

부산시 회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 오염 평가

염승준^{1*} · 이평구¹ · 연규훈¹ · 강민주¹

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

Heavy Metal Contamination in Roadside Sediments within the Watershed of the Hoidong Reservoir in Busan City

Seung-Jun Youm^{1*}, Pyeong-Koo Lee¹, Kyu-Hun Yeon¹ and Min-Ju Kang¹

¹Department of Geological and Environmental Hazards, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Extractable concentrations (0.1 N & 1.0 N HCl) of heavy metals in roadside sediments are lower than guidelines for soil recommended by Ministry of Environment. Heavy traffic areas (such as No. 7 national road) show high contents of heavy metals, especially, at curved areas, gully pot, crackdown areas on overspeed, pedestrian crossing etc. Fine fractions (<63 μm) of roadside sediments have the highest concentrations of heavy metals, but mass loadings of heavy metal are determined by coarse fractions (>100 μm), due to washing out of fine fraction sediment by runoff water. Proper treatment facilities are needed to control the inflow of fine roadside sediments from No. 7 national road and bridge such as Hanmul bridge.

Key words : Hoidong Reservoir, roadside sediments, heavy metal contamination, size analysis, Busan

회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 함량은 토양오염 우려기준보다 낮게 나타났다. 중금속함량이 높은 지역은 대부분 교통량이 많은 7번 국도이며, 특히, 커브지점, 우수관, 과속단속 지점, 횡단보도 등에서 높은 함량을 보인다. 도로변 퇴적물 내 입도별 중금속 함량은 세립 입도(63 μm 이하)일수록 높은 값을 보여주고 있으나, 총 함량은 조립 입도의 퇴적물(100 μm 이상)에 의해 결정된다. 이는 우기 시에 유출수에 의해 세립 퇴적물이 주변 수계로 이동된 결과로 해석되며 수영강 및 회동저수지의 수질에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 교통량이 많은 7번 국도와 퇴적물이 쉽게 주변 수계로 유입될 수 있는 한물교와 같은 교량에서 퇴적물의 이동을 조절할 수 있는 적절한 처리시설이 요구된다.

주요어 : 회동저수지, 도로변 퇴적물, 중금속오염, 입도분석, 부산

1. 서 론

대도시 도로변 퇴적물 내 중금속 원소의 주요 오염원은 인근 산업단지와 자동차로부터 배출되는 물질 등이 있으며, 최근에는 중국으로부터 이동되는 미세분진에 의해서도 기인된다. 이외에도 도로의 차선 및 구조물의 도료(paint), 산업폐기물 및 광산폐기물을 이용한 도로포장, 도로 주변 제초제 사용 및 자동차 사고 등에 의해 기인된다(Harrison *et al.*, 1981; Hewitt and Rashed, 1990; Lee *at al.*, 1997; Lee and Touray,

1998). 연구지역인 부산시 회동저수지 집수분지 내 도로에서는 오염된 퇴적물 내 중금속이 빗물과의 물리화학적 작용에 의해 용출되어 우수관을 통해 수영강 및 회동저수지로 직접 유입됨으로서 하천 및 저수지 수질에 악영향을 미칠 수 있으며, 하천 및 저수지 바닥에 퇴적되어 생태계를 교란시킬 수 있다. 한편 퇴적된 퇴적물은 다시 수증기로 재 용출될 수 있어 잠재적인 식용수의 오염원으로 작용할 수 있다.

대도시 도로에서 가장 중요하고 직접적인 중금속 오염원은 자동차로부터 발생하는 오염물질이다. 자동차에

*Corresponding author: sjyoum@kigam.re.kr

의해 발생하는 중금속 원소는 납, 아연, 카드뮴, 구리, 크롬, 코발트, 니켈 및 비소 등이다. 납의 주요염원은 휘발유에 참가되는 tetramethyl-lead 또는 tetraethyl-lead와 같은 산화제이다(Harrison *et al.*, 1981; Ellis and Revitt, 1982; Harrison and Wilson, 1985; Lee *et al.*, 1997). 하지만 우리나라에서는 1980년대 후반부터 유연휘발유의 사용을 금지하여 왔기 때문에 도로변의 납의 오염은 자동차가 아닌 다른 오염원(산업단지 및 도료의 사용)에 기인되는 것으로 사료된다. 아연(화합물)은 자동차 윤활유의 산화방지제(antioxidants) 및 용제(detergent)/분산제(dispersant) 등으로 사용된다(Drew, 1975). 한편, 조립질 도로변 퇴적물의 경우에 타이어의 마모에 의해 아연의 함량이 증가하게 된다(Stigliani and Anderberg, 1991; Friedlander, 1973). 아연은 자동차 타이어의 경화작용에 사용되는 산화아연(ZnO)으로 약 1.3%가 타이어에 포함되어 있다. 한편 카드뮴은 타이어에 사용되는 산화아연의 불순물로 포함되어 있다. 따라서 자동차의 주행, 급정거 및 급출발 시에 도로와의 마찰에 의해 마모된 미세한 자동차 입자에 포함된 아연과 카드뮴이 도로변에 퇴적된다(Pierson and Brachaczek, 1983; Lee *et al.*, 1997; Lee and Touray, 1998). 구리의 오염은 자동차 브레이크의 마모로부터 기인되며, 이외에 크롬, 코발트, 니켈 등도 포함되어 있다(Harrison *et al.*, 1981; Ellis and Revitt, 1982; Harrison and Wilson, 1985). 자동차 윤활유가 고온에서 공기와 접촉에 의해 산화작용을 일으키게 되면, 유기산 등을 비롯한 여러 화합물을 생성하게 되며, 이들 물질들이 차량의 오일필름 등 금속 부품을 부식시켜 아연, 구리, 카드뮴, 니켈, 몰리브덴 등을 도로변 퇴적물로 방출 및 집적시키게 된다(Drew, 1975).

대도시 구조물의 산화에 의한 도로변 퇴적물 내 미량원소의 함량은 도시지역의 산성비와 관련이 있으며, 특히 해안에 인접한 도시에서는 바다로부터의 aerosol에 의해 더욱 큰 영향을 받을 수 있다. 납은 paint flake에 의해, 아연과 카드뮴은 아연 도금한 구조물의 부식에 기인하여 도로변 퇴적물에 집적될 수 있다. 또한 도시 지역에서 내리는 산성비에 기인하여 도로변 우수관과 하천 등의 수계환경은 산성화되어 퇴적물에 흡착되어 있거나 탄산염광물 혹은 산화광물의 형태로 존재하는 오염물질을 탈착 혹은 용해시켜 2차적으로 수계를 오염시키는 것으로 알려져 있다(Davis and Leckie, 1978; Carignan and Tessier, 1988; Lee and Touray, 1998). 한편 겨울철 도로의 제설제로 이용하는 염화칼슘(CaCl₂)은 부식성이 강해 콘크리트 속의 철근

과 차체를 손상시키며, 도로변 가로수와 녹지, 문화재에 피해를 주고 있다. 겨울에 제설제 사용에 의해 녹은 물에는 염화칼슘의 함량이 매우 높아지게 되며, 이와 같은 물이 도로변 및 우수관 퇴적물과 반응하여 중금속을 용출시켜 수계로 유입시키게 될 것이다.

국외에서는 지표수 및 지하수 오염방지를 위해 대도시/산업공단 지역 도로변 및 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염현황, 오염원 규명, 무기 환경시스템에서의 중금속의 거동특성 등 비점오염원오염 연구가 1970년대부터 현재까지 활발하게 수행되고 있다. 대도시 도로변과 고속도로 등 비점오염원 오염을 조절하기 위해서 복원기술보다는 관리기술개발에 집중하고 있으며, 특히 유럽에서는 도로변 오염 확산을 관리하기 위하여 "Retention Pond"를 설치하여 효과적으로 환경을 보전하고 있다. 국내에서는 1990년대부터 서울시 주요 도로변 퇴적물의 중금속 오염현황, 오염원 규명, 무기 환경시스템에서의 중금속의 거동특성 등 비점오염원오염 연구가 수행되고 있으며, 대전시 및 서울 위성도시(의정부시와 고양시) 등의 도로변 중금속 오염 현황 및 존재형태 규명 연구가 수행되고 있다.

국외의 경우, 도로변 퇴적물의 중금속 오염평가 및 거동특성에 관한 연구보다는 기원규명기술, 중금속의 speciation 및 생태계에 미치는 영향평가연구 등이 활발하며, 대도시 도로변 등 비점오염원오염을 조절할 수 있는 관리기술 개발 및 적용과 개선을 위한 연구를 수행 중이다. 국내의 도로변 퇴적물의 중금속 오염평가, 거동특성 및 기원규명기술 등은 국제적인 수준에 도달하였으나, 대도시 도로변 등 비점오염원오염을 조절할 수 있는 복원 및 관리기술 개발은 저조하며 국내에 적용사례가 없다.

본 연구의 목적은 부산시 회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 함량 및 입도분석을 통하여 도로변 퇴적물에 오염된 중금속 오염현황을 조사하여 중금속이 수영강 및 회동저수지로 유입되는 오염지역과 오염원을 구분하고 중금속의 이동형태 및 경로를 규명하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취 및 전처리

부산 지역 회동저수지 집수분지 내 주요 도로망으로는 경부고속도로, 7번 국도 및 지방도로 등이 있다. 경부고속도로는 회동저수지 및 회동저수지로 유입되는 수영강과는 멀리 떨어져있다. 집수분지 내 주요 도로인 7

번 국도는 수영강을 따라 위치하고 있으며, 7번 국도와 집수분지 내 마을을 연결하는 다수의 교량이 수영강에 건설되어 있다. 한편 수영강으로 유입되는 소규모의 지류를 따라 혹은 지류를 관통하는 지방도로가 있으며, 회동저수지에 인접한 도로는 비포장 도로이다. 부산-울산 간 7번 국도는 차량통행이 매우 많으며, 유출수를 방출시키는 배수구가 설치되어 있다. 지방도로 중 고리 방향의 지방 도로 역시 비교적 차량 통행이 많은 편이다. 그의 회동저수지 집수분지 내 마을 간 도로 및 교량에는 차량 통행이 적다. 하지만, 최근 건설된 금정체육단지로 연결되는 교량인 한물교는 차량 통행이 비교적 많다.

회동저수지 집수분지 내의 차량 통행량을 고려하여, 2004년 5월과 7월에 통행량이 비교적 많은 7번 국도를 중심으로 총 34개의 도로변 퇴적물 시료와 도로와 인접한 토양 시료 2개를 채취하였다(Fig. 1). 도로변 퇴적물은 주로 도로변에 설치된 연석(curbe)과 인접한 도로 표면에서 채취하였으며(33개), 우수관에서 채취한 퇴적물 시료 1개가 포함된다. 시료채취 방법은 스테인레스 모종삽을 이용하여 한 지점에서 최소 5군데 이상의 퇴적물을 모아 한 개의 복합시료를 채취하였다. 7번 국도에서는 차량의 속도가 빠른 곳(직선 도로)과 느

린 곳(커브 지점 및 신호등 설치 지역) 및 차량통행이 비교적 적은 지역(인근 마을로 진입하는 우회 도로)을 고려하여 20 지점과 도로에 인접한 토양 시료 2개를 채취하였다. 7번 국도에서의 시료에는 1개의 우수관 퇴적물과 1개의 강변도로 도로퇴적물이 포함된다. 한편 고리 방향의 지방도로에서 6개, 회동저수지 인접도로에서 2개의 도로변 퇴적물 시료를 채취하였다. 교량에서는 차량의 통행이 많은 한물교를 포함하여 6개의 시료를 채취하였다. 중금속 함량은 2 mm 체(sieve)로 체질하여 통과한 시료를 선택하여 분석하였다. 입도분석을 위하여 7번 국도의 평균치에 가까운 시료 3개 지점(1, 10 및 12번)과 교량(25번, 신천교) 및 회동저수지 인접 시료 1개(28번) 등 총 5개의 도로변 퇴적물 시료를 선정하였다. 입도분석은 2 mm-200 μm, 200-100 μm, 100-63 μm, 63-20 μm 및 20 μm이하의 5단계로 구분하였다. 체(sieve)의 재질은 중금속 오염을 방지하기 위하여 스테인레스 재질이였으며, 체질(dry sieving) 후 실온에서 건조시킨 후 화학분석을 하였다.

2.2. 화학분석

2.2.1. 총함량 분석을 위한 화학분석

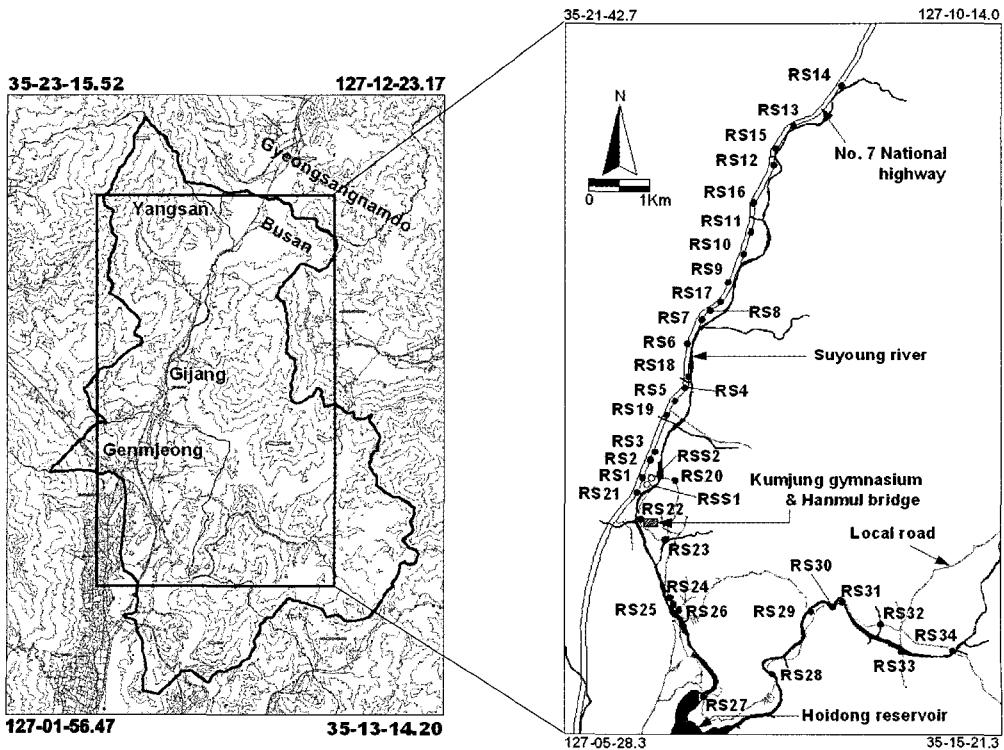


Fig. 1. Sampling locations of roadside sediments within watershed of Hoidong Reservoir, Busan.

총함량 분석 방법은 퇴적물에 함유되어 있는 총 중금속 함량을 측정하기 위해 실시되었다. 총함량 분석을 위해 실시하는 전처리 방법은 불산(HF)을 사용하여 완전 분해하는 경우도 많지만, 이 경우에는 환경오염에 의한 중금속 함량뿐만 아니라 광물이 형성될 때 함유하고 있는 중금속의 함량까지 분해되기 때문에 광물 형성 이후 오염된 중금속의 함량보다 큰 것으로 알려져 있다. 이번 연구에서 완전분해 방법으로 사용된 산 분해 방법은 다음과 같다. 시료 1g에 질산(HNO₃) 5ml를 넣은 뒤 온도 110°C에서 완전히 증발시킨 후, 과염소산(HClO₄)과 질산(1:5 비율)의 혼합산을 10ml

를 넣고 흰색의 연기가 완전히 없어질 때까지 증발시킨다. 이후, 6 N HCl을 10 ml를 넣고 30분간 끓이며, 실온까지 냉각시킨 후, 0.45 μm로 여과하여 ICP로 분석하였다. HF를 사용하지 않은 이와 같은 전처리 방법은 석영/장석과 같은 규산염광물과 점토광물은 용해되지 않으나 탄산염광물, 비정질 철·망간 산화광물 및 유기물 등은 분해된다. 중금속 함량의 분석은 AAS (Atomic Absorption Spectrometry)를 이용하였다. 전 분석과정에 이용된 탈이온수를 얻기 위해 Milli-Q Millipore system을 사용하였다.

Table 1. Total concentrations of heavy metals in roadside sediment within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan (μg/g).

No.	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Sample locations
RS 1	4.0	2.5	79	158	32	188	715	
RS 2	2.5	1.5	47	108	26	148	408	
RS 3	2.0	1.5	32	75	18	106	345	
RS 4	11.0	1.0	26	66	18	67	273	
RS 5	15.5	3.5	51	472	35	129	1,065	
RS 6	8.0	2.5	92	184	46	213	1,550	
RS 7	8.5	3.0	65	240	32	202	1,230	
RS 8	10.0	2.5	58	172	32	180	1,125	
RS 9	10.0	2.5	76	260	38	176	865	
RS 10	12.0	2.0	60	246	32	163	910	
RS 11	7.0	2.0	65	173	33	172	1,005	
RS 12	4.0	2.0	45	122	24	121	705	*No. 7 National road : RS 1-3,
RS 13	6.0	2.0	53	138	29	139	635	5, 6-19, 21, 24
RS 14	8.0	2.5	77	173	34	550	860	
RS 15	8.0	2.5	54	192	29	126	810	
RS 16	6.5	2.5	57	191	37	156	685	*Bridge : RS 4,
RS 17	10.5	2.5	65	188	49	158	950	20, 22-23, 25-26
RS 18	9.0	3.0	62	223	41	173	1,020	
RS 19	5.0	2.0	60	195	27	142	535	*Local road : RS 29-34
RS 20	5.0	2.0	51	103	30	133	485	
RS 21	19.5	2.5	42	113	21	119	459	*Reservoir adjoining road : RS 27-28
RS 22	5.5	3.0	59	162	26	213	945	
RS 23	9.5	2.5	33	304	26	91	379	
RS 24	6.5	2.5	65	155	29	206	800	*Roadside soil : RSS 1-2
RS 25	5.0	2.0	69	111	32	94	350	
RS 26	5.0	1.5	43	44	24	75	278	
RS 27	4.0	1.5	10	62	10	34	87	
RS 28	4.5	1.5	20	28	16	37	106	
RS 29	5.0	1.5	41	120	24	82	309	
RS 30	5.5	2.0	43	107	24	115	555	
RS 31	5.5	2.0	50	106	26	99	490	
RS 32	10.5	2.0	50	94	25	129	386	
RS 33	9.5	2.0	82	126	41	137	433	
RS 34	17.5	2.5	41	99	23	120	426	
RSS 1	12.0	2.5	27	30	24	60	137	
RSS 2	18.0	2.5	26	34	24	54	136	

2.2.2. 산가용 침출법에 의한 화학분석(0.1N & 1N HCl)

시료 10 g을 100 ml의 삼각플라스크에 넣고 0.1N 염산용액 50 ml를 넣은 후, 항온 수평진탕기(100 회/분, 진폭 10cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 동안 진탕시킨 다음, 여과지 B로 거른 뒤 분석하였다. 다만, 비소(As)함량을 측정하기 위해서 전처리 시에 염산의 농도(1 N)와 진탕시간(30분)을 달리 하였다.

3. 결과 및 토의

부산지역의 평균 기온은 14.4°C이다. 최고 기온은 8월의 25.7°C이며 최저 기온은 1월에 3.0°C로서 영하로 내려가지 않는다. 강수량은 1491.5 mm/년이며, 7월에 258.8 mm로 최고의 강수량을 보이며 최저 강수량은 12월에 24.3 mm이다.

3.1. 도로변 퇴적물의 총합량 분석

3.1.1. 중금속 총합량

도로변으로부터 채취한 34개 퇴적물과 2개의 도로 주변 토양 시료의 중금속 및 미량원소 함량을 분석한 결과를 Table 1에 정리하였다. 아연(Zn) 함량은 최소 87 µg/g부터 최대 1,550 µg/g까지 상대적으로 함량의

변화가 큰 것으로 밝혀졌다. 아연의 평균함량은 652 µg/g이었다. 납(Pb) 함량은 34-550 µg/g으로서 시료 채취지점에 따라 변화가 크며, 평균 147 µg/g인 것으로 나타났다. 구리(Cu) 함량도 28-472 µg/g로 분석되어 시료 채취지점에 따라 변화가 큰 것으로 나타났으며, 평균값은 156 µg/g이었다. 니켈(Ni) 함량은 10-49 µg/g, 평균값 29 µg/g이며, 크롬(Cr) 함량은 10-92 µg/g로 나타났으며, 평균값은 54 µg/g로 분석되었다. 비소(As) 함량은 최소 2.0 µg/g부터 최대 19.5 µg/g이며, 평균값은 7.8 µg/g이었다. 카드뮴(Cd) 함량은 1.0-3.5 µg/g(평균 2.2 µg/g)인 것으로 분석되었다.

3.1.2. 중금속 함량의 지역별 분포 특성

도로변 퇴적물에 함유된 중금속 및 미량원소 함량의 지역별 분포 특성을 파악하기 위하여, 차량의 통행량과 수계(수영강-회동저수지)로의 유입 가능성을 고려하여 회동저수지의 침수분지 내 도로를 다음과 같이 구분하였다: ① 7번 국도, ② 교량, ③ 지방 도로, ④ 회동저수지 인접 도로. 각 지역별 중금속 함량의 평균값, 최고값 및 최저값을 Table 2과 Fig. 2에 나타내었다.

① 아연 (Zn)

도로변 퇴적물에 대한 아연의 총합량은 도로의 차량 통행량에 따라 큰 폭의 변화를 보여준다(Fig. 2). 7번 국도의 도로변 퇴적물(강변 도로 및 우수관 시료 포함)

Table 2. Regional total concentrations of heavy metals in roadside sediment within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan (µg/g).

Metal	Statistics	Whole road	No. 7 National road	Bridge	Local road	Reservoir adjoining road	Roadside soil
As	Mean	7.8	8.3	6.8	8.9	4.3	15.0
	Max	19.5	19.5	11.0	17.5	4.5	18.0
	Min	2.0	2.0	5.0	5.0	4.0	12.0
Cd	Mean	2.2	2.4	2.0	2.0	1.5	2.5
	Max	3.5	3.5	3.0	2.5	1.5	2.5
	Min	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5	2.5
Cr	Mean	54	59	47	51	15	26
	Max	92	92	69	82	20	27
	Min	10	32	26	41	10	26
Cu	Mean	156	190	132	109	45	32
	Max	472	472	304	126	62	34
	Min	28	75	44	94	28	30
Ni	Mean	29	32	26	27	13	24
	Max	49	49	32	41	16	24
	Min	10	18	18	23	10	24
Pb	Mean	147	178	112	113	35	57
	Max	550	550	213	137	37	60
	Min	34	106	67	82	34	54
Zn	Mean	652	840	451	433	96	137
	Max	1550	1550	945	555	106	137
	Min	87	345	273	309	87	136

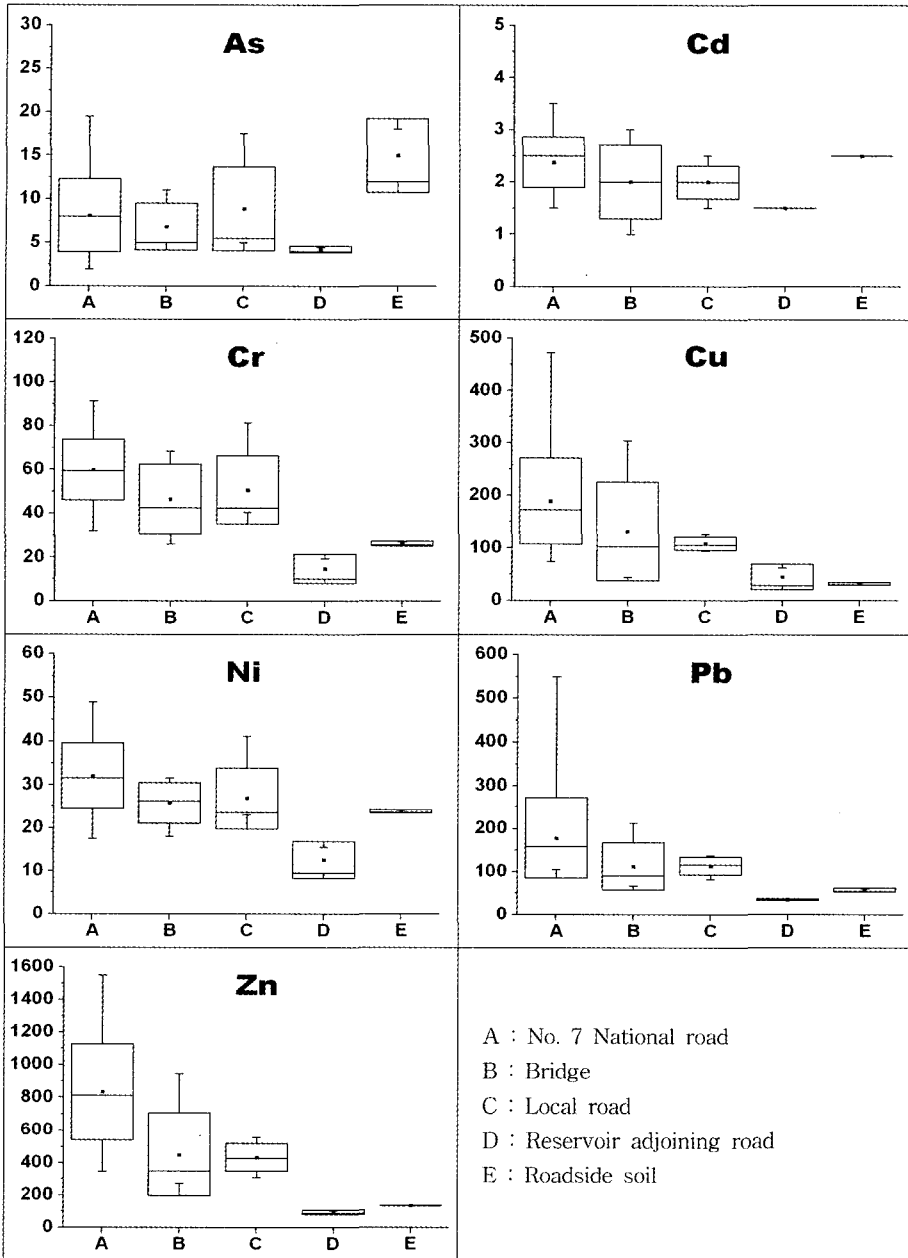


Fig. 2. Compositions of total concentration of heavy metals in roadside sediments between different group areas within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan ($\mu\text{g/g}$).

은 1,550-345 $\mu\text{g/g}$ (평균 840 $\mu\text{g/g}$), 고리 방향의 지방도로는 555-309 $\mu\text{g/g}$ (평균 433 $\mu\text{g/g}$), 교량의 퇴적물은 945-273 $\mu\text{g/g}$ (평균 451 $\mu\text{g/g}$), 회동저수지 인접도로는 106-87 $\mu\text{g/g}$ (평균 96 $\mu\text{g/g}$)의 함량 범위를 보이는데, 예상한바와 같이 차량 통행량이 많아짐에 따라 아연의 농도가 증가하는 경향을 뚜렷이 보여주고 있다. 한편

7번 국도와 인접한 토양 시료의 아연의 함량은 137-136 $\mu\text{g/g}$ 의 범위이며, 이 값은 도로변 퇴적물과 비교했을 때 매우 낮은 함량이다. 하지만 회동저수지 인접도로(평균 96 $\mu\text{g/g}$) 보다 약 40 $\mu\text{g/g}$ 정도 높은 함량을 보여주어 차량 통행이 많은 도로에서 주변 토양의 아연의 오염 확산이 있음을 지시하고 있다.

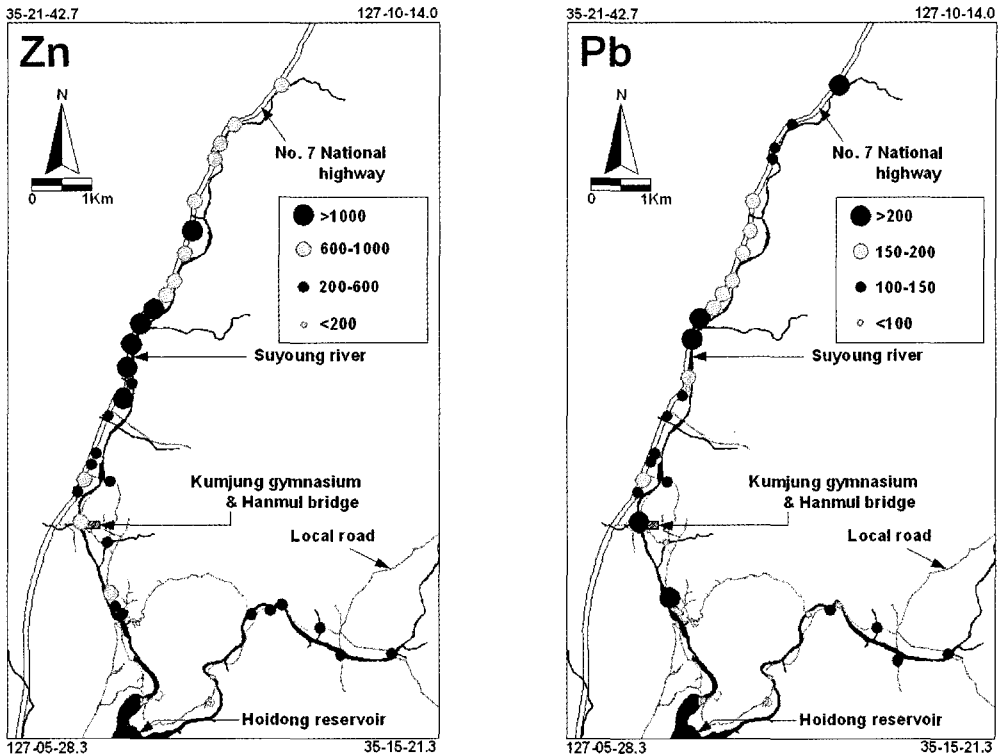


Fig. 3. Distributions of total concentrations of Zn and Pb in roadside sediments within watershed of Hoidong Reservoir, Busan ($\mu\text{g/g}$).

한편 7번 국도의 도로변 퇴적물에서도 차량이 많은 지역과 적은 지역의 차이가 확실히 나타난다. 즉, 2와 3번 지역은 7번 도로에서 마을로 진입하는 우회로로서 차량 통행량이 적은 편이어서, 7번 국도의 다른 도로변 퇴적물보다 훨씬 낮은 아연 함량($408\text{-}345 \mu\text{g/g}$)을 보인다(Fig. 3).

24번 지점인 강변도로는 금정체육단지와 가까운 지점으로, 아연 함량($800 \mu\text{g/g}$)이 비교적 높게 나타난다. 이는 금정체육단지를 이용하는 차량의 주차공간으로 활용되기 때문으로 생각된다. 7번 국도 도로변 퇴적물 중에서 높은 값을 나타내는 지역은 6, 7, 8, 11, 18 번 및 5번 지점이다. 이들 지점은 인기 마을 입구의 횡단 보도 지역(급정거, 8번), 굴곡 지역(6, 7번), 공사 지역(11번), 직선형 도로 지역(과속, 18번)에 해당되어, 차량의 통행량, 급정거 및 과속에 의한 영향으로 아연의 함량이 높은 것으로 사료된다. 한편 5번 지점은 7번 국도 하부에 위치하는 우수관으로, 퇴적물의 아연 함량($1,065 \mu\text{g/g}$)이 비교적 높은 값을 보여주고 있다. 이는 도로변 퇴적물 내 아연을 포함한 중금속이 우기 시 유출수에 의해 주로 교량 인접지역에서 주변 토양 및

하천으로 유입될 가능성이 있음을 지시하고 있다. 차량의 통행량이 적은 교량의 도로변 퇴적물 내 아연은 상대적으로 낮은 함량($273\text{-}485 \mu\text{g/g}$)을 보여준다. 그러나 금정체육관으로 연결되는 한물교의 도로변 퇴적물 내 아연 함량($945 \mu\text{g/g}$)은 높게 나타나고 있어, 도로변 퇴적물 내 아연의 함량이 차량의 통행량과 관계가 있음을 지시하고 있다. 회동저수지 인접도로는 제일 낮은 아연의 함량을 보여주고 있는데, 이는 회동저수지 입구에서 차량의 통행을 제한한 결과로 여겨진다. 고리 방향 지방도로의 도로변 퇴적물 내 아연 함량은 7번 국도보다는 낮으나, 다른 집수분지 지방도로 및 교량에서 보다는 높은 값을 보여주고 있으며, 앞으로도 통행량이 증가할 것으로 예상되어, 향후 도로변 퇴적물 내의 아연의 함량이 증가할 것으로 예상된다.

② 납(Pb)

도로변 퇴적물에 대한 납의 총함량은 7번 국도에서 $550\text{-}106 \mu\text{g/g}$ (평균 $178 \mu\text{g/g}$), 고리 방향의 지방도로는 $137\text{-}82 \mu\text{g/g}$ (평균 $113 \mu\text{g/g}$), 교량의 퇴적물은 $213\text{-}67 \mu\text{g/g}$ (평균 $112 \mu\text{g/g}$), 회동저수지 인접도로는 $37\text{-}34 \mu\text{g/g}$ (평균 $35 \mu\text{g/g}$)의 함량 범위를 보인다. 이는 아연의

경우와 마찬가지로 차량 통행량이 많아짐에 따라 납의 농도가 증가하는 경향을 보여주고 있다.

한편 납의 함량이 높게 나타나는 지역은 7번 도로에서 6번, 7번 및 14번 지점이다(Fig. 3). 특히 14번 지점은 제일 높은 납의 함량(550 µg/g)을 보여주고 있는데, 이는 과속단속을 하기 위하여 도로에 칠한 도료(paint)의 영향으로 생각된다. 한편 금정체육관과 연결되는 22번(한물교)와 금정체육관과 가까운 강변도로인 24번 지점에서도 높은 함량을 보여주고 있는데 이는 금정체육관 지역의 통행량과 관련이 있는 것으로 사료된다.

③ 구리(Cu)

도로변 퇴적물에 대한 구리의 총함량은 7번 국도에서 472-75 µg/g(평균 190 µg/g), 고리 방향의 지방도로는 126-94 µg/g(평균 108 µg/g), 교량의 퇴적물은 304-44 µg/g(평균 132 µg/g), 회동저수지 인접도로는 62-28 µg/g(평균 45 µg/g)의 함량 범위를 보인다. 이연과 납의 경우에서와 같이 큰 함량의 차이를 보이지는 않으나, 대체적으로 차량 통행량이 많아짐에 따라 구리의 농도가 증가하는 경향을 보여주고 있다. 차량 통행이 가장 적을 것으로 예상되는 회동저수지 인접도로는 다른 도로에 비해 훨씬 낮은 함량의 범위를 보여 구리 역시 차량 통행량과 관계있는 것으로 추정된다.

한편 구리의 함량이 제일 높게 나타나는 지역은 5번의 도로변 우수관의 퇴적물로서 이는 아연의 경우와 같이 도로변 퇴적물이 강수와 함께 이동되어 집적된 것으로 사료된다. 한편 23번 지점에서도 매우 높은 구리의 함량이 나타나는데, 이 지점은 차량의 통행이 적은 교량(임석교)으로서 특별한 오염원을 구분하기가 힘들다. 보다 자세한 연구가 수행되어야 할 것으로 여겨진다.

④ 니켈(Ni)

도로변 퇴적물에 대한 니켈의 총함량은 7번 국도에서 49-18 µg/g(평균 32 µg/g), 고리 방향의 지방도로는 41-23 µg/g(평균 27 µg/g), 교량의 퇴적물은 32-18 µg/g(평균 26 µg/g), 회동저수지 인접도로는 16-10 µg/g(평균 13 µg/g)의 함량 범위를 보인다. 니켈의 함량은 구리와 비슷한 특성을 보여주고 있어, 같은 오염원에서 유래한 것으로 생각된다. 즉 구리의 경우와 마찬가지로 차량 통행이 가장 적을 것으로 예상되는 회동저수지 인접도로는 다른 도로에 비해 훨씬 낮은 함량의 범위를 보여 니켈 역시 차량 통행량과 관계있는 것으로 추정된다.

⑤ 크롬(Cr)

도로변 퇴적물에 대한 크롬의 총함량은 7번 국도에서

92-32 µg/g(평균 59 µg/g), 고리 방향의 지방도로는 82-41 µg/g(평균 51 µg/g), 교량의 퇴적물은 69-26 µg/g(평균 47 µg/g), 회동저수지 인접도로는 20-10 µg/g(평균 15 µg/g)의 함량 범위를 보인다. 크롬의 함량도 구리와 비슷한 특성을 보이며 자동차 부품(브레이크 등)의 마모에 의해 구리, 니켈과 함께 오염된 것으로 생각된다. 구리 및 니켈에서와 같이 차량 통행이 가장 적을 것으로 예상되는 회동저수지 인접도로는 다른 도로에 비해 훨씬 낮은 함량의 범위를 보인다.

⑥ 비소(As)

도로변 퇴적물에 대한 비소의 총함량은 7번 국도에서 19.5-2.0 µg/g(평균 8.3 µg/g), 고리 방향의 지방도로는 17.5-5.0 µg/g(평균 8.9 µg/g), 교량의 퇴적물은 11.0-5.0 µg/g(평균 6.8 µg/g), 회동저수지 인접도로는 4.5-4.0 µg/g(평균 4.3 µg/g)의 함량 범위를 보여, 지역별 함량의 차이가 크지 않다. 다른 중금속과는 달리 지방도로에서의 함량이 7번 국도보다 높게 나타났으며, 특히 7번 국도 주변 토양의 비소 함량이 매우 높게 나타났다. 따라서 자동차의 배출물질 이외의 인위적인 기원(제조계의 사용 등)에 기인된 것으로 추정된다.

⑦ 카드뮴(Cd)

도로변 퇴적물 및 토양 시료에 대한 카드뮴의 총함량은 모든 지역에서 2.5 µg/g 이하의 낮은 값을 보이며 지역별로도 비슷한 함량의 범위를 보여주어, 차량에 의한 영향이 적으며, 자연적인 지질기원으로 생각된다.

3.2. 도로변 퇴적물의 산가용 침출법(0.1N & 1N HCl)에 따른 중금속 함량

회동저수지 집수유역에서 채취한 34개의 도로변 퇴적물과 2개의 도로변 토양에 함유되어 있는 중금속의 오염정도를 토양환경보전법의 우려 및 대책기준과 비교하기 위하여, 채취된 시료에 대해 토양환경보전법의 산가용 침출법을 이용하여 화학분석을 실시하였으며, 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 그 결과, 예상한 대로 퇴적물의 중금속 오염정도는 매우 미약하며, 토양환경보전법의 우려기준보다 매우 낮은 함량만이 용출되었다. 납 함량은 0.9-111.0 µg/g이며 평균 19.2 µg/g 이나 최고값을 제외하면 0.9-40.2 µg/g의 함량 범위를 보인다. 구리 함량은 0.8-34.7 µg/g이며 평균값은 17.6 µg/g이었다. 이외 다른 원소들은 매우 낮은 값을 보이고 있다.

각 지역별 중금속 함량의 평균값, 최고값 및 최저값을 Table 4에 나타내었다. 도로변 퇴적물에 대한 납의 함량은 7번 국도에서 111.0-1.3 µg/g(평균 24.3 µg/g),

Table 3. Extractable concentrations of As (1 N HCl) and other heavy metals (0.1 N HCl) in roadside sediment within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan ($\mu\text{g/g}$).

No.	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Sample locations
RS 1	1.9	0.5	0.8	9.1	3.7	
RS 2	2.0	0.4	1.0	8.1	7.3	
RS 3	1.4	0.4	1.5	12.0	16.0	
RS 4	3.6	0.4	1.0	17.9	30.2	
RS 5	10.6	0.4	0.5	0.8	1.3	
RS 6	2.3	0.5	1.2	33.7	40.2	
RS 7	2.2	0.5	1.2	27.8	28.1	
RS 8	2.1	0.7	1.0	32.3	27.7	
RS 9	3.1	0.3	1.7	22.5	28.5	
RS 10	2.2	0.3	1.3	19.1	22.0	
RS 11	1.8	0.5	2.0	32.5	33.0	
RS 12	2.5	0.8	1.3	27.7	18.2	
RS 13	3.0	0.3	1.4	10.3	17.6	*No. 7 National road : RS 1-3, 5, 6-19, 21, 24
RS 14	2.1	0.5	3.0	18.6	111.0	
RS 15	2.5	0.5	0.9	14.1	8.6	
RS 16	2.6	0.5	0.8	23.4	18.0	*Bridge : RS 4, 20, 22-23, 25-26
RS 17	3.3	0.5	1.0	20.5	12.5	
RS 18	2.8	0.7	1.1	26.1	11.6	*Local road : RS 29-34
RS 19	2.2	0.3	1.7	12.2	20.2	
RS 20	1.1	0.3	1.4	12.0	19.9	
RS 21	1.4	0.4	1.2	13.8	13.4	*Reservoir adjoining road : RS 27-28
RS 22	2.7	0.5	0.4	1.0	0.9	
RS 23	8.8	0.5	1.9	27.0	11.4	
RS 24	1.6	0.6	1.9	27.0	27.7	*Roadside soil : RSS 1-2
RS 25	1.1	0.4	1.2	22.8	18.0	
RS 26	1.0	0.5	0.6	7.5	7.1	
RS 27	0.5	0.4	0.5	34.7	8.8	
RS 28	0.8	0.3	0.6	7.5	6.2	
RS 29	1.1	0.4	0.8	24.0	26.8	
RS 30	2.0	0.4	0.7	12.6	16.9	
RS 31	1.3	0.4	0.8	25.3	19.1	
RS 32	1.5	0.5	1.0	5.2	5.1	
RS 33	1.2	0.4	1.6	9.1	15.6	
RS 34	1.5	0.5	0.6	2.5	2.0	
RSS 1	2.8	0.3	0.5	0.2	1.4	
RSS 2	3.6	0.2	0.5	0.2	1.3	

고리 방향의 지방도로는 26.8-2.0 $\mu\text{g/g}$ (평균 14.3 $\mu\text{g/g}$), 교량의 퇴적물은 30.2-0.9 $\mu\text{g/g}$ (평균 14.6 $\mu\text{g/g}$), 회동저수지 인접도로는 8.8-6.2 $\mu\text{g/g}$ (평균 7.5 $\mu\text{g/g}$)의 함량 범위를 보인다. 이는 납의 총함량 분석에서와 같이 차량 통행량이 많아짐에 따라 납의 농도가 증가하는 경향을 보여주고 있다. 구리의 경우에는 총함량의 분석

결과와 다르게 통행량이 가장 적은 회동저수지 인접도로에서 가장 높은 평균값(21.1 $\mu\text{g/g}$)을 보여주어 보다 정밀한 오염원의 규명이 필요하다. 이외 다른 중금속들은 대체적으로 차량 통행량에 따른 함량의 분포를 보여주고 있으나, 대부분의 함량이 낮아 특별한 오염원의 구분은 불가능하다.

Table 4. Regional extractable concentrations of As (1 N HCl) and other heavy metals (0.1 N HCl) heavy metals in roadside sediment within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan ($\mu\text{g/g}$).

Metal	Statistics	Whole road	No. 7 National road	Bridge	Local road	Reservoir adjoining road	Roadside soil
As	Mean	2.4	2.7	3.0	1.4	0.6	3.2
	Max	10.6	10.6	8.8	2.0	0.8	3.6
	Min	0.5	1.4	1.0	1.1	0.5	2.8
Cd	Mean	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2
	Max	0.8	0.8	0.5	0.5	0.4	0.3
	Min	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2
Cr	Mean	1.1	1.3	1.0	0.9	0.5	0.5
	Max	3.0	3.0	1.9	1.6	0.6	0.5
	Min	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
Cu	Mean	17.6	20.1	14.7	13.1	21.1	0.2
	Max	34.7	33.7	27.0	25.3	34.7	0.2
	Min	0.8	0.8	1.0	2.5	7.5	0.2
Pb	Mean	19.2	24.3	14.6	14.3	7.5	1.3
	Max	111.0	111.0	30.2	26.8	8.8	1.4
	Min	0.9	1.3	0.9	2.0	6.2	1.3

Table 5. Size analysis of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan [g(wt. %)].

No.	2 mm-200 μm	200-100 μm	100-63 μm	63-20 μm	<20 μm	sample site
RS 1	492.5(66.0)	125.0(16.7)	52.0 (7.0)	71.5 (9.6)	5.5(0.7)	1
RS 10	947.5(84.1)	125.5(11.1)	23.5 (2.1)	25.0 (2.2)	5.0(0.4)	1
RS 12	278.5(71.9)	62.0(16.0)	19.5 (5.0)	22.5 (5.8)	5.0(1.3)	1
RS 25	135.0(42.1)	96.0(29.9)	43.0(13.4)	41.0(12.8)	6.0(1.9)	2
RS 28	254.0(50.5)	81.5(16.2)	72.5(14.4)	92.0(18.3)	2.5(0.5)	3

1, No. 7 National road; 2, Bridge; 3, Reservoir adjoining road

산가용 침출법에 따른 중금속 함량이 높은 지역은 총함량 분석에서 나타난 지역과 마찬가지로 횡단보도, 커브길 및 과속단속 지점에서 나타나고 있다. 하지만 일부 교량에서 납(4번) 및 비소(23번, 임석교)의 함량이 높게 나타난다.

3.3. 입도분석 및 입도별 중금속 총함량

입도분석 결과는 Table 5과 Fig. 4에 나타내었다. 대부분의 도로변 퇴적물 시료는 100 μm 이상의 조립 입도가 우세하였으며, <20 μm 의 세립 입도는 매우 적은 비율(2.0% 이하)로 구성되어 있다. 한편 차량의 통행량이 많은 7번 국도의 시료(1, 10, 12번)가 통행량이 적은 교량 및 회동저수지 인접 도로변 퇴적물에 비해 조립질의 비율이 훨씬 높게 나타났다. 이는 우기 시 세립 입도의 퇴적물이 유출수와 함께 주변 토양 및 수계로 이동한 결과로 해석된다.

회동저수지 집수분지 내 도로변 퇴적물의 입도에 따른 이동도를 평가하기 위하여 입도별 함량을 Table 6에 정리하였다. 또한 각 입도별 무게에 입도별 함량을

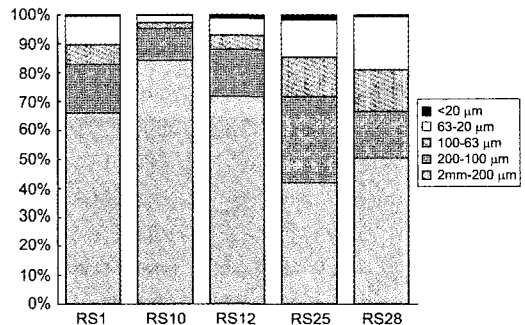


Fig. 4. Ratios of grain size fractions of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan. RS1, RS10 and RS12, No. 7 National road; RS25, Bridge; RS28, Reservoir adjoining road.

곱한 입도별 mass loading의 백분율을 Table 7에 표시하였다.

입도별 아연의 농도는 세립 입도일수록 높은 값을 보여주고 있으며, 조립 입도일수록 낮은 농도를 보인다. 한편 각 입도별 아연의 농도는 차량의 통행이 많은 지점이 적은 지역보다 모든 입도에서 높은 농도를

Table 6. Total concentrations of heavy metals in each size fraction of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan ($\mu\text{g/g}$).

No.	Metal	2 mm-200 μm	200-100 μm	100-63 μm	63-20 μm	<20 μm
RS 1	As	0.0	0.5	2.5	1.5	2.5
	Cd	1.5	1.0	1.5	2.0	2.0
	Cr	20	38	59	61	48
	Cu	52	90	121	122	123
	Ni	10	20	24	26	26
	Pb	63	124	139	154	160
	Zn	220	354	500	675	770
RS 10	As	0.0	0.0	6.0	2.5	2.5
	Cd	0.5	1.0	1.5	2.5	3.0
	Cr	17	31	50	45	45
	Cu	159	114	184	167	167
	Ni	11	18	29	29	29
	Pb	62	75	134	140	152
	Zn	361	384	780	1,065	1,200
RS 12	As	0.0	0.0	1.0	2.5	1.5
	Cd	1.0	1.5	1.5	2.0	2.5
	Cr	23	33	45	44	39
	Cu	65	82	135	128	165
	Ni	13	19	27	27	25
	Pb	65	104	128	132	135
	Zn	317	490	690	805	905
RS 25	As	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	Cd	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0
	Cr	29	57	47	45	35
	Cu	107	82	96	94	106
	Ni	14	30	24	25	21
	Pb	56	60	68	85	111
	Zn	185	223	267	340	480
RS 28	As	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0
	Cd	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
	Cr	15	13	16	17	19
	Cu	15	19	22	22	30
	Ni	13	12	15	17	18
	Pb	21	25	30	32	33
	Zn	66	60	83	98	104

나타내고 있다. 따라서 도로변 퇴적물 내의 아연의 농도는 차량의 통행량에 의해서 증가함을 알 수 있다 (Fig. 5).

입도별 아연의 총 함량 역시 7번 국도에서 높게 나타났으나, 7번 국도 도로변 퇴적물에서 실질적인 아연의 총 함량의 대부분을 차지하는 것은 아연의 농도가 높은 세립(<20 μm)이 아니라 상대적으로 낮은 농도를

갖는 조립(2 mm-200 μm) 입도이다(Fig. 5). 이는 7번 국도에 세립질의 비율이 매우 작기 때문이며, 따라서 도로변 퇴적물로부터 수영강 또는 회동저수지로의 퇴적물 내의 아연이 이동하기는 대체로 어려울 것으로 보여, 도로변 퇴적물은 회동저수지의 수질 오염에 큰 영향을 주지 않을 것으로 해석될 수 있다. 하지만 세립질의 퇴적물이 우기 시 유출수와 함께 쉽게 이동한

Table 7. Percentages of mass loading (wt. %) of heavy metals in each size fraction of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan.

No.	Metal	2 mm-200 μm	200-100 μm	100-63 μm	63-20 μm	<20 μm
RS 1	As	0.0	19.9	41.5	34.2	4.4
	Cd	67.4	11.4	7.1	13.1	1.0
	Cr	44.2	21.3	13.8	19.6	1.2
	Cu	48.5	21.5	12.0	16.6	1.3
	Ni	46.3	23.5	11.7	17.7	1.3
	Pb	47.1	23.7	11.0	16.8	1.3
	Zn	46.9	19.2	11.2	20.9	1.8
RS 10	As	0.0	0.0	65.3	28.9	5.8
	Cd	66.5	17.6	5.0	8.8	2.1
	Cr	71.9	17.3	5.2	5.0	1.0
	Cu	86.5	8.2	2.5	2.4	0.5
	Ni	72.4	16.4	4.9	5.3	1.1
	Pb	77.6	12.5	4.2	4.6	1.0
	Zn	77.5	10.9	4.2	6.0	1.4
RS 12	As	0.0	0.0	23.4	67.6	9.0
	Cd	60.8	20.3	6.4	9.8	2.7
	Cr	60.5	19.7	8.4	9.6	1.9
	Cu	61.2	17.2	9.0	9.8	2.8
	Ni	60.2	19.1	8.6	10.1	2.0
	Pb	58.9	21.0	8.2	9.7	2.2
	Zn	57.1	19.6	8.7	11.7	2.9
RS 25	As	0.0	0.0	0.0	87.2	12.8
	Cd	38.8	27.6	12.4	17.7	3.5
	Cr	28.8	41.0	15.0	13.7	1.6
	Cu	46.6	25.5	13.4	12.4	2.1
	Ni	27.3	41.5	14.6	14.8	1.8
	Pb	37.2	28.1	14.4	17.0	3.3
	Zn	33.5	28.6	15.4	18.7	3.9
RS 28	As	0.0	0.0	96.7	0.0	3.3
	Cd	46.2	14.8	13.2	25.1	0.7
	Cr	49.6	14.3	15.1	20.4	0.6
	Cu	42.4	16.8	17.4	22.6	0.8
	Ni	47.6	13.5	15.7	22.6	0.6
	Pb	42.0	16.4	17.5	23.4	0.7
	Zn	45.2	13.3	16.4	24.4	0.7

결과로도 해석할 수 있다. 이와 같은 경우를 가정한다면, 도로변 퇴적물 내의 아연이 세립질의 퇴적물의 형태로 수계로 쉽게 이동될 수 있으며, 수영강 및 회동저수지의 수질에 악영향을 미칠 수 있다. 특히 7번 국도 중 교량 지역에서는 도로의 유출수가 배수구를 통하여 수영강으로 직접 유입되고 있다. 본 연구의 시료 채취가 우기인 7월에 수행되었고, 5번 지점(우수관)에

아연을 비롯한 중금속의 함량이 높은 것이 이를 뒷받침해주고 있어, 시기별로 정밀한 조사가 필요하다.

납의 경우에도 아연과 같은 양상을 보여주고 있다. 즉 세립 입도일수록 납의 농도가 높은 값을 보여주고 있으며, 조립 입도로 갈수록 낮은 농도를 보인다. 한편 7번 도로와 같이 차량의 통행이 많은 지점이 교량이나 회동저수지 인접도로와 같이 차량 통행이 적은 지역보

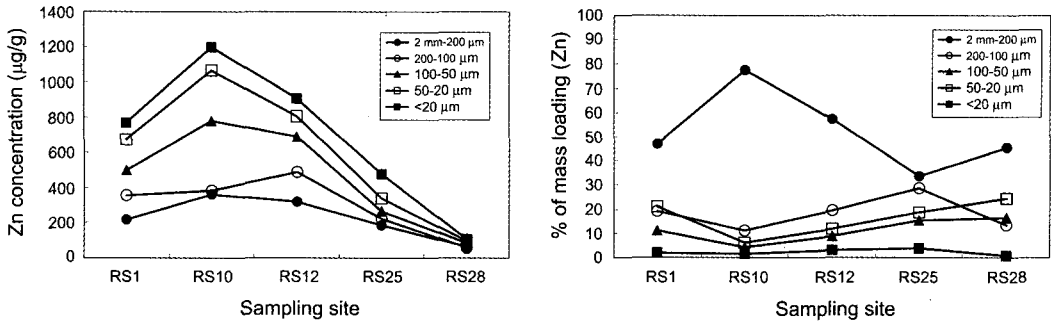


Fig. 5. Concentrations and percentages of mass loading of Zn in each size fraction of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan.

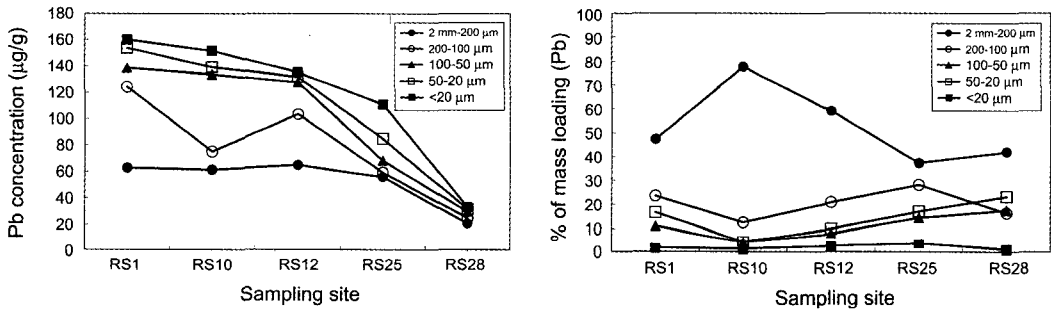


Fig. 6. Concentrations and percentages of mass loading of Pb in each size fraction of roadside sediments within the watershed of Hoidong Reservoir, Busan.

다 모든 입도에서 높은 농도를 나타내도 있다. 입도별 납의 총 함량 역시 7번 국도에서 높게 나타났으나, 납 총 함량의 대부분이 조립입도(2 mm-200 µm)에 의한 것이다(Fig. 6).

구리의 경우에는 아연 및 납과는 다른 양상을 보여 주고 있다. 즉 조립에 비해 세립 입도에서 구리의 농도가 높게 나타나지만 부분적으로 조립 입도의 퇴적물에서 높은 구리의 농도를 보여준다. 또한 입도별 구리의 총 함량은 아연 및 구리의 경우와 달리 지역에 관계없이 불규칙적인 범위를 보여준다. 즉, 1과 12번 지점과 같은 7번 도로의 퇴적물이 25번 지점과 같은 차량의 통행이 적은 지역(교량)보다 낮은 함량을 나타내고 있다. 따라서 구리의 오염원은 차량 이외의 기원이 존재할 것으로 사료된다.

3.4. 중금속의 유입경로

회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 중금속 함량이 높은 지역은 거의 대부분이 7번 국도이다. 7번 국도는 회동저수지로 흘러가는 수영강에 인접하고 있어 집수분지 도로변 퇴적물 내 중금속이 수영강으로 유입될 가

능성이 높다. 특히, 커브길, 과속단속 지점, 횡단보도 등에서 아연, 구리, 납 등의 중금속 함량이 높은 것으로 나타났다. 한편 우기시 유출수에 의해 도로변 퇴적물이 수영강으로 쉽게 유입될 수 있는 지역은 7번 도로에 형성된 배수로 설치 지역으로서 이 지점에 대한 적절한 처리(소택지 등)가 요구된다. 한편, 금정체육관으로 연결되어 있는 교량(한물교)의 중금속의 함량이 높게 나타났다. 교량 내 도로변 퇴적물은 일반 도로변 퇴적물과 달리, 수영강으로 퇴적물이 직접 유입될 가능성이 높으며, 교량 내 유출수가 배수관을 통하여 그대로 수계로 유입되고 있어 수영강 및 회동저수지의 수질에 많은 영향을 줄 수 있다.

4. 결 론

(1) 회동저수지 집수분지 내 주요 도로변 퇴적물의 토양환경보전법의 전처리 방법을 이용하여 화학분석을 실시한 결과, 중금속 함량은 토양오염 우려기준보다 낮게 나타났다.

(2) 중금속함량이 높은 지역은 대부분 교통량이 많은 7번 국도이며, 특히, 커브지점, 우수관, 과속단속 지점,

황단보도 등에서 아연, 납, 구리가 높은 함량을 보인다. 한편, 최근 새로 건설된 금정체육단지와 연결되는 교량인 한물교는 많은 통행량으로 인해 비교적 높은 중금속 함량은 보여준다.

(3) 도로변 퇴적물 내 입도별 중금속 함량은 세립 입도일수록 높은 값을 보여주고 있으나, 총 함량은 조립 입도의 퇴적물(100 μm 이상)에 의해 결정된다. 이는 우기 시에 유출수에 의해 세립 퇴적물이 주변 수계로 이동된 결과로 해석되며 수영장 및 회동저수지의 수질에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 교통량이 많은 7번 국도와 퇴적물이 쉽게 주변 수계로 유입될 수 있는 한물교와 같은 교량에서 퇴적물의 이동을 조절할 수 있는 적절한 처리시설(소택지 등)이 요구된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기관고유사업(대도시 지질환경오염개선 관리기술 연구(부산지역), KR-04(연차)-10)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Carignan, R. and Tessier, A. (1988) The co-diagenesis of sulfur and iron in acid lake sediments of southwestern Quebec. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 52, p. 1179-1188.
- Davis, J.A. and Leckie, J.O. (1978) Effect of adsorbed complexing ligands on trace metal uptake by hydrous oxides. *Environ. Sci. Technol.*, v. 12, p. 1309-1315.
- Drew, H.M. (1975) *Metal-Based Lubricant Compositions*. Noyes Data Corporation, NJ.
- Ellis, J.B. and Revitt, D.M. (1982) Incidence of heavy metals in street surface sediments : Solubility and grain size studies. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 17, p. 87-100.
- Friedlander, S.K. (1973) Chemical element balances and identification of air pollution sources. *Environmental Science and Technology*, v. 7, 235-240.
- Harrison, R.M., Laxen, D.P. and Wilson, S.J. (1981) Chemical associations of lead, cadmium, copper, and zinc in street dusts and roadside soils. *Environmental Science and Technology*, v. 15, p. 1378-1383.
- Harrison, R.M. and Wilson, S.J. (1985) The chemical composition of highway drainage water : II. Chemical associations of metals in the suspended sediment. *The Science of Total Environment*, v. 43, p. 79-87.
- Hewitt, C.N. and Rashed, M.B. (1990) An integrated budget for selected pollutants for a major urban highway. *The Science of Total Environment*, v. 93, p. 375-384.
- Lee, P.K., Touray, J.C., Baillif, P. and Ildefonse, J.P. (1997) Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France. *The Science of the Total Environment*, v. 201, p. 1-15.
- Lee, P.K. and Touray, J.C. (1998) Characteristics of polluted artificial soil localized on a motorway border and effects of acidification on the leaching behavior of heavy metals (Pb, Zn, Cd). *Water Research*, v. 32, p. 3425-3435.
- Pierson, W.R. and Brachaczek, W.W. (1983) Particulate matter associated with vehicles on the road. II. *Aerosol Science and Technology*, v. 2, p. 1-40.
- Stigliani, W.M. and Anderberg, S. (1991) Industrial metabolism and the Rhine basin. *Options*, p. 4-8.

2005년 1월 4일 원고접수, 2005년 6월 2일 게재승인.