

이른 여름 동중국해 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성

윤양호[†] · 박종식 · 서호영¹ · 황두진²

여수대학교 해양시스템학부, ¹여수대학교 수산생명과학부, ²여수대학교 해양생산학과

On the Marine Environment and Distribution of Phytoplankton Community in the Northern East China Sea in Early Summer 2004

Yang Ho Yoon[†], Jong Sick Park, Ho Young Soh¹ and Doo Jin Hwang²

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

¹Division of Aqua-life Science, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

²Dept. of Fisheries Science and Technology, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

요 약

2004년 이른 여름 한국남해 및 동중국해 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성을 파악하기 위해 2004년 6월 동중국해 북부해역인 한국남해 해역을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 결과 동중국해 북부해역은 3개의 서로 다른 수괴 세력에 의해 해양환경이 지배되고 있었다. 이른 한국남해를 포함하는 동중국해 북부해역에 영향을 주는 수괴는 저온, 저염으로 제주서쪽해역의 표층에 강한 세력을 확장하는 중국대륙연안수와 저온, 저염 및 고밀도로 제주서쪽 저층에 탁월한 황해저층냉수 그리고 고온, 고염 특성으로 제주 동쪽과 한국남동해역에 넓게 분포하는 쓰시마난류수로 구분되었다. 각 수괴 사이에는 불연속면에 의한 수온약층과 전선이 형성되었으며, 수온 및 밀도 약층은 정점에 따라 5 m에서 30 m 수심에, 용승에 의한 전선은 여수, 고흥반도 인근인 남해중앙부 해역에서 관찰되었다. 식물플랑크톤 군집은 26속 44종으로 매우 단조로운 종조성을 나타내었으며, 외편모조류인 *Prorocentrum triestinum*과 *Scrippsiella trochoidea*에 의해 우점하였다. 식물플랑크톤 현존량은 100 cells/L에서 10,800 cells/L 범위로 변화하였으나, 표층이 서중해역보다 높은 현존량을 나타내었다. 규조류는 쓰시마난류역에 주로 출현하는 반면, 편모조류는 저염을 나타내는 해수와 전선역에서 출현하는 특성을 보였고, 전체 현존량 및 생물량은 편모조류에 의해 지배되었다. 식물플랑크톤 생물량(Chl-*a*)은 0.09 µg/L에서 2.59 µg/L로 변화하였으나, 현존량과는 달리 수온약층이나 아표층에서 표층보다 높은 생물량을 나타내었으며, 중국대륙연안수의 확장에 의해 생산이 지배되는 특성을 나타내었다.

Abstract – We carried out a study on the marine environment and distribution of phytoplankton community, such as chlorophyll *a*, species composition, dominant species and standing crops in the Northern East China Sea during early summer of 2004. According to the analysis of a T-S diagram, three characteristics of water masses were identified. We classified them into the coastal water mass, the cold water mass and the oceanic water mass. The first was characterized by the low temperature and the low salinity originated from China territory, the secondary was characterized by the low temperature, the low salinity and the high density originated from bottom cold water of Yellow Sea, and the third was done by the high temperature and salinity originated from Tsushima warm current. The internal discontinuous layer among them was formed at the intermediate depth (about 5~30 m layer). And the thermal front by upwelling region between the cold water mass and Tsushima warm current appeared in the central parts of the South Sea of Korea. The Phytoplankton community in the surface and stratified layers was a total of 44 species belonging to 26 genera. Dominant species were *Prorocentrum triestinum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Skeletonema costatum* & *Leptocylindrus mediterraneus*. Standing crops of phytoplankton in the surface layer fluctuated between 0.3×10^3 cells/L and 10.8×10^3 cells/L. Diatoms appeared mainly in the Tsushima warm current regions, and flagellates occurred in the frontal zone and the low

[†]Corresponding author: yhyoon@yosu.ac.kr

salinity regions where was the transfer areas of Chinese continental coastal waters. Chlorophyll *a* concentration by controlled phytoflagellate ratio in the South Sea of Korea was high values in the frontal zone and sub-surface layer. It was high concentration in the upwelling and coastal waters regions, but low concentration in the Tsushima warm current regions. The Chl-*a* maximum layers appeared in the thermochline depth or sub-surface layer lower than thermocline. The phytoplankton production in the South Sea of Korea was controlled by the expanded coastal waters of Chinese Continent which include a high concentrations of nutrients..

Keywords: Marine environment(해양환경), Phytoplankton community(식물플랑크톤 군집), Tsushima warm current(쓰시마난류), Coastal waters of Chinese Continent(중국대륙연안수), Bottom cold water of Yellow Sea(황해저층냉수), South Sea of Korea(한국남해)

1. 서 론

동중국해 북부에 위치하는 한국남해는 쓰시마난류 및 그의 지류인 황해난류, 제주난류는 물론 황해저층냉수, 중국대륙연안수 및 한국고유연안수 등 다양한 수괴에 의해 해양환경이 지배되는 해역이다(Kondo[1985], 승[1992], 조와 김[1994], Rho and Pang[1995], 이[1999], 문 등[2004]). 따라서 이들 수괴의 확장과 혼합에 따라 한국남해해역의 환경특성은 물론, 해역의 생물생산력에도 변동을 주게 되어 계절변화가 탁월한 특성을 나타낸다(Yang and Kim[1990], 양과 김[1990], 승[1992], 조와 김[1994], 이[1999]). 특히 여름에는 겨울에 형성되지 않는 황해저층냉수와 중국대륙에서 유출되는 연안수도 탁월하기에 더욱 복잡한 해양구조를 나타내게 된다(윤과 김[1994], 양 등[1998]). 또한 한국남해와 동중국해는 국내 최대어장이며, 일본, 중국 등 삼국의 공동으로 이용되는 수역으로 수산해양학적 중요성이 매우 큰 해역이지만(Cho[1981], Rho[1985], Miyaji[1991]), 다른 이해 당사국에 비해 현재까지 국내의 종합적 연구결과는 매우 빈약한 실정이다(宇田[1958], Nagasawa and Marumo[1967], Huh[1982], Mio *et al.*[1984], 俵[1985], Kondo[1985], Edmond *et al.*[1985], Milliman *et al.*[1985], Hu[1986], Matsuda *et al.*[1989], Lu[1991], Lu *et al.*[2002]). 현재 남해 및 동중국해를 대상으로 실시한 국내연구의 성과는 단편적이기는 하지만 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 주를 이루며, 자원생물을 제외한 기초생물학적 연구(Shim and Park[1984], 윤과 김[1994], 윤 등[2002, 2003, 2005])는 매우 빈약하다.

따라서 본 연구에서는 2004년 이른 여름 제주도를 포함하는 남해해역의 광역적인 해역에 대해 해양환경 및 식물플랑크톤 군집 특성을 파악하여 보았기에 동중국해 북부해역을 포함하는 한국 남해해역 이용 및 관리에 기초자료 제공을 위해 간략히 보고한다.

2. 재료 및 방법

여름 한국남해의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성을 파악하기 위한 현장조사는 2004년 6월 25일에서 동년 6월 27일 까지 여수대학교 실습선 동백호(1050톤)를 이용하여 Fig. 1의 11개 관측점을 대상으로 실시하였다.

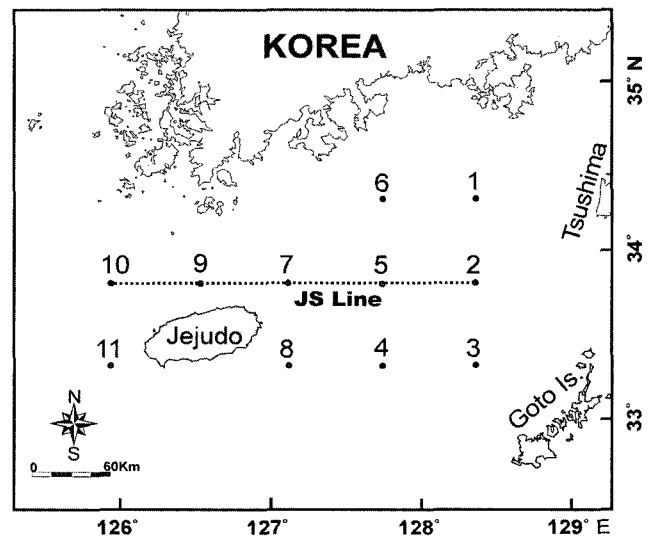


Fig. 1. Map showing sampling stations and vertical survey line.

해양환경특성파악을 위한 측정항목과 방법은 수온, 염분 및 엽록소(Chl-*a*) 측정 용 형광센서가 부착된 Submersible Fluorometer(Alec Co., ACL 1151-D)를 이용하여 표층에서 저층까지 연속 측정하여 약 1 m 간격으로 정리, 분석하였다. 다만 Chl-*a* 농도의 보정은 채수된 해수 500 ml를 현장에서 박막여과지(pore size; 0.45 μ m, diameter; 47 mm)가 장착된 여과기를 이용하여 흡인 여과 시킨 후, 여과 포집된 박막여과지를 -20 $^{\circ}$ C에서 냉동보관 시킨 후에 실험실에서 90%(v/v)의 아세톤을 용매로 추출시킨 다음, 원심분리기로 분리(3,000 rpm, 15 min)된 상등액을 UV Spectrophotometer (Mecasys Co., Optizen 2120UV)에 의해 비색 측정하는 분광광도법(SCOR-unesco[1966])에 의해 얻어진 값으로 보정하여 측정값으로 하였다.

식물플랑크톤 군집구조 파악을 위한 채수는 표층과 수온약층 수심을 대상으로 반돈 채수기를 이용한 채수법에 의하였다. 식물플랑크톤 정성, 정량분석 시료는 현장에서 해수 500 ml를 폴리에틸렌 표본병에 채수하여 증성포르마린으로서 최종농도가 0.4%되게 고정하였다(Thronsdon[1978]). 고정된 해수는 실험실에서 500 ml를 취해 공경(pore size)이 5.0 μ m, 직경이 47 mm인 박막여과지가 장착된 플라스틱 여과기(Sartorius SM 16510)를 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 5 ml되도록 농축하여 검정시료로 제공하였다(飯塚[1986]). 검정은 농축된 시료 0.1 ml를 마이크로피펫을 이용하여

Table 1. Variation of water temperature, salinity and sigma-t at several layers of depth in the Northern East China Sea during early summer 2004.

Depth		Water temperature (°C)	Salinity (psu)	Sigma-t (1×10^{-3} kg/L)
0 m	Maximum	23.5	34.24	23.62
	Mean	22.1	33.22	22.84
	Minimum	19.4	30.47	20.69
	Standard D.	1.3	1.01	0.79
10 m	Maximum	23.6	34.27	24.08
	Mean	21.8	33.52	23.15
	Minimum	18.9	32.82	22.57
	S. Deviation	1.6	0.48	0.41
25 m	Maximum	22.4	34.42	25.13
	Mean	18.7	34.00	24.33
	Minimum	13.9	33.24	23.69
	SD	2.8	0.39	0.49
50 m	Maximum	20.2	34.51	25.70
	Mean	16.1	34.19	25.12
	Minimum	13.8	34.00	24.37
	SD	2.0	0.16	0.39

정확히 계수판에 취하고, 광학 현미경(Olympus, BX50)을 이용하여 100X~400X하에서 종의 동정과 출현 세포수에 의한 식물플랑크톤의 현존량을 파악하였다(Chihara and Murano[1997], Tomas[1997]).

3. 결 과

3.1 수괴분포

2004년 이른 여름 제주도를 포함하는 한국 남해해역에서 관측된 표층 수온은 19.4°C에서 23.5°C로 변화하였으며, 저층으로 갈수록 낮아지는 특성을 보였다(Table 1). 공간적으로 표층에서는 제주남쪽 해역에서 23°C이상의 높은 수온을 나타내는 반면, 한국남서해역에서는 20°C이하의 낮은 수온분포를 보였다. 25 m와 50 m 수심은 제주북서해역에서 14°C 이하의 매우 낮은 수온이 출현하고 있으나, 제주 동남방 해역에서는 20°C 전후의 높은 수온을 나타내었다(Fig. 2).

염분은 표층에서 30.47 psu에서 34.24 psu, 50m 수층은 34.00 psu에서 34.51 psu로 변화하여 25m 보다 깊은 수심에서는 평균 34 psu 이상의 높은 염분을 보였다(Table 1). 공간적으로 표층과 10 m 수층은 제주북서해역에서 33.5 psu 이하의 저염수가 한국서남해역에서 남해중앙부 해역으로 유입되는 경향을 보였으며, 25 m 이심에서는 제주 남방과 한국해협을 따라 34 psu 이상의 고염수가 넓게 분포하였다(Fig. 3).

현장밀도는 표층에서 20.69에서 23.62, 50 m 수층에서는 24.37에서 25.70으로 변화하여 25 m 이심에서는 평균 24.3 이상의 고밀도를 나타내었다(Table 1). 공간적으로는 염분의 분포 경향과 유사하여 표층과 10 m 수층은 제주북서해역에서 22 이하의 낮은 밀도수가 한국서남해역에서 남해 중앙부로 유입되어 혼합되는 경향을 보이나, 대부분 해역에서 23.5 이하의 밀도수를 나타내었다. 반면 25 m 이심에서는 제주 남방과 한국해협을 따라 24에서 25의

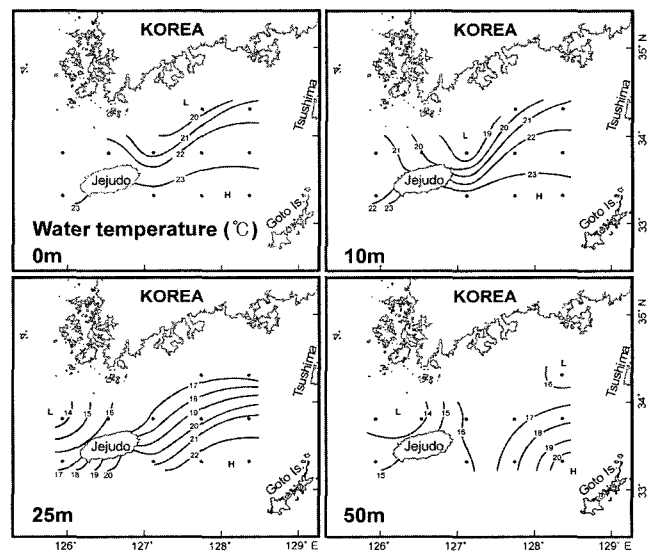


Fig. 2. Horizontal distributions of water temperature at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the Northern East China Sea during early summer 2004.

높은 밀도수가 존재하며, 제주서방에서는 낮은 수온으로 25이상의 매우 높은 밀도수가 출현하였다(Fig. 4).

정점별 표층에서 저층까지 수온, 염분의 측정값을 이용한 T-S diagram 분포를 보면, 정점 10의 표층수심을 제외하고는 수심에 따른 수온차이에 의해 동일 수괴의 영향을 받는 것처럼 보인다(그림에서 숫자는 정점을 실선은 표층에서 저층까지 수온과 염분의 변화를 나타낸다). 그러나 저층기준으로 살펴보면 제주서쪽 및 북서해역의 정점 9, 10, 및 정점 11의 저층은 13°C 이하의 낮은 수온으로 25내외의 고밀도를 나타내는 반면 기타해역은 13°C 이상의 수온에 24.5 내외의 밀도를 나타내어 제주서쪽해역과 기타의 수괴는 이질적 특성을 보이는 것으로 판단할 수 있다(Fig. 5).

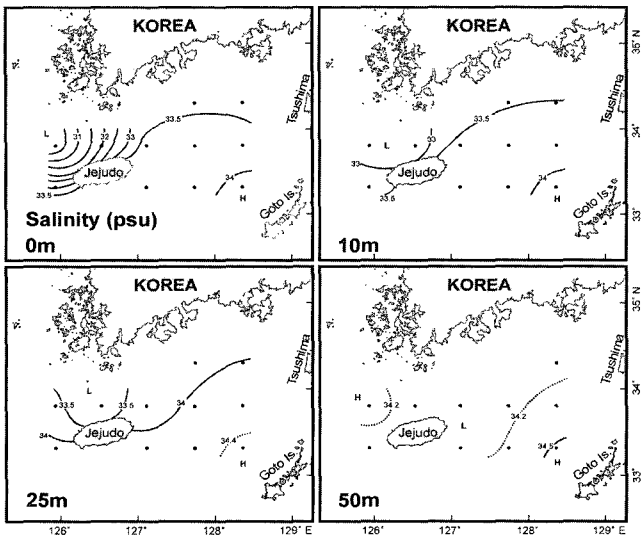


Fig. 3. Horizontal distributions of salinity at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the South Sea of Korea in early summer 2004.

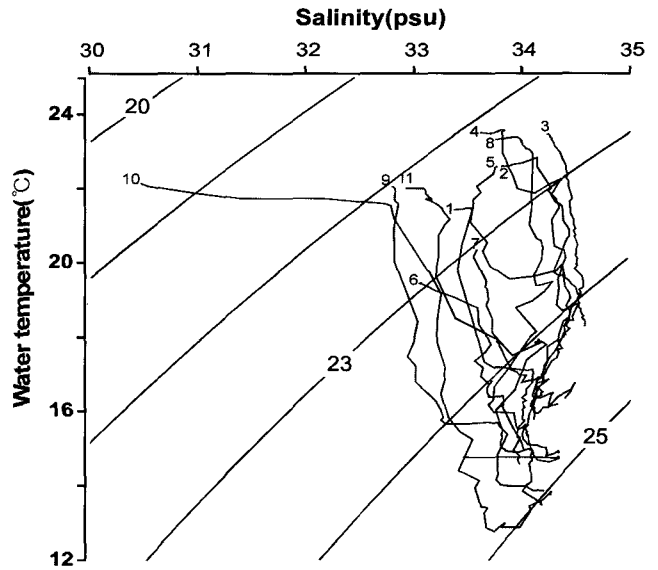


Fig. 5. T-S diagram of the each stations in the Northern East China Sea during early summer 2004.

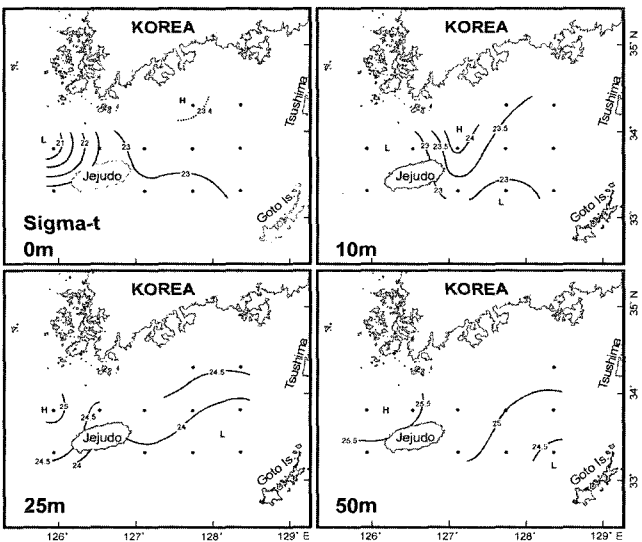


Fig. 4. Horizontal distributions of sigma-t (density) at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the Northern East China Sea during early summer 2004.

Table 2. Variation of chlorophyll *a* concentration at several layers of depth in the South Sea of Korea in early summer 2004. ($\mu\text{g/L}$)

Depth(m)	Minimum	Mean	Maximum	Standard deviation
0	0.09	0.48	0.96	0.35
10	0.03	0.56	2.36	0.65
25	0.03	0.86	2.59	0.80
50	0.32	0.52	0.73	0.14

3.2 식물플랑크톤 생물량(Chlorophyll *a*, Chl-*a*)

Chl-*a*로 표현되는 식물플랑크톤 생물량은 표층에서 0.09 $\mu\text{g/L}$ 에서 0.96 $\mu\text{g/L}$, 수온약층 수심에서 0.03 $\mu\text{g/L}$ 에서 2.59 $\mu\text{g/L}$ 로 변화하여 수층별 공간별 차이가 비교적 크게 나타났다(Table 2). 공간적으로는 모든 수층에서 저온 및 저염을 나타내었던 제주서쪽 및 여수, 고흥반도에 인접한 남해 중앙부에서 0.6 $\mu\text{g/L}$ 이상의 높은 생물량을 보이는 반면, 고온, 고염의 특성을 보이는 제주남쪽 및 남동해역에서 상대적으로 낮은 생물량을 나타내었다. 수층별로는 표층보다 수온약층이 형성되는 10m나 25m 수층에서 보다 높은 생물량을 나타내었다(Fig. 6).

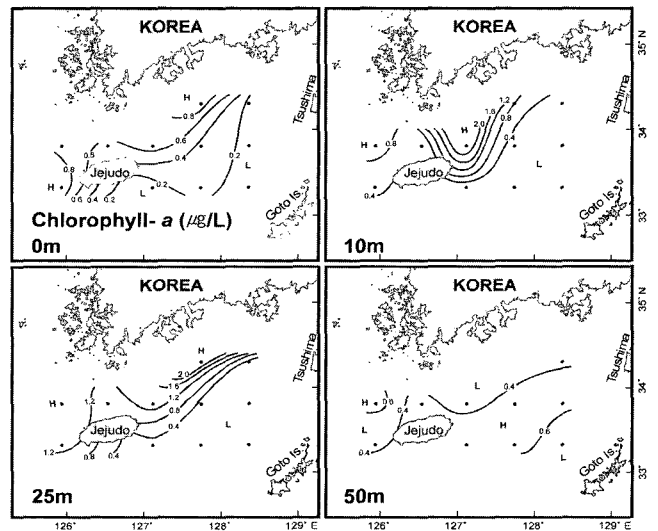


Fig. 6. Horizontal distributions of chlorophyll *a* concentration at the surface, 10 m, 25 m and 50 m in the Northern East China Sea during early summer 2004.

3. 연직분포 특성

제주해협 서측의 정점 10에서 동측의 정점 2를 연결하는 동서 단면인 JS line을 설정하여(Fig. 1) 수괴의 연직분포특성을 살펴보

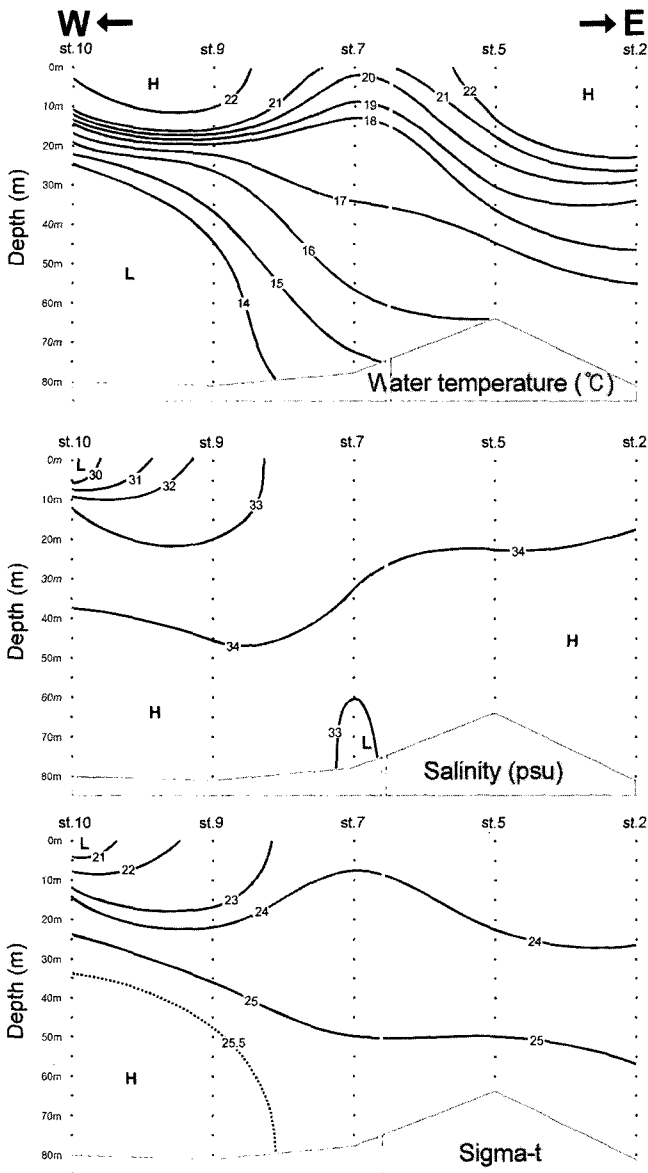


Fig. 7. Vertical profiles of water temperature, salinity and sigma-t in the Northern East China Sea during early summer 2004.

면, 수온의 경우 단면 서측의 정점 9와 10의 저층에 14°C 이하의 차가운 해수가 동쪽으로 확산되고 있는 것에 반해, 동측에서는 17°C 이상의 따뜻한 수온이 서쪽으로 확산되면서 정점 7 인근해역에서 용승에 의한 전선이 형성되었다. 또한 연직적으로 서측 정점에서는 15 m 수심의 전후, 동측 정점에서는 25 m 수심의 전후에서 수온약층이 형성되었다(Fig. 7, upper). 염분은 서측 일부정점의 표층 및 아표층에서 32 psu 이하의 저염분을 제외하면 서측 약 40 m 수심에서 동측 약 20 m 수심을 연결하는 상부해역에서는 34 psu 이하의 염분을, 이 보다 깊은 수심에서는 쓰시마 난류의 분류 특성을 나타내는 34 psu 이상의 고염을 나타내었다(Fig. 7, middle). 현장밀도는 표층은 염분이 의해, 저층은 수온에 의해 지배되어 표층은 서측해역에서 23 이하의 상대적인 저밀도수가 확

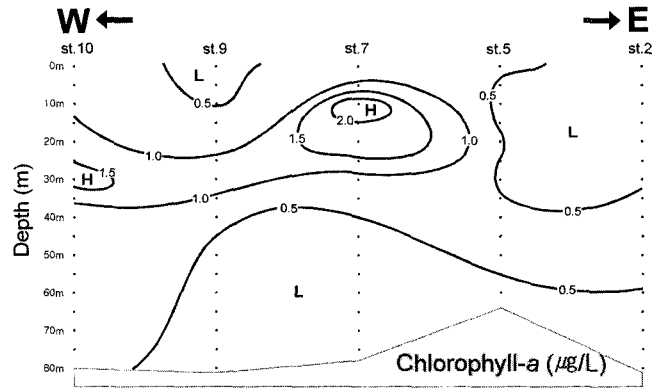


Fig. 8. Vertical profiles of chlorophyll a concentration in the Northern East China Sea during early summer 2004.

장되나, 전체적으로는 20 m 전후의 수심을 기준으로 표층과 아표층에서는 24 이하의 낮은 밀도수가, 20 m 이심에서는 24이상의 높은 밀도수가 점유하며, 서측 일부정점의 저층은 낮은 수온에 의해 25.5 이상의 고밀도수에 의해 점유되는 특성을 나타내었다(Fig. 7, lower).

Chl-a는 표층보다 아표층 해역에서 높고, 동측의 고수온, 고염의 수괴보다 서측의 저수온, 저염의 수괴에서 상대적으로 높은 생물량을 나타내었다. 특히 서측의 저수온, 저염의 고밀도 수괴와 동측의 고온, 고염의 상대적 저밀도수에 의해 형성되는 전선해역에서 1.0 µg/L 이상의 고농도 Chl-a 패치를 보였다(Fig. 8).

단면변화를 보다 구체화하기 위해 동측의 고온, 고염해역에 정점 3, 용승역의 정점 7과 서측의 정점 10을 선택하여 측정항목별 연직변화 양상을 살펴 보면(Fig. 9), 제주동남해역에 위치하는 정점 3은 20 m에서 30 m 수심에 수온과 밀도약층이 나타나며, Chl-a 최대층은 수온약층보다 다소 밀인 35 m 수심에 나타났다. 서측의 차가운 해수와 동쪽의 따뜻한 해수에 의해 용승이 보이는 정점 7은 표층에 가까운 5 m에서 10 m 수심에서 수온약층이 보이나, 염분약층은 30 m 수심에 형성되어, 5-10 m 수심과 30 m 수심에서 2회의 밀도약층이 나타났다. Chl-a 최대층은 수온약층과 제1차 밀도약층이 형성되는 10 m 수심에 형성되었다. 저층에 저수온대가 존재하는 정점 10은 10 m 이내의 수심에서 수온약층과 밀도약층이 형성되었고, Chl-a 최대층은 수온, 밀도약층보다 훨씬 깊은 30 m 수심에서 나타났다(Fig. 9).

4. 식물플랑크톤 군집

4.1 종조성

2004년 6월 제주도를 포함하는 한국남해의 표층과 수온약층에서 관찰이 확인된 식물플랑크톤 종을 Tomas[1997]의 분류체계에 따라 정리하면, 26속 44종으로 매우 단순로운 종조성을 나타내었다. 분류군별로는 규조류가 15속 21종으로 47.7%를 점유하였고, 다음이 와편모조류가 9속 20종으로 45.5%, 규질편모조류가 1속 2

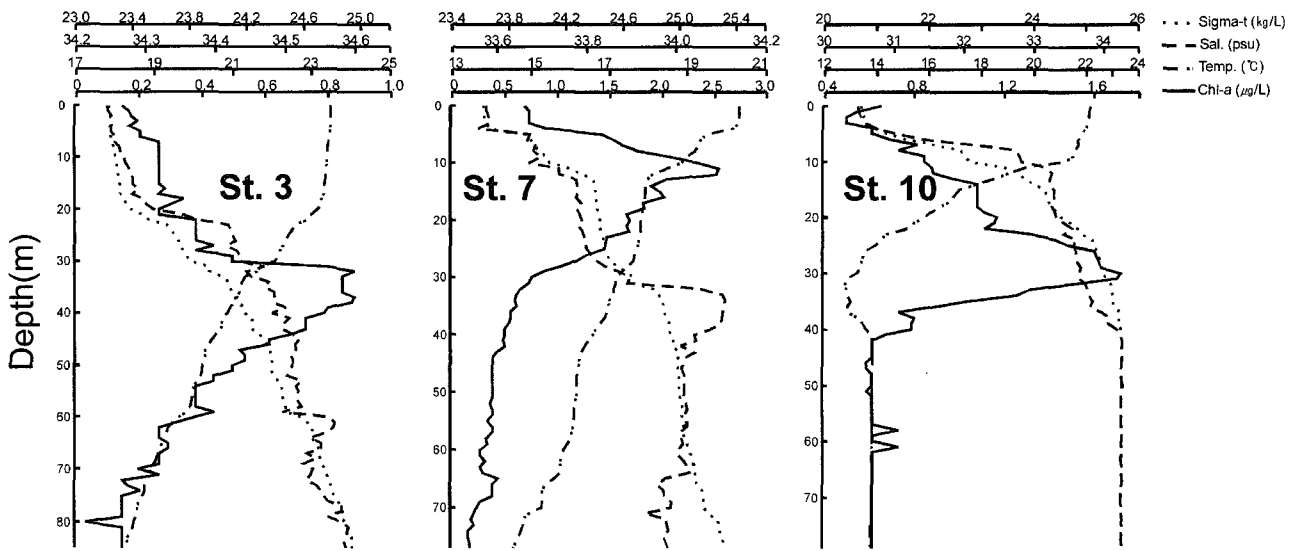


Fig. 9. Vertical profiles of water temperature, salinity, density and Chlorophyll *a* concentration at the different stations in the Northern East China Sea during early summer 2004.

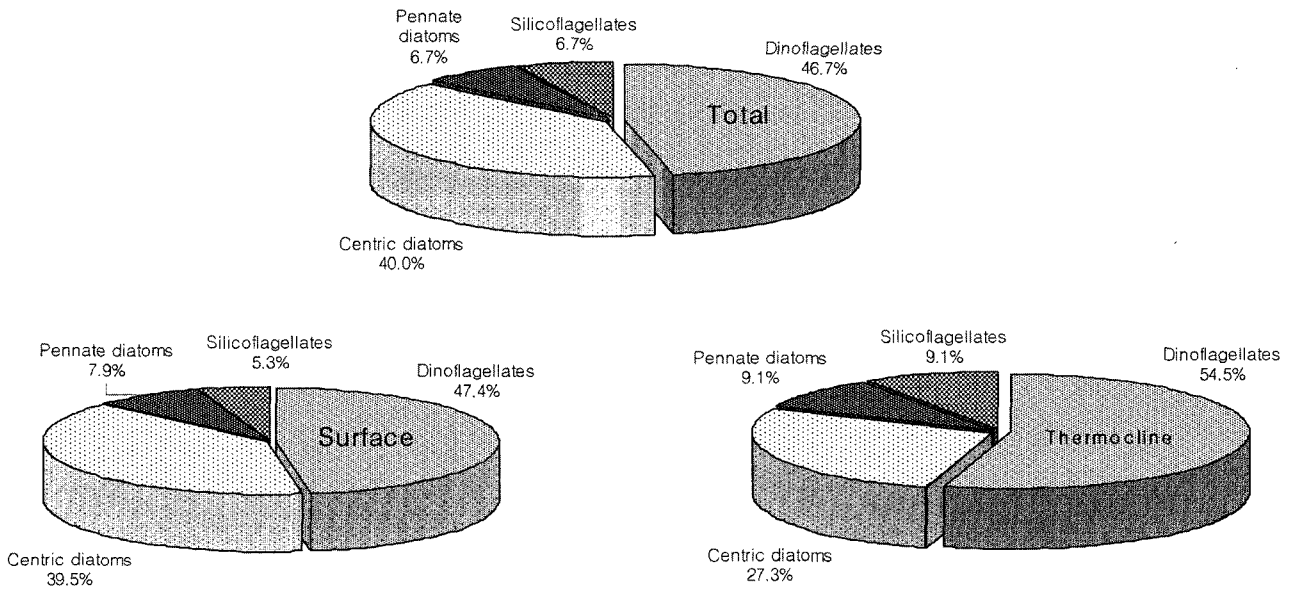


Fig. 10. Species compositions of phytoplankton at surface(left) and stratified layer(right) in the Northern East China Sea during early summer 2004.

종으로 4.5%, 그리고 동물성 편모조류가 1속 1종으로 2.3%의 점유율을 나타내었다. 수층별로는 표층에서 25속 37종으로 규조류가 15속 18종(48.6%), 외편모조류가 8속 17종(46.0%), 규질편모조류와 동물성 편모조류가 각 1속 1종(2.7%), 수온약층에서 15속 21종으로 규조류가 7속 8종(38.1%), 외편모조류가 6속 11종(52.4%), 규질편모조류가 1속 2종(9.5%)을 나타내어 수온약층보다 표층에서 보다 다양한 종출현 특성을 보였으며, 외편모조류에 의한 출현 점유율이 상대적으로 높은 특성을 보였다(Fig. 10).

출현종의 공간분포는 표층에서 고온, 고염 특성을 보이는 일본 열도에 가까운 해역에서 가장 높았으며, 다음으로 상대적으로 저

온, 저염인 제주서쪽과 용승이 발생하는 고히 및 여수반도에 가까운 정점에서 비교적 다양한 종이 출현하였다. 수온약층에서는 표층에 비해 더욱 단조로운 종 출현특성으로 표층과 유사한 분포를 보이나, 상대적으로 높은 출현을 나타내었던 제주서쪽해역에서 매우 단조로운 종 출현을 보였다(Fig. 11).

4.2 현존량

식물플랑크톤 현존량은 0.1 cells/ml에서 10.8 cells/ml범위로 변화하여 매우 낮은 출현밀도와 큰 공간적 변화를 보였다. 수층별로는 표층에서 0.3 cells/ml에서 10.8 cells/ml, 수온약층에서 0.1 cells/

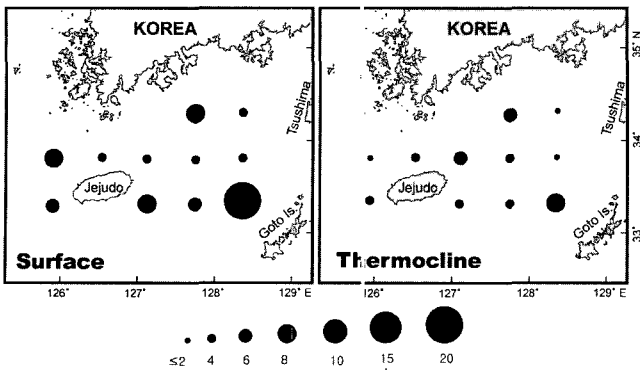


Fig. 11. Horizontal distributions of phytoplankton species numbers at surface(left) and stratified layer(right) in the Northern East China Sea during early summer 2004.

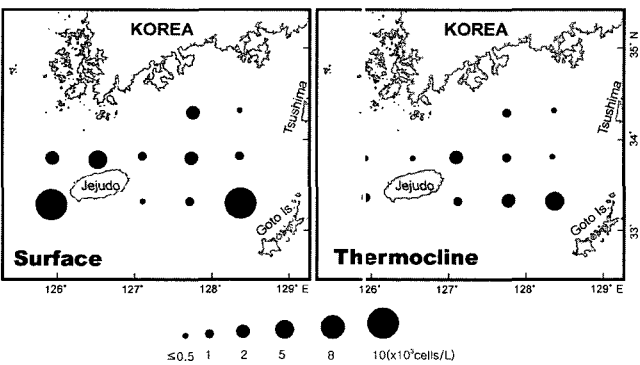


Fig. 12. Horizontal distributions of phytoplankton standing crops at surface(left) and stratified layer(right) in the South Northern East China Sea during early summer 2004.

m에서 2.5 cells/ml로 변동하여 식물플랑크톤 생물량과는 달리 수온약층보다 표층에서 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타내었다.

공간적으로는 표층의 경우, 제주서남쪽해역과 일본열도에 가까운 정점의 표층에서 비교적 높은 세포밀도를 보이는 반면, 기타 고온, 고염 특성을 보이는 제주 동안 및 제주 동북해역에서 낮은 세포밀도를 나타내었다. 수온약층에서는 표층에서 높은 세포밀도를 보였던 제주 서쪽해역에서 매우 낮은 현존량을 보이며, 제주 동쪽 및 동남쪽 해역에서 상대적으로 높은 세포밀도를 나타내었다(Fig. 12).

4.3 우점종

이른 여름 한국남해의 식물플랑크톤 군집에서 뚜렷하게 출현하는 우점종은 없으나, 정점 평균으로 5%이상 점유율을 나타내는

종을 우점종으로 구분하여 살펴보면, 표층에서는 외편모조류인 *Prorocentrum triestinum*와 *Scrippsiella trochoidea*가 제1, 제2 우점종을 나타내어 각 22.3%와 19.7%의 우점율로 합해 42.0%의 점유율을 나타내었다. 기타는 중심목 규조류인 *Leptocylindrus mediterraneus*, *Skeletonema costatum* 및 *Dactylisolen fragilissimus*가 각 11.6%, 5.5% 및 5.2%의 우점율을 나타내었다(Table 3, left). 수온약층에서는 표층보다도 낮은 출현세포로 전 정점에서 출현하는 종은 외편모조류인 *S. trochoidea*로 평균 31.3%의 우점율을 나타내었으며, 기타로는 일부정점에서 우점하는 중심목 규조류인 *S. costatum*, *Chaetoceros curvisetus* 및 외편모조류인 *Prorocentrum donghaiense*가 각 12.1%, 6.1% 및 5.1%의 우점율을 나타내었다 (Table 3, right).

4.5 수괴분포 및 식물플랑크톤에 의한 한국남해의 환경특성

수온, 염분, 현장밀도, Chl-a, 식물플랑크톤 분류군별 현존량 및 우점종을 대상으로 주성분 분석을 실시하여 누적기여율 70%를 기준으로 주성분을 도출하면, 표층과 성층해역에 대해 다음의 식 (1) 과 (2)를 얻었다.

$$\text{surface layer: } Z=3.88 Z_1+3.18 Z_2+1.99 Z_3(\text{AP}=75.4\%) \quad (1)$$

$$\text{stratified layer: } Z=3.24 Z_1+2.80 Z_2+2.69 Z_3(\text{AP}=79.3\%) \quad (2)$$

단, 여기서 Z_1, Z_2, \dots 는 각 주성분을, AP는 누적 기여율을 나타낸다. 분석결과 두 수층 모두에서 제3주성분까지 종합 특성치를 도출할 수 있었으며, 각 주성분의 고유값 분포로부터 표층은 제1과 제2 주성분, 성층역은 제2와 제3 주성분 특성치가 차이 없이 유사한

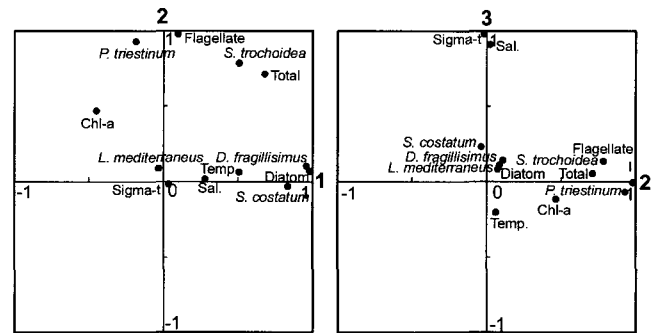


Fig. 13. Distribution of loading factor by principal component analysis(PCA) at the surface in the Northern East China Sea during early summer 2004.

Table 3. Dominant species of phytoplankton at surface and stratified layers in the Northern East China Sea during early summer 2004.

Dominant Species	Surface		Stratified Layer		
	Dominance(%)	Dominant Species	Dominance(%)	Dominant Species	
<i>Prorocentrum</i>	<i>triestinum</i>	22.3	<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidea</i>	31.3
<i>Scrippsiella</i>	<i>trochoidec</i>	19.7	<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	12.1
<i>Leptocylindrus</i>	<i>mediterraneus</i>	11.6	<i>Chaetoceros</i>	<i>curvisetus</i>	6.1
<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	5.5	<i>Prorocentrum</i>	<i>donghaiense</i>	5.1
<i>Dactylisolen</i>	<i>fragilissim.us</i>	5.2			

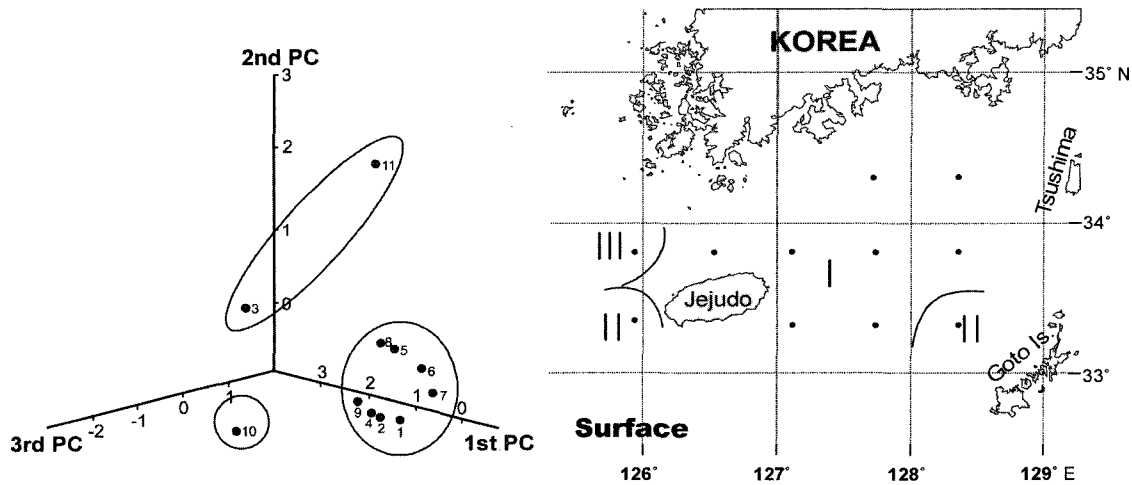


Fig. 14. Distribution of score and separated regions by principal component analysis(PCA) at the surface in the Northern East China Sea during early summer 2004.

기여율을 나타내었다.

즉, 인자부하량의 분포로부터 제1주성분은 “구조류 분포를 결정하는 요인”으로, 제2 주성분은 “식물성 편모조류 분포를 결정하는 요인”, 그리고 제3 주성분은 “저수온에 높은 염분 및 밀도를 표현하는 황해저층 냉수괴의 영향을 나타내는 지표”를 나타내는 것으로 판단되었다(Fig. 13). 즉, 여름 한국남해의 식물플랑크톤 군집은 분류군에 의해 출현특성을 달리하며, 서로 다른 특성을 나타내는 수괴에 의해 지배되는 특성을 보이는 것으로 나타났다.

특점분포로부터 2004년 제주를 포함하는 남해해역은 크게 3개의 해역으로 구분할 수가 있었다(Fig. 14). 즉, 제1 주성분 특성에 의해 지배되는 남해 대부분 해역을 포함하는 I해역, 제2 주성분 특성에 의해 지배되는 제주남서해역과 일본열도에 인접한 동남해역인 II해역, 그리고 제3 주성분의 특성에 의해 지배되는 제주북서해역의 제 III해역이다(Fig. 14). 성층해역의 경우는 표층과 유사하나, 제주서방의 정점 10과 11, 그리고 여수반도에 가까운 정점 6이 동일 영역으로 구분할 수 있었다.

5. 고 찰

한국남해 및 동중국해의 북부해역은 탁월한 중국대륙연안수와 계절에 따라 세력권을 달리하는 쓰시마난류, 쓰시마난류 지류인 제주난류와 황해난류, 황해저층냉수 및 한국연안고유수가 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], 윤과 김[1994], 이[1999], 윤 등[2002, 2003, 2005]). 그러나 아직까지 각 수괴의 세력권에 대한 평가는 연구자와 계절에 따라 다르게 표현되고 있어, 한국남해에 막대한 영향을 미치는 쓰시마난류의 거동조차 명확하지 않다. 그러나 승[1992]은 Kondo[1985]의 연구결과를 수정하여 쓰시마난류는 계절에 관계없이 제주서쪽 해역을 통

해 제주해협으로 유입되어, 주년 제주서쪽 해역에도 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 또한 김과 노[1995]는 중국대륙연안수가 제주해협을 통해 한국연안에까지 영향을 미치는 것으로 분명히 하였으며, 김 등[1998]은 강우기에 양자강에서 유입된 담수가 제주 서쪽 연안까지 직접적으로 영향을 미치는 것을 확인하였다.

2004년 이른 여름 한국남해 및 동중국해의 북부해역의 수괴분포는 제주 서쪽해역에 저온, 저염으로 특정 지워지는 수괴, 저층의 저온, 저염에 고밀도로 특정 지워지는 수괴, 그리고 제주 동쪽에서 일본열도 사이의 해역과 광활한 한국남동해역의 고온, 고염에 의해 특정 지워지는 수괴 등 3개의 이질적 수괴가 존재하는 것이 관측되었다. 이중 제주 서쪽해역의 저온, 저염 수괴는 수온, 염분의 변동범위, 중국대륙연안수의 확산시기 및 경로(Huh[1982], Beardsley *et al.*[1985], Milliman *et al.*[1985], 김과 노[1995], 김 등[1998], 문 등[2004])등으로부터 중국대륙연안수의 확산에 의한 영향으로 판단되었으며, 한국남동해역의 고온, 고염 수괴는 수괴 특성으로부터 전형적인 쓰시마난류의 세력으로 판단되었다(依[1985], Kondo[1985], Hu[1986], Matsuda *et al.*[1989], 승[1992], 이[1999], 신 등[2001]). 그리고 25 m 보다 깊은 수심에서 보이는 14°C 이하의 저수온 수괴는 황해저층냉수괴의 확산에 의한 영향으로 판단되었다(Huh[1982], Hu[1986], Hu *et al.*[1991]). 조와 김[1994]은 여름철 한국남해 중앙부 저층에 형성된 14°C이하 저온수는 남해에서 자체적으로 생성된 것이 아니라 한국남해의 서쪽에서 유입되는 것으로 추정된 것이나, 이[1999]가 제주도를 포함하는 광역 남해조사에서 표층해수는 대만난류와 중국대륙연안수에 의해, 저층해수는 대만난류와 황해냉수괴에 의해 지배되고 있음을 지적하는 내용과 유사한 결과로 황해저층냉수는 여름 남해 중앙부까지 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있었다.

즉, 2004년 이른 여름 한국남해 및 제주연안해역의 경우 서쪽해역의 표층은 중국대륙연안수에 의해, 저층은 황해저층냉수의 영향을 강하게 받는 반면, 제주남쪽 및 동쪽해역을 포함하는 대부분

의 남해해역은 쓰시마난류의 영향을 직접적으로 받는 것으로 판단되었다(Huh[1982], Hu *et al.*[1991], 윤 등[2002]). 특히 표층에서의 수온전선이나 연직적인 수온약층도 이들 수괴의 세력에 의해 해역에 따라 다르게 형성되었다. 이와 같은 결과는 여름 쓰시마난류가 제주 동남방에서 떨어져 쓰시마해협으로 빠져나간다는 결과(Kondo[1985])와는 상반되는 내용으로, 여름에도 제주해협을 포함한 남해해역은 쓰시마난류의 영향을 직접적으로 받는 것으로 나타났다(승[1992], 이[1999]).

식물플랑크톤 생물량(Chl-*a* 농도)의 수층과 공간에 따라 다른 분포양상은 표층보다 아표층에서 높았으며, 용승이 발생하는 남해중앙부해역과 제주서쪽의 대륙연단수의 영향을 받는 수역에서 높았다. 즉, 동중국해의 경우 일반적으로는 수온약층과 Chl-*a* 최대층은 일치하여 관측되지만(윤과 김[1994], 윤 등[2002]), 본 연구에서는 정점에 따라서는 수온약층보다 밑에 수층에 나타나고 있어, 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 생물군의 침강에 의한 집적효과 보다는 편모조류에 의한 일주연직이동(Kamykowski [1981])과 우점 생물군의 광적용에 의한 결과로 표현되는 현상으로 판단된다(Parsons *et al.*[1984]). 그리고 용승역과 남해서측에서 높은 Chl-*a* 농도를 보이는 것은 한국남해의 경우 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양염류가 중국대륙연안수에 크게 의존하고 있기 때문이라 할 수 있다(Edmonc *et al.*[1985], Aoyama and Hayashi[1988], 양과 김[1990], 김 등[1998], 이[1999], 윤 등[2002, 2003, 2005]).

2004년 여름 식물플랑크톤 군집 특성은 기존의 한국서남해역이나 제주연안(Shim and Park[1984], 윤 등[1992], 김과 윤[1997])과 비교하여 매우 단순한 종조성을 나타내었으며, 공간적으로는 중국대륙연안 확장수와 쓰시마난류 사이에 형성된 전선과 밀접한 관련성을 나타내었다(Kondo[1985]).

그리고 외편모조류 *Prorocentrum triestinum*과 *Scrippsiella trochoidea*에 의한 우점현상은 대상해역은 다소 다르나, Lu[1991]가 외편모조류를 지표종으로 동중국해의 해역특성을 파악하여 양자강 하구해역은 계절에 따라 양자강 연안수, 황해기원 저염 연안수괴 및 Kuroshio 기원수괴가 그 범위를 달리하나, 연안수와 Kuroshio 기원수괴 사이 전선역에 *P. triestinum*이나 *Ceratium fusus* 등 유각 외편모조류가 우점한다는 내용이나, Kamiyama[1991]가 크기에 따라 분획한 식물플랑크톤 시포수의 분포에 의해 동중국해 해황을 검토하여 전선역을 중심으로 높은 생물량과 종 특성을 달리한다는 결과와 윤 등[2003]이 지주서쪽에서 양자강 사이 해역의 조사에서 연안수는 규모에 의한 우점 및 높은 현종량을 나타내는 반면 전선역에서 *Prorocentrum donghaiense* 등 외편모조류에 의한 우점 현상이 나타난다는 결과와 출현종에서 다소 차이는 있지만 매우 유사하였다. 즉, 하절기 동중국해 식물플랑크톤 군집에서 외편모조류의 우점현상은 일시적 현상이라기보다 해역의 특성을 표현하는 것으로 인식할 수 있었다.

식물플랑크톤 현존량 분포에서 식물플랑크톤 생물량을 표현하는 Chl-*a* 농도와는 달리 수온약층보다 표층에서 보다 높은 현존

량을 보이는 것은 기존의 연구내용과는 상반되는 결과이다(Parsons *et al.*[1984], 윤 등[2002]). 이와 같은 결과는 본 연구에서 용승역을 제외한 대부분의 정점에서 Chl-*a* 최대층이 수온약층보다 훨씬 깊은 수심에 존재(Fig. 9참조)한다는 것과 식물성 편모조류의 구성비가 표층보다 수온약층에서 높아 식물플랑크톤 중에 따른 단위세포당 Chl-*a* 농도가 표층보다 수온약층이 높기 때문으로 보인다(Honjo *et al.*[1978]). 또한 비교적 영양염 농도가 낮은 해역에서 여름철 ¹⁴C에 의한 크기별 식물플랑크톤의 생산력에서 전체 생산력의 약 45%에서 60%가 2 μm 이하의 극미소 식물플랑크톤에 의한다는 내용(Maita and Odate[1988])이나, 부영양화된 내만에서도 Chl-*a* 농도에 의해 전체 생물량의 약 43%가 nanoplankton이라는 내용(Yamaguchi and Imai[1996])으로부터, 2004년 여름 남해의 수온약층에서 표층보다 현미경 관찰이 어려운 미소 플랑크톤에 의한 점유율이 높아 식물플랑크톤 현존량이 과소평가 될 가능성도 제기 할 수 있다(Larsson and Hagatrom[1982], Shim *et al.*[1992], 윤 등[1992]).

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]) 등은 관찰되지 않았다.

주성분분석 결과 2004년 여름 구조류는 수온($r=0.448$ (표층), 0.586 (수온약층), 이하 동일 방법)에 의해 기술>과 염분($r=0.340$, 0.470)에 양의 상관을 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 상관을 보여, 식물플랑크톤 생산은 중국대륙연안수의 확장에 의해 크게 지배되는 결과(Edmond *et al.*[1985], Aoyama and Hayashi[1988], 윤과 김[1994], 이[1999])를 증명하였다(Fig. 13참조). 득점분포에서도 2004년 여름 제주를 포함하는 한국남해의 해황은 표층과 저층에서 다소 차이는 있으나, 수괴분포에서 보여준 중국대륙연안수의 확장, 황해저층냉수 및 쓰시마난류의 세력에 의해 지배되고 있으며, 남해 대부분 해역은 쓰시마난류의 영향을 강하게 받는 것으로 나타났다(Huh[1982], Kondo[1985], Hu *et al.*[1991], 이[1999], 윤 등[2002]).

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00222-0) 지원 학술비 및 2004년도 여수대학교 수산과학연구소의 동중국해 및 남해의 해양환경과 생태계 조사 일환으로 수행되었으며, 현장조사와 자료정리에 도움을 준 여수대학교 실습선동백호 김 용주 선장 이하 승무원 및 여수대학교 해양시스템학부 연안환경생태학연구실 학생들에게 고마움을 표한다.

참고문헌

- [1] 김대일, 윤양호, 1997, “식물플랑크톤 군집으로 본 초겨울 한국 남서해역의 환경특성”, 여수수산대학교 수산과학 연구소 연구보고지, 6, 85-93.
- [2] 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암, 1998, “1996년 여름철 남해 표층수의 이상 저염수 현상과 영양염류의 분포 특성”, 한국해양학회지 「바다」, 3, 165-169.
- [3] 김인옥, 노홍길, 1995, “제주도 주변해역에 출현하는 중국대륙연안수에 관한 연구”, 한국수산학회지, 27, 515-528.
- [4] 문재홍, 고희중, 방익찬, T. Matsuno, 이재학, 이동규, 2004, “양자강 희석수에 대한 부이 추적과 모델 수행 결과”, 한국해양학회 2004년 추계 학술대회 요지록, p.132.
- [5] 승영호, 1992, “한반도 주변의 수괴와 해수순환”, 한국해양학회지, 27, 324-331.
- [6] 신흥렬, 황상철, 박종흡, 2001, “대한해협과 동중국해의 해황과 수괴의 계절분포: 대기에 의한 냉각효과 보정”, 한국지구교육학회지, 22, 47-64.
- [7] 양영진, 노홍길, 김상현, 1998, “한국 남서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선”, 한국수산학회지, 31, 695-706.
- [8] 양한섭, 김성수, 1990b, “한반도 근해의 해류와 해수특성 II. 여름철 제주도 주변해역 중저층에 출현하는 수괴의 지리적 분포와 화학적 특성”, 한국수산학회지, 24, 177-184.
- [9] 윤양호, 김동수, 1994, “여름철 동중국해의 해양구조와 식물색소량 분포특성”, 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고지, 3, 1-10.
- [10] 윤양호, 박종식, 서호영, 황두진, 2003, “중국해 식물플랑크톤 군집의 공간분포와 외편모조류 적조”, 환경생물, 21, 132-141.
- [11] 윤양호, 박종식, 박영균, 서호영, 황두진, 2005, “이른 여름 동중국해 남서해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포특성”, 한국어업기술학회지, 41, 인쇄중.
- [12] 윤양호, 최임호, 서호영, 황두진, 2002, “하계 동중국해 해양구조 및 식물플랑크톤 생물량의 공간적 분포특성”, 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 11, 36-46.
- [13] 윤양호, 노홍길, 김영기, 1992, “제주 북방, 함덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성”, 제주대학교 해양연구소 연구보고지, 16, 27-42.
- [14] 이동섭, 1999, “여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성”, 한국해양학회지 「바다」, 4, 371-382.
- [15] 조양기, 김구, 1994, “여름철 남해 저층수의 특성과 기원”, 한국해양학회지, 29, 414-421.
- [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 Research, 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] Cho, K.D., 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., 124pp. (in Japanese)
- [20] 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 Research, 4, 17-36.
- [21] Honjo, T., Shimouuse, T. and Hanaoka, T., 1978, “A red tide occurred at the Hakozaki fishing port, Hakada Bay, in 1973 - The growth process and the chlorophyll content-”, Bull. Plankton Soc. Japan, 25, 7-21.
- [22] Hu, D., 1986, “Signature of El Nino in the East China Sea”, IOC Tech. Ser., Time Series of Ocean Measurements, 3(31), 43-50.
- [23] Hu, D., Cui, M., Li, Y. and Qu, T., 1991, “On the Yellow Sea cold water mass-related circulation”, Yellow Sea Research, 4, 17-36.
- [24] Huh, O.K., 1982, “Satellite observations and the annual cycle of surface circulation in Yellow Sea East China Sea and Korea strait”, La mer., 20, 210-222.
- [25] Kamiyama, H., 1991, “The correlation between appearance of phytoplankton and the sea condition”, Umi to Sora. 67, 153-161. (in Japanese)
- [26] Kamykowski, D., 1981, “Laboratory experiments on the diurnal migration of marine dinoflagellates through temperature gradients”, Mar. Biol., 62, 57-64.
- [27] 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 50m and near bottom”, Bull. Seikai Regional Fish. Res. Lab., 62, 19-66. (in Japanese)
- [28] Larsson, U. and Hagatrom, A., 1982, “Fractionated phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient”, Marine Biology, 67, 57-70.
- [29] Lu, D., 1991, “Distribution of indicator dinoflagellates in the East China Sea”, Acta Oceanologica Sinica, 11, 109-122.
- [30] 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.
- [31] Maita, Y. and Odate, T., 1988, “Seasonal change in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan”, J. Oceanogr. Soc. Japan. 44, 268-279.
- [32] Matsuda, I., Nishii, Y., Yoon, Y.H. and Endo, T., 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.
- [33] 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 Research*, 4, 37-45.
- [34] 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)
- [35] 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)
- [36] Nagasawa, S. and Marumo, R., 1967, “Taxonomy and distribution of *Thrichodesmium* (Cyanophyceae) in the Kuroshio waters”, *Infor. Bull. Plankton. Japan. Ccm. No. Dr Y. Mastue's 60th Birth.*, 139-144. (in Japanese)
- [37] Parsons, T.R., Takahashi, M. and Hargrave, B., 1984, *Biological oceanographic processes* (3rd ed.). Pergamon Press, Oxford, 330pp.
- [38] Rho, H.K., 1985, *Studies on marine environment of fishing grounds in the waters around Cheju Island*, Ph.D Thesis of Tokyo University, 215pp. (in Japanese)
- [39] 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)
- [40] SCOR-Unesco, 1966, “Determination of photosynthetic pigments”, In “Unesco(eds), Determination of photosynthetic pigments in the sea-water. Paris”, 10-18.
- [41] 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. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 68-81.
- [42] Shim, J.H., Yeo, H.G. and Park, J.G., 1992, “Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea I. Biomass and productivity”, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 91-100.
- [43] Thronsdon, J., 1978, Preservation and storage, In “Sournia A(ed). *Phytoplankton manual*, Unesco, Paris”, 69-74.
- [44] Tomas, C.R., 1997, *Identifying marine phytoplankton*, Academic Press. London, 858pp.
- [45] Yamaguchi, M. and Imai, I., 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.
- [46] Yang, H.S. and Kim, S.S., 1990a, “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.
- [47] 俵倍, 1985, “東シナ海陸棚域の特性”, *海洋科學*, 17, 611-620.
- [48] 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.
- [49] 宇田道隆, 大坪久泰, 1958, 東シナ海潮境漁場の海洋學報告, 對馬暖流開發調查報告書, 第4輯(海況, 漁況編), 水産廳, 535-539.

2005년 3월 15일 원고접수

2005년 5월 10일 수정본 채택