

금강하구 갯벌내 질소화합물질의 연직적인 플럭스 평가

김도희⁽¹⁾, 양재삼⁽²⁾

Estimation of verticle fluxes of nitrogen compounds in tidal flats of the Keum river estuary

by

Do Hee Kim⁽¹⁾ and Jae Sam Yang⁽²⁾

요 약

1999년 4월, 8월과 11월에 금강 하구역 갯벌 세 지점에서 채니된 퇴적물 표층 5 cm을 입도 조성 분석한 결과 모래와 자갈 성분이 1.18 %, 모래 성분이 29.34 %, 점토 성분이 69.49 %였다. 퇴적물의 IL은 6.7 %, ORP는 -12 mV으로 약간의 환원상태를 보이고 있었다. 퇴적물 중 H₂S 농도는 평균 0.26 mg/g·dry으로 측정되었다. 금강 하구 갯벌 퇴적물에서의 탈질산화는 4월에 0.186 m mole N₂/m²·day, 8월에 0.192 m mole N₂/m²·day, 11월에 91.3 m mol N₂/m²·day으로 3회 평균 30.6 m mole N₂/m²·day였다. 퇴적물과 수층간의 NH₄⁺-N의 플럭스는 4월에 -0.37 m mole N/m²·day, 8월에 34.0 m mole N/m²·day, 11월에 0.10 m mole N/m²·day으로 평가되어 평균적으로 11.2 m mole N/m²·day였다. 한편, 퇴적물과 수층간의 NO₂⁻-N + NO₃⁻-N의 플럭스는 4월에 0.314 m mole N/m²·day, 8월에 0.524 m mole N/m²·day, 11월에 -4.12 m mole N/m²·day으로 측정되어 평균 -1.09 m mole N/m²·day으로 측정되어졌다. 암모니아질소와 아질산질소 및 질산질소의 플럭스로부터 계산한 용존무기질소 (DIN)의 플럭스는 10.2 m mole N/m²·day으로 평가되었다. 이와 같은 금강하구역 갯벌에서의 용존무기질소의 플럭스와 탈질산화는 이 해역의 질소수지와 1차 생산에 중요한 영향을 끼칠 것으로 추정되었다.

Abstract

The main purpose of this study were to estimate the benthic fluxes of dissolved inorganic nitrogen (DIN) from the sediment and denitrification rates in tidal flats of the Keum river estuary. Sediment specimens were collected by a core sampler from three stations along the Keum river estuary in April, August and December, 1999. The sediments were composed of 1.18 %, 29.34 % and 69.49 % of gravel and sand, sand and silt, respectively. The mean ignition loss of the sediment was found 6.7 % and its Oxidation Reduction Potential (ORP) was measured -12 mV. The total hydrogen sulfides was determined about 0.26 mg/g·dry. The estimated outflux of ammonium was found 11.2 m mole N/m²·day from the sediment, whereas -1.09 m mole N/m²·day of influx was obtained for nitrate and nitrite through the incubation experiment of sediment cores. Total DIN flux was 10.2 m

(1) 목포해양대학교 해양환경공학전공
(2) 군산대학교 해양학과

mole $N/m^2 \cdot day$ outflux from the sediment. From the incubation experiments executed with the flux studies, mean denitrification rate was found $30.6 \text{ m mole } N_2/m^2 \cdot day$ measured by the direct assay of N_2 production technique. On the basis that DIN flux and denitrification rate in sediment of tidal flat of the Keum river estuary are may be effects to control the algal biomass in the coastal environment, it seems inevitable to pay more attention to investigate the flux of DIN and denitrification rate in tidal flat of the Keum river estuary.

Keywords: Denitrification rate, DIN flux, the Keum river estuary, sediment, tidal flats.

I. 서 론

연안 해역에서 질소는 연안의 생산성을 촉진시키기도 하지만 과도한 용존성 무기질소의 유입은 연안의 부영양화와 적조를 야기시킨다. 일반적으로 연안의 부영양화와 적조 현상은 영양단계가 상승함에 따라서 발생하는 생물현상이나, 해양생태계에서 질소와 인 같은 영양염은 식물 플랑크톤에 섭취되고 이것이 동물플랑크톤에 의해 섭취된 후 다음 포식자 순으로 이어지는 먹이사슬을 형성하는 해양의 모든 생물의 성장과 재생산에 필요한 영양염이기 때문에 언제 어디서나 해양에서 오염물질로만 작용할까 하는 것이 의문이다. 또한,村上 [1992]은 높은 영양단계에서 반드시 적조가 발생하는 것이 아니라 샤토넬라와 같이 영양단계가 높지 않을 때에도 발생한다고 보고하였고, 적조발생을 단순히 부영양화와 결부시켜 영양단계를 낮추는 것이 적조대책의 상책은 아닌 것으로 보고하였다.

따라서 연안환경을 관리하기 위해서는 문제시되는 오염물질의 발생과 유입경로 및 해역에서의 그들의 거동을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 특히 최근에 질소는 인위적으로나 자연적으로 연안 해역으로 과량으로 유입되어 연안의 부영양화와 빈산소 수괴를 형성하고 나아가 적조를 발생시키는 등 해양환경에 나쁜 영향을 끼치고 있다.

연안에서의 질소화합물질의 구체적인 거동은 하천을 통한 유입과 육상의 비점원 그리고 강우와 눈 바람 등을 통해서 유입되고, 질소고정 등 대기로부터도 유입되고 있다. 해양으로 유입된 질소는 희석, 확산, 침강, 퇴적 등과 같은 해양물리학적 작용을 받고, 질소의 광물질화와 동화작용 그리고 질산화와 탈질산화 등의 해양생물 및 화학적 작용을 통해 여러 형태의 질소로 변환된다. 특히 연안 수질 및 퇴적환경에서 중요한 부분을 차지하는 암모니아질소 (NH_4^+-N), 아질산질소 (NO_2^--N) 및

질산질소 (NO_3^--N)는 식물플랑크톤의 증식과 적조발생에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 해역에서 질소는 인과는 달리 수층에서 입자화되어 침강 퇴적된 후 질산질소로 산화되며 이것이 무산소 및 혐기성 상태로 이동되면 산화이질소 (N_2O) 및 질소가스 (N_2)로 탈질산화되어 수층을 통해 최종 대기 중으로도 방출된다.

이와 같은 탈질산화는 연안에서의 질소를 제거하는 기능도 가지지만 아울러 1차 생산에도 영향을 끼친다고 보고되고 있다 (Lohse et al. [1993]). 또한 저층에 퇴적된 질소는 저층 퇴적물의 환경 조건과 수층 및 퇴적물간의 농도 차로부터 수층으로 용출되어 조류의 증식을 촉진시킴으로써 내부오염 부하라고 하는 2차 오염문제를 야기시키기도 한다. 따라서 본 연구에서는 금강 하구 갯벌 내에서 질소의 여러 가지 거동 중 중요한 부분을 차지하고 있는 퇴적물과 수층간의 용존무기질소의 플럭스를 평가하였으며, 동시에 아직까지 국내에서 보고된바 없는 갯벌에서의 탈질산화를 측정하였다. 이와 같은 연구 결과는 향후 금강 하구역의 수질관리와 금강 하구역 갯벌에서의 질소수지 연구에 중요한 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

2. 연구내용 및 방법

2. 1. 조사 해역

금강 하구역은 1988년 12월 금강 하구둑 완공 이후 현재 활발히 진행되고 있는 군장국가공단 조성 및 신항 건설의 추진에 따라 많은 변화가 일어나고 있다. 특히 주변 해역에 제지, 펄프공장 및 첨단공업에 관련된 공장들이 입주하고 있어 금강 하구역의 오염 증가는 날로 높아지고 있다 (김 등, [1998]).

금강 하구역에 관한 조사는 물리화학적 요

인과 저서생물에 관한 연구 (Cho et al., [1978]), 해수 순환 경계층에서의 염분 변동에 관한 연구 (Chung et al., [1983]), 유속 및 유량의 계절변화 및 하상 퇴적물의 특성에 관한 연구 (Oh and Lee, [1985]), 질소화합물의 순환과 클로로필 a 분포에 관한 연구 (Ki and Kim, [1987])와 부유물질에 관한 연구 (Cho and Seoh, [1988]), 수질의 시공간적 변화에 관한 연구 (Yang and Kim, [1990]; 김 등, [1998]). 등의 연구가 보고되었다. 그러나 본 연구와 같은 금강 하구인 갯벌에서의 탈질산화와 퇴적물로부터의 질소 용출에 관한 연구는 아직 보고된바 없다. 따라서 본 연구에서는 금강 하구인 수심 2-6 m 해역의 갯벌 (Fig. 1)에서 계절별로 퇴적물의 조성 과 오염도 그리고 질소 용출과 탈질산화를 측정하였다.

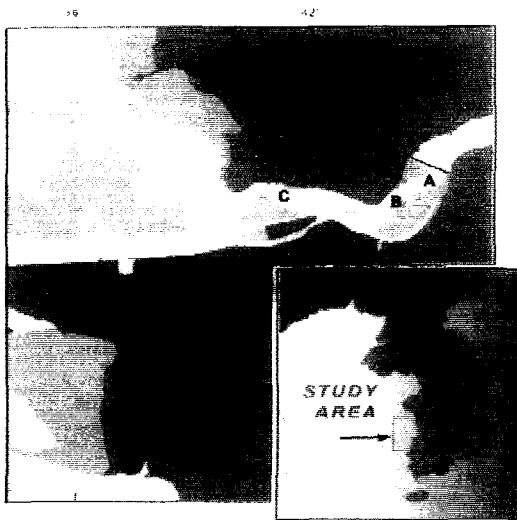


Fig. 1 Sampling stations in the Keum river estuary.

2. 2. 저질 조사

1999년 4월, 8월 및 11월에 금강 하구역 A, B, C 3 지점에서 코아 채니기를 이용하여 각 지점별로 저층의 퇴적물을 8개씩 채니하였다. 이때 직상수와 퇴적물간의 혼란이 없도록 주의하였으며, 퇴적물의 두께를 모두 10 cm 으로 조절한 후 아이스 박스에 넣어 현장온도와 비슷한 조건에서 곧바로 실험실로 옮겼다. 또한 현장의 수온을 기록하고 별도의 저층수를 채수한 후 퇴적물과 함께 실험실

로 옮겼다.

탈질산화 및 DIN 용출량 측정을 위한 배양이 끝난 코아내 퇴적물에 ORP 전극과 봉상 수은 온도계를 꽂아 퇴적물의 산화환원치와 온도를 측정했고, 각 코아의 퇴적층 상부 5 cm를 잘라 플라 스틱 용기에 옮긴 후 퇴적물의 입도분석과 강열감량 (IL)을 측정했다. 퇴적물의 입도 분석과 강열감량은 해양환경공정시험법 (해양수산부, [1998])에 따라 측정했고, 퇴적물의 산화·환원전위는 포화 염화은 전극 (ORION/720A mV pH meter)으로 측정하였으며, 황화수소 (H_2S)는 검지관법으로 측정하였다.

2. 3. 탈질산화 측정

연안에서의 질소수지 및 순환 그리고 질소의 지화학적 및 생태학적 중요성으로 인해 최근 연안 저층의 퇴적물에서의 탈질산화의 평가는 중요하게 인식되고 있다 (Seitzinger, [1993]). 퇴적물에서의 탈질산화 측정은 원래 토양에서 측정되어 왔다. 연안 퇴적물에서의 탈질산화 측정 방법으로는 아세틸렌 (C_2H_2) 억제법, ^{15}N 방사성 동위원소 측정법, 그리고 N_2 직접 측정법이 이용되고 있다 (Jensen et al., [1988]). C_2H_2 억제법은 아산화질소 (N_2O)의 환원 억제제인 아세틸렌을 주입할 때 퇴적물의 표층부가 혼란되고 직상수 중의 용존 산소와 질산질소의 농도가 변화되며, 아세틸렌 주입시 신속하고도 일정하게 주입하지 않을 경우 완전한 N_2O 의 환원 억제가 불가능한 경우도 발생된다. 또한, 저 농도의 질산질소 및 황화수소 존재시 N_2O 의 환원이 불가능한 경우도 발생하는 단점이 보고되고 있다 (Jensen et al., [1988]). 그러나, 배양시간이 짧고 재현성 및 감도가 높으며 질산화와 동시에 측정 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 최근 연안 퇴적물중에서의 탈질산화 측정방법으로 가장 많이 채택되고 있는 N_2 직접 측정법을 사용했다. 이 방법은 긴 배양시간 동안 직상수 중의 용존산소와 질산질소가 소모되고 오염 가능성이 발생할 수 있으나, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결한 후 탈질산화에 의해 최종 생성되는 N_2 을 직접 측정하는 이점을 이용했다. 구체적인 방법으로 현장에서 코아내 퇴적물의 두께를 각각 10 cm 로 조절한 후 현장 조건과 동일하게 유지하면서 실험실로 옮겨진 퇴적물 코아 직상수의 물을 마이크로 펌프를 이용하여 조용히 빼낸 후 다시 여과한 현장의 해수로 가득 채운 후 Zero 시간 때의 직상수를 채수하면서 모든 실험

협용 퇴적물 코아를 퇴적물 층 12 cm, 수층 11 cm, 공기층 8 cm 으로 조절하였다. 그 다음, 80 % He + 20 % O₂ 혼합가스로 코아내의 수층과 공기층을 3~5분간 통과시킨 후 공기가 혼입되지 않도록 주의하면서 실리콘 마개로 밀폐한 후 가스용 주사기를 이용하여 제로시간의 가스를 채취한 후 현장온도와 현장 광도 조건하에서 순환펌프를 이용해서 밀폐상태에서 직상수를 순환시키면서 배양했다. 배양 7일 및 10일에 Carrier Gas인 He을 통과시킨 Serum 병에 가스용 주사기를 이용하여 코아내의 가스를 채취하였다 (100 μ l). N₂ 표준가스를 이용하여 정성 및 정량 분석한 후, 검량선법을 이용하여 채취된 시료가스를 G.C (TCD)에 주입하여 N₂을 분석하였다.

가스 채취가 끝난 후 직상수는 DIN 용출실험에 이용하였으며 퇴적물은 온도, 황화수소, 강열감량 및 입도분석에 이용하였다. N₂ 분석에 이용된 기기는 DS 6200 Gas Chromatograph (DONAM Instruments INC.) 였고, 사용된 검출기는 TCD, 컬럼은 CR5, 8' \times 1/8" Stainless steel column packed with HayeSep Q 80/100 mesh 였다. 분석 조건으로 Oven 온도는 50 $^{\circ}$ C, Detector 온도는 130 $^{\circ}$ C, Injector 온도는 100 $^{\circ}$ C, Current는 120 mA, Carrier Gas는 He 25 ml/min으로 운전하였다. 탈질산화의 결과는 다음 식 <1>에 의해 계산되었다.

$$\text{Denitrification rate (m mole N}_2\text{/m}^2 \cdot \text{day)} = (\text{final N}_2 - \text{initial N}_2)/(\text{T} \cdot \text{A}) \quad (1)$$

여기서, T는 배양시간 (day), A는 퇴적물의 면적 (m²), final N₂는 배양후의 N₂ 가스농도, initial N₂는 배양전 최초의 N₂ 가스농도이다.

2. 4. 퇴적물과 수층간 DIN 플럭스 측정

연안해역의 부영양화와 적조예방을 위해서는 외부로부터 유입되는 질소와 인의 제어도 중요하지만 저층 퇴적물로부터 용출되는 질소와 인의 평가와 관리도 또한 중요하다. 퇴적물로부터 용출되는 영양염의 측정 방법은 현장에 Chamber를 투입한 후 시간에 따른 영양염의 농도 변화로부터 측정하는 방법이 있고, 현장 퇴적물을 채취한 후 현장 조건과 동일하게 실험실에서 배양하면서 퇴적물로부터 직상수 중으로 용출되는 영양염을 측정하는 방법이 있다. 또 다른 방법으로 Fick's 법칙에 근거한 수층과 퇴적물중의 영양염의 농도 차와 각

영양염 인자의 확산계수 및 퇴적물의 공극율에 따른 영양염의 용출량을 계산하는 방법들이 있다.

본 연구에서는 현장 조건을 최대한 고려한 두 번째 방법인 퇴적물 코아 실내 실험을 이용하였다. 먼저, 퇴적물 코아내 퇴적층의 두께를 각각 10 cm으로 조절하고 여과된 현장의 해수를 직상수로 채운 후 퇴적물 코아를 현장 온도 조건과 햇빛이 차단된 배양조에 넣어 탈질산화 실험과 함께 배양했다. 퇴적물과 수층간의 용존무기질소의 플럭스는 최초시간과 일정시간 배양 후 퇴적물 코아내 직상수 중의 NH₄⁺-N와 NO₂⁻-N + NO₃⁻-N의 농도 차로부터 다음 식 <2>을 이용하여 측정하였으며 실험에서 구한 NH₄⁺-N와 NO₂⁻-N + NO₃⁻-N의 플럭스를 합쳐 최종 DIN 플럭스를 평가했다.

$$\text{DIN Flux (m mol N/cm}^2 \cdot \text{day)} = (C_1 - C_i) \times \text{Vol./ T} \times \text{A} \quad (2)$$

여기서 C₁는 배양후 퇴적물 코아 직상수 중의 각 형태별 질소농도 (mg/l), C_i는 최초 퇴적물 코아 직상수 중의 각 형태별 질소농도 (mg/l), V는 직상수 용량(l), T는 배양시간 (day), A는 퇴적물 면적 (cm²)이다. 직상수 중의 NH₄⁺-N는 Indophenol법 (Sasaki and Sawada, [1980])으로, NO₂⁻-N + NO₃⁻-N는 Cu-Cd환원법 (APHA · AWWA · WPCF, [1980]) 및 NED법 (Bendtschneider and Robinson, [1952])으로 분석했다. DIN은 측정된 NH₄⁺-N와 NO₂⁻ + NO₃⁻-N을 합한 것으로 계산했다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 저질 결과

현장에서 채취된 금강 하구역 갯벌의 퇴적물 표층부 5 cm을 대상으로 입도조성을 분석한 결과, 8월과 11월 모래와 자갈 성분이 1.83 %와 0.53 %, 모래 성분이 29.21 %와 29.46 %, 점토 성분이 68.97 %와 70.0 %으로 국내의 다른 연안 갯벌과 유사한 조성을 보였다 (Table 1, Table 2 and Fig. 2). 퇴적물의 대략적인 유기물 함량을 나타내는 강열감량 (IL)은 8월에 4.7~8.9 (평균 6.3) %, 11월에 6.3~7.4 % (평균 7.0 %)으로 국내의 다른 오염이 심한 연안 갯벌의 IL치 보다 약간 낮았다. 11월 갯벌 퇴적물의 표층부 5 cm 층의 ORP를 측정된 결과, A 지점에서는 -23 mV, B지점에서는

6.0 mV, C지점에서는 -18 mV으로 거의 환원상태를 띠고 있어 탈질산화가 발생할 환경조건을 갖추고 있음을 알 수 있었다. 퇴적물 중 H₂S 농도는 8월에 0.33 mg/g·dry, 11월에 0.19 mg/g·dry으로 해양생물의 성장을 제한하는 0.20 mg/g·dry에 가까운 농도를 보이고 있어 퇴적물로부터 방출되는 황화수소가 저생생물에게 영향을 크게 끼칠 것으로 추정되었다.

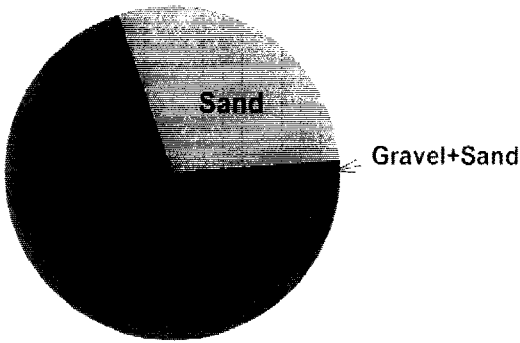


Fig. 2 The compositions of sediments in the Keum river estuary.

Table 1 Results of the composition, Ignition Loss and hydrogen sulfide in sediments of the Keum river estuary (Aug., 1999)

St. No.	Sediment composition (%)			IL(%)	H ₂ S (mg/g·dry)
	Sand+Gravel	Sand	Silt		
A	0.974	25.84	73.18	5.34	0.12
B	0.784	29.81	69.41	4.71	0.53
C	3.718	31.98	64.31	8.85	-
Mean	0.87	27.82	71.29	5.02	0.33

Table 2 Results of the composition, Ignition Loss and Oxidation Reduction Potential in sediments of the Keum river estuary (Nov., 1999)

St. No.	Sediment composition (%)			IL(%)	ORP (mV)
	Sand+Gravel	Sand	Silt		
A	0.34	30.37	69.28	7.03	-23.3
B	0.47	27.79	71.73	6.96	6.00
C	0.78	30.21	69.00	7.06	-18.3
Mean	0.53	29.46	70.00	7.02	-11.87

3. 2. 탈질산화 결과

N₂ 표준가스 (99.999 %)을 carrier gas로 세척한 1.5 ml vial 병에 45 μl, 90 μl, 135 μl 씩을 각각 주입하여 N₂ 농도를 각각 0.090 μ mole, 0.360 μ mole, 0.814 μ mole으로 만든 후 TCD 검출기가 부착된 GC에 주입하여 Chromatogram을 얻은 결과, 각각의 retention time이 거의 0.630분으로 나타났다 (Fig. 3). 표준 N₂ 가스의 정성 및 정량 분석 후 검량선법을 이용하여 퇴적물 코아에서 채취한 샘플가스를 N₂ 표준가스 분석방법과 동일하게 최최시간과 일정시간 배양 후의 시료가스 중의 N₂을 분석했다.

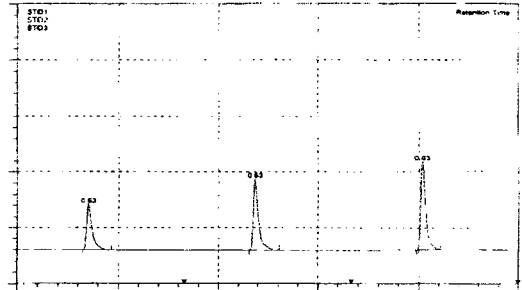


Fig. 3 Chromatogram of N₂ standard gas (99.999 %) by analysis of DONAM Gas Chromatograph (TCD), STD1(0.090 μ mol N₂) peak area is 1312790, STD2(0.360 μ mol N₂) peak area is 1911201, STD3(0.814 μ mol N₂) peak area is 2274546.

4월 금강 하구의 갯벌 퇴적물에서의 탈질산화 속도는 A지점에서 0.143 m mole N₂/m²·day, B지점에서 0.154 m mole N₂/m²·day, C지점에서 0.262 m mole N₂/m²·day으로 측정되어 평균 0.186 m mole N₂/m²·day의 탈질산화가 발생되고 있음을 알 수 있었다 (Table 3). 8월에는 A지점에서는 0.000 m mole N₂/m²·day, B지점에서 0.202 m mole N₂/m²·day, C지점에서 0.374 m mole N₂/m²·day으로 측정되어 평균적으로 0.192 m mole N₂/m²·day의 탈질산화가 이루어지고 있었다 (Table. 3). 11월에는 A지점에서 173 m mole N₂/m²·day, B지점에서 101 m mole N₂/m²·day, C지점에서 0.000 m mole N₂/m²·day으로 평균 91.3 m mole N₂/m²·day였다. 4월, 8월, 11월 3회에 걸친 지점별 평균적인 탈질산화는 A 지

Table 3 Denitrification rates in sediments of the Keum river estuary

Sampling Time	Apr. 99'			Aug. 99'			Nov. 99		
Sampling Station	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Denitrification rate (m mole N ₂ /m ² ·day)	0.143	0.154	0.262	0.00	0.202	0.374	173	101	0.00
Mean denitrification rate (m mole N ₂ /m ² ·day)	0.186			0.192			91.3		

점에서 57.7 m mole N₂/m²·day, B 지점에서 33.7 m mole N₂/m²·day, C 지점에서 0.21 m mole N₂/m²·day으로 금강 하구역 갯벌에서의 평균적인 탈질산화는 30.6 m mole N₂/m²·day으로 평가되었다. 지점별로는 금강 하구언 바깥쪽으로 갈수록 감소됨을 알 수 있었다 (Table 3 and Fig. 4). 이와 같은 공간적인 차이는 금강 하구언 안쪽의 퇴적물이 바깥쪽 보다 오염도가 높아 탈질산화

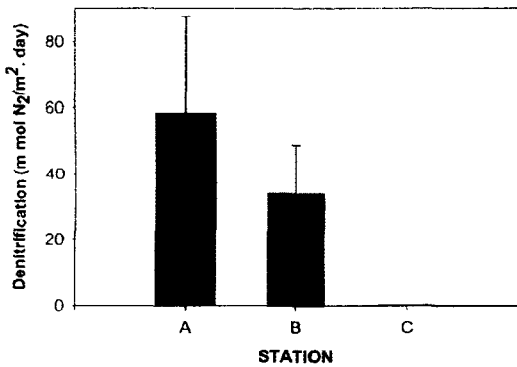


Fig. 4 Results of denitrification rates in sediment of the Keum river estuary.

의 기질인 질산성질소의 농도가 금강 하구언 안쪽의 퇴적물에 더 많이 함유하고 있기 때문으로 판단된다. 계절별 차이에 대해서는 탈질산화와 관련된 요인들 즉, 탈질산화의 기질인 퇴적물중의 질산질소의 농도, 퇴적물 중의 질산질소 농도 변화에 영향을 끼치는 질산화반응, 그리고 퇴적물의 온도, 퇴적물과 수층간의 질산질소의 농도 변화 등이 동시에 조사되지 않은 탓으로 그 계절적인 차이에 관한 명확한 결론은 밝힐 수 없으나, 11월에 높게 나타나고 있는 것은 여름과 가을에 탈질산화가 높게 관측되는 일반적인 경향으로 사료된다. 이와 같은 금강 하구언의 퇴적물 중의 탈질산화는 Jørgenson 과 Sørensen [1988] 이 C₂H₂ 역

대에서 조사 보고한 결과 (0.14~714 m mole N₂/m²·day) 보다는 낮았다. 그러나 Kemp et al. [1990] 가 Chesapeake만 수심 9-20 m에서 측정 한 탈질산화 0.623 m mole N₂/m²·day 그리고 Lohse et al. [1993] 가 Southeastern North Sea 에서 조사하여 보고한 0.192m mole N₂/m²·day, 또한 Kim et al. [1998] 이 Hiroshima만에서 보고한 0.00-1.67m mole N₂/m²·day 보다는 다소 높게 관측되었다. 금강 하구역 갯벌에서 이와 같은 탈질산화는 이 해역에서의 질소가 최종적으로 대기 중으로 방출되기 때문에 이 해역의 질소수지와 1차 생산성에도 큰 영향을 끼칠 것으로 판단되었다.

4. DIN Flux 결과

퇴적물과 수층간의 NH₄⁺-N의 플럭스는 4월에 A 지점에서 2.524 m mole N/m²·day으로 퇴적물에서 수층으로 용출 되었다. 반대로 B지점과 C 지점에서는 각각 -3.40 m mole N/m²·day과 -0.24 m mole N/m²·day으로 수층에서 퇴적층으로 침강되는 결과를 얻어 3회 평균적으로 -0.37 m mole N/m²·day의 플럭스를 보였다 (Table 4). 8월에 A 지점에서 43.8 m mole N/m²·day, B지점에서 21.6 m mole N/m²·day, C지점에서 36.5 m mole N/m²·day으로 세 지점 모두 퇴적물에서 수층으로 평균 34.0 m mole N/m²·day으로 용출되고 있었다. 11월에는 A지점에서 -0.04 m mole N/m²·day, B 지점에서 -0.27 m mole N/m²·day, C지점에서 0.01 m mole N/m²·day으로 A, B 지점에서는 침강되고 C 지점에서는 용출되는 결과값을 얻어 평균적으로 0.10 m mole N/m²·day으로 용출되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 김과 박 [1998] 이 7월과 10월 득양만 퇴적물에서 조사한 암모니질소의 용출량 1.45m mole N/m²·day 와 0.79m mole N/m²·day 보다는 다소 높은 결과를 보이고 있었다.

한편, 퇴적물과 수층간의 NO₂⁻ + NO₃⁻ -N의

Table 4 Results of DIN flux on the interface of sediment-water in the Keum river estuary (April, 1999)

Station No.	NH ₄ ⁺ -N Flux (m mole N/m ² ·day)			NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻ Flux (m mole N/m ² ·day)		
	Apr. 99	Aug. 99	Dec. 99	Apr. 99	Aug. 99	Dec. 99
A	2.524	43.83	-0.042	0.000	0.000	-12.20
B	-3.397	21.63	-0.273	0.943	1.573	0.000
C	-0.241	36.48	0.012	0.000	0.000	-0.164
Mean (m mole N/m ² ·day)	-0.371	33.98	0.102	0.314	0.524	-4.121
Total mean(m moleN/m ² ·day)	11.24			-1.094		
DIN Flux (m molN/m ² ·day)	10.15					

플럭스는 4월에 A지점에서 0.000 m mole N/m²·day, B지점에서 0.943 m mole N/m²·day, C지점에서 0.000 m mole N/m²·day으로 B 지점에서만 용출되었다 (Table 3). 마찬가지로 8월에는 A지점에서 0.000 m mole N/m²·day, B지점에서 1.573 m mole N/m²·day, C지점에서 0.000 m mole N/m²·day의 플럭스를 보였다. 11월에는 A지점에서 -12.20 m mole N/m²·day, B지점에서 0.000 m mole N/m²·day, C지점에서 -0.164 m mole N/m²·day으로 4월과 8월과는 달리 수층에서 퇴적층으로 침강하고 있었다. 이와 같이 퇴적물과 수층간의 암모니아질소와 아질산질소 및 질산질소의 플럭스는 시공간적으로 어떤 일정한 경향으로 나타나지 않고 용출과 침강이 반복되는 것으로 보아 이들의 플럭스를 정확히 파악하기 위해서는 탈질산화와 마찬가지로 퇴적물과 수층에서의 관련 인자들의 농도와 환경조건을 동시에 조사할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

3회에 걸친 암모니아질소와 아질산질소 및 질산질소의 플럭스로부터 구한 DIN 플럭스는 A 지점에서 11.4 m mole N/m²·day, B 지점에서 6.83 m mole N/m²·day, C 지점에서 12.0 m mole N/m²·day으로 금강 하구역에서의 평균적인 DIN 플럭스는 10.2 m mole N/m²·day으로 평가되었다 (Table 4 and Fig. 5). 이와 같이 퇴적물로부터의 용존성 무기질소의 수층으로의 공급은 수중 생물생산과 조류증식에 중요한 영향을 끼칠 것으로 사료되며, 이 해역에서의 질소수지에도 반드시 고려되어야 할 부분으로 판단되었다.

후 기

본 논문은 학술진흥재단 과학기술기초 중점연구 과제로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] 김도희·박청길, 1998, 득양만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가, 한국환경과학회, Vol.7, No.4, 425-431.
 [2] 김종구, 유선재, 권정노, 1998, 금강하구둑 건설후의 수질변화, 한국수산학회, Vol.31, No.5, 685-694.
 [3] 村上 影男, 1992, 바다에 관한 제언(폐쇄성 해역의 환경개선과 지속적인 바다의 이용을 위한 합리적인 시책), 산업과 공해, Vol.28, No.12, 2-10.
 [4] 해양수산부, 1998, 해양환경공정시험법, 142-155.
 [5] APHA·AWWA WPCF, 1980, Standard Method for the Examination of Water and Waste Water, 15th ed., Am er. Public Health

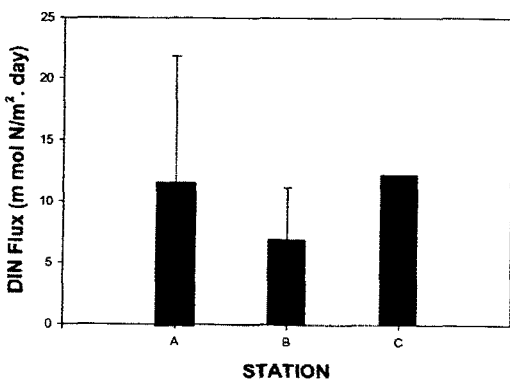


Fig. 5 Results of DIN fluxes in sediment-water interface of the Keum river estuary.

- Ass., Washington D. C., 370-373.
- [6] Bendschneider, K. and Robinson, R. J., 1952, A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, Vol.11, 87-96.
- [7] Cho, H. Y., K. H. Ra and S. U. Hong, 1978, A study on the relationship of the physical and chemical environmental factors and benthos in the Keum River water, *Korean J. Limnol.*, Vol.11, No.1-2, 7-15.
- [8] Cho, J. W. and M. S. Sech, 1988, Annual variation characteristics of suspended solid in the Keum River estuary. *J. of Korean Earth Sci. Soc.*, Vol.9, No.2, 142-162. (in Korean)
- [9] Chung, J. Y., J. H. Lee and H. S. An, 1983, Circulation dynamics of the Keum River estuary I. Variability of the salinity boundary layer. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, Vol.18, No.2 142-148. (in Korean)
- [10] Jensen M. H., T. K. Andersen and J. Sørensen, 1988, Denitrification in coastal bay sediment: regional and seasonal variation in Aarhus Bight, Denmark. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol.48, 155-162.
- [11] Jørgensen, K. S. and J. Sørensen, 1988, Two annual maxima of nitrate reduction and denitrification in estuarine sediment (Norsminde Fjord, Denmark). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol.48, 147-153.
- [12] Kemp, W. M., S. J. Caffrey and M. Mayer, 1990, Ammonium recycling versus denitrification in Chesapeake Bay sediments, *Limnol. Oceanogr.*, Vol.35. 1545-1563.
- [13] Ki, J. H. and K. D. Kim, 1987, Studies on chemical and biological processes in the Keum river estuary, Korea II. Factors controlling chlorophyll-a distribution, *J. Oceanogr. Soc. Korea*, Vol.22, No.3, 207-215.
- [14] Kim D. H. and Osamu Matsuda, Tamiji Yamamoto, 1997, Nitrification, denitrification and nitrate reduction rates in the sediment of Hiroshima Bay, *Journal of Oceanography*, Vol. 53, 317-324.
- [15] Lohse, L., F. P. M. Johannes, P. S. Caroline, H. Willem and V. R. Wim, 1993 Nitrogen cycling in North Sea sediments: interaction of denitrification and nitrification in offshore and coastal areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol.101, 283-296.
- [16] Oh, S. H. and G. H. Lee, 1985, Hydrographic and physiochemical water quality of Keum River. *Bull. KACN*, Vol.7. 5-16. (in Korean)
- [17] Sasaki, K. and Sawada, Y., 1980, Determination of ammonia in estuary. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, Vol.46, 319-321.
- [18] Seitzinger, S. P. (1993): Denitrification and nitrification rates in aquatic sediments. *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology.*, 633-642.
- [19] Yang, H. S. and S. S. Kim, 1990, Characteristics of spatio temporal variation of the water quality in the lower Keum river. *J. Korean Fish. Soc.*, Vol.23, No.3, 225-237. (in Korean)