동해 축산항 연안의 식물플랑크톤 군집 동태

강연식* · 최휴창¹ · 임주환 · 전인성 · 서지호¹

(한국전력공사 전력연구원, ¹인하대학교 해양학과)

Dynamics of the Phytoplankton Community in the Coastal Waters of Chuksan Harbor, East Sea

Yeon Shik Kang*, Hyu Chang Choi¹, Joo Hwan Lim, In Seong Jeon and Ji Ho Seo¹

Korea Electronic Power Research Institute, Daejeon 305-380, Korea

¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

In order to investigate the distribution of phytoplankton community in the coastal waters of the Chuksan Harbor, East Sea, the abundance and biomass of phytoplankton have been evaluated through seasonal interval sampling from April 2000 to October 2002. A total of 363 different phytoplankton species was observed and most of them were composed of diatoms. The mean abundance and chlorophyll-*a* concentration of phytoplankton during the study period ranged from 56×10^3 to 720×10^3 cells L⁻¹ and from 0.78 to 3.29 $\mu\text{g chl-}a$ L⁻¹, respectively. The relative contribution of the size-fractionated phytoplankton to phytoplankton community showed difference according to seasons. The average contribution of nano-phytoplankton (<20 μm) was over 50% in the total abundance and biomass of the phytoplankton. Our results show that nano-phytoplankton play an important role in the southern coastal waters of the East Sea. And the environmental factors such as suspended substances, phosphates and silicates were positively correlated with the abundances and biomass of phytoplankton.

Key Words: chlorophyll-*a*, Chuksan Harbor, nano-phytoplankton.

서 론

해양 생태계 내에서 식물플랑크톤은 일차생산자로서 지구적인 탄소순환에 중요한 역할을 하고, 수괴 내의 환경요인 변화에 민감한 반응을 보이기 때문에 식물플랑크톤의 군집구조 변화를 이해하는 것은 해역의 특성을 파악하는데 중요하다(Raymont 1980). 특히, 하구역과 본 연구해역과 같이 해양의 점이 지대에 위치한 연안 생태계는 시·공간적 변화가 큰 해양 생태계이다. 동해 남부 연안지역은 대마난류의 지류인 동한 난류와 연안을 따라 남하하는 북한 한류수의 영향을 받는 곳이다. 또한 중·저층에는 동해 고유냉수괴가 존재하며, 연안지역에는 고유냉수의 용승이 빈번히 일어나 냉수역이 생성되는 해양학적으로 복잡한 특성을 나타내고 있다(공 1971; 박 1978). 이와 같은 복잡한 수괴 특성은 동해

남부 연안지역 주변에 수직적인 수온 약층 형성 및 수평적으로 전선역 발달에 영향을 미친다(양 등 1991). 이는 많은 연구자들의 흥미의 대상이 되었고 또한 다양한 연구들이 수행되었는데, 물리적인 현상으로 수괴의 이동이나 혼합과정, 냉수괴의 출현 및 연안역에 나타나는 이상 저온 현상, 위성원격탐사를 이용한 거대 와동류 발생에 관한 연구(박 1979; 김과 김 1983; 홍 등 1984; 서 등 2000; Seung 2002) 그리고 서로 다른 수괴의 접촉에 의해 발달되는 전선역 특성 연구가 있다(양 등 1991; 문 등 1996, 1998; 박과 최 1997; 이 등 1998).

동해 남부 연안지역의 식물플랑크톤에 관한 연구는 식물플랑크톤의 군집구조, 생물량 및 생산력에 관한 연구 그리고 식물플랑크톤 군집 내에서 크기가 작은 미소형플랑크톤의 중요성에 관한 연구 등이 수행되었고(Shim and Lee 1983, 1987; 진과 홍 1985; 조 1985; Shim *et al.* 1985, 1989, 1992; Park *et al.* 1991; 이 등 1998; 강과 최 2002; Choi *et al.* 2004a), 최근에는 색소분석을 이용하여 동해 남부 지역의 식물플랑

*Corresponding author (kangys@kepri.re.kr)

Fig. 1. Map showing the sampling stations in the coastal waters off Chuksan Harbor.

크톤 군집 구조 파악 및 인공위성으로 관찰된 해색센서 자료를 바탕으로 동해 전 지역의 식물플랑크톤 군집 춘·추계 증식 양상의 발생 원인에 관한 연구가 있었다(Park and Park 1997; 김 등 2003; Choi *et al.* 2004b; Yamada *et al.* 2004; Yoo and Kim 2004). 그러나 대부분의 연구는 일년 단위의 단기간에 수행되었으며, 식물플랑크톤의 장기적 변화 및 이에 영향을 주는 요인에 대한 해석은 다소 미약한 편이다. 본 연구는 동해남부에 위치한 축산항 연안의 식물플랑크톤 군집의 장기적인 구조 양상과 계절 변동에 관하여 알아보았으며, 식물플랑크톤 군집에 영향을 주는 환경 요인과의 상호관계를 이해하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 동해 남부에 위치한 경북 영덕군 축산항 연안역에서 9개 정점을 선정하여 2000년 4월부터 2002년 10월까지 계절별로 표층수를 대상으로 조사하였다(Fig. 1). 연구 지역의 표층 수온 및 염분 분포는 CTD(YSI 6000)를 이용하여 측정하였다. 식물플랑크톤의 정성 분석은 망목 40 μm 의 원추형 네트(Kitahara-type)를 이용하여 수직 예인을 통해 채집하였으며, 채집된 시료는 중성포르말린으로 최종 농도 4%로 고정하여 실험실로 운반한 후 광학현미경(Nikon HFX-IIA)

Fig. 2. The seasonal variation of sea surface temperature and sea surface salinity in the coastal waters of Chuksan from April 2000 to October 2002 (•; temperature, ◇; salinity).

Fig. 3. The total number(A) and seasonal variation(B) of phytoplankton species observed in the coastal waters of Chuksan.

하에서 측정하였다. 종의 동정을 위해 정(1993), 심(1994)과 Tomas(1996)등을 참고하였다. 식물플랑크톤 현존량 분석을 위한 정량시료는 선상에서 채수기를 이용하여 표층해수 1 L 채수한 후 폴리에틸렌 병에 넣은 다음 최종농도 4%가 되도록 중성포르말린으로 고정하였다(UNESCO 1978). 고정된 시료는 실험실로 운반하여 50 mL로 농축시킨 후 Sedgewick-Rafter chamber를 사용하여 광학현미경 하에서 계수하였다. 우점종은 소형플랑크톤(microplankton, > 20 μm) 현존량의 5% 이상을 점유하는 종으로 정의하였다(Pratt 1960). 식물플랑크톤의 염록소-*a* 농도는 해수 500 mL를 채수하여 소형(> 20 μm)과 미소형 식물플랑크톤(< 20 μm)으로 구배를 두어 Turner Design 10-Au Fluorometer를 사용하여 측정하였다.

Table 1. The number of phytoplankton species observed in the different coastal waters of East Sea, Korea.

Sites	Periods	Number of species	References
Southeastern sea of Korea	Sep. 1981	185	Shim and Lee 1983
Gori	1986–1987	230	Cho 1988(in Korean)
Wolseong	1986–1987	222	Cho 1988(in Korean)
Southwestern water of East Sea	1981–1984	235	Lee and Shim 1990
Gori	1987–1989	160	Yeo and Shim 1990
Southeastern coastal waters of East Sea	Sep. 1994	133	Lee et al. 1998(in Korean)
Gulf of Yeong-II	1998–1999	200	Jo et al. 2000(in Korean)
Gori	1992–1996	328	Kang and Choi 2001(in Korean)
Wolseong	1992–1996	356	Kang and Choi 2001(in Korean)
Uljin	1992–1996	352	Kang and Choi 2001(in Korean)
Ullundo	1999	136	Jung et al. 2001(in Korean)
Tokdo Islands	1999	87	Jung et al. 2001(in Korean)
Uljin	2003–2004	211	Choi et al. 2004
Chuksan	2000–2002	363	This study

Fig. 4. The seasonal variation of mean abundance(A) and relative percentage(B) of the size-fractionated phytoplankton in the coastal waters of Chuksan.

현장에서 투광도판을 이용하여 투광도를 측정하였고, 부유 물질 농도는 미리 준비한 여과지에 채수된 해수 500 mL을 여과하였고 실험실로 운반하여 건조한 후 무게를 측정하였다. 질소계 영양염, 인산염 및 규산염 농도는 Parsons *et al.* (1984) 방법을 이용하여 측정하였다. 식물플랑크톤 군집과 환경요인과의 상관관계 분석은 SAS 프로그램을 이용하였다.

Fig. 5. The seasonal variation of the mean abundance of bacillariophyceae and dinophyceae in the coastal waters of Chuksan.

결 과

수온 및 염분 분포

연구 해역의 표층수의 수온 변화는 10.0–23.2°C의 범위를 보였고, 2001년 4월에 가장 낮았고 2000년 7월에 가장 높았다(Fig. 2). 연구 기간 동안의 계절에 따른 수온변화 양상은 전형적인 온대 지역의 수온 변화 특성을 나타내었으며, 평균 20°C 이상의 고수온은 주로 하계에 관찰되었다. 계절에 따른 정점간의 수온 변동은 거의 보이지 않았지만, 2001년 8월에는 축산항을 중심으로 북쪽에 위치한 정점보다 남쪽에 위치한 정점의 표층 수온이 약 4.0°C 이상 낮게 나타났다(Fig. 2). 한편 2004년 4월에 관찰된 낮은 수온은 동해 저층수가 본 연구해역으로 유입된 것으로 판단된다.

표층 해수의 염분은 31.2–34.7 psu로 2002년 8월에 가장 낮았고 2001년 5월에 가장 높았으며, 계절적으로는 하계에 낮고 춘계에 높은 분포를 나타내었다(Fig. 2). 계절에 따른 정

Table 2. Dominant species of phytoplankton in the coastal waters of Chuksan (unit of occupying ratio: %).

2000	2001	2002									
Dominant species	Apr.	July	Oct.	Jan.	May	Aug.	Nov.	Jan.	Apr.	Aug.	Oct.
<i>Chaetoceros curviusetus</i>				19.3							
<i>Chaetoceros compressus</i>							10.6				
<i>Chaetoceros debilis</i>						46.2	12.2			25.7	
<i>Hemicaulis sinensis</i>		14.3				5.2					
<i>Leptocylindrus danicus</i>	12.6	11.2									
<i>Licmophora abbreviata</i>				8.2							
<i>Paralia sulcata</i>								14.5			
<i>Proboscia alata</i>	6.6		10.8								
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> v. <i>atlanticus</i>			6.8							10.4	
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	19.3									9.5	20.1
<i>Skeletonema costatum</i>								6.3		13.9	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>				10.3							
<i>Thalassiosira decipiens</i>	7.4							5.2	38.4		
<i>Gymnodinium</i> spp.					18.9		10.2			8.2	33.7
<i>Protoperidinium hyalinum</i>		7.6									
<i>Prorocentrum minimum</i>		11.6									
<i>Prorocentrum</i> sp.					37.0						
<i>Eutreptiella gymnastica</i>									17.0		

점별 염분 차이는 거의 없었지만, 2001년과 2002년 8월에는 강우 및 축산천으로 유입되는 담수의 영향으로 약 2.0 psu의 차이를 나타내었다.

식물플랑크톤의 종조성 및 현존량 분포

연구 기간 동안에 출현한 식물플랑크톤은 총 363종으로 이중 규조류가 266종으로 가장 높은 출현 빈도를 보였고 이 외에 와편모조류 87종, 규질편모조류 3종, 남조류 3종, 그리고 기타 4종이 출현하였다(Fig. 3A). 계절에 따른 식물플랑크톤의 출현종 수는 109-159종으로 2000년 7월에 가장 많았으며 2002년 4월에 가장 적었다. 전 계절에 걸쳐 규조류의 출현 빈도가 가장 높았으며 와편모조류는 2001년 5월에 출현 빈도가 가장 높았다(Fig. 3B). 이 같은 출현 종수는 동해 중·남부 해역에서 조사된 결과와 유사하였고 울릉도와 독도 해역의 출현 종수보다는 많았다(Table 1).

식물플랑크톤 현존량은 56×10^3 – 720×10^3 cells L⁻¹ 범위로 평균 303×10^3 cells L⁻¹을 보였으며, 2000년 7월에 가장 높았고 2002년 1월에 가장 낮은 현존량을 나타냈다(Fig. 4A). 식물플랑크톤 군집을 크기별로 살펴보면 소형 식물플랑크톤(> 20 μ m)의 현존량은 26×10^3 – 353×10^3 cells L⁻¹로 전체 현존량의 42.7–64.1%를 차지하였으며, 미소형 식물플랑크톤의 현존량(< 20 μ m)은 24×10^3 – 367×10^3 cells L⁻¹로 전체 현존량의 35.9–57.3%를 차지하였다. 계절에 따른 차이는 다소 있었지만, 미소형 식물플랑크톤이 소형 식물플랑크톤보다 전체 식물플랑크톤 현존량에 기여하는 비율이 높게 나타났다

Fig. 6. The seasonal variation of mean concentration(A) and relative percentage(B) of the size-fractionated phytoplankton chlorophyll-*a* concentration in the coastal waters of Chuksan.

(Fig. 4B). 전체 식물플랑크톤 군집에서 규조류의 현존량은 20×10^3 – 276×10^3 cells L⁻¹로 전체 소형 식물플랑크톤 현존

Table 3. Pearson's correlation coefficient(r) between phytoplankton community and environmental factors. Data were transformed into log-forms before analysis. TP: Total phytoplankton abundance; MP: Micro-phytoplankton abundance; NP: Nano-phytoplankton abundance; DIA: Diatom abundance; DINO: Dinoflagellate abundance; TC: Total chl-*a*; MiC: Micro(> 20 μ m) chl-*a*; NaC: Nano(< 20 μ m) chl-*a*; TEM: Water temperature; SAL: Salinity; SS: Suspended substance concentration; SD: Secchi depth, NOx: NO₂+NO₃+NH₄⁺, *P < 0.05, **P < 0.005,

	TP	MP	NP	DIA	DINO	TC	MiC	NaC	TEM	SAL	SS	SD	NO _x	PO ₄	SiO ₂
TP		0.987**	0.982**	0.862**	0.517	-0.191	-0.313	0.027	-0.001	0.542	0.611**	-0.131	-0.315	-0.367	-0.350
MP			0.937**	0.903**	0.502	-0.231	-0.307	-0.043	-0.005	0.589	0.573	-0.136	-0.291	-0.402	-0.393
NP				0.788**	0.508	-0.139	-0.310	0.104	0.006	0.475	0.634	-0.108	-0.326	-0.314	-0.289
DIA					0.150	-0.271	-0.254	-0.167	0.056	0.432	0.455	-0.015	-0.018	-0.454	-0.338
DINO						-0.381	-0.443	-0.184	-0.050	0.451	0.291	-0.445	-0.659*	-0.351	-0.515
TC							0.834**	0.794**	-0.039	-0.335	-0.084	0.223	0.157	0.700*	0.691*
MiC								0.334	0.338	-0.480	-0.345	0.232	0.091	0.381	0.337
NaC									-0.435	-0.001	0.273	0.210	0.130	0.764*	0.807**

량의 대부분을 차지하였으며, 반면에 와편모조류의 현존량은 4×10^3 – 135×10^3 cells L⁻¹로 2001년 5월에 가장 높게 나타났다(Fig. 5).

우점종 분포

연구기간 동안 축산항 주변해역에서 우점적으로 출현한 종을 살펴보면(Table 2), 2000년에는 *Pseudo-nitzschia seriata*, *Hemiaulis sinensis*, *Proboscia alata*, 2001년에는 *Chaetoceros curvisetus*, *Prorocentrum* spp., *Chaetoceros debilis* 그리고 2002년에는 *Paralia sulcata*, *Thalassiosira decipiens*, *Chaetoceros debilis*, *Gymnodinium* spp. 등이 최우점종으로 출현하고 있었다. 이외에 *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia seriata* 등이 간헐적인 우점종으로 출현하고 있었다. 다른 연안해역에서 높은 현존량을 나타내는 *Skeletonema costatum*은 2002년 동계와 하계에만 우점종으로 출현하였고, 일시 부유종인 *Paralia sulcata*는 2002년 동계에 주요 우점종으로 출현하고 있었다. *Hemiaulis sinensis*는 주로 하계에 우점하였고, *Gymnodinium* spp.는 추계에 높은 점유율을 나타내었다. 한편 *Eutrepia gymnastica*는 2002년 춘계에 17.0%의 매우 높은 점유율을 나타내었다. 연구기간 동안 축산항 주변 해역에서는 계절과 연도에 따라 비교적 다양한 우점종이 불규칙하게 출현하는 분포 특성을 보이고 있다.

엽록소-*a* 농도 분포

총 엽록소-*a*는 0.78–3.29 μ g L⁻¹의 분포를 보였으며, 2001년 11월에 가장 낮았고, 2002년 8월에 가장 높게 나타났다(Fig. 6A). 소형 식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도는 0.26–2.11 μ g L⁻¹로 전체 엽록소-*a* 농도의 23.4–64.9%로 평균 41.6%를 차지하였으며, 미소형 식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도는 0.34–1.87 μ g L⁻¹로 전체 엽록소-*a* 농도의 35.1–76.6%로 평균 58.4%를 기여하였다(Fig. 6B). 본 연구기간 동안 일부 시기를 제외하면 20 μ m 이하의 미소형 식물플랑크톤이 전체 식물플랑크톤

엽록소-*a* 농도에 대한 기여도가 높게 나타났다.

환경요인과의 상관관계

식물플랑크톤의 총 현존량, 크기별 현존량 그리고 구조류 및 와편모조류 현존량, 엽록소-*a* 농도와 환경요인과의 상관관계를 분석한 결과(Table 3), 총 식물플랑크톤의 현존량은 구조류의 현존량과 높은 양의 상관관계를 보였고($r = 0.862$, $p < 0.005$), 부유물질 농도와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤 군집 중 와편모조류의 현존량은 질산염의 농도와 음의 상관관계를 보였다($r = -0.659$, $p < 0.05$). 총 엽록소-*a* 농도는 인산염 농도($r = 0.700$, $p < 0.05$)와 규산염 농도($r = 0.691$, $p < 0.05$)와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 크기가 작은 미소형 식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도는 인산염 농도($r = 0.764$, $p < 0.05$)와 규산염 농도($r = 0.807$, $p < 0.005$)와 높은 양의 상관관계를 보였다.

토 의

동해 남부 연안지역은 난류수와 한류수의 영향을 받는 곳이며 중·저층에 존재하는 고유냉수의 용승이 빈번히 일어나는 곳으로 복잡한 수괴 특성을 갖는다(공 1971; 박 1978). 공과 박(1969)은 죽변에서 축산에 이르는 냉수괴는 동한난류수와 북한 한류수의 혼합으로 형성되며 두 수괴의 세력변동에 의해 냉수괴의 출현 위치와 규모가 변하며, 또한 연안 용승의 경향이 있다고 하였다. 본 연구에서 2001년 8월에는 축산항을 중심으로 북쪽에 위치한 정점보다 남쪽에 위치한 정점의 표층 수온이 약 4.0°C 이상 낮게 나타났으며, 연구 기간 중 표층 수온이 동계보다 춘계인 2002년 4월에 약 10°C로 가장 낮게 관찰된 것으로 보아 이 시기에 저층수의 용승 현상이 있었던 것으로 보인다.

축산항 주변 해역에 출현한 식물플랑크톤 종수는 총 363종으로 비교적 많은 종이 출현하였는데(한국전력공사 2003d),

이는 본 연구해역이 다양한 수괴 특성으로 인하여 연안역에 자주 출현하는 종 이외에 간헐적으로 유입되는 난수종과 냉수종의 영향인 것으로 판단된다. 강과 최(2001)는 1992년부터 1996년까지 5년에 걸쳐 동해 울진 및 월성원자력발전소 주변해역에서 각각 352종과 356종을 보고하였다. 연도별로는 214-248종이 출현하였고, 계절별로는 109-159종이 출현하여 동해안의 다른 연안역의 출현종 수와 유사하였다(Shim and Lee 1983; 조 1988; Lee and Shim 1990; Yeo and Shim 1990; 이 등 1998; 정 등 2001; Choi *et al.*, 2004a).

일반적으로 온대 연안해역 춘계와 추계에 식물플랑크톤 대량 번식이 일어나며(Harvey 1955), 동해 연안에서도 해역에 따라 차이는 있으나 춘계와 추계에 식물플랑크톤의 대량 증식 양상이 발생한다(김 등 2003; Yamada *et al.*, 2004). 그러나 본 연구에서는 이와 같은 일반적인 현상과는 달리 2002년 4월을 제외하고는 주로 하계에 높은 계절적인 분포 특성을 나타내었다. 최근 인공위성을 이용하여 분석한 결과(ENSO, El-Nino Southern Oscillation)는 동해에서 발생하는 식물플랑크톤의 대증식 양상은 전 지구적인 환경 변화에 의해 같은 연안해역에서도 시기적으로 매우 다름을 보여 주고 있었다(Chiba and Saino 2002; Yamada *et al.*, 2004; Yoo and Kim 2004). 연구기간동안 계절별 현존량은 56×10^3 – 720×10^3 cells L^{-1} 의 범위로 연도에 따라 불규칙한 변동을 보여 주고는 있으나, 전반적으로 하계에 높고 추계에 낮은 계절분포를 보이고 있었다.

본 연구해역에서 2000년과 2002년 4월에 동해 저층수의 유입이 있었지만, 이러한 저층수의 용승현상이 식물플랑크톤의 현존량에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

본 연구기간 동안 축산항 주변해역에서 우점적으로 출현한 종은 *Pseudo-nitzschia seriata*, *Chaetoceros debilis*, *Prorocentrum* spp., *Thalassiosira decipiens*, *Gymnodinium* spp. 등이었으며 비슷한 시기에 고리 해역의 우점종 *Paralia sulcata*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Thalassiosira decipiens*, 울진 해역의 우점종 *Gymnodinium* spp., *Chaetoceros* spp., *Pseudo-nitzschia seriata*, *Thalassiosira decipiens* 그리고 월성 해역의 *Paralia sulcata*, *Pseudo-nitzschia pungens* v. *atlantica*, *Thalassiosira decipiens* 등과 유사한 것으로 나타났으나, 그 점유율은 계절에 따라 다소 차이는 있었다(한국전력공사 2003a, b, c).

식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도 변화는 현존량 분포와 유사하였으나, 계절에 따라 다소 차이는 있었다. 또한 크기가 큰 소형 식물플랑크톤보다는 미소형 식물플랑크톤($<20 \mu m$)이 전체 현존량과 엽록소-*a* 농도에 기여하는 비율이 높았다. 이와 같은 결과는 Shim *et al.* (1985, 1992)과 Choi *et al.* (2004)의 결과에서와 같이 동해 연안역의 식물플랑크톤 군집이 크기가 작은 미소형 식물플랑크톤에 의해서 좌우되고 있음을 보여준다.

자연적인 수중 생태계에서 식물플랑크톤 군집구조에 미치는 물리, 화학 및 생물학적 환경요인들은 매우 다양하며(Marrase *et al.*, 1989), 그 변화정도와 크기 또한 너무 다양하기 때문에 식물플랑크톤 군집상에 환경인자들의 영향을 정량화하는 것은 매우 어렵다(Mukai and Takamoto 1985). 본 연구에서 식물플랑크톤의 현존량이 부유물질 농도와 양의 상관관계($r = 0.611$)를 나타내는 것은 식물플랑크톤이 본 연구해역 부유물질의 농도 변화에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 정 등(2001)은 울릉도·독도해역에서 식물플랑크톤의 출현종 수가 부유물질 농도와 역의 상관관계를 나타냄을 보고한 바 있다. 이 등(1989)은 동해 남부해역에서 식물플랑크톤의 기초생산량이 수온과 질산염에 의한 영향을 받으며 지역적으로 차이가 있음을 보여주었으며, 정 등(2001)은 울릉도·독도해역에서 식물플랑크톤 현존량이 질소계 영양염 및 인산염과 상관관계가 있음을 보고하였으며 특히 수온과 음의 상관관계($r = -0.426$)와 있음을 보여주었다. 본 연구에서도 전체 식물플랑크톤 엽록소-*a* 농도와 미소형 식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도가 인산염($r = 0.700$, 0.764)과 규산염($r = 0.691$, 0.807) 농도와 양의 상관관계가 있음을 보여주었다. 또한 Shim and Lee(1987)는 동해 남부해역에서 식물플랑크톤 분포가 수온과 염분에 영향을 받는다는 것을 보고한 바 있으며, 강과 최(2002)는 울진, 월성 및 고리해역에서 식물플랑크톤의 현존량이 투명도, 부유물질 및 영양염과의 연관성을 보고하였고, 이는 계절과 해역에 따라 다르게 나타난다고 하였다.

식물플랑크톤 군집에 관한 좀 더 정확한 동태를 파악하기 위해서는 지역적인 환경특성을 고려한 세밀한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되며, 본 연구 결과가 식물플랑크톤에 관한 정보가 매우 빈약한 축산항 주변해역에서 향후 식물플랑크톤 연구에 도움을 주리라 기대해 본다.

참고문헌

- 강연식, 최중기. 2001. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. I. 종조성 및 분포(1992–1996). 한국조류학회지, 16: 85–111.
- 강연식, 최중기. 2002. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. II. 현존량 분포 및 환경요인들(1992–1996). 한국해양학회지 바다, 7: 108–128.
- 강용균, 공 영. 1987. 한국 남동연안 이상수온의 마르코프 연쇄 성질. 한국해양학회지, 22: 57–62.
- 공 영, 박정길. 1969. 한국 동해냉수역의 해양학적 특성. 국립수산진흥원 연구보고서 4호, 69–91.
- 공 영. 1971. 한국 남해연안 전선에 관한 연구. 한국해양학회지, 6: 25–36.
- 김상우, 磯田豊, 東屋智範. 2003. 표층혼합층 생태계모형을 이용한 동해 식물플랑크톤의 계절변화. 한국수산학회지, 36: 178–186.
- 김철호, 김 구. 1983. 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기

- 원. 한국해양학회지. 18: 73-87.
- 문창호, 양한섭, 이광우. 1997. 동해 극전선역의 영양염류 순환과정. I. 추계 수괴와 영양염 분포와의 관계. 한국수산학회지. 31: 503-526.
- 문창호, 양성렬, 양한섭, 조현진, 이승용, 김석윤. 1998. 동해 극전선역의 영양염류 순환과정. IV. Chlorophyll *a* 분포, 신생산 및 질산염의 수직확산. 한국수산학회지. 31: 259-266.
- 박청길. 1978. 한국 동해안 냉수괴의 해양화학적 고찰. 한국수산학회지. 11: 49-54.
- 박청길. 1979. 한국동해의 용존산소 분포의 특성에 관한 연구. 한국해양학회지. 14: 67-70.
- 박철, 최중기. 1997. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 1. 종 목록, 우점종 분포, 중간 유연관계. 한국수산학회지. 30: 225-238.
- 서영상, 장이현, 김정희, 임근식, 강용균. 2000. 위성원격탐사를 이용한 동해 원산 연안의 재발생 와동류 연구. 대한원격탐사학회. 16: 211-220.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감. 제34권 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부. 487pp.
- 양한섭, 김성수, 강창근, 조규대. 1991. 한반도 근해의 해류와 해수 특성. III. 한국 동해 중부 극전선역에 출현하는 수괴의 화학적 특성. 한국수산학회지. 185-192.
- 여환구, 심재형. 1993. 한국 연안해역에서 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. VI. 고리 원자력발전소 부근 해역 무생물환경과 일차생산자의 생물량과 생산력. 환경생물학회지. 11: 124-130.
- 이준백, 최영찬, 고유봉. 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회. 10: 62-67.
- 이준백, 한명수, 양한섭. 1998. 한국 동해 남부 연안생태계 연구. I. 1994년 9월에 있어서의 식물플랑크톤의 군집구조와 1차생산력. 한국수산학회지. 31: 45-55.
- 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2001. 울릉도·독도 근해의 환경요인에 따른 식물플랑크톤 군집 구조의 변화. 한국조류학회지. 16: 325-335.
- 정 준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적. 496pp.
- 조기창. 1988. 원자력발전소 온배수가 식물플랑크톤의 생태에 미치는 영향. 인하대학교 이학석사학위논문. 79pp.
- 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2000. 영일만 연안의 생태계 연구: I. 식물플랑크톤의 종조성과 군집의 다양성. 한국조류학회지. 15: 49-59.
- 조창환. 1985. 가을철 한국 주변해역의 Microplankton 및 Nannoplankton의 클로로필 함량과 분포. 한국수산학회지. 18: 63-66.
- 진 평, 홍성윤. 1985. 대한해협식 식물플랑크톤의 기초생산력. 한국수산학회지. 18: 74-83.
- 한국전력공사. 2003a. 고리 원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2002년보). 311pp.
- 한국전력공사. 2003b. 울진 원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2002년보). 251pp.
- 한국전력공사. 2003c. 월성 원자력 발전소 주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2002년보). 270pp.
- 한국전력공사. 2003d. 영덕주변 일반환경 조사 및 평가보고서(2002년보). 190pp.
- 해양수산부. 1998. 해양환경공정시험방법. 317pp.
- 홍철훈, 조규대, 양성기. 1984. 1981년 하계 동해연안역의 이상저수 온현상. 한국해양학회지. 19: 11-17.
- Chiba S. and Saino Y. 2003. Interdecadal change in the upper water column environment and spring diatom community structure in the Japan Sea: an early summer hypothesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 231: 23-35.
- Choi H.C., Kang Y.S. and Jeon I.S. 2004a. Phytoplankton community in adjacent waters of Ulchin nuclear power plant. *J. Environ. Biol.* 22: 426-437.
- Choi H.C., Kang Y.S., Choi J.K., Song T.Y. and Yoo M.H. 2004b. Analysis on the pigment composition of phytoplankton assemblages using HPLC (High Performance Liquid Chromatography) in the adjacent waters of nuclear power plants in Spring. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 39: 234-242.
- Harvey H.W. 1955. The Chemistry and Fertility of Sea Waters. Cambridge Univ. Press. 224pp.
- Lee W.H. and Shim J. H. 1990. Distributions of phytoplankton standing crop and the associated T-S properties in the southwestern East Sea(Sea of Japan). *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 25: 1-7.
- Margalef R. 1978. Life-forms of phytoplankton as a survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1: 493-509.
- Marrase C., Duarte C.M. and Vaque D. 1989. Succession patterns of phytoplankton blooms: directionality and influence of algal cell size. *Mar. Biol.* 102: 43-48.
- Mukai T. and Takamoto K. 1985. Effects of Environmental Gradients Concerning Water Qualities on the Structure of the Phytoplankton Community in a Coastal Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 20: 169-181.
- Park J.S., Kang C.K. and An K.H. 1991. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the polar front region off the East Coast of Korea in summer. *Bull. Korean Fish. Soc.* 24: 237-247.
- Park M.O. and Park J.S. 1997. HPLC method for analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 32: 46-55.
- Parsons T.R., Maita Y. and Lalli C.M. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford. 173pp.
- Pratt D.M. 1960. The phytoplankton of Narragansett Bay. Narragansett Mar. Lab. Univ. Rhode Island 25: 425-440.
- Raymont J.E.G. 1980. Plankton and Productivity in the Oceans 2nd Ed. volume 1 Phytoplankton. Pergamon Press. 489pp.
- Seung Y.H. 2002. A Simple analytical model for the interaction between the east korean warm current and the ulleung warm eddy. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 37: 20-26.
- Shim J.H. and Lee W.H. 1983. Plankton study in the southeastern sea of Korea (I) Phytoplankton distribution in September, 1981. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 18: 91-103.
- Shim J.H., Lee W.H. and Bak S.Y. 1985. Studies on the plankton in the Southwestern Waters of the East Sea (Sea of Japan) (II) Phytoplankton- standing crop, nanofraction, and primary production. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 20: 37-54.
- Shim J.H. and Park Y.C. 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* 21: 13-24.
- Shim J.H. and Lee W. H. 1987. Distribution of phytoplankton species and associated environmental factors in the

- Southwestern Waters of the East Sea(Sea of Japan), Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* **22**: 34-42.
- Shim J.H., Yang S.R. and Lee W.H. 1989. Phytodrogrphy and the vertical pattern of nitracline in the southern waters of the Korean East Sea in early spring. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* **24**: 15-28.
- 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. Oceanogr. Soc. Korea.* **27**: 91-100.
- Shim J.H., Yeo H.G. and Park J.G. 1995. Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea. II. The structure of phytoplankton community. *J. Oceanogr. Soc. Korea.* **30**: 163-169.
- Yamada K., Ishizaka J., Yoo S., Kim H. and Chiba S. 2004. Seasonal and interannual variability of sea surface chlorophyll a concentration in the Japan/East Sea (JES). *Prog. Oceanogr.* **61**: 193-211.
- Tomas C.R. 1996. Identifying marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press. 598pp.
- Yoo J. and Kim H. 2004. Suppression and enhancement of the spring bloom in the southwestern East Sea/Japan Sea. *Deep-Sea Res. II.* **51**: 1093-1111.
- UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. 337pp.
-
- Received 14 April 2005
Accepted 16 September 2005