

하계 독도연안의 수심별 수환경과 식물플랑크톤의 종조성 변화

김 미 경* · 박 정 원¹

영남대학교 해양과학연구소, ¹국립공원관리공단 국립공원연구원

Water Environments and Species Compositions of Phytoplankton at the Depths during Summer in the Coast of Dokdo, Korea

Mi Kyung Kim* and Jung Won Park¹

Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

¹Korea National Park, Seoul 121-717, Korea

Abstract – The characteristics of physico-chemical factors and the species compositions of phytoplankton were investigated to analyze the marine ecosystem at the depths during summer in the coast of Dokdo (stations DOK1~3). The mean values of conductivity (32 mS cm^{-1}), total dissolved solids (45 mg L^{-1}), salinity (35.5 psu), total suspended solids (39 mg L^{-1}) were the highest in DOK1. The biomass (chl-*a*) of phytoplankton was the highest in the surface of station DOK1 ($3.1 \mu\text{g L}^{-1}$). By means of physico-chemical factors (salinity, turbidity, Chl-*a*, T-N, T-P and Si), the coast of Dokdo was estimated to be more polluted than the previous results in 2000. A total of 72 species in Dokdo were composed of 54 species (76.1%) for Bacillariophyceae and 13 species (18.3%) for Dinophyceae, 3 species (4.2%) for Chrysophyceae and 1 species (1.4%) for Cyanophyceae. The standing crops of phytoplankton were the highest ($8.5 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at 20 m of station DOK1, while they were the lowest ($1.65 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at 30 m of station 1. The dominance index was maximum (0.73) at 10 m of station DOK1 and was minimum (0.4) at 30 m of station 1. The diversity index was the highest (2.92) in the surface of station 2, while it was the lowest at 20 m (1.58). The dominant species of phytoplankton were *Chaetoceros affinis* ($3.3 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at 20 m, *Climacomonas moniligera* ($2.8 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at 40 m and *Melosira juergensii* ($1.7 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at 10 m of station DOK1. At the surface of station DOK2, the dominant species were *Bacillaria paxillifer* and *Richelia intracellularis* ($1.4 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$, respectively), while it was *Paralia sulcata* ($1.6 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$) at the surface of station DOK3. The station DOK1, where affected by upwelling, turbulence and convection due to the East Korean Warm Current, was the most eutrophicated water body in three stations. The monitoring of marine ecosystem in the coast of Dokdo should be continued to show the alternatives for water and species conservation and to purify the eutrophicated water body due to artificial pollutants as well as physico-chemical factors by the global warming, the climatic change, CO₂ etc.

Key words : Dokdo, phytoplankton, species composition, water environment

*Corresponding author: Mi Kyung Kim. Tel. 053-810-3863, Fax. 053-813-3083, E-mail. mkkim@yu.ac.kr

서론

독도는 한·일간의 신한일어업 협정 이후, 양국간의 배타적 경제수역이 중첩되는 중간수역에 포함되어 있어 침해한 영유권 문제가 발생되고 있다. 독도연안은 해양 생물자원과 천연지하자원이 풍부하여 독도연안의 경제성이 날로 부각되고 있는 시점이다. 북한한류와 대마난류가 혼합되는 수역과 동해의 고유한 냉수대 생성, 이동과 소멸로 인한 시·공간적인 해류순환과 해류이동의 변화가 심하고(장과 김 1994), 독도를 포함하는 울릉분지 해저에 높이 2,000 m의 해중산이 형성되어 있어 이 부근을 통과하는 해류에 의해 발생하는 용승류와 와류로 인해 식물플랑크톤이 풍부하여 이를 먹이로 하는 오징어와 명태 등의 어장이 풍부하여 어업전진기지로서 역할을 하고 있다(독도연구보존협회 1999a, b; 한국해양연구소 2000).

독도는 지리적으로 동해의 중심부에 위치하고 있고 해황의 변화가 심하여 내륙 연안 부근의 생태계와는 달리 접근이 어려워 독도 연구가 수행되는 데 큰 장벽이 되고 있다. 독도의 주변 생태계에 대한 선행 연구는 1980년대 초반부터 간헐적으로 유지되어, 정 등(2000, 2001)의 연구와 독도 연안 해역의 수질 환경에 대한 독도연구보존협회(1999a, b)와 한국해양연구소(2000)의 연구 등이 있다. 동·식물플랑크톤에 관한 연구는 정(1981), 강과 강(1992), 이와 백(1996), 독도연구보존협회(1999a, b) 및 한국해양연구소(2000), 정 등(2000, 2001), 김과 신(2007)의 선행연구가 있다.

식물플랑크톤은 해류의 시공간적인 변동에 따른 영양염의 농도와 수온 등의 물리적인 변화에 따라 종조성과 분포가 민감하게 변화하여 수중 생태계 내의 건강성을

판단하는 지표생물이 될 뿐만 아니라 동물플랑크톤과 수중 척추동물의 생물량을 결정하는 기본 영양원이고, 해양생태계 내에서 무생물환경과 생물환경을 동시에 이해할 수 있는 중요 생산자 역할을 하고 있다(심 등 1992; 김과 김 1999; 좌와 이 2000; Shin *et al.* 2003; 김과 신 2007).

본 연구는 하계에 독도 생태계의 연안에서 주요 수환경 요인과 식물플랑크톤의 종조성을 분석하여 과거의 선행 연구결과와 비교하여 향후, 독도연안의 생태계 변화 추이를 파악하고 수질과 수중생물 보존을 위한 대안 제시에 필요한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 조사 정점

독도는 우리나라 해양 영토로서 동해의 동쪽 땅 끝에 위치(북위 37° 14' 12", 동경 131° 52' 07")하고 있고, 동도와 서도의 2개 섬으로 구성되어 있고, 주변에 크고 작은 바위 섬들이 다수 분포하고 있다(김과 신 2007). 독도의 총 면적은 185,059.01 m²이고, 동도와 서도는 각각 71,757.05 m², 87,848.52 m²이며, 기타 돌섬 및 암초가 25,453.44 m²를 차지한다. 독도를 포함한 연안 1 km 이내의 해역은 천연기념물(제336호)로 지정되어 있어 국가적 차원에서 보호 구역으로 설정되어 있다.

본 연구에서 수환경과 식물플랑크톤의 조사 정점은 동도(DOK1-37° 14.6'N; 131° 51.6'E), 서도(DOK3-37° 14.1'N; 131° 52.7'E)의 연안해역과 동·서도의 중간지점(DOK2-37° 14.2'N; 131° 52.1'E)에서 각 1개 정점으로 하였고, 수심은 DOK1과 DOK3에서 수표면에서 수심별로 10 m단위로 40 m까지 채수하였고, DOK2에서 20 m까지 시료를 채수하였다. DOK1과 DOK3은 파도에 의한 해류의 수평 및 수직으로 섞임이 원활한 곳이나 DOK2는 수심이 얕고 선박의 왕래가 심한 접안시설 구조물의 영향으로 인해 DOK1과 DOK3에 비해 다소 안정된 반폐쇄 수역이다. 현장조사 날짜는 2008년 9월 5일에 실시하였으나, 기온과 수온 등의 특성상, 하계의 특성을 지닌 조사시기였다.

2. 수환경 분석

수환경 항목 중 수온과 DO는 YSI-59 DO meter로, pH와 전기전도도는 각각 Orion 230A meter 및 Conductometer LF191-WTW로, 탁도는 탁도계(HACH, 2100N)로 현장에서 각각 측정하였고, 염분(psu) 값으로도 보정하

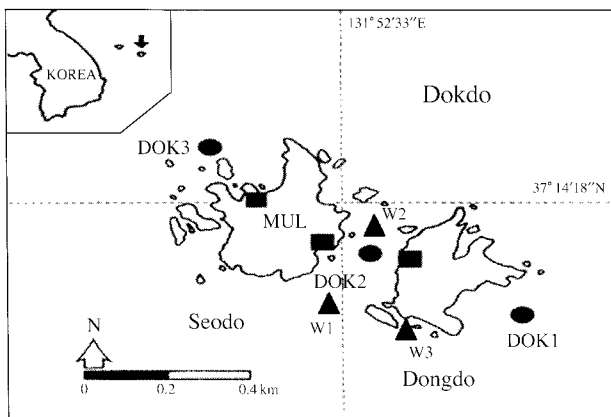


Fig. 1. Sampling stations in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

여 표시하였다. 영양염 분석을 위한 시료는 van Dorn 채수기로 표층을 중심으로 10m마다 채수하였다. 시료용기는 산(acid) 세척된 4L 플라스틱병을 사용하였고, 아이스박스에 담아 24시간 이내에 실험실로 옮겼다. 운반한 시료는 즉시 전처리 후 분석하였다. 수중 SS, T-N, T-P, Si와 chl-a, 무기영양염 분석은 시료를 GF/F 여과지(Whatman International Ltd Maidstone, England)에 여과한 후, APHA *et al.* (1995)의 분석법과 Strickland and Parsons (1972) 방법으로 측정하였다. Chl-a 농도는 시료를 GF/F 여과로 여과한 후, 90% 에탄올을 용매로 사용하여 비등추출하였고, 분광광도계로 665 nm와 750 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

3. 식물플랑크톤의 정성 및 정량 분석

식물플랑크톤 정성 시료는 식물플랑크톤 넷(망목 10µm)를 이용하여 표층과 저층에서 3회 예인 채집하였고, 광학현미경에서 편모와 같은 부속지 등의 식물플랑크톤의 형태적 특성을 비교적 뚜렷하게 구분할 수 있고, 장기적으로 보관해 주는 formaldehyde(10%)로 즉시 고정하였다. 정량 시료는 현장에서 2L 채수한 후, 식물플랑크톤을 염색시켜 세포의 biomass 측정이 용이한 Lugol 용액으로 고정하였고(APHA *et al.* 1995), 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 1주일 이상 충분히 침강시킨 뒤 상등액은 Siphon으로 제거하고 20배로 농축시켰다. 식물플랑크톤의 현존량은 단위 부피당 세포수(cells L⁻¹)로 계산하였다. 농축시료의 일부 중 1 mL를 Sedgwick-Rafter counting chamber에 골고루 분산시킨 뒤 S-R chamber의 line을 따라 zigzag형으로 광학현미경(×200) 하에서 식물플랑크톤을 검경하면서 종별 세포수를 계수하였다. 종의 동정은 ×400 또는 ×1,000배의 고배율로 관찰하였다(Jensen 1984; Fukuyo *et al.* 1990; Hallegraeff 1991; Lee 1994; 심 1994; 이와 장 1996).

4. 식물플랑크톤의 우점도 지수 (Dominance Index, DI)

우점도 지수는 각 지점별로 정량적 방법에 의해 채집된 개체수 현존량에 의거해서 우점종 2종을 선정하여 McNaughton (1967)의 우점도 지수에 의하여 산출하였다.

$$DI = (n_1 + n_2) / N$$

DI: 우점도 지수

N: 총 개체수

n1, n2: 제1, 2우점종의 개체수

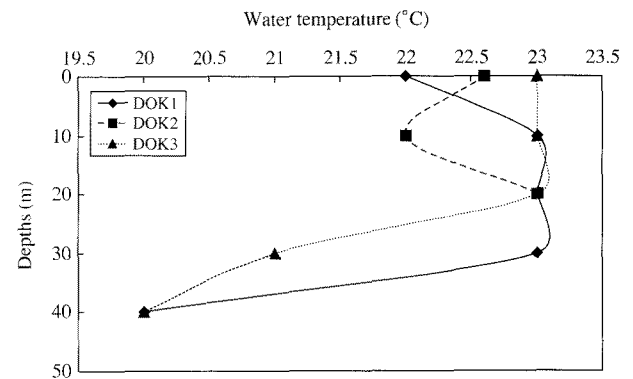


Fig. 2. Variations of water temperature according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

5. 식물플랑크톤의 다양도 지수 (Diversity Index, H')

다양도 지수는 Margalef (1958)의 정보이론에 의하여 유도된 H' 공식(Shannon and Weaver 1963)을 이용하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$$

H': 다양도 지수

S: 전체 종수

P_i: i 번째에 속하는 개체수의 비율 (P_i = n_i/N)

결과 및 고찰

수온은 수계 생태계에서 생체대사 활성화뿐만 아니라 수질의 물리·화학적 변화에 중요 인자이다. 독도연안의 수온 최고치와 최저치의 범위는 20~23°C였으나, 정점DOK1은 수심 30m에서 40m 사이와 정점DOK3은 수심 20m에서 40m 사이에서 수온이 23°C에서 20°C로 급격하게 하강하는 수온약층 현상이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 2). 이는 같은 정점에서 정 등(2000)의 연구결과에서 나타난 수온약층대가 수심이 10m와 50m 사이에서 서서히 수온(26°C → 21°C)이 하강한 것과는 대조적이었다. 수심별 수온의 변화폭이 좁아지는 현상은 지구온난화와 기후변화에 의한 간접적인 영향인 것으로 사료된다(김 등 2004).

수소이온농도의 분포는 8.04에서 8.28의 분포를 나타냈으나 정점DOK2가 정점DOK1과 3보다 낮은 경향을 나타냈다(Fig. 3). 정점DOK1과 3은 수심이 깊어질수록 수온약층대에서 수소이온농도가 높아지는 경향을 띄었다.

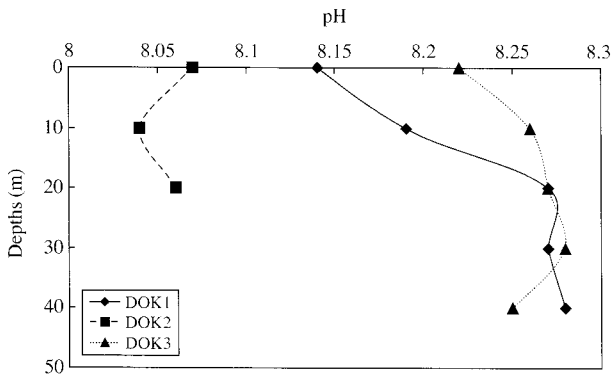


Fig. 3. Variations of pH according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

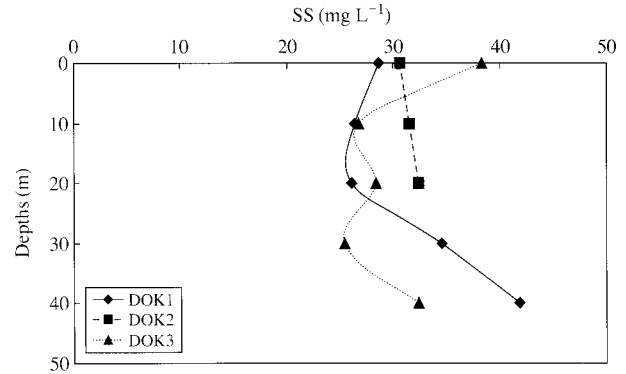


Fig. 5. Variations of SS according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

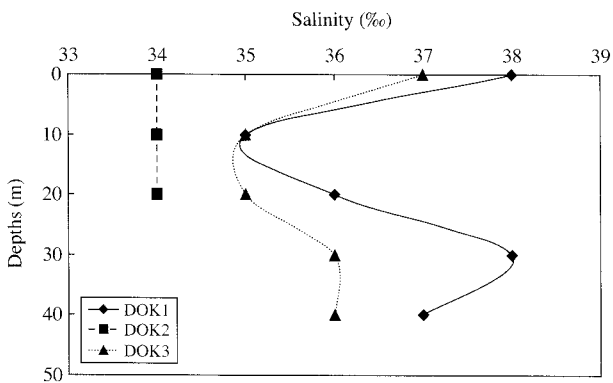


Fig. 4. Variations of salinity according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

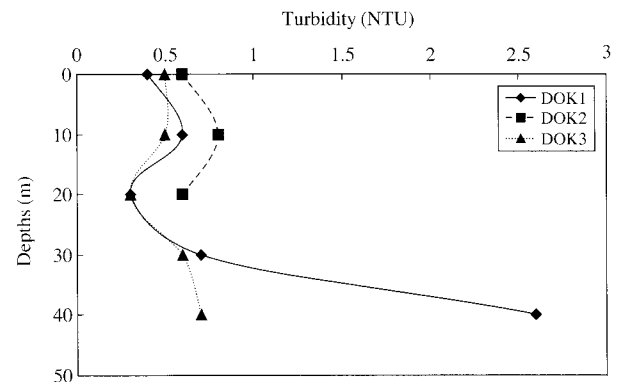


Fig. 6. Variations of turbidity according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

염분은 정점DOK2에서 전 수심 동일하게 34psu로 나타났으나 정점DOK1과 3에서 최고치와 최저치가 35psu와 38psu였고(Fig. 4), 수심 10m와 30m에서 염분약층이 형성되었다. 정 등(2000)의 선행연구 결과에서 8월에 33~34psu보다 훨씬 높게 나타났는데 이는 2008년 여름에 상시적으로 남반구에서 출현하는 태풍의 복상이 없어 해류의 섞임현상과 희석현상이 부족하였기 때문인 것으로 사료된다.

부유물질의 농도(SS)는 정점DOK2에서는 수심별 농도(31~32 mg L⁻¹)가 거의 일정하였으나 정점DOK1은 수심이 깊어질수록 28.6 mg L⁻¹→41.8 mg L⁻¹로 높아졌으나, 반면에 정점DOK3은 수심이 깊어질수록 38.3 mg L⁻¹→32.4 mg L⁻¹로 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 5). 이는 정점DOK2와 3은 독도연안 쪽으로 밀려오는 유속이 빠른 해류, 용승류, 와류에 의한 섞임현상으로 부유물질이 수층별로 변동이 심한 반면에 동도와 서도사이에 위치한 정점DOK2는 해류의 영향이 낮은 반폐쇄적인 수역이기 때문에 수심별 부유물질이 농도가 큰변화가

없는 것으로 판단된다. SS는 정 등(2000)의 연구결과에서 여름에 SS의 농도가 0.5~7 mg L⁻¹였던 것과 비교하면 상당히 증가되었는데 이는 독도연안의 수질이 과거에 비해 혼탁하다는 것을 의미한다.

탁도는 SS와 같이 정점DOK2에서는 수심별로 큰 변화가 없었으나(0.6~0.8 mg L⁻¹), 정점DOK1은 농도변화가 수표면에서 수심 40m까지 0.4 mg L⁻¹에서 2.6 mg L⁻¹로 증가하는 큰 변화를 보였다(Fig 6). 이는 SS가 같은 정점에서 큰 폭으로 증가한 현상과 일치하는 것으로 미루어 보아 정점DOK1은 수심 30 m 이하에서 외부의 해류영향이 높은 것으로 판단된다.

전기전도도는 평균 32 ms cm⁻¹를 나타냈으나 정점DOK1(32.43 ms cm⁻¹)과 3(32.68 ms cm⁻¹)에서 수심 30m에서 동일하게 비교적 높게 나타나는 것으로 보아 이 수층에서 영양염유입으로 수질의 이온수지 증가에 따른 화학적 변화가 높은 것으로 사료된다(Fig. 7).

평균 용존산소(DO)는 정점DOK2에서 10.61 mg L⁻¹였고, 정점DOK1과 3에서 각각 8.38 mg L⁻¹과 8.44 mg L⁻¹

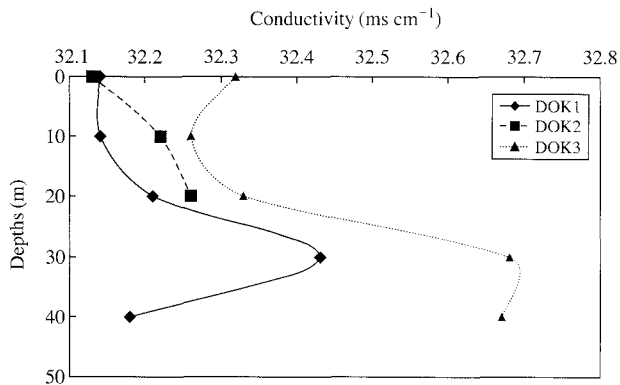


Fig. 7. Variations of conductivity according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

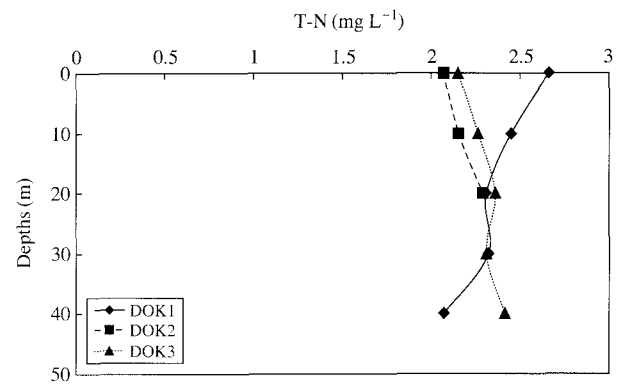


Fig. 9. Variations of T-N according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

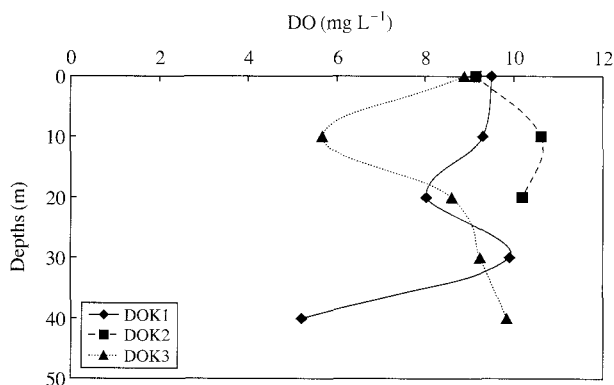


Fig. 8. Variations of DO according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

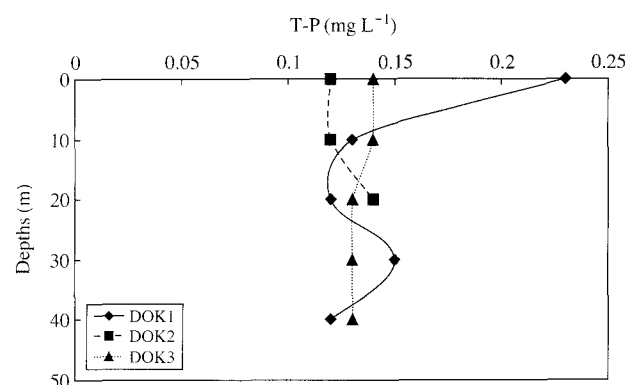


Fig. 10. Variations of T-P according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

였다(Fig. 8). 최저치는 정점DOK1의 수심 40m에서 5.19 mg L⁻¹였고, 최고치는 정점DOK2의 10m에서 10.61 mg L⁻¹로 나타났다. DO의 농도가 정점과 수심에 따라 다양한 양상이 나타나는 것은 채수 시의 기상, 바람, 해류의 영향으로 용존산소가 고르게 분포하기 때문인데, 특히 정점DOK1의 수심 40m에서 급격히 용존산소가 감소되는 현상은 SS, 탁도가 증가하여 수질이 혼탁해지는 양상과 유의성이 있는 것으로 판단된다.

총질소(T-N)의 농도는 정점DOK2(2.07 mg L⁻¹ → 2.29 mg L⁻¹)와 정점DOK3(2.15 mg L⁻¹ → 2.41 mg L⁻¹)에서 수심이 깊어질수록 증가하는 경향을 나타냈으나, 정점DOK1에서는 수심별로 오히려 감소하는 경향(2.66 mg L⁻¹ → 2.07 mg L⁻¹)이 두드러진 것이 특징이었다(Fig. 9). 이는 정점DOK1의 수역이 한여름에 수온약층대가 강하게 형성된 시기와는 달리 채수 기간인 9월초에 접어들면서 미약하지만 수온하강 조짐이 보이면서 수온약층이 약간씩 해리되기 직전에 독도연안으로 밀려오는

용승류의 영향권에서 접하면서 40m의 수역보다 수표면의 총질소 농도가 약간 상승한 것으로 풀이된다.

총인(T-P)은 전체 수심의 평균 0.14 mg L⁻¹을 나타냈으나 정점DOK1과 3은 수심별로 감소하는 경향(0.23 mg L⁻¹ → 0.12 mg L⁻¹; 0.14 mg L⁻¹ → 0.13 mg L⁻¹)이 두드러진 특징은 총질소와 동일한 해류의 수직이동과 섞임현상에서 기인하는 것으로 사료된다(Fig. 10). T-N와 T-P의 농도는 정 등(2000)의 선행연구 결과, 8월에 분석치(T-N: 평균 약 150 μg L⁻¹; T-P: 평균 약 30 μg L⁻¹)에 비해 아주 높게 나타난 것으로 미루어 볼 때, 독도연안은 점점 부영양화 상태로 진입되어 가고 있는 경향성이 두드러졌다.

더구나 규산성 규소(SiO₂-Si)도 모든 정점(정점DOK1: 0.31 μg L⁻¹ → 0.45 μg L⁻¹; 정점DOK2: 1.01 μg L⁻¹ → 0.16 μg L⁻¹; 정점DOK3: 0.17 μg L⁻¹ → 0.23 μg L⁻¹)에서 수심이 깊어질수록 증가하는 추세를 띠는 현상은 T-N와 T-P에서와 같이 동일한 해류이동 현상의 결과인 것으로

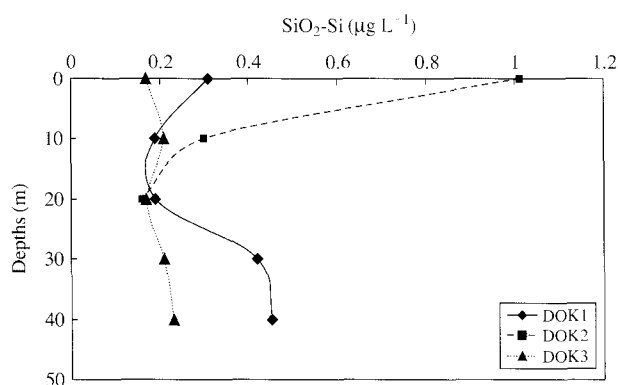


Fig. 11. Variations of $\text{SiO}_2\text{-Si}$ according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

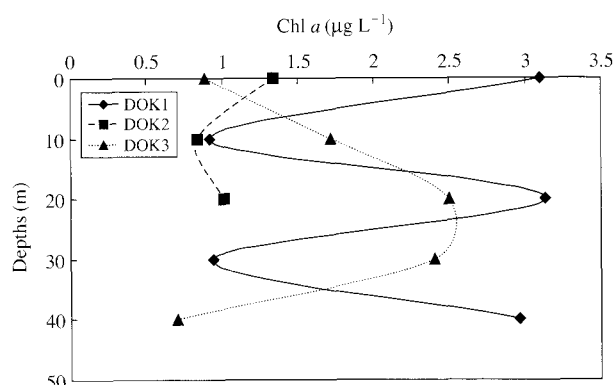


Fig. 12. Variations of chlorophyll *a* according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

Table 1. Variations of phytoplankton compositions and standing crops during summer at station 1 in the coast of Dokdo (+ : less than $\times 1,000$ cells L^{-1})

Species names	Station 1 ($\times 1,000$ cells L^{-1})					Species names	Station 1 ($\times 1,000$ cells L^{-1})				
	0 m	10 m	20 m	30 m	40 m		0 m	10 m	20 m	30 m	40 m
Class Bacillariophyceae						Suborder Raphidoneae					
Order Centrales						Fam. Achnantheaceae					
Suborder Biddulphineae						<i>Climacospheia moniligera</i>					28
Fam. Biddulphineae						<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	+				
Subfam. Hemiauloideae						Fam. Naviculaceae					
<i>Hemiaulus indicus</i>	+					<i>Amphora hyalina</i>					2
<i>H. membranaceus</i>	4				2	<i>A. sp.</i>					2
Fam. Chaetoceraceae						<i>Pinnularia sp.</i>			+		+
<i>Bacterastrum delicatulum</i>	+	+	5		+	<i>Pleurosigma delictulum</i>	2				2
<i>Chaetoceros affinis</i>	2		32.5		2	Subfam. Nitzschiaceae					
<i>C. atlanticus</i>	4					<i>Nitzschia angularis</i>					+
<i>C. brevis</i>			10			<i>N. longissima var. reversa</i>	+	+	+		
<i>C. coarctatum</i>	6					Class Chrysophyceae					
<i>C. compressus</i>				3.3	+	Order Dictyochales					
<i>C. pendulus</i>			2.5			Fam. Dictyochaceae					
Suborder Coscinodiscineae						<i>Dictyocha fibula</i>				3.3	+
Fam. Coscinodiscaceae						<i>D. speculum</i>					+
<i>Coscinodiscus centralis</i>	+				+	Class Dinophyceae					
<i>C. perforatus</i>					2	Order Gonyaulacales					
Fam. Melosiraceae						Fam. Ceratiaceae					
<i>Leptocylindrus minimus</i>					2	<i>Ceratium extensum</i>		+	2.5		
<i>Melosira juergensii</i>		16.5				<i>C. fusus</i>			2.5		+
<i>Paralia sulcata</i>					2	<i>C. horridum</i>		3.3			
Fam. Rhizosoleniaceae						Fam. Protoperidiniaceae					
<i>Rhizosolenia alata f. gracillima</i>	10	3.3	5	3.3	+	<i>Gonyaulax sp.</i>				3.3	
<i>R. bergonii</i>		9.9	+			<i>Protoperidinium brochii var. inflatum</i>		+			
<i>R. hebetata</i>			+		+	Order Prorocentrales					
<i>R. robusta</i>					2	Fam. Prorocentraceae					
<i>R. setigera</i>	+				+	<i>Prorocentrum compressum</i>		+		3.3	
Suborder Rhizosoleniaceae						<i>P. micans</i>		+			
Fam. Rhizosoleniaceae						Class Cyanophyceae					
<i>Guinardia flaccida</i>	2	3.3			+	Order Hormogonales					
Order Pennales						Fam. Oscillatoriaceae					
Suborder Araphidoineae						<i>Trichodesmium sp.</i>		+			
Fam. Diatomaceae						Species number	15	10	11	5	24
<i>Licmophora paradoxa</i>					8	Standing crops	30	36.3	60	16.5	54
<i>Synedra ulna</i>					+						

Table 2. Variations of phytoplankton compositions and standing crops during summer at station 2 in the coast of Dokdo

Species names	Station 2 ($\times 1,000$ cells L^{-1})			Species names	Station 2 ($\times 1,000$ cells L^{-1})		
	0 m	10 m	20 m		0 m	10 m	20 m
Class Bacillariophyceae				Suborder Raphidoneae			
Order Centrales				Fam. Achnantheaceae			
Suborder Biddulphineae				<i>Cocconeis pellucida</i>		6	
Fam. Biddulphineae				Fam. Naviculaceae			
Subfam. Hemiauloideae				<i>Caloneis crassa</i>	2		
<i>Hemiaulus indicus</i>	+	+		<i>Frustulia rhomboides</i>	+		
<i>H. membranaceus</i>	4			<i>Navicula flantica</i>	+		
Fam. Chaetoceraeae				<i>N. fortis</i>	+		
<i>Bacterastrum delicatulum</i>		2		<i>Pinnularia</i> sp.	+		
<i>Chaetoceros affinis</i>	+			Subfam. Nitzschiaceae			
<i>C. deversus</i>		2		<i>Bacillaria paxillifer</i>	14		
<i>C. peruvianus</i>	2			<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>	4		
Fam. Lithodesmiaceae				<i>N. socialis</i>	+		
<i>Bellerochea malleus</i>	+	+					
Suborder Coscinodiscineae				Class Dinophyceae			
Fam. Coscinodiscaceae				Order Gonyaulacales			
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	+			Fam. Ceratiaceae			
Fam. Melosiraceae				<i>Ceratium fusus</i>			+
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>			+	Fam. Protoperidiniaceae			
<i>Melosira juergensii</i>	8		7.5	<i>Protoperidinium cladicans</i>	+		
Fam. Rhizosoleniaceae				<i>P. conicooides</i>	2		
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	+	4	7.5	Order Prorocentrales			
<i>R. bergonii</i>	6	6		Fam. Prorocentraceae			
<i>R. calcar-avis</i>			+	<i>Prorocentrum triesinum</i>	2		
Suborder Rhizosoleniaceae							
Fam. Rhizosoleniaceae				Class Cyanophyceae			
<i>Guinardia flaccida</i>		2		Order Hormogonales			
Order Pennales				Fam. Oscillatoriaceae			
Suborder Araphidoineae				<i>Trichodesmium</i> sp.		+	
Fam. Diatomaceae				Species number	20	9	6
<i>Synedra ulna</i>			7.5	Standing crops	44	22	22.5

판단된다(Fig. 11). 정 등(2000)의 선행연구 결과, SiO_2-Si 는 수표면에 농도($0.52 \sim 0.83 \mu g L^{-1}$)가 낮게 나타났던 현상과 동일했다.

식물플랑크톤의 생체량을 의미하고, 수중 생태계의 기초에너지를 가늠하는 엽록소 *a*(chl-*a*) 농도는 정점DOK1에서 전수심의 평균이 $2.2 \mu g L^{-1}$ 였고, 수심 0, 20, 40 m에서 모두 $3.0 \mu g L^{-1}$ 이상으로 높게 나타났고, 정점DOK2의 전수심 평균 $1.1 \mu g L^{-1}$, 정점DOK3은 평균 $1.6 \mu g L^{-1}$ 로 수심 20 m와 30 m에서 각각 $2.5 \mu g L^{-1}$ 의 농도로 높게 나타났다(Fig. 12). 정점DOK1에서 수심 20 m와 정점DOK3에서 수심 30 m에서 모두 chl-*a*의 농도가 높게 나타났는데 이는 직사광선이 강한 수표면보다 수심 20 m와 30 m에서 식물플랑크톤의 서식환경이 호조건으로 인해 밀집하여 서식하는 일반적인 양상인 것으로 판단된다. 본 연구 결과, 모든 정점의 평균 chl-*a*의 농도($1.64 \mu g L^{-1}$)는 정 등(2000)이 8월에 평균 chl-*a*의 농도($0.66 \mu g L^{-1}$)보다 모든 정점이 2.5배가 높게 나타났다. 이는 T-N, T-P, Si의 농도가 선행결과(정 등 2000)에 비해 높

게 나타난 수질의 양상으로 식물플랑크톤의 생산성이 강화시키는 결과를 초래한 것과 일치하는 현상이다.

독도의 수중 생태계에서 각 정점에서 수심별 식물플랑크톤의 종조성(Tables 1~6; Figs. 13, 14)을 분석한 결과, 총 72종이 출현하였고, 분류군별로 돌말류(76.1%), 와편모조류(18.3%), 황갈조류(4.2%), 남조류(1.4%) 순으로 분포하였다(Table 4). 정점DOK1은 40종, 정점DOK2는 29종과 정점DOK3은 35종이 출원하였다. 정점DOK1은 돌말류(75%), 황갈조류(5%), 와편모조류(17.5%), 남조류(2.5%) 순으로 분포하였고, 정점DOK2는 돌말류(82.8%), 와편모조류(13.8%), 남조류(3.4%) 순으로, 정점DOK3은 돌말류(76.1%), 황갈조류(4.2%), 와편모조류(18.3%)와 남조류(1.4%) 순으로 분포하여 모든 정점에서 돌말류가 우점함을 알 수 있었다. 종의 우점도 지수(Fig. 13; Table 5)는 정점DOK1에서 수심 10 m에서 가장 높았던(0.73) 반면에 수심 30 m에서 가장 낮았고(0.40), 정점DOK3에서 수표면(0.48)과 40 m(0.42)에서 낮았던 반면에 수심 30 m에서 가장 높게 나타났다(0.69). 이는

Table 3. Variations of phytoplankton compositions and standing crops during summer at station 3 according to the depths in the coast of Dokdo

Species names	Station 3 ($\times 1,000$ cells L^{-1})					Species names	Station 3 ($\times 1,000$ cells L^{-1})				
	0 m	10 m	20 m	30 m	40 m		0 m	10 m	20 m	30 m	40 m
Class Bacillariophyceae						Suborder Raphidoneae					
Order Centrales						Fam. Achnantheaceae					
Suborder Biddulphineae						<i>Climacosphenia moniligera</i>		4			
Fam. Biddulphineae						<i>Cocconeis neodiminute</i>		2			
Subfam. Hemiauloideae						Fam. Naviculaceae					
<i>Hemiaulus indicus</i>	4	6		3.3	5	<i>Cymbella</i> sp.		+			
<i>H. membranaceus</i>					2.5	<i>Navicula marina</i>			+		
Fam. Chaetoceraceae						<i>Pinnularia</i> sp.		+			
<i>Bacterastrum comosum</i>				3.3		Subfam. Nitzschiaceae					
<i>B. delicatulum</i>					2.5	<i>Nitzschia delicatissima</i>					23.1
<i>Chaetoceros affinis</i>		5	+	+		<i>N. longissima</i> var. <i>reversa</i>		+	6.6		
<i>C. brevis</i>		5				Class Chrysophyceae					
<i>C. didymus</i>		+				Order Dictyochales					
<i>C. gracilis</i>				+		Fam. Dictyochaceae					
<i>C. peruvianus</i>	+					<i>Dictyocha fibula</i>					+
Suborder Coscinodiscineae						<i>D. fibula</i> var. <i>stapedia</i>		+	+	6.6	
Fam. Coscinodiscaceae						Class Dinophyceae					
<i>Coscinodiscus rothii</i>	2					Order Gonyaulacales					
Fam. Melosiraceae						Fam. Ceratiaceae					
<i>Leptocylindrus danicus</i>				5		<i>Ceratium fusus</i>					+
<i>Paralia sulcata</i>	16					<i>C. horridum</i>		+			
Fam. Rhizosoleniaceae						<i>C. kofoidii</i>					7.5
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	6	10	9.9	3.3	5	Fam. Protoperidiniaceae					
<i>R. calcar-avis</i>	2				+	<i>Protoperidinium leonis</i>		+			
<i>R. hebetata</i>	6	2	3.3	3.3	2.5	Order Procoentrales					
<i>R. robusta</i>				+		Fam. Procoentraaceae					
<i>R. setigera</i>			+			<i>Prorocentrum balticum</i>				3.3	
Suborder Rhizosoleniaceae						<i>P. compressum</i>		2		+	
Fam. Rhizosoleniaceae						<i>P. triesinum</i>		+			+
<i>Guinardia flaccida</i>	2		6.6			Species number	16	10	9	11	9
Order Pennales						Standing crops	46	28	29.7	42.9	30
Suborder Araphidoineae											
Fam. Diatomaceae											
<i>Synedra undulata</i>		+									

Table 4. Taxon of phytoplankton observed at the whole stations during summer in the coast of Dokdo

Class	Ord.	Subord.	Fam.	Subfam.	Gen.	Sp.	%
Bacillariophyceae	2	5	10	2	23	54	76.1
Chrysophyceae	1		1		1	3	4.2
Dinophyceae	2		3		4	13	18.3
Cyanophyceae	1		1		2	1	1.4
	6	5	15	2	30	71	100

수질의 T-N, T-P, Si의 농도가 비교적 높은 수층으로 식물플랑크톤의 현존량이 높게 나온 결과와 유의성이 있었다 (Tables 1~3). 종 다양성 지수는 모든 정점의 수심 0 m에서 각각 가장 높게 나타났다 (정점DOK1:2.55; 정점DOK2:2.92; 정점DOK3:2.89) (Table 6). 식물플랑크톤의 우점종과 현존량은 정점DOK1에서 *Chaetoceros affinis* (수심 20 m: 3.3×10^4 cells L^{-1}), *Climacosphenia moniligera* (수심 40 m: 2.8×10^4 cells L^{-1}), *Melosira juergensii* (수심 20 m: 1.7×10^4 cells L^{-1})였고, 정점DOK2에서는 *Bacil-*

laria paxillifer (수심 0 m: 1.4×10^4 cells L^{-1}), *Richelia intracellularis* (수심 0 m: 1.4×10^4 cells L^{-1}), 정점DOK3에서는 *Paralia sulcata* (수심 0 m: 1.6×10^4 cells L^{-1}) (Tables 1~3)였다. 이는 김과 신 (2007)의 우점종이 *Chaetoceros*속, *Rhizosolenia* 속과 *Thalassiosira* 속과의 평균 현존량 ($0.5 \sim 1 \times 10^2$ cells L^{-1})보다 높았다.

본 연구수행 결과에서 독도 생태계는 정 등 (2000)의 선행 연구결과에 비해 수환경의 염도, 탁도, 엽록소-a, T-N, T-P, Si가 높았을 뿐만 아니라, 식물플랑크톤의 현존

Table 5. Dominance index of phytoplanktons at the whole stations during summer depths in the coast of Dokdo

Depths (m)	St. 1	St. 2	St. 3
0	0.53	0.48	0.48
10	0.73	0.55	0.57
20	0.68	0.67	0.56
30	0.40	—	0.69
40	0.56	—	0.42

Table 6. Diversity index of phytoplankton at the whole stations during summer in the coast of Dokdo

Depths (m)	St. 1	St. 2	St. 3
0	2.55	2.92	2.89
10	1.98	2.41	2.17
20	2.34	1.58	2.2
30	2.32	—	2.03
40	2.48	—	2.69

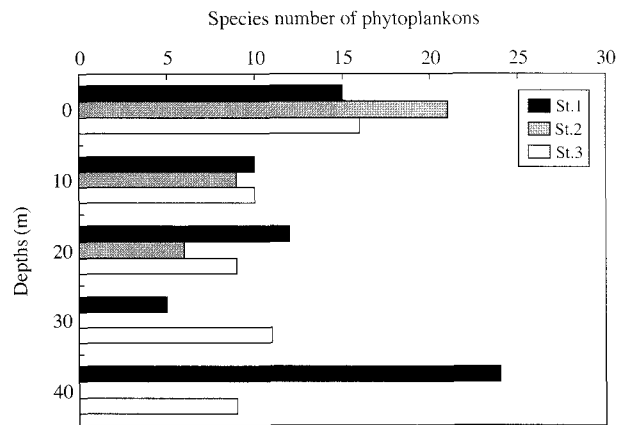


Fig. 13. Species number of phytoplankton according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

량이 증가하여 수질이 오염되어 빈영양에서 부영양화로 이동하는 성향을 띄었음을 알 수 있었다. 이 현상은 먼 바다에서 독도연안으로 이동하는 해류의 특성(용승류, 와류, 난한류 섞임 현상 등)뿐만 아니라, 정부가 2005년부터 일반인에게 독도 입도를 전면 허용한 정책이후, 지금까지 2만 명에 육박하는 관광객들을 태운 여객선의 잦은 왕래와 선박에서 유출되는 오폐수와 기름유출 등의 직접적인 원인이 관여하기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 독도연안의 생태계는 기후 변화 등에 따른 수온상승과 해류의 이동 등의 물리·화학적 자연 현상뿐만 아니라 인위적인 오염 발생원을 저감하여 연안의 건강성과 수중 자연을 보존할 수 있는 대안 제시를 위해 향후에도 중·장기적인 모니터링이 지속되어야 할 것이다.

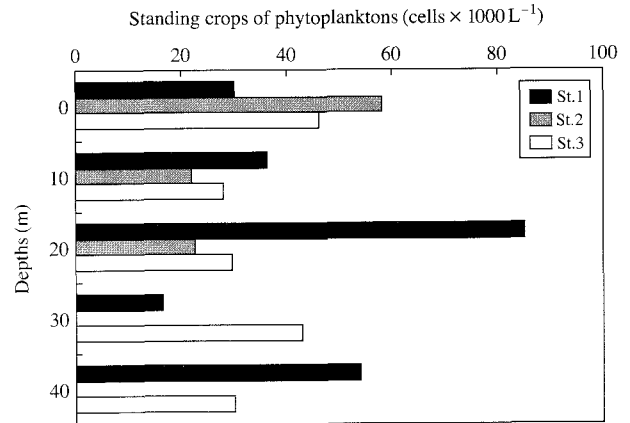


Fig. 14. Variations of standing crops according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK1-3).

사 사

이 논문은 2007년 교육과학기술부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (KRF-207-C-000-381).

참 고 문 헌

강용주, 강형구. 1992. 초여름 독도 근해에서의 식물플랑크톤에 의한 기초 생산력. 섬연구회 논문집. 1:36-45.
 김미경, 김영환. 1999. 일반조류학. 아카데미서적. 194pp.
 김미경, 신재기. 2007. 독도 연안의 하계 수환경과 미세조류의 종조성 변화. *Algae* 22:193-199.
 김미경, 신재기, 차재훈. 2004. 하계 독도 연안 해조류의 종조성 변동과 갯녹음현상. *Algae* 19:69-78.
 독도연구보전협회. 1999a. 독도 해양환경·수산자원 보전을 위한 기초연구. 해양수산부. 544pp.
 독도연구보전협회. 1999b. 독도 인근해역의 환경과 수산자원 보전을 위한 기초연구. 독도 연구총서 제4집. 253pp.
 심재형. 1994. 한국동식물도감. 제34권 해양식물플랑크톤. 교육부. 487pp.
 심재형, 여환구, 박종규. 1992. 한국 동해 남부해역의 일차생산계 I. 생물량과 생산력. *한국해양학회지*. 27:91-100.
 이진환, 백정현. 1996. 울릉도 및 독도의 식물플랑크톤에 관하여. *자연실태종합보고서*. 10:243-257.
 이진환, 장 만. 1996. *한국해산물말 (규조)도감*. 자유아카데미. 서울. 109pp.
 장선덕, 김종규. 1994. 측류판 표류실험에 의한 하계 울릉도·독도 근해의 해수류동 특성. *한국수산학회지*. 27:583-593.

- 정영호. 1981. 울릉도 및 독도의 식물성 플랑크톤. 한국자연 보존협회 조사보고서. 19:221-228.
- 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2000. 울릉도와 독도 근해해역의 이화학적 특성과 광합성 색소의 계절적인 변화. 환경생물. 18:425-440.
- 정지안. 2001. 울릉도·독도 근해 해역의 해양학적 특성과 식물플랑크톤의 계절적인 변화. 영남대학교 석사학위 청구논문. 62pp.
- 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2001. 울릉도·독도 근해의 환경요인에 따른 식물플랑크톤 군집 구조의 변화. Algae 16:325-335.
- 좌중현, 이준백. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물 생태학적 특성. 한국해양학회지. 5:59-69.
- 한국해양연구소. 2000. 독도 생태계 등 기초조사 연구. 해양수산부. BSPM 99045-00-1282-6. 1033pp.
- APHA, AWWA, WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (Eaton AD, LS Clesceri and AE Greenberg eds.). Baltimore. USA 10:157.
- Fukuyo Y, H Takano, M Chihara and K Matsuoka. 1990. Red Tide Organisms in Japan-An Illustrated Taxonomic Guide. Uchida Rokakuho. Tokyo.
- Hallegraeff GM. 1991. Aquaculturists' Guide to Harmful Australian Microalgae. CSIRO.
- Jensen NG. 1984. The Pennate Diatoms. Strauss and Cramer GmbH. 918pp.
- Lee JH. 1994. Neurotoxin-producing diatom, *Pseudonitzschia pungens* Grunow f. *multiseriis* Hasle, off the coastal waters of Southern Korea I. Morphological features. Korean J. Phycol. 9:125-150.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3:36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationships among functional properties of Californian Grassland. Nature 216:168-169.
- Shannon CE and W Weaver 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press. Urbana. 177pp.
- Shin JK, MK Kim, CK Kang, SJ Hwang and MH Chung. 2003. Freshwater ecosystem (Mulkol) and periphytic algal biomass in the Tok Island, Korea. Korean J. Limnol. 36:463-466.
- Strickland JDH and TR Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board. Can. 167:1-310.

Manuscript Received: February 9, 2009
 Revision Accepted: February 17, 2009
 Responsible Editor: Hak Young Lee