

## 득량만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가

김도희·박청길\*  
목포해양대학교 해양환경공학전공·부경대학교 환경공학과  
(1997년 12월 31일 접수)

### Estimation of Nutrients Released from Sediments of Deukryang Bay

Do-Hee Kim and Chung-Kil Park\*  
Mokpo National Maritime University, 571, Chuk-kyo Dong, Mok-Po, Chun-Nam, Korea  
\*Pukyong National University, Nam-gu, Pusan 608-737, Korea  
(Manuscript received 31 December 1997)

The purpose of the present study is to estimate the release of dissolved inorganic nitrogen and phosphorous from sediments of Deukryang Bay. One method used in this study is to calculate nutrients released from a concentration gradient between sediment porewaters and the overlying water based on the Fick's law, and the other method is to measure nutrients released from the sediment-core experiments. The calculated and measured ammonium released from the sediments were  $8.93 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  and  $60.4 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ , respectively in July.  $8.57 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  and  $32.9 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ , respectively in October. The ammonium was released more highly in July than in October, and the measured ammonium flux was higher than the calculated one. The calculated nitrate plus nitrite released from the sediments were  $0.31 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  in July and  $0.84 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  in October. The measured nitrate plus nitrite released from the sediments was  $282 \mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  in October. The calculated was lower than the measured because the content of the nutrients in the sediments was always much more than in the overlying waters, and it has shown a differently seasonal pattern compared to the ammonium flux. The calculated phosphorous released from the sediments were  $0.97 \mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$  and measured negative fluxed  $-6.50 \mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$  in July, and calculated  $0.18 \mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$  and measured  $24.6 \mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ , respectively in October.

Key words : Ammonium, Deukryang Bay, nitrate, nitrite, phosphorous, release

#### 1. 서 론

연안 해역에서 중요한 영양염 순환중 부영양화 현상과 가장 관계가 있는 것은 질소와 인(燐)이다. 질소는 단백질 구성하는 중요한 원소로 오염되지 않은 해역에서는 주로 강이나 공기로부터 유입되어 그 양이 미소하여 수계의 1차 생산을 제한한다. 그러나 연안 해역의 경우 경작지와 축사폐수 및 생활하수로부터 질소 및 인이 대량 유입되어 때때로 수계의 부영양화를 촉진시킬 수 있다.

해양으로 유입된 유기물은 해저에 침강, 퇴적되어 무기태 질소인 암모니아질소( $\text{NH}_4^+$ )로 변환되고 이 암모니아질소는 박테리아에 의하여 아질산질소( $\text{NO}_2^-$ ) 및 질산질소( $\text{NO}_3^-$ )로 산화되며, 해역의 조건에 따라서 질산질소는 탈질 박테리아에 의해서 아질산질소로 환원되어 일부는 질소가스( $\text{N}_2$ ) 형태로 변화되어 대기중로 이동된다. 이와 같이 질소는 해양에서 그 형태를 변화하면서 주로

질산질소, 아질산질소 및 암모니아질소의 형태로 존재하고 그밖에도 요소, 입자상 유기질소로도 존재한다.

한편, 자연수 중의 인은 용해된 인산염( $\text{PO}_4^{3-}$ ) 또는 비용해성으로 부유된 유기인 화합물의 형태로 존재한다. 인은 기체로 변하지 않기 때문에 해양으로의 유입은 주로 하천을 통해서 이루어진다. 해양으로 유입된 인산염은 조류의 체내로 합성되고 일부 입자상 인은 바닥으로 침전되며, 칼슘 또는 철과 결합된 인산염은 부유성 콜로이드 입자로 퇴적물 속에 흡수되어 혐기성 상태에서는 수층으로 용출되고 나머지 일부는 심해에 영구히 퇴적된다.

이와 같이 해역에서 질소와 인의 거동에 있어서 저층에 침강된 질소와 인은 저질의 환경 조건에 따라 저층 퇴적물로부터 수층으로 용출되어 식물성 플랑크톤의 증식을 촉진시킴으로써 연안의 2차 오염 문제를 야기시킨다. 이는 연안의 수질관리를 위해 하수 종말처리장의 건

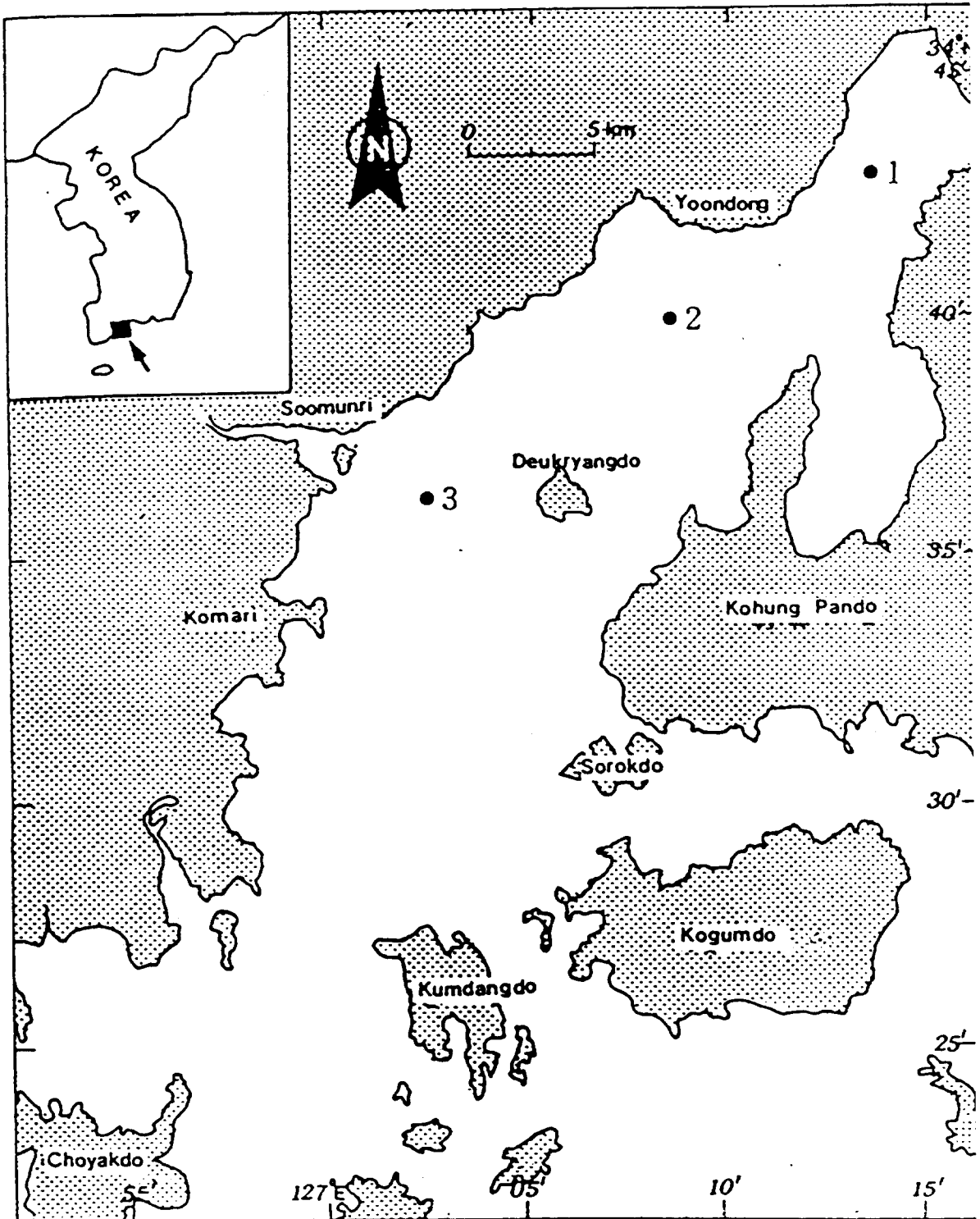


Fig. 1. Sampling stations in Deukryang Bay.

설과 고도처리, 배수의 유로 변경등 연안으로 유입되는 오염 물질의 부하량을 줄인다고 해도 저층에 침강, 퇴적되었던 영양염이 수층으로 용출됨으로 예상되는 해역의

수질 회복이 어렵다고 보고되고 있다(Nakanishi, 1990 Larman, 1979).

특히, 본 연구 대상 해역인 득양만은 육상으로부터 오

Table 1. Results of sediments analysis in Deukryang Bay (in July)

Parameter	Station No.			Mean
	1	2	3	
Temp. (°C)	28.0	28.5	28.8	28.4
DO in overlying water	6.95	6.93	7.75	7.21
IL (%)	6.70	8.07	8.79	7.85
H <sub>2</sub> S (mg/g·dry)	0.005	0.070	0.154	0.076
ORP (mV)	20	68	94	61
Water content (%)	56.5	56.6	60.3	57.8

염물질의 유입이 적고, 해역의 저층에서는 각종 패류가 양식되고 있으므로 저질조사와 함께 저층 퇴적물로부터 용출되는 영양염의 평가는 해역의 생물생산과 수질관리에 있어서 중요하리라고 생각된다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사 해역

조사 해역은 패류와 해조류 양식이 이루어지고 있는 우리 나라 남해에 위치한 득량만으로서 보성만이라고 부르기도 한다(Fig. 1). 만의 면적은 374.4 km<sup>2</sup>, 용적은 28.2 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>이며, 남서에서 동북 방향으로 길이는 약 50 km이고 폭은 4.6~11 km로서 남쪽 입구에서 안으로 들어갈수록 폭이 좁아지는 형태를 가지고 있다(Han et al., 1995). 만 내의 수심은 최고 40 m이고 평균수심은 7.5 m이다. 또한 만 입구의 많은 섬으로 인해 반 폐쇄적인 만으로, 만을 둘러싼 내륙에는 인구가 집중된 도시나 상공업 시설이 없어 육상으로부터의 오염물질의 유입이 거의 없는 것으로 보고되고 있다(Choe, 1974).

2.2 채니, 채수 및 분석

1996년 7월과 10월에 득량만내 3지점을 선정해서 각 지점별로 아크릴 코아 채니기(내경 5.0 cm, 길이 51 cm)를 이용해서 저층 퇴적물 8개와 저층수만 채수된 비교 코아 4개를 채니 및 채수하였다. 퇴적물 채니시 퇴적물이 혼합 또는 부유되었을 경우에는 버리고 다시 채니했으며 저층수는 퇴적물 상부 1 m에서 채수하였다.

먼저 퇴적물 코아 4개는 최초 조건으로 사이폰을 이용해서 직상수를 채수하여 여과(Millipore HA, 0.45 μm ϕ)한 후 -4 °C에서 보관해서 실험실로 옮겨 직상수중의 암모니아질소, 아질산+질산질소 및 인산인을 분석했다. 채수가 끝난 후 봉상수는 온도계를 퇴적물에 삽입해서 퇴적물의 온도를 측정했고 각 코아의 퇴적층 상부 5 cm를 잘라 플라스틱 용기에 옮겼다. 그 퇴적물을 2000 rpm에서 10분간 원심 분리한 후 채수하여 여과하여 간극수중의 각 용존 무기질소와 인을 분석했다.

암모니아질소는 Indophenol법(Sasaki and Sawada, 1980)으로, 아질산질소+질산질소는 Cu-Cd환원법(APHA·AWWA·WPCF, 1980) 및 NED법(Bendschneider and Robinson, 1952)으로 분석했고 인산인은 Ascorbic acid(APHA·AWWA·WPCF, 1980)법으로 분석했다. 퇴적물의 산화·환원전위(Eh)는 포화 염화은 전극(ORION/720A pH, mV meter)으로, 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 검지관법으로 측정하였고 퇴적물

의 함수율, 입도분석, 밀도, 체적, 건조량 및 강열감량(IL)은 수질·저질화학분석법(1982)에 따라 측정했다.

별도로 용존산소(DO)를 측정하기 위해 세균 채수병을 이용하여 저층 상부 1 m에서 저층수를 채수한 후 Winkler법(Strickland and Parsons, 1972)에 따라 분석했다.

2.3 농도 구배와 확산계수로부터 영양염 용출 계산

퇴적물로부터 수층으로의 용존 무기질소 및 인의 용출량은 식 (1)로부터 구했다(日本海洋學會, 1986).

$$J = \phi \cdot D(\Delta C / \Delta Z) \quad (1)$$

여기서 J는 용존 무기질소 및 인의 용출량(μg-at/cm<sup>2</sup>·sec), ϕ는 공극률, D는 분자확산계수(cm<sup>2</sup>/sec)(Table 3-1), ΔC는 간극수와 직상수와 질소 및 인의 농도차(μg-at/cm<sup>3</sup>), ΔZ는 퇴적물의 두께(cm)이다. 공극률 ϕ는 식 (2)로부터 계산했다.

$$\phi = \rho / (\rho + (1-w)/w) \quad (2)$$

여기서 ρ는 건조퇴적물의 밀도(g/cm<sup>3</sup>), w는含水量이다. 또한 분자확산계수 D는 온도에 따라 변화하므로(Lerman, 1979) 식 (3)으로부터 보정을 행하였다.

$$D_0' = D_0(1+at) \quad (3)$$

여기서 D<sub>0</sub>'는 t°C에서의 분자확산계수(cm<sup>2</sup>/sec), D<sub>0</sub>'는 0°C에서의 분자확산계수(cm<sup>2</sup>/sec)이다. 단 해수에서는 구해진 분자확산계수의 8%를 뺀 것을 적용하였고 양이온 및 음이온의 계수 a는 각각 0.048와 0.040을 적용했다.(일본해양학회, 1986)

2.4 퇴적물 코아 배양 실험에 의한 영양염 용출 측정

현상에서 채니한 나머지 4개의 퇴적물 코아내 퇴적층의 두께를 각각 10 cm로 조절했다. 또한 비교 코아로서 저층수만 채워진 코아 4개를 준비해서 현장의 표면해수가 순환되고 햇빛이 차단된 배양조에 넣어 가판 위에서 채니 즉시 3시간 동안 배양했다. 퇴적물과 수층간의 용존 무기질소 및 인의 용출량은 배양 후 퇴적물 코아 및 비교 코아 직상수중의 각 용존 무기질소 및 인의 농도 차를 이용해 식 (4)로부터 계산했다(Sybil, 1993).

$$\text{Flux } (\mu\text{g-at/m}^2 \cdot \text{hr}) = [(E_1 - E_0) - (C_1 - C_0) \times V] / (t \times A) \quad (4)$$

여기서 E<sub>1</sub>는 배양 후 퇴적물 코아 직상수중의 농도(μg-at/l), E<sub>0</sub>는 최초 퇴적물 코아 직상수중의 농도(μg-at/l), C<sub>1</sub>는 배양 후 비교 코아 직상수중의 농도(μg-at/l), C<sub>0</sub>는 최초 비교 코아 직상수중의 농도(μg-at/l), V는 직상수 용량(l), t는 배양시간(hr), A는 퇴적물 면적(m<sup>2</sup>)이

Table 2. Results of sediments analysis in Deukryang Bay (in October)

Parameters		Station No.			Mean
		1	2	3	
Temp. (°C)		22.5	22.0	22.8	22.4
DO in overlying water		8.89	8.87	9.12	8.96
IL (%)		6.65	6.25	5.84	6.25
H <sub>2</sub> S (mg/g · dry)		0.21	0.15	0.02	0.13
ORP (mV)		64	71	89	75
Water content (%)		61.3	59.9	53.9	58.4
Sediment component (%)	Sand	1.1	0.8	10.3	4.07
	Sand & Silt	53.3	39.5	37.4	43.4
	Silt	45.6	59.7	52.3	52.5

Table 3. Concentrations of inorganic nitrogen and phosphorous in overlying water and sediments of Deukryang Bay

Parameters		July				October			
		1	2	3	mean	1	2	3	mean
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/l)	in water	0.019	0.038	0.011	0.023	0.016	0.009	0.009	0.011
	in sediment	2.470	3.230	4.710	3.470	4.610	3.720	0.230	2.860
NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	in water	0.058	0.000	0.000	0.019	0.022	0.007	0.054	0.051
	in sediment	0.410	0.220	1.830	0.820	0.360	0.340	0.260	0.320
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/l)	in water	0.019	0.017	0.020	0.019	0.022	0.012	0.017	0.017
	in sediment	0.360	0.360	0.530	0.420	0.170	0.190	0.100	0.150

다.

3. 결과 및 고찰

3.1 저 질

조사기간 동안 세 지점 평균 퇴적물의 온도는 7월에 28.4 °C, 10월에 22.4 °C로 약 4 °C 정도의 수온차를 보였다(Table 1 and Table 2). 저층의 용존산소는 7월에 평균 7.21 mg/l, 10월에 8.96 mg/l로 약 1.75 mg/l 정도의 차를 보였고, 지점별 차이는 크게 나타나지 않았다(Fig. 2). IL치는 7월에 평균 7.85 %, 10월에 6.25 %로 나타나 약간의 계절적인 차이를 보이고 있었고 지점별로는 5.8~8.8 % 범위로서 해역의 지형적인 특성으로 인해 1, 2, 3 순으로 다소 높은 경향을 보였다(Fig. 2). 퇴적물의 산화·환원상태를 나타내는 Eh는 7월에 평균 60.7 mV, 10월에 74.7 mV를 보여 모두 산화상태였던 것으로 생각되나, 일반적인 해역에서의 Eh가 300~500 mV인 것과 비교하면 아주 약한 산화상태라고 판단된다. 또한 H<sub>2</sub>S는 7월에 평균 0.08 mg/g · dry, 10월에 0.13 mg/g · dry으로 나타나 해양 생물의 성장을 제한하는 0.2 mg/g · dry 농도 이하로 관측되어 본 조사 해역에서의 어류 양식이나 패류 양식에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단되었다. 함수율은 7월에 평균 57.8 %, 10월에 58.4 %를 보였다. 입도분석 결과 자갈과 거친 모래성분은 4.1 %, 모래성분은 43.4 %, 점토질은 52.5 %를 나타내어 관측된 지점에서는 주로 점토질과 모래 성분으로 구성되어 있었다(Table 2).

이상의 저질 분석결과로 볼 때, 득양만의 퇴적물은 그다지 오염되지 않은 상태인 것을 알 수 있었다. 특히 하계에도 저층의 용존산소가 낮지 않고 저질이 약한 산화

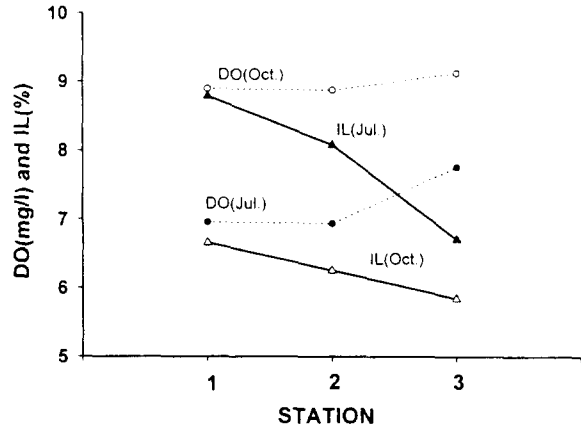


Fig. 2. Seasonal variation of dissolved oxygen in overlying water and ignition loss in sediment of deukryang Bay in July and in October 1996.

상태를 보이고 있는 것으로 보아 해수의 수평, 연직 혼합이 잘 이루어지고 있거나 외부로부터의 오염물질의 부하가 그다지 많지 않다는 것을 시사하고 있었다.

3.2 저층수 및 퇴적물중 질소 및 인의 농도

측정된 저층수 및 퇴적물 간극수중의 암모니아질소, 아질산 및 질산질소 그리고 인산인의 농도 분포를 Table 3에 나타냈다.

저층수중 암모니아질소 농도는 7월에 3 지점의 평균 농도가 0.023 mg/l, 10월에 0.011 mg/l였고 퇴적물 간극수중의 농도는 7월에 평균 3.470 mg/l, 10월에 2.

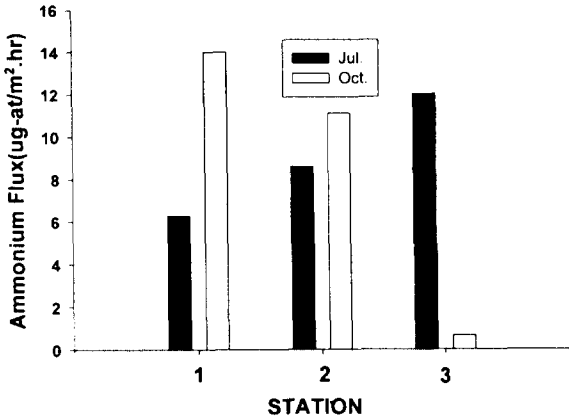


Fig. 3. Calculated ammonium flux from the sediments of Deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

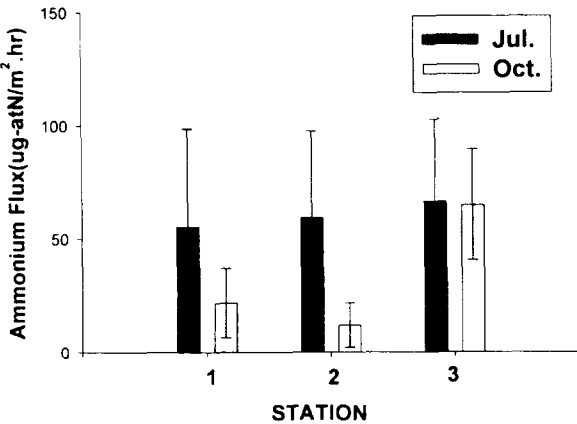


Fig. 4. Measured ammonium flux from the sediments of Deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

860 mg/l 로 모두 7월에 높게 나타났다. 이는 계절적인 온도차로 인해 퇴적물중의 유기물의 분해가 10월에 비해 7월에 높게 나타났기 때문으로 생각된다. 또한 저층수에 비해 퇴적물 간극수에서 암모니아질소의 농도가 높게 분포하고 있기 때문에 퇴적물로부터 수층으로 암모니아질소의 용출이 예상되었다.

저층수중 아질산+질산질소 농도는 7월에 3 지점의 평균 농도가 0.019 mg/l, 10월에 0.051 mg/l 였으며 퇴적물 간극수중의 농도는 7월에 평균 0.820 mg/l, 10월에 0.320 mg/l 로 계절적인 분포는 일정치 않았으나 저층수에서 보다는 간극수에서 높게 분포하고 있어 아질산 및 질산질소도 암모니아질소와 마찬가지로 퇴적물로부터 수층으로의 용출이 예상되었다.

한편, 저층수중 인산인 농도는 7월에 평균 0.019 mg/l, 10월에 0.017 mg/l 이었으며 퇴적물 간극수중의 인산인 농도는 7월에 평균 0.42 mg/l, 10월에 0.15

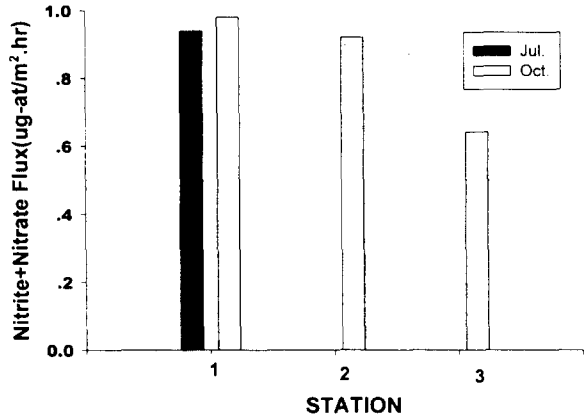


Fig. 5. Calculated nitrate plus nitrite flux from the sediments of Deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

mg/l 로 간극수에서 높게 분포되어 있어 인산인도 퇴적물로부터 수층으로의 용출이 예상되었다.

### 3.3 용존 무기질소 및 인의 용출량

저층수 및 퇴적물중의 암모니아질소의 농도차와 공극률 및 확산계수로부터 구한(계산치) 암모니아질소의 용출량은 7월에 6.28~12.0(평균 8.93)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에 0.60~14.0(평균 8.57)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 월별 차이는 크게 나타나지 않았다(Fig. 3). 이는 월별 퇴적물의 온도, IL, 및 저층수 및 간극수중의 암모니아질소의 농도차가 크지 않는 것과 관련된 것으로 판단되었다. 한편 퇴적물 코아 배양 실험결과(실험치)는 7월에 55.3~66.6(평균 60.4)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에 12.0~65.0(평균 32.9)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 용출 결과를 보여(Fig. 4) 계산치 및 실험치 모두 7월에 약간 높게 나타났으며 퇴적물 코아 배양 실험치가 계산치 보다 4~7배 정도나 높게 용출되는 것으로 평가되었다.

저층수 및 퇴적물중의 아질산+질산질소의 농도 차와 확산계수로부터 구한 아질산 및 질산질소의 용출은 7월에 0.00~0.94(평균 0.31)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에 0.64~0.98(평균 0.84)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$  였다(Fig. 5). 이는 앞서의 저층수 및 퇴적물의 아질산 및 질산 질소의 농도 차로부터 예측된 이론적인 결과와는 다소 차이를 보였다. 한편, 10월 퇴적물 코아 실험에서는 -12.0~45.7(평균 21.7)  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 용출 결과를 보였다(Fig. 6).

저층수 및 퇴적물중의 인산인의 농도 차와 확산계수로부터 구한 인산인의 용출량은 7월에 0.84~1.20(평균 0.97)  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에 0.11~0.22(평균 0.18)  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$  였다(Fig. 7). 이는 10월에 비해서 7월중에 저층수와 퇴적물 간극수중 인산인의 농도 차이가 큰 것과 일치하는 것으로 그 용출량도 10월에 비해 7월에 약간 높게 나타났다. 한편 퇴적물 코아 배양 실험 결과, 7월에는 -11.2 ~ -1.09(평균 -6.50)  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ 로 나타나 수층에서 퇴적층으로 인이 침강하는 것으로 나

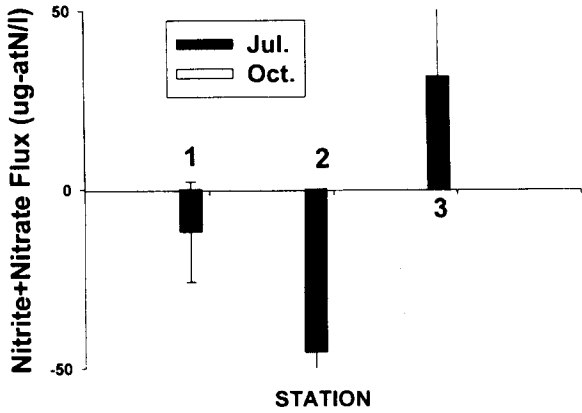


Fig. 6. Measured nitrate plus nitrite flux from the sediments of Deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

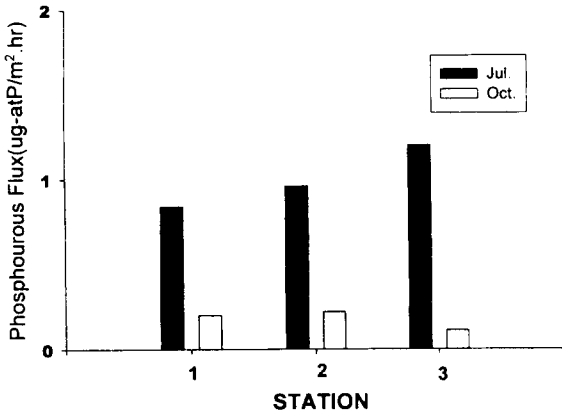


Fig. 7. Calculated phosphorous flux from the sediments of deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

타났고, 10월에는  $-53.2 \sim 83.7$ (평균  $24.6$ )  $\mu\text{g-atP}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 가 용출되는 것으로 측정되었다(Fig. 8).

이상의 결과를 종합하면, 퇴적물과 저층수층의 농도 차로부터 계산된 것과 퇴적물 코아 배양 실험치 모두 큰 변동치를 보였다. 이는 현장에서 채니시의 오차와 실험 과정상의 오차가 개입된 것으로 생각되며 특히 퇴적물 코아 배양 실험에서 얻은 결과 치의 변동( $SD = \pm 0.00 \sim 59$ )은 퇴적물을 배양하는 동안 퇴적물 자체의 환경변화와 퇴적물중 생물활동 그리고 저층의 물리적인 조건 등이 변화했기 때문으로 생각된다.

김(1994)은 마산만의 퇴적물을 이용한 실내 영양염 용출 실험을 한 결과, 암모니아질소는  $108 \mu\text{g-at N}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 인산 인은  $11.0 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 이 용출된다고 보고했고 진동 만에서는  $44.3 \mu\text{g-at N}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  및  $9.46 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 가 용출될 것으로 보고했다. 또한 Kim et al.(1992)은 퇴적물을 실험실로 옮겨 혐기성 상태에서 인 용출 실험을 한 결과 남강댐의 퇴적물에서는 8.

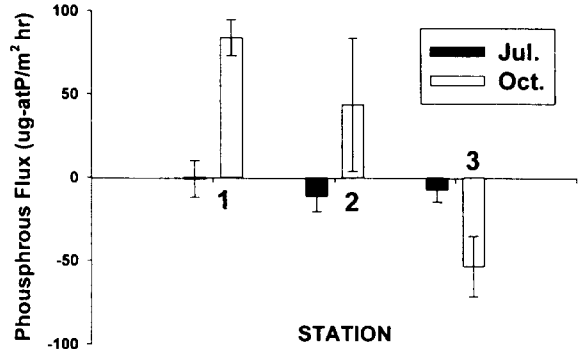


Fig. 8. Measured phosphorous flux from the sediments of Deukryang Bay. Black bars and shaded bars indicate in July and in October.

$67 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 회야댐의 퇴적물에서는  $12.6 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 회동 수원지 퇴적물에서는  $20.8 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 인산인이 용출될 것으로 보고했다. Shiozawa et al.(1984)는 일본의 세토내해 하리마 해역에서 현장 참바 용출량 측정 장치를 이용해 조사한 결과 인 용출량이 하계에는  $10.8 \sim 61.3 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 동계 순환기의 실내실험에서는  $0.44 \sim 2.50 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 현장 용출 실험에서는  $8.33 \mu\text{g-at P}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 결과를 얻었다. Hosomi(1993)는 일본의 Shagawa湖 퇴적물에서 암모니아질소의 용출량을 측정된 결과 코아 현장법으로는  $44.6 \mu\text{g-at N}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ , 현장 참바 측정으로는  $28.6 \mu\text{g-at N}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 이 용출된다고 보고했다. Kim (1996)은 히로시마 만에서 저층수와 퇴적물간의 농도 구배에 의한 방법과 퇴적물 코아 배양 실험 결과 암모니아질소가  $32.5 \sim 83.4 \mu\text{g-at N}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$  정도로 용출된다고 보고했다.

따라서 이상의 기 보고된 다른 해역에서의 영양염 용출량 결과와 본 조사에서 구해진 결과를 비교해 보면, 득양만의 저층 퇴적물에서는 질소와 인이 다소 낮게 용출되고 있음을 알 수 있었다. 이는 득양만의 경우 다른 해역과는 달리 외부로부터의 무기물 및 유기물의 유입이 많지 않아 저층으로 침강되는 영양염이 적고, 침강된 영양염도 피조개, 키조개 및 새조개 등의 패류양식과 김양식등의 해조류 양식으로 많이 습취되고 각종 저층 생물의 활발한 활동으로 인해 퇴적물중의 질소와 인등의 영양염이 빠르게 흡수되어 상위의 생물단계로 이동되는 것으로 판단되었다. 특히 환원상태를 나타내는 오염이 심한 다른 해역과는 달리 본 조사 해역의 저질은 항상 산화상태를 유지하고 있기 때문에 인의 용출량이 적은 것으로 생각된다.

Yang et al.(1995)은 득양만에서의 영양염류의 계절 변화와 기초생산 제한인자에 관한 연구에서 하계에는 용존무기 질소가 생물생산을 제한하고 있고, 인산염은 추계와 동계에 생물생산을 제한하고 있다고 보고하였다. 또한 영양염의 공급원은 하계에는 담수로부터 나머지 계절에는 외해수로부터 만 내로 유입되고 있는 것으로 추정하였다. 그러나 담수에 의한 영양염의 유입량 및

외해로부터의 영양염 유입에 관한 보고된 연구가 없어 그 추정의 확인은 할 수 없었으나 본 조사 연구에서 얻어진 퇴적물로부터 용출되는 영양염도 해역의 생물생산에 크게 기여할 것으로 추정된다. 따라서 금후 외부로부터의 영양염 유입 부하량, 외해와의 영양염 교환량 및 득양만내에서의 1차생산량등에 관한 조사가 보고된다면 득양만에서의 영양염의 거동과 수지 관계 및 해역의 생물생산과의 영양염 용출 관계가 더욱 명확하게 밝혀질 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구가 이루어지도록 많은 조언과 지도를 해주신 부경대학교 이석모 교수님과 부산광역시 시정 연구단의 신성교 박사님께 감사드립니다. 또한 현장 조사와 실험 분석에 노고를 아끼지 않은 부경대학교 환경공학과 수질분석 연구실의 모든 실험실 원에게 감사드립니다. 끝으로 이 연구는 부경대학교 해양산업개발연구소(ERC)의 연구지원비로 수행되었음을 밝히며 재정적인 지원에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김종구, 1994, 진해만 해역의 하계 부영화 모델링. 부경대학교 환경공학과 박사학위논문.
- 수질·저질화학분석법, 1982, 성문당, 197-198 pp. 東京.
- 일본해양학회, 1986, 沿岸環境調査マニュアル(底質·生物編). 恒成社厚生閣, 80-84pp. 東京.
- APHAWWA WPCF, 1980, Standard Method for the Examination of Water and Waste Water, 15th ed., Amer. Public Health Ass., Washington D.C., pp. 370-373.
- Bendschneider, K. and R. J. Robinson, 1952, A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11, 87-96.
- Choe, K. J., 1974, The resource of the arkshell, *Anadara broughtonii*, in Deukryang Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 7(4), 204-214.
- Han, D. H., S. Y. Hong, and C.W. Ma, 1995, Distribution of Zooplankton in Deukryang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 28(5), 517-532.
- Hosomi, M., 1993, Nitrogen and phosphorus release from bottom sediments and its control. *J. Jap. Soc. Wat. Env.*, 16, 23-28 (in Japanese).
- Kim, D. Y., S. B. Lee and D. H. Hwang, 1992, A study of phosphorous release from the sediment of the Dam in Pusan and Kyeong Nam Region. *J. KSWPRC*, 59-66 pp.
- Kim, D. H., 1996, Regional and seasonal variations of DIN flux across the sediment-water interface and the effect of DIN release on the primary production. *Bull. Korean Fish. Soc.* 29(4), 456-463.
- Lerman, A., 1979, Geochemical processes water and sediment environments. *Jon Wiley and Sons*. 481 pp. New York.
- Nakanishi, H., 1990, Inflowing pollution loads relating to eutrophication of water bodies and their control. *SETOUCHIKAGAKU*, 3, 31-43.
- Sasaki, K. and Y. Sawada, 1980, Determination of ammonia in estuary. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46, 319-321.
- Shiozawa, T., K. Kawana, Y. Yamaoka, A. Hoshika, T. Tanimoto and O. Takimura, 1984, Distribution of pollution in sea water and its dissolution out of bottom sediment in the Seto Inland Sea. I. Phosphorous and nitrogen. Reports of the government industrial research institute, Chugoku, 21, 13-43 pp.
- Strickland, T. D. H. and T. R. Parsons, 1972, A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Bd, Canada*, 169 (2nd Ed), 311 pp.
- Sybil, P. S., 1993, Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology. pp. 633-642. Lewis publisher, Boca Raton, Florida, 33431.
- Yang, H. S., S. S. Kim and G. Kim, 1995, Spatio-temporal distribution of nutrients in the surface waters of Deukryang Bay. (1) Seasonal variation of nutrients and limiting factors for primary production. *J. Korean Fish. Soc.*, 28(4), 475-488.