

곰소만에서의 오염물질 플럭스 및 탈질산화

김도희⁽¹⁾, 양재삼⁽²⁾

Denitrification and COD, TN and SS fluxes in Komso Bay, Korea

by
Do-Hee Kim⁽¹⁾ and Jae-Sam Yang⁽²⁾

Abstract

We measured the fluxes of COD, TN and SS in addition to composition and quality of sediment in Komso Bay, West Coast of Korea. The fluxes of TN, SS and COD were measured during flood tide and ebb tide in April and August, 2000. Denitrification rates in the sediments was also measured by direct produced N_2 gas technique on April and August from 1999 to 2000 in the same sea area. The composition of the sediments were 0.33~5.67 % of sand, 20.2~25.6 of gravel and 68.7~77.0 % of silt. Ignition loss of the sediments were 6.58~7.50 %. The concentration of hydrogen sulfide in the sediments were 0.028~0.326 mg/g·dry and oxidation reduction potential of the sediments were -28~-15 mV. Diurnal fluxes of COD, total nitrogen, and suspended solids with tidal current and denitrification rate in the tidal flat have been determined in Komso Bay. The diurnal net flux of COD was same in April. While 14.4 ton COD/hr of net influx into the tidal flat was recorded in August. The diurnal net influx of total nitrogen was 0.16 ton N/hr in April and 1.13 ton N/hr in August. The diurnal net influx of suspended solids was 0.05 ton SS/hr in April, and also net influx of suspended solids was 0.29 ton SS/hr in August. The overall purification ability of the tidal flat were estimated 0.00~5.69 g COD/m²/day, 0.06~0.45 g N/m²/day and 0.02~0.12 g SS/m²/day for COD, TN and SS, respectively. Denitrification rate was 0.009~1.720 m mole N_2 /m²/day (average 0.702 m mole N_2 /m²/day) in April and 0.033~0.133 m mole N_2 /m²/day (average 0.077 m mole N_2 /m²/day) in August, 1999. 0.000~1.909 m mole N_2 /m²/day (average 0.756 m mole N_2 /m²/day) in April, 0.000~1.697 m mole N_2 /m²/day (average 0.392 m mole N_2 /m²/day) in August, 2000. Even with a wide range of denitrification rate depending on the sampling location and studied periods, the average denitrification rate was estimated 0.482 m mole N_2 /m²/day in the tidal flat of Komso Bay.

Keywords: Denitirification, flux, self purification capacity, tidal flat

(1) 정회원, 목포해양대학교 해양시스템공학부, doking@mmu.ac.kr

(2) 군산대학교 해양정보과학과

1. 서 론

조간대 갯벌에는 부유물질과 용존성물질들이 침전, 여과되며, 호기·혐기 과정에 의해서 영양염류가 소화, 분해되는 등 오염물질들이 자연적으로 정화되고 있다. 또한, 메탄가스나 이산화탄소, 황 및 산화이질소(N_2O) 등이 대기와 교환하고 있어 지구 규모의 기후를 조절하고 있다. 그 외 갯벌에는 식물의 뿌리가 퇴적층을 결합해서 지반을 안정화시켜 파도와 태풍 등의 재해에 대해 방호벽의 기능도 가지고 있다. 더구나 해안선을 따라 형성되어 있는 모래와 갯벌은 해수욕장으로도 이용되고 있어 레크레이션, 교육, 경관 등 심미적으로도 중요한 가치를 지니고 있다.

특히, 조간대 갯벌에서는 조석에 의해서 해수의 유입과 유출이 반복되는 동안에 물리, 화학 및 생물학적과정을 통해서 오염물질들이 자연적으로 정화되고 있다. 특히, 생물학적 탈질산화 과정은 해역으로 유입된 질소를 최종적으로 대기중으로 제거되는 정화기능을 담당하고 있다 (Kemp et al.[1990]).

본 논문에서는 갯벌이 가진 여러 가지 기능 중에서 조석에 의한 COD, TN, SS 등의 오염물질의 유출입에 따른 오염물질의 플럭스의 평가와 갯벌에서의 탈질산화에 의한 질소 제거량을 측정하여 대상 해역의 갯벌에서의 오염물질의 정화기능을 정량적으로 평가하고자 하였다.

갯벌에서의 오염물질 정화능력을 평가하는 방법으로는, 대상 갯벌에서 각 오염물질의 물질 순환을 개별적으로 파악하는 방법이 있고 (Nakada and Hata[1994]), 조사 대상 갯벌을 하나의 Box로 설정하여 창조시와 낙조시에 유입 하천수와 함께 외부 해역간의 해수교환에 따라 오염물질의 물질수지를 이용하여 평가하는 방법이 있다 (佐佐木[1994]). 그러나 이들 방법에는 갯벌 생태계를 구성하는 여러 생물들의 대사활동, 해역의 경계조건 설정, 퇴적물의 조사, 간만이 반복되는 갯벌 현장에서의 오염물질의 유·출입의 실측 등 여러 가지 어려운 문제점들이 있다.

따라서 본 논문에서는 연구의 편리성과 정확성을 위해 외부로부터 하천유입과 오염원이 전혀 없는 갯벌지역을 선정해서 단지 조석 (潮汐)에 의해서 대상 해역의 갯벌이 실제 얼마만큼 COD, TN 및 SS가 제거하는지 아니면 얼마만큼 이들 오염물질들을 외부 해역으로 공급하는지를 밝히고자 하였다. 아울러 조사해역에서 탈질산화를 측정하여 동일한 조사 해역의 갯벌에서 얼마만큼의 질소가 탈질산화에 의해서 제거되는지를 비교하고자 하였다.

2. 조사해역 및 방법

2.1 퇴적물의 조성 및 오염도 평가

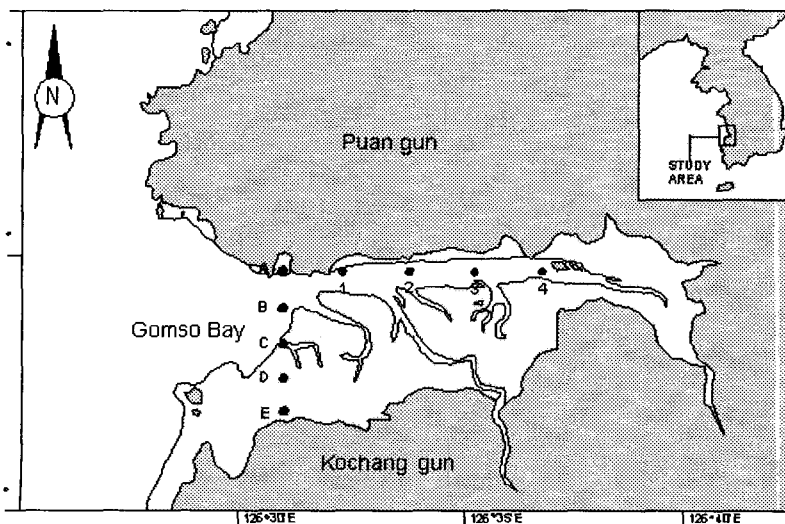


Fig. 1 The sampling site in the Gomso Bay

하천, 농·수·축산시설 및 주거시설이 전혀 없는 전북 부안군 곰소만 갯벌에서 Fig. 1의 조사정점 1, 2, 3, 4 지점에서 각각 8회씩 코아 채취기를 이용하여 현장의 퇴적물의 상하층이 혼란되지 않게 채취하였다. 먼저 4개는 퇴적물 표층 10 cm를 채취하여 현장에서 산화환원전위(Oxidation Redution Potential : ORP)와 황화수소(H₂S)을 측정하고 실험실로 옮겨 강열감량 (Ignition Loss : IL)과 퇴적물의 입도조성을 조사하였다. 나머지 4개는 그대로 실험실로 옮겨서 퇴적물의 탈질산화를 측정하였다. 퇴적물의 입도분석과 강열감량은 해양환경공정시험법 (해양수산부[1998])에 따라 분석하였고, 퇴적물의 산화·환원전위는 포화 염화은 전극 (ORION/720A mV pH meter)으로, 황화수소는 검지관법으로 측정하였다.

2.2 조석에 의한 오염물질의 플럭스 평가

조사 대상 해역에서의 오염물질의 플럭스를 조사하기 위해 경계지점인 정점 A, B, C, D, E (Fig. 1)에서 간만의 조차가 가장 큰 대조기에 창조 (flood tide)와 낙조 (ebb tide) 동안 2시간 간격으로 24시간 연속적으로 표층수와 저층수를 채수하여 화학적산소요구량(COD), 총질소(TN), 부유물질(SS) 및 염분의 농도를 각각 측정하였다. 해수층의 COD, TN, SS 및 염분 농도는 해양환경공정시험법 (해양수산부[1998])에 따라 분석하였다. TN의 정량 범위는 0.005~0.05 mgN이고 표준편차는 3~10%이다. SS의 측정범위는 5 mg/l 이상이며 표준편차는 200 mg/l에서 ±10 mg/l이다 (해양수산부[1998]).

각 지점별 표층수와 저층수에서의 COD, TN, SS의 농도를 이용하여 각 수괴별 COD, TN, SS의 평균 농도를 구한 후, 대상 해역에서의 COD, TN, SS의 평균농도와 해수 교환량으로부터 조석에 따른 각 구간별 COD, TN, SS의 플럭스를 구하였다. 각 구간별 COD, TN, SS의 플럭스로부터 대상 해역 전체에서의 COD, TN, SS의 플럭스를 구하였으며, 최종적으로 조사된 갯벌면적에서 시간당 얼마만큼의 COD, TN, SS가 제거 또는 외부해역으로 공급하는지를 평가하였다.

대상 갯벌의 면적 계산은 1:50000 지형도에 나타난 대상 해역의 전체 면적과 갯벌 면적을 구적기 (X-PLAN 360D2)를 이용하여 계산하였다. 조사 대상 해역의 전체 면적은 72 km²이며 그 중

에서 갯벌의 면적은 60.7 km²이다.

각 해역의 평균 염분농도의 변화는 하천수의 유입과 증발, 강우 및 각 해역간의 해수교환에 의해서 좌우되기 때문에 (1)식과 같이 표현된다 (柳 등[1985]). 따라서 보존 물질인 염분을 지표로 해서 만 내부와 만 외부 해역간의 해수 교환량을 (1)식을 이용하여 계산하였다. 염분농도는 같은 기간에 만 내부와 만 외부에서 표층 및 저층에서 측정한 자료를 이용하였고, 강수량과 증발량의 자료는 인근 지역인 부안군 기상관측소의 자료를 인용하였다.

$$V\left(\frac{\Delta S}{\Delta t}\right) = Q(S_2 - S_1) - F \cdot S_1 - R \cdot S_1 \quad (1)$$

여기서 t는 시간, S₁는 만 내부에서의 평균 염분농도, S₂는 만 외부에서의 평균 염분농도, V는 만 내부의 체적 Q는 만 내부와 만 외부와의 시간당 해수교환량 (m³/month), F는 만 내부로의 하천수 유입량 (m³/month), R은 만 내부와 만 외부에서의 1개월간 강수량과 증발량과의 차 (m³/month)이다.

해역의 체적, 각 해역에서의 평균 염분농도 및 강수량에서 증발량을 뺀 순강수량을 (1)식에 대입해서 시간당 해수 교환량을 구하였다. 단 조사 해역에는 하천수의 유입이 전혀 유입되고 있지 않기 때문에 무시하였다.

현장에서 측정한 각 오염물질의 농도와 (1)식에서 구해진 해수 교환량을 기초로 해서 COD, TN 및 SS의 교환량을 (2)식에 대입해서 각각의 오염물질의 플럭스를 구하였다.

$$\text{만 내부와 만 외부와의 COD, TN 및 SS의 교환량} : \Phi = Q(C_2 - C_1) \quad (2)$$

여기서 Q는 해수교환량, C₁는 만 내부에서의 COD, TN 및 SS의 농도, C₂는 만 외부에서의 COD, TN 및 SS의 농도이다.

2.3 갯벌에서의 탈질산화 측정

최근, 탈질산화의 측정은 아세틸렌 억제법과 N₂ 측정법 및 ¹⁵N 측정법 등이 이용되고 있으나, 본 연구에서는 직접적인 N₂ 측정법 (Seitzinger[1993])을 이용하였다. 현장에서 채취된 퇴적물코아를

실험실로 옮겨 퇴적물코아내의 직상수의 물을 마이크로 펌프를 이용하여 조용히 빼낸 후 여과된 현장의 해수로 채워 넣었다 (12 cm 까지는 퇴적물, 다음 11 cm는 물, 나머지 8 cm는 공기층으로 조절). 다음으로 퇴적물 코아내의 N₂ 가스의 Background 농도와 용존산소의 조절을 위해 80% He + 20% O₂ 가스로 코아내의 수층과 공기층을 3~5분간 통과시켰다.

제로시간의 가스 및 직상수를 채수한 후, 현장의 수온과 光 조건하에서 순환펌프를 이용해서 밀폐된 상태하에서 코아내 직상수를 순환하면서 7일동안 배양한 후 제로시간과 7일 배양 후의 실험코아내의 수층 및 가스층내의 N₂ 농도 변화로부터 탈질산화를 측정하였다. Carrier Gas인 He 가스로 씻은 Serum 병에 가스용 주사기를 이용하여 퇴적물 코아내의 가스를 포집 (100 μl)하였다. N₂ 표준가스를 이용 정성 및 정량분석한 후, 검량선법을 이용하여 채취된 시료가스를 G.C (TCD)에 주입해서 N₂을 분석하였다.

이용된 분석기기는 DS 6200 Gas Chromatograph (DONAM Instruments INC.) 이었고, 사용된 검출기는 TCD, 컬럼은 CR5, 8' ~ 1/8"Stainless steel column packed with HayeSep Q 80/100 mesh 였다. 분석조건은 Oven 온도가 50℃, Detector 온도는 140℃, Injector 온도는 100℃, Current는 120 mA, Carrier Gas는 He 25 ml/min에서 운전되었다.

현장에서 채니된 퇴적물 상부 5 cm을 대상으로 입도조성을 분석한 결과, 곰소만 퇴적물의 입도 조성은 모래+자갈 성분이 0.32~5.67% (평균 3.01%), 모래 성분이 20.0~25.6% (평균 23.0%), 점토 성분이 68.7~77.0% (평균 74.0%)을 함유하고 있었다(Table 1). 계절별 지점별 차이는 크게 나타나지 않았고 대체로 다른 해역에 비해 모래 성분이 많이 함유된 갯벌임을 알 수 있었다.

퇴적물층의 대략적인 유기물 함량을 나타내는 강열감량은 6.58~7.50%으로, 김과 박[1998]이 보고한 오염의 정도가 낮은 남해 득양만 퇴적물층의 강열감량치 6.25%와 거의 비슷한 수치를 보였다 (Table 1). 그러나 6.71~9.83%으로 보고된 일본의 동경만 (Ogura and Matsunobu[1992])과 7.04~12.0%으로 보고된 폐쇄성이 강한 일본의 히로시마 만에서 조사한 김[1996]의 결과보다는 낮게 나타났다.

검지관법으로 측정된 황화수소 (H₂S) 농도는 1999년 4월에 0.056~0.622 (평균 0.326) mg/g 였고, 2000년 4월에는 0.007~0.050 (평균 0.028) mg/g·dry으로 관측되었다 (Table 2). 현장에서 퇴적물을 채취한 후 ORP 전극을 꽂아 산화환원치를 측정한 결과, 1999년 4월에는 -74~51 (평균 -15) mV, 2000년 4월에는 -38~-16(평균 -28) mV 으로 환원 및 산화 상태가 번갈아 나타나고 있는 것으로 관측되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 곰소만 퇴적물의 조성 및 오염도

3.2 COD, TN 및 SS 플럭스

조석에 따른 해수 중의 오염물질의 농도를 측정 한 결과, 4월에 COD 농도는 창조시 A지점에서 평균 0.7 mg/l, B지점에서 0.8 mg/l, C지점에서

Table 1 Composition of sediments in Komso Bay

Sampling time	Sand+Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)
Apr., 1999	5.67±1.45	25.6±8.20	68.7±18.4
Aug., 1999	3.05±1.50	20.0±10.6	77.0±201
Apr., 2000	0.32±0.10	23.4±11.7	76.2±22.3

Table 2 Results of sediment quality in Komso Bay

Sampling time	H ₂ S(mg/g)	IL(%)	ORP(mV)
Apr., 1999	0.326±0.12	6.58±1.45	-15
Apr., 2000	0.028±0.01	7.50±2.34	-18

0.8 mg/l, D지점에서 1.0 mg/l, E지점에서 1.2 mg/l 였다. 한편, 낙조시에는 A지점에서 0.9 mg/l, B지점에서 0.9 mg/l, C지점에서 0.8 mg/l, D지점에서 1.1 mg/l, E지점에서 0.8 mg/l 였다 (Table 3). 창조시와 낙조시의 COD 농도와 해수 교환량으로부터 COD의 시간당 플럭스를 구한 결과, 창조 시에 시간당 평균 21.6 ton의 COD가 유입되고 낙조 시에도 시간당 평균 21.6 ton의 COD가 유출되고 있는 것으로 나타나 창조와 낙조 시 COD의 유출입량이 동일한 것으로 평가되

었다.

동일한 측정과 계산 방법으로 구한 8월의 COD 플럭스는 창조시 평균 83.0 ton COD/hr 가 유입되고, 낙조 시에는 468.6 ton COD/hr가 유출되어 창조 시에 유입된 COD가 낙조 시에 더 적은 양의 COD가 유출되고 있어 조사 해역은 시간당 평균적으로 14.4 ton의 COD를 수용하는 것으로 평가되었다 (Table 4). 이를 조사 대상의 갯벌 면적으로 계산하면 5.69 g COD/m²/day의 정화 능력이 있음을 알 수 있었다. 4월에 비하여 8월

Table 3 Concentrations and fluxes of COD during flood tide and ebb tide in Komso Bay (April, 2000)
tidal flat area : 60.7 km²

Flood tide						Ebb tide					
Sampling time	COD (mg/l)					Sampling time	COD (mg/l)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
4/28, 16:30	1.2	1.0	0.8	0.4	2.8	4/28, 14:30	0.8	0.4	0.8	-	1.2
18:30	0.4	1.2	0.8	1.2	1.2	24:30	0.4	0.8	0	1.4	0.4
20:30	0.6	0.4	0.8	1.2	0	4/29, 02:30	1.4	1.6	1.4	0.8	0.4
22:30	0.4	0.4	0.6	0.4	0.8	04:30	1.6	1.4	1.2	1.4	1.6
4/29, 06:30	1.2	0.8	1.2	1.6	1.6	12:30	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4
08:30	0.8	0.4	1.2	1.2	1.2	Mean	0.9	0.9	0.8	1.1	0.8
10:30	0.8	1.2	0.8	1.2	0.8						
Mean	0.7	0.8	0.8	1.0	1.2						
Flux (tonCOD/hr)	16.8	19.2	19.2	24.0	28.8	Flux (tonCOD/hr)	21.6	21.6	19.2	26.4	19.2

Table 4 Concentrations and fluxes of COD during flood tide and ebb tide in Komso Bay (August, 2000)
tidal flat area: 60.7 km²

Flood tide						Ebb tide					
Sampling time	COD (mg/l)					Sampling time	COD (mg/l)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
8/18, 18:00	5.4	5.5	3.5	3.2	2.5	8/18, 20:00	3.5	4.3	3.4	3.7	3.4
8/19, 02:00	2.2	2.6	2.6	2.4	2.4	8/19, 08:00	2.7	2.4	3.7	0.2	3.1
04:00	3.5	3.2	3.7	0.2	3.1	10:00	2.4	4.4	2.8	3.3	1.8
14:00	4.6	4.9	5.4	5.8	4.3	12:00	3.0	2.8	2.4	1.6	2.3
16:00	3.4	2.9	2.9	2.6	3.3	Mean	2.9	3.5	3.1	2.2	2.6
Mean	3.8	3.9	3.6	2.9	3.1						
Flux (tonCOD/hr)	91.2	93.6	86.4	69.6	74.4	Flux (tonCOD/hr)	69.6	84.0	74.4	52.8	62.4

에 COD의 정화력이 높은 것은 4월에 비해 8월에 식물플랑크톤을 비롯한 생물의 활성이 높아 고차 생물로의 생물전환이 높고 4월에 비하여 8월의 우기에 의한 COD의 유입이 많았기 때문으로 생각된다.

본 조사의 결과는 東京都環境科學研究所가 일본의 동경만 갯벌에서 조사 보고한 0.96 g COD/m²/day의 결과 (佐佐木[1994])와 비교하면 아주 높은 정화력을 보이고 있다. 본 연구 조사 해역의 인접 지역에는 하천과 주거지 및 농축산 시설이 없는 지역으로 외부로부터의 오염물질의 유입이 없는 점을 고려한다면, 조사된 갯벌의 정화능력은 대단히 높은 것으로 사료된다. 국내의 유와 김[1999]이 서해안의 갯벌을 대상으로 반응기 (20×10×10cm)를 이용한 갯벌 정화력의 조사에서 보고된 결과 (0.13 g COD/m²/day)와 비교하여도 본 조사 해역의 COD의 정화력은 상당히 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 갯벌의 정화력의 차이는 조사해역이 다른 이유와 측정방법의 차이 때문인 것으로 사료된다.

갯벌의 오염물질의 자연 정화효과를 인위적인 오염물질의 처리시설과 비교할 수 있다. 예를 들면, 1998년에 완공된 목포시 수질환경사업소 (하수종말처리장)의 경우, 처리장의 면적은 86,361 m², COD제거율이 60%, 유입 COD 농도가 약 26 mg/l, 하루 처리용량이 60,000 ton을 기준하여 제

거되는 COD양을 계산하면, 10.8 g COD/m²/day이다. 그러나 하수종말처리장의 경우에는 하수관거의 공사, 하수종말처리장의 설계 및 시공비, 운전 유지 관리비, 슬러지의 2차 처리 문제뿐만 아니라 질소와 인이 제거 안 되는 점들을 고려한 비교가 이루어져야 된다고 생각된다.

조석에 따른 4월 TN의 농도는 창조 시에 A지점에서 평균 0.026 mg/l, B지점에서 0.024 mg/l, C지점에서 0.020 mg/l, D지점에서 0.011 mg/l였다. 한편, 낙조 시에는 A지점에서 0.007 mg/l, B지점에서 0.012 mg/l, C지점에서 0.014 mg/l, D지점에서 0.022 mg/l였다 (Table 5). 창조시와 낙조시의 총 질소 농도와 해수교환량으로부터 구한 TN의 플럭스는 창조 시에 평균 0.486 ton N/hr으로 유입되고, 낙조 시에는 평균 0.330 ton N/hr으로 유출되어 조사된 갯벌이 시간당 0.156 ton의 총질소를 수용하는 것으로 평가되었다. 이를 조사 해역의 전체 갯벌 면적 (60.7 km²)을 기준으로 계산하면 질소의 정화능력은 0.062 g N/m²/day으로 평가되었다 (Table 5).

한편, 동일한 방법으로 구한 8월의 총질소의 플럭스는 창조 시에 3.144 ton TN/hr으로 유입되어 낙조 시에 2.011 ton TN/hr으로 유출되어 조사 해역은 시간당 평균 1.133 ton의 총질소를 수용, 정화하는 것으로 평가되었다. 이는 조사 해역의 갯벌 면적이 0.448 g TN/m²/day의 정화 능력

Table 5 Concentrations and total nitrogen flux during flood tide and ebb tide in Komsu Bay (April, 2000)
tidal flat area: 60.7 km²

Sampling time	Flood tide				Sampling time	Ebb tide			
	TN (mg/l)					TN (mg/l)			
	A	B	C	D		A	B	C	D
4/28, 16:30	0.002	0.053	0.013	0.002	4/28, 14:30	0.003	0.001	0.001	0.033
18:30	0.001	0.004	0.001	0.006	24:30	0.004	0.001	0.001	0.007
20:30	0.078	0.008	0.007	0.001	4/29, 02:30	0.009	0.025	0.040	0.005
22:30	0.005	0.005	0.001	0.004	04:30	0.012	0.022	0.021	0.007
4/29, 06:30	0.001	0.028	0.029	0.051	12:30	0.005	0.009	0.005	0.057
08:30	0.091	0.032	0.060	0.004	Mean	0.007	0.012	0.014	0.022
10:30	0.002	0.040	0.027						
Mean	0.026	0.024	0.020	0.011					
Flux (tonTN/hr)	0.624	0.576	0.480	0.264	Flux (tonTN/hr)	0.168	0.288	0.336	0.528

이 있음을 시사하고 있다 (Table 6). 4월에 비하여 8월에 총질소의 정화율이 높은 것은 8월의 하계에 강우에 의한 외부로부터의 많은 질소 유입과 기상 및 해양조건에 따른 영향으로 추정된다.

창조 시 4월에 SS의 농도는 A지점에서 평균 0.013 mg/l, B지점에서 0.014 mg/l, C지점에서 0.011 mg/l, D지점에서 0.012 mg/l, E지점에서 0.015 mg/l 였다. 한편, 낙조시에는 A지점에서 0.009 mg/l, B지점에서 0.009 mg/l, C지점에서 0.006 mg/l, D지점에서 0.0151 mg/l, E지점에서

0.015 mg/l 였다 (Table 7). 창조 시와 낙조시의 각 지점에서 SS의 농도와 해수 교환량으로부터 구한 SS의 플럭스는 창조 시에 평균 0.31 ton SS/hr으로 유입되고 낙조 시에 평균 0.26 ton SS/hr으로 유출되고 있어 조사 해역의 갯벌이 시간당 0.05 ton의 부유물질을 수용하는 것으로 평가되었다. 이를 조사 해역의 전체 갯벌 면적을 기준으로 계산한 부유물질의 정화능력은 0.02 g SS/m²/day으로 평가되었다 (Table 7).

4월과 동일한 측정방법과 계산방법으로 구한 8

Table 6 Concentrations and total nitrogen flux during flood tide and ebb tide in Komso Bay (August, 2000) tidal flat area: 60.7 km²

Flood tide						Ebb tide					
Samplin time	TN (mg/l)					Sampling time	TN (mg/l)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
8/18, 18:00	0.241	0.341	0.375	0.012	0.005	8/18, 20:00	0.217	0.243	0.286	0.012	0.005
8/19, 02:00	0.177	0.240	0.279	0.009	0.005	8/19, 08:00	0.082	0.272	0.317	0.006	0.005
04:00	0.124	0.390	0.365	0.007	0.005	10:00	0.063	0.009	0.163	0.005	0.005
14:00	0.026	0.009	0.309	0.005	0.005	12:00	0.036	0.010	0.286	0.005	0.005
16:00	0.021	0.015	0.322	0.005	0.005	Mean	0.100	0.134	0.263	0.007	0.005
Mean	0.118	0.199	0.330	0.006	0.002						
Flux (tonTN/hr)	2.832	4.776	7.920	0.144	0.048	Flux (tonTN/hr)	0.240	3.216	6.312	0.168	0.120

Table 7 Concentrations and fluxes of suspended solid during flood tide and ebb tide in Komso Bay (April, 2000) tidal flat area: 60.7 km²

Flood tide						Ebb tide					
Sampling time	SS (mg/l)					Sampling time	SS (mg/l)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
4/28, 16:30	0.011	0.006	0.011	0.005	0.007	4/28, 14:30	0.009	0.011	0.009	0.052	0.033
18:30	0.009	0.006	0.007	0.006	0.005	24:30	0.001	0.007	0.005	0.005	0.007
20:30	0.015	0.011	0.008	0.020	0.009	4/29, 02:30	0.017	0.016	0.004	0.003	0.005
22:30	0.009	0.007	0.008	0.007	0.015	04:30	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005
4/29, 06:30	0.033	0.027	0.023	0.026	0.027	12:30	0.013	0.005	0.008	0.013	0.023
08:30	0.005	0.010	0.008	0.009	0.031	Mean	0.099	0.133	0.263	0.007	0.005
10:30	0.009	0.030	0.012	0.011	0.011						
Mean	0.117	0.199	0.330	0.007	0.004						
Flux (tonSS/hr)	0.312	0.336	0.264	0.288	0.360	Flux (tonSS/hr)	0.216	0.216	0.144	0.360	0.360

월의 SS의 플럭스의 경우 창조시에 평균 1.63 ton SS/hr였고, 낙조 시에는 평균 1.34 ton SS/hr으로 유출되어 조사해역이 시간당 0.29 ton의 부유물질을 수용하여 0.12 g SS/m²/day의 정화력이 있는 것으로 평가되었다 (Table 8). 이는 총질소의 플럭스와 마찬가지로 4월에 비하여 8월에 부유물질의 정화력이 높은 것은 계절적인 차이인 것으로 생각된다.

3.3 곰소만 갯벌에서의 탈질산화

Carrier gas (He Gas)을 흘려 세척한 1.5 ml vial 병에 질소 (N₂) 표준가스 (99.999 %)을 45 μ l, 90 μ l, 135 μ l을 각각을 GC (TCD)에 주입하여 Chromatogram을 얻은 결과 r²=0.937의 좋은 결

과를 보였다. N₂의 검출한계는 0.179 mM 이었다. N₂의 정성분석 후 검량선법을 이용하여 N₂ 표준 가스 분석과 동일한 조건에서 최초시간 (0 hr)과 일정시간 (7 day) 배양후의 시료가스중의 N₂을 분석했다.

단, 본 연구에서는 채취된 퇴적물 코아내의 직상수와 퇴적물내에 존재하는 N₂ 농도를 충분히 제거하지 않고 N₂의 농도 변화로부터 구한 결과 값이기 때문에 탈질산화가 아닌 측정 전에 퇴적물과 직상수에 존재했던 N₂의 농도 차로 인한 N₂의 농도 변화가 추가되었을 가능성이 있다. 이는 밀폐식 퇴적물 코아 실험을 이용한 것으로 실험 기간이 오래 지속되면 실험 코아내의 직상수 및 퇴적물내에 함유된 탈질산화의 기질인 질산질소와 용존산소와 같은 요인들이 변화하여 현장의

Table 8 Concentrations and fluxes of suspended solid during flood tide and ebb tide in Komso Bay (August, 2000) tidal flat area: 60.7 km²

Flood tide						Ebb tide					
Sampling time	SS (mg/l)					Sampling time	SS (mg/l)				
	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E
8/18, 18:00	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	8/18, 20:00	0.05	0.05	0.11	0.11	0.10
8/19, 02:00	0.11	0.09	0.10	0.11	0.04	8/19, 08:00	0.05	0.11	0.12	0.12	0.01
04:00	0.09	0.03	0.04	0.09	0.06	10:00	0.03	0.06	0.04	0.04	0.05
14:00	0.07	0.11	0.11	0.06	0.05	12:00	0.05	0.07	0.09	0.04	0.08
16:00	0.09	0.10	0.05	0.04	0.05						
Mean	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	Mean	0.04	0.06	0.07	0.06	0.05
Flux (tonSS/hr)	1.92	1.68	1.68	1.68	1.20	Flux (tonSS/hr)	0.96	1.44	1.68	1.44	1.20

Table 9 Results of denitrification rates in sediment of Komso Bay

St. No.	Denitrification rates in sediment (m mol N ₂ /m ² /day)			
	April, 1999	August, 1999	April, 2000	August, 2000
A	0.775±0.137	0.133±0.006	0.000±0.003	0.231±0.001
B	1.720±0.257	0.082±0.005	1.093±0.080	0.000±0.004
C	0.009±0.001	0.033±0.008	1.909±0.541	1.697±0.067
D	0.296±0.014	0.053±0.013	0.780±0.007	0.030±0.003
E	0.700±0.076	0.086±0.010	0.000±0.005	0.000±0.003
Mean	0.072±0.008	0.065±0.013	0.756±0.231	0.392±0.007

탈질산화와 크게 다를 가능성이 있어 충분한 Preincubation을 실시하지 못한 이유 때문이었다.

탈질산화에 의해서 생성되는 N_2 의 농도는 1999년 4월에 $0.009 \sim 1.720 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.702 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 였고, 1999년 8월에는 $0.033 \sim 0.133 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.077 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 였으며, 2000년 4월에는 $0.000 \sim 1.909 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.756 \text{ m mole } N_2/m^2/day$), 8월에는 $0.000 \sim 1.697 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.392 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 였다. 계절별로 지점별로 약간의 차이가 나타났으며 4회 측정된 평균치는 $0.482 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ 으로 평가되었다 (Table 9). 이는 Jorgenson 과 Sorensen[1988]이 C_2H_2 억제법으로 3년간 덴마크의 Jutland 동부연안 조간대에서 조사 보고한 결과 ($0.14 \sim 174 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 보다는 크지 않으나, Chesapeake만 (Kemp et al.[1990])과 북해 남동부 연안에서 보고 (Lohse et al.[1993]) 결과 보다는 다소 높게 관측되었다.

앞서 조석에 의한 총질소의 정화력은 4월에 $0.062 \text{ g } N/m^2/day$ 이었고 8월에는 $0.448 \text{ g } N/m^2/day$ 이었다. 탈질산화에 의해서 제거되는 질소량을 동일한 단위로 환산하면 4월에 $0.021 \text{ g } N/m^2/day$ 이고 8월에는 $0.007 \text{ g } N/m^2/day$ 으로 특히 4월에 탈질산화에 의해서 제거되는 질소의 양이 큰 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 물론 조석에 의한 질소 플럭스의 측정과 탈질산화의 과대평가 등의 측정방법에서의 약간의 오차가 고려되나 조석에 의한 정화력에 못지않게 탈질산화에 의한 질소의 정화력이 높게 나타나고 있어 갯벌이 많이 분포하고 있는 곰소만과 같은 해역에서의 탈질산화에 의한 질소의 제거가 중요한 역할을 담당하고 있음을 알 수 있었다.

4. 요약

전라북도 곰소만 조간대에서 조석에 따른 오염물질의 플럭스를 구한 결과, COD의 경우, 4월에는 창조와 낙조시 COD의 유출입량이 동일하였고, 8월에는 창조시 83.0 ton COD/hr 가 유입되어 낙조 시에는 68.6 ton COD/hr 이 유출되어 조사해역의 갯벌이 평균적으로 $5.69 \text{ g COD/m}^2/day$ 의 정화력이 있는 것으로 평가되었다. 한편, 총질소의 플럭스는 4월의 창조 시에 0.486 ton N/hr 이

유입되어 낙조 시에 0.330 ton N/hr 으로 유출되어 조사해역 갯벌의 질소 정화력은 $0.062 \text{ g } N/m^2/day$ 으로 평가되었다. 8월에도 창조 시에 3.144 ton N/hr 이 유입된 후 낙조 시에 2.011 ton N/hr 이 유출되고 있어 조사해역의 갯벌이 $0.448 \text{ g } N/m^2/day$ 의 정화능력이 있음을 알 수 있었다. 부유물질의 플럭스는 4월의 창조 시에 0.31 ton SS/hr 가 유입되어 낙조 시에 0.26 ton SS/hr 이 유출되어 조사해역의 갯벌이 $0.02 \text{ g } SS/m^2/day$ 의 정화력이 있는 것으로 평가되었다. 8월에도 창조 시에 1.63 ton SS/hr 가 유입되어 낙조 시에 1.34 ton SS/hr 이 유출되고 있어 조사해역의 갯벌이 시간당 0.29 ton 의 부유물질을 수용하여 $0.12 \text{ g } SS/m^2/day$ 의 정화력이 있는 것으로 평가되었다.

곰소만 갯벌에서의 탈질산화는 1999년 4월에 $0.009 \sim 1.720 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.702 \text{ m mole } N_2/m^2/day$), 8월에 $0.033 \sim 0.133 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.077 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 였으며, 2000년 4월에는 $0.000 \sim 1.909 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.756 \text{ m mole } N_2/m^2/day$), 8월에는 $0.000 \sim 1.697 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ (평균 $0.392 \text{ m mole } N_2/m^2/day$) 으로 계절별로 지점별로 탈질산화의 차이가 나타났으며 4회 평균치는 $0.482 \text{ m mole } N_2/m^2/day$ 으로 평가되었다.

후 기

본 연구 조사는 환경부 G7 인공습지 조성 및 갯벌에 의한 오염정화기술개발 연구비로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 김도희, 1996, "퇴적물과 수층간의 용존무기질소 플럭스의 시공간적 변동과 1차생산에 미치는 영향", 한국수산학회지 제29권 제4호, 456~463.
- [2] 김도희·박정길, 1998, 득양만 퇴적물로부터의 영양염 용출 평가, 한국환경과학회지 제7권 제4호, 425~431.
- [3] 유선재·김종구, 1999, "갯벌의 오염물질 정화평가", 한국수산학회지 제32권 제4호, 409~415.
- [4] 해양수산부, 1998, "해양환경공정시험법", pp. 22.

- [5] 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.
- [6] Kemp, W. M., S. J. Caffrey and M. Mayer, 1990, "Ammonium recycling versus denitrification in Chesapeake Bay sediments", *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 35, 1545~1563.
- [7] 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.
- [8] Nakata, K. and Hata, K., 1994, "Evaluation of nutrient cycle in tidal flat", *J. Jap. Soc. Wat. Env.*, Vol. 17(3), 18~26. (in Japanese).
- [9] Ogura, M. and Matsunobu, T., "1992, Sample preparation methods of sediments and variations of analytical results", *J. Jap. Soc. Wat. Env.* Vol. 15(3), 173~178. (in Japanese).
- [10] Seitzinger S. P., 1993, "Denitrification and nitrification rates in aquatic sediments, Handbook of methods in aquatic microbial ecology", Lewis publishers, London, 633~642.
- [11] 佐佐木 克之, 1994, "干潟の水質保存と物質循環", *用水と廢水*, Vol. 36(1), 21~28.
- [12] 柳 哲雄・紫木 秀之・武岡 英隆, 1985, "瀋磨灣・大阪灣の鹽分,窒素,リン收支", *沿岸海洋研究ノート*, Vol. 22, 159~164.