

서울시 간선도로변 차량 발생 중금속에 의한 토양오염도 평가

토양폐기물팀

하광태 · 장미희 · 오달영 · 신규진 · 신승희 · 길혜경 · 이상미 · 전재식

Estimation of Soil Pollution due to Vehicle Emission on Main Roadsides in Seoul

Soil & Waste Analysis Team

**Kwang-tae Ha, Mi-hee Jang, Dal-young Oh, Kyu-jin Shin,
Seung-hee Shin, Hae-kyung Gil, Sang-mi Lee and Jae-sik Jeon**

Abstract

The main processes in vehicles that add heavy metals(Pb, Zn, Cu, Cd and Ni) and TPH into the environment are fuel combustion, wear and tear of cars(tires, brakes, engine), oil leaks and corrosion. As these factors pollute roadside soils, a correlation between traffic volume and heavy metal accumulation in the soil would be expected. This study aimed at understanding the pattern of heavy metal and TPH accumulation in the soils along major highways in Seoul. Roadside soils along Gyeongbu, Olympic, Dongbu, Gangbuk-Riverside, Gyeongin, Nambu and Seobu highways, which are the main roads in Seoul, were investigated. Roadside soils were collected at three points, while 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, mixed layer), were collected from the roadside every three months. Heavy metals were analyzed based on total content, while 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 the highest, although it did not exceed the standard for pollution(3rd region). Metal concentrations were the highest for Cu, Pb, Ni and Cr⁺⁶ along the Seobu highway and for As and Cd along the Gyeongbu expressway. The order of TPH concentration was Nambu > Seobu > Gyeongbu, which corresponded to the traffic volume and vehicle speed. Heavy metals(Cu, Pb, As, Zn, Ni) tended to decrease in the roadside soils as the soil depth increased. The pollution index along the highways was in the following order: Seobu > Nambu > Gangbuk-Riverside > Gyeongin > Gyeongbu > Dongbu > Olympic.

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

서 론

토양은 공기·물과 함께 환경의 3대요소의 하나로서 환경오염물질의 이동 및 축적이 이루어지는 매체이며, 특히 환경의 최종 수용체로서 각종 오염물질이 토양으로 유입, 축적되고 있다(1). 토양은 생태계에서 가장 중요한 지지체의 역할을 담당하며 인류생활에 중요한 삶의 터전을 제공하고 있다. 그러나 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 해로운 영향을 끼치고 있다(2~3).

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 토양 오염을 유발시키는 다양한 물질에 노출되어 있으며, 건기 중에는 바람 등에 의해 주변 토양에 축적되거나, 우기 중 빗물에 씻겨 배수로를 통해 수계 및 배수로 주변 퇴적물을 오염시킬 수 있다(4). 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 유출되어 주변 토양오염을 발생시킬 수 있다(5~6).

도로변 토양 및 퇴적물에 축적된 중금속은 일반적으로 이동속도가 느리기 때문에 오염도가 증가될 우려가 있다(4). 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 점과 한번 오염된 토양은 자연적으로 제거가 어려우며 점차 가중되는 특징이 있다(7).

환경부에서는 토양오염에 의한 환경의 위해성 예방을 위해 1996년부터 토양환경보전법을 시행

하고 있으며, 또한 강우 시 노면 유출수에 의한 도로주변 토양 및 수계 오염을 방지하기 위해 국토해양부와 종합적인 관리대책을 수립하고 있다(4).

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 연구만 이루어지고 있어 도로주변 토양의 중금속 축적에 대한 예측이 어려운 실정이다(8~9).

이에 본 연구는 인구와 교통량이 많은 서울시 간선도로를 중심으로 주변의 토양과 동일한 위치에 인위적으로 배경토양을 설치 후 회수하여 중금속을 분석하고, 비교·평가함으로써 도로변 토양오염에 대한 관리방안 수립을 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구 대상은 교통량이 많은 서울시 주요 간선도로변 11개 지점의 토양과 동일한 지점에 4개씩 총 44개의 설치된 배경토양을 대상으로 실시하였다. 시료채취 지점은 각 간선도로 교통량 loop(감지선)이 설치된 화단 주변의 위치로 경부고속도로, 동부간선도로, 강변북로, 제1경인고속도로 신월분기점 상하행선, 올림픽도로, 서부간선도로, 남부순환도로 총 11개 지점 주변 토양을 각 3곳 채취하였다. 시료채취 지점은 그림 1과 같다.

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 6월 설치 후 2014년 9월까지 4회에 걸쳐 회수하였고, 도로변 토양은 2014년 9월에 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 시료는 총 깊이(9 cm)를 반으로 나눠 상층, 혼합층으로 구분하였고, 도로변 토양은 주변 3개 지점에서 채취한 후 평균값으로 나타냈다.



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

Table 1. Average daily traffic amount and velocity of vehicles at the sampling site

Number	Sampling site	Average Daily Traffic(Number)	Average Daily Velocity(km/h)
S1	Gyeongbu Expressway(Inbound)	123,625	41
S2	Gyeongbu Expressway(Outbound)	124,206	67
S3	Olympic Highway	112,033	56
S4	Dongbu Expressway(Inbound)	81,897	65
S5	Dongbu Expressway(Outbound)	76,735	64
S6	Gangbuk Riverside road(Inbound)	113,941	70
S7	Gangbuk Riverside road(Outbound)	130,641	83
S8	Gyeongin Expressway(Inbound)	84,154	90
S9	Gyeongin Expressway(Outbound)	76,035	87
S10	Seobu Expressway(Inflow, Outbound)	113,004	46
S11	Nambu Beltway	121,155	31

* 자료출처 : 서울시고속도로교통관리센터

각 지점에서 채취한 토양시료는 범람체 또는 폴리에틸렌 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. TPH 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 상층액을 시료용액으로 사용하였다(11). 토양 중 중금속(Cu, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Cr⁺⁶)의 함량실험은 시료용액을 유도결합플라즈마(Inductively Coupled Plasma)-원자발광분광법에 따라 ICP-AFS (Spectrociros CCD, SPCETRO, Germany)를 사용하여 분석하였다. Hg은 가열기화아말감법으로 수은 분석기(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 중 중금속 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 Bowen이 지금까지 조사한 결과(5)와 비교할 때

오염되지 않는 토양 농도범위에 포함되어 있어 배경토양으로써 적합하다고 판단되었다. 표 2는 배경토양 중에 존재하는 주요 중금속 물질과 평균농도 및 그 농도범위를 나타낸 것이다.

간선도로 주변 토양의 중금속 함량시험 결과는 표 3과 같다. 차량통행에 의한 오염물질인 중금속(14) 중 Cu, Pb, Ni, Cr⁺⁶은 서부간선도로가 가장 높았으며, As, Cd은 경부고속도로 하행선에서, Zn은 강변북로 상행선에서, TPH는 남부순환도로에서 가장 높았으나 토양오염우려기준(3지역 : 도로용지)(10)을 초과하지는 않는 것으로 나타났다. 표 1에서 남부순환, 서부간선 및 강변북로에서 TPH가 대체적으로 높은 것은 상대적으로 많은 경우 차량 통행과 낮은 차량속도가 원인인 것으로 판단된다.

배경토양을 설치 후 분기별 간격으로 4차에 걸쳐 배경토양을 회수한 시료에 대한 검사 결과 표 4와 같다. Cr⁺⁶은 모두 불검출이었고, Hg과 TPH은 배경토양농도와 거의 차이가 없으므로 주변토양 결과만 표 3에 나타내었다. 표 4 자료로 SPSS 통계 일원배치 분산분석을 한 결과 유의확률은 Ni(유의확률 : 0.13)를 제외한 Cu, Pb, As, Cd, Zn에서 유의수준 0.05보다 작은 것으로 확인되어, 시간에 따른 중금속 농도가 유의한 차이가 있는 것으로 판단되었다. 즉 오염물질들이 시간경과에 따라 축적된다는 것이다. 그러면 시간에 따른 축적률은 어떻게 되는가를 살펴볼 필요가 있겠다. 4 분기 동안 도로별로 축적된 중금속 농도에 대한 회귀분석 결과의 회귀식은 표 5와 같다. 회귀식의 계수와 상수에 대한 통계학적으로 유의한 지점과 중금속은 동부간선 상행선의 Cu, 강변북로 상·하행선과 남부순환도로의 As, 경부고속도로 하행선과 경인고속도로 상행선의 Zn, 남부순환도로의 Ni이었으며, 추후 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

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)

간선도로변 토양은 표 6에서와 같이 Cu와 Pb, Cu와 TPH, Pb와 Zn, Pb와 TPH, As와 Cd, Zn과 TPH, Ni와 Hg 등이 상관성이 높았다. 이는 이 등(7)이 보고에서와 같이 Zn, Pb, Cu 등 주요 중금속 물질들이 서로 상관성이 있는 것으로 사료된다.

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 깊이에 따라서 농도에 차이가 있을 수 있다. 따라서 배경토양을 상층부, 혼합부로 구분하여 중금속 함량 시험을 하였으며 그 결과는 표 7과 같다. 회수 배경토양에서 Cd를 제외한 Cu, Pb, As,

Zn, Ni는 상층부가 혼합부보다 높게 나타났으며, 이(8)의 결과와 유사하였다. 그러나 SPSS 이용한 일원배치 분산분석 결과는 항목별로 각각 P(유의확률) = 0.232, 0.306, 0.297, 0.227, 0.115 > 0.05(유의수준)으로 각층 간 중금속 농도는 토양층 깊이에 따른 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며, 추후 계속적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

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 단순하게 평가하기에는 어려움이 있다. 따라서 아래의 식과 같이 토양오염 기준치와 토양

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

Item	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni	Hg	Cr ⁺⁶	TPH	
Site	Criteria	2000	700	200	60	2000	500	20	40	2000
Dongbu (Inbound)		84	56	6.6	0.4	370	17.2	0.29	ND	152
Dongbu (Outbound)		101	73	7.0	0.5	442	27.2	0.07	ND	174
Gangbuk Riverside (Inbound)		73	70	6.0	0.5	615	24.8	0.04	ND	229
Gangbuk Riverside (Outbound)		123	75	7.5	0.5	503	29.2	0.09	ND	320
Gyeongbu (Inbound)		66	49	12.1	0.4	345	31.0	0.03	ND	162
Gyeongbu (Outbound)		100	67	24.2	0.7	501	31.5	0.05	ND	279
Gyeongin (Inbound)		134	87	8.2	0.5	514	35.4	0.12	ND	277
Gyeongin (Outbound)		103	71	7.3	0.4	435	31.0	0.09	ND	239
Olympic		85	40	8.6	0.3	299	36.7	0.04	ND	79
Seobu		167	103	7.8	0.5	521	43.4	0.05	2.9	296
Nambu		115	96	9.5	0.5	437	30.4	0.14	ND	323

Table 4. The accumulation of metals at the roadside, as measured from the background soil place in situ (mg/kg)

Item		Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Site	Period (quarter)						
Dongbu (Inbound)	1	24.9	10.2	4.3	0.3	94.5	23.5
	2	29.4	15.7	6.5	0.6	112.4	24.9
	3	29.7	15.0	6.6	0.3	108.0	23.1
	4	34.3	16.1	6.6	0.3	119.5	26.6
Dongbu (Outbound)	1	26.3	11.2	4.2	0.3	104.9	24.5
	2	29.9	16.3	6.8	0.6	120.5	27.1
	3	28.8	15.0	6.3	0.3	103.8	26.0
	4	45.4	27.3	6.3	0.4	180.8	27.0
Gangbuk Riverside (Inbound)	1	29.7	11.8	4.1	0.3	117.3	26.1
	2	31.1	15.9	5.5	0.6	121.4	24.9
	3	45.7	22.4	6.3	0.2	102.2	18.2
	4	58.7	20.4	7.6	0.3	167.2	31.8
Gangbuk Riverside (Outbound)	1	29.9	12.6	4.1	0.3	109.9	31.6
	2	46.8	17.9	5.8	0.6	134.9	25.8
	3	29.7	16.0	6.3	0.3	117.1	24.2
	4	40.8	17.1	6.5	0.3	130.5	27.8
Gyeongbu (Inbound)	1	26.9	10.9	3.7	0.3	101.9	25.1
	2	30.0	14.6	6.1	0.5	115.0	25.1
	3	28.5	16.3	6.8	0.3	106.2	24.0
	4	64.5	25.3	6.6	0.8	101.1	25.3
Gyeongbu (Outbound)	1	29.1	11.4	3.8	0.3	101.1	22.8
	2	31.0	14.8	6.7	0.5	114.3	25.7
	3	42.9	17.1	7.1	0.3	136.4	24.8
	4	40.7	17.2	6.6	0.3	139.3	27.8
Gyeongin (Inbound)	1	30.1	11.5	4.7	0.3	117.5	35.9
	2	29.8	15.5	6.1	0.7	117.7	23.3
	3	31.6	16.9	6.3	0.3	120.9	26.0
	4	38.0	16.5	6.2	0.3	128.4	26.3
Gyeongin (Outbound)	1	28.4	11.9	4.2	0.3	104.7	28.1
	2	33.3	16.4	6.3	0.7	130.0	25.2
	3	30.9	16.2	7.1	0.3	110.8	25.7
	4	32.5	16.4	6.6	0.5	127.2	27.5
Olympic	1	28.5	10.8	4.1	0.3	104.7	27.5
	2	33.9	16.6	8.1	0.8	131.2	25.3
	3	29.5	14.3	6.6	0.3	101.3	30.8
	4	42.3	15.9	6.6	0.3	127.7	26.3
Seobu	1	33.3	12.7	4.2	0.3	129.7	28.2
	2	59.6	27.4	8.7	0.8	282.1	29.6
	3	35.8	15.6	6.1	0.3	127.9	24.1
	4	46.2	20.9	6.9	0.3	177.6	26.4
Nambu	1	27.8	10.8	4.3	0.3	102.0	24.4
	2	34.6	16.9	5.8	0.8	129.4	24.9
	3	29.8	14.8	6.9	0.3	108.2	30.9
	4	39.8	17.0	6.8	0.3	135.4	37.2

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.

본 연구에서 간선도로변 토양에 함유된 유해 중금속 성분의 오염정도를 평가하기 위해 토양오염 우려기준(3지역 : 도로용지)을 적용한 오염지수를 산출하였다. 간선도로변 토양의 평균 오염지수는 0.077로 1.0 미만 보다 훨씬 낮아 토양 오염정도가 낮은 것으로 판단된다. 각 도로변 오염지수는 그림 2에서와 같이 서부 > 경부하행 > 경인 상행 > 남부순환 > 강변북로 하행 > 강변북로상행 > 경인하행 > 동부하행 > 경부상행 > 동부상행 > 올림픽도로 순이었다. 오염지수는 서부간선도로가 가장 높게 나왔는데 시료채취 위치가 중앙분리대

화분토양이었으며, 상·하행선 모두 영향을 받는 지점이라고 판단된다. 또한 표 1의 교통량과 평균 속도를 비교할 때 다른 지역보다 정체되어 오염물질 배출의 증가가 원인인 것으로 사료된다.

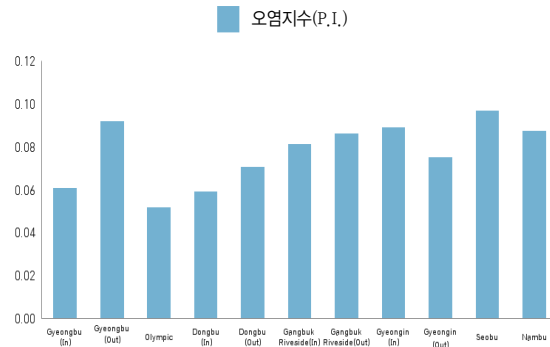


Fig. 2. Pollution Index of the roadside soils in Seoul.

$$\text{오염지수(P.I.)} = \frac{\frac{\text{Cu농도}}{\text{Cu기준}} + \frac{\text{Pb농도}}{\text{Pb기준}} + \frac{\text{As농도}}{\text{As기준}} + \frac{\text{Cd농도}}{\text{Cd기준}} + \frac{\text{Zn농도}}{\text{Zn기준}} + \frac{\text{Ni농도}}{\text{Ni기준}}}{N} \quad N : \text{metal items}$$

Table 5. Regression equation of accumulated heavy metals in background soil at the roadside

Site \ Item	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Dongbu (Inbound)	2.85X+22.5	1.7X+10	0.7X+4.3	-0.03X+0.5	7.06X+92.0	0.75X+22.7
Dongbu (Outbound)	5.62X+18.6	4.7X+5.7	0.58X+4.5	0.4	21.1X+74.8	0.64X+24.6
Gangbuk Riverside (Inbound)	10.16X+15.9	3.23X+9.6	1.13X+3.1	-0.04X+0.5	13.05X+94.4	1.04X+22.7
Gangbuk Riverside (Outbound)	1.56X+32.9	1.16X+13	0.77X+3.8	-0.03X+0.5	4.4X+112.1	-1.3X+30.6
Gyeongbu (Inbound)	11.13X+9.7	4.49X+5.6	0.94X+3.5	0.13X+0.2	-1.12X+108.9	-0.05X+25
Gyeongbu (Outbound)	4.67X+24.3	1.97X+10.2	0.88X+3.9	-0.02X+0.4	13.67X+88.6	1.14X+21.8
Gyeongin (Inbound)	2.55X+26	1.64X+11	0.47X+4.7	-0.04X+0.5	3.59X+112.2	-2.61X+34.4
Gyeongin (Outbound)	0.99X+28.8	1.33X+11.9	0.8X+4.1	0.02X+0.4	4.83X+106.1	-0.13X+27.0
Olympic	3.7X+24.3	1.3X+11.15	0.6X+4.9	-0.05X+0.6	3.91X+106.5	0.19X+27
Seebu	1.49X+40	1.28X+16	0.55X+5.1	-0.05X+0.6	-1.05X+181.95	-1.09X+29.8
Nambu	3.12X+25.2	1.65X+10.8	0.86X+3.8	-0.05X+0.6	7.9X+99.0	4.44X+18.3

X : Period(quarter)

Table 6. Correlation of heavy metals in roadside soils

Sample	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni	Hg	TPH	
	Cu	1	0.830**	-0.099	0.308	0.393	0.633	-0.004	0.663*
	Pb		1	-0.133	0.483	0.636*	0.261	0.034	0.839**
	As			1	0.652**	0.002	0.146	-0.268	0.167
Surrounding Soil	Cd				1	0.669*	-0.037	-0.152	0.673*
	Zn					1	-0.059	-0.206	0.698*
	Ni						1	-0.612*	0.238
	Hg							1	-0.023
	TPH								1

* 상관계수 0.05 수준에서 유의 ** 상관계수 0.01 수준에서 유의

Table 7. The concentration of heavy metals according to the depth (mg/kg)

Item		Cu	Pb	As	Cd	Zn	Ni
Site	Depth						
Dongbu(Inbound)	U · L	40.0	18.1	6.2	0.3	120.2	26.0
	M · L	29.7	15.0	6.6	0.3	108.0	23.1
Dongbu(Outbound)	U · L	30.8	17.3	6.5	0.3	121.4	25.3
	M · L	28.8	15.0	6.3	0.3	103.8	26.0
Gangbuk Riverside(Inbound))	U · L	44.3	15.2	7.3	0.3	130.8	27.3
	M · L	45.7	22.4	6.3	0.2	102.2	18.2
Gangbuk Riverside(Outbound)	U · L	91.0	36.4	7.5	0.4	277.6	25.9
	M · L	29.7	16.0	6.3	0.3	117.1	24.2
Gyeongbu(Inbound)	U · L	33.9	14.9	6.0	0.3	115.9	26.2
	M · L	28.5	16.3	6.8	0.3	106.2	24.0
Gyeongbu(Outbound)	U · L	42.1	21.7	5.8	0.3	156.4	23.7
	M · L	42.9	17.1	7.1	0.3	136.4	24.8
Gyeongin(Inbound)	U · L	49.5	21.7	6.7	0.3	182.4	26.8
	M · L	31.6	16.9	6.3	0.3	120.9	26.0
Gyeongin(Outbound)	U · L	39.1	20.4	5.9	0.3	158.9	22.3
	M · L	30.9	16.2	7.1	0.3	110.8	25.7
Olympic	U · L	52.1	17.5	6.9	0.3	139.2	24.3
	M · L	29.5	14.3	6.6	0.3	101.3	30.8
Seobu	U · L	70.8	28.6	7.1	0.4	261.2	30.9
	M · L	35.8	15.6	6.1	0.3	127.9	24.1
Nambu	U · L	40.7	18.9	5.8	0.3	133.7	23.3
	M · L	29.8	14.8	6.9	0.3	108.2	30.9

U · L : Upper Layer, M · L : Mixed Layer

결 론

서울시 주요간선도로를 중심으로 도로변 토양과 인위적으로 설치한 배경토양에 대한 차량발생 유해 중금속 등의 분포특성을 조사한 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 간선도로 주변 토양의 중금속 함량시험 결과는 Cu, Pb, Ni, Cr⁺⁶은 서부간선도로가 가장 높았으며, As와 Cd은 경부고속도로 하행선에서, Zn은 강변북로 상행선에서, TPH는 남부순환도로에서 가장 높았다.
2. 간선도로변에 인위적으로 배경토양을 설치 후 분기별 간격으로 4차에 걸쳐 배경토양을 회수한 시료에 대한 일원배치 분산 분석 한 결과 유의확률은 Ni를 제외한 Cu, Pb, As, Cd, Zn에서 유의수준 0.05보다 작아 시간에 따른 중금속 농도가 유의한 차이가 있는 것으로 판단되었다.
3. 간선도로변 인위적인 배경토양에서 시간에 따른 차량 발생 오염 중금속 물질의 축적 농도를 회귀분석 후 그 식을 나타낸 바, 계수와 상수에 대한 통계학적으로 유의한 지점과 중금속은 동부간선 상행선의 Cu, 강변북로 상·하행선과 남부순환도로의 As, 경부고속도로하행선과 경인고속도로상행선의 Zn, 남부순환도로의 Ni이었다.
4. 간선도로변 주변 토양은 Cu과 Pb, Cu과 TPH, Pb과 Zn, Pb과 TPH, As와 Cd, Zn과 TPH, Ni과 Hg 등이 상관성이 높았다.
5. 간선도로 주변 토양의 평균 오염지수는 0.077로 1.0 미만 보다 훨씬 낮아 토양 오염정도가 낮은 것으로 판단된다. 각 도로변 오염지수는 서부 > 남부순환 > 강변북로 > 경인고속도로 > 경부고속도로 > 동부간선도로 > 올림픽도로 순이었다.

참고문헌

1. Kwon, JH et al. : Introduction to the latest environmental science, Donghwae Technology Publishing Co. p.206, 2007.
2. Lee, BK and Koh, IH : Analysis on Heavy Metal Contamination in Soils of the Ulsan Area, J. of KSEE, 25(11): 1436~1447, 2003.
3. Yeul-Ahn : Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 40(2):13~17, 1998.
4. Lee, JG et al. : Long-term Characteristics of Heavy Metal Contamination in Highway Roadside Soil and Sediment, Korean Society of Environmental Engineers, p.1434~1436, 2004.
5. Bowen, HJM : Trace elements in biochemistry, Academic Press, 1986.
6. Youm, SJ et al. : Heavy Metal Contamination in Roadside Sediments within the Watershed of the Hoidong Reservoir in Busan City, Economic and environmental geology, 38(3):247~260, 2005.
7. Lee, JG, Kwang, HJ and Kwon, H : Investigation of Air pollution and Soil contamination in Highway, Korea Expressway corporation Research Report, p.1~87, 2001.
8. Lee, JG : Long-term Characteristics of Heavy Metal Contamination in Highway Roadside Soil and Sediment, Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 8(2):385~394, 2007.
9. Cho, KS : Characteristics of Heavy Metal Pollution in Contaminated Roadside Sediments in Jeonju City, Korea, Journal of Korean Earth Science Society, 24(8):711~720, 2003.

10. Ministry of Environment : Soil Environment Conversation Act, 2009.
11. Ministry of Environment : Official Test Soil Pollution Standard, 2009.
12. Ales Plesnicar and Nina Zupancic : Heavy metal contamination of roadside soil along Ljubljana-Obrezje highway, RMZ-Materials and Geoenvironment, 52(2): 403~418, 2005.
13. Min, DK and Jang, MB : A Study on the Integrated Soil Pollution Assessment, J. Korea Society of Environmental Administration, 6:9~15, 2000.
14. Song, HB and Lee, EY : Trace Elements and Source Assessment of Street Dust in Daegu, Korea, Korean Society of Environmental Engineers, p.793~800, 2007.
15. Korea Society of Soil and Groundwater Environment : Soil Environmental Engineering, Hyangmoonsa, p.73, 2005.
16. Choi, SM et al. : Ecological Toxicity Assesment Roadside Sediments chemical analysis and toxicity tests in Seoul City, Korea, Korean Society of Water & Wastewater, p.1056~1064, 2006.