

여름 한국서남해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집분포

윤양호[†] · 박종식 · 박영균 · 노일현
전남대학교 해양기술학부

Marine Environment and the Distribution of Phytoplankton Community in the Southwestern Sea of Korea in Summer 2005

Yang Ho Yoon[†], Jong Sick Park, Yeong Gyun Park and Il Hyeon Noh

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

요 약

이른 여름 동중국해 북부인 한국서남해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집 분포 양상을 파악하기 위한 현장조사를 2005년 6월 26일에서 28일까지 12개의 정점을 대상으로 실시하였다. 여름 한국서남해역은 표층에서 고온·저염 및 저온·고염의 한국 및 중국 연안수와 쓰시마난류 수괴특성을, 중, 저층에서는 저온·저염 및 고온·고염의 황해저층냉수 및 대만난류 수괴 특성으로, 연안수, 대만난류 및 황해냉수 등 3개의 수괴에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 표층의 수온전선은 한국 및 중국 연안수와 대만난류의 경계역에서, 수온 및 염분약층은 정점에 따라 다소 차이는 있지만 10~20 m 수층에 형성되었다. Chl-*a* 농도는 한국 연안수의 영향을 받는 해역에서 높고, 대만난류해역에서 낮았으나, 연직적으로 Chl-*a* 최대층은 수온약층보다 아래에 형성되었다. 표층과 수온약층의 식물플랑크톤 종조성은 26속 40종으로 단순하였으며, 우점종은 표층에서는 규조류인 *Paralia sulcata* 및 와편모조류인 *Scripsiella trochoidea*에 의해 점유되었으나, 수온약층에서는 규조류인 *Skeletonema costatum*과 *Paralia sulcata*에 의해 우점되었다. 현존량은 표층에서 5 cells/L에서 3.8×10^3 cells/L범위로 변화하여 매우 낮았다. 여름 한국서남해역의 식물플랑크톤 중 규조류는 저염의 연안수 영향을 받는 해역에서 높은 반면, 와편모조류는 고온의 대만난류해역에서 높게 출현하는 특성을 나타내어, 분류군에 의한 환경적응이 다르게 나타났다.

Abstract – We carried out a study on the marine environment, such as water temperature, salinity, density and chlorophyll *a*, and the distribution of phytoplankton community, such as species composition, dominant species and standing crops in the Southwestern Sea of Korea during early summer 2005. According to the analysis of a T-S diagram, three characteristics of water masses were identified. We classified them into Korean and Chinese coastal water, the cold water and the oceanic water. The first was characterized by high temperature and low salinity in the surface layer influenced by river run offs from China and Korea, the second by low temperature and salinity in bottom layer originated from the bottom cold water of the Yellow Sea, and the third by high temperature and high salinity influenced by Tsushima warm currents. The internal discontinuous layer among them was formed at the intermediate depth (about 10~20 m layer). And the thermal front appeared in the central parts between Tsushima warm currents and Korean and Chinese coastal waters in the Southwestern Sea of Korea. Chlorophyll *a* concentration was high values in the Korean coastal waters and sub-surface layers. But It was low concentration in the Tsushima warm currents regions. The Chl-*a* maximum layers appeared in the sub-surface layer below thermocline. The phytoplankton community in the surface and stratified layers was composed of a total of 40 species belonging to 26 genera. Dominant species were 2 diatoms, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum* and a dinoflagellate, *Scripsiella trochoidea*. Standing crops of phytoplankton in the surface layer were very low with cell density ranging from 5 to 3.8×10^3 cells/L. Diatoms were controlled by the expanded low salinity coastal waters of the low salinity with high concentrations of nutrients. Otherwise phytoflagellates were

[†]Corresponding author: yoonyh@chonnam.ac.kr

dominant in the high temperature regions where the Tsushima warm currents approaches the Southwestern Sea of Korea in early summer.

Keywords: Marine environment(해양환경), Phytoplankton community(식물플랑크톤군집), Tsushima warm current(쓰시마난류), Korean and Chinese coastal waters(한국 및 중국연안수), Cold bottom water of Yellow Sea(황해저층냉수괴), Southwestern Sea of Korea(한국 서남해역)

1. 서 론

동중국해 북부해역인 한국서남해역은 양자강희석수와 계절에 따라 세력권을 달리하는 쓰시마난류 및 그의 지류인 황해난류, 제주난류는 물론 황해에 기원을 둔 황해저층냉수와 한국연안 희석수 등 다양한 수괴의 영향으로 계절적 특성을 달리한다(Kondo[1985], Edmond *et al.*[1985], Hu[1986], 송[1992], 조와 김[1994], Rho and Pang[1995], 이[1999], 윤 등[2003], [2005a], [2006]). 계절에 따른 이들 수괴확장에 의해 한국서남해역의 환경특성은 물론, 생물생산에도 크게 영향을 미치나(Yang and Kim[1990], 양 등[1998], 이[1999], 윤 등[2005]), 아직까지도 계절에 따른 각 수괴의 영향에 대한 평가는 연구자에 따라 다르며, 해류 및 수괴명칭에 대한 용어정립은 물론 이들 해역에 가장 큰 영향을 미치는 쓰시마난류의 세부적인 거동마저도 명확하지 않다. 그러나 쓰시마난류는 계절에 관계없이 제주 서방해역을 통해 제주해협과 황해로 유입되며(Beardsley *et al.*[1985], 송[1992], Lie and Cho[2002]), 양자강 희석수는 제주서부 해역(김 등[1998])은 물론 제주해협 등 한국남해동부 해역에까지 영향을 미치는 내용(김과 노[1995], 김 등[1998]) 등 많은 해양학적 연구가 진행되고 있기도 하다.

또한 한국, 일본 및 중국이 공동으로 이용하는 동중국해는 국내 최대의 회유성 어족 어장으로 수산해양학적 중요성이 매우 크다(Rho[1985], Miyaji[1991]). 그러나 한국은 일본이나 중국과는 달리 동중국해를 포함하는 해역을 대상으로 하는 종합적 연구결과가 매우 빈약하다(宇田[1958], Mio *et al.*[1984], 俵[1985], Kondo[1985], Edmond *et al.*[1985], Milliman *et al.*[1985], Lu[1991]).

특히 동중국해의 자원남획과 자원고갈로 양자강 하류를 중심으로 하는 동중국해는 유해성 생물인 대형 해파리의 발생지로서 주목을 받고 있으며(일본 NHK 방송), 대규모의 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense*(Lu *et al.*[2002])에 의한 적조발생 해역으로 환경적 문제가 발생하고 있다(윤 등[2003], Tang *et al.*[2006]). 그리고 2006년 5월에는 양자강 중류에 약 400억 톤 규모의 담수를 저장할 수 있는 산사댐 건설로 동중국해의 해양환경 및 해양생태계는 현재에 비해 급속하게 변화될 가능성을 가지며, 우리나라에도 그의 영향이 막대하기에(동아일보[2006.5.19]), 최근 정부차원의 동중국해 환경변화에 따른 대형 프로젝트를 국책사업으로 실시하고도 있다.

현재 동중국해를 대상으로 실시한 국내연구의 성과는 단편적이기는 하나 해수유동, 수괴분석 및 영양염류를 주로 하는 물리, 화학적 연구(Yang and Kim[1990], 양과 김[1990], 조와 김[1994],

이[1999], 신 등[2001])가 있으며, 자원생물을 제외한 기초생물학적 연구(Shim and Park[1984], 김과 윤[1997], 윤 등, [2003], [2005])는 매우 빈약하다. 따라서 본 연구는 2005년 여름 동중국해 북부인 한국서남해역에서 해양환경 및 식물플랑크톤 군집분포를 파악하여, 동 해역의 해양환경, 해역이용 및 관리에 필요한 기초자료 제공을 위해 간략히 보고한다.

2. 재료 및 방법

여름 한국서남해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성을 파악하기 위한 현장조사는 2005년 6월 26일에서 동년 6월 28일까지 여수대학교(2006년 3월 이후 전남대학교) 실습선 동백호(1050톤)를 이용하여 Fig. 1의 12개 관측점을 대상으로 실시하였다.

해양환경 특성파악을 위한 측정항목과 방법은 수온, 염분 및 엽록소(Chl-*a*) 측정용 형광센서가 부착된 Submersible Fluorometer (Alec Co., ACL 1151-D)를 이용하여 표층에서 저층까지 연속 측정하여 1 m 간격으로 정리, 분석하였다. 다만 얻어진 기계값의 보정을 위한 Chl-*a* 측정은 현장에서 해수 500 ml를 채수하여 박막 여과지(pore size; 0.45 μ m, diameter; 47 mm)가 장착된 여과기를 이용하여 흡인 여과하였다. 여과 포집된 박막여과지는 -20에서 냉동보관 시켜 Chl-*a* 손실을 최저로 하여 실험실로 운반하여 90%(v/v)의 아세톤을 용매로 색소를 추출하고, 원심분리기를 이용하여 불순물과 추출액을 분리(3,000 rpm, 15 min)시켜 상등액을 UV Spectrophotometer(Mecasys Co., Optizen 2120UV)에 의해 비색 측정하는 분광광도법(SCOR-unesco[1966])에 의하였다.

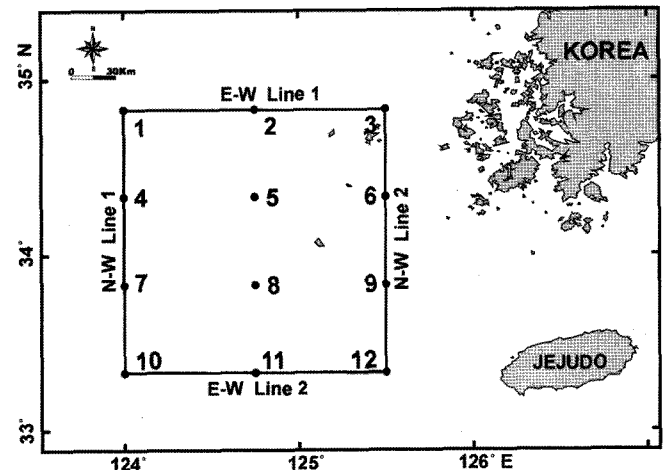


Fig. 1. Map showing sampling stations.

식물플랑크톤 군집 파악을 위한 표본은 표층과 수온약층(정점에 따라 10~25 m)을 대상으로 반돈 채수기를 이용하는 채수법에 따랐다. 식물플랑크톤 정성, 정량분석 시료는 현장에서 해수 500 ml를 폴리에틸렌 표본병에 채수하여 중성포르마린으로서 최종농도가 0.4% 되게 고정하였다(Thronsen[1978]). 고정된 해수는 실험실에서 pore size가 5.0 μ m, 직경이 47 mm인 박막여과지가 장착된 플라스틱 여과기(Sartorius SM 16510)를 이용하여, 자연낙하방법으로 최종농도 5 ml가 되도록 100배 농축하였다(飯塚[1986]). 검경은 농축된 시료 1.0 ml를 마이크로피펫을 이용하여 Sedgwick-Rafter chamber에 취해, 광학 현미경(Olympus, BX50)을 이용하여 100X~400X 배율에서 종의 동정(Chihara and Murano[1997], Tomas[1997])과 출현 세포수에 의한 식물플랑크톤의 현존량을 파악하였다.

조사대상 해역의 해양환경 및 식물플랑크톤 출현특성 파악은 표층의 해양환경요인과 식물플랑크톤 우점종 및 주요 분류군을 이용하였다. 분석은 상관행렬을 이용한 주성분분석을 SPSS 프로그램에서 실시하였으며, 주성분은 누적 기여율 70%를 기준으로 계산하였다.

3. 결 과

3.1 수괴분포

2005년 이른 여름 한국서남해역에서 측정된 표층 수온은 18.9°C에서 25.0°C로 변화하여, 23.2 ± 1.79 °C(mean \pm SD(standard deviation))로 이하 같은 방법으로 표기의 변동범위를 나타내었다. 수심의 증가와 함께 수온은 하강하여 50 m 수심에서는 8.9°C에서 14.7°C로 변화하여, 11.4 ± 1.80 °C의 변동범위로 황해저층냉수괴 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 1).

수온의 공간분포는 표층의 경우, 제주북서해역의 24°C 이상 높은 수온의 해수가 북상하다 한국연안의 20°C 이하 낮은 수온의 연안수에 의해 차단되어 북서쪽으로 진로가 바뀌는 양상을 보였다. 10 m는 표층보다 복잡한 수온분포를 보이지만, 50 m는 황해남부의 중앙해역에서 11°C 이하로 표현되는 여름 황해저층냉수괴가 강하게 존재하여 한국 연안으로 갈수록 점차 수온이 높아져 흑산도 근처에서는 14°C 이상으로 상승하는 경향을 나타내었다(Fig. 2).

염분은 표층의 경우, 28.43 psu에서 33.41 psu로 변화하여, 31.69 ± 1.72 psu의 변동범위를 보였으며, 수심 증가와 함께 증가하여 50 m는 33.22 psu에서 34.17 psu로 변화하여 33.77 ± 0.28 psu의 범위로 수심이 깊을수록 정점 사이의 염분 차는 작았다(Table 1). 공간분포는 표층의 경우, 높은 수온을 보였던 해역은 30 psu 이하의

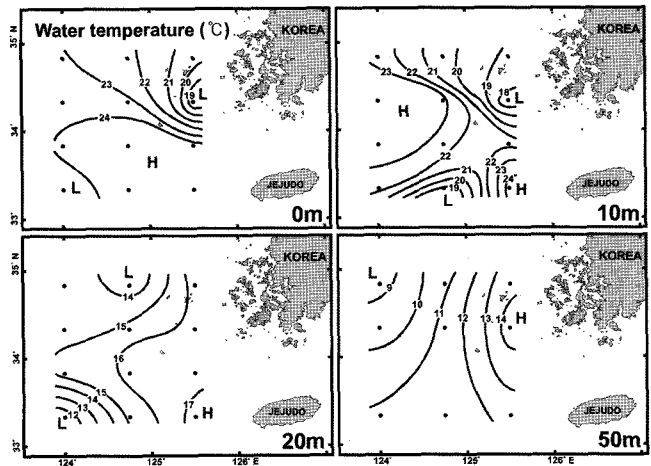


Fig. 2. Horizontal distributions of water temperature at the surface, 10 m, 20 m and 50 m in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

낮은 염분을 보이는 반면, 한국연안 희석수 특성을 보이는 서해남부연안해역 및 황해남부 중앙해역은 33 psu 이상의 높은 염분을 보였다. 10 m와 20 m도 표층과 유사하나, 20 m 수층에서 복잡한 분포 양상을 보였다. 50 m는 제주서방 해역에서 34 psu 이상의 높은 염분을 나타내나, 북상 할수록 점차 낮아져 수온이 낮은 황해남부 중앙해역에서 33.4 psu 이하의 염분을 보였다(Fig. 3).

표층 현장밀도는 18.50에서 23.86로 변화하여 21.32 ± 1.73 의 변동범위를 나타내나, 염분과 같이 수심의 증가에 따라 현장밀도

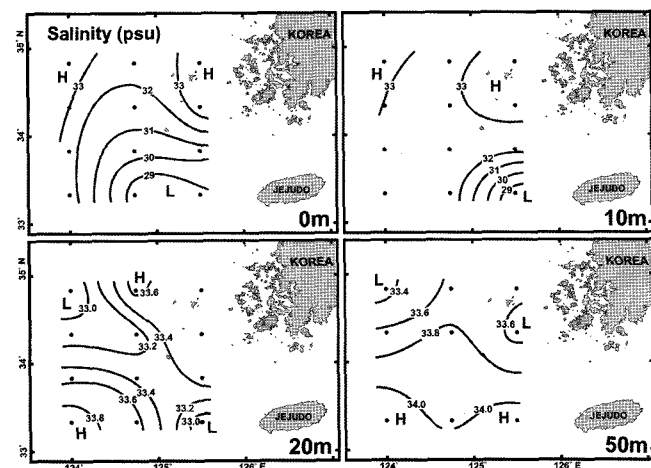


Fig. 3. Horizontal distributions of salinity at the surface, 10 m, 20 m and 50 m in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

Table 1. Variation of water temperature, salinity and sigma-t at the 4 layers in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

Layer Items	0 m				10 m				20 m				50 m			
	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD
Water temperature (°C)	18.9	23.2	25.0	1.79	17.9	21.7	24.9	2.22	11.7	15.3	17.4	1.58	8.9	11.4	14.7	1.80
Salinity (psu)	28.43	31.69	33.41	1.72	28.79	32.49	33.93	1.23	32.88	33.37	33.93	0.31	33.32	33.77	34.17	0.28
Sigma-t (σ_t , kg/L)	18.50	21.32	23.86	1.73	18.55	22.35	24.13	1.42	23.91	24.68	25.85	0.50	24.99	25.74	26.13	0.37

Min=Minimum, M=Mean, Max=Maximum, SD=Standard Deviation

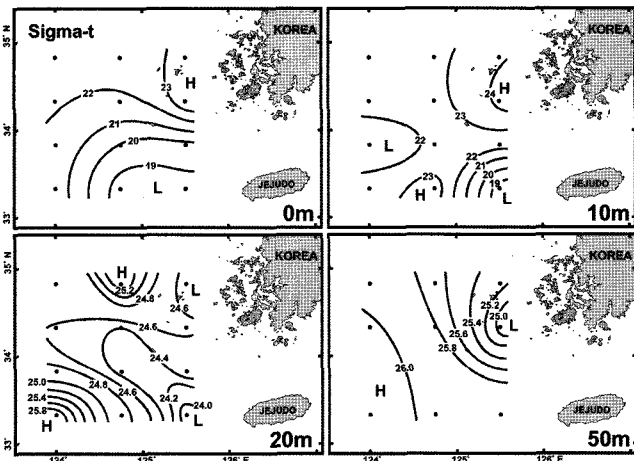


Fig. 4. Horizontal distributions of sigma-t (density) at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

도 높아져, 50 m에서는 24.99에서 26.13로 변화하여 25.74 ± 0.37 의 변동범위로 높은 값을 나타내었다(Table 1). 공간적 분포는 수온과 염분의 복합적인 양상으로 표층에서 19 이하의 저밀도수가 북상하면서 밀도가 증가하나, 10 m와 20 m는 수온과 유사한 복잡한 경향을 보였다. 50 m는 제주 서방 동중국해 해역에서 26 이상의 높은 현장밀도수가 북동진하면서 점차 희석되어 한국서남해역에서 25 이하의 현장밀도를 나타내지만(Fig. 4), 공간적으로 큰 차이 없이 균일한 분포를 보였다.

관측 정점별로 표층에서 저층까지 1 m 간격으로 plotting한 수온, 염분 및 현장밀도를 이용한 T-S diagram 분석 결과, 제주 서북해역의 정점 8, 9, 11, 12의 표층에서는 매우 낮은 염분에 높은 수온을 나타내어 20 이하의 현장밀도를 나타내는 반면, 조사해역의 중앙부에서 남서해역인 동중국해 북부중앙부의 정점 5, 7, 10의 표층에서는 22 이하의 저밀도수를 나타내지만, 중·저층에서는 수심에 따른 수온차이에 의해 동일 수괴의 영향을 받는 것으로 판단되었다(그림에서 숫자는 정점을, 실선은 표층에서 저층까지 수온과 염분의 변화를 나타냄). 저층기준으로는 대부분의 정점에서 수온 11 °C 이하, 염분 33.4 psu 이하로 황해저층 냉수괴 특성을 나타내었다. 또한 수심에 따른 수온, 염분분포가 등밀도선과 수직적 관계로 여름 한국서남해역 수괴는 연직적인 성층으로 안정화되어 있음을 나타내었다(Fig. 5).

3.2 식물플랑크톤 생물량(Chlorophyll a, Chl-a)

Chl-a로 표현되는 식물플랑크톤 생물량은 표층의 경우, $0.87 \mu\text{g}$

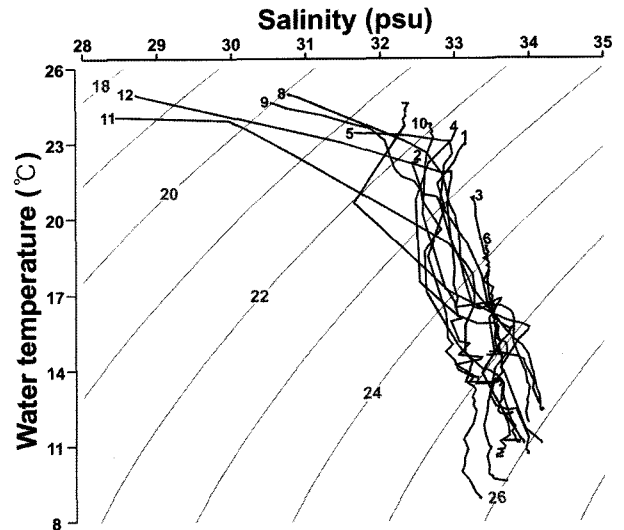


Fig. 5. T-S diagram of the 12 stations in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

/L에서 $2.36 \mu\text{g/L}$ 로 변화하여 $1.21 \pm 0.45 \mu\text{g/L}$ 의 변동범위를 보이는 반면, 수온약층 수심에서 $0.88 \mu\text{g/L}$ 에서 $1.49 \mu\text{g/L}$ 로 변화하여 $1.09 \pm 0.18 \mu\text{g/L}$ 의 변동 범위를 나타내었다. 즉, 2005년 한국서남해역의 Chl-a는 상대적으로 높은 값을 나타내고 있을 뿐만 아니라 수온약층보다 표층에서 높은 생물량을 나타내어 청정 외해역의 일반적인 연직분포와는 반대경향을 나타내었다(Table 2).

공간분포는 표층에서 고온, 저염을 보였던 제주 북서해역과 조사대상 북서쪽인 황해남부 중앙부 해역에서 $1.0 \mu\text{g/L}$ 이상의 높은 Chl-a를 나타내는 반면, 조사해역 남동쪽 정점 12와 중앙에서 북서해역인 정점 2, 4, 5, 7에서 $1.0 \mu\text{g/L}$ 이하의 Chl-a를 나타내었다. 수온약층 인근인 10 m와 20 m 수층에서는 한국연안해역과 조사대상 남서해역에서 $1.0 \mu\text{g/L}$ 이상의 Chl-a를 보이는 반면, 황해남부 중앙부 해역에서 $1.0 \mu\text{g/L}$ 이하의 Chl-a를 나타내었다. 50 m 수층에서는 전체적으로 $1.0 \mu\text{g/L}$ 전후로 균일한 Chl-a를 나타내었다(Fig. 6). 즉 Chl-a는 염분 농도의 수렴해역을 따라 분포경향이 지배되는 양상을 나타내었다(Fig. 3참조)

3.3 해양환경의 연직분포 특성

조사정점 중 일부 정점에 대한 수온, 염분, 현장밀도 및 Chl-a의 연직분포 양상은 정점 1의 경우, 수온은 표층에서 높고 수심의 증가에 따라 감소하나 15 m 인근에서 불연속적으로 변화하여 강한 수온약층을 형성하였다. 염분은 수온약층 상부 수층에서는 표층에서 수심의 증가와 함께 감소하는 경향으로 수온약층 인근에

Table 2. Variation of chlorophyll a concentration at the 4 layers in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005 ($\mu\text{g/L}$).

Layer Items	0m				10 m				20 m				50 m			
	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD	Min	M	Max	SD
Chlorophyll a ($\mu\text{g/L}$)	0.87	1.21	2.36	0.45	0.83	1.06	1.49	0.83	0.88	1.09	1.44	0.18	0.99	1.15	1.28	0.09

Min=Minimum, M=Mean, Max=Maximum, SD=Standard Deviation

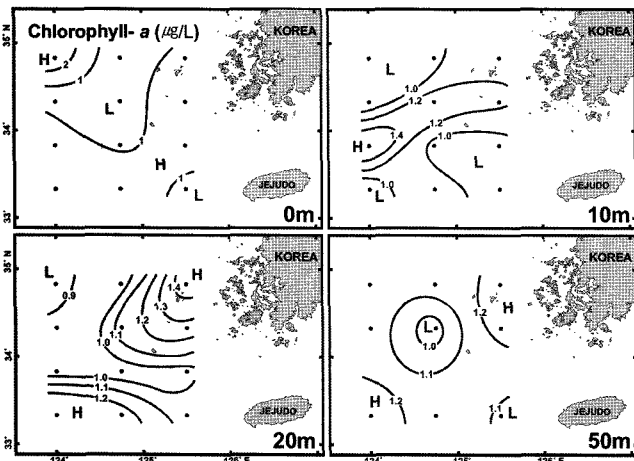


Fig. 6. Horizontal distributions of chlorophyll a concentration at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2004.

서 가장 낮은 염분을 나타내며, 수온약층 하부에서는 수심의 증가와 함께 증가하였다. 현장밀도는 수온약층을 경계로 표층에서는 수온에 의해, 하부 중·저층에서 염분에 의해 지배되었다. Chl-a는 약 5 m 인근까지의 표층에서는 수심 증가와 함께 급격히 감소하나, 5 m 이심에서는 1.0 µg/L 이하로 비교적 균일하였다. 황해남부 중앙부 정점 2의 경우, 수온은 10 m 수심에서 감소하여 15 m 부근에서 강한 약층을 형성하나, 염분은 수온과 반대 경향으로 정점 1과는 다른 양상을 보였다. 현장밀도는 염분에 의해 지배되었으며, Chl-a는 정점 1과는 달리 표층에서 수심의 증가와 함께 증가하여 30 m 수심에서 1.7 µg/L 이상의 높은 생물량을, 그리고 50 m 이심의 저수온 수괴에서 보다 높은 생물량을 보였다. 한국연안해역에 위치하는 정점 6의 연직분포 양상은 모든 항목에서 다소의 정도 차이는 있지만 정점 2와 유사하였다. 조사해역의 중앙부에 위치하는 정점 8의 경우는 수심 9 m 부근에서 강한 수온약

층이 형성되며, 염분의 연직 변화는 정점 2와 유사하였다. 다만 약층의 구배는 수온보다 염분이 더욱 크게 나타났으며, 현장밀도는 수온약층 이하의 수심에서는 수온과 염분의 복합함수로서 표현되었다. Chl-a는 표층에서 20 m 수심까지는 크게 변화가 없으나, 20 m 이심의 수심에서는 수심과 함께 증가하여 30 m 부근에서 최대 1.2 µg/L 이상의 높은 생물량을 나타내었다. 가장 남쪽의 서측 정점인 정점 10에서는 12 m 수심 부근에서 불연속적으로 변화하여 강한 수온약층을 나타내었으며, 염분은 수온과는 반대의 변화양상을 나타내었다. 현장밀도는 정점 8과 같은 분포양상을 보였으며, Chl-a는 극표층에서 다소 높은 생물량을 보이지만, 수심 증가와 함께 감소하여 9 m 부근에서 0.9 µg/L 이하의 최저값을 보인 다음 수심과 함께 증가하여 20 m 수심에서 최대값 1.3 µg/L 이상을 나타내었으나, 22 m 부근에서 급격히 감소한 후 일정한 양상을 보인다 50 m 이심에서 급격히 증가하는 양상을 나타내었다. 남쪽의 정점 12에서는 수온과 염분은 정점 10의 경우와 유사한 경향을 나타내었으나, 현장밀도는 정점 10과는 달리 염분에 지배되었다. Chl-a는 표층에서 약 15 m 부근까지는 0.9 µg/L 수준의 낮은 농도로 일정하지만 15 m 이심에서 수심과 함께 증가하여 35 m 부근에서 1.3 µg/L 내외의 최대값을 보인 후 40 m 수심까지 1.1 µg/L 수준으로 감소한 이후 저층까지 일정한 경향을 나타내었다(Fig. 7).

조사해역의 북쪽과 남쪽의 3개 정점을 동시에 연결한 단면을 각각 E-W Line 1과 E-W Line 2로 설정하여(Fig. 1참조), 단면에서의 연직적 해양환경 특성을 살펴보면, 수온의 경우 북쪽 E-W Line 1 단면은 서측정점의 표층에서 약 15 m 수심까지 20°C 이상의 고수온을 나타내어 동쪽으로 확산될수록 고수온이 표층으로 상승하는 경향을 보이며, 정점 2부근에서 전선을 형성하였다. 저층은 40 m 이심에서 9°C 이하의 냉수괴가 동쪽으로 확산되면서 점차 수온이 증가하여 동쪽 정점 3의 저층에서는 13°C 이상의 수온을 나타내었다(Fig. 8A). 남쪽의 E-W Line 2 단면의 경우, 북쪽 단면과는 달리 동쪽 정점의 표층에서 약 15 m 수심까지 20°C

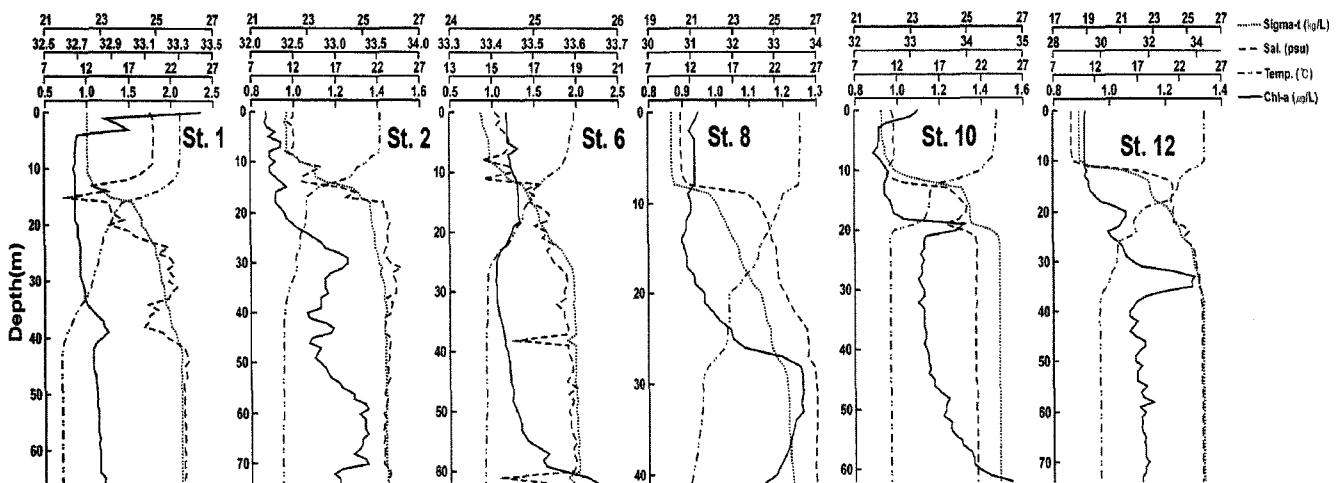


Fig. 7. Vertical profiles of water temperature, salinity, density and Chlorophyll a concentration at six stations in the South Sea of Korea in early summer 2004.

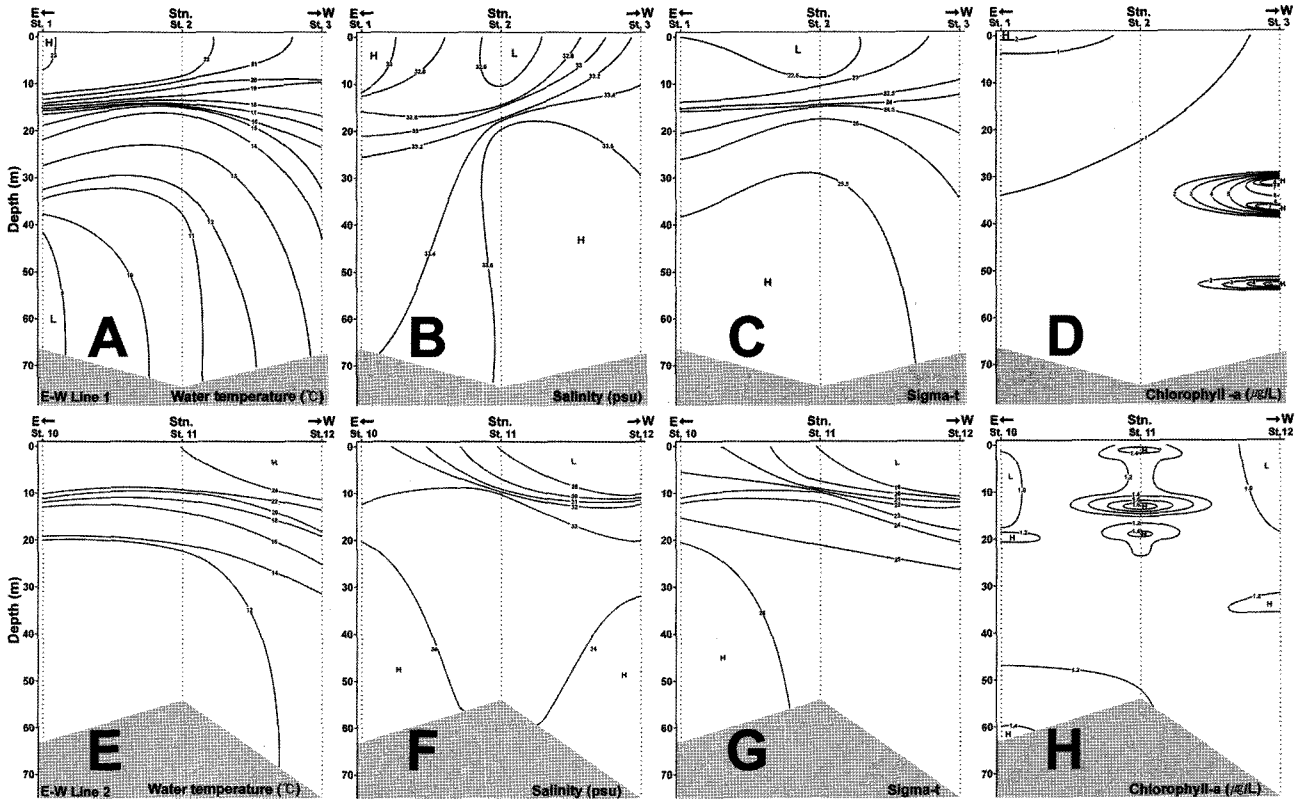


Fig. 8. Vertical profiles of water temperature, salinity, sigma-t and chlorophyll a concentration at the E-W Line 1 and E-W Line 2, located north and south part of survey area in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

이상의 고수온을 나타내어 서쪽으로 확산될수록 고수온 해수가 표층으로 상승하는 양상을 보였으나, 그 경향은 북쪽보다는 약하였다. 저층에서는 서쪽 정점을 중심으로 20 m 이심에서 12 °C 이하의 저수온이 매우 광범위하게 분포하나, 동측 정점에서 급격히 수온이 상승하는 양상을 나타내었다(Fig. 8E). 염분은 E-W Line 1 단면의 경우, 서쪽정점의 표층에서 약 12 m 수심까지 32.8 psu 이상을 나타내는 것을 제외하면, 고수온해역에서 32.8 psu 이하의 저염을 나타내나, 동쪽으로 확산될수록 저염수는 표층으로 몰리나고, 동쪽 표층에서 염분은 33.2 psu 이상을 나타내었다. 냉수를 보였던 30 m 이심에서의 염분은 33.4 psu 이하이나, 동쪽 저층의 고수온해역에서는 33.6 psu 이상의 고염을 나타내었다(Fig. 8B). E-W Line 2 단면의 염분은 고수온을 보였던 동쪽정점의 10 m 이내의 수심에서는 32 psu 이하의 저염으로 서쪽으로 확산하면서 표층으로 상승하는 경향을 보였으며, 동쪽 정점의 표층에서는 29 psu 이하의 염분을 나타내었다. 그러나 저층의 중앙부는 중·저층이 혼합된 양상으로, 동쪽과 서쪽 모두에서 34 psu 이상의 높은 염분을 나타내었다(Fig. 8F). 현장밀도는 E-W Line 1 단면과 E-W Line 2 모두에서 20 m 이내의 표층은 24 이하의 밀도 농도로서 염분과 유사한 분포 양상을 나타내었으나, 20 m 이상의 중·저층은 25 이상의 높은 밀도수가 광범위하게 존재하였다(Fig. 8C, G). Chl-a는 E-W Line 1 단면에서는 고온, 저염을 나타냈던 표층에서 1 µg/L 이상의 높은 생물량을 나타내나, 약층이 형성되는 수심에서는 1 µg/L

이하로 낮고, 약층 하부에서 1 µg/L 이상의 생물량을 나타내었다. 특히 동측 정점에서는 30 m 이상의 수심에서 5 µg/L 이상의 패치형 분포를 나타내었다(Fig. 8D). 남쪽의 E-W Line 2 단면은 북쪽과는 달리 전체적으로 고온, 저염해역의 표층에서 1 µg/L 이하의 생물량을 보이는 반면, 중앙부 정점에서는 표층에서 20 m 수심까지 전선역의 혼합 수층에서 1.2 µg/L 이상의 높은 생물량을 나타내었으며, 특히 수온약층 하부에서 1.5 µg/L 이상의 생물량을 나타내었다(Fig. 8H).

다음에는 조사해역의 서쪽과 동쪽의 4개 정점을 남북으로 연결한 단면을 각각 N-S Line 1과 N-S Line 2로 설정하여(Fig. 1참조), 단면에서의 수온, 염분, 현장밀도 및 Chl-a 량의 연직분포 특성을 살펴보면, N-S Line 1 단면은 남쪽정점 7의 표층에서 24 °C 이상의 고수온을 나타내는 것을 제외하면 약 12 m 이내의 수심까지 22 °C 이상의 높은 수온으로 전체 단면에서 균일하나, 약 15 m까지 16 °C로 급격히 하강하여 2 °C/m 이상의 수온 구배로 강한 수온약층을 나타내었다. 그리고 북쪽정점을 중심으로 40 m 이심에서는 10 °C 이하의 냉수괴가 출현하였다(Fig. 9A). 동측의 N-S Line 2 단면은 남쪽정점을 중심으로 표층에는 24 °C 이상의 높은 수온으로 정점 6의 표층에서 전선이 형성되었다. 그러나 약 22 m 수심에서는 전체 단면에서 16 °C 전후의 균일한 분포양상을, 그리고 40 m 이심에서는 북쪽과 남쪽 정점에서 14 °C 이하의 수온을 나타내었다(Fig. 9E). 염분은 N-S Line 1 단면의 경우, 약 20 m 수심에서 전

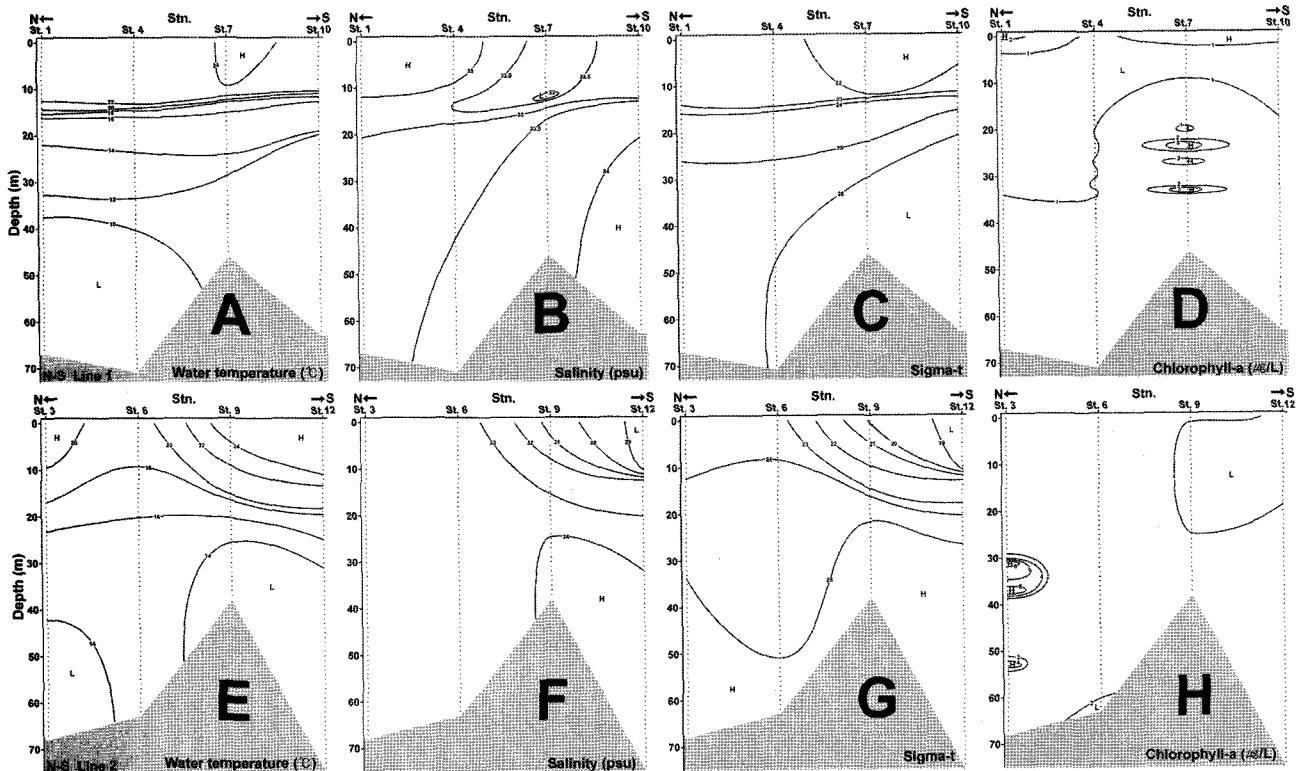


Fig. 9. Vertical profiles of water temperature, salinity, sigma-t and chlorophyll *a* concentration at the N-S Line 1 and N-S Line 2, located west and east part of survey area in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

체단면에 33 psu로 균일한 농도를 나타내는 것을 기준으로 위쪽의 표층은 북쪽에 33 psu 이상의 상대적 고염 패치가 분포하는 반면, 남쪽정점에서는 32.5 psu 이하의 저염을 나타내었다. 반면 20 m 이심은 남쪽에서 높은 염분을 보였고, 북쪽에서 낮은 염분을 나타내었다(Fig. 9B). 동쪽의 N-S Line 2 단면에서는 서쪽과는 달리 북쪽정점은 표층에서 저층까지 혼합된 특성을 나타내지만, 남쪽정점은 표층에서 29 psu 이하의 저염분이 수심 증가와 함께 증가하여 20 m 수심에서 33 psu의 염분을 나타내었다. 그리고 30 m 이심의 저층에서는 34 psu 이상의 고염을 나타내었다(Fig. 9F). 현장 밀도의 경우는 N-S Line 1과 N-S Line 2 단면 모두에서 20 m 이내의 표층은 24 이하의 농도로서 수온과 염분의 복합함수의 형태를 보이거나, 20 m 이상의 중·저층은 24 이상의 높은 농도가 광범위하게 분포하며, 서측 단면의 남측정점 저층에서는 25 이하의 농도를 나타내었다(Fig. 9C, G). Chl-*a*의 경우 N-S Line 1 단면에서는 극표층에서 1 µg/L 이상의 높은 생물량을 보이지만, 아표층에서는 1 µg/L 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 그러나 북쪽의 정점 1과 4 사이의 30 m 수심과 정점4에서 10 m 사이의 10 m 이심의 중·저층에서는 1 µg/L 이상의 생물량으로 높아졌다. 특히, 정점 7의 중·저층에서는 1 µg/L 이상의 폐치상 분포를 나타내었다(Fig. 9D). 그리고 N-S Line 2 단면은 북쪽의 정점 1의 35 m 이상의 수심에서 1 µg/L 이상의 폐치상 생물량을 보이는 것과 남쪽 정점 9와 19 표층에서 1 µg/L 이하의 낮은 생물량을 보이는 것을 제외하면 전체적으로 1 µg/L 전후의 균일한 생물량 분포를 나타내었다(Fig. 9H)

3.4 식물플랑크톤 군집

3.4.1 종조성

2005년 6월 한국서남해역의 표층과 수온약층에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종을 Tomas(1997)의 분류체계에 따라 정리하면, 26속 40종으로 단조로운 종조성을 나타내었다. 분류군별로는 규조류가 18속 26종으로 65.0%를 점유하였고, 다음이 외편모조류가 8속 14종으로 35.0%의 점유율을 나타내었다. 수층별로는 표층에서 23속 33종으로 규조류가 16속 20종(60.6%), 외편모조류가 7속 13종(39.4%), 수온약층 해역에서 19속 27종으로 규조류가 13속 19종(70.4%), 외편모조류가 6속 8종(29.4%)을 나타내어 표층이 수온약층보다 다양한 종출현 특성을 보였으며, 규조류에 의한 점유율이 높게 나타났다(Fig. 10).

출현종의 공간분포는 표층에서 1종에서 17종으로 출현하여 공간적 분포차이가 크며, 한국연안에 가장 가까운 정점 6에서 17종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 그러나 전체적으로는 남쪽과 동쪽 관측선의 정점에서 북쪽과 서쪽 및 중앙 관측선의 정점보다 다소 높은 출현종을 나타내었다. 수온약층은 출현종 확인이 안된 정점에서부터 최대는 10종까지 출현하였으며, 남쪽 관측선 중 제주 서쪽정점에서 10종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 전체적으로는 표층과 유사하여 가장 남쪽과 동쪽에 위치하는 관측선의 정점에서 상대적으로 높은 출현종 특성을 나타내었다(Fig. 11).

3.4.2 현존량

식물플랑크톤 현존량은 표층에서 5 cells/L에서 3.8×10^3 cells/L

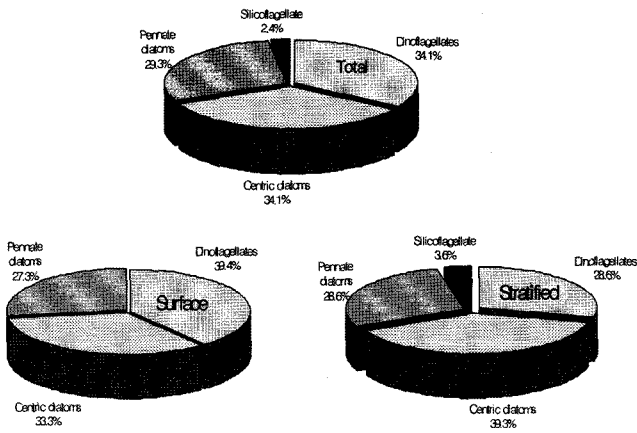


Fig. 10. Species compositions of phytoplankton at surface (left) and thermocline layer (right) in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

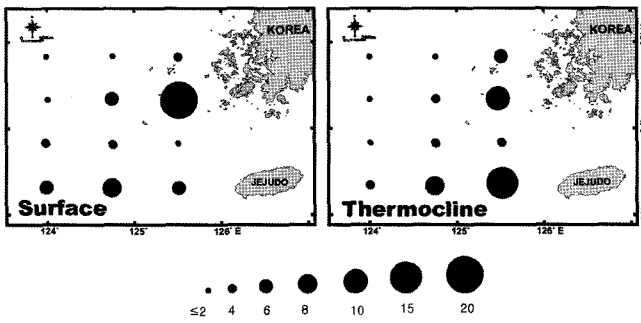


Fig. 11. Horizontal distributions of phytoplankton species numbers at surface(left) and thermocline layer (right) in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

범위로 변화하여 낮은 출현밀도를 보이나, 공간적으로는 매우 불균일한 패치상 분포를 나타내었다. 수온약층에서의 식물플랑크톤 현존량은 정점 3과 정점 4에서는 출현하는 식물플랑크톤 종이 확인이 되지 않은 반면, 정점 12에서는 1.1×10^3 cells/L의 밀도로 출현하여 표층과 같이 출현 밀도는 낮지만 공간적 분포 양상은 심한 패치분포 상을 나타내었다. 공간적으로는 표층의 경우, 많은 종이 출현하였던 정점 6과 정점 11에서 상대적으로 높은 10^3 cells/L 이상의 세포밀도를 보이는 반면, 기타의 정점에서는 정점 5에서 285 cells/L를 제외하면 모두 100 cells/L 이하의 매우 낮은 현존량을 나타내었다. 수온약층의 경우도 출현종이 많았던 남쪽 단면의 제주 연안해역의 정점 12에서 1,000 cells/L 이상의 세포밀도를 보이는 것과 한국서해남부의 정점 6에서 325 cells/L를 보이는 것을 제외하면 100 cells/L 이하의 매우 낮은 세포밀도를 나타내었다(Fig. 12).

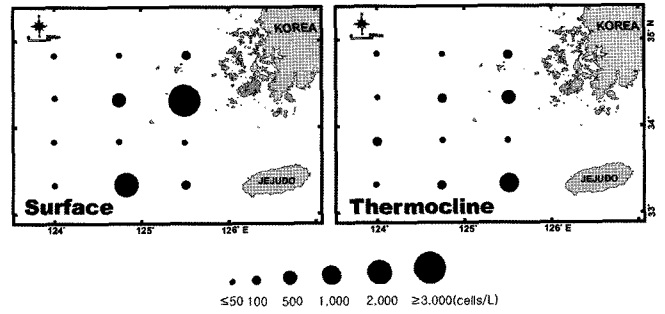


Fig. 12. Horizontal distributions of phytoplankton standing crops at surface (left) and thermocline layer (right) in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

3.4.3 우점종

이른 여름 한국서남해역의 식물플랑크톤 군집에서 전체 정점 평균으로 5%이상 점유율을 나타내는 우점종으로 정리하면, 표층에서는 중심목 구조류인 *Paralia sulcata*와 외편모조류인 *Scrippsiella trochoidea*가 제1, 제2 우점종으로 각각 59.5%와 30.7%의 우점율로 합 90.2%의 우점율을 나타내었다. 수온약층에서는 표층과는 달리 중심목 구조류인 *Skeletonema costatum*와 *Paralia sulcata*가 각각 39.7%와 32.9%로 합 72.6%의 우점율을 나타내었다(Table 3).

3.5 주성분분석에 의한 한국서남해의 해양환경과 식물플랑크톤 출현 특성

표층의 수온, 염분, 현장밀도, Chl-a, 식물플랑크톤 분류군별 현존량 및 우점종을 대상으로 주성분 분석을 실시하여 고유값 1.0을 기준으로 주성분을 도출하면 다음의 (1)과 같은 식을 얻었다.

$$Z = 3.793 Z_1 + 3.119 Z_2 + 1.3031.99 Z_3 \quad (AP = 91.28 \%) \quad (1)$$

단, 여기서 Z_1, Z_2, \dots 는 각 주성분, AP는 누적 기여율을 나타낸다. 분석결과 제3주성분까지 종합 특성값을 도출할 수 있었으나, 제2주성분까지의 누적기여율이 76.8%를 나타내기에 해석에는 제2주성분까지 만을 이용하였다.

상관행렬로부터 수온은 염분과 음의 관련성으로 -0.646을 나타내어, 담수의 영향을 받는 연안수에서 고수온을 나타내는 것으로 표현되었다. 그리고 Chl-a는 수온에 -0.789, 염분과는 0.978의 상관관계를, 식물플랑크톤 분류군과의 관련성에서는 규조류와 양의 상관으로 0.444, 외편모조류와 음의 상관으로 -0.504를 나타내어, 저온·고염의 해수에 규조류에 의한 점유도가 높은 해역에서 높은 생물량을 나타내는 것으로 나타났다. 또한 규조류는 수온에 -0.751

Table 3. Dominant species of phytoplankton at surface and thermocline layer in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005

Surface		Stratified Layer	
Dominant species	Dominance(%)	Dominant species	Dominance(%)
<i>Paralia sulcata</i>	59.5	<i>Skeletonema costatum</i>	39.7
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	30.7	<i>Paralia sulcata</i>	32.9

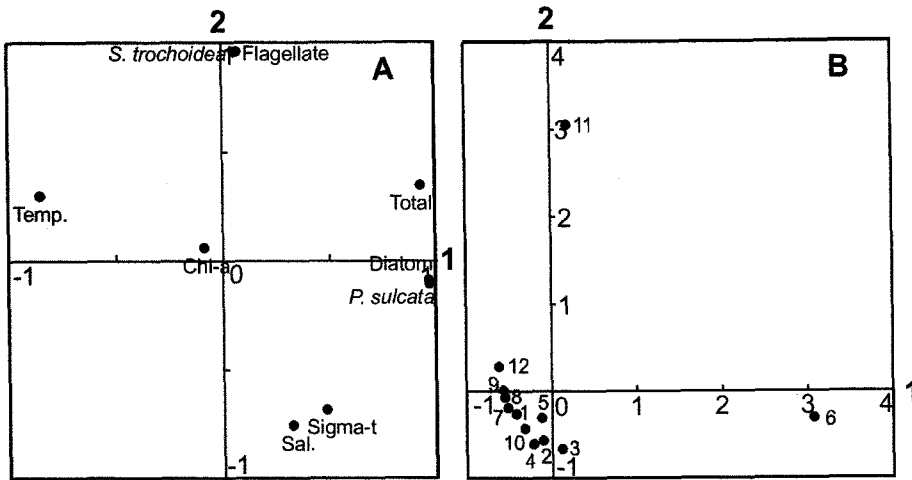


Fig. 13. Distribution of loading factor (left) and score (right) resulted from principal component analysis (PCA) on the environmental factors and phytoplankton standing stock of the surface in the Southwestern Sea of Korea in early summer 2005.

의 관련성을 나타내는 반면, 염분과는 양의 상관관, 외편모조류는 수온과는 약하나 양의 상관관을 보이는 반면, 염분과는 -0.589의 음의 상관관을 보여 규조류와 외편모조류의 출현특성이 달랐다.

주성분분석 결과의 인자부하량의 분포로부터 제1 주성분은 전체 식물플랑크톤 현존량, 규조류 현존량 및 규조류 우점종의 현존량과 강한 양의 관련성을 보이는 반면, 수온과는 음의 관련성을 나타내는 것으로부터, “저수온 수괴에서 규조류 출현을 결정하는 요인”으로, 제2 주성분은 외편모조류 및 외편모조류 우점종의 현존량과 강한 양의 관련성을 보이는 반면, 염분과 현장밀도와는 강한 음의 관련성을 보이는 것으로부터, “저염수괴를 중심으로 하는 식물성 편모조류 출현을 결정하는 요인”으로 판단되었다(Fig. 13A). 득점분포로부터 규조류에 의해 지배되는 정점 6과 외편모조류에 의해 지배되는 정점 11를 제외하면 모두가 낮은 생물량에 보다 고온, 고염을 표현하는 하나의 정점 group으로 구분할 수 있었다 (Fig. 13B).

4. 고 찰

2005년 이른 여름 한국서남해역 및 동중국해의 북부해역의 수괴분포는 조사해역 남방과 동쪽 북부해역에 광범위한 분포를 보이는 고온·저염의 수괴, 조사해역 중앙부에서 서측의 고온·고염의 수괴, 서측저층에 출현하는 저온·저염의 수괴 및 저층 동측 및 남측의 고온·고염의 수괴 등 표층과 저층에서 각각 2개의 이질적 수괴의 분포를 확인할 수 있었다. 이중 표층의 고온·저염 수괴는 수온과 염분의 변동범위, 양자강 희석수의 확산시기 및 경로(Beardsley et al.[1985], Milliman et al.[1985], 김과 노[1995], 김 등[1998]) 등으로부터 양자강 희석수의 확장에 의한 영향으로 판단되었으며, 한국남동해역의 고온, 고염 수괴는 수괴특성으로부터 전형적인 쓰시마난류의 세력으로 판단되었다(表[1985], Kondo[1985], Hu[1986], 송[1992], 이[1999], 신 등[2001]). 그리고 25 m 보다 깊은 수심에서 보이는 14°C 이하의 저수온 수괴는 황해저층냉수괴의 확장에 의한 영향으로 판단되었으며(Hu[1986], Hu et al.[1991]), 고온·고

염의 수괴는 쓰시마난류 수괴로 표, 저층 모두에서 3개의 이질적 수괴가 출현하는 것으로 판단되었다. 조와 김[1994]은 여름철 한국남해 중앙부의 저층에 형성된 14°C 이하 저수온이 남해에서 자체적으로 생성된 것이 아니라 한국남해 서쪽에서 유입되는 것으로 추정하는 것이나, 이[1999]가 제주도를 포함하는 광역적인 남해 조사에서 표층해수는 대마난류와 양자강 희석수에 의해, 저층해수는 대마난류와 황해냉수괴에 의해 지배되고 있음을 지적하는 내용과 유사한 결과로 황해저층냉수는 여름 남해 중앙부까지 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있었다. 즉, 2005년 이른 여름 한국서남해역의 해황은 양자강 발원의 양자강 희석수가 남하하다, 표층을 북상하는 쓰시마난류에 한국남서부 해역으로 이동되어 일부는 황해중앙부로, 일부는 제주해협으로 이동하는 것으로 판단되었다. 즉, 이와 같은 내용은 Beardsley et al.[1985]가 기존문헌(Niino and Emery [1961]; Mao and Guan[1982])에 요약된 동중국해의 일반적 해류순환에 중국과 미국의 공동 사업에 의해 양자강 하류 해역에서 1980년과 1981년 여름과 겨울의 조사결과를 이용하여 동중국해 및 황해의 해수순환패턴을 정리한 내용(Fig. 14A)이나, Lie and Cho[2002]가 제주연안에서 대한/쓰시마 해협을 통과하는 해류를 쓰시마 난류 (TWC), 제주서안을 시계방향으로 돌아 제주해협을 통과하는 해류를 제주난류(CWC)로 구분하는 것과 주로 겨울에 제주난류에서 황해 쪽으로 북서진하는 흐름을 YSIF로 정의하면서 쓰시마 및 제주난류와 양자강 희석수 사이에는 광범위한 shelf front가 형성되는 것(Fig. 14B)으로 보고하는 내용과도 일치한다. 그러나 2005년 6월 여름 황해중앙부에 저층냉수괴가 광범위하게 분포하고 있음에도 불구하고, 겨울철 보여 지는 Lie and Cho[2002]의 YSIF로 정의되는 해수가 황해남부의 중앙부 해역에 출현하는 특성을 보였다(윤 등[2006]).

식물플랑크톤 생물량(Chl-a 농도)의 수층과 공간에 따른 분포 양상은 정점에 따라 다소 차이는 있지만, 표층보다 아표층에서 높았으며, 용승이 발생하는 남해중앙부해역과 제주서쪽의 양자강 희석수의 영향을 받는 수역에서 높았다. 즉, 동중국해의 경우 일반적으로는 수온약층과 Chl-a 최대층은 일치하여 관측되나(윤 등

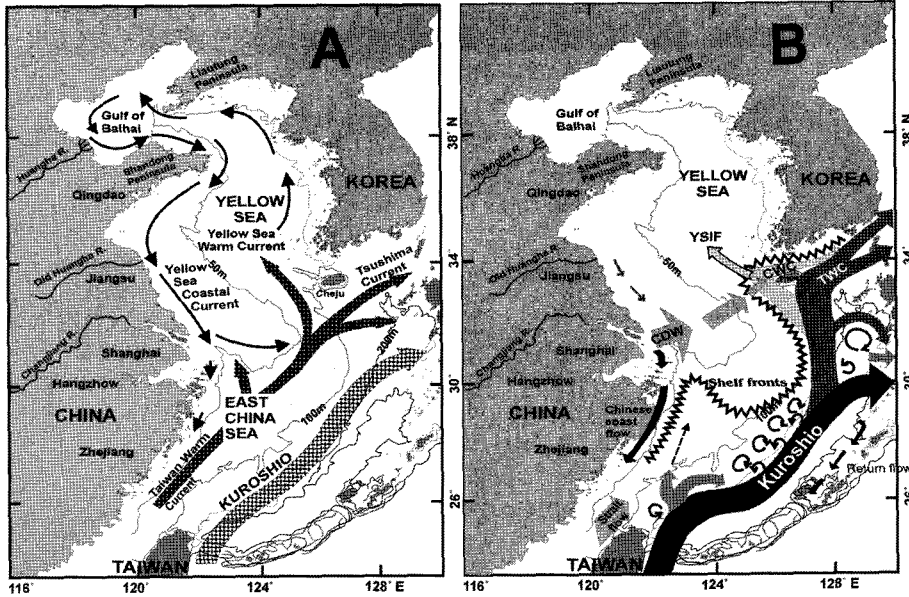


Fig. 14. Schematic of regional circulation in the East China Sea and Yellow Sea (A by Beardsley *et al.* (1985); B by Lie and Cho(2002)).

[2003], [2005]), 2005년 한국서남해역은 대부분의 정점에서 수온 불연속선의 상부보다는 하부의 수층에서 보여졌다. 특히 일부 황해저층냉수괴의 영향을 받는 정점에서는 수온약층보다 저층에 가까울수록 높은 생물량을 나타내고 있었다. 이와 같은 결과는 저수온의 저층에 높은 부유물질량에 의해 사용된 관측기기의 특성에 따른 오차에 의해 발생하는 것으로 판단되었다. 그리고 용승/전선역과 남해서측에서 높은 Chl-a를 보이는 것은 한국남해의 경우 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양염류가 양자강 희석수에 크게 의존하고 있기 때문이다(Edmond *et al.*[1985], Aoyama and Hayashi [1988], 양과 김[1990], 이[1999], 윤 등[2003], [2005]).

2005년 여름 한국남서해역의 식물플랑크톤 군집은 기존의 한국서남해역이나 제주연안(Shim and Park[1984], 김과 윤[1997])과 비교하여 매우 단순로운 종조성을 나타내며, 공간적으로는 중국대륙연안연안수와 쓰시마난류 사이에 형성된 전선과 밀접한 관련성을 나타내었다(Kondo[1985]). 다만, 단순한 종조성을 나타내는 결과에 대해서는 방법론에 의한 결과도 포함된다.

그리고 외편모조류 *Scrippsiella trochoidea*에 의한 우점현상은 해역은 다소 다르나, Lu[1991]가 외편모조류를 지표종으로 동중국해의 해역특성을 파악하여 양자강 하구해역은 계절에 따라 양자강 연안수, 황해기원인 저염의 연안수와 Kuroshio 기원수가 그 범위를 달리하나, 연안수와 Kuroshio 기원수 사이 전선역에 *Prorocentrum triestinum*이나 *Ceratium fusus* 등 유각 외편모조류가 우점한다는 내용과 Kamiyama[1991]가 크기에 따른 식물플랑크톤의 분포에 의해 동중국해 해역을 검토하여 전선역을 중심으로 높은 생물량과 종 특성을 달리한다는 결과 및 윤 등[2003]이 제주서방에서 양자강 사이 해역에서 연안수는 규모에 의한 우점하여 높은 현종량을 나타내나, 전선역에서 *Prorocentrum donghaiense* 등 외편모조류에 의한 우점이 보인다는 결과 등과 중은 다소 다르나 유사한 내용이다. 즉, 하절기 동중국해 식물플랑크톤 군집에

서 외편모조류의 우점현상은 일시적 현상이라기보다 해역의 특성을 표현하는 것으로 인식할 수 있었다. 다만 표층에 보이던 외편모조류 우점종이 수온약층에서는 보이지 않고 규조류에 의해 점유되는 것은 수온약층의 식물플랑크톤이 대부분 상부에서 침강되어 축적된 생물군에 의해 구성되고 있음을 의미하는 것으로도 판단할 수 있었다.

그러나 여름 동중국해에서 관찰되는 남조류의 대발생(Nagasawa and Marumo[1967])이나, 제주서쪽해역에서 최근 보고되는 외편모조류, *Prorocentrum donghaiense*에 의한 적조(Lu *et al.*[2002], 윤 등[2003], Tang *et al.*[2006]) 등은 관찰되지 않았다.

주성분분석 결과 2005년 여름 규조류는 수온($r=0.448$ (표층), 0.586 (수온약층), 이하 동일 방법)에 의해 기술>과 염분($r=0.340$, 0.470)에 양의 상관관계를 나타내지만 저층에서 현장밀도와는 음의 상관(-0.559)을 보여 주로 고온·고염인 쓰시마난류 해역에서 출현되는 반면, 식물성 편모조류는 환경요인과 뚜렷한 관련성을 보이지 않았다. 다만 표층의 전체 식물플랑크톤 현존량과 생물량은 편모조류에 의해 크게 지배되었으며, Chl-a 농도는 수온($r=-0.588$, -0.479)과 염분($r=-0.360$, -0.532)에 강한 음의 상관관계를 보여, 식물플랑크톤 생산이 한국 및 중국대륙연안수의 확장에 의해 크게 지배되는 결과(Edmond *et al.*[1985], Aoyama and Hayashi[1988], 이[1999])를 증명하였다(Fig. 13참조). 특점분포에서도 2005년 여름 한국서남해역의 해황은 표층과 저층에서 다소 차이는 있으나, 수괴분포에서 보여준 중국대륙 및 한국연안수의 확장과 황해저층냉수 및 쓰시마난류의 세력에 의해 지배되는 것으로 나타났지만(Kondo[1985], Hu *et al.*[1991], 이[1999], 윤 등[2003]), 해황과 같이 수괴에 따른 구분은 명확하지 않았고, 조사 영역이 제한되어 점정 6과 정점 11을 제외하고는 식물플랑크톤 군집에서는 모든 정점에서 출현하는 수괴의 혼합된 특성을 나타내었다.

참고문헌

- [1] 김대일, 윤양호, 1997, “식물플랑크톤 군집으로 본 초겨울 한국 남서해역의 환경특성”, 여수수대 수과연보, 6, 85-93.
- [2] 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998, “1996년 여름철 남해 표층수의 이상 저염수 현상과 영양염류의 분포 특성”, 한국해양학회지(한해지) 바다, 3, 165-169.
- [3] 김인옥, 노홍길, 1995, “제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구”, 한국수산학회지(한수지), 27, 515-528.
- [4] 승영호, 1992, “한반도 주변의 수괴와 해수순환”, 한해지, 27, 324-331.
- [5] 신희렬, 황상철, 박종흠, 2001, “대한해협과 동중국해의 해황과 수괴의 계절분포: 대기에 의한 냉각효과 보정”, 한국지구교육학회지, 22, 47-64.
- [6] 양영진, 노홍길, 김상현, 1998, “한국 남, 서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선”, 한수지, 31, 695-706.
- [7] 양한섭, 김성수, 1990, “한반도 근해의 해류와 해수특성 II. 여름철 제주도 주변해역 중저층에 출현하는 수괴의 지리적 분포와 화학적 특성”, 한수지, 24, 177-184.
- [8] 윤양호, 박종식, 노일현, 박영균, 김동영, 서호영, 황두진, 정순범, 김용주, 신형호, 2006, “강수기 양자강 하구 주변 표층해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집 분포 특성”, 전남대 수과연 논문집, 14(2), 36-48.
- [9] 윤양호, 박종식, 박영균, 서호영, 황두진, 2005, “이른 여름 동중국해 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포 특성”, 한국해양환경공학회지, 8, 100-110.
- [10] 윤양호, 박종식, 서호영, 황두진, 2003, “중국해 식물플랑크톤 군집의 공간분포와 외편모조류 적조”, 환경생물, 21, 132-141.
- [11] 이동섭, 1999, “여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성”, 한해지바다, 4, 371-382.
- [12] 조양기, 김구, 1994, “여름철 남해 저온수의 특성과 기원”, 한해지, 29, 414-421.
- [13] 依悟, 1985, “東シナ海陸棚域の特性”, 海洋科學, 17, 611-620.
- [14] 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 “沿岸環境マニュアル(底質・生物編)”, 恒星社厚生閣, 東京, 144-147.
- [15] 宇田道隆, 大坪久泰, 1958, “東シナ海潮境漁場の海洋學報告”, 對馬暖流開調査報告書, 第4輯(海況, 漁況編), 水産, 535-539.
- [16] Aoyama, T. and Hayashi, K., 1988, An analysis of potential yield from the viewpoint of primary production in the East China Sea, In “Go, Y.B.(eds), On development of marine resources and international cooperation in the Yellow Sea and the East China Sea. Marine Res. Inst., Cheju Nat'l Univ.”, 97-111.
- [17] Beardsley, R.C., Limeburner, R., Yu, H. and Cannon, G.A., 1985, “Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea”, Continental Shelf Res., 4, 57-76.
- [18] Chihara, M. and Murano, M., 1997, An illustrated guide to marine plankton in Japan, Tokai University Press, Tokyo, 1574pp. (in Japanese)
- [19] Edmond, J.M., Spivack, A., Grant, B.C., Hu, M.H., Chen, Z., Chen, S. and Zeng, X., 1985, “Chemical dynamics of the Changjiang estuary”, Continental Shelf Res., 4, 17-36.
- [20] Hu, D., 1986, “Signature of El Nino in the East China Sea”, IOC Tech. Ser., Time Series of Ocean Measurements, 3(31), 43-50.
- [21] Hu, D., Cui, M., Li, Y. and Qu, T., 1991, “On the Yellow Sea cold water mass-related circulation”, Yellow Sea Res., 4, 17-36.
- [22] Kamiyama, H., 1991, “The correlation between appearance of phytoplankton and the sea condition”, Umi to Sora. 67, 153-161. (in Japanese)
- [23] 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. (in Japanese)
- [24] Lie, H.-J. and Cho, C.-H., 2002, “Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea”, Fish. Oceanogr., 11, 318-328.
- [25] Lu, D., 1991, “Distribution of indicator dinoflagellates in the East China Sea”, Acta Oceanologica Sinica, 11, 109-122.
- [26] Lu, D., Goebel, J., Qi, Y., Zou, J. and Gao, Y., 2002, “*Prorocentrum donghaiense* - a high biomass bloom-forming species in the East China Sea”, Harmful Algae News, 23, 1-5.
- [27] Mao, H.L. and Guan, B., 1982, “A note on the circulation of the East China Sea”, Chinese J. Oceanogr. Limn., 1, 5-16.
- [28] Milliman, J.D., Shen, H.T., Yang, Z.S. and Meade, R.H., 1985, “Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf”, Continental Shelf Res., 4, 37-45.
- [29] Mio, S., Tagawa, M., Shinohara, F. and Yamada, U., 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)
- [30] 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)
- [31] Nagasawa, S. and Marumo, R., 1967, “Taxonomy and distribution of *Thrichodesmium* (Cyanophyceae) in the Kuroshio waters”, Infor. Bull. Plankton. Japan. Com. No. Dr Y. Mastue's 60th Birth., 139-144. (in Japanese)
- [32] Niino, H. and Emery, K.O., 1961, “Sediments of shallow portions of East China Sea and South China Sea”, Geological Soc. Ame. Bull., 72, 731-762.
- [33] Rho, H.K., 1985, “Studies on marine environment of fishing grounds in the waters around Cheju Island”, Ph.D Thesis of Tokyo Univ., 215pp. (in Japanese)
- [34] Rho, H.K. and Pang, I.C., 1995, “Seasonal variations of water mass distributions around Cheju Island”, in “Japan/Korean joint study on biogeography in and around the Tsushima current regions, 科學技術補助金(國際

- 學術研究-04045042) 研究成果報告書”, 9pp. (in Korean)
- [35] SCOR-Unesco, 1966, Determination of photosynthetic pigments, In “Unesco(eds), Determination of photosynthetic pigments in the sea-water. Paris”, 10-18.
- [36] Shim, J.H. and Park, Y.C., 1984, “Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the Southwestern sea of Korea in early summer”, J. Oceanogr. Soc. Korea, 19, 68-81.
- [37] Tang, D., Di, B., Oh, I.S. and Li, J., 2006, “Analysis of historical records of harmful algae blooms (HABs) for the South Yellow Sea and the East China Sea”, 2006년 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집, 246-249.
- [38] Thronsen, J., 1978, Preservation and storage, In “Sournia A(ed). Phytoplankton manual, Unesco, Paris”, 69-74.
- [39] Tomas, C.R., 1997, Identifying marine phytoplankton, Academic Press. London, 858pp.
- [40] Yang, H.S. and Kim, S.S., 1990, “A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula 1. Physical processes influencing the surface distributions of chlorophyll and nutrient in the Southern Sea of Korea in summer”, Bull. Korean Fish. Soc., 23, 417-424.

2007년 5월 4일 원고접수

2007년 8월 13일 수정본 채택