

서울 지역 도로가 퇴적물의 중금속 함량

최병영¹⁾ · 윤성택¹⁾ · 이평구²⁾

1. 서론

대도시 지역 도로 주변의 토양과 퇴적물 및 분진은 Pb, Cu, Zn, Cd, As, Cr 등 중금속 원소들의 중요한 오염원이 될 수 있다. 이들 원소는 주로 자동차나 산업활동에 의해 배출되며, 하천수와 토양의 주요 오염원으로 작용한다. 국내에서도 최근 도시 지역의 토양과 분진 중 중금속 원소의 공간적 분포 특성에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 도로 퇴적물 자체에 대한 연구는 수행된 바 없다. 서울 지역의 경우, 도로가 퇴적물은 빗물받이로 모여져 주기적으로 청소되고 있으나 일부 지역의 빗물받이는 하수계와 직접 연결되어 한강으로 유입되고 있다. 본 연구의 목적은 서울 지역 도로가 퇴적물의 중금속 함량을 밝히고, 그 함량 변화의 시간적·공간적 특성을 밝히는데 있다.

2. 시료 채취 및 분석

97년 11월부터 98년 3월까지 매월(총 5차례) 11개 지점(서울역, 청계천, 여의도, 강남, 청담동, 구로, 양화대교, 한남대교, 영동대교, 사직터널, 북악터널; Fig. 1)에서 퇴적물 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 풍건 후에 2 mm 눈금체 및 180 μ m 눈금체로 연속 체질한 후 용해하였다. 동일 시료에 대하여 0.1 N 염산을 이용한 부분 용해(총 57개 시료) 및 혼합산(불산 + 질산 + 과염소산)을 이용한 완전 용해(총 28개 시료)를 병행하였으며, 화학 분석은 ultrasonic nebulizer를 이용한 ICP-AES 분석 및 hydride vapor generator를 이용한 AAS 분석으로 실시하였다. 분석원소는 Pb, Cu, Zn, Cd, As, Cr이며, 추가적으로 자연적인 기원의 중금속을 평가·보정하기 위하여 Al도 분석하였다. 또한 화학 분석 자료 및 지역별 교통량과 금속공업 비율 및 강우량 자료를 종합하여 다변량 통계분석을 수행함으로써, 중금속의 시간적 및 공간적 분포 특성과 기원을 규명하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

완전 용해법에 의한 중금속의 총함량 범위는 Table 1과 같으며, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As의 평균 함량은 각각 105.9, 269.3, 532.3, 143.8, 6.0 및 6.3 mg/kg이다. EPA에서 제시한 준설 퇴적물의 중금속 함량 기준치와 비교하여 보면, Zn은 7배, Cu는 5배, Pb는 3배 정도 높게 나타난다. 전함량 분석에 비하여 한국의 표준 분석법(0.1 N HCl 추출)은 인위적인 오염 정도 및 독성을 평가하는데 보다 적절한 지표가 될 수 있다. 표준 분석법에 의한 중금속 함량 범위는 Table 2와 같으며, Cr, Cu, Zn, Pb의 평균 함량은 각각 1.0, 28.3, 202.5, 13.7 mg/kg이다. 전분석 함량에 대한 부분분석 함량의 비는 Zn(34%) 및 Pb와 Cu(각각 8%)가

주요어: 서울, 도로가 퇴적물, 중금속(Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As) 오염, 분포특성

- 1) 고려대학교 지구환경과학과
- 2) 한국자원연구소 자연재해방재연구단

비교적 높게 나타나, 이들 원소가 대체로 약한 결합의 형태를 띠고 있어 산성 강우에 의해 쉽게 용출될 수 있음을 지시한다. 두 분석 결과를 종합하면, 서울시 도로가 퇴적물의 경우 특히 Zn, Cu, Pb의 오염 추이에 주목해야 함을 알 수 있다.

자연적인 요인을 제거하기 위해 Al 함량으로 표준화한 각 원소의 총합량에 대하여 상관 관계를 살펴보면(Fig. 2), Cu-Zn, Cu-Pb, Cu-Cd, Zn-Pb, Zn-Cd 사이에 높은 상관성($r^2 > 0.5$)을 보여주고 있다. 또한, 녹지 지역(북악)으로부터 교통량이 많은 지역(한남, 강남)을 지나 교통량 및 산업활동의 혼재 지역(서울역, 청계천)으로 가면서 모든 중금속 원소의 함량이 뚜렷히 증가되고 있으며, 각 지역에서의 월별 변화는 크지 않음을 알 수 있다. 따라서, 도심 지역을 중심으로 오염이 점차 진행되고 있으며, 시간 변화에 비해 공간적 변화가 지배적임을 판단할 수 있다.

two-way 분산 분석 결과(Fig. 3), Cu, Cd, Zn는 시·공간적 변화를 모두 나타낸 반면, Pb와 Cr은 공간적 변화에 의존함을 시사하였다. 각 변수들의 분포를 지배하는 공통 요인을 추출하기 위한 요인 분석 결과를 보면(Table 3 및 Fig. 4), 공간적 분포에 지배되는 Pb와 Cr은 자동차 통행량과 함께 높은 요인 적재량을 나타내며, 특히 Cr은 금속공업의 비율과도 상당한 적재량을 보여주고 있다. 시간적 및 공간적 분포를 나타내는 Cu, Cd, Zn은 금속공업 비율과 높은 양의 요인 적재량을 나타내고 강우량과는 음의 적재량을 보여주고 있다. 따라서, Pb는 주로 차량 통행이 많은 지역에서 주로 자동차에서 배출되고, Cr은 특히 공구상의 밀집 분포와 관계됨을 알 수 있다. 반면, Cu, Cd, Zn는 공간적으로 주로 금속 산업 시설로부터 배출되지만, 시기별 강우량의 변화에 의해서도 약간의 함량 변화를 나타내는 것으로 판단된다.

4. 요약

- 1) 서울 지역 도로가 퇴적물에서는 특히 Cu와 Zn의 오염이 도심 지역을 중심으로 심각하게 진행되고 있으며, Pb는 무연 휘발유의 사용량 증가와 더불어 감소 추세이나 여전히 높은 함량을 나타내고 있다.
- 2) Pb와 Cr의 함량은 공간적 지배가 강하여 Pb는 주로 교통 혼잡 지역, Cr은 공구상 밀집 지역에서 높게 나타난다. 반면, Cu, Cd, Zn 함량은 시간적 및 공간적 변화를 모두 보여 주어 금속 산업 밀집도 및 강우량 변화에 따라 변화된다.
- 3) 특히 오염이 심화되고 있는 지역의 도로가 퇴적물이 하수계로 직접 유입되지 못하도록 차단하는 적절한 시설이 필요하며, 아울러 오염된 퇴적물을 집적하여 처분할 때는 주변 토양의 오염에 유의해야 할 것이다.

※ 사사 : 본 연구는 한국과학재단 지원 전략광물자원 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

Table 1. Total concentrations of heavy metals in the Seoul roadside sediments

Metals (mg/kg)	N	Range	Mean \pm σ
As	28	0.1 - 23.6	6.3 \pm 5.3
Cd	28	3.8 - 8.4	6.0 \pm 1.0
Cr	28	47.8 - 257.1	105.9 \pm 59.4
Cu	28	76.3 - 564.5	269.3 \pm 136.5
Pb	28	52.8 - 301.4	143.8 \pm 58.8
Zn	28	207.6 - 1011.8	532.3 \pm 197.1

Table 2. 0.1 N HCl extractable concentrations of heavy metals in the Seoul roadside sediments

Metals (mg/kg)	N	Range	Mean \pm σ
As	57	<0.0 - 0.1	0.1 \pm 0.0
Cd	57	<0.0 - 0.3	0.1 \pm 0.1
Cr	57	0.2 - 2.0	1.0 \pm 0.4
Cu	57	10.8 - 64.9	28.3 \pm 12.4
Pb	57	0.5 - 36.4	13.7 \pm 7.0
Zn	57	92.2 - 451.7	202.5 \pm 78.0

Table 3. Results of factor analysis

Statistics	Factor 1	Factor 2
Eigenvalue	3.22	2.26
% of variance	41.67	19.39
Factor loading*		
Cu	0.898	
Cd	0.869	
Zn	0.774	
Pb		0.907
Cr	0.509	0.710
As		
Monthly Precipitation	-0.639	
Traffic density		0.837
% of metal industry	0.461	

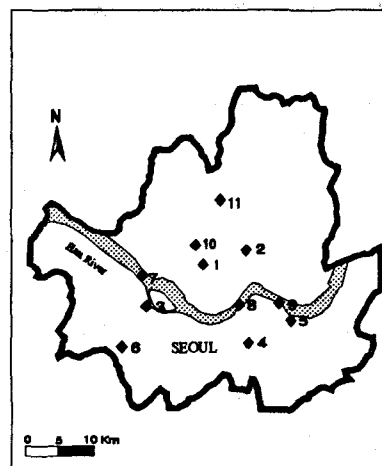


Fig. 1. Sampling locations

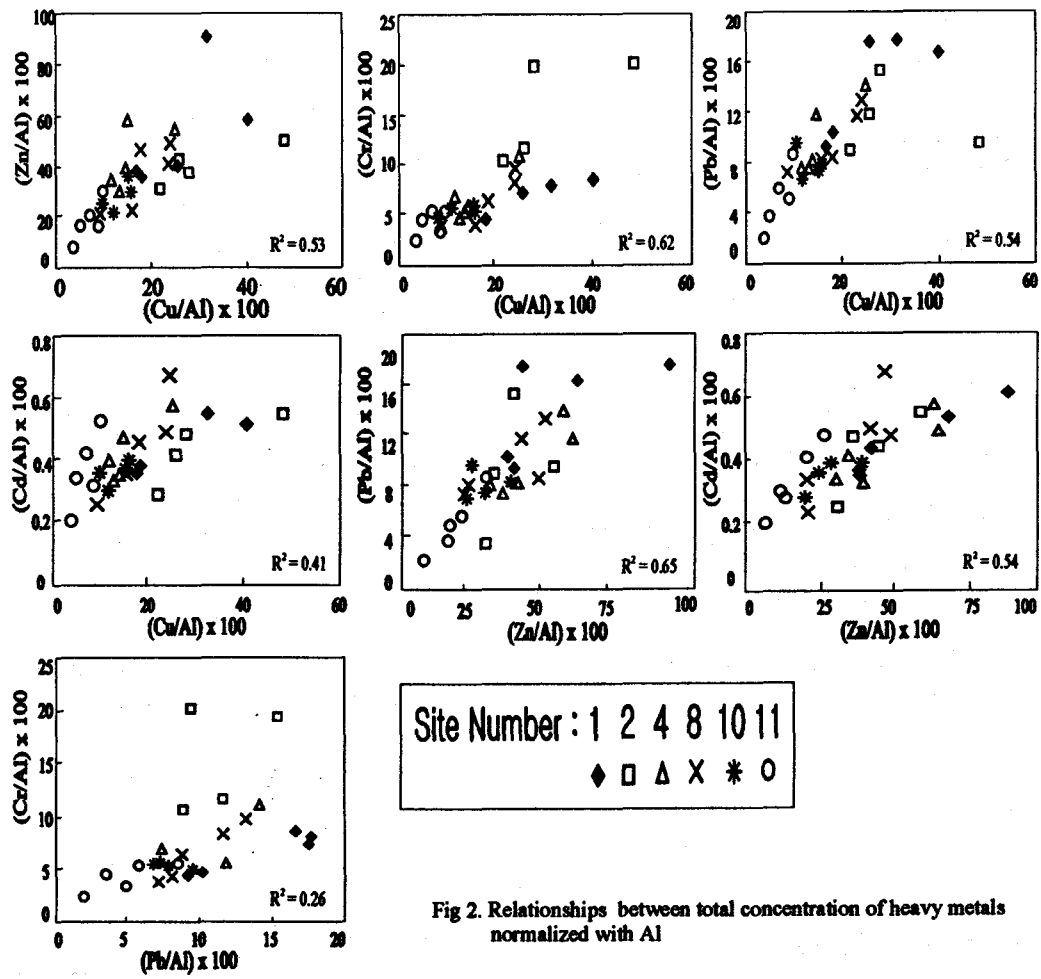


Fig 2. Relationships between total concentration of heavy metals normalized with Al

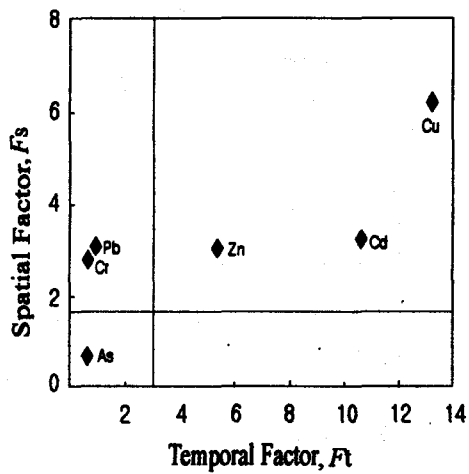


Fig. 3. Plots of probability values(F) of heavy metals

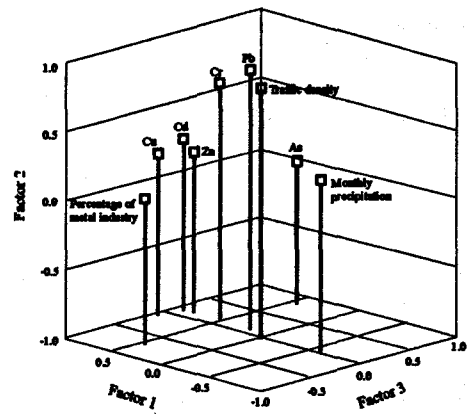


Fig. 4. Three - dimensional plots of the factor loading values