

상수원 수질보전을 위한 퇴적물의 관리와 오염 현황

전상호

강원대학교 환경학과

1. 서론

퇴적물 관리는 하천이나 호수의 수질개선을 위하여 선별적으로 적용될 수 있는 주요한 방법중의 하나이다. 퇴적물은 물 속의 오염물질, 특히 인이나 중금속 등의 lithophil element를 잘 흡착하여 침전, 퇴적시키기 때문에 일반적으로 유역의 토양이나 물에서 측정되는 농도보다 수십 배에서 수천 배까지 높은 농도로 관찰되는 경우가 많다(전, 1990a; 전, 1990b).

수층의 오염물질이 퇴적되는 현상은 일반적으로 수질개선에 매우 중요한 역할을 하지만 퇴적층이 교란되거나, 특정 기간 중 수온약층의 생성 등으로 수층에 산소가 부족하거나 광합성 등에 의해 수층의 pH 상승 등이 일어날 때는 퇴적물로부터 인이나 중금속 등의 오염물질을 용출시켜 수질오염의 근원이 되는 경우가 있다(전, 1984; 전, 1985; 전과 이, 1986; Golterman, 1976). 이에 따라 각국에서는 수질개선을 위한 퇴적물 관리의 필요성이 검토되고 있다.

수질개선을 위한 퇴적물 관리는 오염된 퇴적물로부터 오염물질의 용출을 억제하는 현장처리방안과 오염된 퇴적물을 제거하는 준설방안 등으로 대별할 수 있다. 우리나라에서는 여름철의 집중 강우시에 많은 양의 토사가 호수로 유입되기 때문에 퇴적물에 의한 수질개선의 논의가 있을 때마다 준설이 가장 쉬운 대안의 하나로 검토되어 왔다. 그러나 우리나라에는 아직 상수원 호수에서 수질개선을 위한 퇴적물관리기준이 없어, 수질개선을 위한 준설이 계획될 때마다 논란이 많았었다.

몇차례 대규모 상수원의 준설을 검토할 경우에 외국에서 항만의 준설시에 적용되는 기준들을 그대로 적용한 경우가 있었는데 상수원의 수질개선을 위한 준설시에 항만 준설 기준을 적용하는 데에는 검토할 여지가 많다. 퇴적물 환경기준은 수역의 이용목적에 따라 구분되어야 하고, 같은 목적이라 하더라도 지역의 물리적 조건이나 오염물질의 특성에 따라 그 기준이 달라질 수 있기 때문에 환경친화적이고 경제적이며 지

역적 특성을 고려한 퇴적물 평가 및 관리기준의 개발이 필요하다.

수질개선을 위한 퇴적물 관리는 1980년대에 와서 시작되었다. 현실적으로 수질개선을 위한 퇴적물 관리의 일환으로 준설이 시행되는 경우에도 홍수기의 유로 확보, 저수용량 증가, 골재 채취 등의 다목적의 경우가 많았다.

우리나라의 경우 퇴적물은 '수질환경보전법', '해양오염방지법', '하천법', '폐기물관리법' 등에서 오니, 퇴적물, 침전물, 수저퇴적물, 골재 등으로 다양하게 언급되고 있으나 퇴적물을 직접적인 관리의 대상으로 취급하지는 않았다. 단지 수질개선을 위한 오염원 관리차원에서 유기물 또는 영양염류로 오염된 퇴적물을 제거하는 것과 환경기초조사의 일환으로 퇴적물 오염도 조사를 실시한 것이 지금까지 수행된 퇴적물 관리의 전부라 할 수 있다. 또한 대규모 상수원에서 수질개선의 목적으로 퇴적물 준설이 계획된 일은 있지만 실제로 실시된 사례는 아직 없다.

수질개선을 위해 오염된 퇴적물을 준설하기 위해서는 준설 적용 여부, 준설 공법, 준설 범위, 준설량, 준설 폐기물 처리 방법 결정 등을 결정할 수 있는 퇴적물 환경기준이 있어야 한다(박, 1998). 국내에서는 퇴적물에 대한 환경기준이 없어 준설시에는 외국의 경험을 참고하였고, 준설된 퇴적물의 처리는 폐기물관리법의 특정폐기물관정기준과 해양오염방지법의 해양배출처리기준을 근거로 하고 있다(환경처, 1993; 서울특별시, 1993; 속초시, 1995).

퇴적물 관리에 대한 역사적 기록으로는 조선 초기 두만강 지역에서 성벽의 방위력 개선을 위해 해자의 퇴적물을 관리한 사례(조선왕조실록 세종실록, 1473 ; 조선왕조실록 성종실록, 1499), 빈민구제와 홍수기 유로 확보를 위해 농업용 저수지와 하천의 퇴적물을 관리한 사례(조선왕조실록, 태종실록 1431 ; 조선왕조실록, 영조실록 1784 ; 조선왕조실록 순조실록 1838) 등의 기록이 있다.

본고에서는 그간 한국에서 적용된 퇴적물 관리기준, 퇴적물 관리와 관련된 과거 기록의 정리, 주요 호수 퇴적물(소양호, 팔당호, 합천호, 낙동강하구연, 왕송저수지)의 오염현황에 대해 토의하고자 한다.

2. 퇴적물 지표 및 평가방법에 대한 국내 적용 조사

가. 우리 나라의 퇴적물 관리

우리 나라에서 시행된 퇴적물 관리는 조선 초기부터 기록되어 있으며 실제의 관리는 모두 준설이었다. 준설의 목적은 연못의 개량, 국경지대의 방위력 증진, 빈민 구제,

하천의 통수능력을 증대시키기 위한 것이었다. 영정시대에는 준설이 국왕의 중요 업무로 기록되고 있다.

수질개선을 위한 준설에 대한 논의는 1980년대 말부터 시작되었는데 이는 산업화 과정에서 발생하는 수질오염을 개선하기 위해 준설이 고려되었기 때문이다(환경처, 1987; 마산시, 1992; 환경처, 1993; 서울특별시, 1993; 속초시, 1995). 이후 춘천의 공차천, 마산만, 경포호, 청초호, 주문진항, 축산항 등에서 수질개선을 위한 준설이 시행되었는데 수질개선 외에 도시의 확장과 관련된 토지의 이용이나 항구의 수심 유지가 주목적에 포함되어 있어 상수원의 수질개선을 위한 퇴적물 관리는 거의 없었다고 본다.

수질개선을 위해 준설을 실시하는 경우 공사중과 공사후에 나타나는 환경영향을 최소화하려면 준설에 따른 오염 발생 억제, 준설된 퇴적물의 안전한 처리 등이 요구되고, 이런 과정에서 준설의 타당성을 확보하기 위해 지역 특성에 맞는 합리적인 판단기준이 되는 퇴적물환경기준이 필요한데 아직도 우리 나라에는 이를 위한 기준이 설정되어 있지 않다. 우리 나라의 준설 목적의 변화를 요약하면 <표 1> 과 같다.

<표 1> 우리 나라의 퇴적물 관리 목적 변화

1470's	1760's	1910's	1960's	after 1980's
①홍수 방지 ②국경지대의 방위력 개선	①홍수방지와 가물 대책 ③기민구제	① ④항로 유지	① ④ ⑤호수, 하천 관리 ⑥ 매립, 간척	① ⑤ ⑥ ⑦수질개선
재해 방지, 국방	치수, 사회 안정			환경정화

나. 준설시 적용된 기준 현황

우리 나라에서 수질개선을 위한 최초의 준설은 1979년 공지천 준설사업이며(환경처, 1993) 그 후 마산만, 경포호, 청초호, 주문진항, 축산항 등에서 수질개선을 위한 준설이 시행되었다.

그동안 국내에서 오염된 퇴적물을 준설하기 위해 제안된 퇴적물 환경기준은 배경농도법으로 산정한 오염물질 농도에 한정되어 있었다.

1993년 한강 하류에서 오염된 퇴적물을 준설하기 위해 사용한 기준은 일본의 사례와 한강 하류의 특성을 고려하여 <표 2>와 같이 설정하였다. 측정항목은 T-N, T-P, 강열감량, COD, 황화물의 5개 항목으로 기준을 초과하는 항목이 잠실수중보 상류는 2개 이상, 하류부는 3개 이상이고 동경만의 평가방법에 의한 평가점이 6점 이상을 준설 기준으로 설정하였다. 잠실수중보 상류는 상수도 취수역으로서 하류보다 기준을 강화하였다.

<표 2> 한강의 오염 퇴적물 준설 기준(서울시, 1993)

항 목	기 준 치
T - N (mg/kg)	> 2,000
T - P (mg/kg)	> 1,000
Ignition Loss (%)	> 10
COD (mg/g)	> 20
Sulfide (mg/kg)	> 1

청초호에서 오염된 퇴적물을 준설하기 위한 퇴적물 환경기준은 청초호와 유사한 환경인 일본 동경만의 준설 평가 기준을 이용하여 강열감량, COD, 황화물 오염도 평점 6점 이상을 준설 기준으로 <표 3>과 같이 제안하였다(속초시, 1995).

〈표 3〉 청초호의 오염퇴적물의 준설 평가 기준 (속초시, 1995)

Ignition Loss (%)	Grade	COD (mg/g)	Grade	Sulfide (mg/g)	Grade
0-5	0	1-13	0	0-0.6	0
-	-	13-20	1	0.6-1.0	1
5-15	3	20-30	2	1.0-5.0	2
-	-	30-40	4	5.0-10	4
>15	6	>40	6	>10	6

1993년 계획되었던 팔당호의 퇴적물 준설을 위한 기준은 〈표 4〉와 같다. 측정항목은 T-N, T-P, 강열감량, COD 4개 항목이고, 기준을 초과하는 항목이 2개 이상인 퇴적물은 준설에 적합하다고 제안되었지만(환경부, 1993) 준설계획은 취소되었다.

〈표 4〉 팔당호의 퇴적물 준설 기준 (환경부, 1993)

항 목	기 준 치
T - N (mg/kg)	< 800
T - P (mg/kg)	< 1,100
Ignition Loss (%)	< 7.0
COD (mg/g)	< 20

다. 문제점

우리 나라는 자연적, 인위적 요인으로 인해 수질개선을 목적으로 하는 준설 뿐만 아니라 저수용량 확보, 골재채취를 목적으로 하는 퇴적물 관리의 필요성이 증가할 것으로 사료된다. 그러나 퇴적물의 환경관리를 위한 기준이 설정되어 있지 않아 상수원의 수질개선을 위한 준설 계획에서도 해양 퇴적물 제거기준이 적용되는가 하면 수체의 이용목적에 따른 구분없이 비슷한 기준이 적용되었다. 이에 우리 나라의 자연적, 기술적 조건에 맞는 관리기준의 설정이 필요하다.

3. 퇴적물 관리 및 연구 사례

퇴적물 관리 및 관련 문헌

국내의 중요 상수원에 대해 수질개선 방안의 하나로 퇴적물의 관리가 여러 차례 거론되었으나 준설작업에 대해서는 준설과정에서 발생할 수 있는 수질오염의 가능성, 유역의 정화 없이 실시되는 준설의 비효율성, 단기간 내 재퇴적에 의한 효율성 저하, 준설된 퇴적물 처리의 어려움, 과도한 비용(전, 1990) 등의 의견이 있어 다목적댐 규모의 상수원 호수에서 준설이 시행된 예는 없다. 다만 한강의 팔당호와 금강의 대청호에서는 상수원의 수질개선을 위한 준설이 검토되었으나 이 경우에도 기초조사만 수행되었다.

국내의 담수 퇴적물 관련 학술논문은 1980년대에는 10여편 내로 국내에서는 매우 제한된 숫자의 학술논문, 학위청구논문, 연구보고서 등이 발표되었다. 그러나 1989년대 후반부터 한강의 본류와 지류의 호수들에 대해 상수원 호수를 대상으로 수질관리와 퇴적물간의 관계에 대해 정부기관, 학계에서 시작된 연구는 1990년대에 들어와서 활성화되어 많은 학술연구논문, 학위청구논문, 보고서등이 나왔다.

퇴적물 관리 관련 고기록(古記錄)은 조선시대의 조선왕조실록의 퇴적물 관리 자료 22건이 있다.

5. 소양호와 팔당호의 퇴적물 오염현황

가. 조사지역 개요

조사 대상이 된 소양호와 팔당호는 한강 수계에 건설된 댐에 의한 인공호로 수도권 의 주요 상수원으로 이용되고 있는 호수이다.

나. 조사 방법

1) 시료 채취 지점

조사대상이 호수에서 퇴적물 오염현황을 파악하기 위하여 소양호 4지점, 팔당호 15 지점으로 퇴적물 시료 채취지점은 환경부의 수질 측정망이 있는 곳은 측정망 지점과 일치시켰고, 팔당호는 퇴적물 농도의 입도보정을 위해 측정망 외에 11개 지점을 추가 하여 총 15개 w점으로 하였다.

2) 시료 채취 방법, 분석 방법, 오염도 평가

각 조사지점에서 Ponar grab을 사용하여 채취하였으며 채취시 채니기에 의한 오염을 피하기 위하여 금속과 닿지 않은 부분의 퇴적물 표면에서 5cm까지 취하였다. 채취된 시료는 미리 세척된 폴리프로필렌 봉지에 담아 냉장한 상태로 운반하였다. 시료 채

취는 2004년 4-5월에 걸쳐 이루어졌고 분석방법은 퇴적물의 입도분포, Cu, Cd, Pb, Zn의 총량을 구하여 미국의 5대호 지역에서 호수 퇴적물 관리를 위해 설정된 기준을 이용하여 평가하였다.

4) 결과 및 토의

가) 소양호

(1) 현장에서 관찰된 퇴적물의 성상

〈표5〉 현장 관찰 기록(1차, 소양호)

번호	위치	수심(m)	색깔	냄새	층리 발달	조직	비고
1	댐 앞	83	갈색, 검정색	없음	없음	뽀질	3cm-oxic layer No Bio.
2	내평리	68	갈색	없음	발달	뽀질	massive muddy
3	추전리	55	상층: 밝은 갈색 하층: 회색	없음	발달	뽀질	ooze층
4	양구교	8	밝은 갈색 (상층50mm)	없음	발달	뽀질, silt	상층:5mm ooze, 나뭇가지

(2) 소양호의 납의 존재형태별 농도와 총농도

〈표6〉 납의 존재형태별 함량과 총량(1차, 소양호)

정점	Adsorbed	Carbonate	Reducible	Organic/sulfidic	Residual	Total
1	0.1	1.1	11.4	14.5	18.2	45.3
2	0.1	0.9	10.9	12.7	17.4	42.0
3	0.1	1.3	4.4	14.9	13.7	34.4
4	0.0	1.5	2.6	8.5	19.7	32.3
평균	농도	0.1	7.3	12.7	17.2	38.5
	비율	0.2	3.2	18.0	33.0	45.6

(3) 소양호의 카드뮴의 존재형태별 농도와 총농도

〈표7〉 카드뮴의 존재형태별 함량과 총량(1차, 소양호)

정점	Adsorbed	Carbonate	Reducible	Organic/sulfidic	Residual	Total	
1	0.02	0.01	0.19	0.09	0.25	0.56	
2	0.02	0.01	0.14	0.05	0.19	0.40	
3	0.02	0.01	0.14	0.04	0.19	0.40	
4	0.02	0.01	0.12	0.02	0.28	0.45	
평균	농도	0.02	0.01	0.15	0.05	0.23	0.45
	비율	3.9	3.9	32.7	10.6	50.5	

〈표 8〉에 소양호 퇴적물 분석 결과를 오대호 퇴적물 오염정도 분류기준에 적용하여 오염도를 알아보았다.

〈표 8〉 오대호 퇴적물오염정도 분류기준에 적용한 퇴적물 오염도(1차, 소양호)
(○: 오염 안됨, ▲: 보통 오염, ●: 심한 오염)

정점	COD (mg/g)	T-P (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1	▲	●	○	▲	○	▲	▲
2	▲	●	○	▲	○	▲	▲
3	○	●	○	▲	○	○	▲
4	○	●	○	▲	○	○	▲
평균	▲	●	○	▲	○	▲	▲

나) 팔당호

(1) 현장에서 관찰된 퇴적물의 성상

〈표 9〉 현장에서 관찰한 퇴적물의 특징(1차, 팔당호)

정 점	정점의 특징	수심 (m)	색 갈	냄새	층리발달	조직	생물체 혹은 그 흔적 유무
1	댐 앞	18.9	회색	없음	없음	sand (3년 전은 빨 질)	
2	3.4단계 취수지점	8.4	황갈색(빨질) 회색(모래층)	없음	1~2cm(silt, clay)	silt, clay, sand	plant debris
3	북한강, 남한강, 경안천 합류지 점에서 500m 경안천 방향	12.8	2mm 황갈색	신냄 새	없음	silt, clay, sand	
4	소내섬 경안천 방향	3.3	황갈색(빨질) 회색(모래질)	없음	없음	clay, sand	
5	소내섬 분원리 아리아 하우스 앞	2.5	황갈색	없음	발달	clay	
6	남한강, 북한강 합류지점	12.7	황갈색(빨질) 회갈색 (sand)	없음	3mm -oxic layer 8mm - a n o x i c layer	clay(표층) sand	
7	양수대교 밑	-	회색	없음	없음	sand	나뭇잎, 큰 자갈
8	삼봉지점	5	황갈색	없음	없음	sand	
9	두물머리	6.2	황갈색, 회색	없음	없음	clay(표층), sand	
10	용담대교 밑	8.4	황갈색, 회갈 색	없음	clay(표면 0.8cm) sand(그 아 래)	clay, sand	
11	환경부 채수 정 점 남한강 쪽	3.8	회색	없음	없음	sand	
12	아신리		회색	없음		sand	
13	분원리		회갈색, 황갈 색			clay, sand	
14	광동교 밑	4	황갈색 (3mm clay)	없음	없음	clay, silt	
15	광동교 상류	2	어두운 회색		없음	sand	

(2) 팔당호의 납의 존재형태별 농도와 총농도

〈표10〉 납의 존재형태별 함량과 총량(1차, 팔당호)

정 점	Adsorbed	Carbonate	Reducible	Organic/sulfidic	Residual	Total	
1	0.1	0.0	8.5	14.5	18.2	41.3	
2	0.2	0.0	7.4	10.3	17.4	35.4	
3	0.3	0.0	10.5	20.9	19.8	51.5	
4	0.0	0.0	11.7	21.4	21.2	54.3	
5	0.1	0.1	7.4	15.9	22.1	45.7	
6	0.0	0.0	5.5	6.1	16.9	28.5	
7	0.0	0.0	3.5	6.5	16.4	26.4	
8	0.3	0.0	5.2	9.2	19.3	34.0	
9	0.2	0.1	7.6	16.4	18.7	42.9	
10	0.0	0.0	6.5	4.4	21.3	32.1	
11	0.0	0.0	5.8	3.1	20.7	29.7	
12	0.1	0.1	4.3	3.1	20.4	28.0	
13	0.0	0.0	11.8	16.5	20.6	49.0	
14	0.1	0.0	12.9	19.3	21.5	53.9	
15	0.1	0.0	7.7	13.5	20.7	42.1	
평 균	농도	0.1	0.0	7.7	12.1	19.7	39.7
	비율	0.3	0.1	19.1	28.5	52.1	

(3) 팔당호의 카드뮴의 존재형태별 농도와 총농도

〈표11〉 카드뮴의 존재형태별 함량과 총량(1차, 팔당호)

정점	Adsorbed	Carbonate	Reducible	Organic/sulfidic	Residual	Total	
1	0.02	0.01	0.17	0.03	0.31	0.54	
2	0.02	0.01	0.03	0.05	0.19	0.30	
3	0.01	0.01	0.08	0.29	0.58	0.97	
4	0.01	0.01	0.04	0.25	0.35	0.65	
5	0.04	0.01	0.01	0.25	0.38	0.69	
6	0.02	0.00	0.04	0.01	0.19	0.27	
7	0.01	0.00	0.01	0.01	0.17	0.21	
8	0.00	0.00	0.02	0.17	0.16	0.35	
9	0.01	0.01	0.12	0.03	0.32	0.49	
10	0.01	0.01	0.05	0.01	0.09	0.17	
11	0.01	0.01	0.02	0.01	0.16	0.20	
12	0.01	0.01	0.01	0.00	0.15	0.18	
13	0.00	0.01	0.34	0.13	0.12	0.60	
14	0.01	0.00	0.24	0.04	0.07	0.37	
15	0.02	0.00	0.18	0.02	0.22	0.44	
평 균	농도	0.01	0.01	0.09	0.09	0.23	0.43
	비율	3.3	2.4	21.4	15.8	57.1	

〈표 12〉에 팔당호 퇴적물 분석결과를 오대호 퇴적물 오염정도 분류기준에 적용하여 알아본 오염도를 나타내었다.

〈표 12〉 오대호 퇴적물오염정도 분류기준에 적용한 퇴적물 오염도(1차, 팔당호)

(○: 오염 안됨, ▲: 보통 오염, ●: 심한 오염)

정 점	COD (mg/g)	T-P (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1	○	●	○	▲	○	▲	▲
2	○	▲	○	○	○	○	▲
3	▲	●	○	▲	○	▲	▲
4	○	●	○	▲	○	▲	▲
5	○	●	○	○	○	▲	▲
6	○	▲	○	○	○	○	○
7	○	▲	○	○	○	○	○
8	○	▲	○	○	○	○	○
9	○	○	○	▲	○	▲	▲
10	○	▲	○	○	○	○	○
11	○	○	○	○	○	○	○
12	○	○	○	○	○	○	○
13	▲	●	○	▲	○	▲	▲
14	▲	●	○	▲	○	▲	▲
15	○	●	○	○	○	▲	▲
평균	○	●	○	○	○	○	▲

(5) 네델란드 오염퇴적물 제거기준에 적용한 팔당호의 퇴적물 오염도

네델란드는 퇴적물을 정화하기 위한 기준(Sediment Cleanup Level)을 국가기준으로 설정하고 있다. 퇴적물에 잘 농축되기 쉬운 일부 중금속 항목에 대해서만 설정되어 있는데 이 농도는 입도와 유기물에 대한 표준화 후의 농도이다. 팔당호에서 높은 농도로 관찰된 총인에 대해서는 기준이 설정되어 있지 않다. 네델란드의 퇴적물 제거기준의 중금속 농도는 측정된 중금속 농도를 10 % 유기물 및 20 % 실트 함량으로 표준화(normalization)한 수치이기 때문에 다른 지역에서 측정된 값과 직접 비교하기는 어렵지만 팔당호에서 관찰되는 비슷한 조건의 퇴적물에 함유된 중금속의 농도는 이 기준에 비하면 매우 낮은 농도이다.

팔당호 퇴적물 분석결과를 네델란드 오염퇴적물 정화기준에 적용하여 퇴적물 제거 여부를 알아본 결과 전 구간, 전 항목에서 해당이 안되는 것으로 나타났다 <표 9> .

<표 13> 네델란드의 오염퇴적물 제거기준에 적용한 퇴적물 제거 여부 판정

항 목	네델란드 오염퇴적물 정화기준*	평균 총농도로 적용한 팔당호 퇴적물의 제거 여부
	퇴적물 적용(mg/kg 건중량)	
As	150	해당 안됨
Cd	30	해당 안됨
Cr	1000	해당 안됨
Cu	400	해당 안됨
Ni	200	해당 안됨
Pb	1000	해당 안됨
Hg	15	해당 안됨
Ag	-	해당 안됨
Zn	2500	해당 안됨

바) 퇴적인의 용출량

팔당호에서는 호수 현장에서 퇴적인의 용출량을 알아보기 위해 2004년 7월 18일부터 27일까지 10일간 광동교 상류 좌안의 습지 1개 지점에서 직경 30cm, 길이 100cm의 아크릴 원통을 퇴적층에 삽입하고 철판으로 고정하여 선택된 퇴적층과 그 위의 수층을 격리하는 격리수계법으로 용존인의 경시변화를 관찰하였다. 아크릴 관은 은박지로 싸서 햇빛을 차단하였고, 용출관에는 유리 여과지로 여과한 호소수를 채웠다. 호소수를 채울 때 발생하는 부유물질의 침강을 기다려 하루 후부터 용출액을 채취하였다. 채취된 용출액은 냉장하여 즉시 실험실로 운반하여 총용존인(Dissolved Total phosphorus)과 용존 무기인(Dissolved Inorganic Phosphorus) 양의 변화를 관찰하였다.

이 법은 현장에서 생산층을 포함한 수주 -퇴적물계를 비닐 쉬이트 등으로 격리하고 그 격리 수계속의 영양염 농도의 경시변화로부터 회귀속도를 구하는 방법이다.

격리수계내에서 물질수지를 취하면

$$V \cdot (C - C_0) / \Delta t = A(R - S)$$

V : 격리수계의 체적(ℓ)

C_0 : 격리수계내의 초기 영양염 농도($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)

C : 격리수계내의 Δt 시간 후에 있어서 영양염 농도($\text{mg} \cdot \ell^{-1}$)

Δt : 시간(일)

A : 격리수계의 퇴적물의 면적(m^2)

R : 저니로 부터의 용출속도($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

S : 침전 속도

위 식에서 R을 미지수로 하여 용출속도를 구한다.

단 침전속도가 구해지지 않을 경우에는 (R-S)를 구한다. 즉 외견상의 용출속도가 된다(조규송 외, 1991).

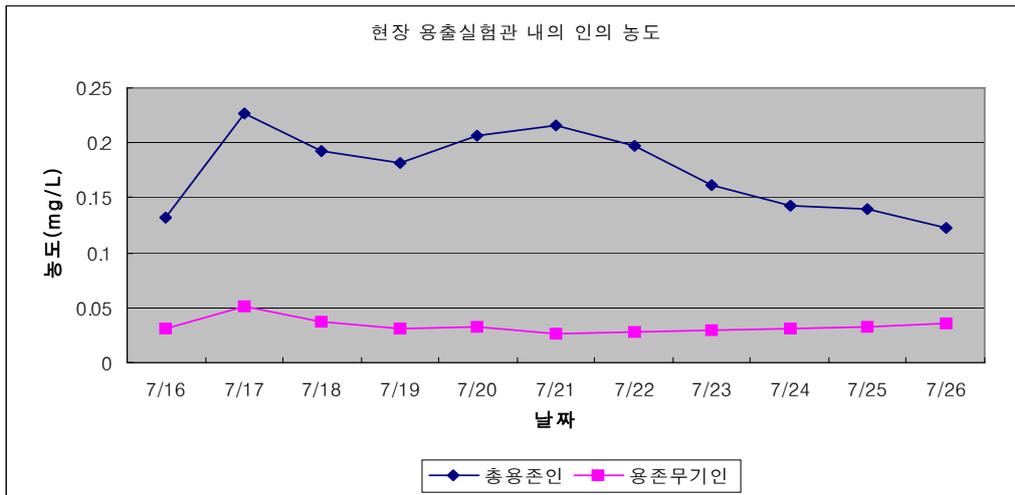
용출액은 10일간 매일 500ml씩 채취하였고, 용출액을 따로 보충하지 않았다.

설치 당시의 현장의 표층수의 pH는 7.8이었고 실험 종료시까지 7.4-8.0의 상태를 유지하였다. 실험기간 중 퇴적층과 수층 경계의 물의 pH는 표층수의 pH보다 0.2-0.5 정도 낮은 값을 나타내었다.

실험 개시 당시의 용출관 설치 장소 부근의 표층수의 총용존인의 농도는 0.207mg/L, 용존무기인의 농도는 0.039mg/L였다.

용출량 측정 초기에는 수층의 총용존인과 용존 무기인의 농도가 일시적으로 증가하

였으나 실험이 진행됨에 따라 총용존인, 용존 무기인 모두 침전되는 경향을 나타내었다. 초기의 총용존인, 용존 무기인의 증가는 용출시험관의 설치에 따른 퇴적층의 교란에 의한 것으로 보이며 그 후 수층과 퇴적층의 안정에 따라 평형이 이루어진 것으로 사료된다. 또 한가지 원인은 당시의 조사 정점 부근 표층수의 pH가 7.4-8.0 으로 퇴적인의 용출이 일어나기에는 pH가 너무 낮은 수질로 보인다. 일반적으로 퇴적인의 용출 (phosphorus pumping)이 시작되는 수층의 pH가 8.2인 점(Hakanson and Jansson, 1983)을 감안하면 조사기간에는 팔당호에서 퇴적인의 용출이 일어나기 어려운 환경으로 사료된다. 다만 채임버 바깥 얇은 부분에서는 식물성 플랑크톤의 광합성에 의해 낮에 수층의 pH가 올라가 퇴적인의 용출을 일으킬 수 있으나 햇빛이 차단된 용출관 내의 환경이나 심층수에서는 광합성이 제한되어 pH 상승을 기대하기 어렵고, 또한 여름철 퇴적물과 접해 있는 심층수 부분의 pH는 상층수보다 낮기 때문에 실험 조건에서 팔당호의 퇴적인 용출은 매우 제한되었을 것으로 사료된다. 팔당호 퇴적인의 용출량 자료를 <부록4-5>에 두었다.



<그림 1> 팔당호 용출시험관 내의 총용존인과 용존무기인의 농도 변화

적요

조사 대상의 두 상수원 호수에서 관찰되는 인의 농도는 외국의 경우보다 매우 높게

나타나 외국의 퇴적물 관리기준으로 보면 매우 심하게 오염되었다고 평가된다. 퇴적물에서 높은 인의 농도가 관찰되는 것은 유역에서 과다한 인비료의 사용, 강수시 토양인의 높은 유실률, 인의 친토성에 기인한다고 사료된다. 그러나 그러한 경우에도 상수원으로 이용하기에 어려움이 없는 경우도 많으므로 외국의 기준을 그대로 적용하여 평가하기보다는 우리 나라의 자연적 조건에 맞는 관리기준을 설정할 필요가 있다고 사료된다. 조사 대상 호수에서는 중금속의 농도는 낮아 “오염 안됨”이 대부분이고 일부는 “보통 오염”의 수준이었다. 네델란드의 오염퇴적물 제거기준 수준으로 오염된 곳은 없었다. 퇴적물로부터 나타나는 인의 용출은 조사시기에 조사 지역에는 없었지만 수층의 pH가 높아지는 시기에는 본 조사시와는 다른 결과가 예상된다.

참고문헌

- 매일신보, 1910. 9. 10, 영산강의 준설.
- 매일신보, 1918. 12. 26, 청계천이 준설됨.
- 매일신보, 1919. 12 7, 두만강을 준설하라.
- 매일신보, 1930. 9. 18, 전북 고창 고창군내 제방 준설 공사 실시 계획.
- 매일신보, 1930. 9. 22, 경북 대구 수리 불편 장소에는 가뭄대책으로 폐수지 준설.
- 매일신보, 1932. 10. 16, 경북 대구 한해대책으로 유지를 준설.
- 매일신보, 1939. 10. 29, 경남 산청 산청군의 가뭄대책으로 우선 3만여원으로 재래(再來) 유지(溜池) 준설.
- 박영동, 1998, 오염된 퇴적물 준설을 위한 퇴적물 환경기준 설정에 관한 연구, 강원대학교 대학원 석사학위 청구논문.
- 안상원, 1999, 팔당호 표층퇴적물에 함유된 인의 존재형태와 용출에 관한 연구, 강원대학교 대학원 환경학과 석사학위 청구논문.
- 안재환, 2002, 준설퇴적물의 적정관리를 위한 환경기준 고찰, 건설기술정보
- 어수미, 1994, 서울시 인근의 한강 본류 및 지류에 대한 하상 저질의 중금속오염 평가, 서울대학교 대학원 보건학 박사학위 청구논문.
- 이창희, 김은정, 1998, 호소 및 하천오염 퇴적물 관리방안, 한국환경정책평가연구원
- 이창희, 전상호, 1998, 팔당 호수퇴적물 관리 방안, 수계시스템을 고려한 수질개선 종합대책 한국환경정책·평가연구원.
- 이창희, 김은정, 1999 팔당호 퇴적물의 오염현황 및 관리방안, 환경포럼

이창희, 유혜진, 2000, 수저 퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구, 한국환경정책·평가 연구원.

임흥탁, 1991, 호수의 퇴적물에 함유된 인의 존재형태와 용출에 관한 연구 - 소양호의 적조 수역을 중심으로 -, 서울대학교 대학원 석사학위 청구논문.

전상호, 1985, 소양호 표층퇴적물에 함유된 인의 존재형태에 대하여, 한국수질보전학회지, 6권 2호, pp.57-61.

전상호, 이해금, 1986, 의암호 저니에 의한 상부 수층의 오염 가능성에 대하여, 한국수질보전학회지, 2권 2호, pp.1-8.

전상호, 1988, 춘천지역의 인공호 퇴적지에 함유된 인의 존재형태에 따른 수질오염의 가능성에 대하여, 한국수질보전학회지, 4권 2호, pp.49-57

전상호, 박용안, 1989, 소양호 퇴적물에 함유된 인의 존재형태와 용출가능성에 대하여, 한국육수학회지, 22권 3호, pp.262-271.

전상호, 1990a, 한강 퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태와 이동성에 관한 연구-팔당호 퇴적물의 인과 중금속을 중심으로-, 한국육수학회지, 23권 1호, pp.31-42.

전상호, 1990b, 한강 퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태와 이동성에 관한 연구-한강 본류 퇴적물의 인과 중금속을 중심으로-, 한국환경과학연구협의회 연구보고서, p. 37

전상호, 1990c, 풍호 퇴적물 연구, 풍호연구보고서, 강원대 한강생태연구소.

전상호, 김휘중, 1990, 경포호의 준설에 의한 수질 개선 가능성에 관하여, 1990, 한국지구과학회지, 제11권 2호, pp.174-180

전상호, 1991, 호소퇴적물 준설이 수질에 미치는 영향의 평가방법에 관한 연구, 한국환경과학재단 연구협의회, 1991, p 54.

조선왕조실록, 태종실록, 1431

조선왕조실록, 순조실록, 1838

조선왕조실록, 세종실록, 1473

조선왕조실록, 영조실록, 1784

조선왕조실록, 성종실록, 1499

환경부, 1988-90, 팔당상수원보호종합대책에 관한 연구

환경정책평가연구원, 1998, 팔당호 퇴적물 오염현황 기초조사

환경처, 1990, 팔당호 시험준설 영향조사 보고서

Ackermann, 1980, A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments, *Environ. Technol. Lett.*, 1, pp. 518–527.

Arakel, A. V., 1995, Towards Developing Sediment Quality Assessment Guidelines for Aquatic Systems : an Australian Perspective. *Australian Journal of Earth Science*, 42, pp. 335–369.

Aswathanarayana U, 1995 *Geoenvironment*, A.A.Balkema Publishers, pp.270

Bostrom, B, M. Jansson and C. Forsberg, 1982, Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Limnol.*, pp. 18:5–59.

Carver, R.E., 1971, *Procedures in Sedimentary Petrology*, Wiley Interscience
Damian Shea., 1988, Deriving National Sediment Quality Criteria., *Environ. Sci. Technol.*, 22(11), pp. 1256–1261.

Förstner,U. and Wittmann, G.Y.W., 1981, *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, New York, p. 486.

Förstner, U. and W. Salomon, 1991, Mobilization of metals from sediments, *Metals and Their compound in environment*, Ed. by E, Merian, p.379–398.

Gaudette, H. E., Flight, W. R. 1974, Inexpensive titration of organic carbon in recent sediment, *J. Sed. Petro.*, 44, pp.24–253

George T. Bowman and Joseph J. Delfino, 1980, Sediment oxygen demand techniques: A review and comparison of laboratory and in situ systems, *water research*, Vol. 14, issue 5, pp491–499

Golterman H. L, 1976, Interactions between sediments and fresh water, *Proceedings of an International Symposium held at Amsterdam, the Netherlands*, pp.179–182.

Hakanson, L. and M. Jansson, 1983, *Principles of lake sedimentology*, Springer-Verlag, Berlin, p. 316.

Herodek and S., V.Istanovics, 1986, Mobility of phosphorus fractions in the sediment of Lake Balaton, *hydrobiologia*, 135, pp.149–154

Jens M. Skei, 1992, A Review of Assesment and Remediation Strategies for Hot Sediments, *Hydrobiologia*, 235/236, pp 629–638.

Johnson D., 1976, Seston and sedimentation in farmoor reservoir, Great Britain, Interactions between sediment and freshwater Amsterdam, the Netherlands, pp.179–181.

Jun Sang Ho, Park Yong An, 1987, Fractional Composition of sediment phosphorus in Lake Soyang, Korea, Abst. of the 16th Pacific Science Congress, p. 102.

Jun Sang Ho, 1988, Forms and mobility of sediment phosphorus in some artificial reservoirs in the vicinity of Chuncheon area, Proc. of the 4th International Symposium on the Eutrophication & Conservation of Water Resources, pp. 201–210

Jun Sang Ho, 1991, Forms and potential mobility of sediment phosphorus in different characteristics of three artificial lakes in Chuncheon area, Korea. Proc. of the 3rd Korea– Japan Environmental Symposium Seoul, Korea 1991, pp. 204–215

Jun, Sang Ho, Kim Heejoung, Kim Sookyang, Yu Youngchul, 1994, Forms and mobility of fecal phosphorus from fish cage, Proc. of The 7th International Symposium on River and Lake Environment, p.26

Petterson, K., 1984, Fractional composition of sedimentary phosphorus in Swedish lake sediments different characteristics. Proc. 3rd International symposium on the interaction between sediments and water, CEP. Consultants, Edinburgh : 99–102.

Salomons W. and U. Förstner, 1980, Trace metal analysis on polluted sediments II, Evaluation of environmental impact, Environ. Technol. Lett. 1, pp.506–517.

Shepard, F. P., 1954, Nomenclature Based on sand–silt–clay ratios, J. Sed. Pet., 24, p.151–158.

Salomons W. and U. Förstner, 1984, Metals in the Hydrosphere, Berlin, Springer–Verlag.

Sibbesen E., and A. N. Sharpley, 1997, Setting and justifying upper critical limits for phosphorus in soils, Phosphorus loss from soil to water, Edited by H Tunney, O.T.Carton, P.C. Brookes and A.E.Johnston, CAB International, pp.151–176

Smith, S. L., D. D. MacDonald, K. A. Keenleyside, C. L.Gaudet., Development and Progress in Sediment Quality Assessment : Rationale, Challenges, Techniques &

Strategies, CSPB Academic Publishing, 1996, pp 233-249.

Tessier A. Campbell, P.G.C. and Bisson, M, 1979 Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, Analytical Chemistry, Vol. 51, p. 844~851.