大 韓 衛 生 學 會 誌
KOREAN. J. SANITATION
Vol. 7, No. 1, 87~94 (1992)

土壤中 重金屬의 垂直分布度 調査

엄석원 · 최한영*

서울시 보건환경연구원
*서울보건전문대학

Vertical Distribution of the Heavy Metals Content in Soils

Seog Won Uhm, Han Young Choi

Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment, Seoul Health Junior College

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-2 ga, 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 spectrophotometry.

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

Ⅰ. 緖 論

자연환경에 있어서 모든 폐기물질을 가장 많이 받아들이는 곳이 토양이며, 일단 토양에 들어온 汚染物質 가운데 有機物이나 무기염류는 氣候, 光線, 미생물 등 여러 요인에 의해 서서히 분해, 흡착, 용해, 흡수되어 감소되는 반면 중금속류는 제거되지 않은채로

토양의 한 부분으로 集積되어 토양에서 일어나는 모든 反應에 관여하게 될 뿐만 아니라 결국은 人間을 포함한 모든 생명체에 어떤 형태로든 영향을 끼치게 된다.

최근 산업의 발달, 도시화, 소비의 증가로 산업체에서 배출되는 유해중금속이 대폭 증가하였을 뿐만 아니라, 토양에 集積되어 농축산물의 생산이나 농작물의 생육을 저해하는 경우가 증가하는 추세를 나타내고 있다.[1]

이와 같이 토양오염에 대한 관심이 커지면서 토양중금속 함량에 관한 조사보고[1~4]가 이루어지고 있는데, 이들 대부분이 지표 50 cm 以內에서 試料가 채취되었으며, 토양의 깊이에 따른 중금속함량에 대한 조사보고는 극히 드물다.

이에 저자 등은 서울시 일원의 4개 지역에서 토양중 수은, 연, 아연 및 동의 함유량을 깊이別로 調査하여 표층과 비교검토함으로써 그 지역의 자연함량과 외부환경의 영향에 대한 기초자료를 얻고져 본 調査를 실시하였다.

II. 材料 및 方法

1. 試　料

본시험에 使用한 試料는 서울市內 기존 토목공사장인 암사동(암사수원지), 뚝섬(뚝섬선착장), 성내동(잠실올림픽회관), 을지로 2가(안국화재보험빌딩)의 4개 지역을 선정하여 지하 水位가 없는 곳을 택하여 地表面(0 m 지점)으로부터 수직 5 m 까지 1 m 간격으로 6개 지점을 선정하였고, 각 지점에서 水平으로 1.5 m 內의 토양을 고르게 2 kg 씩 採取하였다.

2. 前處理

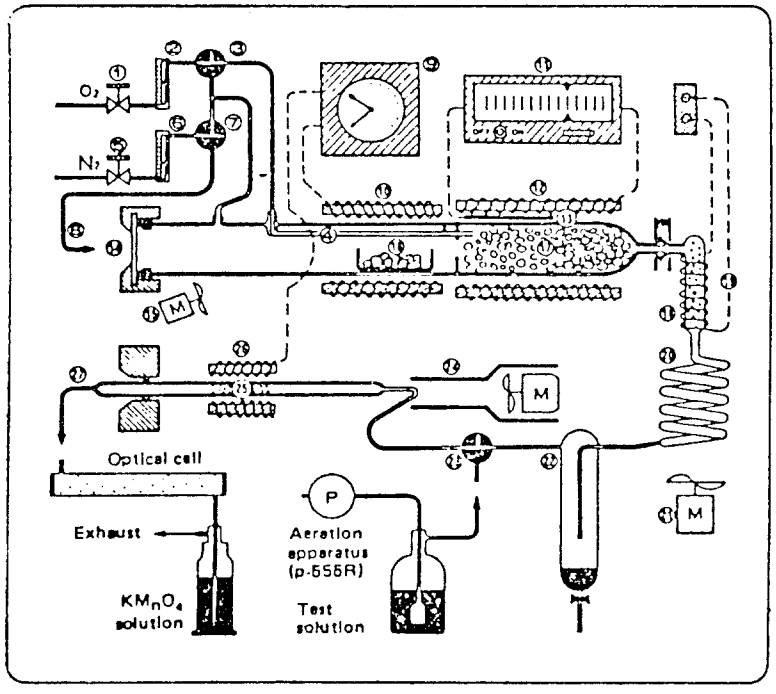
採取한 토양을 직사광선이 닿지 않고 통풍이 잘되며 大氣에 依한 오염우려가 없는 장소에서 비닐위에 얇게 펴서 2주간 자연풍건한 試料를 均一하게 혼합한 후 원추 四分法[5~6]으로 약 100 g 의 試料를 取하여 유발로 분쇄하고, 100 Mesh 표준체를 통과한 토양을 분석시료로 사용하였다.

3. 試料方法

pH 는 토양, 수질과 作物體分析法[6]에 따라서 풍건한 토양 10 g 을 100 m*l* 의 공전삼각 flask 에 넣고, 증류수 25 m*l* 을 넣은 다음 10분간 진탕시킨 후 1시간 방치한 후 glass 전극을 담구어 30 초후에 pH 를 측정하였다.

Hg 은 토양의 총수은 측정법에 따라 풍건시료 100~200 g 을 석영연소관에 취하여 Fig. 1 에 표시한 장치의 전기로에 넣고 1 *l*/min 의 산소를 주입하면서 약 800℃로 가열하여 7분간 연소한다. Amalgan 으로 포집된 수은을 약 500℃로 급속히 가열하여 金 Amalgan 을 분해시켜 유지된 수은증기를 flameless 원자흡광 cell 에 보내어 측정파장 253.7 nm 에서 흡광도를 측정했다.

Pb, Cu, Zn 은 試料 약 1 g 을 정확히 灰火도가니에 평취하여 550℃ 전기로에 2시간 회화시킨후 이를 100 m*l* flask 에 옮기고, 여기에 d－HCl, 10 m*l* 및 d－H「l 5 m*l* 加하고 시계접시로 덮고 Sand bath 上에서 용량이 1/2 정도 감소시까지 분해한다. 이를 실온으로 냉각한 다음 진한 질산 3 m*l* 를 加하여



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) Bypath
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) Bypath cock
24) Cooling fan
25) Amalgamator
26) Third funnel
27) Mercury vapor outlet

Fig 1. Sample combustion system.

용량이 1/2 정도 감소될 때까지 재차 가열한 다음 시계접시를 제거하고 flask 내용물이 syrup 이 될 때까지 농축한다.

이를 실온으로 냉각한 다음 염산(1+10) 2 ml 를 加한 다음 Hot plate 상에서 버릉직전까지 가열한 용액을 여과지종(5 B)으로 여과하고 flask 중 잔사 및 여과지를 염산(1+10) 3 ml 로 수회 세척하여 20 ml mess flask 에 넣은 다음 증류수로 정확히 20 ml 로 하여 측정용 시료용액으로 했다. 한편 동일한 방법으로 blank 를 만들어 보정하였다.

III. 結果 및 考察

本試驗에서 시료채취 지역의 특성을 지질학적 母材料와 土性에 따라 分類[8]하면 을지로 2 가는 殘積土, 뚝섬은 運積土, 砂土, 성내동은 運積土, 壤土, 암사동은 殘積土, 埴土로 思料되었다. 이와 같이 지역별 특성이 다른 네 지역의 pH 와 중금속의 수직분포를 보면

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

pH 는 Table 1 과 같이 을지로 2 가는 6.64~7.63 범위였고, 뚝섬은 5.32~7.28 범위이며, 암사동은 5.30~6.65 로 가장 낮은 pH 치를 나타냈다. 이와 같이 pH 의 지역간 변화는 유의성(P<0.01)으로 높게 나타났으나, 深度別 pH 변화는 유의성이 없었다.

地表面(0 m 지점)은 Table 2 에서와 같이 Hg 은 암석이나 토양 Hg 의 평균치 0.15 ppm,[7] 한국토양중 평균 0.18 ppm[10] 徐等[1] (Table 3 참조) 및 李等[2] (Table 4 참조)와 비교해 볼 때 을지로 2 가는 높게 나타나고 뚝섬, 성내, 암사는 낮게 나타났다.

Pb 는 대체로 휘발유의 연소, 제련, 비료, 농약을 통하여 토양에 들어오며 본시험 결과치는 Table 2 에서와 같이 을지로 2 가가 91.08 ppm 으로 가장 높고, 뚝섬이21.77ppm 으로 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과는 Taylor 의 지각중 연평균 농도 12.5 ppm, Vinogrador 의 토양중 연평균농도 10 ppm[7] 보다 높게 나타난 반면 李等[2]이 보고한 산업지역, 상업지역의 Pb 함량보다는 낮게 나타났다.

Zn 은 Clarke 수 4×10^{-3}% 로 지각에 존재하며, 지역별 Zn 함량은 土壤母材料에 따라 다르게 나타나며, 일본의 산림지역 토양전국평균[6]은 Ao 층 125.3 ppm, A 층 24.6 ppm, B 층 24.7 ppm, C 층 48.0 ppm 으로 보고되었다. 본 시험 결과치는 을지로 2 가 86.97 ppm, 뚝섬 68.45 ppm, 성내 52.38 ppm, 암사 75.20 ppm 으로 을지로 2 가가 가장 높게 나타났고 성내동이 가장 낮게 나타났다.

Cu 는 Table 2 에서와 같이 을지로 2 가, 40.35 ppm, 뚝섬 16.71 ppm, 성내동 15.07 ppm, 암사동 32.72 ppm 으로 Bown 의 평균치 30 ppm 과 비슷한 결과를 얻었으며 네지역 모두 농산물 재배제한기준[12] 125 ppm 을 초과하는 곳은 없었다.

Table 2. Anlycal 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

1 m 지점의 지역별 중금속 분포상태는 표층과 비슷하게 Hg, Pb, Cu 는 을지로 2 가가 높았고, Zn 은 성내동이 높았다. 표층의 중금속함량에 대한 1 m 지점의 중금속함량의

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[1)]

감소율을 보면 Hg은 올지로 2가 26.3%, 뚝섬 28.9%, 암사동 71%, 성내동 134%로 증가하였다.

Pb는 올지로 2가가 22.0%, 암사동 20.6%의 감소율을 보인 반면 뚝섬과 성내동은 각각 14.6%, 35.2%씩의 증가율을 나타냈다.

Zn은 올지로 2가가 15.8%, 뚝섬 32%, 암사동 1.5%의 감소율을 나타냈고, 성내동은 5.9%의 증가율을 보였다. Cu는 올지로 2가 2.3%의 증가율을 보인 반면 뚝섬, 성내, 암사가 각각 9.9%, 1.4%, 4.5%씩 감소율을 나타냈다. 이는 시료채취시 관찰한 바에 의하면 土性이 運積土壤土인데 1 m 지점은 埴質土였다. 이와 같이 土壤의 粒徑이 작아짐에 따라서 土壤空極이 작아져서 土壤內 有害重金屬의 수직이동을 억제한 것으로 思料된다. 암사동에서 Hg의 감소율이 큰것도 이 지역 특성이 埴質土로서 중금속의 토양내 이동이 어느정도 억제작용을 받아 토양 표층에 重金屬이 蓄積된 것으로 思料된다.

2 m 지점의 중금속함량을 지표면의 중금속함량에 대한 증가율로 표현하면 다음과 같다.

Hg는 올지로 2가 70.8%, 뚝섬 40.0%, 암사동 88.5%의 감소율을 보였고, 성내동은 37%의 증가율을 보였다.

Pb는 올지로 2가 35.4%, 성내동 1.5%, 암사동 36.2%의 감소율을 나타내고, 뚝섬은 26.9%의 증가율을 나타냈다.

Zn은 올지로 2가 16.0%, 뚝섬 39.4%, 성내동 11.8%, 암사동 30.1%의 감소율을 보였다.

Cu는 올지로 2가 18.9%, 뚝섬 39.4%, 성내동 4.8%, 암사동 29.3%의 감소율을 보였는데, 모두 중금속이 암사동에서 가장 감소율이 컸다.

이상과 같이 2 m 지점의 중금속함량을 1 m 지점과 비교해 볼 때 올지로 2가의 Hg이 60.3%로 감소율이 가장 많이 나타났으며, 뚝섬에서는 Pb 14.5%, Cu 2.8%의 증가율을

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

Element \ Area	Industrial Area	Rural Area	Commercial Area	Residential Area
Hg	0.21[a](0.008~0.45)[b]	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[2)]
Report of S.I.P.H.,

Table 5. The Average Content of Heavy Metals in 3, 4, 5 m 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

보였다. 또한 Table 2 에서와 같이 을지로 2 가의 Hg 함량이 2 m 지점까지 높은 것은 도시활동의 영향과 埋立土때문인 것으로 思料되며, 高橋淑子[11]等의 보고와 비교해 볼 때 중금속의 수직확산이 길게 나타난 것은 試料의 採取 지점이 지하水位가 없고, 土性이 砂質土이기 때문에 비교적 넓은 토양공극을 通하여 물과 함께 중금속의 수직확산이 促進된 것으로 思料된다.

3, 4, 5 m 지점은 Table 2 에서와 같이 지하 3 m 부터 심도별 농도변화가 작아서 Table 5 에 3 개 지점의 평균치를 나타냈다. 이것을 지표면에 대한 중금속함량의 감소율로 나타내면 Hg 은 을지로 2 가 98.0%, 뚝섬 57.8%, 성내동 55.2%, 암사동 92.4% 의 감소율을 보였다.

PbB 는 을지로 2 가 66.0%, 성내동 46.4%, 암사동 43.7% 의 감소률을 보였다.

Zn 은 을지로 2 가 59.1%, 뚝섬 53.7%, 성내동 34.2%, 암사동 38.0% 의 감소율을 나타냈다.

Cu 는 을지로 2 가 65.3%, 뚝섬 56.3%, 성내동 24.7%, 암사동 38.6% 의 감소율을 나타냈다.

3 m 이하 深度의 중금속함량이 외부환경의 영향을 받았는지의 여부는 시료채취 지점수가 적어서 단정하는데 미흡한 점이 있다. 그러나 이상에서 고찰한 바와 같이 수직별 중금속함량 변화가 적은 것으로 보아 3 m 이하 지층의 중금속함량을 그 지역의 Backgaund Level 로 채택하여도 좋을 것으로 思料된다.

수직별평균중금속함량은 Table 6 에 따르면 Hg 는 지표면의 경우 0.520± 0.904 ppm, 1 m 지점에서는 약 27% 감소되어 0.380 ppm, 2 m 지점은 지표면보다 30% 감소되었으며, 3 m 이하는 지표면의 2.5% 에 해당하는 0.013~0.017 ppm 을 보였다.

Pb 의 경우는 지표면은 51.13± 29.50 ppm 을 나타냈으며, 지표로부터 깊어질수록 Pb 함량은 점차 감소되어 2 m 지점은 40.15± 12.92 ppm 으로 지표면에 비하여 약 20% 감소하였으며 3 m 지점부터는 미소한 감소를 나타내 27.7 ppm 으로 지표면에 비하여 45.8% 감소하였다.

Zn 은 지표면의 경우 0.76 ppm 이며 지표로 부터깊어질수록 감소되어 1 m 지점 62.38 ppm 으로 11.8% 감소되었으며, 2 m 지점은 53.32 ppm, 3, 4, 5 m 지점의 평균중금속함량은 87.09 ppm 으로서 지표면의 47.6% 감소되었다.

Cu 는 지표면은 26.22 ppm 이며, 지표로부터 깊어짐에 따라 점차 감소하여 2 m 지점은 21.42 ppm 으로서 지표면보다 18.3% 감소되었으며 3, 4, 5 m 지점은 미소한 점을 보였으며 이들 평균농도는 13.18 ppm 으로 지표면보다 49.7% 감소된 중금속함량을 보이고

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[a]	51.13±29.50	70.76±14.45	26.22±12.34
	(0.029~1.874)[b]	(21.77~91.08)	(52.38~86.99)	(15.07~40.35)
1m	0.380±0.668	49.58±20.08	62.38±13.55	25.62±12.98
	(0.032~1.381)	(25.48~71.04)	(46.55~74.10)	(14.86~41.31)
2m	0.159±0.260	40.15±12.92	53.32±13.94	21.42±8.48
	(0.015~0.548)	(29.80~58.80)	(41.48~73.10)	(14.35~32.71)
3m	0.029±0.031	30.36±7.83	40.95±7.35	14.47±4.91
	(0.005~0.074)	(20.90~37.90)	(34.90~51.36)	(8.79~19.65)
4m	0.013±0.007	27.57±7.35	37.00±9.69	12.24±5.80
	(0.008~0.022)	(20.27~36.57)	(26.05~49.01)	(6.33~20.12)
5m	0.017±0.005	25.29±7.80	36.24±6.52	12.84±5.68
	(0.010~0.023)	(19.89~35.56)	(27.(8~39.61)	(6.78~20.48)

a : Mean±S.D b : Range

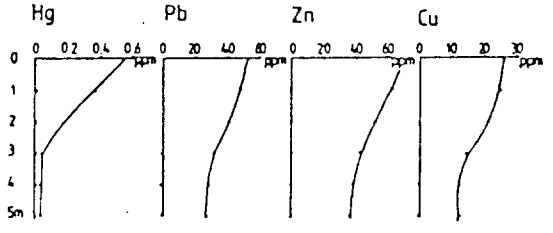


Fig 2. The Content of Havey Metals for Vertical Profiles in Soils.

있다.

이상과 같은 중금속함량의 수직분포도를 Fig. 2에 나타냈다.

Ⅳ. 結 論

1. 서울시내에서 4지역의 土壤中 중금속의 수직분포를 조사한 결과 지표면으로부터 2m 지점까지는 ($P<0.05$)로 유의수준을 나타냈으나, 3m 지점부터 5m 지점까지는 유의성이 없었다.
2. 4지역의 중금속함량을 지역별로 고찰한 결과 Hg는 유의성($P<0.05$) 이 있었으나, Pb, Zn, Cu는 ($P<0.01$)로 나타났다.
3. 일정지역의 중금속 Backgraund Level를 確認하는 방법의 하나로 그 지역의 중금속 수직분포도를 조사하여 심도별 중금속 함량 변화가 없는 지층의 중금속 농도를 그 지역의 Backgraund Level로 정할 수 있다고 본다.

參考文獻

1. 徐亂洙, 文和會, 金仁基, 金學燁, 金盛煥 : 토양중의 중금속 자연함유량에 관한 調査, 국립환경연구소보, 189~198, 1982
2. 이정자, 김민영, 한상운, 김영진, 한선희,

박상현 : 서울시 일원의 토양오염도 調査, 서울특별시 보건연구소보, 153～161, 1977

3. 김교붕외 6人 : 서울시 일원의 토양중금속 오염도조사, 서울특별시 보건연구소보, 468～474, 1984
4. 서울특별시 : 농경지 토양오염도 정밀조사보고서, 1981
5. 환경청 : 공해공정시험법, 1983
6. 농림수산성농잠원예국농산과편 : 土壤, 水質及ひ 作物體分析法, 昭和 54 年 11月.
7. 澁谷政夫外 2 人 : 土壤汚染元素定量法の解說, 1987
8. 山崎愼一 : 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, 제 1 권 제 1 호.
9. 康榮喜, 申榮玉 : 土壤學, 집현사, 1984
10. 孫東憲 : 한국토양중 총수은함량에 관한 硏究, 약학회지, 제 23 권, No 2, 95～104. 1979
11. 高橋淑子外 3 人 : 東京都內土壤重金屬の 垂直分布つして(その 1), 東京都公害硏究所報, 146～151, 1984
12. 환경보전법, 1983