

서울市 一圓의 土壤汚染度 調査

金洪濟 · 金蓮千 · 李靜子 · 朴相賢 · 朴聖培

서울特別市 保健環境研究院

Investigation on the Pollution in the Soils of Seoul Area

**Hong Je Kim, Youn Cheon Kim, Jung Ja Lee,
Sang Hyun Park and Sung Bae Park**

Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environme

ABSTRACT

This work was carried out to investigate the pollution of heavy metals and pH in soil, collected from the 156 sampling sites in 1987.

1. In the average contents of Cd, the highest value was 0.40 mg/kg in the Outskirt of Seoul area, the lowest value was 0.11 mg/kg in the Greenbelt area, and 0.21~0.39 mg/kg in the other areas.

2. In the average contents of Cu, the highest value was 32.50 mg/kg in the Motorway area, the lowest value was 2.96 mg/kg in the Greenbelt area, and 9.53~24.41 mg/kg in the other areas.

3. In the average contents of As, the highest value was 1.32 mg/kg in the Reclaimed waste area, the lowest value was 0.31 mg/kg in the Greenbelt area, and 0.93~1.32 mg/kg in the other areas.

4. In the average contents of Zn, the highest value was 27.33 mg/kg in the Center of city area, the lowest value was 9.97 mg/kg in the Greenbelt area, and 12.47~25.23 mg/kg in the other areas.

5. In the average contents of Pb, the highest value was 125.25 mg/kg in the Motorway area, the lowest value was 12.99 mg/kg in the Farming area, and 17.01~77.71 mg/kg in the other areas.

6. In the average contents of pH, the highest value was pH 7.08 in the Motorway area, the lowest value was pH 4.14 in the Greenbelt area, and pH 5.67~7.04 in the other areas.

7. The order of the distribution of heavy metals was $Pb > Zn > Cu > As > Cd$. There was significant correlation between Cd-Zn, Pb-Zn, Cu-Cd, Pb-Cu and Pb-Cd ($p < 0.01$).

緒 論

岩石의 風化産物과 有機物의 혼합물로 構成된 土壤은 C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe, 등의 植物生長에 필요한 필수 원소들을 함유하며 수분과 공기 태양에너지 등의 供給으로 植物體를 成長 生産해 내는 곳이다. 이러한 土壤은 生態系를 구성하는 無機環環으로 生物에 影響을 주는 作用을 하고 生物도 또한 土壤을 변화시키는 反作用을 함으로써 物質의 循環이 이루어지며 生態的 平衡을 유지시킨다. 家庭이나 農場에서 排出되는 有機物들과 工場 등에서 排出되는 廢水, 山森이나 農地 등에 害蟲을 驅除하기 위하여 撒布되는 有機鹽素系 내지 有機磷系殺蟲製, 工場 및 家庭의 煙突, 內燃機關의 배기에서 排出되는 가스 및 입자상의 物質들이 土壤을 人爲的으로 汚染시킬 때 土壤은 본래의 機能을 喪失하고 生態的 平衡을 유지하지 못하므로 전체 生態系의 秩序가 破壞된다. 이러한 土壤의 汚染은 動植物과 人間에 이르기까지 連鎖적인 被害를 입힌다. 특히 重金屬原素는 土壤 속에 蓄積되었다가 作物에 쉽게 吸收되어 原形質의 蛋白質과 結合하여 細胞를 破壞하고 酵素作用의 억제 및 呼吸作用과 관련된 여러가지의 代謝作用을 저해하므로 이에 본 研究所에서는 1977년부터¹⁻⁶⁾ 계속적인 研究 事業의 일환으로 올해에도 重金屬類에 의한 土壤汚染 여부와 土壤의 酸性化 進行程度를 서울시 各地域別로 調查·報告하는 바이다.

調查對象 및 方法

1. 調查期間 : 1987年 5月~1987年 12月
2. 調查項目 : 調查項目은 Cd, Cu, Zn, As, Pb의 전년도 5個항목에 pH項目을 추가하여 6個項目을

調查對象으로 하였다.

3. 調查地點 : 前年度 7個地域에서 農耕地域과 區分이 模糊한 河川水利用地域을 農耕地域으로 포함시켰으며 새로이 都心地域과 副都心地域 그리고 自動車專用道路地域을 추가시키어 9個地域으로 하였으며, 調查地點은 前年度の 50個所로서는 各地域別 汚染狀況을 제대로 파악하기 어려우므로 調查地點을 총 156個所로 대폭 증가하여 各地域別 汚染과 악의 신뢰도를 높이었다. 地域別 調查地點數는 農耕地域 33個所, 綠地地域 18個所, 工業地域 20個所, 廢棄物埋立地域 14個所, 住居地域 23個所, 市界隣接地域 17個所, 都心地域 12個所, 副都心地域 11個所, 그리고 自動車專用道路地域 9個所로 그 위치는 Fig. 1과 같다.

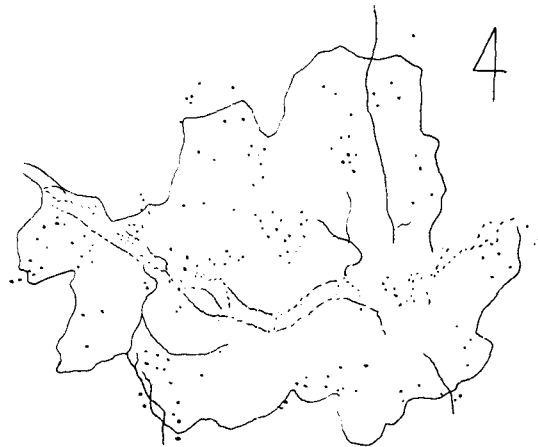


Fig. 1. Sampling sites in Seoul area.

試驗 方法

1. 試料採取 및 試料調劑

環境汚染公定試驗法 土壤偏⁷⁾에 準하여 하였다.

2. 分析機器

- Atomic Absorption Spectrophotometer (HITACHI 170-30)
- UV/VIS Spectrophotometer (PERKIN—ELMER 552S)
- Ion Analyzer (ORION RESEARCH EA940)

3. 試驗方法

重金屬 등은 前年度와 같이 環境汚染公定試驗法⁸⁾, 重金屬測定法⁹⁾, 衛生試驗法注解¹⁰⁾에 準하여 하였으며 새로이 추가된 pH項目的 試驗方法是 試料 10 g을 취하여 100 ml 삼각후라스크에 넣고 증류수 50 ml을 넣어 1시간 진탕 후 Ion Analyzer로 pH測定을 하였다.

結果 및 考察

서울市的 農耕地域을 비롯한 9個地域의 156個 地點에서 農耕地 또는 花壇 등 植物이 生育되고 있는 土壤의 Cd, Cu, As, Zn, Pb 그리고 pH에 대한 可溶性 含量을 分析·調査한 結果가 Table 1, Table 2에 제시되었다.

Cd : Cd의 可溶性 含量은 副都心地域이 0.40(0.14~0.77) mg/kg으로 높게 나타났으며 綠地地域이 0.11(0.03~0.29) mg/kg으로 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 0.21~0.39(0.06~1.41) mg/kg의 範圍로 自動車專用道路, 都心地域, 工業地域, 農耕地域, 廢棄物 立地域, 市界隣接地域 그리고 住居地域 順으로 높게 나타났다. Cd의 含量은 1986年度⁶⁾ 調査値보다 전반적으로 높게 나타났으며 올해에 새로이 추가된 都心·副都心·自動車專用道路地域의 濃度가 다른 地域보다 높은 것으로 나타났다. 綠地地域은 0.11 mg/kg으로 대단히 낮았다. 0.1 N-HCl 沈出法의 可溶性 Cd 含量은 汚染地域 土壤이 1.01 mg/kg이었고, 一般地域 土壤이 0.33 mg/kg으로 調査된 日本 농림성¹³⁾ 結果와 비교하여 보면 本 調査는 全體가 모두 매우 낮은 것으로 나타났다. 柳等¹⁴⁾이 調査한 대부분이 安全農耕地인 土壤의 重金

屬含量과 農耕地域을 비교하여 보면 本 調査가 다소 높은 것으로 나타났으며 Cd의 農作物 生育被害 한계 농도인 25 mg/kg을 초과하거나 그 水準에 肉薄한 것은 한곳도 없었다.

가장 높게 調査된 곳으로는 農耕地域인 수색 시계 부근의 논으로 1.41 mg/kg이었으며 綠地地域인 진관사 앞쪽 산과 서울대앞 약수터 부근이 0.03 mg/kg으로 낮게 나타났다.

Cu : Cu의 可溶性 含量은 自動車專用道路地域이 32.50(6.33~63.26) mg/kg으로 높게 나타났으며 綠地地域에서 2.96(0.35~7.85) mg/kg으로 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 9.53~24.41(0.08~81.89) mg/kg의 範圍로 副都心地域, 工業地域, 都心地域, 市界隣接地域, 住居地域, 農耕地域, 그리고 廢棄物 埋立地域 順으로 높게 나타났다. 1986年度⁶⁾ 調査値 보다는 전반적으로 높게 나타났으며 綠地地域은 2.96 mg/kg으로 거의 汚染이 안된 상태로 나타났다. 日本 농림성¹³⁾이 本 調査와 同一한 0.1N-HCl 沈出法으로 可溶性含量을 調査한 結果, 非汚染 土壤의 濃度인 平均 4.1 mg/kg보다 높게 나타났으며 柳等¹⁴⁾의 報告와 비교하여 보면 本 調査의 農耕地域 結果가 약간 높은 것으로 나타났다. 그외에 地域들도 9.53~32.50 mg/kg으로 상당히 汚染된 것으로 나타났다. 가장 높게 나타난 地點은 새로이 추가된 시흥대로 말미고개 부근이 81.89 mg/kg으로 나타났으며 環境保全法상 土壤의 農作物栽培를 制限할 수 있는 汚染기준¹¹⁾인 125 mg/kg의 수준에는 미치지 못하였고 또한 農耕地域이 아닌 道路地域이어서 安心할 수 있을 것으로 飼料된다.

As : As의 可溶性 含量은 副都心地域과 廢棄物埋立地域이 1.32(0.06~3.56) mg/kg으로 높게 나타났으며 綠地地域이 0.31(0.02~0.93) mg/kg으로 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 0.83~1.23(0.09~10.28) mg/kg의 範圍로 農耕地域, 住居地域, 都心地域, 自動車專用道路地域, 工業地域, 그리고 市界隣接地域 順으로 높게 나타났다. 1986年度⁶⁾ 調査値와 비교한 結果 地域別 모두 거의 같은 水準으로 나타났다.

우리나라 토양의 As 농도는 총함량 4.6 ± 2.6 mg/

Table 1. Analytical results of heavy metals & pH in soil at nine areas. (Unit : mg/kg)

Sampling area	n	pH	Cd	Cu	As	Zn	Pb	
Farming	33	Ave	5.67	.31	10.11	1.23	14.71	12.99
		Max	7.35	1.41	34.72	10.28	25.59	49.82
		Min	4.15	.06	.78	.04	4.66	2.87
Greenbelt	18	Ave	4.69	.11	2.96	.31	9.97	17.27
		Max	6.58	.29	7.85	.93	23.61	60.93
		Min	4.14	.03	.35	.02	2.97	2.58
Industrial	20	Ave	5.98	.31	20.67	.93	18.60	30.04
		Max	7.74	.67	79.56	4.13	25.77	162.03
		Min	5.03	.13	.96	.05	9.82	4.41
Reclamated waste	14	Ave	6.34	.24	9.53	1.32	12.47	17.01
		Max	7.76	.81	39.27	3.56	21.94	74.91
		Min	4.94	.12	.33	.06	.47	2.25
The outward of Seoul	17	Ave	6.26	.24	17.15	.83	17.56	19.35
		Max	8.41	.70	63.85	2.10	25.86	92.46
		Min	5.51	.11	1.50	.05	6.53	2.17
Residential	23	Ave	6.82	.21	10.53	1.16	14.60	13.42
		Max	7.84	.40	30.46	7.46	30.73	41.69
		Min	5.26	.08	.08	.12	.56	1.76
The center of city	12	Ave	7.04	.39	17.35	1.09	27.33	77.71
		Max	7.76	.80	78.16	2.49	31.40	104.39
		Min	5.59	.16	.57	.21	23.06	14.25
The outskirts of Seoul	11	Ave	7.01	.40	24.41	1.32	21.46	60.76
		Max	8.24	.77	81.89	2.43	31.03	101.70
		Min	5.92	.14	.31	.46	1.24	21.00
Motor way	8	Ave	7.08	.39	32.50	1.03	25.23	125.25
		Max	7.74	.76	63.26	1.74	31.24	288.68
		Min	5.75	.15	6.33	.24	11.69	4.10

Table 2. Analytical results of heavy metals & pH in soil of Seoul area. (Unit : mg/kg)

Classification	Average	Range
pH	6.32	4.14— 8.41
Cd	0.27	0.03— 1.41
Cu	16.13	0.08— 81.89
As	1.02	0.02— 10.28
Zn	17.99	0.47— 31.40
Pb	37.05	1.76—288.68

kg으로 涉谷등⁹⁾이 보고하였는바 본 조사는 가용성

함량이므로 간접적 비교밖에는 할 수 없었다. 金등⁵⁾의 결과에 의하면 가용성 함량은 총함량의 약 22.6%로 본 조사결과와 거의 유사하였고, 柳等¹⁴⁾의 보고와 농경지역을 비교하여 보면 본 조사결과가 다소 높은 것으로 나타났다.

農耕地域인 창동의 열무를 栽培하는 비닐하우스의 As 濃度가 10.11 mg/kg으로 前年과 같이 가장 높은 것으로 나타나 環境保全法上 土壤의 農作物 栽培를 制限할 수 있는 As 濃度⁸⁾인 15 mg/kg에는 미치지 못하는 못하였지만 特續的인 農藥등의 사용으로 As의 汚染이 憂慮되었다.

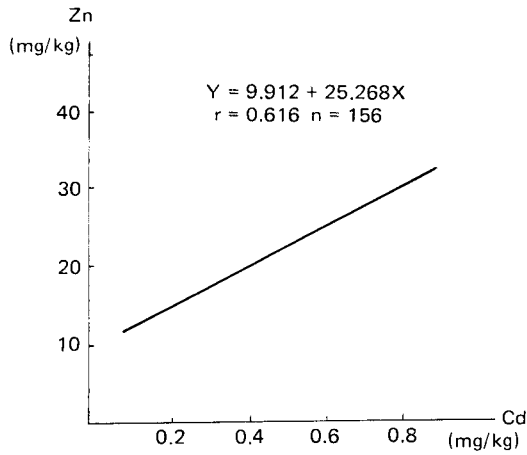


Fig. 2. Correlation of Zn-Cd concentrations in the soil.

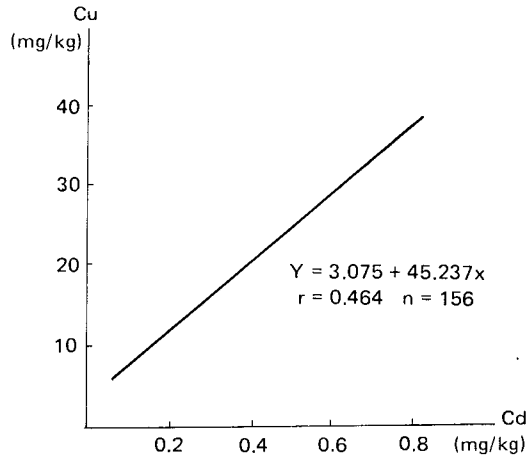


Fig. 3. Correlation of Cu-Cd concentrations in the soil.

Table 3. Correlation coefficient between heavy metals in soil.

	Cd	Cu	As	Zn	Pb
Cd	1.000				
Cu	**0.464	1.000			
As	*0.206	-0.051	1.000		
Zn	**0.646	**0.577	0.067	1.000	
Pb	**0.356	**0.409	0.146	**0.473	1.000

*p<0.05, **p<0.01

Zn : Zn의 可溶性 含量은 都心地域이 27.33(23.66~31.40) mg/kg으로 높게 나타났으며 綠地地域이 9.77(2.97~23.66) mg/kg으로 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 12.47~25.23(0.47~31.40) mg/kg의 범위로 自動車專用道路地域, 副都心地域, 工業地域, 市界隣接地域, 農耕地域, 住居地域 그리고 廢棄物埋立地域 順으로 높게 나타났다. 1986年度⁶⁾ 比較하여 볼때 다소 낮은 것으로 나타났다. 논은 20.7 mg/kg, 밭은 11.3 mg/kg으로 日本 농림성⁶³⁾의 調査와 比較하여 보면 本 調査는 논과 밭 구분없이 農耕地域으로 調査한 結果 平均 17.99 mg/kg으로 거의 類似하게 나타났으며 柳等¹⁴⁾이 報告한 것과 農耕地域을 比較하여 보면 本 調査가 약간 높은 것으로 나타났다. 地點別로 보면 自動車專用道路地域인 강남의 강변도로에서 31.24 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며 農作物生育 制限濃度인 150~500

mg/kg에는 훨씬 미치지 못한 수준이었으며 廢棄物埋立地인 난지도에서 가장 낮게 나타났으나 이것은 埋立後 覆土의 土質이 汚染이 안된 土壤인 것으로 飼料된다.

Pb : Pb의 可溶性 含量은 自動車專用道路地域이 125.25(4.10~288.68) mg/kg으로 높게 나타났으며 農耕地域이 12.99(2.87~49.82) mg/kg으로 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 13.42~77.71(1.76~162.03) mg/kg의 범위로 都心地域, 副都心地域, 工業地域, 市界隣接地域, 廢棄物埋立地域 그리고 住居地域 順으로 높게 나타났다. 1986年度⁶⁾ 調査値와 比較하여 보면 住居地域을 제외한 全地域이 모두 높게 나타났다. 柳等¹⁴⁾이 報告한 것과 農耕地域을 比較하여 볼 때 그 수준이 비슷한 것으로 나타났다. 地點別로 보면 새로이 추가된 自動車專用道路·都心·副都心地域 등 自動車의 通行이 빈번한 곳에서 매우 높게 나타났고 강남의 강변도로에서 288.68 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며 Pb이 農作物 生育 피해 限制濃度인 400~500 mg/kg에는 이르지 못했다. 이와 같이 自動車 通行이 빈번한 곳에서 Pb 濃도가 높은 것은 自動車 Gasoline의 옥탄가를 높이기 위해 Antiknocking agent로 첨가하는 납화합물인 Tetraethyl lead의 影響¹⁴⁾이 매우 큰 것으로 飼料된다.

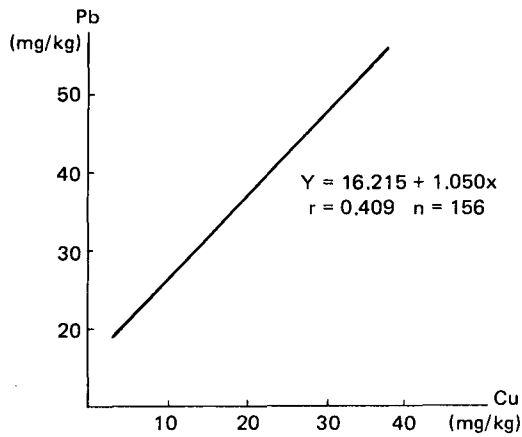


Fig. 4. Correlation of Pb-Cu concentrations in the soil.

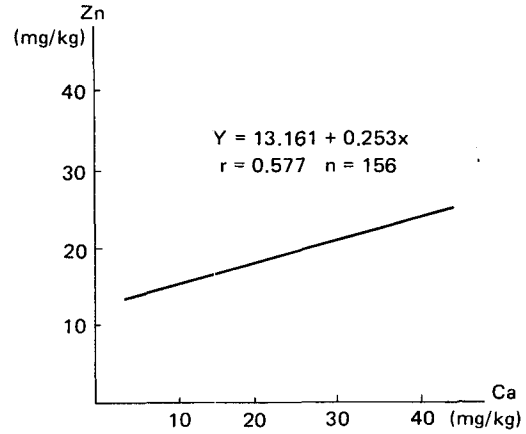


Fig. 5. Correlation of Zn-Cu concentrations in the soil.

pH : 새로이 추가된 pH 項目의 測定値는 自動車專用道路地域이 pH 7.08(5.75~7.74)로 가장 높게 나타났으며 綠地地域이 pH 4.69(4.14~6.58)로 가장 낮게 나타났다. 그밖의 地域에서는 pH 5.67~7.04(4.15~8.41) 범위로 都心地域, 副都心地域, 住居地域, 廢棄物埋立地域, 市界隣接地域, 工業地域 그리고 農耕地域 順으로 높게 나타났다. 土壤中 pH 項目에 대하여는 報告된 것이 많지 않아 그 程度를 判斷하기에는 곤란하였으나 柳等¹⁴⁾이 1986年度 鑛山地域 農耕地의 8個地域 80個所의 pH를 測定한 結果

를 報告한 것과 農耕地域을 比較한바 평균 pH 6.0과 평균 pH 5.67로 비슷한 結果를 얻었다. 綠地地域인 서울大앞 쌍용주유소 뒷편 山이 pH 4.15로 가장 낮게 나타났고 市界隣接地域인 신장의 도로변이 pH 8.14로 가장 높게 나타났다. 全體平均은 pH 6.32이며, 農耕地域이 pH 5.67, 綠地地域이 pH 4.69로 山森과 農耕地 등이 酸性化¹⁴⁾는 金屬鑛山の 廢水와 같은 酸性水가 農地에 흘러 들어가서 土壤을 酸性化하는 경우와 SO₂, SO₃, NO₂ 등 대기오염물질이 비와 혼합되어 산성비를 내리므로 토양을 산성화하는 경

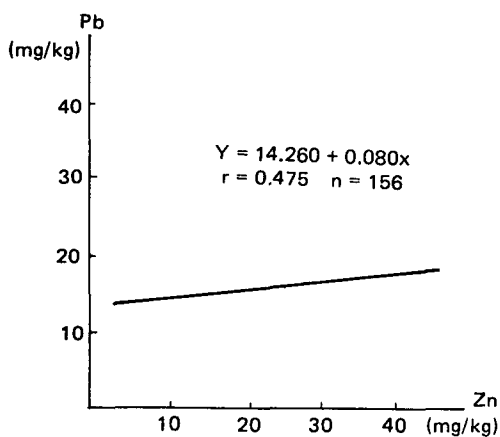


Fig. 6. Correlation of Pb-Zn concentrations in the soil.

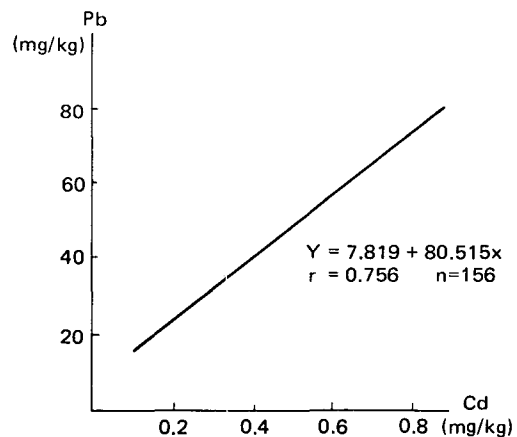


Fig. 7. Correlation of Pb-Cd concentrations in the soil.

우이며, 一般的으로 健全한 土地에서는 粘土 腐蝕 등의 土壤濕物質은 鹽基類를 吸着하는 性質이 있으므로 酸性物質을 가하면 鹽基의 일부가 물에 녹아있는 수소이온과 反應해서 未飽和濕物質이 土壤中에 많아지고 土壤은 酸性反應을 일으키게 된다. 土壤의 性質이 酸性이 되면 직접 간접으로 作物生長에 阻害를 일으킨다.

本 調査에서 各 重金屬의 分布는 Pb가 가장 많이 含有되었으며, Zn, Cu, As 그리고 Cd順이었다. 各 重金屬間의 相關性을 調査하여 본바 Table 3과 Fig. 2~7과 같았다. Cd-Zn 과의 關係는 $r=0.642(p<0.01)$ 로 지난해와 같이 5가지 重金屬 中 가장 높은 有意水準을 나타냈고 그밖의 것으로는 Cu-Zn 이 $r=0.577(p<0.01)$, Pb-Zn 이 $r=0.473(p<0.01)$, Cu-Cd이 $r=0.464(p<0.01)$, Pb-Cu 가 $r=0.409(p<0.01)$ 이며 Pb-Cd이 $r=0.356(p<0.01)$ 로 有意性인 相關關係를 나타내었다. 87年度 本 調査는 調査地點의 大폭적인 증가로 信賴度를 높였고 앞으로의 汚染趨勢를 판단할 수 있는 基礎資料로 삼고자 하였다. 아직 그 土壤에서 成長栽培되고 있는 作物로 土壤으로부터 重金屬 등의 移行을 調査 研究하지 못하여 아쉬움이 남는다.

結 論

1987年 5月부터 12월에 걸쳐 서울시 일원의 各 地域別 156個 地點 土壤中の 重金屬 含量과 pH를 調査하였다.

1. Cd의 地域別 平均含量은 副都心地域이 0.40 ± 0.22 mg/kg으로 가장 높았으며, 綠地地域이 0.11 ± 0.09 mg/kg으로 가장 낮았다. 그밖의 地域은 $0.21 \sim 0.39$ mg/kg이었다.

2. Cu의 地域別 平均含量은 自動車專用道路地域이 32.50 ± 20.14 mg/kg으로 가장 높았으며, 綠地地域이 2.96 ± 2.14 mg/kg으로 가장 낮았다. 그밖의 地域은 9.53 ± 24.41 mg/kg이었다.

3. As의 地域別 平均含量 廢棄物埋立地域이 1.32 ± 1.07 mg/kg으로 가장 높게 나타났으며, 綠地地域이 0.31 ± 0.29 mg/kg으로 가장 낮았다. 그밖의

地域은 $0.39 \sim 1.32$ mg/kg이었다.

4. Zn의 地域別 平均含量은 都心地域이 27.33 ± 2.97 mg/kg으로 가장 높았으며, 綠地地域이 9.97 ± 6.19 mg/kg으로 가장 낮았다. 그밖의 地域은 $12.47 \sim 25.23$ mg/kg이었다.

5. Pb의 地域別 平均含量은 自動車專用道路地域이 125.25 ± 100.04 mg/kg으로 가장 높았으며, 農耕地域이 12.99 ± 12.21 mg/kg으로 가장 낮았다. 그밖의 地域은 $17.01 \sim 77.71$ mg/kg이었다.

6. pH의 地域別 平均은 自動車專用道路地域이 $pH 7.08 \pm 0.3$ 으로 가장 높았으며, 綠地地域이 $pH 4.14 \pm 0.69$ 로 가장 낮았다. 그밖의 地域은 $pH 5.67 \sim 7.04$ 이었다.

7. 重金屬의 分布는 $Pb > Zn > Cu > As > Cd$ 이었으며, Cd-Zn, Pb-Zn, Cu-Cd, Pb-Cu 그리고 Pb-Cd 사이에 유의한 相關性을 나타냈다($p < 0.01$).

참 고 문 헌

1. 李靜子, 金旻永, 韓商運, 金榮振, 韓仙嬪, 朴相賢: 서울시 一圓의 土壤汚染度調査, 서울特別市 保健研究所報, 13:153 (1977)
2. 李敏熙, 金旻永, 朴相賢: 서울시 一圓의 耕作地 汚染度調査, 서울시保健研究所報, 15:143 (1979)
3. 韓商運, 金甲洙, 金教鵬, 金旻永, 朴相賢: 서울시 一圓의 土壤汚染度調査, 서울시保健環境研究所報, 19:302 (1983)
4. 金教鵬, 黃童眞, 孫秉穆, 金甲洙, 成始慶, 李靜子, 朴相賢: 서울시 一圓의 土壤中 重金屬 汚染度調査, 서울特別市 保健環境研究所報, 20:468 (1984)
5. 金教鵬, 黃童眞, 成始慶, 孫秉穆, 李靜子, 朴相賢: 서울시 一圓의 土壤 重金屬汚染度調査(II), 서울特別市 保健環境研究所報, 21:128 (1985)
6. 金洪濟, 金蓮千, 李靜子, 李承洲, 成始慶, 崔漢榮, 朴相賢: 서울시 一圓의 土壤 重金屬汚染度調査, 서울特別市 保健環境研究所報, 22:168 (1986)
7. 環境廳: 環境污染公定試驗法(土壤篇), p.731 (1983)
8. 環境保全法(1983)

9. 澁谷政夫, 小山雄生, 渡邊久男: 重金屬測定法, 博友社(1978)
10. 日本藥學會: 衛生試驗法注解, 金原出版株式會社, 東京(1980)
11. 車鍾煥: 環境汚染과 植物, 電波科學社, 서울(1976)
12. 朴勝熙: 原子吸光法에 의한 高速道路변 耕作地 土壤中の 납 含量분석에 관한 研究, 한국植物保護學會地, 18:1, 43 (1979)
13. 山本茂樹: 土壤汚染의 現象과 對策, 化學工業, 24:6, 120 (1973)
14. 柳弘一, 金人基, 金學燁, 金盛煥: 農耕地 및 農作物中 有害物質汚染에 관한 研究, 國立環境研究所報, 7:267 (1985)