10.0 \times 10^3$  cells/l 이하의 낮은 세포밀도를 나타내었으며, 나로도 협수로 인근과 만 외연에서  $30.0 \times 10^3$  cells/l 이상으로 높은 세포밀도를 보였다. 한편 여름과는 달리 1호 및 3호 수문의 영향을 받는 와도 인근해역에서는 높은 세포밀도를 나타내고 있으나, 만 중앙부에서는  $10.0 \times 10^3$  cells/l 전후의 낮은 세포밀도를 나타내었다 (Fig. 6, B).

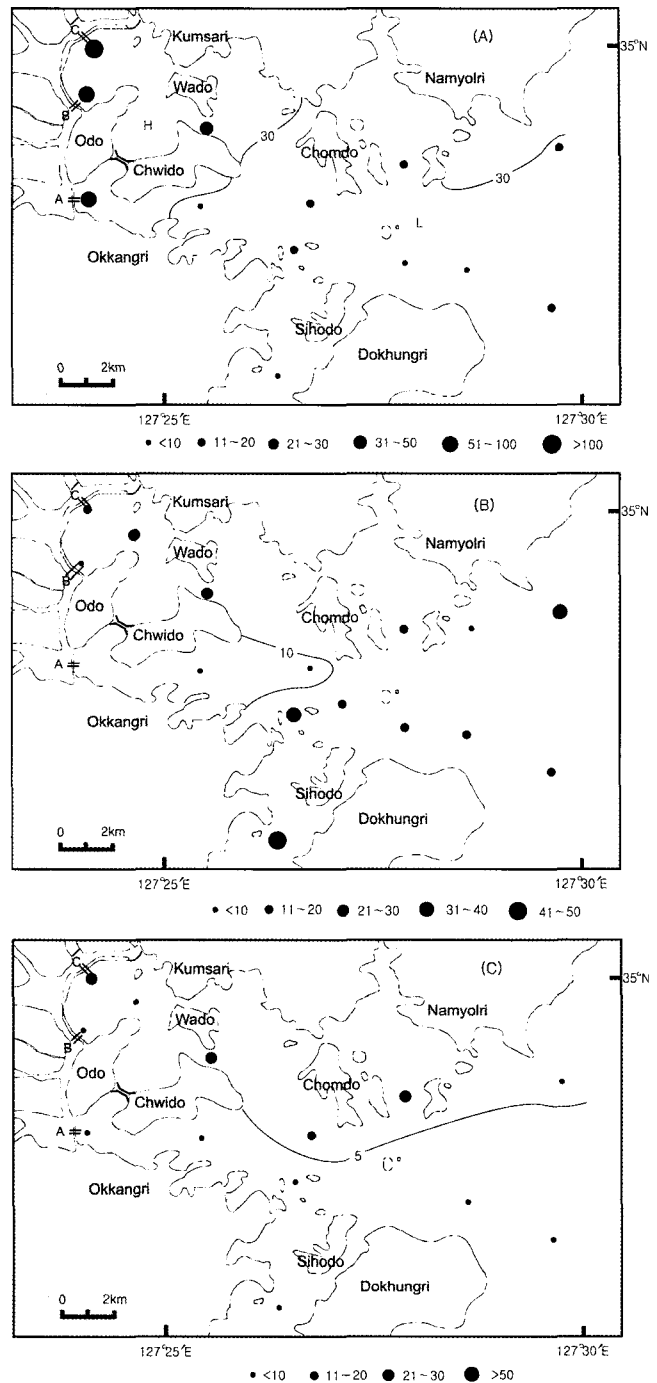


Fig. 6. Horizontal distribution of phytoplankton standing crops in Haechang Bay during three seasons from 1997 to 1998 (A, autumn; B, winter; C, spring).

봄은 2호 수문의 영향을 받는 취도와 옥강리 연안해역에서  $5.0 \times 10^3$  cells/l의 세포밀도를 나타내고 있으나, 외연 쪽으로 갈수록 점차 낮아져, 첨도 및 시호도 인근인 만 중앙부에서는  $1.0 \times 10^3$  cells/l 내외의 매우 낮은 세포밀도를 나타낸다. 1호 수문과 3호 수문의 영향을 받는 해역에서는  $10.0 \times 10^3$  cells/l 이하의 낮은 세포밀도를 나타내고 있으며, 만의 외연 쪽에서도 낮은 세포밀도를 보였다. 다만, 만의 북동해역인 남열리 연안해역에서  $20.0 \times 10^3$  cells/l

이상의 비교적 높은 세포밀도를 보이고 있을 뿐이었다 (Fig. 6, C).

즉, 해창만의 식물플랑크톤 분포는 계절에 따라 다소 차이는 있으나, 수문을 접하고 있는 내만 해역, 침도를 포함하는 만 중앙부 해역 및 만의 동 측인 외연해역으로 구분되어, 분포하는 양상을 나타내고 있었다. Yoon (1999a)은 Chl-a량도 같은 분포 양상을 나타내고 있으며, 내만 역의 경우는 담수 유입 후 바로 해수와 혼합되면서 중앙해역으로 유출되고 있는 반면, 중앙부 해역은 나로도에 의해 형성된 협수로를 통한 해수의 영향을 더욱 강하게 받고 있는 것으로 설명하고 있다.

해창만에서 관찰되는 식물플랑크톤 세포밀도는 지금까지 우리나라 연안해역 중에 비교적 외해나 외해의 영향을 직접받고 있는 해역, 즉, 여름철 한반도 남서해역의  $6.7 \times 10^3$  cells/l에서  $3.9 \times 10^5$  cells/l (Shim and park, 1984)나 겨울의  $1.1 \times 10^4$  cells/l에서  $3.3 \times 10^5$  cells/l (Kim and Yoon, 1997), 완도 신지도 동남방해역의  $1.1 \times 10^4$  cells/l에서  $3.3 \times 10^5$  cells/l (Yoon, 1998a)와 유사한 값들이고, 우리나라, 동해 (Shim et al., 1992), 서해 (Shim and Shin, 1989) 및 남해 (Shim and Shin, 1984; Yoon, 1995; Yoon and Koh, 1995; Yoon, 1998c)의 내만 해역이나 제주도 연안해역 (Yoon et al., 1992)에서의 보여지는 식물플랑크톤 세포밀도에 비하면 매우 낮은 값이다.

특히, 통산산업부 등 (1996)은 최근 우리나라 대부분의 연안해역은 각종 생활하수, 산업폐수 및 어류 및 패류양식에 의한 자가 오염현상 등에 의해 부영양화가 급속히 진행되고 있음을 지적하고 있고, Iizuka (1985)는 일본의 전 연안해역에서 식물플랑크톤 최고 출현 세포수에 대한 조사 결과 전체 93해역에서 89.2%가  $10^6$  cells/l 이상의 출현량을 나타내고 있고, 10.8%만이  $10^5$  cells/l 이하로 출현하고 있다는 내용과 비교하더라도 해창만 식물플랑크톤 출현 세포밀도는 매우 낮은 값이라 할 수 있다.

그러나, 식물 플랑크톤 현존량은 낮은 값을 나타내고 있으나, Yoon (1999a)은 해창만의 Chl-a농도가 연 중 매우 높은 값을 나타내고 있는 것으로 보고하고 있으며, Yamaguchi and Imai (1996)는 부영양화가 진행된 일본의 Osaka 만에서 Chl-a농도에 의해 전 식물플랑크톤 생물량 중 평균 43%가 미소플랑크톤인 nanoplankton에 의해 점유되고 있다고 보고하고 있으며, Maita and Odate (1988)은 비교적 영양염 농도가 낮은 Funka 만에서 여름철  $^{14}C$  흡수에 의해 크기별 식물플랑크톤의 생산력을 파악하여, 중앙부 해역에서는 전체 식물플랑크톤 생산력 중의 약 60%가 연안해역에서는 약 45%가  $2 \mu m$  이하의 극미소 식물플랑크톤에 의해 점유되고 있는 것으로 보고하고 있어, 해창만의 식물플랑크톤 군집에서도 본 연구 방법에 의해 누락 될수 있는 극미소 및 미소 플랑크톤에 의한 점유율이 연중 높게 나타나고 있기에 높은 Chl-a 농도를 나타내고 있음에도 불구하고 (Yoon, 1999a), 낮은 현존량을 나타내고 있는 것으로 추정되었다.

요 약

남해 중앙부에 위치하는 해창만의 식물플랑크톤 군집은 비교적 다양한 생물종에 의해 군집을 이루고 있으나, 출현 세포 밀도는 매

우 낮은 특징을 보였다. 특히, 계절적으로는 여름과 가을에 높은 세포 밀도를 나타내고 있는 반면, 봄에 낮은 세포 밀도를 나타내나, 식물플랑크톤 군집은 연중 중심목 구조류에 의해 지배되고 있었다. 그러나, Chl-a량의 분포와 관련하여, 식물플랑크톤에 의한 해창만의 기초생물 잠재생산력은 연중 매우 높은 것으로 판단되며, 미소 또는 극미소 플랑크톤에 대한 점유율이 높을 것으로 추정되었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 고흥군의 재정지원에 의해 수행되었기에, 연구의 기회를 부여해준 고흥군에 감사하며, 원고의 세심한 열람과 지적을 해주신 익명의 심사위원들께 감사를 표한다. 아울러 현장 조사와 자료정리에 도움을 준 고흥군 오취리 어촌계 관계자 및 여수대학교 해양학과 부유생물 생태연구실, 이정욱, 강목원 군에 게도 고마움을 전한다.

참 고 문 헌

Choi, J.M. and Y.G. Lee. 1998. The sedimentary environments of Haechang Bay. Bull. Yosun Nat'l Univ., 13 (2), 1123~1133 (in Korean).

Hartley, B. 1986. A check-list of the freshwater, brackish and marine diatoms of the British Isles and adjoining coastal waters. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 66, 531~610.

Heinrich, A.K. 1962. The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the ocean. J. Cons. Int. Explor. Mer., 27, 15~24.

Iizuka, S. 1985. The results of a survey of maximum densities in cell number of phytoplankton in coastal waters of Japan. Bull. Plankton Soc. Japan, 32, 67~72 (in Japanese).

Kim, D.I. and Y.H. Yoon. 1997. Environmental characteristics based on the phytoplankton communities in the Southwest Sea of Korea during early winter. Bull. Mar. Sci. Inst. Yosun Nat'l Fish. Univ., 6, 85~93 (in Korean).

Larsson, U. and A. Hagstrom. 1982. Fractionated phytoplankton primary production in a Baltic eutrophication gradient. Marine Biology, 67, 57~70.

Maita, Y. and T. Odate, 1988. Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan. J. Oceanogr. Soc. Japan, 44, 268~279.

Nybakken, J.W. 1993. *Marine biology-An ecological approach*-(3rd ed.). Harper Collins Coll. Pub., New York, 462 pp.

Parke, M. and P.S. Dixon. 1976. Check-list of British marine algae. Third revision. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 56, 527~594.

Parsons, T.R., M. Takahashi and B. Hargrave. 1984. *Biological oceanographic processes*. (3rd ed.). Pergamon Press, Oxford, 330 pp.

Shim, J.H. and Y.C. Park. 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 Y.K. Shin. 1984. On the phytoplankton distribution in Kwangyang Bay. J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 172~186 (in Korean).

- Shim, J.H. and Y.K. Shin. 1989. Biomass of primary producer in the Chonsu bay -Relationships between phytoplankton carbon, cell number and chlorophyll. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24, 194~205 (in Korean).
- Shim, J.H., H.G. Yeo and J.G. Park. 1992. Primary production system in the Southern waters of East Sea, Korea. I. Biomass and productivity. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 91~100 (in Korean).
- Sournia, M.A. 1969. Cycle annuel du phytoplacton et la production dans les mers tropicales. *Mar. Biol.*, 3, 287~303.
- Thronsen, J. 1978. Preservation and storage. In "Sournia, A. (ed.), *Phytoplankton manual*. Unesco, Paris", 69~74.
- Tomas, C.R. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press, London, 858 pp.
- Tsujita, T. 1956. Studies on the explosive multiplication of plankton and its subsequent phenomena. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 10, 3~62 (in Japanese).
- Yamaguchi, M. and I. Imai. 1996. Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Nansei Nat'l Fish. Res. Inst.*, 29, 59~73.
- Yoon, Y.H. 1989. Environmental analysis of phytoplankton growth in the Inland Sea of Japan, with special reference to the occurrence of red tide. Ph.D. thesis, Hiroshima Univ., 361 pp (in Japanese).
- Yoon, Y.H., H.K. Rho and Y.K. Kim. 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok Port, Northern Cheju Island. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.*, 16, 27~42 (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1995. Seasonal dynamics of phytoplankton community and red tide organisms in the Northern Kamak bay, southern Korea. *Bull. Mar. Sci. Inst. Yosu Nat'l Fish. Univ.*, 4, 1~15 (in Korean).
- Yoon, Y.H. and N.P. Koh. 1995. Studies on the environmental characteristics of the breeding ground in the Kogum-sudo, Southern part of Korean Peninsula 1. Seasonal succession of phytoplankton population. *J. Aquaculture*, 8, 47~58 (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1998a. The characteristics of phytoplankton community in Wando Eastern coastal waters, Southwestern Korea. *Bull. Yosu Nat'l Univ.*, 12 (2), 651~664 (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1998b. The characteristics of phytoplankton community in the Southern Kamak Bay, Korean South Sea. *Bull. Mar. Sci. Inst., Yosu Nat'l Univ.*, 7, 129~144 (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1998c. On the community structure and seasonal fluctuation of phytoplankton community in Shiahae, Westsouthern Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, 16, 403~409 (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1999a. On the environmental characteristics of biological oceanography in Haechang Bay, Southern Korea. 2. Distribution of chlorophyll *a* concentration. *Bull. Yosu Nat'l Univ.*, 14, in press (in Korean).
- Yoon, Y.H. 1999b. The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, Southwestern Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, 17, in press (in Korean).
- 통산산업부, 환경부, 건설교통부, 과학기술처, 경찰청, 수산청, 해운항만청 및 기상청. 1996. 해양 오염방지 5개년 계획. 행정간행물 120 00-67440-97-9615. 438 pp.
- 한국과학기술연구소 부설해양개발연구소, 1980. 진해만의 적조 및 오염 모니터링 시스템 개발을 위한 기초연구. 해양개발연구소, BSPE : 00022-97-9615, 459 pp.
- 飯塚 昭二. 1986. 植物プランクトンの調査-試料採取, 固定, 濃縮, 計數, 同定- In "日本海洋學會編, 沿岸環境マニュアル(底質・生物編). 恒星社厚生閣, 東京", 144~147.

---

1999년 10월 14일 접수

1999년 12월 24일 수리 .