

서울시 간선도로변 토양 중 중금속 및 TPH 분포 연구

토양폐기물팀

하광태 · 조현석 · 김길식 · 김장열 · 오달영
신규진 · 남경래 · 조석주 · 길혜경 · 어수미

Distribution of Heavy Metals and TPH in Soils on Main Roadsides of Seoul

Soil & Waste Analysis Team

**Kwang-tae Ha, Hyun-seok Cho, Gil-sik Kim, Jang-youl Kim,
Dal-young Oh, Kyu-jin Shin, Kyung-rae Nam, Seok-ju Cho,
Hae-kyung Gil and Soo-mi Eo**

Abstract

The main processes of vehicles that add heavy metals(i.e., Pb, Zn, Cu, Cd, and Ni) and TPH into the environment are fuel combustion, wear and tear of cars(e.g., tires, brakes, engine), oil leaks, and corrosion. Because these factors cause pollution in roadside soils, a correlation between traffic volume and heavy metal accumulation in the soil would be expected. This study aimed to understand the trend for heavy metal and TPH accumulation in the soils along the major highways in Seoul. Roadside soils along Gyeongbu, Olympic, Dongbu, Gangbuk-Riverside, Gyeongin, Nambu and Seobu highways which are main roads of Seoul were investigated. Roadside soils were collected at three points, and background soils were placed in acrylic boxes, and set up in both directions along each highway. The background soil samples in the acrylic box, which were separated by depth(upper layer, deep layer, and mixed layer), were collected from the roadside every three months. Heavy metals were analyzed based on total content, and the degree of pollution along each highway was estimated using the pollution index(PI). The total content of heavy metals on the Seobu highway was highest, although they did not exceed the standard for pollution(3rd region). Metal concentrations were the highest for Cu and Pb at the Seobu highway, and for Zn and As at the Gyeongbu expressway. The order of TPH concentration was Nambu > Seobu > Gyeongbu, which related to traffic volume and vehicle speed. The order of the concentration of heavy metals was roadside soils > background soils(first) > background soils(second). Heavy metals(Cu, Pb,

Zn, Ni) tended to decrease in the road soils as soil depth increased. The pollution index surrounding the highways occurred in the following order: Seobu > Nambu > Gangbuk-Riverside > Gyeongin > Gyeongbu > Dongbu > Olympic.

Key words : highway, roadside soil, heavy metal, traffic volume, Pollution.Index(PI)

서론

토양은 생태계에서 가장 중요한 지지체의 역할을 담당하는 인류생활에 중요한 삶의 터전으로 여겨 왔다. 하지만 급속한 산업화와 도시화로 인해 다양한 형태의 오염물이 생성되어 토양, 수질, 대기를 포함하는 환경을 오염시켜왔다. 특히 중금속은 공업단지나 폐광산 등의 고정오염원과 자동차 등의 이동오염원에서 배출 될 수 있는 대표적인 무기성 오염물질이며, 다양한 수용체로 침적되고 있어 인류 생활에 영향을 끼치고 있다(1, 2).

도로변 토양은 배기가스 함유 입자, 연료유, 윤활유, 부동액, 배터리 등 차량에서 배출되는 각종 중금속류와 도로 포장면과 타이어의 마찰, 브레이크 패드 마모 등에서 발생하는 오염물질 등 토양오염을 유발시키는 다양한 물질에 노출되어 있으며, 건기 중에는 바람 등에 의해 주변 토양에 축적되거나, 우기 중 빗물에 씻겨 배수로로 통해 수계 및 배수로 주변 퇴적물을 오염시킬 수 있다(3). 유해 중금속 중 납(Pb)은 유연휘발유 연소 시, 아연(Zn)은 타이어 마모, 구리(Cu)는 브레이크 마모 및 라디에이터 부식 시 발생하며, 기타 중금속(Cd, Ni, Fe 등)도 오일 누출, 아스팔트 노면 풍화, 중앙분리대 및 도로관 부식 등 복합적인 작용에 의해 주변 토양오염을 발생시킬 수 있다(4, 13).

도로변 토양 및 퇴적물에 축적된 중금속은 일반적으로 이동속도가 느리기 때문에 오염도가 증가될 우려가 있다(3). 중금속으로 인한 토양오염은 인간에게 직접적인 위해를 끼치지 않지만, 토양생물의 증식에 직접적인 영향을 주거나 농작물 등 식물의 생육을 저해시키고, 오염된 농작물을 섭취하는 인간에게 위해를 끼치는 간접오염이라는 점

과 한번 오염된 토양은 자연적으로 제거가 어려우며 점차 가중되는 특징이 있다(3, 5).

환경부에서는 토양오염에 의한 환경의 위해성 예방을 위해 1996년부터 토양환경보전법을 시행하고 있으며, 또한 강우 시 노면 유출수에 의한 도로주변 토양 및 수계의 오염을 방지하기 위해 국토해양부와 종합적인 관리대책을 수립하고 있다(3).

외국의 경우 도로변 토양의 중금속 오염에 대한 장기적인 조사가 이루어져 도로주변 토양의 중금속 오염 추이에 대한 연구가 이루어지고 있으나, 국내에서는 주로 도로주변에 대한 단기적인 조사와 연구만이 이루어지고 있어 도로주변 토양의 중금속 축적에 대한 예측이 어려운 실정이다(3, 6~8).

이에 본 연구는 인구와 교통량이 많은 서울시의 간선도로를 중심으로 주변 토양 및 배경토양을 설치 후 회수하여 중금속을 분석·평가함으로써 도로변 토양오염에 대한 관리방안 수립을 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

연구 방법

본 연구 대상은 교통량이 많은 서울시 주요 간선도로변 11개 지점의 토양과 동일한 지점에 설치한 배경토양을 대상으로 실시하였다. 시료채취 지점은 각 간선도로 교통량 loop(감지선)이 설치된 화단 주변 토양을 채취하였다. 경부고속도로, 동부간선도로, 강변북로, 제1경인고속도로 신월분기점 상하행선 각 1지점, 올림픽도로, 서부간선도로, 남부순환도로 각 1지점 토양을 채취하였다. 시료채취 지점은 그림 1과 그림 2와 같고, 각 지점별 도로에 대한 일일 평균 교통량과 속도는 표 1과 같다.



Fig. 1. Sampling sites of the roadside soils in Seoul.

배경토양은 자연적, 인위적 오염원이 없는 강남구 수서동 주변 산에서 채취한 토양을 이용하였다. 시료 중 배경토양을 4 kg씩 무게를 달아 아크릴판 용기(28×22×9 cm)에 넣어 2013년 6월에 설치 후 9월(1차), 12월(2차)에 회수하였고, 도로변 토양은 12월에 주변 토양을 채취하였다. 시료는 폴리에틸렌 봉투에 담아 채취날짜, 지점, 및 시료내역 등을 기재하고, 0~4℃의 냉장상태로 보관한 후 중금속(Cu, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Cr⁺⁶, Hg)과 TPH를 조사하였다. 회수한 배경토양 시료를 총 깊이를(9 cm) 반으로 나눠 상층, 하층으로 구분하였고, 도로변 토양은 주변 3개 지점에서 채취한 후 평균값으로 나타냈다. 지점별 시료채취 사진을 그림 2에 나타냈다.

각 지점에서 채취한 토양시료는 범람체 또는 폴

리에틸렌 바트(vat)에 균일한 두께로 하여 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되도록 펼쳐 놓고 풍건시킨 다음, 나무망치 등으로 분쇄하였다. 중금속 함량 분석을 위한 토양은 눈금간격 0.15 mm의 표준체(100 mesh)로 체거름 한 후 각각 약 200g씩 취하여 사분법에 의해 균일하게 혼합하여 분석용 시료로 사용하였다. 이 시료 3g을 취하여 왕수(염산 : 질산 = 3 : 1)로 분해하고, 반응액을 Whatman No. 40 여과지로 100 mL 부피플라스크에 여과한 후 0.5 M 질산으로 표선까지 채워 시료용액으로 사용하였다. TPH는 분석용 시료는 토양 약 10g을 취한 후 디클로로메탄(DCM)을 넣어 ASE(Accelerated Solvent Extractor)로 추출하고, 추출액 2 mL가 될 때까지 농축한 후 방해물질을 제거하기 위하여 실리카겔 0.3g을 넣고 상층액

Table 1. Average daily traffic and velocity according to the Sampling site

Number	Sampling site	Average Daily Traffic(대)	Average Daily Velocity(km/h)
S1	Gyeongbu Expressway(Inbound)	110,377	41.3
S2	Gyeongbu Expressway(Outbound)	125,379	68.5
S3	Olymic Highway	83,322	59.7
S4	Dongbu Expressway(Inbound)	75,687	67.4
S5	Dongbu Expressway(Outbound)	81,359	68.2
S6	Gangbuk Riverside road(Inbound)	95,502	51.7
S7	Gangbuk Riverside road(Outbound)	122,341	69.8
S8	Gyeongin Expressway(Inbound)	84,656	-
S9	Gyeongin Expressway(Outbound)	96,823	-
S10	Seobu Expressway(Inflow,Outbound)	116,442	35.6
S11	Nambu Beltway	61,790	-

* 자료출처 : 서울시고속도로교통관리센터



Fig. 2. Soils sampling positions in roadside.

을 시료용액으로 사용하였다(9). 토양 중 중금속 (Cu, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Cr⁺⁶)의 함량실험은 시료용액을 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma)-원자발광분광법에 따라 ICP-AFS

(Spectrociros CCD, SPCTRO, Germany)를 사용하여 분석하였다. Hg은 가열기화아말감법으로 수은분석기(JP/SP-3D, NIC, Japan), TPH 분석은 용매추출법(디클로로메탄)에 따라 GC-FID

(Aglient 6890, HP, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 간선도로변 토양 함량

간선도로변 토양의 차량통행에 따른 중금속 오염 영향을 파악하기 위해 도로변 토양과 함께 배경토양의 중금속 함량을 조사하였다. 본 연구에 사용된 배경토양의 중금속 함량 분석 결과는

Bowen(10)이 지금까지 다수의 자료에서 조사하였던 결과와 비교할 때 Bowen의 농도범위에 포함되어 있어 배경토양으로써 적합하다고 판단되었다. 표 2는 토양 중에 존재하는 주요 중금속 물질과 평균농도 및 그 농도범위를 나타낸 것이다.

간선도로 주변 토양의 중금속 함량시험 결과는 표 3과 같다. 차량통행에 의한 오염물질인 중금속(4, 13) 중 Cu, Pb은 서부간선도로가 가장 높았으며, As, Zn, TPH는 경부고속도로 하행선이 높았고, 남부순환도로에서 TPH가 가장 높았으나 토양

Table 2. The concentrations of heavy metals in background soil (mg/kg)

		Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Background soil	Avg.	28.6	13.0	5.1	0.22	106.9	29.8
	Range	(28.6 ~ 30.9)	(11.8 ~ 13.6)	(3.9 ~ 5.7)	(0.18 ~ 0.25)	(95.9 ~ 113.6)	(28.6 ~ 30.9)
Bowen	Avg.	20	10	6	0.06	50	40
	Range	(2 ~ 100)	(2 ~ 200)	(0.1 ~ 40)	(0.01 ~ 0.70)	(10 ~ 300)	(10 ~ 1000)

Table 3. The concentration and standard of heavy metals in roadside soils (mg/kg)

Site	Item Criteria	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni	Hg	Cr+6	TPH
		2000	700	200	60	2000	500	20	40	2000
Gyeongbu(Inflow)		53.6	39.2	13.0	0.18	269.0	32.8	0.03	ND	126
Gyeongbu(Outflow)		112.6	71.8	24.5	0.49	633.9	32.1	0.05	ND	353
Olympic		76.8	40.3	9.0	0.21	289.4	44.1	0.04	ND	99
Dongbu(Inflow)		93.2	57.0	7.0	0.42	407.5	18.9	0.29	ND	199
Dongbu(Outflow)		136.4	91.3	8.7	0.40	467.0	37.6	0.07	ND	264
Gangbuk Riveside(Inflow)		76.8	70.9	7.3	0.46	605.2	27.0	0.04	ND	247
Gangbuk Riveside(Outflow)		134.2	83.1	8.1	0.47	515.8	30.4	0.09	ND	302
Gyeongin(Inflow)		130.3	87.1	9.1	0.44	464.0	35.2	0.12	ND	231
Gyeongin(Outflow)		112.6	79.9	7.8	0.31	425.6	35.2	0.09	ND	261
Seobu		166.4	106.8	9.2	0.43	511.3	42.4	0.05	2.94	337
Nambu		131.3	106.0	10.5	0.43	511.7	32.3	0.14	ND	394
Avg.		111.3	75.7	10.3	0.39	463.6	33.4	1.01	0.27	255.7

오염우려기준(3지역 : 도로용지)(11)을 초과하지는 않는 것으로 나타났다. 중국 상해시 도로변 중금속 농도(Pb 294.9 mg/kg, Zn 733.8 mg/kg, Cu 196.8 mg/kg, Cr 159.3 mg/kg, Cd 123 mg/kg, Ni 83.9 mg/kg)와 비교해 보면 서울시 간선도로는 훨씬 더 낮은 수준이었다(11).

배경토양을 설치 후 3개월 간격으로 회수한 토양 중 1차 회수 시료에 대한 검사 결과 표 4와 같이 서부간선도로에서 Cu, Pb, Ni이 높았으며, 경인고속도로 유입 방향에서 Cu, As, Ni이 대체적으로 높았다. 2차 회수 시료는 1차에 비하여 중금속 평균농도가 높았으며, 이것으로 볼 때 오염물질들이 시간경과에 따라 축적된다는 것을 확인 할 수 있었다. Cr⁺⁶는 1차, 2차 회수 토양에서 모두 불검출로 확인되어 표에 나타내지 않았다. 주변토양은 서부간선도로에서 높게 나타났는데 다른 항목들도 대부분 다른 도로보다 높았다. 이는 표 1에서 보는 바와 같이 많은 차량통행량과 낮은 속도의 영향 때문인 것으로 판단된다. 표 4, 5에서 Hg, TPH는 1, 2차 회수 토양 모두 배경토양농도와 거의 차이가 없으므로 주변 토양에 대해서만

표 3에 나타내었다.

간선도로변 토양은 표 6에서와 같이 Pb과 Cu, Zn과 Cd, TPH와 Pb, TPH와 Zn, TPH와 Cd, TPH와 Cu 등이 상관성이 높았으며, 1차 회수 배경토양은 Pb과 Cu, Zn과 Cu, Zn과 Pb 그리고 2차 는 Zn과 Pb, Pb과 Cu, Zn과 Cu, Ni과 Pb, Ni과 Zn이 상관성이 높았다. 이는 이 등(5)에서와 같이 Zn, Pb, Cu 등 주요 중금속 물질들이 서로 상관성이 있는 것으로 사료된다.

도로변 토양의 평균 농도를 비교해 본 결과 그림 3에서와 같이 Cd을 제외한 중금속 농도는 도로변토양 > 2차 회수 배경토양 > 1차 회수 배경토양의 순으로 높게 나타났다.

2. 토양 깊이별 중금속 분포

차량 통행에 따라 발생된 오염물질들이 도로변 토양으로 유입되면 흡착, 이온교환의 반응을 일으키거나, 강우가 스며들어 물리·화학적 환경변화에 따라 탈착, 침전, 용출되기도 하여 지점 및 토양 깊이 에 따라서 농도에 차이가 있을 수 있다. 따라서 배경토양을 상층부, 하층부를 구분하여 중금속 함량

Table 4. The concentration of heavy metals in roadside soils(first) (mg/kg)

Item Site	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Gyeongbu(Inflow)	26.9	10.9	3.7	0.28	101.9	25.1
Gyeongbu(Outflow)	29.1	11.4	3.8	0.26	101.1	22.8
Olympic	28.5	10.8	4.1	0.32	104.7	27.5
Dongbu(Inflow)	24.9	10.2	4.3	0.26	94.5	23.5
Dongbu(Outflow)	26.3	11.2	4.2	0.31	104.9	24.5
Gangbuk Riverside(Inflow)	29.7	11.8	4.1	0.32	117.3	26.1
Gangbuk Riverside(Outflow)	29.9	12.6	4.1	0.29	109.9	31.6
Gyeongin(Inflow)	30.1	11.5	4.7	0.30	117.5	35.9
Gyeongin(Outflow)	28.4	11.9	4.2	0.31	104.7	28.1
Seobu	33.3	12.7	4.2	0.30	129.7	28.2
Nambu	27.8	10.8	4.3	0.30	102.0	24.4

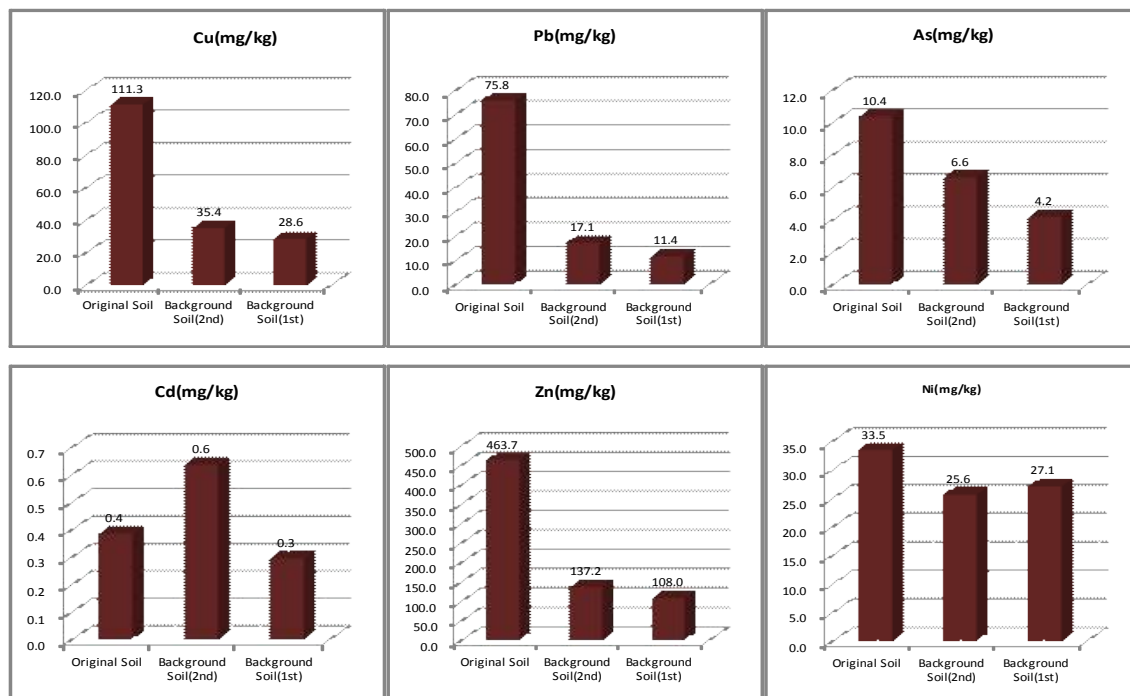


Fig. 3. The concentrations of heavy metals in roadside soils.

Table 5. The concentration of heavy metals in roadside soils(second) (mg/kg)

Item	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Site						
Gyeongbu(Inflow)	30.0	14.6	6.1	0.48	115.0	25.1
Gyeongbu(Outflow)	31.0	14.8	6.7	0.46	114.3	25.7
Olympic	33.9	16.6	8.1	0.79	131.2	25.3
Dongbu(Inflow)	29.4	15.7	6.5	0.56	112.4	24.9
Dongbu(Outflow)	29.9	16.3	6.8	0.60	120.5	27.1
Gangbuk Riveside(Inflow)	31.1	15.9	5.5	0.60	121.4	24.9
Gangbuk Riveside(Outflow)	46.8	17.9	5.8	0.60	134.9	25.8
Gyeongin(Inflow)	29.8	15.5	6.1	0.70	117.7	23.3
Gyeongin(Outflow)	33.3	16.4	6.3	0.67	130.0	25.2
Seobu	59.6	27.4	8.7	0.76	282.1	29.6
Nambu	34.6	16.9	5.8	0.77	129.4	24.9

시험을 하였으며 그 결과는 그림(4, 5)와 같다. 1차 회수 배경토양에서 Cu, Pb, Zn, Ni, As는 상층부가 하층부 보다 높게 나타났으며, 이(5)의 결과와 유사하였다. 그러나 SPSS 이용한 일원배치 분산분석 결과는 $P(\text{유의확률}) = 0.235, 0.189, 0.217, 0.055, 0.429 > 0.05(\text{유의수준})$ 으로 각층 간 중금속 농도는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났

다. Cd은 하층부가 상층부 보다 높게 나타났으며, 각층 간 유의한 차이는 없었다. 2차 회수한 배경토양에서 Cu, Pb, Zn은 상층부 보다 하층부 보다 높게 나타났으며, As, Cd, Ni는 하층부가 상층부 보다 높게 나타났다. 본 연구에서 As, Cd, Ni은 깊이 별 농도 분포가 예상과는 다르게 나타났는데 이는 향후 더 많은 연구를 통해 확인 해 볼 필요가 있겠다.

Table 6. Correlation of heavy metals in roadside soils

Sample		Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni	Hg	TPH
Surrounding Soil	Cu	1	.907**	-.062	.614*	.489	.301	.085	.743**
	Pb		1	-.110	.668*	.619*	.167	.053	.856**
	As			1	.133	.321	.047	-.304	.285
	Cd				1	.908**	-.376	.279	.771**
	Zn					1	-.240	-.051	.811**
	Ni						1	-.670*	-.064
	Hg								.053
	TPH								1
Sample		Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni		
First collected Soil	Cu	1	.834**	.125	.307	.895**	.525		
	Pb		1	.019	.286	.768**	.501		
	As			1	.302	.301	.598		
	Cd				1	.465	.343		
	Zn					1	.563		
	Ni						1		
Second collected Soil	Cu	1	.932**	.536	.400	.905**	.764**		
	Pb		1	.676*	.498	.989**	.834**		
	As			1	.422	.707*	.697*		
	Cd				1	.458	.151		
	Zn					1	.831**		
	Ni						1		

** 상관관계 0.01 수준에서 유의, * 상관관계 0.05 수준에서 유의

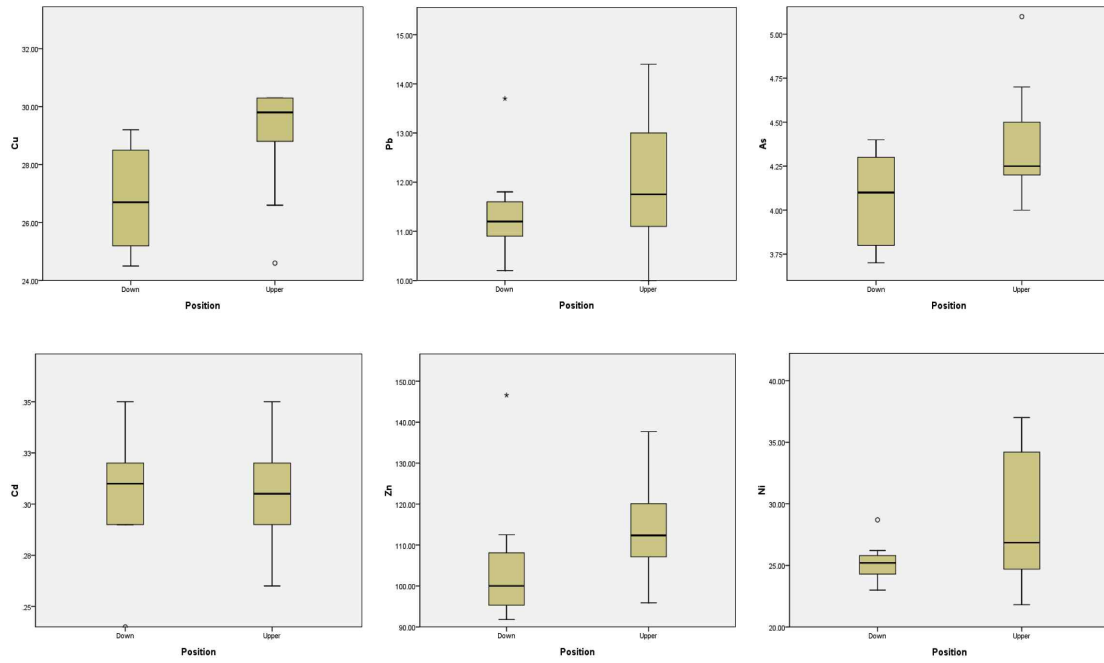


Fig. 4. The concentrations of heavy metals in roadside soils according to depth(First).

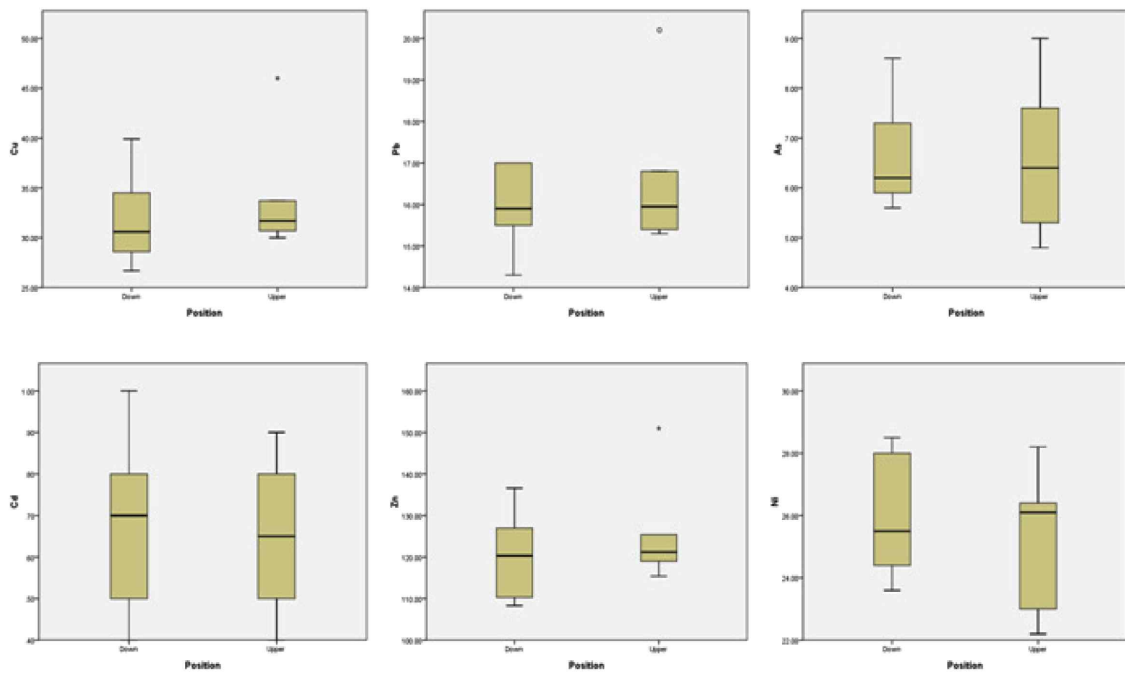


Fig. 5. The concentrations of heavy metals in roadside soils according to depth(Second).

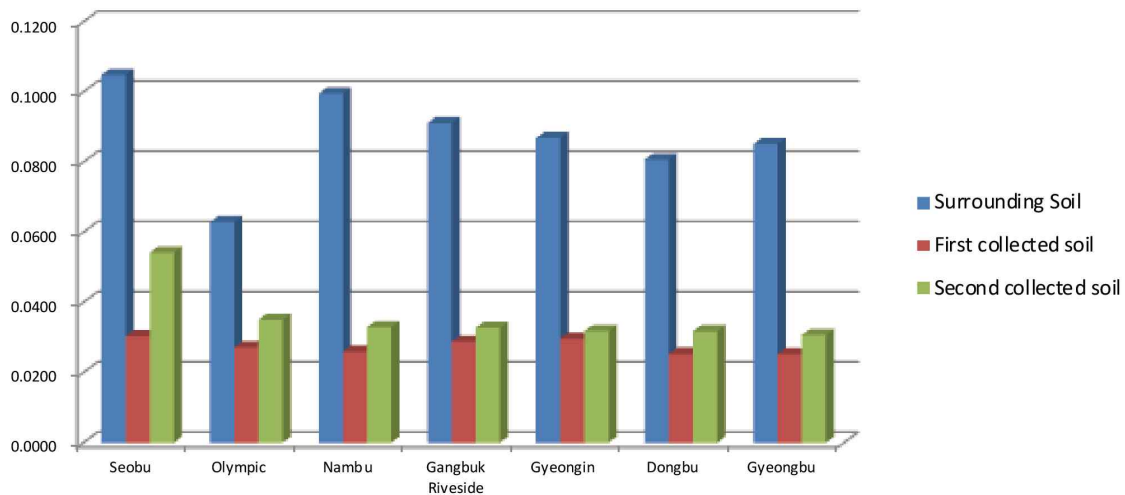


Fig. 6. Pollution Index(PI) according to main expressways in Seoul.

3. 오염지수(PI)

토양오염에 관련된 환경인자들은 각 인자별로 경시 변화가 상이하고 동일한 항목에 대한 토양환경기준도 다양해서 토양오염 상태가 기준치를 초과한 것인지, 오염이 개선된 것인지 또는 심화된 것인지를 단순히 평가하기에는 어려움이 있다. 따라서 아래의 식과 같이 토양오염 기준치와 토양 중의 중금속 농도를 이용하여 토양의 오염정도를 종합적으로 평가하는 오염지수(Pollution Index)를 적용하였다. 오염지수가 1.0 이하이면 중속이 오염되지 않은 지역으로, 그리고 1.0을 초과하면 중금속 오염된 지역으로 간주하였다.

오염지수(P.I.) =

$$\frac{\frac{Cu\text{농도}}{Cu\text{기준}} + \frac{Pb\text{농도}}{Pb\text{기준}} + \frac{As\text{농도}}{As\text{기준}} + \frac{Cd\text{농도}}{Cd\text{기준}} + \frac{Zn\text{농도}}{Zn\text{기준}} + \frac{\text{ㄹ농도}}{\text{ㄹ기준}}}{N}$$

N : metal items

본 연구에서 간선도로변 토양에 함유된 유해 중금속 성분의 오염정도를 평가하기 위해 토양오염 우려기준(3지역 : 도로용지)을 적용한 오염지수를 산출하였다.

간선도로변 토양의 오염지수는 모두 1.0 미만보다 훨씬 낮아 토양 오염정도가 낮은 것으로 판단된다. 도로변 토양(0.087) > 2차 회수 배경토양

(0.036) > 1차 회수 배경토양(0.027) 순이었다. 지역별로는 그림 6에서와 같이 도로변 토양의 오염지수는 서부 > 남부 > 강변북로 > 경인 > 경부 > 동부 > 올림픽 순이었고, 2차 회수 배경토양은 서부 > 올림픽 > 남부 > 강변북로 > 경인 > 동부 > 경부 순이었으며, 1차 회수 토양은 서부 > 경인 > 강변북로 > 올림픽 > 남부 > 동부 > 경부 순이었다. 오염지수는 서부간선도로가 가장 높게 나왔는데 시료채취 위치가 중앙분리대 화분토양이었으며, 상·하행선 모두 영향을 받는 지점이라고 판단된다. 또한 표 1에서 교통량과 평균속도를 비교할 때 다른 지역보다 정체되어 오염물질 배출의 증가가 원인인 것으로 사료된다.

결론

서울시 주요간선도로를 중심으로 도로변 토양과 인위적으로 설치한 배경토양에 대한 중금속 및 TPH 분포특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 간선도로 주변 토양의 중금속 함량시험 결과 Cu, Pb는 서부간선도로가 가장 높았으며, As와 Zn은 경부고속도로 하행선이 가장 높았고,

TPH는 남부순환, 서부간선, 경부고속도로 하행선 순으로 높게 나왔다.

2. 간선도로변에 인위적으로 배경토양을 설치 3개월 후 1차분 토양에서 Cu, Pb, Ni 농도가 서부간선도로와 경인고속도로 신월IC 유입 방향에서 대체적으로 높았다. 2차 회수한 중금속 농도는 1차 때 보다 모두 높아 시간경과에 따라 오염물질이 축적이 된다는 것을 확인할 수 있었다.
3. 간선도로 주변토양에서 Pb와 Cu, Zn과 Cd, TPH와 Pb, TPH와 Zn, TPH와 Cd, TPH와 Cu 등이 상관성이 높았다. 1차 회수 배경토양은 Pb와 Cu, Zn과 Pb, Zn과 Pb 등이 상관성이 높았고, 2차 회수 토양 또한 1차와 비슷하게 Zn과 Pb, Pb와 Cu, Zn과 Cu, Ni과 Pb, Ni과 Zn이 상관성이 높았다.
4. 도로변 토양의 중금속 농도를 비교해 본 결과 Cd를 제외한 중금속 농도를 살펴보면 도로변 토양 > 2차 회수 토양 > 1차 회수 토양의 예상 순으로 높게 나타났다.
5. 깊이에 따른 1차 회수 배경토양은 Cu, Pb, Zn, Ni, As는 상층부(Upper) > 하층부(Down) 순서로 높게 나타났으며, 분산분석 결과 각 층간 농도의 유의한 차이가 없었다. 2차 회수 배경토양도 1차와 비슷한 결과를 나타내었다.
6. 간선도로변 토양의 오염지수는 모두 1.0 미만으로 나타났다. 도로주변토양(0.524) > 2차 회수 배경토양(0.214) > 1차 회수 배경토양(0.165)의 순서로 높았으며, 도로변 토양, 2차 회수 배경토양, 1차 회수 배경토양의 오염지수 결과를 살펴 볼 때 서부간선도로가 가장 높게 나타났다.

참고문헌

1. 이병규, 고일하 : 울산지역 토양 중의 중금속 오염도 분석 연구. 대한환경공학회지, 25(11): 1436~1447, 2003.
2. 안열 : 토양오염 현황과 처리대책. 한국농공학회지, 40(2):13~17, 1998.
3. 이주광, 강해진, 장태순, 강희만 : 고속도로변 토양과 퇴적물의 중금속 장기 변화 추이. 대한 환경공학회, p.1434~1436, 2004
4. 최상민, 임종권, 신미연, 최경호, 조경덕 : 화학분석 및 생물검정 방법을 이용한 서울시 도로변 우수관퇴적물의 생태독성 평가. 대한상수도학회지, p.1056~1064, 2006.
5. 이주광, 강해진, 권혁 : 고속도로 주변 대기 및 토양 환경 현황조사. 한국도로공사연구보고서, p.1~87, 2001.
6. 염승준 : 부산시 회동저수지 집수분지 내 주요도로변 퇴적물의 중금속 오염 평가. 자원환경지질, 38(3):247~260, 2005.
7. 이의상 : 고속도로변 퇴적물의 중금속 오염에 관한 연구. 서울도시연구, 5(4):61~72, 2004.
8. 조규성 : 전주시 도로변 퇴적물의 중금속 오염 특성. Journal of Korean Earth Science Society, 24(8):711~720, 2003.
9. 환경부 : 토양오염공정시험기준(환경부고시 제2009-255호), 2009.
10. Bowen, HJM : Trace elements in biochemistry Academic Press, 1986.
11. G. Shi : Enviromental, 156:251~ 260, 2008.
12. 환경부 : 토양환경보전법, 2009.
13. Ales, P and Nina, Z : Heavy metal contamination of roadside soil along Ljubljana-Obrezje highway. RMZ-Materials and Geoenviroment, 52(2):403~418, 2005.
14. Min, DK and Jang, MB : A Study on the Integrated Soil Pollution Assessment, J. Korea Society of Environmental Administration, 6:9~15, 2000.
15. Song, HB and Lee, EY : Trace Elements and Source Assessment of Street Dust in Daegu, Korea. 대한환경공학회지, p.793~800, 2007.

1. 이병규, 고일하 : 울산지역 토양 중의 중금속

16. 손창인, 나춘기 : 목포지역 도로변 퇴적물의 중금속 함유 특성과 위해성 평가. 한국폐기물학회지, 24(5):428~440, 2007.
17. 민성은 : 인천광역시 토지용도별 토양 깊이이에 따른 오염도 평가. 석사학위논문, 인하대학교, 2002.
18. 조미영, 현재혁, 김원석 : Sequential Extraction 을 이용한 중금속(납·구리)과 토양 결합 기작 연구. 한국토양환경학회지, 4(3):77~84, 1999.