

# 가로수의 이식방법에 따른 수목 활착 평가<sup>†</sup>

## - 재배방법별 팔배나무의 광화학적 반응 해석 -

유성녕\* · 박소현\* · 박청인\*\* · 김태진\*\*

한경대학교 식물생태화학연구소 · 한경대학교 조경학과\*

# Evaluation of Street Tree Rootage by Transplanting Methods

## - Photochemical Response Analysis of Different Cultivation for *Sorbus alnifolia* -

Yoo, Sung Young\* · Park, So Hyun\* · Park, Chung In\*\* · Kim, Tae Jin\*\*

\*Institute of Ecological Phytochemistry, Hankyong National University

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Hankyong National University

### ABSTRACT

Trees, cultivated in containers, are appropriate in soil deformation such as road sites with cutting and filling. This study tested the effectiveness of trees produced in containers for early rootage in street tree transplantation. For the study, Korean Mountain Ashes(*Sorbus alnifolia*) were used for experimental groups. The groups were categorized into three categories: trees cultivated in containers with mulching treatment(group A), trees cultivated outdoors with mulching treatment (group B), and trees cultivated in containers with weeding treatment(group C). Each group consisted of ten trees of the same size and transplanted to the experimental site. In order to compare each group's rootage, the study was carried out with the chlorophyll fluorescence method by the analysis of photochemical reaction.

As a result of the study, group B had the lowest the maximum fluorescence amount(P). The amount of fluorescence increased by OJ transition of the process, and appeared to reduce the photosystem II electron transport efficiency. In photosystem II, electron transfer energy flux through photosystem I(RE1o/RC, RE1o/CS) was also reduced by more than 20% in group B.

These results may imply that transplantation of container-cultivated trees with mulching treatment provides the most rapid rootage among the groups. The weeding treatment is also more effective than mulching treatment for rapid rootage of street trees.

*Key Words: Chlorophyll Fluorescence, Photosystem I, Photosystem II, Container, Mulching*

### 국문초록

본 연구는 가로 수목의 조기 활착으로 도로로부터 발생하는 탄소를 효과적으로 저감할 수 있는 방안을 모색하고자

<sup>†</sup>: 이 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업 '탄소중립형 도로 기술 개발'의 일환으로 연구되었음.

**Corresponding author:** Chung In Park, Dept. of Landscape Architecture, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea, Tel.: +82-31-670-5215, E-mail: pci@hknu.ac.kr

컨테이너(용기) 수목의 이식 효율성을 검증하였다. 컨테이너에서 재배된 수목은 이식 활착성을 높이고, 부적기 이식 제한을 극복할 수 있어 도로와 같은 변형된 토양환경에 적합하다. 가로수로서 가치가 높은 팔배나무를 대상으로 컨테이너에서 재배된 수목과 노지에서 재배된 수목을 각기 멀칭 및 제초처리하여 수목의 건전도를 비교하였다. 연구의 방법으로서 엽록소 형광 반응 분석을 이용한 팔배나무의 식재 방법별 광화학 반응 해석을 통해 건전성 평가하였다. 팔배나무의 식재 방법은 노지 멀칭, 컨테이너 제초 및 컨테이너 멀칭 재배로 구분하여 재배하였다.

연구의 결과로서 노지 멀칭 팔배나무에서 최대 형광량(P)이 가장 낮았으며, O-J 전이 과정 중 형광량이 증가하며, 광계 II 전자전달 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 광계 II에서 광계 I까지의 전자전달 에너지 플럭스(RE10/RC, RE10/CS) 또한, 노지 멀칭 재배에서 20% 이상 감소하였다.

이와 같은 연구 결과는 도로와 같이 성토 및 절토로 인하여 수목 성장 여건이 불리한 상황에서 수목의 이식 후 초기 활착을 검증한 결과 컨테이너에서 재배된 수목이 노지에서 재배된 수목보다 활착이 빠르고, 수목 건전도가 높은 것으로 평가할 수 있다. 또한 식재 방법도 식재 후 제초에 의한 방법보다 멀칭 처리한 수목이 건전도가 높은 것으로 판단되었다. 도로와 같이 지속적으로 식재 후 관리가 어려운 여건에서는 주기적인 제초 처리보다는 이식 초기에 멀칭 처리하는 것이 관리의 용이성 도모하며, 수목 건전도를 높일 수 있다.

주제어: 엽록소형광반응, 광계 I, 광계 II, 컨테이너 재배, 멀칭

## I. 서론

산업의 발달 등으로 인해 대기 중에 이산화탄소, 메탄, 오존 등이 증가하게 되었으며, 지표면의 온도를 상승시키는 온실효과 등 다양한 문제점을 일으키고 있다. 이는 전 세계적으로 지구 온난화의 영향으로 기상이변이 속출하고 있으며, 지난 100년간 우리나라의 평균기온은 1.5°C 이상 증가하였다(Kim *et al.*, 2010). 특히 교통량의 급증으로 인하여 이산화탄소를 비롯한 공해물질의 배출은 다양한 환경문제를 야기하고 있다. 도로를 통행하는 자동차에서 배출되는 이산화탄소의 저감은 환경오염을 줄이고, 광의적으로는 기후변화 대처에 기여한다. 도로에서 발생하는 이산화탄소를 저감할 수 있는 방법은 도로노선의 횡단 및 종단 구배를 조정하여 과도한 엔진출력으로 인한 이산화탄소 등 배기가스를 줄이는 물리적 방법과 수목을 식재하여 배출된 이산화탄소를 흡수하여 이를 저감할 수 있는 생물학적 방법이 있다.

수목은 성장 과정 시 광합성을 통하여 대기 중의 이산화탄소를 흡수하고, 오늘날 문제시 되는 대기 중 탄소의 저감에 효과가 있다고 보고되었다(Jo and Cho, 1998; Jo, 1999; Jo and Ann, 2000; KFRI, 2007; Han, 2008; SD Institute, 2010; Kim, 2011; Jo and Ann, 2012; Hwang, 2012; Jo, 2013). 이러한 점에서 도로 공간의 수목식재는 이산화탄소를 흡수하는 친환경적인 방안이라 할 수 있다. 그러나 도로식재공간은 대부분 성토와 절토로서 식재기반이 조성되어 수목의 이식 후 초기 활착이 어려워, 이를 해결하기 위하여 효율적 이식 및 식재방법이 필요하다(Lee, 1996; KFS, 2004; Youn, 2010; Lee, 2013).

본 연구는 가로 수목이 초기 활착하여 도로로부터 발생하는 탄소를 효과적으로 저감할 수 있는 방안을 모색하고자 컨테이너(용기) 수목의 이식의 효율성을 검증하는데 목적이 있다. 컨

테이너 수목 재배 기술은 근권(根圈)을 컨테이너로 제한하여 근량(根量)을 높여 이식 활착성을 높이고, 부적기 이식 제한을 극복하여 조경공사를 할 수 있도록 수목을 생산하는 방법이다(Lee and Kim, 1992). 또한 균일품질의 수목을 집약적으로 공급될 필요가 있는 도로의 가로수 특성상 컨테이너 방식에 의한 조성수 생산은 이식의 성공률을 높이고, 대량의 균일품질의 수목을 공급할 수 있다는 점에서 널리 활용되고 있다(Kim and Kim, 2001). Park(2010)은 컨테이너 재배 수목의 장·단점 분석에서 수목의 현지 활착률이 높고, 수목 식재 시 상처가 적으며, 현장에서 식재 및 저장에 용이한 반면, 식재 작업 시 컨테이너 제거에 번거로우며, 사용교체가 많이 발생한다는 단점을 지적하고 있다. 그러나 수목 식재 즉시 생장이 시작된다는 점에서 가로수로서의 소재로서 충분한 활용 가치가 있다.

연구의 방법으로서 컨테이너에서 재배된 수목과 노지에서 재배된 동일수종을 이식방법에 따라 수목의 건전도를 평가하였다. 수목의 이식 후 건전도를 평가하는 방법으로 광합성 효율을 분석하기 위해 비파괴적 분석방법인 엽록소 형광분석(Calatayud *et al.*, 2006; Gorbe and Calatayud, 2012)이 널리 이용되고 있다. 엽록소 형광반응의 최초 연구는 Kautsky and Hirsch(1931)이 광합성 과정 중 빛의 섬광에 의한 CO<sub>2</sub> 흡수 동화의 변화원인에 대한 연구에서 처음 비롯되었다. 현재 형광현상을 측정하는 형광측정기(flourometer)는 근본적으로 빛에 노출된 식물체의 형광유발현상을 응용한 Kautsky effect를 측정하는 방식에서 발전되었으며, 대부분 엽록소 a의 형광 변동량을 측정하는 방식이다. 빛에 노출된 엽록소는 일반적으로 30분에서 1시간 암 기간을 거치면 다시 원상태로 복귀하는 것으로 알려져 왔다(Strasser, 1985; Srivastava *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2014). 식물체는 암 기간을 거치면 대부분의 광합성계 II(PS II) 반응 중

심의 전자수용체가 산화상태로 존재하며, 엽록소 형광은 최소 값( $F_0$ )을 나타내게 된다. 최근 엽록소가 원상태로 복귀하는 형광유발 시점을 O(Origin)로 표현하고, 이후 형광변동지점을 J (Jump)와 I(Intermediate) 그리고 최대 형광시점에서의 형광유도량을 P(Peak)로 표현하는 소위 OJIP 방식으로 표현하는 것이 보편화 되었다(Govindjee, 1995). O → J로의 전자 여기는 광화학 전이(Photochemical phase)로 알려진 2ms 이내의 대단히 빠른 반응이고, 여기하는 빛의 세기에 의해 비례하여 증가하는 것으로 알려져 있다.

반면, J → I 전이와 I → P 전이는 열 의존적 전이(Thermal phase)로 상대적으로 느린 반응으로 알려져 있다(Morin, 1964; Delosme, 1967). OJIP 방식을 이용한 엽록소 형광 분석은 대량 분석이 가능하여 식물의 건전생장 및 스트레스 지표 등의 분석에 활용가치가 매우 높다(Yoo *et al.*, 2013). 따라서 본 연구는 연구대상 실험수목을 대상으로 1초 이내의 짧은 시간동안 측정된 엽록소 형광반응을 이용하여, PSII 및 PSI의 양자수득률 및 전자전달 효율을 분석하여 광화학적 생리지표 분석을 통한 이식 수목의 건전도를 평가하였다.

## II. 연구방법

Table 1. Equations and definitions of OJIP parameters

Data extracted from the recorded fluorescence transient O-J-I-P	
$F_0$	Fluorescence at the O-step (50 $\mu$ s) of O-J-I-P
$F_J \equiv F_{2ms}$	Fluorescence at the J-step (2ms) of O-J-I-P
$F_I \equiv F_{30ms}$	Fluorescence at the I-step (30ms) of O-J-I-P
$F_P (= F_M)$	Maximal recorded (=maximal possible) fluorescence, at the peak P of O-J-I-P
$F_V \equiv F_M - F_0$	Maximal variable fluorescence
$V_J = (F_J - F_0) / (F_M - F_0)$	Relative variable fluorescence at the J-step
$V_I = (F_I - F_0) / (F_M - F_0)$	Relative variable fluorescence at the I-step
$F_V / F_M = (F_M - F_0) / F_M$	Maximum quantum yield of primary photochemistry
Specific energy fluxes (per $Q_A$ -reducing PSII reaction center - RC)	
$ABS/RC = M_0 (1/V_J)(1/\varphi_{P_0})$	Absorption flux per RC
$RC/ABS = \varphi_{P_0} \cdot V_J / M_0$	Number of $Q_A$ reducing RCs per PSII antenna Chl
$TR_0/RC = M_0 (1/V_J)$	Trapped energy flux per RC (at $t = 0$ )
$ET_0/RC = (M_0/V_J)(1 - V_J)$	Electron transport flux from $Q_A$ to $Q_B$ per RC (at $t = 0$ )
$REL_0/RC = (M_0/V_J)(1 - V_I)$	Electron transport flux until PSI acceptors per RC (at $t = 0$ )
$DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$	Dissipated energy flux per RC (at $t = 0$ )
Performance indexes at $t = 0$	
$PI_{ABS} \equiv \frac{RC}{ABS} \cdot \frac{\varphi_{P_0}}{1 - \varphi_{P_0}} \cdot \frac{\psi_0}{1 - \psi_0}$	Performance index on absorption basis
Driving forces (total driving forces for photochemical activity)	
$DF = \log(PI)$	Driving force on absorption basis

## 1. 공시재료

본 연구에서는 가로수로서 우수한 기능을 가지고 있는 팔배나무를 연구의 재료로 선정하였다. 팔배나무(*Sorbus alnifolia*)는 우리나라 전역 산지에서 자생하는 관상가치가 높은 낙엽활엽교목으로서 군집성 및 내음성이 강하고, 내한성에도 강하여 건조한 척박지에서 잘 자란다(Lee *et al.*, 1998). 또한 팔배나무는 산성비에도 강하여 도로가로수목으로 전망이 밝으나, 번식이 힘들고, 이식 후 활착이 어려운 실정이다(Park, 2001). 이러한 장·단점을 활용 및 극복할 수 있도록 컨테이너에서 재배된 팔배나무를 연구의 재료로 선정하였다. 7년생으로 컨테이너에서 2년간 재배된 3m 내외의 수고와 근원직경 5cm 내외의 팔배나무 20그루와 동일한 생산지의 노지에서 재배된 동일 규격의 팔배 10그루를 구입하여 2014년 4월 13일에 경기도 소재 대학 부속농장에 동일한 토양조건에서 이식하고, 3그룹으로 나누어서 처리구를 만들었다. 처리구는 컨테이너재배 제초처리구 팔배나무 10주, 노지재배 멀칭처리구 팔배나무 10주, 컨테이너재배 멀칭처리구 팔배나무 10주로 구분하여 재배하였다.

멀칭 처리는 깊이 10cm의 수목 반경 60cm로 유기물 부엽토를 포설하였으며, 제초 처리는 식재 후 1개월 간격으로 수목 주변의 잡초를 제거하였다.

## 2. 비파괴적 광화학 반응 분석

엽록소 형광반응(OJIP) 분석은 Leaf Clip을 이용하여 30분 간 암처리 후 Fluorepen(FP 100, PS I)을 이용하여 각각 9 반 복 측정하였으며, 측정된 데이터는 Stirbet and Govindjee (2011)의 방법에 의해 분석하였다(Table 1 참조).

광화학 반응 분석은 OJIP 분석과 동일한 잎을 대상으로 Photochemical Reflectance Index(PRI) 및 SPAD를 측정하였다. Flantpen(FRI 200, PS I)을 이용하여 측정 후의 방법에 의 해 분석하였고, 엽색도(Chlorophyll meter)는 SPAD 502(MINOLTA)를 이용해 측정하였다. 통계분석 통계분석은 SAS 프로그램 (9.02 version)을 이용해 *t*-test 및 ANOVA 분석을 하였다.

## III. 연구결과

### 1. 기상자료 분석 및 토양수분함량 측정

안성 지역 기상자료 분석을 통한 재배환경조건 변화를 모니 터링한 결과, 2014년 7월과 8월의 누적강수량은 557mm로 고 온, 장마철에 강수량이 집중되었으며, 광화학 분석 측정 당시의 식재 처리별 토양 용적 수분함량은 노지 멀칭 처리구에서 29.1%로 가장 높았고, 컨테이너 제조 처리구와 컨테이너 멀칭 처 리구에서 각각 18.5%와 19.5%로 측정되었다.

Table 2. Volumetric soil water content

	a	b	c
Soil water content(%)	18.5	29.1	19.5

a: Container weeding, b: Outdoor Mulching, c: Container mulching

### 2. 엽록소 형광반응 OJIP 분석

#### 1) 식재 처리별 엽록소 형광반응(OJIP) 비교

여름철 강우 지속기간 중 두 시기에 걸쳐(7월 22일, 8월 13일) 엽록소 형광반응(OJIP) 분석을 측정하였으며, 7월 22일의 O-J 및 J-I 전이는 컨테이너 멀칭 처리구에서 가장 높았고, 컨테이 너 제조 처리구와 노지 멀칭 처리구 순으로 낮아졌다(Figure 1a 참조). 반면, 최대 형광량(P)은 컨테이너 제조 처리구에서 가장 높게 나타났다. 8월 13일의 엽록소 형광반응 결과는 7월 22일 측정결과와 같은 경향을 보였으나, O-J 전이 과정 중 노지 멀칭 처리구에서 증가하는 것으로 나타났다(Figure 1b 참조).

식물은 스트레스 조건에서 엽록소 형광 유도 과정 중 200~300 $\mu$ s의 매우 빠른 초기 광화학 반응인 K-step이 나타난다고 보고가 되었으며, K-step을 보통 O-J 전이단계에서의 숨겨진 형광반응이라고 알려져 왔다(Prakash *et al.*, 2003; Strasser *et*

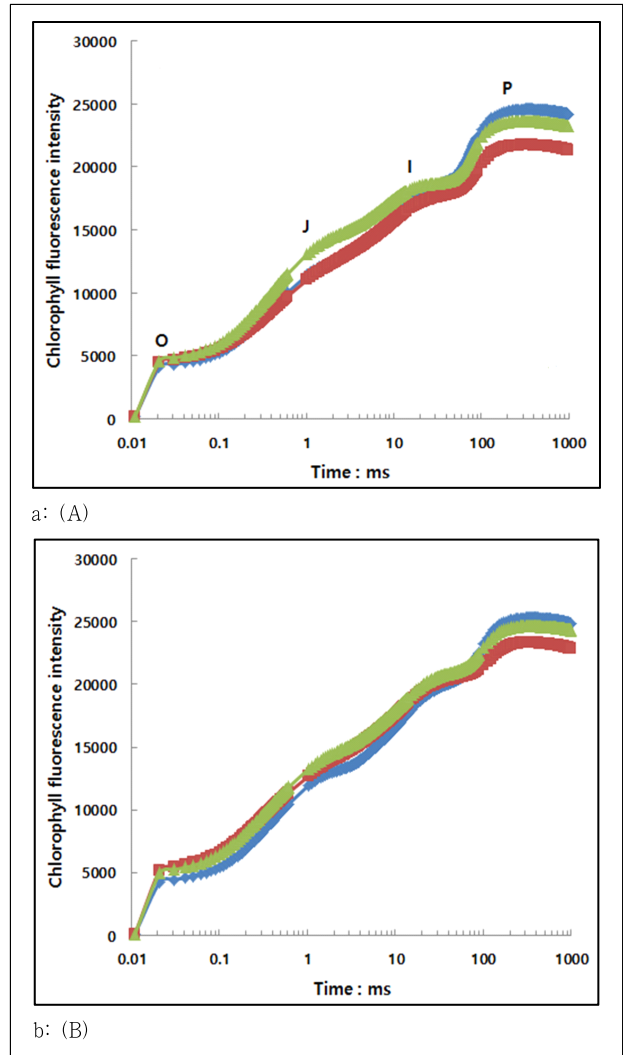


Figure 1. Chlorophyll a fluorescence transient(OJIP) of *Sorbus alnifolia* ; (A) 22. Jul. 2014. (B) 13. Aug. 2014. (a: Container weeding, b: Mulching, c: Container mulching)

Legend: — a — b — c

*al.*, 2004; Stribet and Govindjee, 2011). 따라서 본 연구의 노 지 제조 처리구의 팔배나무가 스트레스로 인한 O-J 전이 과정 중 형광량 증가가 일어났다고 생각되었다. 또한, 여름철 강우 지속기간 중 식재 처리별 7월 22일 대비 8월 13일의 엽록소 형광반응(OJIP) 비교 분석 결과, 모든 처리구의 각 전이(O-J-I-P) 단계에서 감소했다.

#### 2) 식재 처리별 형광 매개변수 분석(J-I-P test)

##### (1) 식재 처리별 및 시기별 Energy Flux 비교

7월 22일의 광화학 Energy flux는 컨테이너 제조 처리구에서 가장 높았고, 노지 멀칭 처리구에서 가장 낮았다(Figure 2a,

b 참조). 특히, 광계Ⅱ 반응중심당(RC) 옆에 의한 에너지 손실(DI<sub>o</sub>/RC)의 경우 컨테이너 멀칭 처리구가 가장 높았고, 컨테이너 제초 처리구에서 낮은 것으로 나타나 광화학 반응 효율이 높은 것으로 확인되었다.

광계Ⅰ 전자수용체까지의 전자전달 Energy flux 또한 컨테이너 제초 처리구에서 가장 높았다. 8월 13일 광화학 Energy flux 또한 컨테이너 제초 처리구에서 가장 높았고, 노지 멀칭 처리구에서 가장 낮았다(Figure 2c, d 참조). 컨테이너 제초 처리구는 활성화된 반응중심(RC/ABS)의 감소와 관련해 반응중심당 흡수하는 광자(ABS/RC)가 증가했고, 옆에 의한 방출량(DI<sub>o</sub>/RC, DI<sub>o</sub>/CS) 증가로 인한 에너지 손실 등으로 인해 결국 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅡ RC의 전자전달 효율(ET2<sub>o</sub>/RC) 및 PSⅠ 전자수용체까지의 전자전달 효율(RE1<sub>o</sub>/RC, RE1<sub>o</sub>/CS)이 감소했다. Cross section(CS)은 최대 형광량을 기반으로 한 단면당 Energy flux를 의미하며, 총 광화학 에너지 플럭스를 나타내는 지표이다. 노지 멀칭 처리구는 컨테이너 제초 처리구와 비슷한 경향을 보였으나, 활성화된 RC(RC/ABS)가 크게 감소하며, 옆에 의한 에너지 방출량 즉, DI<sub>o</sub>/RC와 DI<sub>o</sub>/CS가 각각 28.8%, 18.5% 증가해 결국 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅠ 전자수용체까지의 전자전달 효율인 RE1<sub>o</sub>/RC, RE1<sub>o</sub>/CS가 20% 이상 크게 감소했다. 본 연구의 노지 멀칭 처리구의 RC/ABS가 낮은 것은 비활성화된 RC가 더 크다는 것을 의미하는 것으로 Zushi *et al.*(2012)의 결과와 같이 비활성화된 RC

가 증가할 때 DI<sub>o</sub>/RC 또한 증가한다고 보고되었다. 컨테이너 멀칭 처리구 또한 다른 처리구와 비슷한 경향을 보였으며, 광자의 광화학 반응을 통한 PSⅡ RC의 전자전달 효율(ET2<sub>o</sub>/RC, ET2<sub>o</sub>/CS)에서 증가 경향을 보였다. 광계Ⅱ에서의 전자전달 Energy flux(QA→QA<sup>-</sup>)는 비교적 원활히 유지되었으나, PSⅠ 전자수용체까지의 전자전달 시 효율이 감소하여 RE1<sub>o</sub>/RC, RE1<sub>o</sub>/CS가 감소한 결과를 보였다. JIP-test 결과, 모든 처리구에서 광합성 과정 중 전자 전달로 인한 환원된 광계Ⅱ 반응중심(RC/ABS)의 감소로 인한 광합성 효율 감소로 나타났다. 따라서 처리구의 식물 모두 지속된 경우에 의한 식물의 광합성 능력이 감소하며, 과습에 의한 피해가 예상되었다.

(2) 식물 건전성 평가

식물의 건전성을 나타내는  $PI_{ABS}$ 는 광계Ⅱ내에 흡수된 광자의 전자수용체 환원 정도를 알 수 있고  $PI_{TOTAL\ ABS}$ 는 PSⅠ의 최종 전자수용체의 환원 정도를 나타내는 지표(Stirbet and Govindjee, 2011)로서 모든 처리구에서 8월 13일 감소 경향을 보였다(Table 3 참조). 8월 13일 식물의 건전성 평가 결과, 노지 멀칭 처리구에서 가장 크게 감소했고,  $PI_{ABS}$ ,  $PI_{TOTAL\ ABS}$  및  $DF_{TOTAL\ ABS}$  각각 1.56, 0.86, -0.13으로 나타났다. 이는 계속된 경우에 수분 스트레스를 받아 식물의 에너지 효율이 크게 감소한 것으로 생각되었다. 엽색도(SPAD)는 컨테이너 제초 처리구에서 24% 증가하여 가장 높은 수치(41.3)를 보였다(Figure 3 참조). 따라서, 컨테이너 재배 시 식물의 건전성 및 광이용 효율이 더 높아 생육에 유리할 것으로 생각되었다.

Table 3. Difference of photochemical response on different cultivation for *Sorbus alnifolia*

	$F_v/F_m$	$PI_{ABS}$	$PI_{TOTAL\ ABS}$	$DF_{TOTAL\ ABS}$
A	0.82a*	3.45a	3.26a	0.50a
B	0.77b	2.02b	1.46b	0.06b
C	0.79b	2.05b	1.87b	0.21ab

\* Means with the same letter are not significantly different (LSD,  $P < 0.05$ ).

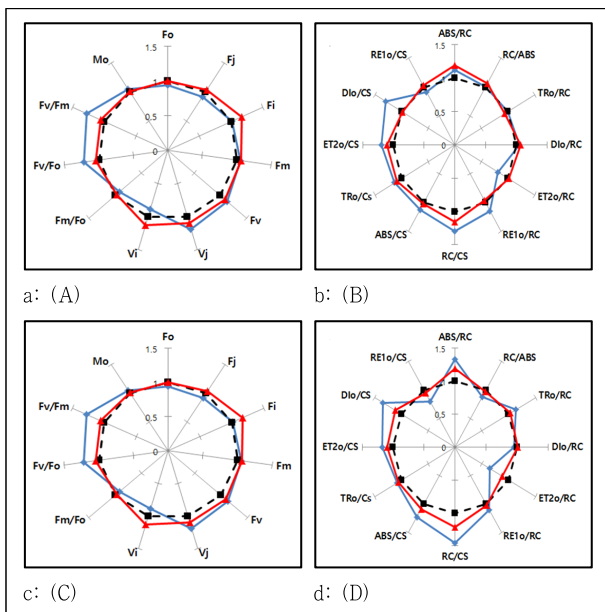


Figure 2. Polar plot of QJIP parameters deduced from chlorophyll a fluorescence transient curves in *Sorbus alnifolia* leaves on the basis of mulching(b); (A), (B): 22. Jul. (C), (D): 13. Aug. (a): Container weeding, b: Mulching, c: Container mulching)

Legend: —○— a —■— b —▲— c

IV. 결과

본 연구는 가로 수목이 조기 활착으로 도로로부터 발생하는 탄소를 효과적으로 저감할 수 있는 방안을 모색하고자 컨테이너(용기) 수목의 이식의 효율성을 검증하였다. 컨테이너에서 재배된 수목은 이식 활착성을 높이고, 부적기 이식 제한을 극복할 수 있어 도로와 같은 변형된 토양환경에 적합하다. 가로 수로서 가치가 높은 팔배나무를 대상으로 컨테이너에서 재배된 수목과 노지에서 재배된 수목을 각기 멀칭 및 제초처리하여 수목의 건전도를 비교하였다. 연구의 방법으로서 엽록소 형광

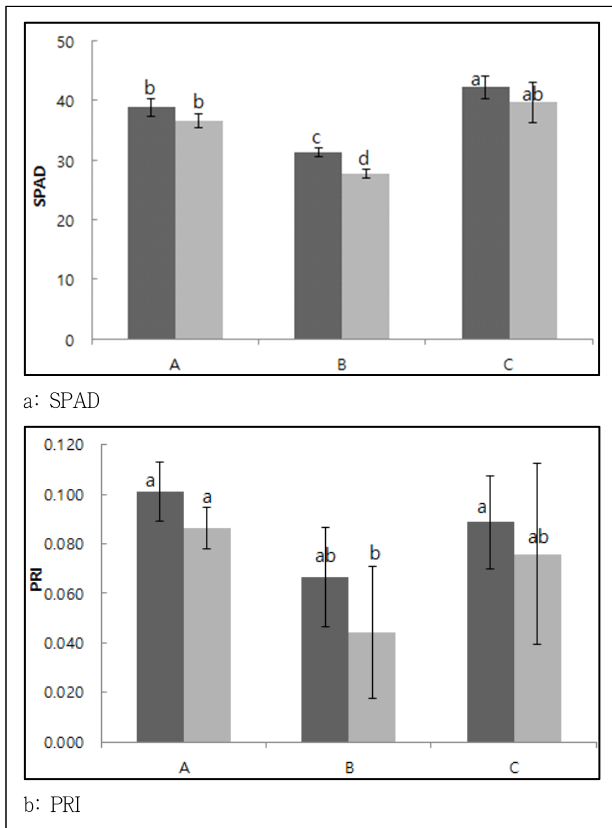


Figure 3. The change in SPAD and PRI at 22 Jul and 13 Aug.  
Legend: ■ 22. Jul. ■ 13. Aug.

반응 분석을 이용한 팔배나무의 식재 방법별 광화학 반응 해석 및 건전성 평가를 위해 수행되었다. 팔배나무의 식재 방법은 노지 멀칭, 컨테이너 재초 및 컨테이너 멀칭 재배로 구분하여 재배하였다. 식재 방법별 엽록소 형광 반응(OJIP)를 분석한 결과, 노지 멀칭 팔배나무에서 최대 형광량(P)이 가장 낮았으며, O-J 전이 과정 중 형광량이 증가하며, 광계 II 전자전달 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 광계 II에서 광계 I까지의 전자전달 에너지 플럭스(REI<sub>0</sub>/RC, REI<sub>0</sub>/CS) 또한, 노지 멀칭 재배에서 20% 이상 감소하였다.

이와 같은 연구 결과는 도로와 같이 성토 및 절토로 인하여 수목 성장 여건이 불리한 상황에서 수목의 이식 후 조기 활착을 유도하기 위하여 컨테이너에서 재배된 수목이 노지에서 재배된 수목보다 활착이 빠르고 수목 건전도가 높은 것으로 평가할 수 있다. 또한 식재 방법도 식재 후 재초에 의한 방법보다 멀칭 처리한 수목이 건전도가 높은 것으로 판단되었다. 도로와 같이 지속적으로 식재 후 관리가 어려운 여건에서는 주기적인 재초 처리보다는 이식 초기에 멀칭 처리함이 관리의 용이성을 도모하며, 수목 건전도를 높일 수 있다.

본 연구의 한계점은 수목의 건전도를 엽록소형광분석을 통한 단일 검증을 실시하여 수목의 활착 및 건전도의 종합적 고

찰에 의한 평가가 이루어지지 못하였다. 향후의 연구는 수목 활착도 측정, 탄소저장량 측정 등의 수목의 건전도를 평가하여 이식 후 활착 및 건전도에 대한 종합적 연구가 필요하다.

### References

- Calatayud, A., D. Roca, and P. F. Marinéz(2006) Spatial-temporal variations in rose leaves under water stress conditions studied by chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology and Biochemistry* 44(10): 564-573.
- Delosme, R.(1967) Etude de l'induction de fluorescence des algues vertes et des chloroplastes au debut d'une illumination intense. *Biochim. Biophys. Acta.* 143: 108-128.
- Gorbe, E. and A. Calatayud(2012) Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticulture research: A review. *Sci. Hort.* 138: 24-35.
- Govindgee, K.(1995) Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a fluorescence. *Aust. Journal of Plant Physiol.* 22: 131-160.
- Han, J. S.(2008) A Study on Planting Management Method for Enlargement and Quantity of CO<sub>2</sub> Uptake by Tree in the Landfill Site of Metropolitan Area, Korea. Master Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Hwang, J. W.(2012) A Study on the Effectiveness of Carbon Dioxide Sequestration of Urban Park: The Case Study of Seoul Forest Park. Master Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea.
- Jo, H. G. and D. H. Cho(1998) Annual CO<sub>2</sub> uptake by urban popular landscape tree species. *Journal of Korean institute of Landscape Architecture* 26(2): 38-53.
- Jo, H. G. and T. W. Ann(2000) Indicators of carbon storage and uptake by tree growth in natural ecosystem. *Korean Journal Academic of Environment and Ecology* 14(3): 175-182.
- Jo, H. G. and T. W. Ann(2012) Carbon storage and uptake by deciduous tree species for urban landscape. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 40(5): 160-168.
- Jo, H. G., J. Y. Kim, and H. M. Park(2013) Carbon storage and uptake by evergreen trees for urban landscape - For *Pinus densiflora* and *Pinus koraiensis* -. *Korean Journal of Environment and Ecology* 27(5): 571-578.
- Jo, H. G.(1999) Carbon uptake and emission in urban landscape and role of urban greenspace for several cities in Kangwon province. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 15(1): 49-53.
- Kautsky, A. and A. Hirsh(1931) Neue Versuche zur Kohlensaureassimilation. *Naturwissenschaften*, 19: 964.
- KFRI.(2007) Guideline of Research and Analysis on Forest Biomass.
- Kim, C.(2011) Research on Carbon Sequestration of Urban Park : In the Case of Nady Park in Pangyo. Master Dissertation, Gachon University, Seongnam, Korea.
- Kim, T. J. and H. B. Kim(2001) An evaluation on the growth of *Magnolia denudata* and *Albissia julibrissin* produced in containers. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture* 29(5): 92-100.
- SD Institute(2010) A Study on Ensuring Carbon Reservoir and Reducing Carbon Emissions Plan, Seoul Development Institute.
- Korean Forest Service: KFS.(2004) Planting and Management of Street Tree. Research Report to Korean Forest Service, pp 95-97.
- Lee, K. J.(1996) Street tree analysis and maintenance - Focused on Seoul Metro Coty and Inchon -. *Urban Issues* 31(331): 75-78.
- Lee, J. B., K. K. Shim, E. R. Noh, and Y. M. Ha(1998) A study of ecological and growth characteristics of Korean mountain ash (*Sorbus*

- alnifolia*) for landscape woody plants. Journal of Korean Institute of Landscape Architecture 26(2): 229-239.
20. Lee, K. C. and D. P. Kim(1992) Frontier Techniques of Resegregation. Kimum Publ. Korea.
  21. Lee, M. K.(2013) A Comparative Study on the State of Growth Compliance with Condition for Continuous Soil Trench Plating of Urban Street Trees. Master Dissertation, Hankyong National University, Anseong, Korea.
  22. Lee, S. E., S. Y. Yoo., D. Y. Kim., T. S. Ko., Y. S. Ok, and T. W. Kim. 2014. Proteomic evaluation of the response of soybean (*Glycine max* var. *seoritae*) leaves to UV-B. Plant Omics Journal 7(3): 123-132.
  23. Morin, P.(1964) Etudes des cinetiques de fluorescence de la chlorophylle *in vivo*, dans les premiers instants qui suivent le debut de l'illumination. J. Chem. Phys. 61: 674-680.
  24. Park, H. S.(2001) Overlook of mountain ash (*Sorbus alnifolia*) for landscape woody plants. Landscape Tree 64(9): 24-26.
  25. Prakash, J. S. S., A. Srivastava, R. J. Strasser, and P. Mohanty(2003) Senescence-induced alterations in the photosystem II functions of *Cucumis sativus* cotyledons: probing of senescence driven alterations of photosystem II by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transients. Ind. J. Biochem. Biophys. 40: 160-168.
  26. Srivastava, A., H. Greppin, and R. J. Strasser(1995.) Effects of high temperature and water stress on the polyphasic chlorophyll a fluorescence transient of potato leaves. In Photosynthesis: From Light to Biosphere. Mathis P (ed.), Kluwer Acad Publ. Dordrecht, 913-916.
  27. Srivastava, A., H. Greppin, and R. J. Strasser(1995) Acclimation of lan plants to diurnal changes in temperature and light in: P. Mathis (Ed.), Photosynthesis : From Light to Biosphere, Kluwer Academic Phblishers, The Netherlands, 4: 909-912.
  28. Strasser, R. J.(1985) Dissipative Strukturen als thermodynamischer Regelkreis des Photosynthese apparates. Ber. Deutsche Bot. Ges. Bd. 98: 53-72.
  29. Strasser, R. J., A. Srivastava, and M. Tsimilli-Michael(2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In Advances in Photosynthesis and Respiration, Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis, Papageorgiou, G., Govindjee. (eds.) Kluwer Acad Publ The Netherlands, 19: 321-362.
  30. Stribet, A. and Govindjee(2011) On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II : Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. Journal of Photochemistry and Phobiology B: Biology 104: 236-257.
  31. Yoo, S. Y., Y. H. Lee, S. H. Park, K. M. Choi, J. Y. Park, A. R. Kim, S. M. Hwang, M. J. Lee, T. S. Ko, and T. W. Kim(2013) Photochemical response analysis on drought stress for red pepper (*Capsium-annuum* L.). Korean J. of Soil Science and Fertilizer 46(6): 659-664.
  32. Youn, I. J.(2010) A Study on Improvement of Street Tree Maintenance in Sedaemooon-gu. Master Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea.
  33. Zushi, K., S. Kajiwara, and N. Matsuzoe(2012) Chlorophyll  $\alpha$  fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. Scientia Horticulture 148: 39-46.

---

Received : 14 January, 2015

Revised : 10 February, 2015 (1st)

Accepted : 10 February, 2015

3인익명 심사필