

해수와 담수에서의 퇴적저니 용출특성

Contaminant Release under Different Redox Conditions from Sediments in Seawater and Freshwater

최동호 · 배우근 · 신응배 · 심호재

Hanyang University, Civil & Environmental Engineering
chiico@hanmail.net

Abstract

담수와 해수가 혼합되는 환경에서 퇴적 저니로부터의 오염 물질 용출률을 조사하였다. 축산폐수와 산업폐수의 영향을 받은 두 지점의 퇴적저니 시료에 대해 해수와 담수로 장기(약4주) 용출 시험을 행한 결과, 해수보다는 담수에서의 오염물질(영양염류 및 중금속) 용출률이 높은 것으로 조사되었는데, 이는 담수에서의 이온강도(ionic strength)가 상대적으로 낮아 오염성분의 포화농도가 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 용존산소의 농도를 달리하여 시험한 결과 무산소 상태에서의 용출률이 호기성 상태에서 보다 높은 것으로 나타났으며, 그 원인이 생물학적인 것인지 화학적인 것인지는 밝혀지지 않았다. 시험결과를 종합해 볼 때 무산소 상태의 담수에서 오염물질의 용출이 극대화되며, 따라서 강어귀 등과 같이 유속이 작아져 오염물질의 침강은 잘되는 반면 오염물질의 해수에 의한 희석 효과는 적은 경우가 저니로 인한 수질 환경영향이 가장 클 것으로 예측된다.

Key word: sediment, release rate, nutrient, heavy, heavy metals

1. 서론

호소나 강어귀(estuary)는 유속이 낮아 점오염원 및 비점오염원으로부터 유입된 각종 유기물, 영양성분, 중금속 등이 퇴적하게 되는데 이러한 물질들을 sediment(퇴적물, 저니, 저질)라고 부르며 호소나 estuary의 장기적인 내부오염원으로 작용하여 상부 수층을 오염시키게 된다.¹⁾ 퇴적 저니로부터의 오염물질 용출에 영향을 주는 주요 환경 요인으로는 수체의 용존 산소 농도, pH, 온도, 이온강도 등을 들수있다.²⁾ 특히 퇴적 저니층 직상수(overlying water)의 무산소화는 퇴적물층의 오염성분을 환원시켜 용출량을 증가시키는 원인이 되며 염분의 변화 역시 이온강도를 변화시켜 수환경 변화에 큰 영향을 준다.

본 연구에서는 퇴적저니에서의 용출에 영향을 미치는 인자 중 용존산소의 농도와 해수 및 담수에 따른 영향을 알아보려고 하였다. 이에 따라 중금속 오염지역과 영양염류 유입이 많은 지역의 퇴적저니를 채취하여 실험실 반응조에서 혐기·호기 및 해수·담수에 따른 영양염류와 중금속의 용출률을 측정하였다.

2. 장치 및 방법

2.1 시료 및 장치

처리 시료는 축산 폐수의 영향으로 영양염류의 퇴적이 심한 A지역과 공단폐수의 영향으로 중금속 농도가 높은 B지역에서 core sampler를 이용하여 채취하였으며 공기와의 접촉을 최소화하여 냉장 보관 후 실험실로 가져와 제작된 반응조에 넣어 실험을 실시하였다.

실험장치는 직경 10cm, 높이 30cm, 부피 2L의 뚜껑있는 아크릴 원통 반응조를 제작하여 사용하였으며 저질토를 두께 5cm로 깔고 그 위에 용매를 채웠다(Figure 1. 2 참조). 용존산소 유·무에 따른 영향을 보기 위해 혐기·호기 용출 실험을 수행하였는데, 이때 용매는 담수(수돗물)를 사용하였으며 혐기조건은 간헐적으로 질소를 purging하여 용존산소 농도를 0.2mg/L 미만이 되도록 유지하였고, 호기조건은 공기 펌프를 이용하여 산소를 공급하여 충분한 DO가 유지되도록 하였다(Figure 1). 한편, 이온강도에 따른 용출 영향을 보기 위하여 해수와 담수를 각각 용매로 사용하였는데, 해수는 인근 외해에서 채수하여 냉장 보관 후 사용하였고 담수는 수돗물을 이용하였다(Figure 2). 모든 실험에서 온도는 water bath를 이용하여 15°C를 유지하였다.

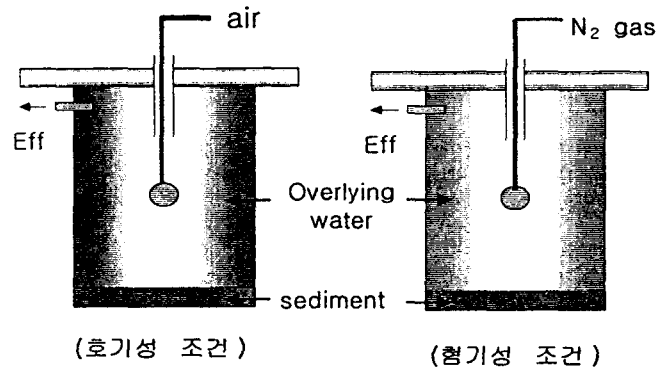


Figure 1. Schematics of aerobic and anoxic reactors(fresh water).

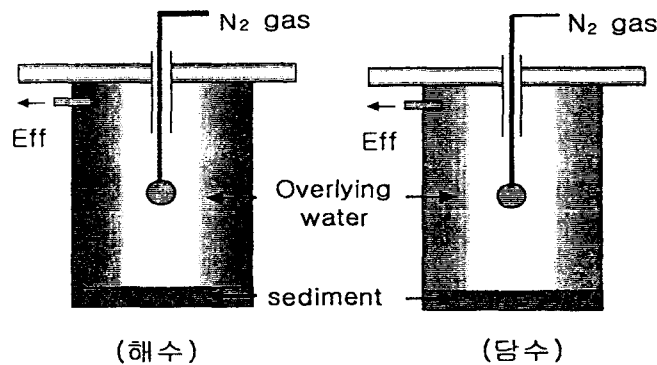


Figure 2. Schematics of seawater and freshwater reactors (anoxic).

2.2 분석

용출량 산정을 위해 반응조에서 매일 120mL를 채수 하였고 동량의 원수를 보충하는 방법으로 28 - 36일 동안 용출실험을 실시하였다. 시료는 COD, NH_4^+-N , T-P, 중금속(Cd, Cu, Mn, Pb, Zn) 등 총 8개 항목에 대해 분석하였다. 분석은 해양오염공정 시험법에 따라 측정하였으며, 중금속성분은 원자흡광광도계(Varian, SpectraAA 220FS)를 이용하여 측정하였다.

2.3 용출량 산정

용출률 조사 반응조의 직상수(overlying water)가 완전혼합되는 것으로 가정하고 유입, 유출 저니로부터의 용출에 대한 물질수지 분석으로부터 다음과 같은 용출률 산정식을 얻을 수 있다.²⁾

$$R = \frac{1}{A} \sum [(V - V_{n-1}) * (C_n - C_{n-1}') + V_n * C_n]$$

$$\text{여기서 } C_{n-1}' = \frac{C_{n-1} * (V - V') + C_a * V}{V}$$

$C_0 = C_0'$ = 해당 물질의 직상수 배경 농도

V = 초기 직상수 양(L)

V' = 시료 채취시 첨가한 물의 양(L)

C_n = n회 채수시 농도(mg/L)

R = 단위 면적당 용출량 (mg/m^2)

V_n = n회시 채수량(L)

C_a = V' 의 농도(mg/L)

A = 저질토 단면적(m^2)

3. 결과 및 고찰

3.1 공극수에서의 오염물 분포

각각의 지역에 대한 깊이별 공극수에서의 오염물 분포 특성을 알아보기 위해 sampling된 시료를 원심분리하여 분석한 결과 대부분의 항목이 저질토 상부 30cm 이내에 높은 비율로 존재하는 것을 볼 수 있었다. 성층으로 인한 직상수의 무산소 환경은 공극수중의 영양염류와 미량원소 농도를 증가시킬 것이며 분자확산에 의해 저층수로 용출될 확률이 높아진다.

3.2 담수 조건하에서의 혐기·호기 용출특성

담수 조건하 15°C에서 혐기·호기에 대한 각 지역의 저니토 용출 실험을 28일 동안 시행한 결과 다음 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1 Contaminant release from sediments under anoxic and aerobic conditions
(Unit: $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)

항목	구분	담 수			
		축산 지역 하류		공단 지역 하류	
		Anoxic	Aerobic	Anoxic	Aerobic
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$		275	164	292	99
T-P		85.9	48.2	45.9	30.9
COD		3832	2341	4312	2837
중금속	Cd	0.5	0.3	0.7	0.5
	Cu	2.6	2.8	5.5	3.2
	Mn	19.9	13.9	21.6	15.7
	Pb	1.6	2.1	1.9	2.1
	Zn	4.9	2.7	8.7	6.3

결과에서 보는 바와 같이 같은 지역의 시료인 경우 무산소 상태에서 용출량이 대부분 더 높은 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 영양염류와 COD의 경우가 중금속의 경우보다 더 현저 하였다.

환원환경이 오염물질들의 용해도를 높힌 것으로 생각되나 그 원인이 생물학적인 것인지 화학적인 것인지는 확인되지 않았다. 실험결과를 판단할 때 무산소 상태에서 오염물질의 용출이 촉진됨으로서, 저질이 상당한 면 오염원으로 작용하고 이로 인해 저층의 수질이 더욱 나빠질 수 있을 것으로 생각된다. 특히, 여름철 기온 상승으로 인한 직상수의 용존산소 고갈은 N, P의 용출율을 증가시켜 호수나 하천의 부영양화를 초래할 수 있다.

3.2 무산소 조건에서의 해수·담수 용출특성

무산소 조건 하 15°C에서 해수·담수에 대한 각 지역의 저니토 용출 실험을 36일 동안 시행한 결과 다음과 Table 2의 결과를 얻을 수 있었다.

Table 2 Contaminant release from sediments in seawater and freshwater under anoxic conditions (Unit: mg/m²·day)

구분 항목		Anoxic			
		축산 지역 하류		공단 지역 하류	
		해수	담수	해수	담수
NH ₄ ⁺ -N		151	219	132	206
T-P		32.4	84.6	28.9	77.5
COD		2065	3926	743	3276
중금속	Cd	0.09	0.09	0.06	0.30
	Cu	2.4	3.0	1.1	3.5
	Mn	8.5	13.8	5.9	12.2
	Pb	1.7	0.7	2.1	0.7
	Zn	1.6	4.9	3.8	1.8

대체적으로 해수보다는 담수에서의 용출량이 높은 것으로 나타났다. 해수와 담수의 가장 큰 차이는 염분 및 무기물질의 농도에 의한 이온강도(ionic strength)의 차이이며, 해수가 월등히 높다. 수체의 이온강도가 높아지면 오염물질의 포화 농도가 낮아져 용출되는 양이 그만큼 적어진다. Table 1-2의 결과를 종합해 볼 때 무산소 상태의 담수에서 오염물질의 용출이 극대화 되며, 따라서 강어귀 등과 같이 유속이 작아져 오염물질의 침강은 잘되는 반면 오염물질의 해수에 의한 희석 효과는 작은 경우가 저니토 인한 수질환경영향이 가장 클 것으로 예측된다.

4. 참고 문헌

1. Abrams, M. M. & Jarrell, W. M., "Soil Phosphorus as a Potential Nonpoint Source for Elevated Stream Phosphorus level", *J. Environ. Qual.*, Vol. 24, pp.132-328, 1995
2. John, F., "Phosphorus Release and Sorption by Lake Mohegan Sediments", *Journal of The Environmental Engineering Division*, April, 1976
3. 최정훈, 강정원, 홍대벽, 박용안, 시화호 퇴적물의 유기탄소, 유기질소 및 중금속 함량과 분포, 한국해양학회지 <바다>, Vol. 5, pp.276-284, 2000.