

동중국해 식물플랑크톤 군집의 공간분포와 외편모조류 적조

윤양호* · 박종식 · 서호영¹ · 황두진²여수대학교 해양시스템학부, ¹여수대학교 수산과학연구소, ²여수대학교 수산공학과Spatial Distribution of Phytoplankton Community and Red Tide of Dinoflagellate, *Prorocentrum donghaiense* in the East China Sea during Early SummerYang Ho Yoon*, Jong Sik Park, Ho Yong Soh¹ and Doo-Jin Hwang²

Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

¹Fisheries Sciences Institute, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea²Dept. of Fisheries Science and Technology, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract - We carried out a study on thermohaline structure and phytoplankton community in the East China Sea during early summer in 2002. As a result of marine environment and phytoplankton community, three characteristics of water type were identified. The former was characterized by the dominant species with diatoms, *Chaetoceros laciniosus*, *Ch. decipiens*, *Guinardia flaccida*, *Paralia sulcata*, *Pseudonitzschia pungens* and *Pseudosolenia calcar-avis* in Chinese coastal waters, the secondary was done by lower water temperature, salinity and the dominant species with dinoflagellates, *Prorocentrum donghaiense* and *Ceratium fusus*, in over-all areas and the latter was done by the dominant species with coastal species of diatoms, *Skeletonema costatum* and *Nitzschia longissima* and silicoflagellate, *Dictyocha speculum* var. *octopers* in the transfer areas of Chinese continental coastal waters.

Phytoplankton community in the surface layer identified a total of 66 species belonging to 36 genera. Dominant species was *Prorocentrum donghaiense*, *Chaetoceros laciniosus*, *Skeletonema costatum*. Standing crops of phytoplankton in the surface layer fluctuated between 1.5×10^4 cells L⁻¹ and 3.5×10^5 cells L⁻¹. And the highest value appeared in the Changjiang estuaries with high dominance by diatoms and lowest one occurred in the southwestern area of Jeju Island with high dominance by dinoflagellates.

Red tides with dinoflagellate, *Prorocentrum donghaiense* appeared in the frontal areas with maximum cell density, 3.4×10^5 cells L⁻¹. And outbreak environments was low water temperature under 20°C, and low salinity under 31.55 psu. The vertical distribution of red tide organisms went to about 30m depth from surface.

Key words : Phytoplankton community, Red tides, *Prorocentrum donghaiense*, Frontal area, East China Sea

* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-3142, Fax. 061-652-1708, E-mail. yhyoon@yosu.ac.kr

서론

동중국해는 한국, 일본, 중국 등 3국에 의한 해역 공동 이용이 이루어지고 있는 하구의 연안 해역적 특성을 강하게 나타내는 광활한 해역으로 어장으로서 매우 중요한 위치를 차지한다(曹 1981; 俵 1985). 동중국해에 가장 큰 영향을 미치는 수괴(water mass)는 적도해역에서 발원하여 일본열도의 남방을 북동방향으로 진행하다 동측으로 사행하는 Kuroshio(黑潮)해류 일부가 분기하여 형성된 Tsushima 난류(對馬暖流)이다. 또한 동중국해는 중국대륙의 양자강 등과 같은 대형 하천으로부터 풍부한 영양염류를 포함하는 육수가 다량으로 유입되어 형성되는 중국대륙 연안수 및 동절기 표면 냉각으로 형성된 황해 저층냉수괴 등 다양한 수괴의 영향을 받고 있을 뿐만 아니라, 지형적으로는 수심의 차가 심하여 매우 복잡한 환경특성을 나타낸다.

이와 같은 해양환경 특성으로 동중국해는 해양의 순수 과학적인 연구접근은 물론 수산해양학적 입장에서 매우 흥미 있는 해역으로 오래 전부터 수산해양학적 연구(宇田과 大坪 1958; Mio *et al.* 1984; Kondo 1985; Miyaji 1991), 물리해양학적 연구(Huh 1982; 俵 1985; Hu 1986) 및 중국대륙에 기원을 둔 대형 하천으로부터 물질 수지관계에 대한 연구(Shi *et al.* 1985; Milliman and Qingming 1985) 등 비교적 다양한 연구활동이 이루어지고 있다. 그러나, 동중국해의 이용과 조사여건상 수산 자원학 및 수산해양학적 조사나 물리, 지질해양학적 측면의 연구보고가 다양한 것에 비하여, 생물 또는 화학 해양학적 연구보고는 제한되어 있다(Aoyama and Hayashi 1988; Matsuda *et al.* 1989; Kamiyama 1991). 특히, 한국 근해어업자원의 어획 및 관리 면에서 매우 중요한 위치를 점유하고 있으나, 국내에서 수행된 체계적인 연구성과는 매우 빈약하다(Cho 1981; Yoon and Kim 1994; Yoon *et al.* 2002). 또한, 플랑크톤 군집 등 해양생물군집 구조 파악과 관련된 연구성과는 희박하다(Lu 1991).

따라서 본 연구에서는 여수대학교 수산과학연구소가 2001년부터 동중국해의 해양환경 및 생태구조 그리고 자원평가를 위한 장기적인 프로젝트의 일환으로 수행하는 내용 중, 2002년 제주남서해역에서 양자강 연안에 걸친 해역의 해양구조와 식물플랑크톤 군집의 공간적 분포특성, 그리고 조사당시 광역적으로 발생하였던 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense* 적조에 대하여 보고한다.

재료 및 방법

동중국해의 해양환경특성을 파악하기 위한 현장조사는 2002년 7월 7일에서 9일까지 여수대학교 실습선 동백호(약 1050톤)를 이용하여 제주서방해역에서 중국 양자강 하류에 걸친 9개 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1).

해양환경특성은 CTD(Falmouth Scientific Inc., MCTD-MBP-S)를 이용하여 표층에서 저층까지 연속 측정하여 약 1m 간격으로 정리, 분석하였다. 다만 조사기간 중에 관측기기의 고장으로 정점 1에서 정점 4까지 해역에 대해서만 측정되었다.

식물플랑크톤 군집구조 파악을 위한 채수는 표층과 수온약층이 형성되는 수심을 대상으로 반돈 채수기를 이용한 채수법에 의하였다. 다만, 수온약층 수심이 확인되지 않은 정점에서는 25m 수층을 대상으로 채수하였다. 즉, 식물플랑크톤 검경을 위한 시료는 현장에서 해수 500 ml를 폴리에틸렌 표본병에 넣어 중성포르마린으로 최종농도가 0.4% 되게 고정하였다(Thronsen 1978). 고정된 해수는 실험실에서 500 ml를 취해 공경(pore size)이 5.0 μ m, 직경이 47 mm인 박막여과지가 장착된 여과기를 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 5 ml되도록 농축하여 검경시료로 제공하였다(飯塚 1986). 검경은 농축된 시료 0.1 ml를 마이크로피펫을 이용하여 정확히 계수판에 취하고, 광학 현미경(Olympus, Model; BX 50)을 이용하여 100 X~400 X 하에서 종의

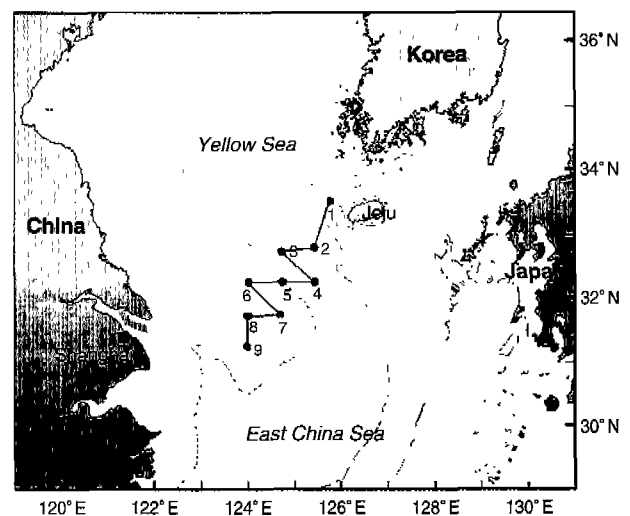


Fig. 1. Map showing bathymetry, sampling station and cruising track in the East China Sea during early summer in 2002.

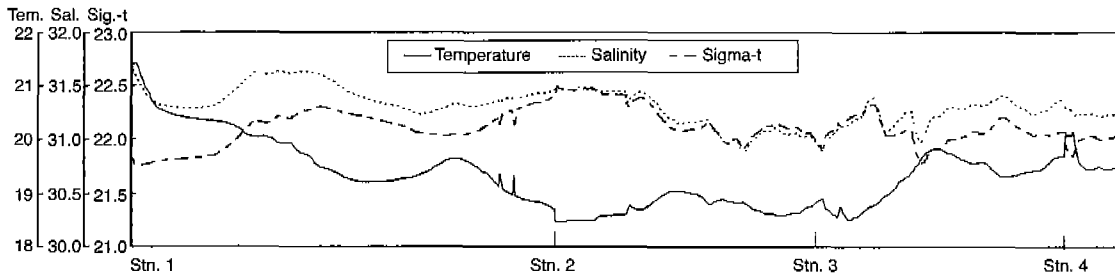


Fig. 2. Continual changes of water temperature, salinity and density through a cruising track from Stn. 1 to Stn. 4.

동정과 출현 세포수에 의한 식물플랑크톤의 현존량을 파악하였다 (Chihara and Murano 1997; Tomas 1997).

결 과

1. 해양환경

Fig. 2에는 정점 1에서 정점 4까지 약 5 m 수심의 해수를 연속 pumping하여 선박이 항해하는 동안 선상에서 해수를 running 시키면서 측정된 수온, 염분 및 현장 밀도의 변동을 나타내었다. 그림으로부터 제주북서해역에서 남서방향을 갈수록 수온은 점차 낮아지나, 염분 농도는 증감을 반복하면서 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 즉 등심선 100m를 경계로 염분이 변화하는 양상을 나타낸다. 즉 수온은 최저 18.4°C에서 최고 21.4°C의 범위로 해역에 따른 수온차이는 3.0°C로 크게 나타났으나, 정점 2에서 정점 3까지는 수온이 낮아지다가 재차 정점 3에서 정점 4로 이동하는 동안 높아져 연안보다 대마난류의 영향을 받는 해역에서 높게 나타났다. 반면, 염분은 최저 30.99 psu에서 최고 31.65 psu로 0.66 psu의 비교적 낮은 차이를 보이고 있지만, 해역별로는 증감의 심한 불규칙한 변화 양상을 나타내었다.

Fig. 3에는 각 정점에서 수온, 염분 및 현장밀도의 연직분포를 나타내었다. 그림으로부터 모든 정점에서 수심 30m에서 40m 사이에 강한 수온약층이 보이며, 수온약층을 경계로 염분과 밀도에 의한 밀도약층이 형성되었다. 정점 2와 정점 4의 표층에서는 17.9°C에서 19.0°C로 위도 40'차이에 1.1°C 수온이 상승하였다. 그리고 수온약층에서의 수온 경도는 정점 1과 정점 4에서 0.65°C m⁻¹로 매우 크게 나타났다. 염분의 경우는 표·저층 사이에서 정점 1과 정점 3에서 2.30 psu와 2.57 psu를 정점 2와 4에서는 1.87 psu와 1.65 psu를 나타내어 연안에 가까울수록 수심에 따른 차가 낮으나, 전반적으로는 낮은 염분 농도를 보였다. 그리고, 수온약층 상부에는 고온

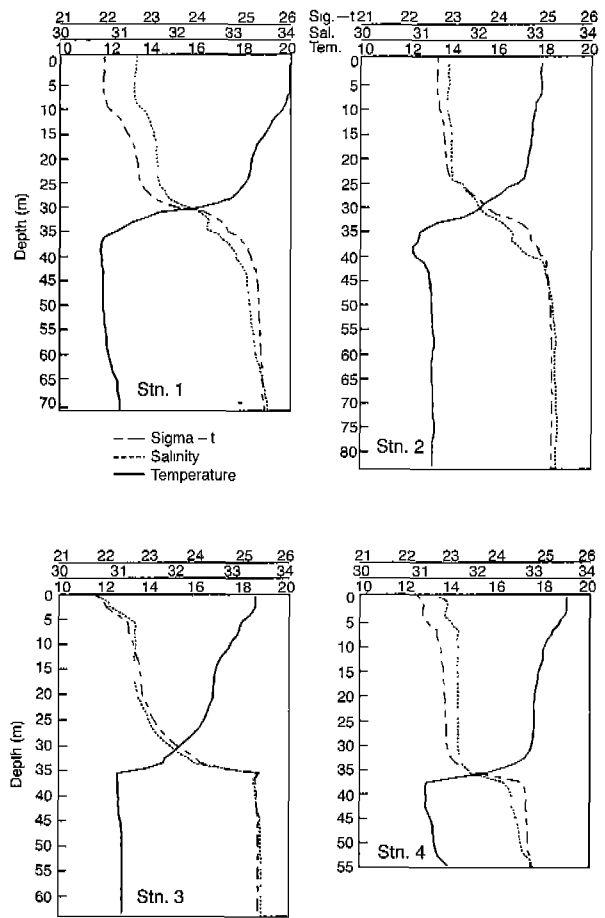


Fig. 3. Vertical profiles of water temperature, salinity and density at differential stations.

에 상대적인 저염의 연안수가 존재하는 반면, 하층부에서는 저온이면서 상대적으로 고염인 해수가 존재하였다. 정점 2에서는 수심 35 m 부근에서 수온 역전 현상이 보여져 복잡한 연직구조를 나타내며, 정점 3에서는 2m에서 5m 수심에서 0.15 psu m⁻¹의 염분경도를 나타내는 1차적인 밀도약층이 형성되는 것으로부터 표층에 중국대륙연안에서 유입된 저염수가 알리게 확산되고 있음을 시

사하였다 (Fig. 3)

2. 식물플랑크톤 군집

1) 종조성

2002년 여름 동중국해 북서해역에서 출현한 식물플랑크톤 종을 Tomas (1997)의 분류체계에 의해 정리하면 표층에서 35속 63종, 약층 해역에서 30속 50종으로 전체 36속 66종이었다 (Table 1 and Fig. 4).

출현종 수의 공간적 분포는 표층의 경우, 양자강의 영향을 직접적으로 받는 정점 9에서 가장 많은 종이 출현하였고, 정점 9에서 정점 1로 갈수록, 즉 조사해역의 중국 측 정점에서 제주 서쪽 해역으로 갈수록 점차 낮아지는 특성을 보였다 (Fig. 5, left). 그리고 성층해역에서도 전체적으로는 표층과 유사하여 대륙 연안부에서 높고, 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 보이기는 하나 표층과

같은 일정한 규칙성은 보이지 않았다 (Fig. 5, right).

2) 현존량

하절기 동중국해 식물플랑크톤 현존량의 변동범위는 표층의 경우, 1.5×10^4 cells L⁻¹에서 3.5×10^5 cells L⁻¹로, 저층은 0.2×10^3 cells L⁻¹에서 3.0×10^5 cells L⁻¹로 변화하여 공간적으로 큰 분포 차이를 보였다 (Table 1).

공간적으로는 제주 남서해역과 양자강의 영향을 직접적으로 받는 정점 9해역에서 높은 현존량을 나타내며, 기타 해역에서 상대적으로 낮은 값을 보였다. 특히 중국 대륙연안수의 영향을 강하게 받는 해역은 주로 규조류에 의한 점유율이 높은 반면, 제주남서해역에서는 식물성 편모조류에 의한 점유율이 높게 나타났다 (Fig. 6, left). 성층해역인 중층에서는 중국대륙연안수 영향권에서 높은 현존량을 보이는 반면, 외양 해역으로 갈수록 낮아지는 특성을 나타내었다. 분류군별 출현 점유율은

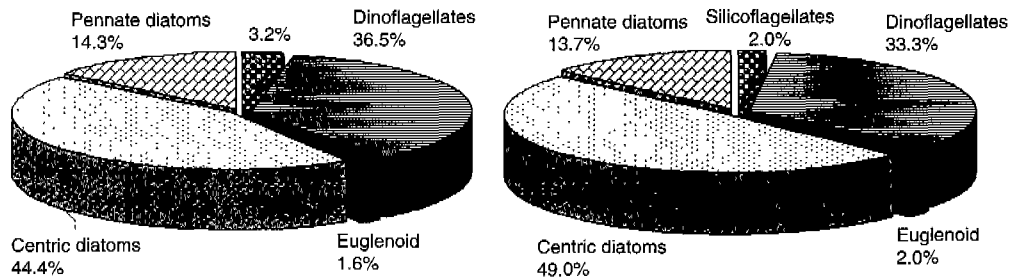


Fig. 4. Species compositions of phytoplankton at surface (left) and stratified layer (right).

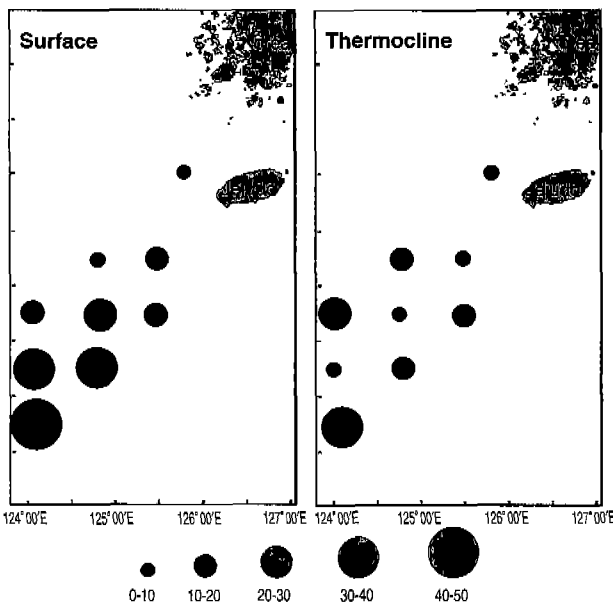


Fig. 5. Horizontal distributions of phytoplankton species numbers at surface (left) and stratified layer (right).

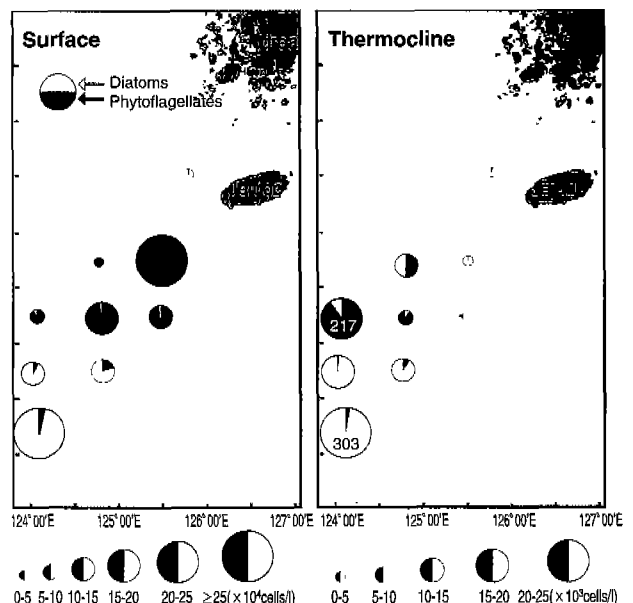


Fig. 6. Horizontal distributions of phytoplankton standing crops at surface (left) and stratified layer (right).

Table 1. The species composition and standing crops of phytoplankton at differential stations in the East China Sea in summer 2002 (cells ml⁻¹)

Species name	Layer	Stn.	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T
DINOFLAGELLATES			0.4	0.2	348.1	0	14.3	5.6	134.6	2.2	174.3	0.5	63.7	195.7	11.7	0.3	5.2	0.1	4.35	2.9
<i>Alexandrium</i>	<i>tamarense</i>									0.1		0.1		0.1						0.2
<i>Ceratium</i>	<i>furca</i>								0.1				0.1	0.1	0.2		0.2			0.1
<i>C.</i>	<i>fuscus</i>		0.2		0.9		10.5	0.4	0.5	0.1	0.6			0.8	0.2	0.6				0.35
<i>C.</i>	<i>kofoidii</i>				1.2		2.9													0.3
<i>C.</i>	<i>tripos</i>						0.3				0.2			0.1	0.3					0.05
<i>Dinophysis</i>	<i>acuminata</i>												0.1		0.1					0.1
<i>Gonyaulax</i>	sp.			0.2																
<i>Gymnodinium</i>	<i>breve</i>						0.3			0.1										0.1
<i>G.</i>	<i>mikimotoi</i>					1.5								0.2	1.1					
<i>G.</i>	<i>sanguineum</i>														0.1					0.1
<i>G.</i>	spp.		0.2		4				0.5		0.1						0.2			0.1
<i>Gyrodinium</i>	spp.						0.1													0.1
<i>Oxytoxum</i>	<i>scolopax</i>														0.1		0.3			0.3
<i>Podolampas</i>	<i>palmipes</i>																			0.05
<i>Prorocentrum</i>	<i>donghaiense</i>			340.2		0.1	5.2	124.2	1.8	172.8	0.5	63.2	194.4	6.2		0.5	0.1			0.35
<i>P.</i>	<i>triestinum</i>			0.1				1.9					0.2	0.2		0.9				0.05
<i>Protoperidinium</i>	<i>bipes</i>									0.1					0.2					0.05
<i>P.</i>	<i>claudicans</i>																			0.05
<i>P.</i>	<i>leonis</i>								0.1											
<i>P.</i>	<i>oceanicum</i>										0.1				0.1					
<i>P.</i>	<i>pellucidum</i>					0.1		0.2	0.1	0.1			0.1	0.1		0.1				0.25
<i>P.</i>	spp.			0.1								0.1				0.2				0.25
<i>Pyrophacus</i>	<i>stenii</i>									0.1		0.1		0.7						0.3
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>			0.1				7.2		0.1			0.3	1.1	0.1	2				1.9
unidentified dinoflagellates													0.3	0.3		0.2				
PHYTOFLAGELLATE			0.2	0	0.6	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.7	9.3	0.7	1.7	0	4.55	6.5
<i>Dityocha</i>	<i>fibura</i>			0.2		0.1									0.1					0.1
<i>D.</i>	<i>speculum</i> var. <i>octopers</i>			0.5		0.1	0.1		0.1					0.7	9.2	0.7	1.7			4.55
<i>Eutreptiella</i>	<i>gymnastica</i>							0.1												0.1
DIATOMS			15.0	4.8	0.1	0.2	0.1	5.2	1.3	0.5	5.7	6.0	8.3	20.6	89.0	10.8	94.1	17.6	269.6	293.6
Centric diatoms			15.0	4.8	0.1	0.1	0.1	5.0	1.0	0.1	4.2	5.7	6.2	19.8	63.8	10.2	90.6	16.3	253.0	269.1
<i>Asterophalus</i>	<i>flabellatus</i>					0.1										0.2				
<i>Bacteriastrium</i>	spp.															0.3				0.15
<i>Chatoceros</i>	<i>curvisetus</i>			1.4									0.3		0.5		0.4			0.45
<i>C.</i>	<i>danicus</i>						0.2									0.9				0.4
<i>C.</i>	<i>decipiens</i>		0.8							0.2				3.5	0.2	15.3	0.8			20.35
<i>C.</i>	<i>didymus</i>													0.5						0.55
<i>C.</i>	<i>diversus</i>															0.4				0.25
<i>C.</i>	<i>lacinious</i>															2.2	17.1			55.8
<i>C.</i>	<i>lauderi</i>															3.5				2.65
<i>C.</i>	<i>mitra</i>														2					
<i>C.</i>	spp.			1.2	0.1		0.1				2.4			0.5	13.7	0.2	34.6			156.6
<i>Coscinodiscus</i>	<i>gigas</i>									0.1				0.1		0.2				0.05
<i>C.</i>	sp.						0.1		0.1					0.2	0.1					0.05
<i>Ditylum</i>	<i>brightwellii</i>																			0.15
<i>Eucampia</i>	<i>zodiacus</i>																			0.3
<i>Guninardia</i>	<i>flaccida</i>									0.1				1.7	0.4	4.1	0.4			7.5
<i>G.</i>	<i>striate</i>													0.8		0.3				0.3
<i>Leptocylindrus</i>	<i>danicus</i>								0.2					0.2		0.9		1.3		1.1
<i>Odontella</i>	<i>aurita</i>												0.2							
<i>O.</i>	<i>sinensis</i>													0.2						
<i>Paralia</i>	<i>sulcata</i>		1.6				4.2			0.7	4.6	4.1	17.5	0.5	5.6	4.1	15.1			1.95

Table 1. Continued

Species name	Layer	Stn.	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T
<i>Planktoniella</i>	<i>blanda</i>											0.3	0.9		0.2					
<i>Proboscia</i>	<i>alata</i>									0.1				0.2		0.5				0.5
<i>Pseudosolenia</i>	<i>calcar-avis</i>			0.2										1.2		7.9			3.8	2.5
<i>Rhizosolenia</i>	<i>hebetata</i>																		0.2	
<i>Rh.</i>	<i>setigera</i>																			0.05
<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>		12.6	1.8					1.0			1.0		37.9	0.6					4.6
<i>Thalassiosira</i>	<i>rotula</i>						0.1			0.4				0.9		0.1			0.1	
<i>Th.</i>	sp.					0.1	0.3						0.1		0.4	0.2				1.5
unidentified centric diatoms												0.3	1.1	0.1	0.3					
Pennate diatoms			0	0	0	0.1	0	0.2	0.3	0.4	1.5	0.3	2.1	0.8	25.2	0.6	3.5	1.3	16.65	24.5
<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifera</i>											0.8				0.3				
<i>Diplonopsis</i>	spp.											0.2				0.1	0.2	0.1		
<i>Navicula</i>	spp.				0.1		0.2		0.1	0.6	0.1	0.1		1.3	0.3	0.3	1.0	0.35	1.0	
<i>Nitzschia</i>	<i>longissima</i>							0.3				0.2	0.1	21.6		0.8		0.2		
<i>Pleurosigma</i>	sp.								0.1		0.2	0.6	0.4	0.2	0.3	0.7		0.05	0.6	
<i>Pseudonitzschia</i>	<i>pungens</i>									0.7		0.2		0.6		0.9		14.2	21.2	
<i>Thalassionema</i>	<i>flauenfeldii</i>											0.3						0.2	1.4	
<i>Th.</i>	<i>nitzschioides</i>									0.2				0.7		0.4			1.55	
unidentified pennate diatoms									0.2					0.8				0.1		
TOTAL (cells/ml)			15.6	5.0	348.8	0.2	14.5	10.9	136	2.8	180	6.5	72	217.0	110	11.8	101	17.7	278.5	303.0
No. of species			6	6	11	2	9	10	10	10	21	5	18	20	39	15	34	7	45	36

S : surface, T : Thermocline (stratified) layer

Table 2. Dominant species of phytoplankton in East China Sea during early summer 2001

Surface		Thermocline Layer	
Dominant Species	Dominance (%)	Dominant Species	Dominance (%)
<i>Prorocentrum donghaiense</i>	56.3	<i>Prorocentrum donghaiense</i>	35.1
<i>Chatoceros lacinius</i>	5.8	<i>Chatoceros lacinius</i>	15.1
<i>Skeletonema costatum</i>	4.2	<i>Paralia sulcata</i>	8.5

표층과 유사하였다(Fig. 6, right). 특히 정점 6에서는 운동성을 나타내는 편모조류가 우점하면서 표층보다 중층에 더욱 높은 현존량을 나타내었다.

3) 우점종

초여름 동중국해 식물플랑크톤 군집에서 약 5% 이상의 우점율로서 출현하는 종을 Table 2에 나타내었다. 즉, 표층에서는 외편모조류인 *Prorocentrum donghaiense*와 중심목 규조류인 *Chatoceros lacinius* 및 *Skeletonema costatum*에 의해 우점되고 있는 반면, 성층 및 중층에서는 *Pr. donghaiense*, *Ch. lacinius* 및 *Paralia sulcata*로 나타나, 표·저층에서 제1, 제2우점종은 같으나, 제3우점종에서는 서로 다른 특성을 나타내었다. 특히 표층에서는 제1우점종에 의해 56% 이상의 극우점 현상을 보였다.

3. 적조

2002년 이른 여름에는 동중국해에서는 이례적으로 대규모 적조현상이 보여졌다. 원인생물은 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense*에 의한 것으로 진한 흑갈색으로 정점 2의 표층에서 3.4×10^5 cells L⁻¹의 최고세포 밀도로 최소 30,000 km² 이상의 광활한 해역에서 발생하였다. 적조발생 원인 등에 대해서는 명확히 할 수 없었으나, 발생해역의 해양구조 및 지형적 특성으로 본 종에 의한 적조는 양자강 하구 해역보다는 동심선 50m를 중심으로 하는 대륙 연변부의 연안수와 대만난류 등의 외해수와의 전선역에서 광범위하게 발생하는 것으로 판단되었다(Fig. 7).

4. 식물플랑크톤 분포 특성

이른 봄 동중국해에 출현하는 식물플랑크톤 중 중에

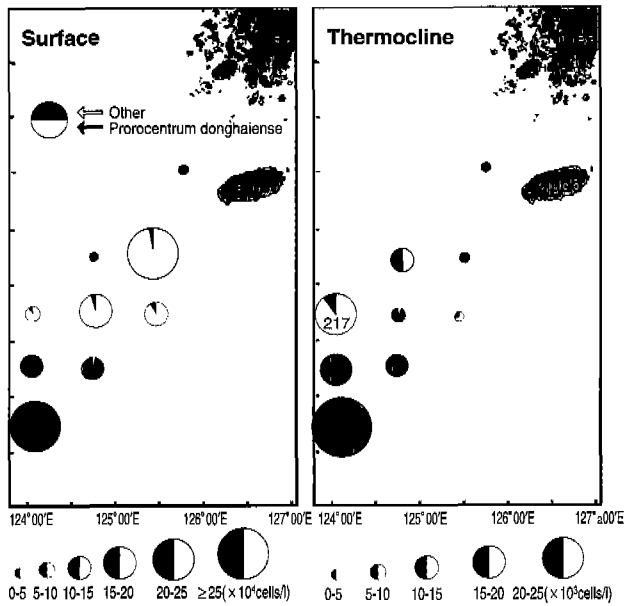


Fig. 7. Horizontal distributions of red tide organism, *Prorocentrum donghaiense* and phytoplankton standing crops at the surface (left) and the stratified layer (right).

전 해역 평균으로 1% 이상 우점율을 나타내는 10종을 대상으로 주성분 분석을 실시한 결과, 표층과 성층해역에 대해 다음의 1과 2식을 얻을 수 있었다.

$$\text{surface} : Z = 5.783 Z_1 + 2.888 Z_2 + 1.401 Z_3 \quad (\text{AP} = 83.9\%) \quad (1)$$

$$\text{stratified layer} : Z = 7.920 Z_1 + 1.638 Z_2 \quad (\text{AP} = 95.6\%) \quad (2)$$

여기서 Z_1, Z_2, \dots 는 각 주성분을, AP는 누적 기여율을 나타낸다.

즉, 표층에서는 제3주성분까지, 성층해역에서는 제2주성분까지 종합 특성치를 도출할 수 있었으나, 해석에는 표층의 제1주성분 기여율이 48.19%, 제2주성분이 24.06%로 누적기여율이 72.2%를 나타내고 있기에, 제2주성분까지만을 이용하였다. 즉, 주성분분석에 의한 Loading factor와 Score분포로부터 제1주성분에는 연안의 규조류에 강한 상관관계를 나타내는 반면 외편모조류에 음의 상관관계를 보이는 하구역 특성과 전선역 특성으로 나타났으며, 제2주성분에는 연안성 규조류인 *Skeletonema costatum*, *Nitzschia longissima* 및 규질편모조류인 *Dictyocha speculum var. octopers*에 의해 우점되는 하구역에서 전

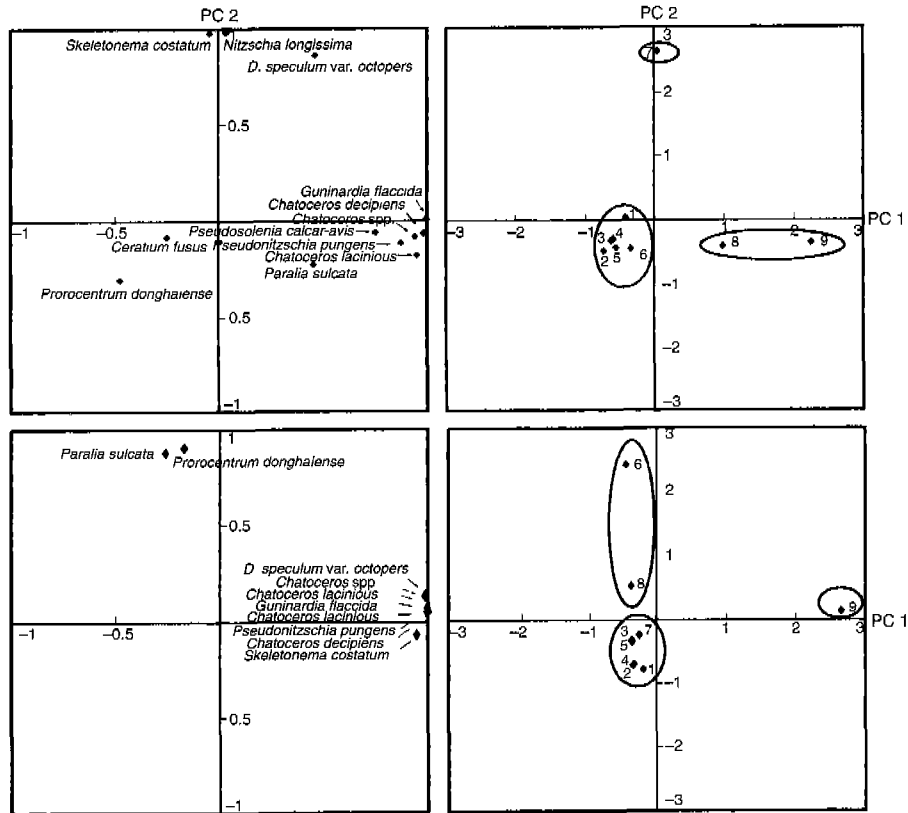


Fig. 8. Distribution of loading factor (left) and score (right) by principal component analysis (PCA) (Upper : surface, Lower : stratified layer).

이되는 정점 7의 특성을 표현하는 것으로 나타났다. 즉, 표층에서는 양자강 하구의 특성을 강하게 나타내는 정점 8과 9 중심의 하구해역과 *Pr. donghaiense*를 우점으로 하여 비교적 외해적 특성을 강하게 보이는 전선역 그룹인 정점 1에서 정점 6과 하구역의 전이적 특성을 나타내는 정점 7 등 3개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 8, upper).

그리고 성층해역에서는 연안성 구조류 및 규질편모조류를 중심으로 하는 양자강 하구역인 정점 9 그룹과 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense*와 중심목 구조류인 *Palalia sulcata*를 중심으로 하는 하구역 전이대 특성을 보이는 정점 6과 8의 그룹 및 이와 차별되는 기타 그룹으로 구분되었다(Fig. 8; lower).

고 찰

동중국해의 북서해역은 탁월한 중국대륙연안수와 계절에 따라 세력권을 달리하는 대만난류 수괴 및 황해저층냉수괴가 복잡하게 세력권을 달리하면서 영향을 미치는 해역으로, 그 결과에 따라 생물생산도 달라지는 것으로 알려져 있다(Huh 1982; Kondo 1985; Edmond *et al.* 1985; Hu 1986; Matsuda *et al.* 1989; Yoon and Kim 1994; Lee 1999; Yoon *et al.* 2002). 그러나, 아직까지도 그 수괴의 세력권에 대한 평가는 연구자에 따라 다르며, 대만난류의 계절적 순환조차 명확하지 않다. 그러나, Seung (1992)은 Kondo (1985)의 연구결과를 수정하여 대만난류는 계절에 관계없이 제주서방 해역을 통해 제주해협으로 유입되어, 주년 제주서방해역에도 대만난류가 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 또한 Kim and Rho (1995)는 중국대륙연안수가 제주해협을 통해 한국연안까지 영향을 미치는 것으로 보고하고 있으며, Kim *et al.* (1998)은 강우기에 양자강에서 유입된 담수가 제주서쪽 연안까지 직접적으로 영향을 미치는 것을 확인하였다.

이와 같은 내용으로부터 여름 동중국해에 보여지는 고온 저염수는 Kuroshio 기원의 난수와 황해냉수 기원의 저온수에 의한 혼합수라고 판단할 수 있으며(Kondo 1985; Hu 1986), 50 m보다 얕은 수심에서는 중국대륙연안수와 황해에 기원을 두는 연안수(Huh 1982; Beardsley *et al.* 1985; Milliman *et al.* 1985; Lu 1991)에 의해 점유되는 것으로 추정되어, 조사해역의 중앙부에는 이들 수괴가 복합적으로 혼재하는 대규모 전선해역이 형성되고 있음을 추정할 수 있었다. 즉, 이는 여름 동중국해는 황해냉수괴와 대만난류수괴에 의해 형성된다는 내용(Mat-

suda *et al.* 1989)이나, Kuroshio 수괴(대만난류수)와 대륙연안수에 의해 지배된다는 내용(倭 1985; Yoon and Kim 1994)과는 다소 차이가 있으나, 대만난류수, 대륙연안수 및 황해저층냉수가 각각 세력을 확대하면서 매우 복잡한 해황 특성을 나타낸다는 내용이나(Huh 1982; Hu *et al.* 1991; Yoon and Kim 1994; Yoon *et al.* 2002), Lee (1999)가 제주도를 포함하는 광역 남해조사에서 표층해수는 대만난류와 중국대륙연안수에 의해, 저층해수는 대만난류와 황해냉수괴에 의해 지배되고 있음을 지적하는 결과와 유사하였다.

식물플랑크톤 군집에서 여름 북서해역에 출현한 식물플랑크톤 출현 종 수는 비교적 다양한 생물 상에 의해 구성되고 있으며(Shim and Park 1984; Yoon *et al.* 1992), 공간적 종 출현 특성은 본 해역에 형성되는 중국대륙연안수, 대만난류수 및 황해냉수괴 사이에 형성되는 front와 밀접한 관련성을 나타내는 것으로 판단되었다(Kondo 1985).

그리고 등심선 50m의 지형적 특성을 나타내는 해역의 전선역을 중심으로 외편모조류인 *Prorocentrum donghaiense*나 *Ceratium fusus*에 의한 우점현상은 Lu (1991)가 외편모조류를 지표종으로 하여 동중국해의 해역특성을 파악한 결과에서 양자강 하구해역은 계절에 따라 양자강 연안수, 황해기원 저염 연안수괴 및 Kuroshio 기원수괴가 그 범위를 달리하게 되며, 연안수와 Kuroshio 기원수괴 사이의 전선해역에서 *Prorocentrum triestinum*이나 *Ceratium fusus* 등 유각 외편모조류가 우점하는 것을 보고나, Kamiyama (1991)가 동중국해의 해황과 크기에 의한 식물플랑크톤 세포수를 비교 검토한 결과, 종이 아닌 크기에 의한 식물플랑크톤 세포수로 해황을 구분하기는 어려우나 세포수가 전선해역에서 크게 변화하여 전선해역을 중심으로 높은 생물량과 종 특성을 달리하고 있음을 보고하는 내용과 유사하였다. 물론 이들 결과는 대상해역의 다소 차이는 있지만, 본 연구에서 보여지는 연안수에서의 구조에 의한 우점 및 높은 현종량, 그리고 전선해역에서의 외편모조류에 의한 우점 현상과 매우 일치하는 결과라 할 수 있다.

또한, 현종량 분포에서 정점 6과 같이 표층보다 중층에서 높게 나타나는 것은 동중국해의 식물플랑크톤 생물량은 수온약층 부근에서 최대를 보인다는 내용과 일치한다(Yoon and Kim 1994; Yoon *et al.* 2002). 다만, 본 조사의 경우 우점종이 구조류가 아닌 미약하나마 운동성을 나타내는 외편모조류이며, 조사시지점이 야간이라는 조건을 고려하면 수온약층에의 집적보다는 외편모조류의 일주연적이동에 의한 결과(Kamykowski 1981)로 나타나는 현상이라고 판단되었다. 그러나, Yoon *et al.*

(2002)은 동중국해의 식물플랑크톤 생물량을 나타내는 Chlorophyll *a* 농도의 경우 연직적으로는 최대 생물량이 수온약층 해역에서 보여지며, 수평적으로는 대만난류 해역에서 낮고, 황해냉수괴가 확장되거나 대륙연안수 영향을 받는 해역에서 높아, 동중국해 Chl-*a* 농도는 대륙기원의 연안수로부터 공급되는 영양염류에 의해 지배되어 (Edmond *et al.* 1985; Aoyama and Hayashi 1988; Matsuda *et al.* 1989), 수온약층 해역은 표층으로 침강하는 식물플랑크톤의 집적과 충분한 광조건으로 생산이 이루어질 수 있음을 지적하였다.

여름 동중국해 북서 중앙부에서 와편모조류인 *Prorocentrum donghaiense*에 의한 적조가 광역적으로 보여지는 현상은 매우 이례적이다. 즉, 지금까지 외양해역에서의 식물플랑크톤 대발생은 과거 남조류나 (Nagasawa and Marumo 1967), 소형 규조류 및 피코플랑크톤 등에 의한 대발생이 일반적이며, 수괴특성과 관련한 광역적인 적조발생도 육지부와 인접하는 연안해역에 제한되어 있다 (Gessey and Tester 1993). 그러나, 본 조사에서 보여지는 광역적인 적조에 대하여 Lu *et al.* (2002)은 *Pr. donghaiense*의 경우 1995년 이후 4월과 5월에 양자강 하류의 연안해역에서 연안수와 대만난류수가 경계하는 전선해역에서 수심 10m 내외로 수백~수천 km에 달하는 규모의 적조를 형성시키는 것으로 보고하였다. 또한 적조발생 시 해양환경은 수온이 17°C에서 20°C, 염분이 20 psu에서 28 psu로 기수역 특성을 나타내며, Chl-*a* 농도는 200 µg L⁻¹를 초과하는 것으로 보고하고 있다. 즉, 본 종에 의한 적조는 지금까지 중국대륙연안에 인접하여 보여지던 것이 조사시점 이전의 대량의 강우현상에 의해 양자강에서 유입되는 담수세력이 의해 쪽으로 확장되어, 연안수와 대만난류수에 의한 전선해역이 의해로 확장되면서 본 조사 중앙부 해역에서 발생한 것으로 판단된다. 다만, 적조발생 환경은 지금까지 알려진 것과는 달리 시기적으로 7월까지 발생하고 있으며, 염분은 31.5 psu로 광염화 되었고, 수심 25 m까지도 농밀한 생물군이 분포하였다.

참 고 문 헌

- 俵 倭. 1985. 東シナ海陸棚域の特性. 海洋科學. 17(10):611-620.
- 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. pp. 144-147. In 沿岸環境マニュアル (底質・生物編), 恒星社厚生閣, 東京.
- 宇田道隆, 大坪久泰. 1958. 東シナ海潮境漁場の海洋學報告. 對馬暖流開發調査報告書, 第4輯 (海況, 漁況編), 水産廳 pp. 535-539.
- Aoyama T and K Hayashi. 1988. An analysis of potential yield from the viewpoint of primary production in the East China Sea. pp. 97-111. In YB Go (ed). On development of marine resources and international cooperation in the Yellow Sea and the East China Sea (YB Go ed). Marine Res. Inst., Cheju Nat'l Univ.
- Beardsley RC, R Limeburner, H Yu and GA Cannon. 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea. Continental Shelf Research. 4:57-76.
- Chihara M and M Murano. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo. 1574 pp (in Japanese).
- Cho KD. 1981. Studies on the distribution and fluctuation of the purse-seiner fishing grounds in relation to oceanographic conditions in the East China Sea. Ph.D. thesis, Tokyo Univ. 124 pp (in Japanese).
- Edmond JM, A Spivack, BC Grant, MH Hu, Z Chen, S Chen and X Zeng. 1985. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. Continental Shelf Research. 4:17-36.
- Geesey ME and PA Tester. 1993. *Gymnodinium breve* ubiquitous in Gulf of Mexico waters. pp. 251-255. In Toxic phytoplankton blooms in the Sea Smayda TJ and Y Shimizu, eds. Elsevier, Amsterdam. pp. 251-255.
- Hu D. 1986. Signature of El Nino in the East China Sea. IOC Tech. Ser. Time Series of Ocean Measurements. 3(31):43-50.
- Hu D, M Cui, Y Li and T Qu. 1991. On the Yellow Sea cold water mass-related circulation. Yellow Sea Research. 4:17-36.
- Huh OK. 1982. Satellite observations and the annual cycle of surface circulation in Yellow Sea East China Sea and Korea strait. La mer. 20:210-222.
- Kamiyama H. 1991. The correlation between appearance of phytoplankton and the sea condition. Umi to Sora. 67: 153-161 (in Japanese).
- Kamykowski D. 1981. Laboratory experiments on the diurnal migration of marine dinoflagellates through temperature gradients. Mar. Biol. 62:57-64.
- Kim IO and HG Rho. 1995. A study on China Coastal Water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. Bull. Korean Fish. Soc. 27:515-528 (In Korean).
- Kim SS, WJ Go, YJ Jo, PY Lee and KA Jeon. 1998. Low salinity anomaly and nutrient distribution at surface waters of the south sea of Korea during 1996 summer. 「The Sea」 J. Korean Soc. Oceanogr. 3:165-169 (in Korean).
- Kondo M. 1985. Oceanographic investigations of fishing grounds in the East China sea and Yellow Sea. I. Characteristics of the mean temperature and salinity

- distributions measured at 50 m and near bottom. Bull. Seikai Regional Fish. Res. Lab. 62:19-66.
- Lee T. 1999. Characteristics of nutrients distribution in summer and winter in the South Sea. 「The Sea」 J. Korean Soc. Oceanogr. 4:371-382 (in Korean).
- Lu D. 1991. Distribution of indicator dinoflagellates in the East China Sea. Acta Oceanologica Sinica. 11:109-122.
- Lu D, J Goebel, Y Qi, J Zou and Y Gao. 2002. *Prorocentrum donghaiense*-a high biomass bloom-forming species in the East China Sea. Harmful Algae News. 23:1-5.
- Matsuda I, Y Nishii, YH Yoon and T Endo. 1989. Observation of thermohaline structure and phytoplankton biomass in the shelf front of East China Sea during early summer. J. Fac. Applied Biol. Sci. Hiroshima Univ. 28:27-35.
- Milliman JD and J Qingming. 1985. Introduction on sediment dynamics of the Changjiang estuary and adjacent East China Sea. Continental Shelf Research. 4:1-4.
- Milliman JD, HT Shen, ZS Yang and RH Meade. 1985. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. Continental Shelf Research. 4:37-45.
- Mio S, M Tagawa, F Shinohara and U Yamada. 1984. Ecological study on the demersal fish associations in the East China Sea. with reference to food relationships. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 61:1-142 (in Japanese).
- Miyaji K. 1991. Studies on the eddies associated with the meander of the Kuroshio in the waters off southwest coast of Kyushu and their effects on egg and larval transport. Bull. Seikai Natl. Fish. Res. Inst. 69:1-77 (in Japanese).
- Nagasawa S and R Murano. 1967. taxonomy and distribution of *Thrichodesmium* (Cyanophyceae) in the Kuroshio waters. Infor. Bull. Plankton. Japan. Com. No. Dr Y. Mastue's 60th Birth. pp. 139-144 (in Japanese).
- Parsons TR, M Takahashi and B Hargrave. 1984. Biological oceanographic processes (3rd ed.). Pergamon Press, Oxford. 330 pp.
- Seung YH. 1992. Water masses and circulations around Korean peninsula. J. Oceanogr. Soc. Korea. 27:324-331 (in Korean).
- Shi YL, W Yang and M Ren. 1985. Hydrological characteristics of the Changjiang and its relation to sediment transport to the sea. Continental Shelf Research. 4:5-15.
- Shim JH and YC 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.
- Tanaka K, S Uno, W Sakamoto and A Shirota. 1987. Turbid water area in the East China Sea. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 64:13-23.
- Thronsdon J, 1978. Preservation and storage. pp. 69-74. In Phytoplankton manual Sournia A, ed. Unesco, Paris.
- Tomas CR. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press. London. 858 pp.
- Yoon YH and DS Kim. 1994. A thermohaline structure and distribution of chlorophyll a in the East China Sea in summer. Bull. Mar. Sci. Inst. Yosue Nat'l Fish. Univ. 3:1-10 (in Korean).
- Yoon YH, IH Choi, HY Soh and DJ Hwang. 2002. Spatial distributions of theomohaline structure and phytoplankton biomass in the East China Sea during early summer. Bull. Fish. Sci. Inst. Yosue Nat'l Univ. 11:36-46 (in Korean).
- Yoon YH, HG Rho and YK Kim. 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island. Bull. Marine Res. Inst., Cheju Nat'l Univ. 16:27-42 (in Korean).

Manuscript Received: March 25, 2003

Revision Accepted: April 16, 2003

Responsible Editorial Member: Ki Ahn Cho
(Chodang Univ.)