

서울시 山林土壤內 重金屬 分布<sup>1\*</sup>  
金椿埴<sup>2</sup> · 柳鼎煥<sup>2</sup> · 邊載京<sup>2</sup> · 鄭鎮炫<sup>2</sup> · 李鳳洙<sup>2</sup>

Distribution of Heavy Metals within Forest Soils in Seoul<sup>1\*</sup>

Choonsig Kim<sup>2</sup>, Jung-Hwan Yoo<sup>2</sup>, Jae-Kyoung Byun<sup>2</sup>,  
Jin-Heon Jeong<sup>2</sup> and Bong-Soo Lee<sup>2</sup>

要 約

서울시 외곽에 위치한 수락산과 불암산, 시 중심부에 위치한 북악산과 인왕산을 대상으로 토양내 중금속함량을 조사한 결과 A층의 경우 납 9.09mg/kg, 아연 4.39mg/kg, 구리 1.67mg/kg, 카드뮴 0.03mg/kg, B층의 경우 납 5.74mg/kg, 아연 2.18mg/kg, 구리 0.55mg/kg, 카드뮴 0.01mg/kg의 순으로 A층이 B층에 비해 높은 함량을 보이고 있으며 두 층위의 중금속 분포 순서는 동일한 것으로 나타났다. 조사된 중금속사이에 상관관계를 분석한 결과 두 층위 모두 중금속들 사이에 밀접한 상관관계( $r=0.39\sim0.83$ ,  $p<0.01$ )가 있으며, 토양특성과 중금속과의 상관관계의 경우 A층은 토양유기물과 아연, 납, 구리함량 사이에 정의 상관관계( $r=0.41\sim0.55$ ,  $p<0.01$ ), 토양 pH와 납, 구리 사이에는 부의 상관관계( $r=-0.53\sim-0.59$ ,  $p<0.01$ )가 있었다. 서울시 산림토양내 중금속함량은 도시 외곽부보다는 도시 중심부에 위치한 산에서 높게 나타났다.

ABSTRACT

Distribution of heavy metal (Zn, Pb, Cu, Cd) concentrations within forest soils was investigated in Mts. Surak and Bulam around the outskirts area, and Mts. Bukak and Inwang around the downtown area of Seoul. Metal concentrations in these soils were higher in the A horizons than in the B horizons. The mean concentrations of Zn, Pb, Cu, and Cd in the A horizons were 4.39 mg/kg, 9.09 mg/kg, 1.67 mg/kg, and 0.03 mg/kg, respectively. The concentrations in the B horizons were 2.18 mg/kg in Zn, 5.74 mg/kg in Pb, 0.55 mg/kg in Cu, and 0.01 mg/kg in Cd, respectively. With positive correlation among the metal concentrations, Zn, Pb, and Cu concentrations in the A horizon were positively correlated with soil organic matter contents ( $r=0.39\sim0.83$ ,  $p<0.01$ ), while Pb and Cu concentrations were negatively correlated with soil pH ( $r=-0.53\sim-0.59$ ,  $p<0.01$ ). The results suggest that the metals in forest soils have accumulated more in the downtown than in the outskirts areas.

*Key words* : forest soils, heavy metal, urban forest, urban soils

緒 論

최근 도시화·산업화의 발달과 함께 대기로부터 산림내 환경오염물질의 유입이 증가하고 있으며(Nriagu, 1991), 질소산화물, 황산화물, 여러가

지 중금속의 산림내 직접적인 유입은 산림생태계 내 영향을 미쳐 산림토양의 산성화나, 토양내 부존된 여러가지 중금속의 용해도를 증가시켜 토양내 가용성 중금속함량의 증가를 초래하게 되고 결과적으로 산림 식생에 영향을 미치게 된다. 토

<sup>1</sup> 接受 1998年 12月 21日 Received on December 21, 1998.

<sup>2</sup> 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea.

\* 본 연구는 서울시 지원에 의한 서울시 산림생태계조사 용역 과제 중의 일부임

양내 존재하는 여러가지 중금속중 아연이나 구리 등은 식물생육에 필수적인 미량원소이지만 과도한 농도일 경우 식물생장에 나쁜 영향을 일으킬 수 있다. 또한 납이나 카드뮴은 식물생육의 영양원소가 아니며, 이들의 과다 집적은 동물이나 식물에 독성반응을 일으킬 수 있어 이들 4원소는 유럽공동체에 의해 식물이나 동물에 유해한 중금속으로 인정되고 있다(Wild, 1993). 토양내 중금속함량의 증가와 함께 산림의 쇠퇴나 식물생육에 감소 등은 폐광지 등과 같은 일부 지역에서 발생할 가능성이 있지만(한심희 등, 1998), 도시지역 또한 여러가지 중금속의 유입으로부터 문제를 발생할 가능성이 있다(Pouyat 등, 1995).

국내에서 토양내 중금속함량에 대한 연구는 주로 폐광지나(한심희 등, 1998), 고속도로주변(Lee와 Kim, 1995) 등에 대하여 실시되었고, 경작지인 논(김복영 등, 1995), 밭(김복영 등, 1990) 토양의 자연 부존량에 대한 조사가 실시된 바 있으나 서울시와 같은 대도시 지역에서의 조사는 미비한 실정이며 어느 정도의 수준인지도 알려져 있지 않다.

본 연구는 서울시 동부의곽에 위치한 수락산과 불암산, 시중심부에 위치한 북악산, 인왕산을 대상으로 산림토양내 중금속함량을 조사하고 외곽지역과 중심지역간의 차이가 있는지와 현재 산림토양내 중금속이 어느 정도 수준인지를 알아보기 위해 실시하였다.

### 材料 및 方法

본 연구를 위한 조사지역은 서울시 동부의곽에 위치한 수락산과 불암산, 비교적 서울시내 중심부에 위치한 북악산, 인왕산을 대상으로 하였다. 토양내 중금속함량은 모재에 대한 영향이 크기 때문에 지역간의 차이를 알기 위해서는 동일한 모재로부터 생성된 토양이 선정되어야 하며, 조사지역들은 흑운모화강암의 동일한 모재로부터 생

성된 토양으로서 조립질의 모래성분이 많고 모래함량이 60% 이상의 사양토나 양질사토가 주로 분포하고 있다. 식생은 사방공사동안 식재된 리기다소나무나 아카시나무가 주를 이루며, 산정부는 소나무림, 계곡부는 참나무류나, 팔배나무 등이 우점종이다.

조사는 98년 4월부터 10월까지 실시되었으며 각 산별로 유사한 입지환경과 인위적 교란이 심하지 않은 지점을 선정하고 산림입지조사요령(산림청, 1995)에 의거 입지환경 및 토양단면을 조사하였다. 각 층위별 토양시료는 유기물층(organic layer)을 제거한 후 광물질 토층을 A층과 B층으로 구별하고 각 층위별로 임의로 4~5지점을 선정 한 후 중금속분석용 시료 0.5~1kg을 채취하였다. 토양시료는 실내에서 음건한 후 2mm 체를 통과한 시료를 사용하였으며 토양시료 10g에 0.1N-HCl 50ml를 첨가하여 1시간 동안 진탕한 후 No. 5B 여과지로 여과한 후 그여액을 ICP(Jobin Yvon, JY24 + Image Analyzer)를 이용하여 분석하였다.

자료분석은 조사된 4개산의 중금속함량을 비교하기 위하여 SAS 통계프로그램의 GLM을 이용하였으며, 평균간 차이는 Tukey방법을 이용하였고 토성, 유기물, pH 같은 토양특성과 중금속들과의 상관관계도 조사하였다.

### 結果 및 考察

서울시 산림지역의 평균 중금속함량은 A층의 경우 납이 9.09mg/kg으로 가장 높은 함량을 보이고 있으며 아연, 구리, 카드뮴 순으로 나타났다(Table 1). B층의 경우도 동일한 순서를 보이고 있으며 A층이 B층에 비해 1.5배 이상 높은 함량을 보이고 있어서 토양내 중금속은 A층에 보다 더 많이 집적되어 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 일반적으로 중금속은 토양내에서 이동이 어렵기 때문에(Friedland, 1991) 여러가지 오염물질로부터 유입된 중금속이 A층에 더 많이 집

**Table 1.** Mean heavy metal concentrations within forest soils in Seoul.

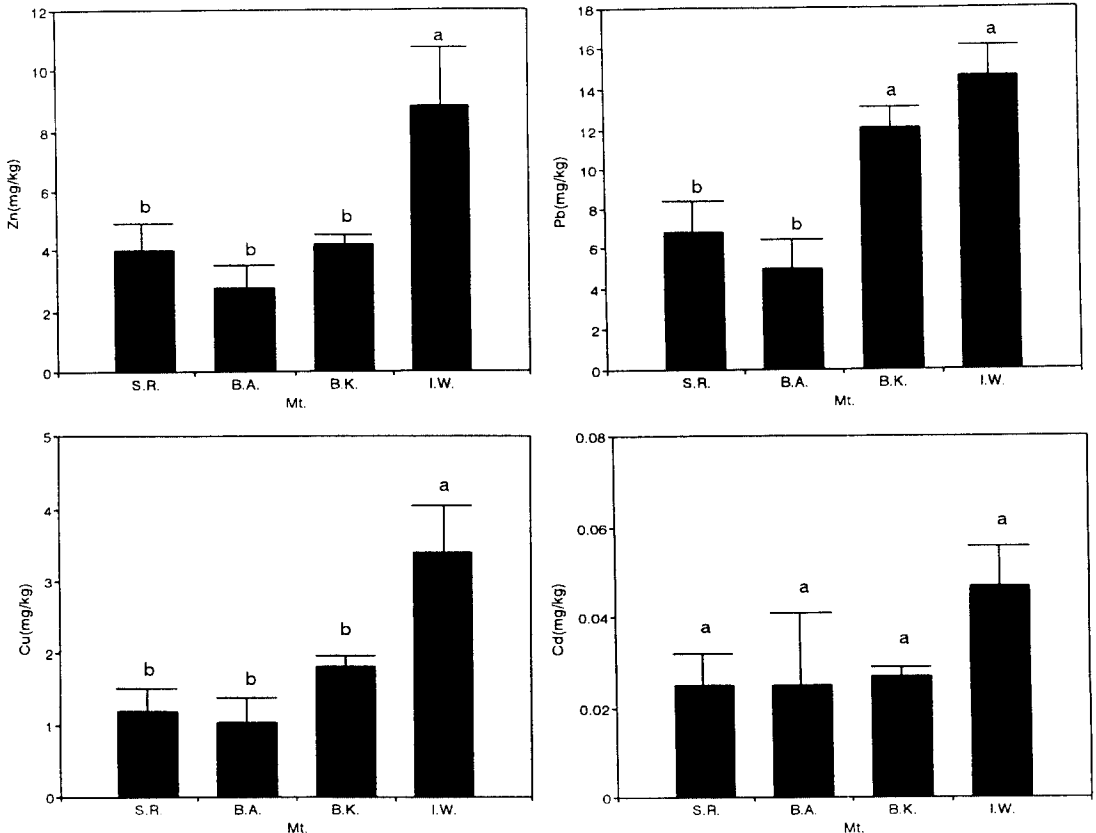
Horizon	No. of sample	Zn				Pb				Cu				Cd			
		(mg/kg)				(mg/kg)				(mg/kg)				(mg/kg)			
A	43	4.39/0.32-15.8*				9.09/0.50-21.0				1.67/0.05-6.45				0.03/0-0.195			
B	38	2.18/0.08-6.05				5.74/0.41-18.05				0.55/0.02-1.26				0.01/0-0.065			

\* mean/minimun-maximum

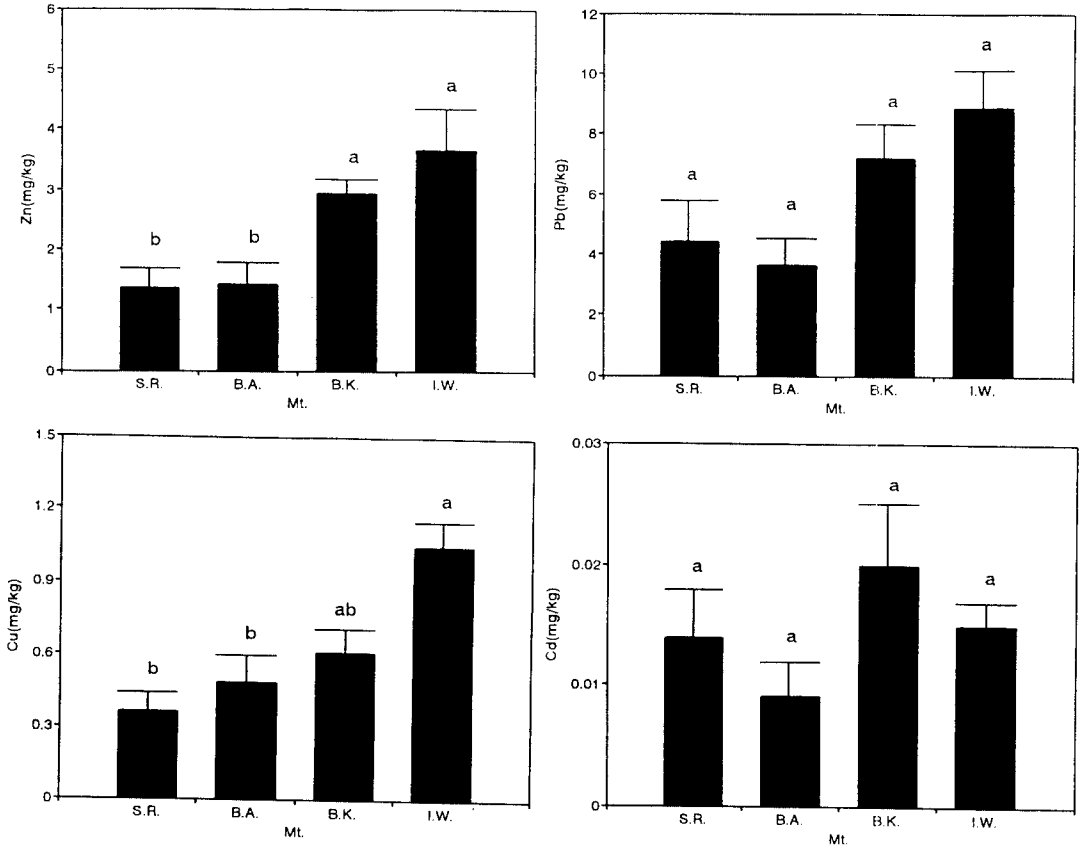
적되어 있는 것으로 판단된다. 서울시 산림토양 내 중금속함량은 국내에서 조사된 산림지역의 중금속함량 카드뮴 0.13mg/kg, 납 2.59mg/kg, 구리 5.44mg/kg(환경부, 1997)이나, 논 토양 15cm 깊이내 중금속함량 납 4.62mg/kg, 구리 4.52mg/kg, 아연 3.90mg/kg, 카드뮴 0.133mg/kg(김복영 등, 1995)에 비하면 납은 높은 반면에 카드뮴과 구리 등은 낮은 함량을 보이고 있다. 그러나 전지역이 토양오염 우려기준인 카드뮴 1.5mg/kg, 납 100mg/kg, 구리 50mg/kg(Wild, 1993)에 훨씬 미치지 않아 서울시 산림토양의 광물질 토층내 중금속함량은 아직까지 우려할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다. 그러나 납의 경우 일반 산림지역에 비해 높은 것으로 나타나고 있으며, 이는 도시지역에서 일반적으로 나타나는 특성으로 최근에는 자동차연료로 무연휘발유를 사용하고 있지만 우리나라의 경우 87년이전까지만 해도

자동차가 납을 함유한 연료를 사용하였으며(이동수 등, 1994) 납은 토양내에서 이동성이 거의 없고 식생에 의한 흡수도 거의 되지 않아(Verry와 Vermette, 1991), 현재 많은 양이 토양내 집적되어 있는 것으로 판단된다. 서울시 지역의 카드뮴과 구리함량이 산림토양이나 경작지에 비해 낮은 것은 모재의 차이나 토양형 등의 차이 때문일 수 있다.

조사된 4개산의 토양내 A층의 중금속함량은 일반적으로 시 중심부에 위치한 인왕산이나 북악산이 시외곽에 위치한 수락산이나 불암산에 비해 높은 함량을 보이고 있다(Fig. 1). 특히 인왕산의 경우 아연, 납, 구리 등이 타 지역에 비해 유의적으로 높은 함량을 보이고 있어서 이들 4개산이 거의 동일한 모재로부터 생성되고 식생이나 토양발달정도가 뚜렷한 차이가 없기 때문에 인왕산이나 북악산 지역의 산림토양내 중금속의 높은



**Fig. 1.** Metal concentrations within A horizons of forest soils. Mt : Surak(S.R.); Bulam(B.A.); Bukak(B.K.); Inwang(I.W.). Mean and 1 SE are presented. Different letters within each heavy metal represent significantly different means ( $p=0.05$ ).



**Fig. 2.** Metal concentrations within B horizons of forest soils.  
 Mt : Surak(S.R.); Bulam(B.A.); Bukak(B.K.); Inwang(I.W.). Mean and 1 SE are presented.  
 Different letters within each heavy metal represent significantly different means ( $p=0.05$ ).

함량은 시중심부와 시외곽 같은 장소적인 차이에 기인할 가능성이 있다. B층의 중금속함량 경우도 일반적으로 인왕산이나 북악산이 수락산이나 불암산에 비해 높은 함량을 보이고 있으며 아연과 구리가 가장 뚜렷한 차이를 보이고 있다(Fig. 2). Pouyat 등(1995)도 유사한 결과를 보고하고 있으며 도시와 농촌사이에 구리와 납 등은 2.5~4배 정도 도시지역이 농촌지역에 비해 높게 나타나며 이는 인구밀도, 교통량, 도로점유율 등과 밀접한 상관관계가 있음을 발견하였다.

토양 pH, 유기물, 토양입경분포 등의 토양특성과 조사된 중금속함량 사이에 상관관계를 분석한 결과 두 층위 모두 중금속들 사이에는 정의 상관관계가 있는 것으로( $p<0.05$ ) 나타나고 있다. 이는 토양내 중금속함량이 각각 독립적으로 존재하는 것이 아니라 여러가지 중금속이 상호 작용을 하여 하나의 중금속함량 높으면 다른 중금속함량

도 증가하는 경향을 보이게 될 것을 시사한다. 또한 A층 중금속함량 사이에 상관계수가 B층에 비해 높게 나타나 A층이 여러가지 오염에 의해 보다 더 많은 영향을 받고 있는 형태를 보여주고 있다. 토양성질과 중금속함량의 경우 토양 pH는 A층, B층 모두 조사된 중금속함량과 부의 상관을 보이고 있으며 특히 납과 구리는 두 층위 모두에서 유의적인 상관관계가 있는 것으로 나타나 토양 pH의 저하 즉 토양산성화는 토양내 가용성 납이나 구리의 증가를 가져와 식생의 생육에 영향을 미칠 가능성을 시사한다. 또한 A층의 유기물함량과 조사된 중금속함량 사이에는 정의 상관관계가 있으며 이는 유기물함량이 증가할수록 중금속의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 일반적으로 유기물은 양이온 교환장소로서 중금속을 흡착하고 있는 장소이기 때문으로 판단된다. 다른 연구(Johnson과 Petras, 1998)도 산

**Table 2.** Correlation coefficients among metal concentrations and selected soil properties in A horizons (n=43).

	Zn	Pb	Cu	Cd	Sand	Silt	Clay	pH
Pb	0.6459 (0.0001)							
Cu	0.7886 (0.0001)	0.8287 (0.0001)						
Cd	0.7046 (0.0001)	0.4071 (0.007)	0.4487 (0.003)					
Sand	0.1001 (0.5205)	0.0245 (0.8760)	-0.0039 (0.9800)	0.0999 (0.5241)				
Silt	-0.1009 (0.5196)	-0.0100 (0.9492)	0.0150 (0.9240)	-0.0842 (0.5914)	-0.9823 (0.0001)			
Clay	-0.1242 (0.4274)	-0.0801 (0.6095)	-0.0705 (0.6534)	-0.1673 (0.2835)	-0.7463 (0.0001)	0.6193 (0.0001)		
pH	-0.2305 (0.1369)	-0.5904 (0.0001)	-0.5254 (0.0003)	-0.2813 (0.0676)	-0.0976 (0.5337)	0.0449 (0.7748)	0.2676 (0.0828)	
O.M.*	0.4368 (0.0034)	0.4119 (0.006)	0.5532 (0.0001)	0.1523 (0.3296)	-0.2123 (0.1716)	0.2567 (0.0965)	0.0236 (0.8805)	-0.2675 (0.0829)

Note : Probability is given in parenthesis.

\* O.M. : organic matter content

**Table 3.** Correlation coefficients among metal concentrations and selected soil properties in B horizons (n=38).

	Zn	Pb	Cu	Cd	Sand	Silt	Clay	pH
Pb	0.4745 (0.003)							
Cu	0.6994 (0.0001)	0.6154 (0.0001)						
Cd	0.4651 (0.003)	0.4369 (0.006)	0.3907 (0.0153)					
Sand	0.1598 (0.3380)	0.1602 (0.3368)	0.2128 (0.1996)	-0.28260 (0.0856)				
Silt	-0.0901 (0.5902)	-0.1785 (0.2837)	-0.1922 (0.2477)	0.3502 (0.0311)	-0.9503 (0.0001)			
Clay	-0.2471 (0.1347)	-0.0843 (0.6150)	-0.1784 (0.2840)	0.0075 (0.9643)	-0.7987 (0.0001)	0.5798 (0.0001)		
pH	-0.3779 (0.0193)	-0.4290 (0.007)	-0.4686 (0.0030)	-0.3776 (0.0194)	0.0484 (0.7731)	-0.1299 (0.4368)	0.1402 (0.4010)	
O.M.*	-0.2796 (0.0892)	-0.2987 (0.0686)	-0.2923 (0.0750)	-0.2415 (0.1441)	0.30521 (0.0625)	-0.1708 (0.3053)	-0.4365 (0.0061)	0.4123 (0.0101)

Note : Probability is given in parenthesis.

\* O.M. : organic matter content

림토양내 아연과 납은 유기물함량과 정의 상관관계, 토양 pH와는 부의 상관성이 있는 것으로 보고하고 있다. 토양의 입경분포중 점토함량과 중금속함량 사이에는 상당히 높은 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으나(Ma 등, 1997) 본 연구에서는 모래, 미사, 점토 등 어느 인자와도 중금속함량과는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 본 조사지역의 점토함량이 10%이하로서 매우 적으며 점토함량간의 차이도 크지 않아 뚜렷한 차이가 없는 것으로 사료된다.

## 結 論

서울시 외곽에 위치한 수락산, 불암산과 비교적 시 중심부에 위치한 북악산과 인왕산의 토양내 중금속함량을 조사한 결과 도시 외곽에 위치한 수락산과 불암산보다 도시 중심부에 위치한 인왕산이나 북악산의 중금속함량이 높게 나타났으며, 이들 지역간의 차이는 토양 pH나, 유기물함량, 중금속유입량의 차이때문으로 판단된다. 특히 토양내 중금속함량들 간에는 밀접한 상관관계가 있으며 토양유기물과 중금속함량 사이에는 유의적인 정의 상관관계, 토양 pH 사이에는 부의 상관관계가 있어 산림토양의 산성화는 토양내 중금속함량의 증가를 초래할 것으로 나타났다. 서울시 산림의 광물질 토층내에 들어 있는 중금속수준은 아직까지 우려할만한 수준은 아니나, 산림내 중금속이 주로 유기물층에 집적되고 킬레이트화 되기 때문에 앞으로의 연구는 유기물층의 발달이나 입분간의 차이 등에 따른 중금속함량에 대한 조사가 필요할 것으로 사료된다.

## 引用 文 獻

1. 김복영·소규호·김규식·조재규·조일환·우기대. 1990. 한국 밭 토양 및 곡물층의 중금속의 자연함유량에 관한 조사연구. 농시논문집 32 : 57-68.
2. 김복영·정병간·최정원·윤을수·최 선. 1995. 우리나라 논 토양중 중금속 자연함량. 한국토양비료학회지 28 : 295-300.
3. 산림청. 1995. 산림입지조사요령. 86pp.
4. 이동수·이용근·허주원·이상일·손동현·김만구. 1994. 서울 대기중 납농도의 연도별 변화. 한국대기보전학회지 10 : 170-174.
5. 한심희·현정오·이경준·조덕현. 1998. 아연 광산 주변 토양의 중금속(Cd, Cu, Zn, Pb) 오염에 따른 5개 수종의 부위별 중금속 축적. 한국임학회지 87 : 466-474.
6. 환경부. 1997. 환경통계연감. 534pp.
7. Friedland, A. 1991. The use of organic forest soils as indicators of atmospheric deposition of trace metals. Pages 97-104. in E.S. Verry and S.J. Vermette eds. The Deposition and Fate of Trace Metals in Our Environment. USDA Forest Service General Technical Report NC-150.
8. Johnson, C.E. and R.J. Petras. 1998. Distribution of zinc and lead fractions within a forest spodosol. Soil Sci. Soc. Am. J. 62 : 782-789.
9. Lee, I.S. and O.K. Kim. 1995. Influences of environmental pollutants on soil ecosystems -soil contaminations and microbial activity-. Korean J. Ecol. 18 : 285-293.
10. Nriagu, J.O. 1991. Worldwide contamination of the atmosphere with toxic metals. Pages 9-21. in E.S. Verry and S.J. Vermette eds. The Deposition and Fate of Trace Metals in Our Environment. USDA Forest Service General Technical Report NC-150.
11. Ma, L.Q., F. Tan and W.G. Harris. 1997. Concentrations and distribution of eleven metals in Florida soils. J. Environ. Qual. 26 : 769-775.
12. Pouyat, R.V., M.J. McDonnell and S.T.A. Pickett. 1995. Soil characteristics of oak stands along an urban-rural land-use gradient. J. Environ. Qual. 24 : 516-526.
13. Verry, E.S. and S.J. Vermette. 1991. The deposition and fate of trace metals in our environment : A summary. Pages 1-8. in E.S. Verry and S.J. Vermette eds. The Deposition and Fate of Trace Metals in Our Environment. USDA Forest Service General Technical Report NC-150.
14. Wild, A. 1993. Soils and the Environment : A Introduction. Cambridge University Press. 287pp.