

탄천 상·하류의 하천수 및 퇴적물 오염도 연구

백용욱 · 이용한 · 김학규 · 정다운 · 안윤주*

(건국대학교 환경과학과)

Assessing the Pollution Trend in Water and Sediments of Tancheon Down the Stream. Baek, Yong-Wook, Yong-Han Lee, Hack-Kyu Kim, Da-Un Jung and Youn-Joo An* (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

The contamination of a suite of heavy metals were evaluated in water and sediments of urban stream, Tancheon down the stream. Tancheon is a urban stream which goes all the way across the urban area where various pollution sources are present. The sixteen study sites from seven different areas were designated down the stream. The heavy metal levels of the streams were detected in the order of Zn>Cu>Ni>Pb>Cd>Cr>Sb. There was a difference in the relative order of the concentration ranking in lake sediments. There is a trend that the heavy metal levels are higher at the sites where the construction causes inflow of soil particles to stream. Toxicity tests using pore-water in sediments were conducted for samples collected in some study sites, and pore-water in one site was proven to be toxic to Japanese medaka (*Oryzias latipes*). The reason may be the fecal pollution rather than heavy metal effect. Strong odor was detected in the sediment whose pore-water samples showed ecotoxicity. We did not observed the increasing concentration of heavy metals down to stream since the soil texture varied in the stream area of our study. Further study is needed to find quantitative relations between the level of contamination and its eco-effect.

Key words : Tancheon, stream water, sediment, pore-water, heavy metal

서 론

지속적인 성장으로 삶의 질이 높아짐에 따라 인간은 청정하고 잘 보존된 자연환경을 선호하며, 특히 주거 생활에 인접한 하천의 관리는 매우 중요한 사안이 되고 있다. 우리나라는 한강을 중심으로 많은 하천들이 형성되어 있다. 이 중, 서울에서 합류하며 한강에 영향을 미치는 주요 하천은 중랑천, 안양천 그리고 탄천이 있다. 한강 지류인 탄천은 잠실 수중보 하류부에서 최초로 한강에 유입되어 한강 수질변화에 큰 역할을 하고 있으나, 탄천의 하천 생활환경 기준은 1995년 2등급(현행 II-약간좋음)에서

2000년 5등급(현행 V-나쁨)으로 수질은 지속적으로 악화되어왔다. 이와 같은 수질악화의 원인으로는 탄천을 따라 분포된 골프장, 온천개발현장, 폐기물처리장 등 다수의 오염원과 90년대 중반 이후 시행된 대규모 택지개발에 의한 것으로 사료된다. 현재 판교 등 탄천 주변 일대에서는 아파트 건설 공사가 진행 중이며, 탄천 및 성남 물재생센터에서는 일일 150만 톤 이상의 하수가 탄천으로 배출되고 있다. 또한 탄천을 따라 발달한 도로, 음식점, 산업체, 농경지 등의 비점오염원을 통해 오염물질이 지속적으로 유입되어 하천의 전반적인 오염을 야기할 수 있다.

하천퇴적물은 오염물질의 저장소로 작용하는데, 특히

* Corresponding author: Tel: 02) 2049-6090, Fax: 02) 2201-6295, E-mail: anyjoo@konkuk.ac.kr

PBT (Persistence, Bioaccumulation, Toxicity) 특성을 지닌 중금속은 지속적으로 퇴적물에 축적되고, 생지화학적 (biogeochemical) 환경변화에 의해 수중으로 재용출되는 과정을 반복한다. 또한 중금속은 생물농축 (bioconcentration) 현상과 생물이용성 (bioavailability)에 의해 수서생물종에 위해를 야기할 수 있다(백과 안, 2008). 도심지역을 관통하는 준용하천(하천법의 적용을 일부 받는 하천으로 하천법에 의해 지정된 하천이외의 하천 중 특별시장·광역시장 또는 도지사가 지정한 하천으로, 준용하천에 유입하거나 이로부터 분기되는 수류를 포함)은 앞서 언급하였듯이 산업시설과 주거지에서 유출되는 오염물 유입으로 인해 하천수와 퇴적물의 오염이 발생할 것으로 사료되며, 유입된 오염물질은 수서생물체에게 독성학적 생태영향을 야기할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 도시를 지나는 준용하천인 탄천 상하류의 중금속 오염도 추세를 분석하고 공극수 생태독성실험을 통하여 퇴적물의 오염도를 함께 평가하였다. 지리적 오염원을 기준으로 탄천의 7개 구역(A1~A7)을 선정해 하천수와 퇴적물의 오염도 분석을 수행하였고, 이화학적 분석을 통해 탄천의 수질과 퇴적물 오염에 대한 전반적인 양상을 파악하였고 중금속 함량 분석을 통한 오염도를 조사하였다. 최근의 오염도 평가 방법은 기존의 물리화학적 평가방법 이외에 생물학적 방법을 도입하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 퇴적물에 포함된 공극수를 이용한 스크리닝 수준의 생태독성평가를 병행하였다. 퇴적물은 하천수에 비해 오염물질의 시간적 변화가 적어 하천수 수질의 지속적인 환경영향을 평가하는데 보다 적절한 지구화학적 매체로 알려져 있으며(이 등, 2002), 퇴적물 공극수는 퇴적물 독성을 비교적 잘 발현시키는 매체로, 공극수 독성평가는 자연 상태의 퇴적물과 대체로 유사한 독성을 나타낸다고 보고된 바가 있다(Anderson *et al.*, 2001).

재료 및 방법

1. 조사 시기 및 조사지점 선정

본 연구는 2007년 8월 한 달간 총 4회에 걸쳐 탄천의 하천수 및 퇴적물 시료를 채취하였고, 시료 채취 시에는 일반 수질항목도 동시에 측정하였다. 탄천은 경기도 용인 시에서 서울시 강남구에 이르는 준용하천으로 총 길이 35.62 km이며, 유역 면적은 360 km²로 보고되어 있다 (Fig. 1). 본 하천 주변은 도심지역 개발로 대단위 복합주

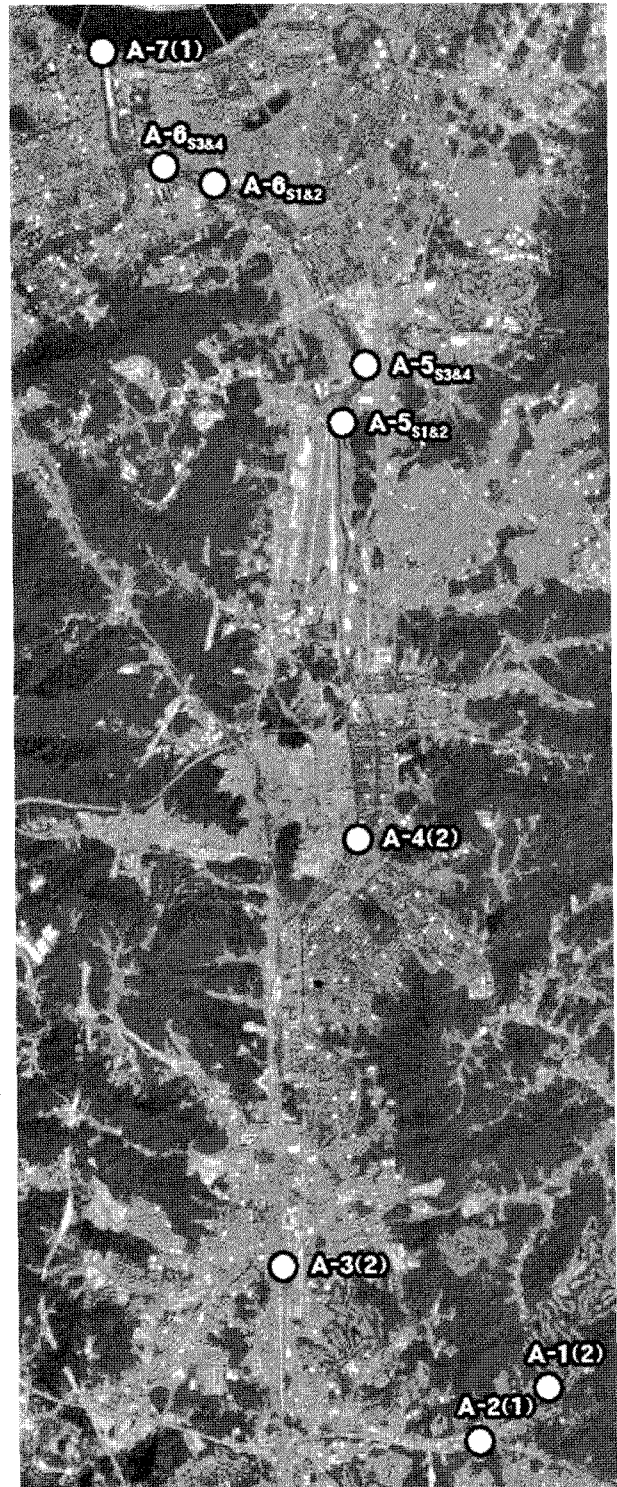


Fig. 1. Location of study sites.

거단지가 위치하고 있으며, 이 외에도 상업지, 농업지, 공공시설 등이 존재한다. 조사지점은 탄천에 인접한 예상오

염원 및 인구밀집을 고려하여 7개 구역(A1~A7)에서 총 16개 조사지점을 다음과 같이 선정하였다. 1구역(A1)은 대상 하천의 발원지로 오염도가 낮을 것으로 사료되어 다른 지역 간의 비교평가를 위한 대조지역으로 선정하였다. 2구역(A2)은 1구역과 인접하여 있으나, 골프장과 복합주거단지가 존재하고 있어 토양 분진, 토사 유출, 잔류 농약 등 인위적 오염원의 유입이 예상되는 곳이다. 3구역(A3)은 도심 주거지역으로 주거활동으로 발생하는 도시하수가 하천으로 유입되는 곳이며, 4구역(A4)은 대상 하천의 중간 지점에 해당하며, 1~3구역에서 누적된 오염도를 평가하기 위해 선정되었다. 5구역(A5)과 6구역(A6)은 공공하수처리시설에서 방류수가 유입되는 구역으로 수심이 깊고 유속이 느려 퇴적층이 잘 발달되어 있다. 특히 6구역은 생태계보전지역에 해당한다. 마지막으로 7구역(A7)은 대상 하천의 최하류 지점으로 주변의 교통량이 많은 지역이다.

2. 호소수 채취 및 분석

현장에서 측정하는 수질항목은 Multi-Meter (U-22XD, Horiba, Japan)를 이용하였다. 수소이온농도(pH), 전기전도도(Conductivity), 탁도(Turbidity), 용존산소(DO), 온도, 수심, 염도(Salinity), 총고형물질(TDS), 산화환원전위(ORP)를 각 항목별로 2회 반복 측정하였다. 하천수 내용존 중금속 분석을 위한 시료는 공극 0.45 µm의 멤브레인 필터를 이용하여 여과한 후, (1+1) 질산을 첨가해 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES, JY-138-ULTRACE, Jobin Yvon, France)로 중금속 함량을 측정하였다. 시험방법은 'Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry'(USEPA, 1994)를 적용하였다. 본 연구의 대상 중금속은 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni), 안티몬(Sb) 그리고 아연(Zn)이었다.

3. 퇴적물 채취 및 분석

퇴적물 시료 채취는 Peterson dredge sampler (Code 1097, LaMotte Company, USA)를 이용하여 퇴적층 기준 2 cm 지점까지의 표층퇴적물을 채취하였다. 퇴적물 시료는 냉장 보관하여 실험실에서 퇴적물의 입도와 유기물 함량을 분석하였다. 퇴적물 내 중금속 분석 시료는 불필요한 물질을 제거한 후, 120°C 오븐에서 24시간 건조하였다. 건조된 시료는 막자사발을 이용하여 분쇄한 뒤 체거름(100 mesh) 하였다. 퇴적물 분말시료 0.1g과 혼합산(질

산:과염소산:불화수소산=4:1:4) 5 mL을 Teflon digestion vessel에 담은 후 Sand Bath(C-SB, Chang-Shin Scientific Co., Korea)에서 120°C, 24시간 동안 열분해하고, 초순수를 첨가해 잔류산을 증발시켰다. 이 후, 20 mL의 초순수를 첨가하여 희석해 공극 0.45 µm의 실린지필터로 여과하였다(백과 안, 2008). 전처리된 시료는 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES, JY-138-ULTRACE, Jobin Yvon, France)를 이용하여 중금속을 함량을 측정하였다.

4. 공극수 추출 및 공극수 생태독성실험

퇴적물의 생태독성을 평가하기 위하여 공극수(pore-water)를 추출하였다. 냉장 운반된 퇴적물을 4,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 1차 공극수를 추출한 후, 이를 5분간 2,500 rpm에서 재 원심분리해 그 상등액을 생태독성 실험에 사용하였다. 공극수의 추출량은 희석배수를 고려하여 사용된 퇴적물에 따라 각기 다르게 추출되어 퇴적물의 양은 일정하지 않다. 추출된 공극수는 냉장상태로 보존하고, 추출 후 7일 이내에 사용하였다. 한편 공극수 생태독성실험은 하천수와 퇴적물의 평가결과를 토대로 지점을 선정하였다. 하천수로 인한 퇴적물의 오염도를 예측하기 위하여, 상층수와 하층수의 시료를 채취하였다. 하천수의 T-N, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P는 기기분석(Spectroquant NOVA 60, Merck, Germany)을 하였고, TOC는 TOC analyzer (TOC-V, SHIMADZU, Japan)로 분석하였다.

공극수 생태독성실험에는 개랑송사리(*Oryzias latipes* Orange-Red type)를 사용하여 치사율을 독성종말점으로 평가하였다. 본 시험어종은 "OECD guideline for testing of chemicals No. 203: Fish, Acute toxicity test"에서 제시된 생물종으로 전 세계적으로 독성시험에 널리 사용되고 있다. 시험용액은 유리재질의 광구병에 각각의 희석배율에 따라 준비하였다. 노출방법은 지수식이며 광구병당 송사리 성어를 한 개체씩 10반복으로 노출하였고, 실험기간동안 먹이는 공급하지 않았다. 노출 시험군은 24°C, 광주기 16:8에서 노출했으며, 노출기간은 96시간까지 관찰하였다. 24, 48, 72시간마다 노출군의 DO를 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 하천수 및 퇴적물의 물리화학적 특성

하천수와 퇴적물의 물리화학적 특성은 Table 1에 요약

Table 1. Physical and chemical conditions of stream water and sediment in the study sites.

	A1		A2	A3		A4		A5				A6				A7
	S1	S2		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
Stream water																
pH	4.4	4.4	6.1	6.3	6.0	6.3	6.9	7.1	6.4	4.6	5.1	6.0	6.4	5.8	5.8	6.2
Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	8.60	8.90	36.50	46.85	47.30	42.15	42.40	42.55	42.95	52.85	50.50	48.85	48.15	67.90	68.45	66.80
Turbidity (NTU)	20.0	20.0	14.0	125.0	240.0	15.5	16.0	57.5	41.5	33.0	16.0	14.5	29.0	11.0	7.0	8.0
DO (mg L^{-1})	8.4	9.0	9.5	6.9	6.9	7.7	10.3	12.4	11.4	8.2	8.0	5.8	6.5	7.1	7.1	5.1
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	20.6	19.8	24.2	27.8	27.1	28.9	28.1	31.3	31.3	27.3	28.2	25.7	26.4	27.2	26.9	26.5
Salinity (%)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
TDS (g L^{-1})	0.06	0.06	0.24	0.30	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.34	0.32	0.32	0.31	0.44	0.44	0.43
ORP (mV)	105.0	80.0	16.0	27.5	38.5	27.0	-9.0	-20.5	18.0	138.0	111.0	38.0	12.5	59.0	54.0	22.0
Stream sediment																
Texture	Sandy loam		-	Sandy loam		Sand		Sandy loam ¹⁾		Loamy sand ²⁾		Loamy sand ¹⁾		Sand ²⁾		Sand
Organic matter (%)	6.2		1.0	4.7		0.67		2.7 ¹⁾		2.0 ²⁾		1.3 ¹⁾		0.65 ²⁾		1.3

¹⁾value of S1, ²⁾value of S3

하였다. 하천수의 pH는 4.6~7.1을 나타내었다. A5-S1, S2지점에서 가장 높은 값을 보였고 공공하수처리시설인 A5-S3, S4, A6-S3, S4지점에서 그 수치가 다시 감소하는 경향이 나타났다. 전기전도도는 8.60~68.85 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 45.1 $\mu\text{S cm}^{-1}$)로 나타났으며, 상류지점인 A1에서 하류로 갈수록 증가하는 양상을 나타내었다. 특히 A5-S3, S4, A6-S3, S4지점을 기준으로 증가경향이 뚜렷하며, 전체적으로 전기전도도는 최하류 지점에서 최상류 지점에 비해 약 8배가 증가하였다. 2000년 10월에 측정된 자료(이 등, 2002)에 의하면 전기전도도가 13.3~56.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 40.3 $\mu\text{S cm}^{-1}$)의 분포를 보였으며, 2005년도 하류지역은 62.0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (김, 2005)로, 본 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

TDS도 하류 쪽으로 갈수록 상승하는 경향을 보였다. 탁도는 A3-S1, S2지점에서 각각 125, 240 NTU로 가장 높은 수치를 보였는데, 이는 조사지점에서 장기적인 굴착공사로 인한 토사 유출이 그 원인인 것으로 분석된다. 용존산소는 5.1~12.4 mg L^{-1} 의 범위로 상류에서 하류 쪽으로 갈수록 그 값이 감소하는 경향을 보였다. 산화환원전위(ORP)는 A1, A5-S3, S4, A6-S3, S4에서 높은 수치를 보였으며, A4-S2, A5-S1지점에서 음의 값을 나타내었다. ORP는 수치가 낮을수록 퇴적물과 수중내 공침성 영양염류를 용출시키는 것으로 보고되어 있다(국립환경연구원, 1990). 하천의 흐름에 따라 그 값이 증가한 항목의 결과를 도식화하였다(Fig. 2).

토성의 경우 입자의 크기에 따라 자갈(Gravel), 모래(Sand), 미사(Silt), 점토(Clay)로 분류하는데, 실험 결과

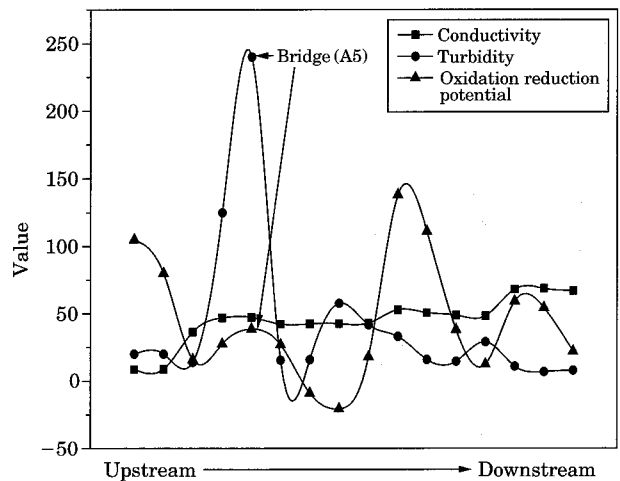


Fig. 2. Variations of conductivity, turbidity and ORP in water samples collected in the Tancheon from upstream to downstream.

모래의 함량이 가장 높았으며 점토의 함량은 매우 낮은 수준이었다. 토성은 유속의 영향을 크게 받으며, 흐름이 정체된 지점일수록 입자가 작은 미사와 점토의 비율이 높아지고 흐름이 빠른 지점일수록 자갈과 모래의 비율이 높아진다. 측정된 결과에 의하면 합류부인 A4-S1지점과 하류지점인 A6-S3, A7지점에서 모래의 비율이 높았다. 유기물함량은 대부분의 지점에서 2% 이하의 값을 나타냈는데, 비교적 함량 비가 높은 A1-S1(발원지), A3(대교 인근), A5-S1, S2(공공하수처리장 방류수 유입지점)지점은 유속이 정체되거나 상당히 느린 지점으로 유기물의

Table 2. Comparison of metal concentrations (mg L^{-1}) detected in the stream water and environmental standards on water quality and aquatic ecosystem (Health standards for lake and marshes).

	S_{RW}	A1-S2	A2	A3-S1	A4-S1	A5-S1	A5-S3	A6-S1	A6-S3	A7
As	0.05	>0.01	0.04	0.02	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	0.01
Cd	0.005	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002	>0.002
Cr	0.05 (6^+)	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003
Cu	-	0.008	0.017	0.004	0.006	0.003	0.004	0.002	0.002	0.006
Ni	-	0.0004	0.006	0.0004	0.0003	0.0004	0.0012	0.0015	0.0012	0.0006
Pb	0.05	>0.01	0.04	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	0.02	>0.01	0.01
Sb	0.02	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012	>0.012
Zn	6.2	>0.001	0.058	>0.001	>0.001	0.001	0.022	0.014	0.01	0.054

S_{RW} =environmental standards on water quality and aquatic ecosystem (Health standards for lake and marshes)

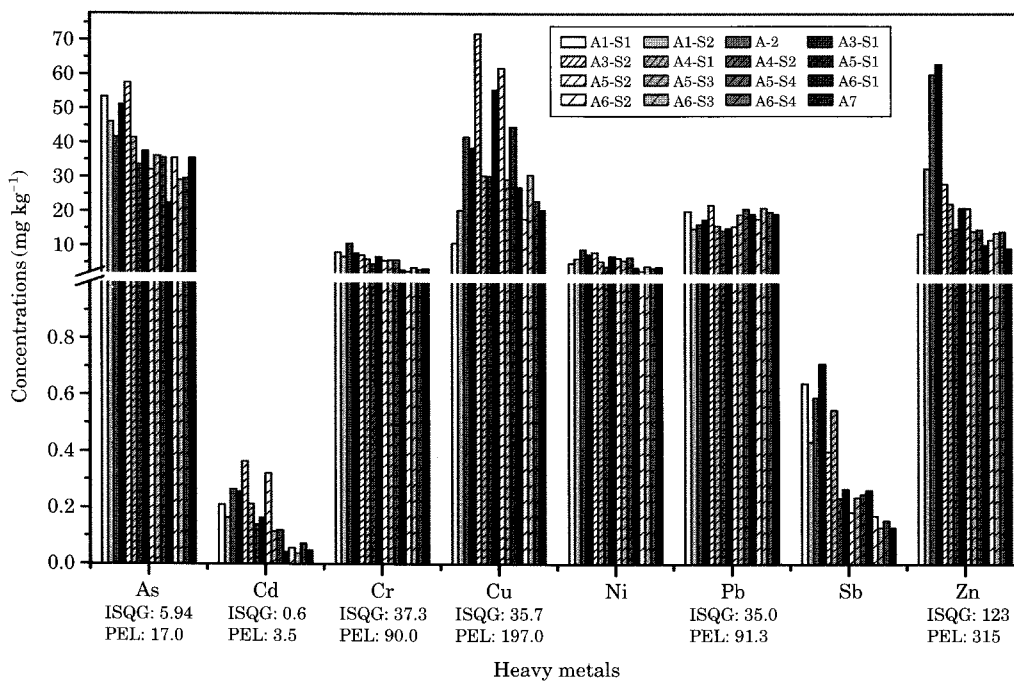


Fig. 3. Heavy metal concentrations of stream sediments.

침전에 의한 것으로 사료된다. A1-S1지점은 발원지 인근에 형성된 작은 웅덩이로서 나뭇잎 등의 유기물질이 다수 쌓여있었으며, A3구역은 주변 아파트에서 생활하수가 지속적으로 유입되고 있었다. 퇴적물의 모래와 유기물간의 비율은 대체적으로 반비례적 상관성($R^2=0.755$)을 보였다.

2. 하천수 및 퇴적물의 중금속 함량

하천수의 중금속함량은 A2지역에서 비소(As), 구리(Cu), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn)이 다른 지점에 비해 상당히 높게 측정되었는데, 이는 A2지역에 근접한 아파트 공사현장의 토사유입에 기인한 것으로 사료된다. Ni, Pb,

Zn의 경우 하류지역인 A6-S1, S2~A7지점에서 높은 수치를 보였고, Cu는 전 구간에서 고르게 검출되었다. 한편 하천수질기준이 적용되는 As, Cd, Cr, Pb, Sb은 모두 기준 이하의 값을 나타내었고, Cd, Cr, Sb는 전 구간에서 검출한계 미만의 값으로 측정되었다(Table 2). 기존 연구(이 등, 2000)에 의하면 Pb는 $0.020\sim0.026\text{ mg L}^{-1}$ (평균 0.023 mg L^{-1}), Zn이 $0.094\sim0.246\text{ mg L}^{-1}$ (평균 0.166 mg L^{-1})로 보고되어, 당시에 비해 현재의 중금속함량은 감소한 것으로 보인다.

퇴적물의 중금속 함량의 추이를 살펴보면(Fig. 3), As, Cd, Cr, Ni, Sb의 경우 구간에 따라 약간의 증감은 있지만 대체적으로 하류 방향으로 갈수록 감소하는 추세를 나

타내었다. 이러한 이유는 하류 측정 지점에서 퇴적물 중 모래의 비율이 높아, 흡착 면적의 감소에 의한 중금속 및 유기물 함량이 낮아지는 현상에 의한 것으로 판단된다 (김 등, 2005). 반면 Cu, Pb, Zn은 토성과 관계없이 A1지점보다 높거나 비슷한 수치를 보였다. 이는 도로와 주차장이 많은 중·하류지점의 특성에 기인하는 것으로 판단된다 (한국건설기술 연구원, 2001). 본 연구의 측정결과를 캐나다 연방정부의 퇴적물 권고기준 (ISQG) 및 악영향 기대수준 (PEL)과 비교하였다. 캐나다에서 제시한 퇴적물 권고기준은 저서생물에게 영향을 야기하지 않는 비오염 퇴적물의 지표이며, 악영향 기대수준은 퇴적물은 오염이 심해 저서생물에게 빈번하게 악영향을 미칠 수 있음을 나타낸다. As, Cu를 제외한 6종의 금속은 모두 ISQG 보다 낮은 수치를 나타내었다. 반면 As의 경우 전 구간이 PEL보다 높은 수치를 나타내고 있다. Cu의 경우는 A2 (복합주거단지 공사현장), A3(대교 부근), A5-S1~S4(공공하수처리시설 방류 전·후)지점에서 ISQG를 초과하였다. 또한 전 구간에서 A1지역보다 높은 값을 나타내고 있어, 전체적으로 오염도가 높은 것으로 판단된다.

3. 퇴적물 토성과 중금속 함량간의 상관성

퇴적물의 토성과 중금속 농도간의 상관성은 다음과 같다. As, Cd, Cr, Ni, Sb의 경우 모래의 함량이 줄어들고 유기물 함량이 많아질수록 중금속의 함량이 많아졌다. 이는 이러한 금속들이 토양의 미세한 입자와 유기물에 더욱 많이 흡착된 결과라고 판단된다. Cu, Pb, Zn의 경우는 모래의 함량이 줄어들고 유기물 함량이 많아도 중금속 함량이 많아지는 경향을 보이지 않았는데, 이는 하류지역인 A6-S3, S4, A7지점이 도로 등에서 발생하는 비산먼지 등 인위적인 오염물질이 수계로 유입되어 퇴적물에 축적되는 현상에 의한 것으로 예상된다. 각 중금속에 대해서 가장 높은 농도를 보이는 지점의 값을 100으로 하여 상대 수치로 환산(∑HM)해 평가한 결과, ∑HM은 A1구역에서 A7구역으로 갈수록 대체적으로 값이 낮아지는 경향을 보였다. 또한 A1, A5-S1, S2, A5-S3, S4, A6-S3, S4, A7

의 경우 입도가 굵은 토양이 중금속 함유량은 낮은 일반적인 경향을 나타냈다. A3와 A4구역은 토양입도와 중금속과의 상관관계를 통해서 볼 때 상대적으로 중금속 함량이 높고, A6구역은 낮다고 볼 수 있다.

4. 공극수 수질분석 및 생태독성학적 평가

공극수 채취지역의 시료 분석 결과 두 지점 모두 높은 N, P 수치를 보여주었다. A3-S2(대교 부근)지점의 T-N이 15.0 mg L⁻¹ 이상이었으며, NH₄-N의 수치가 A5-S4지점에 비해 상대적으로 높았다. 이는 시료 채취지점 인근에서 오염물질이 유입되었음을 평가할 수 있다. T-P와 TOC는 하천수에 비해 상층수에서 약간 높은 수치를 보였다. A5-S4지점도 T-N이 15.0 mg L⁻¹ 이상의 높은 수치를 나타내었으며 NH₄-N 수치가 A3-S2지점에 비해 낮아 오염물질 유입이 낮은 것으로 사료된다. PO₄-P와 TOC의 경우 A5-S4지점처럼 상층수가 하층수보다 높게 검출되었다(Table 3).

어류 급성독성시험의 결과는 Table 4와 같다. A3-S2지점은 50% 농도에서 96시간을 노출한 결과, 전체 노출군 중 10%가 치사하여 공극수 독성영향이 낮은 것으로 나타났다. A3구역은 측정된 모든 구간에서 퇴적물 중금속과 유기물 함량이 가장 높은 구간이었으나 어류의 치사를 일으킬 만큼의 독성물질이 존재하지는 않은 것으로

Table 3. Distribution of nitrogen and phosphorus compounds in target sites' upper/bottom water.

	A3-S2		A5-S4	
	Upper water	Bottom water	Upper water	Bottom water
T-N	> 15.0	> 15.0	> 15.0	> 15.0
NH ₄ -N	0.928	0.917	0.152	0.145
NO ₂ -N	0.468	0.491	0.226	0.273
NO ₃ -N	19.5	20.2	-	> 18.0
T-P	4.55	1.77	1.18	1.22
PO ₄ -P	2.4	2.3	4.3	2.4
TOC	14.72	7.655	23.47	18.99

Unit=mg L⁻¹

Table 4. Percent survival of *Oryzias latipes* by sediment pore-water toxicity.

	A3-S2				A5-S4			
	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	24 hr	48 hr	72 hr	96 hr
Control (Dechlorinated water)	100	100	100	100	100	100	100	100
10% pore-water	-	-	-	-	100	10	30	30
20% pore-water	-	-	-	-	100	20	40	50
30% pore-water	100	100	90	90	90	90	20	10
50% pore-water	100	100	100	90	-	-	-	-

판단된다. 그러나 30%, 50% 노출군에서 시험종의 배설물의 양이 증가하였는데, 이는 공극수 내의 오염물질이 어류에 생리적인 영향을 야기한 것으로 예측된다. A5-S4지점은 A3-S2지점보다 높은 치사율이 관찰되었다(10%, 20% 공극수에서 각각 30%, 50%가 치사). 그러나 설정된 농도범위가 낮아서 반수치사농도(LC₅₀)는 산정되지 않았다. 대상 지점은 식생에 의해 사람들의 접근이 차단되어 있어 인위적인 교란은 비교적 낮은 수준으로, 인근 공공하수처리장 및 상류에서 유입된 다량의 부유물질이 이곳에 두껍게 침전되고 있었다. 공극수 추출 당시 이러한 침전 층이 상당량 공극수에 포함되었기 때문에 부유물에 흡착한 유해물질이 공극수에 다량 포함됐을 것으로 예상된다. 따라서 중금속으로 인한 독성은 낮은 것으로 판단되나 다른 유해물질에 의한 독성영향이 발현된 것으로 예측된다. 또한 A5-S4지점은 혐기화된 지역이 관찰되었는데, 이는 영양염류의 용출이 심할 뿐만 아니라 어류나 조류에게 피해를 주는 병원균이 번식할 수 있다. 따라서 상류로부터 흘러드는 과도한 부유물질의 유입을 막는 것이 요구된다.

적 요

본 연구의 대상지역인 탄천은 한강에서 합류되는 대표적인 도심지역 하천으로 주변 지역의 점오염원 및 비점오염원을 통해 오염물질이 지속적으로 유입되고 있다. 본 연구는 전 구간에 걸쳐 하천수와 퇴적물의 오염도 평가를 수행하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 두 지점을 선정해 미생물 두 종과 개량송사리에 대한 퇴적물 공극수(sediment pore-water) 생태독성시험을 수행하였다. 하천의 수질측정 결과 상류에서 하류로 갈수록 오염이 심해지는 경향을 보였으며, 공공하수처리시설 방류수 유출지점에서 그 상승폭이 증가하여, 하천수에 대한 주요 오염원으로 판단할 수 있다. 그러나 하천수 내의 중금속은 그 오염도가 낮은 수준으로 하천수질기준을 초과하지 않았으며 생태계에 영향을 야기할만한 수준은 아닌 것으로 판단하였다. 퇴적물 중금속은 대부분이 국외의 퇴적물 권고수준(ISQG) 미만이었으나 일부 구역에서 비소와 구리의 농도가 높게 관찰되었다. 또한, 구리의 경우 전 구간에 걸쳐 높은 농도를 보이고 있다. 구리는 생태독성이 높은 중금속이므로 이에 대한 우선적인 관리가 요구된다. 한편 퇴적물 중금속 농도는 하류로 갈수록 낮아지는 경향을 보였는데 이는 하류 지점 토성에 모래 함량에 의한 것으로 사료된다. 또한 유기물도 모래 함량과 반비례 관계로 대

교 부근과 공공하수처리장 방류수 유입 이전 지점에서 높은 수치를 나타내어, 퇴적물의 토성에 의해 오염도가 변화되는 양상을 나타내었다. 생태독성시험 퇴적물 채취 지점에 대한 질소와 인의 측정 결과 모두 높은 수치를 나타내었으며 NH₄-N을 많이 함유하고 있어 오염물이 대상 지역 인근에서 유입됨을 판단할 수 있었다. 공극수 독성시험 결과 대교 부근 지점에서는 독성 영향이 낮았으나, 공공하수처리시설 방류수 유입지점에서 치사율이 관찰되었다. 따라서, 실험대상 퇴적물은 생태위해우려가 있는 수준은 아닌 것으로 평가되었다. 그러나 퇴적물에서 용출되는 독성물질들은 주로 퇴적물과 하천수의 경계에서 살아가는 초기 성장단계의 유생생물들에게 영향을 미칠 가능성이 있으므로 수생태계 보존을 위한 관리대책이 요구된다.

인 용 문 헌

- 국립환경연구원. 1990. 수질환경기준 달성 최적화 방안에 관한 연구.
- 김경용, 이현구. 1996. 대전지역 하천수 및 하상퇴적물에서의 중금속오염. 한국자원공학학회지 33: 266-273.
- 김미성. 2004. 탄천의 하천수 및 하상퇴적물의 오염현황과 특성연구. 한양대학교 박사청구논문.
- 김석규, 이미경, 안재환, 강성원, 전상호. 2005. 퇴적물 내 입도와 유기물 함량이 영양염류 및 중금속 농도에 미치는 영향. 대한환경공학회지 27(9): 923-931.
- 김승필. 2005. BASINS/HSPF를 이용한 탄천유역의 수질 수문 모델링. 한양대학교 석사청구논문.
- 김연태, 김유리, 우남철, 현승규. 2006. 강우에 의한 중랑천의 수질 특성 변화 연구. 한국물환경학회지 22(4): 666-671.
- 백용욱, 안윤주. 2008. 도심인공호 퇴적물의 총중금속, 용존중금속, 생물이용성 중금속의 연관성 규명. 한국하천호수학회지 41(1): 66-72.
- 이상규, 김지원, 김우근, 오경택, 윤홍길. 2005. 산업폐수 방류수의 생태독성 평가. 대한상하수도학회, 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집. 828-838.
- 이성은, 김규한, 이진수, 전효택. 2002. 탄천의 하상퇴적물과 하천수내 주요 용존 이온과 중금속의 수리지구화학적 특성과 오염. 자원환경지질 35(1): 25-41.
- 이찬원, 권영택, 윤종섭, 문성원. 2002. 국내종 물벼룩 *Simocephalus mixtus*에 의한 습지퇴적물 독성도 측정. 한국환경과학회지 11(9): 851-855.
- 전상호. 1990. 한강퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태와 이동성에 관한 연구. 한국하천호수학회지 23: 32-42.
- 정홍배, 문성환, 정진애, 김재현, 박정규, 배철한, 황인영. 2001. 국내 하천 퇴적물 건강성평가를 위한 Microtox 독성시험

- 조건확립 연구. 환경독성학회지 **16**(4): 143-151.
- 조규성. 2003. 전주시 도로변 퇴적물의 중금속 오염 특성. 한국 지구과학회지 **24**(8): 711-720.
- 한국건설기술 연구원. 2001. 고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사.
- 한국환경정책평가연구원. 1998. 호소 및 하천 오염퇴적물 관리 방안.
- 한국환경정책평가연구원. 2000. 수서퇴적물 환경기준 개발에 관한 연구.
- 환경부, 국립환경과학원. 2006. 물환경종합평가방법 개발 조사 연구(III) - 퇴적물 조사 및 평가체계 연구.
- 환경부. 2008. 수질오염 공정시험기준.
- An, Y.-J. and D.H. Kampbell. 2003. Total, dissolved, and bioavailable metals in Lake Texoma Marinas. *Environmental Pollution* **122**: 253-259.
- Anderson, B.S., J.W. Hunt, B.M. Philips, R. Fairey, H.M. Puckett, M. Stephenson, K. Taberski, J. Newman and R.S. Tjeerdema. 2001. Influence of sample manipulation on contaminant flux and toxicity at the sediment-water interface. *Marine Environmental Research* **51**(3): 191-211.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. Port City Press, Maryland.
- Chapman, P.M., F. Wang, J.D. Germano and G. Batley. 2002. Pore water testing and analysis: the good, the bed, and the ugly. *Marine Pollution Bulletin* **44**: 359-366.
- OECD. 1992. Guideline for testing of chemicals No. 203: Fish, Acute toxicity test.
- Roach, A.C. 2005. Assessment of metal in sediments from Lake Macquarie, New South Wales, Australia, using normalization models and sediment quality guidelines. *Marine Environmental Research* **59**:453-472.
- USEPA. 1976. Quality criteria for water. PB-263 943. National technical information service, Washington, DC.
- USEPA. 1994. Method 200.7: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.

(Manuscript received 5 November 2009,
Revision accepted 13 January 2010)