

全國主要都市에 緑陰樹로 植栽된 느티나무의 健康度 測定과 이를 利用한 大氣污染狀態 推定

李景俊¹, 韓心熙², 金君保²
(서울大學敎 農生大 山林資源學科 教授¹, 大學院²)

Measurement of Tree Health of *Zelkova serrata* Makino Planted as a Shade Tree in Major Cities and Its Use for Estimation of Air Pollution

Kyung Joon Lee¹, Sim Hee Han², and Goon Bo Kim²
(Prof. Dept. of Forest Resources, Seoul Nat'l Univ.¹, Graduate Student²)

Summary

This study was conducted to measure shade tree health in major cities and to test the possibility of using the health data to indirectly estimate status of air pollution in the same areas. *Zelkova serrata* Makino planted as a shade tree in six largest cities and three industrial complexes was measured in mid August for growth increment, visible leaf damage, bark pH, chlorophyll and β -carotene contents, and tree vitality. The results were compared with those of healthy trees in three mountain areas as a control. Chlorophyll and β -carotene were extracted in dimethyl sulphoxide solution and quantified by spectrophotometry, while tree vitality was estimated by measuring electrical resistance in the cambium using Shigometer.

Growth parameters such as new shoot length, number of leaves, or width of annual rings varied widely in various locations. Visible leaf damage was observed in most of the sites except mountain areas, with heaviest damage in industrial complexes. Chlorophyll and β -carotene contents, bark pH, and tree vitality were lower in six major cities and lowest in industrial complexes, compared to those in mountain areas. Tree vitality was positively correlated with chlorophyll ($r^2=0.58$) and β -carotene content ($r^2=0.55$), and negatively correlated with degree of leaf damage. Tree health can be estimated most successfully by combining data on visible leaf damage, chlorophyll and β -carotene contents and electrical resistance.

Among the 19 sites surveyed in Seoul metropolitan areas, west side of Kangnam(south of River Han) where Kuro and Yongdungpo industrial complexes were located showed lowest tree health and Kangnam showed lower tree health than Kangpuk(north of River Han). It is concluded that *Zelkova serrata* trees are sensitive to air pollution and can be used as a bioindicator to indirectly monitor air pollution status in large cities and industrial complexes.

Key wards : *Zelkova serrata*, Air Pollution, Tree Health, Shade Trees, Bioindicator.

緒論

대도시와 공단지역에 식재되어 있는 녹음수는 그 지역의 대기정화기능에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 최근 공단지역에서 각종 오염물질에 대한 규제가 강화되었음에도 불구하고 주변 식생에 큰 피해가 나타나고 있는 것이 종종 보고되고 있으며, 특히 대도시의 교통량 증가로 인해 도로 주변에 식재되어 있는 가로수들에 피해를 주고 있어 제기능을 발휘하지 못하고 있다. 또한 최근 몇 년간의 이상기온의 발생과 가뭄으로 인하여 가로수의 피해가 늘어날 것으로 예상된다.

인간이나 동식물에 피해를 야기시키는 대기오염물질 중에서 대표적인 것에는 아황산가스(SO_2), 산화질소(NO_x), 불화수소(HF), 탄화수소(HC), 오존(O_3), PAN(peroxyacetyl nitrate), Ethylene 및 중금속류 등이 있다. 이러한 오염물질들은 식물체에 여러 가지 생리적, 생화학적 과정 및 세포내의 조직구조에 피해를 주어 식물의 생장과 수확을 감소시킨다(Tager and Rautanen 1956). 즉 최초의 피해는 광합성, 호흡, 지질, 단백질, 효소의 생합성 같은 생화학적 수준에서 발생하고 (Majernik and Mansfield 1971), 다음은 초미세구조적 수준(Wellburn *et al.* 1972), 그 다음은 세포막, 엽육세포, 핵파괴 등의 세포학적 수준에서 발생한다. 그리고 최종적으로 황화현상 또는 괴사현상 등 가시피해가 출현하기 시작한다.

이러한 대기오염물질에 대한 식물의 피해 연구는 오래 전부터 실시되어 왔다. 오존에 노출된 식물은 엽록소 함량이 감소되며(Knudson *et al.* 1977; Matyssek *et al.* 1993; Fernandez-Bayon *et al.* 1993), Sakaki 등(1983)은 0.5 ppm의 오존에 6~8시간 노출된 시금치(*Spinacia olercea* L. cv. New Asia)의 잎에서 엽록소와 카로테노이드가 파괴되기 시작한다고 보고하였다. 대기오염에 의한 식물의 피해로 식물의 생장이 불량하게 되는데 이 결과로 신초 생장량, 절간 길이, 잎의 크기 등이 감소를 가져와 나무의 분지구조를 변화시키게 된다(Bussotti *et al.* 1993). 또한 대기오염에 의해 영향을 받고 있는 식물은 활력도가 감소하여 형성층의 전기저항도가 증가된다(Shortle *et al.* 1977, 1979). 이러한 결과는 가시적 피해가 관찰되기 전에 수목의 건강상태를 예전하는데 이용되기도 하였다.

본 조사의 목적은 대도시 및 공단지역에 녹음수로 식재되어 있는 느티나무를 대상으로 하여 생장량, 수피 산도, 잎의 색소 함량, 수목활력도, 가시적 피해 등을 조사하여 건강도를 측정하고, 이를 바탕으로 하여 느티나무가 대기오염상태를 추정하는 지표식물로 사용될 수 있는지의 여부를 확인하는데 있다.

材料 및 方法

1. 調査地 및 方法

본 조사는 전국의 가로수로 많이 식재되어 있고, 대기오염에 민감한 수종으로 알려져 있는 느티나무(*Zelkova serrata* Makino)를 대상으로(김과 이 1995) 1995년 8월 15일부터 21일까지 실시하였다. 전국조사에는 오염원에서 비교적 멀리 떨어져 있는 지리산, 백운산, 월악산의 산악지역을 대조구로 하여, 6개 대도시(서울, 인천, 대전, 광주, 부산, 대구)와 3개 공단지역(울산, 여천, 온산)의 3개 지역으로 구분하여 조사하였다. 조사지내에서 느티나무가 가로수 또는 공원수로 식재되어 있는 곳을 선정하여 각 도시마다 3장소 씩 조사하였으며 각 장소당 3그루씩 반복으로 조사하였으며, 방향(동남, 동서)을 고려하여 1그루당 2반복의 시료를 채취하였다. 전국 조사지의 위치는 Fig. 1과 같다.

서울시 조사에서는 서울지역내에 식재되어 있는 느티나무를 대상으로 총 19장소를 조사하였으며(Fig. 2) 각 장소당 3그루, 각 그루당 3반복의 시료를 채취하였다. 전국과 서울시의 모든 장소에

대해서 가시적 피해, 염록소 함량, 카로테노이드 함량, 수목 활력도를 측정하였으며, 전국조사에서는 그 이외에 생장량, 수피산도, 잎 표면의 분진량도 측정하였다. 조사 결과는 잎의 가시적 피해, 염록소 함량, 카로테노이드 함량, 수목 활력도에 대한 각각의 측정치를 이용하여 다음과 같이 5 등급으로 구분하여 분석하였다. 1 - 피해가 매우 심한 지역, 2 - 피해가 약간 심한 지역, 3 - 피해가 뚜렷한 지역, 4 - 피해가 경미한 지역, 5 - 피해가 나타나지 않은 지역.

2. 生長量 測定

생장량은 신초 생장량, 절간 길이, 잎의 크기 및 갯수, 최근 5년간의 연률 생장량을 측정하였다. 신초 생장량은 당년 가지에서 봄부터 여름까지 생장한 가지를 중심으로 길이를 측정하였다. 절간 길이는 당년 가지를 기준으로 하여 측정하였고, 잎의 크기 및 갯수도 동일한 기준에 의해 잎의 길이와 폭을 측정하였다. 연률 생장량은 생장추를 이용하여 시료를 채취한 후 연구실에서 최근 5년간의 생장량을 측정하였다.

3. 可視的 被害 測定

가시적 피해는 각 선정된 나무의 가지를 채취하여 잎의 변색 면적을 기준으로 하여 구분하였다. 잎의 변색은 갈색, 연한 녹색, 흰색 반점 등으로 관찰되었으며, 증상 정도에 따라 다음과 같이 5등급으로 구분하여 정량화하였다.

- ① 잎 전체에 변색이 나타난 상태
- ② 염액과 거치를 중심으로 표면과 이면에 변색이 나타난 상태
- ③ 염액을 중심으로 변색이 진행되고 있으나 이면은 피해증상이 없는 상태
- ④ 잎의 일부에서만 변색이 조금 있는 상태
- ⑤ 일반 병충해 이외의 피해 증상을 보이지 않는 상태

4. 樹皮 酸性度 測定

가로수의 흙고 높이에서 수피의 외곽 부위를 칼로 얇게 벗겨서 시료로 사용하였다. 수피 산성도 측정은 Martin 과 Gray의 침출법(과학기술처 1987)을 이용하였다. 채취된 시료는 전조기에서 건조(70°C) 후 파쇄하여 수피 2 g을 평량하였다. 여기에 2배 부피의 중류수를 가한 후 Shaker에서 24시간 진탕(30°C)한 다음 pH meter로 측정하였다.

5. 葉綠素, 카로테노이드 含量

각 조사 대상지에서 채취된 시료는 채취 즉시 저온($0\sim 4^{\circ}\text{C}$)에 저장하여 옮긴 후 0.1g의 엽 시편을 7ml의 DMSO(dimethyl sulphoxide)가 담긴 검은 샘플병에 넣고 60°C 에서 2시간 동안 중탕하여 색소를 추출하였다(Hiscox *et al.* 1978). 추출이 끝난 시료는 알루미늄 호일로 빛을 차단하여 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하였다. DMSO는 약품의 특성상 추출 후 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 에서 장기보관하여도 색소의 함량이 변화되지 않는 장점이 있다. 보관된 시료는 실험실로 가져온 후, 3.0 ml의 시료를 cuvette에 옮긴 후, 염록소 함량을 측정하기 위해서 spectrophotometer를 이용하여 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며 Mackinney(1941)의 식을 이용하여 계산하였다. 카로테노이드는 436 nm에서 동일한 방법으로 측정 후 AOAC(1970)식에 의해 계산하였다.

6. 樹木 活力度 測定

수목 활력도는 수목의 형성층 부근에서 전기 저항도를 측정하여 간접적으로 추정할 수 있는데 (Shigo 1991) 건강한 나무는 세포벽의 섬유가 수분으로 포화되어 있고, 수액이동으로 인하여 전기 흐름이 용이하게 된다. 반대로 건강하지 않은 나무는 전기저항도가 증가하게 된다. 따라서 전기저항도는 나무의 활력도와 반비례 관계를 가진다(Davis *et al.* 1980). 각 선정된 나무는 가슴높이(약 1.4 m)에서 Shigometer(Osmose, model OZ-93)를 이용하여 2곳의 전기저항도($k\Omega$)를 측정하여 평균치를 이용하였다.

結 果

1. 生長量 測定

Table 1은 세 지역별 생장량에 대한 평균치와 통계 처리 결과를 보여주고 있다. 공단지역과 대도시의 신초 생장량, 절간 길이, 잎의 갯수에서는 지역간의 차이가 통계적으로 유의성이 인정되며, 잎의 크기와 연륜생장량은 통계적 유의성이 인정되지 않음을 나타내고 있다. 그러나 통계적 유의성이 인정되는 항목인 신초 생장량, 절간 길이, 잎의 갯수는 그 측정치의 범위가 각각 20~242 mm, 4~55 mm, 3~14개로 심한 변이를 보였으며, 각 조사 대상지역에서는 물론 한 개체내에서도 변이가 심하여 통계적 결과를 받아들이기 어렵다.

Table 1. Mean values of growth parameters in three zones in nation-wide survey.

Zones	Shoot length(mm)		Internode length(mm)		Leaf size(mm)		No. of leaves		Ring width of last 5 years(cm)	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Industrial complex	59.9	23.5	13.7	6.5	2355	980.3	6.0	1.4	2.3	0.6
Metropolis	97.7	51.6	21.3	11.1	2920	1574.8	7.6	2.1	2.7	0.6
Mountains	90.5	35.4	24.3	8.1	3001	1438.6	7.9	1.9	3.1	1.1
F value	14.22*		18.17*		3.45		16.54*		5.42	

* indicate significance at 1% level

2. 잎의 可視的 被害

Table 2에 전국을 대상으로 조사한 잎의 가시적 피해 결과를 나타낸 것이다. 가시적 피해는 대조구로 선정된 월악산, 백운산, 지리산을 제외한 모든 지역에서 관찰되었으며, 공단지역에서는 잎 전체가 갈색으로 변색되어 말라버린 상태의 잎을 관찰할 수 있었다. 또한 엽맥과 거치를 중심으로 연녹색 변색과 흰색 반점등이 관찰되었다.

Table 2에 나타난 것처럼 대조구로 선정된 산악지역을 제외한 전지역에서 가시적 피해가 관찰되었으며, 대도시 지역의 경우는 부산에서 잎 전체가 갈색으로 변색되어 있었으며 공단지역에서는 여천과 온산에서 잎 전체가 갈색으로 변색되어 있었다. Table 3의 서울지역조사에서는 구로공단의 일부지역에서 잎 전체가 변색되어 있어서 가장 심한 피해를 나타냈으며, 그 밖에 영등포역, 세종문화회관, 신사전철역, 남태령 등에서 피해가 뚜렷하게 보였다. 서울시 전체에서 한강이남 서쪽 지역의 피해가 가장 컼으며, 그 다음으로 한강이남 동쪽지역에서 피해가 나타났다. 강북지역은 강남지역보다 피해가 적게 나타났는데, 특히 고궁 내의 노티나무는 비교적 양호하였다.

3. 樹皮 酸性度 測定

Table 2에 나타난 결과처럼 수피의 산성도는 각 조사지별 통계적 유의성이 인정되고 있다. 특

히 공단지역에서 채취된 수피는 타 지역보다 산도가 높은 pH 4.99를 보여주고 있으며, 도시지역과 산악지역에서는 pH 5.5를 나타냈다. 그러나 조사기간 동안의 전 지역에서 기후가 일정치 못하였으며 장마로 인해 일부지역에서 채취된 수피는 강우시 수피에 남아있던 분진 등이 세척되었을 가능성이 있다고 판단된다. 따라서 앞으로는 강우를 피한 진조기에 집중적으로 수피 산도를 측정해야 할 것이다.

Table 2. Visible injury, bark pH, chlorophyll, β -carotene contents, and tree vitality of *Zelkova serrata* in 12 sites in a nation-wide survey.

Zone	Site	Visible injury	Bark pH	Chlorophyll (mg/g)	β -carotene (mg/g)	Electrical Resistance* (k Ω)	Overall Health grade
Industry complex	Yeocheon	2.0	4.89	2.74	1.51	6.8	3.3
	Ulsan	2.0	5.08	2.85	1.52	8.4	3.3
	Onsan	2.0	5.01	2.57	1.43	17.4	3.0
	Average	2.0	4.99±0.33	2.70±1.06	1.48±0.43	11.0±8.3	3.2
Metropolis	Seoul	3.0	5.30	3.09	1.61	11.2	3.7
	Incheon	3.0	5.70	2.57	1.43	7.1	3.3
	Daejeon	2.7	5.95	3.30	1.65	11.6	3.3
	Kwangju	2.7	5.49	3.08	1.63	4.9	3.7
	Pusan	2.0	4.97	2.21	1.24	9.2	3.0
	Daegu	2.3	5.60	2.92	1.58	12.9	3.0
	Average	2.6	5.50±0.49	2.86±0.82	1.52±0.35	9.5±5.3	3.3
Mountain	Jirisan	4.7	5.77	4.38	2.04	6.5	4.7
	Paekunsan	5.0	5.39	4.48	2.08	5.8	5.0
	Weolaksan	5.0	5.35	4.16	2.04	7.2	5.0
	Average	4.9	5.50±0.51	4.34±0.84	2.05±0.20	6.5±2.6	4.9

* Electrical resistance shows negative correlation with tree vitality.

4. 葉綠素와 카로테노이드 함량

엽록소 및 카로테노이드 함량의 지역별 결과를 이용하여 산출된 통계 결과를 Table 2와 3과 같이 나타내었다. 전국조사에서 엽록소와 카로테노이드 함량은 모두 지역별로 통계적 유의성이 인정되고 있으며 공단지역과 대도시에서의 엽록소와 카로테노이드 함량은 대조구인 산악지대와 비교시 현저하게 낮은 측정치를 보여주고 있다. 서울지역 조사에서는 카로테노이드 함량만이 통계적으로 유의성이 인정되며 엽록소 함량은 지역에 따라 변이가 심한 것으로 나타났다. 또한 피해가 심한 지역일수록 엽록소 함량과 카로테노이드 함량이 낮은 것으로 나타났다.

5. 樹木活力度

건강한 나무는 형성층에서 전기흐름에 대한 저항이 낮아서 k Ω 으로 표시된 전기저항도가 적은 숫자로 나타난다(Blanchard and Cater 1980). 따라서 전기저항도가 낮을수록 수목의 활력도가 높다고 할 수 있다.

Table 2에 나타난 전국의 수목 전기저항도는 지역별로 통계적 유의성이 인정되지 않았으나 산악지역이 가장 낮고, 공단지역이 가장 높았다. Table 3의 서울지역의 전기저항도에서는 지역별 차이가 인정되었다. 공단 지역의 11.0 k Ω 은 이 지역의 수목활력도가 낮은 상태임을 보여주고 있으

며, 대도시도 9.5 k Ω 로 수목활력도가 평균치에 도달하지 못하는 것을 보여주고 있다. 다만 대조구인 청정지역은 평균치(9.1 k Ω)에 비해 상당히 좋은 수목활력도(6.5 k Ω)를 나타내고 있다. 서울 지역에서는 한강이남(동쪽)이 수목 활력도가 매우 나쁜 상태인 14.3 k Ω 을 보여주고 있으며, 4대문 외곽에서는 수목활력도가 5.0 k Ω 으로 매우 좋은 상태를 보여 주었다. 특히 남산 도서관은 서울전역에서 가장 건강한 상태인 5등급을 받은 유일한 곳이었다.

Table 3. Visible injury, chlorophyll, β -carotene contents and tree vitality of *Zelkova serrata* in 19 sites in Seoul metropolitan area survey. Refer to Table 2 for control site(mountain zone).

Zone	Site Name	Visible injury	Chlorophyll (mg/g)	β -carotene (mg/g)	Electrical Resistance (k Ω)	Overall Health grade
4대문 안	창경궁	4	2.37	1.48	4.9	4
	비원앞	4	3.10	1.84	7.3	4
	세종문화회관	2	2.98	0.96	9.1	3
	종각	3	3.32	2.12	5.8	4
	광화문	4	5.94	1.38	5.6	4
	덕수궁 ²	4	6.58	1.52	4.8	4
	평균	3.5	3.86±1.77	1.57±0.54	6.5±2.1	3.8
4대문 외곽	연세대	3	3.71	0.93	5.9	3
	홍릉	4	4.13	1.32	-	4
	남산도서관	4	4.28	2.65	4.1	5
	평균	3.7	4.05±1.16	1.59±0.80	5.0±1.4	4.0
한강이남 (동쪽)	국립묘지앞	3	3.10	1.66	6.5	4
	신사천철역	2	2.75	1.60	-	2
	선정릉	3	2.45	1.36	22.0	3
	남태령	2	2.39	1.05	-	2
한강이남 (서쪽)	평균	2.5	2.71±0.68	1.44±0.27	14.3±9.5	2.8
	봉천1동	3	3.21	1.38	3.3	3
	보라매공원	3	4.14	1.06	4.8	3
	구로공단	1	2.72	0.99	13.2	2
	영등포역	2	1.97	1.34	14.2	3
	여의도	2	3.03	0.94	9.5	3
	양화대교	3	3.73	1.82	10.3	4
	평균	2.3	3.08±1.26	1.23±0.52	10.3±4.5	3.3

Table 4. Correlation coefficients(r^2) between tree vitality(Y) and growth rate(X₁), chlorophyll content(X₂), and β -carotene content(X₃) in nation-wide and Seoul survey.

Survey category	Y	X ₁	X ₂	X ₃
	Tree vitality	Growth rate	Chlorophyll content	β -carotene content
Nation-wide		0.44	0.32	0.33
Seoul area		Not-measured	0.58	0.55

6. 樹木活力度와 年輪生長量, 葉綠素, 카로테노이드 含量과의 關係

Table 4는 위의 결과를 이용하여 수목 활력도와 연륜 생장량의 관계, 엽록소와 카로테노이드 함량의 관계를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 전기저항도로 측정한 수목 활력도는 연륜생장량, 엽록소 함량, 카로테노이드 함량과 정의 상관을 나타내고 있다. 즉 대기오염의 피해를 받고 있을 것으로 생각되는 공단지역과 대도시의 수목은 활력도가 떨어지고 엽록소 및 카로테노이드의 함량도 낮아 대기오염은 수목의 생장에 악영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 특히 서울지역에서의 수목 활력도는 엽록소나 카로테노이드 함량과 상관관계가 매우 크게 나타나 위의 결과를 뒷받침해주고 있다.

7. 綜合結果

위의 분석 결과를 이용하여 지역별 건강도를 5등급으로 구분하였다. 등급은 수목 활력도, 엽록소 함량, 카로테노이드 함량, 가시적 피해 항목만을 이용하여 구분하였으며, 각 항목별 판정 기준은 Table 5, 6과 같다. 가시적 피해는 재료 및 방법에서 언급한 기준을 이용하여 작성한 표 2와 3의 자료를 사용하여 합산하였다.

Table 5. Scoring scheme for carotenoid, chlorophyll and tree vitality

Score	β -carotene(mg/g)	Chlorophyll(mg/g)	Tree vitality(kΩ)
1	<0.96	<2.26	>20
2	0.96~1.32	2.26~3.44	20~15
3	1.32~1.67	3.44~4.62	15~10
4	1.67~2.03	4.62~5.80	10~5
5	>2.03	>5.80	<5

Table 6. Overall health grade based on scores in Table 5 and visible injury in Table 2.

Overall health grade	Score range	Interpretation
5	16~20	very healthy
4	12~16	acceptable health
3	8~12	noticeable problems in health
2	4~8	remarkable problems in health
1	~4	serious problems in health

위의 기준을 이용하여 나타난 결과는 Table 2, 3의 종합 건강 등급(overall health grade)에 제시하였다. 전국조사에서는 청정지역인 지리산, 백운산, 월악산의 수목이 건강하여 대기오염에 의한 피해가 나타나지 않은 지역으로 판정되었으며, 대전, 광주가 약간의 대기오염 피해가 나타나는 지역으로, 그외 대도시와 공단지역은 대기오염에 의한 피해가 뚜렷한 지역으로 나타났다.

서울조사에서는 남산도서관이 5등급으로 대기오염에 의한 피해가 거의 없는 것으로 나타났으며, 교보빌딩 앞, 덕수궁, 비원 앞, 종각, 홍릉수목원, 국립묘지 앞, 양화대교 입구등이 경미한 피해를 보이고 있는 지역으로 나타났다. 그러나 구로공단, 남태령, 신사전철역은 피해가 심한 지역으로 구분되었다. 일반적으로 강남지역이 강북지역보다 오염상태가 더 심했으며, 강북의 고궁내의 노티나무는 비교적 건강하였다. Fig. 1에 전국의 종합평가를, 그리고 Fig. 2에 서울시의 종합평가를 나타냈다.

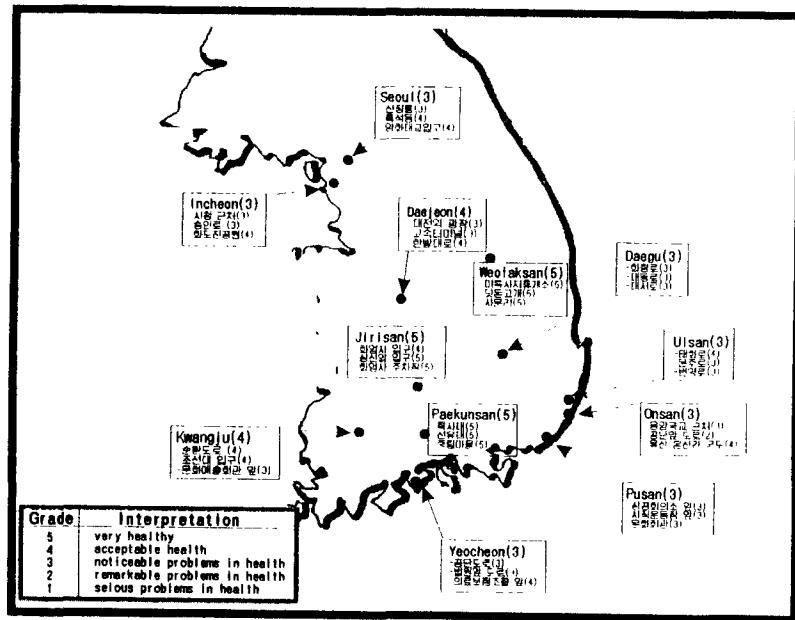


Fig 1. Overall health grade of *Zelkova serrata* trees in 6 largest cities, 3 industrial complexes, and 3 mountain areas(control) in a nation-wide survey made in mid August, 1995.

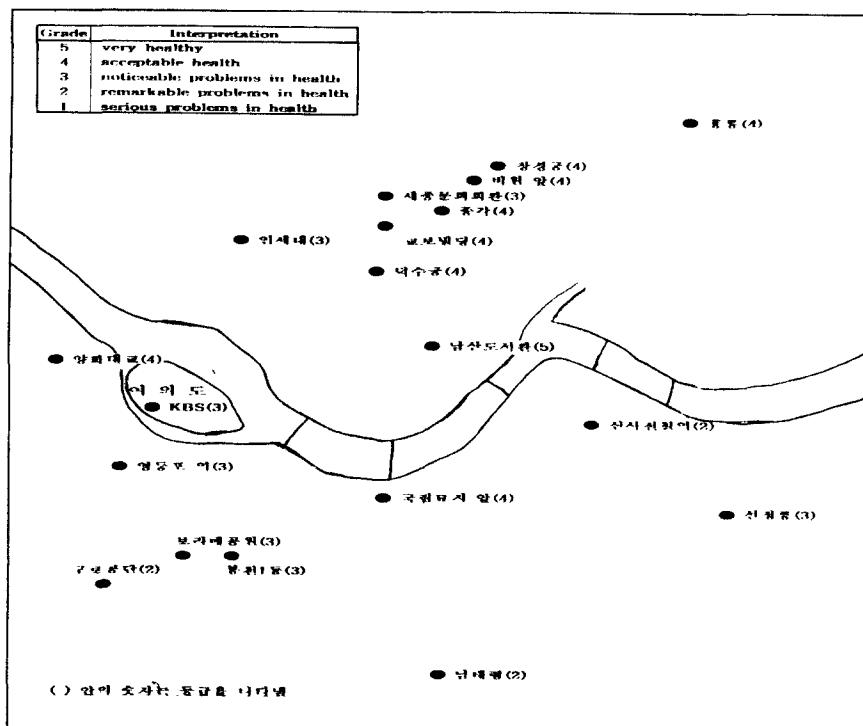


Fig 2. Overall health grade of *Zelkova serrata* trees in 19 sites of Seoul in a city-wide survey made in mid August, 1995.

考 察

본 조사의 목적은 대도시 및 공단지역에 식재되어 있는 녹음수(가로수 및 공원수)중 대기오염에 민감한 반응을 나타내는 느티나무를 대상으로 건강도를 측정하여, 건강도를 토대로 대기오염 상태를 추정할 수 있는지 여부를 밝히는데 있다. 대도시와 공단지역에 식재되어 있는 대부분의 수목은 자동차 배기가스에서 방출되는 질소산화물이나 공단지역에서 방출되는 황산화물등에 의해 피해가 발생되는 것으로 보고되고 있으며, 특히 여름철의 경우 자동차 배기가스의 일부가 햇빛에 산화되어 발생된 오존에 의해 심각한 피해를 받을 수 있는 것으로 보고되고 있다.

느티나무는 속성수에 속하는 나무로서 대기오염물질중에서도 오존에 대한 저항성이 약한 수종으로 알려져 있다(김과 이 1995). 본 실험에서는 수종간의 저항성 차이를 배제하기 위하여 느티나무 단일 수종으로 제한하여 조사하였다. 수목의 생육기간 중에 나타나는 대기오염물질 중에서 특히 오존의 피해가 가장 크게 나타나는 8월 중순에 집중적으로 조사함으로써, 도시의 대기오염 상황이 건강도에 최대한 반영되도록 하였다.

이번 조사 결과에서 대기오염에 의한 피해가 나타나지 않은 지역은 청정지역인 자리산, 백운산, 월악산이었으며, 대기오염에 의한 피해의 정도가 경미하게 나타난 지역은 대전, 광주였다. 그러나 이 지역을 제외한 모든 조사대상의 대도시와 공단지역에서는 피해정도가 뚜렷하게 나타났다.

공단지역과 대도시의 각 항목별 측정치는 대조구와 비교시 통계적 차이가 인정되어 대기오염에 의한 피해를 받고 있는 것으로 확인되었으며 수목 활력도와 엽록소, 카로테노이드 함량은 부의 상관관계를 보이고 있어 대기오염에 의한 생장 저해가 나타난 것을 보여주고 있다. 특히 일부 공단지역에서는 심한 증상을 보이는 곳도 있으므로 대기오염 피해에 대한 대책이 요구된다.

서울지역 조사에서는 카로테노이드 함량만이 지역별 차이를 보이는 것으로 나타났으나 수목활력도와 엽록소, 카로테노이드 함량과의 상관관계(부의 상관)는 뚜렷하게 나타나고 있어 대기오염에 의한 수목의 생장이 저해되고 있음을 보여준다. 특히 대로변에 고립목으로 생장하는 가로수에서 그 피해 정도가 뚜렷하게 나타났다. 남태령, 신사천철역, 구로공단은 대기오염에 의한 피해가 심하게 나타나는 지역으로 분류되었고, 남산 도서관과 같이 큰 숲에 인접하여 자정능력(自淨能力)이 유지되는 지역은 대기오염에 의한 피해가 나타나지 않은 지역으로 분류되었다. 그외 지역은 대기오염의 정도가 경미하거나, 또는 피해는 있으나 심하지 않은 지역으로 분류되었다.

위의 결과로 볼 때, 대부분의 대도시와 공단지역에 식재되어 있는 수목은 피해 정도의 차이는 있지만 대기오염에 의한 영향을 받고 있는 것으로 판단되며, 대기오염이 심한 지역 특히 공단지역일수록 건강도가 저하되어 있어서, 그 지역의 대기오염 상태를 반영하고 있었다. 예를 들면 전국조사에서는 공단지역이 가장 낮은 건강도를 보였으며 서울시 조사에서도 구로공단과 영등포지역이 낮은 건강도를 보였다.

본 연구결과에서 확인된 바와 같이 느티나무는 공단지역과 도시지역의 대기오염상태에 민감한 반응을 나타내며, 대기오염을 간접적으로 측정하는 지표식물(indicator plant)로 활용할 수 있다고 결론 짓는다. 특히 엽록소와 카로테노이드의 함량과 전기저항도는 가로수의 건강상태를 나타내는 적절한 측정 방법이라고 할 수 있다.

謝 辭

본 연구를 수행할 수 있도록 재정적 지원을 해주신 서울 환경운동연합과 한국일보에 감사드리며, Shigometer를 대여해 주신 서울대학교 농생대 라용준 교수님께 감사의 뜻을 표합니다. 또한, 전국 조사시 힘든 일을 마다 않고 열심히 도와 준 서울대학교 산림자원학과 정용선 군에게도 감사드립니다.

要 約

本 調査는 大都市 및 工團地域에 綠陰樹로 植栽된 느티나무의 健康狀態를 測定하고, 이를 利用하여 大氣汚染狀態를 推定하기 위하여 實施되었다. 健康 診斷에 利用된 內容은 生長量, 잎의 可視的被害, 葉綠素 含量, 카로테노이드 含量, 樹木 活力度이다. 1995年 8月 15日부터 21日까지 實施된 全國 調査에서는 3個의 山岳地域을 對照區(清淨地域)로 하여, 6個의 大都市와 3個의 工團地域을 汚染地로 調査하였고, 서울市 調査에서는 總 19個 地域을 調査하였다. 生長量으로써 新梢 길이, 節間 길이, 잎의 크기 및 갯수, 그리고 잎의 可視的被害와 樹皮酸度를 測定하였으며, 葉綠素와 카로테노이드 含量은 DMSO(dimethyl sulphoxide)로 抽出 후 分光分析器를 利用하여 測定하였다. 樹木 活力度는 Shigometer를 利用하여 形成層의 電氣 抵抗度로 表示하였다.

新梢生長量, 節間 길이, 잎의 갯수의 測定 結果는 地域間 有意味의 認定되었으나 地域間, 個體間 變異가 심하여 일정한 傾向을 볼 수 없었으며, 樹皮 pH는 工團地域에서 가장 낮았다. 對照區를 제외한 全地域에서 可視的被害가 나타났으며 특히 工團地域에서 심하였다. 葉綠素와 카로테노이드 含量, 樹木活力度는 山岳地域과 比較하여 大都市에서 낮고, 大氣汚染이 심한 工團地域에서 가장 낮았으며 統計的인 差異가 認定되었다. 樹木活力度는 葉綠素나 카로테노이드 含量과 높은 相關關係를 보였으며, 특히 서울 地域에서 높은 相關係數(葉綠素 : $r^2=0.58$, 카로테노이드 : $r^2=0.55$)를 보였다. 健康度는 可視的被害, 葉綠素와 카로테노이드 含量과 電氣 抵抗度의 네 가지項目를 사용할 때 가장 信憑性있게 測定할 수 있었다.

서울市 調査에서는 江南地域이 江北보다 被害 症狀이 커으며, 특히 大氣汚染이 심한 구로 工團과 永登浦驛을 포함한 江南 西部 地域이 가장 심한 症狀을 보였다. 全國 느티나무의 健康度는 大氣汚染이 심할수록 낮게 나타났으며, 느티나무는 大氣汚染을 間接的으로 測定하는 指標植物로 活用할 수 있다고 結論 짓는다.

引用文獻

1. 과학기술처. 1987. 대기오염과 산성우가 산림 생태계에 미치는 영향. p78.
2. 김현석, 이경준. 1995. Open-top chamber 내에서 오존에 폭로시킨 1년생 느티나무(*Zelkova serrata* Makino) 표목의 생리적 반응에 관한 연구. 한국임학회지 85 : 인쇄중.
3. AOAC. 1970. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Edited by Horwitz, W. pp 1015. Published by AOAC, Washington D.C.
4. Blanchard, R. O. and J. K. Cater. 1980. Electrical resistance measurement to detect Dutch elm disease prior to symptom expression. Can. J. For. Res. 10 : 111-114.
5. Davis, W., W. Shortle and A. Shigo. 1980. Potential hazard rating system for fir stands infested with budworm using cambial electrical resistance. Can. J. For. Res. 10 : 541-544.
6. Fernandez-Bayon, J. M., J. D. Barnes, J. H. Ollerenshaw and A.W. Davison. 1993. Physiological effects of ozone on cultivars of watermelon(*Citrullus lanatus*) and muskmelon(*Cucumis melo*) widely grown in spain. Environ. Pollut. 81 : 199-206.
7. Bussotti, F., L. Brogi, P. Grossoni, A. Cozzi and R. Gellini. 1993. Crown structure modifications in relation to air pollution. Landscape and Urban Planning 24 : 167-173.
8. Hiscox, J. D. and G. F. Iaraelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57 : 1332-1334.
9. Knudson, L. L., T. W. Tibbitts and G. E. Edwards. 1977. Measurement of ozone injury by

- determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol. 60 : 606-608.
- 10. Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. J. Biol. Chem. 140 : 315-322.
 - 11. Majernik, O. and T. A. Mansfield. 1971. Effects of SO₂ pollution on stromatal movements in *Vicia faba*. Phytopath. Z. 71 : 123-128.
 - 12. Matyssek, R., T. Keller and T. Koike. 1993. Branch growth and leaf gas exchange of *Populus tremula* exposed to low ozone concentrations through two growing seasons. Environ. Pollut. 79 : 1-7.
 - 13. Sakaki, T., N. Kondo and K. Sugahara. 1983. Breakdown of photosynthetic pigments and lipids in spinach leaves with ozone fumigation: Role of active oxygens. Physiol. Plant. 59 : 28-34.
 - 14. Shigo, A.L. 1991. Modern Arboriculture. Shigo and Tree. Assoc, Durham, New Hampshire 424pp.
 - 15. Shortle, W. C., A. L. Shigo, P. Berry and J. Abusamra. 1977. Electrical resistance in tree cambium zone: relationship to rates of growth and wound closure. Forest Sci. 23 : 326-329.
 - 16. Shortle, W. C., J. Abusamra, F. M. Laing and M. F. Morselli. 1979. Electrical resistance as a guide to thinning sugar maples. Can J. For. Res. 9 : 436-437.
 - 17. Tager, J. M. and N. Rautanen. 1956. Sulphite oxidation by plant mitochondrial system. Enzymatic and non-enzymatic oxidation. Physiol. Plant 9 : 665-673.
 - 18. Wellburn, A. R., O. Majernik, and F. M. M. Wellburn. 1972. Effects of SO₂ and NO₂ polluted air upon the ultrastructure of chloroplasts. Environ. Pollut. 3 : 37-49.