

# 득량만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가

## Estimation of nutrients released from sediments of Deukryang Bay

김 도희·박 청길<sup>1</sup>

목포해양대학교 해양환경전공, <sup>1</sup>부경대학교 환경공학과

### 1. 서 론

水系에서의 중요한 영양염 순환중 부영양화 현상과 가장 관계가 있는 것은 질소와 인이다. 질소는 단백질을 구성하는 중요한 원소로 오염되지 않은 해역에서는 주로 강우나 공기 중으로부터 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.

해역에서 질소와 인의 거동에 있어서, 저층에 침강된 질소와 인은 저질의 환경 조건에 따라 저층 퇴적물로부터 수층으로 용출되어 식물성 플랑크톤의 증식을 촉진시킴으로써 해양의 2차 오염 문제를 야기시킨다. 이는 해양의 수질관리를 위해 하수 종말처리장의 건설과 고도처리, 배수의 유로 변경 등을 통해 연안으로 유입되는 오염 물질의 유입량을 줄인다고 해도 이와 같이 저층에 침강, 퇴적되었던 영양염이 수층으로 용출됨으로 인해 예상되는 해역의 수질 회복이 어렵다고 보고되고 있다(Nakanishi, 1990; Larman, 1979).

특히, 본 연구 대상 해역인 득량만은 육상으로부터 오염물질의 유입이 적고, 해역에서는 각종 패류가 양식되고 있으므로 저질조사와 함께 저층 퇴적물로부터 용출되는 영양염의 평가는 해역의 생물생산과 수질관리에 있어서 중요하리라 생각된다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2-1. 채니, 채수 및 분석

貝類와 海藻類 양식이 이루어지고 있는 남해 득량만을 대상으로 1996년 7

월과 10월에 득양만내 3지점을 선정해서 각 지점별로 아크릴 코아 채니기(내경 5.0 cm, 길이 51 cm)를 이용해서 저층 퇴적물 8개와 저층수만 채수된 비교 코아 4개를 採泥 및 採水하였다.

먼저 퇴적물 코아 4개는 최초 조건으로 사이폰을 이용해서 직상수를 채수하여 여과(Millipore HA, 0.45  $\mu\text{m}$   $\phi$ )한 후 냉동 보존해서 실험실로 옮겨 직상수층의 암모니아질소, 아질산과 질산질소 및 인산 인을 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 여과한 후 간극수층의 각 용존 무기질소와 인을 분석했다.

암모니아질소는 Indophenol법(Sasaki and Sawada, 1980)으로, 아질산질소와 질산질소는 Cu-Cd환원법(APHA · AWWA · WPCF, 1980) 및 NED법(Bendschneider and Robinson, 1952)으로 분석했고 인산 인은 Ascorbic acid(APHA · AWWA · WPCF, 1980)법으로 분석했다. 퇴적물의 산화·환원전위(Eh)는 포화 염화은 전극(ORION/720A pH, mV meter)으로, 산 휘발성 황 화합물질( $\text{H}_2\text{S}$ )은 검지관법으로 측정했다. 별도로 용존산소(DO)를 측정하기 위해 세균 채수병을 이용하여 저층상부 1 m에서 저층수를 채수한 후 Winkler법(Strickland and Parsons, 1972)으로 측정하였다.

## 2-2. 질소 및 인의 용출

먼저 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 ( $\mu\text{g-at}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ ),  $\phi$ 는 공극률, D는 분자확산계수 ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ ) (Table 3-1),  $\Delta C$ 는 간극수와 직상수와 질소 및 인의 농도차 ( $\mu\text{g-at}/\text{cm}^3$ ),  $\Delta Z$ 는 퇴적물의 두께 (cm) 이다.

다음으로는 현장에서 채니 한 나머지 4개의 퇴적물 코아내 퇴적층의 두께를 각각 10 cm 로 조절했다. 또한 비교 코아로서 저층수만 채워진 코아 4개를 준비해서 현장의 표면해수가 순환되고 햇빛이 차단된 배양조에 넣어 간판 위에서 채니 즉시 3시간 동안 배양했다. 퇴적물과 수층간의 용존 무기질소 및 인의 용출량은 배양후 퇴적물 코아 및 비교 코아 직상수층의 각 용존 무기질소 및 인의 농도 차를 이용해 식 (4)로부터 계산했다(Sybil, 1993).

$$\text{Flux} (\mu\text{g-at}/\text{m}^2 \cdot \text{hr}) = [(E_r - E_i) - (C_r - C_i) \times V] / (t \times A) \quad (4)$$

여기서  $E_r$ 는 배양후 퇴적물 코아 직상수층의 농도( $\mu\text{g-at}/\text{l}$ ),  $E_i$ 는 최초 퇴

적물 코아 직상수중의 농도( $\mu\text{g-at/l}$ ),  $C_f$ 는 배양후 비교 코아 직상수중의 농도( $\mu\text{g-at/l}$ ),  $C_i$ 는 최초 비교 코아 직상수중의 농도( $\mu\text{g-at/l}$ ),  $V$ 는 직상수 용량( $l$ ),  $t$ 는 배양시간( $hr$ ),  $A$ 는 퇴적물 면적( $m^2$ )이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 저 질

조사기간 동안 3 지점 평균 퇴적물의 온도는 7월에 28.4 °C, 10월에 22.4 °C로 약 4 °C 정도의 수온 차를 보였다. 저층의 용존산소는 7월에 평균 7.21 mg/l, 10월에 8.96 mg/l로 약 1.75 mg/l 정도의 차를 보였다. IL치는 7월에 평균 7.85 %, 10월에 6.25 %를 보여 계절적인 차이는 그다지 크지 않았으나 지점 별로는 1, 2, 3 순으로 다소 높은 경향을 보였으며 3번 지점에서 가장 높게 나타난 이유는 다른 지점에 비해 하천으로부터 유기물의 유입이 많기 때문으로 판단되었다. Eh는 7월에 평균 60.7 mV, 10월에 74.7 mV를 보여 모두 산화상태였던 것으로 생각되나, 일반적인 해역에서의 Eh가 300~500 mV 인 것과 비교하면 아주 약한 산화상태라고 판단된다. 또한  $H_2S$ 는 7월에 평균 0.08 mg/g·dry, 10월에 0.13 mg/g·dry로 해양 생물의 성장 제한 농도인 0.2 mg/g·dry 이하로 관측되어 어류 양식이나 패류 양식에는 큰 영향을 끼치지 않고 있는 것으로 판단되었다. 함수율은 7월에 평균 57.8 %, 10월에 58.4 %를 보였다. 粒度 분석 결과 거친 모래는 평균 4.1 %, 砂質은 43.4 %, 泥質은 52.5 %를 나타내어 주로 니질과 사질로 구성되어 있었다.

#### 3-2. 용존 무기질소 및 인의 용출량

저층수 및 퇴적물중의 암모니아질소의 농도 차와 확산계수로부터 구한(계산치) 암모니아질소의 용출은 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. 이는 월별 퇴적물의 온도, IL, 및 저층수 및 간극수중의 암모니아질소의 농도가 비슷한 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. 3) 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 및 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. 이는 앞서의 저층수 및 퇴적

물의 아질산 및 질산 질소의 농도 차로부터 예측된 이론적인 결과와는 다소 차이를 보였다. 한편, 10월 퇴적물 코아 실험에서는  $-12.0 \sim 45.7$  (평균  $21.7$ )  $\mu\text{g-atN/m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 용출 결과를 보였다.

저층수 및 퇴적물층의 인산인의 농도 차와 확산계수로부터 구한 인산인의 용출량은 7월에  $0.84 \sim 1.20$  (평균  $0.97$ )  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에  $0.11 \sim 0.22$  (평균  $0.18$ )  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ 였다. 이는 10월에 비해서 7월중에 저층수와 퇴적물 간극수 중 인산인의 농도 차이가 큰 것과 일치하는 것으로 그 용출량도 10월에 비해 7월에 약간 높게 나타났다. 한편 퇴적물 코아 배양 실험 결과, 7월에는  $-11.2 \sim -1.09$  (평균  $-6.50$ )  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 10월에는  $-53.2 \sim 83.7$  (평균  $24.6$ )  $\mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ 가 용출되는 것으로 평가되었다.

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 결과치의 변동은 퇴적물을 배양하는 동안 퇴적물 자체의 환경 변화와 퇴적물층 생물활동 그리고 저층의 물리적인 조건 등이 변화기 때문으로 생각된다.

김(1994)은 마산만의 퇴적물을 이용한 실내 영양염 용출 실험을 한 결과, 암모니아질소는  $108 \mu\text{g-at N/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 인산 인은  $11.0 \mu\text{g-atP/m}^2 \cdot \text{hr}$ 이 용출된다고 보고했고 진동 만에서는  $44.3 \mu\text{g-at N/m}^2 \cdot \text{hr}$  및  $9.46 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ 가 용출될 것으로 보고했다. 또한 Kim et al., (1992)은 퇴적물을 실험실로 옮겨 혐기성 상태 하에서 인 용출 실험을 한 결과 남강댐의 퇴적물에서는  $8.67 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 회야 댐의 퇴적물에서는  $12.6 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 회동 수원지 퇴적물에서는  $20.8 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 인산 인이 용출될 것으로 보고했다. Shiozawa et al., (1984)는 일본의 세토내해 하리마 해역에서 현장 참바 용출량 측정 장치를 이용해 조사한 결과 인 용출량이 하계에는  $10.8 \sim 61.3 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 동계 순환기의 실내실험에서는  $0.44 \sim 2.50 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 현장 용출 실험에서는  $8.33 \mu\text{g-at P/m}^2 \cdot \text{hr}$ 의 결과를 얻었다. Hosomi(1993)는 일본의 Shagawa湖 퇴적물에서 암모니아질소의 용출량을 측정 한 결과 코아 현장법으로는  $44.6 \mu\text{g-at N/m}^2 \cdot \text{hr}$ , 현장 참바 측정으로는  $28.6 \mu\text{g-at N/m}^2 \cdot \text{hr}$ 이 용출된다고 보고했다. Kim(1996)은 히로시마 만에서 저층수와 퇴적물간의 농도구배에 의한 방법과 퇴적물 코아 배양 실험 결과 암모니아질소가  $32.5 \sim 83.4 \mu\text{g-at N/m}^2 \cdot \text{hr}$ 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 유기물 유입이 많지 않아 저층으로 침강되는 영양염이 적고, 침강된 영양염도 피조개, 키조개 및 새조개 등의 패류와 김 양식 등 해조류 양식으로 많이 습취되고 각종 저층 생물의 활발한 활동으로 인해 빠르게 흡수,

재생되는 것으로 판단되었다.

Yang et al. (1995)은 득양만에서의 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한 인자에 관한 연구에서 하계에는 용존무기 질소가 생물생산을 제한하고 있고, 인산 염은 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 득양만 내에서의 1차생산량 등에 관한 조사가 보고된다면 득양만에서의 영양염의 거동과 수지 관계 및 해역의 생물생산과의 영양염 용출 관계가 더욱 명확하게 밝혀질 것으로 생각된다.

본 연구는 부경대학교 해양산업개발연구소(ERC)의 연구지원비로 수행되었음을 밝히며 경제적인 지원에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고 문헌

APHA·AWWA 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., Hong, S. Y. and Ma, C. W. (1995): Distribution of Zooplankton in Deukryang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* **28**(5), 517-532.