

대기부유분진중 Pb와 가로수잎중 Pb와의 상관성에 관한 연구

A Study on the Correlation between Lead in Airborne Suspended
Particulates and Leaves of Roadside Trees in Urban Area

高 玄 圭* 金 熙 江** 현 용 범***
Hyun-Kyoo Ko, Hui-Kang Kim, Yong-Bum Hyun

Abstract

In order to evaluate the state of the environmental pollution by vehicle exhaust in Seoul area the correlation between lead in air and leaves of roadside trees has been investigated during August in 1985. The dust in the atmosphere was collected by high volume air sampler to measure the concentration of lead. On the other hand, lead as a pollution indicator was extracted from the leaves of roadside trees (*Ginkgo biloba*, *Salix pseudo/lasiogyne*, *platanus occidentalis*) by conventional method and their concentrations were determined.

The following results were obtained:

1. Lead concentrations in the leaves of roadside trees varied with trees, for example, the average concentrations of lead in each of the leaves of *Ginkgo biloba*, *Salix pseudo/lasiogyne* and *Platanus occidentalis* were 20.66 ppm, 9.37ppm, and 10.58ppm, respectively.
2. The dust sampled along heavily traveled highways showed that lead content tended to increase with traffic volume.
3. The correlation coefficients between lead correlation in air and leaves of *Ginkgo biloba*, *Salix pseudo/lasiogyne*, and *Platanus orientalis* were 0.80, 0.85, and 0.87, respectively.

1. 緒 論

인위적인 대기汚染 시초는人間이 어떤 가연성 물질을 燃料로 삼아서 火力 에너지를 얻는 과정에서 發生하였으며 自然的으로는 火山의 폭발로 인한 大氣의 汚染이라 할 수 있다.

그리스時代의 「히포크라테스」는 모든 疾病은 汚染된 空氣가 원인이 된다고 밝힌 바와 같

이 大氣汚染은 人間이 삶을 영위하는 곳에서부터 古代로부터 現在에 이르는 긴 時間에 걸쳐 人間生活 속에 存在하여 왔음을 알 수 있다.¹⁾

産業의 發達과 人口의 集中現象에 따른 都市의 環境과피는 生物學的, 化學的, 物理的인 형태로 發生되고 있다.

生物圈에서 生産者로서의 위치에 있는 녹색식물은 항상 環境과의 相互作用에 크게 의존하고

* 서울환경측정관리사무소 Seoul Regional Monitoring Office, Environment Administration.

** 건국대학교 공과대학 : Kon-Kuk University College of Eng.,

*** 서울보건전문대학 환경관리과 : Seoul Health Junior College.

있다. 따라서 都心地에서 자동차 排出가스에 의해 汚染된 가로수의 光合成 能力은 크게 低下된다고 한다.²⁾

특히 都市의 大氣中 Pb는 主要汚染物質이 되고 있는데 Pb의 主要 固定 發生源으로는 鉛 및 鉛化合物을 含有하는 材料를 취급하는 作業장 주로 建前地, 축전지, 인쇄, 크레용, 그림물감, 안료, 에나멜, 페인트, 고무가공, 도가니 공업 등을 들 수 있으며 移動發生源으로는 자동차 燃料인 휘발유의 octane 價를 높이기 위하여 첨가된 4-에틸鉛이 燃燒過程을 거쳐 酸化鉛 등의 형태로 자동차 排出가스에 鉛이 포함되어 大氣를 汚染시키고 있다.³⁾

실제로 우리나라에서 市販되는 휘발유 中のPb 量을 測定해 본 結果 0.21~0.73g/l이고 (平均 0.48g/l), 1979年度 우리나라 휘발유 消費量은 $1,667 \times 10^6 \text{kl}^{4)}$ 이므로 加鉛된 Pb 全體가 排出가스로 放出된다면 $0.80 \times 10^6 \text{kg/year}$ 로 推算되고 있다.⁴⁾

가로수잎 중 Pb는 대기와 토양으로부터 축적된다. 대기로부터 浮遊粉塵中 Pb가 植物에 축적되는 과정으로서 중력침강(gravity settling), 충돌(impaction), 경우에 의한 것을 들 수 있는데 상대적 기어도는 명확치 않으나 粉塵의 중력침강이 가장 중요한 것으로 알려져 있으며 大氣로부터 침강된 Pb는 일반적으로 잎의 표면에 쌓여있어 많은 부분이 降雨에 씻겨져 나간다.⁵⁾ 앞에서의 Pb 체류는 잎의 형태, 軟毛(pubescence), 蠟質(waxiness), 함수율과 함수관계에 있으며 가공의 역할은 명확치 않다.^{6), 7)} 또한 토양으로부터 식물의 뿌리에 흡수된 Pb는 상부로 전달되어 잎에 존재하게 된다.⁶⁾ 토양중 대부분의 Pb의 난용성이나 불용성 상태로 存在한다고 가정하면 토양중 Pb의 대부분은 가로수에 흡수되기 어려울 것이고 용해성 Pb만이 흡수될 것이다.^{5), 8)} 토양중 植物의 Pb 흡수율은 토양중 인농도, 유기물의 농도, PH, 토양온도, 칼슘농도, 重金屬濃度, 용해성 실리콘, 氣後 등에 따라 다르다.^{5), 6)} 그리고 뿌리에 흡수된 Pb 중 소량만이 잎으로 轉流되므로 나무잎중의 Pb는 大氣中の Pb가 흡수된 것이 대부분인 것으로 알려져 있다.^{5), 6), 9)}

그러므로 本研究은 都市大氣의 粉塵中에 含有된 Pb의 大氣中 濃度를 測定하여 地域間的 汚染度를 把握하고 都市의 가로수잎 中の Pb濃度를 測定하여 自動車 排氣가스中的 Pb와의 相關關係를 밝히는데 目的을 두었다.

2. 材料 및 方法

2.1 試料採取 期間 및 場所

試料採取 期間은 1985年 8月 1日부터 8月 30日까지 實施하여(週 1回, 1回 捕集期間 8時間)이 期間中 捕集한 것을 使用하였다.

잎의 採取는 大氣試料의 捕集場所 부근에 있는 가로수중을 擇하였고 車道쪽으로 자란 1年生 가지를 무자위로 골라 이 가지 中の 잎을 採取하였다.

採受地域別 분류기호를 표1과 같이 정하였다.

Table 1. Class symbol of sampled sites

Measuring site	Gileum dong	Mapo	Duksoo Palace	Sillim dong	Chunho dong	Bulkwang dong
symbol	A	B	C	D	E	F

試料採取 場所의 選定은 交通量의 多少에 따라 外廊地域과 都心地域으로 3個 地點씩 總 6個 地點을 選定하였다. 그림 1

2.2 試料採取 方法

大氣中の 浮遊粉塵에 含有된 Pb를 捕集하기 위하여 High Volume Air Sampler (GNW-2000)를 利用하였다.^{10), 11)}

測定器는 최소 1.13 m³/min 流量으로 大氣를 吸入하여 20.3 × 25.4cm (8" × 10") 유리섬유 여과지(WHATMAN社製) 상에 試料를 採取하였다.

試料捕集前의 여과지는 24時間 동안 取適 保存狀態 下에서 坪衡을 유지하도록 하기위하여 온도 15~35°C, 상대습도 50%의 恒溫恒濕槽에 보관한 後 秤量하였고 大氣試料를 捕集한 後에도 동일한 方法으로 여과지를 보관한 後 秤量하였다. 大氣試料의 捕集 前, 後의 무게차에 의하여 粉塵의 濃度를 구하였다.

秤量은 「JAPPE TRADING CO製 Mettler AE 163」을 使用하였다.



Fig.1 Measuring sites

捕集된 여과지는 秤量한 後 Pb을 分析하였다. 이때의 分析方法은 環境汚染公定試驗法¹²⁾을 參考하였다.

2.3 大氣中 粒子狀 Pb의 分析方法

捕集된 여과지를 2等分하여 반장을 beaker에 찢어 넣고 2N-HNO₃ 60 ml로 沈積시켜 1日間 방치하여 捕集粉塵을 녹인 다음 이 液을 여과하고 여과液을 蒸發乾固시킨 後 여기에 구연산 암모늄 溶液 10 ml 및 指示藥으로 브롬티몰블루 溶液(0.1 w/v %) 3방울을 加하여 암모니아수로 中和시키고, 여기에 MIBK (methylisobuthyl ketone) 10 ml로 抽出한 것을 試料溶液으로 하였다.

이 試料를 原子吸光光度計(atomic absorption spectrophotometer) [PERKIN ELMER 2380; PERKIN ELMER社製]로 283.3 nm에서 測定하였다.

2.4 잎의 Pb 分析方法

잎의 採取量은 대개 200 g 정도로 하여 polyethylene 봉투에 포장한 後 실험실로 운반하여 處理는 주로 栽培植物 分析法¹³⁾에 의하였다. 試料는 24期間 동안 乾燥하여 100 mesh 以下로 粉碎하여 分析하였다.

試料 3 g을 秤量하여 分害液인 C-HNO₃ (60%)와 C-HClO₄ 混合液(8:5 w/w) 30 ml를 加하여 分害한 後 증류수 50 ml를 加하고 25% 구연산암모늄 溶液 10 ml와 브롬티몰블루 2~3방울을 加한 後, 암모니아 溶液으로 pH 7~8로 調整하였다. 여기에 40% 황산암모늄 溶液 10 ml를 加한 後 5% DDTC-Na (sodium diethyl dithio carbamate) 5 ml를 加하고 MIBK 10 ml를 加하여 抽出한 後 MIBK층만 分離하여 水浴에서 加熱 濃縮하였다. 分解液 40 ml를 加하여 分害 濃縮하고 0.1N-HCl로

檢液調製하여 AAS(原子吸光光度計)로 分析하였다.

2.5 樹種 選定方法

표 2 와 같이 서울地域에서 능수버들, 양버즘나무 등 15 樹種 中에서 殖材比率이 높은 은행나무, 양버즘나무, 능수버들의 3 樹種¹⁴⁾ 을 試料樹種으로 選擇하였다.

Table 2. Kinds of road side trees and their proportion. (1985)

Plant species	Number of trees	proportion
Ginkgo Biloba	34,504	17.36
Platanus occidentalis	98,159	49.38
Salix pseudo-lasiogyne	26,686	13.42
Prunus serrulata var. spontanea	4,831	2.43
Acer saccharinum	10,737	5.40
Populus tomentiglandulosa	11,635	5.85
Ailanthus altissima	1,701	0.86
Populus euramericana	4,616	2.32
Zelkova serrata	1,856	0.93
Robina pseudoacacia	540	0.27
Sophora japonica	1,601	0.80
Liriodendron tulipifera	1,105	0.56
Metasequoia glyptostroboides	351	0.18
Aesculus turbinata	174	0.10
Acer pseudo-sieboldianum	172	0.09
Total	198,794	100.00

3. 結果 및 考察

3.1 樹種別 잎중 Pb 濃度

서울地域의 가로수중 占有率이 높은 은행나무, 양버즘나무, 능수버들의 세가지 가로수의 잎을 採取하여 Pb 濃度を 測定한 結果는 표 3 과 같

다.

Table 3. Lead concentration in leaves by plant species

Plant species	Pb concentration (ppm)		
	Max.	Min.	Ave. ± SD
Ginkgo biloba	24.59	17.70	20.66 ± 2.36
Salix pseudo-lasiogyne	12.05	6.88	9.37 ± 1.54
Platanus occidentalis	13.60	8.10	10.58 ± 1.62

표 3 과 같이 樹種에 따라 그 잎중 Pb 濃도에 差異를 보여주고 있다.¹⁵⁾ 이는 樹種에 따라잎의 型態, 연모, 납질 및 Pb 흡수율과 뿌리의 Pb 흡수율이 다르기 때문에 기인한다.^{6),7)} 잎중 Pb 濃도를 보면 은행나무는 平均 20.66 ppm, 양버즘나무는 平均 10.58 ppm, 능수버들은 平均 9.37 ppm 으로서 은행나무가 가장 높고, 양버즘나무, 능수버들 順으로 낮은 濃도를 나타냈다. 이 結果로부터 은행나무의 잎에 의한 Pb 흡수율이 다른 두가지 樹種에서 보다 높다는 것을 알 수 있다.

3.2 地域別 잎중 Pb 濃度

6 個의 測定地域은 편의상 記號로 使用했으며 測定地域의 記號는 표 1 과 같다. 各 測定地域에서 가로수 잎중의 Pb 濃도를 표 4 에 나타내었다.

Table 4. Lead concentration in leaves by sampled sites

Sampled site	Pb concentration (ppm)		
	Max.	Min.	Ave. ± SD
A	24.59	10.33	15.76 ± 5.64
B	23.09	9.29	14.60 ± 5.40
C	24.61	9.13	14.76 ± 6.34
D	19.67	6.88	11.61 ± 5.13
E	19.51	7.47	12.00 ± 4.88
F	19.74	7.64	12.47 ± 4.62

또한 道路邊의 浮遊粉塵中 Pb 는 주로 自動車의 燃料 燃燒시에 大氣中에 排出된 것으로 推定

되므로 道路別 交通量을 감안하였으며 各 採取地域에서의 交通量은 표5와 같다. 표4와 같이 交通量이 많은 A,B,C 地域에 있는 街路樹 林中 平均 Pb 濃度는 각각 15.76 ppm, 14.60ppm, 14.76 ppm이고, 반면에 交通量이 적은 D,E, F 地域에서 林中 平均 Pb 濃度는 각각 11.61 ppm, 12.00 ppm 및 12.47 ppm을 나타내 街路樹 林中의 Pb 濃도와 交通量 사이에 相關性이 있음을 암시해 주고 있다.

Table 5. Traffic volume of sampled sites
unit : cars/day

site	class	Total	
	Light duty Vehicle (less than 2.5t)		Heavy duty Vehicle (more than 2.5t)
A	64,934	12,623	77,557
B	120,033	13,689	133,722
C	99,344	10,164	109,508
D	18,098	4,902	23,000
E	21,738	8,049	29,787
F	32,492	7,082	39,574

3.3 粉塵中 Pb 濃도와 交通量과의 關係

표6에 調査對象地域의 浮遊粉塵中 Pb 濃도를 나타내었다.

Table 6. Pb concentration in dusts

measuring site	Dust ion concentration ($\mu g/m^3$)	Lead concentration ($\mu g/m^3$)		
		Max.	Min.	Ave. \pm S.D.
A	146.5	0.126	0.105	0.115 \pm 0.010
B	127.4	0.113	0.096	0.103 \pm 0.007
C	124.7	0.094	0.070	0.083 \pm 0.011
D	110.2	0.027	0.014	0.022 \pm 0.006
E	119.5	0.033	0.018	0.026 \pm 0.006
F	106.3	0.064	0.049	0.056 \pm 0.007

粉塵中 Pb의 平均濃度는 A地點이 $0.115 \mu g/m^3$, B地點이 $0.103 \mu g/m^3$, C地點 $0.083 \mu g/m^3$, D地點 $0.022 \mu g/m^3$, E地點 $0.026 \mu g/m^3$, F地點 $0.056 \mu g/m^3$ 를 나타내었다. 따라서 표5의 交通量과 표6의 粉塵中 平均 Pb 濃도와 相互關係를 그림 2에 나타내었다. 그림

2와 같이 單純回歸分析한 結果, 回歸直線式은

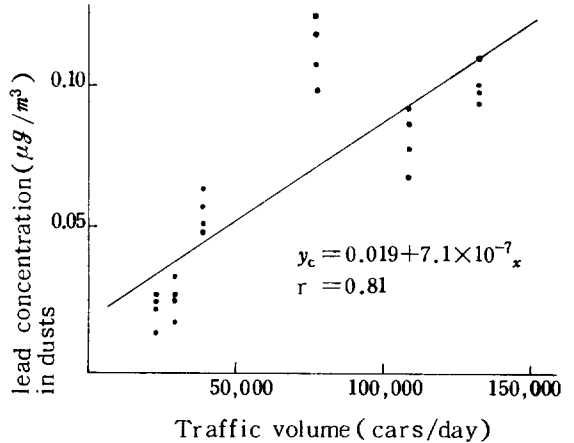


Fig.2 Correlation between the lead concentration in dusts and traffic volume

$y_c = 0.019 + 7.1 \times 10^{-7}x$ 이며 相關係數는 0.81로서 粉塵中 Pb 濃도와 交通量과의 사이에 높은 相關關係가 있음을 알 수 있다.^{16), 17)} 또한

Table 7. Correlation between the lead concentration in dusts and dust concentration in air

site	A		B		C		D		E		F	
	Pb	TSP	Pb	TSP	Pb	TSP	Pb	TSP	Pb	TSP	Pb	TSP
Week	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$
1	0.126	150.4	0.103	143.2	0.080	136.3	0.025	104.6	0.031	122.2	0.051	96.6
2	0.109	140.6	0.113	127.5	0.070	110.5	0.023	111.4	0.031	114.1	0.034	120.1
3	0.120	150.7	0.066	118.1	0.034	130.7	0.044	125.9	0.018	107.5	0.028	98.4
4	0.105	135.1	0.100	120.6	0.080	121.2	0.027	98.9	0.027	134.3	0.019	110.2
Ave.	0.115	145.5	0.100	127.4	0.083	124.7	0.022	110.2	0.026	119.5	0.027	106.3
S. D.	0.010	10.9	0.007	11.3	0.011	11.2	0.005	11.6	0.006	11.5	0.007	11.0

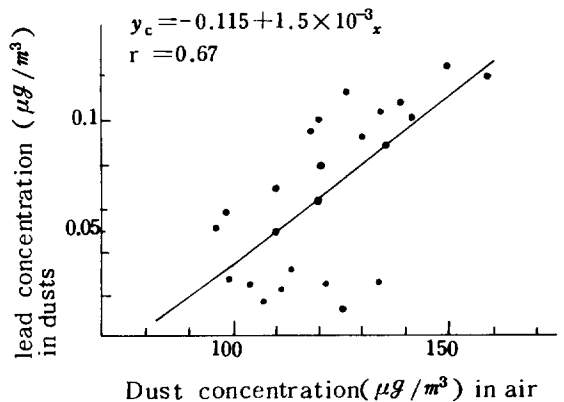


Fig.3 Correlation between the lead concentration in dust and dust concentration in air

測定地點別로 大氣中 粉塵의 濃度와 粉塵中의 Pb 濃度와의 關係는 表7 및 그림3과 같다. 大氣中 粉塵과 Pb는 거의 같은 거동을 하는 것을 알 수 있다. 그림3에서 보는 바와 같이 大氣中 粉塵과 粉塵中 Pb 사이에는 좋은 직선關係를 나타내고 있으며 그 직선식은 $y_c = -0.115 + 1.5 \times 10^{-3}x$ 이며 相互係數 r 은 0.67로 높은 相關性을 나타내었다. 이와 같이 大氣中 粉塵과 Pb는 거의 같은 거동을 하는 것을 알 수 있으며 道路邊에서의 粉塵은 주로 自動車의 주행에 그 원인이 있는 것을 암시해 주는 것으로 생각된다.¹⁸⁾

3.4 잎中の Pb 濃度와 粉塵中 Pb 濃度の 關係

測定地點別로 은행나무, 양버즘나무 및 능수버들의 잎에 含有된 Pb의 濃度와 粉塵中 Pb 濃度は 表8과 같다.

Table 8. Lead concentration in dusts and lead concentration in leaves

Measuring site	Lead conc. in dusts ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Lead concentration in leaves ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)		
		Ginkgo Biloba	Salix pseudo	platanus orientalis
A	0.115	23.25	11.26	12.77
B	0.103	21.76	10.25	11.81
C	0.083	23.27	10.08	10.92
D	0.022	18.48	7.71	8.64
E	0.026	18.52	8.28	9.20
F	0.056	18.58	8.67	10.15

各 地域에서의 樹種別 잎中 Pb 濃度は 表8에 나타난 것과 같이 은행나무 > 양버즘나무 > 능수버들의 順으로 은행나무의 잎에서 Pb 濃도가 가장 높았다.

大氣의 浮遊粉塵中 Pb 濃도가 은행나무, 양버즘나무 및 능수버들의 잎中 Pb 濃도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 그림 4~6에 粉塵中 Pb 濃도와 樹種別 잎中 Pb 濃度の 關係를 나타내었다. 粉塵中 Pb 濃도와 은행나무, 양버즘나무, 능수버들의 잎中 Pb 濃度は 각각 $y_c = -0.19 + 1.2 \times 10^{-2}x$, $y_c = -0.14 + 2.2 \times 10^{-2}x$ 및 $y_c = -0.14 + 2.0 \times 10^{-2}x$ 의 직선 關係를 나타냈으며 相關係數로 각각 0.80, 0.85, 0.87으로서 높은 相關性을 나타내어 街路樹 잎中の

Pb 濃度は 大氣의 浮遊粉塵中 濃도에 영향을 받는 것으로 추정되었다.

以上の 結果로부터 自動車 燃料인 휘발유에 4에틸납을 조연제로 첨가하는 한 自動車 排出가스에 의한 地域의 汚染을 評價하는 한가지 指標로서 街路樹 잎中の Pb 含量을 장기간에 걸쳐 축적한 데이터를 해석함으로써 自動車 排出가스에 의한 地域의 汚染의 特徵을 밝힐 수 있을 것으로 사료된다.

또한 今後의 研究課題로서는 自動車 排出가스에서 Pb와 함께 排出되는 NO_x 및 SO_3 의 街路樹 잎中の Pb의 關係를 규명함으로써 自動車 排出가스에 의한 그 地域의 大氣汚染 特性을 明確히 밝히는데 도움이 될 것으로 생각된다.

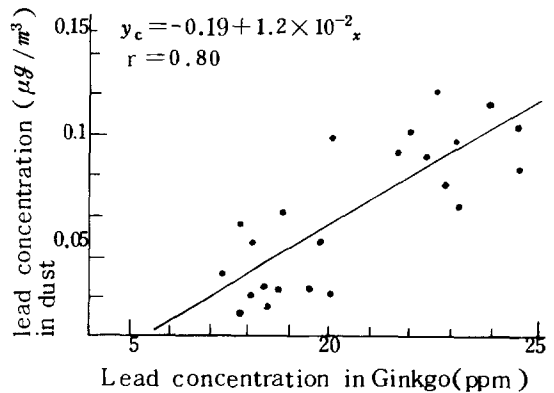


Fig.4 Correlation between the lead concentration in Ginkgo and Pb concentration in dusts

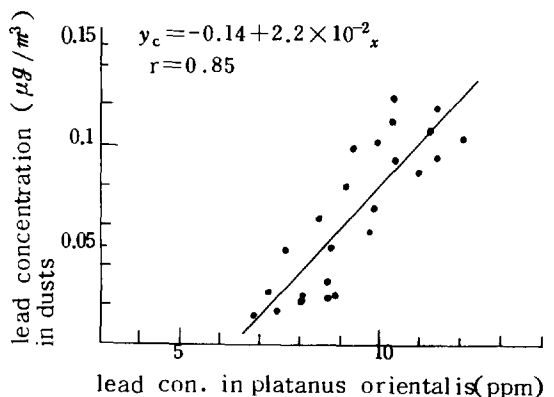


Fig.5 Correlation between the lead concentration in platanus orientalis and lead concentration in dusts

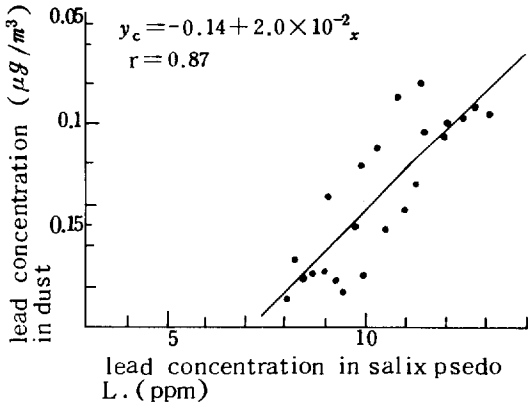


Fig.6 Correlation between the lead concentration in salix pseudo and lead concentration in dusts

4. 結 論

서울市內의 6 個地域에서 1985 年 8 月 1 日부 터 8 月 30 日까지의 사이에 大氣浮遊粉塵中 Pb 의 濃度를 測定하고, 같은 地域의 街路樹中 식 재비율이 높은 은행나무, 양버즘나무 및 능수버 들의 잎을 採取, 잎中 Pb 濃度를 測定하여 각 각의 相關性을 검토한 결과, 다음과 같은 結論 을 얻었다.

1. 街路樹의 樹種에 따라 그 잎中の 平均 Pb 濃度는 은행나무가 20.66 ppm, 양버즘나무 10.58 ppm 그리고 능수버들은 9.37 ppm 으로 나타났다.

2. 交通量이 많은 地域에서 採取된 粉塵中の Pb 濃度는 交通量이 적은 地域에서 보다 높은 경향 을 보였다.

3. 粉塵中 Pb 濃도와 은행나무, 양버즘나무 및 능수버들 잎中の Pb 濃度の 相關係數는 각 각 0.80, 0.85, 0.87 로 높은 相關關係를 보여 街 路樹 잎中の Pb 濃度는 大氣의 浮遊粉塵中 Pb 濃도에 의하여 영향을 받는 것으로 추정되었다. (原稿接受 '86.10.13)

참 고 문 헌

1. 노재식 外 7 人, (1983), 大氣汚染, 12 産 業公害研究所.
2. 임경빈 外 5 人, (1976), 大氣오염이 조경

수목의 생육에 미치는 영향에 관한 조사연구, 99130 서울특별시.

3. 권숙표, (1972), 서울시 대기오염배출량한 국공해방지협회보
4. 차철환, (1983), 대기오염 현황과 발전, 대 한의학협회지, 제 26 권, 2 호, 110.
5. William H. Smith, (1976), Lead Contamina- tion of the Road Ecosystem, JAPCA, 26(8), 753-766.
6. Robert L. Zimdahl, (1976), Entry and Move- ment in Vegetation of Lead Derived From Air and Soil Sources, JAPCA, 36(7), 655- 660.
7. Roger W. Carlson, Fakhri A. Bazzaz, and James J. Stukel, (1976), Physiological Effects, Wind Reentrainment and Rainwash of Pb Aerosol Particulate Deposited on plant Leaves, Environ. Sci. Technol., 10(12), 1139- 1142.
8. E.E. Koslow, W.H. Smith, and B.J. Staska- wicz, (1977), Lead Containing Particles on Urban Leaf Surfaces, Environ. Sci. Technol., 11(10), 1019-1021.
9. Harry L. Motto, et al, (1920), Lead in Soils and Plants: Its Relationship to Traffic Volume and Proximity to Highways, En- viron. Sci. Technol., 4(3), 231-238.
10. 환경청 대기보전국, (1985), 하이볼륨 샘플러 운영지침서.
11. Method of Air Sampling and Analysis (1972), 2nd Edition, APHA.
12. 환경청, (1983), 환경오염 공정시험법(대 기편), 288.
13. 작물분석법위원회, (1983), 재배식물분석법 63~69, 양현당.
14. 김재봉 外 7 人, (1985), 도시녹화수의 내 연성에 관한 연구, 국립환경연구소.
15. 立本英機, 中川良三, 鈴木伸, (1985), 大氣 汚染と他の環境汚染との相關性に関する地域 的研究(第 3 報) 大氣汚染物質と植物の金屬 含有量との相關, 大氣汚染學會誌, 20(6), 451~462.

16. Robert H. Daines, Harry Motto, and Daniel M. Chilko, (1970), Atmospheric Lead: It's Relationship to Traffic Volume and Proximity to Highways, Environ, Sci. Technol., 4 (4) 318-323.
17. J. Kazimir, B. Clark, and E. Brennan, (1982), Tree Indicate Decreased Lead Pollution along New Jersey Highways, JAPCA, 32(9), 957-958.
18. 神浦俊一 外 5 人, (1981), 粒子狀物質 地域特性調査—地域特性, 大阪市元 環境研究所 報告, 28 ~ 39.