

## 울릉도와 독도 근해해역의 이·화학적 특성과 광합성색소의 계절적 변화

정지안 · 조은영 · 차재훈<sup>1</sup> · 김미경\* · 김기태

영남대학교 대학원 해양자원학과 및 해양과학연구소, <sup>1</sup>한국수권환경연구센터

### Seasonal Variations of Physico-Chemical Characteristics and Phytoplanktonic Pigments in Coastal Sea Water from Ullungdo and Dokdo Islands

Ji-An Jung, Eun-Young Cho, Jae-Hoon Cha<sup>1</sup>, Mi-Kyung Kim\* and Ki-Tae Kim

*Graduate School, Department of Oceanic Resources & Marine Science Institute,  
Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea*

*<sup>1</sup>Korean Environmental Research Center for Hydrosphere, Bono-Dong 969-2,  
Ansan 425-180, Korea*

**Abstract** - The physico-chemical characteristics and the concentrations of chlorophylls of coastal seawater were investigated to know the seasonal variations of biological oceanographic environments in the Islands of Ullungdo (U) and Dokdo (D). The samplings of sea water according to different depths were performed four seasons (May, June, August and November) in five stations along the coast of Ullungdo Island and 3 times (June, August and November) in three stations around the coast of Dokdo Island. The seasonal variations of sea water temperature showed that the formation of thermocline in August was distinct in comparison to the other seasons. The sea water in the surface was influenced by low temperature-high salinity in May and with high temperature-low salinity in the investigated area. The amount of seston was high in May (5.3~15.0 mg/l) and was low in August (1.4~4.9 mg/l) in Ullungdo Island. For the nutrients of sea water in Ullungdo Island, the concentrations of nitrate and ammonium were higher than Dokdo Island (nitrate-max. of U in August : 0.10~11.50 µg/l, max. of D in August : 2.92~8.10 µg/l; ammonium-max. of U in November : 14.18~20.69 µg/l, max. of D in June : 0~1.78 µg/l). The high concentration of chlorophylls showed on the deeper layer from 30 m to 50 m in August (U 30 m : 0.85 µg/l; D 50 m : 1.02 µg/l), while the concentrations of chlorophylls were even in May, June and November in the deeper layer of surface layer. In conclusion, the establishment of thermocline in deeper area of the euphotic layer in August was a trigger for the development of phytoplankton, while the complex physico-chemical system by diverse currents and vertical mixing of sea water in the area induced the even distribution of phytoplankton in both epilimnion and hypolimnion in May, June and November.

**Key words** : Physico-chemical characteristics, Phytoplanktonic pigment, Ullungdo, Dokdo

\* Corresponding author: Mi-Kyung Kim, Tel. 053-810-3281,  
Fax. 053-813-3083, E-mail. mkkim@yu.ac.kr

서론

동해에 위치한 울릉도와 독도는 대한해협을 통해 유입되는 대마난류와 북한한류, 동해 고유수가 만나는 해역으로 물리·화학·생물학적으로 매우 다양한 특성을 나타내고 있다 (Kim and Chung 1984; Cho and Kim 1994; 해양수산부 1999).

천혜의 관광자원을 가진 울릉도와 독도는 어업 해역으로써 경제성 뿐만 아니라 외양성 환경에서 섬이 갖는 생태학적 역할을 고찰하기 위해 매우 중요한 지역임에도 불구하고 해양생태계와 해양환경에 관한 연구는 적다.

지금까지 울릉도와 독도 해역 해수의 물리·화학적 특성과 엽록소 등을 연구한 문헌은 많지 않으며, 단지 강과 강(1992)의 초여름 독도 근해에서 식물플랑크톤에 의한 기초 생산력 연구와 최(1994)의 울릉도 해면변화와 주변 해황의 관계, 김(1991)의 울릉도 주변 중근질수의 수직구조와 시간적 변화, 정(1981)의 울릉도 및 독도의 식물플랑크톤에 대한 보고, 이와 백(1996)의 울릉도 및 독도의 식물플랑크톤에 관한 연구 등이 있다.

그리고 해양수산부(1999)와 과학기술처(1997), 국립수산진흥원(1998)의 동해 중부 해역의 기초 연구 보고서로써 거의 한 계절에 대한 자료이고, 울릉도와 독도 근해 계절변화에 대한 자료는 극히 적다. 이러한 연구의 부족은 이 지역의 기상학적 악조건으로 시료채취가 어렵고, 특히 독도의 경우 오랫동안 민간인의 출입이 어려웠기 때문이다. 그러나 최근 한·일 어업협정과 독도의 중요성이 인식됨에 따라 이에 대한 연구가 활발해지고 있다.

이 연구는 기상상태의 악화로 출입이 불가능한 겨울철을 제외한 봄, 여름, 가을인 3계절에 걸쳐 울릉도와 독도 현장조사를 통하여 이 해역의 물리·화학적 특성과 광합성 색소의 분포를 분석, 연구함으로써, 수질환경의 계절적인 변화와 생태학적 특성을 고찰하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지역

울릉도는 북위 37° 29', 동경 130° 54'에 위치하며 독도는 울릉도 동남쪽 92 km, 동경 131° 51'~131° 52', 북위 37° 14'~37° 15'에 위치하고, 동도와 서도 2개 바위섬과 주위의 약 32개 바위와 암초로 이루어져 있으며, 주로 섬 주변에서 교차하는 난류와 한류의 영향에 의해 연중

Table 1. Latitudes and longitudes of the sampling stations in the Ullungdo and Dokdo Islands

Station	Ullungdo Island	Station	Dokdo Island
U 1	37° 28.678'N 130° 48.254'E	D 1	37° 14.642'N 131° 51.600'E
U 2	37° 32.254'N 130° 50.816'E	D 2	37° 14.181'N 131° 52.149'E
U 3	37° 32.417'N 130° 55.600'E	D 3	37° 14.087'N 131° 52.666'E
U 4	37° 28.108'N 130° 54.127'E		
U 5	37° 27.263'N 130° 51.556'E		

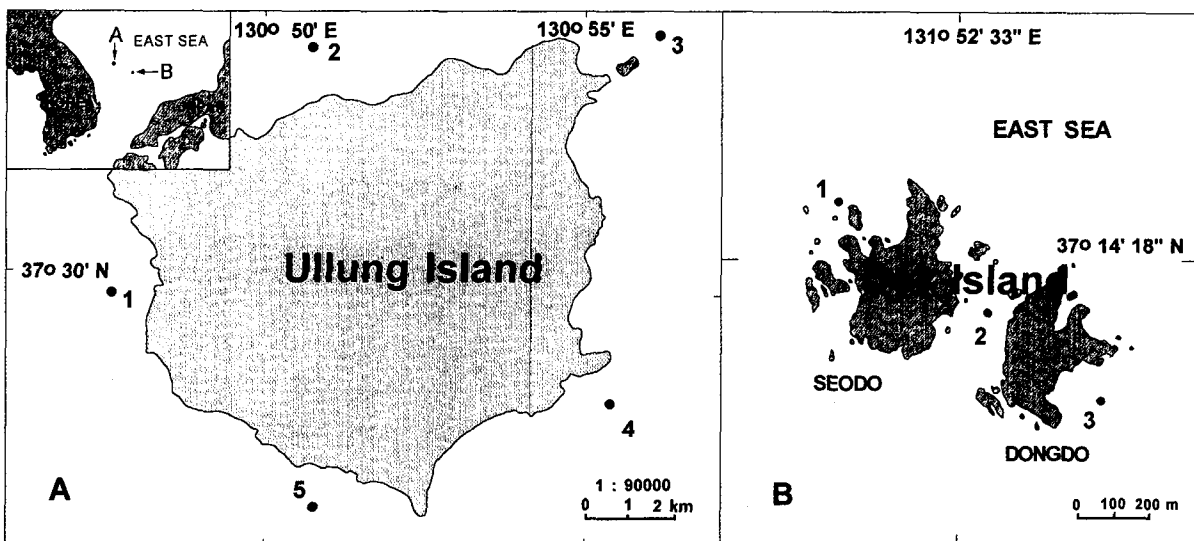


Fig. 1. Locations of investigated stations in the Ullungdo and the Dokdo Islands.

85%가 흐린 날이거나 눈비가 내려 비교적 습한 기후를 보인다(Kim and Chung 1984; Cho and Kim 1994).

현장조사는 1999년 5월, 6월, 8월, 11월 각각 1차례 울릉도 근해 5개 정점과 6월, 8월과 11월에 독도 근해 3개 정점에서 수심별(울릉도: 표층, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m; 독도: 표층, 5 m, 10 m, 30 m, 50 m)로 실시하였다(Table 1, Fig. 1).

2. 조사방법

Nansen 채수기를 이용하여 수심별로 채수한 해수에 대하여서는 수온, 염분, 용존산소, 투명도, 부유물질과 영양염류 등의 기초 물리·화학적 환경요인을 측정·분석하였다.

분석 방법으로는 수온은 전도온도계(Watanabe keike mfg. Co.), 용존산소는 D.O meter(Lijima electronic 102), pH는 pH meter(Mettler toledo AG, CH-8603)를 사용하여 현장에서 측정하였고, 투명도는 Secchi disk(지름

30 cm)로 조사하였다.

염도는 Induction Salinometer(601 MK-1V, MFG)를 이용하여 측정하였으며, 이때 사용된 표준 해수는  $K_{15} = 0.99997$ (Chlorinity = 19.3745)이다.

부유물질은 먼저 유리섬유여지(GF/C)를 증류수에 통과시켜 dry oven에 60°C로 1시간 동안 건조한 후, 4시간 동안 Desiccator에 보관한 후, 전자저울(OHAUS Model No. AP250D-O)에 무게를 측정한 후, 이 여과지에 일정량의 시료를 여과시키고, 증류수를 통과시켜 염분을 제거한 후, 다시 같은 방법으로 건조시켜 무게를 달아, 여과 전후의 무게 차를 산출하여 계산하였다.

영양염류는 질산염( $NO_3-N$ ), 아질산염( $NO_2-N$ ), 인산염( $PO_4-P$ ), 규산염( $SiO_2-Si$ )과 암모늄( $NH_4-N$ )을 분석하였다. 현장에서 일정량의 시료를 막 여과지(pore size: 0.45  $\mu m$ , Millipore)에 여과시킨 후, 여과된 해수를 dry ice로 급속 냉동시켜 실험실로 옮긴 다음, 영양염 자동 분석기(TRAACS 2000, Bran+Luebbe)를 이용하여 분석

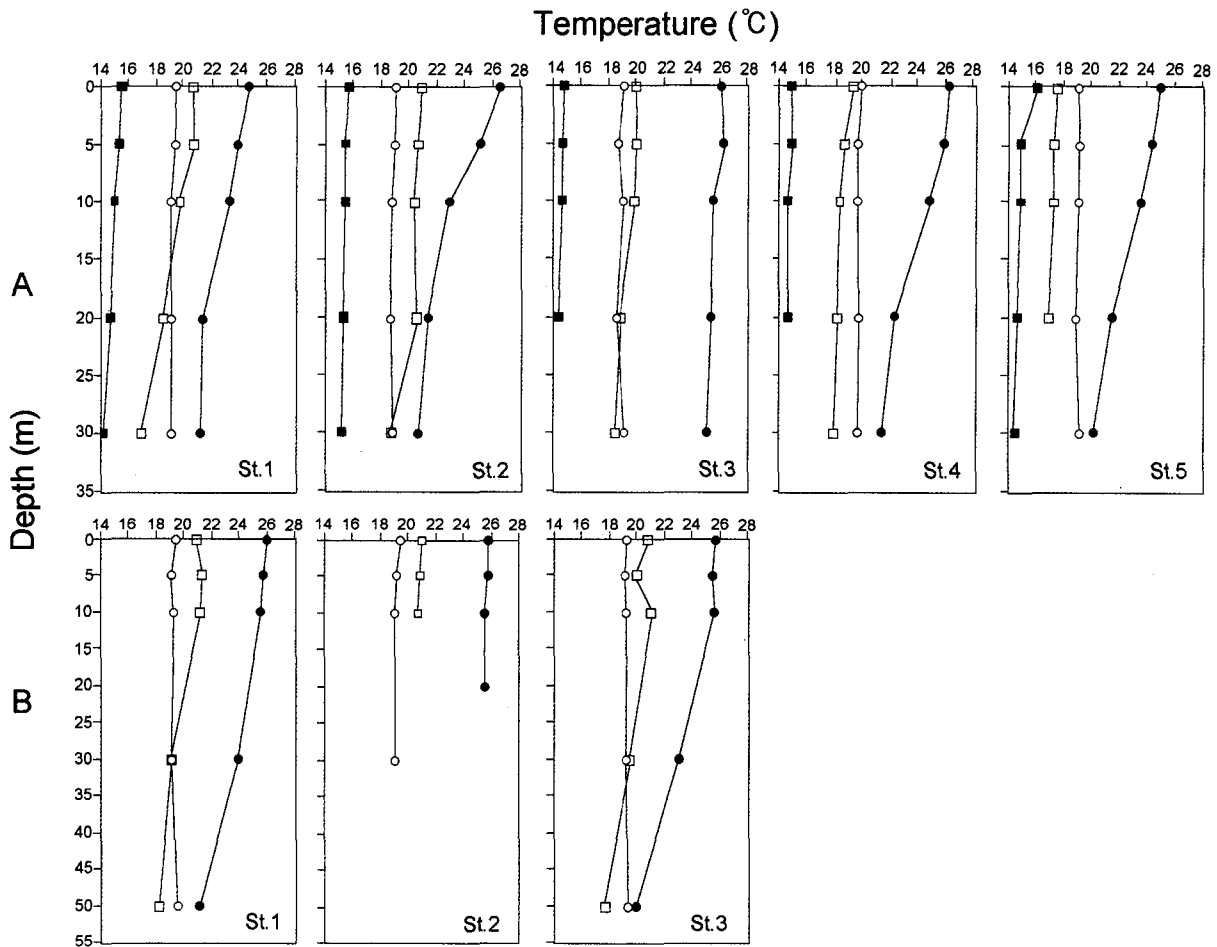


Fig. 2. Vertical distributions of sea water temperature (°C) in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■ : May; □ : June; ● : August; ○ : November).

하였다. 아질산염은 sulfanilamide와 N-1-napthethylene-diaminedihydrochloride로 발색시켜 880 nm에서 흡광도를 측정하였다. 질산염은 카드뮴 칼럼(Cd column)을 통과시켜 아질산염으로 환원시켜 아질산염과 동일하게 측정하였다. 인산염은 ammonium molybdate, ascorbic acid, sulfuric acid, potassium antimonyl-tartrate의 혼합시약으로 반응시켜 발색시킨 다음 880 nm에서 측정하였다. 규산염은 시료와 ammonium paramolybdate를 반응시켜 silicomolybdate를 형성시킨 후, 과포화된 oxalic acid를 이용하여 발색시킨 후, 630 nm에서 흡광도를 측정하였다. 암모늄은 0.1 ml의 페놀(phenol)을 넣어 암모늄을 고정시킨 후, nitroprusside 용액을 촉매로 indophenol을 발색시켜 630 nm에서 흡광도를 측정하였다.

광합성색소(chlorophyll *a*, *b*, *c*)는 Murphy와 Rily (1962)의 방법을 Strickland와 Parson (1972)이 실용화한 방법을 이용해 분석하였다. 광합성색소를 측정하기

위한 시료는 일정량의 해수를 GF/C filter로 여과해 색소의 산화방지를 위해 MgCO<sub>3</sub>로 전처리한 후, dry ice로 급속냉동시켜 실험실로 옮겨와 분석하였다. 시료는 90% acetone 처리 24시간 후, 4,000 rpm으로 20분간 원심분리한 후, 침전시킨 색소를 추출하여 spectrophotometer (Cary 50 Cons, Varian)로 측정하였다. 광합성 색소량은 Jeffrey (1976)식에 의해 산출하였다.

$$\text{Chlorophyll } a = 11.85 E_{664} - 1.54 E_{647} - 0.08 E_{630}$$

$$\text{Chlorophyll } b = 21.03 E_{647} - 5.43 E_{664} - 2.66 E_{630}$$

$$\text{Chlorophyll } c = 24.52 E_{630} - 1.67 E_{664} - 7.60 E_{647}$$

### 결과 및 고찰

#### 1. 율령도와 독도 근해 해수의 이·화학적 특성

##### 1) 수온

수온의 변화는 계절변화에 따라 뚜렷한 차이를 보였

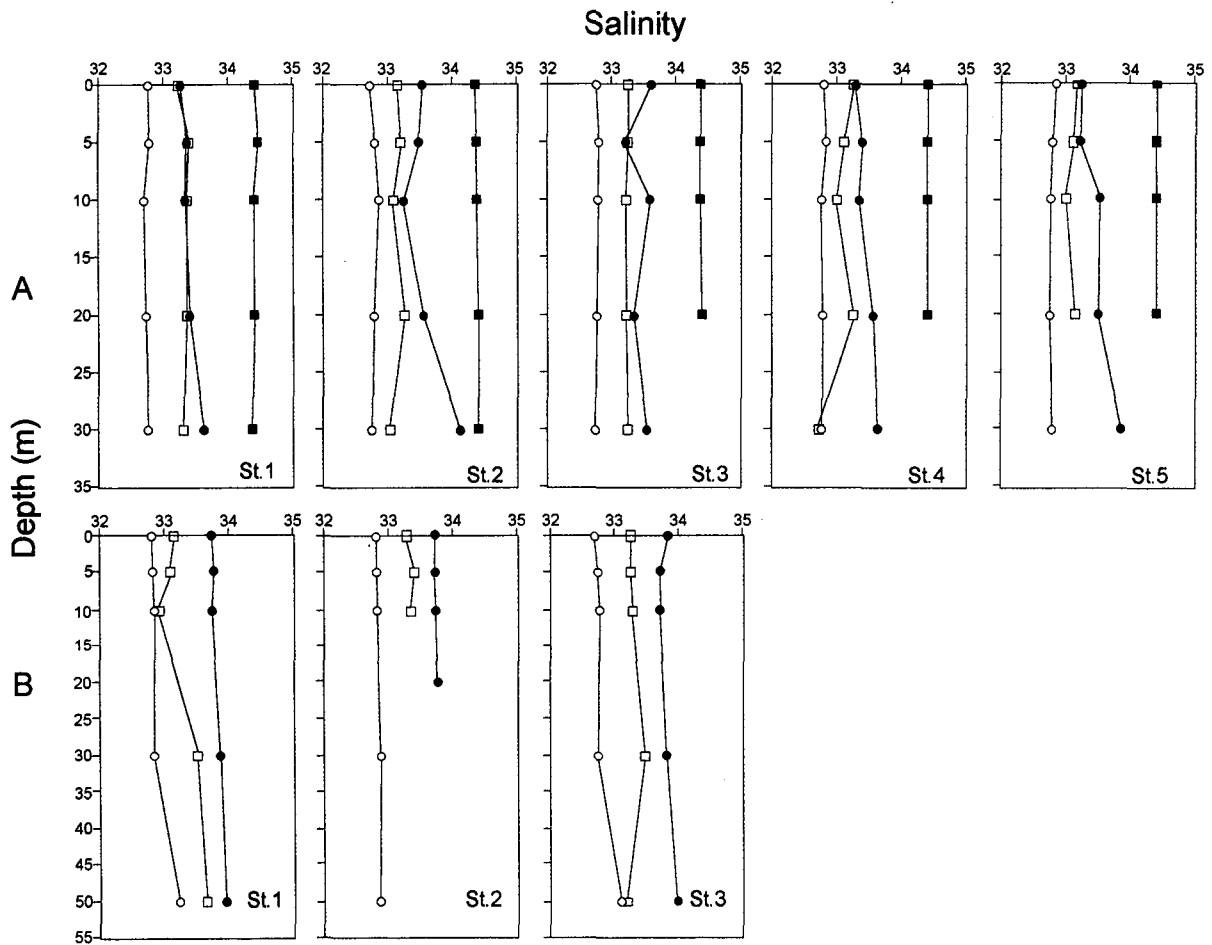


Fig. 3. Vertical distributions of salinity (‰) in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■ : May; □ : June; ● : August; ○ : November).

다. 하지만 수심에 따른 변화는 전체적으로 8월의 수온 약층의 형성에 따른 변화를 제외하면 큰 온도차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

조사당시 표층수온과 관계가 있는 기상기온과 비교해보면(Table 2), 11월의 경우 기상기온이 낮음에도 불구하고 해수의 온도가 높은 것으로 볼 때, 11월의 울릉도와 독도의 표층수는 난류의 영향을 받는 것으로 생각된다.

이러한 수온상승은 우리나라 남해안과 동해안 뿐만

아니라 울릉도와 독도까지 백화현상이 확산되어 해양생물의 종조성을 감소시키는 주된 원인으로 작용하고 있는 것으로 본다(김과 김 2000).

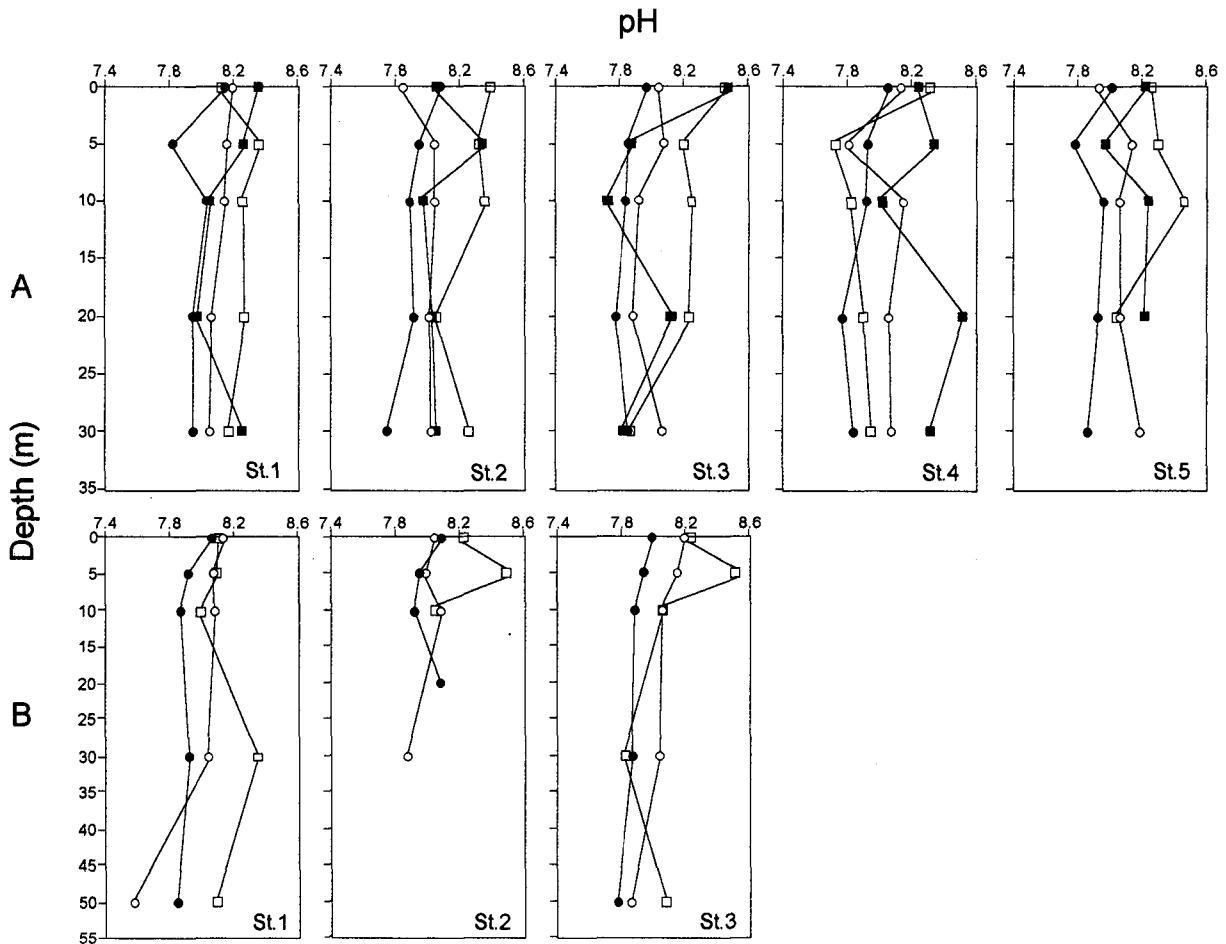
2) 염분

울릉도에서 계절에 따른 평균염분을 살펴보면 8월에 최고값인 33.33~33.75 psu를 나타냈고, 11월에 32.75~32.79 psu의 최저였다. 조사된 염분의 월별 변화는 5월 수심 5m에서 34.48 psu로 가장 높았고, 11월 수심 10m에서 32.7 psu의 가장 낮았다(Fig. 3). 평균 염분은 5월에 34.4 psu로 최고였고, 11월에 32.8 psu로 최저여서 한국해양연구소와 동해수산연구소의 연구결과에 비교했을 때, 거의 유사한 결과를 나타냈다(과학기술처 1997; 국립수산진흥원 2000).

독도에서는 8월에 가장 높은 염분농도(33.76~33.99 psu)를 나타냈다. 8월 표층의 염분은 33.8로 독도해양·수산연구회의 33.3~33.8 psu과 유사했다(해양수산부

**Table 2.** Means of air temperatures (A) and of seawater temperatures (W) in Ullungdo (U) and Dokdo Islands (D)

Sampling dates	5. 13 (U)	6. 22 (D)	6. 26 (U)	8. 12 (U)	8. 13 (D)	11. 3 (U)	11. 5 (D)
A(°C)	16.3	19.1	21.2	24.8	24.6	9.9	13.3
W(°C)	15.4	20.9	19.7	25.7	25.8	20.5	19.3



**Fig. 4.** Vertical distributions of pH in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■: May; □: June; ●: August; ○: November).

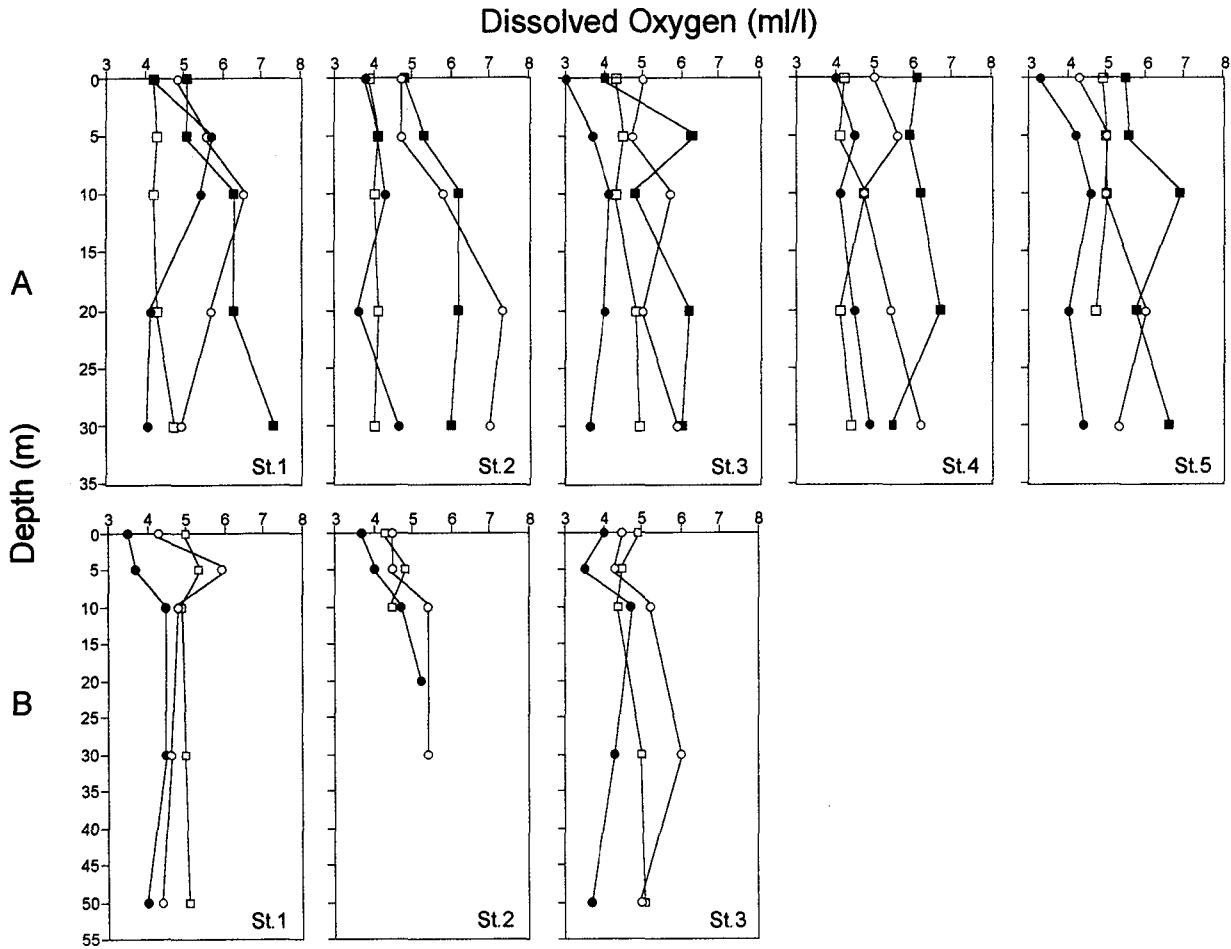


Fig. 5. Vertical distributions of dissolved oxygen ( $\mu\text{l/l}$ ) in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■ : May; □ : June; ● : August; ○ : November).

1999). 계절에 따른 염분의 변화는 평균 32.75~33.99 psu로 농도 범위가 크지는 않았으나 계절적인 구분이 뚜렷하게 나타났다. 이를 수온과의 관계로 살펴보면, 5월의 경우 저온 고염의 해수가 울릉도 주변에 영향을 미치고, 11월에는 고온 저염의 표층수가 울릉도와 독도의 근해에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Figs. 2, 3).

### 3) 수소이온농도 (pH)

수소이온농도 (pH)의 계절적인 변화는 크게 나타나지는 않았다. 우선 울릉도에서 월별 변화를 살펴보면 5월에 7.72로 가장 낮았고, 표층에서 8.48로 가장 높았다(Fig. 4). 독도에서도 역시 6월에 높은 값(8.0~8.4)을 나타냈으나 pH의 계절적인 차이는 거의 나타나지 않았다. 이는 육상으로부터 큰 영향을 받지 않는 해양지리적 성격 때문인 것으로 생각된다.

### 4) 용존산소량 (D.O)

울릉도에서 월 평균은 5월에 최고 농도범위(5.1~6.3

ml/l)를 나타냈고, 8월에 최저농도 범위(3.7~4.5 ml/l)를 나타냈다(Fig. 5). 평균 용존산소는 5월에 표층에서 5.1 ml/l, 10 m에서는 6.1 ml/l, 20 m에서는 6.2 ml/l의 농도로 한국해양연구소 보고서에서 표층, 10 m, 20 m에서 모두 5.8 ml/l의 농도가 나온 것과 비교했을 때 0.3~0.7 ml/l 정도의 차이를 보였다(과학기술처 1997). 11월 표층에서의 평균 용존산소 농도는 4.8 ml/l로 동해수산연구소 보고서의 5.5 ml/l와도 0.7 ml/l 정도의 차이를 보였다(국립수산진흥원 2000). 독도에서 월평균은 11월에 최고 농도 범위(4.7~5.3 ml/l)를 보였고, 8월에 최저 농도 범위(3.9~5.2 ml/l)를 나타내어 계절적인 변화가 있음을 알 수 있었다.

관찰된 용존산소의 계절적인 변화는 수온이 낮은 5월에 높고, 수온이 높은 8월에 낮은 경향을 나타내었는데, 이는 용존산소가 수온에 직접적인 영향을 받는 일반적인 현상이다.

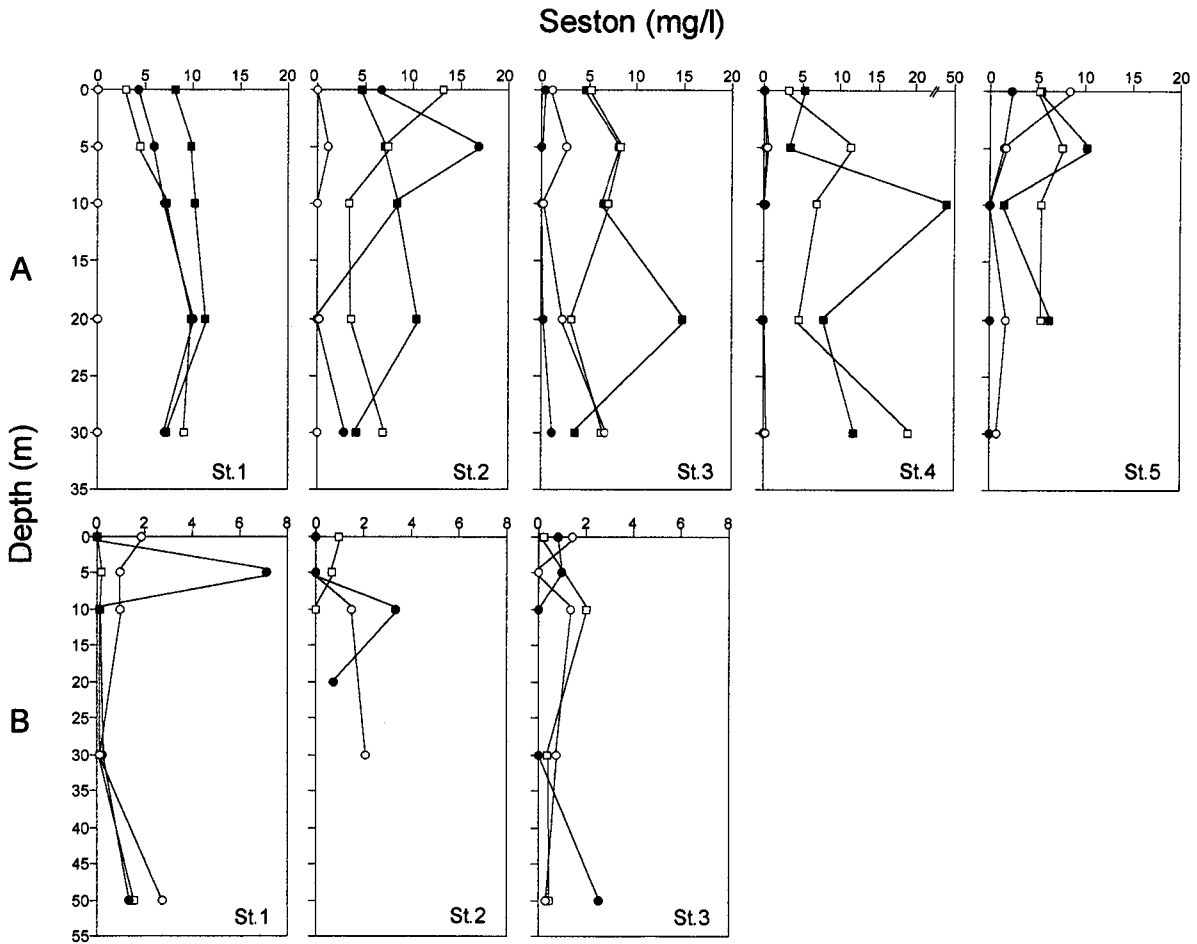


Fig. 6. Vertical distributions of seston (mg/l) in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■: May; □: June; ●: August; ○: November)

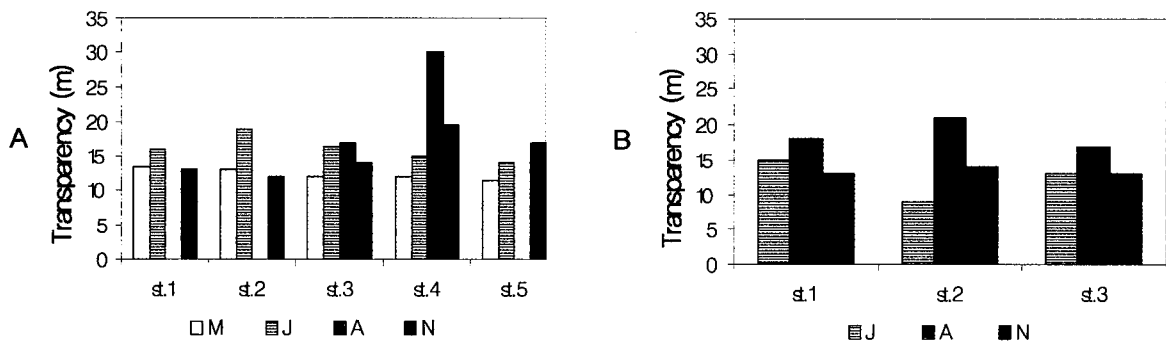


Fig. 7. Spatio-temporal variations of transparency according to the depths in the Ullungdo (A) and the Dokdo Islands (B) (■: May; □: June; ●: August; ○: November).

5) Seston의 변화

일평균 seston 값은 울릉도에서 대체적으로 5월에 높은 값(5.3~15.0 mg/l)을 나타내고, 11월에 낮은 값(0~1.2 mg/l)을 보였다. 독도에서는 6월에 비교적 부유물질

이 적은 해수임을 알 수 있었다(Fig. 6).

Seston은 울릉도에서 비교적 높았는데 이는 생활오수 등의 오염과 울릉도의 개발을 위한 각종 공사로 인해 부유물질이 많아졌기 때문인 것으로 생각된다.

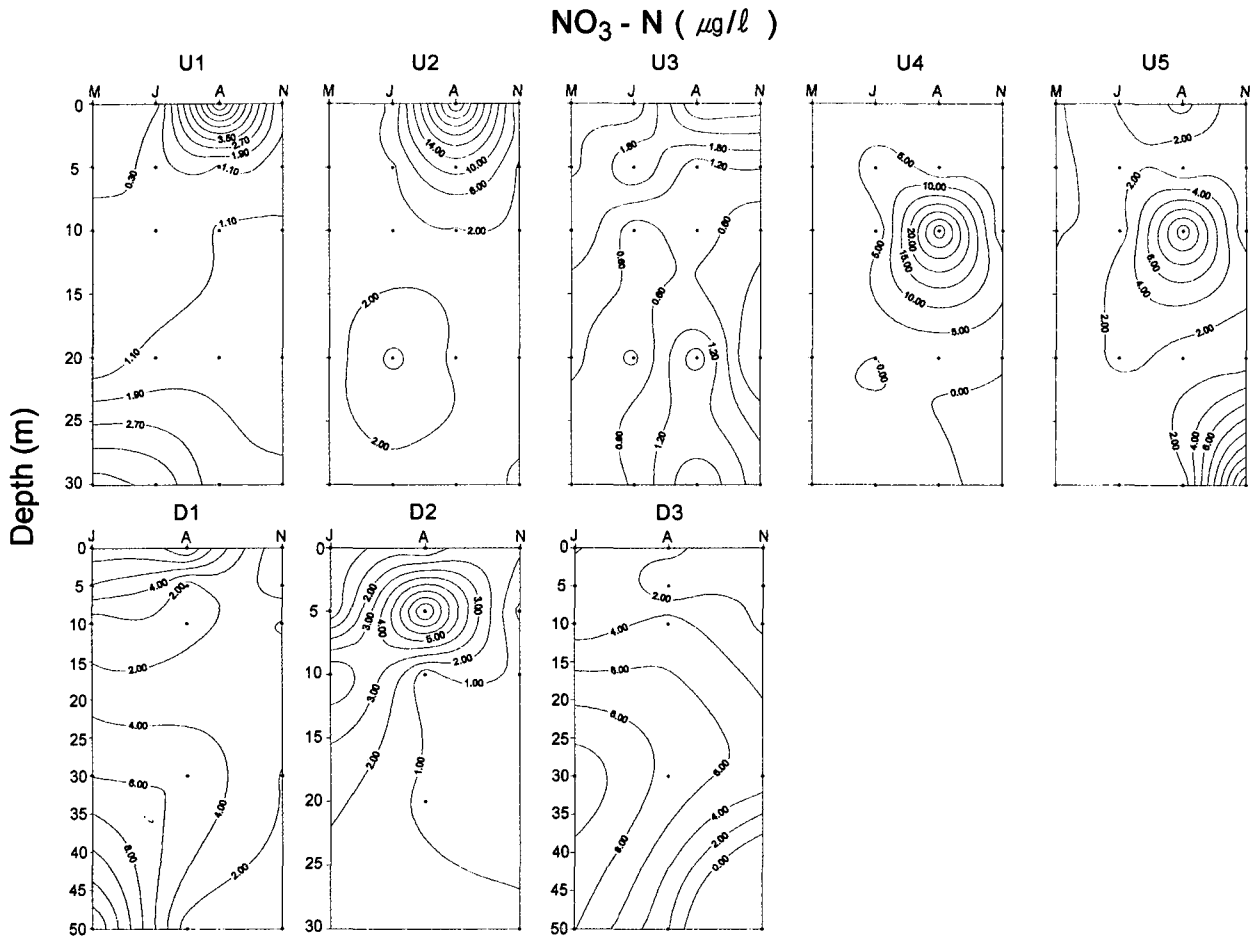


Fig. 8. Spatio-temporal distributions of nitrate (NO<sub>3</sub>-N) concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

#### 6) 투명도

투명도는 8월에 울릉도 정점 4에서 30m로 가장 높았고, 6월 독도 정점 2에서 9m로 가장 낮은 값을 보였다. Seston의 변화를 나타낸 그래프와 비교해 보면 투명도가 가장 높았던 8월에 울릉도 정점 4에서는 seston의 양은 0이었다.

월 평균 투명도를 살펴보면 울릉도에서 8월에 23.5m로 가장 높았고, 독도에서도 8월에 18.7m로 가장 높은 투명도를 나타냈다(Fig. 7).

#### 7) 영양염류

울릉도에서의 질산염(NO<sub>3</sub>-N) 평균값은 8월에 1.10~11.50  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았고, 5월의 질산염 농도는 10m에서 0.65  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았는데, 이는 한국해양연구소의 측정치와 비교했을 때 0.2~0.6  $\mu\text{g/l}$  정도 낮았다(과학기술처 1997). 그러나 동해수산연구소의 값과는 거의 비슷함을 알 수 있었다(국립수산진흥원 2000).

독도에서 질산염 평균값은 6월에 2.92~8.10  $\mu\text{g/l}$ 로서

가장 높은 농도 범위를 나타내었다(Fig. 8). 역시 계절적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 일부 정점을 제외하고 대체로 수심에 따라 농도가 증가하는 모습을 보였다.

질산염의 농도는 식물플랑크톤의 현존량 및 기초 생산력에 중요한 조절인자(Eppley *et al.* 1979)로서 작용하는데, 본 조사에서는 엽록소와 질산염의 유의성이 크게 발견되지 않았다.

아질산염(NO<sub>2</sub>-N)의 평균값은 울릉도에서 11월에 0.95~1.15  $\mu\text{g/l}$ 로 최고값을 나타냈고, 5월에 0.52~0.59  $\mu\text{g/l}$ 로 최저값을 나타냈다. 11월 표층은 0.58  $\mu\text{g/l}$ , 20m는 0.48  $\mu\text{g/l}$ 로 동해수산연구소 보고서에서 평균 아질산염 농도가 0.4  $\mu\text{g/l}$ , 0.3  $\mu\text{g/l}$ 이었던 것과 비교했을 때 비슷한 농도 분포를 보였다(국립수산진흥원 2000). 독도에서 아질산염의 평균값은 11월에 1.46~4.72  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높은 농도였고, 다소 계절적인 변화가 있음을 알 수 있었으나, 수심에 따른 아질산염의 변화는 일정치 않았다(Fig. 9).

울릉도에서 암모늄(NH<sub>4</sub>-N)의 계절적인 평균값은 11



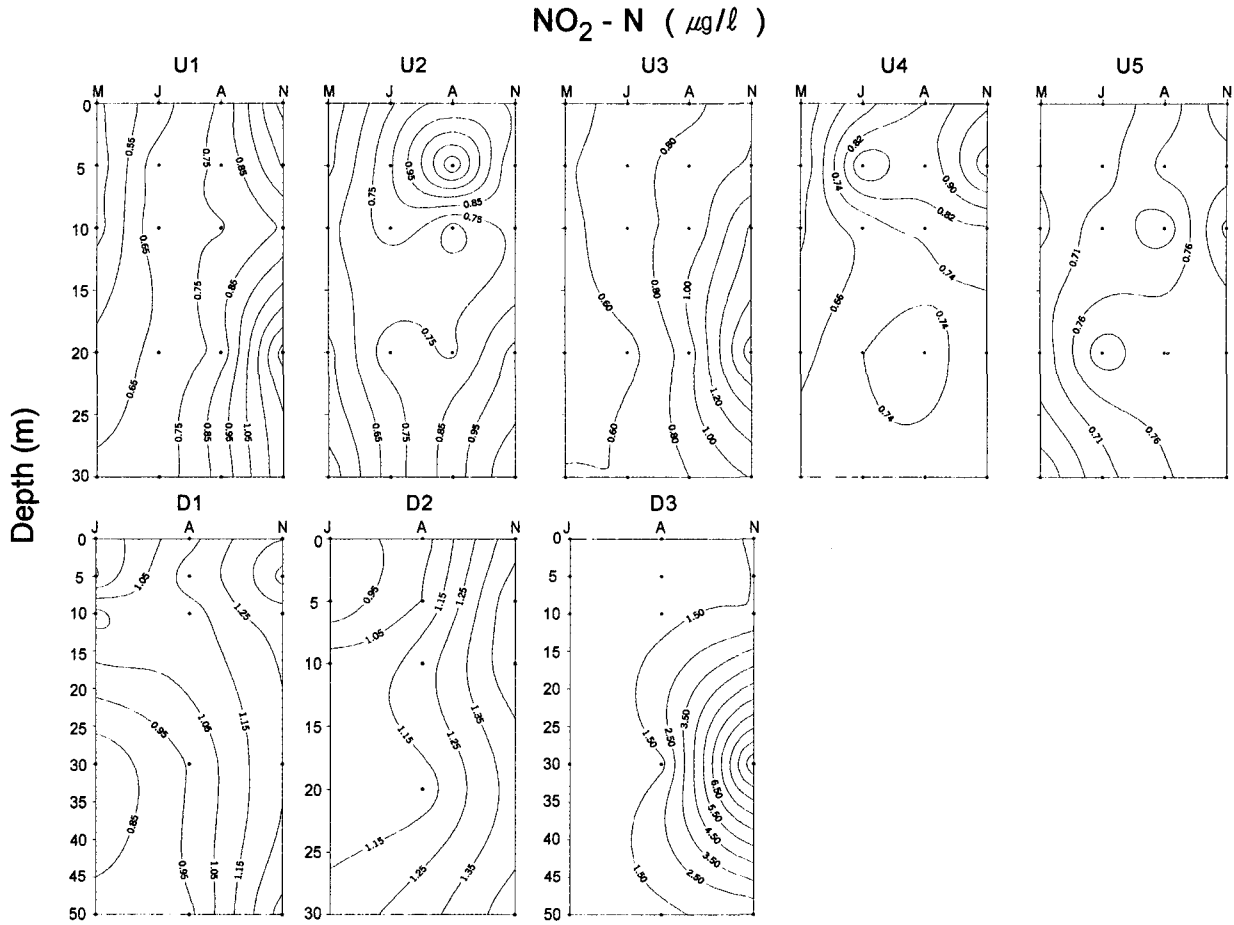


Fig. 9. Spatio-temporal distributions of nitrite ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

월에 14.18~20.69  $\mu\text{g/l}$ 로서 가장 높은 농도 범위로 나타났는데, 이는 생활 오·폐수나 항만의 폐수가 울릉도 연안으로 많은 양이 유입되었기 때문으로 생각된다. 독도에서는 최고 농도 범위가 6월에 0~1.78  $\mu\text{g/l}$ 로 나타났는데, 이는 울릉도 연안의 암모늄 농도 보다 훨씬 낮은 농도로서 수심에 따라 농도가 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 10). 암모늄은 8월 독도 표층, 10 m, 20 m, 30 m에서는 값이 측정되지 않을 정도로 농도가 낮았고, 50 m에서는 1.02  $\mu\text{g/l}$ 가 나왔는데 이는 독도해양·수산연구회 연구결과의 농도와 0.06~0.6  $\mu\text{g/l}$ 의 차이를 보였다 (해양수산부 1999).

규산염 ( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )은 울릉도에서 6월에 0.56~0.65  $\mu\text{g/l}$ 의 최고 농도를 보였다. 11월 표층은 0.58  $\mu\text{g/l}$ , 20 m는 0.48  $\mu\text{g/l}$ 로 동해수산연구소의 보고서에서 밝힌 표층에서 2.0~3.0  $\mu\text{g/l}$ , 20 m에서 3.0  $\mu\text{g/l}$ 의 농도 보다 1.5~2.5  $\mu\text{g/l}$  정도 낮게 나타났다. 그리고 독도에서는 11월에 0.52~0.83  $\mu\text{g/l}$ 의 최대 농도 범위를 보였다 (Fig. 11).

특별한 계절적인 변화는 보이지 않았으나, 8월에 대체

적으로 낮은 경향을 보였는데 이는 생물의 생산 작용의 성장으로 규소의 공급을 감소시키기 때문인 것으로 사료된다. 또한 수심 10~30 m 사이에 높은 값을 보였는데 이는 해양 부유생물의 사체가 수심 아래로 침전함에 따라 영양염이 수심 깊은 곳에서 농도가 높게 나타나는 일반적인 현상인 것으로 생각된다.

인산염 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )의 계절 평균값을 살펴보면, 울릉도에서는 5월에 최고 농도 범위 (0.11~0.48  $\mu\text{g/l}$ )와 8월에 최저 농도 범위 (0~0.14  $\mu\text{g/l}$ )를 나타냈고, 독도에서는 11월에 0~10.60  $\mu\text{g/l}$ 의 최고 농도를 보였다. 11월의 연구 결과를 제외하고 전체적으로 인산염이 거의 미량이었고 (0~0.4  $\mu\text{g/l}$ ), 특히 울릉도 표층이나 독도의 전 수역에는 인산염이 거의 검출되지 않았다 (Fig. 12). 이러한 낮은 농도의 인산염 분포는 울릉도와 독도 연안 해역의 1차 생산력에 있어서 인산염이 제한요인으로써 작용하는 것을 말해준다. 영양염 중 계절적 변화를 보면 11월에 독도 50 m에서 10.6  $\mu\text{g/l}$ 의 높은 농도를 나타낸 것을 제외하고는 0~0.48  $\mu\text{g/l}$ 로 거의 일정한 농도 분포를 보였다.

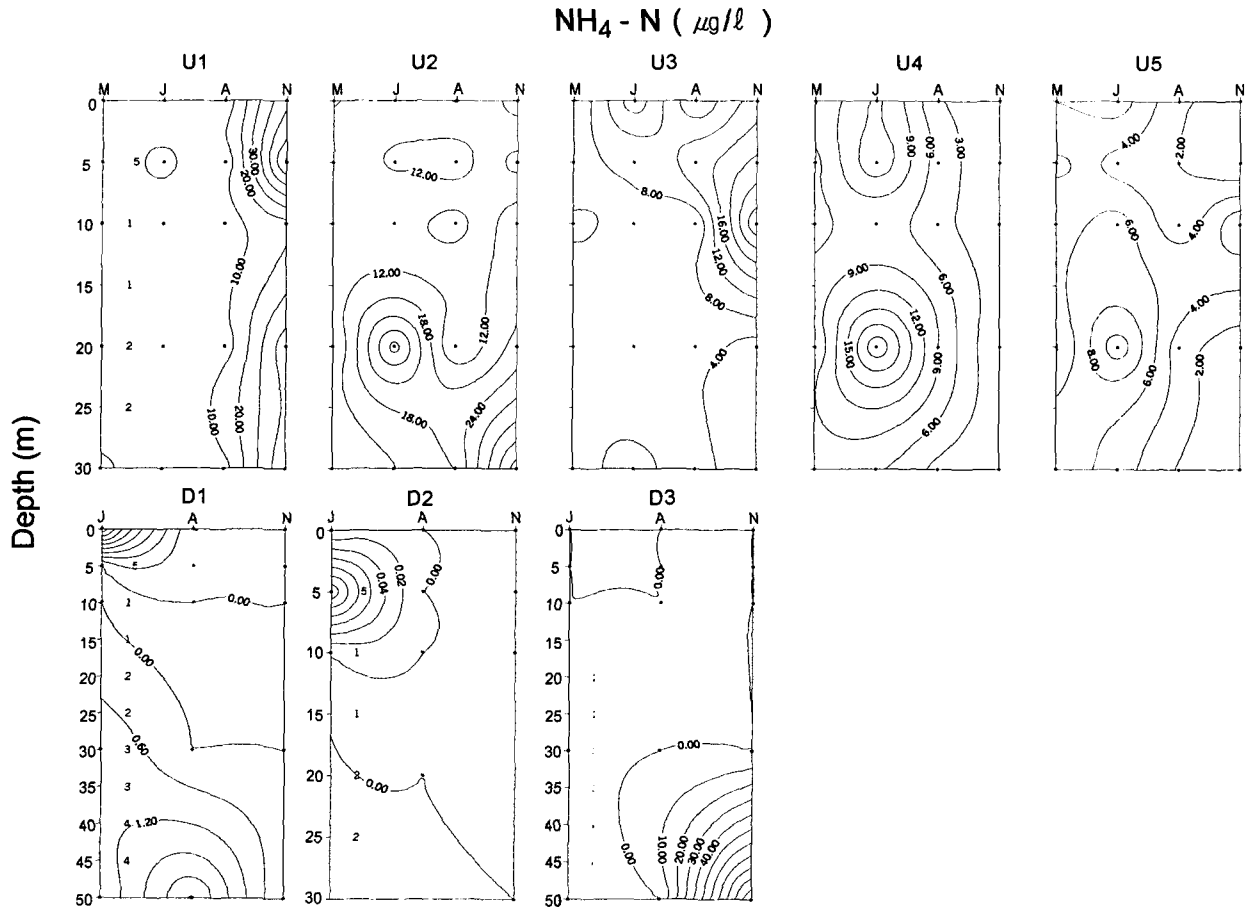


Fig. 10. Spatio-temporal distributions of ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

이런 인산염의 농도가 일정하게 나타나는 현상에 대해 Edmond *et al.* (1985)은 현탁물질에 의한 인산염의 흡착·탈착평형 때문이라고 밝혔다. 특히 독도는 11월에 50 m에서 인산염의 농도가 높게 나타났는데, 표층에서는 부유식물의 영양원으로 이용되어 극히 소량의 인산염을 나타냈고, 저층에서는 표층으로부터 동·식물 사체의 구성성분이었던 인산염이 부유식물에 의해 소모되지 않았기 때문에 저층에서 높은 농도가 유지되는 일반적인 현상으로 생각된다. 총인은  $< 30 \mu\text{g/l}$  일 때, 무기질소는  $< 28 \mu\text{g/l}$  일 때 빈영양 해역에 속하는데, 이 기준에 따르면 울릉도와 독도 지역은 빈영양 해역에 속한다고 볼 수 있다.

총 질소의 평균 농도는 8월에 가장 높게 나타났으며, 5월에 가장 낮게 나타났으나 규산염은 8월에 가장 낮은 값을 보여 총 질소와는 계절적으로 다른 양상을 나타내는 것으로 나타났다. 이는 생태계에서 규산염이 총 질소와는 다른 물질순환 고리에 의해 농도가 결정되고 있음을 알 수 있었다(오 등 1999).

일반적으로 질산염과 인산염의 비율(N/P)은 redfield 비인 16을 기준으로 담수역에서는 높아 인산염이 제한요인으로 작용하지만 해양의 외양역에서는 낮은 농도의 질산염이 제한요인으로 작용한다(좌와 이 2000). 그러나 이번 조사에서는 울릉도 주변은 N/P 값이 비교적 높아 질소계 영양염 공급이 인에 비해 상대적으로 우세한 것으로 나타났고, 독도 주변 해역에서는 인산염의 농도가 극히 미량이라 N/P의 값의 계산이 불가능하여 이 지역에서는 인산염이 제한요인으로 등장하였다.

## 2. 광합성 색소량의 계절적 변화

엽록소 *a*는 식물플랑크톤 중 가장 높은 비율을 나타내는 색소로써 해양 생태계의 기초영양단계가 된다(Chen and Go 1983). 또한 엽록소량은 수중의 영양조건과 광량 등 광합성에 필요한 기본요소들의 표현으로써 생태계 내의 영양염 농도 변화와 함께 물질순환을 밝히기 위한 기초자료로서 이용될 수 있다(조 등 1994).

이번 조사에서 나타난 엽록소 *a* 농도의 수심별 변화

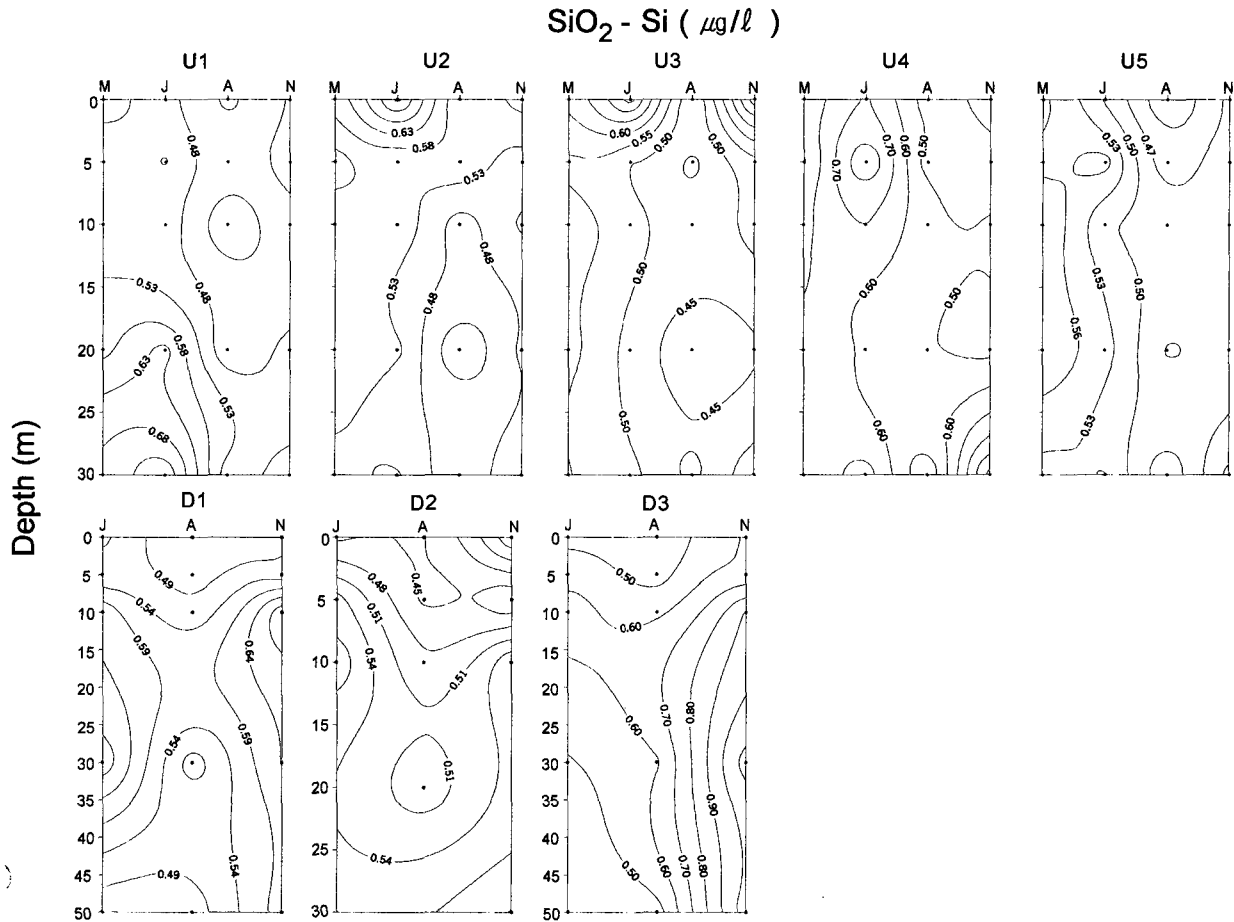


Fig. 11. Spatio-temporal distributions of silicate ( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ) concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

를 살펴보면 (Fig. 13), 울릉도와 독도의 정점에서 거의 비슷한 분포를 보였는데, 울릉도에서 5월의 경우 수심별로 별 차이를 보이지 않았고, 6월의 경우 표층에서 0.66  $\mu\text{g/l}$ 로 높았고, 수심에 따라 감소하였다. 8월의 경우 수심 30 m에서 0.85  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높은 농도를 보였으며, 11월에는 표층에서 0.79  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았다. 독도에서도 6월과 11월은 표층과 50 m 수심에서 8월에는 수심을 따라 엽록소의 양이 증가했다. 50 m 수심에서는 1.02  $\mu\text{g/l}$ 로 조사기간 중 가장 높은 엽록소의 농도를 나타냈다.

울릉도와 독도에서 8월에 동일하게 수심이 깊은 곳에서 엽록소 a의 농도가 높은 이유는 표층의 높은 수온으로 인한 수온약층의 형성과 수층의 안정화로 인하여, 영양염류의 성분이 수온약층의 아래에 풍부하고, 이러한 수온약층이 유광층 내에 존재하는데 기인한다 (Fig. 2). 그 외의 계절은 비교적 해수의 혼합이 활발하여, 표층과 저층에 높은 농도를 나타내거나 또는 모든 수심에서 고농도의 분포를 보이는 것으로 생각된다.

계절적 평균농도의 변화를 보면 먼저 울릉도에서 8월

에 최고 평균농도 범위 (0.69~0.85  $\mu\text{g/l}$ )를 나타냈고, 5월에 최저농도 범위 (0.59~0.61  $\mu\text{g/l}$ )를 나타냈다 (Table 3). 독도에서는 8월에 0.56~1.02  $\mu\text{g/l}$ 로서 가장 높은 농도였고, 6월에 0.56~0.59  $\mu\text{g/l}$ 로서 가장 낮은 농도 범위를 나타냈다 (Fig. 15). 5월의 저온 고염현상에도 불구하고 상대적으로 낮은 농도를 보인 것은 seston의 높은 농도로 인한 투명도의 저하로 광합성작용에 저해요인으로 작용하였다 (Figs. 6, 7). 11월의 높은 광합성색소의 농도는 수층의 혼합으로 인한 높은 아질산염, 규산염과 인산염의 농도와 낮은 seston 농도로 인한 투명도의 증가로 식물플랑크톤의 생산이 증가된 것으로 생각된다. 보통 온대 해역에서는 대부분의 식물플랑크톤은 춘계나 추계에 대량 번식이 일어나는데 (Harvey 1955), 이와는 달리 일반적으로 영양염이 풍부한 연안에서는 일사량이 풍부한 하계에도 식물플랑크톤의 생산이 높을 수 있다고 보고되고 있다 (Sze 1998). 울릉도 연안에서 여름 (8월)에 거의 표층에 형성된 수온약층으로 인하여, 수온약층 밑의 풍부한 영양염과 일사량에 의해 수심 깊은 곳 (30 m)

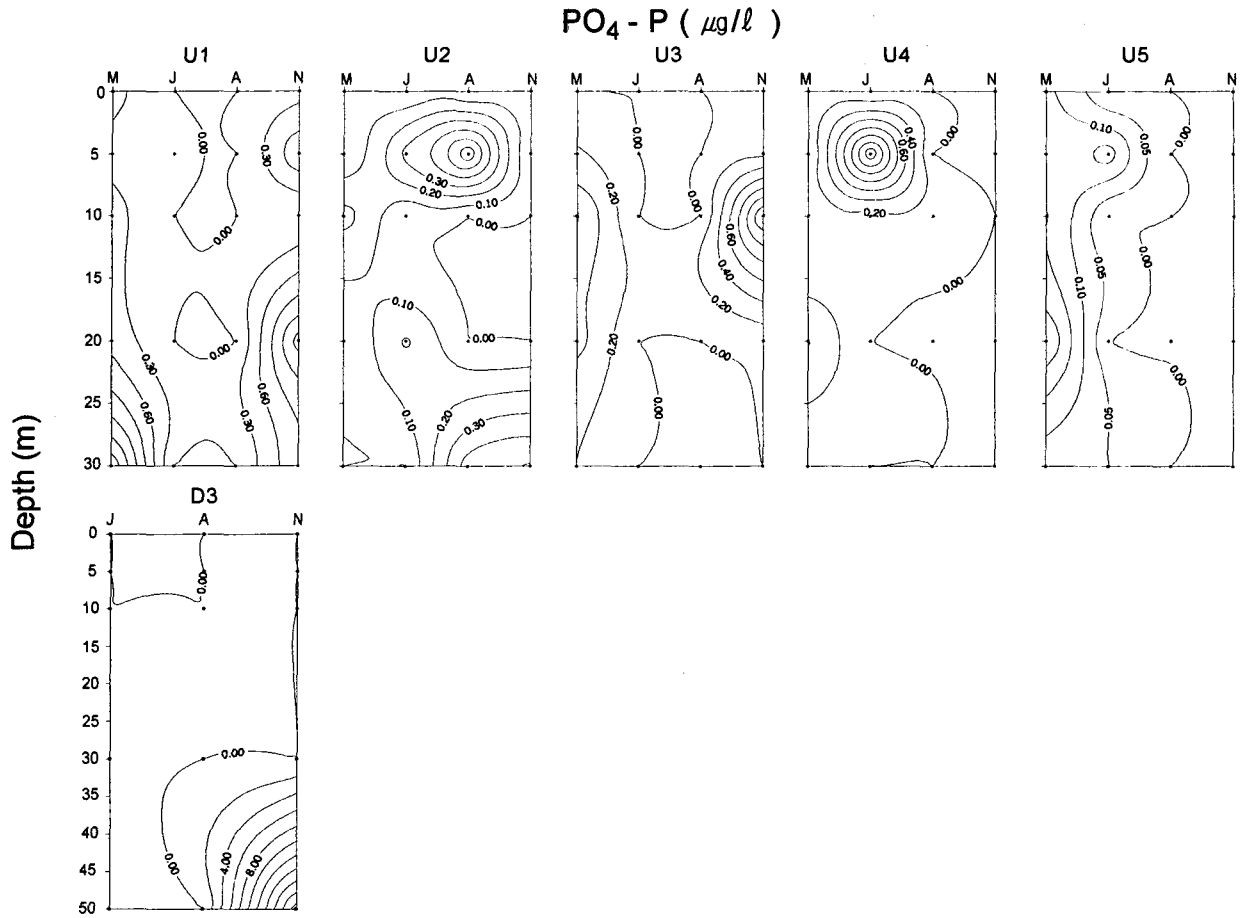


Fig. 12. Spatio-temporal distributions of phosphate ( $PO_4-P$ ) concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

에서 식물플랑크톤의 생산량이 높아지고, 연안의 영향을 거의 받지 않는 독도에서는 가을(11월)에 수층의 혼합으로 생산량이 높아진다고 판단된다.

이와 같은 결과는 독도해양·수산연구회에서 1997년 7월말에서 8월초에 조사한 독도에서의 엽록소 a 농도를 나타낸 결과와 유사하였다(해양수산부 1999).

엽록소 b의 최대값은 5월에 울릉도 정점 4의 표층에서  $1.25 \mu\text{g/l}$ 였고, 최소값은 11월, 정점 1의 수심 5m에서  $0.50 \mu\text{g/l}$ 였다(Fig. 14). 계절적인 변화범위를 보면 울릉도에서 5월에 가장 높은 농도 범위( $0.69 \sim 1.00 \mu\text{g/l}$ )를 나타냈고, 6월에 가장 낮은 농도 범위( $0.69 \sim 0.80 \mu\text{g/l}$ )를 보였다. 한편 독도에서는 11월에  $0.87 \sim 0.98 \mu\text{g/l}$ 의 가장 높은 범위를 나타냈다.

엽록소 c의 최대값은 5월 울릉도 정점 4의 표층에서  $1.30 \mu\text{g/l}$ , 최소값은 11월 정점 1의 수심 20m에서  $0.82 \mu\text{g/l}$ 였다(Fig. 15). 엽록소 c의 계절적인 변화 범위는 울릉도에서 8월에  $1.03 \sim 1.08 \mu\text{g/l}$ 의 농도로 최고값을 나

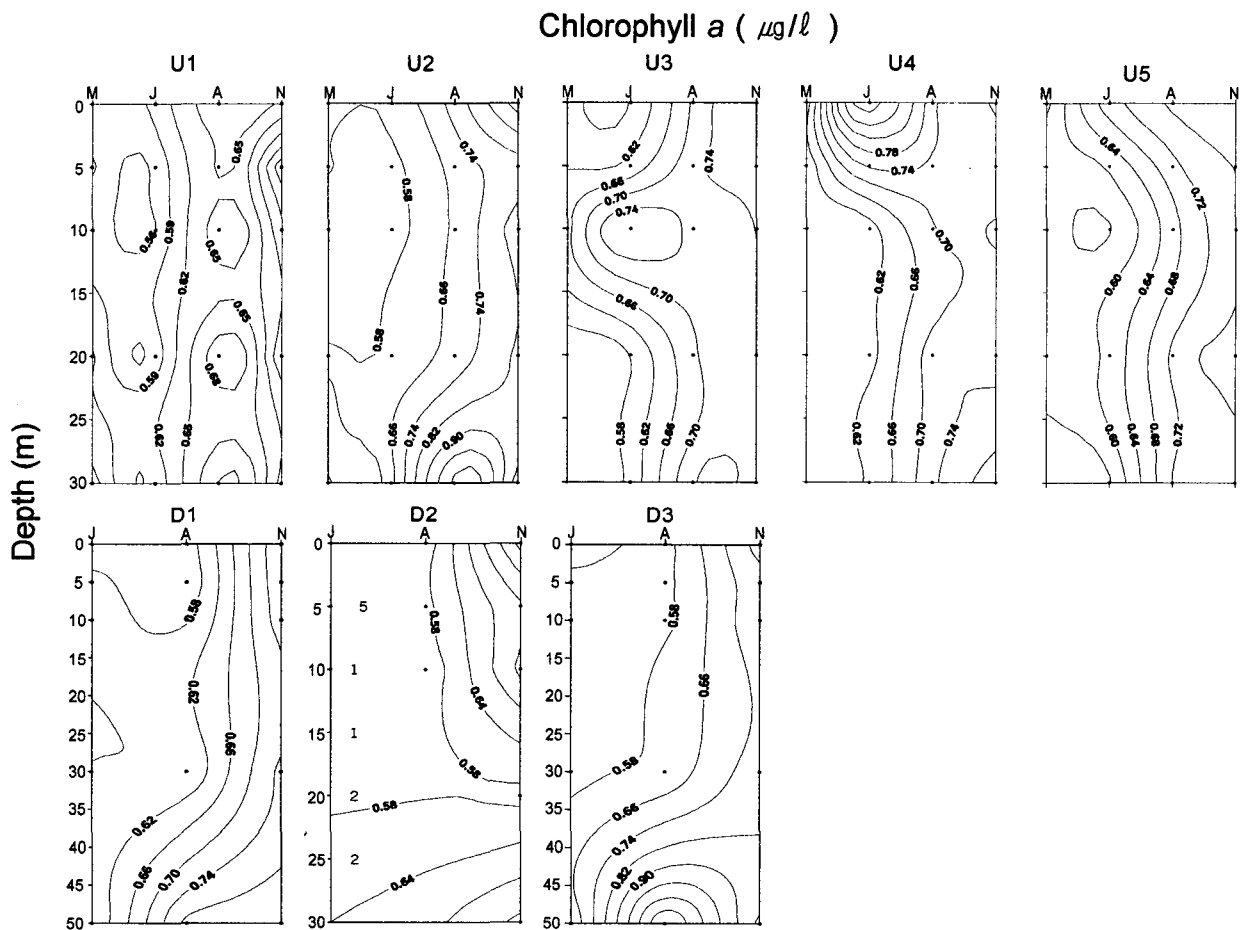
타냈고, 5월에 최저값( $0.84 \sim 0.86 \mu\text{g/l}$ )을 나타냈다. 독도에서는 11월에 최고값( $1.00 \sim 1.18 \mu\text{g/l}$ )을 나타냈다(Table 3).

엽록소 b의 농도는 해수 중에 녹조 식물플랑크톤의 군락이 분포함을 의미하며, 엽록소 c의 높은 농도는 황적조(pyrrophytes)나 황갈조(chrysophytes) 등의 유색조류계통의 식물플랑크톤들의 분포를 의미하므로 6월에 울릉도 정점 4의 표층(Fig. 14)에서 높은 밀도의 녹조류들의 군락과 함께 비교적 많은 양의 황적조나 황갈조 식물플랑크톤의 생물량이 이 시기에 분포되었음을 알 수 있었다(Fig. 15).

따라서 울릉도와 독도 해역은 吉田(1973)의 기준에 의하면 엽록소 a의 평균 농도가  $1 \mu\text{g/l}$  이하이므로 비교적 청정해역에 속한다고 할 수 있겠으나, 맑은 해역을 보존하기 위해 해양환경과 해양생태학적 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

**Table 3.** Spatio-temporal distributions of phytoplanktonic pigments concentrations. Standard deviation in parenthesis ( $\mu\text{g/l}$ )

	Depths (m)	Ullungdo Island				Depths (m)	Dokdo Island		
		M	J	A	N		J	A	N
Chl. <i>a</i>	0	0.60 (0.00)	0.66 (0.20)	0.72 (0.03)	0.79 (0.14)	0	0.59 (0.05)	0.56 (0.00)	0.84 (0.06)
	5	0.60 (0.01)	0.61 (0.09)	0.71 (0.02)	0.70 (0.11)	5	0.57 (0.03)	0.56 (0.01)	0.77 (0.02)
	10	0.60 (0.03)	0.60 (0.12)	0.70 (0.02)	0.72 (0.11)	10	0.57 (0.03)	0.56 (0.02)	0.78 (0.02)
	20	0.60 (0.03)	0.57 (0.03)	0.73 (0.03)	0.72 (0.10)	30	0.57 (0.02)	0.59 (0.01)	0.77 (0.02)
	30	0.61 (0.04)	0.56 (0.03)	0.85 (0.21)	0.72 (0.07)	50	0.59 (0.01)	1.02 (0.32)	0.80 (0.00)
Chl. <i>b</i>	0	0.67 (0.00)	0.80 (0.25)	0.90 (0.04)	0.76 (0.12)	0	0.73 (0.06)	0.66 (0.00)	0.98 (0.06)
	5	0.68 (0.02)	0.75 (0.10)	0.91 (0.05)	0.77 (0.17)	5	0.68 (0.01)	0.68 (0.02)	0.87 (0.01)
	10	0.69 (0.05)	0.74 (0.14)	0.89 (0.04)	0.79 (0.13)	10	0.67 (0.02)	0.68 (0.02)	0.90 (0.06)
	20	0.67 (0.02)	0.70 (0.03)	0.89 (0.04)	0.80 (0.12)	30	0.69 (0.02)	0.69 (0.01)	0.88 (0.04)
	30	0.68 (0.01)	0.69 (0.02)	0.90 (0.02)	0.82 (0.12)	50	0.72 (0.05)	0.81 (0.06)	0.93 (0.08)
Chl. <i>c</i>	0	0.85 (0.02)	0.94 (0.20)	1.08 (0.12)	0.93 (0.11)	0	0.92 (0.06)	0.83 (0.02)	1.18 (0.04)
	5	0.86 (0.05)	0.95 (0.16)	1.06 (0.02)	0.92 (0.12)	5	0.88 (0.04)	0.85 (0.04)	1.00 (0.03)
	10	0.86 (0.06)	0.91 (0.15)	1.04 (0.07)	0.96 (0.07)	10	0.87 (0.03)	0.84 (0.01)	1.06 (0.07)
	20	0.83 (0.02)	0.86 (0.07)	1.03 (0.06)	0.97 (0.08)	30	0.92 (0.06)	0.86 (0.01)	1.03 (0.05)
	30	0.84 (0.01)	0.90 (0.02)	1.08 (0.07)	1.01 (0.07)	50	0.91 (0.09)	1.02 (0.04)	1.09 (0.08)



**Fig. 13.** Spatio-temporal distributions of chlorophyll *a* concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

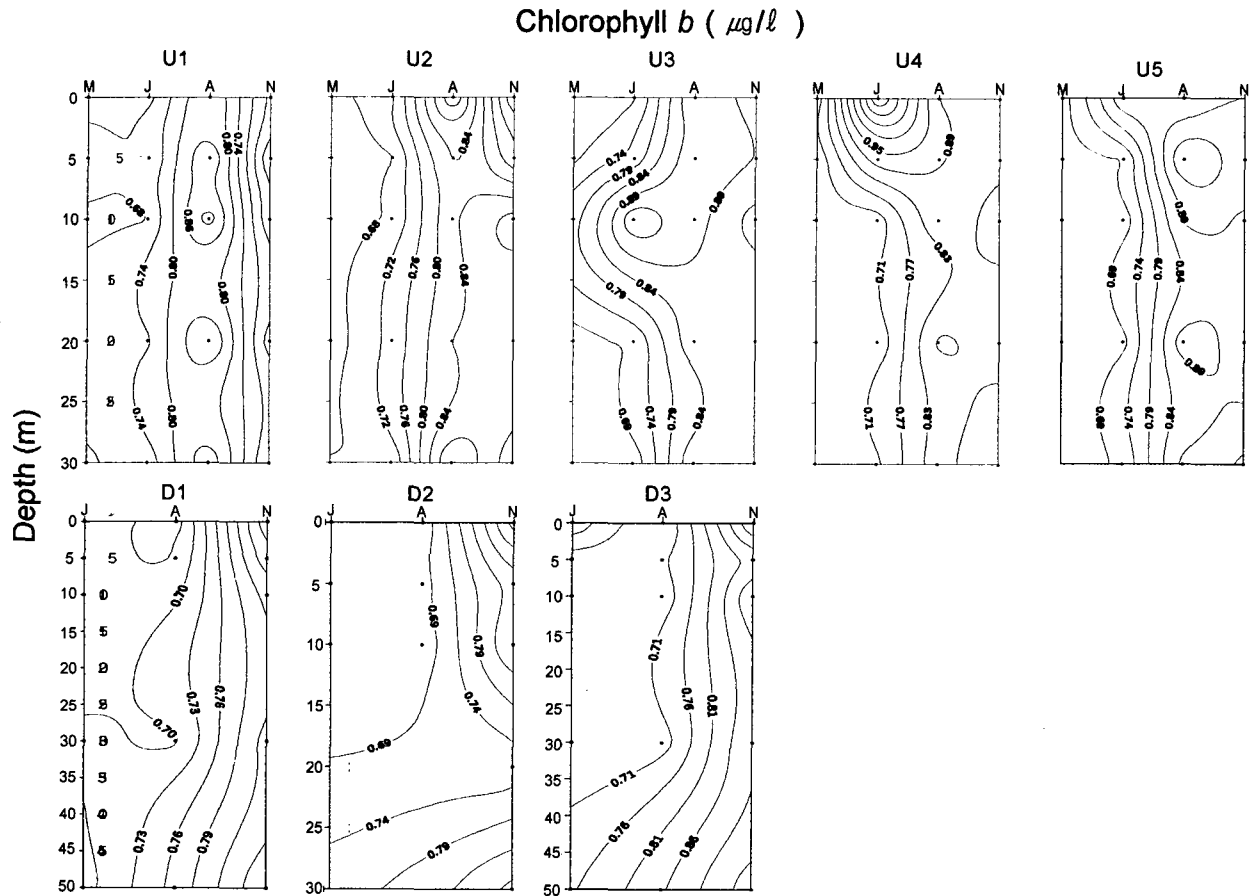


Fig. 14. Spatio-temporal distributions of chlorophyll *b* concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

적 요

울릉도와 독도 근해 해수의 이화학적 특성과 광합성 색소의 변화를 5월, 6월, 8월과 11월에 울릉도 5개 정점, 6월, 8월과 11월에 독도의 3개 정점에서 계절별로 조사 하였다. 수온은 수심에 따른 변화가 적었으며, 8월에는 수온 약층의 형성이 두드러졌고, 특징적으로 울릉도에서 11월의 표층수온(20.5°C)이 기상의 기온(9.9°C)보다 높게 나타났다. 이러한 계절적 변화는 염분에서도 나타났으며, 5월에는 저온 고염(15.4°C, 34.4 psu), 11월에는 고온 저염(20.5°C, 32.8 psu)의 표층수가 울릉도와 독도 근해에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수소이온농도(pH)의 경우 전체적으로 변화가 없고(울릉도, 독도: 7.7~8.4), 안정적이어서 육지의 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 영양염류의 농도는 울릉도에서 질산염(울릉도 최고치: 0.10~11.50 µg/l, 8월; 독도 최고치: 2.92~8.10 µg/l, 8월)과 암모늄 농도(울릉도 최고치: 14.18~20.69

µg/l, 11월; 독도 최고치: 0~1.78 µg/l, 6월)가 독도보다 비교적 높게 나타났다. 엽록소 *a*의 농도는 8월에는 저층에서 높은 농도(울릉도 30 m: 0.85 µg/l; 독도 50 m: 1.02 µg/l)를 보였으며, 5월, 6월과 11월에는 전층에서 고르게 분포하는 것으로 나타났다. 이 결과로 보면 8월의 수온 약층의 형성으로 인하여 식물플랑크톤의 개체군이 유광층내의 저층에서 높았고, 그 외의 계절에서는 복잡한 해류특성과 수층혼합으로 식물플랑크톤이 표층과 심수층에 고르게 분포한다고 간주된다.

사 사

이 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 과학기술기초중점연구 학술연구조성비(1998-015-H00005)의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구의 성공적인 수행을 위해 울릉군청 행정선을 지원해 주신 울릉군청의 관계자 여러분들께 진심으로 감사드립니다.

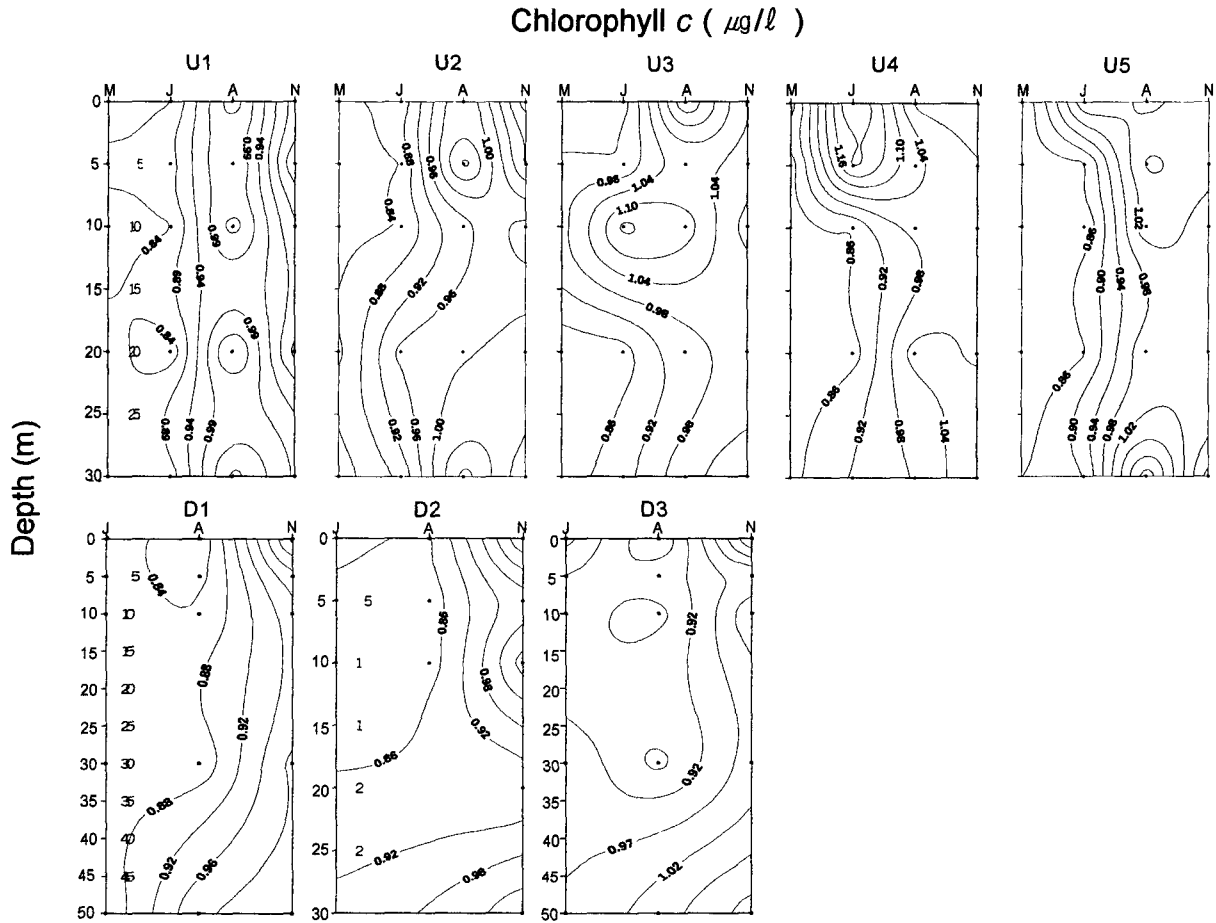


Fig. 15. Spatio-temporal distributions of chlorophyll *c* concentrations in the Ullungdo (U) and the Dokdo Islands (D).

**인용 문헌**

강용주, 강형구. 1992. 초여름 독도 근해에서의 식물플랑크톤에 의한 기초 생산력. 섬연구회 논문집. 1:36-45.

과학기술처. 1997. 독도근해 해양환경도 작성연구-동해 남서부 (2, 3차년도). BSPN 00316-963-1. 601pp.

국립수산진흥원. 1998. 1997년도 한국근해 수온분포도. pp. 1-283.

국립수산진흥원. 2000. 99년 추계 한국동해 해황정보, 동해수역 동해자원조사보고. 30:1-57.

김미경, 김기태. 2000. 울릉도·독도의 해조류 연구 : I. 해조류의 종조성 감소와 해조상의 변화. 한국조류학회지. 15: 119-124.

김형록. 1991. 울릉도 주변 평균질수의 수직구조와 시간적 변화. 서울대학교 석사논문. 84pp.

오현주, 강영실, 박정훈. 1999. 동중국해 북부해역 클로로필-*a*의 분포특성과 해양환경 특성. 한국수산학회지 32:88-97.

이진환, 백정현. 1996. 울릉도 및 독도의 식물플랑크톤에 관하여. 자연실태종합보고서. 10:243-357.

정운호. 1981. 울릉도 및 독도의 식물성 플랑크톤. 한국자연보존협회 조사 보고서. 19:221-228.

조기안, 위인선, 최청일. 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물학회지. 12:137-150.

좌중현, 이준백. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성. 한국해양학회지. 5:59-69.

최병주. 1994. 울릉도 해면변화와 주변 해황의 관계. 서울대학교 석사논문. 54 pp.

해양수산부. 1999. 독도 해양환경·수산자원 보전을 위한 기초연구. pp. 1-544.

吉田陽一. 1973. 低質生産における生物生産の變化. 水産學 series 1. 恒星社 厚生閣, 東京, 日本.

Chen DS and YB Go. 1983. The distribution of chlorophyll *a* in the neighbouring waters of Cheju Island. Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Cheju Nat. Univ. 7:23-27.

Cho YK and K Kim. 1994. Two modes of the salinity-minimum layer water in the Ulleung Basin. La mer. 32:271-278.

Edmond JM, A Spivack, BC Crant, MH Hu, C Zexiam, C Sung and Z Xiushau. 1985. Chemical dynamics of the

- Changjiang estuary. *Cont. Shelf Res.* 4:17-36.
- Eppley RW, EH Renger and WG Harrison. 1979. Nitrate and phytoplankton in southern California coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* 24: 483-494.
- Harvey HW. 1955. *The Chemistry and Fertility of Sea Waters*. Cambridge Univ. Press.
- Jeffrey SW and GF Humphrey. 1976. New spectrophotometric equation for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*<sub>1</sub>+*c*<sub>2</sub> in higher plant algae and natural phytoplankton. *Biochim. Physiol.* 167:191-194.
- Kim K and JY Chung. 1984. On the salinity minimum layer and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea (Japan Sea), *Oceanography Series*. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea*, edited by Tchiye T., Elsevier.
- Murphy J and JP Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.
- Strickland JDH and TR Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* 167: 310 pp.
- Sze P. 1998. Phytoplankton. In: *A Biology of the Algae*, edited by Sze, P., WCB / McGraw-Hill, Boston.

(Received 6 November 2000; accepted 15 December 2000)