

# 原子吸光法에 의한 高速道路邊 耕作地土壤中的 납含量分析에 관한 研究

朴 勝 熙\*

## Atomic Absorption Spectrophotometric Analysis of Lead (Pb) in the Soils of Cropping Areas Near Highways

Seung Heui Park\*

### ABSTRACT

This study was conducted to detect lead which is exhausted with gas from running automobiles and is considered to accumulate in cropping lands.

Soil samples were taken from uplands and paddy fields with different distance from highways. atomic absorption spectrophotometer was applied for analysis. Results obtained are summarized as follows:

1. In the areas of Seoul toll gate and Jookjeon, Gyeonggi province, soils of fields within 3~5 meters from highway appeared to contain 11~110 ppm of lead. On the other hand, soils outside of 3~5 meters showed only natural background level of lead.
2. The maximum concentration of lead in Hwoedeuk area (Choong-nam province) was 16.3 ppm and those of Kimhae and Dongrae areas were about 12 ppm. Low concentration of 1~4 ppm was observed in the areas, south of Daejeon along the Honam and Namhae highways.
3. Lead seemed to accumulate in the soil surface within the range of 0 to 5 centimeters which unable to expect little translocation to deeper layer of the soil.
4. Most of arable lands locates at least 15 meters apart from highways so that lead concentrations were lower than expected. No damage could be speculated with the present concentration of lead analyzed. This does not deny the necessity to the long term detect of the possible pollutant.

### 緒 論

産業의 急激한 發展과 全國의 一日生活國化에 따른 交通量의 急增에 따른 交通量의 急增에 따라 各種 自動車의 排氣가스에 含有된 납이 農耕와 植物에 蓄積되어 汚染된 作物이나 飼料을 攝取함으로써 人蓄의 重金屬中毒이 問題點으로 提起될 可能性이 있다.

自動車內然機關의 爆燃防止劑로서 燃料에 添加(普通 Pb 2.6~21 mg/l)되는 Tetra-ethyl lead에 의한 排氣中

의 납이 空氣中에 分散되어 高速道路邊에 蓄積된다. 납의 蓄積은 道路의 年齡, 交通量 및 環境條件에 따라 相異하나, 地殼中의 납의 自然賦存量(natural background)이 15 ppm 程度<sup>5)</sup>인데 比하여 美國의 New Jersey 州內 高速道路周邊에서는 14~96 ppm<sup>10)</sup>, Mineapolis-St. Paul 首都圈內 1番 公道에 隣接한 土壤에서는 128~700 ppm<sup>12)</sup>, Maryland 1番 公道에서는 403 ppm, Baltimore-Washington Park Way 土壤은 122 ppm<sup>2)</sup> 程度의 납蓄積量이 報告되었으며, 美國에서의 年間 自動車의 排煙에 의하여 飛散되는 납은  $225 \times 10^8$  kg 程度이고

\* 農村振興廳(Office of Rural Development Suweon Korea)

이의 50%는 道路邊 30m 以內에 蓄積되고 나머지는 大氣中에 分散되어 멀리 흩어진다고 하였다.<sup>6)</sup>

大氣中에 排出되는 납은 道路에서 15m 以內에 蓄積되며<sup>2)</sup>, 150m 程度되면 排氣에 의한 납의 蓄積은 매우 少하다는 報告<sup>1)</sup>가 있으며, 土深別로 보면 大部分 表土(0~5cm)에 集積되어 있고, 10cm 以下에는 그 含量이 極히 적으며 地下로 溶脫되지 않고 表土에 固定되어 있다고 하였다.<sup>2)</sup>

重金屬의 共通된 特性에 나타나듯이 납은 酸性土壤에서는 溶解性이 높고, 알칼리土壤에서는 固定되어 活性이 떨어져<sup>5)</sup> 土壤中의 납은 黃酸鉛으로 結合되어 固定됨으로써 溶解性이 顯著히 減少된다고<sup>4)</sup> 報告하였다.

土壤中의 陰이온 또는 有機物과 粘土鑛物에 依하여 固定되고<sup>12)</sup>, 磷酸이온에 依하여서도 固定되어 植物에 吸收되지 않는다<sup>6)</sup>고 報告하였다.

動物에 有害한 납의 限界濃度는 乾草에서 150 ppm 程度以上이며, 植物이 土壤中의 납을 吸收하여 蓄積되는 量은 이보다도 顯著히 極少한 것으로 報告하였다.<sup>7)</sup>

우리나라의 高速道路는 1969년에 京仁間·京水間이 開通되고, 1970년에 京釜間이 開通되어 高速道路周邊에 約 5年間(1974年 基準) 蓄積된 납含量을 分析·調整함으로써 汚染에 따른 高速道路 周邊의 農耕地와 作物의 栽培面에서 効率的인 利用을 爲한 基礎資料를 얻고져 本 研究를 實施하였다.

끝으로 이 研究를 遂行함에 있어 試料採集과 分析操作에 特別히 協調하여준 玉桓錫, 李允煥, 丁京燮 諸位에게 謝意를 表한다.

## 材料 및 方法

### 1. 供試材料

供試한 土壤試料는 全國 高速道路 周邊의 논과 밭土壤을 方位에 따라 距離와 土深別로, 地形과 耕作地의 與件(位置等)에 따라 採取하였다.

試料의 採取地點은 밭土壤의 境遇, 서울賣票所를 起點으로하여 京畿 죽전停留所, 懷德(京釜線 및 湖南線의 兩地點), 鍊武臺, 全州, 光州, 順天, 晉州, 중리, 金海, 東萊, 西大邱 및 金泉 등의 14個處; 논土壤의 境遇는 城南 金谷, 平澤, 懷德(京釜線 및 湖南線의 兩地點), 鍊武臺, 全州, 光州, 順天, 晉州, 중리, 金海, 東萊, 언양, 건천, 西大邱 및 金泉 等 16個處를 擇하였다.

試料土壤의 採取는 auger ( $\phi$  2cm)를 使用하여 土深別(0~5, 5~10, 10~15, 15~30cm)로, 採集距離는 道路의 走行線에 對한 垂直方向에 따른 距離別로 밭土

壤은 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 및 40m; 논土壤은 10, 15, 20, 30, 및 45m 地點에서 各各 採取하였다.

### 2. 分析方法

試料調劑: 採取土壤을 充分히 陰乾시킨後 나이론網紗(開目 2mm)製의 체로 친다음 이 체를 通過하여 나온 試料를 磁複乳鉢에서 磨碎하고, 이를 1mm 開目の 체에 通過시켜 電氣乾燥器(105°C)에서 2時間 乾燥시킨 後 冷却하여 10gr씩 秤取하였다.

浸出 및 定量: 秤取試料를 폴리에칠렌瓶(容量 250mL)에 옮겨 N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 4.5)로 振盪(60分間), 濾過한 後 Ammonium-Diethyl Dithiocarbamate-Methyl Isobutyl Ketone (ADDC-MIBK)溶液으로 浸出하여 原子吸光分析器(Hitachi 207 Model, Pb-cathod lamp, 波長 2,833Å)로 定量하였다.

## 結果 및 考察

試料採取地點으로 設定한 各地域 高速道路邊 밭土壤의 납含量은 Table 1과 같다. 高速道路에 가깝게 隣接된 重金屬類와 關聯된 生産業體는 別無한 것으로 보아 試料中의 납은 自然賦存量과 自動車의 排氣에 依한 蓄積으로 보아진다.

이같은 蓄積의 主要因이 되는 交通量을 韓國道路公社의 資料를 基礎로한 非公式統計에 依하면, 1973年度의 서울-水原間이 約 10,000臺/日이었다. 서울賣票所의 東쪽은 3m까지는 납의 蓄積이 顯著하였으며 특히 1m 地點에서는 80 ppm으로 높은 數値를 보였으나 3m에서는 急激히 減少하여 11 ppm程度였고 그 以上の 距離에서는 土壤表面(0~5cm)에서도 自然賦存量에 不過한 2~5 ppm 水準이었다. 10m 地點의 表土層에서 특히 14.2 ppm의 높은 含量을 나타냈으나 이는 距離에 따른 排氣의 影響으로 보기는 어렵고, 그 地點에 있어서의 特殊한 높은 自然賦存量에 基因하는 것으로 생각되며 局地的인 微氣象等의 環境條件에 依한 影響일 可能性에 對하여는 言及할 識見이 없다.

上記 地點의 西쪽은 5m 距離까지 납의 높은 蓄積傾向을 보이고 있으며, 가까운 3m地點이 5m地點보다 낮은 數値를 보이나 이는 兩個地點의 地形의인 原因이 있었던 것으로 보이며, 특히 東쪽에 比하여 含量이 낮은 하나 遠距離까지 蓄積된 것은 東西間의 風向과 地形에 따른 差異에 依한 結果로 보아진다.

한편 京畿 죽전地點도 交通量(10,447臺/日)이 서울賣票所와 비슷하고, 東쪽은 오히려 서울賣票所보다 높은 蓄積量을 보였고, 3m 以內에 특히 多量으로 蓄積되었으며 5m地點에서는 다른 遠距離地點과 같이 自然賦存量과 비슷한 含量이었고 이에 따라 深土로 납이

**Table 1.** Lead content in the field soils on the various depths and distances from highways Unit : ppm

East, Distance (m)								Site,* Soil- depth (cm)	West, Distance (m)							
45	30	20	15	10	5	3	1		1	3	5	10	15	20	30	45
A																
			5.1	14.2	1.3			0~5				37.5	4.3	3.3		
3.8	4.7	4.1	2.4	4.9	2.6	11.0	80.0	5~10	39.5	13.4	7.0	2.1	2.6	2.9	2.2	2.7
			4.1	2.2	4.2			10~15				2.8	1.8	1.7		
			4.2	3.0	1.9			15~30				2.7	2.2	2.3		
B																
			5.1	6.2	7.5			0~5				2.6	4.2	3.1		
2.2	2.4	5.0	3.3	6.0	4.2	50.0	110.0	5~10	24.0	3.4	2.2	1.9	2.1	3.0	2.3	2.5
			3.3	4.4	5.0			10~15				1.0	2.3	2.6		
			3.4	3.4	4.1			15~30				1.0	2.3	2.3		
C																
		3.9	4.3		2.0			0~5			5.1	4.5	2.1			
2.1	3.6	3.4	3.5	3.2	2.3	4.3	16.3	5~10	7.3	3.8	2.6	4.1	2.1	2.3	2.0	2.4
		1.7	2.0		1.4			10~15			2.4	3.6	2.2			
		1.9	2.4		1.3			15~30			2.3	3.3	2.4			
D																
		2.0	3.5	4.9				0~5			3.0	2.8	2.0			
1.8	1.6	2.8	2.5	3.6	4.2	3.9	3.3	5~10	3.1	2.4	1.5	2.3	3.4	1.6	2.8	1.3
		2.4	2.6	6.7				10~15			2.1	2.5	1.6			
		4.3	2.0	4.4				15~30			2.9	2.4	1.8			

\* A : Seoul toll-gate (traffic volume, 10,736 car/day, 1973), B : Jukjun, GyeongGi Province(10,447 car/day), C : Hoedeog, Chungnam Province (Gyeongbu Express way), (5,420 car/day), D : Hoedeog (Honam Express way), (1,564 car/day).

移動되는것은 전혀豫想되지 않았다.

또한 西쪽에 있어서는 1m地點까지만 蓄積된 傾向을 보이고, 3m 以上에서는 蓄積되지 않았으며, 東西間의 差異는 서울賣票所에서와 같이 年間風向이나 地形에 따른 特徵에서 基因된 것으로 생각된다.

交通量이 前述한 地域의 切半인 約 5,000臺/日 程度되는 懷德(京釜高速道路)인터체인지에서는 東쪽 1m 地點에서 輕微한 蓄積量(16.3 ppm)을 보이고 西쪽 1m 地點에서도 微弱하게 蓄積된 傾向(7.3 ppm)이나 그밖의 距離에 있어서는 自然賦存量에 符合되는 程度였다. 또한 1日 交通量이 1,500臺 程度인 湖南高速道路쪽의 懷德에서는 周邊 1m의 近距離에서도 납의 蓄積은 전혀 豫想할 수도 없는 程度였고 土心에 있어서는 납의 蓄積을 나타내지 않았다. 이는 道路의 開通(1970)이 不 過 4年이어서 交通量이 적었기 때문에 汚染을 나타낼 程度로 납이 蓄積되지 않는 것으로 推定된다.

또한 大田 以南의 京釜, 湖南 및 南海高速道路의 主

**Table 2.** Lead content of the field soils at the various sites near highways Unit : ppm

Locality, Sampling Site	Lead content, Distance: 15m, Depth: 0~5cm.			
	East	West	South	North
Yeonmudae	4.05	4.65		
Jeonju	0.90	0.90		
Gwangju	2.65	1.55		
Suncheon			4.15	2.90
Jinju	1.55	3.80		
Jungri			4.25	5.40
Gimhae			11.30	11.35
Dongrae	11.75			
Seodaegu			6.65	4.65
Gimcheon			1.10	1.00

要 交叉地點에 있어서도 아직 납의 蓄積傾向은 나타나지 않았고 다만 金海와 東萊地域에 그 含量이 多少 높게 나타났다. 이 地域의 道路는 1974년에 開通되어 蓄積期間이나 交通量이 서울賣票所에 比하여 납의 含量이 顯著히 낮을것인데도 그 數值가 높은것은 自動車の 排氣에 依한것이 아니고 납의 含有量이 높은 特殊한 母 壤이거나 다른 要因에 依한것으로 推定된다.

그리고 試料를 採取하는 過程에서 全國 各地域 共히

耕作地는 모두 15m 밖에 位置하며, 또한 高速道路邊을 따라서 一般道路, 農路, 水路等이 占有하였고, 高速道路로부터 10m 以內는 開發制限區域으로 韓國道路公社에서 管理함으로 事實上 耕作이 不可能하나, 地域에 따라서는 10m 地點以內까지도 채소나 콩等의 作物이 栽培되고 있는 例外도 있었다. 이같은 現象은 납의 農作物汚染問題를 감안 할 때 排除되어야 할것으로 생각 된다.

**Table 3.** Lead content in the paddy field soils on the various depths and distances from highways

Unit: ppm

East, Distance (m)					Site,* soil- depth (cm)	West, Distance (m)				
45	30	20	15	10		10	15	20	30	45
A										
		6.2	5.7	4.2	0~5	2.6	2.5	3.8		
4.6	3.3	2.8	4.3	5.3	5~10	3.5	3.2	3.9	2.4	2.4
		2.6	3.7	2.8	10~15	1.9	3.4	2.8		
		1.2	0.5	2.0	15~30	1.9	2.3	2.5		
B										
		5.7	4.9	5.6	0~5	2.2	1.2	1.7		
2.4	2.4	2.6	2.6	3.4	5~10	1.4	0.8	1.9	1.1	1.3
		2.0	4.4	3.0	10~15	1.6	2.6	1.6		
		3.3	3.0	3.0	15~30	0.8	0.6	0.8		
C										
		5.7	4.1	6.2	0~5	1.6	2.8	3.3		
4.6	5.9	4.7	6.0	5.6	5~10	2.7	3.0	3.8	4.0	4.7
		4.3	3.9	4.4	10~15	2.9	3.7	3.9		
		2.5	3.2	5.0	15~30	2.4	4.4	3.7		
D										
		3.5			0~5			3.2		
3.0	3.2	2.5			5~10			2.2	4.2	3.7
		2.5			10~15			2.4		
		1.8			15~30			2.7		

\* A : Geumgog, Seongnam (traffic volume, 10,447 car/day),

B : Pyeongtaeg, Gyeong-gi Province, (7,414 car/day),

C : Hoedeog, Chungnam Province (Gyeongbu Express Way, 1,564 car/day),

D : Hoedeog (Honam Express Way), (5,420 car/day).

高速道路邊 各地域의 泥土壤中の 납含量은 Table 3과 같다.

高速道路邊의 泥은 大部分 15~20m 밖에 位置하여 試料土壤의 採取距離를 10m에서 부터 始作하였으나 實際로 10m까지 接近되어 있는 泥은 매우 드물었다.

各 採取地點[城南 金谷, 平澤, 懷德(京釜線, 湖南線

양쪽), 其他 地域] 共히 10m이거나 45m 이거나 遠近의 差異없이 납의 含量이 僅少한 差로 分布되고 있는데, 이같은 差異는 自動車の 排氣중에 含有된 납의 蓄積으로는 認定하기 어렵고 土壤自體의 自然賦存量에 따른 差異로 생각된다. 즉 밭土壤에서 이미 說明한바와 같이 우리나라의 高速道路에서는 10m 以上の 距離까

**Table 4.** Lead content of paddy field soils at the various sites near highways Unit : ppm

Locality, Sampling Site	Lead content, Distance: 15m, Depth: 0~5cm.			
	East	West	South	North
Yeonmudae	2.75	4.85		
Jeonju	1.20	1.40		
Gwangju	4.35	4.25		
Suncheon			5.75	7.70
Jinju	4.85	3.85		
Jungri	5.00	7.15		
Gimhae			1.00	11.50
Dongrae	12.50			
Eonyang	2.75	3.00	2.90	2.15
Geoncheon	1.50	1.45		
Seodaegu			4.45	4.90
Gimcheon			1.40	0.90

지 납을 飛散시켜 그 蓄積이 認定되기 까지는 아직도 道路開通의 歷史가 짧고 交通量이 적은 것으로 보나 最近 急激한 各種 輸送量의 增加로 보아 앞으로는 繼續 이같은 납의 蓄積量의 把握과 이에 對한 對策樹立은 極히 重要한 課題라고 본다.

그리고 現在 高速道路 연변의 邊(대개 10m以內)에 植生하고 있는 草木의 葉表面에 媒煙으로 排出된 微細 粒子인 납이 集着됨으로써 오히려 土壤보다는 더 높은 含量의 납이 檢出될 것으로 豫想되나 이 實驗에서는 分析한 바 없어 確實한 言及은 할 수 없다. 다만 이 邊에 植生하는 雜草를 家畜의 飼料로 利用하는 것은 매우 危險한 것으로 여겨지며 또한 堆肥로 利用하는 境遇도 特定地點을 납으로 汚染시키고, 堆肥를 施用하는 農耕地까지도 間接으로 汚染시키는 結果를 招來할 것으로 보아 再考를 要한다고 본다. 한편 土壤의 납 汚染의 程度는 被覆植物의 稠密度에 따라서 大差異가 있는 것으로 農耕地土壤의 汚染을 防止하기 爲해서도 道路邊의 綠化는 絶對하다고 생각된다. 그러나 道路의 年齡이 많아질수록 주변 邊의 植生에 의한 堆積이 反覆됨으로써 周邊 土壤의 납 含量은 더욱 增加될 것으로 본다.

以上과 같이 이 實驗에서 얻은 高速道路邊 農耕地土壤中的 납의 蓄積量을 綜合적으로 살펴 보면 첫째로 그 量이 極히 적어서 農作物의 栽培에 있어서는 아직도 何等의 阻害等의 問題는 없다고 본다. 土壤溶液中的 金屬이온濃도가 높아지면 뿌리에 多量으로 吸收되고, 根細胞中的 金屬濃도의 上昇은 뿌리의 生理活性을 低下시키고, 이 影響은 뿌리先端의 生長點附近에서 特히 심하여 뿌리의 伸張을 저해시키는데, 이같은 重金屬

汚染土壤에서 生育한 作物의 뿌리는 毛根의 發育이 不充分하고 地上部의 生育에 對해서도 重金屬過剩에 따라 惹起되는 鐵缺乏에 依한 萎黃症狀을 나타낸다.<sup>8)</sup> 一般的으로 납에 依한 農作物의 被害에 關한 研究는 적으며, 水稻는 水耕에서 50~150 ppm에서 被害가 나타나기 始作한다고 하며, 障害가 發生하는 土壤中的 납의 限界濃度는 400~500ppm 以上이라는 報告<sup>11)</sup>도 있어 一定한 見解를 얻기 어려우며, 또한 납만의 單獨 汚染에 依한 被害는 거의 없고 亞鉛이나 구리 등의 複合된 被害가 大部分이라고 한다.

둘째로 排氣의 납으로 因한 汚染인가에 對하여 살펴 보면, 土壤에 混入된 重金屬의 大部分은 表土層에 殘留하고, 人爲的攪拌이 行하여지는 農耕地에 있어서는 大部分이 作土層에 殘留하기 때문에 表土와 深土間의 汚染度差가 클 때에는 人爲的汚染으로 推定한다는 報告<sup>8)</sup>를 미루어 보아도 우리나라의 高速道路邊의 土壤도 排氣에 依하여 납의 蓄積量은 極히 적지만 汚染되어가고 있음은 確實하다고 본다.

셋째로 납의 蓄積量이 極히 적음을 말한다면, 美國의 境遇<sup>2), 10), 12)</sup>는 最高 700 ppm이었고, 日本의 東京都內의 公園이나 高速道路邊의 農耕地 最表層에도 數 100 ppm의 납의 蓄積<sup>3), 8)</sup>과 比較하여도 우리나라의 境遇는 아직 問題視할바는 못되지만 事前對策은 必要하다고 본다.

## 摘 要

自動車의 排氣中에 含有된 납에 依한 우리나라 高速道路邊 農耕地에 蓄積된 납의 含有量을 把握코저, 高速道路와 的方向과 距離 및 土深別로 밭과 논에서 採取한 土壤試料를 原子吸光法으로 分析·調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 交通量(10,000 臺/日)이 많은 서울 賣票所와 京畿·죽전에서는 道路邊에서 東·西로 3~5m까지 밭土壤에서 납의 蓄積現象을 나타냈으며, 그 水準은 11~110 ppm程度이었고, 道路邊에 가까운 수루 납의 含有量이 많았으며 그 밖의 距離까지는 蓄積되지 않았다.

2. 交通量(5,000 臺/日)이 多少 많은 大田·懷德 地方은 東쪽 1m 地點에서만 若干의 蓄積 傾向(16.3 ppm)을 보였으며, 그 밖의 距離까지는 아직 그 蓄積은 認定되지 않았다.

3. 논·밭을 不問하고 京釜線의 大田以南과 湖南 및 南海 高速道路의 其他 地域에 있어서는 金海·東萊 地區(約 12 ppm)를 除外하고는 납의 蓄積傾向은 없었다.

4. 土深別로는 大部分 表土層(0~5cm)에 납이 蓄積되어 있고, 土心으로의 납의 移轉은 認定하기 어려웠다.

5. 試料採取地點의 高速道路와의 方位에 있어서는 京畿·축전에 있어서 東·西間에 約4倍의 蓄積量의 差異를 나타냈을 뿐이며, 그 밖의 地點에 있어서는 大差가 없고 一貫性있는 傾向은 보이지 않았다.

6. 農耕地의 大部分은 高速道路 兩邊의 15m 以上の 距離에 位置하여 있고, 또한 납의 含有量은 最高 5 ppm 程度로서 自然賦存量의 水準에 不過하였다.

#### 引用文獻

1. Cannon, H.L. and J.M. Bowles. 1962. Contamination of vegetation by tetra-ethyl-lead. *Science* 137 : 765-766.
2. Chow, T.J. 1970. Lead accumulation in road soil and grass. *Nature* 225 : 295-296.
3. Gary, L.R. 1973. Lead uptake by selected tree seedlings. *J. Environ. Quality* 2(1) : 153-157.
4. 石塚喜明, 田中 明. 1962. 水稻の要素代謝に関する研究(第8報)鉛, 水銀, 砒素, 特にこれらの害作用をとして. *日土肥誌*. 33 : 421.
5. 蟹澤成好. 1971. 微量元素について. *日食衛誌*. 12 (6) : 423-434.
6. Koepe, D. E, and R.J. Miller. 1970. Lead effects on corn mitochondrial respiration. *Science* 167 : 1376-1378.
7. Marten, G. L. and P.B. Hammond. 1966. Lead uptake by Bromegrass from contaminated soils. *Agron. J.* 58 : 553-554.
8. 森上豊照. 1972. 土壤の汚染. *化學工業* (10) : 132 . 2-1327.
9. 農林水産技術會議事務局. 1972. 土壤および作物體中の重金屬分析法. *日土肥誌*. 43 : 264-270.
10. Price, A.L. 1957. Trace element delivering capacity of 10 New Jersey soil types as measured by spectrographic analysis of soils and mature corn. *Soil Sci.* 84 : 413-418.
11. 坂田 弘. 1974. 各種金屬による汚染とその對策. *農業公害ハンドブック*, 地人書館, 東京, p.149-151.
12. Singer, M.J. and L. Hanson. 1969. Lead accumulation in soils near highways in the twin cities Metropolitan area. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33 : 152-153.