

이른 여름 동중국해 대륙사면의 해양환경과 소형 식물플랑크톤 군집의 연직분포 특성

윤양호[†]

전남대학교 수산해양대학

Vertical Profiles of Marine Environments and Micro-phytoplankton Community in the Continental Slope Area of the East China Sea in Early Summer 2009

Yang Ho Yoon[†]

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Daehak-ro 50, Yeosu 550-749, Korea

요 약

2009년 이른 여름 동중국해 동부의 대륙사면을 대상으로 해양환경과 소형 식물플랑크톤 군집을 조사하였다. 수온약층은 뚜렷하지 않고 수심에 따라 완만하게 감소하였다, 염분은 표층에서 낮고 비교적 깊은 수심까지 균일한 분포를 보이거나, 중간 수층이하에서는 수심과 비례하여 150~200 m에서 최댓값을 보인 다음 감소하였으나, 변화 폭은 크지 않았다. sigma-t의 변화는 수온에 의해 지배되어, 표층에서 수심과 함께 완만히 증가하여 약 500 m에서 표층보다 약 3 kg/m³ 높은 값을 나타내었다. 광량은 해수 표층에서 급격히 감소하여, 보상심도는 약 100 m 수심에 위치하였다. 엽록소 a의 연직분포는 수온이나 염분보다 광량에 더욱 영향을 받는 것으로 나타났으며, 보상심도에서 최댓값을 나타내었다. 소형 식물플랑크톤 군집은 56속 103종으로 비교적 다양하였고, 세포밀도 역시 엽록소 a가 최댓값을 나타내는 수심에서 112.0~470.0 cells/L로 가장 높게 나타났다. 우점종에서 극우점하는 종은 없고, 낮은 점유율로 다양한 종이 출현하지만, 일부 정점에서 규질편모조류인 *Octactis octonaria*나 규조류인 *Leptocylindrus mediterraneus*에 의해 26%의 우점율은 나타내는 것은 이례적이다. 본 연구의 결과는 개방된 빈영양 해역의 식물플랑크톤 등 미소생물의 군집 해석은 표층, 중층 및 저층과 같은 일정 수심 간격의 조사가 아닌, 해양환경의 연직분포나 엽록소 최대층의 파악과 같은 연속관측의 결과와 연계된 생태연구가 필수적임을 지적하고 있다.

Abstract – Studies of the distribution of micro-phytoplankton community and chlorophyll *a* concentration have focused on the vertical profiles of marine environmental factors such as water temperature, salinity, sigma-t, light intensity, and dissolved oxygen in the continental slope on the east parts of East China Sea in the early summer of 2009. Water temperature showed a gradual reduction according to the depth. While the salinity was low in the surface layer showing a mixed down to the relatively subsurface layer, it was increased with an increase in the depth at the middle and bottom layers showing a maximum value at 150~200 m followed by a decreasing aspect afterwards, although the change was not large. The change of sigma-t was governed by the water temperature, and gradually increased in the surface layer with an increase in the depth, showing a value higher than in the surface layer by about 3 kg/m³ at the bottom layer. Although the intensity of light was exponential reduced in the surface layer, the compensation depth was located at the depth of about 80m. The vertical profiles of chlorophyll *a* concentration was governed by the intensity rather than the changes in water temperature or salinity, exhibiting a maximum value at the compensation depth corresponding to 1% in the surface light intensity. The micro-phytoplankton communities consisted of 56 genera 103 species showing a relatively variety, while the standing crop was also changed to 112.0~470.0 cells/L in the pelagic environment, showing a maximum chlorophyll *a* concentration. Although a variety of dominant species appear at low dominance with-

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

out dominant species appearing with a right-wing point in the phytoplankton communities, the silicoflagellate, *Otactis otonaris* at the station A and the dominance of 26% due to *Leptocylindrus mediterraneus* at the station C have been judged to be unusual. For community analysis of infinitesimal creatures such as phytoplankton of oligotrophic waters through the present study, ecology studies through vertical sample collection agreeing with the results of continuous observation such as identification of vertical distribution in a marine environment or of maximum chlorophyll layers have been considered rather than a survey method with intervals of a given depth such as surface, subsurface, middle and bottom layers.

Keywords: vertical profiles(연직분포), marine environments(해양환경), light intensity(irradiance, 광량), micro-phytoplankton community(소형 식물플랑크톤 군집), chlorophyll *a*(엽록소 *a*), continental slope area(대륙사면), East China Sea(동중국해)

1. 서 론

동중국해에서 중국대륙을 접하는 서부해역은 대형 하천을 통한 육수유입이 원활할 뿐만 아니라 50 m 이하의 낮은 수심을 나타내지만, 일본열도 규슈 서남방에서 오끼나와까지 동남해역은 수심 500 m가 넘는 대륙사면이 위치한다. 동중국해의 대륙사면은 구로시오해류의 영향을 직접 받는 해역으로(Isobe[1999]; Hsueh[2000]; Liu and Gan[2012]), 쓰시마 난류가 동해로 들어오는 주수로의 오른쪽에 위치하여 시계방향의 와류를 형성한다(Guo *et al.*[2006]; Lee and Matsuno[2007]). 뿐만 아니라 동중국해는 구로시오난류가 분기하여 쓰시마난류가 발원할 뿐만 아니라, 서부의 중국대륙에서 유입되는 양자강 등 하천의 유입수에 의해 영양염을 공급 받는 등(Oh and Park[2004]; Zhang *et al.*[2007]; Park *et al.*[2011]), 다양한 수괴에 의해 계절적 환경 특성을 달리한다(Beardsley *et al.*[1985]; Kondo[1985]; 승[1992]; Cho and Kim[1994]; Lee[1999]; Yoon *et al.*[2005]; Li *et al.*[2006]). 따라서 이들 수괴의 확장파와 혼합에 따라 해양환경 특성은 물론, 해역의 생물생산력에도 변동을 주게 되어, 해양환경의 계절변화가 탁월한 특성을 나타낸다(Yang and Kim[1990]; Lee[1999]; Shanmugam *et al.*[2008]). 특히 동중국해 동부의 대륙사면의 북쪽인 규슈 서북방해역은 쓰시마난류의 주 수송로에 해당하여 동일 해류의 영향을 받는 우리나라 남해보다 2 °C 이상 높은 수온을 나타낸다.

또한 동중국해는 해양환경의 다양함과 함께 다양한 회유성 어류의 회유, 섭식 및 월동장으로서 한국, 일본 및 중국 등 주변국이 공동으로 이용하는 어장으로서 수산해양학적 중요성이 매우 큰 해역으로(Choi[1981]; Rho[1985]; Miyaji[1991]), 최근 이해 당사국들이 집중적인 연구투자가 이루어지는 해역이다(Nagasawa and Marumo[1967]; Huh[1982]; Mio *et al.*[1984]; Kondo[1985]; Edmond *et al.*[1985]; Milliman *et al.*[1985]; Hu[1986]; Matsuda *et al.*[1989]; Lu[1991]; Isobe[1999]; Lu *et al.*[2002]; Furey and Bower[2005]; Takikawa *et al.*[2005]; Liu *et al.*[2010]; Liu and Gan[2012]).

따라서 본 연구에서는 동중국해의 쓰시마난류의 움직임과 생태구조 파악에 중요한 일본 규슈 남서해역의 대륙사면을 대상으로 2009년 이른 여름의 해양환경과 식물플랑크톤 군집에 대하여 분석한 내용을 보고한다. 또한 일반적인 해양의 생물군집은 수평 및 연

직 방향으로 일정 간격이나 수심에 대한 점적 조사의 결과에 의해 해석되고 있지만, 이에 대한 문제점에 대해서도 고찰한다.

2. 재료 및 방법

동중국해 대륙사면의 해양환경과 식물플랑크톤 군집을 파악하기 위한 현장조사는 2009년 이른 여름인 6월 8일에서 10일까지 Fig. 1에 표시한 3개 정점을 대상으로, 나가사키대학 연습선인 나가사키마루(842톤)를 이용하여 현장조사를 실시하였다. 조사는 수온, 염분, 광량, 용존산소(DO)와 엽록소 *a*의 센서가 장착된 CTD (Seabird Co., USA)를 이용하여 표층에서 저층까지 연속 측정하여 1 m 간격으로 정리하여 측정값으로 사용하였다.

소형 식물플랑크톤 군집 분석을 위한 채집은 수심 25 m, 엽록소 *a*가 최대가 되는 수층 및 수온 및 염분약층이 보이는 3개의 수층을 원칙으로, 로제트샘플러로 15 L의 해수를 채수하였다. 채수한 해수는 현장에서 망목이 20 μ m인 소형 플랑크톤 net를 이용하여 최종 농도가 10 mL가 되도록 농축하였다. 농축된 식물플랑크톤 표본은 증성포르마린을 이용 최종 농도가 0.4%가 되도록 고정하여, 검경시

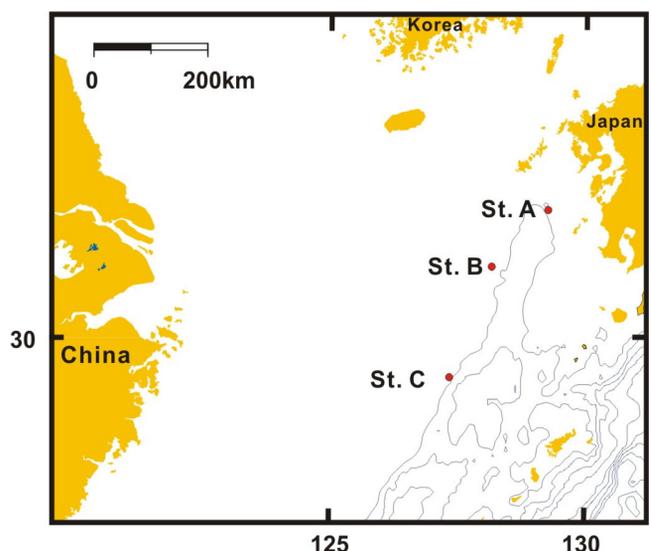


Fig. 1. Map showing sampling stations in eastern area of the East China Sea.

Table 1. Observation conditions on each sampling station in the continental slope area of the East China Sea early summer 2009

Stn. No	Date/Time	Depth (m)	Water sampling layers (m)			Weather	Cloud	Location
A	June 10 07:20~09:20	480	40	260	-	rain	10	Lat. 32°10'03"N Long. 129°29'22"E
B	June 08 10:00~11:20	302	25	100	-	fine	4	Lat. 31°20'00"N Long. 128°20'00"E
C	June 09 08:00~09:50	590	25	80	300	fine	4	Lat. 28°38'42"N Long. 127°03'36"E

료로 제공하였다(Thronsen[1978]). 검경은 농축된 시료 1 mL를 마이크로피펫을 이용하여 정확히 계수관에 취해 광학 현미경(Olympus, BX50)을 이용하여 100X-400X하에서 종의 동정과 출현 세포밀도에 의한 식물플랑크톤의 현존량을 파악하였다(Cupp[1943]; Chihara and Murano[1997]; Tomas[1997]). 그리고 식물플랑크톤 분류체계와 증명은 World Register of Marine Species(WoRMS, www.marinespecies.org)와 Algaebase (www.algaebase.org)에 준하여 정리하였다.

동중국해 대륙사면의 3개 정점에 대한 해양 관측 당시 기상 및 채수 수심 등은 Table 1과 같다. 정점 A의 표본 채집 수심은 엽록소 피크가 보이는 수층과 중간 수심을 대상으로 하였고, 정점 B는 아표층(25 m)과 엽록소가 최대 농도를 보이는 수심, 그리고 정점 C는 엽록소 a 최대 수심과 염분 최대 수층 및 중간 수심을 대상으로 하였다. 운량(Cloud)은 피포트 풍력 단계에 따른 운량을 나타내었다.

3. 결 과

3.1 해양환경과 엽록소 a의 연직분포

3.1.1 정점 A

정점 A는 규슈 서방에서 수심 500 m 등심선의 가장자리에 해당된다. 수온은 표층에서 21.0 °C를 보이나, 수심 증가와 함께 감소하여 475 m에서 8.3 °C로 표층보다 12.7 °C 낮았다. 염분은 표층에서 34.37 psu인 것이 수심 증가와 함께 높아져 190 m에서 34.50 psu로 최댓값을 나타내었고, 그 이심에서는 점차 감소하여 475 m에서 34.36 psu로 변화의 폭은 크지 않았다. 수온과 염분에 의해 결정되는 sigma-t는 수심 증가와 함께 높아져 478 m에서 26.74 kg/m³로 표층보다 2.72 kg/m³ 높았다. 수온, 염분 및 sigma-t에서 수심변화에 따른 불연속적인 약층은 뚜렷하지 않았다(Fig. 2).

광량은 당일 비가 내려 표층의 광량은 125.0 μmol photons/m²/s이 관측되었으나 수심 5 m에서 35.3 μmol photons/m²/s, 30 m에서 9.0 μmol photons/m²/s로 급속히 감소하였으나 그 이심에서는 완만한 감소를 보였다. 엽록소 a는 표층에서 0.28 μg/L를 보이나 수심의 증가와 함께 높아져 40 m에서 0.70 μg/L로 최댓값을 나타내었다. 이후 수심 증가에 따라 점차 낮아져 160 m 이심에서는 0.05 μg/L 이하의 낮은 농도가 되었다. 용존산소는 5 m 수심에서 3.71 ml/L의 낮은 값을 보이나 수심과 함께 증가하여 수심 30 m 전후에서 4.1 ml/L로 최댓값을 보인 다음 점차 감소하여 200 m 이심에서는 2.0 ml/L 이하로 낮았다(Fig. 2).

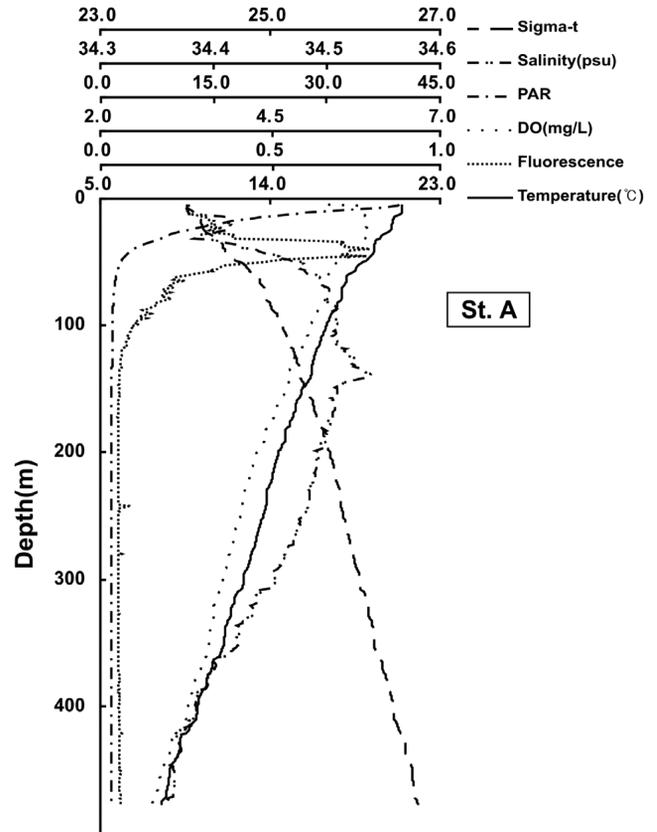


Fig. 2. Vertical profiles of marine environmental factors such as water temperature, salinity, sigma-t, dissolved oxygen, light intensity and chlorophyll a at Station A.

3.1.2 정점 B

정점 B에서 수온은 표층의 23.3 °C가 수심의 증가와 함께 감소하여 150 m에서 17.1 °C, 290 m에서 11.7 °C로 표층에 비해 11.6 °C 낮았다. 염분은 표층의 34.31 psu로 낮았으나, 그 이심에서 일정 수심까지 34.52 psu 전후로 균일한 분포를 보이나, 70 m부터 농도가 증가하여 115 m에서 34.59 psu로 제1 피크를 보인 다음 120 m에서 34.46 psu로 낮아졌다. 이후 재차 수심에 따라 농도가 상승하여 125 m에서 34.62 psu로 최댓값을 보였고, 295 m에서는 34.43 psu로 낮아졌다. sigma-t는 수심과 비례하여 295 m에서 26.20 kg/m³로 표층보다 2.74 kg/m³ 높았다. 수온 및 염분 약층은 정점 A와 동일하여 뚜렷하지 않았다(Fig. 3).

광량은 조사기간 동안 맑은 날씨이나 구름과 선박의 그늘에 가

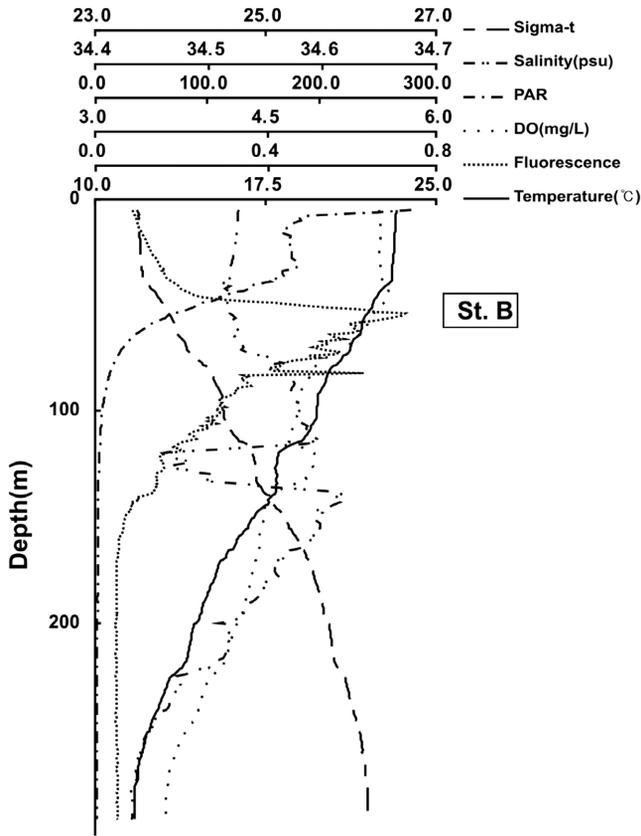


Fig. 3. Vertical profiles of marine environmental factors such as water temperature, salinity, sigma-t, dissolved oxygen, light intensity and chlorophyll *a* at Station B.

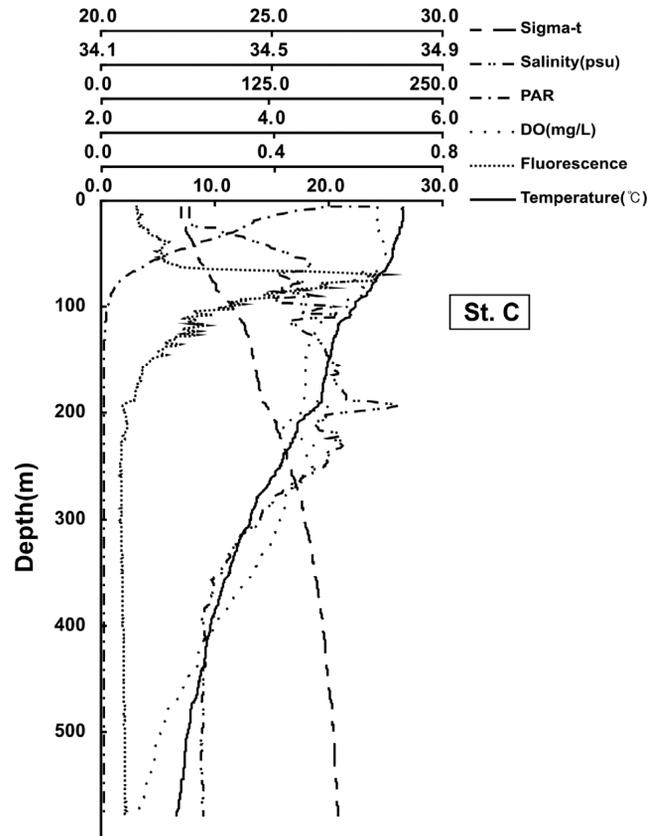


Fig. 4. Vertical profiles of marine environmental factors such as water temperature, salinity, sigma-t, dissolved oxygen, light intensity and chlorophyll *a* at Station C.

리는 시간이 있었다. 표층에서 2,348 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 가 측정되었고, 50 m에서 100 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$, 100 m에서 10.0 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 을 나타내었고, 150 m까지는 2.0 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 이상의 광량이 나타내었다. 엽록소 *a*는 표층의 0.09 $\mu\text{g/L}$ 에서 수심의 증가에 따라 농도가 상승하여 80 m에서 0.62 $\mu\text{g/L}$ 로 최댓값을 나타내었다. 이후는 수심 증가에 따라 농도는 낮아져 140 m 이심에서는 0.1 $\mu\text{g/L}$, 180 m 이심에서는 0.05 $\mu\text{g/L}$ 이하의 엽록소 *a*를 나타내었다. 용존 산소는 4 m에서 3.80 ml/L로 낮았으나, 45 m에서 3.88 ml/L로 최대 용존산소 농도를 보인다음 200 m에서 2.99 ml/L, 295 m에서 2.53 ml/L의 농도를 나타내었다(Fig. 3).

3.1.3 정점 C

구로시오해류의 주 수송로에 위치하는 정점 C에서 수온은 표층의 26.5 °C에서 수심의 증가와 함께 완만하게 감소하여 470 m에서 8.2 °C, 580 m에서 6.7 °C로 표층보다 19.8 °C 낮아, 표층과 저층사이의 수온 차이는 크게 나타났다. 염분은 표층의 34.34 psu가 아표층까지 비교적 균일하지만, 이후 점차 상승하여 200 m에서 34.80 psu로 최댓값을 보인다음 점차 감소하여 580 m에서 34.34 psu를 나타내었다. sigma-t는 다른 정점과 유사하여 수심과 함께 완만하게 상승하여 480 m에서 26.76 kg/m^3 , 580 m에서 26.94 kg/m^3 로 표층보

다 2.92 kg/m^3 높았다. 수심변화에 따른 수온 및 염분의 불연속적인 약층은 뚜렷하지 않았다(Fig. 4).

광량은 정점 B와 동일한 조사 조건으로 표층의 광량은 1,400 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 로 정점 B 보다 다소 낮았다. 수심이 증가에 따라 광량은 급속히 감소하여 30 m에서 101.8 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$, 85 m에서는 10.1 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 를 나타내었고, 100 m 이심에서는 3.0 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 이하로 낮아졌다. 엽록소 *a*는 표층의 0.06 $\mu\text{g/L}$ 가 5 m에서 0.8 $\mu\text{g/L}$ 를 보였고, 이후 수심과 함께 증가하여 74 m에서 0.64 $\mu\text{g/L}$ 로 최댓값을 보였다. 이후는 수심에 따라 지그재그로 점차 낮아지는 경향을 보였고, 200 m 이심에서는 0.05 $\mu\text{g/L}$ 이하의 농도를 나타내었다. 용존산소는 표층의 3.36 ml/L가 5 m에서 3.63 ml/L를 보여, 30 m까지는 일정한 농도를 보이다, 이후 증가하여 60 m 부근에서 3.73 ml/L로 최댓값을 형성한다. 이후 점차 감소하여 220 m에서 2.83 ml/L로 최소로 나타낸 다음 재차 증가하여 235 m에서 3.12 ml/L로 작은 피크를 보인다. 이후는 점차 감소하여 471 m에서 2.0 ml/L, 580 m에서 1.68 ml/L의 농도를 나타내었다(Fig. 4).

3.2 소형 식물플랑크톤 군집

3.2.1 종조성

2009년 이른 여름 동중국해 대륙사면에서 출현이 확인된 소형

Table 2. Species composition of micro-phytoplankton community at each sampling station in the continental slope area of the East China Sea

Taxon	Species Number			
	A	B	C	Total
Diatoms	21G 38S	33G 59S	22G 42S	36G 72S
Centric diatoms	14G 30S	21G 46S	15G 34S	22G 57S
Pennate diatoms	7G 8S	12G 13S	7G 8S	14G 15S
Dinoflagellates	5G 7S	16G 24S	7G 10S	18G 29S
Silicoflagellates	2G 2S	2G 2S	2G 2S	2G 2S
Total	28G 47S	51G 85S	31G 54S	56G 103S

G: genera, S: species

식물플랑크톤 종은 전체 56속 103종으로 비교적 다양한 종조성을 나타내었다. 분류군별로는 규조류가 36속 72종으로 69.9%의 출현 점유율을 나타내었고, 다음으로는 와편모조류가 18속 29종 및 규질편모조류가 2속 2종으로 각 28.2%와 1.9%의 출현 점유율을 나

타내었다(Table 2).

정점별로는 수심이 가장 낮은 정점 B에서 51속 85종으로 가장 다양하였고, 연안부에 가장 인접한 정점 A와 구로시오난류의 영향을 강하게 받는 정점 C에서 각각 28속 47종과 31속 54종으로 단

Table 3. Species name and cell density of micro-phytoplankton at each sampling station and depth in the continental slope area of the East China Sea

종명	정점 수심	Phytoplankton standing crop (cells/L)						
		A		B		C		
		40 m	260 m	25 m	100 m	25 m	80 m	300 m
DINOFLAGELLATES		8.0	7.0	29.3	7.3	6.0	4.7	1.3
<i>Alexandrium</i> sp.				0.7				
<i>Amphisolenia bidentata</i>					0.7			
<i>Biceratium furca</i>				0.7		1.3		
<i>Ceratium fusus</i>				0.7				
<i>C. macroceros</i>		1.3		0.7	0.7		0.7	
<i>C. pentagonus</i>				1.3				
<i>C. teres</i>		0.7		3.3			0.7	
<i>Ceratium</i> sp.							0.7	0.7
<i>Corythodinium tessellatum</i>				0.7				
<i>Dinophysis acuminata</i>				0.7				
<i>D. caudata</i>				0.7				
<i>D. rotundata</i>		1.3						
<i>Diplopsalis</i> sp.				1.3				
<i>Gonyaulax scrippsae</i>				2.0				
<i>Gonyaulax</i> sp.					0.7	1.3		
<i>Goniodoma polyedricum</i>				0.7				
<i>Gyrodinium</i> sp.				0.7				
<i>Noctiluca scintillans</i>							0.7	
<i>Oxytoxum</i> sp.					0.7			
<i>Podolampas palmipes</i>				0.7			0.7	
<i>Pronoctiluca rostrata</i>				1.3	1.3			0.7
<i>Prorocentrum micans</i>		1.3						
<i>P. triestinum</i>		1.3			2.0			
<i>Prorocentrum</i> spp.				1.3				
<i>Protoperidinium heteracanthum</i>				0.7				
<i>Protoperidinium</i> sp.		1.3		2.0		1.3		
<i>Pyrophacus horologium</i>		0.7						
<i>Scrippsiella trochoidea</i>				0.7		1.3	1.3	
<i>Torodinium teredo</i>				0.7				
Other dinoflagellates			0.7	6.7	1.3	0.7		

Table 3. (continued)

종명 정점 수집	A		B			C	
	40 m	260 m	25 m	100 m	25 m	80 m	300 m
OTHER FLAGELLATES	11.3	0	17.3	6.7	3.3	2.0	2.7
<i>Dictyocha fibula</i>	1.3		2.7	0.7	2.0	0.7	1.3
<i>Octactis octonaria</i>	10.0		14.7	6.0	1.3	1.3	1.3
DIATOMS	106.0	38.0	237.3	456.0	102.7	242.0	50.0
<i>Centric diatoms</i>	93.3	36.0	220.0	257.3	94.0	230.0	48.7
<i>Actinoptychus senarius</i>		0.7	0.7				
<i>Asteromphalus flabellatus</i>	0.7			0.7			
<i>A. heptactis</i>	0.7						
<i>Bacteriastrium comosum</i>			7.3				
<i>B. delicatulum</i>		5.3	24.0	1.3	4.0	13.3	2.7
<i>B. elongatulum</i>				4.0			
<i>B. furcatum</i>			6.0	1.3		7.3	
<i>Bacteriastrium</i> spp.	2.0	1.3			1.3		1.3
<i>Cerataulia bicornis</i>					0.7		0.7
<i>Chaetoceros aequatorialis</i>						0.7	
<i>Ch. affinis</i>	1.3	0.7				2.0	
<i>Ch. atlanticus</i>				15.3			
<i>Ch. brevis</i>				2.0			
<i>Ch. coarctatus</i>	2.7				2.7		
<i>Ch. compressus</i>	2.7			1.3			
<i>Ch. danicus</i>	2.0		1.3			1.3	
<i>Ch. debilis</i>							4.0
<i>Ch. decipiens</i>	7.3	1.3	15.3	14.0	2.7	22.0	5.3
<i>Ch. dichæta</i>			4.0	23.3		3.3	
<i>Ch. didymus</i>	4.0	5.3		2.7			
<i>Ch. eibenii</i>			0.7				
<i>Ch. laevis</i>	2.0						
<i>Ch. lorenzianus</i>			6.7				
<i>Ch. mesanensis</i>		0.7		2.7	1.3	1.3	
<i>Ch. peruvianus</i>				0.7	1.3		0.7
<i>Ch. pseudocurvisetus</i>				44.0			
<i>Chaetoceros</i> spp.	44.0	4.7	56.0	49.3	20.7	45.3	9.3
<i>Climacodinium frauenfeldianum</i>			1.3				
<i>Corethron criophilum</i>				1.3	5.3	4.0	1.3
<i>Coscinodiscus</i> spp.	0.7	1.3	2.7	4.0		0.7	
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	4.0	2.0		11.3		8.7	
<i>D. phuketensis</i>	4.0			10.7		3.3	
<i>Dictylum brightwellii</i>	0.7		0.7	1.3	0.7		
<i>D. sol</i>	0.7						
<i>Eucampia cornuta</i>			2.0	0.7	1.3	6.0	0.7
<i>E. zodiacus</i>		0.7	0.7				
<i>Gossleriella tropica</i>				0.7			
<i>Guinardia cylindrus</i>			4.0				
<i>G. delicatissima</i>			11.3				
<i>G. flaccida</i>	0.7					5.3	
<i>G. striata</i>	2.0	4.7	7.3	2.7	2.7	12.0	0.7
<i>Hemiaulus hauckii</i>	0.7	4.0	16.0	7.3	0.7	1.3	0.7
<i>H. membranaceus</i>			0.7			20.0	
<i>Leptocylindrus danicus</i>			8.0		2.7		
<i>L. mediterraneus</i>	1.3		17.3	40.7	29.3	65.3	2.7
<i>Planktoniella sol</i>				1.3			

Table 3. (continued)

종명	정점 수심	A		B		C		
		40 m	260 m	25 m	100 m	25 m	80 m	300 m
<i>Proboscia alata</i>		3.3	2.7	10.0	2.7	6.0	3.3	0.7
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>					1.3	0.7		
<i>Rhizosolenia bergonii</i>		2.7			1.3		0.7	
<i>R. hebetata</i>			0.7	2.7	2.0	3.3	1.3	0.7
<i>R. setigera</i>				3.3		1.3		
<i>Rizosolenia</i> spp.		0.7		2.0	2.7	5.3	0.7	
<i>Skeletonema</i> sp. cf. <i>costatum</i>				5.3				
<i>Stephanopyxis turris</i>					0.7			
<i>Thalassiosira leptopus</i>				1.3				
<i>Th. rotula</i>		0.7						
<i>Thalassiosira</i> spp.		2.0		1.3	2.0		0.7	0.7
<i>Pennate diatoms</i>		12.7	2.0	17.3	198.7	8.7	12.0	1.3
<i>Achnanthes longipes</i>					5.3..			
<i>Asterionellopsis glacialis</i>			1.3	2.0			2.0	
<i>Cocconeis</i> sp.					0.7			
<i>Diploneis splendida</i>			0.7					
<i>Lioloma</i> sp.				1.3				
<i>Mastogloia minuta</i>				0.7	0.7	0.7		
<i>Meumiera membranacea</i>		2.0		1.3				
<i>Navicula</i> spp.		1.3		4.0	6.0	0.7		
<i>Nitzschia sigma</i>					0.7			
<i>Plagiotropis lepidoptera</i>					0.7			
<i>Pleurosigma</i> spp.		0.7		1.3	1.3	0.7	0.7	
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>		2.0		5.3	3.3	4.7		
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.		1.3			14.7		1.3	
<i>Surirella fastuosa</i>								1.3
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		5.3		1.3	165.3	2.0	8.0	
Total(cells/L)		125.3	38.7	284.0	470.0	112.0	248.7	54.0
Species No.		40	18	59	50	32	36	21

조로운 종출현 특성을 나타내었다. 분류군별로는 전체 정점에서 규조류, 특히 중심목 규조류에 의한 출현이 많았고, 외편모조류는 정점 B에서 가장 다양하게 출현하였다(Table 2).

3.2.2 현존량

소형 식물플랑크톤 현존량은 아표층에서 112.0~125.3 cells/L의 세포밀도 범위, 100 m 전후의 수심에서 248.7~470.0 cells/L의 세포밀도 범위를 보였고, 300 m 전후에서는 54.0 cells/L이하의 세포밀도를 나타내었다. 다만 정점에 따라 표본 채집 수심과 엽록소 a 최댓값을 보이는 수심이 다르지만, 엽록소 a 최댓값을 보이는 수층에서의 식물플랑크톤 현존량은 112.0~470.0 cells/L의 세포밀도 범위를 나타내었다(Table 3).

3.2.3 우점종

소형 식물플랑크톤 군집에서 우점 출현하는 종은 정점에 따라 차이를 보이나, 전체 정점에서 극우점하는 종은 없고, 정점 D의 100 m와 정점 C의 두 개 수층을 제외하고는 10% 이하의 점유율로 다양

한 종이 출현하는 특성을 보였다. 정점 A는 엽록소 a 최댓값을 보이는 40 m 수심에서 규질편모조류인 *Octactis octonaria*가 8.0%의 점유율을 나타내었다. 기타로는 중심목 규조류인 *Chaetoceros decipiens*가 5.8%, 우상목 규조류인 *Thalassionema nitzschioides*가 4.2%의 점유율을 나타내었다. 정점 B의 25 m 수층은 중심목 규조류인 *Bacteriastrum delicatulum*이 8.5%의 점유율로 최우점하였고, 기타로는 중심목 규조류인 *Leptocylindrus mediterraneus*가 6.1%, *Chaetoceros decipiens*와 *T. nitzschioides*가 각각 5.4%와 5.2%의 점유율을 나타내었다. 동일 정점의 100 m 수층은 표층과는 달리 *T. nitzschioides*가 35.2%의 높은 우점율로 최우점하였고, *L. mediterraneus*가 8.7%의 우점율을 보였다. 25 m에서 제1 우점종으로 출현한 *B. delicatulum*은 0.31%의 우점율을 나타내었다. 연안에서 가장 멀리 떨어진 정점 C에서는 25 m와 80 m 모두에서 *L. mediterraneus*가 각각 26.2%와 26.3%의 높은 우점율을 나타내었다. 기타로는 80 m 수심에서 *Ch. decipiens*와 *B. delicatulum*이 각각 8.8%와 5.3%의 점유율을 나타내었다(Table 4).

Table 4. Dominant species and its relative abundance at each sampling station and depth in the continental slope area of the East China Sea

Dominant Species	Dominance (%)				
	A		B		C
	40 m	25 m	100 m	25 m	80 m
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4.2	0.5	35.2	0.2	3.2
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	1.0	6.1	8.7	26.2	26.3
<i>Chaetoceros decipiens</i>	5.8	5.4	3.0	2.4	8.8
<i>Bacteriastrium delicatulum</i>	-	8.5	0.3	3.6	5.3
<i>Octactis octonaria</i>	8.0	5.2	1.3	1.2	0.5

4. 고 찰

이른 여름 동중국해 대륙사면의 해황은 수심변화에 따른 수온 및 염분의 뚜렷한 성층은 관찰되지 않았다. 수온은 수심증가에 따라 감소하여 저층이 표층보다 2~3 °C 낮은 반면, 염분은 표층에서 일정 깊이까지 상승하여 150~200 m 부근에서 최대 염분을 보인 다음 감소하지만, 그 변화 폭은 크지 않았다. 수온과 염분의 함수로 결정되는 sigma-t는 염분의 변화가 크지 않기에 수온의 변화에 의해 지배되는 양상으로 수심 증가와 함께 완만한 증가를 보여, 저층에서 표층보다 2~3 kg/m³ 높은 값을 보였다. 이와 같은 해황 인자의 연직 분포 경향은 동중국해 구로시오해류 영향을 강하게 받는 해역의 전형적 패턴으로 알려져 있다(Li *et al.*[2006]; Zhang *et al.*[2007]). 특히 규슈 남서해역의 대륙사면은 규수남방을 주 수송로로 하여 북동진하는 구로시오해류와 동중국해 우측 대륙붕을 주 수송로로 하여 북진하는 쓰시마난류 사이에 위치하여 시계방향의 와류를 형성하여 북진하던 쓰시마난류 일부가 남하하는 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Guo *et al.*[2006]; Zheng *et al.*[2009]).

광량은 해수 표면에 도달한 다음 표층에서 급격히 흡수되며, 표층 광량이 약 1%가 되는 곳을 보상수심으로 정의한다. 비가 오는 날에 측정되었던 정점 A를 제외하면, 보상수심에서의 광량은 15 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 정후의 값으로 약 수심 80 m로 나타났다. 그러나 10 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 의 광량이 존재하는 수심은 정점 A에서 30 m로 다소 낮지만, 정점 B와 정점 C에서는 약 90 m 수심을 나타내었다. 또한 날씨에 의해 변화는 심하지만 200 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 이상의 광량을 보이는 수심은 정점 A에서 관측되지 않았고, 정점 B와 정점 C에서는 약 10 m 이내의 표층에 한정되었다. 아직까지 식물플랑크톤 성장과 광량의 관계를 심도 있게 다룬 현장 정보는 미흡하고, 식물플랑크톤 중에 따라 성장의 최적 광량은 다르게 일률적인 기준으로 광량과 식물플랑크톤 성장의 관계를 설명할 수는 없다. 간접적으로 배양을 통해 비교적 높은 광량을 요구하는 외편모조류인 *Akashiwo sanguinea*, *Alexandrium tamarense*, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium catenatum*, *Gyrodinium instriatum*, *Karenia mikimotoi*나 침편모조류인 *Chattonella antiqua*, *Ch. marina*, *Ch. ovata* 등은 70~100 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 광 포화율이 일어나는 것을 보고하고 있다(Yamaguchi and Honjo[1989]; Yamaguchi *et al.*[1991]; Yamamoto and Tarutani[1997]; Kim *et al.*[2004]; Oh and Yoon[2004]; Noh *et al.*[2006]; Nagasoe *et al.*[2006]; Oh *et al.*

[2006]; Matsubara *et al.*[2007]). 그러나 외편모조류보다 약한 광량에서 광 포화율을 보이는 규조류(Xu *et al.*[2010])는 종에 따라 최적 광량에 변동이 매우 심하다. 예로서 *Chaetoceros gracilis*나 *Phaeodactylum triconutum*은 3~350 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 범위에서 성장하나, *C. gracilis*는 20 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서, *P. triconutum*은 3 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 최적 광량을 보고하고 있다(Ban *et al.*[2006]). 그리고 종에 따른 광 보상은 연안의 많은 외편모조류에서는 10 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 수준으로 알려지고 있고(Oh and Yoon[2004]), 규조류 *Skeletonema costatum*은 서식 해역에 따라 차이가 있지만 1.0 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 을 나타낸다(Langdon[1987]). 이와 같은 실내 실험은 실험자와 실험 조건에 따라 차이를 나타낸다. 예로서 동중국해의 중국연안에서 봄에서 여름까지 적조를 발생시키는 *Prorocentrum donghaiense*에 대해 Xu *et al.*[2010]은 30 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 광 포화율을 보이나, 230 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서도 광 저해는 없는 것으로 보고한 반면, Sun and Weng[2010]은 동일종에 대하여 최적 광 조건은 250 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 이고, 이 이상의 광량에서 광 저해가 발생하는 것으로 상반된 보고를 하고 있다.

본 연구에서 우점하는 종에 대한 광량 자료는 없고, 위의 실험실 결과를 현장에 바로 대입하는 것은 많은 문제가 있지만, 이를 감안하여 결과를 동중국해 대륙사면 해역에 적용하면 식물플랑크톤에 의한 광합성은 외편모조류를 포함하는 식물성 편모조류는 보상수심까지의 표층에서, 규조류에 의해 우점하는 특성을 고려하면 보상수심도 이하의 수층에서도 광합성이 가능할 것으로 판단할 수 있었다. 그리고 정점 B에서 수심 10~35 m 사이에서 170~180 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 로 일정한 광량을 보이는 것은 일반적인 해양의 형상으로 이해하기는 어렵지만, 조사시간에 구름과 선박의 그늘에서 벗어나면서 발생할 수 있을 가능성을 생각해보다, 정확한 원인에 대해서는 불명이다.

엽록소 *a*로 나타낸 식물플랑크톤 생물량은 표층에서 정점 A의 0.28 $\mu\text{g/L}$ 를 제외하면 정점 B와 정점 C에서 각각 0.09 $\mu\text{g/L}$ 와 0.06 $\mu\text{g/L}$ 로 0.1 $\mu\text{g/L}$ 이하의 낮은 농도를 보였고, 최대 농도는 0.6~0.8 $\mu\text{g/L}$ 로 빈영양 해역 수준을 나타내었다. 또한 엽록소 최댓값을 보이는 수심도 정점 A에서 40 m, 정점 B와 정점 C에서는 80 m 전후에 형성되어, 동중국해 서부의 담수유입으로 인한 영양염류 공급이 원활한 해역이나 연안에서 수온이나 염분약층에 엽록소 최댓값을 보이는 것(Yoon and Kim[1994]; Yoon *et al.*[2003]; [2005]; Shanmugam *et al.*[2008])과는 달리, 수온이나 염분과 같은 물리적 해황 지표와는

유의적 관계는 볼 수 없었다. 반면 엽록소 최댓값을 보이는 수심은 표층의 광량이 급격히 감소하여 광량의 변화가 안정화되는 수층과 일치하는 것으로부터 광량과 밀접한 관련성을 보이는 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 여름철 북서태평양의 광역을 대상으로 위성자료에 의한 엽록소의 분포에서 동중국해는 서부와 동부에서 큰 공간 분포 차를 보이며, 경년적 해황변화에 따라 소규모의 패치상의 분포를 나타내는 특징과 함께 동부 해역의 엽록소 농도가 매우 낮음을 나타내는 결과((Shanmugam *et al.*[2008])와 여름 오키나와 부근의 대륙사면에서 엽록소 최댓값이 0.6 $\mu\text{g/L}$ 정도를 나타내는 내용과 유사하였다(Furuya *et al.*[2003]). 또한 엽록소 최댓값과 광량의 분포에 대해서는 해양에서 광량에 대한 실측 자료가 많지 않아 단순 비교는 어렵지만, Furuya *et al.*[2003]은 여름 오키나와 인근의 구로시오해역에서 엽록소 최대 수심은 표층 광량의 1% 되는 보상수심에서 관찰하고 있으며, 상항은 다소 다르지만 호수에서 빛과 엽록소 분포를 조사한 결과에서도 표층 광량의 1%되는 수심에 엽록소 최댓값이 보인다는 결과(Harrison and Smith[2011]) 등을 인용하면 동중국해 대륙사면의 엽록소 연직분포도 광량에 의해 지배되는 것으로 판단할 수 있었다. 즉, 표층의 낮은 엽록소 농도는 자외선 등 강한 빛에 식물플랑크톤 성장이 저해되는 광 저해 현상이 발생하고 있기 때문이며(Shaw and Purdie[2001]; Gao *et al.*[2007]; Villafae *et al.*[2008]; Gerla *et al.*[2011]). 층층에서 최대 엽록소 농도를 보이는 것은 표층에서 침강한 식물플랑크톤이 집적이 아닌 낮은 광량에 적응한 식물플랑크톤의 서식에 적합한 환경을 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 식물플랑크톤 성장에 대한 광 저해 정보는 실험실 배양실험에서 동일종에 대해서도 광 저해 평가는 다르게 표현되며(Xu *et al.*[2010]; Sun and Weng[2010]), 연안 저서성 규조류 *Nitzschia* sp.는 100 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 광 저해가 보이는 반면(Oh *et al.*[2009]), 연안 라피도조류 *Chattonella ovata*는 800 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서도 광저해가 발생하지 않은 등(Noh *et al.*[2010]) 종과 연구자에 따라 많은 차이를 보인다. 다만, 최근 자연 환경에서 연구한 결과는 약 200 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 광 저해 발생 가능성을 지적하고 있다(Gao *et al.*[2007]; Gerla *et al.*[2011]).

동중국해의 서부 중국대륙연안수의 영향을 받는 해역은 높은 식물플랑크톤 출현종과 현존량을 나타내고 있는 반면(Yoon and Kim[1994]; Shim and Park[1984]; Yoon *et al.*[2002], [2003], [2005], [2011]), 동부의 대륙사면에서는 매우 낮은 세포밀도를 보인다. 특히 엽록소 a가 최댓값을 나타내는 수심에서 높은 세포밀도를 나타내었다. 그러나 엽록소 a의 연직분포에서 최댓값을 보이는 수심은 정점에 따라 다르게 나타나며, 최댓값은 표층보다 10배 이상 차이를 보이는 것으로부터, 기존의 일정 수심에 대한 표본 채집으로 식물플랑크톤 군집을 해석하는 방법으로는 출현종, 세포밀도, 우점종에서 과소평가 되거나 잘못된 결과가 도출될 수 있음을 지적하고 있다. 특히 출현 절대값이 낮은 빈영양수역에서 그 차이는 더욱 크게 나타날 것으로 판단된다. 또한 보상수심 이하의 수층에서 보이는 높은 식물플랑크톤 현존량과 생물량은 단순히 표층의 규조류가

침강하여 집적된 결과로 보기보다는 낮은 광량에서 광합성을 할 수 있는 규조류에 의한 광합성 활성이 있는 것으로 판단되었다. 그러나 이른 여름 대륙사면해역에서는 동일 시기에 동중국해에서 관찰되는 남조류의 대발생(Nagasawa and Marumo[1967])이나, 대표적인 유해적조 생물인 *Prorocentrum donghaiense* (Lu *et al.*[2002]) 등은 관찰되지 않았다.

우점종들에서 중심목 규조류 *Leptocylindrus mediterraneus*를 제외하고는 내만/연안 해역에서도 어렵지 않게 관찰되는 종이다. 그러나 규질편모조류 *Octactis octonaria*는 내만에서도 많은 양으로 출현하는 것은 이례적인 종으로 대륙사면 해역에서 비교적 높은 점유율로 출현하였으나, 원인을 규명할 수는 없었다. 또한 구로시오난류의 영향을 강하게 받는 정점 B와 정점 C에서 최우점인 *Leptocylindrus mediterraneus*는 단독 또는 밸브를 따라 군체를 형성하는 실린더 모양의 종으로(Scott and Thomas[2005]) 극지방에서 적도까지 매우 광범위하게 출현한다. 특히 Weddell Sea와 북극 해역에서는 얼음 밑이나 심해에서 종종 출현하는 것이 보고되며(Fryxell, 1989), 아직도 분류학상으로 불확실한 부분이 많은 종이나(Hasle and Syvertsen[1997]), 원생동물인 *Solenicola setigera*가 이용하는 유일한 숙주 생물(Buck and Bentham[1998]; Gomez[2007]; Cafarelli *et al.*[2011]) 생태학적으로 많은 흥미를 보이나, 그에 대한 정보는 매우 제한적이다.

동중국해 대륙사면해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집은 동중국해의 서부해역이나 북부에 위치하는 한국 남해해역과는 매우 다른 특성을 보였다. 동중국해 대륙사면해역은 양자강 희석수와 쓰시마난류가 동해로 들어가는 또 하나의 수로적 특징을 나타낸다. 즉 우리나라 남동해역의 해양환경은 대륙사면해역의 고수온, 고염분과 고밀도의 수괴가 상대적으로 저염분을 나타내는 양자강 희석수와 혼합되어 복잡한 해황을 나타내게 된다. 때문에 한국 남동해역의 해양환경이나 생물상 변동 파악에 있어 대륙사면의 해황을 이해하는 것은 매우 중요하다. 또한 개방된 빈영양해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집 해석에서 기존의 일정 간격의 점 조사에서 얻은 결과의 해석에서 발생할 수 있는 많은 부분의 내용에 대해서도 충분히 검토되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2012학년도 전남대학교 학술지원비 지원으로 수행되었다. 그리고 현장조사는 Nagasaki 대학 실습선인 Nagasakimaru를 이용하여 실시하였기에, 연구 및 선박 승선에 편리를 제공해주신 나가사키대학의 Kazumi MATSUOKA 교수와 Jun HASHIMOTO 교수에게 감사를 표하며, 현장관측 및 채집에 도움을 준 Nagasakimaru 승무원에게 고마움을 전한다. 아울러 연구분석의 기회를 제공해주신 전남대학교와 자료의 정리에 도움을 준 전남대학교 연안환경생태학연구실 박종식 박사, 안영규, 김승현 군 등에 감사드린다.

참고문헌

- [1] Ban, A., S. Aikawa, H. Hattori, H. Sasaki, M. Sampei, S. Kudoh, M. Fukuchi, K. Satoh and Y. Kashino, 2006, "Comparative analysis of photosynthetic properties in ice algae and phytoplankton inhabiting Franklin Bay, the Canadian Arctic, with those in mesophilic diatoms during CASES 03-04", *Porar Biosci.*, 19, 11-28.
- [2] Beardsley, R.C., R. Limeburner, H. Yu and G.A. Cannon, 1985, "Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea, *Continental Shelf Res.*", 4, 57-76.
- [3] Buck, K.R. and W.N. Benthall, 1998, "A novel symbiosis between a cyanobacterium, *Synechococcus* sp., and a plastidic protist, *Solenicola setigera*, and a diatom, *Leptocylindrus mediterraneus*, in the open ocean", *Mar. Biol.*, 132, 349-355.
- [4] Cefarelli, A.O., M. Vernet and M.E. Ferrario, 2011, "Phytoplankton composition and abundance in relation to free-floating Antarctic icebergs", *Deep-Sea Res. II*, 58, 1436-1450.
- [5] Chihara, M. and M. Murano, 1997, An illustrated guide to marine plankton in Japan, Tokai University Press, Tokyo, 1574pp. (in Japanese)
- [6] 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)
- [7] Cho, Y.K. and K. Kim, 1994, "Characteristics and origin of the Cold Water in the South Sea of Korea in Summer", *J. Oceanol. Soc. Korea*, 29, 414-421. (in Korean)
- [8] Cupp, E.E. 1943, "Marine plankton diatoms of the west coast of north America", *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif.* 5, 237pp.
- [9] Edmond, J.M., A. Spivack, B.C. Grant, M.H. Hu, Z. Chen, S. Chen and X. Zeng, 1985, "Chemical dynamics of the Changjiang estuary", *Continental Shelf Res.*, 4, 17-36.
- [10] Fryxell, G.A., 1989, "Marine phytoplankton at the Weddell Sea ice edge: Seasonal changes at the specific level". *Polar Biol.*, 10, 1-18.
- [11] Furey, H.H. and A.S. Bower, 2005, "Synoptic temperature structure of the East China and southeastern Japan/East Seas", *Deep-Sea Research II*, 52, 1421-1442.
- [12] Furuya, K., M. Hayashi, Y. Yabushita and A. Ishikawa, 2003, "Phytoplankton dynamics in the east China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures", *Deep-Sea Res. II*, 50, 367-387.
- [13] Gao, K., G. Li, E.W. Helbling and V.E. Villafan, 2007, "Variability of UVR effects on photosynthesis of summer phytoplankton assemblages from a tropical coastal area of the South China Sea", *Photochem. Photobiol.*, 83, 802-809.
- [14] Gerla, D.J., W.M. Mooij and J. Huisman, 2011, "Photoinhibition and the assembly of light-limited phytoplankton communities", *Oikos*, 120, 359-368.
- [15] Gmez, F., 2007, "The consortium of the protozoan *Solenicola setigera* and the diatom *Leptocylindrus mediterraneus* in the Pacific Ocean", *Acta Protozoologica*, 46, 15-24.
- [16] Guo, X., Y. Miyazawa and T. Yamagata, 2006, "The Kuroshio onshore intrusion along the shelf break of the East China Sea: The origin of the Tsushima warm current", *Phys. Oceanogr.*, 36, 2205-2231.
- [17] Harrison, J.W. and R.E.H. Smith, 2011, "Deep chlorophyll maxima and UVR acclimation by epilimnetic phytoplankton", *Freshwater Biol.*, 56, 980-992.
- [18] Hasle, G.R. and E.E. Syvertsen, 1997, "Marine diatoms", In "Tomas, C.R. (Ed.), Identifying marine phytoplankton, Academic Press, San Diego", pp. 5-385
- [19] Hsueh, Y., 2000, "The Kuroshio in the East China Sea", *J. Marine Systems*, 24, 131-139.
- [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] 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.
- [22] Isobe, A., 1999, "On the origin of the Tsushima warm current and its seasonality", *Continental Shelf Res.*, 19, 117-133.
- [23] Kim, D.-I., Y. Matsuyama, S. Nagasoe, M. Yamaguchi, Y.H. Yoon, Y. Oshima, N. Imada and T. Honjo, 2004, "Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae)", *J. Plankton Res.* 26, 61-66.
- [24] 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)
- [25] Langdon, C., 1987, "On the causes of inter specific differences in growth-irradiance relationship for phytoplankton. Part I. A comparative study of the growth-irradiance relationship of three marine phytoplankton species: *Skeletonema costatum*, *Olisthodiscus luteus* and *Gonyaulax tamarensis*", *J. Plankton Res.*, 9, 459-482.
- [26] Lee, J.-S. and T. Matsuno, 2007, "Intrusion of Kuroshio water onto the continental shelf of the East China Sea", *J. Oceanogr.*, 63, 309-325.
- [27] 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)
- [28] Li, G., X. Han, S. Yue, G. Wen, Y. Rongmin and T.M. Kusky, 2006, "Monthly variations of water masses in the East China Seas", *Continental Shelf Res.*, 26, 1954-1970.
- [29] Liu, K.-K., S.-U. Chao, H.-J. Lee, G.-C. Gong, Y.-C. Teng, 2010, "Seasonal variation of primary productivity in the East China Sea: A numerical study based on coupled physical-biogeochemical model", *Deep-Sea Research II*, 57, 1762-1782.

- [30] Liu, Z. and J. Gan, 2012, "Variability of the Kuroshio in the East China Sea derived from satellite", *Deep-Sea Research I*, 59, 25-36.
- [31] Lu, D., 1991, "Distribution of indicator dinoflagellates in the East China Sea", *Acta Oceanologica Sinica*, 11, 109-122.
- [32] 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.
- [33] Matsubara, T., S. Nagasoe, Y. Yamasaki, T. Shigata, Y. Shimasaki, Y. Oshima and T. Honjo, 2007, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea*", *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 342, 226-230.
- [34] 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.
- [35] Milliman, J.D., H.T. Shen, Z.S. Yang. and R.H. Meade, 1985, "Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf", *Continental Shelf Res.*, 4, 37-45.
- [36] 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)
- [37] 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)
- [38] Nagasawa S. and R. Marumo, 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)
- [39] Nagasoe, S., D. Kim, Y. Shimasaki, Y. Oshima, M. Yamaguchi and T. Honjo, 2006, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee", *Harmful Algae*, 5, 20-25.
- [40] Noh, I.H., Y.H. Yoon, D.-I. Kim, S.J. Oh and J.D. Kim, 2010, "Growth characteristics on the water temperature, salinity and irradiance of the harmful algae *Chattonella ovata* Y. Hara et Chihara (Raphidophyceae) isolation from South Sea, Korea", 「The Sea」 *J. Korean Soc. Oceanography*, 15, 140-147. (in Korean)
- [41] Noh, I.H., Y.H. Yoon, S.J. Oh and D.-I. Kim, 2006, "Effects of water temperature, salinity and irradiance on the growth of harmful algae, *Chattonella marina* (Subrahmanyn) Hara et Chihara (Raphidophyceae) isolated from Gamak Bay, Korea", *J. Korean Fish. Soc.*, 39, 487-494. (in Korean)
- [42] Oh, I.S. and T. Park, 2004, "A numerical study on the dispersion of the Yangtze River water in the Yellow and East China Sea", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 39, 119-135.
- [43] Oh, S.J., I.S. Kang, Y.H. Yoon, H.S. Yang and J.S. Park, 2009, "Effects of optical characteristic on the growth of benthic microalga, *Nitzschia* sp. and its growth kinetics for phosphate for bioremediation", 「The Sea」 *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 14, 205-212. (in Korean)
- [44] Oh, S.J. and Y.H. Yoon, 2004, "Effects of water temperature, salinity and irradiance on the growth of the toxic dinoflagellate, *Gymnodinium catenatum* (Graham) isolated from Yeosuhae Bay, Korea", *Algae*, 19, 293-301.
- [45] Oh, S.J., Y.H. Yoon, D.-I. Kim, 윤양호, 김대일, 島崎洋平, 大嶋雄治, T. Honjo, 2006, "Optical characteristics in the growth of harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae)", *Algae*, 21, 311-316. (in Korean)
- [46] Park, T., C.J. Jang, J.H. Jungclaus, H. Haak, W. Park and I.S. Oh, 2011, "Effects of the Changjiang river discharge on sea surface warming in the Yellow and East China Seas in summer", *Continental Shelf Res.*, 31, 15-22.
- [47] 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)
- [48] Shaw, P.J. and D.A. Purdie, 2001, "Phytoplankton photosynthesis-irradiance parameters in the near-shore UK coastal waters of the North Sea: temporal variation and environmental control", *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 216, 83-94.
- [49] Scott, F.J. and D.P. Thomas, 2005, "Diatoms", In: Scott, F.J., Marchant, H.J. (Eds.), *Antarctic marine protists. Australian Biological Resources Study*, Canberra, pp. 13-201.
- [50] Seung, Y.H., 1992, "Water masses and circulations around Korean Peninsula", *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 324-331. (in Korean)
- [51] Shanmugam, P., Y.-H. Ahn and P.S. Ram, 2008, "Sea WiFS sensing of hazardous algal blooms and their underlying mechanisms in shelf-slop waters of the Northwest Pacific during summer", *Remote Sensing of Environment*, 112, 3248-3270.
- [52] Shim, J.H. and Y.C. Park, 1984, "Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the Southwestern sea of Korea in early summer", *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 68-81.
- [53] Sun, X. and H. Weng, 2010, "Effects of light intensity on chlorophyll concentration of *Prorocentrum donghaiense*", *IEEE 978-1-4244-7161=4/10*, 3p.
- [54] Takikawa, T., J.-H. Yoon, K.-D. Cho, 2005, "The Tsushima warm current through Tsushima straits estimated from ferryboat ADCP Data", *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 1154-1168.
- [55] Thronsen, J., 1978, "Preservation and storage", In "Sournia A(ed). *Phytoplankton manual*, Unesco, Paris", 69-74.
- [56] Tomas, C.R., 1997, *Identifying marine phytoplankton*, Academic Press. London, 858pp.
- [57] Villafae, V.E., P.J. Janknegt, M. de Graaff, R.J.W. Visser, W.H. van de Poll, A.G.J. Buma and E.W. Helbling, 2008, "UVR-induced photoinhibition of summer marine phytoplankton communities from Patagonia", *Mar. Biol.* 154, 1021-1029.
- [58] Yamaguchi, M and T. Honjo, 1989, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the noxious red tide flagellate *Gymnodinium nagasakiense* (Dinophyceae)", *Nippon Suisan*

- Gakkaishi, 55, 2029-2036. (in Japanese)
- [59] Yamaguch, M, I. Imai and T. Honjo, 1991, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the noxious red tide flagellate *Chattonella antiqua* and *C. marina* (Raphidophyceae)", Nippon Suisan Gakkaishi, 57, 1277-1284. (in Japanese).
- [60] Yamamoto, T. and K. Tarutani, 1997, "Effect of temperature, salinity and irradiance on the growth of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* isolated from Hiroshima Bay", Japan J. Phycol. (Sorui), 45, 95-101. (in Japanese)
- [61] Yang, H.S. and S.S. Kim, 1990, "A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula II. Geographical distribution and chemical characteristics of different mid-bottom waters in the neighbouring sea of Cheju Island in summer", Bull. Korean Fish. Soc., 24, 177-184. (in Korean)
- [62] Yoon, Y.H., 2011, "Marine environment and phytoplankton community in the southwest sea of Korea", In: Choi, J.K.(ed), The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters, Donghwa Publisher ress, Seoul, 68-93. (in Korean)
- [63] Yoon, Y.H. and D.S. Kim, 1994, "A thermohaline structure and distribution of chlorophyll a in the East China Sea in summer", Bull. Mar. Sci. Inst., Yosun Nat'l Fish. Univ., 3, 1-10. (in Korean)
- [64] Yoon, Y.H., J.-S. Park, H.Y. Soh and D.J. Hwang, 2003, "Spatial distribution of phytoplankton community and red tide of dinoflagellate, *Prorocentrum donghaiense* in the East China Sea during early summer", Korean J. Environ. Biol., 21, 132-141. (in Korean)
- [65] Yoon, Y.H., J.-S. Park, H.Y. Soh and D.J. Hwang, 2005, "On the Marine Environment and Distribution of Phytoplankton Community in the Northern East China Sea in Early Summer 2004", Korean Soc. Marine Environ. Eng., 8, 100-110. (in Korean)
- [66] Xu, N. S. Duan, A. Li, C. Li, Z. Cai and Z. Hu, 2010, "Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of harmful dinoflagellate *Prorocentrum donghaiense* Lu", Harmful Algae, 9, 13-17.
- [67] Zhang, J., S.M. Liu, J.L. Ren, Y. Wu and G.L. Zhang, 2007, "Nutrient gradients from the eutrophic Changjiang (Yangtze River) Estuary to the oligotrophic Kuroshio waters and re-evaluation of budgets for the East China Sea Shelf", Prog. Oceanogr., 74, 449-478.
- [68] Zheng, P., 2009, "The relationship between the Tiwan warm current and Tsushima warm current", J. Hydrodynamics, 21, 212-218.

2013년 2월 20일 원고접수

2013년 4월 30일(1차), 7월 9일(2차) 심사수정일자

2013년 7월 11일 게재확정일자