

한국 남해 가막만 입구해역의 식물플랑크톤 군집 변동 특성

박 종 식 · 윤 양 호* · 오 석 진¹

전남대학교 해양기술학부, ¹부경대학교 해양과학공동연구소

Variational Characteristics of Phytoplankton Community in the Mouth Parts of Gamak Bay, Southern Korea

Jong Sick Park, Yang Ho Yoon* and Seok Jin Oh¹

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Mipyeongro 386, Yeosu 550-749, Korea

¹Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Daeyeon-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea

Abstract – In order to understand on the seasonal dynamics of phytoplankton in the mouth parts of Gamak Bay, Korea, we investigated from one station during June 2005 to June 2006. Samples were collected every week during the high water temperature ($\geq 20^\circ\text{C}$), and every two weeks during the low water temperature ($\leq 20^\circ\text{C}$). The phytoplankton community were composed of 76 genera, 208 species in the surface layer, and 72 genera, 186 species in the bottom layer (total: 77 genera, 214 species). The number of occurring species fluctuated greatly throughout the year from 27 species (March 15, 2006) to 121 species (Aug. 16, 2005). High number of species showed between June and September (>70 species), whereas the low number of species showed during the period of the low water temperature below 20°C (ca. 40 species). The predominant species were diatom *Skeletonema costatum* during whole year, and two naked dinoflagellates, *Cochlodinium polykrikoides* and *Polykrikos kofoidii* during high temperature seasons. However, centric diatoms, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros debilis* and *Eucampia zodiacus* were dominant species during low temperature seasons. Standing crops of dinoflagellate showed great fluctuations, which were ranged from 3.0×10^5 cells L^{-1} (April 17, 2006) to 7.3×10^5 cells L^{-1} (Aug. 2, 2005) in the surface layer and from 1.5×10^3 cells L^{-1} (Nov. 9, 2005) to 3.9×10^5 cells L^{-1} (Aug. 16, 2005) in the bottom layer, and showed high during high temperature seasons such as the number of species. The fluctuations were greater in the surface layer than in the bottom layer. Moreover, the variation of *Cochlodinium polykrikoides*, is affected by *Polykrikos kofoidii* grazing.

Key words : Phytoplankton, Gamak Bay, *Cochlodinium polykrikoides*, *Skeletonema costatum*

서 론

가막만 입구에 위치하는 화태도 인근해역은 남쪽으로 남해안에 개방되어 있고, 북쪽으로는 수심이 얇고 폐쇄

*Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-3142, Fax. 061-659-3149, E-mail. yoonyh@chonnam.ac.kr

적인 가막만과 연결되는 지형적인 특성을 보인다. 따라서 강한 와류와 조류가 형성되어 높은 해수 교환율을 보이며, 외양수와 만내수가 서로 접하여 혼합되는 등 복잡한 수괴 특성을 나타내기도 한다(추 1998). 더욱이 이 해역은 어선어업뿐만 아니라 활발한 가두리 양식업에 기인한 부영양 상태의 수질환경을 보이고 있어(조와 최 1995), 어장 생산성 측면에서 주위를 요하는 해역이기도 하다.

이 해역을 대상으로 한 연구로는 물리학적 해양환경으로서 조석과 조류 특성에 관한 연구(추 1998)가 있으며, 화학해양학적 연구로는 계절별 수질변동 특성(조와 최 1995)과 표층퇴적물층의 유기물 분포 특성(노 등 2006) 등의 연구가 보고되고 있다. 생물학적인 연구로는 미세조류에 대한 연구(윤과 고 1994), 와편모조류 시스트에 관한 연구(박과 윤 2003) 등 식물플랑크톤과 관련한 연구가 일부 이루어지고 있으나, 화태도 인근 해역의 해역 특성과 식물플랑크톤 군집특성에 대한 연구는 부족한 실정이다(윤 1998c).

식물플랑크톤은 태양에서 방출되는 빛에너지와 해수 중에 존재하는 무기영양염(탄산가스 및 영양염류)을 흡수하여 유기물을 만들어 에너지를 축적하기 때문에 빛에너지와 용존물질을 입자태로 변화시키는 중요한 매개체로 역할을 담당하고 있다(Nybakken and Bertness 2005). 그리고 식물플랑크톤에 의해 고정된 에너지는 해양생태계의 먹이사슬을 통해 고차영양단계로 전송되며, 이들 생물은 분해자에 따라 무기화되어 재 흡수되는 등 연안역의 물질순환의 출발점이기도 하다(Lalli and Parsons 1993).

하지만 대부분의 연안역은 산업화의 진행에 따라 여러 해양오염 문제가 발생하고 있으며, 어업의 형태도 기존의 잡는 어업에서 증·양식 어업의 전환에 따라 자가오염이 가중되어, 지금까지 경험하지 못하였던 새로운 환경 문제가 제기되고 있다. 화태도 인근 해역도 과도한 양식시설의 밀식에 따라 대량폐사의 위험이 항시 상존하고 있는 것으로 알려져 있다(전라남도 1993). 더욱이 와편모조류 *Cochlodinium polykrikoides*에 의한 유해성 적조가 해마다 상습적으로 발생하고 있으며, 이 해역을 기점으로 남해안 전역으로 광역화가 되는 등 사회적인 문제를 야기하고 있다(김 등 2001; 국립수산진흥원 2002, 2004; 임 2004).

따라서 본 연구에서는 가두리 양식장이 성행하고 있는 화태도 북부해역에서 식물플랑크톤 군집 특성 및 변동 양상에 미치는 수온 염분 등 물리적 해양환경 특성과, 생물상호 간의 영향에 따른 군집 천이 등을 파악하여, 효과적인 해역관리를 위한 기초자료로 제공하고자

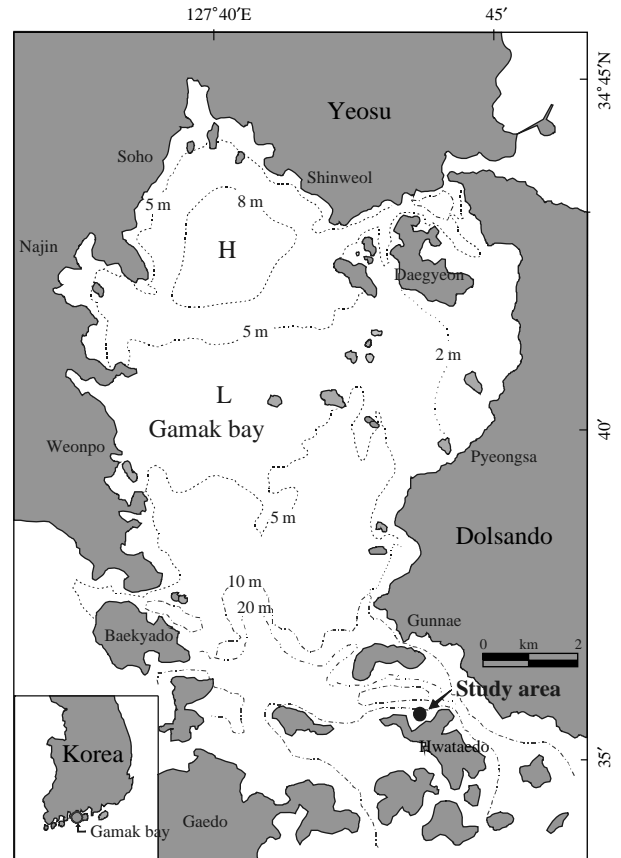


Fig. 1. Map showing the sampling station.

하였다.

재료 및 방법

한국 남해중양부 가막만 입구에 위치하여, 가두리 양식이 성행하는 화태도 북부해역 1개 정점에서(Fig. 1) 식물플랑크톤 출현특성을 보기 위해 2005년 6월부터 2006년 6월까지 1년 동안 고수온기인($\geq 20^{\circ}\text{C}$) 6월과 10월 사이에는 주 1회, 저수온기($\leq 20^{\circ}\text{C}$)에는 격주로 조사를 수행하였다(조사시간은 12:00~14:00 경).

수온과 염분은 T-S meter (YSI, 30)를 이용하여 측정하였으며, 고수온기($\geq 20^{\circ}\text{C}$)인 6월에서 10월 사이에는 연직분포 특성을 알아보기 위해 CTD (Alec Co., ACL 1151-D)를 이용, 표층에서 저층까지 연속 측정하였다. 측정값은 1m 간격으로 평균하여 정리하였다.

식물플랑크톤 시료채집은 표층과 저층(B-1 m)을 대상으로 반톤채수기를 이용하여 채수하였다. 채수한 해수는 고정하지 않은 생시료를 실험실로 신속히 운반 후 500 mL를 취해 공경(pore size) $5.0\ \mu\text{m}$, 직경 47 mm인 박막

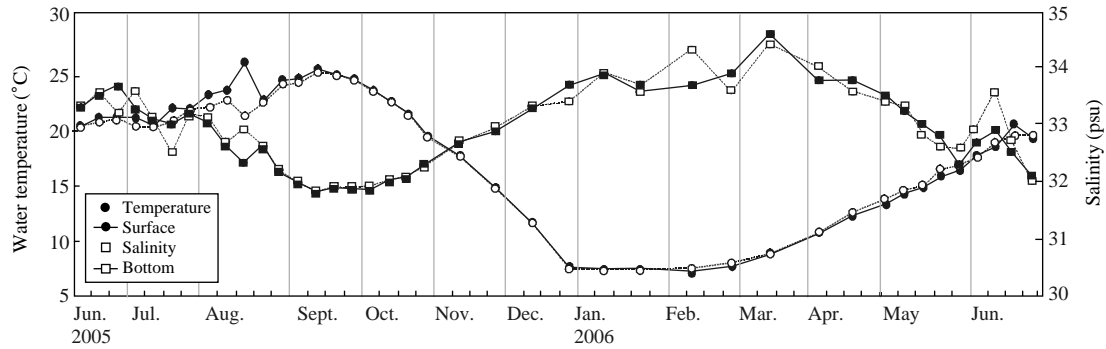


Fig. 2. Weekly variations of water temperature and salinity in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006.

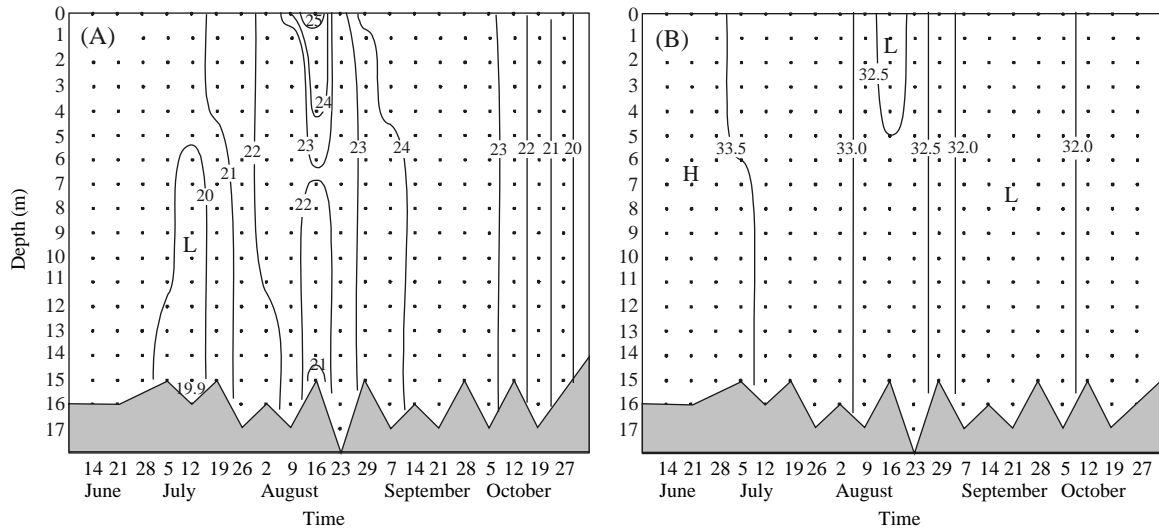


Fig. 3. Vertical profiles of water temperature (A) and salinity (B) in the mouth parts of Gamak bay from June to October 2005.

여과지가 장착된 여과기를 이용, 자연낙하법에 의하여 최종농도가 5 mL 되도록 농축하여 검경시료로 제공하였다(飯塚 1986). 검경은 농축된 생시료 1 mL를 마이크로 피펫을 이용하여 정확히 계수판에 취하고, 광학현미경(Nikon, optiphot-2)을 이용하여 $\times 100$ 에서 $\times 400$ 의 배율에서 Cupp (1943), Abe (1981), Dodge (1982), Chiraha and Murano (1997) 및 Tomas (1997) 등을 참조하여 식물플랑크톤의 종 동정 및 계수를 실시하였다.

결 과

1. 물리적 해양환경

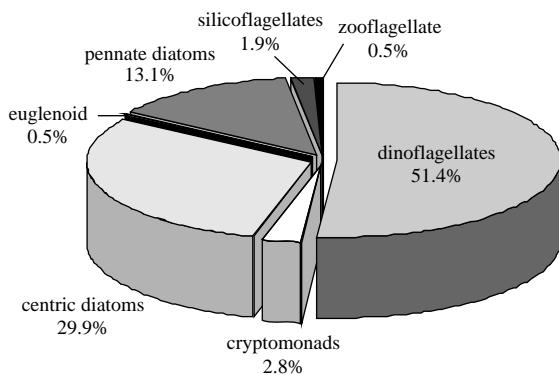
조사기간 동안 표층수온은 7.3°C에서 25.5°C를 나타내 겨울에 낮고, 여름에 높은 전형적인 온대해역의 수온변동을 나타내었으며, 저층은 7.4°C~24.7°C로 표층수온과 거

의 동일한 수온 변동을 나타내었다(Fig. 2). 염분은 표층에서 31.83 psu ~ 34.60 psu를, 저층에서는 31.83 psu ~ 34.40 psu로 최저와 최고 염분 모두 동일한 시기에 나타났다. 연중 염분의 농도 변화는 하계에 염분농도가 낮고 동계에 염분농도가 높아 수온과 반대 되는 특징을 보였다(Fig. 2).

수온이 20°C 이상을 나타내는 6월~10월 사이의 수온과 염분 특성을 알아보기 위해 연직 분포를 살펴보았다. 수심은 조석간만의 영향으로 약 15~17m를 나타내었으며, 수직분포 특성을 살펴본 결과 표층수온이 가장 높은 2005년 8월 17일에 표층과 저층의 온도가 약 4.6°C 차를 보여 미약한 수온 약층이 보였으나 그 외에는 수온 약층이 형성되지 않았다(Fig. 3A). 염분의 수직분포 특성 역시 수온과 마찬가지로 표층과 저층 간의 농도차이가 없으나 수온약층이 보이는 시기에는 약하나마 다소의 염분불연속 층이 보여졌다(Fig. 3B).

Table 1. Species composition of phytoplankton in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006

Taxon.	Surface		Bottom		Total	
	Genus	Species	Genus	Species	Genus	Species
Dinoflagellates	30	107	26	90	30	110
Diatoms	Centric	24	24	58	24	64
	Pennate	16	27	17	27	17
Cryptomonads	2	6	1	5	2	6
Silicoflagellates	2	4	2	4	2	4
Euglenoid	1	1	1	1	1	1
Zooflagellate	1	1	1	1	1	1
Total	76	208	72	186	77	214

**Fig. 4.** Species compositions of phytoplankton in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006.

2. 식물플랑크톤

1) 종조성

2005년 6월부터 2006년 6월까지 화태도 북부해역에서 연중 출현한 식물플랑크톤은 총 77속 214종으로 나타났다. 분류군별로는 와편모조류가 30속 110종으로 51.4%를, 중심목 규조류가 24속 64종으로 29.9%, 우상목 규조류가 17속 28종으로 13.1%, 침편모조류가 2속 6종으로 2.8%, 기타가 4속 6종으로 2.9%를 나타내었다 (Table 1, Fig. 4).

식물플랑크톤의 출현종수의 변화는 최저 27종(2006년 3월 15일)에서 최대 121종(2005년 8월 16일)으로 연중 출현종수의 변동이 매우 크게 나타났다. 이를 층별로 살펴보면 표층에서는 최저 22종(2006년 3월 15일)에서 최대 99종(2005년 9월 14일), 저층에서는 최저 18종(2006년 4월 3일)에서 최대 86종(2005년 8월 16일)으로 표층이 저층보다 많은 출현종수를 보였고, 표·저층 모두 출현종수의 큰 변동을 나타내었다. 종수의 연중 출현 경향은 고수온기($\geq 20^{\circ}\text{C}$)인 6월~9월 사이에는 70종 이상의 높은 출현종수를 나타내었으나, 20°C 이하로 수온이 내려가는 10월부터 출현종수가 큰 폭으로 감소하

였고, 그 이후부터 수온상승기인 2006년 6월 이전까지는 40종 내외의 낮은 출현종수를 나타내었다. 하지만 20°C 이상의 수온 상승과 함께 출현종수는 다시 증가하였다 (Fig. 5). 분류군별 출현종수의 변동 특성은 규조류는 연중 일정한 출현 종수를 보이고 있는 반면에 편모조류는 수온이 높은 하계에 높은 출현 종수를, 수온이 낮은 동계에 낮은 출현종수를 보여, 본 해역에서 환경변화 특성을 잘 나타내고 있는 것으로 보인다 (Fig. 6).

2) 우점종

우점종은 조사시기별 10% 이상 점유율을 나타내는 종을 Table 2에 나타내었다. 표층에서는 와편모조류 2종, 규질편모조류 1종 규조류가 15종 등 총 18종이, 저층에서는 와편모조류 1종, 규질편모조류 1종, 규조류가 17종으로 총 19종이 우점종으로 출현하여 표층과 저층의 우점종이 거의 유사하게 나타났다. 우점종의 종별 출현시기를 보면 와편모조류인 *Cochlodinium polykrikoides*가 하계인 7월과 8월에 걸쳐 높은 우점율을 보였고, 특히 8월초는 표층에서 97% 이상의 극우점 현상을 나타내었다. *Polykrikos kofoidii*는 표층에서만 8월 둘째 주에 일시적으로 우점종으로 나타났다. 규조류는 *Skeletonema costatum*이 표층과 저층 모두 연중 우점종인 것으로 나타났으나, 가을철에 비교적 낮은 우점율을 나타내었으며, 이 시기에는 *Chaetoceros curvisetus*와 *C. debilis*가 우점하였다. 겨울철에는 *Eucampia zodiacus*가 비교적 긴 기간 동안 우점종으로 출현하였다.

3) 현존량

표층에서 최저 3.0×10^3 cells L^{-1} (2005년 11월 9일)~최대 7.3×10^5 cells L^{-1} (2005년 8월 2일), 저층에서는 1.5×10^3 cells L^{-1} (2005년 11월 9일)~최대 3.9×10^5 cells L^{-1} (2005년 8월 16일)로 시기별로 매우 큰 변동특성을 보였다. 현존량의 연중 출현 경향은 고수온기인 6월부터 9월까지 비교적 큰 변동으로 증감을 반복하였다. 10월부터 12월까지의 1×10^4 cells L^{-1} 이하의 낮은 현존량이었

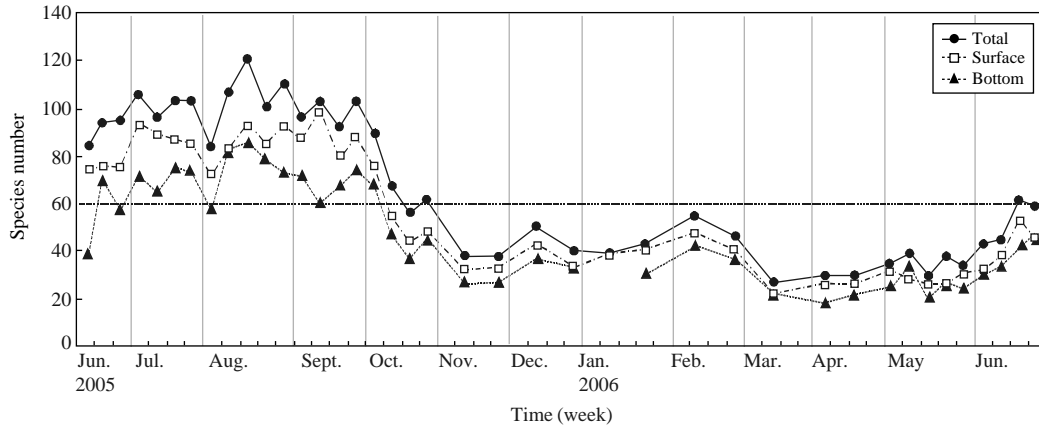


Fig. 5. Weekly changes of species number of phytoplankton in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006.

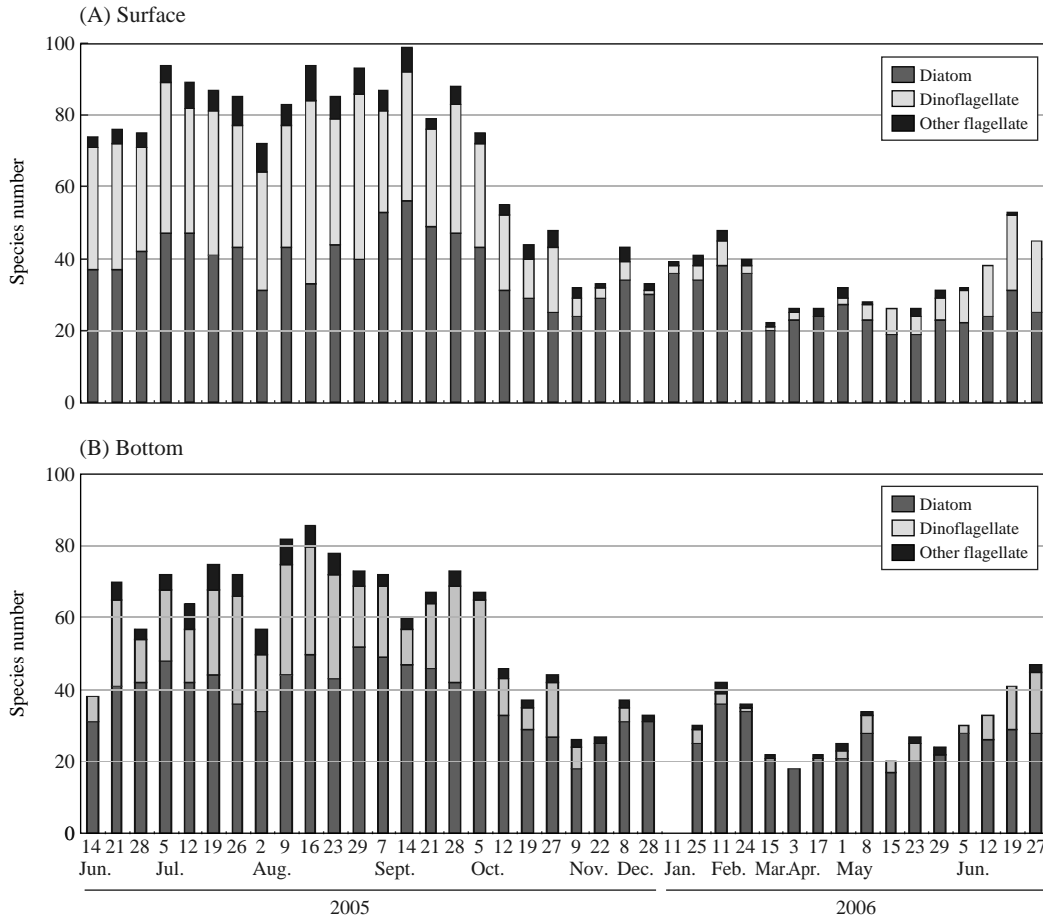


Fig. 6. Weekly variations of phytoplankton species number of each taxon and sampling layers in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006.

으며, 1월과 2월에는 3×10^5 cells L^{-1} 전후의 비교적 높은 현존량을 보였다. 3월과 4월에는 현존량이 낮아졌으며, 5월초에 현존량이 다시 증가하였다 (Fig. 7A).

표층에서 규조류와 편모조류의 현존량 변동을 보면 대부분의 시기에 표층과 저층 모두 편모조류보다는 규조류가 높은 현존량을 나타내었으나, 표층에서는 고수온기인

Table 2. The list of dominant species in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006

Species	2005												2006																									
	14 Jun.	21 Jun.	28 Jun.	5 Jul.	12 Jul.	19 Jul.	26 Jul.	2 Aug.	9 Aug.	16 Aug.	23 Aug.	29 Aug.	14 Sept.	21 Sept.	28 Sept.	5 Oct.	12 Oct.	19 Oct.	27 Oct.	9 Nov.	22 Nov.	8 Dec.	11 Dec.	25 Jan.		11 Feb.	24 Feb.	3 Mar.	17 Apr.	1 May.	8 May.	15 May.	23 May.	29 May.	5 Jun.	12 Jun.	19 Jun.	27 Jun.
Flagellates																																						Surface
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Polykrikos kofoidii</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Dictyocha speculum</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
Diatoms																																						
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Chaetoceros affinis</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Jul 2005]																																					
<i>C. compressus</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>C. curvisetus</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Oct 2005]																																					
<i>C. debilis</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Coscinodiscus gigas</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Eucampia zodiacus</i>	[Bar chart showing presence from Nov 2005 to Feb 2006]																																					
<i>Guinardia delicatula</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Leptocylindrus danicus</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Licmophora lyngbyei</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2006 to Jul 2006]																																					
<i>Paralia sulcata</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Aug 2005]																																					
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>P. pungens</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Aug 2005]																																					
<i>Skeletonema costatum</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Jun 2006]																																					
<i>Thalassiosira subtilis</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
Flagellates																																						Bottom
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Dictyocha speculum</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
Diatoms																																						
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Chaetoceros affinis</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Jul 2005]																																					
<i>C. curvisetus</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Oct 2005]																																					
<i>C. decipiens</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Aug 2005]																																					
<i>C. debilis</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Coscinodiscus gigas</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Eucampia zodiacus</i>	[Bar chart showing presence from Nov 2005 to Feb 2006]																																					
<i>Guinardia delicatula</i>	[Bar chart showing presence from Aug 2005 to Oct 2005]																																					
<i>Leptocylindrus danicus</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Licmophora lyngbyei</i>	[Bar chart showing presence from May 2006 to Jun 2006]																																					
<i>Paralia sulcata</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Aug 2005]																																					
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Skeletonema costatum</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2005 to Jun 2006]																																					
<i>Surirella fastuosa</i>	[Bar chart showing presence from Jul 2005 to Aug 2005]																																					
<i>Thalassiosira pacifica</i>	[Bar chart showing presence from Jan 2006 to Feb 2006]																																					
<i>T. subtilis</i>	[Bar chart showing presence from Oct 2005 to Nov 2005]																																					
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	[Bar chart showing presence from Jun 2006 to Jul 2006]																																					

7월과 8월에 편모조류가 10^4 cells L^{-1} 이상의 비교적 높은 현존량을 나타내었으며, 특히 8월 초순에 *Cochlodinium polykrikoides*가 7×10^5 cells L^{-1} 의 높은 현존량을 보였다. 하지만 수온 감소와 함께 편모조류의 현존량은 감소하였으나, 수온의 상승과 함께 다시 증가하는 양상을 보여, 편모조류의 현존량은 수온과 밀접한 관련이 있는 것으로 보였다. 규조류는 편모조류와 비교하여, 높은 현

존량을 보였으며, 특히 2005년 7월초, 9월 중순, 2006년 1월과 2월 그리고 5월 초에 규조류가 높은 비율을 차지하였다 (Fig. 7B). 저층에서의 현존량은 표층과 거의 유사한 변동 특성을 보였으나, 표층과 같이 규조류의 현존량보다 높은 편모조류의 현존량은 나타나지 않았으며, 대체적으로 표층보다 낮은 현존량을 보였다 (Fig. 7C).

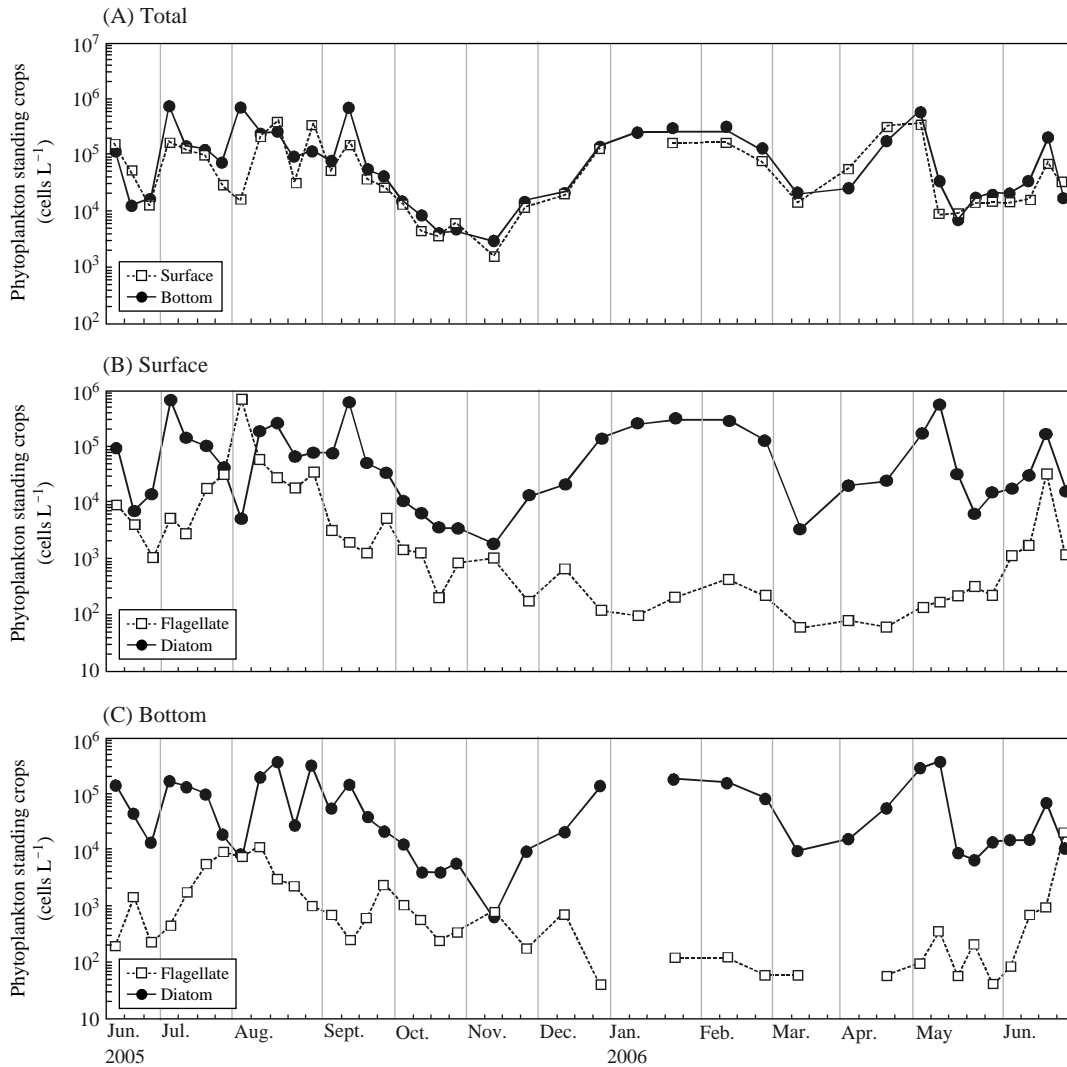


Fig. 7. Weekly variations of phytoplankton standing crops of each taxon and sampling layers in the mouth parts of Gamak bay from June 2005 to June 2006.

고찰

가막만 입구부인 화태도 해역의 수온은 표층과 저층에서 큰 차이가 나타나지 않았으며, 염분 역시 표층과 저층에서 농도차이는 거의 나타나지 않았다. 그러나 수온과 염분은 수온이 높은 하계에 염분농도가 낮게 나타나고, 수온이 낮은 동계에 염분농도가 높게 나타나 반대의 특징을 보였다. 이는 인근해역인 가막만 조사에서 나타난 결과와 동일한 경향으로(추 1993; 김 1999), 수온이 상승하는 하계에 강수량이 많아 육지에 인접해 있는 해역은 담수 유입이 많아져 염분농도는 낮아지며, 겨울에 외해수 영향이 연안 깊숙이까지 미치고 있기 때문이

다.

수온 염분의 연직분포 특성은 수온은 2005년 8월 17일에 표층과 저층의 온도가 약 4.6°C 차를 보여 미약한 수온 약층이 형성되었으나 그 외 기간에는 수온 약층이 형성되지 않아 표층과 저층이 균일한 분포로 뚜렷한 염분약층은 형성되지 않았다. 즉 조사해역이 수로부에 위치하여 빠른 유속에 의한 수층 간 혼합이 잘 이루어지는 해역환경을 나타내는 것으로 판단되었다.

가막만 입구부인 화태도 북부해역에서 출현한 식물플랑크톤 종수는 총 214종으로 국내에서 보고된 식물플랑크톤의 출현종수로는 매우 높은 값이다(Table 3). 특히 와편모조류는 지금까지 비교적 많은 출현종수를 보인 것으로 보고한 강 등(2005)의 동해 축산항에서 기록한

Table 3. Number of phytoplankton species reported in the Korean coastal waters

	Areas	Species No.		References
		Total	Dinoflagellate	
East	Kori Coastal	162	34	Yeo and Huh 1999 (in Korean)
	Chuksan Harbor, East sea	363	87	Kang <i>et al.</i> 2005 (in Korean)
West	Coast of Kunsan	40	40	Shim and Yoo 1985
	Kyeonggi Bay	228	31	Choi and Shim 1986
	Estuarine of Mankyung and Dongjin river	159	20	Shim <i>et al.</i> 1991 (in Korean)
	Inchon Coastal waters	136	21	Yeo and Kang 1998 (in Korean)
	Saemankeum area	160	36	Yoo <i>et al.</i> 2002 (in Korean)
South	Kwangyang Bay	211	43	Shim <i>et al.</i> 1984 (in Korean)
	Southern Waters of Korea	72	12	Park and Lee 1990 (in Korean)
	Kwangyang Bay	137	29	Cho <i>et al.</i> 1994 (in Korean)
	Kumo Is.	44	21	Yoon and Koh 1994 (in Korean)
	Kogum-sudo	65	13	Yoon and Koh 1995 (in Korean)
	Wando Coastal Water	56	22	Yoon 1998 (in Korean)
	Southern Kamak Bay	60	15	Yoon 1998 (in Korean)
	Kamak Bay	161	69	Kim 1999 (in Korean)
	Deukryang Bay	111	19	Lee and Lee 1999 (in Korean)
	Haechang Bay	77	22	Yoon 2000 (in Korean)
	Yeoja Bay	87	15	Lee and Yoon 2000 (in Korean)
	Koheung off	180	42	Jeong <i>et al.</i> 2000 (in Korean)
	Tongyeong Coastal	48	18	Kang <i>et al.</i> 2003 (in Korean)
	Gwangyang Bay	94	22	Kim <i>et al.</i> 2003 (in Korean)
	Jinju Bay	95	27	Oh <i>et al.</i> 2007 (in Korean)
Gamak	214	110	This study	
Jeju	Cheju Coastal area	245	32	Lee <i>et al.</i> 1990 (in Korean)
	Cheju	120	45	Yoon <i>et al.</i> 1992 (in Korean)
	Cheju	128	26	Choa and Lee 2000 (in Korean)

87종을 제외하면 대부분 40종 내외의 출현을 보고하고 있어, 화태도 북부해역의 외편모조류 110종에 비하면 매우 낮은 출현종수였다 (Table 3). 이와 같이 화태도 연안에서의 식물플랑크톤, 특히 외편모조류의 출현종수가 다른 해역에 비하여 높게 나타나는 것은 높은 생산성의 반영일지 모르나, 그 보다 조사 방법의 차이가 중요하게 작용한 것으로 보인다. 대부분의 식물플랑크톤 종조성 연구는 주로 계절별이나 월별 조사가 이루어지고 있지만, 본 연구의 짧은 조사 주기(주 1회 또는 격주)는 지금까지 보고되지 않았던 급격한 종의 변화를 관찰할 수 있었다. 또한 종의 동정에 있어 고정하지 않은 생시료 사용함에 따라 일부 편모조류의 고정에 따른 세포가 파괴나 변형 없이 동정이 가능하였다(飯塚 1986; 윤 등 1992; 윤 1995).

식물플랑크톤 종수의 시기별 출현종수를 보면 고수온기($\geq 20^{\circ}\text{C}$)인 6월~9월 사이에 70종 이상의 높은 출현종수를 나타내었으나, 20°C 이하의 수온을 나타내는 시기에는 40종 전후의 낮은 출현종수를 보였다. 이와 같은 출현종수의 변동은 주로 편모조류의 출현 특성에 의한 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다. Fig. 6에서와 같이 규조류의 경우 연중 큰 변동 없이 일정한 출현종

수를 나타내고 있으나, 편모조류의 경우 고수온기에 높은 출현종수를 나타내고 저수온기에 낮은 출현종수를 나타내는 전형적인 외편모조류의 수온적응에 따른 것이다(윤 1998; 김 1999; 이 등 1999).

우점종으로는 시기별 다양한 종에 의해 나타났으며, 표·저층 각각 18종과 19종으로 나타나 표층과 저층의 우점종이 거의 유사하게 나타났다. 우점종의 종별 출현 시기를 보면 외편모조류인 *Cochlodinium polykrikoides*가 하계인 7월과 8월에 걸쳐 높은 우점율을 나타내었으며, 특히 8월 초 표층에서는 97% 이상의 매우 높은 우점율을 나타내었다. 이 시기의 수온과 염분은 각각 22.8°C 와 33.04‰로, 실내 실험으로부터 얻어진 *C. polykrikoides*의 성장 최적 수온과 염분이 각각 25°C 와 35‰ 전후로 나타난 것(이 등 2001)과 잘 일치하였다. 또 다른 우점종인 외편모조류 *Polykrikos kofoidii*는 지금까지 국내 연구에서 이 종의 우점종으로의 출현보고는 없으나, 주로 *C. polykrikoides*나 *Gymnodinium catenatum* 등 먹이생물이 출현한 이후 높은 성장률을 나타내는 것으로 보고되고 있으며 (Jeong *et al.* 2001; Cho and Lee 2002; 김 2003), 일본 규슈 서쪽에 위치한 Miyano-Gawachi 만과 포르투갈 Lisbon 연안에서도 *G. catenatum*의 bloom 이후 *P.*

*kofoidii*의 출현량이 갑자기 증가한 것으로 보고되었다 (Sampayo 1998; Matsuyama *et al.* 1999). 규조류는 *Skeletonema costatum*이 표층과 저층 모두 연중 우점하는 것으로 나타났으며, 이 종은 우리 나라 연안에서 일반적으로 우점종으로 출현하고 있는 종(심 등 1984; 문과 최 1991; 윤 등 1992, 1995; 김 2005)으로 화태도 인근해역에서 출현하는 대표적인 종인 것으로 보인다. 가을철에는 *Chaetoceros* 속인 *C. curvisetus*와 *C. debilis*가 비교적 높은 우점율을 나타내었으며, 겨울철에는 *Eucampia zodiacus*가 비교적 긴 기간 동안 우점종으로 출현하였다. 이들 종은 주로 수온이 낮은 가을에서부터 봄철까지 우점종으로 출현하는 종으로 보고되어 있다(윤 등 1992, 1995; 오 등 2008). 따라서 화태도 북부해역에서의 대표종은 연중 우점종으로 출현하는 *S. costatum*과, 고수온기인 여름철에는 외편모조류인 *C. polykrikoides*와 *P. kofoidii*가, 저수온기에는 규조류인 *Chaetoceros* 속인 *C. curvisetus*, *C. debilis*와 *E. zodiacus*인 것으로 정리할 수 있다.

화태도 북부해역에서 출현한 식물플랑크톤 현존량은 시기별로 매우 큰 변동특성을 나타내었다. 규조류와 편모조류로 나누어 현존량 변동을 보면 표층과 저층 모두 연구기간 동안 편모조류보다는 규조류가 높은 연중 높은 현존량을 나타내었으나, 고수온기에는 외편모조류의 현존량 비율이 높게 나타났다. 특히 화태도 북부해역에서 외편모조류의 고수온기 높은 현존량은, 적조 원인종인 *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *C. polykrikoides*, *G. catenatum*, *P. kofoidii*, *P. schwartzii* 등이 높은 현존량을 나타내었다. 이들 중 중 *C. polykrikoides*는 8월 2일에 7.1×10^5 cells L⁻¹ 이상의 높은 현존량을 나타내다가 8월 9일에는 1.3×10^3 cells L⁻¹ 이하의 낮은 현존량을 나타내 급격한 감소 이후 소멸단계에 들어간 반면, 거의 출현하지 않던 *P. kofoidii/schwartzii*는 8월 2일에 656 cells L⁻¹의 낮은 현존량을 나타내다가 8월 9일에 2.9×10^4 cells L⁻¹의 높은 현존량을 나타내었다. 이와 같은 현상은 일본 규슈 서쪽에 위치한 Miyano-Gawachi 만의 연구에서 *G. catenatum*이 최고 6.27×10^5 cells L⁻¹에서 며칠 사이에 소멸한 반면 *P. kofoidii*는 동일기간에 약 5×10^3 cells L⁻¹에서 2.5×10^4 cells L⁻¹로 증가한 것과 매우 유사한 결과를 나타내었으며 (Matsuyama *et al.* 1999), Sampayo (1998)의 연구에서도 동일한 양상을 나타내었다. 김 (2003)은 실내 배양실험을 통해 *P. kofoidii*가 *C. polykrikoides*에 대해 높은 섭식률을 나타내며, 먹이생물인 *C. polykrikoides*의 밀도가 증가함에 따라 성장률 또한 꾸준히 증가한다는 것을 보고하였다. *C. polykrikoides*의 높은 현존량 후 *P. kofoidii/schwartzii*의 높은 현존량은 *P. kofoidii/schwartzii*는 종속영양종으로 독립영양종인 *G. catenatum*

등 먹이생물이 많이 출현한 이후 이들을 먹이로 삼기 때문인 것으로 나타났다 (Morey-Gaines and Ruse 1980; Sampayo 1998; Matsuyama *et al.* 1999; Jeong *et al.* 2001). 따라서 *P. kofoidii/schwartzii*의 출현은 적조생물 특히 *Alexandrium tamarense*, *G. catenatum*, *C. polykrikoides* 등 유해성 적조생물을 구제하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 하는 것으로 보고하고 있다 (Carreto *et al.* 1986; Matsuyama *et al.* 1999).

적 요

화태도 연안의 식물플랑크톤 변동 특성을 파악하기 위한 조사는 화태도 북부해역 1개 정점을 대상으로, 2005년 6월부터 2006년 6월까지 고수온기 ($\geq 20^\circ\text{C}$)에는 주 1회, 저수온기 ($\leq 20^\circ\text{C}$)에는 격주로 실시하였다. 화태도 북부해역에서 출현한 식물플랑크톤은 총 77속 214종이 출현하였으며, 출현종수는 최저 27종(2006년 3월 15일)에서 최대 121종(2005년 8월 16일)으로 연중 출현종수의 변동이 매우 크게 나타났다. 연중 출현경향은 고수온기인 6월~9월 사이에 70종 이상의 높은 출현종수를 나타내었으나, 20°C 이하로 수온이 내려가는 시기에는 40종 내외의 낮은 출현종수를 나타내었다.

연중 우점종은 *Skeletonema costatum*이며, 고수온기인 여름철에는 외편모조류인 *Cochlodinium polykrikoides*와 *Polykrikos kofoidii*, 저수온기에는 규조류인 *Chaetoceros* 속인 *C. curvisetus*, *C. debilis*와 *Eucampia zodiacus*인 것으로 나타났다. 화태도 북부해역에서 출현한 외편모조류 현존량은 표층에서는 최저 3.0×10^5 cells L⁻¹ (2006년 4월 17일)~최대 7.3×10^5 cells L⁻¹ (2005년 8월 2일)를 나타내 시기별로 매우 큰 변동특성을 나타내었다. 저층에서는 1.5×10^3 cells L⁻¹ (2005년 1월 9일)~최대 3.9×10^5 cells L⁻¹ (2005년 8월 16일)로 나타나, 표층이 저층보다 큰 변동특성을 나타내었다. 현존량의 연중 출현경향은 종수와 마찬가지로 고수온기인 6월~9월 사이에 높은 현존량을 나타내었다. 우점종인 *C. polykrikoides*의 출현양상은 종속영양 편모조류인 *P. kofoidii*에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 강양순, 권진노, 손재경, 정창수, 홍석진, 공재열. 2003. 2002년 통영연안의 적조발생전후의 식물플랑크톤 군집구조의 특성. 한국수산학회지. 36:515-521.
- 강연식, 최휴창, 임주환, 전인성, 서지호. 2005. 동해 축산항

- 연안의 식물플랑크톤 군집 동태. 한국조류학회지. 20: 345-352.
- 국립수산과학원. 2002. 2000, 2001년도 한국연안의 적조발생 상황. 158pp.
- 국립수산과학원. 2004. 2002~2003년 한국연안의 적조발생 현황. 273pp.
- 김기영. 2005. 여자만 해역의 해양환경과 식물플랑크톤 분포 특성. 여수대학교 산업대학원 이학석사학위논문. 60pp.
- 김대일. 1999. 가막만 해양환경과 적조생물의 출현 동태. 여수대학교 대학원 이학석사학위논문. 112pp.
- 김소영, 문창호, 조현진. 2003. 한국 남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 외편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교. 한국해양학회지-바다. 8:111-120.
- 김재성. 2003. 한국 서·남 연안해역에서 적조생물에 대한 원생동물플랑크톤의 포식압 연구. 군산대학교 대학원 이학박사학위논문. 230pp.
- 김학균, 정창수, 임월애, 이창규, 김숙양, 윤성화, 조용철, 이삼근. 2001. 한국연안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 변천. 한국수산학회지. 34:691-696.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 박종식. 2006. 가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시·공간적 분포특성. 한국해양환경공학회지. 9:1-13.
- 문창호, 최혜진. 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한국해양학회지. 26:144-154.
- 박종식, 윤양호. 2003. 외편모조류 Cyst 분포에 의한 한국 남서해역의 해양환경 특성 1. 가막만 외편모조류 Cyst의 시·공간적 분포. 한국수산학회지. 36:151-156.
- 박주석, 이삼근. 1990. 한국남해의 식물플랑크톤의 분포와 수괴특성. 한국수산학회지. 23:208-214.
- 심재형, 신윤근, 이원호. 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지. 19:172-186.
- 심재형, 신윤근, 여환구. 1991. 만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자 I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지. 26:155-168.
- 여환구, 강 현. 1998. 인천연안의 수질 및 식물플랑크톤 군집의 변화. 한국환경과학회지. 7:321-326.
- 여환구, 허성희. 1999. 고리해역 표영환경내 식물플랑크톤 군집의 시공간적 변화. 환경생물. 17:71-77.
- 오석진, 이종석, 박종식, 노일현, 윤양호. 2008. 진주만 식물플랑크톤 군집의 천이에 영향을 미치는 환경 요인. 한국해양환경공학회지. 11:98-104.
- 유영두, 정해진, 심재형, 박재연, 이경재, 이원호, 권효근, 배세진, 박종규. 2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생연구 1. 1999년도 여름-가을 식물플랑크톤의 시공간적 변화. 한국해양학회지-바다. 7:129-139.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1992. 제주북방, 성덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고. 16:27-42.
- 윤양호, 고남표. 1994. 금오열도 연안해역의 하계 미세조류(식물플랑크톤)의 분포 특성. 한국자연보존협회 조사보고서. 32:161-171.
- 윤양호. 1995. 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성. 여수수산대학교 논문집. 4:1-15.
- 윤양호, 고남표. 1995. 거금수도내 양식어장의 해양환경특성 I. 식물플랑크톤 군집의 계절변동. 한국양식학회지. 8:47-58.
- 윤양호. 1998a. 시아해 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 환경생물. 16:403-409.
- 윤양호. 1998b. 완도 신지도 연안해역의 식물플랑크톤 군집 구조 특성. 여수대학교 논문집. 12:651-664.
- 윤양호. 1998c. 가막만 남부 화태연안해역의 식물플랑크톤 군집구조 특성. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고. 7:129-144.
- 윤양호. 2000. 해창만의 생물해양학적 환경특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동 및 분포특성. 한국수산학회지. 33:41-50.
- 이준백, 고유봉, 좌중헌. 1990. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지. 5:159-171.
- 이진환, 이은호. 1999. 득량만의 수질과 식물플랑크톤 적조. 환경생물. 17:271-278.
- 이진환, 윤수미. 2000. 여자만의 수질과 식물플랑크톤군집. 한국조류학회지. 15:89-98.
- 이창규, 김형철, 이삼근, 정창수, 김학균, 임월애. 2001. 남해안 연안에서 적조생물, *Cochlodinium polikoides*, *Gyrodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*의 출현상황과 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장 특성. 한국수산학회지. 34:536-544.
- 임월애. 2004. 한국남해안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생에 관한 연구. 부산대학교 박사학위논문. 119pp.
- 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.
- 전라남도. 1993. 전남통계연보.
- 조기안, 위인선, 최정일. 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물. 12:137-150.
- 조현서, 최규정. 1995. 화태도 양식장 주변해역의 계절별 수질변동 특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고. 4:17-30.
- 좌중헌, 이준백. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성 I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지-바다. 5:59-69.
- 추효상. 1993. 여수해역의 해양 기상학적 특성, 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고. 2:1-13.
- 추효상. 1998. 가막만 남쪽 화태도 주변의 해황 특성. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고. 7:145-157.
- 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.
- Abe TH. 1981. Studies on the family peridiniidae an unfinished

- monograph of the armoured dinoflagellata. Academia Scientific Book Inc. Tokyo, 409pp.
- Carreto JI, HR Benavides, RM Negri and PD Glorioso. 1986. Toxic red-tide in the Argentine Sea. Phytoplankton distribution and survival of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax eccavata* in frontal area. *J. Plankton Res.* 8:15-28.
- Chihara M and M Murano. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press. Tokyo, 1574pp. (in Japanese)
- Cho HJ and JB Lee. 2002. Growth rates of a heterotrophic dinoflagellates *Polykrikos kofoidii* and its gamete-like organism. *Bull. Mar. Environ. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.* 26:1-6.
- Choi JK and JH Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, Tychopeagic plankton. *The J. Oceano. Soc. Korea* 21:156-170.
- Cupp PE. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Uni. California, La Jolla, Tech. Ser.* 5, 237pp.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Stationery office, London, 303pp.
- Frost BW. 1991. The role of grazing in nutrient-rich areas of the open sea. *Limnol. Oceanogr.* 36:1616-1630.
- Ignatiades L. 1979. The influence of water stability on the vertical structure of a phytoplankton community. *Mar. Biol.* 52:97-104.
- Jeong HJ, SK Kim, JS Kim, ST Kim, YE Yoo and JY Yoon. 2001. Growth and grazing rates of the heterotrophic dinoflagellates *Polykrikos kofoidii* on red-tide and toxic dinoflagellates. *J. Eukaryot. Microbiol.* 48:298-308.
- Lalli CM and TR Parsons. 1993. Biological oceanography: an introduction. Pergamon Press, 301pp.
- Matsuyama Y, M Miyamoto and Y Kotani. 1999. Grazing impacts of the heterotrophic dinoflagellates *Polykrikos kofoidii* on a bloom of *Gymnodinium catenatum*. *Aquat. Microb. Ecol.* 17:91-98.
- Morey-Gaines G and RH Ruse. 1980. Encystment and reproduction of the predatory dinoflagellate, *Polykrikos kofoidii* Chatton (Gymnodiniales). *Phycologia.* 19:230-232.
- Nybakken JW and MD Bertness. 2005. Marine Biology An Ecological approach (6rd ed.). Pearson Higher Education, 462pp.
- Sampayo MAM. 1998. *Polykrikos kofoidii* Chatton predation on *Gymnodinium catenatum* Graham and its effects. pp.182-183. In Harmful Algae (Reguera B, J Blanco, ML Feranadez and T Wyatt eds.). Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 1998, Paris.
- Shim JH and SJ Yoo. 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. *The J. Oceano. Soc. Korea* 20:31-42.
- Tomas CR. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press, London, 858pp.

Manuscript Received: March 16, 2009

Revision Accepted: May 11, 2009

Responsible Editor: Hwan-Goo Yeo