

호소 및 하천의 오염 저질토 sampling 방법 및 처리방안 연구

최동호, 배우근, 최형주
한양대학교 토목환경공학과 폐기물공학연구소
e-mail : chiico@hanyang.ac.kr

요 약 문

Pollutants from industry, mining, agriculture, and other sources have contaminated sediments in many surface water bodies. Sediment contamination poses a severe threat to human health and environment because many toxic contaminants that are barely detectable in the water body can accumulate in sediment at much higher levels, the purpose of this study was to make convenient sampling method and optimal treatment of sediment for water quality improvement in reservoir or stream based on an evaluation of degree of contamination. Results for analysis of S-reservoir sediments were observed that copper concentration of almost areas were higher than the regulation of soil pollution (50 mg/l) for the riverbed. S-stream sediments were observed that copper, arsenic and TPH concentration of almost areas were exceeded soil pollution concerning levels for factorial areas. We used Remscreen(version. 1.0) program which is contaminated soil recovery program to select optimal treatment method of contaminant sediments. The result was shown in the order of Thermal Calcination > Excavation, Retrieval and Off-site Disposal(comparative less then contaminant) > Low Temperature Thermal Desorption + Solidification/Stabilization.

key word : contaminant, sediment, sediment sampling, remscreen

1.서론

호소나 하천은 점원 및 비점원 오염원에 의해 인, 질소 등의 각종 영양소와 중금속 등의 물질들이 수층의 용존 상태물질이 입자상태의 물질로 변하거나 입자상 물질에 포함되어 수체의 바닥에 퇴적하게 되는데 이러한 물질들을 sediment(퇴적물, 저니, 저질)라고 부르며 호소나 하천의 장기적인 내부오염원으로 작용하여 수층을 오염시키게 된다.¹⁾ 생태학적으로 sediment는 저서생물이 부착 또는 생활할 수 있는 공간을 제공하는 수생태계(水生態界)의 중요한 요소로 수체(水體)와 유기적으로 연결되어 있다. 산업폐수, 생활오수, 폐기물매립장 침출수, 도시 및 농촌의 강우 유출수에 포함되어 하천으로 유입된 유기물, 영양염류, 중금속, 유해화학물질 등을 함유하는 입자상 오염물질은 하류로 운반되어 비교적 유속이 적은 호소, 하구, 해양등의 바닥에 침강된다. 또한 침강된 오염물질은 일단 수중으로부터 제거되어 퇴적물 속에 축적되었다가 확산, 재부유, 생물교란 등의 생물·물리·화학적 과정에 의해 다시 수중으로 용출되어 수질 및 수생태계에 직·간접적인 악영향을 미칠 수 있게 되며²⁾ 수저 퇴적물의 경우 지속적인 오염원으로 수체에 작용하여 오염부하 기여율은 호소인 경우 20 - 30%, 댐의 경우 3% 정도로 알려져 있다.³⁾ 국내에서의 퇴적 저질토의 제거는 1980년 후반에 들어서야 관심을 갖기 시작하였는데, 마산항의 퇴적물 제거사업을 비롯하여 1993년에는 팔당호 수질개선을 목적으로 “팔당호 퇴적물 준설사업 기본계

획”의 수립시에 외국 사례를 중심으로 하여 준설기준을 제시한 바 있다. 팔당호 준설 계획은 여러 사정으로 무산되었으나, 현재 서울시에서 한강의 수질개선을 목적으로 1994년부터 한강하류의 퇴적저질토 준설사업을 시행 중에 있으며⁴⁾ 소규모 호소나 하천의 관리를 위한 정비가 환경부 주관하에 지자체별로 이루어지고 있다.⁵⁾ 그러나, 호소나 하천의 오염 퇴적물 정화 방안에 대한 국내 연구는 선진국에 비해 많이 부족한 실정이며 오염도 파악이 구체적이지 않아 오염되지 않은 sediment까지 준설하여 처리 비용의 증가를 초래하고 있고 준설된 sediment의 처리 방안에 대한 연구와 노력도 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존의 sediment sampling 방식(시추장비나 sediment corer이용)보다 다소 간단한 방법으로 호소나 하천에서 sediment를 sampling 할 수 있는 방법과 오염된 sediment의 적정처리방안을 remscreen(version.1.0)에 적용하여 선정하고자 하였다.

2. 조사 및 분석방법

2.1. 시료채취 지점

a. S 호수

S호수 면적을 격자 모양으로 나누어 총 80 지점에 대해 저질 시료를 채취 분석하였다. 상대적으로 오염이 심한 지역에 대해서는 시료채취 간격을 줄여 집중적으로 40개의 시료채취 지점을 배치하고, 기타지역에 대해서는 시료 채취간격을 넓혀 나머지 40개 지점을 배치하였다.

b. S 간선수로

S 간선수로는 총 연장 3,300m, 하상 폭 2m, 퇴적토 폭 2 ~ 5m의 수로에 대해 깊이별 시료를 총 30개 지점(L, M, R 라인 각 10지점)에서 120개(지점별 4개 시료(10-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm))채취하였다. 한편 표층시료로 M 라인 표층(0-10cm)에서 약 70m 간격으로 50개 지역 70개 시료를 sampling 하여 총 190개 시료를 채취하였다.

2.2 시료채취 방법

a. S 호수

1차 sampling 시료중 10개 지점은 원 지반까지(시추조사, 최대 2.1m) 조사하였으며, sampling은 바지선(가로 4m×세로 2m×높이 1.5m)을 제작하여 중앙에 가로 0.6m×세로 0.6m×높이 1.5m의 sampling port를 뚫어 이를통해 시추장비(corer)를 내려 저질토를 채취하였다. 시추장비는 초기 sediment corer를 사용하였으나 사용상 여러 문제점이 발생하여 \varnothing 60mm, 길이 200cm의 PVC 관을 이용하여 sampling을 하였다. 퇴적물 두께 측정은 지름 3cm, 길이 3m의 알루미늄 강관 총 8개(24m)를 연결시켜 강관의 외부에는 저질토의 퇴적 깊이를 알 수 있도록 흰천을 대어 선박을 닦으로 고정시킨 후 퇴적물의 깊이를 측정하였다. 시료채취시 어려움으로는 최 상부의 표층 시료가 slime 상태로 존재하여 직상수와 혼합되기 쉬워 채취시 신중을 기해야 했고, 저질토 깊이 측정시 측정장비의 지름이 작고 길이가 길어 조류의 흐름에 따라 흔들림이 심해 측정에 어려움이 있어 조류의 흐름 파악 후 바지선 모서리 부분에서 anker 4개를 각 방향으로 견고히 고정시키고 깊이를 측정해야했다.

b. S 간선수로

시료채취는 길이 3,300m의 임시차집 개수로를 따라 정해진 지점에서 수행하였다. 시료채취기간이 동절기여서 얼음이 덮여 있는 지역에서는 얼음끝을 사용해 시료채취구를 뚫고 \varnothing 60mm의 PVC 관을 압입하여 시료를 채취하였으며, 바닥이 드러난 지점에서는 포크레인을 이용

하여 시료를 채취하였다.

2.3 분석방법

S호수의 경우 전체 조사항목은 온도, DO, pH, ORP, 입도분포, 유기물 2개 항목(강열감량, COD), 영양염류 6개 항목(TKN, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, T-P, $\text{PO}_4\text{-P}$), 중금속 5개항목(Cu, Cd, Mn, Pb, Zn)등 총 18개 항목이었고, 이중 현장측정 항목은 온도, DO, pH, ORP 등 4개 항목이었다. 현장 측정항목을 제외한 분석은 대부분 해양오염공정시험법⁶⁾을 기준으로 실시하였으며 이 방법에 포함되어있지 않은 항목은 Standard Methods를 이용하였으며 DO, pH, ORP는 측정기기를 이용하여 분석하였다.

S수로의 경우 토양환경보전법 시행령에 규정된 토양오염물질중 총 11개 항목((중금속: As, Cd, Cr^{6+} , Cu, Hg, Pb, CN), (VOCs: TCE), (유류: TPH), (농약류: 유기인 화합물), (폐놀류: phenol))을 분석하였으며 폐기물의 관리법 시행령 및 시행규칙에 명시된 지정 폐기물 여부 판단 항목중 총 11개 항목((중금속: As, Cd, Cr^{6+} , Cu, Hg, Pb, CN), (VOCs: TCE, PCE), (유류: 기름성분), (농약류: 유기인 화합물))등에 대해 분석하였다.

3.결론

3.1 분석결과

a. S 호수

저질토를 국내 토양오염기준에 의거하여 평가하였을 때 일부지역의 Cu오염 정도가 “대책 기준”을 초과하는 것으로 나타났다. 영양염류와 유기물에 대해 규정한 한강하류 준설 기준에 의거하여 평가 하였을때 T-P가 하천합류 지역 및 공단 일부 지역에서 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 미국 EPA 기준 적용시 대부분의 측정항목에서 대체로 “보통 오염”이상으로 나타났다. 영양염류의 경우 하천 합류 지역 부근에서 오염의 정도가 다른 지역보다 높은 것으로 나타났으며, Cu의 경우는 공단 전방까지 대체로 “오염이 심함”으로 분류되어 이 지역에서의 Cu오염이 심각한 것으로 나타났다. 상기 기준들을 토대로 저질토 깊이별 오염도를 측정한 결과 평균적으로 저질토 깊이 1m까지의 오염도가 높은 것으로 나타났고 특히 표층으로부터 20cm까지 오염이 심하였다. 이에 준설을 고려시 오염이 심한 부분만을 준설한다면 표층 20cm까지 준설을 적극적으로 고려해야하며 안정적인 처리를 위해서는 1m까지의 준설을 고려해야할 것으로 판단되었다.

b. S 간선수로

폐기물관리법에 의한 폐기물용출시험결과 지정폐기물로 지정되는 곳은 수은이 검출된 M1, M45 두 지점이며 이곳을 제외한 다른 지점은 지정폐기물 기준치 이하에 있는 것으로 분석되었으며 기타항목들에 대해서도 지정 폐기물 기준치를 넘지 않는 것으로 조사되었다. 그러나 토양환경보전법에 의한 토양오염 공정시험법에 의한 결과 Cu의 경우 0 ~ 30cm 까지 우려기준을 초과하는 지역이 나타났으며, As의 경우 표층(0 ~ 10cm)에서 약 50%(5/10)가 우려기준(20mg/kg)을 초과하였고, 대책기준(50mg/kg)을 초과하는 곳도 40%에 달하는 것으로 나타났다. TPH(석유계탄화수소)의 경우에도 표층(0 ~ 10cm)에서 우려기준 농도 2,000mg/kg를 초과하는 지역이 약 80%(8/10)로 나타났으며, 이중 대책기준 농도 5,000mg/kg를 초과하는 항목도 60% 이상으로 나타나 유류오염이 심각함을 알 수 있었다. 특히 As가 대책기준을 초과한 M-2 ~ M-45 구간 4개 지점은 대책기준 농도를 6배 이상 초과하고 있었다. As 및 TPH 농도를 고려하여 안전율을 감안해 심도 40~60cm 까지를 오염된 저질토로 추정하였다. 한편 오염 저질토가 퇴적된

수로폭은 평균 5m를 넘지 않는 것으로 판단하여 추정된 오염저질토의 양은 최대 약 9,900 m³으로 나타났다.

이에 정밀 조사 결과를 바탕으로 현장 조건을 고려한 최적의 정화기술을 선정하고자, 오염토양 복원 기술 선정 프로그램인 RemScreen(version 1.0)을 이용하였다. 선정된 공법들에 대한 특성, 오염 지역 특성, 작업 여건 등을 고려하여 기술의 우선순위를 살펴본 결과 아래의 Table 1과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 1. RemScreen을 통한 정화기술 선정

선정순위	기 술	평가치
1	Soil Washing	9.7
2	Solidification/Stabilization	6.3
3	Low Temperature Thermal Desorption	5.7
4	Excavation, Retrieval and Off-site Disposal	5.3
5	Composting	4.7
#	Thermal Calcination(시멘트 소성로 처리)	-

앞서 언급한 바와 같이 현재 수로의 저질토는 유류와 중금속이 동시오염되어 단독 처리기술을 적용하는데는 여러 가지 면에서 문제점이 발생할 수 있다. 이에 처리 방법의 최종대안에서는 1차 처리로 유류를 제거하고 2차 처리로 중금속을 처리할 수 있는 기술을 토대로 대안을 선정하였다.

Table 2. 우선순위 및 처리기술의 조합

우 선 순 위	처 리 기 술
1	Thermal Calcination(시멘트 소성로 처리)
2	Excavation, Retrieval and Off-site Disposal (비교적 오염이 경미한 경우)
3	Low Temperature Thermal Desorption + Solidification/Stabilization
4	Low Temperature Thermal Desorption + Excavation, Retrieval and Off-site Disposal
5	Low Temperature Thermal Desorption + Soil Washing
6	Composting and Landfarming + Solidification/Stabilization

4. 참고문헌

1. Abrams, M.M. and Jarrell, W.M., Soil phosphorus as a potential nonpoint source for elevated stream phosphorus level. J. Environ. Qual., 24, 132-138.1., 1995.
2. 한국정책평가 연구원, 호소 및 하천오염 퇴적물관리방안, 1998.
3. 上野 武, “最近の水域浄化技術の概要”, 用水と廢水, 32(9), pp3, 1990.
4. 환경처, 팔당호 퇴적물 준설사업 기본설계보고서, pp. 235-312, 1993.
5. 환경부 홈페이지, <http://www.me.go.kr/~user/civil/general>.
6. 해양수산부, 해양오염공정시험법, 1998