

연구논문

주변토양의 지구화학적 특성과 잠재적 오염원이
도서지역 저수지의 오염부하에 미치는 영향(I)
- 퇴적토에 의한 잠재적 용출특성 평가 -

박선환 · 박완섭* · 김창균** · 박중규*** · 김완희* · 장윤영*** · 정정호**** · 이선영***
(주)수성엔지니어링, (주)도화종합기술공사*, 인하대학교 환경공학과**, 광운대학교 환경공학과***, (주)아라종합기술****
(2009년 11월 4일 접수, 2010년 3월 17일 승인)

Impact of the Geochemical Characteristics and Potential Contaminants
Source of Surrounding Soil on Contamination
of a Reservoir in an Island (I)
- Evaluation of Potential Liquefaction by Sediment -

Sun Hwan Park · Wan Sub Park* · Chang Gyun Kim** · Joong Gyu Park*** ·
Wan Hee Kim* · Yoon Young Chang*** · Jeong Ho Jeong**** · Sun Young Lee***
Soosung Engineering Co., Ltd, Dohwa Consulting Engineers Co., Ltd*
Department of Environmental Engineering, Inha University**
Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University***, ARA Consulting & Technology****
(Manuscript received 4 November 2009; accepted 17 March 2010)

Abstract

In this research potential liquefaction of contaminants from surrounding soil to a reservoir in an island was studied to investigate the cause and route of contamination of Baengyeong-myeon reservoir.

Soil of Baengyeong-myeon reservoir consists of SiO_2 and has a high iron content because of geological characteristics of its country rock.

From the field investigation and simulation study it was found that highly accumulated carbon content in the reservoir sediment was incurred from ground water, which provides a good habitat for microbes.

And the liquefaction, the cause of organics growth, occurs mainly on the bottom of the reservoir consisting marine clay layer once used as farmland.

So dredging of the sediment of reservoir and replacing with valley soil is suggested to prevent continuous contamination of a reservoir in an island due to COD production.

Keywords : soil, sediment, COD liquefaction

1. 서론

보통 인공적으로 조성된 저수지는 자연적인 현상과 인위적인 활동에 의해 오염이 발생된다. 특히 저수지와 같은 정체성 수역에서는 상대적으로 퇴적되는 오염물질의 양이 많으며, 단위 면적당 물의 양이 적기 때문에 저층 퇴적물로부터 용출되는 영양염이 수계의 1차 생산과 수질변화에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(김도희, 2002).

호소의 퇴적물은 대부분 수층에서 침강하여 형성된 것으로 일정기간 축적되어 있다가 분해, 확산, 재부유, 생물교란 등의 물리, 화학, 생물학적 과정에 의해 다시 수층으로 용출되어 수질 및 수생태계에 영향을 미치며, 지속적인 COD 유발원인의 가장 큰 원인으로 여겨지고 있다(Lenox, 1984; 오종민·조영철, 2007).

특히 수중의 휴믹물질(HS, Humic Substances)은 동·식물 잔여물들을 포함한 다양한 유기물 성분이 생물학적·화학적 반응을 통하여 고분자화(polymerized)된 유기물 혼합체이며, 양적인 면에서 볼 때 HS(Humic Substance)는 전체토양유기물의 60~80%, 담수 내 유기탄소(TOC)의 50%를 차지하며, 호소수에서는 전체 용존 유기물질(DOC)의 약 80%가 용존성 휴믹물질에 기인한다(Stevens, 1989).

휴믹물질은 수중환경에서 미생물에 의해 더 이상 쉽게 변형되거나 분해되지 않는 안정화된 고분자 유기산이기 때문에 원수 수질의 보다 효율적인 관리를 위해서는 저수지 퇴적물 중 유기물의 대부분을 차지하는 휴믹물질의 함량과 물질특성에 대한 기초 자료의 확보가 중요한 의미를 가진다.

본 연구대상 지역인 백령면 저수지는 환경부에서 추진한 도서지역 식수원 1단계 개발 사업에 의해 과거 농경지에 설치된 소규모 저수지로서 상류로부터의 퇴적물 유입이 적고 유역에 함양된 지하수가 저수지 기저로 용출되는 특징이 있으며, 2002년 완공 이후 담수된 상태로 COD 농도가 증가하여 상수원으로써의 역할을 제대로 못하고 있다.

따라서 저수지내 토양의 잠재적인 COD 및 영양

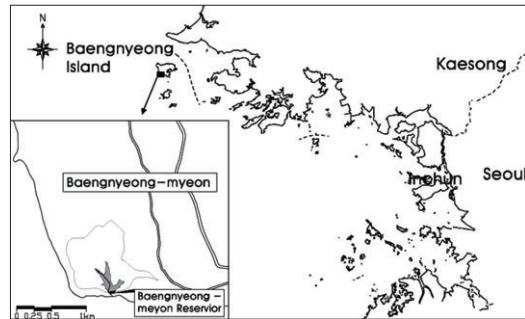


Figure 1. Location of the study area

염류에 대한 분석과 생물학적인 영향인자에 대해 분석을 실시하고, 용출 실험을 통한 호소 내부 토양과 외부의 토양에 대한 용출 특성을 평가하였다.

II. 조사내용 및 방법

1. 조사지점 선정

백령면 저수지에서의 잠재적 용출능력 평가를 위하여 2006년 11월부터 저수지 물을 빼고 2006년 2월 7일부터 2월 13일까지 토양시료 채취를 실시하였다.

토양시료는 저수지의 토양성분을 알아보기 위하여 표 1과 같이 저수지내 지하수가 기저 용출되어 나오는 웅덩이속 침전물 등 8개 지점을 채취하였으며, 저수지내 토양과 계곡부 토양의 COD_{Mn} 등에

Table 1. Soil sampling sites and parameters

구분	시료번호	시료 채취 지점	분석 항목
토양 성분 조사	BS-1	용천 지하수 맑은물 아래 침전물	Powder-XRD, XRF, 원소분석(C, H, N), TOC, COD _{Mn}
	BS-2	물가 -20cm 토양	
	BS-3	물가 댐 근처 표토	
	BS-4	쇠기름	
	BS-5	건조 표토	
	BS-6	건조 표토속의 암석	
	BS-7	바닥토 (갯벌흙)	
	BS-8	철 다량 함유 암석	
COD 용출 특성	SS-1	계곡부 토양	TOC, COD _{Mn} , 16s rDNA, Carbohydrate
	SS-2	계곡부 토양	
	SS-3	계곡부 토양	
	SS-4	댐앞 저질토	

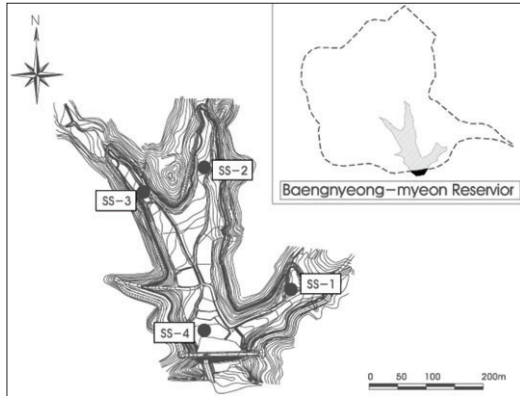


Figure 2. Map of soil sampling site for COD_{Mn} leaching test

대한 용출 특성을 파악하기 위해 그림 2와 같이 4개 지점을 선정하여 lab-scale의 반응기를 통한 실험을 실시하였다.

2. 조사방법

1) 저수지내 토양성분 조사

본 저수지의 토양 결정 구조와 원소의 종류 및 양을 파악하기 위하여 토양 및 암석 시료를 혼합한 후 도가니에 골고루 퍼서 향량이 될 때까지 105°C 오븐에서 건조한 후 Powder-XRD (Powder X-ray Diffractometer, DMAX 2500/ RIGAKU)와 X-선 형광분석기(X-ray fluorescence Spectrometer, Axios/Philips)를 이용하여 분석하였으며, 저수지내 토양의 유기물 분석을 위해 원소분석기(EA, Elemental Analyzer, model : Flash EA1112/ Thermo Electron Corporation)를 통해 C, H, N에 대한 원소 분석을 실시하였다.

2) 토양의 잠재적 용출 능력 평가

백령면 저수지내 퇴적토에서의 영양염의 용출에 관한 영향인자를 알아보기 위해 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2005)과 수질오염공정시험방법(환경부, 2004)에 의거 COD_{Mn}, TOC, T-N, T-P에 대한 분석을 실시하였고, 생물학적 인자와의 관계를 살펴보기 위하여 16s rDNA는 real-time PCR을 이용하여 정량하였으며, carbohydrate와 Protein은 각각 Dubois method(Dubois *et al.*,

1956), Hartree-Lowry method(Hartree, 1972)를 이용하여 시료중의 용존 농도를 측정 하였다.

실험 수행을 위해 혼합기로 완전 혼합시켰으며, 큰 입자 상태의 물질을 파쇄하여 분말 상태로 만든 후 실험을 실시하였다. 이와 같은 방법은 지점에 따른 농도 편차를 줄이고, 빠른 시간에 물과 토양을 균질하게 섞기 위해 실시하였다. 이렇게 만든 토양 5g을 넣어 1 L로 만든 후 1일 이상 교반하여 실험을 실시하였으며, 각 분석 실험에 따라 방해인자가 없도록 희석하여 실험을 실시하였다.

3) COD_{Mn} 및 영양염류, 중금속 등에 대한 용출실험

저수지내 퇴적토와 계곡부 토양의 COD_{Mn} 용출에 관한 실험을 통해 현장에서의 COD_{Mn} 용출과 그 특성에 대해 알아보기 위해 lab-scale의 10 L 반응기를 통해 실험을 실시하였다.

용출실험에서는 토양시료를 넣고 교반하면서 용액상으로 용출되는 유기물의 COD_{Mn}, 영양염류인 T-N, T-P, 중금속인 Al, Fe, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, 그리고 생물학적 지표의 용출특성을 알아보기 위하여 16s rDNA, carbohydrate, protein에 대해 주기적인 측정을 실시하였다.

이를 위해 10 L 반응기에 토양시료 1.4 kg의 토양시료와 7.5 L의 물을 넣은 후 하루에 3분씩, 6rpm으로 회전하는 롤러를 이용하여 회전시키고 나머지 기간 동안은 정지시켜서 3일 간격으로 시료를 채취하여 측정항목이 정상 상태에 도달 할 때까지 실험하였다.

시료 채취는 교반 직 후 액상시료 50 mL를 Falcon tube에 2개씩 100 mL를 채취 하여 분석을 실시하였다. 호소 바닥의 저질토의 경우 함수율이 높아 40°C oven에서 2일간 수분을 어느 정도 제거한 다음 용출 실험에 사용하였다.

반응기속의 토양시료는 8등분하여 100mesh (pore size : 140 μ m) 스테인레스망으로 감싸서 토양입자들의 충돌과 마찰에 의한 유기물 탈리를 억제 하였고, 유리병 내부의 물과 토양입자 사이에 상대속도가 발생하도록 하였다. 반응기 벽면에서의

흡착을 억제하기 위하여 아크릴 반응기는 1N HCl 용액으로 세척한 후 다시 증류수로 세척하여 사용하였다. 유리병의 내부에서 미생물 활동에 의해 용존 유기물이 분해되는 것을 방지하기 위하여 HgCl₂를 첨가하여 그 농도가 0.05%가 되도록 하였다.

III. 조사결과 및 고찰

1. 토양성분 조사

Powder-XRD, XRF에 의한 토양시료 분석결과 그림 3과 표 2와 같이 석영(Quartz, SiO₂)이 주요 구성 성분을 이루고 있으며, 모든 토양이 비슷한 구성 성분과 성분 함량을 나타내었다.

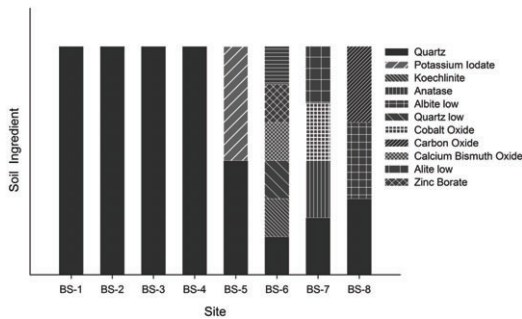


Figure 3. Result of powder-XRD Analysis

특이 사항으로는 대체적으로 토양의 철 함량이 높았으며, 이는 주변 암석의 Fe₂O₃가 약 50% 가량 포함된 점으로 보아 모암(parent material)의 영향에 의한 것으로 판단된다.

원소 분석기의 경우 검출한계가 100 ppm으로 비교적 고농도의 원소를 함유한 시료에서만 검출이 되는 한계점을 가지고 있으며, 분석결과 과거 농경지로 이용하였던 저수지 퇴적토의 해성 점토층에서만 carbon의 농도가 1.13%(11,321 ppm)의 고농도로 검출되었으며, 주로 호소 바닥의 sediment에 존재하는 휴믹물질로 간주 된다.

백령면 저수지의 경우 강우에 의한 토사의 유입이 적으므로, 저수지내로 용천되는 지하수에 의한

Table 3. Results of EA analysis

구 분	Nitrogen (%)	Carbon (%)	Hydrogen (%)
BS-1	N.D	N.D	0.6568
BS-2	N.D	N.D	0.4202
BS-3	N.D	N.D	0.6657
BS-4	N.D	N.D	0.6110
BS-5	N.D	N.D	0.4630
BS-6	N.D	N.D	0.4630
BS-7	N.D	1.1321	0.5551
BS-8	N.D	N.D	0.4058

Table 2. Result of XRF analysis

(unit : %)

구 분	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8
SiO ₂	54.4	52	53.3	53.7	51.4	52.4	52.4	40.6
Fe ₂ O ₃	20.2	21.6	20.6	20.8	22.6	21.2	21.2	46.9
Al ₂ O ₃	14.8	14.4	14.3	14	13.4	14.6	14.6	0.0
K ₂ O	3.72	3.94	3.93	3.92	4.35	3.93	3.93	2.6
CaO	2.09	2.57	2.56	2.5	2.9	2.4	2.4	3.74
TiO ₂	1.93	3.06	2.36	2.08	2.47	2.4	2.4	3.16
MgO	1.18	1.27	1.27	1.23	1.24	1.37	1.37	0.81
MnO	0.51	0.40	0.69	0.83	0.57	0.61	0.61	0.75
Na ₂ O	0.51	0.44	0.52	0.52	0.48	0.51	0.51	0.87
SO ₃	0.48	0.17	0.30	0.29	0.41	0.37	0.37	0.052
ZrO ₂	0.068	0.071	0.080	0.082	0.083	0.074	0.074	0.143
ZnO	0.033	0.037	0.037	0.038	0.049	0.036	0.036	0.076
*Cl	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062	0.062	0.000
SrO	0.028	0.028	0.030	0.031	0.032	0.029	0.029	0.070
Rb ₂ O	0.024	0.028	0.024	0.027	0.035	0.030	0.030	0.137
P ₂ O ₅	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.25 ⁻¹¹

유입과 저수지의 축적에 의한 것으로 생각된다.

2. 토양의 잠재적 용출 능력 평가

1) COD_{Mn}와 TOC 분석 결과

저수지내 퇴적토와 저수지 밖의 계곡부 토양에 대한 COD_{Mn}와 TOC 분석결과 저수지내 퇴적토가 계곡부의 토양보다 높은 값을 나타내었으며, 두 항목간의 관계에 있어서는 저수지 퇴적토의 경우 TOC에 비해 COD_{Mn}의 농도가 높았으나 저수지의 외 토양인 SS-1~SS-3은 저수지 퇴적토와 반대로 COD_{Mn}보다 TOC가 높아 저수지내 COD_{Mn}와 TOC를 유발하는 물질이 축적되고 있음을 알 수 있었다.

또한, 저수지내의 퇴적토 보다는 계곡부의 토양에서 유기물과 COD 유발율이 적었으므로 퇴적토 준설시 복토재로서의 이용 가치가 있음을 확인 할 수 있었다.

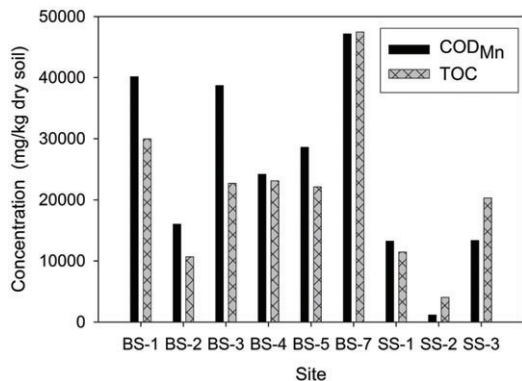


Figure 4. Assessment of COD_{Mn}, TOC leaching in soil

2) COD_{Mn}와 T-N, T-P 관계

EPA는 저수지내 부영양화의 주요인자인 총인농도를 부영양화 한계농도인 0.02 mg/L(EPA)로 유지시키기를 권고하고 있으나 총인농도 0.02 mg/L는 현실적으로 유지하기 불가능하다고 볼 수 있다.

영양염류의 농도가 높을 경우 인공 호소 내 봄철과 가을철에는 규조류, 여름철에는 남조류가 대량 발생하고 있다. 이와 같은 조류의 번식은 수질악화를 초래 할 수 있으므로 이에 대한 잠재적인 용출을

알아보기 위해 분석을 실시하였다.

분석 결과를 대조하기 위해 가장 이상적인 미생물의 성장 비율인 COD : N : P = 100 : 5 : 1과 비교할 경우 저수지내 퇴적토의 경우 높은 COD_{Mn}와 더불어 N, P의 농도도 높았으며, 이상적인 비율에 더 가까운 수치를 나타내고 있다. 이와 대조적으로 계곡부의 토양의 경우 낮은 COD_{Mn} 농도와 함께 불균형적인 COD, N, P 비율을 나타냈다.

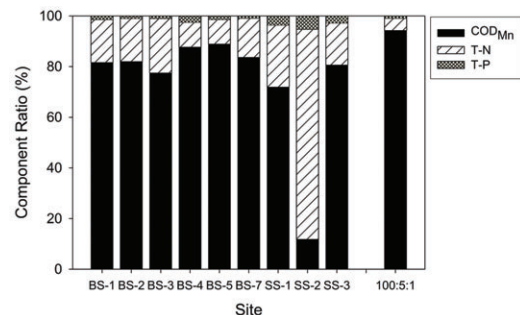
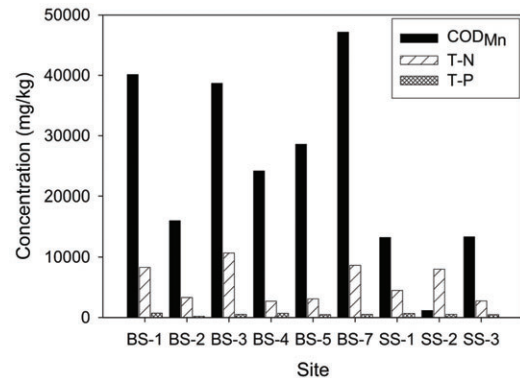


Figure 5. COD_{Mn}, T-N, T-P concentration and rate of composition in soil

3) 생물학적 인자 검토 (16s rDNA, Protein, Carbohydrate)

기질을 소비하고 새로운 바이오매스를 생산하는 것 외에 박테리아는 용해성 미생물 산물(soluble microbial products, SMP)을 만든다.

SMP는 세포 분해시 방출되거나, 원형질막을 통해 확산되거나, 세포합성 중 유실되거나, 혹은 어떤 목적 때문에 배출되는 세포성분들이므로 보여진다. SMP는 분자량(수백에서 수천)이 중간 정도로서 생분해성이다.

SMP 중 carbohydrate를 생분해성이 높은 SMP

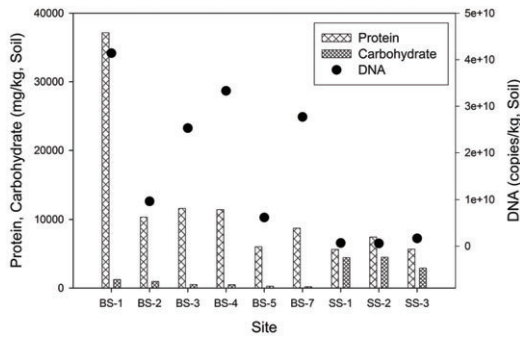


Figure 6. Results of Protein, Carbohydrate, DNA copies analysis in soil

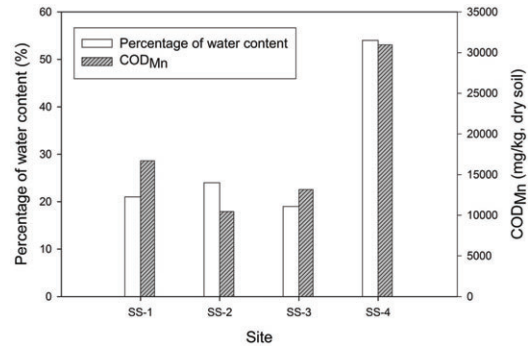


Figure 7. Result of COD_{Mn} possible leaching test

인자로 선택하였으며, 비교적 생분해성이 낮은 SMP인자로 protein을 선택하였다.

16s rDNA의 분석결과 저수지내 퇴적토의 미생물 농도가 계곡부의 토양에 비해 높은 농도를 나타냈다. 유기물과 영양염류인 N, P의 농도가 상대적으로 높았기 때문에 저수지내 퇴적토에서 좀 더 높은 농도의 DNA가 검출된 것으로 판단된다.

또한, 저수지에 침전되어진 고농도의 유기물이 수중으로 용출되어져 나가는 생물학적인자가 활발히 진행되고 있음을 의미할 수 있다.

저수지내 퇴적토의 carbohydrate 농도는 계곡부의 농도에 비해 낮았으며, 16s rDNA copies와는 상반된 분석결과를 나타냈다.

Carbohydrate의 경우 미생물이 선호하는 형태의 영양분이므로 높은 농도의 유사성을 나타내는 호소내의 토양에서는 미생물이 바로 섭취하여 상대적으로 낮은 농도의 carbohydrate가 검출된 것으로 판단된다. Protein의 경우 호소내의 토양이 높은 농도를 나타냈다.

미생물의 농도가 높으면 자연스레 SMP 역시 많이 생산되게 된다. SMP의 일종인 carbohydrate, protein 역시 많은 양이 용출되게 된다.

3. 용출실험 결과

1) 지점별 토양의 잠재적 COD_{Mn} 용출 실험

용출 실험에 사용된 각각의 토양은 함수율이 상이 하였다. 특히 퇴적토의 경우 0.756 L를 포함하

고 있으므로 농도 산출시 큰 영향을 미칠 것으로 판단되므로, 이에 대한 보정을 실시하였다.

실험에 앞서 잠재적 COD_{Mn} 용출량에 대해 수행하였다. 용출 실험을 위해 혼합기로 균일하게 혼합한 토양을 동일하게 사용하여 실험을 수행 하였다.

실험 결과 계곡부 토양의 COD_{Mn}는 10,000~17,000 mg/kg, 저수지 퇴적토의 COD_{Mn}는 31,000 mg/kg으로 나타나 저수지내 퇴적토가 계곡부의 토양에 비해 2~3배정도 높은 농도의 COD_{Mn} 잠재력을 지니고 있었다.

또한 저수지 퇴적토인 SS-4지점의 심도별 잠재적 COD_{Mn} 용출농도를 알아본 결과 표토, 0.3 m, 0.5 m, 1.0 m에서 각각 31,694 mg/kg, 11,516 mg/kg, 9,961 mg/kg, 8,871 mg/kg로 검출되어 오염 퇴적토의 깊이가 대략 0.3 m 이하로 짐작할 수 있다.

2) COD_{Mn} 용출 특성

각 토양의 COD_{Mn} 용출 특성에 대해 알아보기 위해 COD의 농도가 정상 상태에 도달할 때까지 용출 실험을 실시한 결과 약 3주 만에 COD_{Mn}의 농도는 정상상태에 도달하였다.

용출실험 결과 COD_{Mn}의 값은 용출실험 시작 13일, 16일후에 최고점에 도달하였으며, 그 후 Fluctuation하는 것을 볼 수 있다. 이는 평형상태에 도달한 수중의 COD_{Mn} 유발 물질이 토양과 물 사이에 탈착과 부착이 반복됨으로서 일어나는 현상으로 생각된다.

결과적으로 용출실험 시작 후 16일후부터 COD_{Mn}는 정상상태에 도달한 것으로 판단되며, 저수지 유입

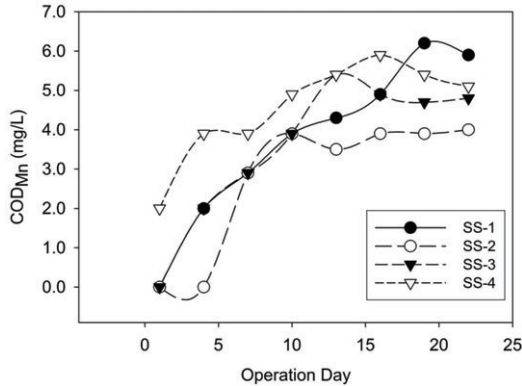


Figure 8. Result of COD_{Mn} leaching test

계곡부인 SS-1 지점의 경우 6.0 mg/L, SS-2 지점의 경우 4.0 mg/L, SS-3 지점의 경우 4.8 mg/L, 저수지 퇴적토인 SS-4 지점의 경우 5.5 mg/L(±0.5)의 농도에서 정상상태에 도달한 것으로 판단된다.

용출 실험에 사용된 토양의 함수율을 고려할 경우 실제 용출되는 물의 부피는 각각의 용출 실험마다 다르며, 용출 실험에 들어간 토양의 무게 역시 다르다. 그러므로 이에 대한 보정에 의한 COD_{Mn} 농도의 환산이 필요 할 것으로 생각된다. 토양 함량과 용출되어진 물의 부피에 대한 보정을 하여 건조 토양 1 kg과 7.5 L의 물에 대한 용출 실험을 기준으로 COD_{Mn} 값을 산출 하였다.

$$\text{절대적COD}_{Mn} = \text{용출COD}_{Mn} \times \frac{7.5 + 1.4 \times X(L)}{7.5(L)} \times \frac{1(\text{kg})}{1.4 \times (1 - X)(\text{kg})} \quad (1)$$

여기서, X: 용출 실험에 사용된 토양의 함수율

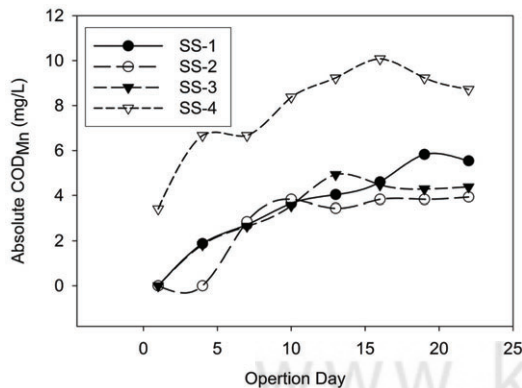


Figure 9. Conversion to absolute COD_{Mn}

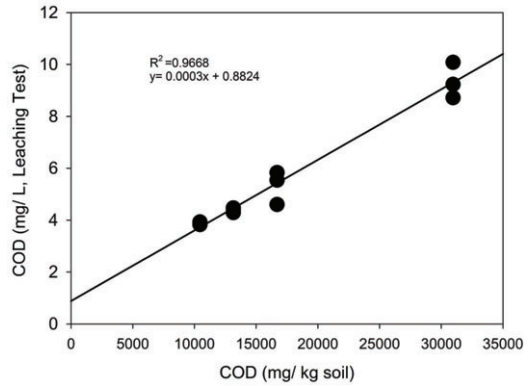


Figure 10. Correlation between absolute COD_{Mn} and possible leaching COD_{Mn}

백령면 저수지의 계곡부와 저수지내 퇴적토에 대한 토양의 잠재적 COD_{Mn} 용출 실험 결과와 용출 실험 후 COD_{Mn} 농도가 정상상태에 도달했다고 판단한 16일, 19일, 22일의 절대적 COD_{Mn} 농도에 대한 상관관계 분석결과 R²=0.9668로 높은 상관도를 보였으며, 관계식은 y=0.0003x + 0.8824로 분석되었다.

3) T-N, T-P의 용출 특성

저수지 퇴적토내 총질소와 총인과 같은 영양염류를 측정하고 이들의 용출율을 조사함으로써 이들 물질이 저수지 수질에 어느 정도 영향을 미치는지 조사하였다. 또한 준설시 복토재로 사용가능한 계곡부 토양에 대한 평가도 동일하게 시행하여 준설과 복토에 따른 영양염류의 영향정도를 평가 하였다.

용출 실험을 통해 용출되는 영양염류를 정량한 결과 총질소 농도는 퇴적토와 계곡부의 토양과 비슷한 농도로 약 1 mg/L 가량 용출 되었으며, 총인의 경우 저수지내의 퇴적토가 계곡부 토양보다 2~10배가량 높은 농도로 용출되었다. 이 농도는 EPA에서 권고 하는 0.02 ppm을 7배가량 초과하는 농도로서, 차후 저수지내 조류 번식으로 인한 부영화가 진행될 수 있음을 알 수 있었다.

4) 중금속의 용출 특성

중금속 용출 분석 결과 건강상 유해 물질인 크롬, 납, 카드뮴은 일부 시료에서 기준치를 넘는 수치를

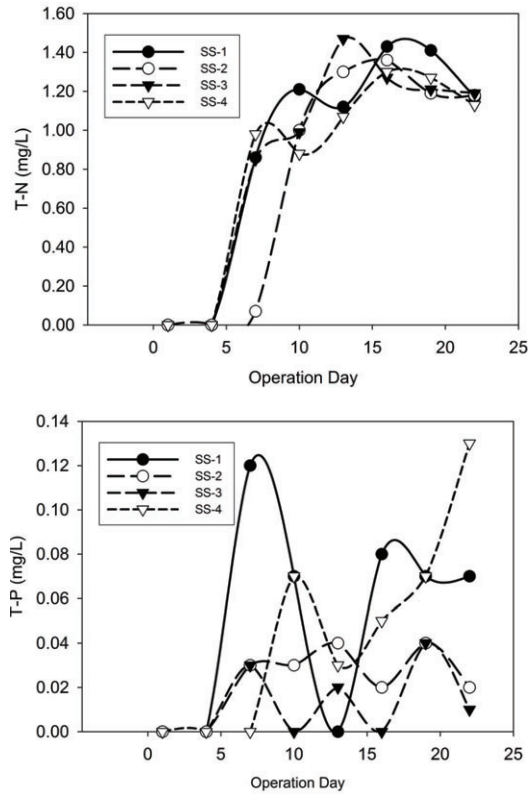


Figure 11. Result of T-N, T-P leaching test

나타내었지만, 최종적인 용출 실험 결과 농도는 기준치를 넘지 않았다.

심미적인 영양물질인 철, 망간, 알루미늄, 아연 등은 기준치를 모두 초과하게 용출되었다. 특히 저질토의 경우 철의 농도가 약 45 mg/L로 크게 초과하는 값을 나타냈다. 용출 실험 동안 4개의 반응기 모두 붉은 색으로 변했으며, 반응기 상부에는 철에 의한 스크(scum)이 존재하였다.

특히 저질토의 경우는 그 붉은 색의 정도가 심했으며, 유관상으로도 철의 용출이 심할 것이라곤 알 수 있었다. 망간 역시 4개 시료 모두에 대해 기준치를 훨씬 초과하였으며, 아연과 알루미늄의 경우도 기준치를 상회하는 분석치가 나왔다. 만약 계곡부의 토양을 준설 후 복토재로 사용할 경우 철과 망간에 의한 흡수 현상이 일어날 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한, 심미적인 영향인자인 양이온에 대해 상수처리 과정에서 처리가 곤란하다면 부가적인 처

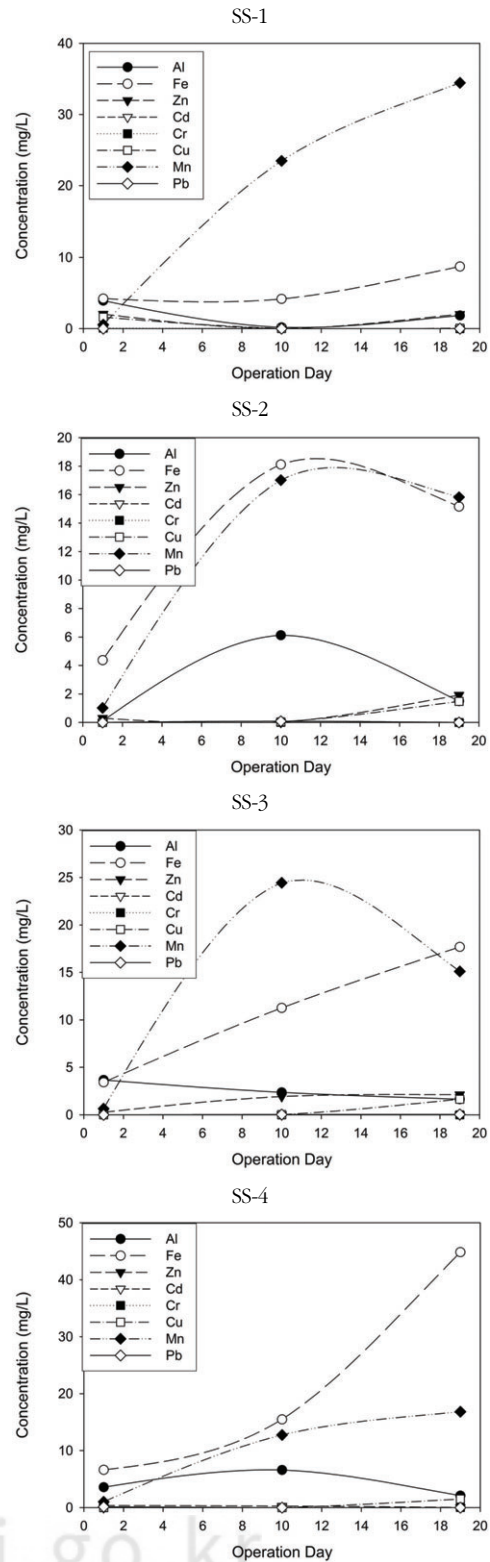


Figure 12. Result of heavy metal leaching test

리 process를 설치하는 것이 필요할 것이다.

5) 생물학적 지표의 용출특성(16s rDNA, Carbohydrate, Protein)

생물학적 활성인자를 제거하기 위해 HgCl₂를 0.05% 넣었으며, 이에 따른 생물학적 활성인자가 영향을 미쳤는지 확인하기 위해 16s rDNA와 Carbohydrate, Protein등에 대한 분석을 실시하였다.

16s rDNA 용출실험 결과 용출실험 초기에 미량의 copies 가 발견되었으나, 12일 이후 발견되지 않았으며, carbohydrate의 역시 거의 검출이 되지 않았다. 다만 Protein의 경우 증가하는 경향을 나

Table 4. Result of 16s rDNA leaching test

Operation Day	16s rDNA (copies/mL)			
	SS-1	SS-2	SS-3	SS-4
7	0	417	3,240	0
13	N.D	N.D	N.D	N.D

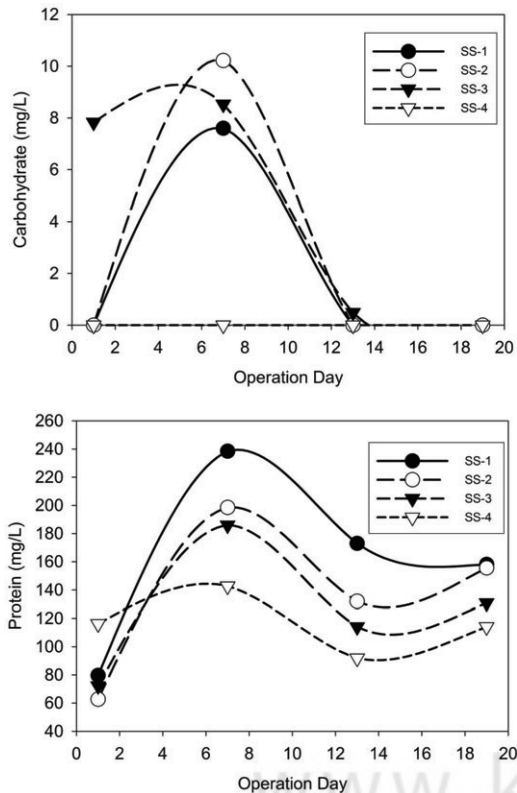


Figure 13. Result of Carbohydrate, Protein leaching test

타내다 다시 미생물의 사멸에서 발생된 SMP가 용출되었다가 철과 망간과 같은 중금속에 흡착이 되어 Inorganic carbon을 생성하였거나 토양에 다시 흡착된 것으로 판단된다.

IV. 토의 및 결론

백령면 저수지의 COD 유발원인을 도출하기 위하여 저수지내외의 토양성분과 저수지내 토양의 잠재적 용출특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저수지의 토양성분 조사결과 SiO₂가 주요 구성 성분으로 모든 토양이 비슷한 구성 성분과 성분 함량을 나타내고 있으며, 대체적으로 모암의 영향에 의해 철의 함량이 높고 원소 분석결과 저수지내 퇴적토에서 고농도의 Carbon이 검출되어 주로 저수지 바닥의 Sediment에 존재하는 휴믹물질로 간주되며, 이는 저수지 바닥으로 유입되는 용천 지하수와 호소내부의 축적에 의한 것으로 생각된다.

2. 토양에 대한 직접적인 C, N, P에 대한 분석 결과 저수지내 퇴적토가 저수지외의 토양에 비해 높은 농도를 나타내고 미생물이 성장하기 좋은 비율로 존재하고 있어 과거 농경지로 이용되었던 해성 점토층으로 구성된 저수지 바닥에 존재하는 유기물이 생물학적인 성장과 용출에 의해 저수지내로 유기물을 용출을 시키고 있는 것을 알 수 있었다.

3. 저수지내 퇴적토와 주변 토양의 16s rDNA, carbohydrate, Protein 분석결과 16s rDNA, protein은 저수지내 퇴적토가 높고, carbohydrate는 낮게 나타났으며, 저수지 토양내 영양염류 함유 농도가 높고, 저수지에 침전되어진 고농도의 유기물이 수중으로 용출됨에 따라 미생물 활동이 활발하여진 것에 기인된 것으로 사료된다.

4. 저수지내 퇴적토의 유기물(TOC)의 양과 COD_{Mn} 측정치는 30,000~40,000 mg/kg soil로 계곡부 토양의 유기물(TOC)과 COD_{Mn} 약 10,000 mg/kg soil에 비해 비교적 높은 농도를 나타내고 있으며, 퇴적토, 깊이 0.3, 0.5, 1.0m에 대한 잠재적

COD_{Mn} 용출 실험을 한 결과 31,694 mg/kg soil, 11,516 mg/kg soil, 9,961 mg/kg soil, 8,871 mg/kg soil로 검출 되어 저수지내의 토양이 호소내의 지속적인 COD 용출 원인으로 판단되므로, 저수지내 퇴적토의 토양을 준설하고 계곡부 토양으로 대체하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

5. 영양염류인 T-N, T-P에 대한 분석결과 저수지내 퇴적토와 계곡부의 토양의 영양염류 양은 지점에 따라 편차가 크고, 어느 한쪽의 양이 많다 할 수 없으므로 준설시 저수지에 미치는 영향에 대해서 판단하기 어려워 추후 지속적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리 환경기술교육혁신지원사업단”의 지원을 받은 과제입니다.

참고문헌

- 김도희, 2002, 영양염 용출 측정에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 11(12), 1333-1337.
- 오종민, 조영철, 2007, 소규모 저수지에서 퇴적물로부터 영양염류의 용출이 수질에 미치는 영향, 대한환경공학회지, 29(11), 1217-1222.
- 해양수산부, 2005, 해양환경공정시험방법, 157-263.
- 환경부, 2004, 수질오염공정시험방법, 106-288.
- 환경부, 2005, 농어촌·도시지역 2단계(05~'14년) 상수도 확충계획.
- Dubois, M., Gilles, K. A., and Smith, F., 1956, Colorimetric method for determination of sugars and related substances, Anal. Chem., 28, 350.
- Hartree, E. F., 1972, Determination of protein : A modification of the Lowry method that gives a linear photometric response, Anal. Biochem, 48, 422-427.
- Lenox, L. J., 1984, Lough Ennell : Laboratory studies on phosphorus release under varying mixing, aerobic and anaerobic conditions, Freshwater biology, 14, 183-187.
- Stevens, A. A., 1989, Formation and control of non-trihalomethane disinfection by products, Jour. AWWA, 80(10) 54-60.

최종원고채택 10. 03. 24