

2009년 추계 독도연안의 수환경과 식물플랑크톤 군집의 수심별 변화

김윤삼 · 박경우 · 박정원¹ · 전경희 · 김미경^{2,*}

영남대학교 생물학과, ¹국립공원관리공단 국립공원연구원, ²영남대 해양과학연구소

Vertical Variations of Water Environments and Phytoplankton Community during the 2009 Autumn in the Coast of Dokdo, Korea

Yun Sam Kim, Kyung Woo Park, Jung Won Park¹, Kyung Hee Jeune and Mi Kyung Kim^{2,*}

Department of Biology, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

¹Marine Research Center, National Park Resear Institute, Korea National Park,
Taeon 357-907, Korea

²Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

Abstract – The variations of physico-chemical factors and the species compositions of phytoplanktons were investigated to analyze the marine ecosystem at the depths during summer in the coast of Dokdo (stations DOK 1-3). The mean values of conductivity (48.9 mS cm^{-1}), salinity (32.9 psu) and total suspended solids (57.9 mg L^{-1}) were the highest in DOK 1. The biomass (Chl-*a*) of phytoplanktons was the highest in the surface of DOK 1 ($2.61 \mu\text{g L}^{-1}$). By the means of physico-chemical factors (salinity, turbidity, Chl-*a*, TN, TP and Si), the water estimated in the coast of Dokdo was more eutrophicated than that in 2008. The phytoplanktons were a total of 42 species in Dokdo, which were composed of 33 species (78.6%) for Bacillariophyceae and 9 species (21.4%) for Dinophyceae. The standing crops of phytoplanktons were the highest ($18 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) in the surface of DOK 2 and in the surface of DOK 3, while they were the lowest ($2 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) at depth of 40 m of DOK1 and at depth of 30 m of DOK 3. The dominant species of phytoplanktons were *Chaetoceros castracanei* ($6 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) in the surface, *Rhizosolenia alata* f. *gracillima* ($3 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) at depth of 20 m and *Protocentrum compressum* ($4 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) at the depth of 30 m of DOK 1. At the surface of DOK 2, the dominant species was *Bacillaria paxillifer* ($6 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$), while it was *Hemiaulus indicus* ($12 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$) at the surface of DOK 3. The DOK 1, which is affected by upwelling, whirlpool and circulation due to the East Korean Warm Current, was the most eutrophicated water body among three stations. The monitoring of marine ecosystem in the coast of Dokdo should be continued to propose the alternatives for water quality and species conservation and to purify the eutrophicated water body due to artificial pollutants as well as natural effectors by the global warming, the climatic change, etc.

Key words : phytoplanktons, species composition, water environments, Dokdo

*Corresponding author: Mi Kyung Kim, Tel. 053-810-3863,
Fax. 053-813-0726, E-mail. mkkim@yu.ac.kr

서 론

독도는 일본과 영유권 문제로 첨예하나 우리나라 역사에 의하면 512~1471년까지는 ‘우산도’로, 1471~1793년까지는 ‘삼봉도’로, 1794~1990년까지는 ‘가지도’로, 1900~1905년까지는 ‘석도’ 등으로 불려 왔으며, 1906년 울릉군수 심홍택의 「울릉군수보고서」와 한말지사 황현의 「매천야록」에서 처음으로 ‘독도’라는 지명을 사용하여 독도는 대한민국의 영토임에는 의문의 여지가 없다(Park 2008).

독도의 기후는 전형적인 해양성 기후(연평균 기온 약 12°C: 1월 평균기온 1°C, 8월 평균기온 23°C, 연평균 풍속 4.3 m s⁻¹, 여름 남서풍, 겨울 북동풍 우세)로, 안개가 잦고 연중 흐린 날이 160일 이상이며, 강우일수는 150일, 연평균 강수량은 1,240 mm로 연중 85% 흐리거나 눈·비가 내려 비교적 습한 지역이다(KODC 2009). 수온은 3~4월에 근해 표면수가 10°C 전후로 가장 낮고, 8월에 25°C 전후로 가장 높다. 연 평균 표면수의 염분농도는 33~34 psu이며, 표층 산소량은 6.0 mL L⁻¹이며, 투명도는 17~20 m로 비교적 맑은 수역을 형성하고 있다. 독도가 위치한 동해 표층부의 해류 순환형태는 극전선을 중심으로 북쪽의 시계반대방향 순환과 남쪽의 시계방향 순환으로 구분되며, 북쪽의 해류순환은 리만해류와 북한해류가 하강하고, 남쪽은 쓰시마해류가 순환하는 해류로 구분된다(Lee 2004).

독도는 해저에 높이 2,000 m의 해중산이 형성되어 있어 이 부근을 통과하는 해류에 의해 발생하는 용승류와 와류로 인해 식물플랑크톤 군집이 풍부하며, 이를 먹이로 하는 오징어와 명태 등이 풍부한 어장이 형성되어 어업전진기지로서 역할을 하고 있다(KORDI 2000).

식물플랑크톤 군집은 해류의 시공간적인 변동에 따른 영양염의 농도와 수온 등의 물리적인 변화에 따라 종조성과 분포가 민감하게 변화하므로, 해양의 지표생물이고 동물플랑크톤과 척추동물의 생물량을 결정하는 먹이원으로, 해양생태계 내에서 무생물환경과 생물환경을 동시에 이해할 수 있는 중요 생산자 역할을 하고 있다(Tomas 1997).

본 연구는 2009년 여름철에 독도 연안에서 주요 수환경 요인과 식물플랑크톤의 종조성을 분석하여 선행 연구결과(Shim *et al.* 1992; Kim and Kim 1999; Choa and Lee 2000; Shin *et al.* 2003; Kim and Shin 2007; Kim and Park 2009)와 비교하여 생태계 보전을 위한 대책에 필요한 기초자료를 확보하는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황 및 조사 정점

독도는 우리나라 해양 영토로서 동해의 동쪽 땅 끝에 위치하고 있고, 동도와 서도의 2개 섬으로 구성되어 있고, 주변에 산재하는 크고 작은 89개의 바위섬과 암초로 구성된 소규모 군도이다.

본 연구에서 수환경과 식물플랑크톤의 조사 정점은 동도(DOK1), 서도(DOK3)의 연안해역과 동·서도의 중간 지점(DOK2)에서 각 1개 정점으로 하였고, 수심은 DOK1과 DOK3에서 수표면에서 수심별로 10m 단위로 40m, DOK2에서는 20m까지 시료를 채수하였다(Fig. 1). DOK1과 DOK3은 파도에 의한 해류의 수평 및 수직으로 섞임이 원활한 곳이나 DOK2는 수심이 얇고 접안에 선박의 왕래가 심하여 DOK1과 DOK3에 비해 다소 안정된 반폐쇄 수역이다(Kim and Park 2009). 본 조사는 2009년 9월 6일 초가을 평균기온이 21.3°C에 조사하였으며(KODC 2009), 독도의 자연환경과 생태계를 장기모니터링하는 영남대 독도연구소의 현장탐사팀과 함께 현장어업선을 활용하였다.

2. 수환경 분석

수환경 항목 중 수온과 DO는 Ocean Seven 316Plus (Italy)로, 염분(psu)은 ATAGO PR-40DMF로 측정하였다. 수질분석을 위한 시수는 van Dorn 채수기로 표층을 중심으로 10m마다 채수하여 멸균된 4L 플라스틱병에 넣어, 아이스박스 안에 담아 24시간 이내에 실험실로 옮겼다. 용존 총질소(Dissolved Total Nitrogen), 용존 총인(Dissolved Total Phosphorus), 규산성 규소(SiO₂-Si)는 시료를 GF/C 여과지(Whatman International Ltd Maidstone, Eng-

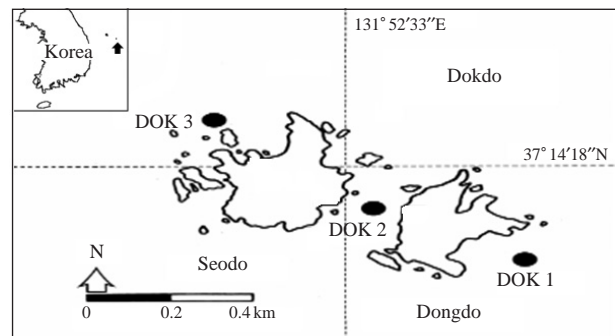


Fig. 1. A showing the sampling stations in the coast of Dokdo of Korea.

land)로 여과한 후, APHA *et al.* (1995)의 분석법에 따라, Chl-*a*는 Strickland and Parsons (1972) 방법으로 정량하였다. 수소이온농도 (pH)와 탁도는 Muti meter (Thermo Orion 3 star, USA)와 turbidimeter (DRT-15CE, USA)로 각각 측정하였다.

3. 식물플랑크톤 군집의 정성 및 정량 분석

식물플랑크톤 군집의 정성 시료는 식물플랑크톤 네트 (망목 10 μ m)를 이용하여 표층과 저층에서 3회 예인 채집하였고, 저층은 수심별로 채수된 시료를 농축한 후 광학현미경에서 편모와 같은 세포부속지 등의 식물플랑크톤의 형태적 특성을 비교적 뚜렷하게 고정해주는 formaldehyde (4%)로 즉시 고정하였다. 정량 시료는 현장에서 시수 2L 채수한 후, Lugol 용액으로 고정하였고 (APHA *et al.* 1995), 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실에서 1주일 이상 충분히 침강시킨 뒤 상등액은 Siphon으로 제거하고 시료를 농축시켰다. 식물플랑크톤의 현존량은 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 단위 부피당 세포수 (cells L⁻¹)로 계산하였다. 농축시료의 일부 중 1 mL를 S-R counting chamber에 골고루 분산시킨 뒤 S-R chamber의 line을 따라 zigzag형으로 광학현미경 ($\times 200$) 하에서 식물플랑크톤을 검정하면서 종별 세포수를 계수하였다. 종의 동정은 $\times 400$ 또는 $\times 1,000$ 배의 고배율로 관찰하였다.

4. 식물플랑크톤 군집의 우점도 지수 (Dominance Index, DI)

우점도 지수는 생물 군집 내 종의 우점화 비율을 나타내는 척도로 각 정점별로 정량적 방법에 의해 채집된 세포수 현존량에 의거해서 우점종 2종을 선정하여 McNaghton (1967)의 우점도 지수에 의하여 산출하였다.

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

DI: 우점도지수

N: 식물플랑크톤의 현존량

n_1, n_2 : 각 정점에서 현존량이 가장 많은 종 (n_1)과 그 다음으로 많은 종

5. 식물플랑크톤 군집의 종다양성 지수 (Diversity Index, H')

종다양성 지수는 종의 풍부도와 개체수의 균등한 분포를 나타내는 척도로 Margalef (1958)의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function (H')을 이용하였다.

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

H': 다양성지수

S : 전체 종수

P_i : i 번째에 속하는 세포수 ($P_i = n_i/N$)

6. 상관분석

독도 연안에서 환경인자간의 상호 유연관계를 알기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 사용하였다. 이 공식은 환경인자간의 시·공간적 변화량을 등위화하여 각 인자간의 상관계수 (r_s)를 구하고 그 유의성을 결정하는 방법으로서 통계프로그램인 SPSS v.17.0에 의해 계산되었다.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

여기서 D_i 는 두 인자간 등위화된 수치의 차이이며, n 은 등위화된 수치의 갯수이다. 유의성 검정은 $p=0.05$ 수준에서 판정하였다.

결과 및 고찰

독도연안에서 수온은 정점 DOK1과 정점 DOK3의 수심 20~30m에서 24°C에서 17°C로 급격하게 하강하는 수온약층 현상이 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 2). 그러나 Suh *et al.* (2005)은 수온약층이 발생하였는데, 이는 본 연구결과와 비교해 볼 때, 수온약층이 상승하였다. 이는 지구온난화와 기후변화에 의한 간접적인 영향인 것으로 사료된다 (Yoon 2007). 또한 하계에 발생하는 냉수대 (Suh *et al.* 2005)의 간접영향으로 추정되는데, 수심 20m에서 30m 사이에서 급격하게 수온이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 냉수대는 용승현상으로 인하여 생기는 것으로서 깊은 수심의 차가운 해수가 상승하면서 해수의 온도가 떨어지는 것이지만 표층수의 경우 수온상승과 태양으로부터 오는 복사열로 인하여 수온이 상승하는 것으로 사료된다 (Suh *et al.* 2005).

독도연안 수소이온농도는 8.16에서 8.25의 분포를 보였다. 정점 DOK2가 정점 DOK1과 DOK3보다 낮은 경향을 나타냈다 (Fig. 2). 정점 DOK1의 수심 20m에서 8.22로 높아진 후, 30m에서 8.17을 보여 낮아지는 경향을 보였고, 정점 DOK3의 수심 30m에서 8.25로 급격히 높아져서 수온약층 내에서 수소이온농도가 높아지는 경향을

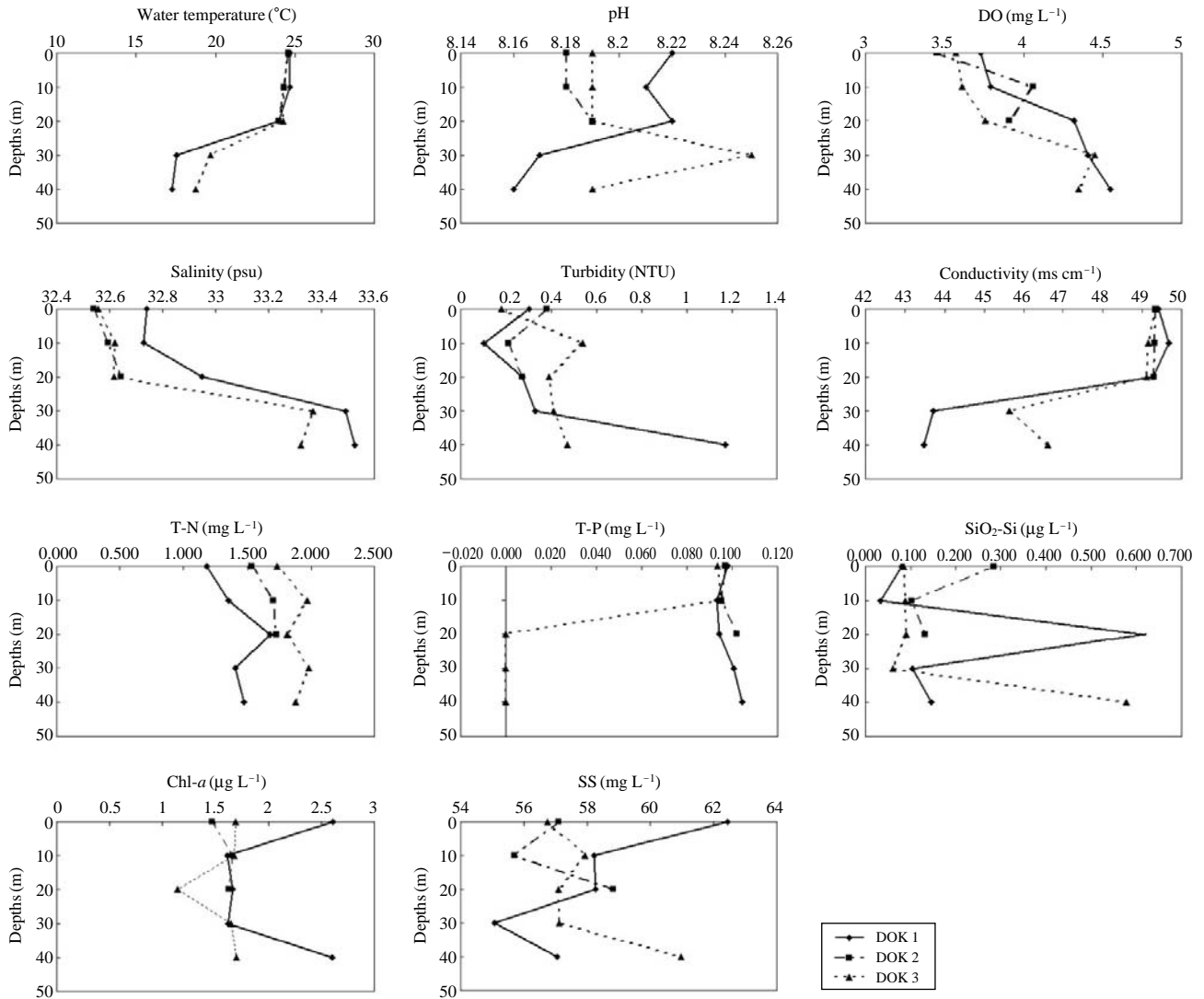


Fig. 2. Vertical of environmental elements according to the depths in the coast of Dokdo of Korea, on Sept. 6, 2009.

떡였다.

평균 용존산소량 (DO)은 정점 DOK2에서 3.80 mg L⁻¹였고, 정점 DOK1과 DOK3에서 각각 4.16 mg L⁻¹과 3.94 mg L⁻¹였다 (Fig. 2). 최고치는 정점 DOK1의 수심 40 m에서 4.45 mg L⁻¹였고, 최저치는 정점 DOK2의 표층에서 3.45 mg L⁻¹로 나타났다. 선행연구 결과 독도 근해의 DO는 최저 3.9 mg L⁻¹에서 최고 5.3 mg L⁻¹를 나타내어 전체적으로 약간의 감소 현상이 보였다 (Jung *et al.* 2000). 일반적으로 용존산소량은 수온과 반비례의 관계를 나타내는데 수온의 영향을 받아 수심이 깊어질수록 증가하는 추세를 보였다.

염분농도는 정점 DOK2에서 수심별로 32 psu로 일정하게 나타났으나 정점 DOK1과 3에서 최고치와 최저치가 각각 33.5 psu와 32.5 psu였고 (Fig. 2), 수심 10 m와 30 m

에서 염분이 증가하는 염분약층이 형성된 것을 알 수 있다. Jung *et al.* (2000)은 8월에 33~34 psu보다 낮은 32~33 psu로 나타났는데, 이는 동도에 위치하는 선착장의 독도 방문객증가로 선박 유입의 짙은 희수로 방출되고, 동도의 독도경비대로부터 방류되는 오폐수의 유입으로 해수의 염분이 일시적으로 낮아진 것으로 사료된다.

탁도는 정점 DOK2에서 0.21~0.38 NTU로 수심별로 큰 변화가 없었으나, 정점 DOK1에서 표층부터 수심 40 m까지 0.3 NTU에서 1.17 NTU로 증가하는 큰 변화를 보였다 (Fig. 2). 이는 같은 정점별 탁도의 변화는 부유물질의 변화경향과 일치하는 것으로 미루어 보아 탁도는 부유물질의 농도와 함께 유속이 빠른 해류, 용승류, 와류에 의한 섞임현상으로 부유물질이 수층별 변동이 탁도 변화에 영향을 미친다고 할 수 있다 (Kim and Shin

2007).

용존 총질소(DTN)의 농도는 정점 DOK1에서 표층 1.18 mg L⁻¹로부터 수심 40m까지 1.47 mg L⁻¹까지 증가하였으며, 정점 DOK2에서도 표층부터 수심이 깊어 질수록 증가하였다. 그러나 정점 DOK3에서는 표층 1.73 mg L⁻¹에서 10m에서 1.97 mg L⁻¹로 증가하였다가 20m에서 1.82 mg L⁻¹로 감소하였고, 다시 30m에서 1.99 mg L⁻¹로 증가한 후 40m에서 1.88 mg L⁻¹로 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 이는 정점 DOK1과 DOK3 수역이 한여름에 수온약층대가 강하게 형성된 시기와는 달리 채수 기간인 9월 초에 접어들면서 미약하지만 수온하강 조짐이 보이면서 수온약층이 약간씩 해리되기 직전에 독도연안으로 밀려오는 용승류의 영향권에서 접하면서 30m와 40m의 수역이 수표면의 용존 총질소 농도보다 약간 상승한 것으로 판단되며, Kim and Park (2009)의 8월 조사에서(평균 0.57 mg L⁻¹)보다는 낮았다.

용존 총인(DTP)은 정점 DOK1과 DOK2에서 모두 평균 0.098 mg L⁻¹을 나타냈으며, 정점 DOK3에서는 0.038 mg L⁻¹이었다. 정점 DOK1의 수심 40m에서 0.104 mg L⁻¹로 가장 높은 농도 분포를 보였으며, Kim and Park (2009)의 연구와 유사한 분포를 보였다. 이는 용존 총질소의 분포와 유사한 현상으로 해류의 수직이동과 섞임현상에서 기인하는 것으로 판단되며(Fig. 2), 용존 총질소과 용존 총인 증가는 식물플랑크톤의 성장에 좋은 서식환경을 제공하는 것으로 여겨진다.

규산성 규소(SiO₂-Si)는 정점 DOK1에서 평균 0.195 mg L⁻¹, DOK2에서 평균 0.172 mg L⁻¹, DOK3에서 평균 0.181 mg L⁻¹을 나타냈으며, 정점 DOK1과 DOK3보다 DOK2가 낮게 나타났다. 정점 DOK1의 20m와 DOK3의 40m에서 급격하게 증가하는 것은 용존 총질소와 용존 총인처럼 동일한 해류이동과 용승류 현상의 결과인 것으로 판단된다(Fig. 2). Kim and Park (2009)의 선행연구 결과, SiO₂-Si는 해수표면에 농도(0.31~1.01 μg L⁻¹의 범위 중 수표면의 농도가 낮게 나타남)가 낮게 나타난 현상과 동일하게 나타났다.

Chl-*a* 농도는 정점 DOK1에서 수심별 평균 2.02 μg L⁻¹였고, 수표면과 수심 40m에서 각각 평균 2.6 μg L⁻¹로 높게 나타났고, 정점 DOK2는 수심별 평균 1.59 μg L⁻¹, 정점 DOK3은 평균 1.57 μg L⁻¹로 수심 20m에서 1.14 μg L⁻¹의 농도로 낮게 나타났다(Fig. 2). 본 연구 결과, 모든 정점의 평균 Chl-*a*의 농도(1.74 μg L⁻¹)는 Kim and Park (2009)의 8월에 평균 Chl-*a*의 농도(1.72 μg L⁻¹) 보다 높게 나타났다. 이는 용존 총질소와 용존 총인, 규산규소의 농도가 선행결과(Kim and Park 2009)에 비해 높게 나타난 수질의 양상으로 식물플랑크톤의 생산성을 강화시키는 결과를 초래한 것과 일치하는 현상이다.

부유물질의 농도(SS) 측정결과, 정점 DOK2에서는 수심별 농도(55~58 mg L⁻¹)가 거의 일정하였으나 정점 DOK1은 수심이 깊어질수록 62.4 mg L⁻¹에서 55 mg L⁻¹로 낮아졌으나, 반면에 정점 DOK3은 수심이 깊어질수록

Table 1. Phytoplankton compositions and standing crops on September 6, 2009 at DOK1 in the coast of Dokdo (+: less than 100 cells L⁻¹)

Species names	DOK 1 (cells × 10 ³ L ⁻¹)				
	0 m	10 m	20 m	30 m	40 m
<i>Chaetoceros affinis</i>	1		+		
<i>Chaetoceros atlanticus</i>			+		
<i>Chaetoceros castracanei</i>	6	2			
<i>Coscinodiscus centralis</i>	+				+
<i>Coscinodiscus perforatus</i>			+		
<i>Guinardia flaccida</i>		2			
<i>Hemiaulus membranaceus</i>		+			
<i>Leptocylindrus minimus</i>					2
<i>Licmophora paradoxa</i>					+
<i>Melosira juergensii</i>		1			
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>	+		2		
<i>Paralia sulcata</i>		+			
<i>Pleurosigma delicatulum</i>		+			+
<i>Protocentrum compressum</i>				4	
<i>Protocentrum micans</i>				+	
<i>Protoperdium brochii</i> var. <i>inflatum</i>		+			+
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	3		3	+	
<i>Rhizosolenia bergonii</i>			1		
<i>Rhizosolenia robusta</i>		+			
<i>Rhizosolenia setigra</i>	+				
Species number	6	8	6	3	5
Standing crops	10	5	6	4	2

56.7 mg L⁻¹에서 62.4 mg L⁻¹로 증가하는 경향을 나타냈다 (Fig. 2). 이는 조사시점 3주 전부터 독도경비대 일대에 대대적인 시설 보수공사가 진행되고 있어 부유물질

Table 2. Phytoplankton compositions and standing crops on September 6, 2009 at DOK 2 in the coast of Dokdo (+: less than 100 cells L⁻¹)

Species names	DOK 2 (cells × 10 ³ L ⁻¹)		
	0 m	10 m	20 m
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>		+	
<i>Bacillaria paxillifer</i>	6		
<i>Bellerochea malleus</i>		+	
<i>Caloneis crassa</i>	2		
<i>Chaetoceros deversus</i>		+	
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	2		
<i>Cocconeis pellucida</i>		2	
<i>Guinardia flaccida</i>		1	
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	+		
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>			+
<i>Melosira juergensii</i>			2
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>	+		
<i>Protocentrum triestinum</i>	1		
<i>Protoperidium conicooides</i>	+		
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>		+	2
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	1	2	
<i>Richelia intracellularis</i>	4		
<i>Synedra ulna</i>			2
Species number	9	5	6
Standing crops	18	7	8

농도가 높아지는 원인이 될 것으로 사료되며, 또한 현재 독도에 입도하는 관광객 수의 증가와 여객선의 증가로 인한 영향이 있을 것으로 사료되며, 특히 정점 DOK1과 3은 독도연안 쪽으로 밀려오는 유속이 빠른 해류, 용승류, 와류에 의한 섞임현상으로 부유물질이 수층별로 변동이 심한 반면에 동도와 서도 사이에 위치한 정점 DOK2는 해류의 영향이 낮고, 수심이 얕은 수역이기 때문에 수심별 부유물질이 농도가 변화의 폭이 적게 나타났다고 본다. SS는 Jung *et al.* (2000)의 연구결과에서 여름에 SS의 농도가 0.5~7 mg L⁻¹의 농도분포를 보였으나 본 연구에서는 상당히 증가되었는데 이는 독도연안의 수질이 과거에 비해 혼탁해 졌다는 것을 의미한다 (Kim and Park 2009).

정점별 식물플랑크톤 군집의 종조성은 총 43분류군으로 구성되어 있었으며 (Tables 1, 2, 3), 분류군별로 돌말류 (78.6%)와 와편모조류 (21.4%) 순이었다.

식물플랑크톤 우점종의 현존량은 정점 DOK1에서 *Chaetoceros castracanei* (수심 0 m: 6 × 10³ cells L⁻¹), *Rhizosolenia alata* f. *gracillima* (수심 20 m: 3 × 10³ cells L⁻¹), *Prorocentrum compressum* (수심 30 m: 4 × 10³ cells L⁻¹)였고, 정점 DOK2에서는 *Bacillaria paxillifer* (수심 0 m: 6 × 10³ cells L⁻¹), *Cocconeis pellucida*, *R. bergonii* (수심 10 m: 2 × 10³ cells L⁻¹), 정점 DOK3에서는 *Hemiaulus indicus* (수심 0 m: 12 × 10³ cells L⁻¹), *R. alata* f. *gracillima* (수심

Table 3. Phytoplankton compositions and standing crops on September 6, 2009 at DOK 3 in the coast of Dokdo (+: less than 100 cells L⁻¹)

Species names	DOK 3 (cells × 10 ³ L ⁻¹)				
	0 m	10 m	20 m	30 m	40 m
<i>Bacteriastrum comosum</i>				2	
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>			+		1
<i>Ceratium fusus</i>			+	+	
<i>Ceratium horridum</i>	+				
<i>Ceratium kofoidii</i>					+
<i>Chaetoceros affinis</i>			+	+	
<i>Chaetoceros didymus</i>		+			
<i>Chaetoceros gracilis</i>				+	
<i>Guinardia flaccida</i>	+		2		
<i>Hemiaulus indicus</i>	12	2			5
<i>Hemiaulus membranaceus</i>			+		1
<i>Leptocylindrus danicus</i>			+		+
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>		+			
<i>Nitzschia delicatissima</i>				+	+
<i>Paralia sulcata</i>	2				
<i>Protocentrum balticum</i>			2		
<i>Protocentrum compressum</i>	2				+
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>	1	5			
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	1	2	2		
<i>Rhizosolenia robusta</i>				+	
<i>Rhizosolenia setigra</i>	+				+
Species number	8	5	8	6	8
Standing crops	18	9	6	2	7

10 m: 5×10^3 cells L^{-1}), *H. indicus* (수심 40 m: 5×10^3 cells L^{-1}) (Tables 1, 2, 3)였다.

종 다양성 지수는 정점 DOK1의 수심 30 m, 40 m와 DOK3의 30 m에서 가장 낮은(0.00)값이 나타나며 DOK2의 0 m에서 가장 높은(2.53)값이 나타났으며 이는 표층에서의 다양성 지수가 높고, 수심이 낮아 질수록 낮아진다는 것을 알 수 있다. 또한 비교적 반폐쇄적인 정점 DOK2에서 높게 나왔으며 DOK1에 비하여 DOK3에서 더 높게 나오는 양상을 보였다. 이는 독도에서 연안으로 밀려들어오는 해류에 의한 영양염류의 증가로 사료된다 (Table 5).

종의 우점도 지수 (Table 4)는 정점 DOK1의 수심 30 m, 40 m와 DOK3의 30 m에서 가장 높았으며 (1), 이를 제외한 곳 중에서는 정점 DOK1의 0 m (0.9)가 가장 높게 나타났다. 반면에 DOK2 (0.5~0.6)에서 낮게 나타났다. DOK1

Table 4. Dominance index of phytoplanktons on September 6, 2009 in the coast of Dokdo

Depths (m)	St. 1	St. 2	St. 3
0	0.9	0.56	0.78
10	0.8	0.57	0.78
20	0.83	0.5	0.67
30	1	—	1
40	1	—	0.86

Table 5. Diversity index of phytoplanktons on September 6, 2009 in the coast of Dokdo

Depths (m)	St. 1	St. 2	St. 3
0	1.3	2.53	1.56
10	1.15	1.43	1.44
20	1.15	1.5	1.58
30	0	—	0
40	0	—	1.15

과 DOK3의 30 m (1.00)와 40 m (1.00)에서 수치가 높게 나타난다. 이는 수질의 용존 총질소, 용존 총인, 규산규소의 농도가 비교적 높은 수층으로 식물플랑크톤의 현존량이 높게 나온 결과와 유의성이 있었다 (Fig. 3).

또한 환경인자들 간의 상관관계를 살펴보기 위하여 SPSS (통계분석 s/w)를 이용하여, 정점별 수심에 따른 모든 측정 결과를 대입하여 Spearman 상관계수를 구하였고, 유의성 검증은 $p=0.05$ 에서 판정하였다. 이때 환경인자간의 Spearman 상관계수를 살펴보면 현존량은 전기전도도와 DO, 수온, 염분과 밀접한 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 이 중에서 특히 DO를 결정하는 결정적인 인자라는 것을 알 수 있으며 음의 상관관계를 나타낸다. 이때

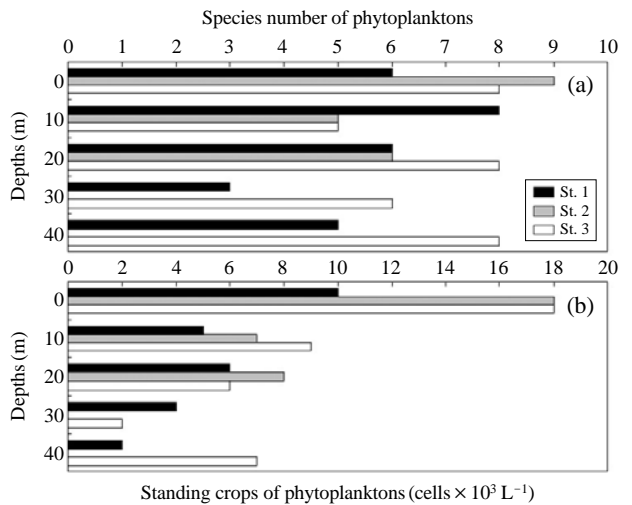


Fig. 3. Variations of species number of phytoplanktons (a), standing crops (b) according to the depths during summer in the coast of Dokdo, Korea (DOK 1-3).

Table 6. Coefficients of Spearman rank (r_s) and probabilities in the coast of Dokdo (means of total stations)

P	r_s														
	Conductivity	pH	Do	Chl-a	Temp.	T/N	T/P	COD	SS	SiO ₂ -Si	Turbidity	Salinity	S. crops	No. of s.	
Conductivity		0.331	-0.740	-0.083	0.933	-0.870	-0.542	-0.287	0.285	-0.028	-0.741	-0.663	0.647	0.488	
pH	N.S.		-0.091	0.068	0.323	-0.226	-0.482	-0.524	0.666	-0.096	-0.234	0.065	0.007	0.293	
Do	**	N.S.		0.173	-0.846	0.557	0.391	0.141	-0.099	-0.088	0.319	0.863	-0.862	-0.520	
Chl-a	N.S.	N.S.	N.S.		-0.151	-0.175	-0.203	-0.239	0.267	-0.223	0.225	0.325	0.152	-0.309	
Temp.	***	N.S.	***	N.S.		-0.773	-0.526	-0.231	0.215	-0.181	-0.547	-0.714	0.638	0.478	
T/N	***	N.S.	*	N.S.	**		0.599	0.196	-0.353	0.050	0.631	0.385	-0.548	-0.122	
T/P	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*		0.171	-0.230	-0.020	0.411	0.279	-0.355	-0.196	
COD	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.244	0.285	0.167	-0.028	-0.116	-0.296	
SS	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.160	0.039	0.146	0.205	0.306	
SiO ₂ -Si	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.069	-0.203	0.320	0.159	
Turbidity	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.415	-0.259	-0.216	
Salinity	*	N.S.	***	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.765	-0.492	
S. crops	*	N.S.	***	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*		0.404	
No of sp.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		

***: significance ($p < 0.001$), **: significance ($p < 0.01$), *: significance ($p < 0.05$), N.S.: non significance

Table 7. Coefficients of Spearman rank (r_s) and probabilities in the coast of Dokdo (means of St. 1)

P	r_s													
	Conductivity	pH	Do	Chl- <i>a</i>	Temp.	T/N	T/P	COD	SS	SiO ₂ -Si	Turbidity	Salinity	S. crops	No. of s.
Conductivity		0.667	-0.900	-0.300	1.000	-0.949	-0.821	-0.200	0.600	0.100	-0.900	-1.000	0.700	0.872
pH	N.S.		-0.821	0.205	0.667	-0.730	-0.763	-0.667	0.872	0.616	-0.667	-0.667	0.975	0.579
Do	*	N.S.		-0.100	-0.900	0.949	0.667	0.500	-0.800	-0.200	0.700	0.900	-0.900	-0.718
Chl- <i>a</i>	N.S.	N.S.	N.S.		-0.300	0.000	0.410	-0.800	0.500	-0.100	0.500	0.300	0.300	-0.205
Temp.	***	N.S.	0.037	N.S.		-0.949	-0.821	-0.200	0.600	0.100	-0.900	-1.000	0.700	0.872
T/N	*	N.S.	*	N.S.	*		0.730	0.474	-0.791	0.000	0.791	0.949	-0.791	-0.892
T/P	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.205	-0.564	-0.462	0.975	0.821	-0.667	-0.816
COD	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.900	-0.100	0.100	0.200	-0.700	-0.359
SS	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*		0.200	-0.500	-0.600	0.900	0.667
SiO ₂ -Si	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.300	-0.100	0.500	-0.103
Turbidity	*	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.		0.900	-0.600	-0.872
Salinity	***	N.S.	*	N.S.	***	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*		-0.700	-0.872
S. crops	N.S.	**	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.		0.564
No of sp.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

***: significance (p) < 0.001, **: significance (p) < 0.01, *: significance (p) < 0.05, N.S.: non significance

Table 8. Coefficients of Spearman rank (r_s) and probabilities in the coast of Dokdo (means of St. 3)

P	r_s													
	Conductivity	pH	Do	Chl- <i>a</i>	Temp.	T/N	T/P	COD	SS	SiO ₂ -Si	Turbidity	Salinity	S. crops	No. of s.
Conductivity		0.900	-0.900	-0.707	-1.000	0.200	-0.791	-0.632	0.000	-0.500	0.000	-0.300	0.900	0.112
pH	*		-0.800	-0.354	-0.900	-0.100	-0.632	-0.632	-0.316	-0.700	-0.400	-0.400	0.700	-0.112
Do	*	N.S.		0.707	0.900	0.000	0.474	0.264	0.158	0.700	-0.100	0.600	-0.700	-0.447
Chl- <i>a</i>	N.S.	N.S.	N.S.		0.707	-0.354	0.559	0.186	-0.559	0.000	-0.707	0.000	-0.707	-0.395
Temp.	***	*	*	N.S.		-0.200	0.791	0.632	0.000	0.500	0.000	0.300	-0.900	-0.112
T/N	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		-0.632	-0.527	0.316	0.400	0.300	0.200	0.600	0.224
T/P	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.917	-0.250	0.000	0.000	-0.158	-0.949	0.177
COD	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*		0.000	0.053	0.369	-0.158	-0.791	0.412
SS	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.791	0.791	0.791	0.158	-0.177
SiO ₂ -Si	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.500	0.900	-0.200	-0.335
Turbidity	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.300	0.100	0.447
Salinity	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.		-0.100	-0.671
S. crops	*	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.		0.112
No of sp.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

***: significance (p) < 0.001, **: significance (p) < 0.01, *: significance (p) < 0.05, N.S.: non significance

염분 역시 음의 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있고, 전기전도도와 수온과는 양의 상관관계를 나타내는 것을 알 수 있다. 정점 DOK1에서는 식물플랑크톤의 출현종수와 전기전도도, 수온, 용존 총질소, 용존 총인, 탁도, 염분 등과 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 또한 환경인자 사이의 상관관계를 분석해 보면 전기전도도는 DO, 수온, 용존 총질소, 염분과 상관관계가 높게 나타났으며 대부분에서 음의 상관관계가 나타났으나 수온에서는 양의 상관관계를 보였다. 또한 pH는 부유물질 농도와 양의 상관관계를 보였다. DO는 수온과는 뚜렷한 음의 상관관계를 나타냈으며, 염분과 용존 총인에 의해서 양의 상관관계를 나타내어, 수온과 염분에 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 용존 총질소와 용존 총인은 식물플랑크톤 생장에 있어 가장 중요한 요소로서, 두 요소 중 하나

가 증가하면 다른 하나의 요소 또한 같이 증가한다는 것을 알 수 있다 (Table 6). 정점 DOK1과 DOK3을 비교하여 분석하면 DOK1의 경우 다른 정점에 비하여 비교적 환경인자간 및 현존량과의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 특히 현존량은 수온, pH와 부유물질의 농도와 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났으며 DO와는 음의 상관관계를 나타내는 것으로 나타나, 수온이 증가할수록 DO가 떨어지고 현존량이 늘어나는 결과가 나타났 (Jung *et al.* 2001). 환경인자들 간의 상관관계는 모든 정점의 평균과 같이 DO와 수온, 총질소, 총인, 염분과 전기전도도와 같이 비교적 비슷한 양상을 나타냈다 (Table 7). 정점 DOK3의 경우는 DOK1과 달리 현존량과 환경인자 사이와 환경인자간의 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. 수온과 총인에 음의 상관관계를 나타내는 것으로 나타났

다. DO역시 높은 상관관계를 나타내어 현존량에 미치는 DO와 수온의 상관관계가 분명하게 나타났다. 환경인자들 간의 상관관계는 정점 DOK1에 비하여 낮은 상관관계를 보였다. 이는 정점과 3은 독도연안 쪽으로 밀려오는 유속이 빠른 해류, 용승류, 와류에 의한 섞임현상으로 부유물질이 수층별로 변동이 심하여 측정 정점별 상관관계가 다르게 나타났으며 (Kim *et al.* 2007), 그 결과 측정결과와의 불연속성 (Table 8)이 나타나는 원인으로 판단된다.

독도 생태계는 Jung *et al.* (2000)의 연구에서 주변해역의 식물플랑크톤의 현존량과 군집의 종조성이 매우 빈약한 것으로 보고하였으나, 본 연구에서 염분, 탁도, Chl-*a*, 총질소, 총인, 규산규소의 농도가 높았을 뿐만 아니라 식물플랑크톤의 현존량이 증가된 것으로 보아 수질이 빈영양에서 초기부영양화 상태를 띄고 있었다.

따라서 독도연안의 생태계는 기후 변화 등에 따른 수온상승과 해류의 이동 등의 물리화학적인 자연 현상 뿐만 아니라 인간 활동에 의하여 생성되는 인위적인 오염 발생원에 의하여 영향을 받으므로 연안의 건강성과 수중 자연을 보존하기 위한 관리방안 마련이 시급하며 계속적인 대안 제시를 위해 향후에도 중·장기적인 모니터링이 지속되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2009년 교육과학기술부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

- Eaton AD, LS Clesceri and AE Greenberg. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA AWWA and WEF. Press. Baltimore. USA. pp. 1-157.
- Choa JH and JB Lee. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around moonsom, Cheju Island, Korea. J. Korean Soc. Oceanoger. 5:59-69.
- Jung JA, EY Jo, JH Cha, MK Kim and KT Kim. 2000. Seasonal variations of physico-chemical characteristics and phytoplanktonic pigments in coastal sea water from Ullungdo and Dokdo Islands. *Algae*. 16:325-335.
- Jung JA, EY Jo, JH Cha, MK Kim and KT Kim. 2001. Community structures of phytoplanktons according to environmental factors in the coastal waters of ullungdo and Tokdo Islands. *Algae*. 16:325-335.
- Jung J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academy press. Seoul. Korea. pp. 1-496.
- Jung YG. 2005. The regional geomorphology of Dokdo. *Geographic Information Systems* 11: 19-28.
- Kang JK and HK Kang. 1992. The primary production of phytoplankton during summer in the coast of Dokdo. *The Journal of Island Research*. 1:36-51.
- Kang WK. 1973. A check list of the planktons of the rice paddy field at Jeou-Dong in Island Wooleoung-Do. *Korea J. Environ. Biol.* 6:47-51.
- Kim MK and JK Shin. 2007. Variations of water environments and species compositions of microalgae during summer in the coast of Dokdo, Korea. *Algae*. 22:193-199.
- Kim MK and JW Park. 2009. Water environments and species compositions of phytoplanktons at the depths during summer in the Coast of Dokdo, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 27:48-57.
- Kim MK and YH Kim. 1999. *Les algues*. Academy Press. Seoul. Korea. pp. 1-194.
- Korea Oceanographic Data Center. 2009. Retrieved from <http://kodc.nfrdi.re.kr> on September 28.
- KORDI. 2000. Dokdo ecosystems and basic research BSPM 99045-00-1282-6. 1033.
- Lee CI, KD Cho and JH Yun. 2004. Relationship between the variation of the Tsushima warm current and current circulation in the East Sea. *Marin Safety & Environmental Protection Seminar*. pp. 89-92.
- Lee JH and JH Beak. 1996. Phytoplanktons of Ullungdo and Tokdo. *Natural Actual Conditions Comprehensive Report*. 10.
- 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.
- Park JH. 2008. Issue of sovereignty over the Dokdo. *Military Forum*. 55:274-294.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press. Urbana. USA. pp. 1-177.
- Shim JH, HG Yeo and JG Park. 1992. Primary production system in the southern waters of the east sea, Korea. The structure of phytoplankton community. *Oceanography*. 27: 91-100.
- 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.
- Sim JH. 1994. *Illustrated encyclopesia of fayna & flora of Korea*. Marine Phytoplankton. 34:487.
- Suh YS, LH Jang and JD Hwang. 2005. Temporal and spatial

- variations of the cold waters occurring in the eastern coast of the Korean peninsula in summer season. *J. Korea Fish. Soc.* 35:435-444.
- Strickland JDH and TR Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 167:1-310.
- Tomas CR. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press. Seoul. pp. 1-85.
- Yoon YY, SJ Jung and SC Yoon. 2007. Characteristics and long term variation trend of water mass in the coastal part of East Sea, Korea. *The Korean Society of Ocean Engineers* 10:59-65.
- Youn JS and SW Park. 1998. Hydrochemical characteristics of spring water in Cheju Island. *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment* 5:66-79.

Manuscript Received: October 28, 2010

Revision Accepted: November 12, 2010

Responsible Editor: Hak Young Lee