

서울에 植栽된 느티나무 街路樹의 健康度와 大氣 오존 濃度와의
相關 關係 研究

李景俊, 韓心熙, 金君保, 金兌奎

서울대학교 농업생명과학대학 산림자원학과

A Study on the Correlation between Ambient Ozone
Concentration and Tree Health of *Zelkova serrata* Makino Street
Trees In Seoul

Kyung Joon Lee, Sim Hee Han, Goon Bo Kim and Tae Kyu Kim

Department of Forest Resources, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul
National University, Suwon 441-744, Korea

Summary

The objectives of this study were to understand the correlation between ambient ozone concentration and health of street trees in Seoul, and to examine the possibility of using *Zelkova serrata* trees as a potential bioindicator for ozone pollution in large cities. Five *Zelkova serrata* street trees each growing within 300m radius from each ozone monitoring station were selected. The chlorophyll and carotenoid contents in the leaves and cambial electrical resistance of the selected trees were measured in mid August at the 20 stations in Seoul, and above date were analyzed for correlection with ambient ozone concentration from June through August. The ozone data at the 20 stations were obtained from Department of Environment.

The daily average concentration of ozone from June through August was 0.02ppm, while ozone warning (issued whenever hourly ozone concentration was above 0.12ppm) was announced 10 times in Seoul during the three months. The highest number of incidences of the hourly ozone concentration above 0.08ppm was 107 times in Sangmoon-dong which was surrounded by mountains in three

sides and located northeastern part of Seoul. Eastern part of Seoul showed higher concentration of ozone than western parts, suggesting the possibilities of movement of ozone by prevailing westerly wind. Among the tested ozone data, such as overall or monthly daily ozone concentration, hourly maximum concentration, and the number of incidences of hourly concentration of above 0.08ppm, chlorophyll a content in the leaves was negatively correlated (correlation coefficient: -0.42) with daily ozone concentration in June. However, it was significant only at 10% statistical level. It was concluded that *Zelkova serrata* street trees might be used as a potential bioindicator for ozone pollution in large cities.

서 론

대기권에 존재하는 오존은 성층권의 오존과 대류권의 오존으로 구분되며 (Fabian, 1989), 성층권의 오존은 태양으로부터 복사되는 자외선을 차단하여 지구의 생물권에 생물이 살아갈 수 있게 해주는 역할을 담당하고 있다. 반면에 대류권에 존재하는 오존은 대부분 인간의 활동에 의하여 만들어지는데, 선진국의 경우 중요한 대기오염물질 중의 하나이다 (Krupa, 1996). 대류권의 오존은 주로 자동차의 내연기관에서 발생하는 질소산화물과 탄화수소가 더운 여름철 맑게 개인 날 자외선의 존재 하에서 반응을 일으켜 생산된다고 알려져 있다 (Horvath *et al.*, 1985).

오존은 식물에게도 생리적 변화를 가져온다. 대기 중에 오존의 농도가 일정 수준을 넘으면, 기공을 통하여 식물의 체내에 침입한 오존이 초기에는 잎의 표면에 가벼운 작은 반점들을 만들지만, 증세가 더 진행되면 엽육조직을 파괴하고, 광합성을 감소시키며, 조기낙엽을 초래하고, 뿌리로의 탄수화물 이동을 방해하여 뿌리 발달을 저해하는 것으로 알려져 있다 (Kozlowski and Constantinidou, 1986).

서울은 한국 제일의 대도시로서 많은 차량이 통행하고 있다. 더운 여름철 6월부터 8월 사이에 서울에서는 최근에 오후 시간을 전후하여 오존 주의보가 자주 발령되고 있다. 오존주의보는 대기 중의 오존 농도가 120 ppb를 초과할 때 발령된다. 예를 들면 1996년 한 해 동안 서울에서 11회, 97년에 16회, 98년에 17회, 그리고 99년에 13회에 걸쳐서 오존 주의보가 발령되었으며, 전국의 대도시와 중소도시로 확산되고 있다 (환경부, 1999). 이로 인하여 도시내 가로수가 영향을 받고 있으며, 이 등 (1995)이 전국에 식재된 느티나무를 대상으로 느티나무의 건강도를 측정한 결과에서도 대기오염에 대하여 예민한 반응을 보이고 있음이 확인된 바 있다. 특히 이들의 보고서에서는 오존에 의한 피해 가능성을 암시하고 있으며, 느티나무를 이용하여 대기의 오존

오염 상태를 간접적으로 추정하는 방법을 제시하였다.

본 연구는 서울에 가로수로 식재된 느티나무의 건강도와 대기 중 오존 농도와의 상관관계를 조사하여, 느티나무가 오존의 오염 상태를 나타내는 생물적 지표식물로 사용 될 수 있는지를 검증하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역과 느티나무 선정

서울특별시와 환경부는 1999년 현재 서울시내 25곳에 대기오염 자동 측정소를 설치하여 운영하고 있으며, 측정항목은 CO₂, CO, NO_x, SO₂, O₃, 미세 먼지 등이다 (환경부, 1999).

표 1. 서울시 대기오염 자동 측정소 설치 위치와 관할기관 (1996년 현재)

번호	구역	측정소명	소재지	관할기관
11	북서지역	광화문	중구정동 (태평로 파출소)	환경부
13		불광	은평구 불광동 (불광 1동 사무소)	"
14		마포(염리동)	마포구 염리동 (동도 중학교)	"
1		한남	용산구 한남동 (한강 관리 사업소)	서울시
7		남가좌	서대문구 남가좌동 (남가좌 1동 사무소)	"
15	북동지역	면목	종로구 면목 2동 (종로 초등학교)	환경부
16		신설	동대문구 신설동 (승연 여자 중학교)	"
12		길음	성북구 길음 3동 (길음 3동 서무소)	"
6		쌍문	도봉구 쌍문동 (도봉구 선거관리위원회)	서울시
3		구의	광진구 구의동 (구의 수원지)	"
10		성수	성동구 성수동 (성수 3동 사무소)	"
17	남서지역	문래	영등포구 문래 2동 (문래 2동 사무소)	환경부
19		관악산(신림동)	관악구 신림동 (서울대)	"
2		화곡	강서구 화곡동 (화곡 3동 사무소)	서울시
9		구로	구로구 구로동 (구로 공단 본부)	"
4		오류	구로구 궁동 (교통안전 진흥공단)	"
18	남동지역	대치	강남구 대치동 (대치 1동 사무소)	환경부
20		잠실	송파구 잠실 본동 (본동 사무소)	"
5		반포	서초구 반포동 (반포 2동 사무소)	서울시
8		방이	송파구 방이동 (올림픽 공원)	"

표 1에 1996년 당시 서울시 대기오염 자동 측정소 20개소의 측정소명, 소재지, 관할기관명을 표시하였으며, 그럼 1과 같이 20개 지역을 편의상 한강대교를 중심으로 동서로 나누고, 한강을 중심으로 남북으로 나누어 4개 구역으로 구분하였다. 각 측정

느티나무 가로수 건강도와 대기 오존 농도와의 관계

소내 기기는 모두 공공기관의 옥상에 설치되어 있었으며, 설치 장소는 2층 건물부터 4층 건물까지 다양하였다. 대부분의 측정소는 도시 한복판에 위치하고 있었으나, “방이동”은 올림픽 공원과 같은 녹지대내에, 그리고 “신림동”은 관악산 기슭에 약간 격리된 곳에 위치하고 있었다.

위의 20개 지역을 방문하여 관측소로부터 반경 300m 이내에 집단으로 식재된 느티나무 (*Zelkova Serrata* Makino)를 우선 찾았다. 느티나무는 대부분 가로수로 식재되었거나, 녹지대에 녹음수로 식재되어 있었는데, 나무의 외관과 식재상태를 관찰하여, 식재한지 3년 이상 되어 활착이 양호하게 이루어진 개체만을 대상으로 하여 5개체를 선정하였다.

2. 느티나무의 건강도 측정

1996년 8월 15일부터 17일 사이에 위의 20개 조사 지역을 방문하여, 반경 300m 이내에서 선정된 느티나무의 각 개체로부터 3반복으로 현장에서 다음 항목을 측정하였다. 가시적 피해는 잎에 나타나 있는 여러 가지 피해 증상, 즉 황화현상, 갈색 혹은 붉은 색 반점, 잎 뒷면의 탈색여부, 등을 조사하였다. 겨울눈에서부터 자란 춘지 (春枝) 가지 끝에서 7번째부터 10번째 사이에 있는 성숙엽을 채취하였다. 잎의 광합성 색소 측정은 Hiscox and Israelstam (1979) 법에 의하여 10ml Dimethyl Sulfoxide (DMSO)에 생엽 0.1g을 넣고 65°C에서 4시간 동안 배양한 다음, 용액의 흡광도를 470, 644, 662nm의 파장에서 UV-visible spectrometer를 사용하여 측정하였다. Lichtenthaler (1987)의 다음 공식에 의하여 엽록소 a, b, 카로테노이드의 함량을 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{엽록소 } a (C_a, \text{ mg/l}) &= 11.24 A_{662} - 2.04 A_{644} \\ \text{엽록소 } b (C_b, \text{ mg/l}) &= 20.13 A_{644} - 4.19 A_{662} \\ \text{총엽록소 } (C_{a+b}, \text{ mg/l}) &= 7.05 A_{662} - 18.09 A_{644} \\ \text{총카로테노이드 } (C_{x+c}, \text{ mg/l}) &= \frac{1000 A_{470} - 1.90 C_a - 63.14 C_b}{214} \end{aligned}$$

수목의 활력도는 Shigometer를 이용하여 형성층의 전기 전도도($k\Omega$)를 측정하여 계수로 나타내었다. Shigo(1991)에 의하면, 생육기간 동안 수목의 건강도는 형성층의 생리적 활동과 상관관계가 높다고 한다. 즉 건강한 나무 일수록 형성층 안쪽 목부 조직을 통한 수액의 이동이 활발하며, 수액 내에 용해되어 있는 칼륨이온과 같은 전해질로 인하여 전기를 더 많이 통과시키기 때문이다. Shigometer의 숫자는 전기 전도도를 역으로 전기 저항도를 표시하여, 다음과 같은 기준으로 개체당 3회 반복하여

측정한 후, 활력도를 판정하였다.

1 - 10: 건강한 정상적인 상태

11 - 30: 육안으로 감별할 수 있는 병증을 나타내기 이전에 건강도가 약간 나빠진 상태

31 - 50: 병증이 육안으로 식별되는 상태

51 - 100: 수목이 회복 불가능할 만큼 죽어가고 있는 상태

100이상: 수목이 완전히 고사한 상태

3. 오존 자료 분석

속성수인 포플러나 느티나무의 경우 대기중 오존의 농도가 0.08ppm을 초과하면, 생리적 피해를 주기 시작하며, 0.12ppm을 초과하면 가시적 피해를 줄 수 있다(Kim and Lee, 1995). 환경부의 오존 주의보도 0.12ppm 이상일 경우 발령하도록 되어있다.

서울의 20개 지역의 대기중 오존농도는 환경부로부터 얻었다. 오존자료는 시간별, 일별 농도를 ppm 단위로 표시하고 있는데, 1996년 6월 1일부터 96년 8월 15일 까지의 자료를 이용하였다.

오존 주의보는 시간별 오존농도가 0.12ppm을 초과할 때 발령되는데, 지역별, 월별 오존 주의보 발령 횟수, 시간별 0.08ppm이 초과된 횟수와 초과된 시간 총합, 0.08ppm 이상 오존 부하량을 계산하였다. 또한 월별 일중 평균과 월별 일중 최고치 평균 등을 구하였다.

4. 상관 관계 분석

느티나무의 건강도에 관련된 자료 중에서 엽록소 a와 b의 각각의 함량, 총 엽록소 함량, 카로테노이드 함량, 전기저항도의 5개 항목을 대상으로, 오존 관련 자료 중에서 0.08ppm을 초과한 시간 총합, 0.08ppm 이상 오존 적산농도, 월별 일중 평균, 월별 일중 최고 평균치와의 상관 관계를 SAS의 PROC CORR 절차를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 가시적 피해와 엽록소 함량

서울시에 가로수나 공원수로 심겨진 느티나무의 잎은 여러 가지 요인에 의하여 피해를 입고 있다고 판단되었다. 흔하게 관찰되는 것은 황화현상이었는데, 교차로 부근에 심겨진 나무에서 많이 발견되었다. 엽맥을 따라서 황화현상이 관찰되며, 전형적인 오존피해 증상은 흩어진 많은 작은 갈색 반점들이다. 여름철 더운 공기에 의하여 생

느티나무 가로수 건강도와 대기 오존 농도와의 관계

기는 잎의 부분적 갈변과 오그라드는 현상은 오존 피해와 쉽게 구별된다. 이러한 증세는 자주 관찰되지만, 불규칙하면서 정량화하는데 어려움이 있어서, 본 연구에서는 오존과의 상관관계를 구하는데서 제외시켰다.

표 2 서울시 20개 지역에서 조사된 느티나무의 광합성 색소함량과 형성층의 전기 저항도

지역	측정소명	엽록소 a (mg/g)	엽록소 b (mg/g)	총엽록소 (mg/g)	카로테노이드 (mg/g)	전기 저항도 (kΩ)
북서지역	광화문	10.38	2.13	12.5	8.20	7.65
	불광동	11.65	2.43	14.1	9.12	4.30
	마포	11.01	2.22	13.3	9.01	5.30
	한남동	7.67	1.50	9.87	6.38	4.46
	남가좌동	15.05	3.31	18.4	12.2	4.45
북동지역	면목동	12.18	2.53	14.8	9.46	6.30
	신설동	10.49	2.23	12.8	8.80	5.17
	길음동	14.07	3.39	17.5	11.6	8.30
	쌍문동	15.42	1.50	17.9	10.1	3.88
	구이동	8.32	1.64	9.99	6.50	4.71
	성수동	13.13	2.72	15.9	10.8	6.95
남서지역	문래동	5.87	1.20	7.10	4.82	4.83
	신림동	3.33	0.73	4.07	2.86	5.44
	화곡동	11.49	2.25	13.8	9.01	8.80
	구로동	7.17	1.44	8.64	5.84	4.56
	오류동	6.62	1.31	7.96	5.33	4.51
남동지역	대치동	8.58	1.76	10.4	6.60	5.49
	잠실동	7.49	1.40	8.93	5.84	5.19
	반포동	6.38	0.83	7.23	5.06	4.40
	방이동	4.64	0.99	5.65	3.89	4.95

표 2에 서울시 20개소에서 측정한 느티나무의 광합성색소 함량과 Shigometer로 측정한 형성층의 전기 저항도(kΩ)를 나타냈다. 엽록소와 카로테노이드 함량은 측정소간에 많은 차이가 있었는데, 신림동의 느티나무의 엽록소 함량은 4.07 mg/g으로서 가장 많은 남가좌동의 18.4mg/g의 1/4 수준에 불과하였다. 엽록소 수치에만 의존한다면 남동구역이 서울의 4개 구역 중에서 가장 낮은 숫자를 나타냈다.

형성층의 전기 저항도는 쌍문동이 3.88 kΩ로 가장 낮고, 화곡동이 8.80kΩ으로 가장 높았으나, 모든 지역이 10.0 보다 낮아서 건강한 상태라고 할 수 있다. 따라서 이렇게 낮은 형성층의 전기 저항도 수치는 가로수로 심겨진 느티나무의 건강상태를 판별하는데 도움이 되지 않는다고 할 수 있다 (이 등, 1997).

2. 대기중 오존 농도

표 3. 1996년 6,7,8월의 서울의 20개 오존 측정소의 오존 오염 현황

구역	측정소	6-8월 간 일평균치 (ppm)	6-8월 간 최고오존 관측치 (ppm)	오존주의보 발령일수			6-8월 간 일중최고치 평균 [*] (ppm)	6-8월 간 시간별 0.08ppm 초과횟수 ^{**}	6-8월 간 0.08ppm 이상 적산농도 ^{***} (ppm) ^{****}
				6월	7월	8월			
북서 지역	광화문	0.0126	0.102	1	1	0.0388	13	1.16	
	불광동	0.0236	0.121	1	1	0.0527	49	4.59	
	마포	0.0145	0.128	1	1	0.0373	18	1.71	
	한남동	0.0204	0.119	1	1	0.0523	22	2.08	
	남가좌동	0.0173	0.087	1	1	0.0349	2	0.17	
북동 지역	면목동	0.0214	0.111	2	1	0.0491	21	1.85	
	신설동	0.0151	0.128	2	1	0.0404	17	1.73	
	길음동	0.0186	0.113	2	1	0.0469	24	2.28	
	쌍문동	0.0275	0.162	2	1	0.0631	107	10.43	
	구의동	0.0264	0.127	2	1	0.0589	81	7.54	
남서 지역	성수동	0.0199	0.130	2	1	0.0546	76	7.08	
	문래동	0.0167	0.099		1	0.0386	4	0.38	
	신림동	0.0271	0.121		1	0.0516	33	2.97	
	화곡동	0.0173	0.125		1	0.0425	21	1.95	
	구로동	0.0155	0.109		1	0.0418	25	2.19	
남동 지역	오류동	0.0161	0.101		1	0.0419	13	1.14	
	대치동	0.0187	0.143	1	1	0.0450	49	4.83	
	잠실동	0.0198	0.123	1	1	0.0540	51	4.76	
	반포동	0.0178	0.116	1	1	0.0492	31	2.85	
	방이동	0.0246	0.120	1	1	0.0620	83	7.66	
평균		0.0209	0.119	3***	2***	5***	0.0477	37	3.47

* : 6-8월 중 일중 최대치 평균과 느티나무의 색소함량은 7% 수준에서 유의성을 인정할 수 있는 상관 관계가 있음.

** : 0.08 ppm 이상의 오존은 느티나무에게 생리적 피해를 주기 시작함.

*** : 월별 주의보 발령일수의 합

**** : 시간별 오존농도 중에서 0.08ppm을 초과한 시간대의 오존농도를 적산한 수치임.

표 3에 1996년 6월부터 8월까지 서울시의 20개소에서 측정한 대기 중 오존의 농도를 표시하였다. 서울시 전 지역의 3개월간 일일 평균치는 0.02ppm으로써 낮게 나타나서 오존에 대한 위협이 없는 것처럼 보인다. 그러나 같은 기간 중의 최고 오존 관

느티나무 가로수 전강도와 대기 오존 농도와의 관계

측치는 쌍문동의 0.162ppm으로써 오존 주의보 농도인 0.12ppm을 크게 초과하였다. 3개월 중에서 오존 주의보 (시간별 0.12ppm 이상)가 발령된 횟수는 6월에 3회, 7월에 2회, 8월에 5회로써, 총 10회에 달하였다. 20개 전지역에서 8월 중 최소한 1회 이상 오존 주의보가 내려졌다. 오존 주의보가 가장 많이 발령된 곳은 북동지역의 6개 지역이었으며, 모두 5회 발령되었다. 3개월간 일중 최고치 평균은 북동지역이 가장 높게 나타났으며, 0.08ppm을 초과한 횟수도 쌍문동이 107회로써 가장 높았다. 같은 기간 0.08ppm 이상 적산 농도를 보면, 쌍문동이 10.43ppm으로써 서울에서 오존에 가장 과다하게 노출된 지역으로 판명되었다. 이렇게 다른 지역보다 북동지역에서 자주 주의보가 내려지는 경향은 1997년도에도 16회의 주의보 중에서 9회가, 1998년도에도 17회 중에서 13회가 북동지역에서 오존주의보가 내려진 것을 참고해도 알 수 있다 (환경부, 1999).

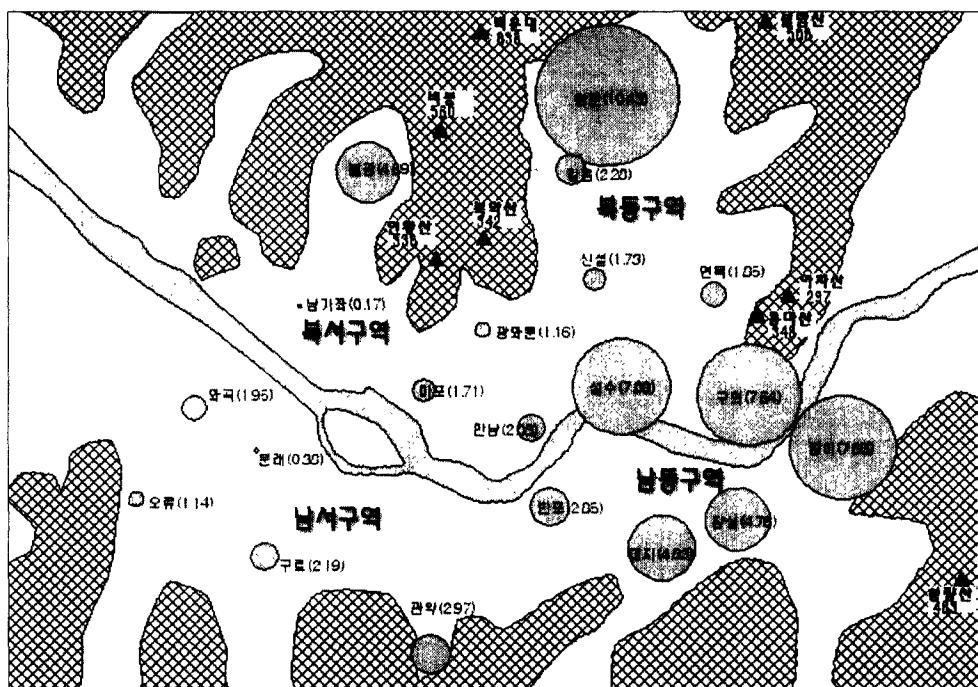


그림 1. 서울시 대기오염자동측정소 20개소의 위치와 주변 산림배치 현황
(원의 크기와 팔호 속의 숫자는 표 3의 6-8월간 0.08ppm초과 오존 적산 농도)

표 3에서 일중 최고 평균치, 0.08ppm초과 총량, 오존 주의보 발령 횟수를 고려할 때, 오존 오염이 가장 심한 지역은 서울의 북동지역이었다. 특히 쌍문동은 시간별 0.08ppm이 초과한 횟수가 3개월간 107회로써, 20개소 중에서 가장 많았으며, 0.08ppm

초과 총량이 10.43ppm으로써 또한 20개소 중에서 가장 높았다. 동쪽에 위치한 구의동과 성수동, 그리고 방이동도 높았다.

표 3에서 20개소 중에서 0.08ppm 초과총량이 가장 많은 5개소를 차례대로 나열하면, 쌍문동, 방이동, 구의동, 성수동, 대치동 순으로 되는데, 그럼 1과 같이 5개의 모든 지역이 서울의 동쪽에 위치하고 있다. 이렇게 서쪽지역보다 동쪽지역에서 더 자주 오존주의보가 내려지는 경향은 1997년도에도 16회의 오존주의보 중에서 11회가, 그리고 1998년도에도 17회 중에서 15회가 동쪽지역에서 발령된 것을 보아도 알 수 있다(환경부, 1999). 이렇게 오존에 의한 최대 오염지역이 지리적으로 동쪽에 편중되어 있는 것은 여름철 편서풍에 의해서 북서지역과 남서지역의 오존이 동쪽으로 이동하면서 주변의 산악 지형 때문에 빠져나가지 못하고 정체되어 나타나는 현상이라고 추측된다. 특히 그럼 1과 같이 쌍문동과 불광동은 산악에 둘러싸여 있는 지역으로써 대기가 정체되면서 오존 농도가 높아진 것으로 추측된다. 반면 북서지역과 남서지역의 오존 농도는 비교적 낮은데, 특히 바람이 잘 통하는 한강변에 위치한 화곡동, 문래동, 마포, 한남동의 오존농도는 비교적 낮게 나타났다.

3. 오존 농도와 광합성 색소와의 상관 관계

표 4에 6월부터 8월까지 오존 농도와 월별 형성총의 전기 저항도, 혹은 광합성 색소와의 상관 계수를 나타냈다. 오존 농도는 6, 7, 8월의 일일평균 오존 농도, 일일 최고 오존 농도, 시간별 0.080ppm을 초과한 횟수로 표시하였다. 대부분의 상관관계가 부의 상관으로 나타났다. 형성총의 전기 저항도는 오존 농도와 부의 상관을 나타내었으나, 유의성이 인정되지 않았다. 이론적으로 오존의 농도가 높아지면 건강 상태가 나빠져서 전기 저항도도 증가하여 큰 숫자를 나타내어야 한다. 본 조사에서는 유의성이 없는 만큼, 부의 상관에 큰 의미를 둘 필요가 없다고 생각한다. 단, 현 단계에서 볼 때 서울시의 오존 오염상태는 느티나무에게 치명적으로, 혹은 형성총의 상태를 악화 시킬 만큼 심각한 상태가 아니다.

광합성 색소 중에서 엽록소 a와 b의 함량은 대부분 오존과 부의 상관을 나타내었는데, 통계상 10% 유의 수준에서 유의성이 인정된 것은 6월의 일일 평균 오존 농도와 엽록소 a와의 부의 상관이었다. 즉 6월중 일일 평균 오존 농도가 높을수록, 엽록소 a의 함량이 감소하였다. B-carotene에서도 비슷한 경향을 나타내서, 통계상 10% 유의 수준에서 유의성이 인정되어어서, 6월의 일일 평균 오존 농도가 높을수록 B-carotene의 함량이 감소하였다. 이와 같이 오존에 의하여 엽록소 함량이 감소하는 현상은 포플러를 이용한 실험에서도 0.13 ppm 오존 노출에서 관찰되었다(김 등, 2000).

느티나무 가로수 건강도와 대기 오존 농도와의 관계

표 4. 6월부터 8월까지 서울시 오존 농도와 느티나무 가로수의 광합성 색소와의 상관관계

오존 구분	월	형성 총 전기저抵抗도	엽록소 a	엽록소 b	카로테노이드
일일 평균 오존 농도	6월	-0.220	-0.419*	-0.386	-0.417*
	7월	-0.296	-0.279	-0.251	-0.293
	8월	-0.019	0.116	0.123	0.087
일일 최고 오존 농도	6월	-0.062	-0.291	-0.282	-0.290
	7월	-0.165	-0.304	-0.286	-0.318
	8월	-0.178	-0.285	-0.272	-0.270
시간별 0.08ppm 초과 횟수	6월	-0.133	-0.162	-0.179	-0.155
	7월	-0.034	-0.162	-0.152	-0.159
	8월	-0.046	-0.136	-0.150	-0.146

표4에서 6월의 엽록소 a나 카로테노이드 함량이 일일 평균 오존 농도와 부의 상관이 있는 것은 결과적으로 느티나무의 가지에서 6월에 만들어진 춘엽이 아직 성숙하기 전에 6월에 오존에 의하여 예민하게 반응한다는 것을 의미하고 있다. 느티나무는 자유생장 (free growth)을 하는 수종으로써 동아에서 유래한 춘엽과 여름철에 새롭게 생성된 눈에서 유래한 하엽의 두 가지 잎을 가지고 있다 (이, 1997). 이중에서 춘엽이 오존에 의하여 6월에 피해를 보게되면, 8월까지 계속 되는 오존의 오염에 의하여 8월경에 춘엽의 엽록소가 감소하고 병증이 나타난다고 판단된다.

결 론

서울시에서 가로수로 심겨진 느티나무의 건강도와 96년 6월부터 8월 사이의 대기 중 오존 농도와의 상관 관계를 조사한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 6월 중 대기의 일일 평균 오존 농도는 엽록소 a 혹은 카로테노이드 함량과 통계적으로 유의한 부의 상관을 나타내었다.
2. 여름철 서울시의 대기중의 오존 가스는 편서풍에 의하여 동쪽으로 이동하는 경향이 있어서 북서지역이나 남서지역보다 북동지역이나 남동지역의 오존 농도가 더 높

은 경향을 나타내었다.

3. 오존은 쌍문동과 같이 북한산에 의하여 차단되어 공기흐름이 완만해진 곳에서 가장 높은 농도로 관찰되었다.

4. 도시 내 가로수나 공원수로 식재된 느티나무는 오존 가스에 예민하게 반응하기 때문에 오존에 의한 대기 오염의 정도를 간접적으로 추정 할 수 있는 지표식물로 이용 할 수 있다.

5. 가로수나 공원수로 식재되는 수종은 원칙적으로 대기오염에 강한 나무이어야 하지만, 서울과 같은 대도시의 경우 오존에 민감하게 반응하고, 오염 정도를 육안으로 판별 할 수 있는 느티나무를 의도적으로 일부지역에 식재할 필요가 있다고 판단된다.

요 약

느티나무와 포플러와 같은 속성수는 오존가스에 예민한 반응을 보인다는 사실이 알려져 있다. 본 연구는 서울에 가로수로 식재된 느티나무의 건강도와 대기 중 오존 농도와의 상관관계를 조사하여, 느티나무가 오존의 오염 상태를 나타내는 생물적 지표식물로 사용될 수 있는지를 검증하기 위하여 실시하였다. 서울시의 20곳에 설치된 대기오염 자동 측정소에서 반경 300 m 이내에 식재 되어 있는 느티나무를 대상으로 1996년 8월 15일부터 17일 사이에 잎의 가시적 피해, 엽록소와 카로테노이드 함량, 형성층의 전기저항도를 측정하여 느티나무의 건강도를 구하고, 1996년 6월 1일부터 8월 15일까지 대기중 오존농도와의 상관 관계를 구명하였다. 서울시 전 지역의 3 개월간 오존농도의 일일평균치는 0.02ppm 으로써 낮게 나타났으나, 3 개월간 10회에 걸쳐서 오존주의보 (0.12ppm 이상)가 발령되었으며, 20 개 전지역에서 1회 이상 오존주의보가 발령되었다. 수목에게 생리적 피해를 주는 0.08ppm을 초과한 횟수는 쌍문동이 107회로써 가장 높았다. 서울의 동쪽에 위치한 지역, 즉 쌍문동, 구의동, 성수동, 방이동, 대치동, 잠실동의 일중 최고치나 0.08ppm 이상 적산 농도가 다른 지역보다 높았다. 따라서 오존가스가 편서풍에 의하여 동쪽으로 이동하면서, 특히 주변 산악지대에 의하여 공기가 정체된 곳에서 더 높은 농도를 보여 주었다고 판단된다. 잎의 가시적 피해는 불규칙하면서 정량하기가 어렵고, 형성층의 전기저항치는 수목간에 큰 차이가 없어서 제외하였다. 잎의 광합성 색소와 오존 농도와의 상관 관계에서는 엽록소 a의 함량과 6월중 일일 평균 오존농도와 통계상 10% 유의 수준에서 부의 상관 (상관계수, -0.42)을 나타내서, 오존 농도가 높을수록 엽록소의 함량이 감소하는 것으로 조사되었다. 결론적으로 느티나무는 오존에 예민하게 반응하여 대도시에서 가로수로 식재하기에 적당하지 않으나, 오히려 이러한 특성을 이용한다면, 오존에 대한 생물적 지표식물로 식재할 수 있다고 판단한다.

인 용 문 헌

- 김태규, 이경준, 김군보. 2000. Open-top chamber 내에서 오존에 노출시킨 현사시 5개 클론의 생장량과 오존에 대한 민감성과의 관계. 한국임학회지 89: 3월호 게재 예정.
- 이경준, 한심희, 김군보. 1995. 전국 주요 도시에 녹음수로 식재된 느티나무의 건강도 측정과 이를 이용한 대기오염상태 추정. 서울대학교 수목원 연구보고. 15:1-11.
- 이경준, 한심희, 정용선. 1997. 20개 조경수종의 형성층 전기저항치의 수종간 차이와 계절적 변화. 한국임학회지. 86:415-421.
- 이경준. 1997. 수목생리학. 서울대학교 출판부. 514pp.
- 환경부. 1996. 환경백서. 서울.
- Fabian, P. 1989. Atmosphare unt umwelt. Springer-Verlag. Berlin.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.
- Horvath, M., L. Bilitzky, and J. Huttner. 1985. Ozone. Elsevier Science Publishing Co., Inc. 115-144.
- Kim H. S. and K. J. Lee. 1995. Physiological responses of one-year-old *Zelkova serrata* Makino seedlings to ozone in open-top chambers. J. Kor. For. Soc. 84:424-431.
- Kozlowski, T. T. and H. A. Constantinidou. 1996. Responses of woody plants to environmental pollution. Part I. Sources, types of pollutants, and plant responses. For. Abstr. 47:5-51.
- Krupa, S. V. 1996. The role of atmospheric chemistry in the assessment of crop growth and productivity. In M. Yunus and M. Iqbal (eds). Plant Response to Air Pollution. John Wiley and Sons Ltd. 35-73.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. Academic Press. 148:350-382.
- Shigo, A. L. 1991. Modern Arboriculture. Shigo and Tree, Assoc. Durham. New Hampshire. 424pp.