

대전광역시 가로수의 지역별 · 수종별 생리적 반응

김동일 · 박관수* · 김길남 · 이항구 · 박범환
충남대학교 산림자원학과

Physiological Responses of Roadside Trees by Regional Groups and Species in Daejeon City

Dong Il Kim, Gwan Soo Park*, Gil Nam Kim,
Hang Goo Lee and Beom Hwan Park

Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University,
Daejeon 305-764, Korea

요 약: 본 연구는 대전광역시에서 생육하고 있는 가로수(은행나무와 양버즘나무)를 대상으로 지역별 · 수종별 광합성 특성 및 수분이용효율, 엽록소 형광반응 그리고 엽록소 함량을 조사· 분석하여 환경오염과 수목의 피해 관계를 규명하고 가로수의 향후 유지관리를 위한 기초자료를 제공하기 위해 실시되었다. 조사는 오염이 가장 적을 것으로 사료되는 충남대학교, 신도심 지역으로 교통량이 비교적 적은 대덕연구단지, 다양한 공장이 밀집되어 있는 대화공단, 그리고 교통량이 가장 많고 도로가 오래된 대전역 주변 가로수를 대상으로 실시되었다. 은행나무와 양버즘나무의 광합성 능력은 충남대학교 지역에서 가장 우수하였으며 대전역 지역에서 가장 낮은 값을 보였다. 반면, 수분이용효율은 광합성 능력과 반대로 대전역 지역에서 가장 높은 값을 보였다. 광화효율과 엽록소 함량은 광합성 능력과 같은 경향으로 충남대학교 지역에서 가장 우수하였으며, 대전역 지역에서 가장 낮은 값을 보였다. 모든 실험에서 은행나무가 양버즘나무보다 양호한 생리적 반응을 보였다.

Abstract: This study was conducted to provide on a basic information for maintenance of roadside trees and identify the links between environmental pollution and tree damages (*Ginkgo biloba*, *Platanus occidentalis*) in Daejeon City by analyzing photosynthetic characteristics, water use efficiency, chlorophyll fluorescence and chlorophyll contents by the regions and plants. The investigations were conducted at Chungnam national university(CNU) considered as the least air-polluted area compared to other study sites, Daedeok science town(DS) which a new road with little traffic recently was built around, Daehwa industry complex(DIC) and Daejeon station(DS) which an old road with heavy is located around. The photosynthetic capacity of the two species were highest in CNU and lowest in the DS. However the water use efficiency was highest on the contrary to the photosynthetic capacity in DS. Chlorophyll fluorescence and chlorophyll contents were highest in CNU and lowest in DS as the photosynthetic capacity. On all of the test, *Ginkgo biloba* shows the more favorable physiological responses than *Platanus occidentalis*.

Key words : *Ginkgo biloba*, *Platanus occidentalis*, photosynthetic characteristics, water use efficiency, chlorophyll fluorescence, chlorophyll contents

서 론

도심 가로수의 기능은 대기오염정화효과 뿐만 아니라 대표적인 도심 경관을 조성하여 운전자와 보행자에게 안정감과 쾌적감을 제공하고 도시 열섬현상의 주된 원인이 되는 도로주변의 온도를 낮추는 미기후조절효과가 있다. 또한 녹지 네트워크 구축 시 녹지축으로서 그 중요성이

점점 높아지고 있다.

최근 인구 증가와 산업화로 인해 도시 · 산업지역에서 생육하고 있는 식물은 오염물질의 배출량 증가와 고온, 수분부족 등의 각종 환경 스트레스 요인에 의한 생육장애를 받고 있다. 차량의 배기가스와 건물의 냉 · 난방 시 발생하는 대기오염물질들은 산성비의 원인이 되고 있으며, 차량 타이어의 마모물질이나 매연 등에 섞여있는 유독 물질들은 인체의 건강을 해칠 뿐만 아니라 도로에 근접한 공간에서 생육하고 있는 가로수에 침적 또는 흡수되어 간접

*Corresponding author
E-mail: gspark@cnu.ac.kr

적으로 피해를 주고 있다. 뿌리를 통한 흡수는 건 · 습성의 대기오염물질이 강화되어 토양에 용해된 후, 식물이 수분 및 양분을 흡수할 때 함께 흡수되는 것으로 그 양은 기공을 통한 흡수량에 비하여 매우 적으나, 오염물질과 뿌리의 접촉 시간이 장기화 되면서 식물의 생장에 많은 피해를 끼친다(Yoneyama *et al.*, 1980). 최근 대기오염이 도시에서 심각한 문제로 떠오르면서 도심에 있는 가로수와 도시림에서의 대기오염(O₃, NO₂, SO)과 산성비가 수목에 미치는 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Woo *et al.*, 2003).

1980년대 이후에 자동차 배기가스의 급격한 증가로 인해 도로 주변 토양과 식물의 중금속오염이 중요한 관심사가 되면서 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(박장원, 1994; 정경재, 1995; 천선희, 1995). 그러나 도시에서 대기오염에 피해를 받은 가로수가 많이 고사하거나 생장이 저하되는 현상이 자주 나타나는데 이들에 대한 생리적 특성에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Woo *et al.*, 2003). 또한, 식물의 생장에 직접적인 영향을 미치고 대기오염의 피해를 받은 식물이 보여주는 광합성 변화, 광화학효율 및 엽록소 함량에 대한 연구는 매우 부족한 상황이다(Wang *et al.*, 2003; Kimmins, 1987).

광합성은 녹색식물의 잎에 다량으로 존재하는 엽록소를 중심으로 진행되며, 엽록소에서 방출되는 형광은 광합성 초기 광화학 반응에 사용되지 못한 빛 에너지가 다시 빛으로 방출되는 것으로 광합성, 광화학효율 및 엽록소 함

량이 어떠한 관련이 있는지 알아보는 것은 대기오염피해를 이해하고 피해 메커니즘을 규명하는데 필수적인 것이라 할 수 있다(Woo *et al.*, 2003).

본 연구는 충남지역의 대표적인 도시이자 지속적으로 그 규모가 확장되고 교통량이 크게 늘고 있는 대전광역시의 가로수를 대상으로 광합성 특성, 수분이용효율, 엽록소 형광 반응 그리고 엽록소 함량을 비교·분석하여 인간에 의해 발생하는 환경오염에 의한 수목의 피해 관계를 규명하였다.

재료 및 방법

1. 가로수 개황 및 조사지 선정

대전광역시의 가로수 식재 총거리는 980 km로 식재 수종은 은행나무, 벚나무, 이팝나무, 양버즘나무 등으로 구성되어 있다(Table 1). 이중 식재 비중이 높은 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 양버즘나무(*Platanus occidentalis*)를 대상으로 고소현(2005)이 보고한 대전시 가로수 토양과 잎의 화학적 특성에 관한 연구를 참고하여 조사지역을 비교적 오염이 적은 충남대학교 지역(E: 127° 21' 09, N: 36° 22' 11), 신도심지역으로 교통량이 증가하고 있는 대덕연구단지 지역(E: 127° 21' 18, N: 36° 22' 58), 다양한 공장이 위치하고 있는 대화공단 지역(E: 127° 25' 02, N: 36° 22' 29), 그리고 교통량이 가장 많고 도로가 오래된 대전역 지역(E: 127° 25' 45, N: 36° 20' 16)으로 구분하였다.

Table 1. The present state of roadside trees in Daejeon City(2009).

Distinction	Total	Dong-gu	Jung-gu	Seo-gu	Yuseong-gu	Daedeok-gu
Plantation space (km)	980	180	145	250	253	152
Total	118,851	21,517	18,718	27,801	31,700	19,115
<i>Ginkgo biloba</i>	36,306	3,875	6,041	10,201	7,896	8,293
<i>Platanus occidentalis</i>	14,558	4,069	3,330	2,935	3,346	878
<i>Prunus serrulata var. spontanea</i>	17,813	8,390	3,795	1,785	918	2,925
<i>Liriodendron tulipifera</i>	3,856	468	1,180	764	1,095	349
<i>Zelkova serrata</i>	7,662	889	131	2,697	2,126	1,819
<i>Sophora japonica</i>	6,388	21	1,084	2,703	2,021	559
<i>Acer buergerianum</i>	7,417	970	759	1,697	2,253	1,738
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	3,044	274	57	1,206	945	562
<i>Chionanthus retusa</i>	16,465	2,003	1,261	2,552	9,887	762
Species (volume)						
<i>Salix dependens</i>	408	6	47	126		229
<i>Catalpa bignonioides</i>	621	6	146	469		
<i>Cedrus deodara</i>	296	52	121	5		118
<i>Acer palmatum</i>	496	2	0	494		
<i>Prunus armeniaca var. ansu</i>	156	7	149			
<i>Diospyros kaki</i>	123	105	-	12	6	
<i>Ulmus davidiana</i>	198	0	198			
<i>Acer palmatum var. amoenum</i>	729	-	-	114	615	
<i>Aesculus turbinata</i>	98	69	-		29	
<i>Magnolia denudata</i>	574	-	-	11	563	
<i>Pinus densiflora</i>	-	0	0			
Others	1,643	311	419	30		883

Table 2. Characteristics of the study species.

Study Site ¹	Species	Mean		Ages
		D.B.H	Height	
CNU	<i>Ginkgo biloba</i>	24	9	25
	<i>Platanus occidentalis</i>	38	10	35
DST	<i>Ginkgo biloba</i>	18	8	25
	<i>Platanus occidentalis</i>	22	10	25
DIC	<i>Ginkgo biloba</i>	16	7	20
	<i>Platanus occidentalis</i>	33	11	35
DS	<i>Ginkgo biloba</i>	34	8	50
	<i>Platanus occidentalis</i>	42	10	55

¹Study site; CNU: Chungnam National University, DST: Daedeok Science Town, DIC: Daehwa Industry Complex, DS: Daejeon Station

수목의 성장과 모든 생리적인 활성이 최고에 이른 8월에 은행나무와 양버즘나무를 각 수종별 5본씩 8반복으로 총 40본의 개체를 선정하여(Table 2) 이들의 광합성 특성, 수분이용효율, 엽록소 형광반응 그리고 엽록소 함량을 조사하여 그 차이를 비교·분석하였다.

2. 광합성 특성 및 수분이용효율

은행나무와 양버즘나무의 광합성 특성은 휴대용 광합성측정장치(Portable photosynthesis system, LI-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 측정하였다. 측정 시 광도를 임의로 조절할 수 있는 LED light source(LI-6400-02, LI-COR Inc., USA)를 이용하여 PFD(Photosynthetic Photon Flux Density)를 0, 25, 50, 100, 200, 500, 800, 1,000, 1,500, 2,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 10단계로 차이를 두어 오전 10시부터 오후 2시까지 광합성 반응을 측정하였다. 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 온도는 25°C로 설정하여 외기의 환경변화로 인한 영향이 없도록 하였다. 또한 광합성측정기에 CO₂ injector system(LI-6400-01, LI-COR Inc., USA)을 부착하여 CO₂ 농도를 400±2 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 범위 내에서 안정된 상태를 유지시켰다(김판기 등, 2001; 임중환 등, 2006). 광도별 광합성 속도를 측정하여 광-광합성곡선을 작성(Sigmaplot, 2000)하고, 이 곡선에서 광합성 능력(Photosynthetic rate)을 산출하였다(김판기와 이은주, 2001; Backer *et al.*, 1997). 또한 지역별 수분이용효율(Water use efficiency)의 차이를 조사하기 위해서 PFD 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 광합성 능력과 증산량을 측정하였으며, 측정된 값을 이용하여 수분이용효율(광합성능력/증산량)을 계산하였다(Wang, 2001; Ashraf *et al.*, 2002).

3. 엽록소 형광반응 특성

엽록소 형광반응 측정은 휴대용 엽록소 형광반응 측정

기(Continuous source chlorophyll fluorometer, OSI 30P, ADC, UK)를 이용하였다. 형광반응 측정은 광합성 측정과 동일한 잎을 대상으로 sample clip을 이용하여 광을 차단하여 측정 전 약 20분간 측정 대상 잎을 암 조건에 적응시킨 후 측정하였다. 측정할 때는 2000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광선을 조사하였다(최용봉과 김종희, 1995; Demmig and Bjorkman, 1987). 초기 형광반응(F_0), 최대 형광반응(F_m), 형광반응 최대 변화치 ($F_v=F_m-F_0$) 및 광화학반응 효율(F_v/F_m)의 변수를 측정하여 비교·분석하였다.

4. 엽록소 함량 분석

엽록소 함량은 휴대용 측정 장치인 SPAD 502(Minolta device)를 이용하여 현장에서 측정을 하였다. 이 방법은 잎은 파괴시키지 않고 엽록소 함량을 측정하는 간접적인 방법이다. 광합성 측정과 동시성을 갖기 위해 대상지에서 측정하였으며 1개체에서 10개의 잎을 선정하였고 갈변이나 외부 피해가 없는 가지적으로 생육이 좋은 잎을 선별하여 측정하였다. 측정부위는 잎의 1/2지점 선단을 기준으로 하여 중앙부위를 측정하였다.

지역별·수종별 가로수의 생리적 반응에 대한 측정결과를 분석하기 위해서 Duncan의 다중검정법으로 유의성 분석을 실시하였으며 모든 통계분석은 PC SAS program Version 9.2(SAS, 2000)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 광합성 특성 및 수분이용효율

광합성 능력은 광도가 변하는 것에 상관없이 충남대학교 지역 > 연구단지 지역 > 대화공단 지역 > 대전역 지역 순으로 은행나무와 양버즘나무 두 수종 모두 같은 경향을 나타냈다(Figure 1). 충남대학교 지역과 대전역 지역의 은행나무 광합성 능력은 각각 5.7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 2.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 충남대학교 지역이 대전역 지역보다 2배 이상 높은 값을 보였으며 양버즘나무 역시 은행나무와 같은 경향으로 충남대학교 지역의 광합성 능력이 대전역 지역보다 2배 이상 높았다(Table 3). 이는 도심부의 교통량이나 공단에 의한 매연 등 대기오염과 밀접한 관련이 있는 것으로 인형민 등(2010)이 보고한 산업지역과 상업지역보다 주거지역과 녹지지역의 광합성 속도가 높게 나타났다는 연구결과와 같은 경향이었다. 가로수의 생육에 영향을 미치는 많은 인자들 중 대기오염에 의한 피해가 가장 심각하며 도시화·산업화에 의해 시간이 흐를수록 그 피해정도가 커지고 있다. 따라서 본 실험지역의 특성을 살펴볼 때 교통량이 많거나 산업단지가 위치한 지역에 비해 비교적 교통량이 적은 충남대학교 지역의 가로수들이 대기오염에 의한 피해를 덜 받은 것으로 판단된다.

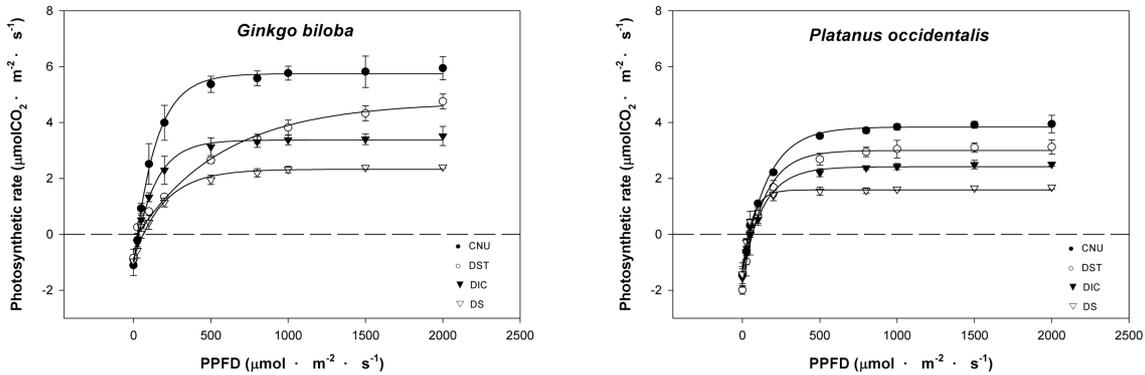


Figure 1. Changes of photosynthetic rate of roadside trees in Daejeon City (CNU; Chungnam National University, DST; Daedeok Science Town, DIC; Daehwa Industry Complex, DS; Daejeon Station).

Table 3. Estimated values of photosynthetic parameters of roadside trees in Daejeon City.

Species	Region ^a	Light compensation point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Light saturation point ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Apparent quantum yield ($\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)
<i>Ginkgo biloba</i>	CNU	30.3	687	5.7	36.5
	DST	33.5	1898	4.6	23.6
	DIC	37.0	562	3.4	14.5
	DS	61.4	781	2.3	14.1
<i>Platanus occidentalis</i>	CNU	50.0	726	3.8	26.7
	DST	63.8	625	3.0	25.4
	DIC	63.6	593	2.4	20.3
	DS	49.1	281	1.6	20.5

^aCNU: Chungnam National University; DST: Daedeok Science Town; DIC: Daehwa Industry Complex; DS: Daejeon Station

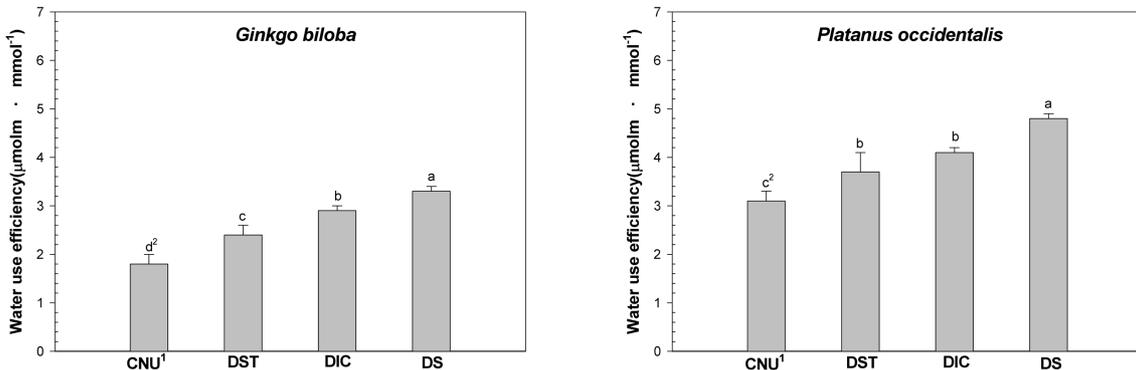


Figure 2. Effects of PPF $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ on water use efficiency of roadside trees in Daejeon City (1; CNU: Chungnam National University, DST: Daedeok Science Town, DIC: Daehwa Industry Complex, DS: Daejeon Station, 2; Different letters within the columns indicate statistical differences at 5% levels by Duncan's multiple range test).

순양자수율은 광합성 능력의 지표가 되고 빛 에너지를 화학 에너지로 변화시키는 광화학계(photosystem)의 활성을 나타내는데(김관기 등, 2001), 본 실험에서 충남대학교 지역의 가로수들이 가장 높은 순양자수율을 보였으며 대전역 지역에서 가장 낮은 값을 보였다. 이는 위에서 언급한 광합성 능력의 결과와 같은 경향을 보인 것으로 높은 광화학계 활성에 의해서 상대적으로 높은 광합성 능력이 나타나는 것이다. 모든 지역에서 광합성 능력 및 순양자수율이 은행나무가 양버즘나무보다 높은 값을 보였는데 이는 본 조사지역

내에 가로수로 식재되어 있는 양버즘나무가 은행나무보다 환경오염에 의한 피해를 더 많이 받은 것으로 판단된다.

지역별 수분이용효율을 비교하면 두 수종 모두 대전역 지역 > 대화공단 지역 > 연구단지 지역 > 충남대학교 지역 순으로 나타났는데 이는 충남대학교 지역의 광합성 능력이 가장 우수하였으며, 대전역 지역의 광합성 능력이 가장 낮았다는 결과와는 반대의 경향을 나타내는 결과이다 (Figure 2). 즉, 수분이용효율은 상대적으로 생육환경이 건전하여 광합성 능력이 우수한 지역의 수목일수록 수분이

용효율이 낮다는 것을 의미한다(Woo *et al.*, 2003). 또한 은행나무가 양버즘나무보다 모든 지역에서 수분이용효율이 낮았는데 이는 광합성 능력에서 은행나무가 양버즘나무보다 높은 값을 보인 것과 같은 경향으로 지역뿐만 아니라 수종별 비교에서도 광합성능력과 수분이용효율은 역의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

식물의 광합성 능력이 높아지는데 반해 토양에서의 수분공급이 이루어지지 않는다면 일시적으로 수분이용효율이 높은 것처럼 보이지만 장기적으로는 생리적인 장애를 가져올 수 있는 것이며 이러한 현상은 스트레스 피해를 받은 식물들에서 흔하게 나타나는 현상이다(Binkely *et al.*, 1994). 식물이 대기오염 피해를 받게 되면 기공이 닫혀서 일반적으로 증산량이 크게 낮아지게 되며 이로 인해 일시적으로 수분이용효율이 증가하는 현상을 보일 수 있다(Blank *et al.*, 1990). 따라서 지역별 수분이용효율이 충남대학교 지역보다 대화공단 지역과 대전역 지역의 가로수가 높은 값을 보인 것은 대기오염에 의한 스트레스로 인해 잎에서의 증산량 감소로 생긴 현상으로 판단된다. 이러한 현상이 지속적으로 유지되면서 토양으로부터 적당한 수분이 공급되지 않는다면 증산량이 감소함으로써 가

로수의 성장 저하 현상이 나타날 것으로 판단된다.

2. 엽록소 형광 반응

지역별 · 식물별 엽록소 형광반응의 변화는 다음과 같다 (Figure 3). 두 수종 모두 충남대학교 지역에서 0.82~0.83으로 가장 높은 광화학효율을 보였으며, 대전역 지역에서 두 수종 모두 0.75~0.78로 가장 낮은 광화학효율을 나타냈다.

은행나무의 엽록소 형광반응을 살펴보면 충남대학교 지역과 연구단지 지역이 대화공단 지역과 대전역 지역보다 유의적인 차이를 보이며 높은 값을 보였다. 또한 충남대학교 지역과 연구단지 지역의 광화학효율은 큰 차이가 없었으며, 대화공단 지역과 대전역 지역 역시 같은 경향이 있었다. 이는 충남대학교 지역과 연구단지 지역보다 대화공단 지역은 산업단지에서 배출하는 오염원으로, 대전역 지역은 많은 교통량으로 인한 배기가스 배출로 인해 상대적으로 대기오염이 심각하기 때문으로 판단된다.

양버즘나무의 엽록소 형광반응은 대전역 지역이 0.75로 다른 지역에 비해 유의적인 차이를 보이며 가장 낮은 값을 보였다. 이는 산업단지의 배출가스보다 자동차에서 발생하는 배기가스가 식물의 생육에 있어 더 많은 피해를

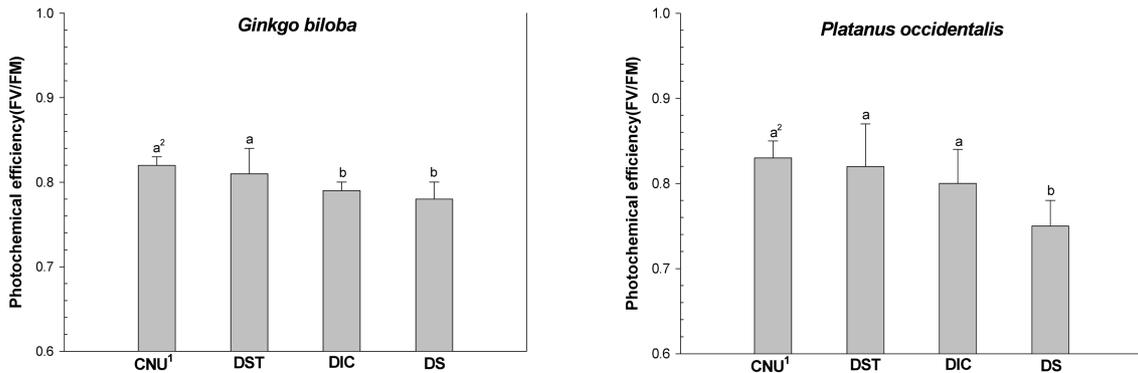


Figure 3. Changes of Chlorophyll fluorescence of roadside trees in Daejeon City (1; CNU: Chungnam National University, DST: Daedeok Science Town, DIC: Daehwa Industry Complex, DS: Daejeon Station, 2; Different letters within the columns indicate statistical differences at 5% levels by Duncan's multiple range test).

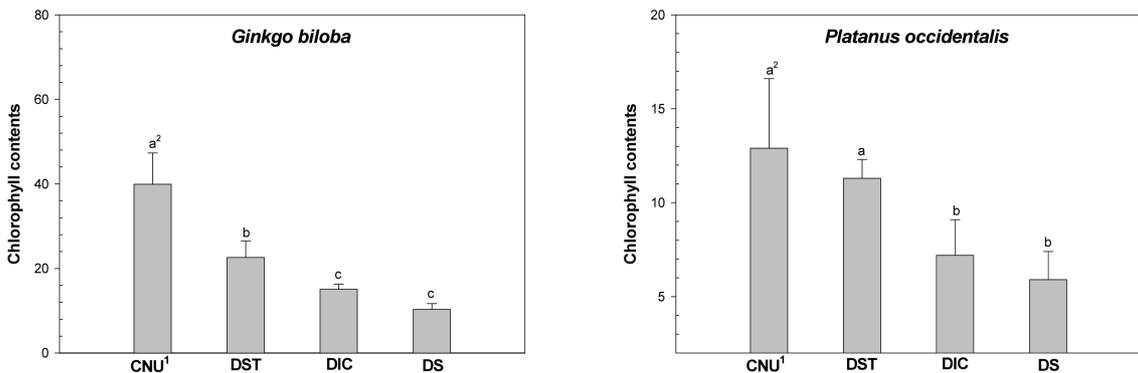


Figure 4. Chlorophyll contents of roadside trees in Daejeon City (1; CNU: Chungnam National University, DST: Daedeok Science Town, DIC: Daehwa Industry Complex, DS: Daejeon Station, 2; Different letters within the columns indicate statistical differences at 5% levels by Duncan's multiple range test).

주는 것으로 판단된다.

3. 엽록소 함량

조사지역에 있는 은행나무와 양버즘나무의 엽육 내 엽록소함량을 측정된 결과는 다음과 같다(Figure 4). 지역별 은행나무의 엽록소 함량에 있어서 대화공단 지역과 대전역 지역은 각각 15.1, 10.3으로 가장 낮게 나타났으며, 충남대학교 지역의 엽록소 함량은 39.9로 다른 지역에 비해서 높게 나타났다. 엽록소 함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소이며 지구상에 가장 많은 색소 가운데 하나이다. 엽록소 함량은 일반적으로 광합성 능력과 비례하는 것으로 알려져 있는데, 식물의 엽록소 함량은 주위 환경인자로 인해 스트레스를 받으면 황화나 백화현상으로 파괴되는 현상을 많이 보여준다. 그러므로 엽록소 함량을 분석하면 광합성 능력을 간접적으로 추정할 수 있으며, 식물이 스트레스를 받고 있는지 아닌지를 어느 정도 알 수 있을 것이다(Baczek and Koscielniak, 2003; Kim et al., 2001).

양버즘나무의 엽록소 함량에 있어서도 대화공단 지역은 7.2, 대전역 지역은 5.9로 엽록소 함량이 충남대학교 지역 12.9에 비해 낮게 나타났다. 이는 산업지역과 상업지역에 있는 은행나무와 플라타너스의 엽록소 함량이 녹지지역에 비해 낮게 나타났다(인형민 등, 2010)는 결과와 같은 경향을 보이는 것이다. 이러한 결과는 충남대학교 지역에 있는 가로수가 다른 지역에 있는 가로수보다 상대적으로 환경적 피해를 적게 받는 것으로 판단되며, 이는 엽록소 함량이 광합성 능력과 밀접한 관련이 있는 것으로 각 지역별 · 수종별 가로수의 엽록소 함량은 가로수의 생육 상태와 지역별 생육 환경에 의해 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

결 론

본 연구에서는 우리나라 중부 지역의 대표적인 도시이자 지속적으로 그 규모가 확장되고 교통량이 크게 늘고 있는 대전광역시의 가로수(은행나무와 양버즘나무)를 대상으로 광합성 반응, 수분이용효율, 엽록소 형광반응 그리고 엽록소 함량을 비교 · 분석하여 인간에 의해 발생하는 환경오염에 의한 수목의 피해 관계를 규명하고 가로수의 향후 유지관리를 위한 기초자료로 제공하는데 그 목적이 있다.

대전광역시 지역별 · 식물별 광합성 능력은 광도가 변하는 것에 상관없이 충남대학교 지역 > 연구단지 지역 > 대화공단 지역 > 대전역 지역 순으로 은행나무와 양버즘나무 두 수종 모두 같은 경향을 보였다. 그러나 수분이용효율에서는 두 수종 모두 대전역 지역 > 대화공단 지역 >

연구단지 지역 > 충남대학교 지역 순으로 나타났다. 이는 광합성 능력과 반대의 경향으로 식물이 대기오염 피해를 받게 되면 기공이 닫혀서 일반적으로 증산량이 크게 낮아지게 되며 이로 인해 일시적으로 수분이용효율이 증가하는 현상을 보일 수 있다는 선행연구와 일치한다.

광화효율은 은행나무와 양버즘나무 모두 충남대학교 지역에서 0.82~0.83으로 가장 높은 값을 보였으며, 대전역 지역에서는 0.75~0.78로 가장 낮은 값을 나타냈다. 또한 엽록소 함량은 일반적으로 광합성 능력과 비례하는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서도 은행나무와 양버즘나무의 엽록소 함량이 충남대학교 지역에서 가장 높은 값을 보였으며, 대전역 지역에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

모든 실험에서 은행나무가 양버즘나무보다 양호한 생리적 반응을 보였는데, 이 같은 결과로 비취볼 때 본 조사지역내에 가로수로 식재되어 있는 양버즘나무가 은행나무보다 환경오염에 의한 피해를 더 많이 받은 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김관기, 이용섭, 정동준, 우수영, 성주환, 이은주. 2001. 광도가 내음성이 서로 다른 3수종의 광합성 생리에 미치는 영향. 한국임학회지 90(4): 476-487.
2. 김관기, 이은주. 2001. 광합성의 생리상태(1) - 광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응 -. 한국농림기상학회지 3(2): 126-133.
3. 박장원. 1994. 대구지역 도로변 식물의 중금속 함량에 관한 조사연구. 영남대학교 대학원 석사학위논문. pp. 48.
4. 시그마 플롯. 2000. 필사이언스. pp. 136.
5. 인형민, 주진희, 윤용한. 2010. 청주시 용도지역별 가로수의 생리·생태학적 특성에 관한 연구 - *Ginkgo biloba* 와 *Platanus occidentalis*를 중심으로-. 한국환경과학회지 19(2): 229-236.
6. 임종환, 우수영, 권미정, 천정화, 신준환. 2006. 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 온도변화에 따른 광합성 능력과 수분이용효율. 한국임학회지 95(6): 705-710.
7. 정경재. 1995. 대구시내의 가로수엽의 수용성 유향과 중금속 함유량에 관한 연구. 영남대학교 대학원 석사학위논문. pp. 53.
8. 천선희. 1995. 마산시 도로 주변 가로수(*Ginkgo biloba*, *Platanus occidentalis*)와 그 토양의 중금속 함량에 대한 연구. 경남대학교 대학원 석사학위논문. pp. 46.
9. 최용봉, 김종희. 1995. 인공산성우의 처리에 따른 소나무와 곰솔 침엽의 엽록소 형광변화. 한국임학회지 84(1): 97-102.
10. Ashraf, M., Arfan, M., Shahbaz, M., Ahmad, M. and Jamil, A. 2002. Gas exchange characteristics and water relations in some elite skra cultivars under water deficit. *Photosynthetica* 40(4): 615-620.
11. Baczek, K.R. and Koscielniak, J. 2003. Anti-oxidative effect

- of elevated CO₂ concentration in the air on maize hybrids subjected to severe chill. *Photosynthetica* 41(2): 161-165.
12. Backer, M.G., Press, M.C. and Brown, N.D. 1997. Photosynthetic characteristics of dipterocarp seedlings in three tropical rain forest light environments: a basis for niche partitioning. *Oecologia* 112: 453-463.
 13. Binkely, D., Son, T.W. and Kim, Z.S. 1994. Impacts of air pollution on forest: A summary of current situation. *Journal of Korean Forest Society* 83(2): 229-238.
 14. Blank, L.W., Payer, H.D., Pfimmann, T. and Rehfuss, K.E. 1990. Effects of ozone, acid mist and soil characteristics on clonal Norway spruce-overall results and conclusions of the joint 14 month tree exposure experiment in closed chambers. *Environmental Pollution* 66: 385-395.
 15. Demmig, B. and Björkman, O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171: 171-184.
 16. Kim, P.K., Koo, Y.B., Lee, J.C., Bae, S.W., Yi, Y.S. and Cheong, Y.M. 2001. Chlorophyll content and genetic variation of *Ginkgo biloba* planted on the street in Seoul. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(2): 114-120.
 17. Kimmins, J.P. 1987. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company. New York. pp. 531.
 18. Wang, K.Y., Kellomaki, S. and Zha, T. 2003. Modifications in photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in 20-year-old pine trees after a four exposure to carbon dioxide and temperature elevation. *Photosynthetica* 41(2): 167-175.
 19. Wang, R.Z. 2001. Photosynthesis transpiration and water use efficiency of vegetative and reproductive shoots of grassland species from north-eastern China. *Photosynthetica* 39(4): 569-573.
 20. Woo, S.Y., Kwon, K.W., Lee, J.C., Choi, J.H. and Kang, B.S. 2003. Recovery of net photosynthetic rate after SO₂ fumigation in *Quercus acutissima*, *Pinus densiflora*, *Populus alba glandulosa* and *Acanthopanax sessiliflorus*. *Photosynthetica* 41(2): 319-320.
 21. Yoneyama, T., Yasuda, T., Yazaki, J. and Totsuka, T. 1980. Absorption of atmospheric NO₂ by plants and soils VII. NO₂ absorption by plants : re-evaluation of the air-soil-root route. *Research Report National Environment Study Japan* 11: 59-67.

(2010년 11월 4일 접수; 2010년 12월 16일 채택)