

도시공원 식재유형별 탄소저장량, 연간 탄소흡수량 및 토양호흡량 비교^{1a}

- 천안시 두정공원을 중심으로 -

한미경² · 김경진³ · 양금철^{3*}

Comparison of Carbon Storages, Annual Carbon Uptake and Soil Respiration to Planting Types in Urban Park^{1a}

- The Case Study of Dujeong Park in Cheonan City -

Mi-Kyoung Han², Kyeong-Jin Kim³, Keum-Chul Yang^{3*}

요 약

본 연구에서는 천안시 두정공원을 대상으로 도시공원의 식재유형별 수목의 탄소저장량, 연간 탄소흡수량, 연간 토양호흡량을 측정하여 비교하였다. 두정공원에서 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림을 선정하여 2012년 3월부터 2013년 2월까지 각 식재림을 분석하였다. 탄소저장량과 연간 탄소흡수량은 수목의 흉고직경을 이용한 상대생장식을 활용하여 산정하였고 토양호흡량은 LI-6400을 이용하여 측정하였다. 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서의 탄소저장량은 각각 17.36, 88.63, 115.38, 49.88 ton C ha⁻¹ 였고, 연간 탄소흡수량은 각각 1.04, 2.12, 6.47, 3.67 ton C ha⁻¹ yr⁻¹로 산정되었다. 개체목당 평균 연간 탄소흡수량은 소나무, 상수리나무, 아까시나무에서 각각 1.81, 17.86, 9.14 kg C·tree yr⁻¹로 상수리나무가 가장 높았다. 평균 토양호흡량은 각 식재유형별로 2.20, 1.90, 2.47, 2.51 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹로 측정되었고 연간 토양호흡량은 각각 6.66, 5.33, 7.20, 7.25 ton C ha⁻¹ yr⁻¹로 추정되었다. 본 조사지의 식재유형 중 상수리나무-아까시나무식재림이 탄소저장량과 연간 탄소흡수량이 가장 많아 공원의 탄소흡수원 역할에 크게 기여했고, 소나무식재림은 가장 적게 평가되었다. 본 연구결과는 이산화탄소 흡수원의 역할을 하는 도시공원 수목의 식재와 관리에 필요한 자료로 활용될 수 있다.

주요어: 식재림, 소나무, 상수리나무, 상대생장식, 탄소흡수원

ABSTRACT

This study has compared carbon storages, annual carbon uptakes and annual soil respiration by planting type in Dujeong park, Cheonan city. Four plantations were selected in Dujeong park: *Pinus densiflora* plantation, *Quercus acutissima* community, *Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation, and *Robinia pseudoacacia* plantation. We investigated each plantations from February 2012 to March 2013. Carbon storage and annual carbon uptake in each plantations were calculated with allometric method (Lee, 2003), and soil respiration was measured by using LI-6400 (LI-COR). Carbon storages in *Pinus densiflora* plantation, *Quercus*

1 접수 2013년 11월 6일, 수정(1차: 2014년 3월 4일, 2차: 2014년 3월 26일), 게재확정 2014년 3월 27일

Received 6 November 2013; Revised (1st: 4 March 2014, 2nd: 26 March 2014); Accepted 27 March 2014

2 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Sciences, Kongju Nat'l Univ., Kongju 314-701, Korea

3 공주대학교 건설환경공학부 Division of Civil & Environmental Engineering, Kongju Nat'l Univ., Cheonan 330-717, Korea

a 본 연구는 환경부 2011 차세대에코이노베이션기술 개발사업의 지원으로 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author: yangkc@kongju.ac.kr

acutissima community, *Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation, and *Robinia pseudoacacia* plantation were 17.36 ton C ha⁻¹, 88.63 ton C ha⁻¹, 115.38 ton C ha⁻¹ and 49.88 ton C ha⁻¹, and annual carbon uptakes were 1.04 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, 2.12 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, 6.47 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ and 3.67 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. Average annual carbon uptakes per tree of *Pinus densiflora* plantation, *Quercus acutissima* community and *Robinia pseudoacacia* plantation were 1.81 kg C·tree yr⁻¹, 17.86 kg C·tree yr⁻¹ and 9.14 kg C·tree yr⁻¹ and *Quercus acutissima* was the greatest. The amounts of carbon released from soil respiration in the same four plantations were 2.20 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 1.90 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 2.47 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ and 2.51 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, and annual soil respiration were estimated 6.66 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, 5.33 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, 7.20 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ and 7.25 ton C ha⁻¹ yr⁻¹, respectively. In this study area, *Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation has a significant contribution to the role of carbon sink. However, the contribution of *Pinus densiflora* plantation was evaluated less. The results of this study can be used as the necessary data for tree planting and management in urban park.

KEY WORDS: PLANTATION, *Pinus densiflora*, *Quercus acutissima*, ALLOMETRIC METHOD, CARBON SINK

서론

인간 활동이 기후에 영향을 미치기 시작한 것은 산업 혁명 초기인 18세기 중엽부터로 1970년부터 2004년 사이에 지구 온실가스 배출량은 70% 증가하였다. IPCC 4차보고서는 지구 온난화로 인하여 약 100년간 지구상의 온도는 0.74 °C 상승하였으며 우리나라의 평균 기온 상승률은 1.7 °C로 지구 평균기온 상승률 보다 높게 나타났다고 보고하였다. 20세기 중반 이후의 이와 같은 현상의 원인은 인류가 배출한 온실가스의 집적으로 인한 결과이며 급속한 기온상승은 기후변화를 초래하여 생태계 위험수위가 높아질 것으로 예측되고 있다. 국제사회는 지구온난화에 따른 기후변화에 적극 대처하기 위하여 1988년 유엔환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)에 의해 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)를 설치하였고, 1992년 유엔환경개발회의(UNCED)에서 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하였다. 1997년 일본에서 개최된 제 3차 기후변화협약 당사국총회(COP3)에서는 교토의정서를 채택하여 선진국(38개국)을 대상으로 2008~2012년 동안 1990년도 배출량 대비 평균 5.2% 감축을 규정하였다. 현재 우리나라는 온실가스 감축 의무 국가는 아니나, 주요 온실가스인 이산화탄소의 배출량이 2009년도 세계 9위이며 OECD 국가 중 이산화탄소 배출량 증가율 1위 국가로서, 탄소감축 부담을 요구받고 있다. 그리고 우리나라는 자발적으로 2005년 기준으로 오는 2020년까지 온실가스 4%를 감축하겠다고 발표하였다.

우리나라의 도시화율은 10년 사이에 80%에서 83%(2000~2010년)로 증가를 보이고 있고 2020년은 85.4%로 추정하고 있다(http://kosis.kr). 그리고 온실가스 배출에서 에너지

부분은 81%에서 85%(2000~2009년)로 9년 사이에 4% 증가하였다. 이는 도시화에 따른 대량소비로 인해 인위적인 온실가스 배출이 증가하고 있는 것으로 보이며, 또한 Kim *et al.*(2011)은 전 지구적 기후변화인 지구온난화의 주원인으로 주목되고 있는 온실가스는 공간적으로 주로 도시에서 발생하고 있기 때문에 도시차원에서 대책이 무엇보다 필요하다 보고하였다. 이에 도시공원에서 탄소흡수, 산소제공 등의 환경개선기능이 강조되고 있는 추세로, 대기 중 이산화탄소 농도 저감을 위한 수목의 식재는 가장 효과적인 수단으로 보고되었다(Laclau, 2003).

국내의 연구로는 Jo(1999a)가 강원도 일부도시의 녹지에 의한 탄소흡수와 에너지소비에 의한 탄소배출량을 산정하였고, Park and Kang(2010)은 경기도 도시가로수의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하였다. Kim(2011)은 판교나들이공원에서 수목의 탄소저장량 및 흡수량을 Hwang(2012)은 서울숲 수목의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하는 등 탄소흡수원으로서 도시공원에 관한 연구가 수행되고 있으나, 도시공원에 식재된 식재유형별로 정량화된 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도시공원의 식재유형별 탄소저장량, 연간 탄소흡수량 산정 및 연간 토양호흡량을 측정하여 비교·분석함으로써 기후변화 대응을 위한 효과적인 도시녹지 계획과 관리를 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상지 선정

본 연구에서는 1989년에 조성된 천안시 서북구 두정동

397-1번지에 위치한 근린공원을 대상지로 선정하였으며, 전체면적은 11,300m²으로, 녹지가 10,891m²(89.2 %)로 가장 넓은 면적을 차지하며, 산책로, 운동기구 등의 지역이 1,219m²(10.8 %)를 차지하고 있다. 공원의 식재현황은 상수리나무, 아까시나무, 소나무, 단풍나무, 리기다소나무, 느티나무, 메타세콰이아, 등이 분포하고 있으며, 그 중 식재유형이 뚜렷한 소나무식재림(*Pinus densiflora* plantation), 상수리나무군락(*Quercus acutissima* community), 상수리나무 - 아까시나무식재림(*Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation), 아까시나무식재림(*Robinia pseudoacacia* plantation)의 4곳을 선정하였고, 식생구조는 Braun-Blanquet(1964)의 전추정법을 이용하여 조사하였다(Figure 1).

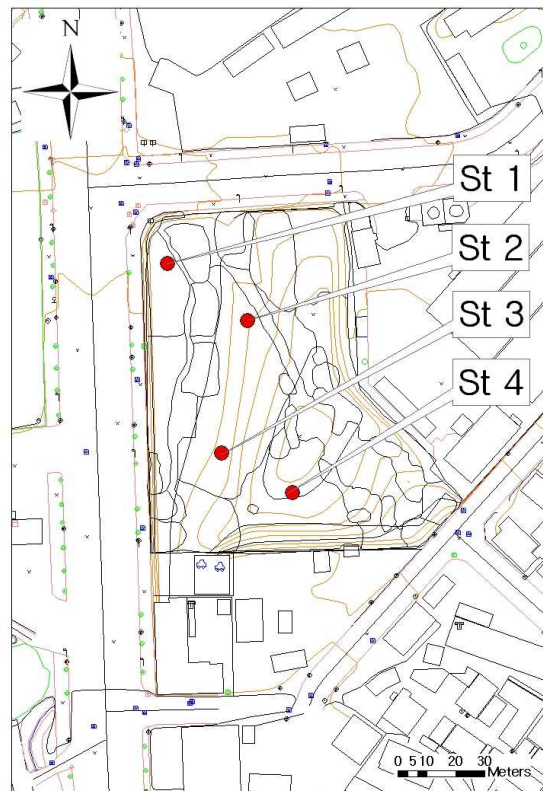
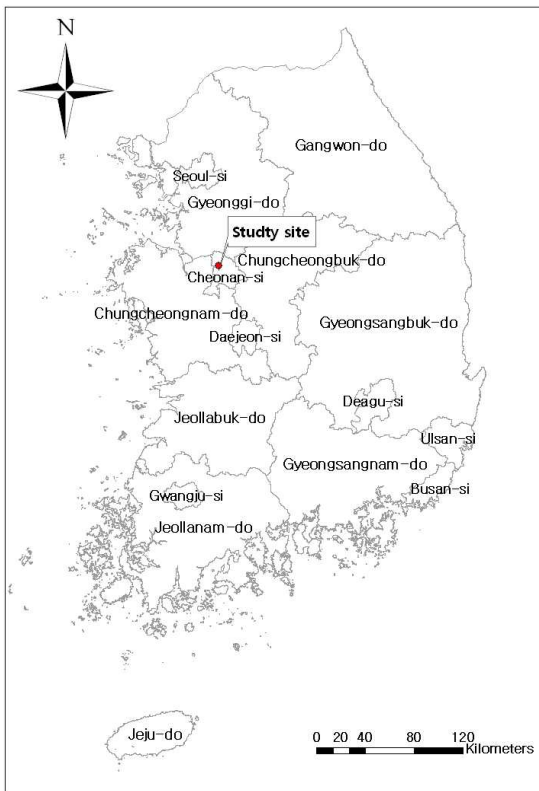
2. 미기상인자 측정

천안시 두정근린공원에 Data logger (WatchDog 1000 Series, Spectrum Technologies Inc)를 설치하여 10cm 깊이에서의 토양온도와 토양수분함량을, 1.5m 높이에서의 대기온도와 광량을 2012년 3월부터 2013년 2월 까지 10분 간격

으로 자동 측정하였다.

3. 수목 탄소저장량 및 흡수량 산정

수목의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하는 방법은 광역지역의 경우 국립산림과학원에서 제공하는 국가 산림지도(임상도)와 영급별 이산화탄소 저장계수를 활용하는 방안과 도시공원과 같은 미세지역의 평가에서는 수목의 흉고직경 또는 근원직경, 수고, 개체수 등을 파악하여 상대생장식을 활용하는 방안이 있다(Hwang, 2010). 본 연구에서는 교목활엽수, 교목침엽수, 관목활엽수, 관목침엽수로 수종을 단순화시킨 후 흉고직경(DBH)과 근원직경(DAG)을 근거로 회귀식을 적용한 Lee(2003)의 방법을 사용하였다(Table 1). 대부분의 초본은 매년 흡수와 분해를 반복하여 탄소저장 및 흡수량이 극히 소량이므로(Jo, 1999b) 산정대상에서 제외하였다. 각 식재유형별 수목의 흉고직경(DBH), 근원직경(DAG)과 수고를 측정하고, 식재면적, 개체수 및 식생면적당 식재밀도를 조사하였다.



St 1: *Pinus densiflora* plantation, St 2: *Quercus acutissima* community, St 3: *Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation, St 4: *Robinia pseudoacacia* plantation

Figure 1. A map of the study sites

Table 1. Estimation methods of carbon dioxide storage and absorption

Classification	Estimated regression equation*
CO ₂ Storage amount (kg CO ₂ per tree or shrub)	Broadleaved tree, $Y = 0.2572 \text{ DBHaver}^{2.4595}$
	Coniferous tree, $Y = 0.3510 \text{ DBHaver}^{2.1436}$
	Broadleaved shrub, $Y = 0.1800 \text{ DAGaver}^{1.9494}$
	Coniferous shrub, $Y = 0.1608 \text{ DAGaver}^{2.1892}$
CO ₂ Absorption amount (kg CO ₂ per tree or shrub· year)	Broadleaved tree, $Y = -4.2136+1.9006\text{DBHaver}-0.0068\text{DBHaver}^2$
	Coniferous tree, $Y = -2.7714+0.9714\text{DBHaver}-0.0225\text{DBHaver}^2$
	Broadleaved shrub, $Y = 0.0333\text{DBHaver}^{1.5823}$
	Coniferous shrub, $Y = 0.0568\text{DBHaver}^{1.3350}$

*DBHaver: Average of diameter at breast height (5~40cm), Average of diameter at aboveground 15cm (1~4cm) (Lee, 2003)

4. 토양호흡량 측정

소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무 식재림, 아까시나무식재림에 각각 120cm × 80cm 크기의 방형구를 설치하였으며, 방형구 안에 높이 7cm, 지름 10cm의 Collar를 6개씩 설치하여 토양에서 이산화탄소 방출량을 측정하였다. 토양 이산화탄소 방출량은 LI-6400 (Licor 6400 Potable Photosynthesis System, Li-Cor Inc., Lincoln, NE)에 적외선 가스분석기(Infrared Gas Analyzer)를 연결하여 2012년 3월부터 11월까지 매월 2회 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 두정근린공원의 미기상특성 및 식생

1) 미기상특성

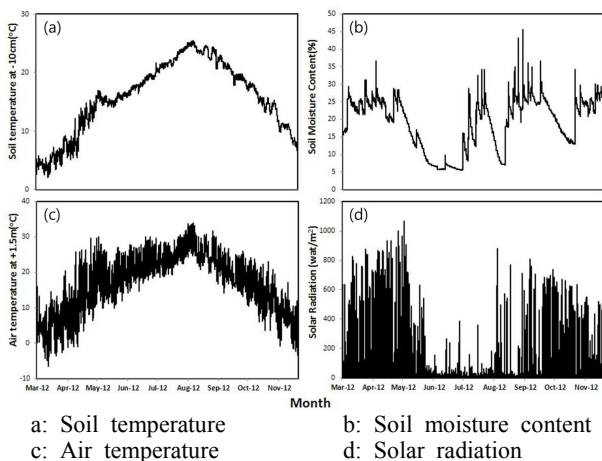


Figure 2. Meteorological characteristics at every 10 minute in Dujeong park

본 연구는 2012년 3월부터 2013년 2월 까지 1년간 측정되었다. 토양온도는 8월에 최고치에 달하고 그 후 점차 감소하여 대기온도의 변화와 유사한 경향성을 보였으나 토양의 열전도 및 열교환 작용에 의해 변화폭은 상이하게 나타났다. 토양수분함량은 태풍과 장마로 인하여 7~9월에 높게 나타나며 계절적인 변화와의 관계는 나타나지 않았다. 광량은 동절기에 높게 나타나고 잎이 무성한 하절기에 낮게 나타났다(Figure 2).

2) 공원의 식생

두정근린공원의 소나무식재림(Pd), 상수리나무군락(Qa), 상수리나무-아까시나무식재림(QaRop), 아까시나무식재림(Rop)은 녹지면적의 42.1%를 차지하고 있다. 소나무식재림과 상수리나무군락은 교목과 초본으로, 상수리나무-아까시나무식재림과 아까시나무식재림은 교목, 관목, 초본의 층위 구조로 이루어져 있었다. 각 식재림의 교목과 관목의 흉고 직경, 식생면적당 식재밀도 등은 Table 2와 같다. 소나무식재림에는 교목인 소나무와 초본층에 꽃마리, 토끼풀, 민들레, 쑥, 양지꽃, 냉이 등이 분포하였고 상수리나무군락에서는 교목층에 상수리나무, 초본층에 꽃마리, 민들레, 환삼덩굴, 주름조개풀 등이 분포하고 있었다. 상수리나무-아까시나무식재림의 교목층에는 상수리나무와 아까시나무, 관목층에는 신갈나무, 아까시나무, 갈참나무, 싸리, 단풍나무 등이 초본층에는 그늘사초, 기름새, 청미래덩굴, 쇠무릎 등이 분포하였다. 아까시나무식재림은 교목에 아까시나무, 관목층에는 아까시나무, 밤나무, 갈참나무, 졸참나무 등이 초본층에는 그늘사초, 쫄레꽃, 꽃마리 등이 분포하는 것으로 조사되었다.

식재유형별 교목의 흉고직경은 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서 각각 8.4~20.5, 30.8~53.4, 10.2~50.1, 19.8~22.8cm이었고 총 식재주수는 147주로 조사되었다. 상수리나무-아까

Table 2. Physical parameter of the study site

Plantation*		DBH (cm)						DBH (cm)			Height (m)	No. of tree (tree)	Planting area (m ²)	Density of tree (tree ha ⁻¹)
		0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	Mean	Max	Min				
Pd	Tree	2	33	1	-	-	-	14.7	20.5	8.4	3~8.8	36	627	574.2
Qa	Tree	-	-	-	6	10	3	43.4	53.4	30.8	15~21	19	1,604	118.5
QaRop	Tree	-	19	17	8	4	1	24.8	50.1	10.2	9~20	49	802	611.0
	Shrub	64	-	-	-	-	-	1.9	5.8	0.8	0.5~1.7	64	-	-
Rop	Tree	-	7	36	-	-	-	21.3	22.8	19.8	13~14	43	1212	358.4
	Shrub	3,771	-	-	-	-	-	1.4	2.7	0.6	0.8~2.2	3,771	-	-

*Pd: *Pinus densiflora* plantation, Qa: *Quercus acutissima* community, QaRop: *Quercus acutissima-Robinia pseudoacacia* plantation, Rop: *Robinia pseudoacacia* plantation

시나무식재림은 혼효림으로 개체별 차이 폭이 크게 나타난 것으로 보였다. 교목의 식재밀도는 상수리나무-아까시나무 식재림 > 소나무식재림 > 아까시나무식재림 > 상수리나무군락 순으로 나타났으며 상수리나무군락은 조경식재가 아닌 잔존림으로 생육밀도가 낮은 것으로 판단된다.

2. 공원 식재유형별 수목 탄소저장량 및 연간 탄소흡수량 분석

공원 식재유형별 식재면적당 탄소저장량은 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서 각각 17.36, 88.63, 115.38, 49.88 ton C ha⁻¹ 이고, 연간 탄소흡수량은 1.04, 2.12, 6.47, 3.67 ton C ha⁻¹ 로 나타났다. 개체목당 연간 탄소흡수량은 소나무, 상수리나무, 아까시나무에서 각각 1.81, 17.86, 9.04 kg C·tree yr⁻¹ 로 상수리나무가 가장 높았다.

식재면적당 탄소저장량은 상수리나무-아까시나무식재림의 탄소저장량이 42.5%로 가장 많고, 상수리나무군락(32.7%), 아까시나무식재림(18.4%), 소나무식재림(6.4%) 순으로 나타났다. 연간 탄소흡수량도 상수리나무-아까시나무식재림이 48.7%, 아까시나무식재림이 27.6%, 상수리나무군락이 15.9%, 소나무식재림이 7.8% 순으로 기여도가 높았다. 이는 상수리나무-아까시나무식재림의 식생면적당 식

재밀도가 다른 군락에 비해 월등히 높고 관목층이 잘 발달되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 두정공원에서 상수리나무-아까시나무식재림의 탄소저장량을 Kim(2011)의 나들이공원과 비교해 보면 식생면적당 식재밀도는 비슷하지만 탄소저장량은 2배 정도 높았고, Hwang(2012)의 서울숲과 연간 탄소흡수량을 비교했을 때도 2배 정도 높았다(Table 3). 상수리나무군락은 개체목당 연간 탄소흡수량은 가장 높게 나타난 반면 상수리나무군락의 연간 탄소흡수량은 비교적 적었다. 이는 상수리나무군락의 생육밀도가 낮고 관목층과 같은 하층식생구조가 빈약하며 특히 흉고직경이 30~50cm에 이르는 수령이 오래된 수목으로 구성된 잔존림으로 연간 생산물이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 소나무식재림은 식재밀도가 높음에도 활엽수종에 비해 수목생장률이 낮고 식생 또한 빈약한 하층구조로 이루어져 있기 때문에 활엽수림에 비해 연간 탄소흡수량이 적은 것으로 판단된다.

3. 토양호흡량 분석

1) 식재유형별 토양호흡량

토양호흡량은 2012년 3월부터 11월까지 측정하였는데

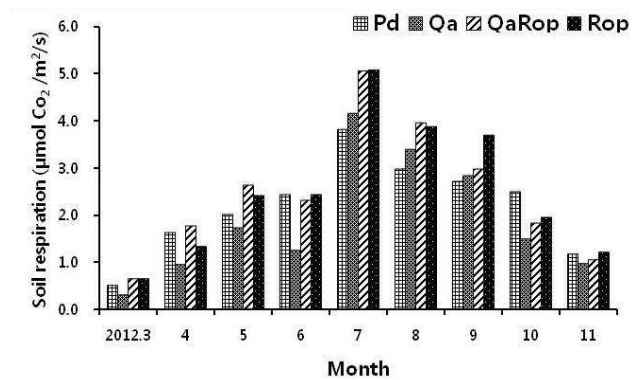


Figure 3. Seasonal patterns of soil respiration rate of four plantations in Dujeong park

Table 3. Comparison between the carbon storage and annual carbon uptake of each planting type

Planting type	Carbon storage (t C ha ⁻¹)	Annual carbon uptake (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
<i>Pinus densiflora</i>	17.36	1.04
<i>Quercus acutissima</i>	88.63	2.12
<i>Quercus acutissima</i> Tree	115.19	6.45
- <i>Robinia pseudoacacia</i> Shrub	0.19	0.02
<i>Robinia pseudoacacia</i> Tree	45.95	3.21
Shrub	3.93	0.46

동절기에서 하절기로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 7월에 토양호흡량이 가장 높고 3월에 가장 낮게 나타났으며 (Figure 3), 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서의 토양호흡량은 7월과 3월에 각각 3.82, 4.15, 5.06, 5.09 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 와 0.51, 0.31, 0.65, 0.65 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 식생유형별 차이를 보였다. 조사기간 동안 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서의 평균 토양호흡량은 각각 2.20, 1.90, 2.47, 2.51 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 상수리나무군락에서 가장 낮게 나타났다.

2) 토양호흡과 미기상인자와의 관계

본 연구에서 토양호흡과 미기상인자와의 관계에 대해 지수함수를 이용한 회귀식을 적용하였다. 토양호흡과 미기상인자 사이의 지수함수 회귀식의 R^2 는 토양온도 > 대기온도 > 광량 > 토양수분함량 순으로 나타났고, 특히 토양온도가 토양호흡과 높은 상관관계를 보였다. 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서 토양호흡과 토양온도 사이의 상관관계는 각각 $R^2 = 0.682, 0.752, 0.873, 0.847$ 로 나타났다(Table 4). 이러한 결과는 토양호흡이 토양온도에 많은 영향을 받으며, 상당히 높은 상관관계가 있다는(Davidson *et al.*, 1998; Lee and Mun, 2001; Moon, 2004; Lee *et al.*, 2012) 선행연구 결과와 일치한다. 토양수분함량 또한 토양호흡량에 영향을 주는 중요한 환경요인으로 보고된 바 있으나(Witkamp, 1969; Knapp *et al.*, 1998) 본 연구에서는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에서 6월의 경우 5월보다 토양온도는 증가한 반면 토양호흡량은 약간 감소하는 현상이 관찰되었다. 이는 실제로 많은 연구들을 통해 토양호흡량의 계절적 변화와 토양온도의 변화가 반드시 일치하지 않으며(Son *et al.*, 1994), Liu *et al.*(2002)이 토양온도 외에 또 다른 요소로서 토양수분함량이 토양호흡량에 영향을 준다는 보고와 일치한다. 결과적으로 본 연구에서는 토양수분함량은 토양호흡과 직접적인 상관관계는 낮게 나타났으나 간접적으로 토양호흡에 영향을 미친 것으로 보인다.

3) 연간 토양호흡량 추정

본 연구에서는 토양호흡과 토양온도가 높은 상관관계를 보이므로 일평균 토양호흡량을 적용하여 일평균 토양온도와 지수함수 회귀식을 구하였고(Figure 4) 이를 이용하여 2012년 3월부터 2013년 2월 까지의 연간 토양호흡량을 추정하였다(Table 5). 추정한 연간 토양호흡량은 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서 각각 6.66, 5.33, 7.20, 7.25 $\text{ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 로 나타났다.

연간 토양호흡량은 소나무식재림, 상수리나무군락, 상수리나무-아까시나무식재림, 아까시나무식재림에서 각각 45.7%, 51.3%, 47.4%, 47.7% 정도가 여름철(6월~8월)에 집중되었으며, 겨울철(12월~2월)에는 각각 8.0%, 5.2%, 7.0%, 6.9% 정도로 추정되어 계절별 차이가 큰 것으로 나타났다(Table 5). Kim(2008)은 무등산 소나무림의 연간 토양호흡량을, Yu(2011)는 지리산 소나무림의 연간 토양호흡량, Lee(2013)는 월악산 소나무림의 연간 토양호흡량을 각각 7.28, 6.36, 11.23 $\text{ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 로 추정하였으며, Yu(2011)는 남산 아까시나무림에서 6.53 $\text{ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, Kim(2002)은 충남 공주시 상수리나무림에서 9.98 ton C

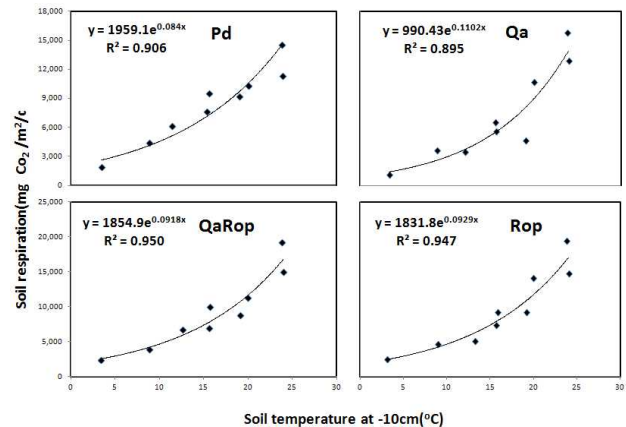


Figure 4. The relationship between daily mean soil temperature and daily mean soil respiration

Table 4. R^2 values for the relationship between soil respiration and soil temperature, air temperature and solar radiation

Factor	Plantation	R^2			
		<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Quercus acutissima</i> - <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Soil temperature at -10cm (°C)		0.682	0.752	0.873	0.847
Soil moisture content (%)		0.036	0.004	0.003	0.001
Air temperature at +1.5m (°C)		0.616	0.563	0.824	0.749
Solar radiation (wat m^{-2})		0.075	0.265	0.188	0.241

Table 5. Comparison of annual soil respiration in each planting type

Year	Month	Planting type			
		<i>Pinus densiflora</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Q. acutissima</i> - <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>
2012	March	94.03	54.65	92.79	92.17
	April	145.66	98.69	150.40	150.36
	May	223.54	169.75	238.90	239.98
	June	271.85	221.99	296.85	299.12
	July	392.52	355.94	442.20	447.54
	August	449.86	425.22	513.13	520.23
	September	321.00	276.36	356.07	359.58
	October	223.75	170.56	239.35	240.48
	November	123.41	79.07	125.35	125.02
	December	76.19	41.47	73.73	73.03
2013	January	60.06	30.26	56.81	56.09
	February	58.30	30.06	55.52	54.88
Total	(ton CO ₂ m ⁻² yr ⁻¹)	24.40	19.54	26.41	26.58
	(ton C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	6.66	5.33	7.20	7.25

ha⁻¹ yr⁻¹로 추정하였다.

본 연구 대상지에서 소나무식재림의 평균 흉고직경은 14.7cm로 Kim(2008)은 소나무림의 평균흉고직경을 22cm, Yu(2011)는 30-40cm, Lee(2013)는 17.12cm라고 보고하였는데, 추정된 연간 탄소흡수량에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 지역 간의 연평균 기온과 강수량 등의 기후의 차이, 토양호흡을 측정하는 방법, 토양의 물리적, 화학적 특성 등에서 기인한 차이인 것으로 판단된다.

결론적으로, 두정공원의 식생유형 중 상수리나무-아까시나무식재림의 탄소저장량과 연간 탄소흡수량은 타 식재림에 비해 월등히 높아 공원의 탄소흡수원의 역할에 크게 기여하였다. 이러한 결과는 식생의 교목식재밀도가 높고 수목생장이 활발한 수령으로 구성되어 있으며 관목층이 발달하여 탄소흡수량을 추가시키는 구조이기 때문으로 판단된다. 침엽수종인 소나무식재림은 식생면적당 탄소저장량과 연간 탄소흡수량이 가장 적은 반면 연간 토양호흡량은 높아서 탄소흡수원으로서의 비효율적인 것으로 판단된다.

REFERENCES

Braun-Blanquet, J.(1964) Pflanzensoziologie Grundzuge der Vegetation der Vegetation 3. Auf, Springer-Verlag, Wien, New York, 865pp.

Davidson, E.A., E. Belk and R.D. Boone(1998) Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biology* 4: 217-227.

Hwang, J.W.(2012) A Study on the Effectiveness of Carbon

Dioxide Sequestration of Urban Park - The Case study of Seoul Forest Park -. Master's Thesis, Hanyang Univ., Korea, 79pp.

Hwang, S.I.(2010) Low Carbon Land-Use Planning Strategies with Consideration for the Role of Carbon Sinks such as Vegetation and Soil II. Korea Environment Institute, pp. 26-30.

Jo, H.K.(1999a) Carbon uptake and emissions in urban landscape, and the role of urban greenspace for several cities in Kangwon Province. *Korean Institute of Landscape Architecture* 27(1): 39-53. (in Korean with English abstract)

Jo, H.K.(1999b) Energy consumption and carbon release from management of urban vegetation. *Korean J. Environ. Ecol.* 13(2): 101-108. (in Korean with English abstract)

Kim, C.(2011) Research on Carbon Sequestration of Urban Park - In the Case of Nadry Park in Pangyo -. Master's Thesis, Kyungwon Univ., Korea, 64pp.

Kim, I.H., K.S. Oh and S.H. Jung(2011) An analysis of relationship between carbon emission and urban spatial patterns. *Korea Spatial Information System Society* 19(1): 61-72. (in Korean with English abstract)

Kim, S.B.(2008) Soil CO₂ Efflux and Leaf-Litter Decomposition in *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* Stands. Master's Thesis, Chonnam National Univ., Korea, 50pp.

Kim, S.W.(2002) A Study on the Carbon Budget in Forest Ecosystems. Master's thesis, Kongju National Univ., Korea, 47pp.

Knapp, A.K., S.L. Conard and J.M. Blair(1998) Determination of soil CO₂ flux from a subhumid grassland: Effects of fire and fire history. *Ecological Application* 4: 760-770.

Koo, J.W., Y.H. Son, R.H. Kim and J. Kim(2005) A study on methods of separation soil respiration by source. *Korean Journal of*

- Agricultural and Forest Meteorology 7(1): 28-34. (in Korean with English abstract)
- Laclau, P.(2003) Biomass and carbon sequestration of ponderosa pion plantation and native Cypress forest in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management* 180: 317-333.
- Lee, J.Y., D.K. Kim, H.Y. Won and H.T. Mun(2013) Organic carbon distribution and budget in the *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. *Korean J. Environ. Ecol.* 27(5): 561-570. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.J., H.Y. Won and H.T. Mun(2012) Contribution of root respiration to soil respiration for *Quercus acutissima* forest. *Korean J. Environ. Ecol.* 26(5): 780-786. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.K.(2003) Sustainability Indicators of Greenspace in Apartment Sites. Ph. D. Dissertation, Univ. of Seoul, Korea, 159pp.
- Lee, Y.Y. and H.T. Mun(2001) A study on the soil respiration in a *Quercus acutissima* forest. *Korean J. Environ. Ecol.* 24(3): 141-147. (in Korean with English abstract)
- Liu, X., S. Wan, B. Su, D. Hui and Y. Luo(2002) Response of soil CO₂ efflux to water manipulation in a tallgrass prairie ecosystem. *Plant and Soil* 240: 213-223.
- Moon, H.S.(2004) Soil respiration in *Pinus densiflora*, *Quercus variabilis* and *Platycarya strobilacea* stands in Jinju, Gyeongnam Province. *Korean J. Environ. Ecol.* 27(2): 87-92. (in Korean with English abstract)
- Nakane K., T. Kohno and T. Horikoshi(1996) Root respiration rate before and just after clear-felling in a mature, deciduous, broad-leaved forest. *Ecological Research* 11: 111-119.
- Park, E.J and K.Y. Kang(2010) Estimation of C storage and annual CO₂ uptake by street trees in Gyeonggi-do. *Korean J. Environ. Ecol.* 24(5): 591-600. (in Korean with English abstract)
- Son, Y.H., G. Lee and J.Y. Hong(1994) Soil carbon dioxide evolution in three deciduous tree plantation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 27(4): 290-295.
- Witkamp, M.(1969) Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* 47: 492-494.
- Yu, Y.J.(2011) Characteristics of Soil Respiration on Major Forest Communities in Mt. Jumbong, Mt. Nam, Mt. Jiri. Master's Thesis, Konkuk Univ., Korea, 57pp.

<http://kosis.kr>