

독도 연안의 하계 수환경과 미세조류의 종조성 변화

김미경¹ · 신재기^{2*}

(¹영남대학교 해양과학연구센터 · ²한국수자원공사 수자원연구원)

Variations of Water Environments and Species Compositions of Microalgae during Summer in the Coast of Dokdo, Korea

Mi-Kyung Kim¹ and Jae-Ki Shin^{2*}

¹Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

²Environmental Research Center, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

This study was carried out to investigate the characteristics of environmental factors and the species compositions of phytoplanktons and periphytons in order to analyze the marine ecosystem (DOK1-3) with freshwater (Mul) in the coast of Dokdo. Mean values of conductivity (TSD) (44.3 mS cm^{-1}), total dissolved solids (30.9 mg L^{-1}), salinity (31.8 psu), total suspended solids (39.2 mg L^{-1}), and ash-free dry matter (AFDM) (8.8 mg L^{-1}) were higher in DOK1-3 than those in Mul (3.2 mS cm^{-1} , 2.3 mg L^{-1} , 1.9 psu, 2.8 mg L^{-1} and 2.8 mg L^{-1} , respectively), while mean amounts of soluble reactive phosphorus (SRP) ($7.5 \mu\text{g P L}^{-1}$) and soluble reactive silicon (SRS) ($0.1 \mu\text{g Si L}^{-1}$) were significantly lower in DOK1-3 than those in Mul ($117.3 \mu\text{g P L}^{-1}$ and $4,105 \mu\text{g Si L}^{-1}$, respectively). The phytoplanktons was a total of 59 species in Dokdo, which were composed of 1 species (1.7%) for Chrysophyceae, 43 species (72.9%) for Bacillariophyceae and 15 species (25.4%) for Dinophyceae. The biomass (Chl-*a*, phaeopigment and AFDM) of epilithic algae (ELA), epizooic algae (EZA) and epiphytic algae (EPA) were varied with the kinds of substrates (EPA > ELA > EZA) in the whole stations. Water environments was comparatively clean in the coast of Dokdo as comparing with those of the land. However, the monitoring of marine ecosystem in the Dokdo should be continued for species conservation according to the global warming by the climatic change.

Key Words: Dokdo, periphyton, phytoplankton, species composition, water environment

서 론

식물플랑크톤과 부착조류(periphyton)와 같은 미세조류(microalga)는 해조류와 더불어 수중 생태계 내에서 대표적인 기초 생산자로서 수중 먹이연쇄의 상위 생물량을 조절하는 기반을 제공한다. 기초 생태계의 생물학적 환경 요인은 물리·화학적 환경과 상호 밀접한 관련성이 있어 다양한 환경 요인의 변화에 대해 시·공간적인 변동을 보이면서 생태계의 각 구성 요소에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 해양생태계의 구성 생물 중 생태계를 유지하는데 있어 중심 기능을 수행하고 있는 미세조류의 군집에 대한 조사는 매우 중요하다(김과 김 1999).

해수의 광환경, 수온, 물의 유동성 및 수중 영양염 농도 등, 수환경에 의해 기초 생산자의 종조성에 따른 분포와 밀도는 영향을 받으며, 부유 플랑크톤의 생물량은 에너지 흐름의 기반을 이루고 있으므로 상위 생물들의 생물량을 결정하게 된다. 따라서 기초 생산자의 구조 및 양적 규모는 생물학적 지표가 될 수 있고, 수환경 요인과 더불어 해양환경의 하위 생태계를 이해하는데 있어 필수적이다.

독도는 지리적으로 해양의 중심부에 위치하고 있어 공간적으로 볼 때 생태계의 자연적 특성이 독특할 것으로 예상되나 내륙 연안 부근의 생태계와는 달리 접근이 어려워 많은 연구가 수행되지 않았다. 따라서 독도의 주변 생태계에 대한 선행 연구는 1980년대 초반부터 간헐적으로 유지되었고, 정 등(2000, 2001a, b) 연구, 독도 연안 해역의 수질 환경은 최근에 독도연구보존협회(1999a, b)와 한국해양연구소(2000)에서, 동·식물플랑크톤에 관한 연구는 정(1981), 강과 강

*Corresponding author (jaekishin@kowaco.or.kr)

(1992), 이와 백(1996), 독도연구보존협회(1999a, b) 및 한국 해양연구소(2000) 등에서 조사한 바 있다.

본 연구는 독도 생태계의 연안에서 주요 수환경 요인, 식물플랑크톤 및 부착조류를 중심으로 1회의 case study로 조사하였다. 이 결과를 독도 연안의 3정점에서 실시된 연구결과들과 비교하여 향후 독도와 주변 해양생태계에 대한 고찰과 추이를 설명하는데 수계 생태계를 파악할 수 있는 유용한 기초자료로 이용하고자 한다.

재료 및 방법

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 바위섬들이 다수 분포하고 있다. 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), 서도(DOK3)의 연안해역에서 동·서도의 중간지점(DOK2)에서 각 1개 정점으로 하였고, 수심은 DOK1과 DOK3에서 20 m이었고, DOK2에서 6 m이었다. DOK1과 DOK3은 파도에 의한 연안수의 교환이 원활한 개방 수역인 반면에, DOK2는 수심이 얇을 뿐만 아니라 선박 접안시설 구조물의 영향으로 인해 DOK1과 DOK3에 비해 다소 안정된 반폐쇄 수역으로 볼 수 있었다. 부착조류는 정점 DOK1, DOK2, DOK3 및 MUL의 4개 지점과 섬 주변의 자갈이 노출된 3개 지점(Fig. 1)에서 몽돌, 고둥 및 해조류의 기질을 중심으로 조사하였고, DOK1은 암벽 부근까지 수심이 깊고, 너울이 활발하여 해조류 기질만 채집하였다. 독도의 현장 조사는 2003년 8월 19-21일 동안 1회 수행하였다.

수환경

수환경 항목 중 수온과 DO는 YSI-59 DO meter로, pH와 전기전도도는 각각 Orion 230A meter 및 Conductometer LF191-WTW로 현장에서 각각 측정하였고, 염분(psu) 값으로도 보정하여 표시하였다. 영양염 분석을 위한 시료는 van Dorn 채수기로 표층(1 m 수심)에서 채수하였다. 시료용기는 산(acid) 세척된 4 L 플라스틱병을 사용하였고, 아이스박스에 담아 12시간 이내에 실험실로 옮겼다. 운반한 시료는 즉시 전처리 후 분석하였다. 수중 N·P 및 Si 무기영양염은 시료를 GF/F 여과지(Whatman International Ltd Maidstone, England)에 여과한 후, Strickland and Parsons

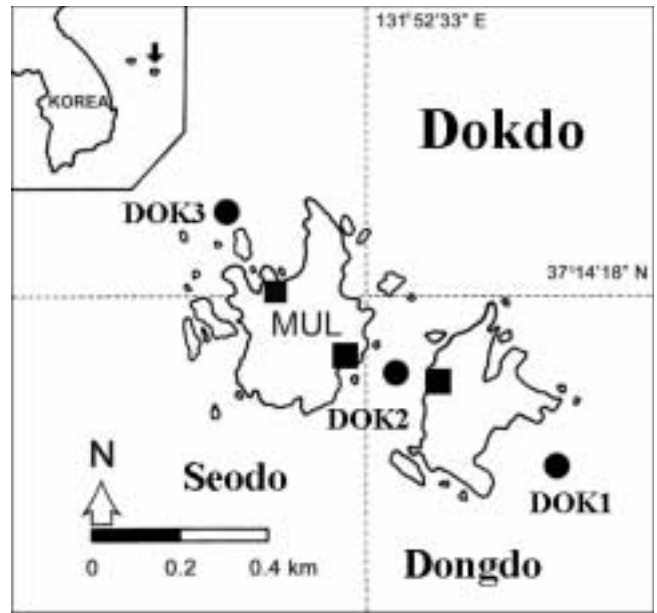


Fig. 1. Sampling sites in the coast of Dokdo. ●: environmental factors and microalgae, ■: periphytons.

(1972)와 APHA *et al.*(1995)의 분석법에 따라 중복으로 측정하였다. 암모니아성 질소(NH₄-N)는 phenol-alcohol 용액, sodium nitroprusside, sodium citrate 및 sodium hypochlorite을 혼합한 시약으로 비색 정량하였다. 질산성 질소(NO₃-N)는 시료를 Cu로 코팅 충전된 cadmium column에 통과시켜 NO₃를 NO₂로 환원 후, sulfanilamide와 N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride (NED)시약으로 발색시켜 정량하였다.

아질산성 질소(NO₂-N)는 sulfanilamide와 NED 시약으로 발색시켜 정량하였다. 인산성 인(PO₄-P)은 ammonium molybdate와 potassium antimonyl tartrate를 처리하여 Sb-phosphomolybdate 복합체로 환원시키고, ascorbic acid로 비색 정량하였다. 규산성 규소(SiO₂-Si)는 ammonium paramolybdate로 silicomolybdate를 형성시킨 후, oxalic acid를 첨가하여 측정하는 sodium molybdate법으로 정량하였다. 총무기질소(total inorganic nitrogen, TIN)는 NH₄-N+NO₃-N+NO₂-N의 총량으로 계산하였다. Chl-a 농도는 시료를 GF/F 여과지(Whatman International Ltd Maidstone, England)로 여과한 후, 90% 에탄올을 용매로 사용하여 비등 추출하였고, 분광광도계로 665 nm와 750 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

식물플랑크톤의 정성 및 정량 분석

식물플랑크톤 정성 시료는 식물플랑크톤 네트(망목 10 μm)를 이용하여 표층과 저층에서 10회 예인 채집하였고, 광학현미경에서 편모와 같은 부속지 등의 식물플랑크톤의 형

Table 1. Characters of water environments from Aug. 19 to 21, 2003 in the coast of Dokdo (DOK1-3) and Mulkol (MUL), Korea

Factors / Stations	DOK1	DOK2	DOK3	MUL (Shin <i>et al.</i> 2003)
Water temperature (°C)	24.5	24.4	24.3	16.4
Dissolved oxygen (mg O ₂ L ⁻¹)	6.7	6.8	7.0	9.4
pH	8.06	8.18	8.17	7.92
Conductivity (mS cm ⁻¹)	44.9	44.1	43.9	3.2
Total dissolved solids (mg L ⁻¹)	31.2	30.8	30.7	2.3
Salinity (psu)	32.1	31.8	31.6	1.9
Turbidity (NTU)	0.23	0.47	0.24	0.15
Chl-a (µg L ⁻¹)	1.0	0.3	0.3	0.3
Total suspended solids (mg L ⁻¹)	39.6	38.4	39.6	2.8
Ash-free dry matter (mg L ⁻¹)	8.0	9.2	9.2	2.8
Total inorganic nitrogen (µg-at L ⁻¹)	89.6	87.1	130.2	98.0
NH ₄ -N (µg-at L ⁻¹)	81.9	80.9	85.1	76.6
NO ₃ -N (µg-at L ⁻¹)	7.2	5.5	43.0	17.4
NO ₂ -N (µg-at L ⁻¹)	0.5	0.7	2.1	4.0
PO ₄ -P (µg-at L ⁻¹)	0.1	21.8	0.6	117.3
SiO ₂ -Si (µg-at L ⁻¹)	0.1	0.1	1.1	4,104.6

태적 특성을 비교적 뚜렷하게 구분할 수 있고, 장기적으로 보관해 주는 formaldehyde(10%)로 즉시 고정하였다. 정량 시료는 현장에서 2 L 채수한 후, 식물플랑크톤을 진하게 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. 규조류 동정을 위하여 농축한 시료의 10 mL에 동량의 질산으로 혼합하여 끓여 탈염한 후에 소량의 중크롬산 칼륨을 첨가하여 산처리하였다(APHA *et al.* 1995). 원심분리기를 이용하여 수회에 걸쳐 증류수로 산처리 후, Pleurax 봉입제로 영구표본을 만들었고 광학현미경 하에서 검경하여 동정하였다. 또한, 농축시료의 일부 중 1 mL 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 관찰하였고, Jensen (1984), Fukuyo *et al.* (1990), Hallegraeff (1991), 심 (1994), Lee (1994)의 문헌을 참고하여 규조류와 와편모조류를 중심으로 동정하였다.

부착조류의 정성 및 정량 분석

부착조류는 패류 및 해조류의 표면을 솔로 긁어내어 정량하였다. 시료는 Chl-a, pheopigment 광합성 색소와 유기물(ash-free dry matter, AFDM) 함량을 정량하는데 사용하였고, 일부는 formalin 용액으로 고정하여 조류를 검경하는데 사용하였다. 부착조류의 광합성 색소는 시료를 Whatman

GF/C(Whatman International Ltd Maidstone, England)로 여과한 후, Chl-a와 불활성 색소를 동시에 측정할 수 있는 Lorenzen (1967)의 방법으로 정량하였다. AFDM은 시료를 GF/C에 여과한 후, 105°C에서 무게 변화가 없을 때까지 건조시켰고, 550°C 전기로에서 2-4시간 태웠을 때 그 감량으로 계산하였다(APHA *et al.* 1995). 부착조류 현존량은 단위면적(cm²)당 Chl-a, pheopigment 색소 함량으로 총생물량을, AFDM으로 유기물 양을 측정하였다.

결과 및 고찰

이화학적 환경요인

독도 생태계의 연안 해역과 물골에서 조사된 주요 수환경 요인의 현장 측정 및 분석 결과(Shin *et al.* 2003), 수온은 24.3-24.5°C 범위이었고, 평균값은 24.4°C이었으며 정점간의 차이는 0.1°C이었다(Table 1).

DO는 6.7-9.4 mg O₂ L⁻¹ 범위이었고, 해수의 DO 평균값은 6.8 mg O₂ L⁻¹이었다. 수중 DO는 수온과 반대 경향을 나타내었고, pH는 7.9-8.2 범위이었고, 전기전도도는 연안수에서 43.9-44.9 mS cm⁻¹ 범위(평균값 44.3 mS cm⁻¹)였다. 총 용존물질은 연안수에서 평균값이 30.9 mg L⁻¹(30.7-31.2 mg L⁻¹ 범위)이었고, 염분도는 연안수에서 각각 31.6-32.1 psu의 범위였다.

탁도는 0.15-0.47 NTU 범위(평균값 0.31 NTU)로서 매우 청정하였고, 이것은 Secchi 원판으로 측정된 투명도가 정점 DOK1-DOK3 구간에서 최고 저층(8-20 m)까지 측정된 결과에서도 뒷받침되었다. 총부유물질은 연안수에서 38.4-39.6 mg L⁻¹ 범위(평균값 39.2 mg L⁻¹)이었고, 물골 유출수는 2.8

mg L⁻¹로서 대조적이었다(Table 1). 물골 유출수보다 연안수에서 총부유물질의 양이 높은 것은 해수에 포함된 염에 의한 영향으로 추정된다. 반면에 AFDM으로 본 유기물질량은 연안수에서 8.0-9.2 mg L⁻¹ 범위(평균값 8.8 mg L⁻¹)이었고, 물골 유출수는 2.8 mg L⁻¹이었다. 총부유물질 중 수중 유기물은 연안수와 물골 유출수에서 각각 22.5%(20.2-24.0% 범위), 100%를 차지하였고, 탁도와 관련성이 큼을 알 수 있었다. Chl-a는 연안수에서 0.5 µg L⁻¹(0.3-1.0 µg L⁻¹ 범위)이었고, 물골 유출수는 0.3 µg L⁻¹이었다(Table 1).

수중 영양염 중 NH₄-N은 연안수에서 평균값이 82.6 µg-at L⁻¹(80.9-85.1 µg-at L⁻¹ 범위)이었고, 물골 유출수는 76.6 µg-at L⁻¹이었다. NO₃-N과 NO₂-N는 연안수에서 평균값(범위)이 각각 18.6 µg-at L⁻¹(5.5-43.0 µg-at L⁻¹), 1.1 µg-at L⁻¹(0.5-2.1 µg-at L⁻¹)이었고, 물골 유출수는 각각 17.4 µg-at L⁻¹, 4.0 µg-at L⁻¹이었다(Table 1). 총무기질소 중에서 NH₄-N, NO₃-N 및 NO₂-N이 차지하는 비율은 연안수에서 각각 80.7%, 18.2%, 1.1%이었고, 물골 유출수에서 각각 78.2%, 17.8%, 4.0%로서 저농도이긴 하나 다른 무기질소 성분에 비해 NH₄-N의 비중이 높았다(Table 1). PO₄-P은 연안수에서 0.1-21.8 µg-at L⁻¹ 범위이었고, 평균값은 7.5 µg-at L⁻¹이었다. 반면에 물골 유출수는 117.3 µg-at L⁻¹로서 연안수보다 15.6배정도 높은 농도를 나타내었다. SiO₂-Si는 연안수에서 평균값이 0.4 µg-at L⁻¹(0.1-1.1 µg-at L⁻¹ 범위)이었으나, 물골 유출수는 4,104.6 µg-at L⁻¹로서 매우 높은 농도를 보여 Si가 결핍된 상태를 유지하는 연안수와는 대조적이었다.

식물플랑크톤 분류군 및 종조성

독도 연안에서 관찰된 식물플랑크톤은 총 33속 59종으로 분류되었다(Table 2). 이 중에서 규질편모조류는 1속 1종(1.7%), 규조류는 23속 43종(72.9%)이었고, 와편모조류는 9속 15종(25.4%)이었다. 정점 DOK1에서는 규질편모조류 1종, 규조류 23종 및 와편모조류 9종이었고, 정점 DOK3에는 규질편모조류 1종, 규조류 20종 및 와편모조류 10종으로서 정점 DOK1에서는 규조류가, 정점 DOK3에서는 와편모조류의 종수가 조금 많았다. 정점 DOK1과 3과는 달리 정점 DOK2에서는 규조류 15종과 와편모조류 4종만이 관찰되었다. 규질편모조류에는 *Dictyocha fibula*가 유일하였다. 규조류는 *Chaetoceros*속이 7종으로 가장 많았고, *Rhizosolenia*속 6종, *Thalassiosira*속 4종, *Bacteriastrium*속과 *Thalassiothrix*속이 각각 3종, *Achnanthes*속과 *Nitzschia*속이 각각 2종씩 관찰되었으며, 나머지 다른 16속은 각각 1종씩 출현하였다. 또한, 독도 연안에서 규질편모조류, 규조류 및 와편모조류 외에 2-3 µm 크기의 소형 미세 남조류와 편모조류가 전 수심의 정성 분석에서 다수 관찰되었다.

Table 2. Species composition of phytoplanktons from Aug. 19 to 21, 2003 in the coast of Dokdo, Korea

Division	Class	Species
Chrysophyta	Chrysophyceae	<i>Dictyocha fibula</i>
	Bacillariophyceae	<i>Achnanthes longipes</i>
		<i>Achnanthes</i> sp.
		<i>Actinopterychus senarius</i>
		<i>Bacteriastrium delicatulum</i>
		<i>Bacteriastrium elongatum</i>
		<i>Bacteriastrium varians</i>
		<i>Caloneis bacillum</i> var. <i>lancettula</i>
		<i>Chaetoceros affinis</i>
		<i>C. compressus</i>
		<i>C. decipiens</i>
		<i>C. didymus</i>
		<i>C. lorenzianus</i>
		<i>C. sp. 1</i>
		<i>C. sp. 2</i>
		<i>Climacodium frauenfeldianum</i>
		<i>Cocconeis scutellum</i>
		<i>Coscinodiscus rothii</i>
		<i>Cylindrotheca closterium</i>
		<i>Dactyliosolen fragillissimus</i>
		<i>Distephanus speculum</i>
		<i>Eucampia zodiacus</i>
		<i>Fragilaria intermedia</i>
		<i>Guinardia flaccida</i>
		<i>G. striata</i>
		<i>Hemialus membranaceus</i>
		<i>Mastogloia rostrata</i>
		<i>Navicula</i> sp.
		<i>N. sp.</i>
		<i>Odontella</i> sp.
		<i>Pseudonitzschia pungens</i>
		<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>
		<i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>
		<i>R. imbricata</i>
		<i>R. setigera</i>
		<i>Synedra ulna</i>
		<i>Thalassionema frauenfeldii</i>
		<i>T. nitzschoides</i>
		<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>
		<i>T. eccentrica</i>
<i>T. sp. 1</i>		
<i>T. sp. 2</i>		
<i>Thalassiothrix longissima</i>		
<i>T. sp.</i>		
Pyrophyta	Dinophyceae	<i>Alexandrium</i> sp.
		<i>Amphidinium crassum</i>
		<i>Ceratium furca</i>
		<i>C. kofoidii</i>
		<i>C. setaceum</i>
		<i>Gonyaulax spinifera</i>
		<i>G. sp.</i>
		<i>Gymnodinium</i> sp.
		<i>Noctiluca scintillans</i>
		<i>Prorocentrum minimum</i>
		<i>P. sp.</i>
		<i>P. triestinum</i>
		<i>Protoperidinium depressum</i>
<i>P. pyriforme</i>		
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		

Table 3. Standing crops of phytoplanktons from Aug. 19 to 21, 2003 in the coast of Dokdo, Korea ($\times 10^2$ cells/L)

Species / Stations	DOK1	DOK2	DOK3	Species / Stations	DOK1	DOK2	DOK3
Chrysophyceae				<i>Odontella</i> sp.	.	.	.
<i>Dictyocha fibula</i>	+	.	+	<i>Pseudonitzschia pungens</i>	.	.	+
Bacillariophyceae				<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	1.5	.	.
<i>Achnanthes longipes</i>	.	+	.	<i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>	+	.	1.5
A. spp.	.	+	.	<i>R. imbricata</i>	.	1.0	.
<i>Actinoptychus senarius</i>	+	.	+	<i>R. setigera</i>	0.5	.	0.5
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+	.	.	<i>Synedra ulna</i>	.	+	.
<i>B. elongatum</i>	.	.	+	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	1.0	+	+
<i>B. varians</i>	+	.	.	<i>T. nitzschoides</i>	.	.	.
<i>Caloneis bacillum</i> var. <i>lancettula</i>	.	+	.	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	+	.	+
<i>Chaetoceros affinis</i>	1.0	+	.	<i>T. eccentrica</i>	.	+	0.5
<i>C. compressus</i>	+	.	+	<i>T. sp. 1</i>	1.0	.	.
<i>C. decipiens</i>	.	.	+	<i>T. sp. 2</i>	.	+	1.0
<i>C. didymus</i>	1.0	.	3.0	<i>Thalassiothrix longissima</i>	.	+	.
<i>C. lorenzianus</i>	0.5	.	+	<i>T. sp.</i>	.	.	+
<i>C. sp. 1</i>	+	.	.	Dinophyceae			
<i>C. sp. 2</i>	.	.	+	<i>Alexandrium</i> sp.	.	.	+
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	+	.	.	<i>Amphidinium crassum</i>	.	+	.
<i>Cocconeis scutellum</i>	.	+	.	<i>Ceratium furca</i>	+	+	+
<i>Coscinodiscus rothii</i>	.	.	+	<i>C. kofoidii</i>	0.5	.	.
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	+	<i>C. setaceum</i>	+	+	.
<i>Dactyliosolen fragilissimum</i>	.	.	+	<i>Gonyaulax spinifera</i>	.	.	+
<i>Distephanus speculum</i>			+	<i>G. sp.</i>	+	.	.
<i>Eucampia zodiacus</i>	+	.	.	<i>Gymnodinium</i> sp.	+	.	+
<i>Fragilaria intermedia</i>	+	+	.	<i>Noctiluca scintillans</i>	+	.	+
<i>Guinardia flaccida</i>	+	.	+	<i>Prorocentrum minimum</i>	.	.	+
<i>G. striata</i>	1.0	+	.	<i>P. sp.</i>	1.5	0.5	1.0
<i>Hemialus membranaceus</i>	.	+	.	<i>P. triestinum</i>	.	.	+
<i>Mastogloia rostrata</i>	+	.	.	<i>Protoperidinium depressum</i>	+	.	.
<i>Navicula</i> sp.	.	+	.	<i>P. pyriforme</i>	.	.	+
<i>N. sp.</i>	+	.	.	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	+	.	+

+: Observed species on the light microscope

식물플랑크톤 현존량

독도 주변 연안생태계의 표층에서 여름철에 관찰된 식물플랑크톤 현존량은 정점 간에 다소 차이가 있었다(Table 3). 식물플랑크톤의 총세포수는 정점 DOK1, DOK2 및 DOK3에서 각각 8.5×10^2 cells L⁻¹, 1.5×10^2 cells L⁻¹ 및 7.5×10^2 cells L⁻¹로서 정점 DOK1에서 조금 풍부하였고, 정점 DOK-2에서 상대적으로 빈약하였다(Table 3). 총세포수에 대한 규조류와 와편모조류의 분류군별 세포수는 각각 정점 DOK1에서 76.5%, 23.5%, 정점 DOK2에서 66.7%, 33.3% 및 정점 DOK3에서 86.7%, 13.3%를 차지하였다.

식물플랑크톤의 정량분석에서 계수된 분류군별 현존량은 규조류에서 *Chaetoceros*속, *Rhizosolenia*속 및 *Thalassiosira*속이 주종을 이루었고, 와편모조류는 *Ceratium*속과 *Prorocentrum*속이 대부분을 차지하였다(Table 3). 규조류 중 *Chaetoceros*속의 *C. affinis*와 *C. lorenzianus*는 정점 DOK1에서

각각 1.0×10^2 cells L⁻¹, 0.5×10^2 cells L⁻¹이었고, *C. didymus*는 정점 DOK1과 3에서 $1.0-3.0 \times 10^2$ cells L⁻¹ 범위였다. *Rhizosolenia*속의 *R. calcar-avis*와 *R. stouterfortii*는 정점 DOK1에서 각각 1.5×10^2 cells L⁻¹, 1.0×10^2 cells L⁻¹이었고, *R. hebetata* f. *semispina*와 *R. setigera*는 정점 DOK3에서 각각 1.5×10^2 cells L⁻¹, 0.5×10^2 cells L⁻¹였다. *R. imbricata*는 정점 DOK1과 2에서 $0.5-1.0 \times 10^2$ cells L⁻¹ 범위로 관찰되었다. *Thalassiosira*속의 *T. eccentrica*와 *Thalassiosira* sp. 2는 정점 DOK3에서 각각 0.5×10^2 cells L⁻¹, 1.0×10^2 cells L⁻¹이었고, *Thalassiosira* sp. 1은 정점 TOK1에서 1.0×10^2 cells L⁻¹로 출현하였다. *Rhizosolenia*속과는 달리 *Chaetoceros*속과 *Thalassiosira*속 규조류는 정점 DOK-2의 표층에서 관찰 빈도 뿐만 아니라 현존량이 적었다(Table 3). 와편모조류 중 *Ceratium*속은 *C. kofoidii*가 DOK1에서 0.5×10^2 cells L⁻¹ 수준으로 관찰되었고, *Prorocentrum*속은 *Prorocentrum* sp.가 전 정점에 $0.5-1.5 \times 10^2$ cells L⁻¹ 범위로 출현하여 세포 밀도는

Table 4. Biomass of periphytons from Aug. 19 to 21, 2003 in the coast of Dokdo, Korea

Factors / Stations	DOK1	DOK2	DOK3	MUL (Shin 2003)
Total photosynthetic pigment ($\mu\text{g cm}^{-2}$)				
- Epilithic algae	-	1.3	2.2	135.4
- Epizooic algae	-	1.2	1.1	-
- Epiphytic algae	0.9	3.9	9.4	-
Chlorophyll-a ($\mu\text{g cm}^{-2}$)				
- Epilithic algae	-	0.2	0.4	109.5
- Epizooic algae	-	0.0	0.2	-
- Epiphytic algae	0.0	2.2	0.0	-
Phaeopigment ($\mu\text{g cm}^{-2}$)				
- Epilithic algae	-	1.1	1.7	109.5
- Epizooic algae	-	1.2	0.9	-
- Epiphytic algae	0.9	1.6	9.4	-
Ash-free dry matter ($\mu\text{g cm}^{-2}$)				
- Epilithic algae	-	0.2	0.3	6.0
- Epizooic algae	-	0.2	0.2	-
- Epiphytic algae	0.3	0.2	0.4	-

규조류 종과 큰 차이가 없었으나 외편모조류의 총세포수는 규조류보다 훨씬 적었다(Table 3).

부착조류의 생물량

독도 연안에서 돌 부착조류(epilithic algae, ELA), 고동 부착조류(epizooic algae, EZA) 및 해조식물 부착조류(epiphytic algae, EPA)의 생물량은 기질의 종류에 따라 조금 차이가 있었다(Table 4). 부착조류의 Chl-a는 정점 DOK1, DOK2 및 DOK3에서 각각 $0.0 \mu\text{g cm}^{-2}$, $1.0 \mu\text{g cm}^{-2}$ ($0.0\text{--}2.2 \mu\text{g cm}^{-2}$ 범위), $0.2 \mu\text{g cm}^{-2}$ ($0.0\text{--}0.4 \mu\text{g cm}^{-2}$ 범위)이었고, 불활성 색소는 각각 $0.9 \mu\text{g cm}^{-2}$, $1.3 \mu\text{g cm}^{-2}$ ($1.2\text{--}1.6 \mu\text{g cm}^{-2}$ 범위), $4.0 \mu\text{g cm}^{-2}$ ($0.9\text{--}9.4 \mu\text{g cm}^{-2}$ 범위)이었다. 총광합성 색소에 대한 Chl-a 및 phaeopigment는 정점 DOK1에서 0%, 100%, 정점 DOK2에서 47.6%, 52.4% 및 정점 DOK3에서 4.8%, 95.2%로서 활성 색소보다 불활성 색소가 더욱 많았다. AFDM(ash-free dry matter)으로 본 유기물 함량은 정점 DOK1에서 0.3 mg cm^{-2} , 정점 DOK2에서 0.2 mg cm^{-2} (-0.2 mg cm^{-2} 범위), 0.3 mg cm^{-2} ($0.2\text{--}0.4 \text{ mg cm}^{-2}$ 범위)로서 광합성 색소량과 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 기질에 따른 생물량은 $\text{EPA} > \text{ELA} > \text{EZA}$ 의 순으로 적었다(Table 4).

반면에, 물골 유출부의 돌 기질에서 부착조류 생물량은 연안의 해역과는 큰 차이가 있었다(Table 4; Figure 4). 총광합성 색소, Chl-a 및 phaeopigment는 각각 $135.4 \mu\text{g cm}^{-2}$, $25.9 \mu\text{g cm}^{-2}$, $109.5 \mu\text{g cm}^{-2}$ 이었고, AFDM은 6.0 mg cm^{-2} 이었다. Chl-a와 phaeopigment는 총광합성 색소량에 대해 각각 19.1%, 80.9%를 차지하여 연안 부착생태계와 마찬가지로 불활성 색소의 함량이 4.2배 더 많았다(Table 4). 물골

유출부에서 부착조류의 생물량은 연안의 다양한 기질에 비해 축적량이 매우 많아 대비가 되었다.

독도 생태계에서 주변 연안 해역의 주요 수환경 요인은 큰 차이가 없었고, 비교적 청정한 수질을 나타냈다. 정점 DOK2에서 탁도가 조금 높은 것은 수심이 정점 DOK1과 정점 DOK3보다 얕아 약한 파도에 의해 재부유되는 물질이 다소 증가하였기 때문인 것으로 사료된다. 현장의 투명도는 연안 해역의 수중 바닥층까지 측정되어 수체에 입자 물질이 매우 적은 것이 확인되었고, 인위적 오염의 영향이 매우 적은 것으로 평가될 수 있었다. 또한, 식물플랑크톤의 생물량(Chl-a)과 현존량도 매우 적어서 내륙의 연안 해역에 비해 빈영양 환경으로 볼 수 있었다. 특히, 표층 염분도가 전형적인 해양에서보다 조금 낮은 것은 여름철은 대한해협으로부터 담수 유입이 큰 시기로서 이에 의한 영향(독도연구보전협회, 1998)과 더불어 2003년은 빈번한 강우로 인해 강수량이 매우 풍부하였던 영향이 작용하였을 것으로 추정된다.

해역의 표층수에서 수중 영양염은 결핍 수준의 매우 낮은 농도를 나타냈다. 질소 성분 중에서 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 보다 농도가 낮았고, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 전 수역에서 거의 고갈되었다. 이것은 수중 영양염의 분포가 해양의 표층에서 낮고, 저층으로 갈수록 급격하게 증가하는 경향의 결과와 유사하였다(심 등 1992; 독도연구보전협회 1999a, b; 한국해양연구소 2000). 반면에, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 정점 DOK1과 정점 DOK3보다 정점 DOK2에서 조금 높았는데 이것은 반폐쇄 수역으로서 또 다른 영향 요인이 작용한 것으로 사료되었다.

물골은 독도에서 유일한 담수 수역으로서 연안 해역의 수환경과는 다소 이질적인 양상을 나타냈다. 해역의 연안수와 비교할 때 수온, pH, 전기전도도 및 염분도는 낮았고, DO

는 높았다. 특히 수중 영양염 중에서 $PO_4\text{-P}$ 과 $SiO_2\text{-Si}$ 는 매우 높은 수준을 보여 이에 대한 연구 결과는 처음으로 보고된 바가 있다(Shin *et al.* 2003). Si가 높은 것은 토양 암반을 통해 유출되므로 지질학적 영향으로 볼 수 있으나, P의 농도가 높은 것은 인위적인 저류지의 특성과 물골 유출부에서 부착조류 생물량이 매우 높은 것을 통해 영양염이 풍부한 환경이라는 것 외에는 본 연구를 통해 완전한 규명은 어려웠으며 이에 대한 후속 연구가 필요하였다.

독도의 수중 생태계에서 식물플랑크톤의 종조성은 수환경의 결과와 유사하여 단순한 구조를 나타냈고, 관찰된 플랑크톤 조성은 선행 연구와 큰 차이가 없었다(정 1981; 독도연구보전협회 1999a, b; 한국해양연구소, 2000).

독도 주변의 해역에서 식물플랑크톤은 다른 분류군에 비해 규조류가 다양하게 출현하였고, 종수가 가장 많았다. 규조류는 중심형 조류가 우상형 조류보다 높은 비율을 차지하였다. 또한, 전체 수층을 통한 정성 분석에서 표층보다 중·저층에서 관찰되는 종수가 매우 많았는데 이것은 수층이 매우 투명하여 유광대의 깊이가 크고, 중·저층으로 갈수록 영양염이 풍부하기 때문으로 볼 수 있었으며, 표층에서 Si 영양염이 적은 것도 대부분 식물플랑크톤에 의해 흡수 이용되었던 결과의 가능성이 높은 것으로 볼 수 있었다.

본 연구 수행 결과에서 독도 생태계는 수환경 전반에 걸쳐 청정한 것으로 볼 수 있었고, 기후 변화 등에 따른 향후 지속적인 해양생태학적 연구의 중·장기적 모니터링이 유지되어 자연환경의 보호가 필요할 것으로 예상되었다.

사 사

본 연구는 2003년 경상북도 울릉군청의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

강용주, 강형구. 1992. 초여름 독도 근해에서의 식물플랑크톤에 의한 기초 생산력. *섬연구회논문집* 1: 36-45.
 김미경, 김영환. 1999. 일반조류학. 아카데미서적.
 독도연구보전협회. 1999a. 독도 해양환경 수산자원 보전을 위한 기초연구. 해양수산부.
 독도연구보전협회. 1999b. 독도 인근해역의 환경과 수산자원 보전

을 위한 기초연구. 독도연구총서 제4집.
 심재형. 1994. 한국동식물도감. 제34권 해양식물플랑크톤. 교육부.
 심재형, 여환구, 박종규. 1992. 한국 동해 남부해역의 일차 생산계 I. 생물량과 생산력. *한국해양학회지* 27: 91-100.
 이진환, 백정현. 1996. 울릉도 및 독도의 식물플랑크톤에 관하여. *자연실태종합보고서* 10: 243-257.
 정영호. 1981. 울릉도 및 독도의 식물성 플랑크톤. *한국자연보존협회 조사보고서* 19: 221-228.
 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2000. 울릉도와 독도 근해 해역의 이화학적 특성과 광합성 색소의 계절적인 변화. *한국환경생물학회지* 18: 425-440.
 정지안. 2001a. 울릉도 독도 근해 해역의 해양학적 특성과 식물플랑크톤의 계절적인 변화. *영남대학교 석사학위청구논문*.
 정지안, 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2001b. 울릉도독도 근해의 환경요인에 따른 식물플랑크톤 군집 구조의 변화. *Algae* 16: 325-335.
 한국해양연구소. 2000. 독도 생태계 등 기초조사 연구. 해양수산부. BSPM 99045-00-1282-6.
 APHA, AWWA, WEF. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC., USA.
 Fukuyo Y., Takano H. Chihara M. and Matsuoka K. 1990. *Red Tide Organisms in Japan - An Illustrated Taxonomic Guide*. Uchida Rokakuho, Tokyo.
 Hallegraeff G.M. 1991. *Aquaculturists' Guide to Harmful Australian Microalgae*. CSIRO.
 Jensen N.G. 1984. *The pennate diatoms*. Strauss and Cramer GmbH.
 Lee J.H. 1994. Neurotoxin-producing diatom, *Pseudonitzschia pungens* Grunow f. *multiseries* Hasle, off the coastal waters of Southern Korea I. Morphological features. *Korean J. Phycol.* 9: 125-150.
 Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: Spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
 Shin J.K., Kim M.K., Kang C.K., Hwang S.J. and Chung M.H. 2003. Freshwater ecosystem (Mulkol) and periphytic algal biomass in the Tok Island, Korea. *Korean J. Limnol.* 36: 463-466.
 Strickland J.D.H. and Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 167: 1-310.

Received 6 August 2007

Accepted 10 September 2007

