

## 造景樹木의 大氣汚染物質에 대한 被害反應(I)

—葉內硫黃 및 重金屬 含量을 중심으로—<sup>1</sup>

金明姬<sup>2</sup> · 李壽煜<sup>3</sup>

## Injury Responses of Woody Landscape Plants to Air Pollutants ( I )

—Sulfur and Heavy Metal Content—<sup>1</sup>

Myung Hee Kim<sup>2</sup> and Soo Wook Lee<sup>3</sup>

### 要 約

造景樹木들의 大氣汚染物質 吸收, 淨化能力을 알아보기 위해 서울, 大田 等 大都市 지역과 光陵地 域을 선정하고 소나무, 잣나무, 은행나무, 튼나무 및 양버즘나무 잎을 채취하여 硫黃含量과 重金屬 含量을 측정 분석하였다. 造景樹木의 葉內 硫黃含量은 서울 및 大田의 汚染地域의 樹木들이 非汚染地 域인 光陵地域 樹木에 비하여 모두 높았으며, 闊葉樹가 針葉樹에서보다 2.6배나 더 높게 나타났다. 특히 은행나무(裸子植物)와 양버즘나무(被子植物)의 硫黃 吸收能이 높았다. 時期別로는 은행나무, 양 버즘나무 및 튼나무에서 經時的으로 有意的인 增加를 하고 있었다. 葉內 Pb 含量은 汚染地域이 非 汚染地域에 비하여 잣나무, 소나무, 양버즘나무, 튼나무 및 은행나무에서 各各 14.1, 10.6, 5.0, 4.2 및 3.9배 더 높게 나타났으며, 葉內 Zn의 含量은 汚染地域에서 各各 2.0, 1.4, 5.3, 8.8 및 3.6 배 더 높게 나타났다. 汚染地域에서는 針葉樹의 경우 Pb의 吸收, 蓄積이 많았고 闊葉樹의 경우 Zn의 吸收, 蓄積이 더 많았다. 樹種別로는 잣나무가 소나무보다 葉內 Pb, Zn, Cu의 含量이 높았으며, 葉 令別로 1년생잎보다 2년생잎에서 더 높았고, 소나무, 잣나무, 튼나무 및 양버즘나무에서는 全硫黃 含量과 重金屬(Pb+Zn+Cu) 含量의 平均値間에 正의 相關이 있었다.

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the absorbing and/or filtering capacity of woody landscape plants growing in urban and industrial regions of Seoul and Taejon, Korea. Total sulfur content and heavy metal content were analyzed in tree foliage of *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Ginkgo biloba*, *Liriodendron tulipifera*, *Platanus occidentalis*. The total sulfur content in the leaves of woody landscape plants in Seoul and Taejon were remarkably higher than those of the tree leaves in Kwangreung. The total sulfur content of deciduous trees had 2.6 times more than that of coniferous trees, the former had better absorbing capacity of SO<sub>2</sub> gas. Especially *Ginkgo biloba* and *Platanus occidentalis* were recommended as absorption trees of SO<sub>2</sub> because sulfur content levels of them were the highest among all species and increased until tall coloration. While coniferous trees showed no changes in total sulfur content between four seasons, deciduous trees increased in sulfur during the growing season. Pb content of all species in polluted area were higher than those in unpolluted area. In polluted area,

<sup>1</sup> 接受 1993年 5月 3日 Received on May 3, 1993.

<sup>2</sup> 中部大學 Joongbu University, Majon, Chungnam, Korea.

<sup>3</sup> 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Taejon, Korea.

while coniferous trees had higher absorption and accumulation. In deciduous trees had higher absorption of Zn. The content of Pb, Zn and Cu in needle of *Pinus koraiensis* were more than those of *Pinus densiflora*. In *Pinus koraiensis* and *Pinus densiflora*, heavy metal content in the 2nd year needle were higher than those in the current year needle. In *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*, *Liriodendron tulipifera* and *Platanus occidentalis* there was a positive correlation between total sulfur and heavy metals [Pb+Zn+Cu<sup>3+</sup>] content.

**Key words** : Coniferous trees, Deciduous trees, Filtering capacity, Total sulfur content, Heavy metal content

## 緒 論

人口 增加, 産業化, 都市化 및 科學技術의 發達로 인한 에너지 消費量의 증가는 大氣圈에 亞黃酸가스(SO<sub>2</sub>), 酸化窒素(NO<sub>x</sub>), 弗化水素(HF), 炭化水素(HC), ozone(O<sub>3</sub>), PAN(peroxyacetyl nitrate), ethylene 및 重金屬類 등과 같은 大氣汚染物質들을 放出하여 人間과 環境에 被害를 주고 있다.

大氣汚染物質은 高等植物의 生育障害, 老化促進, 落葉 및 枯死 등 심각한 영향을 주며 그 被害의 정도는 植物의 종류에 따라 다르고<sup>1,3)</sup>, 각 汚染物質에 대한 植物의 感受性은 植物種 間에 차이가 있다<sup>3)</sup>.

亞黃酸가스에 의한 植物의 可視被害의 정도는 SO<sub>2</sub> 吸收量과 밀접한 관계가 있다. 일반적으로 亞黃酸가스에 의한 植物 被害는 그 發生過程으로 보아서 可視被害와 不可視被害로 나뉜다. Chlorosis, necrosis 등과 같은 可視被害는 高濃度의 가스에 의해서 短時間에 나타나는 急性被害와 低濃度로 長時間에 걸쳐 일어나는 慢性被害로 나누어 생각할 수 있다<sup>18,28)</sup>. 葉內 硫黃含量의 증가는 慢性的 被害에서 뚜렷이 나타나며, 急性被害에서는 그 증가가 뚜렷하지 않다.

大氣에 포함되어 있는 여러 종류의 重金屬 Pb, Zn, Cu, Cd 등 이들이 土壤에 蓄積되었다가 植物體內로 吸收되기도 하는데 吸收된 重金屬類는 可溶態로 변환되어 細胞內 原形質의 蛋白質과 結合하면서 細胞를 파괴시키기도 하고 酵素의 機能 및 呼吸作用과 관련된 여러가지 生理作用을 저해한다<sup>6,24)</sup>.

本 研究은 大氣汚染物質, 특히 亞黃酸가스가 造景樹木에 미치는 영향을 葉內 硫黃含量과 重金屬含量 分析을 통하여 調査하고, 汚染物質의 吸收·淨化에 이용될 수 있는 樹種을 비교 선택하는

대 유용한 基礎資料를 提供하고자 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 野外調査를 실시하였다. 野外地域으로는 서울, 大田 등 大都市 地域과 相對的 非汚染 地域으로 光陵 中部林業試驗場을 선정하고 1989年 2月부터 1989年 10月까지 週期的으로, 선정된 조사 지역의 소나무, 잣나무, 은행나무, 튜립나무 및 양버즘나무 잎을 채취하여 硫黃含量, 重金屬含量을 測定하였다.

## 材料 및 方法

### 1. 試料採取

試料의 채취 地點으로는 表 1에 나타난 바와 같이 서울市內에서는 交通量이 빈번한 宗廟, 昌慶宮, 德壽宮과 南山 및 洪陵 林業研究院과 大田市內에서는 都心 街路邊 및 大禾工團 地域의 街路 및 인근 야산 地域을 선정하였으며, 對照區 地域으로는 京畿道 光陵 林業試驗場의 樹木園을 선정하였다<sup>14)</sup>. 供試樹種으로는 街路樹로 많이 이용되는 은행나무, 양버즘나무, 튜립나무, 잣나무 및 소나무를 선정하였다. 南山 地域의 森林內에서 소나무와 잣나무 잎을 채취하고 大禾工團 地域에서 소나무잎을 채취하였으며, 宗廟, 昌慶宮 地域의 소나무, 잣나무는 公園에서 채취하였고 그 外에는 모두 街路樹에서 標本을 채취하였다. 南山과 大禾洞 地域의 소나무는 自生樹種이었다. 선정된 각 地點에서의 造景 樹木의 葉試料 채취는 각 樹木의 樹冠 中位部의 葉을 각 地域內의 3-5주 나무에서 3잎씩 채취한 것을 혼합하여 試料로 사용하였으며, 試料의 採取時期는 闊葉樹의 경우 1989年 5月 19日, 8月 20日, 10月 1日로 3차례이었고, 針葉樹는 闊葉樹와 같은 採取時期以外에 2月 12日로 4次에 걸쳐 채취하였다. 본 조사 기간 동안 서울과 大田地域에서의 月別 大氣中 SO<sub>2</sub> 濃度와 降雨 pH는 表 2와 같다.

**Table 1.** Locations of sample plots of landscaping tree species.

Species	Location		Seoul				Taejon		
	KR	HR	NS	CM	CKK	DSK	TWD	SDJ	THD
<i>Pinus densiflora</i> ( <i>P. den.</i> )	0	0	0	0	0		0		
<i>Pinus koraiensis</i> ( <i>P. kor.</i> )	0	0	0	0	0		0		
<i>Ginkgo biloba</i> ( <i>G. bil.</i> )	0	0	0	0	0	0	0		0
<i>Platanus occidentalis</i> ( <i>P. occ.</i> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Liriodendron tulipifera</i> ( <i>L. tul.</i> )	0		0	0			0	0	

KR : Kwangreung      HR : Hongreung      NS : Namsan      CM : Chongmyo  
 CKK : Changkyongkung      DSK : Dongsukung      TWD : Taehwadong      SDJ : Sodaejon  
 THD : Taehungdong

**Table 2.** SO<sub>2</sub> concentration in the ambient air and mean pH of rainfall in Seoul and Taejon in 1989(환경연감 1990).

Month	Region		SO <sub>2</sub> (ppm)		Acid rain (pH)	
	Seoul	Taejon	Seoul	Taejon	Seoul	Taejon
1988	0.064	0.080	0.039	5.7	5.7	
1989	0.059	0.089	0.033	5.6	5.8	
1	0.130	0.091	0.070	5.0	5.5	
2	0.118	0.099	0.071	5.1	6.0	
3	0.069	0.064	0.048	5.2	5.7	
4	0.051	0.073	0.041	6.2	5.7	
5	0.015	-	0.016	6.1	5.9	
6	0.025	-	0.007	6.1	6.2	
7	0.021	-	0.004	5.8	6.0	
8	0.013	-	0.004	5.6	6.0	
9	0.025	-	0.012	5.8	5.6	
10	0.067	0.096	0.028	5.6	5.9	
11	0.078	0.104	0.046	5.2	5.3	
12	0.098	0.095	0.050	-	5.8	

**2. 調査方法**

1) **葉內 全硫黃含量** : 각 조사대상 地域에서 樹種別, 葉令別로 葉試料를 채취하여 實驗室로 운반한 후 통풍이 잘 되는 그늘진 곳에서 氣乾시킨 후, dry oven에서 80-85°C로 24-48시간 건조시킨 후, 粉碎하여 分析用 試料로 사용하였다. 粉碎試料 1g을 sulfur-determinator에 넣고 연소시키면서 자동 측정하였다.

2) **葉內 重金屬含量** : 樹種別 葉試料는 葉內 全硫黃含量 분석시 준비한 粉碎試料 1g을 취하여, 250ml 크기의 erlenmeyer flask에 담은 후, 過鹽素酸(HClO<sub>4</sub>) 30ml를 加하여 完全 分해하고

이를 여과 후, 餘液을 100ml로 증량시킨 후 原子吸光分析器로 Pb, Zn, Cu, Cd의 含量을 측정하였다(1990年 11月).

**結果 및 考察**

**1. 葉內 全硫黃 含量**

植物體內的 硫黃은 그 生育 地域의 土壤, 有機物, 水分 等の 外的 要因들과 關係해서 뿌리로부터 흡수되어 體內 構成 成分으로 變化한 全硫黃과 일의 氣孔으로부터 吸收된 水溶性 硫黃 2가지 形態로 존재한다. 본 연구에서는 長期間에 걸쳐

慢性的인 大氣汚染에 露出된 土壤 等 기타 外的 要因에 의한 影響을 함께 고려하여 全硫黃含量을 측정하였다.

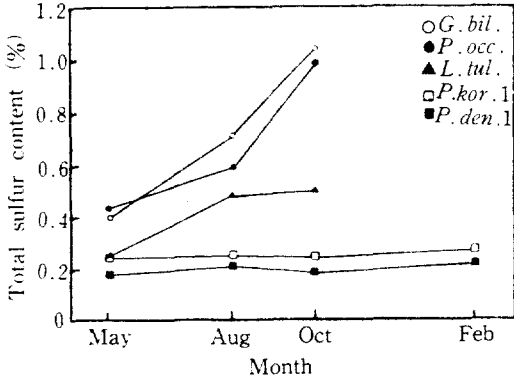


Fig. 1. Seasonal changes of total sulfur content of leaves of five tree species.

野外 조사된 全地域에서 각 樹種別로 시기에 따른 葉中 硫黃含量 變化는 그림 1과 같다. 소나무와 잣나무는 闊葉樹와 1年 단위의 비교를 위하여 1年生 葉中의 硫黃含量을 나타내었다. 은행나무는 植物 分類學上으로 裸子植物에 속하나, 본 연구에서는 汚染物質의 吸收, 蓄積 상태가 闊葉樹와 유사하기 때문에 闊葉樹의 범주로 분류하였다. 針葉樹內 樹種間의 差異나 闊葉樹內 樹種間의 差異보다는 針·闊葉樹間의 葉內 硫黃含量의 차이가 더 크기 때문에 편의상 針葉樹와 闊葉樹로 대별하여 설명하였다. 闊葉樹의 硫黃含量은 針葉樹보다는 2.6배 더 높게 나타났으며, 소나무와 잣나무간에도 高度의 有意性이 나타났고, 闊葉樹中에서도 은행나무와 양버즘나무는 튜립나무보다 葉內 全硫黃含量이 월등히 높았다. 金<sup>13)</sup>은 잎이 넓은 樹種일수록 硫黃含量이 많았다고 하였으며, 金<sup>15)</sup>도 몇 가지 造景樹種에 SO<sub>2</sub> 接觸 實驗 結果, 闊葉樹가 針葉樹보다 硫黃含量이 많음을 보고하였다. 安藤과 竹內<sup>2)</sup>도 樹木의 葉內 硫黃吸收能을 조사한 결과, 樹令, 時期, 試料採取 장소가 같아도 일반적으로 闊葉樹 落葉樹의 吸收蓄積量은 針葉樹보다 크다고 보고하였다. Thomas 等<sup>26)</sup>도 미국 서부 11個州에서 채취한 樹種別 葉中 硫黃含量이 相異하였다고 하였다.

時期에 따른 葉中 硫黃含量 變化를 보면, 소나무

와 잣나무에서는 經時的 變化가 뚜렷하지 않았으며 闊葉樹種은 은행나무, 양버즘나무, 튜립나무에서 모두 時期別로 봄부터 가을에 이르기까지 시간이 지남에 따라 全硫黃含量이 계속 증가하는 경향을 나타내었다. 은행나무와 양버즘나무에서는 季節間에 高度의 有意性이 인정되었으며, 튜립나무에서도 有意的으로 증가하였다. 특히 은행나무와 양버즘나무에서는 봄부터 가을, 落葉 直前까지 硫黃 吸收能의 下向 變曲點이 발생하지 않은 것으로 보아 현재의 大氣汚染 程度에서는 계속 흡수할 수 있는 능력을 가진 것으로 생각된다. 國內의 室內 接觸實驗 또는 現地 實驗들에서 보면 은행나무와 양버즘나무는 亞黃酸가스의 吸收能力이 매우 커서 大氣汚染의 淨化樹種으로 추천 권장된 바 있다. 그러나 이들 樹種에 의하여 흡수된 硫黃含量이 대기중의 SO<sub>2</sub>를 얼마나 有意的으로 감소시킬 수 있는지는 별개의 문제로 조사되어야 할 것이다. 任<sup>等</sup><sup>31)</sup>은 서울시內의 街路樹 및 公園樹의 葉內 硫黃含量을 조사하고 6月から 10月까지 硫黃含量이 점차로 증가하였다고 하였다. 이와같이 時間의 경과에 따라서 硫黃含量이 증가하는 것은 이미 보고된 바와 같이<sup>19,29,30)</sup> 大氣中의 亞黃酸가스의 濃度와 接觸時間에 비례하기 때문이다.

金<sup>15)</sup>은 亞黃酸가스에 敏感한 樹木일수록 葉中 硫黃含量이 낮고 感受性이 둔한 植物 즉 亞黃酸가스의 影響에 강한 樹種은 硫黃含量이 높은 경향이 있음을 보고하였다. 은행나무와 양버즘나무의 平均 葉中 硫黃含量이 5月과 10月 試料에서 각각 0.42, 1.02%인 것에 비하여, 튜립나무의 硫黃含量은 0.26, 0.50%로서 약 1.9倍 程度의 含量 差異를 나타내었다. 이처럼 樹種에 따라서 葉中 硫黃含量이 相異하고 經時的으로도 相異한 含量을 보이는 것은 각 樹種에 따라 특유한 硫黃 吸收能이 있기 때문이라 생각된다. 이러한 점으로 미루어 보아 은행나무와 양버즘나무는 SO<sub>2</sub> 淨化를 위한 大都市의 造景樹木으로 적합한 樹種으로 평가된다.

表 3은 소나무와 잣나무의 地域別, 時期別, 葉令別 全硫黃含量이다. 소나무와 잣나무 모두 葉令間 有意性은 認定되지 않았으나, 소나무는 대부분 2年生일의 硫黃含量이 最高值를 나타내고 있다. 잣나무는 5, 8, 10月에는 3年生일의 硫黃含量이 다소 높았으나, 2月에는 2年生일이 유의

**Table 3.** Seasonal changes of total sulfur content of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* by needle age between six sample plots.

Location	Month	<i>P. densiflora</i> needle age			<i>P. koraiensis</i> needle age			Remarks
		current	2nd	3rd	current	2nd	3rd	
Kwang-reung	5	0.103	0.104	0.119	0.153	0.165	0.184	
	8	0.121	0.136	0.114	0.208	0.228	0.212	
	10	0.131	0.120	0.105	0.198	0.193	0.201	
	2	0.126	0.145	0.103	0.134	0.160	0.163	
Hong-reung	5	0.216	0.232	0.213	0.314	0.270	0.271	
	8	0.159	0.225	0.190	0.279	0.289	0.308	Seoul
	10	0.175	0.203	0.200	0.275	0.278	0.309	
	2	0.251	0.223	-	0.342	0.425	0.279	
Chongmyo	5	0.222	0.274	0.219	0.254	0.319	0.324	
	8	0.348	0.532	0.211	0.261	0.305	0.341	Seoul
	10	0.213	0.219	0.218	0.241	0.275	0.285	
	2	0.215	0.242	0.221	0.358	0.451	0.287	
Namsan	5	0.212	0.238	0.215	0.285	0.181	0.174	
	8	0.179	0.230	0.220	0.288	0.212	0.231	Seoul
	10	0.217	0.204	-	0.268	0.226	0.231	
	2	0.272	0.306	-	0.321	0.332	0.351	
Changkyong-kung	5	0.212	0.217	0.226	0.281	0.238	0.281	
	8	0.215	0.225	0.220	0.233	0.245	0.290	Seoul
	10	0.215	0.239	0.221	0.251	0.262	0.285	
	2	0.272	0.363	-	0.285	0.412	0.289	
Taehwa-dong	5	0.221	0.231	-	0.296	0.299	0.313	
	8	0.231	0.245	-	0.287	0.282	0.237	Taejon
	10	0.215	0.225	-	0.295	0.312	0.301	
	2	0.257	0.281	-	0.342	0.387	0.365	

적인 최고치를 나타내고 있다. 常綠樹種에서 葉令別 硫黃含量에 관하여 安藤과 竹内<sup>2)</sup>도 소나무에서 2年生잎이 1年生잎에 비하여 硫黃 蓄積量이 크다고 하였다. 地域間의 硫黃含量을 보면, 소나무, 잣나무 모두 汚染地域으로 선정된 洪陵, 宗廟, 南山, 昌慶宮, 大禾洞地域이 光陵地域보다 全季節 全葉令에서 모두 높았다. 소나무는 光陵地域보다 汚染地域의 葉內 硫黃含量이 最低 1.6배에서 最高 2.3배나 높았던 반면, 잣나무는 1.2-2.5배의 차이를 나타내었다. 특히 汚染地域과 光陵地域間의 含量의 차이가 가장 컸던 때는 소나무와 잣나무 모두 冬季(2月)로서 소나무 2年生잎에서는 昌慶宮地域이 光陵地域에 비하여 2.8배, 잣나무 2年生잎에서는 宗廟地域이 光陵地域보다 2.8배나 높게 나타났다. 葉令別로 소나무와

잣나무간의 차이를 보면 1年生잎과 3年生잎은 잣나무가 소나무보다 각각 1.3배, 1.4배로 硫黃含量이 높았으나 2年生잎에서는 소나무와 잣나무간에도 有意性이 인정되지 않았다. Grodzinska<sup>8)</sup>는 구주적송 (*Pinus silvestris*) 針葉의 全硫黃濃度는 非汚染地域이 1,200-1,250ppm이고 汚染地域이 1,287-2,418ppm였으며, 露出時間이 길어짐에 따라, 汚染源으로부터 距離가 減少함에 따라, 針葉의 葉齡에 따라 全硫黃含量이 증가하였고 對照地域은 葉令別로 차이가 없었다고 하였다.

각 樹種別로 地域別 葉中 硫黃含量을 보면, 소나무의 葉中 硫黃含量(그림 2)은 잣나무와 같이 비교적 그 含量이 闊葉樹種에 비해 낮은 樹種中の 하나로서 試料採取 樹木은 南山과 大禾洞 地域에서는 山林內에 植栽된 것이었고 나머지는 都

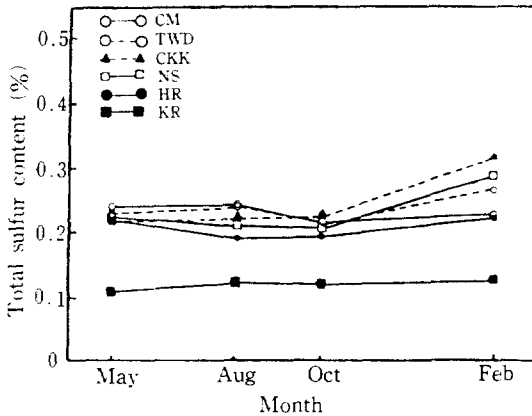


Fig. 2. Seasonal changes of total sulfur content of *Pinus densiflora* needle between six sample plots.

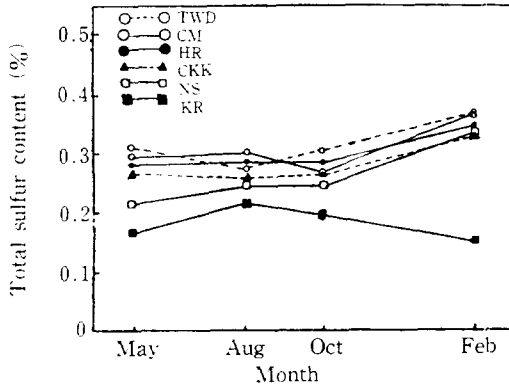


Fig. 3. Seasonal changes of total sulfur content of *Pinus koraiensis* needle between six sample plots.

大氣汚染度의 심각성을 잘 반영하고 있는 것으로 사료된다.

은행나무는 葉中 硫黃含量이 높아 원래 硫黃의 吸收가 많은 樹種中의 하나이다. 現在 서울市內 街路樹의 葉中 硫黃含量은 그림 4에서와 같이 地域에 따라 光陵보다는 높은 硫黃含量을 나타내고 있었으며, 大禾工團內의 은행나무잎이 제일 높은 含量을 나타냈고, 서울 都心地域과 大田 都心地域間의 차이는 뚜렷하지 않았다. Thomas 等<sup>27)</sup>은 은행나무를 對象樹種으로 조사한 결과 각 地點에 植栽된 供試 樹木의 樹令, 土壤條件 등에 따라서 相異한 含量을 보이며, 또한 樹木의 生育狀態 및 각 地域의 立地의 條件 등에 따라서 다르다고 하였다. 또한 時期別 葉中 硫黃含量을 보면 時間의 경과에 따라 현저한 증가를 보였다. 이것으로 보아 은행나무는 落葉이 지지 않는 한

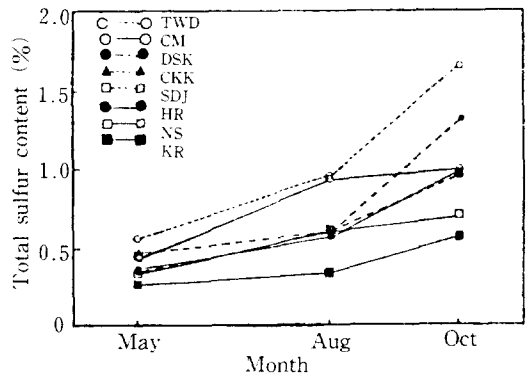


Fig. 4. Seasonal changes of total sulfur content of *Ginkgo biloba* leaf between eight sample plots.

心의 公園樹木으로 植栽된 것이었다. 南山과 大禾洞이나 都心內 公園에 植栽된 소나무의 葉中 硫黃含量은 光陵에 비해서 높은 값을 나타내었으나 時期別 含量 差異는 뚜렷하지 않았다.

잣나무의 葉中 硫黃含量 그림 3은 전체적으로 소나무보다 높았으며 汚染地域으로 선정된 서울 都心內 公園樹木과 大禾洞 工團內의 街路樹의 葉中 硫黃含量이 특히 소나무보다 높게 나타났다. 全地域 모두 光陵地域보다 높은 硫黃含量을 나타냈으며 經時的 變化는 光陵地域, 南山 및 大禾洞 地域間에 有意性이 인정되었다. 특히 2월(겨울) 中の 硫黃含量이 光陵地域에서는 떨어지는 반면, 汚染地域에서는 年中 제일 높은 含量을 나타냈는데 이는 汚染地域에서는 休眠期에 조차 冬季의

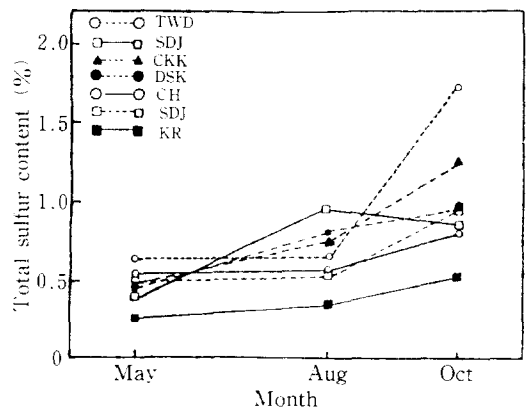


Fig. 5. Seasonal changes of total sulfur content of *Platanus occidentalis* leaf between seven sample plots.

調査地點의 大氣汚染 水準에서는 계속 SO<sub>2</sub>를 吸收할 수 있는 능력을 가졌다고 생각된다. 이와같이 은행나무의 경우 時間의 經過에 따라서 硫黃의 量이 증가하는 현상은 Berry<sup>4)</sup>의 報告와 일치하며 大氣中 亞黃酸가스의 濃도와 接觸時間에 비례하기 때문으로 思料된다.

양버즘나무잎에 함유된 硫黃含量(그림 5)은 은행나무와 마찬가지로 地域間에 차이를 보여, 大禾洞地域에서 제일 높았으며 나머지 地域은 유사한 濃도를 보였으나 光陵地域에 비하여 모두 높은 硫黃含量을 보여주었다. 光陵地域과 비교한 硫黃含量 증가는 양버즘나무에서 높았으나 그 絕對含量은 은행나무에서 더 높았다. 양버즘나무葉中 硫黃含量의 經時的 變化를 보면 은행나무에서와 같이 時間의 經過에 따라서 현저한 증가를 보이고 있어 양버즘나무 역시 은행나무처럼 大氣中의 亞黃酸가스 吸收能力이 매우 커서 大都市의 SO<sub>2</sub> 淨化 樹種으로 적합한 樹木으로 思料된다.

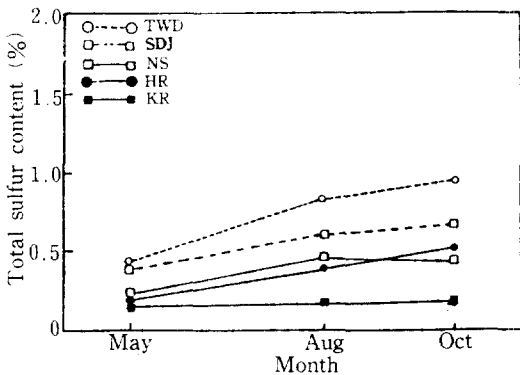


Fig. 6. Seasonal changes for total sulfur content of *Liriodendron tulipifera* leaf between five sample plots.

튜립나무(그림 6)는 은행나무나 양버즘나무보다는 硫黃含量이 낮은 편이다. 地域間 硫黃含量 差異가 인정되었으며 특히 大禾洞 地域이 제일 높았다. 이는 다른 地域은 道路 交通量이 유사한 街路樹에서 採取한 곳이고, 大禾工團은 1970년에 入住한 地域으로서 工團內에서 排出되는 가스에 隣近 道路를 通行하는 大型車輛으로부터의 排氣가스가 가중되어 二重의 複合汚染源을 갖고 있기 때문이라 생각된다.

2. 葉內 重金屬 含量

土壤과 街路樹의 樹皮 및 葉內의 重金屬含量은

大氣汚染 程度의 指標로 이용되고 있다. 植物體內의 重金屬 汚染物質로는 카드뮴(Cd), 납(Pb), 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn) 등을 들 수 있는데, 이들은 특히 道路邊 土壤中에 蓄積되는 경향이 있고, 이들의 土壤中 濃도는 交通量이 감소되고 道路邊에서 멀어질수록 減少되며<sup>7)</sup>, 土壤層에서는 土深에 따라서<sup>16)</sup> 檢出量에 차이가 생긴다.

植物에 의한 Pb의 吸收量은 土壤의 pH나 aluminum 및 nickel 含量과 관계가 있다고 밝혀져 있으며<sup>24)</sup>, Pb가 축적된 地域에서의 植物生育, 특히 道路邊 植物들의 Pb의 축적에 관한 연구들은 많이 있다<sup>10,11,21)</sup>. 成等<sup>24)</sup>에 의하면 Pb의 有毒성은 土壤에서 1次的으로 陰이온들과 Pb 複合鹽을 형성함으로써 不溶態로 되고, 2次的으로는 植物에 의하여 흡수된 후 植物體內에서 陰이온과의 Pb 複合鹽을 형성함으로써 나타난다고 하였다. Pb는 植物의 導管과 細胞間隙에 축적되며, 잎의 細胞壁, 細胞質에도 축적된다고 한다. 이 重金屬은 細胞內 原形質의 蛋白質과 結合하여 細胞를 파괴하고 酵素의 作用 抑制 및 呼吸作用과 관련된 여러가지 生理的 作用을 저해하며, 植物의 잎은 黃褐色 症狀이나 黃化現象을 나타내며 落葉現象이 뒤따르게 되고 黑褐色의 뿌리와 根毛가 발생되며 伸張이 억제되는 형태로 나타난다<sup>12,22)</sup>.

調査對象 樹種의 葉內 重金屬含量 측정은 針葉樹의 경우는 1989年 2월에, 闊葉樹는 1989年 10월에 앞에서 설명한 硫黃含量을 조사한 개체와 동일한 나무에서 얻어진 결과들이다. 針葉樹類의 葉內 함유되어 있는 地域別 重金屬含量을 重金屬 種類別로 나타낸 것은 그림 7-9와 같다. 그림 7은 소나무와 잣나무 1, 2年生잎의 Pb의 함량을 地域別로 나타낸 것이다. 소나무 1年生잎의 평균 Pb 함량은 10.0ppm, 2年生잎은 15.2ppm였고 잣나무 1年生잎은 11.4ppm, 2年生잎은 32.2ppm으로 1年生잎보다 2年生잎의 Pb의 蓄積量이 많았으며, 잣나무가 소나무보다 Pb의 吸收蓄積량이 높았다. 洪陵, 宗廟, 南山, 昌慶宮, 大禾洞地域은 모두 光陵地域보다 Pb의 含量이 높았다. 특히 南山地域에서는 소나무 1年生잎, 2年生잎에서 각각 17.3ppm, 18.9ppm으로 光陵地域보다 9.1배, 12.6배 높았으며, 잣나무 1年生잎, 2年生잎에서는 각각 27.2ppm, 75.8ppm으로 光陵地域보다는 11.3배, 23.7배 높았다. 大禾洞地域의 소

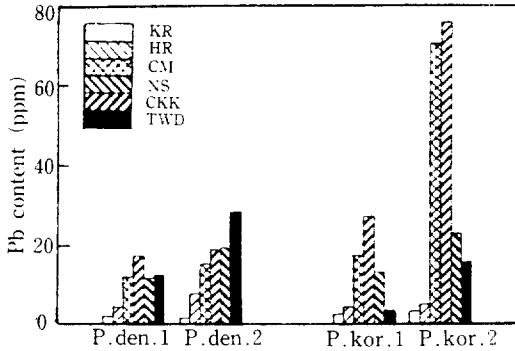


Fig. 7. Pb contents in current (*P. den.* 1, *P. kor.* 1) and 2nd year needle (*P. den.* 2, *P. kor.* 2) of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* between six sample plots.

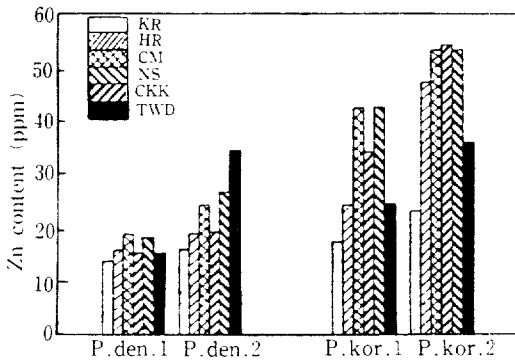


Fig. 8. Zn contents in current *P. den.* 1, *P. kor.* 1 and 2nd year needle *P. den.* 2, *P. kor.* 2 of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* between six sample plots.

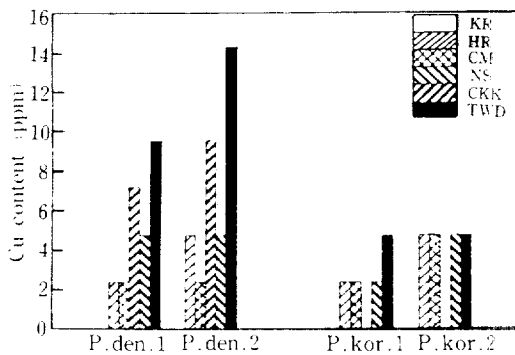


Fig. 9. Cu contents in current *P. den.* 1, *P. kor.* 1 and 2nd year needle *P. den.* 2, *P. kor.* 2 of *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* between several sample plots.

나무 2年生잎은 28.4ppm으로 光陵地域보다 18.9 배가 높았다.

그림 8은 소나무와 잣나무 1, 2年生잎의 Zn 함량을 地域別로 나타낸 것이다. 소나무 1年生잎의 평균 Zn 함량은 16.3ppm, 2年生잎은 40.5 ppm였고, 잣나무 1年生잎은 30.9ppm, 2年生잎은 44.4ppm으로 Pb의 함량과 마찬가지로 1年生 잎보다 2年生잎의 Zn의 蓄積量이 많았으며, 잣 나무가 소나무보다 Zn의 吸收蓄積量이 높았다. 光陵地域보다 汚染地域으로 선정된 5개 지역 모두 Zn의 함량이 다소 높았다. 宗廟地域에서 소 나무 1年生잎, 2年生잎에서 각각 18.9ppm, 24.3 ppm으로 光陵地域보다 1.4배, 1.5배 높았으며, 잣나무 1年生잎, 2年生잎에서는 각각 42.3ppm, 53.1ppm으로 光陵地域보다는 2.4배, 2.3배 높았다. 大禾洞地域의 소나무 2年生잎은 34.5ppm으로 光陵地域의 2.2배가 높았다. 昌慶宮地域은 잣 나무 1年生잎과 2年生잎에서 42.3ppm, 53.1ppm 으로 宗廟地域과 같았다.

그림 9는 소나무와 잣나무 1, 2年生잎의 Cu의 함량을 地域別로 나타낸 것이다. 소나무 1年生잎의 평균 Cu의 함량은 5.2ppm, 2年生잎은 7.1 ppm였고 잣나무 1年生잎은 3.0ppm, 2年生잎은 4.8ppm으로 1年生잎보다 2年生잎의 Cu의 蓄積 量이 많았으며, Pb와 Zn과는 다르게 잣나무보다 소나무에서 약간 높게 나타났다. 光陵地域에서는 소나무, 잣나무 모두 검출되지 않았으며, 南山地 域의 잣나무에서도 Cu의 함량은 검출되지 않았 다. 大禾洞地域의 소나무 1年生잎과 2年生잎의 Cu의 함량은 9.5ppm, 14.3ppm으로 나타났다. Cu의 함량은 대체적으로 모든 地域의 모든 樹種 에서 소량만 검출되었다.

闊葉樹類의 地域別 重金屬含量을 각 重金屬 種 類別로 나타낸 것은 그림 10-12와 같다. 그림 10 은 闊葉樹類의 葉內 Pb의 함량을 地域別로 나타 낸 것이다. Pb 함량의 평균치는 양버즘나무가 25.8ppm, 은행나무는 21.3ppm, 튜립나무는 12. 45ppm으로 양버즘나무와 은행나무의 Pb의 蓄積 量이 튜립나무보다는 높았다. 3 樹種 모두 光陵 地域보다 汚染地域의 Pb의 함량이 모두 높았다. 양버즘나무는 汚染地域이 光陵地域보다 2.7-6.1 배, 은행나무는 2.1-4.5배, 튜립나무는 1.3-4.8 배 높았다. 그림 11은 闊葉樹類의 葉內 Zn의 함 량을 地域別로 나타낸 것으로 평균치는 양버즘나



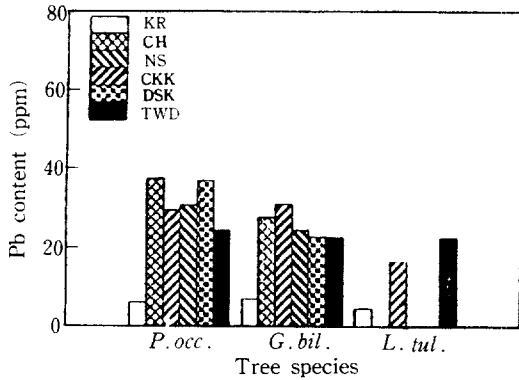


Fig. 10. Pb contents in leaf of three deciduous trees between several sample plots.

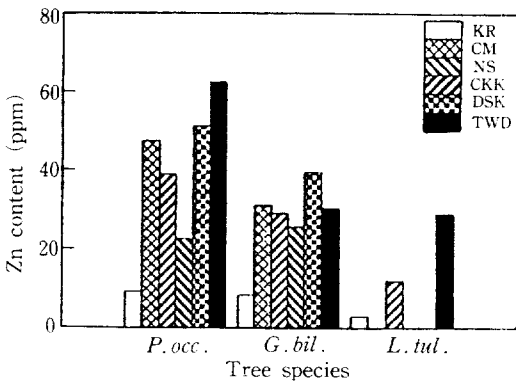


Fig. 11. Zn contents in leaf of three deciduous trees between several sample plots.

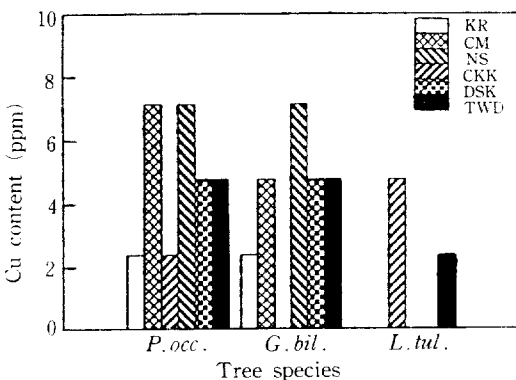


Fig. 12. Cu contents in leaf of three deciduous trees between several sample plots.

무가 35.4ppm, 은행나무는 26.3ppm, 튜립나무는 8.13ppm 이었다. 地域間 Zn 含量的 차이는 3樹種 모두 光陵地域보다 汚染地域에서 높았고,

양버즘나무에서는 汚染地域이 光陵地域보다 1.7-6.7배, 은행나무는 2.3-3.7배, 튜립나무는 3.1-9.6배 높았다. 그림 12는 闊葉樹類의 葉內 Cu의 含量을 地域別로 나타낸 것으로 평균치는 양버즘나무가 4.8ppm, 은행나무는 4.8ppm, 튜립나무는 3.2ppm으로 Pb와 Zn의 含量보다 낮았다.

이상의 결과로 볼 때 잣나무는 소나무보다 Pb와 Zn의 吸收, 蓄積量이 높게 나타났다. 針葉樹와 闊葉樹間의 重金屬含量 차이를 비교할 때 Pb의 汚染은 針葉樹가 闊葉樹보다 높았으며, Zn의 汚染은 針葉樹보다 闊葉樹가 더 높은 것으로 나타났다. 李<sup>17)</sup>는 植物體의 Zn과 Cu의 濃도가 江原道 地域보다 서울과 蔚山地域에서 높게 축적되었으며, 汚染源으로부터 거리가 멀어질수록 Zn과 Cu의 濃도가 減少되었는데 Cu보다 Zn의 농도가 높았다고 했으며, 闊葉樹가 針葉樹보다 높았다고 하였다. 成<sup>23)</sup>은 晋州市 街路樹의 Pb含量測定 결과 측백나무의 Pb含量이 은행나무, 양버즘나무, 벚나무보다 월등히 높은 것을 관찰하고 측백나무는 常綠樹이므로 季節에 관계없이 계속 Pb의 영향을 받기 때문이라 하였다. 常綠性 街路樹種에서 Pb의 汚染량이 높은 것은 常綠性인 針葉樹가 누적적인 Pb의 영향을 받기 때문이기도 하지만, 針葉樹는 Pb의 吸收를, 闊葉樹는 Zn의 吸收를 잘 하는 吸收能力의 차이에도 기인되는 것으로 思料된다. 이렇게 樹種別 重金屬含量이 다른 것은 植物體가 주위 環境에 분포하고 있는 각종 元素들을 體內에 농축시키는 정도가 元素의 종류 뿐아니라 植物 種類에 따라 다양한 범위를 보인다고 한 Svedrup 등<sup>24)</sup>의 보고와 일치된다. 朴 등<sup>20)</sup>은 街路樹 樹皮의 重金屬含量을 측정하고 樹種別 차이가 있었다고 했다. 金<sup>11)</sup>은 街路樹인 양버즘나무와 은행나무잎의 重金屬含量을 측정하고, Pb와 Zn의 含量이 은행나무보다 양버즘나무에서 더 많이 축적되었음을 보여주었으며 이들 重金屬含量 차이는 樹種別 吸收能力의 차이에 기인된다고 했는데 본 조사의 결과와 또한 一致되고 있다.

각 重金屬 種類別로 葉內 含量을 비교할 때 Pb, Zn 및 Cu 중에서 含量自體는 Zn의 含量이 全 樹種에서 높게 나타났다. 汚染地域에서는 光陵地域보다 Pb는 3.9-14.1배, Zn은 1.4-6.8배의 범위에서 높은 것으로 나타났는데, Zn은 植物體

Table 4. Regression equations between total sulfur contents and average heavy metal contents in five tree species exposed to air pollutants in the fields.

Species	Regression equation	Correlation-coefficient (sample number)
<i>Pinus densiflora</i>	$Y = -14.5 + 206.56 X$	$r = 0.85^{**}$ (n=12)
<i>Pinus koraiensis</i>	$Y = -13.49 + 239.52 X$	$r = 0.63^*$ (n=12)
<i>Ginkgo biloba</i>	$Y = 64.66 + 41.34 X$	$r = 0.39^{ns}$ (n=9)
<i>Liriodendron tulipifera</i>	$Y = -3.16 + 62.07 X$	$r = 0.89^{**}$ (n=9)
<i>Platanus occidentalis</i>	$Y = 34.45 + 97.67 X$	$r = 0.61^*$ (n=12)

$Y = (Pb + Zn + Cu) / 3$

X = total sulfur

\*\* : significant at 1% level

\* : significant at 5% level

ns : non significant at 5%

內의 生理作用에 필수적 機能을 하는 요소이기 때문에 Zn보다는 Pb의 汚染이 더 문제가 될 것으로 思料된다. Pb와 Zn의 汚染은 다른 요소의 영향도 다소 있겠지만 주로 交通量과 밀접한 관계가 있는 것으로, 自動車의 배기가스와 함께 粒子化된 Pb와 Zn이 交通量이 많은 都心地 大氣中에 부유하고 결과적으로 道路邊에 축적된 故로 思料된다. Pb 汚染度의 크기는 車輛 排氣가스의 排氣量에 비례할 뿐만 아니라 道路面積이나 高層建物の 수 등 道路環境 要因들과도 관련이 있다. 金<sup>11)</sup>은 季節別 重金屬含量 變化를 관찰하고, 봄보다 가을에 각종 重金屬들의 植物體內 吸收와 축적이 이루어져, 봄보다 가을에 Pb의 含量이 4.5배나 증가함을 관찰하고 都心地 道路邊의 街路樹들은 일의 生育期間이 길수록 일내의 Pb의 含量이 증가한다고 했다.

각 樹木의 일내 함유된 全硫黃과 重金屬含量 (Pb, Zn, Cu 합량의 합 평균치)과의 相關關係를 線形回歸關係로 分析한 결과 그 回歸式은 表 4와 같았으며, 그 分布는 그림 13과 같다. 각 樹木의 葉內 全硫黃含量과 重金屬含量과는 正의 相關이 있었으며, 소나무와 튜립나무에서는 각각  $r = 0.85$ ,  $r = 0.89$ 로 高度의 有意性이 인정되었고 잣나무와 양버즘나무에서는 각각  $r = 0.63$ ,  $r = 0.61$ 로 95 %의 有意性을 갖고 正의 相關을 나타내었다. 단, 은행나무는  $r = 0.39$ 로 有意性이 없었다. 硫黃含量이 交通量과 밀접한 관계가 있으며, 交通量과 各種 重金屬含量이 正의 相關이 있음은 이미 많은 報告書에서 발표되었으나<sup>6,10,20,23)</sup>, 硫黃含量과 重金屬含量과의 相關關係는 별로 언급되지 않았다. 樹木內의 硫黃含量과 重金屬含量과의 正의 相關으로 보아 硫黃과 重金屬의 植物體

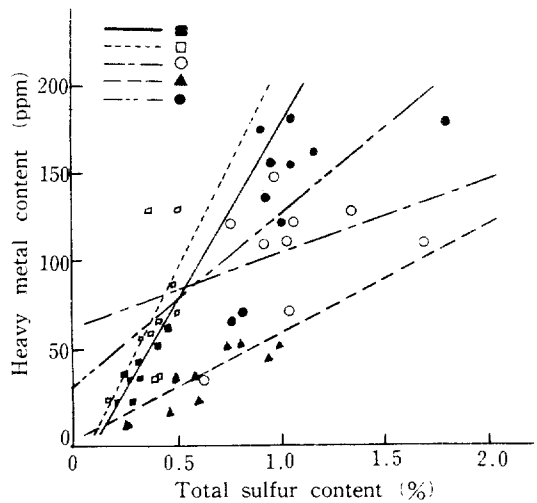


Fig. 13. Relationships between total sulfur contents and average heavy metal contents in five tree species exposed to air pollutants in the fields.

內 吸收 方式은 서로 다를지라도 대부분의 樹種들이 硫黃과 重金屬의 吸收, 蓄積이 유사하게 이루어짐을 알 수 있다. 硫黃과 重金屬含量 측정을 위한 試料 採取는 앞에서 언급한 바와같이 大禾洞 工團을 제외하고 交通量이 많은 서울 및 大田 都心の 街路樹 및 이에 인접하고 있는 公園內의 樹木에서 採取한 것으로, 급증하고 있는 交通量이 都心地의 大氣 및 土壤汚染에 主原因이 되고 있음을 알 수 있었다.

結 論

이상과 같은 結果들을 考察해 볼때 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 造景樹木의 葉內 硫黃含量은 서울 및 大田의 汚染地域에서 生育하는 樹木들이 非汚染地域인 光陵地域 樹木에 比하여 모두 높았다.
2. 闊葉樹의 平均 硫黃含量은 針葉樹보다 2.6배 더 높았으며, 針葉樹중에서는 잣나무가 소나무보다 1.3배 높았다. 따라서 針葉樹보다는 闊葉樹가 大氣中 SO<sub>2</sub>의 吸收能力이 더 優秀함을 알 수 있다.
3. 時期別 硫黃含量 變化는 은행나무, 양버즘나무 및 튜립나무에서 經時的으로 有意的인 增加를 하고 있었다. 大部分의 造景樹木의 葉內 硫黃含量이 汚染地域의 大氣中 SO<sub>2</sub>에 의한 汚染度를 測定하는 基準으로 使用될 수 있겠으나, 針葉樹보다는 闊葉樹가 더욱 效果的이며, 특히 은행나무와 양버즘나무에서는 新葉에서 落葉 直前까지 硫黃含量이 계속 增加하고 있었고, 그 水準도 제일 높았던 것으로 보아 SO<sub>2</sub> 吸收 및 淨化 樹木으로 勸獎할 만하다고 思料된다.
4. 葉內 Pb 含量은 汚染地域이 非汚染地域에 比해 잣나무, 소나무, 양버즘나무, 튜립나무 및 은행나무에서 各各 14.1, 10.6, 5.0, 4.2 및 3.9배 더 높게 나타났으며, 葉內 Zn의 含量은 汚染地域에서 各各 2.0, 1.4, 5.3, 8.8 및 3.6배 더 높게 나타났다. 汚染地域에서는 針葉樹의 경우 Pb의 吸收 蓄積이 많았고, 闊葉樹의 경우 Zn의 吸收蓄積이 더 많았다. 따라서 Pb에 의한 汚染度는 針葉樹를 Zn의 汚染度는 闊葉樹의 잎내 濃度를 測定하는 것이 보다 效果的인 것으로 思料된다.
5. 樹種別로는 잣나무가 소나무보다 葉內 Pb, Zn, Cu의 含量이 높았으며, 葉令間 Pb, Zn, Cu의 含量은 잣나무와 소나무의 경우 1年生 잎보다 2年生잎에서 더 높았다.
6. 全硫黃含量과 重金屬含量[(Pb+Zn+Cu)/3]은 소나무, 잣나무, 튜립나무 및 양버즘나무에 있어서는 正의 相關이 있었다. 따라서 葉內 硫黃含量은 重金屬 汚染度를 반영해 주고 있으므로 硫黃含量으로 重金屬 汚染度의 推定이 가능하다고 보며, 汚染度 測定을 위해 針葉樹를 使用할 경우 소나무보다 잣나무 2年生 잎을 使用함이 보다 效果的이라 思料된다.

### 引用 文 獻

1. Adedipe, N.O., R.E. Barrett, and D.P. Ormrod. 1972. Phytotoxicity and growth responses of ornamental bedding plants to ozone and sulfur dioxide. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97: 341-345.
2. 安藤萬善男·竹內正辛. 1973. 樹木の葉の硫黃吸收能. 84回 日本林學會大會講演集. 415-416.
3. 배정오, 고강석. 1990. SO<sub>2</sub>가 植物에 미치는 影響. 심포지움 및 워크샵. 主題: 植物과 環境汚染. pp.63-86.
4. Berry, C.R. 1970. Relative sensitivity of red, jack, and white pine seedlings to ozone and sulfur dioxide. *Phytopathology* 61: 231-232.
5. Brennan, E. and P.M. Halisky. 1970. Response of turfgrass cultivars to ozone and sulfur dioxide in the atmosphere. *Phytopathology* 60: 1544-1546.
6. 車種煥. 1974. 環境汚染防止를 위한 植生の 生態學的 研究(III) 道路邊 植生과 重金屬含量 및 汚染에 관한 研究. 韓國植物學會誌 17: 158-162.
7. Costonis, A.C. 1970. Acute foliar injury of eastern white pine induced by sulfur dioxide and ozone. *Phytopathology* 60: 994-999.
8. Grodzinska, K. 1984. Bioindication of environmental deterioration in forest ecosystems in industrial regions. Edited by W.Grodzinski, J.Weiner and P.F. Maycock. pp.27-34. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, Tokyo.
9. 하영신. 1972. 서울시內 大氣中 鉛의 汚染에 관한 研究. 利花女子大學校 大學院 碩士學位論文. pp.1-40.
10. Katz, M. and A.W. McCallum. 1952. The effect of sulfur dioxide on conifers, Edited by L.C. McCabe, *Air Pollution*, pp.84-96.
11. 김병우. 1982. 數種 植物의 生育에 미치는 重金屬의 影響에 관한 研究. 1. Cadmium,

- lead의 影響. 韓國植物學會誌 5 : 176-186.
12. Kim, B.W. 1985. Studies on the effect of lead and cadmium in growth of roadside plants. Gunguk university Ph.D. Report. pp.1-56.
  13. 金文洪. 1974. 樹木에 對한 大氣汚染의 影響에 關한 研究. 韓國造景學會誌 2 : 15-20.
  14. 金明姬·李壽煜. 1992. 造景樹木의 大氣汚染物質에 대한 防禦機能(II) POD 活性을 중심으로. 韓國林學會誌 81(3) : 234-246.
  15. 金泰旭. 1976. 大氣汚染이 造景樹木의 生育에 미치는 影響. 韓國林學會誌 29 : 20-53.
  16. Lagerwerff, J.V and A.W. Specht. 1970. Contamination of road side soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. Environ.Sci. & Tech. 4 : 583-586.
  17. 李壽煜, 閔一植. 1989. 大氣汚染 및 酸性雨가 森林生態系의 土壤酸度 및 養料分布에 미치는 影響. 韓國林學會誌 78 : 11-25.
  18. Manning, W.J. and W.A. Feder. 1980. Biomonitoring air pollutants with plants. Applied Sci.Pub.Ltd.London. pp.1-142.
  19. Mansfield, T.A. and O.Majernik. 1970. Can stomata play a part in protecting plants against air pollutants? Environ. Pollut. 1 : 149-154.
  20. 朴奉奎, 金熙子. 1984. 街路樹 樹皮 및 表土의 重金屬 汚染에 關한 研究. 韓國生活科學研究院論總 33 : 137-145.
  21. Silvius, J.E., C.H. Baer, S.Podnill and H.Patrick. 1976. Photoreduction of sulfur dioxide by spinach leaves and isolated spinach chloroplasts. Plant Physiol. 57 : 799-801.
  22. Sugahara, K., S.Uchida and M.Takimoto. 1980. Effects of sulfite ions on water-soluble chlorophyll proteins. Res.Rep. Natl.Inst.Environ.Stud.Jpn. 11 : 103-112.
  23. 成敏雄. 1976. 晋州市 街路樹의 鉛(Pb) 汚染에 關하여. 韓國植物學會誌 19 : 107-110.
  24. 成敏雄, 鄭永浩. 1977. 植物體의 鉛(Pb) 吸收 및 流動性에 미치는 陰이온의 影響. 韓國植物學會誌 20 : 7-14.
  25. Svedrup, H.U., M.W. Johnson, and R. H.Fleming. 1972. The oceans : their physics, chemistry and general biology. 10th Ed., Prentice-Hall, Inc., N.J.
  26. Thomas, M.D., R.H. Hendricks and G. R.Hill. 1950. Sulfur content of vegetation. Soil Sci. 70 : 8-18.
  27. Thomas, M.D. and G.R. Hill. 1935. Absorption of sulfur dioxide by alfalfa and its relation to leaf injury. Plant Physiol. 10 : 291-307.
  28. Totsuka, T. 1979. Effects of sulfur dioxide on plant growth. Res.Rep.Natl. Inst.Environ.Stud. 10 : 317-332.
  29. Upadhyaya, A., T.D.Davis, R.H. Walser, A.B. Galbraith, and N.Sankhla. 1989. Uniconazole-induced alleviation in relation to antioxidant activity. Hortscience. 24 : 955-957.
  30. Upadhyaya, A., D.Sankhla, T.D. Davis, N.Sankhla and B.N. Smith. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. J.Plant Physiol. 121 : 453-461.
  31. 任慶彬, 金泰旭, 權遠, 李景宰, 鄭永浩, 李重吉. 1976. 環境汚染이 都市樹木의 生育에 미치는 影響(I). 서울대 연습림보고? : 80-102.