

<論 文>

淸溪川에서의 河川 流砂 測定 및 分析(Ⅱ)
- 流砂의 鑛物特性 및 汚染度 -

Field Measurement and Analysis of Fluvial Sediment
in the Cheongmi-Stream(Ⅱ)
- Mineralogical and Contaminative Characteristics
of Sediment Particles -

禹 孝燮* , 李 珍國**, 尹錫杓***, 柳 權圭****

Woo, Hyoseop, Lee, Jingook, Yoon, Seokpyo, Yu, Kwonkyu

요 지

본 연구는 청미천에서의 하천유사의 측정 및 분석에 관한 연구의 제2편으로, 청미천의 원부교 및 한평교 지점에서 채취된 하상토의 광물특성 및 오염도를 분석하였다. 하상토의 광물특성 분석 결과에 의하면, 청미천의 사질유사의 주 조성 광물은 석영이며 이 밖에 장석과 암편류가 상당량 포함되어 있어, 문헌상에 알려진 유사의 일반적인 광물특성 결과와 대체로 일치하고 있다. 또한, 사질유사의 형상계수(SF)는 약 0.7로서 외국의 경우의 평균 형상계수와 일치하고 있다. 한편, 점토질 유사의 광물구성 성분은 illite, kaolinite, chlorite 등이며 bentonite는 함유되어 있지 않다.

유수 및 하상토의 오염분석 결과에 의하면, 지표수와 하상토내 간극수의 유기물 및 중금속의 함유량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 시료를 채취한 시기가 '90년 9월 대홍수 직후이며 따라서 대부분의 기존 하상토 및 간극수가 하류로 쓸려 내려가고 상류에서 유수에 씻긴 신선한 하상토가 대신 덮혔기 때문으로 추정된다. 한편, 하상토의 대부분을 차지하는 모래의 경우 하상토와 주위 경작지의 중금속 함유량이 비슷하게 나타났으나, 이토 등 미립토사의 경우는 하상토가 주위 경작지보다 특히 수은 및 아연을 훨씬 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 미립토사는 wash load의 형태로 하류로 이송되어 홍수터 등에 침전되어 새로운 오염원이 될 수 있다.

Abstract

As a second part of the study entitled "Field Measurement and Analysis of Fluvial Sediment in the Cheongmi-Stream", this study concerns mineralogical and contaminative characteristics of sediment particles collected at Wonbu-Gyo and Hanpyeong-Gyo in the Cheongmi-Stream. The

* 한국건설기술연구원 수자원연구실, 수석연구원

** 경북대학교 지질학과, 박사과정

*** 한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

**** 한국건설기술연구원 수자원연구실, 연구원

mineralogical analysis of the bed sediment collected reveals that, in general, quartz is the most abundant mineral found in sands with feldspars and rock fragments in the next, which confirms what is known in the literature. The shape factor of sand particles is about 0.7, which also agrees to what is known in the foreign literature. The analysis also reveals that the clay particles collected are composed mainly of illite, kaolinite, and chlorite.

The analysis of contamination reveals that there is no substantial difference between the contents of organic material and heavy metals in the surface water and those in the pore water beneath the river bed. It is because the sampling for this analysis was conducted right after the September flood during which the fresh top soil from the upstream watershed replaced the old bed sediment and pore water that would probably be more contaminated. The contents of heavy metals in the bed sediment of sand particles do not exceed those in the soils adjacent to the river. For fine sediment such as clays, however, the contents of heavy metals, especially of mercury and zinc, far exceed those in the soils adjacent to the river. These fine sediments are transported downstream in the form of wash load and deposited in part on flood plains, which could be a new source of contaminants.

1. 서론

하천유사는 지각의 풍화작용에 의해 생성된 광물질의 조각들로, 유수에 의해 침식, 운반, 퇴적된 입자들이다. 충적하천의 하상은 대부분 모래로 구성되어 있으며 약간의 자갈이나 점토질이 포함되어 있다. 그밖에 다소의 유기물질 등이 이러한 재료표면에 흡착되어 존재할 수 있다. 하상구성 재료의 광물특성의 분석은 그 하상을 구성하는 재료들의 流砂源을 밝히는데 커다란 도움이 된다. 즉, 홍수시 하상재료나 부유사의 입도 및 광물특성을 분석함으로써 그러한 재료가 상류의 어느 유역에서 이송된 것인지를 밝힐 수 있다. 또한, 유사입자는 그 모양에 따라 침강속도가 크게 변화하며 따라서 유사의 부유특성 또한 변화하므로 이러한 유사의 광물특성 및 형상을 분석하는 것은 하천수리학 측면에서 중요하다.

한편, 점토나 '점토-물 혼합물'의 전기·화학적 성질은 점토의 비표면적(표면적/질량)과 양이온 교환 능력에 크게 관계된다. 예를 들어 소량의 점토를 물과 혼합하여 그 용액의 점성을 비교하면, 비표면적이 매우 큰 bentonite

(montmorillonite) 용액은 큰 점성 과 함께 강한 비뉴우톤 성질을 보이거나, 상대적으로 비표면적이 작은 kaolinite의 경우 그 용액의 점성 역시 전자에 비해 작다(Simons 등, 1963). 이러한 '점토-물 혼합물'의 유체저동 특성은 土石流(debris flow)나 過濃度流(hyper-concentrated flow) 같은 고농도유사 흐름을 연구하는데 매우 중요하다.

유수에 의해 유역에서 이송되어 하천이나 호수 바닥에 퇴적된 토사는 상류 유사원의 생물, 화학 및 물리 정보를 지니고 있으며, 이러한 여러 정보중 공학적으로 중요한 것중의 하나는 인간의 활동에 의해 오염된 토사이다. 유사는 수문계에서 오염원의 이송매체인 동시에 그 자체가 오염원이 되며, 이러한 오염원은 하천 및 지하수의 수질에 영향을 주며 하류의 주변토지에 퇴적되는 경우 그 토지를 오염시킬 수 있으며 나아가 그 토지에서 생산되는 농산물에도 영향을 줄 수 있다. 또한 오염된 유사가 호수나 저수지에 퇴적되면 그 호수나 저수지의 물에 부영양화나 산성화를 야기시킬 수 있으며, 특히 유독성 화학물질이나 중금속으로 오염된 토사가

쌓이는 경우 그 주위 물을 오염시킬 가능성이 크게 된다. 한편, 하천이나 호소의 底質中의 間隙水(pore water)의 오염도는 그 주위 지표수에 비해 수백배 이상 심할 수 있으며(Darby 등, 1986), 이는 그 위 지표수의 심각한 오염원이 될 수 있다. 최근 '90년 들어 남한강과 북한강의 합류점인 팔당호의 골재 채취 문제는 바로 이러한 오염된 토사 및 간극수에 의한 주위 물의 오염 가능성에 대한 염려를 잘 시사하고 있다.

우리나라에서도 이러한 하천 및 호소의 저지의 오염도에 관한 연구는 '80년대 들어와서 부분적으로 진행되었다. 전상호와 이해금(1986)은 강원도 춘천의 의암호 저지에 의한 상부 수층의 오염가능성에 대해 연구하였으며, 박영규 등 (1986)은 낙동강 하류 저질층 중금속 함량에 관해 연구하였다. 그러나, 아직 하천유사에 의한 각종 오염원의 이송에 관한 본격적인 연구는 시행되지 않고 있으며, 특히 저지나 하상토 사이의 간극수의 오염에 관한 연구는 매우 빈약한 편이다.

본 연구는 청미천에서의 하천유사의 측정 및 분석에 관한 제2편으로, 청미천에서 채취된 하상토의 광물특성 및 오염도를 분석한다. 이러한 하천유사의 광물 특성에 관한 연구는 지질학 분야가 아닌 하천 수리학 분야에서는 최초의 연구로 보이며, 하천유사의 오염도에 관한 연구는 전술한 바와 같이 몇 건만이 수행됐을 뿐이다. 이 연구는 하천 수리화적인 측면의 기초적인 연구이며, 이 분야 연구에 하나의 자극제가 되기를 기대한다.

2. 하천유사의 광물특성

청미천 유역의 유사의 광물특성을 분석하기 위하여 상류 한평교 및 하류 원부교 지점에서 표면 하상토를 채취하였다. 시료의 채취시기는 90년 9월 대홍수 직후이며 따라서 상류 유역의 토사가 하상을 덮고 있었을 것으로 사료된다.

2.1 사질유사의 광물조성 및 비중

청미천 유역에서 채취된 모래의 광물조성을 편광현미경으로 분석하기 위하여 시료의 박편을 제작하였다. 편광 현미경용 박편의 제작과정은 다음과 같다.

- (1) 건조기에서 시료의 수분을 제거한다.
- (2) 건조된 시료를 분급(sorting)되지 않도록 조심하여 종이컵에 1/3정도 채운다.
- (3) 그 위에 불포화 폴리에스테르수지(호마이카)를 시료 두께의 2배 정도 채워 데시케이터에 넣고 진공펌프를 이용하여 시료의 공극사이에 수지가 채워지도록 데시케이터를 진공상태로 유지한다(이때 수지가 끓어 넘치지 않도록 짧은 시간내에 끝낸다).
- (4) 진공 데시케이터에서 시료를 끄집어 내어 상온에서 수지가 고화될 때까지 약 2일간 건조시킨 후 암석절단기를 이용하여 시편을 절단한다. 연마제로 시료 표면을 곱게 연마한 후, 에폭시로 시료를 슬라이드 글래스에 접착시킨다. 다시 시편을 하루정도 상온에서 건조시킨 후 엽편 절단기를 이용하여 시편을 적당한 두께로 절단한다.
- (5) 절단된 시편을 산화알루미늄 등 연마제를 이용하여 두께가 0.03mm가 되도록 연마한다.
- (6) 연마된 시편에 덮개 유리(cover glass)를 접착하여 시편을 덮는다.
- (7) 완성된 시편을 편광 현미경으로 관찰하여 광물조성과 조성비를 點算한다.

그림1은 청미천 유역에서 채취된 모래의 현미경 사진(100배)으로 가운데 입자가 석영질 모래이다. 그림2는 같은 현미경 사진으로 가운데 입자가 정장석의 모래이다. 그림3에는 흑운모의 모래입자가 중앙에 위치하고 있다. 이러한 단일 광물로 구성된 모래입자들도 있지만, 그림4와 같이 여러 광물로 구성된 岩片이 하나의 모래입자인 경우도 있다. 이 사진에서 볼 수 있듯이, 한 모래입자는 사장석, 미사장석, 석영, 흑운모

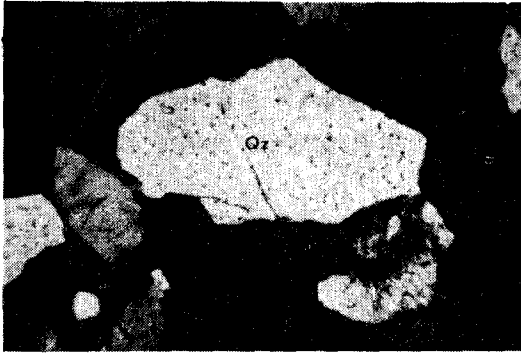


그림 1. 석영질 모래



그림 3. 운모질 모래(흑운도)

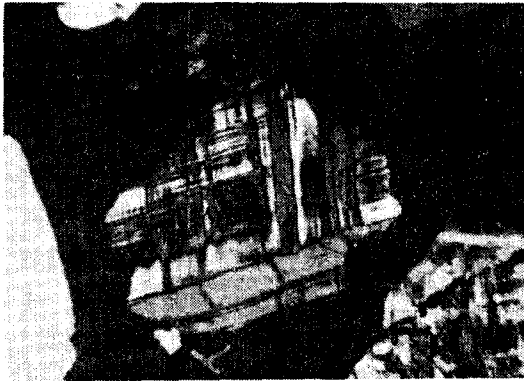


그림 2. 장석질 모래(정장석)

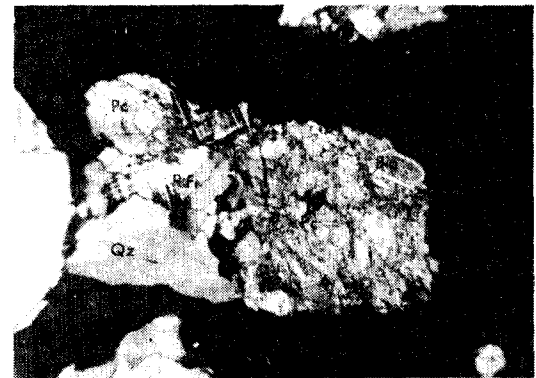


그림 4. 암면모래(사장석, 석영, 흑 운모, 미사장석)

등 여러 광물로 구성되어 있다. 채취된 모래시료에 이러한 여러 광물들의 구성비를 분석한 결과는 각각 표1(한평교)과 표2(원부교)와 같다.

이 표들에서 알 수 있듯이, 청미천 유역의 사질 유사의 주구성 광물은 석영이고 다음이 장석류이며, 운모류는 구성비가 2% 이하이다. 이 결과는 외국의 경우와도 대체적으로 일치하며

(Vanoni 편집, 1975), 다만 본 연구에서는 장석류 및 암편의 구성비가 비교적 높게 나타났다. 특히, 원부교 지점에서의 유사의 암편 구성비는 35%로서, 이는 그 상류유역의 지질 특성과 관련 있을 것으로 추정되나 이에 관한 보다 상세한 연구는 본 연구의 범위를 넘는다.

유사의 비중은 유사 이송에 기본적으로 중요

표 1. 유사의 광물구성과 비중(한평교)

광물	구성비(%)	비중
석영(Quartz)	44.05	2.65
사장석(Plagioclase)	28.15	2.60
정장석(Orthoclase)	19.60	2.55
각설석(Hornblende)	0.40	3.0 - 3.45
흑운모(Biotite)	2.05	2.8 - 3.4
암편(Rock fragment)	9.35	약 2.7
녹리석(Chlorite)	0.75	2.6 - 2.8
백운모(Muscovite)	0.40	2.8 - 2.9
불투명광물(Opaque mineral)	0.25	5.3
계	100	2.75(가중 평균)

표 2. 유사의 광물구성과 비중(원부교)

광물	구성비(%)	비중
석영(Quartz)	36.55	2.65
장석(Plagioclase)	14.95	2.60
정장석(Orthoclase)	11.75	2.55
각섬석(Hornblende)	0.20	3.0 - 3.45
흑운모(Biotite)	1.20	2.8 - 3.4
암편(Rock fragment)	35.08	약 2.7
녹리석(Chlorite)	0.05	2.6 - 2.8
백운모(Muscovite)	-	2.8 - 2.9
불투명광물(Opaque mineral)	-	5.3
계	100	2.65(가중 평균)

표 3. 청미천 유사입자들의 형상계수 (단위: cm)

원 부 교				한 평 교			
a - 축	b - 축	c - 축	SF	a - 축	b - 축	c - 축	SF
0.2789	0.2190	0.1585	0.66	0.2620	0.1745	0.1524	0.72
0.2200	0.1649	0.1590	0.80	0.2408	0.1892	0.1851	0.88
0.2495	0.2002	0.1511	0.68	0.2890	0.2485	0.1848	0.68
0.2301	0.1505	0.1295	0.68	0.3050	0.2548	0.1730	0.61
0.2890	0.1425	0.1275	0.64	0.3295	0.2412	0.1764	0.63
0.2435	0.1995	0.1428	0.80	0.2548	0.1820	0.1648	0.75
0.1770	0.1589	0.1113	0.65	0.2312	0.1595	0.1248	0.66
0.2315	0.1554	0.1345	0.70	0.3548	0.1649	0.1554	0.65
0.2076	0.1555	0.1552	0.86	0.2575	0.2021	0.1615	0.70
0.2160	0.1425	0.1350	0.72	0.2751	0.2091	0.1489	0.65
0.4070	0.2030	0.1270	0.44	0.2995	0.1816	0.1249	0.54
0.1231	0.1500	0.1165	0.83	0.2292	0.2095	0.1351	0.61
0.2465	0.2032	0.1921	0.87	0.3082	0.1948	0.1451	0.60
0.2565	0.1821	0.1477	0.70	0.2485	0.1400	0.1115	0.59
0.3298	0.2243	0.1721	0.64	0.2332	0.1611	0.1243	0.65
0.1921	0.1512	0.1467	0.86	0.2577	0.2055	0.1744	0.76
0.2665	0.1267	0.0844	0.47	0.3109	0.2642	0.1864	0.66
0.1721	0.1054	0.0744	0.54	0.1875	0.1487	0.0986	0.62
평	균		0.70	평	균		0.66

한 요소이며, 통상 2.65 정도로 알려져 있다 (Vanoni 편집, 1975). 본 연구에서도 청미천 유사
의 비중은 표1과 표2에서 계산된 바와 같이 2.6
5~2.75 정도로 밝혀져 그러한 사실을 뒷받침하
고 있다.

2.2 사질 유사의 형상계수

형상계수(Shape Factor)는 유사입자의 모양을 나타내는 하나의 척도로서, 모래입자의 서로 직각으로 교차하는 최장축 a, 중간축 b, 최단축 길이 c 로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{형상계수(SF)} = c / \sqrt{ab} \text{ -----(1)}$$

하상토 등 유사의 형상계수를 알기 위하여 채취된 시료 중에서 비교적 조립인 유사 입자를 무작위로 20 개 정도 골라서, 실제 현미경으로 50배 확대하여 각 입자의 장축, 중간축, 단축을 측정하였으며, 그 결과는 표3과 같다

표3에서 알 수 있듯이, 원부교와 한평교의 유사의 평균 형상계수는 약 0.7로서 외국의 경우 (Interagency Committee, 1957)와 일치하고 있다. 다만, 보다 하류인 한강 본류에서의 유사의

형상계수는 이 수치보다 클 것으로 사료된다. 그림5는 한평교 지점의 유사의 7배 확대 사진으로, 일반적으로 이 지점의 유사입자들은 비교적 구형도가 낮은 특징을 보여 준다.



그림 5. 한평교 지점의 하상토(7배 확대)

2.3 점토의 광물 조성

채취된 시료의 점토성분을 분석하기 위하여 시료를 체분석하여 미립토사만을 분리하고, 다시 이를 물에 섞어 부유된 점토물질만을 원심분리기로 분리시켜 X선 회절(XRD)분석용 시편을 만들었다. 제작된 시편을 NEC사의 JDX-series를 이용하여 분석하였다.

분석결과에 의하면, 한평교 지점에서의 점토 성분은 주로 chlorite와 kaolinite이며 이들의 구성비는 약 반반 정도이다. 원부교 지점의 경우 주 구성광물은 illite와 kaolinite로 한평교와는 다른 양상을 보인다. 또한, 이들의 함량비를 비교해 보면 illite가 kaolinite보다 약 2배 정도 큰 결과를 보이나, 보다 정확한 함량비를



그림 6. 원부교 지점의 점토(10,000배 확대)

알아보기 위해서는 표준 시료를 이용하여 정량 분석을 하여야 할 것으로 생각된다.

점토질 유사의 형상을 알아보기 위하여 XRD분석에 사용된 같은 시료를 SEM (Scanning Electronmicroscope)분석에 사용하였다. SEM 분석용 시료는 마운트 위에 접착제를 발라 그위에 점토분말을 뿌려 고착시켰다.

그림6은 SEM으로 10,000배 확대하여 찍은 사진으로, 원부교 시료에 다량 함유된 kaolinite는 薄片(flake)상이고, illite는 조그만 어란상이며, 이에 비해 chlorite는 비교적 입자가 큰 박편상이다.

3. 유사의 오염도 분석

한편, 전술한 광물조성조사를 위한 시료 채취와 동시에, 수질분석을 위하여 상기 2개 지점에서 각각 하천 지표수, 하천변 백사장밑의 간극수, 최심선에서 채취한 하상토내의 간극수 등 3종류 총 6개 시료를 채취하였고, 유사 오염도 분석을 위해서 마찬가지로 상기 2개 지점에서 각각 하천변 모래(지하 약 30 cm 지점)와 최심선의 하상토 등 총 4개의 시료를 채취하였다. 최심선에서의 하상토는 BM-54하상토 채취기를 이용하여 채취하였다. 하상토내의 간극수는 하상토를 일정 시간 동안 놓아두어 물이 자연 배수되게 하여 수집하였다. 여기서, 간극수를 대기중에 오래 노출시키는 경우 산화에 의해 화학성분이 변화될 염려가 있으므로(Watson 등, 1985), 배수후 즉시 분석하였다.

3.1 분석 방법

환경적 지표로서 본 연구에서 분석한 항목은 수소이온농도(pH), 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 암모니아, 질산성 질소, 인산염, 강열감량과 7종의 중금속 이온(수은(Hg), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 크롬(Cr), 아연(Zn), 구리(Cu)) 등이다. 각각의 분석 방법을 요약하면 다음과 같다.

(1) 암모니아

암모니아 전극을 이용하여 수중의 암모니아 농도를 측정하였다. 시료를 강염기(10N NaOH)로 pH를 약 11까지 높여서 NH₃로 만든 뒤 전극의 薄膜을 통해 확산되는 농도를 측정하였다.

(2) 질산염 이온(NO₃⁻)

질산염 이온 전극을 이용하여 수중의 질산염 이온 농도를 측정하였다. 50ml 플라스크에 10 ml의 시료를 취하고, 이온강도를 일정하게 해주기 위한 완충용액(Ag₂SO₄, H₂NSO₃H, Al₂(SO₄)₃, H₃BO₃, pH 3으로 조절) 10 ml를 넣어준 후, 전극을 통해 값을 읽었다.

(3) 생물학적 산소요구량(BOD)

BOD는 수중에 존재하는 분해가능한 유기오염 물질량을 총량적으로 나타내는 지표로서 시료를 20° C에서 5일간 두었을 때의 소모된 용존산소량으로 표시된다. 시료중의 용존산소가 부족한 경우에는 희석수를 통해 보충해야 하나, 자연하천수인 경우 자체만으로도 충분하다. 용존산소의 측정은 용존산소 전극을 이용하였다.

(4) 화학적 산소요구량(COD)

COD는 강한 산화력을 가진 산화제를 이용하여 촉매의 존재하에서 고온에서 화학적으로 유기물 질을 완전히 산화시키는 방법이다. 산화제로는 중크롬산칼륨과 과망간산칼륨 등이 사용되는데, 본 실험에서는 중크롬산칼륨이 사용되었다. 촉 매로는 황산은(Ag₂SO₄)이 사용되며, 염소이온의 방해작용을 억제하기 위해 황산수은(HgSO₄)이 첨가된다. 시료를 고열판에서 약 2시간 정도 가 열하면서 산화시킨다. 처리된 시료는 페로인 지 시약 존재하에서 황산알미늄제일철(FeAl₂(SO₄)₂ · 6H₂O)로 적정하여 농도를 계산하였다.

(5) 인산염 이온

PO₄³⁻ 농도는 흡광광도법으로 측정하였다. 인 몰리브덴산이 형성된 후, 염화제일주석에 의해 환원되면 푸른색을 띠게 되고, 이 색의 강도에 의해 수중의 인산염 농도가 결정된다. 100ml 시

료에 4 ml의 몰리브덴산암모늄 용액과 염화제일주석 용액 0.5ml 를 첨가한 후 발색할 때까지 교반시킨다. 발색된 후 흡광광도계로 690 nm에서 측정하였다.

한편 하상토 시료의 경우는 토양 내의 유기성분과 기타 토양에 부착되어 있는 인산염 형태를 수용액 상태로 녹여내기 위해 과황산습식분해법으로 전처리를 하였다. 이 방법은 일정량의 시료 (1~2 g)에 강산 용액과 과황산알미늄을 첨가하여, 압력솥(autoclave)에 넣고 고온 고압하에서 약 30 분간 쪄면서 산화시키는 전처리 방법이다. 전처리된 시료는 전술한 방법으로 측정하였다.

(6) 중금속

중금속 측정은 원자흡광광도계를 이용하여 측정하였다. 납, 카드●, 크롬, 아연, 구리 등의 5종은 여과후 표준용액을 이용하여 검량선을 작성하고, 농도를 측정하였다. 수은과 비소의 경우, 원자흡광광도계에서 mercury hydride system을 이용하여 ppb 범위까지의 미량까지 분석하였다. 수은측정시는 'cold vapor' 방법이라고 해서, 통상 태우지 않고 그대로 흡광도를 측정하였다.

(7) 강열감량

강열감량이란 흙 속에 존재하는 휘발성 유기물질의 양을 나타내는 척도로서, 550° C의 고온에서 휘발성 유기물질을 완전히 태운 후의 무게변화를 백분율로 나타낸 값이다.

3.2 분석결과

먼저, 하천수질에 대한 유기물 및 영양염류의 농도의 분석 결과는 표4와 같다. 이 표에서 볼 수 있듯이, 시료채취 지점별 오염정도는 시료수가 작고, 오염도의 차이가 작으므로 뚜렷하게 나타나지 않지만, 대체적으로 인산염의 경우 지표수보다 간극수에 많이 분포하며, 유기물은 지표수에 보다 많이 분포하는 경향을 볼 수 있다.

표 4. 청미천 수중의 유기물 및 영양염류 농도
단위 : mg/l (pH 제외)

시료 채취 지점	pH	BOD	COD	NH ₃	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	
한평교	하천수	6.70	1.8	2.7	0.14	3.7	0.08
	강변간극수	6.40	1.1	4.0	0.448	3.6	0.36
	최심선간극수	7.00	1.9	4.5	0.196	4.4	0.38
원부교	하천수	7.03	4.0	2.7	0.266	3.7	0.06
	강변간극수	6.96	1.6	3.6	0.092	3.9	0.42
	최심선간극수	7.21	2.6	5.3	0.038	3.9	0.03

o 시료채취일: 1990. 9. 25. 날씨: 맑음, 대기 온도: 25° C, 수온: 23° C

표 5. 청미천의 하천수 및 간극수 중의 중금속 농도

• 단위 : mg/l

시료 채취 지점	Hg	Pb	Cd	As	Cr	Zn	Cu	
한평교	하천수	0.034	불검출	0.057	불검출	0.14	0.23	0.03
	강변간극수	0.012	불검출	불검출	불검출	0.06	0.04	0.01
	최심선간극수	0.018	불검출	0.032	불검출	0.10	0.51	0.06
원부교	하천수	0.006	불검출	0.017	불검출	불검출	0.05	불검출
	강변간극수	0.010	불검출	불검출	불검출	0.05	0.07	불검출
	최심선간극수	0.005	불검출	0.037	불검출	0.08	0.41	0.02

o 시료채취일 : 1990. 9. 25. 날씨 : 맑음. 대기 온도 : 25° C

표5는 수중의 중금속 농도를 측정된 결과이며 아연을 제외하고는 대체로 기기의 분석한계 이하의 농도로 잘 검출되지 않았으며, 아연 농도도 상수원수 수질 기준을 초과하지 않는다. 또한, 하천수, 최심선 간극수, 하천변 간극수에서의 중금속의 농도변화에 어떤 특별한 경향이 나타나지는 않는다.

그러나, 이러한 결과는 시료를 채취한 시기가 '90년 9월 대홍수 직후이며, 따라서 대부분의 기존 하상토 및 간극수가 하류로 쓸려 내려가고 상류에서 유수에 씻긴 신선한 하상토가 대신 덮혔기 때문으로 추정된다. 따라서, 시료를 4, 5월 등 홍수기 직전에 채취하는 경우 간극수의 오염정도는 하천수의 오염정보보다 크게 나타나는 등 현재의 결과와 다르게 나타날 것으로 예상된다.

한편, 하상토에 대한 오염도 분석결과는 표6

과 같다. 이 경우 하상토 입자크기에 따라 2mm 이하 0.063 mm 이상의 토립자를 모래로, 0.063mm 이하의 토립자를 이토로 나누어서 중금속 함량을 조사하였다. 본 분석결과, 입자크기가 작은 이토 성분에 보다 많은 중금속이 분포하고 있음을 볼 수 있다. 이 결과는 일반적으로 모래보다 이토이하의 미립토사에 중금속의 농도가 훨씬 높다는 사실과 일치한다(Wilber 와 Hunter, 1979).

한편, 청미천은 전형적인 충적하천으로 그 하상토의 구성은 그림7에 나타난 것과 같이 시료의 중앙입경이 1.0 mm 정도로 모래가 주종을 이루며, 이토 이하의 미립토사는 0.1 % 이하로 무시할 수 있을만큼 적다. 따라서, 이토 등 미립토사의 중금속 함유량이 하상토 전체의 중금속 함유량에 미치는 기여도는 미미한 것으로 판단된다.

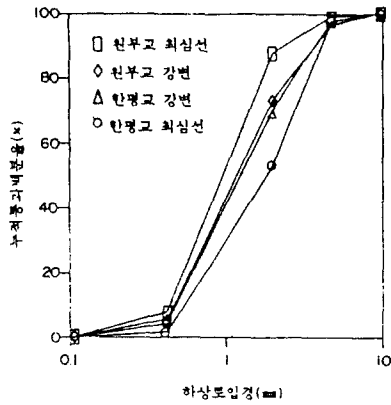


그림 7. 청미천 하상토의 입경분포

또한, 사례연구 하천인 청미천 유역 근처의 일반 농경지 토양 중의 중금속함유량은 표7과 같다. 이 표6과 표7을 비교해 보면, 한평교와 원부교 공히 모래에 붙어 있는 수은의 양은 일반 토양중의 함유량과 큰 차이가 없으나 이토의 경우 대단히 높게 나타났다. 이러한 경향은 아연의 경우도 마찬가지로, 특히 한평교 최심선에서의 하상토의 아연함유량은 한계농도에 접근하고 있다. 따라서, 한평교 상류유역내에 아연이나 수은 등 중금속 오염원이 있을 것으로 사료되나 구체적인 오염원 실태 조사는 본 연구에서 실시하지 않았다.

표 6. 청미천의 하상토 내의 중금속 농도

단위 : mg/kg

시 료		Hg	Pb	Cd	As	Cr	Zn	Cu
한평교 강변	모래	불검출	불검출	불검출	불검출	2.9	43.6	3.7
	이토	24.4	불검출	불검출	불검출	2.6	53.8	9.4
한평교 최심선	모래	0.57	불검출	불검출	불검출	0.74	11.8	2.2
	이토	15.7	불검출	불검출	불검출	7.9	110.5	11.8
원부교 강변	모래	0.85	불검출	불검출	불검출	0.34	8.0	1.3
	이토	18.6	33.3	불검출	불검출	39.1	99.2	2.5
원부교 최심선	모래	0.45	불검출	불검출	불검출	3.6	6.7	1.2
	이토	3.3	7.1	불검출	불검출	6.0	33.3	1.2

표 7 농경지 토양중 중금속 함유량

(단위 : mg/kg)

항목	장소	경기도 ⁽¹⁾	경기도 이천군 ⁽²⁾	한계농도
Cd		0.06 - 0.54 (0.17)	0.02 - 0.04	25
Cu		2.47 - 14.53 (5.84)	1.43 - 1.49	125
As		0.21 - 1.07 (0.54)	0.02 - 0.04	15
Zn		2.70 - 13.36 (6.99)	1.79 - 6.04	150 - 500
Pb		2.20 - 14.90 (7.83)	3.25 - 5.06	400 - 500
Hg		0.02 - 0.26 (0.07)		40 - 50

(주) () 값은 평균치임.

⁽¹⁾ 토양오염 기준설정 합리화에 관한 연구, 유홍일 외 5인, 국립환경연구원보 제9권, 1987.

⁽²⁾ 삼풍컨트리 클럽 환경영향 평가서, 1990.

청미천을 포함하여 충적하천의 하상토중에서 이토나 점토 등 미립토사가 차지하는 비율은 대부분의 경우 매우 작으므로, 이러한 미립토사에 의한 오염원의 이송량 자체는 상대적으로 미소하다. 그러나, 이러한 미립토사는 부유사의 상당량을 차지하며(유 권규 등, 1991), 이는 결국 하류로 이송되어 일부는 홍수터 등에 퇴적되므로 그에 따른 오염원의 확산은 결코 무시될 수 없을 것이다. 예로서, 본 사례연구 하천의 최종 하류인 서울의 한강 고수부지가 지난 '90년 9월 대홍수로 20~30 cm 이상의 토사로 퇴적된 사실(Woo 등, 1991)과, 이러한 고수부지의 대부분이 시민의 운동 경기장, 놀이터, 잔디밭 등으로 이용된다는 사실을 고려하면 시민의 보건을 위하여 오염된 유사에 의한 한강 고수부지의 오염실태를 파악하는 것이 시급하다 하겠다.

기타 하상토에 존재하는 인산염 농도와 강열감량 등은 표8과 같다.

표 8. 하상토의 인산염 농도와 강열감량

시 료	인산염 농도 (mg/g)	강열감량 (%)
한평교 강변	9.03	0.43
한평교 최심선	6.56	0.40
원부교 강변	5.78	0.39
원부교 최심선	17.07	0.51

4. 결론

사례연구 대상 하천인 청미천의 원부교 및 한평교에서 채취한 하상토의 광물특성의 분석 결과는 문헌상에 알려진 유사의 일반적인 광물특성 결과와 대체로 일치하며, 그 중 중요한 결과들은 다음과 같다.

- 1) 청미천의 사질유사의 주 조성 광물은 석영으로 전체의 40% 내외를 차지하며, 이 밖에 장석과 암편류가 상당량 포함되어 있다.
- 2) 사질유사의 형상계수(SF)는 약 0.7이다
- 3) 한평교 지점의 점토질 유사의 광물구성 성분은 kaolinite와 chlorite 등이 1:1 정도이고, 원부교의 경우 illite와 kaolinite 등이 2:1 정

도이며, bentonite가 함유되어 있지 않은 것이 특징이다.

한편, 청미천 유역의 유수 및 하상토의 오염 분석 결과는 다음과 같다.

- 1) 지표수와 하상토내 간극수의 유기물 및 중금속 등의 양은 큰 차이가 없으며, 모두 상수원수 수질 기준을 초과하지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 하상토의 대부분을 차지하는 모래의 경우 하상토와 주위 경작지의 중금속 함유량이 비슷하게 나타났으나, 이토 등 미립토사의 경우는 하상토가 주위 경작지보다 특히 수은 및 아연을 훨씬 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 이러한 오염된 미립토사는 wash load의 형태로 하류로 이송되어 홍수터 등에 침전되어 새로운 오염원이 될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 '90년 기본 연구과제로 제1 저자와 제4 저자에 의해 수행된 '수정 아인쉬타인 방법의 한국하천에의 적용 - 하천 총유사량의 추정-' 연구의 일부이며, 그중 유사의 광물특성은 제2 저자가, 오염도 분석은 제3 저자가 각각 분석을 담당하였음을 밝혀둔다.

참고문헌

1. 박 영규, 이 철희, 나 중균, 정 병걸(1986) "낙동강 하류 저질중 중금속 함량," 수질보전, 제 2권 제 2호, 한국수질보전학회, pp.14-24.
2. 전 상호, 이 해금(1986) "의암호 저니에 의한 상부 수층의 오염 가능성에 대하여," 수질보전, 제 2권 제 2호, 한국수질보전학회, pp.1-8.
3. 유 권규, 우 효섭 (1991), "청미천에서의 하천 유사 측정 및 분석(I) - 수리량 및 유사량 -, " 한국수문학회지 (심사중).
4. Darby, D. A., Adams, D. D., and Nivens, W. T. (1986), "Early Sediment Changes and Element Mobilization in a Man-Made Estuarine Marsh," Sediment

- and Water Interactions, G. Sly, ed., Springer-Verlag.
5. Simons, D. B., Richardson, E. V., and Haushild, W. L.(1963) "Some Effects of Fine Sediments on Flow Phenomena," Water-Supply Paper 1498G, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
 6. Vanoni, V. A., ed.(1975) Sedimentation Engineering, ASCE, p.72.
 7. Watson, D. G., Frichers, P. E., and Goodchild, C. M. (1985), "Spatial and Seasonal Variations in the Chemistry of Sediment Interstitial Waters in the Tamar Estuary," Estuar, Coast, Shelf Science, Vol.21.
 8. Wilber, W. G., and Hunter, J. V.(1979), "The Impact of Urbanization on Distribution of Heavy Metals in Bottom Sediments of the Saddle River," Water Resources Bulletin, Vol.15.
 9. Woo, H., Lee, B. K., and Yu, K.(1991), "Sedimentation Aspect of Flood-Plain Management," Submitted to the Proceedings of the 1991 ASCE National Hydraulics Conference, Nashville, Tennessee, Jul. 29-Aug. 2.