

청주시 용도지역별 가로수의 생리·생태학적 특성에 관한 연구 - *Ginkgo biloba*와 *Platanus orientalis*를 중심으로 -

인형민 · 주진희 · 윤용한*

건국대학교 산림과학과

(2009년 10월 27일 접수; 2009년 11월 26일 수정; 2010년 1월 11일 채택)

Physio-Ecological Characteristics of Roadside Tree by Difference under Zoning of Urban Districts in Cheong-ju City - Focused on the *Ginkgo biloba* and *Platanus orientalis* -

Hyoung-Min In, Jin-Hee Ju, Young Han Yoon*

Department of Forest Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

(Manuscript received 27 October, 2009; revised 26 November, 2009; accepted 11 January, 2010)

Abstract

As air pollution has emerged as one of the most pressing urban environmental concerns, many studies have investigated the influence of air pollutants(ex: O₃, NO₂, SO₂, Acid rain, etc.) on roadside trees and urban grove. In Korea, population density started to increase since the industrialization. Since dense population aggravates our living conditions, it's very important for us to preserve and keep a lively and refreshing nature in order to live with green nature in harmony under the current artificial environment-dominating world. In metropolitan cities, the production of pollutants increases in proportion to population growth. The vehicle exhaust gas and air pollutants from cooling and heating systems have been the major causes of acid rain. Furthermore, tire particles which are naturally produced by tire wearing on roads and other toxic substances in exhaust gas have caused a problem in human health directly and indirectly. In fact, a lot of studies have analyzed air pollution, roadside trees and plants in Korea. However, they are mostly limited to covering the influence of air pollution on the growth of plants. No paper has clearly explained why air pollution-resistant or-vulnerable species has shown different reactions yet. Even though a lot of urban roadside trees have died or stopped to grow from time to time, this kind of problem has not been properly examined.

This paper is aimed to comparatively analyze physio-ecological characteristic such as photosynthesis, chlorophyll contents, soil volume water figure out their relationship with environmental factors against the expanding roadside trees in Cheong-ju, and provide basic data for management of roadside trees and elaboration of urban environment preservation policies.

Key Words : Roadside tree, Photosynthesis, Chlorophyll contents, Soil volume water, Air pollution

1. 서론

대도시 생태계의 특징 중 하나는 거주인구에 비례

하여 오염물질의 배출량이 증가한다고 볼 수 있다. 차량의 배기가스와 건물의 냉·난방 시 발생하는 대기 오염물질들은 산성비의 원인이 되고 있으며, 차량 타이어의 마모물질이나 매연 등에 섞여있는 유독 물질들은 인체의 건강을 해칠 뿐만 아니라 주변의 도로와 가로수에 침적 또는 흡수되어 간접적으로 피해를 주

*Corresponding Author : Young-Han Yoon, Department of Forest Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea
Phone: +82-43-840-3538
E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

고 있다.

최근 대기오염이 도시에서 문제로 떠오르면서 도시가로수와 도시림에서의 대기오염(O_3 , NO_2 , SO)과 산성비(acid rain)가 수목에 미치는 연구가 활발하게 이루어지고 있다(우 등, 2003). 1980년대 이후에 자동차 배기가스의 급격한 증가로 인한 도로 주변 토양과 식물의 중금속오염이 중요한 관심사가 되면서, 마산시 도로 주변의 가로수 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 플라타너스(*Platanus orientalis*), 그리고 토양의 중금속 함량을 조사하였다(천, 1995). 또한 대구시의 가로수 잎 중에 함유된 수용성 유허과 중금속을 검출하였으며(전, 1995), 대구시 도로변 식물에 함유된 중금속을 조사 연구하였다(박, 1994). 하지만 도시에서 대기오염에 피해를 받은 가로수가 많이 죽거나 생장이 줄어드는 현상이 자주 나타나는데 이들에 대한 연구가 미흡한 실정이다(우 등, 2003). 또한, 식물의 생장에 직접적인 영향을 미치고 대기오염에 피해를 받은 식물이 보여주는 광합성 변화와 엽록소함량에 대한 연구는 그 자료가 극히 부족한 상황이다(Wang, 2003; Kimmins, 1987). 엽록소함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 요소이고 광합성은 엽록소를 바탕으로 일어나기 때문에 엽록소와 광합성이 어떠한 관련이 있는지 알아보는 것은 대기오염피해를 이해하고 피해 메커니즘을 규명하는데 필수적인 것이라 할 수 있다(우, 2003; Winner, 1994).

국내에도 대기오염과 가로수 및 식물에 대한 연구를 여러 방면에서 추진하고 있다. 그러나 지금까지의 연구는 대기오염이 식물생장에 미치는 현상을 확인하는 정도로 머물러 있으며, 공해에 저항성을 가지거나 반대로 대기오염에 아주 약한 개체가 왜 다른 반응을 보여 주는지를 명확하게 설명하지 못하고 있다.

본 연구는 중부지역의 대표적인 도시이자 지속적으로 그 규모가 확장되고 있는 청주시의 가로수를 대상으로 생육하는 개체간의 생리·생태적인 특성인 광합성기작(photosynthesis)과 엽록소함량(chlorophyll contents), 토양용적수분을 비교분석하여 환경적 요인과의 관계를 규명하고 가로수의 유지관리와 도시환경보전정책의 기초자료로 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료채취

현장조사 및 시료채취는 우리나라 가로수와 공원의 대표적인 수종인 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 플라타너스(*Platanus orientalis*)를 중심으로 청주시의 가로수 식재지역을 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 구분하였다. 2007년 8월 은행나무와 플라타너스의 각 수종별 3그룹씩 총 24본으로 비슷한 영급의 개체를 선정하여 이들의 광합성 특성, 엽록소함량을 8월에 조사하여 그 차이를 비교 분석하였다. 수종과 지역은 실험의 동시성을 갖기 위해 시간과 지역을 고려하여 수종과 본수를 결정하였고 토양시료는 5일 이상의 건조한 기상조건을 만족하는 시기에 가로수목 채취지점과 동일한 지점의 토양 중 깊이 0~15 cm의 표토층을 골고루 섞어 채취하였다.

2.2. 엽록소함량

은행나무와 플라타너스의 엽록소함량은 휴대용 측정 장치인 SPAD 502(Minolta device)를 이용하여 현장에서 측정을 하였다. 이 방법은 잎은 파괴시키지 않고 엽록소함량을 측정하는 간접적인 방법이다. 광합성 측정과 동시성을 갖기 위해 대상지에서 측정하였다. 엽록소함량 측정은 1개체에서 12개의 잎을 선정하였고 갈변이나 외부 피해가 없는 가시적으로 생육이 좋은 잎을 선별하여 실시하였다. 측정부위는 잎의 1/2지점 선단을 기준으로 하여 중앙부위를 3회 측정하였고 측정값은 평균으로 계산하였다

2.3. 광합성속도

각 지역의 은행나무와 플라타너스의 광합성 변화는 Portable infra-red gas analyzer(LI-6400, LI-COR, Lincoln, NE)를 사용하여 식물의 생장과 모든 생리적인 활성이 최고에 이른 8월에 조사하였다. 광합성 측정 시 leaf chamber의 조건은 온도 22°C, 상대습도 60%, leaf chamber 내 CO_2 농도는 CO_2 injector system을 이용하여 $400 \mu mol mol^{-1}$ 로 유지하였다. 측정 시 chamber는 받침대로 고정하여 잎에 가하여지는 스트레스를 최소화 하였으며 주어진 광도 당 측정 시간은 최소 100초~최대 300초간 측정을 실시하였고 6400-02 LED light source를 이용하여 PPF 0, 20, 50, 100, 200, 500, 800, 1000, 1500, 1800 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$

에서의 광합성능력 변화를 측정하였다. 순광합성량은 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$A_n = \frac{U_e (C_e - C_c)}{100s} - C_c E$$

where A_n Net Photosynthesis ($\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), U_e mole flow rate of air entering the leaf chamber (mols^{-1}), C_e mole fraction of CO_2 in the leaf chamber ($\text{molCO}_2\text{mol}^{-1}\text{air}$), C_c mole fraction of CO_2 entering in the leaf chamber ($\text{mol CO}_2\text{mol}^{-1}\text{air}$), s leaf area (cm^2), E transpiration ($\text{mmol H}_2\text{Om}^{-2}\text{s}^{-1}$)

2.4. 기공증산속도

기공증산속도는 광합성 측정 시 leaf chamber의 조건은 온도 22℃, 상대습도 60%, leaf chamber 내 CO_2 농도는 CO_2 injector system을 이용하여 $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 로 유지하였다. 기공 conductance 단위는 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 사용하였다.

2.5. 수분이용효율

수분이용효율은 광합성능력/증산량(Wang, 2001; Ashraf 등, 2002)으로 계산하였다. 수분이용효율의 계산에 사용한 광합성능력과 증산량은 $1,000 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 광도에서 22℃로 측정하였다.

2.6. 토양용적수분

토양용적수분은 수분측정기(Thetaprobe)를 이용해

토양표면에서부터 토양하부 7 cm까지의 대상지의 용적수분함량을 측정하였다. 광합성 측정과 동시에 측정하였으며 지역별 가로수 식재토양의 용적수분을 비교 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 엽록소함량

엽록소함량은 식물이 광합성을 하는데 필수적인 색소이며 지구상 가장 많은 색소이다. 엽록소함량은 일반적으로 광합성 능력과 비례하며, 식물의 엽록소함량은 대기오염 같은 스트레스를 받으면 황화나 백화현상으로 파괴되는 현상을 보인다. 그러므로 엽록소함량을 분석하면 광합성 능력을 간접적으로 추정할 수 있으며 식물의 대기오염 피해의 여부를 알 수 있다 (Baczka과 Koscielniak, 2003).

각각의 가로수지역에 있는 은행나무와 플라타너스의 엽육 내 엽록소함량을 측정한 결과이다(Fig. 1). 지역별 은행나무의 엽록소함량에 있어서는 상업지역과 공업지역은 각각 24.3, 27.7로 가장 낮게 나타났다. 녹지지역의 엽록소함량은 43.3으로 다른 지역에 비해서 높게 나타났다. 플라타너스의 엽록소함량에 있어서는 공업지역은 26.2, 상업지역은 27로 엽록소함량이 녹지지역 47.97에 비해 낮게 나타났다.

은행나무에 있어서 서울시 태릉지역에 비해 공해

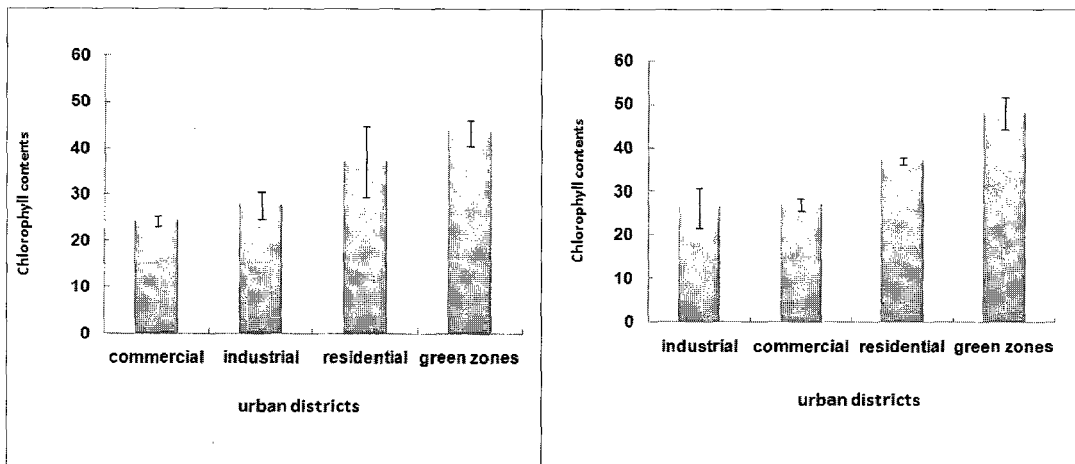


Fig. 1. Chlorophyll contents of *Ginkgo biloba* and *Platamus orientalis* by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

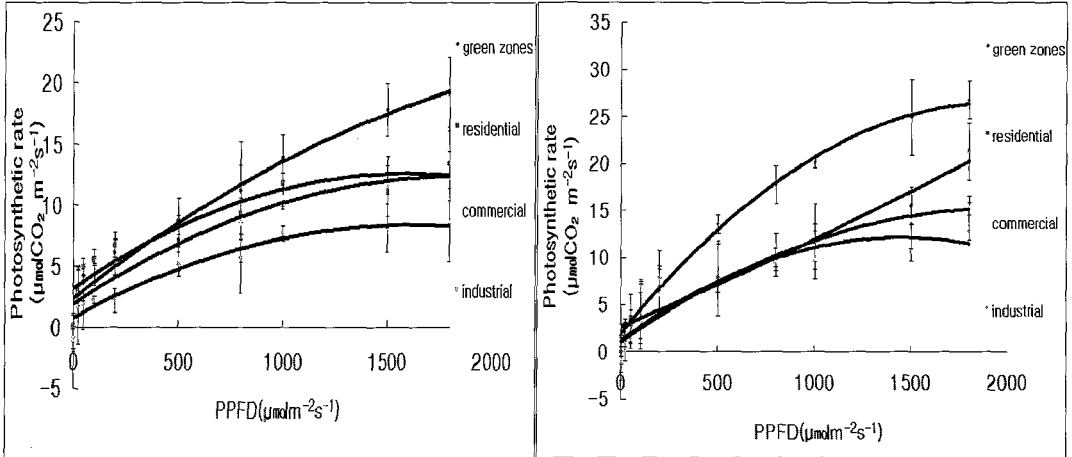


Fig. 2. Photosynthetic rate of *Ginkgo biloba* and *Platanus orientalis* by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

가 심한 종로지역에서 은행나무의 엽록소함량이 낮게 나타났다는 연구결과(Kim 등, 2001)와 같이, 본 연구에서도 공업지역과 상업지역에 있는 은행나무와 플라타너스의 엽록소함량이 녹지지역에 비해 낮게 나타났다. 이러한 결과는 녹지지역에 있는 가로수가 다른 지역에 비해 대기오염에 대한 피해를 적게 받고 있다는 것을 제시해 주고 있다. 이는 엽록소함량이 광합성 능력과 관련이 있으므로 식물 생육과도 밀접한 연관이 있기 때문에 각 지역별 엽록소함량의 결과는 가로수의 생육 상태와 지역의 생육 환경의 차이가 있는 것을 알 수 있다.

3.2. 광합성속도

광합성속도는 일정한 광도에서 녹지지역, 주거지역, 상업지역, 공업지역의 순으로 은행나무와 플라타너스 두 수종이 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 2). 은행나무와 플라타너스 모두 광합성속도는 공업지역이 가장 낮았고 녹지지역이 가장 높은 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 식물의 생장이 시작되는 아침부터 저녁까지 하루 종일 광합성능력이 차이가 많이 나는 것을 의미한다. 이는 도심부의 교통량이나 공단에 의한 매연 등 대기오염과도 밀접한 관련이 있는 것으로 사료되며, 따라서 공업지역과 상업지역의 대기오염이 높기 때문에 가로수의 광합성속도가 주거지역이나 녹지지역보다 낮아졌을 것이라고 추정된다.

3.3. 기공증산속도

광합성능력은 기공의 개폐정도와의 밀접한 관련성을 보인다. Faria 등(1996)은 기공 단합이 순광합성능력을 제한하는 중요한 요소이기 때문에 기공전도도와 순광합성능력 사이에는 정의 상관관계가 있다고 하였다. 이를 바탕으로 지역별 가로수에서 기공증산속도를 분석하여 광합성속도와의 관계를 규명하고자 하였다. 그 결과 두 수종 모두 지역별 차이가 나타났는데 이것은 광합성속도와 기공개폐가 정의 상관관계가 있다는 것을 보여주었다(Hinckley와 Bratane, 1994).

광도별 기공증산속도는 은행나무의 경우 광도 150 μmolm⁻²s⁻¹의 광도까지 빠르게 증가하였으며 그 이상의 광도에서는 서서히 증가하는 경향을 보였다. 지역별 기공증산속도의 수치는 다르게 나타나며 공업지역이 가장 낮은 변화를 보이고 녹지지역의 기공증산속도가 가장 높은 변화를 보이고 있다. 플라타너스의 경우는 광도 50 μmolm⁻²s⁻¹의 광도까지 빠르게 증가하고 그 이상의 광도에서는 서서히 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 지역별 차이는 은행나무와 동일하였다. 또한 광합성속도가 낮은 가로수들이 대부분 기공증산속도가 낮은 경향을 보이는데 이는 광합성에 필요한 CO₂가 교환이 제한을 받기 때문이고 이로 인해서 광합성속도가 저하되었을 것으로(Reich 등, 1985) 판단된다. 광합성속도가 높은 지역의 가로수는 기공증산속도가 높게 나타나는 경향을 보아 기공증산속도가 광합성능력에

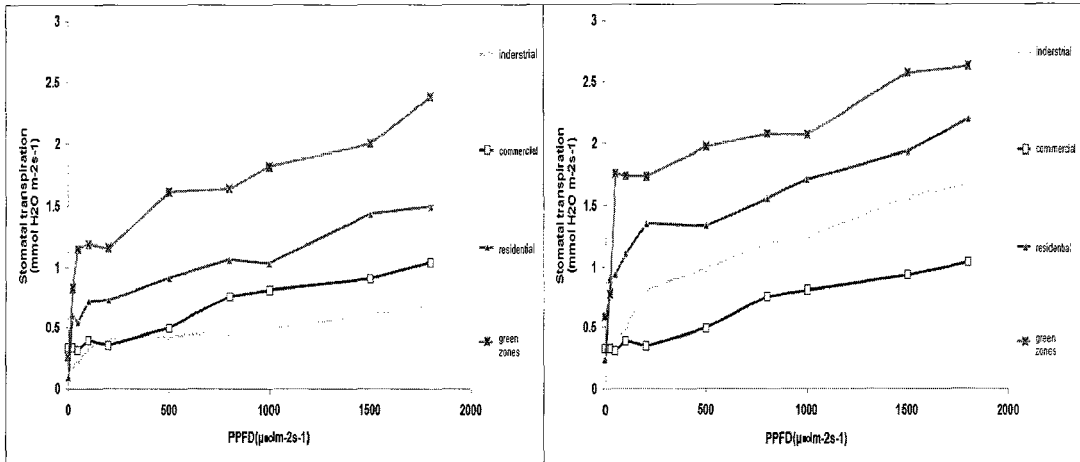


Fig. 3. Stomatal transpiration of *Ginkgo biloba* and *Platanus orientalis* by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.4. 수분이용효율

용도지역별 수분이용효율을 비교하면 일반적으로 공업지역과 상업지역이 높게, 녹지지역이 낮게 나타났다(Fig. 4). 즉, 수분이용효율은 용도지역별로 약간의 차이는 있지만 녹지지역의 가로수가 건전한 수목이기 때문에 수분이용효율이 낮다는 것을 의미한다(Woo 등, 2006). 수분이용효율은 광합성 동화산물에 대한 수분손실률로서 기공전도도 감소에 따라 증산량

이 감소되기 때문에 일시적으로 수분이용효율이 증가할 수 있다. Penuelas 등(1998)은 낮은 기공전도도는 높은 수분이용효율로 연결된다고 보고하고 있으며 본 연구에서도 가장 높은 수분이용효율을 나타낸 지역의 가로수에서 가장 낮은 기공전도도를 나타내는 등 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 수분이용효율은 일반적으로 공업지역이 다른 지역의 수분이용효율보다 높은 것으로 나타났다. 그리고 녹지지역이 낮은 수분이용효율이 나타났으며 이는 광합성능력의 차이가 수분이용효율이 다른 것으로 추정된다.

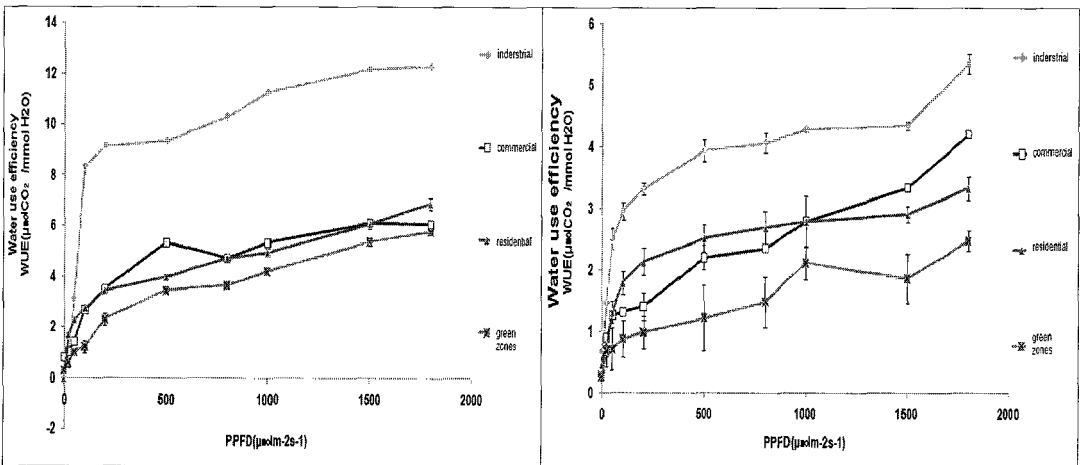


Fig. 4. Water use efficiency of *Ginkgo biloba* and *Platanus orientalis* by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

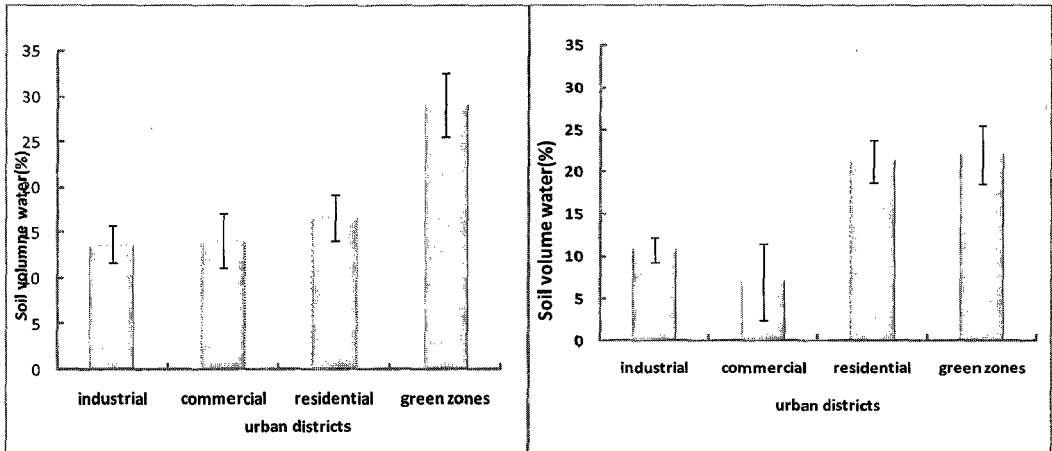


Fig. 5. Soil volume water of *Ginkgo biloba* and *Platanus orientalis* by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

식물의 광합성능력이 높아지는데 반해 토양에서의 수분공급이 이루어지지 않는다면 일시적으로 수분이 이용효율이 높은 것처럼 보이지만 장기적으로는 생리적인 장애를 가져올 수 있는 것이며 이러한 현상은 스트레스 피해를 받은 식물들에서 흔하게 나타나는 현상이다(Binkely 등, 1994). 식물이 대기오염 피해를 받게 되면 기공이 닫혀서 일반적으로 증산량이 크게 낮아지게 되며 이로 인해 일시적으로 수분이용효율이 증가하는 현상을 보일 수 있다(Blank 등, 1990). 따라서, 용도지역별 수분이용효율이 녹지지역보다 상업지역과 공업지역의 가로수가 일반적으로 높은 값을 보였는데 이는 스트레스로 인한 증산량의 감소로 생긴 현상으로 판단된다. 이러한 현상이 지속적으로 유지되면서 토양으로부터 적당한 수분이 공급이 되지 않는다면, 증산량이 감소함으로써 가로수의 생장이 감소하고 쇠퇴할 수도 있을 것으로 추정된다.

3.5. 토양용적수분

각각의 용도지역 내에 있는 은행나무와 플라타너스의 토양수분함량을 측정된 결과는 Fig. 9와 Fig. 10과 같다. 용도지역별 은행나무의 토양수분함량에 있어서는 공업지역과 상업지역의 토양수분이 낮게 나타났다. 녹지지역의 토양수분은 다른 용도지역에 비해서 높게 나타났다. 플라타너스의 토양수분함량이 상업지역과 공업지역이 녹지지역에 비해 낮게 나타났다.

3.6. 광합성능력, 수분이용효율과 토양수분과의 상관분석

Table 1.2는 광합성속도, 기공증산속도, 토양수분, 수분이용효율, 엽록소함량이 서로에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상관분석을 실시한 결과이다. 분석 결과 각각의 변수사이의 유의수준은 높게 나타났다. 광합성과 기공증산속도의 상관계수는 0.895, 0.551로 정의 상관관계가 나타났으며 광합성이 높으면 기공증산속도 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 반면 광합성과 수분이용효율, 기공증산속도와 수분이용효율의 상관계수는 -0.474, -0.496와 -0.613, -0.540으로 나타나 부의 상관관계를 나타내며 광합성이 높으면 수분이용효율이 낮게 나가고 기공증산속도가 높으면 수분이용효율이 낮은 것을 알 수 있다. 엽록소함량의 경우 광합성과 0.825, 0.769로 정의 상관관계와 높은 유의수준이 나타나 엽록소함량과 광합성속도와 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 토양용적수분과 수분이용효율의 상관계수는 -0.451, -0.633으로 부의 상관관계이며 토양용적수분이 높으면 수분이용효율은 낮아지는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 종합해 보면 광합성이 높으면 수분이용효율은 낮아지고 기공증산속도와 엽록소함량은 높아지며 토양용적수분과의 상관성도 있는 것으로 판단된다. 또한 광합성이 낮아지면 그 반대의 결과를 예상할 수 있으며 각 요인별 상관성은 인정되었으므로 가로수 수종의 지역별 차이에 의한 생리적 차이가 나타나는 것으로 판단된다.

Table 1. Analysis of multiple correlation coefficients of *Ginkgo biloba* physio-characteristics by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

| | | Photo-synthetic rate | Stomatal transpiration | Water use efficiency | Chlorophyll contents | Soil volume water |
|------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Photosynthetic rate | Pearson coefficient of correlation | 1 | | | | |
| | Significance probability (2-tailed) | . | | | | |
| Stomatal transpiration | Pearson coefficient of correlation | .895** | 1 | | | |
| | Significance probability (2-tailed) | .000 | . | | | |
| Water use efficiency | Pearson coefficient of correlation | -.474 | -.613* | 1 | | |
| | Significance probability (2-tailed) | .064 | .012 | . | | |
| Chlorophyll contents | Pearson coefficient of correlation | .825** | .878** | -.362 | 1 | |
| | Significance probability (2-tailed) | .001 | .000 | .248 | . | |
| Soil volume water | Pearson coefficient of correlation | .641* | .835** | -.451 | .629* | 1 |
| | Significance probability (2-tailed) | .025 | .001 | .142 | .028 | . |

** : Correlation is significant at the 1% level,
* : Correlation is significant at the 5% level.

4. 결론

본 연구의 목적은 중부지역의 대표적인 도시이자 지속적으로 그 규모가 확장되고 있는 청주시의 가로수를 대상으로 생육하는 개체간의 생리·생태적인 특성인 광합성기작과 엽록소함량, 토양용적수분을 비교분석하여 환경적 요인과의 관계를 규명하고 가로수의 유지관리와 지역환경 보전정책의 기초자료로 제공하는데 그 목적이 있다. 이에 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

청주시 지역별 가로수의 생리·생태적 특성은 엽록소함량, 광합성속도, 토양용적수분은 주거지역과 녹지지역이 높게 나타났으며 기공증산속도와 수분이용효율은 상업지역과 공업지역이 높게 나타나 상업지역과 공업지역, 주거지역과 녹지지역이 상대적인 측정 결과를 보였다. 상관분석의 결과는 각 요인별 상관성은 인정되었으며 엽록소함량과 토양용적수분차이는 광합성속도와 기공증산속도, 수분이용효율차이와 영

Table 2. Analysis of multiple correlation coefficients of *Platanus orientalis* physio-characteristics by difference under zoning of urban districts in Cheong-ju city.

| | | Photo-synthetic rate | Stomatal transpiration | Water use efficiency | Chlorophyll contents | Soil volume water |
|------------------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Photosynthetic rate | Pearson coefficient of correlation | 1 | | | | |
| | Significance probability (2-tailed) | . | | | | |
| Stomatal transpiration | Pearson coefficient of correlation | .551* | 1 | | | |
| | Significance probability (2-tailed) | .041 | . | | | |
| Water use efficiency | Pearson coefficient of correlation | -.496* | -.540* | 1 | | |
| | Significance probability (2-tailed) | .048 | .046 | . | | |
| Chlorophyll contents | Pearson coefficient of correlation | .769** | .642* | -.739** | 1 | |
| | Significance probability (2-tailed) | .009 | .025 | .009 | . | |
| Soil volume water | Pearson coefficient of correlation | .392 | .410 | -.633* | .819** | 1 |
| | Significance probability (2-tailed) | .297 | .211 | .049 | .002 | . |

** : Correlation is significant at the 1% level,
* : Correlation is significant at the 5% level.

향이 있으며 지역별 가로수의 생리·생태적 차이는 생육상태와 환경에 따라서 관련이 있는 것으로 나타났다. 이는 용도지역별 가로수가 환경적 요인의 차이로 인해 생리적 요인들의 관계성과 생육환경이 영향을 받기 때문에 생리·생태적 차이가 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문입니다.

참고문헌

박장원, 1994, 대구지역 도로변 식물의 중금속 함량에 관한 조사연구, 석사학위논문, 영남대학교.
우수영, 이성한, 이동섭, 2003, 대기오염 피해를 받은 서울 시내 가로수의 엽록소함량과 광합성 특성, 한국농림기상학회지, 6(2), 24-29.
정경재, 1995, 대구시내의 가로수들의 수용성 유향과 중금속 함량에 관한 연구, 석사학위논문, 영남대학

교.

- 천선희, 1995, 마산시 도로 주변 가로수(*Ginkgo biloba*, *Platanus orientalis*)와 그 토양의 중금속 함량에 대한 연구, 석사학위논문, 경남대학교.
- Ashraf, M., Arfan, M., Shahbaz, M., Ahmad, A., Jamil, A., 2002, Gas exchange characteristics and water relations in some elite okra cultivars under water deficit, *Photosynthetica*, 40(4), 615-620.
- Baczka, K. R., 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.
- Binkely, D., Son, T. W., Kim, Z. S., 1994, Impacts of air pollution on forest: A summary of current situation, *Jour. of Korean For. Soc.*, 83(2), 229-238.
- Blank, L. W., Payer, H. D., Pfirrmann, T., 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, *Environ. Pollut.*, 66, 385-395.
- Faria, T., Garcia-Plazaola, J. I., Abadia, A., Cerasolo, S., Pereira, J. S., Chaves, M. M., 1996, Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer, *Tree Physiology*, 16, 115-123.
- Hinckley, T. T., Bratane, J. H., 1994, Stomata In Wilkinson, R.E.(eds.), *Plant-Environment Interactions*, Dekker, New York, 323-355.
- Kim, P. G., Koo, Y. B., Lee, J. C., Bae, S. W., Yi, Y. S., 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.
- Kimmins, J. P., 1987, *Forest Ecology*, Macmillan Publishing Company, New York, 531.
- Penuelas, J., Filella, I., Llusia, J., Siscart, D., Pinol, J., 1998, Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*, *Jour. Experimental Botany*, 319, 229-238.
- Reich, P. B., Schoettle, A. W., Stroh, H. F., Troiano, J., Amundson, R. G., 1985, Effects of O₃, SO₂ and acidic rain on mycorrhizal infection in northern red oak seedlings, *Canadian Journal of Botany* 63, 2049-2055.
- Wang, K. Y., Kellomaki, S., 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.
- 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.
- Winner, W. E., 1994, Mechanistic analysis of plant responses to air pollution, *Ecological Application*, 4, 651-661.
- Woo, S. Y., 2003, Effects of different light intensities on growth, chlorophyll contents and photosynthesis of *Abies holophylla*, *Meristem*, 3, 1-5.
- Woo, S. Y., Kwon, K. W., Lee, J. C., Choi, J. H., Kang, B. S., 2006, Recovery of net photosynthetic rate after SO₂ fumigation in *Quercus acutissima*, *Pinus densiflora*, *Populus alba x glandulosa* and *Acanthopanax sessiliflorum*, *Photosynthetica*, 41(2), 319-320.