Korean J. Environ. Agric.
Vol. 12. No. 2, August 1993

大氣汚染地域 造景用 樹種의 開發을 爲한 SO_2에 대한 耐煙性 比較 硏究

임수길* · 이준배**

Study on the Screening of the SO_2 Resistant Species for Landscape in Air Polluted Area

Sookil H. Lim*, Joon-Bae Lee**

Abstract

This study was conducted to compare the resistance and sensitivity of trees with 6 native species exposing to 4 different levels of SO_2 gas (0.4, 0.7, 1.5 and 3.0 ppm) respectively. The results are summarized as follows :

1. Visible injuries appeared as spots in the region of intervein on the leaves for all the species and the color of the spots changed from light green and/or brown to light brown, dark brown, and/or redish brown.
2. The sensitivity of the species to SO_2 was high in the descending order of *Zizyphus jujuba, Crataegus pinnatifida, Viburnum sargentii, Weigela subsessilis, Euonymus japonica,* and *Acer ginnala.*
3. The resistance of the species to SO_2 was high in the descending order of *Acer ginnala, Euonymus japonica, Viburnum sargentii, Weigela subsessilis, Zizyphus jujuba,* and *Crataegus pinnatifida.*
4. When the trees were exposed to SO_2 gas, the contents of chlorophyll a, b, and a+b were consistently lower than those of control, and water soluble sulfur contents in the leaves were higher than those of control.
5. There was no significant correlation between stomatal resistance and the sensitivity(or resistance) of the trees exposed to SO_2 gas.
6. In this study, it was concluded that *Acer ginnala* was more suitable species than the others for landscape in air polluted area because it showed high resistance, low sensitivity, and low stromal resistance to SO_2 gas exposure.

* 고려대학교 자연자원대학 농화학과 교수
Department of Agricultural Chemistry, College of Natural Resources, Korea University, Seoul, Korea
** 환경처, 국립환경연구원, 환경보건부, 환경생물과
Environmental Biology Division, Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research, Ministry of Environment, Seoul, Korea
이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

Ⅰ. 緖 論

인간문명의 진보와 더불어 산업이 발달 되고 생활수준의 향상으로 대기권에 각종의 환경오염물질이 방출되어 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있으며, 특히 공단주변과 도시지역은 더욱 심각하여, 산림, 농작물, 공원수, 정원수, 등의 녹지와 도시구조물이나 인간에게 직접 피해를 주어[1,2], 인간의 쾌적한 환경과 생존에 위협을 주기에 이르렀다.

대기오염 물질 중에는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 오존(O_3) 등이 있으며,[3,4,5,6] 우리나라에서 가장 대표적인 것은 SO_2가스를 들 수 있다.[7,8] 일반적으로 대기오염의 영향은 동물보다 식물에서 더욱 민감하게 나타나며 SO_2 가스 접촉시 식물의 종류, 품종간에 피해도가 다를 뿐만 아니라 [9,10,11] 접촉 SO_2 gas농도, 접촉시간 이외에 재배온도, 광도 및 습도 등의 환경요인에 따라서도 피해도가 달라진다고 보고하고 있다.[12,13,14,15] 그 이외에 식물의 종간, 품종간뿐만 아니라, 식물의 생육단계, 개체간에서도 유전요인에 따라 SO_2에 대한 감수성과 저항성이 다르므로 그에 대한 피해양상도 매우 다양하게 나타난다는 보고가 많다.[11,16]

지금까지 우리나라에서 대기오염물질에 대한 피해특징이나 감수성 등이 조사된 식물로는 은행, 철쭉, 개나리 등[17,18]의 활엽수,[19] 리기다 소나무, 젓나무 등 침엽수[20]와 들깨, 배추, 무우 등[21,22]의 초본 식물과 화훼류인 국화, 사루비아, 페튜니아 등[23,24]이 있었다. 그러나 조경수종의 활용이 많아지고 특히, 조경설계에 있어서 우리나라 고유수종들의 사용이 늘어나는 추세에 있음에도 불구하고, 우리나라 고유수종에 대한 오염물질의 영향에 관한 조사는 미미한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 재래수종 6종을 대상으로 SO_2 가스 접촉에 따른 가시적 변화, SO_2 가스의 체내축적, 엽록소 함량을 조사함으로써 SO_2가스에 의해 나타나는 이들 식물의 피해형태와 정도를 조사하여 SO_2에 대한 감수성 및 내연성을 비교 검토하여 앞으로 조경수종으로서의 이용여부에 관한 기초자료로 삼기위하여 본 연구를 실시 하였다.

Ⅱ. 材料 및 方法

1. 供試植物

공시식물은 우리나라 재래수종인 대추나무[*Zizyphus jujuba* Mill. var. *inermis* Rehder(갈대나무과)], 신나무[*Acer ginnala* Max.(단풍 나무과)], 병꽃나무[*Weigela subsessilis* L.H. Bainley(인동과)], 사철나무[*Euonymus japonica* Thunb. (노박 덩굴과)], 백당나무[*Viburnum sargentii* Koehne.(인동과)], 산사나무[*Crataegus pinnatifida* Bunge(장미과)]로서, 한국종합조경(주)에서 4년생 묘목을 구입하여 마사토와 부엽토를 5:2로 혼합한 배양토가 담긴 플라스틱 화분(지름 30cm, 높이 20cm)에 이식하여 12주간 재배 관리한 후 공시식물로 사용하였다.

2. SO_2 가스 접촉장치

가. 식물환경조정실

국립환경연구원에 있는 식물환경조정실을 사용하였다. 이는 분석실, 중앙제어실, 가스실, 준비실, 온도·습도 제어부, 가스유량제어부, 중앙제어부와 데이타처리부로 구성되어있고, 오염물질의 농도, 습도, 온도 등을 임의로 조정할 수 있게 되어 있다.

나. 가스접촉

공시 수목의 SO_2가스 접촉은 5개 chamber를 대조구, SO_2 0.4 ppm, 0.7 ppm, 1.5 ppm 및 3.0 ppm 처리구로 구분하여 실시 하였고, 각 chamber마다 수종당 3주씩 배치하였다. 접촉시간은 09:00~17:00로 1일 8시간씩 5일간이고, 온도는 주간 25℃, 야간 20℃, 습도는 주야간 공히 70% 내외로 유지하였으며 광은 자연광을 사용하였다.

3. 가시피해조사

수목의 가시피해조사는 피해의 정도를 Table 1.과 같이 0, 1, 2, 3, 4, 5의 6개 등급으로 구분하여 실시하였고, 매일 SO_2 가스 접촉 직전과 종료 후에 관찰하였다.

4. 엽록소 함량 분석

엽록소 함량은 SO_2 접촉을 끝낸 다음 Mackinney법을

약간 변화시킨 방법으로 생엽을 추출하여 분광광도계 (Varian DMS 90) 에서 흡광도를 측정하였다.

Table 1. The rating system of injury degree of the leaves.

Rating of Injury	Injury Severity Index	Leaf Injury (%)
None	0	0
Slight	1	1-20
Moderate	2	21-40
Moderate-severe	3	41-60
Severe	4	61-80
Complete	5	81-100

5. 수용성 황 함량 분석

SO_2가스 접촉 후 수목의 잎 전체를 채취하여 세척하고 건조시킨 후 분쇄하여 분석시료로 하였다. 이 시료 4g을 증류수 250ml를 가하고 30℃에서 진탕하여 황분을 추출하였다. 이 추출액 일부에 c-HNO_3 3~4 방울을 가하여 수욕상에서 증발시키고 다시 5ml의 c-HNO_3을 가하고 불순물을 분해시켰다. 이를 수욕상에서 증발건고 시킨후 25ml의 0.3N HCl을 가하여 건고물을 녹인 후 여과하였다. 여액을 80~90℃로 데운 후 $BaCl_2$-$2H_2O$(5%) 용액을 가하고 가열하여 침전체를 형성시키고, 이 침전을 여과 할때 뜨거운 물로 $AgNO_3$에 의해 Cl^- 이온이 검출되지 않을때까지 세척한 다음 여지를 600℃로 완전 회화시켜서 무게를 평량 하였다.

6. Porometer에 의한 기공확산 저항치 측정

기공확산저항치는 맑은날 13:00~16:00시 사이에 각 수종당 3주씩, 주당 5잎씩 2회에 걸쳐 LI-1600 Steady State porometer를 사용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 가시피해특징

SO_2 gas의 농도와 폭로시간에 따른 각 수종의 가시피해 발생현상을 조사 한 결과는 Figure 1 및 2와 같다. 각 수종별 가시피해 현상(색의 발생 및 발전)의 조사결과를 보면, 사철나무(*Euonymus japonica*)는 SO_2 가스 1.5ppm 과 3.0ppm 처리구에서 피해색이 연록, 갈색에서 담갈, 황갈색으로 변하였고, 엽선에 가까운 부위의 엽맥과 유엽에서 연반이 발생하여 전체적으로 피해가 퍼졌다.(10G 3/6→10R 6/10) [23]

신나무(*Acer ginnala*) 역시 SO_2 가스가 1.5ppm에서 연록색에서 담갈, 흑갈색으로 변하였고, 엽선에 가까운 엽맥간의 유엽에서 연반이 발생하여 전체적으로 피해가 퍼졌고, 3.0ppm 처리구에서는 전체적으로 연반이 발생하고 Chlorosis 현상이 모든 잎에서 나타났다.(7.5G 3/6→10 R 5/8) [25]

백당나무(*Viburnum sargentii*)는 SO_2 가스 0.7ppm, 1.5 ppm 및 3.0ppm 처리구에서 역시 연록색에서 담갈색으로 변하였고 모든 잎에서 엽맥간에 연반과 Chlorosis 현상이 나타났다.(7.5 G 4/8→2.5 YR 5/10)

대추나무(*Zizyphus jujuba*)는 위의 수종들과는 달리 0.4ppm, 0.7ppm, 1.5ppm 및 3.0ppm의 전 처리구에서 가시피해를 나타내어 연록색에서 담갈, 황갈색으로 변하였고 모든 잎에서 엽맥간에 연반발생과 Chlorosis 현상이 발생하였다.(10 G 3/8→10 YR 5/8)

병꽃나무(Weigela subsessilis)도 역시 SO_2 가스 0.4 ppm, 0.7ppm, 1.5ppm 과 3.0ppm의 전처리구에서 가시피해를 나타내어 연록색에서 담갈, 적갈색, 흑갈색으로 변하였고 모든 잎에서 엽맥간에 연반발생과 Chlorosis 현상이 발생 하였다.

산사나무(*Crataegus pinnatifida*)는 SO_2 가스 0.4ppm 처리구에서는 초기에 피해가 나타나지 않았지만 0.7ppm, 1.5ppm 및 3.0ppm 처리구에서는 피해색이 갈색에서 담갈색, 흑갈색, 적갈색으로 변하였고 모든 잎에서 엽맥간에 연반과 Chlorosis 현상이 나타났다.(5 YR 3/4→10 R 3/6)

또한 초기피해 발현 시간에 대한 관찰결과는 Table 2와 같다. 이 결과에 의하면 사철나무, 병꽃나무와 신나무는 0.4ppm에서는 1일 8시간씩 5일간의 SO_2 접촉을 한후에도 가시피해가 나타나지 않았고, 대추나무와 산사나무는 48시간만에 나타나기 시작하였으며, 병꽃나무는 120시간에서야 가시피해가 나타나는 등의 큰 차

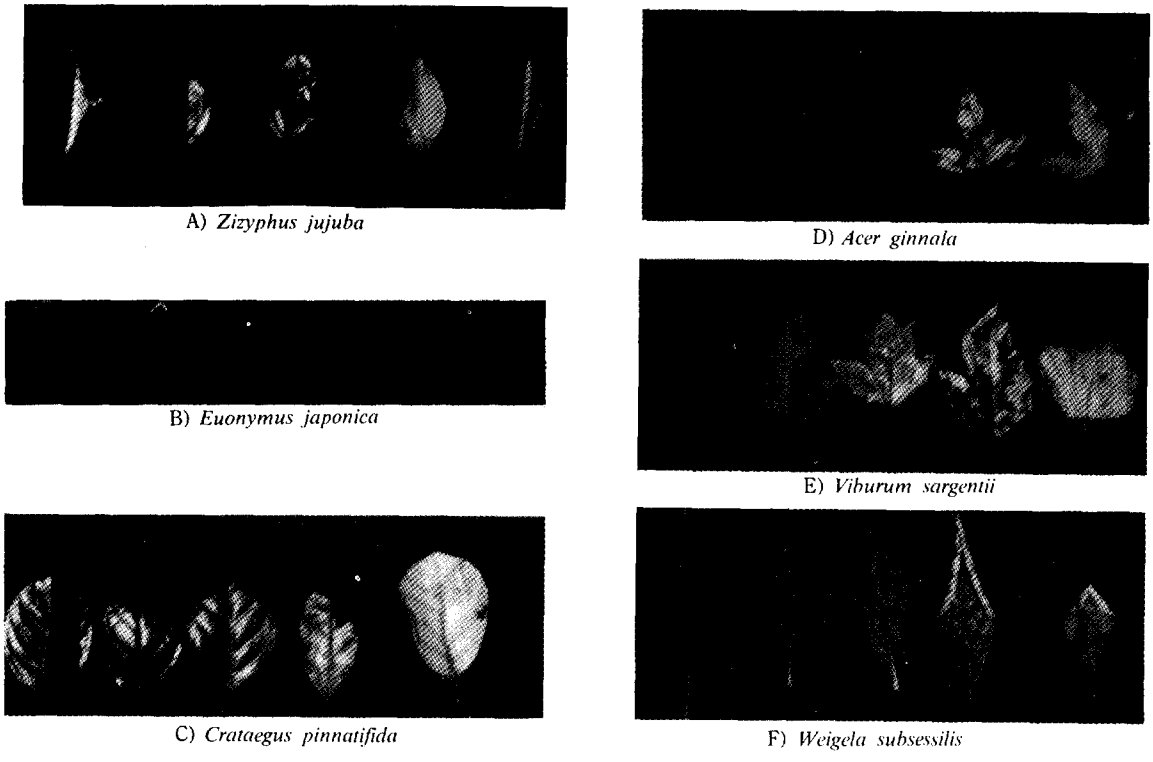


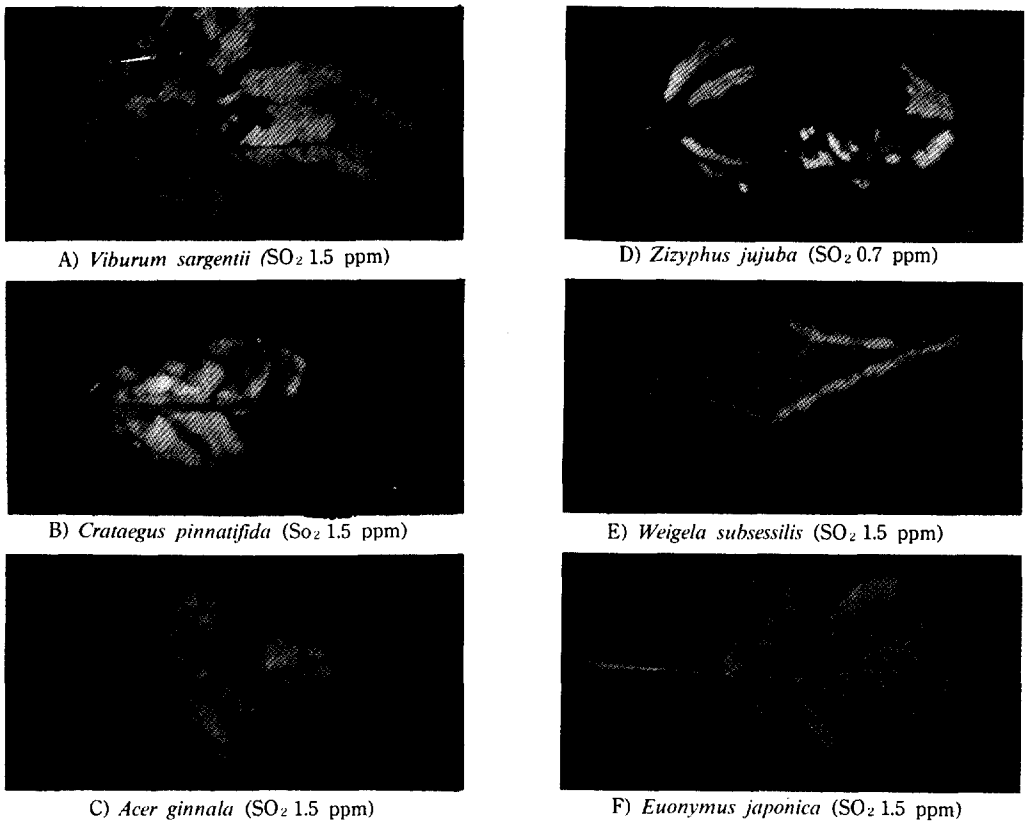
Figure 1. Symptoms of tree leaves exposed to various level of SO_2 gas.
Left to right control, 0.4, 0.7, 1.5, 3.0 ppm SO_2: A, B, C, D, E, F)

이를 보인 반면에 0.7ppm에서는 비록 사철나무와 신나무에서는 역시 가시피해가 나타나지 않았지만 0.4ppm 농도에서 보다는 전반적으로 훨씬 예민한 반응을 보였다. 0.4ppm에서 피해를 나타나지 않은 병꽃나무가 48시간만에 나타났고 산사나무는 0.4ppm에서와 별 차이 없이 48시간만에 가시피해가 나타났지만 대추나무는 8시간만에 나타났다. 1.5ppm에서는 사철나무와 신나무만이 24시간만에 피해를 보인 반면에 대추나무, 산사나무, 백당나무, 병꽃나무가 8시간만에 피해가 나타났고 3.0 ppm에서는 6종 모두가 8시간만에 피해가 나타났다.

김등[4,5]은 식물의 대기오염물질에 대한 감수성은 낮은 농도에서 피해를 빨리 나타낼수록 높은 특성을 가진다고 하였다. 따라서 初期 被害 發顯時間을 基準으로 하여 感受性을 比較하면 대추나무 〉 산사나무 〉 백당나무 〉 병꽃나무 〉 사철나무 〉 신나무順으로 感受性이 높았다.

Table 2. Injury initiation time of tree leaves exposed to different SO_2 gas concentration (Unit : hr)

Trees	SO_2 gas Concentration (ppm)			
	0.4	0.7	1.5	3.0
Zizyphus jujuba	48	8	8	8
Acer ginnala	0	0	24	8
Weigela subsessilis	120	24	8	8
Euonymus japonica	0	0	24	8
Viburrum sargentii	0	48	8	8
Crataegus pinnatifida	48	48	8	8



A) *Viburum sargentii* (SO_2 1.5 ppm)
D) *Zizyphus jujuba* (SO_2 0.7 ppm)
B) *Crataegus pinnatifida* (So_2 1.5 ppm)
E) *Weigela subsessilis* (SO_2 1.5 ppm)
C) *Acer ginnala* (SO_2 1.5 ppm)
F) *Euonymus japonica* (SO_2 1.5 ppm)

Figure 2. Symptoms of tree leaves exposed to SO_2 gas. (A, B, C, D, E, F)

2. 可視被害度

SO_2 가스 接觸을 終了한 後 Table 1에 근거한 各 樹木의 可視被害 點數는 Table 3. 과 같다. 이에 의하면 0.4ppm 處理區에서는 산사나무, 대추나무, 병꽃나무의 3種만이 被害를 나타냈고, 0.7ppm에서는 산사나무와 사철나무를 제외한 모든 나무가 피해를 나타냈으며, 0.7ppm 以上의 농도에서는 實驗 樹種이 모두 可視被害를 보였다.

耐煙性은 수목류가 높은 濃度에서도 最終的인 被害를 적게 받을수록 높다는 근거[22]에 따라서 最終被害 點數로 供試樹木간의 耐煙性을 比較해 보면 신나무 〉 백당나무 〉 사철나무 〉 병꽃나무 〉 산사나무 〉 대추나무의 順으로 耐煙性이 높다고 하겠다. 한편, 사철나무는 0.7ppm과 1.5ppm 處理區에서는 백당나무나 신나무보다 可視被害度가 낮았으나 3.0ppm 處理區에서는 백당나무나 신나무보다도 더 被害가 크게 나타났는데 이는 사철나무가 SO_2에 대하여 低濃度 急性被害보다도 高濃度 急性被害를 받기 쉽다는 것을 보여주고 있다.

Table 3. The last injury degree of the native trees after 5 days SO_2 gas exposure

Trees	SO_2 gas Concentration (ppm)			
	0.4	0.7	1.5	3.0
Zizyphus jujuba	0.7	1.0	5.0	5.0
Acer ginnala	0.0	0.0	1.3	3.2
Weigela subsessilis	0.7	0.9	4.7	5.0
Euonymus japonica	0.0	0.0	0.7	4.3
Viburrum sargentii	0.0	0.7	2.2	3.8
Crataegus pinnatifida	2.0	2.0	5.0	5.0

Table 4. Degradation of chlorophyll a, b and a+b in the leaves of trees expose to SO_2 gas.

Trees			*Zizyphus jujuba*	*Crataegus pinnatifida*	*Euonymus japonica*	*Viburrum sargentii*	*Weigela subsessilis*	*Acer ginnala*
SO_2 농도	0.0 ppm	a	0.1554	0.2859	0.0930	0.3558	0.2763	0.2707
		b	0.0642	0.1098	0.0389	0.1497	0.2723	0.1268
		a+b	0.2206	0.3973	0.1325	0.5076	0.5509	0.3991
	1.5 ppm	a	0.0402	0.2225	0.0902	0.2237	0.2333	0.2218
		b	0.0477	0.1036	0.0383	0.1372	0.1128	0.1177
		a+b	0.0882	0.2780	0.1290	0.3625	0.3375	0.3409

3. 葉綠素 含量

各 樹木의 葉綠素 含量은 Table 4와 같이 Control에서는 병꽃나무, 백당나무, 신나무, 산사나무, 대추나무, 사철나무의 順으로 많았으며, 모든 樹種에서 Control보다는 SO_2 1.5ppm 接觸時에 葉綠素 含量이 減少하였다.[8,20,25] 葉綠素 含量 減少 percent을 기준으로 볼때 減少率은 대추나무(60%), 병꽃나무(38.7%), 산사나무(30%), 백당나무(28.6%), 신나무(14.6%), 사철나무(2.6%) 順으로 나타났다.

4. 水溶性 黃含量

水溶性 黃含量은 대추나무에서 0.4ppm 處理區와 0.7ppm 處理區에서는 1.5ppm 處理區나 3.0ppm 處理區에서보다 높게 나타났는데 이것은 대추나무 被害가 1.5ppm 處理區와 3.0ppm 處理區에서 完全 枯死 狀態가 되어 SO_2 가스 吸收 能力이 喪失되었기 때문인 것으로 생각된다. (Table 5)

병꽃나무는 0.7ppm 處理區에서 1.5ppm 處理區와 3.0ppm 處理區에서 보다 水溶性 黃含量이 높은 것은 初發時間에 있어서 0.7ppm 處理區가 1~5ppm이나 3.0ppm 처리구보다 可視被害 初發時間은 길지만 最終被害가 작기 때문에 氣孔擴散이 容易하여 SO_2 가스 吸入力이 크다고 볼 수 있으며, 反面에 1.5ppm 處理區와 3.0ppm 處理區에서 水溶性 黃含量이 적게 나타난 것은 0.7ppm 處理區에서 보다 可視被害 初發時間이 짧고 被害가 急激하게 進行되기 때문으로 생각된다.

산사나무는 3.0ppm 處理區에서 水溶性 黃含量이 제일 높게 나타났으며, 0.7ppm 處理區는 1.5ppm 處理區에서 보다 被害初發時間이 길었고, 最終 被害가 1.5ppm 處理區보다 작았기 때문에 SO_2 가스 吸收 能力이 1.5ppm 處理區에서 보다 큰 結果일 것으로 생각된다.

Table 5. Water soluble contents(%) in plants exposed to different SO_2 gas Concentration.

Trees	SO_2 gas Concentration (ppm)				
	0.0	0.4	0.7	1.5	3.0
Zizyphus jujuba	0.28	0.32	0.33	0.31	0.30
Acer ginnala	0.10	0.18	0.21	0.22	0.23
Weigela subsessilis	0.23	0.50	0.57	0.50	0.54
Euonymus japonica	0.22	0.27	0.24	0.26	0.29
Viburrum sargentii	0.20	0.37	0.37	0.38	0.46
Crataegus pinnatifida	0.04	0.20	0.21	0.20	0.33

사철나무는 0.4ppm 處理區를 除外하고는 대체로 SO_2 가스에 대하여 全 處理區에서 SO_2가스 蓄積차이가 크지않게 나타났다.

신나무에서는 SO_2가스 濃度에 比例하여 水溶性 黃含量이 增加하였는데, 이러한 結果는 신나무의 경우 대기중의 SO_2 가스농도가 높을수록 식물체내로 유입되는 양이 증가하는 것을 보여주는 것이다.

백당나무는 0.4ppm 處理區를 除外하고는 SO_2 가스 濃度에 比例하였으며, 0.4ppm 處理區가 0.7ppm 處理區와 비슷한 수치가 나타난 것은 0.4ppm 處理區에서는 最初被害가 늦고 實驗 期間中에 可視被害를 나타나지 않았기 때문에 氣孔擴散이 0.7ppm 處理區 보다 旺盛하므로 SO_2가스 吸收能力이 높아 水溶性 黃含量이 낮은 SO_2 농도임에도 불구하고 비슷하게 나타난 것으로 思料된다.

수용성 黃含量이 0.4ppm 處理區나 0.7ppm 處理區에서 1.5ppm 處理區나 3.0ppm 處理區에서 보다 비슷하거나 높게 나타나는 傾向이 있었는데 이것은 SO_2가 高濃度일때 植物이 氣孔을 닫기 때문이라고 생각되며,[27,28] 水溶性 黃含量이 SO_2가스 濃度와 正의 關係가 있다는 김[4,22] 등의 報告와 一致하지 않는 것은 濃度勾配와 樹種間의 差異라 생각된다.[8,29] 各 植物의 水溶性 黃含量 差異는 氣孔擴散과 關係되는 初發時間, 最終被害와 密接한 關係가 있음을 알 수 있었다.

5. 氣孔擴散 抵抗置

氣孔擴散 抵抗置는 植物의 葉面 氣孔에서의 가스吸入能力을 評價하는 尺度로서 氣孔擴散 抵抗置가 낮을수록 氣孔에서의 가스吸收 能力이 뛰어남을 나타낸다.[30] 따라서 Table 6에서 나타난 바와 같이 가스吸收 能力은 신나무>병꽃나무>대추나무>사철나무>산사나무>백당나무의 順으로 높다고 할 수 있다. 本 調査에서는 우리나라 工團의 大氣中 SO_2 濃度 水準과 비슷하거나 약간 높은 서울 地域에서 年 平均 SO_2 濃度가 0.05ppm을 약간 웃도는 時機에 附加的인 SO_2가스 接觸없이 氣孔擴散 抵抗을 測定하였기 때문에 實際的인 現場條件에서의 가스吸收 能力도 신나무>병꽃나무>대추나무>사철나무>산사나무>백당나무의 順으로 높다고 볼 수 있으므로, 신나무가 Table 3에서와 같이 耐性이 强함에도 불구하고 기공저항성이 낮아 가스吸收 能力이 높기 때문에 大氣淨化에 좋은 能力을 가지고 있다고 생각된다.

Table 6. The stomatal resistance of several Korean native trees at ambient level of SO_2 in Seoul.

Trees	Stomatal resistance(cm/sec)
Zizyphus jujuba	3.48
Euonymus japonica	3.64
Acer ginnala	3.17
Viburnum sargentii	7.08
Crataegus pinnatifida	3.82
Weigela subsessilis	3.24

要 約

大氣汚染의 影響이 있는 地域의 造景設計에 사용하기 위한 在來樹種 資源의 開發을 위하여 우리나라 在來樹種 6종을 對象으로 SO_2 가스 0.4, 0.7, 1.5, 3.0ppm을 매일 8時間씩(09:00~17:00) 5日間 人工 接觸시켜 各 樹種의 SO_2 가스에 대한 感受性과 耐煙性을 比較하여 다음과 같은 結果을 얻었다.

1. 6種 모든 樹種에서 可視被害는 葉脈間에 班點으로 나타났고 被害班點의 色은 대체적으로 被害初期의 軟綠色이나 褐色에서 淡褐色이나 黑褐色 또는 赤褐色으로 變化되었다.
2. 各 樹種의 SO_2에 대한 感受性은 대추나무>산사나무> 백당나무>병꽃나무>사철나무>신나무 順으로 높았다.
3. 各 樹種의 SO_2가스에 대한 耐煙性은 신나무>사철나무> 백당나무>병꽃나무>대추나무>산사나무 順으로 强했다.
4. SO_2 1.5ppm 接觸時 各 樹種의 葉綠素 a, b 및 a+b 含量은 對照區에 비해 減少하였고, SO_2가스 接觸時 水溶性 黃含量은 對照區에 비하여 增加되었다.
5. 各 樹種의 氣孔擴散 抵抗値는 SO_2가스에 대한 樹

木의 感受性이나 耐性과 相關이 없는것으로 思料된다.

6. 造景用으로 적절한 樹種은 耐煙性이 强하고 感受性이 낮으며 氣孔擴散 抵抗値가 작아야 되므로 本 硏究의 對象 樹種 중에서는 신나무가 가장 適合하다고 判斷된다.

參考文獻

1. 환경청1986 환경보전. 삼신인쇄(주). p30~164.
2. LeBlanc, F. and J. DeSloover (1970): Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. J. Bot. 48(8): 1485~1496.
3. Ishikawa, H. (1972): The effect of air pollutants on plants. *Central Res. Inst. Elec. Power Ind.* 21: 6~10.
4. 김재봉, 배정오, 고강석, 김정규, 박재주, 지준성 (1986): 대기오염이 식물에 미치는 영향에 관한 실험적 연구(III). 국립환경연구원보 8: 331~349.
5. 김재봉, 김동한, 배정오, 김정규, 박재주, 남혜옥, 조성만 (1985): 대기오염이 식물에 미치는 영향에 관한 실험적 연구(II). 국립환경연구원보 7: 353~370.
6. Zuber, R., E. Bovay, M. Roulet and W. Tschamen (1970): Atmospheric pollution and its effect on the plants. Schweizerische Gaertnerzeitung (Zurich) 73 (19): 233~236.
7. 배태웅, 환희세 (1984): SO_2 가스가 부산근교의 가로수에 미치는 영향. 동아대학교 부설 환경문제연구소 연구보고 7(2): 125~138.
8. 김복영, 한기학 (1980): 아황산 가스에 의한 작물별 피해엽율 및 가스 흡수량 조사. 한토비지 11: 39~44.
9. Berry, C.R. (1971): Relative sensitivity of red, jack and white pine seedlings to ozone and sulfur dioxide. *Phytopathol.* 61(2): 231~232.
10. Brennan, E. and I.A. Leone (1968): The response of plants to sulfur dioxide or ozone-polluted air supplied at varing flow rate. *Plant Pathol.* 58: 1661~1669.
11. Furukawa, A., T. Natori and T. Totsuka (1980): The effect of SO_2 on net photosynthesis in sunflower leaf. *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.* 11: 1~8.
12. Davis, J.A., D.D. Davis and S.P. Pennypacker (1981): The influence of soil moisture on macroscopic sulfur injury to pinto bean foliage. *Phytopathol.* 71(11): 1208~1212.
13. Heck, W.W. and J.A. Dunning (1978): Response of oats to sulfur dioxide: interactions of growth temperature with exposure temperature or humidity. *J. Air Poll. Cont. Assoc.* 28(3): 241~246.
14. Heggestad, H.E., K.L. Tuthill and R.N. Stewart (1973): Differences among poisettias in tolerance to sulfur dioxide. *Hort. Science* 8(4): 337~338.
15. List. D.L. and D.D. Davis (1979): The influence of exposure temperature and relative humidity on the response of pinto bean foliage to sulfur dioxide. *Phytopathol.* 69(3): 231~235.
16. Cowing D.W. and M.J. Koziol (1973): Growth of Ryegrass (*Lolium perenne* L.) exposed to SO_4. *J. Exp. Botany* 29(112): 1029~1036.
17. 김재봉, 배정오, 김동한, 김정규, 박재주, 남혜옥, 조성만, 이경재 (1985): 도시녹화수의 내연성에 관한 연구. 국립환경연구원보. 7:337~352.
18. 김재봉, 박재주, 배정오, 고강석, 김정규, 최만석, 황경섭, 김동호, 홍현수 (1987): 대기오염물질 폭로에 의한 단기오염 지표성 식물 검색. 국립환경연구원보. 9: 401~411.
19. Katz, M. and A.W. McCallum (1952): The effect of sulfur dioxide on conifiers. *Proc. U.S. Tech. Conf. Air Pollution.* 84~96.
20. 김재봉, 심응기, 한상욱, 배정오, 고강석, 김정규, 황경섭, 최만석, 김동호, 이돈구 (1988): 식물의 환경오염 정화력에 관한 연구(II) 침엽수의 대기오염 정화력에 관한 연구. 국립환경연구원보 10: 77~87.
21. 김정규 (1987): SO_2가스가 들깨(수원 8호)의 생리적 특성에 미치는 영향에 관한 연구. 고려대학교 박사학위논문.

22. 김정규, 배정오, 김재봉, 박재주 (1986): SO_2 가스에 대한 식물의 감수성 및 내성에 관한 연구. 한국대기보전학회지 2(2): 1~8.
23. 김정규, 임수길, 김재봉 (1988): 수종 초본류의 SO_2 가스에 의한 가시피해 특징에 관한 연구. 한국환경농학회지 7(1): 43~51.
24. O'gara, P.J. (1922): Sufur dioxide and fume problems and their solutions. *J. Ind. Eng. Chem.* 14: 744~748.
25. 과학기술처(1989): 엽색판별 색도첩
26. Peiser G.D. and S.F. Yang (1977): Chlorophyll destruction by the bisulfite-oxygen system.*Plant Physoil.* 60: 277~281.
27. Beckerson, D.W. and G. Hofstra (1979): Stomatal responses of white bean to ozone and SO_2 singly or in combination. *Atmos. Environ.* 13: 533~535.
28. 松島二良 (1969): カンキツ類の亞硫酸ガス障害の發生とその機作に關する硏究. 三重大學農學部學術報告 38號: 15~88.
29. 김복영, 한기학 (1980): 수도 품종별 아황산 가스의 피해해석에 관한 연구. 농사시험연구보고 (토비, 작보, 균이) 1~16.
30. Totsuka, T. (1980): A model for estimating SO_2 effects on canopy photosynthesis in sunfllower plants. *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud.* 11: 19~30.