

## 배 재배지 단위의 탄소 배출량 및 흡수량 평가 연구

서상욱\* · 최은정 · 정현철 · 이종식 · 김건엽 · 소규호 · 이재석<sup>1</sup>

국립농업과학원 기후변화생태과, <sup>1</sup>건국대학교 생명과학과

### Study on Evaluation of Carbon Emission and Sequestration in Pear Orchard

Sanguk Suh\*, Eunjung Choi, Hyuncheol Jeong, Jongsik Lee, Gunyeob Kim,  
Kyuho Sho and Jaeseok Lee<sup>1</sup>

*Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences,  
Wanju 55365, Republic of Korea*

<sup>1</sup>*College of Bioscience and Biotechnology, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea*

**Abstract - Objective of this study was to evaluate the carbon budget on 40 years old pear orchard at Naju. For carbon budget assessment, we measured the soil respiration, net ecosystem productivity of herbs, pear biomass and net ecosystem exchange. In 2015, pear orchard released about 25.6 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> by soil respiration. And 27.9 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> was sequestered by biomass growth. Also about 12.6 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> was stored at pruning branches and about 5.2 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> for photosynthesis of herbs. As a result, 25.6 ton of CO<sub>2</sub> per ha is annually released to atmosphere. At the same time about 45.7 ton of CO<sub>2</sub> was sequestered from atmosphere. When it sum up the amount of CO<sub>2</sub> release and sequestration, approximately 20.1 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> was sequestered by pear orchard in 2015, and it showed no significant differences with net ecosystem exchanges (17.8 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) by eddy covariance method with the same period. Continuous research using various techniques will help the understanding of CO<sub>2</sub> dynamics in agroecosystem and it can be able to present a new methodology for assessment of carbon budget in woody crop field. Futhermore, it is expected that the this study can be used as the basic data to be recognized as a carbon sink.**

**Key words :** soil respiration, net ecosystem productivity, pear orchard, eddy covariance

## 서 론

산업혁명에 따른 화석연료의 사용 급증과 삼림 벌채, 농경지 용도 변환 등과 같은 인간 활동에 의해 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도는 급격히 증가하기 시작하였으며, 최근 10년간 전 지구적

온실가스 농도는 약 35% 증가하였다(IPCC 2007). 이러한 대기 중 온실가스의 증가는 지구 복사를 지표면으로 재반사하여 지표와 대기를 가열시켜 전 지구적 탄소순환의 비가역적인 변화와 기후변화를 초래하여 이상기후 현상을 유발하고 있다(Rosenzweig and Hillel 1998). 전 지구적 탄소순환의 메커니즘과 양적 순환관계 파악과 예측을 위해서는 토양권 탄소의 동태 파악이 매우 중요한 역할을 하며(Raich and Schlesinger 1992; Bond-lamberty *et al.* 2004), 이와 더불어

\* Corresponding author: Sanguk Suh, Tel. 063-238-2487,  
Fax. 063-238-3823, E-mail. sanguk07@gmail.com

IPCC 보고서의 산정대상인 산림, 초지, 습지, 농경지와 같은 다양한 육상생태계의 식생과 대기 간에 교환되는 CO<sub>2</sub> 플럭스를 정량화하는 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다(Baldocchi *et al.* 2001; Baldocchi 2008).

육상생태계 중 산림의 경우 한국 주요 수종별 탄소배출계수 및 바이오매스 상대생장식이 개발되어 사용되고 있는 반면, 농업생태계는 인위적인 간섭과 더불어 구성 요인들 간의 복잡한 상호관계때문에 탄소 흡수원으로서 인정을 받지 못하고 있는 실정이다. 그러나 농업생태계에 있어 토양과 작물은 토양호흡과 작물의 생장을 통해 상당량의 탄소를 저장 또는 배출하고 있다(Schlesinger 2000). 작물 군락의 CO<sub>2</sub> 플럭스는 크게 식생의 광합성과 토양호흡에 의해 결정된다(IACGEC 1996). 또한 2006년 농업분야의 온실가스 배출권 측정에 대한 새로운 지침이 국가 간 기후변화 협의체인 IPCC에 의해 제시되면서 농업부문 탄소 흡수원에 대한 평가 연구가 활발히 진행되고 있다. IPCC (2006) 농업분야 온실가스 배출권 측정에 대한 새로운 지침에서는 일년생 작물은 인정하지 않으나 영년생 목본류에 의한 탄소의 흡수는 인정하고 있다. 그러나 국내 농업분야에서는 아직까지 농작물에 저장되는 탄소량과 비료처리에 따른 토양 탄소 흡수와 배출권에 관한 연구가 체계적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다(Ro *et al.* 2015).

2012년 통계에 따르면 국내 과수 중 배 재배면적은 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다(KOSIS 2010). 이에 농작물에 의한 온실가스 흡수효과를 고려할 경우 영년생 과수의 중요성은 더 높게 나타날 것으로 보인다(Lee *et al.* 2013).

이에 본 연구에서는 전남 나주 배 재배지를 대상으로 토양과 대기와 탄소수지를 평가하고, IPCC 2006 가이드라인에 준하여 배나무 수체의 바이오매스를 측정하여 농업생태계의 탄소 흡수원으로서의 가능성을 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

토양호흡 측정 및 생태계순교환량 측정을 위한 실험 대상 농가는 전라남도 나주시 봉황면 옥곡리(위도 34°57'11.59", 경도 126°45'05.30")에 위치하고 있으며 고도는 28 m이다. 면적은 약 1.2 ha이며 평균 수고 3~4 m인 40년생 신고배(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Nitaka)가 6.0×4.0 m 간격으로, 평균 임분밀도는 약 716 tree ha<sup>-1</sup>이다. 임상 하부에 자생하는 초본류는 11종(7과 9속 10종 1변종)이 생육하고 있었으며, 11종류의 식물 중 45.5%가 동계일년생초이었다(Suh *et al.* 2015).

배나무 바이오매스 측정은 2015년 9월 전라남도 나주시 금천면 고동리에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 배 시험장 재배포장(위도 35°01'27.70", 경도 126°44'53.50", 고도 6 m)에서 평균 수고 3.5 m인 20년생 추황배(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Chuwhangbae)와 감천배(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Gamcheonbae) 각각 2그루와 2016년 4월 전라남도 나주시 봉황면 옥곡리(위도 34°57'11.59", 경도 126°45'05.30")에 위치한 배 농가에서 평균 수고 4 m인 30년생 황금배(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Whangkeumba) 4그루를 이용하여 실시하였다. 시비처리 및 관수관리 등의 일반적인 관리는 농촌진흥청 배나무 표준재배법에 준하였다(RDA 2000). 시험대상지의 토성은 옥곡리 농가와 배 시험장 모두 실트질 식토(silty clay)이며, 밭 토양의 총 탄소 함량은 각각 18.55 g kg<sup>-1</sup>과 52.37 g kg<sup>-1</sup>이었다. 옥곡리 농가의 경우 우리나라 배 재배지적 평균인 20~30 g kg<sup>-1</sup>(NIHHS 2001)에 근사한 값이었으나 배 시험장의 경우 약 2배 가량 높은 수치이었다. 이는 배 시험장에서 실시된 다양한 실험처리에 따른 결과라고 생각된다.

나주 인근 2015년 연평균 기온은 13.4°C이며, 연강수량은 1,067.0 mm이었다. 대기 중의 온·습도센서(HMP155A, Vaisala, Helsinki, Finland)와 강우량센서(TE525MM, Campbell Scientific, Logan, UT), 지온측정센서(108, Campbell Scientific, Logan, UT) 및 토양수분센서(CS616, Campbell Scientific, Logan, UT)는 10 m 타워와 인근에 설치하여 측정하였으며 10분 단위로 측정치를 데이터로거(CR1000, Campbell Scientific, Logan, UT)에 기록하였다(Suh *et al.* 2015).

### 2. 배 재배지 탄소 배출원

#### 1) 토양호흡(Soil Respiration: $F_{RS}$ )

토양호흡은 휴대용 이산화탄소 측정기(GMP343; Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 총 18개 지점을 대상으로 2015년 2월부터 2주 간격으로 2015년 12월까지 측정하였다. 2월부터 7월 데이터는 Suh *et al.* (2015)의 데이터를 참고하였다. 측정 지점에는 직경 10 cm, 높이 20 cm의 아크릴 재질 collar를 매설하였고, 측정 시에는 collar를 덮어 GMP343을 고정시킬 수 있는 직경 10 cm, 높이 30 cm의 윗덮개를 제작하여 사용하였다. Collar 설치로 인한 토양 간섭이 안정화되는 시기를 고려하여 3주 후부터 토양호흡 측정을 실시하였으며, 측정은 일평균 기온을 대표할 수 있는 10시와 16시를 기준으로 하여 각각 전후 1시간씩 진행하였다. 밀폐법(Closed Dynamic Chamber method)으로 토양호흡량을 측정 후 단위시간당 단위면적에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 양으로 환산하였다(Bekku *et al.* 1995).

$$\text{Soil respiration } (F_{RS}) = A \times C \times \rho \times V / S \quad \text{식(1)}$$

A: 변환상수

C: 단위시간 농도 증가율(ppm min<sup>-1</sup>)

$\rho$ : CO<sub>2</sub> 밀도(mg m<sup>-3</sup>)

V: 챔버의 부피(m<sup>3</sup>)

S: 챔버가 덮고 있는 토양의 단면적(m<sup>2</sup>)

Unit: mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>

### 3. 배 재배지 탄소 흡수원

#### 1) 배 과수의 바이오매스

영년생 과수는 산림 수목의 곧은 수형과는 다르게 평균 2~4 m를 초과하지 않는 수고와 접붙이기 등에 의해 상대적으로 복잡한 수형을 가지고 있어 바이오매스 측정 방법 및 상대생장식 개발 방법에 대한 논의는 충분히 이루어지지 않은 실정이다. 그러나 IPCC (2006)에서 영년생 목본류 작물의 탄소 흡수를 인정하면서 과수에 대한 바이오매스 측정의 필요성이 대두되고 있다. 이에 산림에 적용하는 바이오매스 조사 방법을 기본으로 하여 배나무의 바이오매스를 측정하였다. 잎은 엽병을 포함하여 채취한 후 생중량을 측정하였으며, 가지는 1년부터 7~8년까지 구분하여 채취하고 각각 생중량을 측정하였다. 과수의 경우 생육 특성을 고려하여 전정 및 접붙이기 등이 이루어지기 때문에 복잡한 수형을 가지게 된다. 이로 인해 2년지부터 8년지까지의 구분된 가지의 생체량은 상대생장식 추정에만 사용하였고, 전체 바이오매스 계산 시에는 가지의 총합을 사용하였다. 줄기는 분지별로 구분하여 측정이 용이하도록 원통형으로 절단하여 생중량과 길이, 직경 등을 측정하였다. 뿌리는 잎과 가지, 줄기의 채취가 끝난 후 굴삭기를 이용하여 약 1 m 가량 파서 뿌리의 손실을 최소화하며 수집하여 생중량을 측정하였다.

채취한 배나무 각 부분은 80°C 건조기에서 향량이 될 때까지 3주간 건조시킨 후 각각의 건조량을 측정하였다.

#### 2) 전정가지

배나무의 전정은 일반적으로 12월에서 이듬해 2월 사이에 이루어진다. 본 연구사이트의 경우 2015년 2월 전정이 이루어졌다. 전정 후 3그루의 배나무 밑에 떨어진 전정가지를 전량 수거하여 생중량을 측정 후, 80°C 건조기에서 향량이 될 때까지 3주간 건조하였다. 건조된 전정가지는 건조량을 측정하였다.

#### 3) 과실 및 낙엽

과실의 경우 가장 높은 생체중을 보인 반면 탄소 함량은 5.7% 미만으로 적으며, 수확 후 배 재배지에서 이탈되어 탄소의 추적이 복잡한 관계로 본 연구에서는 바이오매스량 산

정 시 제외하였다. 또한 배나무의 잎도 대기 중 CO<sub>2</sub>를 흡수하여 광합성에 의한 생성물로 탄소의 흡수원으로 작용하지만 대부분 적과 이후부터 낙엽이 되어 임관 하상에 떨어지고 분해에 의해 다시 대기 중으로 CO<sub>2</sub>를 배출하는 탄소 배출원으로 작용하고 있으며 배나무에서 차지하는 탄소 함량도 1.4%로 매우 적었다. 이에 탄소의 흡수원과 배출원으로 동시에 작용하는 잎도 배 재배지 탄소수지 산정에서 제외하였다.

#### 4) 초본류 생태계순생산량(F<sub>h</sub>)

초본류 생태계순생산량(Net Ecosystem Productivity of Herb: F<sub>h</sub>)은 토양호흡 측정용 collar 옆에 설치한 동일 규격의 collar를 이용하여 2015년 2월부터 12월까지 토양호흡 측정기간과 동일 기간 동안 동일한 방법으로 측정하였다. 2월부터 7월 데이터는 Suh *et al.* (2015)의 데이터를 참고하였다. 토양호흡 측정용 collar는 주기적으로 collar 내부 초본류를 제거한 반면 F<sub>h</sub> 측정용 collar 내부는 자연 상태로 보전하였다. 이와 같은 방법으로 측정된 F<sub>h</sub>는 초본류의 광합성과 호흡량을 합산한 값으로, 양의 F<sub>h</sub> 값은 대기로 배출되는 CO<sub>2</sub> 양을 의미하며 음의 값은 대기로부터 초본류에 의해 흡수되어진 CO<sub>2</sub>의 양을 의미한다.

### 4. 배 재배지 생태계순교환량(F<sub>N</sub>)

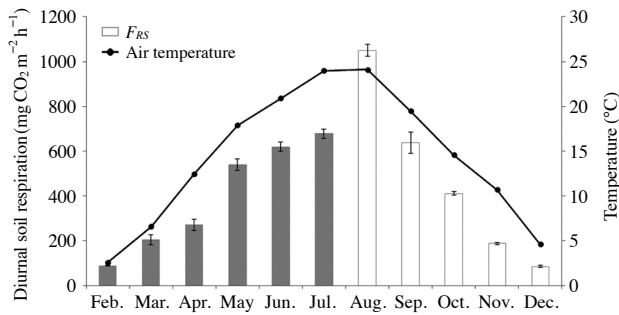
배 재배지 생태계순교환량(Net Ecosystem Exchange: F<sub>N</sub>)은 대기와 배 재배지 간의 CO<sub>2</sub> 교환량을 의미하며, 이는 측정 사이트 인근 풍향 및 풍속을 고려하여 설치된 10 m 타워의 6 m 높이에 개방형 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 적외선가스분석기(LI-7500, LI-COR Biosciences Inc., USA)와 3차원 초음파풍속계(CSAT3, Campbell Scientific Inc., USA)를 이용하여 2015년 1월부터 초당 10회 측정된 풍속 데이터와 CO<sub>2</sub> 농도의 30분 평균에 대한 편차를 공분산하였고, EddyPro 6.1.0 프로그램(LI-COR Biosciences Inc., USA)을 이용하여 CO<sub>2</sub> 플럭스를 계산하였다. 2월부터 7월 데이터는 Suh *et al.* (2015)의 데이터를 참고하였다. 양의 CO<sub>2</sub> 플럭스 값은 배 재배지로부터 대기로 배출되는 CO<sub>2</sub> 양을, 그리고 음의 CO<sub>2</sub> 플럭스 값은 대기로부터 배 재배지로 흡수되는 CO<sub>2</sub> 양을 의미한다.

## 결과 및 고찰

### 1. 배 재배지 탄소 배출원

#### 1) 토양호흡

2015년 2월부터 12월까지 측정된 토양호흡량은 Fig. 1과 같다. 이는 각 측정 월에 측정된 토양호흡값을 평균하여 측



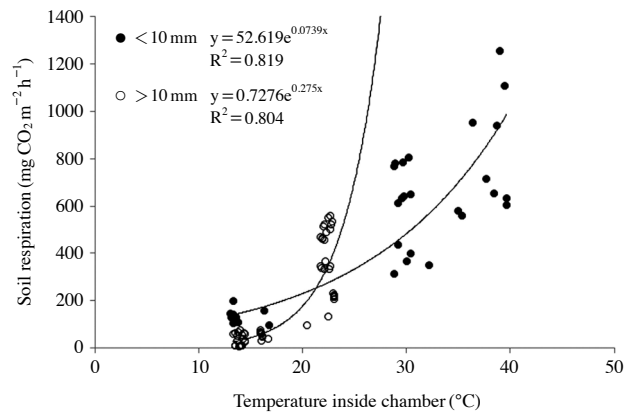
**Fig. 1.** Daily soil respiration from Feb. to Dec. in 2015. Arrow bar means standard deviation. Filled with gray color means data cited from Suh *et al.* (2015).

정 월을 대표하는 시간당 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정한 값이다. 그러나 맑은 날에 측정된 값만으로 측정 월의 대푯값으로 사용하는 경우 장마 등과 같은 강우 이벤트에 따른 토양호흡 배출 양상을 충분히 반영하지 못하며 과대평가되는 경향이 있다 (Suh *et al.* 2014).

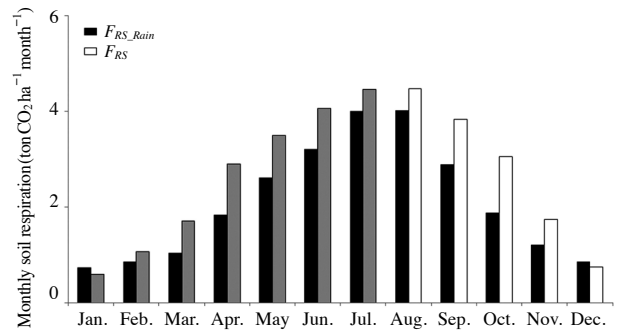
이러한 단점을 보완하기 위하여 10 mm 이하의 강우가 발생한 날과 10 mm 이상의 강우가 발생한 날을 구분하여 회귀 분석을 하였으며 (Fig. 2), 맑은 날은 각 측정 월별로 회귀식을 작성하였다.

온도에 대한 토양호흡의 민감도를 나타내는 Q<sub>10</sub> 값의 10 mm 이하 강우 조건에서는 2.1의 민감도를 보였다. Jung *et al.* (2014)은 울진 소나무림에서 2.9, Heo *et al.* (2014)은 광릉 활엽수림에서 3.2, 태화산 잣나무림에서 3.6, 그리고 Lee *et al.* (2009)은 사과 과수원에서 2.0의 Q<sub>10</sub> 값을 보고한 바 있다. 나주 배 재배농가의 Q<sub>10</sub> 값은 산림과 비교하면 다소 덜 민감한 것으로 보였지만 사과 과수원과 유사한 값을 보였다. 그러나 10 mm 이상의 강우 조건에서는 Q<sub>10</sub> 값이 15.6으로 매우 높은 값을 보였다. 이는 야외 실험 결과에 따라 강우 강도의 범위를 인위적으로 구분하다 보니 보다 세밀한 강우 강도 범위를 나누지 못한 결과라 생각된다. 이는 추후 실내 실험을 통해 세분화된 강우 강도에 따른 토양호흡 배출 특성을 살펴보는 연구가 요구된다.

강우 효과를 반영하여 2015년 월별 토양호흡 배출량을 산정하면 Fig. 3과 같다. 상대적으로 강우량이 적은 1월, 2월과 12월에는 두 방법을 통해 산정된 토양호흡량이 큰 차이를 보이지 않았으나, 3월부터 11월 사이에는 두 산정 방법에 따라 토양호흡량의 차이가 나타났다. 이는 강우가 발생하는 시점부터 강우에 의해 토양의 물리성이 바뀌면서 일시적으로 토양호흡량이 증가한다는 Tamai *et al.* (2008)과 Suh *et al.* (2014)의 보고와, 이와는 반대로 강우가 지속되어 토양공극이 모두 강우로 채워지면 토양호흡량이 감소한다는 Ball *et al.* (1999)과 Ito and Takahashi (1997)의 보고를 고려할 때 강



**Fig. 2.** Regression analysis between daily mean temperature and daily mean soil respiration on rainy days.



**Fig. 3.** Comparison of soil respiration calculated with two regression equations.  $F_{RS\_rain}$  data were calculated by regression equation which reflected rainfall event.  $F_{RS}$  data for sunny days data only. Filled with gray color means data cited from Suh *et al.* (2015).

우 강도 및 지속시간과 밀접한 관계가 있을 것으로 생각된다.

강우 효과를 반영한 회귀식을 이용하여 2015년 나주 배 재배농가에서 산정된 연간 토양호흡량은 25.6 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>이었다. 그러나 맑은 날 측정된 데이터만을 이용하여 회귀식을 작성하고 이를 이용하여 연간 토양호흡량을 산정한 결과는 32.1 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>로 강우 효과를 고려한 토양호흡량보다 약 25.4% 과대평가된 것으로 나타났다.

사과원의 경우 연간 19.6 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>가 토양호흡의 형태로 배출되며 (Lee *et al.* 2009), 고추 경작지는 17.2 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>가 배출되었다 (Lee 2008). 배 재배지를 사과원과 고추 경작지와 비교하면 약 48.8%와 30.6% 더 많은 CO<sub>2</sub>가 토양호흡의 형태로 배출되었다.

## 2. 배 재배지 탄소 흡수원

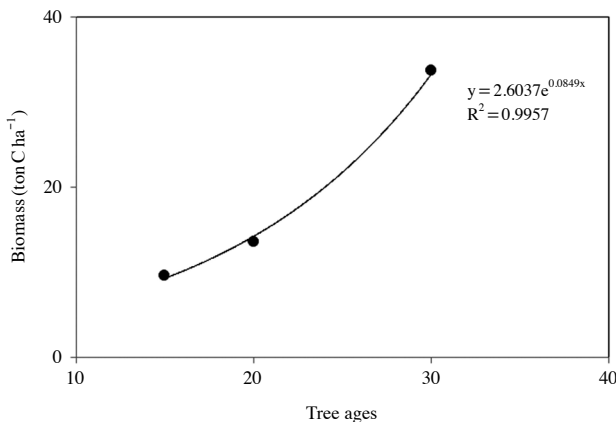
### 1) 배나무 바이오매스( $F_B$ )

산림바이오매스 조사 방법에 따라 굴취법으로 2015년 9월

**Table 1.** Biomass of 20 and 30 years old pear trees (kg tree<sup>-1</sup>)

Tree parts	20 years		30 years	
	Dry mass	Carbon content	Dry mass	Carbon content
Trunk	5.1 ± 1.9*	2.6	5.2 ± 0.2	2.6
Main branches	19.1 ± 3.0	9.6	43.6 ± 13.8	21.8
Lateral branches	8.2 ± 0.4	4.1	23.0 ± 22.9	11.5
Roots	22.3 ± 5.0	11.2	56.2 ± 26.4	28.1
Pruning branches	12.6 ± 0.2	6.3	12.4 ± 0.3	6.2

\*The value are given as mean standard deviation (n = 4 for 20 years old pear trees and n = 3 for 30 years old pear trees)

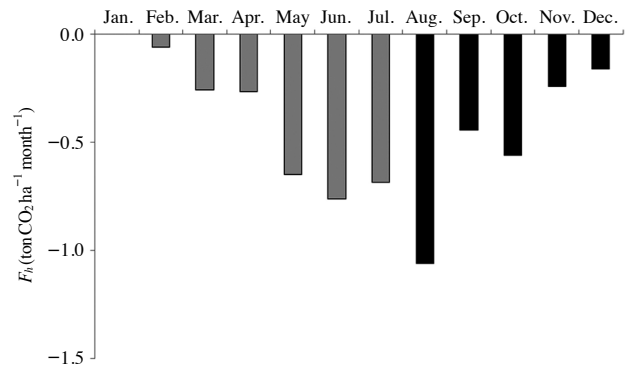
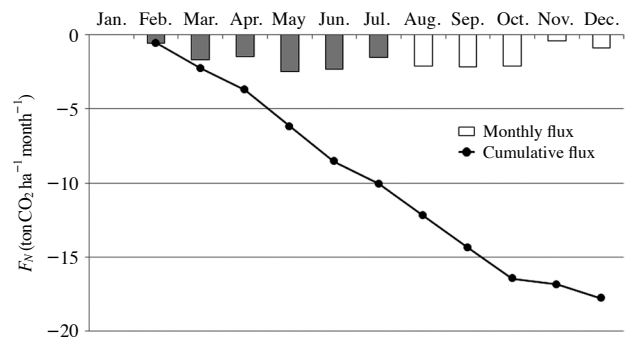
**Fig. 4.** Regression analysis of biomass ( $F_B$ ) and an age-sequence.

에 20년생 배나무 4그루와 2016년 4월에 30년생 배나무 3그루를 대상으로 산정한 바이오매스는 Table 1과 같다. 수령 증가와 더불어 수관이 발달함에 따라 광합성을 할 수 있는 엽면적의 증가와 신초 및 주간부가 동반 성장하여 점차 지상부의 바이오매스가 증가하는 결과를 보였다(Barbara 2000).

건물중의 경우 전정과 같은 측지의 조절, 적과 등에 의한 복합효과(Lee *et al.* 2013)와 더불어 재배 지역의 기상조건 및 배나무 성장조건의 변화 역시 연차별 생체중과 건물중에 영향을 주어(Kozlowski 1964; Wilson 2000), 2년생 측지부터 8년생 측지 사이에는 특정한 경향성이 없다는 보고를 참고하여 2~8년생 측지는 구분하지 않았다.

산림 수목의 경우 DBH(Diameter of breast hight)를 활용하여 상대생장식을 작성하는 반면 영년생 작물의 경우 상대적으로 수형이 복잡하기에 산림에서와 같이 DBH를 활용하는 무리가 있다. 이에 배나무의 전체 바이오매스와 수령 사이의 회귀분석을 통해 상대생장식을 작성하였다. 그리고 20년생과 30년생 배나무 건중량 데이터 이외에 15년생 배나무 건중량 데이터(Lee *et al.* 2013)를 활용하여 배나무 수령과 바이오매스와의 회귀분석을 통해 상대생장식을 작성하였다(Fig. 4).

바이오매스에 포함된 탄소 함량은 IPCC에서 제시하여 국

**Fig. 5.** Net ecosystem productivity of herbs ( $F_h$ ) in 2015. Filled with gray color means data cited from Suh *et al.* (2015).**Fig. 6.** Cumulated Net Ecosystem Exchange ( $F_N$ ) of pear orchard in 2015. Filled with gray color means data cited from Suh *et al.* (2015).

제적으로 통상 이용되는 탄소전환계수 0.5를 이용하여 배나무 건물중의 탄소량을 산정하였다.

회귀식을 통해 나주 배 농가에서 2015년 1년간 배나무가 흡수하여 수체에 저장하는 CO<sub>2</sub>의 양은 (-)27.9 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>이었다.

## 2) 초본류 생태계순생산량( $F_h$ )

Fig. 5는 배 재배지 임상 하부에 자생하는 동계형 일년초의 광합성에 의해 흡수된 CO<sub>2</sub>를 월별로 나타낸 그래프이다.

동계형 일년초의 광합성 작용에 의해 배나무 잎이 없는 11월에서 이듬해 2~3월에도 평균  $(-)$ 0.15  $\text{ton ha}^{-1} \text{month}^{-1}$ 의  $\text{CO}_2$ 를 흡수하는 것으로 나타났다. 초본류의 광합성이 가장 높은 시기는 6~8월로 이 시기에 연간 초본류 광합성에 의한  $\text{CO}_2$  흡수량의 절반에 이르고 있었다. 연간 초본류가 광합성 작용에 의해 흡수한  $\text{CO}_2$ 는 약  $(-)$ 5.2  $\text{ton ha}^{-1}$ 이었다.

### 3. 배 재배지 생태계순교환량( $F_N$ )

에디공분산법을 이용하여 배 재배지의 대기와 작물 및 토양권 간  $\text{CO}_2$  교환량을 측정한 월별 누적 결과는 Fig. 6과 같다. 2015년 2월의 경우 배나무 잎이 다 떨어진 상태에서 동계형 일년초의 광합성 작용에 의해  $\text{CO}_2$ 가 흡수되는 것을 확인할 수 있다. 7월에는 다소  $\text{CO}_2$  흡수량이 감소하는 것을 확인할 수 있었는데 이는 강수에 의해 광합성이 크게 저하되어  $\text{CO}_2$  흡수량이 감소된 것으로 생각된다(Lee *et al.* 2005). 2015년 2월부터 12월까지 배 재배지에서 흡수한 총  $\text{CO}_2$  양은 약  $(-)$ 17.8  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다.

### 4. 2015년 배 재배지 탄소수지 평가

탄소수지 평가를 위해서는 우선 탄소의 흡수원과 배출원에 대한 구분이 선행되어야 한다. 배 재배지의 경우 일반적으로 알려진 주요 탄소 배출원은 토양호흡이며 탄소 흡수원은 배나무와 초본류 광합성에 의한 바이오매스 증가분으로 크게 구분할 수 있다.

2015년 배 재배지에서 토양호흡으로 배출된  $\text{CO}_2$ 는 25.6  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었으며, 배나무의 수령과 바이오매스와의 회귀분석으로 추정된 상대생장식을 이용하여 동일 기간 배나무 수체와 전정가지로부터 흡수된  $\text{CO}_2$ 는 각각  $(-)$ 27.9  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 와  $(-)$ 12.6  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 이와 더불어 임상 하부 초본류도 광합성을 통해  $(-)$ 5.2  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 의  $\text{CO}_2$ 를 흡수하였다. 2015년 배 재배지에서 배출과 흡수된  $\text{CO}_2$  양을 합산하여 보면 1 ha당 약  $(-)$ 20.1 ton의  $\text{CO}_2$ 가 흡수된 것으로 나타났다. 이는 미기상학적인 방법을 이용하여 측정한 생태계순교환량  $(-)$ 17.8  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 와 약 2.3  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 의 차이를 보였다. 이러한 차이는 초본류 호흡량과 과실 및 낙엽에 의한 저장 및 분해량이 포함되지 않았기 때문으로 생각된다.

영년생 작물 재배지를 대상으로 초본 및 과수의 바이오매스량 측정과 밀폐형 챔버법을 이용하여 측정한 배 재배지 단위의  $\text{CO}_2$  배출량, 그리고 미기상학적인 방법을 이용한 재배지 내  $\text{CO}_2$  교환량 측정과 같은 다방면에서의 지속적인 연구는 영년생 작물 재배지 단위 생태계 구성요소들 간의  $\text{CO}_2$  흐름을 파악하는 효과적인 방법이라 생각된다.

## 적 요

본 연구는 영년생 작물 중 배 재배지의 탄소수지 평가를 위하여 전남 나주 옥곡리 배 재배지에서 토양호흡, 초본류의 생태계순생산량 그리고 배 과수의 바이오매스와 배 재배지에서의 생태계순교환량을 측정하였다. 2015년 배 재배지의 연간 토양호흡량은 약 25.6  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 이었다. 바이오매스 측정을 통해 측정된 배나무 수체에 저장된  $\text{CO}_2$  양은  $(-)$ 27.9  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ 이었으며, 전정된 가지에 저장된  $\text{CO}_2$  양은 약  $(-)$ 12.6  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 배 재배지 임상 하부에 자생하는 초본류 광합성에 의해 흡수된  $\text{CO}_2$  양은  $(-)$ 5.2  $\text{ton CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 이었다. 이를 배 재배지 단위에서의  $\text{CO}_2$  배출량과 흡수량으로 구분하여 보면, 연간 1 ha당 약 25.6 ton이 대기 중으로 배출되었으며 대기로부터 흡수된  $\text{CO}_2$ 는 약  $(-)$ 45.7 ton이었다. 이를 합산하면 연간 약  $(-)$ 20.1 ton의  $\text{CO}_2$ 가 대기 중으로부터 배 재배지로 흡수되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 미기상학적인 방법을 이용하여 측정한 배 재배지 대기와 작물 및 토양권 간의 연간  $\text{CO}_2$  교환량  $(-)$ 17.8  $\text{ton ha}^{-1}$ 와 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 다양한 접근 방법을 이용한 연구는 배 재배지뿐만 아니라 영년생 작물 재배지 단위에서 농업생태계 구성요소들 간의  $\text{CO}_2$  흐름을 파악하여 보다 효율적인 탄소수지 평가 연구를 위한 방법론을 제시하고 향후 농업생태계가 탄소 흡수원으로서 인정받기 위한 후속 연구의 기초 데이터로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ1010036)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Baldocchi D. 2008. Breathing of the terrestrial biosphere: Lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems. *Aust. J. Bot.* 56:1-26.
- Baldocchi D, E Falge, L Gu, R Olson, D Hollinger, S Running, P Anthoni, Ch Bernhofer, K Davis, R Evans, J Fuentes, A Goldstein, G Katul, B Law, X Lee, Y Malhi, T Meyers, W Munger, W Oechel, UKT Paw, K Pilegaard, HP Schmid, R Valentini, S Verma, T Vesala, K Wilson and S Wofsy. 2001. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor,

- and energy flux densities. *J. Clim.* 82:2415-2434.
- Ball BC, A Scott and JP Parker. 1999. Field N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality I Scotland. *Soil & Tillage Research* 54:29-39.
- Barbara JB. 2000. Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends in Plant Science* 5:349-353.
- Bekku Y, H Koizumi, T Nakadai and H Iwaki. 1995. Measurement of soil respiration using closed chamber method: an IRGA technique. *Ecol. Res.* 10:369-373.
- Bond-Lamberty B, C Wang and ST Gower. 2004. Contribution of root respiration to soil surface CO<sub>2</sub> flux in a boreal black spruce chronosequence. *Tree Physiology* 24:1387-1395.
- Heo JH, MJ Yi, BR Kwon and HY Shin. 2014. Soil respiration of coniferous and deciduous stands at Gwangneung arboretum and Taehwa research forest. *Proceeding of the Korean forestry society*. pp. 156 (in Korean with English abstract).
- Hoskin B and R May. 1996. Overview of UK National Strategy for Global Environmental Research -Inter-Agency Committee on Global Environmental Change. Report of Expert Panel.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental strategies (IGES). Japan.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Cambridge.
- Ito D and K Takahashi. 1997. Seasonal changes in soil respiration rate in a mulberry field. *J. Agric Meteorol.* 53:209-215.
- Jung SH, JH Lee, JH Lim and SD Kim. 2014. Characteristics of annual soil respiration in a pine (*P. densiflora*) forest. *Proceeding of the Korean forestry society*. pp. 11 (in Korean with English abstract).
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2010. Agr. Area survey. [www.kosis.kr](http://www.kosis.kr).
- Kozłowski TT. 1964. Shoot growth in woody plants. *Bot. Rev.* 30:335-392.
- Lee JH. 2008. Effect of carbonization of agricultural product on increasing of carbon sequestration in red pepper soil. Master Thesis. Konkuk University.
- Lee JS, S Shu, Y Min, C Chae, J Kim, J Gu, R Park, Y Shon and J Lim. 2005. Carbon budget in temperate deciduous forest in Gwangneung. *Kor. Soc. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* pp. 287-288.
- Lee TK, JJ Choi, JS Kim, HC Lee and HM Ro. 2013. Carbon and nitrogen stocks of trees and soils in a 'Niiitaka' pear orchard. *Kor. J. Jort. Sci. Technol.* 31:828-832.
- Lee YJ, YO Seo, SM Park, JK Pyo, RH Kim, YM Son, KH Lee and HH Kim. 2009. Estimation of biomass for 27 years old Korean pine (*Pinus koraiensis*) plantation in Gangneung, Ganwon-province. *Journal of Agriculture & Life Science* 43:1-8 (in Korean with English abstract).
- NIHHS. 2011. Pear growing techniques. Natl. Ins. of Hort. & Herbal Sci., RDA, Suwon, Korea.
- Raich JW and WH Schlesinger. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus* 44:81-99.
- Roh HM, JH Choi, SY Lee, TK Lee, JS Kim, JS Park, JJ Choi and MJ Lee. 2015. Annual increase in carbon and nitrogen stocks of trees and soils in a 'Niiitaka' pear orchard following standard fertilization recommendations. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:591-597.
- Rosenzweig C and D Hillel. 1998. Climate change and the global harvest. Oxford University Press. New York.
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Standard farming manual, pear cultivation. RDA, Suwon, Korea.
- Schlesinger WH. 2000. Carbon sequestration in soils: some caution amidst optimism. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 82:121-127.
- Suh S, E Choi, H Jeong, J Lee, G Kim, J Lee and K Sho. 2015. The study on carbon budget assessment in pear orchard. *Korean J. Environ. Biol.* 33:345-351.
- Suh S, S Park, K Shim, B Yang, E Choi, J Lee and T Kim. 2014. The effect of rain fall event on CO<sub>2</sub> emission in *Pinus koraiensis* plantation in Mt. Taehwa. *Korean J. Environ. Biol.* 32:389-394.
- Tami K, Y Kominami, T Miyama, Y Goto and Y Ohtani. 2008. Topographical effects on soil respiration in a deciduous forest-The case of weathered granite region in Southern Kyoto Prefecture. *J. Agricultural Meteorology* 64:512-222.
- Wilson BF. 2000. Apical control of branch growth and angle in woody plants. *Am. J. Bot.* 87:601-607.

Received: 2 November 2016

Revised: 15 November 2016

Revision accepted: 15 November 2016