

## 천안시 가로수의 생리적 특성과 형성층 전기저항치에 관한 연구<sup>1</sup>

송근준<sup>2</sup> · 한심희<sup>3</sup> · 하태주<sup>2</sup>

## Studies on the Physiological Characteristics and Cambial Electrical Resistance of Street Trees in Cheonan City<sup>1</sup>

Keun-Joon Song<sup>2</sup>, Sim-Hee Han<sup>3</sup>, Tae-Joo Ha<sup>2</sup>

### 요 약

천안시내에 식재된 가로수의 건강도를 진단하기 위하여 몇 가지 생리적 특성을 측정하고, 형성층 전기저항치와 생리적 특성들간의 관계를 밝히고자 하였다. 은행나무, 벚나무, 버드나무를 대상수종으로 선정하였고, 7월에 대상 수종의 하부 토양을 채취하여 탈수소효소 활성을 분석하였으며, 수관의 잎은 엽록소 함량, 질산환원효소, 항산화효소(SOD) 활성을 분석하는데 이용하였다. 수목의 형성층 전기저항치는 5월, 7월, 9월에 측정하였다. 토양의 탈수소효소 활성은 도심지역에서 낮은 값을 나타내 토양 오염도를 반영하였으며, 엽록소 함량은 동서대로에 식재된 벚나무가 가장 낮았다. 은행나무의 질산환원효소 활성은 다른 수종보다 높았으며, 도심지역에서 높은 활성을 나타냈다. 또한 항산화효소인 SOD 활성은 도심에서 낮았다. 동서대로의 벚나무는 형성층 전기저항치가 지속적으로 상승하여 활력을 상실하였음을 보여주었다. 형성층 전기저항치는 질산환원효소( $r^2=-0.566$ ) 및 SOD 활성( $r^2=0.579$ )과 상관을 보임으로써 수목의 건강도 및 생리적 건강 상태를 진단하는데 유용할 것으로 판단되었다.

주요어 : 탈수소효소, 엽록소, 질산환원효소, 항산화효소

### ABSTRACT

This study was conducted to diagnose the health of street trees with physiological characters, and to figure out the relation of physiological characters and cambial electrical resistances. *Ginkgo biloba*, *Prunus serrulata* and *Salix koreensis* were chosen in the Cheonan City. Soils under trees were collected to analyze dehydrogenase activities, and chlorophyll content, nitrate reductase and superoxide dismutase activities were analyzed from leaves sampled at the edge of crown in July. Cambial electrical resistances were measured in May,

1 접수 12월 18일 Received on Dec. 18, 2001

2 연암축산원대학 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Yonam College of Agriculture, Chungnam, 333-800, Korea(gjsong@yonam-ag.ac.kr)

3 임업연구원 임목육종부 Dept. of Tree Breeding, Korea Forest Research Institute, Suwon, 441-350, Korea(Inyasio@hanmail.net)

July and September. Soils with low dehydrogenase activity reflected the level of pollution. Chlorophyll content was the lowest in the leaves of *P. serrulata* at the Dongseo-street. Nitrate reductase activity of *Ginkgo biloba* was higher than *P. serrulata* and *Salix koreensis*. Nitrate reductase activity showed higher activity in the city than control (Independence Hall and Yonam College), but superoxide dismutase activity in the city lower than control. *P. serrulata* in the Dongseo-street that cambial electrical resistance increase continuously during the growing season, showed the loss of vitality. Cambial electrical resistance was negatively or positively correlated with nitrate reductase ( $r^2 = -0.566$ ) and superoxide dismutase activity ( $r^2 = 0.579$ ). It was concluded that cambial electrical resistance might be suitable for diagnosing the tree health.

**KEY WORDS : DEHYDROGENASE, CHLOROPHYLL, NITRATE REDUCTASE, SUPEROXIDE DISMUTASE**

## 서론

가로수는 도심지역의 각종 오염물질을 정화하는데 중요한 역할을 담당한다. 그러나 오염물질의 농도는 매년 높아지고 있으며, 식물이 정화할 수 있는 한계를 벗어나 동식물은 물론 인간의 건강까지 위협하고 있다. 특히 차량의 급격한 증가는 토양 내 중금속류의 증가 뿐만 아니라 대기 중 산화질소( $\text{NO}_x$ )와 이차오염물질인 오존( $\text{O}_3$ )의 농도를 점차 증가시키고 있다. 이러한 오염물질들의 과다한 축적이나 노출은 도시에 식재된 수목에 심한 스트레스를 유발하여 식물체에 여러 가지 생리·생화학적 과정 및 세포내의 조직 구조에 피해를 주어 식물의 생장과 수확을 감소시키며, 결국에는 고사에 이르게 한다 (Rao and Davis, 2001).

수목은 여러 가지 오염물질에 대한 저항성 메커니즘을 보유하고 있는 것으로 알려져 있는데, 수목의 저항성 메커니즘은 체내에 유입된 오염물질의 독성을 해독하는 방법과 오염물질의 체내 유입을 차단하는 방법으로 구분할 수 있다 (Levitt, 1972). 최근 오염물질에 대한 식물의 저항성 메커니즘은 수목의 내성 수종 선발 및 환경 내성 식물 개발에 널리 이용되고 있으며 (Allen, 1995; Suzuki and Asahi, 1996), 국내에서도 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다 (Kim *et al.*, 1994; You *et al.*, 1996). 그러나 오염물질의 농도가 지나치게 높거나 장기간 노출될 경우 이러한 방어 메커니즘은 파괴되어 수목을 고사에 이르게 하기 때문에 가시적인 피해가 나타나기 이전에 적절한 관리가 필요하다 (Bowler *et al.*, 1991).

수목의 건강도를 측정하는 방법에는 가시적 병징 여부, 잎의 엽록소 혹은 양료 함량 측정, 잎의 항산화물질 측정, 잎의 엽록소 형광 반응 측정, 형성층의 전기저항치 측정 등 다양한 방법이 이용되고 있다. 이 중 형성층 전기저항치 측정은 시비, 수세 약화, 조기낙엽 등 다양한 스트레스들에 의해 변화된 형성층 영역 내 이동성 이온의 농도 변화를 측정하여 수목의 활력 지표로서 이용할 수 있다 (Wargo and Skutt, 1975). 그러나 수목의 형성층 전기저항치에 미치는 여러 가지 생리학적 요인들과의 관계가 정확하게 밝혀지지 않고 있어 이와 관련된 연구 결과들에 대한 신뢰가 낮다.

본 연구는 도심지역에 식재된 가로수의 건강도를 판단하기 위하여 몇 가지 생리적 특성을 측정하고, 수목의 생리적인 특성들과 형성층 전기저항치간의 관계를 밝히고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지역 및 수종의 선정

충청남도 천안시에 식재된 가로수는 은행나무, 벧나무, 메타세콰이어, 이팝나무, 버드나무, 느티나무, 백합나무 등 9개 수종이며, 그 중 조사 대상 수종인 은행나무, 벧나무, 버드나무는 각각 3,306본, 2,078본, 765본이 식재되어 있다. 조사지역은 수종별로 3개 지역씩 총 9개 지역을 선정하였고, 지역별로 5개체를 측정 대상으로 하여 총 45개체를 선정하였다. 이 중 천안시 외곽에 위치한 독립기념관 구

Table 1. Average height, DBH and crown width of three species in study sites

Species	Sites	Height(m)	DBH(cm)	Crown width(m)
<i>Ginkgo biloba</i>	Ssangyong-Street	8.5±0.4	21.1±1.9	5.2±0.4
	Cheonan-Station	10.4±0.9	21.9±2.6	5.7±1.0
	Independence Hall	8.7±0.6	19.7±1.0	4.4±0.8
	Dongseo-Street	4.7±0.4	9.9±1.3	3.9±0.5
<i>Prunus serrulata</i>	Cheonansamgeori-Park	5.1±0.7	11.4±1.5	3.7±1.0
	Yonam College	7.1±2.5	23.1±4.1	3.6±0.9
	Cheonan Middle School	10.2±1.8	27.7±3.4	5.5±0.5
<i>Salix koreensis</i>	Cheonansamgeori-Park	10.5±1.2	23.4±1.9	6.8±1.1
	Independence Hall	10.5±3.5	27.3±2.8	7.9±0.6

내의 은행나무와 버드나무 및 연암대학 구내의 벗나무는 대조구로 선정하였으며, 각 측정 대상목은 수고, 직경, 수관폭을 측정하여 기록하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석

토양과 잎의 생리적 특성을 분석하기 위하여 2001년 7월에 측정 대상목 하부의 토양과 수관에서 잎을 채취하였다. 토양은 대상목의 하부에서 채취한 후 2mm 체를 통과시키고, 대기 중에서 건조한 후 토양 탈수소효소의 활성을 분석하였으며, 잎은 수관의 중간 부위에서 4방향으로 채취하여 광색소 함량, 질산환원효소, 항산화효소 활성을 분석하였다. 형성층 전기저항치는 5월, 7월, 9월에 걸쳐 측정하였다.

### (1) 토양 탈수소효소(dehydrogenase: DHA)의 활성

토양 탈수소효소의 활성 측정은 Casida *et al.*(1964)의 방법을 변형하여 사용하였다. 20g의 풍건토와 0.2g의  $C_6H_5CO_2$ 를 철저히 섞고, 혼합시료 6g을 각각 3개의 시험관에 취하였다. 각 시험관에 1ml의 TTC(2,3,5-triphenyltetrazolium chloride)용액(3%)과 2.5ml의 증류수를 가하였다. 각 시험관의 내용물을 37℃에서 24시간 동안 배양한 후, 10ml의 메탄올을 가하였다. 다시 마개를 막고 1분간 흔든 후 토양 현탁액을 여과하였다. 여액에 메탄올을 가하여 100ml로 만들고, 485nm에서 흡광도를 측정하였다.

### (2) 광색소 함량

광색소 함량 측정을 위해서 4℃에 보관하였던 잎 0.1g에 7ml의 DMSO(dimethyl sulphoxide)을 넣고 60℃에서 2시간 동안 증탕하여 색소를 추출하고

(Hiscox and Israelstam, 1979), 470, 645, 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며, Lichtenthaler (1987)의 식을 이용하여 계산하였다.

### (3) 질산환원효소(Nitrate reductase:NR) 활성

질산환원효소의 측정은 Högberg *et al.*(1986)의 방법을 약간 변형하여 실시하였다. 잎과 뿌리 각각 0.1g에 추출 용액인 100mM의 KPi buffer(pH 8.0)와 100mM의  $KNO_3$ , 3%(v/v)의 propan-1-ol의 혼합용액 5ml를 첨가하고 1시간 동안 25℃에서 배양하였다. 배양이 종료된 후, 반응 혼합물 0.5ml에 1%의 sulphanic acid 0.5ml, 0.01%의  $\alpha$ -naphthylethylenediamine dihydrochloride 0.5ml를 첨가한 후, 540nm에서 흡광도를 측정하였다.

### (4) 항산화효소(Superoxide dismutase:SOD) 활성

SOD 활성의 측정은 nitro blue tetrazolium (NBT)-xanthine oxidase 법에 따라 수행하였다 (Beauchamp and Fridovich, 1971). 0.1g의 신선한 잎에 1.5ml의 완충액을 넣고 균질화시켰으며, 완충액은 3.72mg의 EDTA(ethylenediamine tetraacetic acid)와 1g의 PVP(polyvinylpyrrolidone)을 50mM  $KH_2PO_4$ (pH 7.8) 100ml에 용해시켜 제조하였다. 균질화된 시료는 20,000×g에서 15분 동안 원심분리한 후, 0.3ml의 상등액은 200 $\mu$ M의 NBT 0.6ml와 53 $\mu$ M의 xanthine 1.8ml로 구성된 반응액에 첨가하였다.

60 $\mu$ g/ml의 xanthine oxidase 0.3ml를 반응 혼합물에 첨가하여 반응을 개시하고, 환원 속도는 530nm에서 120초 동안 흡광도의 증가를 측정하여 결정하였다. SOD 활성은 Asada *et al.*(1974)에 따라  $V/v-1$ 의 식에 의해서 계산하였다. V와 v는 각

각 SOD가 없을 때와 존재할 때 NBT의 환원 속도를 나타낸다.

**(5) 형성층 전기저항치의 측정**

형성층 전기저항치는 Shigometer를 이용하여 5월, 7월, 9월에 흉고직경을 측정한 위치에서 네 방향을 측정하여 평균치를 기록하였다. 측정 방법은 측정침의 전극면이 수직이 되도록 하여, 두 전극의 끝이 목질부에 도달하기 바로 전까지 수목의 중심을 향하여 찢러 넣은 후 저항계에 나타나는 수치가 안정되어 일정한 값을 가리킬 때까지 기다려 측정값으로 이용하였다(이경준 등, 1997).

**3. 통계분석**

통계분석은 SAS system for Windows Vers 6.12(SAS Institute Inc. USA)를 이용하였다. 각 수종별 측정치는 SAS의 GLM 절차를 이용하여 분산분석을 실시하고, 평균간 비교는 Duncan의 다중검정을 이용하였다. 전기저항치와 생리적 특성간의 관계는 Pearson의 상관계수를 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 토양 탈수소효소 활성**

토양 탈수소효소는 미생물 활력이나 유기물의 초기 분해력과 밀접한 관계를 갖는 효소로 각종 오염물질에 따른 토양의 미생물상 변화를 파악하는 지표로 많이 활용한다(Serrawittling *et al.*, 1995; Rossel *et al.*, 1997). 본 조사에서는 천안시내에 식재된 수목의 토양을 채취하여 이들 지역의 오염도를 파악하고자하였다. 천안시내에 가로수가 식재된 토양에서 측정된 탈수소효소의 활성은 지역간 또는 수종간 차이가 있었다(Figure 1). 탈수소효소의 활성이 가장 높은 지역은 독립기념관내 버드나무가 식재된 토양이었으며, 가장 낮은 지역은 동서대로의 벚나무 토양이었다. 도심지역의 탈수소효소 활성은 대조구로 선정된 독립기념관과 연암대학의 토양보다 현저하게 낮아 도심지역의 오염 정도를 짐작할 수 있었다. 이인숙 등(1998)은 남산 삼림토양에서의 토양 미생물 지표로서 탈수소효소 활성을 측정할 결과 대조구인 광릉지역 보다 낮은 값을 보였다고 보고하였으며, 박현(1998)은 온산공단지역에서 측정

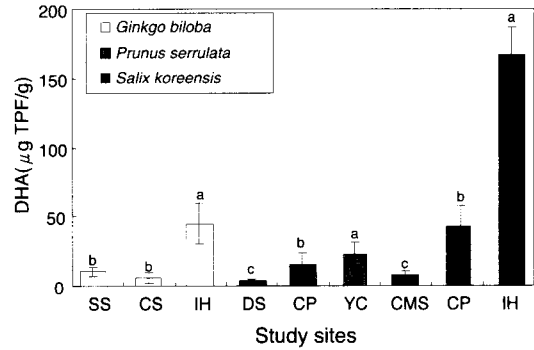


Figure 1. Dehydrogenase activities of soils under street trees in Cheonan City(Means within the same species with different letters indicate significant difference at  $p \leq 0.05$ , SS: Ssangyong-Street, CS: Cheonan-Station, IH: Independence Hall, DS: Dongseo-Street, CP: Cheonansamgeori-Park, YC: Yonam College, CMS: Cheonan Middle School)

한 탈수소효소의 활성이 대조구인 마니산의 측정치보다 낮다고 보고하였다. 본 조사에서도 오염지인 천안시내의 토양이 대조구 토양보다 낮은 효소 활성을 나타냄으로써 도시의 토양이 자동차 배출가스, 중금속 등과 같은 각종 오염물질의 영향을 받고 있음을 예측할 수 있었다. 그러나 토양 탈수소효소의 활성은 대부분의 오염지역에서 낮은 활성을 보임으로써 오염 정도를 추정할 수는 있지만, 토양의 이화학적(특히 토성)에 따라 활성이 달라질 수 있기 때문에 오염 정도를 비교시 신중을 기해야 할 것으로 판단된다(Beyer *et al.*, 1993).

**2. 광색소 함량의 차이**

도심지역 수목의 오염물질에 대한 영향을 평가하기 위해 측정된 총 엽록소 함량은 수종간 큰 차이가 없었다(Table 2). 그러나 동서대로에 식재된 벚나무는 대조구인 연암대학 구내의 벚나무보다 총 엽록소 함량의 50% 수준으로 매우 적었다. 카로테노이드 함량은 은행나무가 가장 낮았으며, 벚나무의 카로테노이드 함량은 엽록소 함량과 마찬가지로 연암대학이 가장 높았고, 동서대로가 가장 낮았다.

엽록소 b와 a의 함량비는 지역간 큰 차이가 없었

Table 2. Photosynthetic pigment concentrations in the leaves of street trees in Cheonan City

		(Unit: $\mu\text{g/g FW}$ )					
Species	Sites	Chl a	Chl b	Tchl.	Car.	Chl b/a	Car/Tchl
<i>Ginkgo biloba</i>	Ssangyong-Street	18.7±2.7 <sup>a</sup>	4.9±0.9 <sup>a</sup>	23.6±3.6 <sup>a</sup>	4.6±0.5 <sup>a</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.19±0.01 <sup>a</sup>
	Cheonan-Station	13.5±3.4 <sup>b</sup>	3.6±0.9 <sup>a</sup>	17.1±4.3 <sup>b</sup>	3.3±0.7 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.19±0.01 <sup>a</sup>
	Independence Hall	13.9±5.5 <sup>b</sup>	3.7±1.5 <sup>a</sup>	17.5±6.9 <sup>b</sup>	3.6±1.3 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	Average	15.3±4.4	4.1±1.2	19.3±5.7	3.8±0.9	0.26±0.01	0.20±0.02
<i>Prunus serrulata</i>	Dongseo-Street	12.4±1.6 <sup>b</sup>	3.5±0.4 <sup>b</sup>	15.9±1.9 <sup>b</sup>	3.9±0.3 <sup>b</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>
	Cheonansamgeori-Park	17.3±8.5 <sup>ab</sup>	5.6±2.9 <sup>ab</sup>	22.8±11.5 <sup>ab</sup>	5.0±2.0 <sup>b</sup>	0.32±0.04 <sup>a</sup>	0.22±0.02 <sup>ab</sup>
	Yonam College	24.1±3.0 <sup>a</sup>	7.8±1.8 <sup>a</sup>	31.8±4.7 <sup>a</sup>	6.8±0.5 <sup>a</sup>	0.32±0.03 <sup>a</sup>	0.21±0.02 <sup>b</sup>
	Average	17.9±6.9	5.6±2.6	23.5±9.5	5.2±1.7	0.31±0.03	0.23±0.02
<i>Salix koreensis</i>	Cheonan Middle School	19.0±2.1 <sup>a</sup>	5.2±0.8 <sup>a</sup>	24.3±2.8 <sup>a</sup>	5.1±0.5 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	Cheonansamgeori-Park	17.8±3.1 <sup>a</sup>	4.7±0.9 <sup>a</sup>	22.5±4.0 <sup>a</sup>	4.7±0.7 <sup>a</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	Independence Hall	14.9±3.4 <sup>a</sup>	3.9±1.0 <sup>a</sup>	18.8±4.4 <sup>a</sup>	4.1±0.9 <sup>a</sup>	0.26±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.01 <sup>a</sup>
	Average	17.2±3.2	4.6±1.0	21.9±4.2	4.6±0.7	0.26±0.01	0.21±0.01

\* Means within the same species with different letters indicate significant difference at  $p \leq 0.05$

으나, 카로테노이드와 총 엽록소의 함량비는 동서대로의 벚나무가 가장 높았고, 대조구인 연암대학이 가장 낮았다. 일반적으로 고등식물에서 엽록소 b와 a의 비율은 대략 0.3-1이지만 성장조건과 환경 변화는 엽록소 b와 a의 비율을 변화시킨다 (Lichetenthaler, 1987). Hallgren(1978)은 대기오염에 노출된 식물의 엽록소 a는 엽록소 b보다 더 많은 양이 파괴되기 때문에 엽록소 b와 a의 함량비 차이를 대기오염에 대한 지표로 제시하였다. 또한 엽록소 a는 엽록소 b보다 오존에 더 민감하며, 카로테노이드는 엽록소보다 덜 민감하며, 오염물질에 의해 엽록소 a와 b의 함량비는 감소하며, 카로테노이드와 엽록소 함량비는 증가한다(Sane *et al.*, 1996). 본 연구에서 동서대로의 벚나무는 엽록소 함량이 낮고, 카로테노이드와 총 엽록소의 함량비가 높게 나타난 것으로 보아 각종 오염물질에 의해 피해를 받고 있음을 보여주었다.

### 3. 질산환원효소의 활성

질산환원효소는 대기 중  $\text{NO}_2$  가스를 흡수하여 단백질로 동화시키는데 작용하는 효소이다 (Yoneyama *et al.*, 1979). 본 조사에서는 도심에서 높은 농도를 나타내는 오염물질인 질소산화물에 대한 수목의 반응을 평가하기 위하여 잎에서의 질산환원효소의 활성을 측정하였다.

은행나무의 질산환원효소 활성은 벚나무나 버드나무보다 높았다(Figure 2). 또한 은행나무와 버드나무

의 효소 활성은 지역별로 차이가 있었는데, 은행나무의 경우 활성이 가장 높은 지역은 쌍용대로로  $48.5 \mu\text{mol/h/g}$ 이었으며 버드나무는 천안중학교가 가장 높았다. 그러나 벚나무는 지역간 차이가 없었다.

일반적으로 신초에서의 질산환원효소의 활성은 뿌리에 질소 공급이 증가됨에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 토양내 질소 함량이 낮으면, 대기 중에서 흡수된  $\text{NO}_2$  공급에 의해 잎의 효소 활성이 증가한다(Srivastava and Ormrod, 1984). 이것은 부족한 질소 공급을 식물의 잎을 통하여 보충하기 때문인데, 상대적으로 질소 공급이 제한된 도심지역에서 잎의 효소 활성이 증가하는 이유이다. Tischner *et al.*(1988)은 11주 동안  $\text{NO}_2$  500nl/l에 노출된 Norway spruce 유묘에서 신초의 질산환원효소 활성이 세 배 증가되었지만 뿌리의 효소 활성은 60%로 감소하였다고 보고한 바 있다.

본 연구 결과는 은행나무가 대기 중의  $\text{NO}_2$  가스를 흡수하여 질소원으로 이용하고 있음을 보여주고 있는데, 조희두(1999)는 도시지역의 은행나무 잎에  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 함량이 다른 수종에 비해 높게 함유되어 있으나, 벚나무 잎의  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$  함량은 낮다고 보고한 바 있다. 또한 비교적 차량 통행량이 많은 지역인 도심에서 질산환원효소의 활성이 높게 나타나는 것으로 보아 은행나무나 버드나무는 이들 질소산화물을 흡수하여 이용함으로써 대기 중 질소산화물의 농도를 감소시키는데 기여하고 있는 것으로 판단된다.

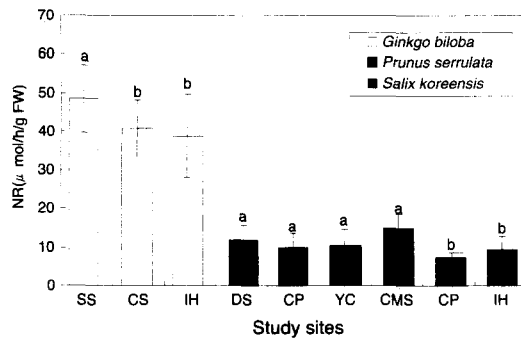


Figure 2. Nitrate reductase activities in the leaves of *Ginkgo biloba*, *Prunus serrulata* and *Salix koreensis* in Cheonan City (Means within the same species with different letters indicate significant difference at  $p \leq 0.05$ , SS: Ssangyong-Street, CS: Cheonan-Station, IH: Independence Hall, DS: Dongseo-Street, CP: Cheonansamgeori-Park, YC: Yonam College, CMS: Cheonan Middle School)

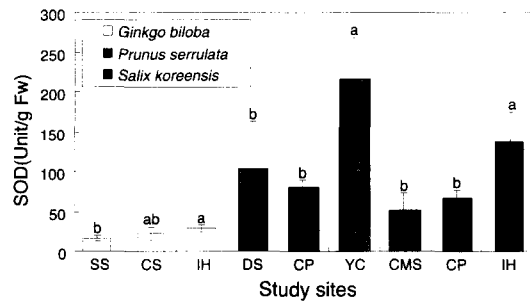


Figure 3. Superoxide dismutase activities in the leaves of three tree species in Cheonan City (Means within the same species with different letters indicate significant difference at  $p \leq 0.05$ , SS: Ssangyong-Street, CS: Cheonan-Station, IH: Independence Hall, DS: Dongseo-Street, CP: Cheonansamgeori-Park, YC: Yonam College, CMS: Cheonan Middle School)

#### 4. SOD 활성 차이

기공을 통해 유입된 기체상태의 오염물질들은 세포 외부 용액 속에 용해되고 생물학적인 분자들과 반응하여 활성 산소종들을 생산한다(Mehlhorn *et al.*, 1990). 이들 활성 산소종들은 세포벽 속에 있는 단백질 및 지질과 상호 반응하고 막을 산화시키며 세포 투과력을 증가시킨다(Mehlhorn *et al.*, 1986). SOD는 이러한 활성 산소종을 제거하는데 관여하는 효소로 수목의 내성을 평가하는데 자주 이용된다.

천안시에서 측정된 SOD 활성은 벚나무, 버드나무, 은행나무 순으로 높았다(Figure 3). 지역간 차이는 3 수종 모두에서 보여 주었는데, 도심에 식재된 나무의 SOD 활성은 대조구인 독립기념관과 연암대학에 식재된 수목의 SOD 활성보다 낮았다.

일반적으로 수목의 항산화효소들은 스트레스를 받았을 때 활성이 증가하지만(Tsang *et al.*, 1991), 스트레스의 강도가 너무 높거나 장기간 지속될 때는 항산화물질의 과다 생산으로 산화 독성이 증가한다(Scott *et al.*, 1987; Bowler *et al.*, 1991). 본 조사 결과에서 도심에 식재된 수목의 SOD 활성이 낮게 나타난 것은 수목들이 장기간 오염 물질에 노출되어 산화 독성이 누적된 결과로 판단된다.

#### 5. 형성층 전기저항치의 변화

형성층 전기저항치는 수목의 활력을 간접적으로 측정하는데 사용할 수 있다(Filip *et al.*, 1992; Borchert, 1994). 각 대상지에서 5월, 7월, 9월에 측정된 대상 수종의 형성층 전기저항치는 Figure 4와 같다. 벚나무의 형성층 전기저항치는 모든 측정 시기에서 다른 수종에 비해 높았다. 은행나무의 경우 5월과 9월에는 지역간 측정값의 차이가 없었으나, 7월에는 쌍용대교가 3개 지역 중 측정값이 가장 낮은 3.14k Ω이었다. 벚나무의 형성층 전기저항치는 천안삼거리 공원에서 가장 높았고, 연암대학에서 가장 낮았다. 그러나 버드나무의 형성층 전기저항치는 지역별 차이가 없었다.

수목의 형성층 전기저항치는 생장이 가장 왕성한 시기인 7월에 최저치를 보이는 것으로 보고되었는데(Davis *et al.*, 1979; 이경준 등, 1997), 동서대로에 식재된 벚나무의 형성층 전기저항치는 5월부터 9월까지 지속적인 상승 추세를 보임으로써 활력이 감소하였음을 보여 주었다.

일반적으로 수목이 대기오염물질에 영향을 받아 활력이 감소하면 전기저항치는 증가하는데(Shuttle

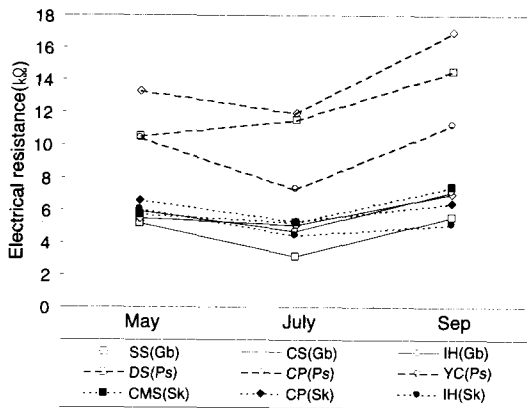


Figure 4. Cambial electrical resistances of three tree species at May, July and September in Cheonan City (Means within the same species were significantly different between study sites at  $p \leq 0.05$ , Gb: *Ginkgo biloba*, Ps: *Prunus serrulata*, Sk: *Salix koreensis*, SS: Ssangyong-Street, CS: Cheonan-Station, IH: Independence Hall, DS: Dongseo-Street, CP: Cheonansamgeori-Park, YC: Yonam College, CMS: Cheonan Middle School)

et al., 1979). 동서대로와 천안삼거리 공원에 식재된 벚나무의 전기저항치는 다른 지역에 비해 높은 경향을 보여 활력이 감소하고 있음을 알 수 있었다. 반면 쌍용대로의 은행나무는 형성층 전기저항치가 대조구인 독립기념관보다 낮게 나타났으며, 다른 계절에도 대조구와 큰 차이를 나타내지 않았다. 이것은 질산환원효소 활성의 결과에서 보여준 바와 같이 은행나무가 오염물질에 대한 저항성이 높기 때문인 것으로 보인다. 또한 버드나무의 형성층 전기저항치가 지역별 차이를 보이지 않은 것은 다른 수종에 비해 직경이 컸기 때문인 것으로 판단되는데, 직경은 형성층 전기저항치와 부의 상관관계를 나타내며, 직경이 큰 수목은 이동성 이온들이 집적되어 있는 형성층의 폭이 증가되어 전기저항이 떨어진다(Carter and Blanchard, 1978).

### 6. 형성층 전기저항치와 생리적 특성간의 관계

수목에서 측정된 형성층 전기저항치는 질산환원

효소와는 부의 상관( $r^2 = -0.566$ ,  $P > 0.0003$ )을 나타냈으며, SOD와는 정의 상관( $r^2 = 0.579$ ,  $P > 0.0002$ )을 나타냈다(Figure 5). 즉 형성층 전기저항치가 낮은 수목은 높은 질산환원효소 활성과 낮은 SOD 활성을 나타낸다. 엽록소 함량 및 토양 탈수소효소는 형성층 전기저항치와 상관관계를 보이지 않았다.

위와 같은 결과를 종합해 볼 때, 도심지역에 식재된 가로수는 대부분 오염물질에 크게 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며, 특히 동서대로에 식재된 벚나무는 오염물질의 과다한 노출로 인해 활력이 약화되고 조기낙엽과 잎의 황화현상과 같은 가시적인 피해를 보였다. 그러나 은행나무는 다른 수종보다 높은 활력을 유지하고 있는 것으로 나타났는데, 은행나무는 대기 중의 질소를 흡수하여 이용함으로써 질소산화물의 정화에 크게 기여하고 있는 것으로 판단되었다. 또한 질산환원효소와 항산화효소와 같은 수목의 생리적 특성과 높은 상관관계를 나타낸 형성층 전기저항치는 수목의 건강도를 판단하는데 매우 유용한 것으로 판단되었다.

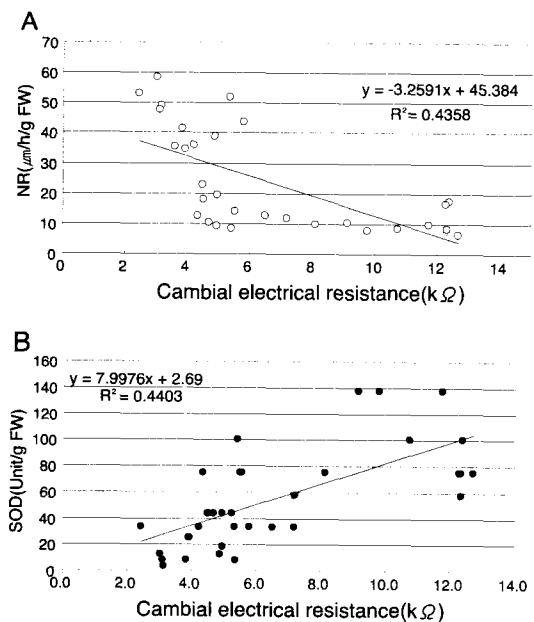


Figure 5. Linear regressions of cambial electrical resistance and Nitrate reductase activity(A) or superoxide dismutase(B) for the street trees in Cheonan City

## 인용문헌

- 박현(1998) 탈수소효소, 탈질균 및 황산환원균의 정량을 통한 온산공단과 마니산 산림토양의 동태 조사. 한국임학회지 87(1): 106-112.
- 이경준, 한심희, 정용선(1997) 20개 조경수종의 형성층 전기저항치의 수종간 차이와 계절적 변화. 한국임학회지 86: 415-421.
- 이인숙, 김옥경, 조경숙, 박진성(1998) 남산 삼림 토양에서의 효소 활성도와 중금속 함량에 관한 연구. 한국생태학회지. 21: 695-702.
- 조희두(1999) 광주지역에서 주요 수목의 대기오염물질과 중금속 흡수 정화기능에 관한 연구. 한국임학회지 88: 510-522.
- Allen, R.D.(1995) Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology* 107: 1049-1054.
- Asada, K., M. Takahashi and M. Nagate (1974) Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. *Agricultural and Biological Chemistry* 38(2): 471-473.
- Beauchamp, C. and I. Fridovich(1971) Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44: 276-287.
- Beyer, L., C. Wachendorf, D. Elsner and R. Knabe (1993) Suitability of dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity. *Biology and Fertility of Soil* 16: 52-56.
- Borchert, R.(1994) Electric resistance as a measure of tree water status during seasonal drought in a tropical dry forest in Costa Rica. *Tree Physiology* 14(3): 299-312.
- Bowler, C., L. Slooten, S. Vandenbranden, R. De Rycke, J. Botterman, C. Sybesma, M. Van Montague and D. Inze(1991) Manganese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants. *EMBO* 10: 1723-1732.
- Carter, J.K. and R.O. Blanchard(1978) Electrical resistance related to phloem width in red maple (*Acer rubrum*) as indicator of stress and tree vigor. *Canadian Journal of Forest Research* 8(1): 90-93.
- Casida, L.E., Jr., D.A. Klein and T. Santoro(1964) Soil dehydrogenase activity. *Soil Science* 98: 371-376.
- Davis, W., A. Shigo and R. Weyrick(1979) Seasonal changes in electrical resistance of inner bark in red oak, red maple, and eastern white pine. *Forest Science* 25: 282-286.
- Filip, G.M. B.E. Wickman, R.R. Mason, C.A. Parks and K.P. Hosman(1992) Thinning and nitrogen fertilization in a grand fir stand infested with western spruce budworm. III. Tree wound dynamics. *Forest Science* 38(2): 265-274.
- Hiscox, J.D. and G.F. Israelstam(1979) A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57: 1332-1334.
- Hallgren, J.E.(1978) Physiological and biochemical effects of sulfur dioxide on plants. In *sulfur in the Environment*(ed. J.O. Nriagu) John Wiley & Sons. pp. 163-209.
- Hogberg, P., A. Granstrom, T. Johansson, A. Lundmark-Thelin and T. Nasholm(1986) Plant nitrate reductase activity as an indicator of availability of nitrate in forest soils. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1165-1169.
- Kim, S.K., S.S. Kwak, K.H. Jung, S.R. Min, I.H. Park and J.R. Liu(1994) Selection of plant cell lines for high yields of peroxidases. *Korean Biochemical Journal* 27: 132-137.
- Levitt, J.(1972) Responses of plants to environmental stress. 2nd ed. *Academic Press, New York*. 697pp.
- Lichtenthaler, H.K.(1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- Mehlhorn, H., B. Tabner and A.R. Wellburn(1990) Electron spin resonance evidence for the formation of free radicals in plants exposed to ozone. *Physiologia Plantarum* 79: 377-383.
- Mehlhorn, H., S. Gunther, A. Schmidt and K.J. Kunert(1986) Effect of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on production of antioxidants in conifers. *Plant Physiology* 82: 336-338.
- Rao, M.V. and K.R. Davis(2001) The physiology of ozone induced cell death. *Planta* 213(5): 682-690.
- Rossel D., J. Tarradellas, G. Bitton and J.L. Morel (1997) Use of enzymes in soil ecotoxicology: a case for dehydrogenase and hydrolytic enzymes. Pages



- in 179-206. ed. J. Tarradellas, G. Bitton and D. Rossel. Soil ecotoxicology. Lewis publishers.
- Sane, P.V., M. Yunus and R.D. Tripathi(1996) Impact of ozone on carbon metabolism in plants. Pages in 295-318. ed. Yunus, M. and M. Iqbal. Plant response to air pollution. John Wiley & Sons.
- Scott, M., S. Meshnick and J. Eaton(1987) Superoxide dismutase rich bacteria: paradoxical increase in oxidant toxicity. *Journal of Biological Chemistry* 262: 3640-3645.
- Serrawittling, C., S. Houot and E. Barriuso(1995) Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biology and Fertility of Soil* 20: 226-236.
- Shortle, W.C., J. Abusamra, F.M. Laing and M.F. Morselli (1979) Electrical resistance as a guide to thinning sugar maples. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 436-437.
- Srivastava, H.S. and D.P. Ormrod(1984) Effects of nitrogen dioxide and nitrate nutrition on growth and nitrate assimilation in bean leaves. *Plant Physiology* 76: 418-423.
- Suzuki, M. and T. Asahi(1996) Breeding of cold- and disease-resistant plants by manipulation of catalase gene. *Bioscience and Bioindustry* 54: 26-30.
- Tischner, R., A. Peuke, D.L. Godbold, R. Feig, G. Merg and A. Huttermann(1988) The effect of NO<sub>2</sub> fumigation on aseptically grown spruce seedlings. *Plant Physiology* 133: 243-246.
- Tsang, E., C. Bowler, D. Herouart, W. Van Camp, R. Villaroel, C. Genetello, M. Van Montague and D. Inze(1991) Differential regulation of superoxide dismutases in plants exposed to environmental stress. *Plant Cell*. 3: 783-792.
- Wargo, P. and R. Skutt(1975) Resistance to pulsed electric current: an indicator of stress in forest trees. *Canadian Journal of Forest Research* 5: 557-561.
- Yoneyama, T., H. Saskawa, S. Ishizuka and T. Totsuka(1979) Nitrate accumulation, nitrite reductase activity and diurnal change of NO<sub>2</sub> absorption in leaves. *Soil Science and Plant Nutrition* 25: 267-276.
- You. S.H., S.W. Kim, S.H. Kim, J.R. Liu and S.S. Kwak (1996) Selection and isozyme analysis of plant cell lines for high yields of superoxide dismutase. *Korean Journal of Plant Tissue Culture* 23: 103-106