

서울시 토양의 중금속 분포 특성

폐기물토양팀

서광석 · 김장열 · 하광태 · 최낙경 · 정혜령 · 조기찬 · 윤중섭 · 엄석원

Distribution Characteristics of Heavy Metal in the Soil in Seoul

Waste & Soil Analysis Team

**Kwang-suk Seo, Jang-youl Kim, Kwang-tae Ha, Nak-gyong Choi,
Hye-ryeong Jung, Gi-chan Cho, Jung-seop Yun and Seok-won Eom**

Abstract

Based on an annual survey of soil pollution status, this study was conducted to investigate the distribution characteristics of heavy metal in the soil in Seoul. Since 2010, the Standard Test method for Soil Pollution of heavy metals was revised to measure the total contents instead of the available contents. The results were summarized as follows. The concentrations of As, Cd, Pb and Cu were 8.8 ~ 21.6, 10.2 ~ 16.3, 4.6 ~ 7.8 and 4.5 ~ 9.5 times higher than before revision of the method. Additionally, the concentration of Hg after 100 mesh sieving was 1.9 ~ 3.6 times higher than that of natural soil. The standards for the analysis of Zn and Ni were not revised, and their concentrations did not differ greatly from the previous survey. The concentration of heavy metals collected from the soils of factories - industrial areas and accidents areas were higher than those of soils collected from other areas. The pollution index of the soil in Seoul were less than 1.0 in all areas : therefore, the soil in Seoul had low heavy metal contamination. The pollution index of the points that exceeded the soil standards was greater than 1.0 in seven out of nine points. A significant relationship with p-value < 0.05 was observed between Cd and Pb, Cd and Zn, Cu and Zn, Hg and Pb, Hg and Zn during available contents analysis.

Key words : heavy metals, available contents analysis, total contents analysis, PI(pollution index), soil pollution

서론

토양은 인간을 포함한 모든 생물이 그 삶을 영위하는 생존의 터전이며, 육상 생태계에서 생산자와 분해자의 역할을 담당하면서 생태계 유지의 근간을 이루고 있는 중요한 환경매체이다. 또한 각종 먹거리를 생산하는 경작지로서, 각종 오염물질과 폐기물을 최종 분해하여 생태계의 순환체계를 유지시키는 기능을 수행하고 있다(1~2). 그러나 산업과 농업 등 인류의 활동에 의해 토양은 오염되기 시작하였고, 화학비료와 농약 등이 토양오염을 가중시키고 있다. 이러한 직접적인 요인 이외에도 수질오염과 대기오염 등을 통하여 토양오염이 발생하고 있다.

토양이 오염물질에 의하여 일단 오염되면 생물의 존재기반으로써 본래 기능이 훼손되며, 이러한 오염물질이 장기간에 걸쳐 다양한 경로를 통해 작물 및 지하수 오염 등을 유발시켜 결과적으로 사람의 건강과 생태계에 악영향을 미치고 토양은 사막화가 되기 때문에 적절한 선행관리가 필수적이다(1).

환경부에서는 전국 토양에 대한 토양오염추세와 오염실태를 종합적으로 파악하고 오염토양의 정화·복원 등의 대책을 수립·추진하기 위하여 토양오염기준항목 또는 오염가능성이 높은 물질에 대하여 1987년부터 전국 250개 지점에서 카드뮴 등 9개 항목에 대한 토양오염도를 조사하였다. 또한, 1996년부터 토양환경보전법이 시행됨에 따라 카드뮴 등 17개 항목(2010년부터 21개)을 토양오염물질로 지정하여 관리하고, 동법 제5조의 규정에 의거하여 토지용도를 중심으로 토양측정망조사(2009년 현재 1,521개 지점)와 토양오염실태조사를 매년 실시하고 있다(3~4).

토양환경기준은 오염의 정도가 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 토양오염우려기준과 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산과 동·식물의 생육에 지장을 주어 토양오염에 대한 대책을 필요로 하는 토양오염대책기준으로 구분되어 있다(4).

2009년 토양환경보전법과 토양오염공정시험기준(5)이 개정되고 2010년부터 새로운 토양오염우

려기준이 적용됨에 따라 토양오염실태조사의 중금속 분석 결과가 2009년 이전과 차이가 생기게 되었다.

이에 따라 본 연구는 변경된 토양오염공정시험기준 중 중금속을 중심으로 항목별·지역별 분포 현황과 특성을 비교하고, 지역별 오염지수와 초과 지역의 오염지수를 이용해 중금속 성분의 오염도를 평가하고, 중금속별 상관관계를 분석함으로써 서울시 토양의 중금속에 의한 오염정도를 파악하여, 추후 토양오염실태조사의 추진방향을 제시하는 기초자료로 활용하고자 한다.

연구 방법

본 연구는 매년 실시되는 토양오염실태조사 결과 중 토양오염공정시험기준 개정 이전에 실시된 2008년, 2009년과 개정 후인 2010년을 비교하였다. 2008년 212개 지점(440개 시료), 2009년 211개 지점(431개 시료) 그리고 2010년 194개 지점(579개 시료)을 대상으로 하였으며, 시료채취는 매년 5월~7월에 실시하고 8월~11월에 시험분석을 실시하였다.

시료채취는 표토(0~15 cm)의 경우 25개 자치구 담당자가 해당지점의 시료를 채취하며, 심토의 경우는 Geoprobe를 이용하여 오염원 지역별로 1지점 당 1~3공을 선정하고, 1공 당 깊이에 따라 2~3개(표층토, 중층토, 심층토) 시료를 굴착하였다. 채취된 토양시료 중 약 300g은 수소이온농도, 중금속 및 불소 시험용으로 폴리에틸렌 봉투에, 기타 시험용 시료는 갈색 광구유리병에 공간이 없도록 담고 마개로 막아 밀봉한 후 0~4°C의 냉장상태로 보관하였다. 중금속류 분석 시료는 풍건 후 표 1의 시료조제방법으로 표준망체를 이용하여 체분리하고 항목별 전처리방법으로 전처리하여 분석용 시료로 하였다.

중금속류 시료분석은 Inductively Coupled Plasma(Spectrociros CCD, SPECTRO, Germany)를 사용하였고, 수은은 원자흡수분광광도계(JP/SP-3D, NIC, Japan), 수소이온농도는 pH meter (Orion 3-star, Thermo, US)를 사용하였다.

Table 1. Comparison before with after revision of Standard Test Method for Soil Pollution

	Before revision	After revision
Sample preparation method	pH : natural soil, not sieving As, Cd, Pb, Cu, Cr ⁺⁶ : 10 mesh sieving → [available contents analysis] Ni, Zn : 100 mesh sieving → [total contents analysis] Hg : natural soil	pH : 10 mesh sieving As, Cd, Cu, Ni, Zn, Pb : 100 mesh sieving → [total contents analysis] Hg : 100 mesh sieving Cr ⁺⁶ : natural soil
Pretreatment method	Cr ⁺⁶ , As, Cu, Cd, Pb : 0.1M-HCl dissolved extraction Ni, Zn : aqua regia digestion	Cr ⁺⁶ : (NaOH + Na ₂ CO ₃) + MgCl ₂ + 0.1M-phosphate buffer solution extraction As, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn : aqua regia digestion

표 1에 토양오염공정시험기준 개정 전·후의 시료조제 및 전처리 방법을 비교하여 나타내었다. As, Cd, Pb 그리고 Cu는 중금속 가용성함량 분석에서 중금속 전함량 분석으로 시험기준이 개정되었고, Cr⁺⁶은 시료조제 및 전처리방법이 모두 개정되었다.

토양오염기준항목은 2009년까지 17개 항목(Cd, Cu, As, Hg, Pb, Cr⁺⁶, Zn, Ni, F, 유기인계화합물, 페놀, CN, PCBs, TCE, PCE, BTEX, TPH) 이었으나, 2010년부터는 BTEX가 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠 그리고 크실렌으로 나뉘지고, 벤조(a)피렌(유독물저장시설 및 폐침목을 사용한 지역에 적용)이 추가되어 21개 항목으로 개정되었다.

지역별 구분은 토양오염실태조사지침(6)에 따라 오염원지역 종류별로 8개 지역(공장및공업지역, 공장폐수유입지역, 폐기물적치매립소각지역, 교통관련시설지역, 사고발생민원유발지역, 기타토지개발등지역, 공단주변등주거지역, 어린이놀이터지역)으로 구분하였다.

결과 및 고찰

1. 토양오염도 분포

국내의 토양 내 중금속에 대한 토양오염공정시험기준은 2009년까지 용출법(가용성함량 분석)과 전함량(Zn, Ni)을 분석함에 따라, 중금속 양이 적게 추출되는 용출법의 국내 기준치가 상대적으로

많은 양의 중금속을 추출하는 산분해법 사용 국가의 기준치와 비슷하거나 높게 설정된 문제점이 있어(7), 2010년부터는 외국의 경우와 같이 전함량에 가까운 농도의 중금속을 추출하는 산분해법으로 바뀌었다.

일본의 경우는 토양의 중금속 분석방법이 약산용출법과 turnary solution(HNO₃, H₂SO₄, HClO₄)을 이용한 전함량 분해법을 사용하고 있어 국내의 개정 전 분석법과 유사한 방법을 사용하고 있다. 또한 토양오염의 평가에서는 폐기물 용출시험법과 동일한 방법으로 토양을 물로 용출시험 하여 오염평가를 가미하고 있다. 그러나 미국, 독일 등 선진국에서는 중금속 전처리 방법이 대부분 전함량 분석법인 산분해법을 토양오염시험법으로 적용하고 있으며, 시험목적상 토양 내 중금속 유효도와 식물이행성을 연구하기 위하여 단일 가용성 침출법과 연속침출에 의한 형태별 함량을 분석하고 있다(8).

공정시험기준 개정에 따른 2008년, 2009년 그리고 2010년 토양오염실태조사 결과를 그림 1에 나타내었다. As(분석농도의 10배를 표시), Cd, Pb 그리고 Cu의 경우 2008년과 2009년은 가용성함량 분석 결과이고, 2010년은 전함량 분석 결과이다. Hg(분석농도의 100배를 표시)은 시료조제 방법이 생토시료(2008~2009년)에서 풍건 후 체분리한 시료(2010년)로 변경됨에 따른 결과이다.

전함량 분석 결과 가용성함량 분석에 비해 As는 8.8~21.6배, Cd은 10.2~16.3배, Pb은 4.6~

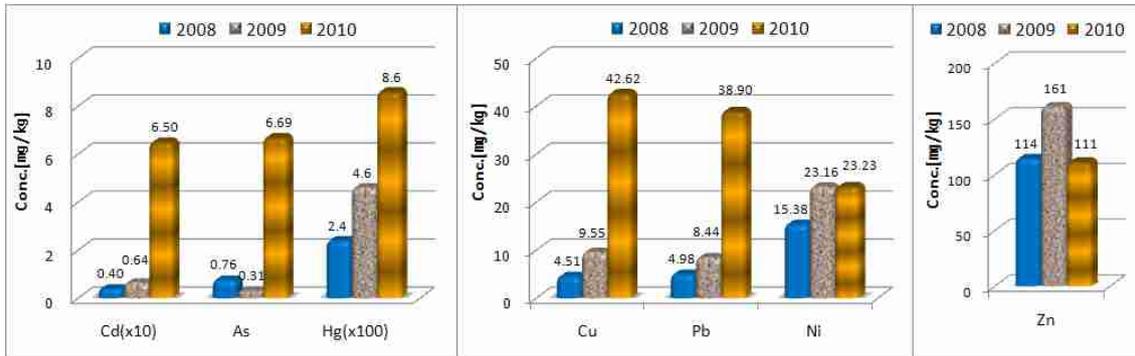


Fig. 1. Soil pollution status in 2008, 2009 and 2010.

7.8배, 그리고 Cu는 4.5~9.5배 농도가 높게 나타났으며, Hg은 생토에 비해 풍건 후 체분리 한 시료가 1.9~3.6배 높게 나타났다. Zn과 Ni은 전함량 분석의 변경이 없어 연도별로 큰 차이를 보이지 않았다. 정 등(8)은 토양특성별로 0.1 M-HCl 용출법으로 추출된 중금속 양을 1로 보고 왕수로 산분해한 중금속 양을 상대적으로 비교한 결과 중금속 추출량의 상대값 평균이 Cd 14.2, Pb 6.2, Cu 5.0배 수준이며 중금속 오염농도가 높을수록 상대적인 농도 편차가 낮아진다고 하였는데, 이는 본 연구결과가 비록 동일 시료를 가지고 0.1 M-HCl 용출법과 왕수로 산분해한 전함량 분석법을 비교한 결과는 아니지만 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 오 등(9)은 산가용성 용출법과 산분해법의 농도차이 및 국내외 기준치를 비교

하였을 때 국내기준이 미국, 독일 등 선진 외국에 비하여 상당히 높게 책정되어 있다는 연구결과를 보고하였으며, 표 2에 국내 및 외국의 토양환경기준을 나타내었다(8).

토양의 pH는 2008년 7.9 ± 0.7 , 2009년 7.9 ± 0.6 , 2010년 8.1 ± 0.8 이고 대체적으로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타냈다. 이는 대부분의 도시립이 산성강화물로 인하여 산성화가 가속되고 있다는 연구결과(10~11) 및 2009년 토양측정망(전국 1,521개 지점)의 평균 pH 6.6 과는 다른 양상이지만, 2009년 토양오염실태조사 전국 평균 pH 7.1과(12) 서울시 도로 주변에 위치한 건물의 화단 토양을 채취하여 분석한 pH 7.1~8.9와 비슷한 양상을 나타내었다(13).

Table 2. Comparison soil standard of domestic with that of foreign countries for heavy metals (mg/kg)

Heavy metals	Korea		Japan	US	Canada	Germany	England	EU
	HPE ¹⁾	HAD ²⁾	HPE	HAD	HAD	HAD	HAD	HAD
Cd	1.5	4	-	3.4	1.4	2	3	1 ~ 3
Cu	50	150	125	84	63	200	130	50 ~ 140
As	6	25	15	32	12	40	10	40 ~ 50
Hg	4	4	-	1.1	6.6	1	1	1 ~ 1.5
Pb	100	200	-	336	70	500	500	50 ~ 300
Zn	300	300	-	168	200	300	300	150 ~ 300
Ni	40	100	-	33	50	100	70	30 ~ 70

¹⁾ Heavy metals extracted using partial extraction.

²⁾ Heavy metals extracted using acid extraction.

Table 3. Concentration of heavy metals according to source area and years (mg/kg)

Area	2008							2009							2010						
	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni
Industry	0.02	4.98	0.58	0.016	3.2	91.86	10.64	0.08	25.56	0.29	0.046	6.4	168.57	23.97	0.57	56.25	6.64	0.097	52.8	126.24	24.62
Landfill-Yards	0.05	4.81	0.89	0.024	5.2	94.90	14.77	0.06	5.37	0.62	0.033	3.7	116.95	26.31	0.71	31.51	9.36	0.078	27.0	87.11	21.79
Transportation	0.03	6.01	0.80	0.029	6.4	170.44	13.51	0.08	7.08	0.29	0.056	11.0	157.80	23.29	0.68	35.30	5.86	0.074	30.1	106.99	22.99
Accidents	0.11	5.56	0.10	0.110	6.0	110.13	36.15	0.02	5.18	0.24	0.010	4.0	120.34	15.44	0.94	38.97	9.67	0.155	46.0	108.89	21.30
Land develop	0.03	2.80	1.11	0.032	3.7	104.44	17.19	0.05	6.04	0.36	0.054	9.2	210.27	23.38	0.70	29.93	7.72	0.071	28.6	88.07	20.73
Complex-around	0.00	0.92	0.31	0.000	7.1	155.60	11.23	0.02	2.14	0.16	0.003	1.2	66.96	20.00	-	-	-	-	-	-	-
Wastewater	0.03	3.51	0.67	0.062	4.2	68.45	12.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Playground	0.06	4.53	0.54	0.015	5.4	92.22	17.87	0.03	3.23	0.21	0.012	5.1	98.65	20.57	-	-	-	-	-	-	-
Total	0.04	4.51	0.76	0.024	5.0	114.40	15.38	0.06	9.55	0.31	0.046	8.4	160.86	23.16	0.65	42.62	6.69	0.086	38.9	111.19	23.23

2. 오염원 지역별 중금속 특성

중금속의 오염원 지역에 따른 분포현황을 표 3과 그림 2에 나타내었다. 2009년 실태조사는 공장폐수유입지역의 대상지점이 없었고, 2010년은 공장폐수유입지역, 공단주변등주거지역, 어린이놀이터지역의 대상지점이 없었기 때문에 3개 지역을 그림 2에서 제외하였다.

공장 및 공업지역은 2009년에 Cu가 전체 평균에 비해 2.7배 높았으며, 2010년은 Cu, Pb이 1.3배, 1.4배 높았고, 사고발생민원유발 등 지역은 2008년에 Cd, Hg, Ni이 전체 평균에 비해 각각 2.8배, 4.6배, 2.4배 높았으며, 2010년은 Cd, As, Hg이 각각 1.5배, 1.5배, 1.8배 높았다. 폐기물적치매립소각 등 지역은 As가 2009년 2.0배, 2010년 1.4배 높았고, 교통관련시설지역은 2008년 Cu, Zn이 각각 1.3배, 1.5배 높았다. 기타토지개발 등 지역은 2009년 Zn이 1.3배, 공장폐수유입지역은 Hg이 2008년 2.6배 높았다.

산가용성 용출법으로 분석한 2008년, 2009년은 전체 오염원 지역의 Cd, As, Hg이 0.04~0.06 mg/kg, 0.31~0.76 mg/kg, 0.024~0.046 mg/kg으로 각각의 자연함유량 0.135 mg/kg, 0.560 mg/kg, 0.085 mg/kg 보다(14) 낮거나 유사한 결과를 나타냈으며 우려기준(1지역)을 초과하는 지역은 없었다. Cu와 Pb은 4.51~9.55 mg/kg, 5.0~8.4

mg/kg로 자연함유량 3.995 mg/kg, 5.375 mg/kg보다 높았으며 특히 공장 및 공업지역, 교통관련 지역 그리고 사고발생민원유발 등 지역이 기타지역보다 Cu와 Pb의 농도가 높음을 알 수 있었다.

3. 토양의 중금속 오염도 평가

토양오염에 관련된 환경인자들은 오염정도를 평가하기가 매우 어렵고, 심지어는 전문가들도 토양오염인자를 동시에 나열하였을 때 오염의 정도를 제대로 평가하기 곤란한 경우가 있다. 특히 토양오염 인자별로 경시적인 자료의 변화가 상이하고 동일한 항목에 대한 토양환경기준도 여러 개 존재하여서, 토양오염 상태가 기준치를 초과한 것인지, 오염이 개선되는지 또는 심화되는지를 단순하게 평가하기에는 어려움이 있다. 따라서 토양오염 기준치를 기초로 하여 기존의 환경질에 대한 오염점수를 산정하여 평가함으로써, 여러 토양오염 인자들에 의한 기존의 오염도를 오염지수(Pollution Index)라는 하나의 통합된 수치로 제시하였다(15).

서울시 토양에 함유된 유해 중금속성분의 오염정도를 평가하기 위해 토양오염우려기준(2008년·2009년 가지역, 2010년 1지역)을 적용한 오염지수를 아래와 같은 식(16)으로 계산하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

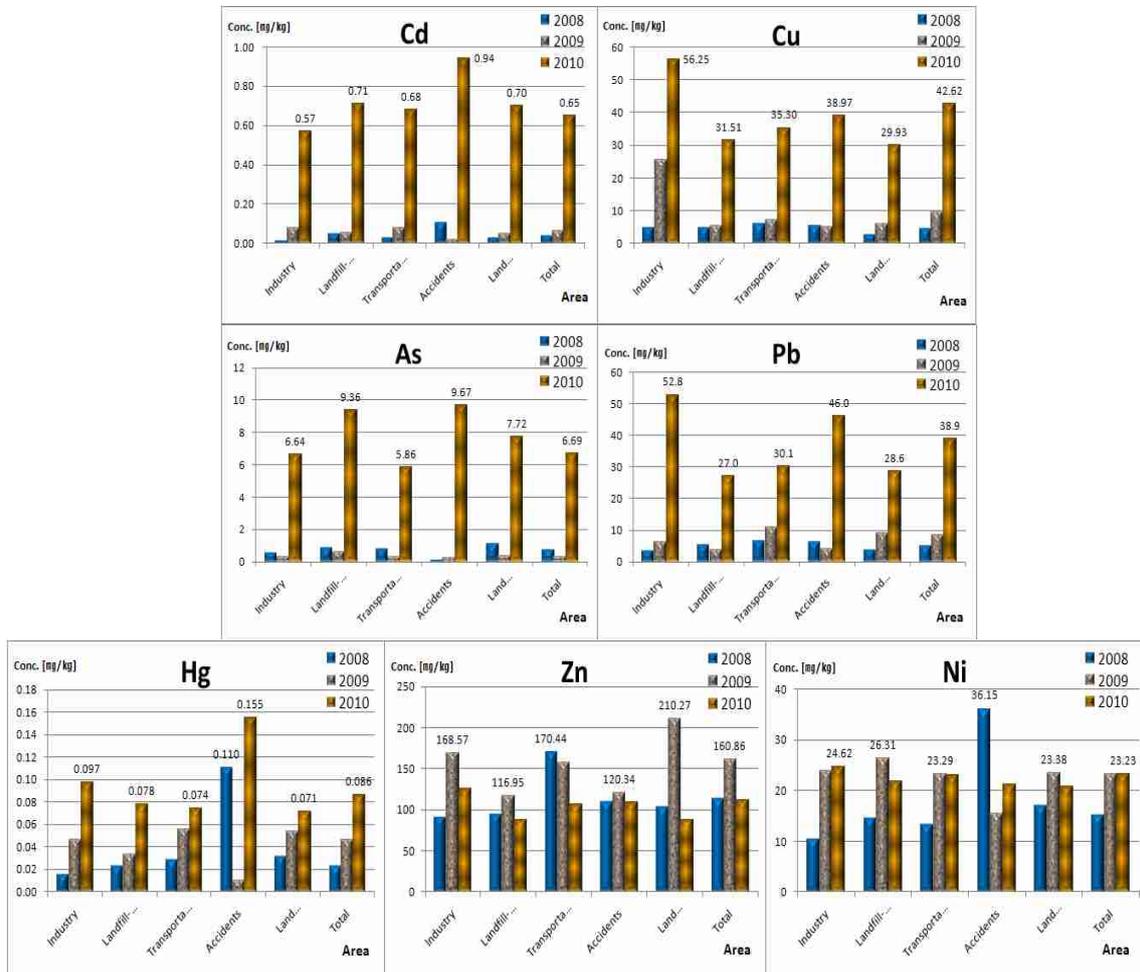


Fig. 2. Concentration of heavy metals according to source area in Seoul.

$$\text{오염지수(P.I.)} = \frac{\text{Cd농도}}{\text{Cd기준}} + \frac{\text{Cu농도}}{\text{Cu기준}} + \frac{\text{As농도}}{\text{As기준}} + \frac{\text{Hg농도}}{\text{Hg기준}} + \frac{\text{Pb농도}}{\text{Pb기준}} + \frac{\text{Zn농도}}{\text{Zn기준}} + \frac{\text{ㄹ농도}}{\text{ㄹ기준}}$$

Table 4. Pollution index according to area

Source area	2008	2009	2010
Industry	0.117	0.264	0.248
Landfill-Yards	0.146	0.191	0.204
Transportation	0.179	0.211	0.199
Accidents	0.223	0.141	0.247
Land develop	0.155	0.229	0.192
Complex around	0.134	0.117	-
Wastewater	0.115	-	-
Playground	0.148	0.145	-

위 식으로부터 계산된 오염지수가 1.0 이하인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염되지 않은 지역으로, 그리고 1.0 초과인 값을 나타내면 중금속으로부터 오염된 지역으로 간주하였다(16).

2008년부터 2010년까지 오염원 지역별 오염지수는 모두 1.0 이하로 나타나 서울시 토양의 중금속 오염도는 적은 것으로 판단되나, 2008년은 사고발생민원유발등지역, 2009년은 공장및공업지역, 2010년은 공장및공업지역과 사고발생민원유발등 지역에서 오염지수가 다소 높았다.

Table 5. P.I. of point exceeding standard

Year	Source area	Point	P.I.
2008	Transportation	2008-1	0.517
	Transportation	2008-2	2.084
2009	Transportation	2009-1	1.157
	Transportation	2009-2	1.150
	Industry	2009-3	4.711
	Transportation	2009-4	2.822
2010	Industry	2010-1	0.763
	Industry	2010-2	2.686
	Industry	2010-3	2.061

표 5에 2008년~2010년도 우려기준 초과지점에 대한 오염지수를 나타내었는데, 초과지점 9개 지점 중 7개 지점의 오염지수가 1.0을 초과하여 오염도가 큰 것으로 평가되었다. 특히 오염지수가 1.0 이상인 지점의 오염원 지역별 구분은 모두 교통관련시설지역과 공장 및 공업지역으로 나타났다. 이러한 원인은 차량의 연료연소(Ni, Zn, Pb 발생) 및 차량용 부속소모품의 마모 등(Cd, Cu 발생)의 직접적인 영향과 공업지역의 환경오염물질 배출사업장에서 발생하는 입자상물질(예를 들면 Ni, Zn은 B-C유, 경유 등의 산업용 연료연소)의 배출량이 많았기 때문으로 판단한다(16).

4. 토양의 중금속성분 상관성 분석

서울시 토양에 함유된 중금속성분들 간의 상관

성을 가용성함량 분석과 전함량 분석으로 구분하여 표 6에 나타내었다.

중금속의 가용성함량 분석 결과 Cd과 Hg 간의 상관계수(r)가 0.54로 다소 높은 상관성($P < 0.05$)을 보였으며, Cd과 Pb, Zn 간에 각각 0.40, 0.43, Cu와 Zn 간에 0.42, Hg와 Pb, Zn 간에 각각 0.40, 0.42로 유의한 상관성($P < 0.05$)을 보이나 다른 중금속들 사이에서는 상관성을 찾을 수 없었다. 김 등(17)은 1987년 서울시 일원의 토양 오염도조사에서 Cd와 Zn, Cu와 Zn 간의 상관계수가 각각 0.577($P < 0.01$), 0.646($P < 0.01$)로 유의한 상관관계에 있다고 하였으며, 송 등(16) 또한 2007년 도로변 토양의 분석 결과 Cd와 Zn, Cu와 Zn 간의 상관계수가 각각 0.75($P < 0.05$), 0.66($P < 0.05$)로 유의한 상관성을 보인다고 하여, 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

전함량 분석에서는 Cu와 As, Zn, Ni 간에 각각 0.56, 0.63, 0.58, As와 Zn, Ni 간에 0.52, 0.55, Pb와 Ni 간에 0.51로 다소 상관성($P < 0.05$)이 높았으며, Cd와 Pb, Pb과 Ni, Zn과 Ni 간에도 0.46, 0.47, 0.49로 유의한 상관성($P < 0.05$)을 보였다. Zn은 Cu와 가용성함량 분석과 전함량 분석에서 공통적으로 유의한 상관성($P < 0.05$)을 보였으며, Zn과 Cd, Cd과 Hg은 전함량 분석에서 상관성을 보이지 않아 가용성 분석과는 다른 결과를 보였다.

Table 6. Correlation coefficient among heavy metals in soil(2008~2009 : n=871, 2010 : n=579)

2008~ 2009	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni	2010	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni
	Cd	1.00								Cd	1.00				
Cu	0.18	1.00						Cu	0.22	1.00					
As	0.04	0.03	1.00					As	0.28	0.56	1.00				
Hg	0.54	0.07	0.03	1.00				Hg	0.04	0.15	0.08	1.00			
Pb	0.40	0.33	0.00	0.40	1.00			Pb	0.16	0.46	0.30	0.08	1.00		
Zn	0.43	0.42	0.05	0.42	0.28	1.00		Zn	0.29	0.63	0.52	0.37	0.47	1.00	
Ni	0.38	0.34	0.17	0.21	0.19	0.31	1.00	Ni	0.24	0.58	0.55	0.02	0.51	0.49	1.00

결론

2008년부터 2010년까지의 토양오염실태조사를 통해 서울시 토양의 중금속 분포특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 토양오염공정시험기준 개정에 따른 중금속의 가용성함량 분석(2008년, 2009년)과 전함량 분석(2010년) 결과 As는 가용성함량 분석에 비해 8.8~21.6배, Cd는 10.2~16.3배, Pb는 4.6~7.8배, 그리고 Cu는 4.5~9.5배 농도가 높게 나타났으며, Hg은 생토에 비해 풍건 후 체분리 한 시료가 1.9~3.6배 높게 나타났다. 토양의 pH는 2008년 7.9 ± 0.7 , 2009년 7.9 ± 0.6 , 2010년 8.1 ± 0.8 이고 대체적으로 중성에서 약알칼리성의 범위를 나타냈다.
2. 오염원 지역별 중금속 특성 결과 공장 및 공업지역은 2009년에 Cu가 전체 평균에 비해 2.7배 높았으며, 2010년은 Cu, Pb이 1.3배, 1.4배 높았다. 사고발생민원유발 등 지역은 2008년에 Cd, Hg, Ni이 전체 평균에 비해 각각 2.8배, 4.6배, 2.4배 높았으며, 2010년은 Cd, As, Hg이 각각 1.5배, 1.5배, 1.8배 높았다. 폐기물적치매립소각 등 지역은 As가 2009년 2.0배, 2010년 1.4배 높았고, 교통관련시설지역은 2008년 Cu, Zn이 각각 1.3배, 1.5배 높았다. 기타토지개발 등 지역은 2009년 Zn이 1.3배, 공장폐수유입지역은 Hg이 2008년 2.6배 높았다.
3. 토양의 중금속 오염도 평가 결과 2008년부터 2010년까지 지역별 오염지수는 모두 1.0 이하로 나타나 서울시 토양의 중금속 오염도는 적은 것으로 판단되나, 2008~2010년도 우려기준 초과지점에 대한 오염지수는 초과지점 9개 지점 중 7개 지점의 오염지수가 1.0을 초과하여 오염도가 큰 것으로 평가되었다.
4. 중금속의 가용성함량 분석 결과 Cd과 Hg 간의 상관관계수(r)가 0.54로 다소 높은 상관성($P < 0.05$)을 나타내었고, Cd과 Pb, Zn 간에 0.40, 0.43, Cu와 Zn 간에 0.42, Hg와 Pb, Zn 간에 0.40, 0.42로 유의한 상관성($P < 0.05$)을 나타내었다. 전함량 분석 결과 Cu와 As, Zn, Ni 간에 각각 0.56, 0.63, 0.58, As와 Zn, Ni 간에 각각 0.52, 0.55, Pb와 Ni 간에 0.51로 다소 상관성($P < 0.05$)이 높았으며, Cd와 Pb, Pb과 Ni, Zn과 Ni 간에도 각각 0.46, 0.47, 0.49로 유의한 상관성($P < 0.05$)을 나타내었다.

이상의 연구를 통해 매년 실시되는 토양오염실태조사의 대상지점이 오염가능성이 높은 지역을 중심으로 선정되어야 할 필요성이 제기되었으며, 전국 토양의 중금속 전함량 분석에 대한 기초자료가 축적되면 토양환경기준을 재검토하여 국내 토양에 대한 오염도를 객관적으로 평가할 수 있도록 제도적 지원이 필요하리라 판단한다.

참고문헌

1. 배우근, 이창수 : 토양오염문제와 그 특성, 한국토양학회, 1998.
2. 이민호, 최상일, 이재영, 이강근 : 토양지하수 환경, 동화기술, 2006.
3. Ministry of Environment : Environmental White paper, 1998, 2009.
4. Ministry of Environment : Soil Environmental Conservation Act, 1999. 2009.
5. Ministry of Environment : Standard Test Method for Soil Pollution, 2008. 2009.
6. Ministry of Environment : Survey Guideline of Soil Pollution Status, 2006.
7. 한국환경정책평가연구원 : 토지이용 용도별 토양오염기준 및 복원기준 마련을 위한 연구, 2003.
8. Jung GB, Kim WI, Lee JS, Shin JD, Kim JH and Yun SG : Availability of Heavy Metals in Soils with Different Characteristics and Controversial Points

- for Analytical Methods of Soil Contamination in Korea. Korean Journal of Environmental Agriculture, 24:106~116, 2005.
9. Oh CW, Yu YH, Lee PK, Park SW and Lee YY : The controversial points and remedy on evaluation of heavy metal contamination in standard method for examination of soil in Korea. Journal of KoSSGE, 6:63~83, 2001.
 10. 장광순, 이수욱 : 산성우에 대한 산림생태계의 민감도 및 자정기능(Ⅱ). 한국임학회지, 23: 29~37, 1995.
 11. 김동엽, 유정환, 채지석 : 대기오염물질의 산림생태계 내 유입과 토양의 화학적 특성 변화. 한국임학회지, 85:84~95, 1996.
 12. Ministry of Environment : 2009년도 토양 측정망 및 토양오염실태조사결과, 2010.
 13. 김주용, 전효택 : 서울지역 토양과 분진층의 Cu, Pb, Zn, Cd의 지구화학적 분산. 한국자원공학회지, 130:163~176, 1993.
 14. Kim JY and Park SH : A Study on Soil Pollution Quality of Chungbuk Province by Soil Network. Korea Journal of Sanitation, 16:77~89, 2001.
 15. Min DK and Jang MB : A Study on the Integrated Soil Pollution Assessment. J. Korea Society of Environmental Administration, 6:9~15, 2000.
 16. Song HB, Lee EY, Do HS, Jung CS, Shin DC, Lee MS, Paek YK, Jeon SS and Shin WS : Trace Elements and Source Assessment of Street Dust in Daegu, Korea. 대한환경공학회지, 29:793~800, 2007.
 17. Kim HJ, Kim YC, Lee JJ, Park SH and Park SB : Investigation on the Pollution in the Soils of Seoul Area. KOR. J. ENVIRON. TOXICOL., 4:27~34, 1989.