

서울시 주요 도로변의 토양오염 조사 - I. 중랑구 망우로 주변 토양

김권래 · 류형주 · 정종배¹ · 김계훈*

서울시립대학교 환경원에학과, ¹대구대학교 생명과학부 농화학전공

(2001년 4월 10일 접수, 2001년 4월 21일 수리)

본 연구는 서울시 주요 도로변 토양의 물리적·화학적 특성, 중금속 및 음이온 함량 등의 자료를 구축할 목적으로 서울시 중랑구 망우로 주변 50지점을 선정하여 가로수 식수대 내의 표토, 심토의 시료를 채취하여 조사하였다. 조사결과 토성은 사양토와 양질사토가 주를 이루었다. 평균 토양 pH는 표토 7.53, 심토 7.54로 약알칼리성을 나타내었다. Ca 함량은 표토 6.02 cmol kg⁻¹, 심토는 5.68 cmol kg⁻¹로 다소 높은 수치를 나타냈다. 중금속 농도의 평균값은 토양환경보전법상의 우려기준을 초과하지는 않았으나 서울시 근교 도시림의 중금속함량 보다는 상당히 높은 값을 나타내었다. 그리고 일부 조사지점의 Cu 및 Pb의 농도가 토양환경보전법상의 우려기준을 초과하여 정밀조사 및 오염 확산 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 생각된다. Zn의 농도는 서울 근교 도시림의 Zn 농도에 비해 최고 80배가 넘는 수치를 나타내었다. 음이온의 농도는 Cl, NO₃, SO₄가 표토에서 각각 79.85, 286.80, 134.31 mg kg⁻¹로 서울근교 도시림의 평균 음이온 함량에 비해 상당히 높은 수치를 보였으나 그로 인한 토양 산성화의 경향은 보이지 않았다.

Key words: 중금속, 음이온, 우려기준

서 론

산업혁명 이후 대규모의 도시화가 진행됨에 따라 다양한 형태의 오염물질들이 인위적으로 생성·배출되었으며 이들은 물, 대기 등의 이동매체를 통해서 대기권, 수권, 토양권을 포함하는 지구화학적 환경으로 분산되고 있다.¹⁾ 특히 도시화가 급속히 진전되면서 자동차 수가 급격히 늘어 2000년 12월 현재 우리나라의 자동차 보유 대수는 11,939,082대로 1990년 말 3,394,803대에 비해서 약 3.5배 늘어났다. 그 결과 이들 자동차에서 배출되는 유해물질로 인한 대기오염 및 자연환경과 파괴 문제가 심각히 대두되고 있다. 특히 우리나라 대부분의 도시에서는 낮은 도로율, 과중한 교통량과 더불어 고층건물들이 도로변에 밀집해 있으므로 자동차에서 배출되는 오염 물질에 대한 심각성이 증가되고 있다. 이렇게 발생된 오염물질은 지표에 침적되어 직접, 간접적으로 토양의 물리·화학적 성질을 변화시키고 건축자재물과 반응하여 마모시킴으로써 건축산업에 피해를 입히며 동·식물의 성장과 인간의 건강 및 질병에 영향을 주고 있다.

따라서 1990년대 이후 대기오염과 토양오염과의 상관관계를 밝히는 연구가 활발히 진행되어 공단주변 산림의 산성화 및 중금속 오염에 관한 연구와 대도시 주변 도시림의 산성화 및 중금속 오염에 관한 연구가 비교적 많이 이루어져 있다. 그러나 우리나라에서는 실제로 인간이 밀집하여 생활하며 그 피해를 직접 받을 수 있는 도심 내부에 대한 조사는 부족한 실정이다. 이와 더불어 도심 내부는 인위적으로 발생된 대기 오염물

질의 직접적인 영향을 받고 있으며 도시림과는 다른 지리적, 지형적 특성을 가지므로 오염 진행의 특성이 도시림과 다를 것으로 생각되어 도심내부 토양 자체의 자료가 구축되어야 할 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구는 도심 내부 토양의 현재 오염정도와 앞으로 있을 오염에 대한 비교자료를 구축할 목적으로 도시화 및 산업화 정도를 나타내는 지수가 가장 높은²⁾ 서울시 전체를 조사 대상으로 정하였고 이중 중랑구에 위치한 망우로 주변 토양을 채취하여 토양의 이화학적 특성과 중금속 및 음이온의 농도를 측정하였다.

재료 및 방법

조사 지역. 서울시내 전체 25개의 구 중 중랑구를 선정하여 중랑구 내에서 가장 교통량이 많은 망우로 주변을 조사 대상으로 선정하였다(Fig. 1). 이 지역의 가로수는 1989년에 식재되었으며 1994~1998년 사이에 가로수 갱신 작업이 있었다.

시료 채취 및 전처리. 시료의 채취는 1999년 11월 17, 24, 26일 3일간에 걸쳐 실시하였으며 중랑교에서 망우리고개 방면으로 좌측의 원형과 말굽형의 식수대에서 표토(0~5 cm) 및 심토(20~50 cm) 각각 29점, 우측의 식수대에서 표토 및 심토를 각각 21점, 19점을 채취하였다. 채취한 시료는 음식에서 풍건한 후 No. 10(2mm)체를 통과한 시료를 분석에 이용하였다.

분석 방법. 토양의 pH는 풍건토양 5g을 50 ml 비이커에 취하여 증류수 25 ml를 가하고 유리막대로 저어주면서 1시간 방치한 후 pH meter로 측정하였다.³⁾

토양의 EC는 풍건토양 5g을 50 ml 비이커에 취하여 증류수 25 ml를 가하고 유리막대로 저어주면서 1시간 방치한 후 EC

*연락처

Phone: 82-2-2210-2605; Fax: 82-2-2214-4030

E-mail: johnkim@uoscc.uos.ac.kr

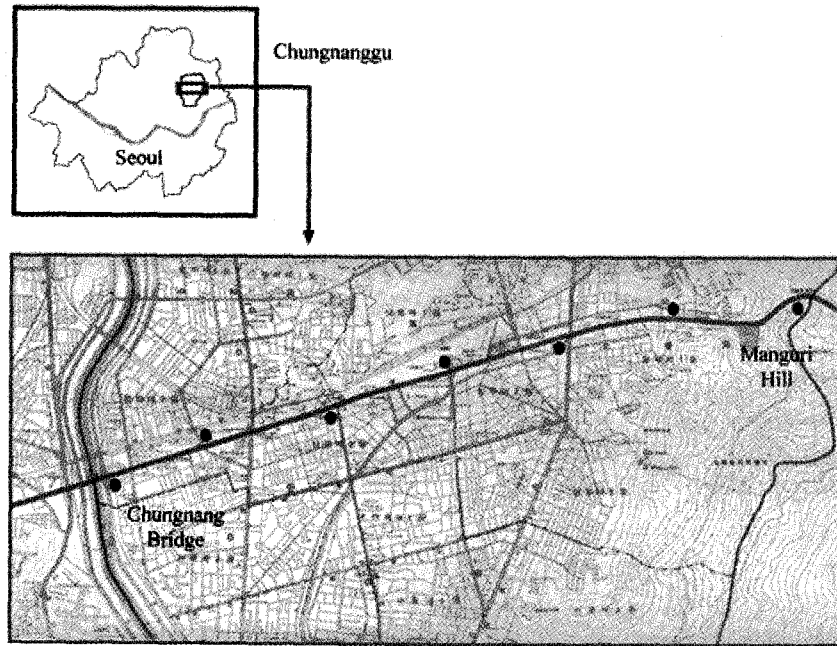


Fig. 1. Location of the sampling sites.

meter로 측정하였다.

유기물 함량은 Walkley-Black법⁴⁾에 따라 정량하였다. 유발로 분쇄시킨 풍건시료(50 mesh 체 통과) 0.5 g을 500 ml 삼각플라스크에 취하여 1 N $K_2Cr_2O_7$ 용액 10 ml를 가하고 토양이 기벽에 묻지 않도록 조심스럽게 흔들어 준 다음 진한 황산 20 ml를 가하고, 증류수 200 ml와 지시약(0.02 M *o*-phenanthroline-ferrous complex)을 2~3방울 가하였다. 그리고 남아 있는 1 N $K_2Cr_2O_7$ 을 0.5 N $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 로 역적정하여 유기물 함량을 계산하였다.

유효인산은 Bray No. 1 법⁵⁾에 따라 정량하였다. 풍건토양 2.85 g을 100 ml 삼각플라스크에 취하여 침출액(0.025 N HCl + 0.03 N NH_4F) 20 ml를 가하고 1분간 흔든 다음 여과하였다. 50 ml volumetric flask에 여액 5 ml와 발색시약(Ammonium molybdate, H_2SO_4 , Antimony potassium tartarate + Ascorbic acid) 6 ml를 첨가하여 증류수로 표선까지 채웠다. 이 용액의 일부를 측정용기(cell)에 옮겨서 분광광도계(UV-160A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 파장 880 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준용액의 인산함량(0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 ppm)에 따른 흡광도 또한 시료액의 조작과정과 똑같은 과정을 거쳐 측정하고 표준곡선을 작성하였다. 이 표준곡선으로부터 유효인산의 함량을 측정하였다.

양이온 치환용량은 1 N 초산 암모니아법⁶⁾에 따라 구하였다. 침출관(column)은 하부에 여과지(Whatman No. 2)를 깔고, 풍건 토양 5 g을 취하여 분석 세트에 연결시켰다. 침출관 상부에 설치된 침출액병에 1 N CH_3COONH_4 (pH = 7.0) 용액을 50 ml 넣고, 12시간 정치한 후 침출관으로 방울방울 떨어지게 하여 침출관내 토양을 NH_4^+ 로 포화시켰다. 침출이 끝나면 ethyl alcohol로 포화된 NH_4^+ 를 세척하고, 1 N KCl을 넣고 다시 침출시켰다. 증류는 Kjeldahl 플라스크에 침출액 20 ml와 MgO 5 g을 첨가하여 실시하였다. 증류된 액은 250 ml 삼각플라스크

에 2% 붕산용액 5 ml를 넣고 냉각관에 연결한 후 0.005 N H_2SO_4 로 적정하였다. 증류수로 바탕시험 후 다음의 계산식을 이용하여 양이온치환용량을 구하였다.

$$(\text{cmol kg}^{-1}) = \frac{(T-B)H_2SO_4 \text{ 규정농도}(0.01)}{(\text{취한 토양의 } g\text{수})} \times 100$$

여기에서 T와 B는 본시험과 바탕시험의 적정에 소비된 0.005 N H_2SO_4 의 양(ml)이다.

치환성 양이온 함량은 1 N 초산 암모니아법에 따라 구하였다. 침출관의 하부에 여과지(Whatman No. 2)를 깔고, 풍건 토양 5 g을 취하여 양이온 치환용량 분석 세트에 연결시켰다. 침출관 상부에 설치된 침출액병에 1 N CH_3COONH_4 (pH = 7.0) 용액을 50 ml 넣고, 12시간 후 침출관으로 방울방울 떨어지게 하여 침출관내 토양을 NH_4^+ 로 포화시켜 침출하였다. 침출액의 양이온 함량을 원자흡광광도계(AA-6800, Shimadzu, Japan)로 측정하였다.⁷⁾

중금속 분석은 공정시험법을 따랐다.⁸⁾ 풍건토양 10 g을 250 ml 삼각플라스크에 취하고 0.1 N HCl용액 50 ml를 가하여 30°C의 왕복진탕기에서 1시간 진탕한 후 여과하였다. 그리고 여액 중 중금속 함량을 원자흡광광도계로 측정하였다.

입경분석은 micro-pipette법⁹⁾을 이용하였다. 풍건토양 2 g을 50 ml centrifuge tube에 넣고 분산제(1 N NaOH + 5% SHMP) 40 ml를 가한 후 end-over-end shaker를 이용하여 50 rpm으로 12시간 진탕하였다. 진탕이 끝난 후 현탁액이 고루 섞이도록 흔들고 항온상태에서 정치시키고 Stokes의 법칙에 준하여 2 μm 이하의 입자가 침강하는데 걸리는 시간을 고려하여 micro pipet으로 2.5 cm 깊이에서 5초간에 걸쳐 2.5 ml의 현탁액을 취하였다(clay). 그리고 미리 무게를 달아놓은 weighing pan에 이 현탁액을 옮겨 105°C 건조기에서 건조 후 칭량하였다(0.1 mg 까지). No. 270(53 μm) 체를 이용하여 남은 시료를 증류수로 맑

은 물이 나올 때까지 세척한 후 미리 무게를 달아 놓은 weighing pan에 옮겨 105°C 건조기에서 건조한 후 칭량하였다 (sand). Silt는 실험에 사용한 토양무게에서 sand와 clay의 무게를 감하여 구하였다.

음이온 함량은 다음과 같이 분석하였다. 토양 20 g을 250 ml 삼각플라스크에 취하고, 초순수 40 ml를 가하고(1:2) 진탕기에 서 2시간 동안 진탕시켰다. 진탕한 시료는 Whatman No. 42로 여과하여 여액 중 음이온의 농도를 Ion Chromatography로 측정하였다.

결과 및 고찰

이화학적 특성. 조사지역 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다. 토성은 대부분 양질사토와 사양토로 이루어져 있었고 표토의 경우 양질사토가, 심토의 경우 사양토가 주를 이루었다. 토성이 이와 같이 조립질을 나타내는 것은 보도블럭 공사시 유입된 모래에 의한 것으로 생각된다.

표토의 pH는 6.32~8.48이었고 심토의 pH는 5.68~8.64이었다. 이 수치는 김과 황²⁾이 조사한 서울근교 도시 녹지 토양의 pH값 3.96~5.25보다 약 1.72~3.39 정도 높은 양상을 보였으며 김과 전¹⁰⁾이 서울시 도로 주변에 위치한 건물의 화단상부 토양(10 cm)을 채취하여 분석한 pH값 7.1~8.9(2:5)와 비슷한 양상을 보여주고 있다. 이 결과는 대부분의 도시림이 산성 강하물로 인하여 산성화가 가속화되고 있다는 많은 연구의 결과와는 달리 도심 내부의 도로 주변 토양에서 pH가 높게 나타났다.¹¹⁻¹³⁾ 이와 같이 도심내부 도로 주변 토양의 pH가 도시림 토양의 pH보다

높게 나타난 것은 제설용으로 살포되고 있는 CaCl₂나 산성우에 의해서 콘크리트로부터 용해되어 흘러나오는 알칼리 성분 때문인 것으로 생각된다. 양이온 치환 용량은 매우 낮으나 치환성 양이온의 함량이 높은 것은 동절기 제설용으로 살포되는 CaCl₂ 또는 산성비에 의해 콘크리트로부터 용해된 염기성 물질이 토양 입자에 흡착된 형태가 아닌 가용성 염 형태로 존재하는 것으로 볼 수 있다. 그리고 김 등은 대기 분진에는 염기성 물질이 함유되어 있고 이 물질들이 대기강하물질과 함께 토양에 유입되어 토양 pH에 영향을 미친다고 하였으며 서울 홍릉에서의 조사결과 K, Na, Ca, Mg가 각각 10.7, 7.7, 22.1, 2.3 kg ha⁻¹의 양으로 토양에 유입된다고 하였다.¹³⁾ 토양의 pH를 식물생육과 관련하여 볼 때 pH가 중성보다 높은 값을 나타내면 미량원소의 용해도가 떨어져 식물의 생육에는 이롭지 못하다. 특히 Fe, Mn, Zn, Cu 등이 결핍되기 쉬워진다.¹⁴⁾

본 조사지역의 유기물 함량은 표토 3.90%, 심토 1.69%로 우리나라 미경작 산림토양의 평균인 6.4%보다 낮은 수치를 보였으나 우리나라 밭토양 평균인 1.9%보다 높은 수준이었다. 유효인산의 함량은 표토, 심토 각각 78.78, 60.65 mg kg⁻¹로 우리나라 미경작지 산림토양의 평균 함량인 5.6 mg kg⁻¹의 약 12~14배 높은 수치를 나타내기는 하였으나 우리나라 밭토양 평균 함량인 216 mg kg⁻¹에 비하여 현저하게 낮으므로 균형 잡힌 수목의 성장을 위해서는 인산질 비료의 시용이 필요할 것으로 보인다. Mg의 함량은 우리나라 미경작 산림 토양의 평균보다 다소 낮은 수치를 보였으나 Ca, K의 함량은 우리나라 미경작 산림 토양의 평균보다 높은 값을 나타냈다. 특히 Ca의 수치가 높게 나타났는데, 이는 제설용 염화칼슘과 산성비에 의한 콘크리

Table 1. Physicochemical properties of the soils used in the study

Depth		Texture	pH	EC (mS cm ⁻¹)	O.M (%)	Avail.-P (mg kg ⁻¹)
Topsoil	Mean	LS	7.53	0.31	3.90	78.78
	Range		6.32~8.48	0.08~1.90	1.02~10.68	3.58~493.16
Subsoil	Mean	SL	7.54	0.11	1.69	60.65
	Range		5.68~8.64	0.04~0.32	0.41~3.67	2.18~339.79
Depth		CEC	Ca	Mg	K	Na
(cmol kg ⁻¹)						
Topsoil	Mean	6.04	6.02	0.48	1.06	0.47
	Range	3.50~11.30	3.34~9.87	0.18~1.33	0.51~3.03	0.13~1.00
Subsoil	Mean	7.58	5.68	0.52	0.93	0.47
	Range	4.70~14.60	2.36~15.22	0.12~1.54	0.40~2.44	0.10~1.05

Table 2. Concentrations of heavy metals in soils from the study area

Depth		Cd	Cu	Pb	Zn
		(mg kg ⁻¹)			
Topsoil	Mean	0.17 (0.03*)	23.83 (1.67)	20.63 (9.09)	162.74 (4.39)
	Range	0.02~0.56	0.51~52.46	0.57~352.54	15.90~332.96
Subsoil	Mean	0.08 (0.01)	12.80 (0.55)	13.69 (5.74)	39.36 (2.18)
	Range	0.00~0.48	2.90~48.95	1.33~143.53	3.52~206.98
Concern level**		1.5	50	100	-

*Value studied by Byun *et al.*¹⁵⁾ within forest soils in Seoul

**Value determined by the Ministry of Environment for agricultural land, residential area etc.

Table 3. Distribution of Cd concentration in soils the from study area

Range (mg kg ⁻¹)	Topsoil		Subsoil	
	Frequency	Average	Frequency	Average
0.00~0.10	11	0.07	36	0.05
0.11~0.20	29	0.15	9	0.13
0.21~0.30	6	0.25	2	0.22
0.31~0.40	2	0.33	-	-
0.41~0.50	-	-	1	0.48
0.51~0.60	2	0.55	-	-
Total	50	0.17	48	0.08

트 부식의 결과로 생각된다.

중금속 농도. 조사 지역의 중금속 농도를 Table 2에 나타냈다. Cd의 평균 농도는 표토 0.17 mg kg⁻¹, 심토 0.08 mg kg⁻¹으로 환경부에서 제정한 토양환경보전법상¹⁴⁾의 농업용지 및 주거지에 대한 우려기준인 1.5 mg kg⁻¹ 보다는 낮은 수치를 보였으나 번 등¹⁵⁾이 조사한 서울근교 도시림에서의 평균 농도인 표토 0.03 mg kg⁻¹, 심토 0.01 mg kg⁻¹에 비해 약 6~8배 정도 높은 수치를 나타냈다. Cu의 평균 농도는 표토, 심토 각각 23.83, 12.80 mg kg⁻¹로 토양환경보전법상의 우려기준인 50 mg kg⁻¹ 보다는 낮은 수치를 보였으나 서울근교 도시림에서의 평균농도 1.67, 0.55 mg kg⁻¹ 보다는 약 20배 정도 높은 수치를 보였다. Pb의 평균 농도는 표토는 20.36 mg kg⁻¹이고 심토는 13.69 mg kg⁻¹로 토양환경보전법상의 우려기준인 100 mg kg⁻¹ 보다는 낮은 수준이었으나 서울 근교 도시림에서의 평균농도인 9.09, 5.74 mg kg⁻¹에 비해 약 2~2.5배 높은 수준이었다. Zn의 평균 농도는 표토, 심토 각각 162.74, 39.36 mg kg⁻¹로 서울근교 도시림에서의 평균 농도인 4.39, 2.18 mg kg⁻¹보다 약 20~40배 정도 높은 수치를 나타냈다.

중금속 농도의 평균은 주거지 및 농경지를 대상으로 하는 우려기준의 수준에는 미치지 않아 우려할 수준은 아니었으나 서울근교 도시림의 평균과 비교했을 때 훨씬 높은 값을 보여 여러 가지 오염원에 의해 집중적인 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 각 조사지점별 중금속 농도의 분포 범위를 보면 Cu, Pb의 경우 토양환경보전법상의 우려기준을 초과하는 지점이 있어 이 지점에서는 보다 세부적인 조사가 필요할 것으로 보인다. 환경부에서는 토양오염 우려기준을 초과한 지역에 대해서는 더 이상 오염이 심화되는 것을 예방하기 위해 오염물질의 제거, 방지시설의 설치 및 오염물질의 사용 제한 등의 명령을 내리도록 하고 있다.¹⁶⁾

각 조사지점 중금속의 농도는 일정한 급간을 두어 그 분포 양상을 나타냈다(Table 3, 4, 5, 6).

Cd. Cd의 급간별 분포 양상은 Table 3과 같다. 도시환경에서의 Cd의 배출원은 자동차 타이어의 마모, 인산비료, 각종 장식산업, 그리고 산업용·가정용 쓰레기의 소각 등이며 영국 런던 북부의 쓰레기 소각장 주위에서는 골뚝으로부터 0.2 km 이내의 지표토양에서 Cd이 12배 정도 부하된 연구사례가 있다.¹⁷⁾ Cd의 급간별 분포 양상은 모든 조사지점에서 토양환경보전법상의 토양오염 우려기준을 넘지는 않았으나 표토의 78%가 서

Table 4. Distribution of Cu concentration in soils from the study area

Range (mg kg ⁻¹)	Topsoil		Subsoil	
	Frequency	Average	Frequency	Average
0.00~10.00	6	4.93	11	6.91
10.01~20.00	11	16.15	20	13.47
20.01~30.00	19	24.85	5	23.08
30.01~40.00	11	34.33	1	35.52
40.01~50.00	2	40.98	1	48.95
50.01~60.00	1	52.46	-	-
Total	50	23.83	48	12.80

Table 5. Distribution of Pb concentration in soils from the study area

Range (mg kg ⁻¹)	Topsoil		Subsoil	
	Frequency	Average	Frequency	Average
0.00~10.00	17	4.67	26	5.53
10.01~20.00	22	15.63	13	13.08
20.01~30.00	8	23.96	7	23.61
30.01~40.00	2	32.12	1	34.40
143.53	-	-	1	143.53
352.54	1	352.54	-	-
Total	50	20.63	48	13.69

울근교 도시림토양 Cd의 평균 함량인 0.03 mg kg⁻¹보다¹⁸⁾ 약 3배 이상을 나타내고 있어 Cd의 오염도가 심화되고 있는 것으로 판단되며 지속적인 관찰이 필요할 것으로 생각된다.

Cu. Cu의 급간 별 분포 양상은 Table 4에 나타냈다. Cu의 오염원은 채광 및 제련활동, 광금 및 제강 등의 금속산업 활동, 가정쓰레기의 소각, 비료나 살균제의 살포 등 이 있다. 또한 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 이용된 Cu는 도로 주행시 마찰 또는 마모되어 도로주변으로 배출됨으로써 환경을 오염시키는 것으로 연구 보고된 바 있다.¹⁹⁾ Cu의 급간별 분포 양상은 전체 평균이 토양환경보전법상의 우려기준의 약 1/2 수준이었으나 표토의 88%, 심토의 77%가 서울근교 도시림 표토의 Cu 평균함량 1.67 mg kg⁻¹의 약 6배 높은 수치를 보이고 있어 도심 내부의 오염원들과 대기 강하물질에 의해서 오염이 심화되고 있는 것으로 판단된다. 또한 조사대상 지점 중 한 지점에서의 Cu의 수치는 환경보전법상의 우려기준인 50 mg kg⁻¹을 넘는 수치를 보여 이 지점 일대에 대한 세부적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

Pb. Pb의 급간 별 분포 양상은 Table 5와 같다. Pb의 배출원은 다량의 Pb 산화물이 함유된 저장배터리, 페인트, 자동차의 옥탄가를 높이기 위해 휘발유에 첨가되는 TEL(tetra-ethyl lead), 건축산업에 이용되는 연관, 전기산업에서 많이 이용되는 뿔납, 그리고 석탄 연소 등으로 아주 다양한 곳에서 배출된다.²⁰⁾ 그 중에서 자동차 연료 및 석탄 연소 시 대기 중에 배출되는 양이 주를 이루는데 우리나라에서는 1993년부터 유연회발유 공급을 전면 중단하면서 대기 중 납의 농도가 점차 감소되고 있다. 그러나 토양 중에는 유연회발유를 사용했던 1993년 이전과 그 이후의 대기 강하분진에 의하여 Pb이 축적되었고 이

Table 6. Distribution of Zn concentration in soils from the study area

Range (mg kg ⁻¹)	Topsoil		Subsoil	
	Frequency	Average	Frequency	Average
0.00~50.00	1	15.90	36	24.38
50.01~100.00	10	74.16	10	70.25
100.01~150.00	11	124.09	1	101.90
150.01~200.00	13	175.88	-	-
200.01~250.00	10	232.38	1	206.00
250.01~300.00	4	267.83	-	-
300.01~350.00	1	332.96	-	-
Total	50	162.74	48	39.36

동성이 거의 없기 때문에 현재까지도 토양 중에 남아 검출되는 것으로 판단된다. 본 조사에서 Pb의 평균농도는 환경보전법상의 우려기준을 넘지는 않았으나 조사지점의 표토는 66%, 심토는 45%가 서울근교 도시립 토양 Pb의 평균함량인 9.09 mg kg⁻¹보다 다소 높은 값을 보였으며, 특히 한 조사지점에서의 표토는 352.54 mg kg⁻¹, 심토는 143.53 mg kg⁻¹의 농도로 토양 환경보전법상의 우려기준을 약 3배 정도 초과하여 조사지점 주변을 정밀히 조사하고 오염 확산 및 오염 방지를 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

Zn. Zn의 급간 별 분포 양상을 Table 6에 나타냈다. Zn의 배출원은 비철금속 산업, 각종 기계 부품 등이며 또한 자동차의 윤활유 속에 Antioxidant-Zn-dichloro phosphate의 형태로 존재하여 배출가스 속에 섞여 배출된다. 본 조사에서 모든 지점의 Zn 함량은 서울근교 도시립의 함량보다 상당히 높은 수치를 보여 그 함량이 최고 80배에 달하고 있다. Klocke는 토양 중 Zn의 오염 여부를 판단하는 기준 농도를 300 mg kg⁻¹이라고 하였다.²¹⁾ 이번 조사지역의 한 지점에서만 300 mg kg⁻¹를 넘는 수치를 보였으나 Zn의 분석방법에서 Klocke는 5 M의 HCl을 이용했던 것을 감안하면 이보다 많은 지점에서 오염 기준치보다 높은 수치를 보일 것으로 생각된다. 따라서 300 mg kg⁻¹를 넘는 지점과 이 기준치에 육박하는 여러 지점을 정밀조사하고 오염 확산 및 방지를 위하여 필요한 조치를 취해야 할 것으로 판단된다.

음이온 농도. 음이온은 전체 50지점 중 25지점을 선택하여 측정하였고 그 중 특히 높은 수치를 나타낸 한 지점을 제외한 음이온의 평균 농도를 Table 7에 나타냈다. 토양중의 음이온 함량에는 산성비의 영향이 크게 작용한다. 이러한 산성비는 주로 자동차의 배기가스나 화석연료의 연소 등으로 대기 중에 방출되는 황산화물과 질소산화물이 대기중의 수증기와 결합하여 발생하고,²²⁾ 현재 서울의 아황산 가스 농도는 감소 추세에 있으나 자동차 보유 대수의 증가로 질소산화물의 농도가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 대기오염에 의한 산성강하물이 토양에 유입되면 토양의 산성화를 가속시키고 이로 인하여 Al 및 중금속의 활성을 증가시키며 치환성 양이온과 수소이온의 교환으로 인하여 치환성 양이온을 용탈시키는 작용을 한다.

본 조사 결과를 김과 박이 조사한 납산, 북한산 등 서울 근교 도시립의 음이온 농도와 비교해 보면 다음과 같다.²³⁾ Cl의

Table 7. Concentration of anions in soils from the study area

Depth		Cl	NO ₃	SO ₄
		(mg kg ⁻¹)		
Topsoil	Mean	79.85	286.80	134.31
	Range	13.78~224.20	32.62~624.46	24.88~403.84
Subsoil	Mean	32.12	23.95	55.75
	Range	14.16~66.44	0.00~56.36	21.98~106.02

Table 8. The rejected anions concentrations by Q test

Depth	Cl	NO ₃	SO ₄
	(mg kg ⁻¹)		
Topsoil	1806.4	3847.4	466.2
Subsoil	486.4	83.32	130.6

평균 농도는 표토, 심토 각각 79.85, 32.12 mg kg⁻¹으로 김과 박이 조사한 8.13, 3.37 mg kg⁻¹보다 약 10배 정도 높은 수치를 보였으며 NO₃는 표토의 경우 286.80 mg kg⁻¹으로 김과 박이 조사한 33.09 mg kg⁻¹보다 약 8.5배 높았고 심토의 경우는 23.95 mg kg⁻¹으로 김과 박이 조사한 9.53 mg kg⁻¹의 약 2.5배 정도의 수치를 보였다. 또 SO₄는 표토, 심토 각각 약 134.31, 55.75 mg kg⁻¹으로 김과 박이 조사한 12.07, 9.59 mg kg⁻¹보다 표토는 11배, 심토는 약 5.5배 높은 수치를 보여 도로변 토양이 대기중의 질소산화물 및 황산화물의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단된다.

대기 중 산성 강하물이 토양으로 유입되어 토양 산도가 증가된다는 많은 연구가 보고되고 있다.¹¹⁻¹³⁾ 그러나 본 조사에서는 위와 같이 높은 음이온의 농도에도 불구하고 pH가 7.5 정도의 수준으로 도심지 토양은 산성강하물에 의한 콘크리트 구조물의 용해에 따라 일종의 석회시용(liming) 효과를 나타내어 토양 산성화는 일어나지 않은 것으로 보인다. 김 등¹²⁾은 대기 분진 중 염기성 물질의 유입양도 산성물질과 비슷한 경향을 보이므로 이들 이온들이 토양 특성에 미치는 영향에 따라 토양 산성화가속 여부가 결정될 것이라고 하였으며 이는 앞으로 연구되어 밝혀져야 할 과제이다.

Table 8은 본 연구의 조사지점 중 특히 높은 음이온 값을 보인 지점의 음이온 농도이다. 이 지점에서는 특히 Cl과 NO₃의 함량이 본 조사의 평균값에 비해 12~22배의 수치를 보여 산성강하물 이외의 다른 오염원의 영향을 받은 것으로 생각되며 이 지점에 대한 정밀조사가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 서울시립대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. Bowie, F. R. S. and Thomson, I. (1985) In *Environmental geochemistry and health*. p 140. D. Ridel Publishing Co. Dordrecht.

2. Kim, D. Y. and Hwang, I. C. (1998) Soil acidification and soil buffer capacity change in urban forests of Seoul area. *J. Korean For. Soc.* **87**(2), 188-198.
3. Thomas, G. W. (1996) In *Soil pH and soil acidity*. Sparks, D. L. et al.(ed.) Methods of soil analysis part 3: chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA. Madison. WI.
4. Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996) In *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. Page, A. L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy 9: 961-1110.
5. Kuo, Shious. (1996) In *Phosphorus*. Sparks, D. L. (ed.) Methods of soil analysis part 3: Chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA. Madison. WI.
6. Sumner, M. E. and Miller, W. P. (1996) In *Cation exchange capacity and exchange coefficients*. Sparks, D. L. et al. (ed.) Methods of soil analysis part 3: chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA. Madison. WI.
7. Helmke, P. A. and Sparks, D. L. (1996) In *Lithium, sodium, potassium, and cesium*. Sparks, D. L. (ed.) Methods of soil analysis part 3: chemical methods. SSSA book series 5. SSSA and ASA. Madison. WI.
8. Ministry of Environment. (1996) In *Standard method of soil analysis*. Manual for soil environment conservation service. (Government Reg. No. 12000-67630-67-9613). Ministry of Environment, Seoul.
9. Miller, W. P. and Miller, D. M. (1987) A micro pipette method for soil mechanical analysis. *Communications in soil science and plant analysis*. **18**, 1-15.
10. Kim, J. Y. and Chon, H. T. (1993) Geochemical Dispersion of Cu, Pb, Zn and Cd in Soils and Dusts in Seoul Area. *Korean J. Res. Eng.* **30**, 163-176.
11. Chang, K. S. and Lee, S. W. (1995) Sensitivity and Self-purification Function of Forest Ecosystem to Acid Precipitation (II). *J. Korean For. Soc.* **84**(1), 103-113.
12. Kim, D. Y., Ryu, J. H., Chae, J. S. and Cha, S. H. (1996) Deposition of Atmospheric Pollutants in Forest Ecosystems and Changes in Seoul Chemical Properties. *J. Korean For. Soc.* **85**(1), 84-95.
13. Lee, C. K. and Kim, J. K. (1998) Evaluation on Effects of Acid Deposition by Analysis Rainfall in the forest. *Korea J. Ecol.* **21**(5-1), 449-456.
14. Ministry of Environment. (1999) In *Annual report of operation of soil contamination monitoring network in 1998*. (Government Reg. No. 38000-67630-66-64).
15. Byun, J. K., Yoo, J. H., Kim, C. S., Jeong, J. H. and Lee, B. L. (1999) Estimation of heavy metal concentrations by soil property of forest soils in Seoul. *FRI. J. For. Sci.* **61**, 97-101.
16. Ministry of Environment. (1999) In *Environment Whitebook*. Ministry of Environment. Seoul.
17. Hutton, H., Wadge, A. and Millgan, P. J. (1988) Environmental levels of cadmium and lead in the vicinity of a major refuse incinerator. *Atmos. Environ.* **22**, 411-416.
18. Kim, C. S., Yoo, J. H., Byun, J. K., Jeong, J. H. and Lee, B. S. (1999) Distribution of heavy metals within forest soils in Seoul. *J. Korean For. Soc.* **88**(1), 111-116.
19. Howells, J. (1991) In *Lead minerals in soils contaminated by mine-waste: implications for human health*. Univ. of London, London, p 250.
20. Lee, D. S., Lee, Y. K., Huh, J. W., Lee, S. I., Sohn, D. H. and Kim, M. G. (1994) Annual Variation of Atmospheric Lead Concentration in Seoul(1984-1993). *J. KAPRA* **10**, 170-174.
21. Kloke, A. (1979) Contents of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soil. United Nations-ECESymp.
22. Kennedy, I. R. (1986) In *Acid soil and acid rain*. Research Studies Press LTD. Hertfordshire, England.
23. Kim, K. H. and Park, S. N. (2000) Distribution of NO_3^- , SO_4^{2-} and Heavy Metals in Some Urban-forest Soils of Central Korea. *Korean J. Environ. Agr.* **19**(4), 351-357.

Investigation of Soil Contamination at Major Roadside in Seoul – I. Manguro in Chungnanggu

Kwon Rae Kim, Hyung-Ju Ryu, Jong-Bae Chung¹ and Kye-Hoon Kim* (Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea; ¹Department of Agricultural Chemistry, Daegu Univ., Kyungsan 712-714, Korea)

Abstract : The objectives of this study were to investigate the contamination of the soils around the major roadsides in Seoul and to accumulate base-line data. Fifty topsoils (0~5 cm) and 48 subsoils (20~50 cm) were collected from 50 sampling sites near Manguro in Chungnanggu. The samples were air-dried, passed through 2-mm sieves, and analyzed to determine the physicochemical properties and the contents of heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn) and anions (Cl, NO_3^- , SO_4^{2-}). Soil textures of top- and subsoils were mainly loamy sand and sandy loam, respectively. Average pH of top- and subsoil was approximately 7.5, much higher than that of the forest soils in Seoul. Average heavy metal contents were lower than the levels allowed by the Soil Environment Conservation Act of Korea, whereas much higher than those of the forest soils. Contents of some heavy metals were higher than the maximum allowed levels. Anion concentrations were also much higher than those of the forest soils. A careful management to prevent the aggravation of the present contamination level and the diffusion of contaminants is recommended.

Key words : heavy metal, anion, concern level

*Corresponding author