Korean J. Ecol. 16(2) : 199~208, 1993

가로수 잎의 S 및 중금속 함량에 의한 대기 오염도 추정

오 인 혜

배재대학교 이공대학 생물학과

Estimation of Relative Air Pollution by the Contents of S, Pb and Cd in Leaves of Roadside Trees in Taejon

Oh, In-Hye

Department of Biology, Pai-Chai University

ABSTRACT

To estimate the level of the air pollution in Taejon city, the contents of S, Pb and Cd of the leaves of the roadside trees were determined. And we analyzed the relationship between the contents of S, Pb and Cd in the leaves of the roadside trees and traffic volume.

The ranges of S, Pb and Cd contents in all the samples were 1.82~4.34 mg/g, 1.95~246.80 μg/g and 2.00~20.50 μg/g respectively. Areas with the high contents of S, Pb and Cd in the leaves were the road from Taejon railroad station to the provincial government, West Taejon crossroad, Taehwa-dong, Kasuwon-dong and Yongmun crossroad.

Key words : Sulfur, Lead, Cadmium, Roadside tree, Taejon

서 론

인구의 증가와 함께 교통수단, 난방, 취사에 의한 오염물질의 배출이 점차 심각한 문제로 대두되고, 산업발달에 의해 생성되는 각종 폐기물은 오염의 정도를 크게 가중시키고 있다. 오염물질은 직접 간접으로 인간이나 동식물에 피해를 야기시키고 생태계를 파괴한다. 오염원은 크게 공장의 배출물, 자동차의 배기가스, 생활활동 결과 배출되는 오물 및 가스들로 분류될 수 있다(Ichiro and Kitagishi 1982). 우리나라의 경우 대기오염의 주 원인 중의 하나로 자동차 배기가스가 보고되어 있으며, 자동차 배기가스로 부터 나오는 납, 유황과 타이어의 마모 잔유물로부터 나오는 카드뮴은 생물에 큰 피해를 준다(Choi *et al.* 1984, Largerwerff and Specht 1970). 이들 오염물질은 대기에 의해 운반되어 토양 내에 축적되어 있다가 식물체에 흡수되거나, 직접 식물체에 흡수되면 세포 내 원형질을 구성하는 단백질과 결합하여 세포를 파괴시키고 효소의 작용을 억제하며 호흡작용과 연관된 여러가지 생리적 작용을 저해한다(차 1975). 辰己(1973)의 보고에 의하면 가로수의 잎과 그 표토 내에는 Pb, Zn, Cu, Cd, Mn, Fe 등이 비교적 높은 농도로 축적되어 있다고 한다. Zn, Cu, Mn 이 과다하게 축적되는 경우에, 또는 Pb이 축적되었을 경우에는

식물체에 유해하다(Page and Bingham 1973). Pb는 도로 주변 토양에서 가장 현저한 차이를 보이는 금속으로 그 농도는 교통량에 비례하고 도로변으로 부터의 거리에 반비례한다(Warren and Delavault 1962). 또한 차(1975)는 납이 식물에 흡수되면 잎에 황화현상이 나타나고 빠른 낙엽현상이 수반된다고 하였고, 清水 등(1973)은 식물의 종류에 따라 납의 유독성에 대한 내성이 다르다고 보고하였다. 대기 중의 황은 저농도일 때는 식물이 흡수하여 이용하나 고농도일 경우에는 원형질 분리현상을 일으켜 치명적인 해를 입히거나(Suwannapenut and Koslowski 1980), 고등식물의 엽록소를 파괴시킨다고 하였다(Kim 1984).

그리하여 구미 여러나라와 일본에서도 가로수에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며(Flores and Casterllon 1982, 岡崎 등 1977, 池田 과 依田 1982) 우리나라에서도 이에 대해서 활발한 연구가 이루어지고 있다(장 1990, 장과 이 1990, 장 등 1990, Kim 1984). Kim(1984)은 1983 년 서울지역에서 플라타너스, 수양버들 및 은행나무의 수피에서 Zn, Cu, Mn, Pb의 함량을 측정하였으며 특히 도로변에서 Pb 의 함량이 높고 또 농도는 교통량과 깊은 상관이 있음을 보였다. 장(1990)은 서울지역 가로수 능수버들의 피충에서 S, Cd 및 Pb의 함량을 측정하였으며, 장과 이(1990)는 서울지역 은행나무 낙엽에서 S, Pb 및 Cd의 함량을 보고하였다. 또 장 등(1993)은 서울, 대전, 대구, 광주 및 부산 5개 도시에서의 버즘나무 낙엽에서 수용성 황 함량을 조사하여 교통량과 밀접한 상관이 있음을 보였다. 오(1992)는 대전지역의 가로수 수피가 중금속으로 오염되어 있음을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 대전지역의 가로수를 대상으로 가로수 잎의 S, Pb 및 Cd 의 농도를 측정하여 대기오염 정도를 추정하고자 한다.

재료 및 방법

조사 지소 선정

조사지소는 대전 지역 도로를 중심으로 하여 고르게 배치하여 28 개소를 선정하였으며, 교통량이 적은 보문산을 대조구로 선택하였다(Fig. 1).

재료 및 분석내용

조사재료는 대전지역의 주 가로수종인 양버즘나무(*Platanus occidentalis*), 백합나무(*Liriodendron tulipifera*) 및 은행나무(*Ginkgo biloba*)를 대상으로 1992년 7월 15일에서 7월 30일 사이에 가로수의 잎을 채취하였다. 표본으로는 수목의 직경이 약 15cm, 수고 1~3m 인 가로수를 선택하였으며 각 조사지소에서 3 개의 수목을 선정하고 각 수목당 7~8 개의 잎을 채취하였다. 채취한 잎은 증류수로 2~3회 잘 세척한 후 70℃에서 48시간 건조시킨 후 분쇄기로 갈아 0.5mm 체로 쳐서 보관하였다.

분석방법

1) 중금속 분석

보관된 표본을 0.5g 취하여 conc. HNO_3 5ml /g를 가하여 약한 열로 30 분간 가열한 후 식히고, ternary solution 2~4ml /g을 가하여 100~200℃ 에서 더 이상 갈색 연기가 나오지 않고 액이 투명하게 될 때까지 가열하였다. 가열이 끝나면 식혀서 여과하고 증류수를 가하여 50ml 로 한 다음 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer:Perkin-Elmer 3100)로 중금

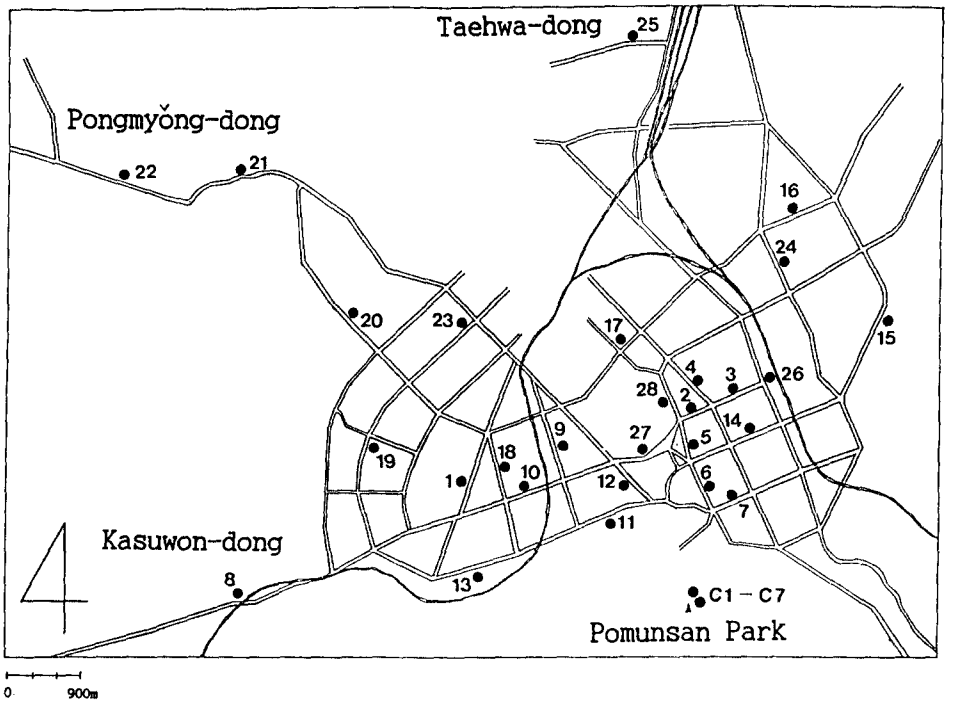

Fig. 1. Location of sampling sites in Taejon

1 Yuch'ŏn-dong Ⅰ, 2 Sŏnhwa-dong Ⅰ, 3 Chung-dong Ⅰ, 4 Chung-dong Ⅱ, 5 Taehung-1-dong, 6 Taehung-3-dong, 7 Muncháng-dong, 8 Kasuwon-dong, 9 Oryu-dong, 10 Yuch'ŏn-dong Ⅱ, 11 Munhwa-dong Ⅰ, 12 Munhwa-dong Ⅱ, 13 Samsŏng-dong, 14 Unhaeng-dong, 15 Chayang-dong, 16 Yongjŏn-dong, 17 Chungch'on-dong, 18 T'aepyŏng-dong, 19 Pyŏn-dong, 20 Nae-dong, 21 Wolp'yŏng-dong, 22 Pongmyŏng-dong, 23 Kajang-dong, 24 Songnam-do, 25 Taehwa-dong, 26 Won-dong, 27 Yongdu-1-dong, 28 Sŏnhwa-dong Ⅱ, C1 Pomunsan Ⅰ, C2 Pomunsan Ⅱ, C3 Pomunsan Ⅲ, C4 Pomunsan Ⅳ, C5 Pomunsan Ⅴ, C6 Pomunsan Ⅵ, C7 Pomunsan Ⅶ

속의 농도를 측정하였다(APHA-AWWA-WPCF 1989).

2) 황의 함량 측정

Allen *et al.*(1974)에 따라 황의 함량을 측정하였다. 즉, 건조 시료 0.2g을 도가니에 넣고 Conc. HNO_3 2ml 를 가하여 하루 동안 증발시킨 다음 10% $MgNO_3$를 2ml 넣고 70℃에서 증발시킨다. 이것을 500℃에서 12 시간 가열한 후 25% HNO_3 5ml을 가하여 여과시킨다. 50% CH_3COOH 5ml, H_3PO_4 1ml을 가하여 잘 섞은 후 $BaCl_2$ 1 g을 넣고 10분간 방치한 후 10번 뒤집어 혼합하고, 5 분 후 다시 10번 뒤집어 혼합한다. 다시 5분 후 10번 뒤집어 혼합한 후 0.5% gum acacia 1ml을 넣고 증류수로 50ml가 되게 한다. 1시간 30분 후 470nm 에서 흡광도를 측정한다. 또 오(1992)에서 채취되었던 수피 표본의 황의 함량도 동일한 방법으로 분석하여 잎의 황 함량과 비교하였다.

결과 및 고찰

각 지소별 잎의 S, Pb 및 Cd 의 함량과 수피의 S 함량 분석결과는 Table 1 과 같다. 1990 년에 조사된 자동차 통행량 자료(대전직할시 1991)도 함께 표시하였다.

자동차 통행이 거의 없는 보문산 지역의 수목과 도로변 가로수 잎에서의 S, Pb 및 Cd 의 함량

Table 1. S, Pb and Cd contents in the leaves of the roadside trees in Taejon

Site no.	Tree species	Leaf			Bark	Traffic volume (cars per hour)
		S(mg/g)	Pb(μg/g)	Cd(μg/g)	S(mg/g)	
1	*G. biloba*	1.90	–	–	0.63	–
2	*G. biloba*	2.59	5.32	2.00	0.75	3412
3	*G. biloba*	2.88	13.96	6.80	0.90	3412
4	*G. biloba*	2.70	192.00	3.20	0.90	2386
5	*P. orientalis*	2.53	12.44	3.00	1.25	1999
6	*G. biloba*	2.57	9.01	12.00	1.39	1999
7	*P. orientalis*	3.23	3.75	15.00	–	2834
8	*G. biloba*	3.49	178.20	9.00	5.14	–
9	*L. tulipfera*	2.22	30.15	16.00	0.60	–
10	*L. tulipfera*	2.52	5.64	14.00	0.60	4088
11	*P. orientalis*	–	34.59	13.00	–	–
12	*L. tulipfera*	3.00	10.68	10.50	0.69	4692
13	*P. orientalis*	2.32	5.74	12.00	1.08	–
14	*P. orientalis*	2.71	7.80	18.00	0.81	2923
15	*P. orientalis*	2.31	10.81	20.50	–	2993
16	*P. orientalis*	1.82	11.63	15.00	0.74	4759
17	*L. tulipfera*	2.43	10.20	12.00	0.99	5484
18	*P. orientalis*	–	9.07	18.00	0.57	–
19	*P. orientalis*	2.09	2.50	10.50	–	–
20	*L. tulipfera*	2.07	15.58	13.50	–	–
21	*L. tulipfera*	1.93	2.43	13.00	0.26	2483
22	*P. orientalis*	1.85	1.95	5.00	0.62	–
23	*P. orientalis*	2.82	2.94	5.00	1.16	–
24	*L. tulipfera*	2.96	8.37	10.00	0.95	3203
25	*P. orientalis*	3.32	32.55	2.50	0.66	–
26	*P. orientalis*	4.34	246.80	11.00	1.30	3890
27	*P. orientalis*	–	–	–	1.06	4088
28	*P. orientalis*	–	–	–	1.83	1999
C1	*G. biloba*	1.56	3.46	3.60	0.42	0
C2	*G. biloba*	1.27	1.70	3.00	0.33	0
C3	*P. orientalis*	0.92	1.34	3.60	0.94	0
C4	*P. orientalis*	1.59	3.54	3.40	0.53	0
C5	*P. orientalis*	1.71	3.18	3.40	1.25	0
C6	*P. orientalis*	2.43	–	3.40	0.55	0
C7	*G. biloba*	1.55	15.66	3.60	–	0

은 뚜렷한 차이가 있었다(p=0.001, 0.02 및 0.000). 그러나 두 지역 수목의 수피에서의 S 함량은 차이가 없었다(p=0.11). 각 조사지소 별로 가로수의 수종에 따른 S, Pb 및 Cd 함량은 차이가 없는 것으로 나타나(각각 p=0.96, 0.33 및 0.11) 수종에 따른 차이는 고려하지 않았다.

S 함량

Table 1에서 보는 바와 같이 S의 함량이 보문산 가로수의 잎에서 0.92~2.43mg/g 인데 반하여, 도로변 가로수 잎의 S 함량은 1.82~4.34mg/g으로 2 배 정도 높았다. 가로수 수피의 S 함량 조사 자료와 비교하면 일반적으로 잎의 황 함량이 높았다. 수피의 S 함량도 보문산이 0.33~1.25mg/g 인데 반하여 도로변 가로수에서 0.26~5.14mg/g 으로 2.5 배 정도 높았다. 이 자료를 2.5mg/g 이상인 곳, 2.0~2.5mg/g인 곳, 2.0mg/g 이하인 곳의 3개의 그룹으로 나누어 지도상에 표시한 결과는 Fig. 2와 같다. 수피의 S 함량은 대전역 앞에서 도청에 이르는 도로와 서대전 사거리 및 서대전으로 향하는 도로와 둔산지역 개발로 인해 통행량이 많은 용문 사거리에서 2.82mg/g, 공업지역인 대화동이 3.32mg/g 그리고 1992 년 가수원교의 확장 공사가 이루어지고 있던 정림동에서 4.34mg/g 으로 높게 나타났다. 자양동에서 대전탑에 이르는 도로와 가장동에서 유성으로 향하는 도로에서 다소 높게 나타났다. 보문산 지역 C7 에서 S 함량이 높은 것은 그 지역이 놀이 공원 부근으로 차량의 통행과 연관되는 것으로 사료된다.

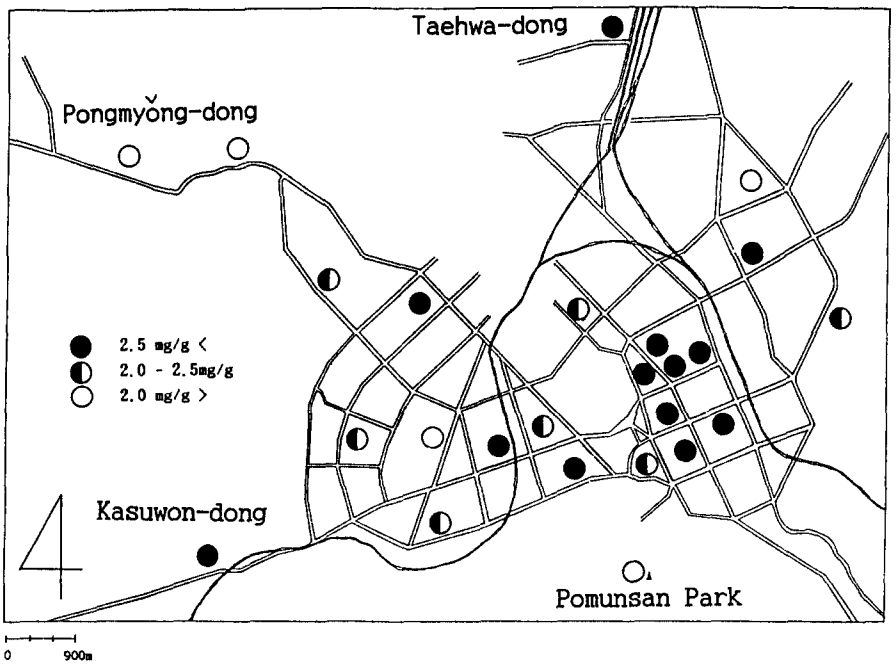

Fig. 2. Estimation of relative air pollution in Taejon by the contents of S in the leaves of the roadside trees.

잎과 수피의 S 함량과 자동차 통행량과의 관계를 조사하였다(Fig. 3). Fig. 3 에서와 같이 자동차 통행량이 증가함에 따라 잎의 S 함량이 증가함을 알 수 있었으며 두 변수의 상관계수는

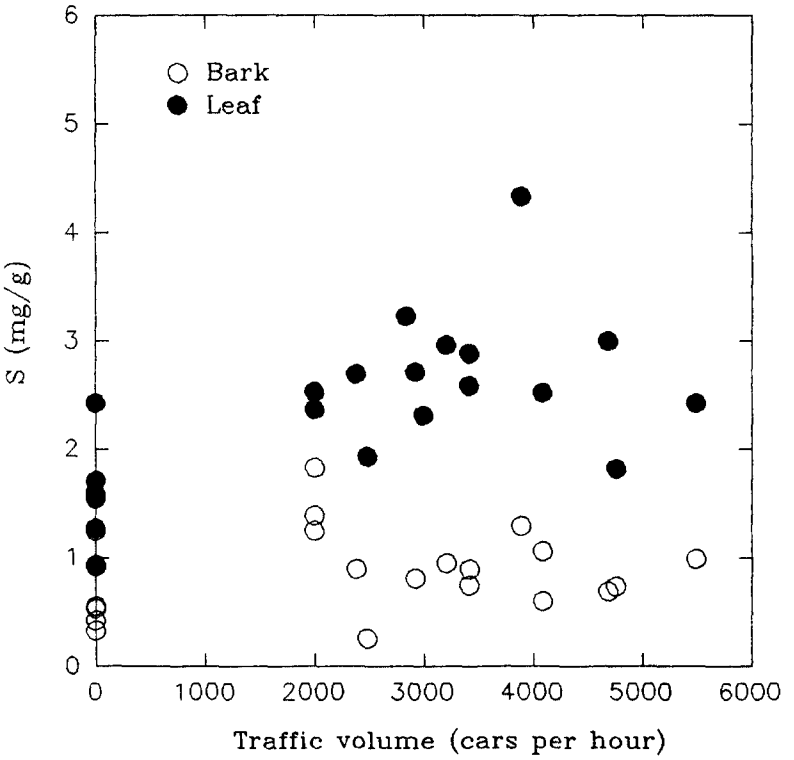

Fig. 3. Relationship between the contents of S in leaves of the roadside trees and traffic volume. For comparison, the contents of S in the barks of the roadside trees were plotted.

0.61($p<0.01$) 이었다. 차량이 증가할수록 대기오염 정도가 심하므로 이러한 결과는 장 등(1993)의 가로수 낙엽의 S 함량은 교통량과 밀접한 관련이 있다는 보고와 일치하는 것이다.

Pb 함량

잎의 Pb 함량은 보문산의 가로수의 잎에서 1.34~15.66 μg/g 인데 반하여 도로변 가로수의 잎은 1.95~246.80 μg/g 으로 9 배 정도 높았다. 이를 30 μg/g 이상인 곳, 7~30 μg/g 인 곳 그리고 7 μg/g 이하인 곳의 3 그룹으로 나누어 지도에 표시하여 보면 Fig. 4와 같이 S 함량에서와 유사한 경향을 나타내었다. Pb 함량은 대전역 앞에서 도청에 이르는 거리와 서대전 사거리, 대화동, 가수원 교각공사가 이루어지는 정림동은 비교적 높은 편이고, 자양동에서 대전탑에 이르는 도로와 가장동에서 유성으로 향하는 지역이 다소 높았다. 잎의 Pb 함량은 교통량과는 밀접한 상관을 보이지 않았으며 수피의 Pb 함량에 비하여 낮았다(Fig. 5).

Cd 함량

보문산 수목의 잎의 Cd 함량이 0.33~1.25 μg/g인데 반하여 도로변 가로수의 잎의 Cd 함량은 2.00~20.50 μg/g 으로 16배나 되었다. 이를 13 μg/g 이상인 곳, 7~13 μg/g 인 곳 그리고 7 μg/g 이하인 곳의 3 그룹으로 나누어 지도에 표시하였다(Fig. 6). Cd 는 대전역 앞보다는 서

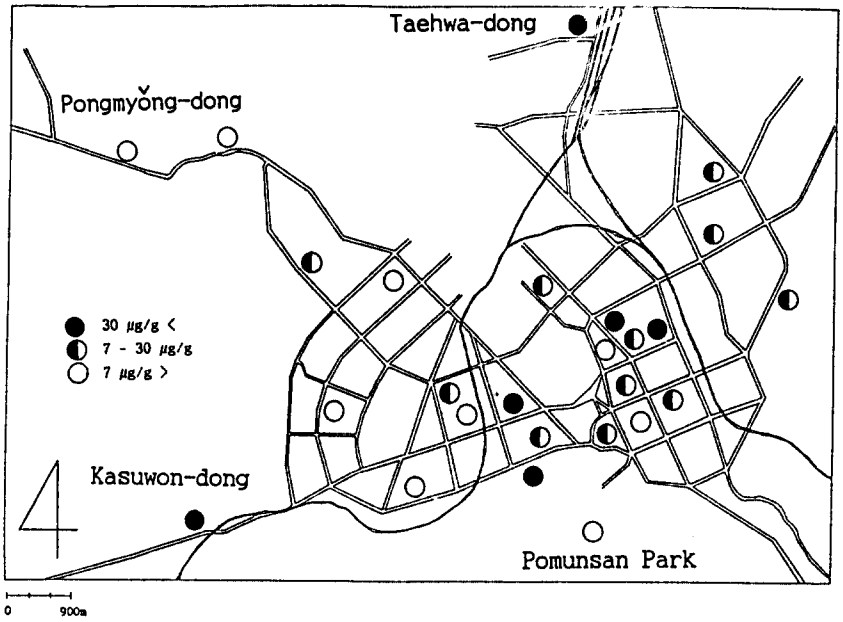

Fig. 4. Estimation of relative air pollution in Taejon by the contents of Pb in the leaves of the roadside trees.

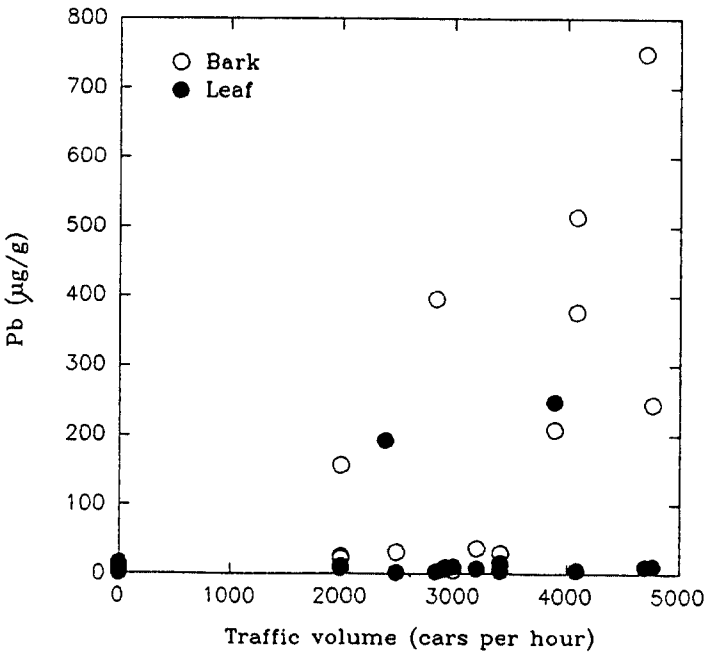

Fig. 5. Relationship between the contents of Pb in leaves of the roadside trees and traffic volume. For comparison, the contents of Pb in the barks of the roadside trees were plotted.

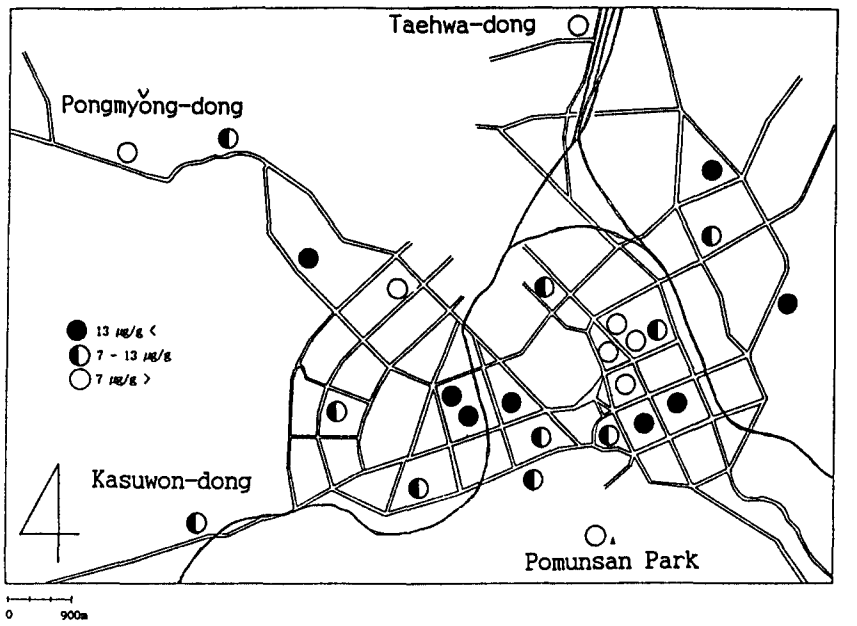

Fig. 6. Estimation of relative air pollution in Taejon by the contents of Cd in the leaves of the roadside trees.

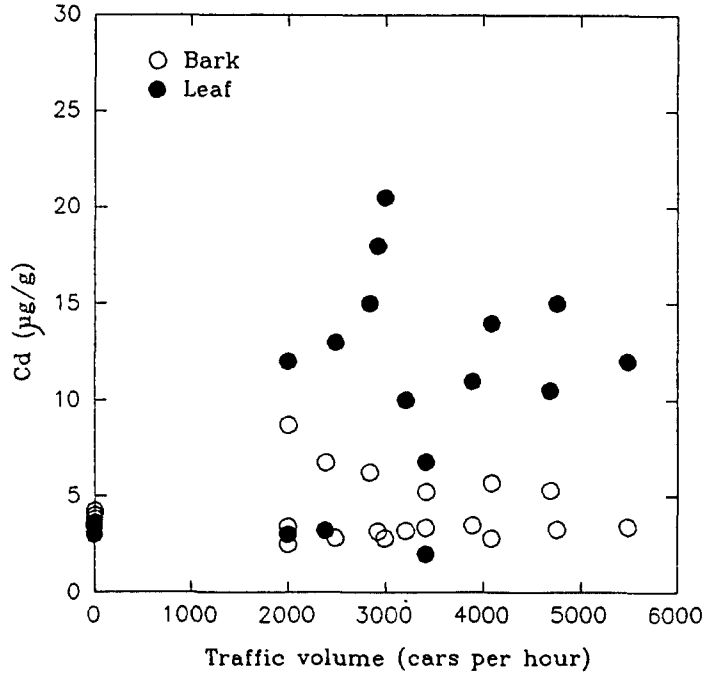

Fig. 7. Relationship between the contents of Cd in leaves of the roadside trees and traffic volume. For comparison, the contents of Cd in the barks of the roadside trees were plotted.

대전 사거리에서 도마동 사거리에 이르는 도로, 은행동, 자양동에서 대전탑에 이르는 도로의 가로수의 잎에서 높았다. 자동차 통행량과의 관계를 조사해 보니 자동차 통행량 증가에 따라 잎의 Cd 함량이 증가됨을 알 수 있었으며 상관계수는 0.63($p<0.01$)이었다(Fig. 7).

위에서 본 바와 같이 도로변 가로수 잎의 S, Pb 및 Cd 함량은 자동차의 통행량과 밀접한 상관을 보이는데, 대기오염원 중의 S는 차량, 공장, 난방, 취사 등 연료의 사용으로 인해 배출되는 가스에 함유되어 있는 SO_2 라고 추정되며 Pb 와 Cd 의 오염은 주로 차량의 배기가스와 타이어의 마모에 의한 것으로 생각된다 (Page and Ganje 1970). S 은 풍향, 풍속이나 강수양상 등의 기상요인에 의해서도 큰 영향을 받는 것으로 보여지며 Pb 와 Cd은 중금속이므로 발원지와 보다 큰 관계가 있는 것으로 추정된다.

또한 대전시 가로수의 이러한 중금속 함량은 장과 이(1990)의 서울의 은행나무 낙엽의 분석결과와 비교해 보면 다소 낮은 편이었다. 이는 본 문을 위한 표본이 7월에 채취된 반면에 장과 이(1990)의 논문은 11월에 낙엽을 분석한 것으로 표본 채취시기의 차이에 의한 것으로 생각된다.

적 요

대전시의 대기오염 정도를 알기 위해 도로변 가로수 잎의 S, Pb 및 Cd 의 함량을 조사하였으며, 보문산을 대조구로 하였다.

조사결과 S 의 함량은 도로변의 가로수에서 1.82~4.34 mg/g 으로 보문산의 가로수가 0.92~2.43 mg/g 인데 비하여 2배 정도 높았으며, 자동차 통행량이 많은 지역에서 높게 나타났다 ($r=0.61$, $p<0.01$). 또 Pb의 함량은 도로변 가로수의 잎에서 1.95~246.80 μg/g 이었으며 보문산의 1.34~15.66 μg/g에 비하여 9 배나 되었으며, S의 함량이 높은 지역에서 역시 높았다. 잎의 Cd 함량은 보문산 수목의 잎에서 0.33~1.25 μg/g, 도로변 가로수의 잎에서 2.00~20.50 μg/g 으로 도로변 가로수의 잎에서 16배나 되었다.

이를 종합하여 볼 때, 대전역에서 도청에 이르는 도로, 서대전 사거리, 대화동, 가수원교 확장공사가 이루어지는 정림동 부근, 용문 사거리가 비교적 대기오염이 심한 것으로 추정되었으며, 자양동에서 대전탑으로 이르는 도로, 가장동에서 유성으로 향하는 도로는 다소 오염된 정도이었다.

인용문헌

대전직할시. 1991. 제30회 대전통계연보.

오인혜. 1992. 대전시의 가로수 수피 및 표토의 중금속 오염에 관한 연구-1. 가로수 수피의 중금속 축적에 관한 연구. 배재대학교 자연과학논문집 5:19-24.

장남기. 1990. 서울 지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향 2.능수버들 가로수 피층의 S, Pb 및 Cd 함량에 의한 대기의 상대 오염도 추정. 한국생태학회지 13:143-148.

장남기, 이경형. 1990. 서울 지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향 3. 지역별 은행나무 낙엽의 S, Pb 및 Cd 함량. 한국생태학회지 13:165-172.

장남기, 배진호, 김승철. 1990. 서울 지역의 대기오염이 강수와 생물에 미치는 영향 4. 지역별 소나무 수피의 S, Pb 및 Cd 함량 변화. 한국생태학회지 13:173-180.

장남기, 권혜련, 이선경, 강미정. 1993. 버즘나무 낙엽의 수용성 황 함량에 의한 대기오염의 상대

평가. 한국생태학회지 16:27-37.

차종환. 1975. 환경오염과 식물. 현대과학신서.

岡崎正規 , 山根一郎, 右田裕二, 宮田千春. 1977. 街路土壤の アルカフリ 化と 重金屬 汚染 - 東京都府中市お 例 として-. 農業土木學會誌 49:13-17.

池田愛一郎 and 依田恭二. 1982. 堺市に おける土壤の 金屬汚染. 日生態會誌 32:241-249.

辰己修三. 1973. 重金屬 と樹木. 公害對策, 9(9):1-12.

清水武, 市倉恒七, 前田正男. 1973. 水滔およびそさいの鉛の吸收ついて. 日本土肥要旨 19:166.

Allen, S.E.H., M. Grimshaw, J.A. Parkinson and C. Quarmby. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

APHA-AWWA-WPCF. 1989. Stand Methods, 17th ed. American Public Health Association.

Choi, D.I., Y.K. Kim, K.S. Koh, Y.H. Chung and K.H. You. 1984. Survey on air pollution leads from stationary sources in Daegu. The Report of NEPO.ROK 6:9-16.

Flores, M.R. and E.R. Casterllon. 1982. Lead and cadmium levels in soil and plants near highways and their correlation with traffic density. Environmental Pollution 4:281-290.

Ichiro, Y. and K. Kitagishi. 1982. Heavy metal pollution in soils of Japan. Japan Scientific Societies Press, Tokyo.

Kim, H.J. 1984. Studies on the heavy metal pollution in soil and barks of roadside trees. Thesis of the Graduate School of Education, Ewha Women's Univ.

Largerwerff, J.V. and A.W. Spectht. 1970. Contamination of roadside and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. Environ. Sci. Tech.4:583-596.

Page, A.L. and F.T. Bingham. 1973. Cadmium residues in the environments. Residues Review 48:1-44.

Page, A.I. and T.J. Ganje. 1970. Accumulation of lead in soils for regions of high and low motor vehicles traffic density. Environ. Sci & Techno. 4:140-142.

Suwannapenut, W. and T.T. Koslowski. 1980. Effect of SO_2 on transpiration, chlorophyll content, growth and injury in young seedling of woody angiosperms. Can. J. For. Res. 10:78-81.

Warren, H.V. and R.E. Delavault. 1962. Lead in some food crops and trees. J. Sci. Food. Agr.13:96-98.

(1993년 5월 26일 접수)