

## 土壤中 重金属의 垂直分布度 調査

機器分析科

嚴 石 源 · 金 明 姬 · 朴 聖 培

### Vertical Distribution of the Heavy Metals Content in Soils.

Instrumental Analysis Division

Seog Won Uhm, Myunghee Kim, Sung Bae Park

#### =Abstract=

In order to investigate the content of heavy metals in soil according to vertical profiles, 72 soil samples were collected from 4 Sampling sites: Ulchiro-2ge, Dugdo, Sungnaedong, and Amsa-dong. The content of mercury was measured by a mercury analyzer and those of Lead, Copper and Zinc were measured by an atomic absorption spectrohpotometry.

From the results of this study, it was shown that the content of heavy metals decreased gradually from the surface soil to the 2m-depth soil. But, there was no difference in the contents of the heavy metals in the 3m, the 4m and the 5m-depth soil.

#### 緒 論

自然環境에 있어서 모든 廃棄物質을 가장 많이 받아들이는 곳이 土壤이며, 일단 土壤에 들어온 汚染物質 가운데 有機物이나 無機鹽類는 氣候, 光線, 微生物等 여러 要因에 의해 서서히 分解, 吸着, 溶解, 吸收되어 減少되는 반면 重金属類는 除去되지 않은 채, 土壤의 한 部分으로 集積되어 土壤에서 일어나는 모든 反應에 關與하게 될 뿐만 아니라 결국은 人間을 包含한 모든 生命體에 어떤 形態로는 影響을 끼치게 된다.

最近 產業의 發達, 都市化, 消費의 增加로 產業體에서 排出되는 有害重金屬量이 대폭 增加하였을 뿐만 아니라, 土壤에 集積되어 農畜產物의 生產이나 農作物의 生育을 沢害하는 경우가 增加하는 추세를 나타내고 있다.<sup>1)</sup>

이와 같이 土壤污染에 대한 관심이 커지면서 土壤重金屬含量에 관한 調査報告<sup>1~4)</sup>가 이루어지고 있으며 이들 대부분이 地表 50cm 以內에서 試料가 採取되었으며, 土壤의 깊이에 따른 重金屬含量에 대한 調査報告는 극히 드물다.

이에 저자들은 서울市一圓의 4個地域에서 土壤中 水

銀, 鉛, 亞鉛 및 銅의 含有量을 土壤의 깊이別로 調査하여 表層과 比較檢討함으로서 그 地域의 自然含有量과 外部環境의 影響에 대한 基礎資料를 얻고자 本調查를 實施하였다.

#### 材料 및 方法

##### 1. 試 料

本試驗에 使用한 試料는 1985年 7月에서 8月內의 서울市內 既存 土木工議場인 岩寺洞(암사수원지), 뚝섬(뚝섬선착장), 城內洞(잠실을림피회관), 乙支路 2街(안국화재보험빌딩)의 4個 地域을 選定하여 地下水位가 없는 곳을 택하여 地表面(0m地點)으로부터 垂直 5m까지 1m間隔으로 6個 地點을 選定하였고, 각 地點에서 水平으로 1.5m 内의 土壤을 고르게 2kg씩 採取하였다.

##### 2. 前處理

採取한 土壤을 直射光線이 닿지 않고 通風이 잘되며 大氣에 依한 汚染憂慮가 없는 場所에서 비닐위에 얇게 퍼서 2週間 自然風乾한 試料를 均一하게 混合한 後 圓錐四分法<sup>5~6)</sup>으로 約 100g의 試料를 取하여 유발로 粉

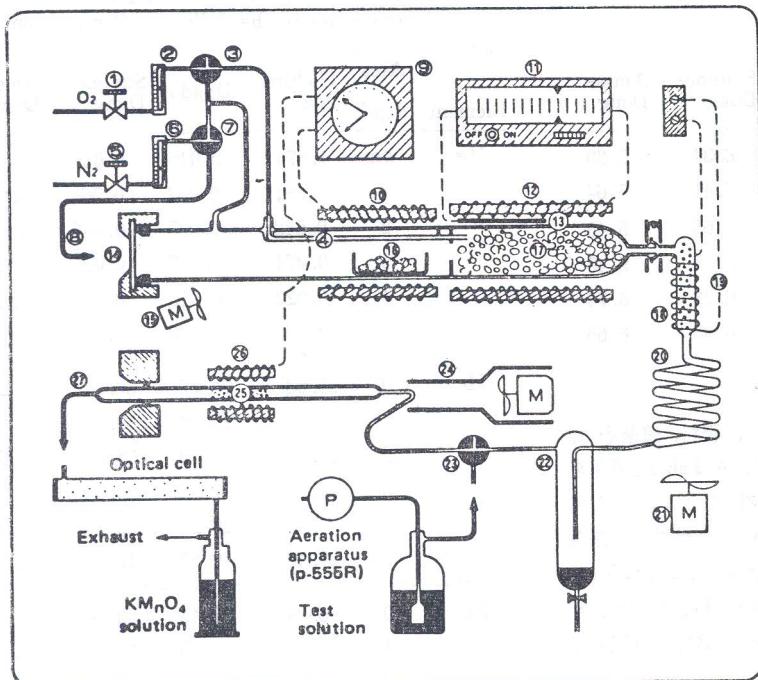


Fig. 1. Sample combustion system

碎하고, 100 Mesh 표준체를通過한 土壤을 分析試料로 使用하였다.

### 3. 試驗方法

pH는 土壤, 水質斗 作物體分析法<sup>6)</sup>에 따라서 風乾한 土壤 10g을 100ml의 共栓三角 flask에 넣고, 증류수 25ml을 넣은 다음 10分間 振蕩시킨 후 1時間 放置한 후 glass電極을 담구어 30秒後에 pH를 測定하였다.

水銀는 土壤의 總水銀測定法에 따라 風乾試料 100~200g을 石英燃燒管에 取하여 Fig. 1.에 表示한 裝置의 電氣爐에 넣고 1l/min의 酸素를 注入하면서 約 800°C로 加熱하여 7分間 燃燒한다. Amalgan으로捕集된 水銀을 約 500°C로 急速히 加熱하여 金 Amalgam을 分解시켜 遊離된 水銀蒸氣를 flameless原子吸光 cell에 보내어 測定波長 253.7mm에서 吸光度를 測定했다.

Pb, Cu, Zn은 試料 約 1g을 正確히 灰火도가니에 平取하여 550°C 電氣爐에서 2時間 灰火시킨 후 이를 100ml flask에 옮기고, 여기에 진한 硝酸 10ml 및 진한 鹽酸 5ml 加하고 時計滴시로 덮고 Sand bath上에서 溶量이 ½程度 減少時까지 分解한다. 이를 室溫으로 冷却한 다음 진한 硝酸 3ml를 加하여 溶量이 ½程度減少될 때까지 재차 加熱한 다음 時計滴시를 除去하고 flask內容物이 Syrup 이 될 때까지 濃縮한다.

이를 室溫으로 冷却한 다음 鹽酸(1+10) 2ml 加한

### Legends for the figure

- 1) Pressure regulator for oxygen
- 2) Flow meter for oxygen
- 3) Flow change valve for oxygen
- 4) Oxygen inlet tube
- 5) Pressure regulator for nitrogen
- 6) Flow meter for nitrogen
- 7) Flow change cock for nitrogen
- 8) Bypass
- 9) Time switch for sample heater
- 10) First furnace
- 11) Temperature regulator for second furnace
- 12) Second furnace
- 13) Thermister
- 14) Sample inlet
- 15) Cooling fan
- 16) Sample boat
- 17) Filler
- 18) Gas neutralizer tube
- 19) Heater for neutralizer tube
- 20) Cooling zone
- 21) Cooling fan
- 22) moisture trap
- 23) Bypass cock
- 24) Cooling fan
- 25) Amalgamator
- 26) Third funnel
- 27) Mercury vapor outlet

다음 hat plate上에서 沸騰直前까지 加熱한 溶液을 濾過紙種(5濾 B)로 濾過하고 flask中 殘渣 및 濾過紙를 鹽酸(1+10) 3ml 數回 洗滌하여 20ml mass flask에 넣은 다음 증류수로 正確히 20ml로하여 測定用 試料溶液으로 했다. 한편 同一한 方法으로 blank를 만들어 補正하였다.

### 結果 및 考察

本試驗에서 試料採取 地域의 特性을 地質學的 母材料와 土性에 따라 分類<sup>8)</sup>하면 乙支路 2街는 殘積土, 뚝섬은 運積土, 砂土, 城內洞은 運積土, 壤土, 岩寺洞은 殘積土, 塘土로 思料되었다. 이와 같이 地域別 特性이다른 네 地域의 pH와 重金屬의 垂直分布를 보면 pH는 Table 1과 같이 乙支路 2街는 6.64~7.63 범위였고, 뚝섬은 5.32~7.28 범위였고, 岩寺洞은 5.30~6.65로 가장 낮은 pH를 나타냈다. 이와 같이 pH의 地域間 變化는 高度의 有意性( $p < 0.01$ )이 있었으나 深度別 pH變化는 有意性이 없었다.

地表面(0m地點)은 Table 2에서와 같이 Hg은 岩石이나 土壤의 Hg 平均值 0.15ppm<sup>7)</sup>, 韓國土壤中 平均 0.18ppm,<sup>10)</sup> 徐等<sup>11)</sup>(Table 3 참조), 및 李等<sup>2)</sup>(Table 4 참조)와 比較해 볼때 乙支路 2街는 높게 나타나고 뚝

**Table 1.** pH·vs Depth zones in the Soil of four Different Areas.

Area Depth(m)	Ulchiro- 2ga	Dugdo	Sungne- Dong	Amsa- Dong
0	7.28	7.28	6.34	5.30
1	6.94	5.32	6.41	5.64
2	6.85	6.04	6.65	5.48
3	6.64	6.06	6.33	5.45
4	6.89	6.72	6.23	5.74
5	7.63	6.61	6.33	6.65

섬, 城內, 岩寺는 낮게 나타났다.

Pb는 대체로 휘발유의燃燒, 製鍊, 肥料, 農藥을 通하여 土壤에 들어오며 本試驗 結果值는 Table 2에서와 같이 乙支路 2街가 91.08ppm으로 가장 높고, 뚝섬이 21.77ppm으로 가장 낮게 나타났다. 이러한 結果는 Taylor의 地殼中 鉛平均濃度 12.5ppm, Vinogradov의 土壤中 鉛 平均濃度 10ppm<sup>7)</sup>보다 높게 나타난 반면 李等<sup>2)</sup>이 報告한 산업지역, 상업지역의 Pb含量보다는 낮게 나타났다.

Zn은 Clarke數  $4 \times 10^{-3}\%$ 로 地殼에 存在하며 地域別 Zn含量은 土壤母材에 따라 다르게 나타나며, 日本의 山森地域 土壤全國平均<sup>6)</sup>은 A<sub>0</sub>層 125.3ppm, A層 24.6 ppm, B層 24.7ppm, C層 48.0ppm으로 報告되었다. 本試驗 結果值는 乙支路 2街 86.97ppm, 뚝섬 68.45ppm 城內 52.38ppm, 岩寺 75.20ppm으로 乙支路 2街가 가장 높게 나타나고 城內洞이 낮게 나타났다.

Cu는 Table 2에서와 같이 乙支路 2街 40.35ppm, 뚝섬 16.71ppm, 城內洞 15.07ppm, 岩寺洞 32.72ppm으로 Bown의 平均值 30ppm과 비슷한 結果를 얻었으며 地域 모두 農產物栽培制限基準<sup>12)</sup> 125ppm을 초과하는 곳은 없었다.

1m 地點의 地域別 重金屬分布樣態는 表層과 비슷하게 Hg, Pb, Cu는 乙支路 2街가 높았고, Zn은 城內洞이 높았다. 表層의 重金屬含量에 대한 1m地點의 重金屬含量의 減少率을 보면 Hg은 乙支路 2街 26.3%, 뚝섬 28.9%, 岩寺 71.0%, 城內洞 134% 增加하였다.

Pb는 乙支路 2街가 22.0%, 岩寺洞 20.6%의 減少率을 보인 반면 뚝섬 14.6%, 城內洞 35.2%의 增加率을 나타냈다.

Zn은 乙支路 2街 15.8%, 뚝섬 32.0%, 岩寺 1.5%의 減少率를 나타냈고, 城內洞은 5.9%의 增加率를 보였다. Cu는 乙支路 2街 2.3%의 增加率를 보인 반면 뚝섬 9.9%, 城內 1.4%, 岩寺 4.5%의 減少率을 나타냈는데, 城內洞에서 重金屬의 增加率을 나타냈으며

**Table 2.** Analytical Results of Heavy Metals VS depth zones in the Soils (Units : ppm)

Element	Area depth	Ulchiro- 2ga	Dugdo	Sungne- Dong	Amsa- Dong
Hg	0m	1.874	0.045	0.029	0.131
	1	1.381	0.032	0.068	0.038
	2	0.548	0.027	0.046	0.015
	3	0.074	0.020	0.018	0.005
	4	0.022	0.013	0.008	0.008
	5	0.018	0.023	0.010	0.018
Pb	0	91.08	21.77	38.94	5.20
	1	71.04	25.48	59.97	41.82
	2	58.80	29.80	38.34	33.64
	3	35.53	27.09	20.90	37.90
	4	30.35	20.27	23.09	36.57
	5	27.10	19.89	18.60	35.56
Zn	0	86.99	68.45	52.38	75.20
	1	73.23	46.55	55.65	74.10
	2	73.10	41.48	46.18	52.53
	3	36.80	40.73	34.90	51.36
	4	33.55	26.05	39.38	49.01
	5	36.33	28.25	29.08	39.61
Cu	0	40.35	16.71	15.07	32.72
	1	41.31	15.05	14.86	31.24
	2	32.71	15.48	14.35	23.13
	3	17.26	8.79	12.16	19.65
	4	12.21	6.33	10.30	20.12
	5	12.51	6.78	11.60	20.48

**Table 3.** Background Content of Heavy Metal in Poddy Soil (unit : ppm)

Element	Average	Range
Hg	0.086	0.004~0.422
Pb	17.29	5.06~78.8
Zn	40.41	12.20~91.56
Cu	15.71	2.43~47.02

Report of NEPI, KOREA<sup>11)</sup>

이는 試料採取時 관찰한바에 의하면 土性이 運積土, 壤土인데 1m 地點은 植質土였다. 이와 같이 土壤의 粒經이 작아짐에 따라서 土壤空極이 작아져서 土壤內有害重金屬의 垂直移動을 억제한 것으로 料된다. 岩

**Table 4.** Content of Heavy Metals in Soil by Regional Group (unit : ppm)

Element	Area	Industrial Area	Rural Area	Commercial Area	Residential Area
Hg		0.21 <sup>a</sup> (0.008~0.45) <sup>b</sup>	0.230(0.216~0.260)	1.180(0.040~0.290)	0.110(0.009~0.254)
Pb		96.42(trace~159.6)	89.81(79.74~109.72)	122.19(39.90~279.06)	80.77(39.84~199.83)
Zn		1217.17(8.97~7870.6)	15.44(7.48~29.89)	130.34(4.97~370.50)	22.54(4.97~63.79)
Cu		1773.01(trace~30437.9)	11.66(5.0~25.0)	37.7(25.0~54.8)	34.1(14.9~59.9)

a : Mean b : Range<sup>2)</sup>

Report of S.I.P.H.,

**Table 5.** The Average Content of Heavy Metals in 3, 4, 5m Zones (unit : ppm)

Element	Site	Ulchiro-2ga	Dugdo	Sungne-Dong	Amsa-Dong
Hg		0.038	0.019	0.013	0.010
Pb		30.99	22.42	20.86	36.68
Zn		35.56	31.68	34.45	46.66
Cu		13.99	7.30	11.35	20.08

寺洞에서 Hg의 減少率이 큰 것도 이 地域土性이 壤質土로서 重金屬의 土壤內 移動이 어느 정도 抑制作用을 받아 土壤 表層에 重金屬이 留積된 것으로 思料된다.

2m地點의 重金屬含量을 地表面의 重金屬含量에 대한 增減率로 表現하면, 다음과 같다.

Hg는 을지로 2가 70.8%, 뚝섬 40.0%, 岩寺洞은 88.5%의 減少率을 보였고, 城內洞은 37%의 增加率을 보였다.

Pb는 乙支路 2街 35.4%, 城內洞 1.5%, 岩寺洞 36.2%의 減少率을 나타내고, 뚝섬은 26.9%의 增加率을 나타냈다.

Zn은 乙支路 2街가 16.0%, 뚝섬 39.4%, 城內洞 11.8%, 岩寺洞 30.1%의 減少率을 보였다.

Cu는 乙支路 2街가 18.9%, 뚝섬 7.4%, 城內洞 4.8%, 岩寺洞 29.3%의 減少率을 보였는데, 모든 重金屬이 岩寺洞에서 가장 減少率이 커다. 이상과 같이 2m地點의 重金屬含量을 1m地點과 比較해 볼 때 乙支路 2街의 Hg 60.3% 減少率로 가장 많이 減少하였으며 뚝섬에서는 Pb 14.5%, Cu 2.8%의 增加率을 보였다. Table 2에서 보인 바와 같이 을지로 2가의 Hg含量이 2m地點까지 높은 것은 都市活動의 影響과 埋立土 때문인 것으로 思料되어, 高橋淑子<sup>11)</sup>等의 報告와 比較해 볼 때 重金屬의 垂直擴散이 길게 나타난 것은 試料의 採取 地點이 地下水位가 없고, 土性이 砂質土이기 때문에 比較的 깊은 土壤空隙을 通하여 물과 함께 重金

**Table 6.** Analytical Results of Heavy Metals vs Depth Zones in The Soil(unit : ppm)

Depth	Element	Hg	Pb	Zn	Cu
0m		0.520±0.904 <sup>a</sup> (0.029~1.874) <sup>b</sup>	51.13±29.50 (21.77~91.08)	70.76±14.45 (52.38~86.99)	26.22±12.34 (15.07~40.35)
1m		0.380±0.668 (0.032~1.381)	49.58±20.08 (25.48~71.04)	62.38±13.55 (46.55~74.10)	25.62±12.98 (14.86~41.31)
2m		0.159±0.260 (0.015~0.548)	40.15±12.92 (29.80~58.80)	53.32±13.94 (41.48~73.10)	21.42±8.48 (14.35~32.71)
3m		0.029±0.031 (0.005~0.074)	30.36±7.83 (20.90~37.90)	40.95±7.35 (34.90~51.36)	14.47±4.91 (8.79~19.65)
4m		0.013±0.007 (0.008~0.022)	27.57±7.35 (20.27~36.57)	37.00±9.69 (26.05~49.01)	12.24±5.80 (6.33~20.12)
5m		0.017±0.005 (0.010~0.023)	25.29±7.80 (19.89~35.56)	36.24±6.52 (27.8~39.61)	12.84±5.68 (6.78~20.48)

a : Mean±S.D

b : Range

屬의 垂直擴散이 促進된 것으로 料된다.

3, 4, 5m 地點은 Table 2에서와 같이 地下 3m부터 深度別 濃度變化가 적어서 Table 5에 3個 地點의 平均值를 나타냈다. 이것을 地表面에 대한 重金屬含量의 減少率로 나타내면 Hg은 乙支路 2街 98.0%, 銅 57.8%, 城內洞 55.2%, 岩寺洞 92.4%의 減少率을 보였다.

Pb는 乙支路 2街 66.0%, 城內洞 46.4%, 岩寺洞 43.7%의 減少率을 보았다. Zn은 乙支路 2街 59.1%, 銅 53.7%, 城內洞 34.2%, 岩寺洞 38.0%,의 減少率을 나타냈다.

Cu는 乙支路 2街 65.3%, 銅 56.3%, 城內洞 24.7%, 岩寺洞 38.6%의 減少率을 나타냈다.

3m 以下 深度의 重金屬含量이 外部環境의 影響을 받은지의 여부는 試料採取地點數가 적어서 斷定하는데 미흡한 點이 있다. 그러나 이 상에서 考察한 바와 같이 垂直別 重金屬含量 變化가 적은 것으로 보아 3m 이하 地層의 重金屬含量을 그 地域의 Backgrund Level로 採擇하여도 좋을 것으로 料된다.

垂直別平均重金屬含量은 Table 6에 따르면 Hg는 地表面의 경우  $0.520 \pm 0.904$  ppm, 1m 地點에서는 約 27% 減少되어 0.380 ppm, 2m 地點은 地表面의 30% 減少되었으며 3m 以下는 地表面의 2.5%에 해당하는 0.013~0.017 ppm을 보았다.

Pb의 경우는 地表面은  $51.13 \pm 29.50$  ppm을 나타냈으며 地表로부터 길어질수록 Pb含量은 점차 減少되어 2m 地點은  $40.15 \pm 12.92$  ppm으로 地表面에 比하여 約 20% 減少하였으며 3m 地點부터는 미소한 減少를 나타냈으며 27.7 ppm으로 地表面에 比하여 45.8% 減少하였다.

Zn은 地表面의 경우 70.76 ppm이며 地表로부터 길어질수록 減少되어 1m 地點 62.38 ppm으로 11.8% 減少되었으며 2m 地點은 53.32 ppm, 3, 4, 5m 地點의 平均重金屬含量은 87.09 ppm으로서 地表面의 47.6% 減少되었다.

Cu는 地表面은 26.22 ppm이며 地表로부터 길어짐에 따라 점차 減少하여 2m 地點은 21.42 ppm으로서 地表面의 18.3% 減少되었으며 3, 4, 5m 地點은 미소한 增

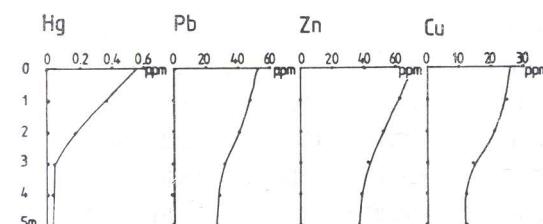


Fig. 2. The Content of Heavy Metals for Vertical Profiles in Soils.

減을 보였으며 이들 平均濃度는 13.18 ppm으로 地表面의 49.7% 減少된 重金屬含量을 보이고 있다. 以上과 같은 重金屬含量의 垂直分布圖를 Fig. 2에 나타냈다.

## 結論

1. 서울市內에서 4地域의 土壤中 重金屬의 垂直分布度를 調査한 結果 地表面으로부터 2m 地點까지는 5% 有有水準을 나타냈으나 3m 地點부터 5m 地點까지는有意性이 없었다.

2. 4地域의 重金屬含量을 地域加豆 考察한 結果 Hg는 5% 有意水準을 보였고 Pb, Zn, Cu는 1% 有意水準을 나타냈다.

3. 一定地域의 重金屬 Background Level를 確認하는方法의 하나로 그 地域의 重金屬垂直分布度를 調査하여 深度別 重金屬含量 變化가 없는 地層의 重金屬濃度를 그 地域의 Bakground Level로 정할 수 있다고 본다.

## 參考文獻

- 徐胤洙, 文和會, 金仁基, 金學燁, 金盛煥: 土壤中 重金屬自然含有量에 관한 調査, 國立環境研究所報, 189~198 (1982).
- 李靜子, 金旻永, 韓商運, 金榮振, 韓仙嬉, 朴相賢: 서울市一圓의 土壤汚染度調査, 서울特別市保健研究所報, 153~161 (1977).
- 金教鵬, 黃童真, 孫秉穆, 金甲洙, 成姓慶, 李非子, 朴相賢: 서울市一圓의 土壤中重金屬 汚染度調査, 서울特別市保健研究所報, 468~474 (1984).
- 서울特別市: 農耕地 土壤汚染度 精密調查報告書, (1981).
- 環境廳: 公害公定試驗法, (1983).
- 農林水產省農蠶園藝局農產課編: 土壤, 水質及び作物體分析法, 昭和 54年 11月.
- 澁谷政夫外 2人: 土壤汚染元素定量法の 解説, (1978).
- 山崎慎一: 酸分解液の 直接吸入法による土壤の 公害關連重金屬元素の 原子吸光分析の 可能性: 日本土壤肥料學雜誌, 第 1卷 第 1號.
- 康榮喜, 申榮王: 土壤學, 種현사, (1984).
- 孫東憲: 韓國土壤中總水銀含量에 관한 研究, 著作, 第 23卷 第 2 호 95~104 (1979).
- 高橋淑子외 3인: 東京都內土壤中重金屬의 垂直分布について(その 1), 東京都公害研究所報, 1946~151 (1984).
- 環境保全法(1983).