

농촌 중·소 하천 및 저수지 퇴적물의 오염현황

장병욱* · 우철웅** · 김성필**

*서울대학교 농공학과 · **서울대학교 농공학과 대학원

A Study on the Degree of Pollution of Stream and Reservoir Sediments in Rural Area

Chang, Pyoung-Wuck* · Woo, Chull-Woong** · Kim, Seong-Pil**

*Dept. of Agricultural Eng., Seoul Nat'l Univ. · **Dept. of Agricultural Eng., Graduate School, Seoul Nat'l Univ.

ABSTRACT : This study was performed to investigate the degree of pollution of sediments of stream and reservoir in rural area. A series of field investigations were carried out for Kyongki-do area and chemical analysis were performed for sediment samples. It was found that some samples were heavily polluted with phenol and TPH and gave off a malodor. Soil Pollution Scores(SPSs) was determined for sediment samples. Some samples were classified to Soil Pollution Class(SPC) 2 and 3. For recycling and disposal of dredged sediments from stream and reservoirs, these polluted sediments should be carefully considered. In the environmental improvement operations of rural area, the degree of pollution of sediments of stream and reservoir are carefully investigated and suitable counterplan must be established.

Key words : Sediments, Small streams, Soil Pollution Index (SPI), Soil Pollution Score (SPS)

1. 서론

농어촌의 중·소 하천 및 저수지는 농업용수의 공급원의 역할을 하고 있으며, 지금까지 농어촌 중·소 하천 및 저수지에 대하여 이·치수 목적의 하천개발, 제방축조, 준설 및 수질개선 등의 사업이 수행되어 왔다. 하상 및 저수지 바닥에 퇴적된 퇴적물은 이러한 사업 과정에서 외부로 유출되어 건설재료로 사용되거나 사토처리되고 있다.

근래의 농어촌 정주권 사업 및 기타 환경 및 생태관련 사업 등의 관점에서 하천 및 저수지는 단순한 용수원의 기능뿐만 아니라 주민의 생활공간의 일부로 그 역할이 확대되고 있다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 이들 퇴적물의 오염정도를 파악하는 것은 준설 퇴적물의 활용 및 사토처리에 있어서 토양오염 등에 대한 중요한 판단근거가 될 수 있으며, 또한 하천의 환경정비에 있어서 고려되어야 할 하나의 요소가 될 것이다. 따

라서 농어촌 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도에 대하여 파악하고 등급화 하는 것이 필요하다.

이와 유사한 토양오염분석과 등급에 관한 연구로, 국내의 특정 지역 또는 특정 산업활동에 의한 토양오염현황을 분석하고 이들의 처리방안에 관한 연구가 수행되어왔다. 김기현 등(1996)은 중부지역 농경지의 중금속오염실태를 조사하였다. 김주용 등(1999)은 영산강 및 광주천 퇴적물이 중금속에 오염되어 있음을 밝혔다. 또한 중금속의 분포가 퇴적물 입도와 관계가 있으며 중금속 상호간 밀접한 상관관계가 있다고 하였다. 이평구 등(2000)은 서울시 각 구별 도로변 하수퇴적물의 중금속오염 특성을 조사 분석하였으며, 이유대와 노영재(1991)는 광산 주변토양의 중금속 오염현황을 조사하고 처리방안을 제시하였다. 윤연흠 등(2000)은 여천공단 주변토양의 중금속함량에 관하여 조사 분석하였으며, 정찬호와 정기영(2000)은 pH와 지하수 음이온이 벤토나이트를 이용한 토양중금속의 흡착제거에 미치는 영향에 대한 연구에서 알칼리상태로 될수록 제거율이 커짐을 보였다. 그리고 토양오염에 대한 지표화 연구로, 박용하(1996)는 중금속 및 비소오염 토양의 평가에 관한 연구에서 비소와 중금

Corresponding author : Kim, Seong-Pil
Tel : 02-880-4593
E-mail : agsol@hanmail.net

속의 농도를 이용한 토양오염점수를 이용하여 토양오염을 등급화하였다. 또한 장인성 등(1999)은 토양오염지표를 이용하여 천안시 인근의 토양환경을 평가하였다.

본 연구에서는 경기도내의 농촌 중·소 하천 및 저수지의 퇴적물에 대한 오염도 분석을 실시하였으며, 박용하(1996)가 제시한 토양오염점수를 이용하여 오염등급을 평가하였다. 이는 향후의 준설사업으로 발생한 준설토사 처리에 있어 하나의 판단근거로 사용될 수 있을 것이다. 또한 하천 및 저수지 퇴적물의 오염정도를 지표화하여 농어촌 마을의 환경정비사업에 있어서 하천정비사업의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

II. 대상지역 및 방법

1. 대상지역

본 연구에서는 먼저 경기도 일대의 중·소 하천 퇴적물에 대하여 개괄적인 조사를 실시하였다. 기존의 연구에서 환경정비를 위하여 소하천을 토지이용상대, 하폭, 흐름의 지속성 등을 고려하여 산간부, 취락부, 농경지, 유원지 소하천으로 구분한 경우가 있으나(농림부, 1998), 본 연구에서는 하상 퇴적물의 오염정도에 영향을 미치는 오염원을 근거로 하여 각 조사 대상 하천의 유역을 각각 농업, 생활, 공업 우세 유역으로 구분하였다. 표 1에 시료의 채취위치와 주변상황, 퇴적물의 성상, 시료 채취시기, 그리고 유역의 구분을 요약하였다. 표에서 유역의 구분은 명확하게 특성 지어지는 것은 아니다. 예를 들어, 김포시 일대의 경우 평야지대로 대부분 농경지로 구성되어 있으며, 생활 및 공업은 하천 퇴적물의 특성에 부수적 영향을 미치는 것으로 판단하였으며, 파주, 동두천 일대의 경우 하천 일대는 대부분 농경지이나, 주변의 공장들이 영세하고 오염정화시설을 갖추고 있지 않는 경우가 대부분이므로 농업 및 공업 유역으로 구분하였다. 그리고 저수지는 농업유역으로 구분하였으며, 현재 준설공사가 진행중인 단석, 물왕, 용덕, 보통 저수지를 대상 저수지로 선정하였다.

2. 조사항목 및 방법

가. 육안조사 및 샘플링

육안조사는 앞서 구분한 각 유역에 대하여 육안으로 관찰할 수 있는 항목을 선정하여 조사하였으며, 퇴적물의 색과 악취 발생여부를 조사하였다. 악취의 경우 '대기환경보전법'에서 제시한 대기오염공정시험방법의 관능에 의한 방법과 기기에 의한 방법 중 표 2와 같이 관능법 상의 6단계의 악취도를 적용하였다.

표 1. 시료의 채취위치와 유역 구분

No.	위치(경기도)	주변 상황 및 오염원	퇴적물 성상	구분	채취 시기
1	파주시 파평면 장개다리	주변 농경지 및 상류 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
2	양주군 용암리 용암교	주변 상가 및 상류 주거지	자갈 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
3	포천군 군내면 유교리	주변 농경지 및 상류 주거지	사질토	농업 및 생활유역	3월
4	파주시 금촌초교	주변 농경지 및 공장지대	상부 점토, 하부 사질토	농업 및 공업유역	3월
5	파주시 문산중교 삼교	주변 주거지 및 상가	상부 유기물 및 점토	농업 및 공업유역	3월
6	파주시 파평면 이천교	주변 농경지 및 상류 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
7	양주군 주내면 산북리 산북교	주변 상가 및 상류 주거지	유기물 및 자갈, 사질토	농업 및 공업유역	3월
8	양주군 남면 상수리	주변 상가 및 상류 공장지대	유기물 및 점토	농업 및 공업유역	3월
9	문산시 문산읍 향양교	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 사질토	농업 및 생활유역	3월
10	양주군 광덕면 덕도리	주변 온실 및 상류 공장지대	유기물 및 사질토	농업 및 공업유역	3월
11	양주군 은현면 봉암교	주변 농경지 및 공장지대	점토~사질토	농업 및 공업유역	3월
12	화성시 발안	주변 상가 및 주거밀집	유기물 및 점토	농업 및 생활유역	10월
13	화성시 발안	주변 농경지	사질토	농업유역	10월
14	화성시 발안	주변 농경지 및 상류 주거지	사질토	농업 및 생활유역	10월
15	김포시 월곶면 군하리	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 사질토	농업유역	4월
16	김포시 하성면 하사리	주변 농경지 및 주거지	유기물 및 점토~사질토	농업유역	4월
17	김포시 양촌면 석모리	주변 농경지 및 주거지	유기물 및 사질토	농업유역	4월
18	김포시 대곶면 석정리	주변 농경지 및 주거지	사질토	농업유역	4월
19	단석저수지	주변 농경지 및 주거지	점토~사질토	농업유역	6월
20	물왕저수지	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 점토	농업유역	6월
21	용덕저수지	주변 농경지 및 상류 주거지	유기물 및 사질토	농업유역	6월
22	보통저수지	주변 상가 및 주거지	상부 유기물 및 사질토	농업유역	6월

표 2. 악취정도의 구분(대기환경보전법)

악취도	0	1	2	3	4	5
구분	무취	감지 취기	보통 취기	강한 취기	극심한 취기	참기 힘든 취기

각 조사대상 지역에서의 주변의 여건과 오염원의 정도, 그리고 표 2에서 정의된 악취정도를 기준으로 오염정도가 심하다고 판단되는 경우 시료를 채취하였다. 샘플링 위치는 하천수가 흐르는 곳을 정하였으며, 특별한 샘플러를 사용하지 않고 삽으로 하천수와 함께 퇴적물을 퍼내어 30cm 심도에서 퇴적물이 고르게 채취되도록 퇴적물을 유리병에 담아 밀봉하여 보관 운반하였다. 대상 하천은 하천 폭이 10m 이내로, 주변은 대부분 농경지이고, 상류부에 주거지 및 공장 등이 산재한 지역을 선정하였다.

나. 오염도 분석

화학성분분석은 '토양환경보전법'에서 규정하고 있는 오염물질에 대하여 수행하였으며, 측정항목은 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 납(Pb), 비소(As), 수은(Hg), 시안(CN), 6가크롬(Cr⁺⁶), 유기인, 페놀, BTEX, TPH, PCB이다. 모든 분석방법은 '토양오염공정시험방법'에 준하여 수행하였다.

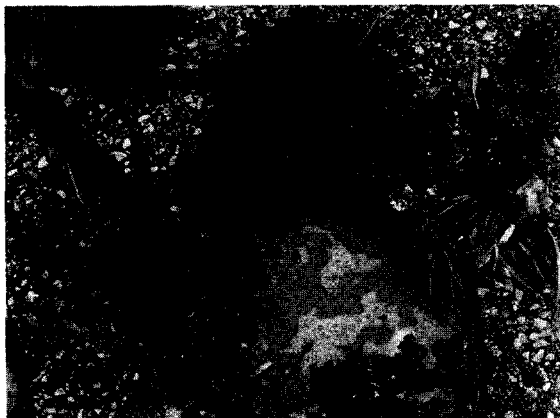


그림 1. 퇴적물의 오염현황(내부 오염)

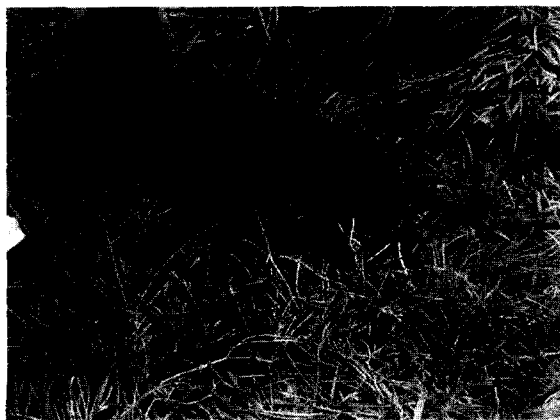


그림 2. 샘플링

표 3. 토양오염점수(SPS)를 근거로한 토양오염등급(SPC)

총 토양오염점수 (Total Soil Pollution Score)	토양오염등급 (Soil Pollution Class)
> 300	4
200~300	3
100~200	2
<100	1

토양의 중금속 농도에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있는 지표로 박용하(1996)에 의해 제안된 토양오염지표(SPI, Soil Pollution Index)를 사용하였다. 이는 식 (1)의 토양오염점수(SPS, Soil Pollution Score)를 이용하여 토양오염등급을 판단하는 방법으로 개별 오염물질에 대한 토양의 오염정도 보다는 여러 오염물질에 의한 토양의 상태를 종합적으로 판단할 수 있다는 장점이 있다.

$$SPS = \sum_i \frac{Conc_i}{TV_i} \times 100 \quad (1)$$

여기에서, *i*는 중금속(As, Cd, Cr⁺⁶, Cu, Pb, Hg), *Conc_i*는 각 중금속의 농도 그리고 *TV_i*는 각 중금속의 토양오염 우려기준이다. 원래의 토양오염점수는 Cr⁺⁶ 대신 Zn을 사용하였으나 본 연구에서는 현재 토양환경보전법 상에서 규정한 Cr⁺⁶을 사용하였다.

토양오염점수를 근거로 토양오염등급(Soil Pollution Class)을 나타내면 표 3과 같다. 표에서 토양오염점수가 300점 이상이면 4등급으로 오염된 지역으로 구분한다. 300~200 사이는 3등, 200~100점 사이는 2등급으로 토양오염이 우려되어 토양 상태의 재검측이 필요한 지역이다. 100점 미만은 1등급으로 토양상태가 양호한 지역으로 분류한다.

III. 결과 및 고찰

1. 육안조사에 의한 오염도 분석

하천퇴적물의 경우 퇴적물에 의해 보의 기능을 상실한 경우가 많아 준설이 필요한 것으로 나타났으며, 또한 하천 퇴적물이 육안으로 보아 오염정도가 낮거나 오염되지 않은 것으로 보이는 경우에도 내부는 색이 검은빛이고 악취가 심하게 발생하는 경우가 많이 관측되었다. 그림 3은 본 연구에서 구분한 지역에 대하여 악취정도를 나타낸 것이다.

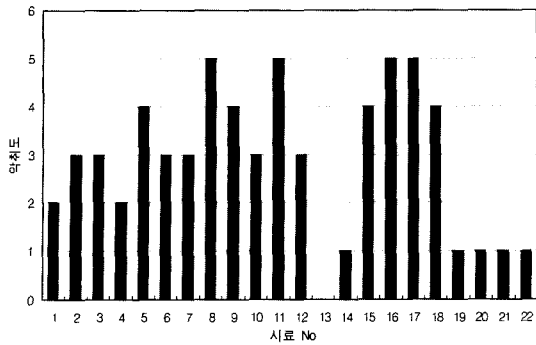


그림 3. 퇴적물의 약취발생 정도

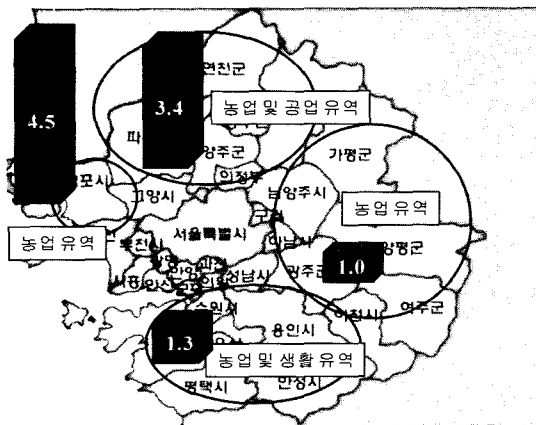


그림 4. 지역별 약취발생정도

약취의 발생정도는 생활유역보다는 공업 및 농업유역에서 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 저수지 퇴적물의 경우 약취발생정도는 매우 낮았다. 이를 지역별로 구분하여 나타내면 그림 4와 같다. 그림에서 보듯이 농업유역 중에서도 김포시 일대의 하천퇴적물에서 약취도가 심한 것으로 나타났다.

2. 토양오염등급에 의한 오염도 분석

본 연구에서 채취한 총 22개 시료에 대한 화학분석 결과와 토양오염등급은 아래 표 4와 같다. 시료 No. 1~11은 경기 북부시료, 12~14는 경기 남부시료, 15~18은 김포지역 시료이며 나머지 19~22시료는 저수지 시료이다.

토양 오염물질로 규정된 항목 중에서 6가크롬(Cr+6), PCB, 유기인, 시안(CN)은 검출되지 않았다. 분석 항목 중에서 '토양환경보전법' 상에서 규정하고 있는 토양오염 우려기준을 초과하는 항목은 페놀과 TPH로 경기 북부 일부와 경기 남부시료에서 검출되었다. 이는 토양오염 대책기준을 초과하고 있어 대책이 필요한 것으로 나타났다. 나머지 항목은 기준을 초과하지 않았다.

유기물의 경우 2~4% 이상이면 비중의 감소 및 흡수성, 보수성이 증가하여 물리적 성질(컨시스턴서, 수축

표 4. 하천 퇴적물 시료의 화학분석 결과 및 토양오염점수

No.	위치	As mg/kg	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg ug/kg	TPH mg/kg	페놀 mg/gk	BTEX mg/kg	pH	EC dS/m	유기물 %	SPS	SPC
1	파주시	1.375	3.406	0.059	1.396	0.1308	0	0	0	6.89	0.140	0.59	67.8	1
2	양주군	2.674	8.243	0.173	8.025	0.0597	0	0	0	7.13	0.260	3.31	95.5	1
3	포천군	2.636	4.663	0.111	2.704	0.0342	0	0	0	5.38	0.113	2.38	71.9	1
4	파주시	3.949	7.813	0.151	4.608	0.1528	0	0	0	7.38	0.213	3.51	134.3	2
5	파주시	3.920	6.140	0.180	8.541	0.0917	0	0	0	7.34	0.262	1.79	121.1	2
6	파주시	2.470	5.226	0.153	5.109	0.0759	0	0	0	6.60	0.422	3.58	85.9	1
7	양주군	1.381	11.745	0.183	12.472	0.1807	0	0	0.650	6.52	0.126	3.49	116.4	2
8	양주군	3.458	25.894	0.220	6.848	0.0498	0	0	0	6.59	0.634	6.84	143.4	2
9	문산시	0.663	2.573	0.055	2.947	0	0	0	0	5.45	0.133	0.63	22.8	1
10	양주군	2.233	11.923	0.603	2.684	0.0665	0	36.870	0	5.73	0.422	9.30	120.6	2
11	양주군	4.986	5.542	0.199	4.644	0.1852	2697.82	276.984	0	7.57	1.440	4.00	158.4	2
12	화성시	4.009	9.847	0.207	7.681	0.0999	0	65.067	0	4.61	0.499	2.77	133.0	2
13	화성시	1.261	2.517	0.072	3.505	0.8431	0	13.107	1.286	6.86	0.061	0.58	245.1	3
14	화성시	1.480	1.407	0.059	2.833	0	0	13.301	0	4.99	0.100	0.82	34.2	1
15	김포시	0.769	3.481	0.079	1.586	0.097	0	0	0	N.A	N.A	N.A	51.0	1
16	김포시	2.328	5.125	0.298	3.023	0.079	0	0	0	N.A	N.A	N.A	91.6	1
17	김포시	1.220	4.889	0.128	3.153	0.022	0	0	0	N.A	N.A	N.A	47.4	1
18	김포시	0.920	2.444	0.101	2.792	0	0	0	0	N.A	N.A	N.A	29.7	1
19	단석	2.170	1.781	0.123	6.771	0.056	0	0	0	N.A	N.A	N.A	68.7	1
20	물왕	1.523	2.190	0.096	3.879	0.028	0	0	0	N.A	N.A	N.A	46.9	1
21	용덕	2.910	4.748	0.113	5.444	0.103	0	0	0	N.A	N.A	N.A	96.7	1
22	보통	0.977	2.085	0.054	2.042	0.001	0	0	0	N.A	N.A	N.A	26.2	1

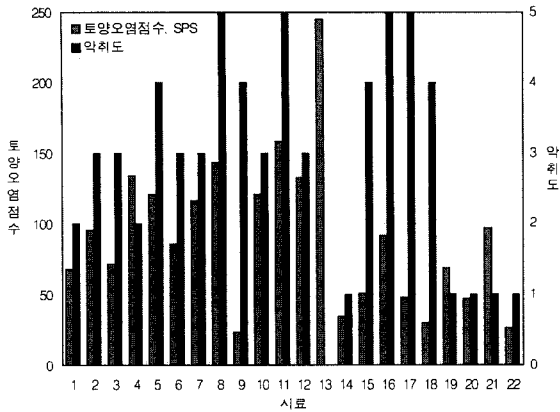


그림 5. 토양오염점수와 악취도와의 관계

정수 등)이나 역학적 성질(압밀특성, 전단특성 등)에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 대상 시료의 경우 최대 9% 이상의 유기물 함량을 나타내었으며, 생활유역과 공업유역에서 유기물 함량이 높았다. 이들 퇴적물을 도로 등의 성토재료로 활용하고자 하는 경우 대책이 필요한 것으로 나타났다.

표 4에서 보듯이 8개 시료의 토양오염등급이 2~3등급으로 분류되어 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다. 향후 이들 하상 퇴적물에 대한 주의가 필요한 것으로 판단되었다. 저수지 시료의 경우는 모두 1등급으로 나타났다. 또한 육안 조사에서 상대적으로 오염정도가 낮은 것으로 나타난 경기 남부시료가 2~3등급으로 나타나 실제 오염정도와와의 차이를 보였다.

한편으로, 하천 및 저수지 퇴적물의 오염은 그 자체의 특정기준 초과여부를 떠나서 사토 처리 및 활용에 있어서 부차적인 토양오염원으로 작용할 수 있다는 점에 중요성이 있다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 특히 하천 및 저수지 수질의 영향이 클 것으로 판단되지만 수질의 경우 사토 및 활용시의 침출수와 관련된 처리 분야로 보았으며, 본 연구에서는 수질과의 관계에 대해서는 조사하지 않았다.

악취로 판단한 오염정도와 토양오염점수로 나타낸 토양오염정도를 비교한 결과를 그림 5에 나타내었다. 악취정도는 토양오염점수와 유의할 정도로 상관관계는 없는 것으로 판단되며 특히 13~20의 시료의 경우 육안 조사 및 악취정도와 퇴적물의 오염정도는 크게 다른 것으로 나타났다.

오염성분 상호간의 관계를 비교한 결과 그림 6과 같다. 토양오염점수의 계산에 사용된 중금속성분의 상호간 관계가 시료별로 정도의 차이는 있으나 유사한 관계가 나타났다.

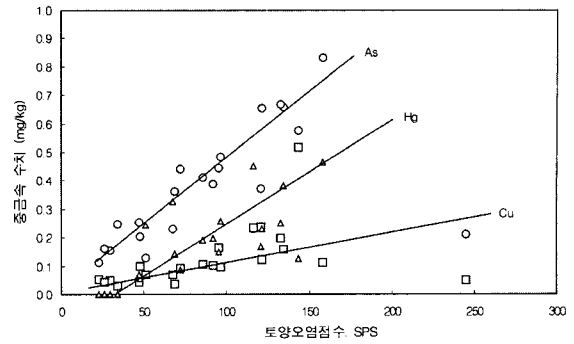


그림 6. 토양오염점수와 중금속 성분의 상호관계

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 경기도내 농촌 중·소 하천 및 저수지 중의 일부에서 퇴적물을 채취하여 오염도 분석을 실시하고 이를 토양오염점수를 이용한 토양오염등급을 고찰하였다. 그 결과 하천 퇴적물의 경우 겉으로 보이는 것과는 달리 내부의 오염이 심한 것이 육안으로 관찰되었으며, 퇴적물에서 매우 심한 악취가 발생하고 있었다. 또한 퇴적물로 인해 보의 기능이 상실되는 등 하천 준설의 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

하상 퇴적물 시료에 대한 화학분석 결과 일부 지역의 시료에 대하여 페놀 등에 의하여 심하게 오염된 경우가 나타났다. 토양오염지표를 이용하여 퇴적물의 오염정도를 분석한 결과, 몇몇 시료의 경우 토양오염등급 2, 3등급으로 토양오염의 우려가 있는 것으로 나타났다. 따라서 이들 지역에 있어서 유역의 오염원에 대한 관리 및 하상 퇴적물의 오염정도 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

향후 친환경적인 생활공간으로서의 하천개발을 위한 하천정비사업에 있어서 하천 및 저수지에서 발생하는 준설 퇴적물의 처리 및 재활용을 위한 기준의 정립이 필요한 것으로 판단되며, 이를 위하여 향후 오염원별, 시기별 퇴적물의 오염현황 파악 및 토양오염지표의 변화에 대한 모니터링이 필요한 것으로 판단되며, 본 연구에서 사용한 토양오염지표에서 나아가 농어촌의 지역특성, 생활특성 및 산업특성을 반영하는 보다 합리적인 하천 및 저수지 퇴적물의 오염지표의 개발이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 김기현, 김세현, 최영천, 1996, 중금속 토양 오염: 한국중부지역의 농경지를 중심으로, 대한자원환경

- 지질학회지 29(6) : 725-732
2. 김주용, 정철환, 오강호, 고영구, 문정준, 유경아, 1999, 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염, 한국지구과학회지 20(1) : 96-100
 3. 농림부, 1996, 저수지 준설토의 효율적 활용방안 연구
 4. 농림부, 1998, 농어촌지역 소하천의 환경정비기법 개발
 5. 박용하, 1996, 중금속 및 비소오염 토양질 평가를 위한 토양오염지표의 고안과 응용 가능성, 한국토양환경학회지 1(1) : 47-54
 6. 박용하, 윤정호, 이승희, 김강석, 1996, 토양오염지표에 의한 국내 토양의 중금속과 비소 오염도 및 향후 전망, 한국토양환경학회지 1(1) : 55-65
 7. 윤연흠, 박돈희, 김용웅, 조완현, 박천영, 윤정한, 2000, 여천공단 주변 토양의 중금속함량에 관한 연구, 대한자원환경지질학회지 33(5) : 379-389
 8. 이유대, 노영재, 1991, 수영만의 퇴적물 및 중금속 분포에 관한 연구, 한국지구과학회지 12(4) : 362-370
 9. 이평구, 최상훈, 김성환, 윤성택, 2000, 주요산업활동 유형에 따른 서울시 도로변 하수퇴적물의 중금속오염 특성, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표논문집 28-32
 10. 장인성, 정창모, 임계규, 1999, 토양오염지표에 의한 천안시 토양환경 평가, 한국토양환경학회지 4(2) : 185-192
 11. 정찬호, 정기영, 2000, 벤토나이트의 중금속 흡착제거에 대한 pH와 지하수 음이온의 영향, 대한자원환경지질학회지 33(1) : 31-40