

특량만 표층수중 영양염류의 시공간적 분포특성

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

양한섭 · 김성수 · 김규범
부산수산대학교 해양학과

Spatio-Temporal Distribution of Nutrients in the Surface Waters of Deukryang Bay

1. Seasonal Variation of Nutrients and Limiting Factors for Primary Production

Han-Soeb YANG, Soung-Soo KIM, Guebuem KIM
Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan,
Daeyeon-Dong, Nam-Gu, Pusan, 608-737, Korda.

In order to see the seasonal variation of nutrients and the limiting factors to the primary production in Deukryang Bay, both dissolved inorganic nutrients and salinity were measured in the surface waters during the periods from July 1992 to March 1993.

The mean value of salinity was the lowest in fall and the highest in early spring. Dissolved inorganic nitrogen (DIN) was the highest in winter and the lowest in summer. However, both phosphate and silicate were the highest in summer and the lowest in fall.

Salinity was generally higher in the outer region than in the inner region of the bay. DIN content was nearly depleted (less than $2\mu\text{M}$) in summer. From fall to spring, DIN content was nearly depleted in the inner region and relatively high in the outer region of the bay. Phosphate was the highest in summer showing an opposite distribution pattern to salinity, and it was nearly depleted (less than $0.1\mu\text{M}$) in fall and winter. In spring, however, phosphate content was slightly high in the outer region. Silicate content showed an opposite distribution pattern to salinity in summer. In other seasons, however, the distribution pattern of silicate was similar to the salinity.

DIN seemed to be a limiting factor for the primary production at all area of the bay in summer and at the inner region in other season. However, phosphate seemed to be a limiting factor at all area of the bay in fall and winter and at the inner region in spring. Silicate may limit the production of diatoms at the inner region of the bay in winter and spring.

Both phosphate and silicate showed a good inverse relationship with salinity in summer, which indicates inputs of these nutrients from the freshwater runoff. In the other seasons, both nitrate and silicate showed a positive linear relationship with salinity in the outer region of the bay, suggesting that these two nutrients were mainly supplied by the inflow of the offshore coastal water which had high nitrate content associated with vertical mixing.

Key words : Deukryang Bay, nutrient, seasonal variation, limiting factor, main source, primary production

서 론

연안역은 물리·화학·생물학적 변화가 매우 큰 해

역이며, 육상으로부터 영양염류의 공급이 원활하기 때문에 외해역에 비해 생물생산이 현저히 높다. 특히, 온대 연안해역에 있어서 해수중 영양염류의 농도는

본 연구는 부산수산대학교 해양산업개발연구소의 1992년도 연구비 지원에 의해 수행되었음.

계절적 · 지역적으로 매우 크게 변화하며, 일반적으로 춘계와 추계에 식물플랑크톤 대번식이 일어나지만, 수심이 낮고 수직혼합이 잘 되는 내만에서는 겨울철에 식물플랑크톤 대증식이 일어난다고 한다(Wafar, 1983).

또한 해양에서 기초생산의 제한인자에 대해서는 아직까지도 의견이 많다. 즉, 지구화학자들은 생물생산의 제한인자가 인산염(Broecker and Peng, 1982)이라고 하는 반면에 생물학자들은 질산염이 제한인자라고 주장한다(Ryther and Dunstan, 1971). 이를테면, 대기로 부터 유입된 질소가 생물학적으로 고정되어 질산염을 충분히 공급하기 때문에 해양에서 인산염이 순생산의 제한요소로 작용한다고 한다(Lerman et al., 1975; Meybeck, 1982). 그러나, Smith (1984)는 영양염의 공급이 적을 때에는 인산염이 순생산의 제한인자로 작용하고, 영양염류 공급이 많은 경우에는 인산염과 질산염 모두 생물제한인자가 될 수 없다고 한다.

한편, 본 연구의 대상 해역인 한반도 남서연안에 위치하고 있는 득량만은 만입구가 비교적 넓어 외해수와의 해수교환도 활발하고, 육상으로부터의 오염우려가 비교적 적은 곳이며, 피조개, 키조개 및 새조개의 주산지로도 잘 알려진 해역이다(Choe, 1974). 그러나, 득량만 안쪽해역은 한산 · 거제만과 비슷하게 해수의 부영양화가 진행중이고, 저지의 부영양화는 초기단계라고 보고한 바 있다(Cho et al., 1982). 또한, 한반도 남해 연안해역중에서도 득량만은 다른 내만들과는 달리 1월에 규조류의 대번식이 일어난다고 한다(Huh, 1981). 그리고, 득량만은 연중 수직적으로 잘 혼합되는 해역이며, 늦여름에 담수의 유입으로 영양염류가 다량 공급되어 식물플랑크톤의 증식은 가을에 증가하고 겨울에 최고에 달하며, 질산염이 고갈됨에 따라 식물플랑크톤 대증식은 중지된다고 보고 하였다(Hong et al., 1988). 그러나, 최근까지 득량만에서 영양염류의 공급원과 계절적 농도변화 원인에 대해서는 구체적으로 알려져 있지 않다.

따라서, 본 연구는 득량만에서 각종 패류의 증양식에 큰 영향을 주는 기초생산의 제한인자로서 영양염류의 주요 공급원 및 시공간적 농도분포 특성을 파악하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 1992년 7월부터 1993년 3월까지 계절별로 4회(1992년 7월 30일, 10월 17일, 1993년 1월 12일, 3월 5일)에 걸쳐 득량만내 총 26~37개 정점(Fig. 1)에서 표층수를 반돈채수기로 채수하고 염분과 영양염류를 측정하였다. 염분은 염분계(Salinometer, Model E-2)로 측정하였으며, 영양염류 측정용 시료수는 채수 즉시 1% 황산구리용액을 소량 첨가한 후 얼음상자에 넣어 실험실로 옮긴 다음 공경 1 μ m인 유리섬유 여과지로 여과하였다. 여과한 해수중 영양염류는 Strickland and Parsons (1972)의 방법에 따라 비색정량하였다. 즉, 암모니아는 페놀과 차아염소산을 이용한 인도페놀청법으로, 질산염은 Cu-Cd환원칼럼을 이용한 아질산 환원법으로, 아질산염은 Sulfanilamide와 naphthyl-ethylenediamine으로 발색시켜 비색측정하고, 인산염은 Ascorbic acid법, 규산염은 규소-몰리브덴산 착체법으로 비색정량하였다. 또한, 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen, DIN)의 농도는 암모니아, 아질산염 및 질산염의 농도를 합산하였다.

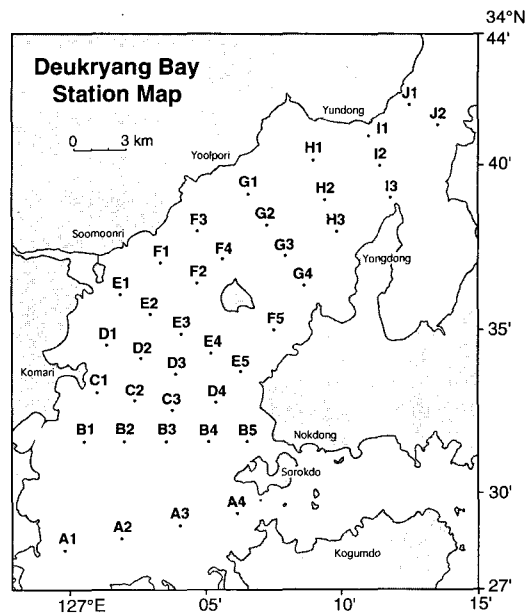


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Deukryang Bay.

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

결과 및 고찰

1. 계절별 영양염류의 농도범위와 평균값

표층수중 염분과 영양염류의 계절별 농도범위와 평균값을 Table 1에 나타내었다. 염분은 추계(1992년 10월 17일)에 30.53~31.67‰(평균: 31.17 ± 0.33‰)의 범위이고 평균농도가 가장 낮으나, 춘계(1993년 3월 5일)에는 33.14~34.27‰(평균: 33.65 ± 0.36‰)로 가장 높은 농도를 보였다. 그러나, 하계(1992년 7월 30일)와 동계(1993년 1월 12일)에는 춘계에 비해 평균 염분 농도가 약 0.3‰ 정도 낮다. 이처럼, 추계에 염분농도가 가장 낮은 것은 강우량의 증가로 인한(Kim et al., 1995) 담수의 유입량이 많기 때문이라고 생각된다.

용존무기질소(DIN)의 농도는 동계에 0.58~8.72μM(평균: 3.70 ± 2.68μM)의 범위로 정점별 차이도 가장 크고 평균농도 역시 가장 높으나, 하계에는 0.02~1.89μM(평균: 0.59 ± 0.42μM)로 정점별 농도 차이도 가장 작고 평균농도 역시 가장 낮았다. 추계와 춘계에는 평균농도가 각각 1.80μM 및 2.59μM로 동계보다 약 1.1~1.9μM 정도 낮다. 또한, 용존무기질소중 아질산염 및 암모니아가 차지하는 비율은 몇개의 관측값을 제외하면 대체적으로 약 10% 이하로 매우 낮은 수준이며, 90% 이상이 질산염이다. 인산염은 용존무기

질소의 농도가 가장 낮은 하계에 0.15~0.68μM(평균 0.36 ± 0.13μM)로 농도범위도 가장 크고, 평균농도 역시 가장 높았으나, 나머지 계절에는 평균농도가 0.15μM 이하로 매우 낮은 농도를 보였다. 규산염 역시 인산염과 마찬가지로 하계에 3.9~16.7μM(8.5 ± 3.5μM)로 농도범위도 가장 크고, 평균농도도 가장 높았다. 그러나, 나머지 계절에는 평균농도가 4.7~5.4μM의 범위로 계절별 차이도 작고, 농도 역시 하계 보다 낮다. 이처럼, 인산염과 규산염의 농도가 가장 높은 하계에 용존무기질소의 농도가 가장 낮은 것은 득량만으로 유입되는 하천수중 용존무기질소의 농도가 다른 두 성분 보다 상대적으로 낮아서 공급속도보다 소비속도가 훨씬 빠르기 때문에 거의 전해역에서 고갈된 농도를 보인다고 생각된다. 그러나, 동계에 용존무기질소의 농도가 가장 높은 것은 클로로필a 농도의 계절별 차이가 매우 작은 것(RCOID, 1995)으로 보아 수온 및 일사량 감소로 식물플랑크톤에 의한 용존무기질소의 소비속도가 다른 계절에 비해 상대적으로 작기 때문인 것으로 추찰된다.

한편, 득량만 표층수중 영양염류의 농도범위는 비교적 유기물 오염이 심한 마산만(Hong et al., 1991)과 울산만(Lee et al., 1978)에 비해 계절변동폭이 훨씬 작고 평균농도도 매우 낮은 수준이다. 따라서, Cho et al.(1982)이 보고한 것과 같이 부영양화의 초기단계

Table 1. Range and mean value of salinity and nutrients in the surface waters from Deukryang Bay

Constituents	Sampling date			
	30 July 1992	17 Oct. 1992	12 Jan. 1993	5 Mar. 1993
Salinity (‰)	32.75~33.69 (33.34 ± 0.25)	30.53~31.67 (31.17 ± 0.33)	32.45~33.70 (33.18 ± 0.42)	33.14~34.27 (33.65 ± 0.36)
NH ₄ ⁺ - N(μM)	ND~0.75 (0.08 ± 0.16)	ND~2.29 (0.52 ± 0.41)	0.06~0.89 (0.38 ± 0.23)	ND~0.93 (0.29 ± 0.21)
NO ₂ ⁻ - N(μM)	ND~0.12 (0.03 ± 0.03)	0.02~0.21 (0.07 ± 0.05)	0.02~0.85 (0.18 ± 0.25)	ND~0.45 (0.15 ± 0.14)
NO ₃ ⁻ - N(μM)	0.02~1.53 (0.48 ± 0.36)	0.11~3.97 (1.22 ± 1.04)	0.30~7.10 (3.14 ± 2.53)	0.09~5.21 (2.15 ± 2.06)
DIN(μM)	0.02~1.89 (0.59 ± 0.42)	0.61~4.92 (1.80 ± 1.18)	0.58~8.72 (3.70 ± 2.68)	0.51~5.64 (2.59 ± 2.03)
PO ₄ ³⁻ - P(μM)	0.15~0.68 (0.36 ± 0.13)	0.05~0.14 (0.09 ± 0.03)	0.05~0.10 (0.04 ± 0.03)	0.05~0.29 (0.15 ± 0.09)
SiO ₂ -Si(μM)	3.89~16.72 (8.54 ± 3.47)	3.06~6.88 (4.74 ± 0.88)	1.65~8.94 (5.38 ± 2.63)	0.61~9.97 (5.11 ± 3.60)

라기 보다는 오히려 빈영양해역의 특성을 보인다. 그리고, Hong et al. (1988)이 득량만 북쪽해역에서 1980년과 1981년에 측정된 농도 보다는 다소 낮고, 계절 변화 양상도 약간 다른데, 이는 지역적인 차이에 의한 것이라고 생각된다. 그러나, 득량만 내에서도 계절에 따라서는 해역별 영양염류의 농도 차이가 현저하다. 그러므로, 각 측정시기에 있어서 해역별 농도분포 특성을 보다 상세히 검토할 필요가 있다.

2. 영양염류의 수평농도 분포특성

득량만은 수심이 매우 얇고 연중 수직적으로 잘 혼

합되는 해역이며(Kim et al., 1995), 표층수중 영양염류의 계절별 농도변화 모양은 성분에 따라 차이가 있다. 따라서, 득량만 표층수중 영양염류의 계절별 농도 분포특성을 파악하기 위하여 염분과 영양염류의 수평 분포도를 Fig. 2에서 Fig. 5까지에 나타내었다.

하계(Fig. 2)의 경우 염분은 만 입구쪽에서 가장 높고 만 안쪽으로 갈수록 점차 낮아져서 정점 J1에서 가장 낮은 농도를 보이며, 수문리 앞의 정점 E3와 F1에서도 33.0‰ 이하의 비교적 저염수가 존재하고 있다. 용존무기질소는 전 정점에서 1.9μM 이하로 농도

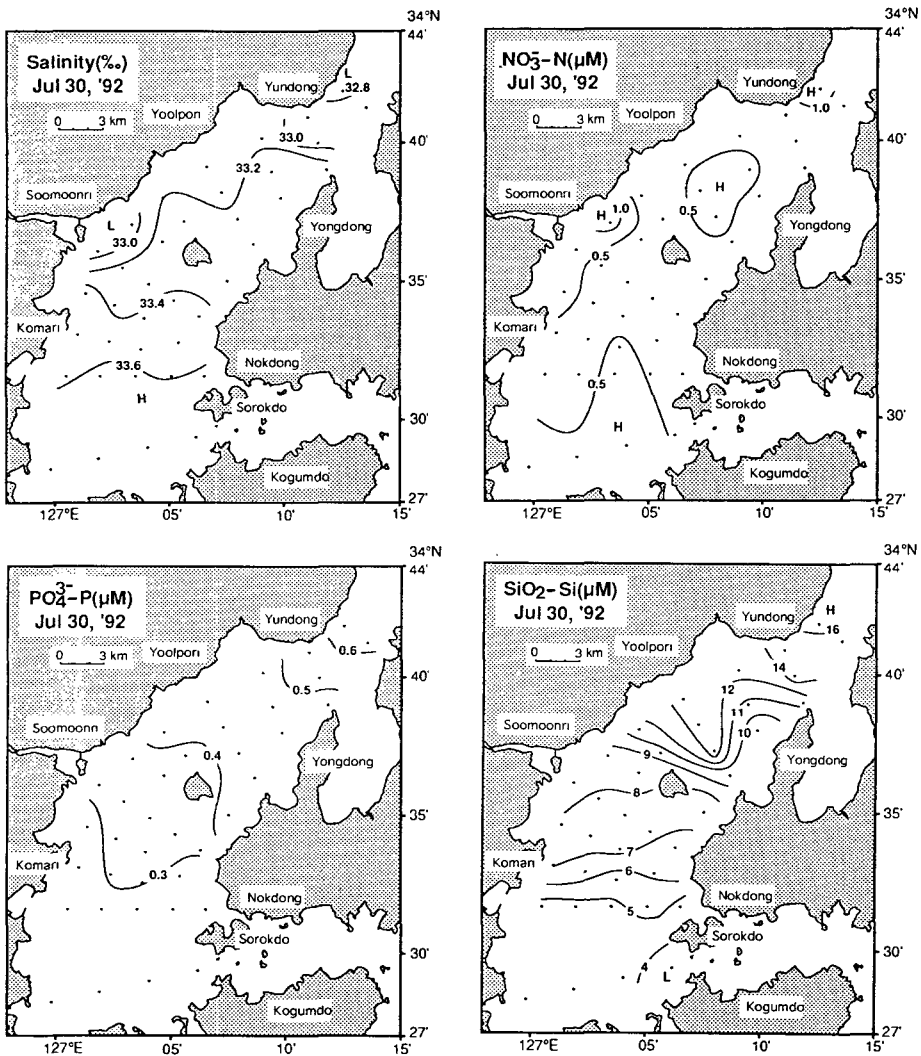


Fig. 2. Lateral contours of salinity and nutrients in the surface waters of Deukryang Bay on 30 July, 1992.

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

가 매우 낮고 청점별 농도변화 양상도 뚜렷하지 않으나, 대체적으로 33.0‰ 이하의 저염을 보이는 정점과 득량도 주변 및 만의 서쪽 입구쪽에 위치한 정점들에서 상대적으로 다소 높은 농도를 보인다. 인산염은 염분과는 상반된 분포양상을 보인다. 즉, 저염수가 존재하고 있는 윤동리 앞 정점들에서는 $0.5\mu\text{M}$ 이상으로 가장 높은 농도를 보이나, 만 입구쪽으로 갈수록 점차 낮아져서 고염분을 보이는 만 입구쪽 정점들에서는 $0.3\mu\text{M}$ 이하로 낮다. 규산염은 인산염의 경우와 비

슷하며, 만의 가장 북쪽 정점들에서는 $15\mu\text{M}$ 이상으로 최대값을 보이나, 남동쪽으로 갈수록 점차 낮아져서 만의 동쪽 입구에 위치한 정점에서는 $4\mu\text{M}$ 이하로 최저값을 보인다.

추계(Fig. 3)에는 염분의 경우 하계와 비슷한 농도 분포 양상을 보이나, 하계에 비해 수문리측에서 저염수의 분포범위가 훨씬 넓다. 용존무기질소는 만의 서쪽 입구에 위치한 정점들에서 $4\mu\text{M}$ 이상으로 가장 높은 농도를 보이며, 만 안쪽으로 갈수록 현저히 낮아

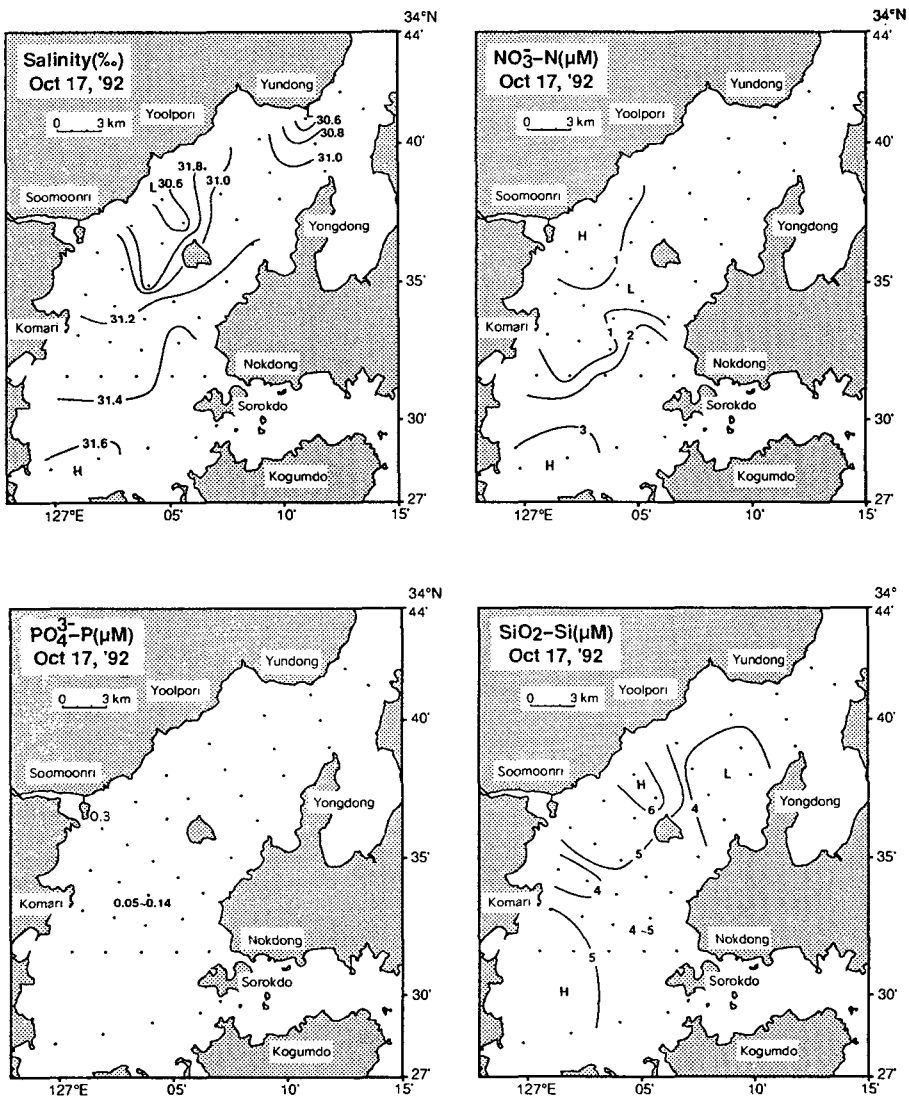


Fig. 3. Lateral contours of salinity and nutrients in the surface water of Deukryang Bay on 17 October, 1992.

저서 고마리와 득량도를 연결하는 선상에 위치한 정점 및 득량도 북동쪽에 위치한 정점들에서는 $1\mu\text{M}$ 이하로 거의 고갈되어 있다. 그러나, 저염수가 존재하고 있는 수문리와 율동리 사이의 정점들에서는 다소 높아지는 경향을 보인다. 인산염은 하계와는 달리 만 전체가 $0.1\mu\text{M}$ 이하로 거의 고갈된 농도를 보인다. 반면에, 규산염은 용존무기질소 및 염분과는 다소 다른 농도분포를 보인다. 즉, 비교적 저염수가 존재하는 득량도 북서쪽 연안정점에서 가장 높았으며, 득량도 북동쪽 정점들에서 가장 낮았다. 그리고, 만의 서쪽 입구에 위치한 정점들에서도 다소 높은 농도를 보인다.

동계(Fig. 4)의 경우 염분의 농도분포 양상은 다른 시기에 비해 비교적 단순롭다. 이를테면, 수문리 남서쪽에 위치한 정점에서 32.6‰ 이하로 가장 낮은 농도를 보이며, 동남쪽으로 갈수록 점차 증가하여 고마리와 녹동을 연결하는 선상의 남쪽에 위치한 정점들에서는 33.6‰ 이상의 고염수가 존재하고 있다. 용존무기질소의 농도분포 역시 염분과 매우 유사하며, 저염수가 존재하고 있는 수문리 남서쪽 정점들에서는 $1\mu\text{M}$ 이하로 거의 고갈된 농도를 보이나, 33.6‰ 이상의 고염수에서는 $6\mu\text{M}$ 이상으로 최대값을 보인다. 인산염은 추계와 마찬가지로 만 전체가 $0.1\mu\text{M}$ 이하

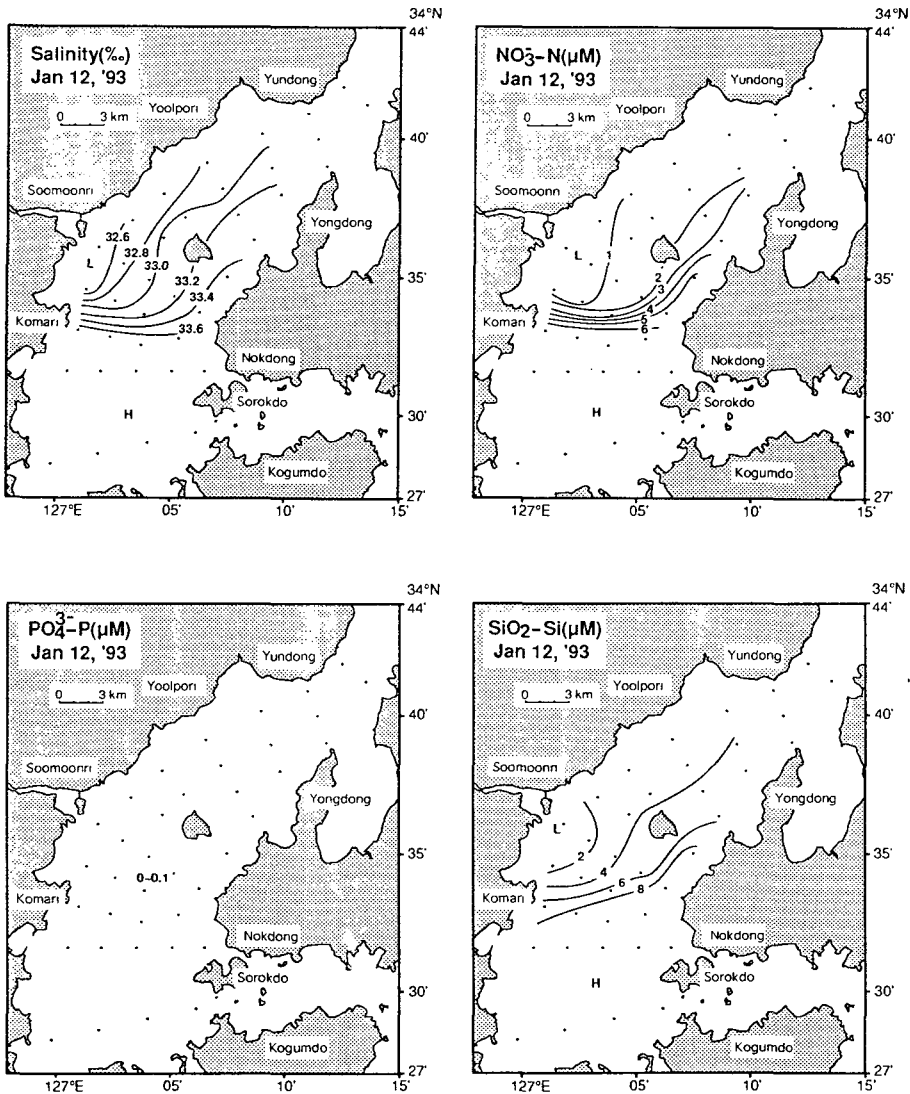


Fig. 4. Lateral contours of salinity and nutrients in the surface water of Deukryang Bay on 12 January, 1993.

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

로 거의 고갈되어 있다. 그러나, 규산염은 용존무기질소와 같이 저염수가 존재하는 수문리 앞 정점들에서 $3\mu\text{M}$ 이하로 가장 낮지만, 고염수역에서는 $8\mu\text{M}$ 이상의 높은 농도를 보인다.

춘계(Fig. 5)의 경우 염분은 동계와 비슷한 농도분포양상을 보인다. 그러나, 동계와는 달리 득량도 서북쪽에 위치한 정점 F3에서 최소값을 보이며, 최대값은 만의 서쪽입구에 위치한 정점 A1에서 나타난다. 용존무기질소는 동계와 비슷하지만 염분과는 다소 다른 분포양상을 보인다. 즉, 고마리와 득량도 사이에 위치

한 정점들과 득량도 서북쪽에 위치한 정점들에서는 $1\mu\text{M}$ 이하로 거의 고갈된 농도를 보이나, 만 입구쪽으로 갈수록 현저히 증가하는 양상을 보인다. 인산염은 $0.3\mu\text{M}$ 이하로 정점별 농도 차이가 그다지 크지 않으나, 대체적으로 34.0‰ 이상의 고염수역에서 $0.2\mu\text{M}$ 이상으로 다소 높은 농도를 보인다. 규산염은 최저염분을 보이는 정점 F3에서 $1\mu\text{M}$ 이하의 가장 낮은 농도를 보이나, 만 입구쪽으로 갈수록 점차 증가하여 34.0‰ 이상의 고염수역에서는 $9\mu\text{M}$ 이상의 높은 농도를 보인다.

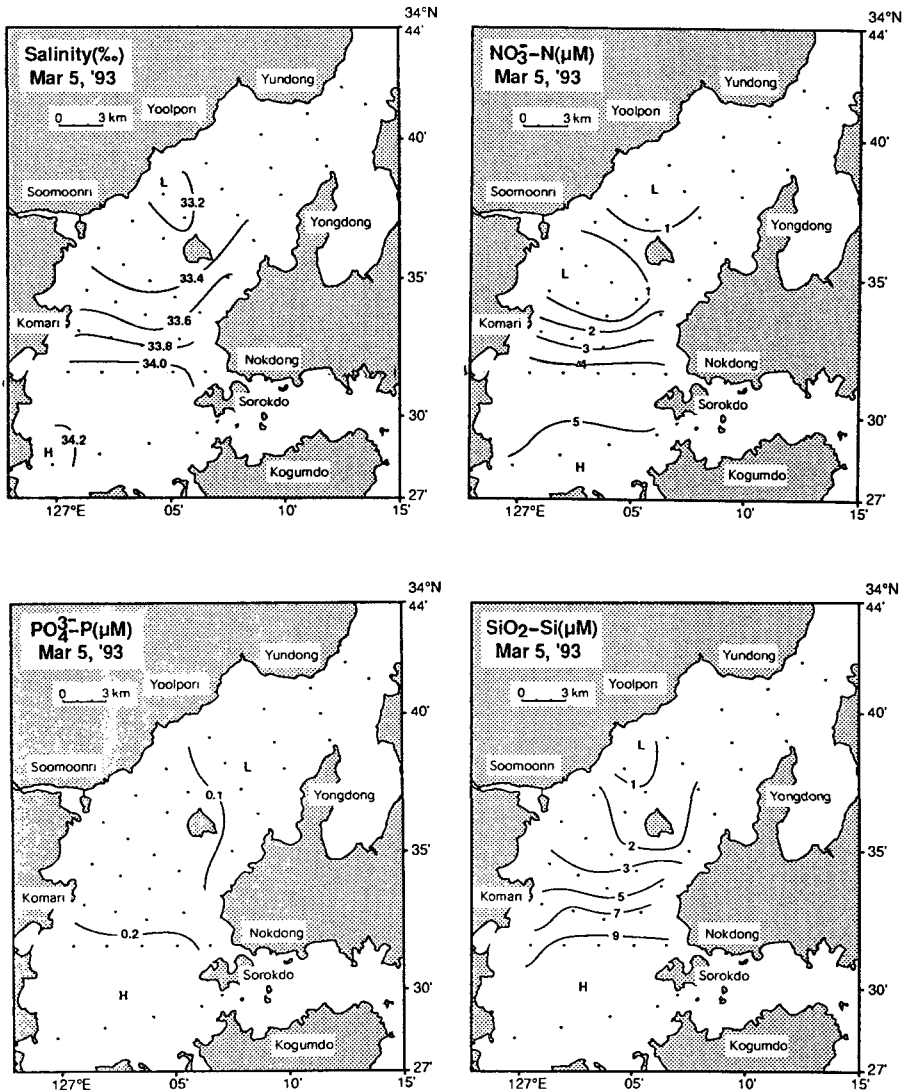


Fig. 5. Lateral contours of salinity and nutrients in the surface water of Deukryang Bay on 5 March, 1993.

3. 영양염류의 주된 공급원

득량만 표층수중 영양염류의 주요 공급원이 계절에 따라 어떻게 달라지는지를 알아보기 위하여 보존성 성분인 염분과 영양염류의 상관성을 Table 2에 나타내었다.

규산염과 염분과의 관계(Table 2)를 보면, 하계에는 두 성분 사이에 상관계수(r) 0.88로 좋은 부(-)의 상관성을 나타내고 있으며, 이는 담수로 부터 규산염 공급이 만의 전해역에 영향을 미치고 있음을 의미한다. 그러나, 염분농도 32.8~33.3‰의 범위인 수문리 앞쪽에 위치한 정점들에서는 동일한 염분범위에 있는 만 안쪽 정점들에 비해 규산염 농도가 낮은 수괴가 나타난다. 이는 이들 정점들이 득량만에서 담수의 주요 공급원인 수문천 입구에 위치하고 있는 것으로 보아 수문천으로부터 공급되는 담수중 규산염의 농도가 낮기 때문인 것으로 생각된다. 추계에는 염분 31‰을 경계로 상대적 고염수가 존재하고 있는 득량도 남쪽 및 동북쪽에 위치한 정점들에서는 염분과 정(+)의 상관성(r=0.89)을 보이나, 저염수가 존재하고 있는 만의 가장 북쪽에 위치한 정점들과 득량도 서쪽과 서북쪽에 위치한 정점들에서는 분산은 다소 심하지만 대체적으로 부(-)의 상관성(r=0.80)을 보인다. 이는 추계에 득량도의 서북쪽 해역으로 유입되는 담수에 의한 규산염의 공급이 극히 한정된 지역에만 영향을 미치고 있으며, 만 입구쪽에서는 만 외해수의 유입에 의해 규산염이 공급되고 있음을 알 수 있다. 그러나, 동계와 춘계에는 상관계수(r) 0.95 이상으로 좋은 정

(+)의 상관성을 보이는데, 이는 하계와는 달리 담수의 유입에 의한 규산염의 공급이 거의 없는 반면에, 수심이 비교적 깊은 만의 바깥쪽 해역에서 동계에 수직 혼합으로 규산염의 농도가 높은 만 외해수가 만내로 유입되고 있음을 알 수 있다.

용존무기질소와 염분과의 관계(Table 2)를 보면, 용존무기질소가 거의 고갈되어 있는 하계를 제외한 나머지 계절에는 두 성분 사이에 비교적 좋은 상관성을 보인다. 즉, 추계에는 규산염과 마찬가지로 염분 31.0‰을 경계로 상대적 고염수가 존재하고 있는 득량도 남쪽 및 동북쪽 해역에서는 다소 분산되어 있으나 염분과 비교적 좋은 정(+)의 상관성(r=0.79)을 보인다. 그러나, 저염수에서는 분산이 심하고 농도 역시 1.9μM 이하로 거의 고갈되어 있다. 이는 추계에 만 입구쪽에는 외해수의 유입에 의해 용존무기질소가 공급되고 있는 반면에, 득량도의 서쪽 및 북서쪽에서는 담수에 의해 용존무기질소가 공급되고는 있으나 생물생산이 활발하기 때문에 공급 즉시 용존무기질소가 소비되기 때문이라고 생각된다. 또한, 동계 및 춘계에도 고염수가 존재하고 있는 만 입구쪽에서는 상관계수(r) 0.95 이상으로 비교적 좋은 정(+)의 상관성을 보이는 것으로 보아 용존무기질소의 농도가 높은 만 외해수가 만내로 유입되고 있음을 의미한다.

앞에서 언급한 바와 같이, 하계와 춘계를 제외하면 인산염은 대부분 고갈된 농도를 나타내고 있다. 그러나, 하계(Table 2)에는 염분과 인산염 사이에 상관계수(r) 0.86으로 비교적 좋은 부(-)의 상관성을 보이

Table 2. Results of statistical analysis for the surface waters of Deukryang Bay

Period	Regression equation	Correlation Coefficient (r)	Number of data (n)	Remarks
30 July 1992	Si = -12.08 × Sal. + 411	0.88	37	For all the stations
	P = -0.44 × Sal. + 15.1	0.86	37	For all the stations
12 Oct. 1992	Si = 3.84 × Sal. - 116	0.89	26	Salinity > 31.0 ‰
	Si = -5.05 × Sal. + 160	0.80	10	Salinity < 31.0 ‰
	DIN = 5.59 × Sal. - 173	0.79	26	Salinity > 31.0 ‰
17 Jan. 1993	Si = 6.15 × Sal. - 199	0.98	27	For all the stations
	DIN = 5.90 × Sal. - 192	0.95	27	For all the stations
5 Mar. 1993	Si = 9.75 × Sal. - 323	0.97	26	For all the stations
	P = 0.33 × Sal. - 10.9	0.96	18	Salinity > 33.3 ‰
	DIN = 5.33 × Sal. - 177	0.95	26	For all stations

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

는데, 이는 하계의 경우 인산염도 규산염과 같이, 담수의 유입에 의해 득량만으로 공급되어 만 전체에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 한편, 춘계에는 인산염 농도는 하계 보다 매우 낮지만, 대체적으로 33.3‰를 경계로 고염수가 존재하고 있는 만 입구쪽에서는 상관계수(r) 0.96으로 비교적 좋은 정(+)의 상관성을 보이나, 저염수에서는 몇개의 정점에서 인산염 농도가 약간 높다. 이는 담수의 유입에 의해 공급되는 인산염이 득량도 서쪽의 극히 한정된 해역에만 영향을 미치고 있으며, 만 입구쪽 해역에서는 주로 인산염이 풍부한 만 외해수가 유입되고 있음을 의미한다.

4. 기초생산의 제한인자

해양에서 생물생산에 영향을 미치는 주요 요인으로는 광량, 온도 및 수직안정도 등이 있으며, 특히 연안 및 내만역에서는 담수나 각종 하폐수의 유입으로 인한 영양염류의 공급으로 그 농도분포는 더욱 복잡해진다. 그리고, 해양에서 영양염류가 충분할 경우 식물플랑크톤중 N/P의 원자비는 16이 된다고 알려져 있으며, 질산염이 고갈될 경우는 식물플랑크톤중 C/N 및 N/P 원자비가 2~3배 정도의 변화폭을 보이고, 인산염이 고갈될 경우는 생물체중 이들 원자비가 5~10배의 변화폭을 보인다고 한다(Goldman et al., 1979). 한편, 일반 연안역에서 규조류의 질산염 반포화계수(K_s , half-saturation constants)값은 0.2~2.4 μM (Eppley et al., 1969; Eppley and Thomas, 1969)이고, 페루 용승역에서 규조류인 *Skeletonema costatum*과 *Thalassiosira pseudana*의 K_s 값은 2.93 μM (Goering et al., 1973)이라고 한다. 이때, K_s 값은 플랑크톤종들이 영양염류를 소비하는 능력을 나타내는 상수로서 K_s 값이 작으면 플랑크톤이 영양염류의 농도가 낮은 상태에서 성장할 수 있는 반면에, K_s 값이 크면 플랑크톤이 좋은 성장을 위하여 많은 양의 영양염류를 필요로 한다는 의미이다. 또한, Stefansson and Richards (1963)는 Washington주와 Oregon주 연안에서 규조류 대증식이 있을 때 규산염과 인산염의 원자비(Si/P)는 약 22정도로 생물체에 흡수된다고 보고한 바 있으며, Tsunogai (1979)는 용존규산염의 농도가 5 μM 이하 일때 규조류의 생육이 중지된다고 보고하였다.

앞에서 언급한 바와 같이, 하계에 득량만 표층수중 인산염의 농도는 담수의 유입에 의해 공급되기 때문

에 비교적 높은 수준을 유지하고 있으나, 용존무기질소는 대부분의 해역에서 2 μM 이하로 거의 고갈되어 있다(Fig 2). 또한, 하계에 DIN/P의 원자비는 6 이하로 Redfield 비 보다 훨씬 낮다. 따라서, 하계에는 전 해역에서 질산염이 생물생산을 제한하고 있다고 생각된다. 그러나, 추계와 동계에는 인산염이 전해역에서 0.15 μM 이하로 거의 고갈되어 있으며, 용존무기질소 농도 역시 만 안쪽 정점들에서는 2 μM 이하로 거의 고갈된 농도를 보인다(Fig. 3, 4). DIN/P의 원자비는 추계의 경우 용존무기질소의 농도가 비교적 낮은 만 입구쪽 및 득량도 서쪽 해역에 위치한 정점들에서는 Redfield비 보다 훨씬 높으나 나머지 해역에서는 Redfield비 보다 다소 낮은 값을 보인다. 반면에 동계에는 전 해역에서 Redfield비 보다 훨씬 높은 값을 보인다. 따라서, 이들 두 시기에는 인산염이 생물생산을 제한하고 있으며, 만의 안쪽에서는 용존무기질소도 생물생산을 제한하고 있는 것으로 생각된다. 또한, 춘계 역시 만의 입구쪽 정점들에서는 인산염과 용존무기질소의 농도가 비교적 높았으나, 만 안쪽에서는 이들 두 성분의 농도가 각각 0.2 μM 및 2 μM 이하로 매우 낮다(Fig. 5). 그리고, 인산염과 용존무기질소와의 관계(Fig. 6)를 보면, 이들 두 성분 사이에는 비교적 좋은

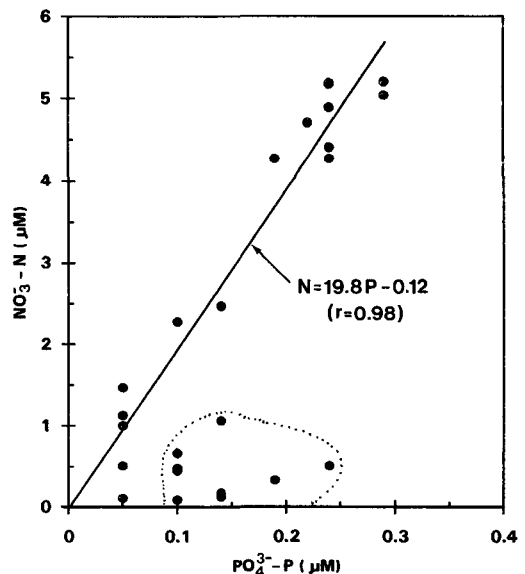


Fig. 6. Nitrate concentration vs. phosphate concentration in the surface water from Deukryang Bay on 5 March, 1993. Data with low salinity ($S < 33.5\text{‰}$) were excluded.

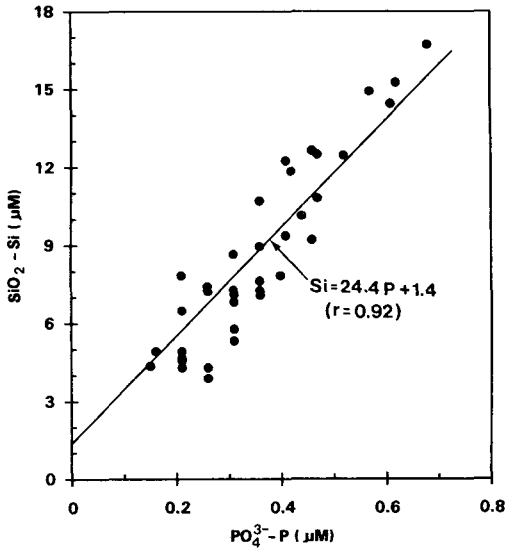


Fig. 7. Silicate concentration vs. phosphate concentration in the surface water from Deukryang Bay on 30 July, 1992.

정(+)의 상관관계 $[DIN(\mu M) = 21.1 \times PO_4^{3-} - P(\mu M) - 0.11, r = 0.93]$ 를 보이며, 이 직선의 기울기($\Delta N/\Delta P$)는 Redfield비 보다 다소 크다. 이는 만 입구쪽으로 유입되는 외해수의 인산염이 용존무기질소 보다 상대적으로 작기 때문이라고 생각된다. 그러나, 득량도 서쪽 및 서북쪽에 위치한 정점들(정점 D1, D3, E2, F2, F4)에서는 인산염에 비해 용존무기질소의 농도가 훨씬 낮은 것으로 보아 만의 안쪽 정점들에서는 용존무기질소가 생물생산을 제한하고 있다고 생각된다.

한편, 담수의 유입에 의해 규산염과 인산염이 공급되는 하계에는 두 성분 사이에 분산은 다소 있으나 대체적으로 비교적 좋은 정의 상관관계 $[SiO_2-Si(\mu M) = 24.4 \times PO_4^{3-} - P(\mu M) - 1.4, r = 0.92]$ 를 보이며(Fig. 7), 이 직선의 기울기($\Delta Si/\Delta P$)는 일반 연안역에서의 (Si/P)비값인 22 (Stefansson and Richards, 1963)와 비슷하다. 따라서, 하계에는 규산염이 규조류의 생산을 제한하고 있지 않음을 알 수 있다. 추계 역시 대부분의 정점들에서 규산염의 농도가 $5\mu M$ 이상으로 비교적 높은 농도를 유지하고 있으며(Fig. 3), Si/P의 원자비가 30 이상으로 매우 높은 값을 보이는 것으로 보아 추계 역시 하계와 마찬가지로 규산염이 규조류의 생산을 제한하고 있지 않다고 생각된다. 그러나, 동계와 춘계에는 외해수의 영향을 받고 있는 만의 입

구쪽 정점들에서는 $5\mu M$ 이상으로 비교적 높은 농도를 유지하고 있으나, 만 안쪽에서는 규산염 농도가 $3\mu M$ 이하로 매우 낮은 농도를 보인다(Fig. 4, 5). 이는 아마도 겨울철 규조류 대증식에 의해 규산염 농도가 낮아졌기 때문인 것으로 추론된다(Huh, 1981; Hong et al., 1988). 또한, Si/P의 원자비 역시 만 입구쪽 해역에서는 일반 연안수층의 원자비 보다 매우 높은 값을 보이는 것으로 보아 이들 두 시기에 만의 입구쪽에서는 규산염이 규조류의 생산을 제한하고 있지 않는 것으로 생각된다.

이상의 결과, 만 안쪽 해역에서는 Hong et al. (1988)이 보고한 것과는 달리 전계절을 통해 용존무기질소가 생물생산을 제한하고 있으며, 추계와 동계에는 인산염과 규산염도 거의 고갈된 농도를 보이는 것으로 보아 이들 두 시기에는 세 성분 모두 생물생산을 제한할 것으로 생각된다. 반면에, 만 입구쪽 해역에서는 하계의 경우 용존무기질소가 생물생산을 제한하고 있으나, 추계와 동계에는 인산염이 생물생산을 제한하고 있다. 따라서, 득량만에서 생물생산의 제한 성분은 계절 및 해역에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 하계에 만안쪽에서 매우 높은 농도를 보였던 인산염과 규산염이 추계에는 현저히 낮은 농도를 보이는 것으로 보아 하계에 담수의 유입에 의해 공급된 영양염류는 2개월 이상을 유지할 수 없는 것으로 판단되며, 만 입구쪽 해역에서는 주로 만 외해수의 유입 정도에 따라 영양염류의 농도가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 또한, 만 안쪽 해역의 경우 용존무기질소와 규산염의 농도가 동계 보다 춘계에 낮아지고 있으며, 클로로필 a의 농도 역시 동계 보다 춘계에 다소 높아지는 것으로 보아 Hong et al. (1988)의 보고한 것과는 달리 늦겨울 혹은 초봄에 규조류 대증식이 일어나는 것으로 생각된다.

요 약

한반도 남서연안에 위치한 득량만에서 1992년 7월부터 1993년 3월까지 계절별로 염분과 영양염류의 농도를 측정하여 득량만 표층수층 영양염류의 시공간적 변화특성과 기초생산 제한인자의 계절변화에 대해 고찰하였다.

1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자

염분의 평균농도는 추계에 가장 낮고 춘계에 가장 높았으며, 용존무기질소는 동계에 가장 높고 하계에 가장 낮았다. 그러나, 인산염과 규산염은 하계에 가장 높았으나, 최소값은 인산염의 경우 추계와 동계에, 규산염은 추계에 나타났다.

계절별로 다소의 차이는 있으나, 염분은 만 입구쪽에서 북쪽으로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보이며, 득량도 서쪽이 동쪽 보다 다소 낮았다. 용존무기질소는 하계의 경우 거의 고갈된 농도를 보이나, 나머지 계절에는 고염수가 존재하고 있는 만의 입구쪽 정점에서 상대적으로 높고 만의 안쪽에서는 거의 고갈된 농도를 보인다. 인산염은 하계의 경우 염분과 상반된 분포를 보이며, 춘계의 경우 만 입구쪽 정점에서 상대적으로 높은 농도를 나타내는 것을 제외하면 추계와 동계에는 거의 고갈된 농도를 보인다. 규산염은 하계의 경우 염분과 상반된 분포를 보이나, 나머지 계절에는 염분과 유사한 분포양상을 보인다.

용존무기질소는 하계의 경우 만의 전 해역에서 생물생산의 제한인자로 작용하고 있으나, 나머지 계절에는 만의 안쪽 해역에서만 제한인자로 작용하고 있다고 생각된다. 인산염은 추계와 동계에는 전 해역에서 생물생산을 제한하고 있으나, 춘계의 경우는 만의 안쪽 해역에서만 제한인자로 작용하고 있다고 생각된다. 규산염의 경우는 담수의 공급량이 작은 동계와 춘계에 만의 안쪽 해역에서 규조류의 생산을 제한하고 있다고 생각된다.

인산염과 규산염은 하계의 경우 염분과 부(-)의 상관성을 나타내는 것으로 보아 주로 담수의 유입에 의해 만내로 공급되고 있다. 그러나, 나머지 계절에는 용존무기질소와 규산염의 농도가 염분과 정의 상관성을 나타내는 것으로 보아 용존무기질소 및 규산염 농도가 비교적 높은 외해수가 만내로 유입되고 있음을 의미한다.

참 고 문 헌

Broecker, W. S. and T. H. Peng. 1982. *Tracer in the Sea*. Eldigio, New York, 690pp.
Choe, K. J. 1974. The resources of the arkshell, *Anadara broughtonii*, in Deukryang Bay. Bull. Korean

Fish. Soc., 7(4), 204~214.
Cho, C. H., K. Y. Park, H. S. Yang, and J. S. Hong. 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. Bull. Korean Fish. Soc., 15, 233~240.
Eppley, R. W., J. N. Rogers, and J. J. McCarthy. 1969. Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr., 14, 912~920.
Eppley, R. W. and W. H. Thomas. 1969. Comparison of half-saturation constants for growth and nitrate uptake of marine phytoplankton. J. Phycol., 5, 139~157
Goering, J. J., D. M. Nelson and J. A. Carter, 1973. Silicic acid uptake by natural populations of marine phytoplankton. Deep-Sea Res., 20, 777~789.
Goldberg, J. C., J. J. McCarthy and D. G. Peavey. 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. Nature, 279, 210~215.
Hong, G. H., D. B. Yang, and K. W. Lee. 1988. Nutrients and trace metals in permanently well-mixed coastal waters of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 23(4), 159~168.
Huh, H. T., 1981. Marine ecological studies for Bihong nuclear power plant site. Korean Ocean Res. Dev. Ins., p. 359. Report BSPI 00025-49-3.
Kim, S. W., K. D. Cho, H. K. Rho, J. C. Lee, S. H. Kim and S. I. Shin. 1995. Temperature and salinity distribution in Deukryang Bay in summer of 1992~93. Bull. Korean Fish. Soc., 28(1), 7~14.
Lee, J. C., H. K. Rho, K. D. Cho, S. I. Shin, S. W. Kim and S. H. Kim. 1995. Tidal current in the western part of Deukryang Bay in summer 1992. Bull. Korean Fish. Soc., 28(1), 1~6.
Lee, K. W., H. S. Kwak, S. H. Lee and D. S. Lee. 1978. Nutrients in coastal water of Korea during summer of 1977. J. Oceanol. Soc. Korea, 13(2), 17~25.
Lerman, A., F. T. Mackenzie, and R. M. Garrels.

1975. Modeling geochemical cycles: Phosphorus as an example. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 142, 205~218.
- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *Amer. J. Sci.*, 282, 401~450.
- RCOID. 1995. Oceanographic data Deukryang Bay, 1991~1993. *Nati. Fish. Univ. Pusan ERC Design. KOSEF*, p.139~145.
- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan. 1971. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171, 1008~1013.
- Smith, S. V. 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol. Oceanogr.*, 29(6), 1149~1160.
- Stefansson, U. and F. A. Richards. 1963. Processes contribution to the nutrient distributions off the Columbia river and Strait of Juan De Fuca. *Limnol. Oceanogr.*, 8, 194~410.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167~311
- Tsunogai, S. 1979. Dissolved silica as the primary factor determining the composition of phytoplankton classes in the ocean. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 30(4), 314~322.
- Wafar, M. V. M., P. Le Corre and J. L. Birren, 1983. Nutrients and primary production in permanently well mixed temperate coastal waters. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 17, 431~446.
-
- 1995년 6월 5일 접수
1995년 7월 8일 수리