

## 충남 공주지역 소나무림과 상수리나무림의 지상부와 뿌리에 의한 탄소고정\*

강길남<sup>1)</sup> · 박관수<sup>2)</sup> · 이상진<sup>2)</sup> · 이항구<sup>2)</sup> · 김연태<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 충청남도 산림환경연구소 · <sup>2)</sup> 충남대학교 산림자원학과

### Carbon Storages of *Pinus densiflora* and *Quercus acutissima* Stands in Gongju, Chungnam Province\*

Kang, Kil-Nam<sup>1)</sup> · Park, Gwan-Soo<sup>2)</sup> · Lee, Sang-Jin<sup>2)</sup> · Lee, Hang-Goo<sup>2)</sup> and Kim, Yeon-Tae<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Chungcheongnam-do Forest Environment Research Institute,

<sup>2)</sup> Department of Forestry Resources, Chungnam National University.

#### ABSTRACT

This study has been carried out to estimate carbon contents in an average 37-years-old *Pinus densiflora* plantations and an average 42-years-old natural *Quercus acutissima* stands in Gongju, Chungnam Province. Average carbon concentration in stemwood, stembark, branch, foliage, and root were 54.59% in *Pinus densiflora* and 53.73% in *Quercus acutissima* stands. Aboveground carbon contents was estimated by the equation model  $\log W_t = A + B \log D$  where  $W_t$  is oven-dry weight in kg and  $D$  is DBH in cm. Total carbon contents was 79.28t/ha in *Pinus densiflora* stands and 71.52t/ha in *Quercus acutissima* stands. Net primary carbon production was estimated at 9.79tC/ha/yr in *Pinus densiflora* stands and 5.52tC/ha/yr in *Quercus acutissima* stands.

Key Words : Carbon accumulation, Carbon content, Net primary carbon production.

#### I. 서 론

양과 지구온난화에 대한 기여도가 60% 정도로 가장 크기 때문에 중요하게 다루어지고 있다. 대기 중 이산화탄소 농도는 산업혁명 전후에 약 온실효과가스 중 이산화탄소는 대기에서의 그 기 중 이산화탄소 농도는 산업혁명 전후에 약

\* 본 연구는 2009년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

Corresponding author : Park, Gwan-Soo, Dept. of Forest Resources, Chungnam National University,  
Tel : +82-42-821-5743, E-mail : gspark@cnu.ac.kr

Received : 30 November, 2009. Accepted : 18 December, 2009.

280ppm이었던 것이 현재는 380ppm으로 증가하였으며, 앞으로도 계속될 인구증가와 경제활동의 가속화로 인해 21세기 후반 대기 중 이산화탄소 함량은 산업혁명 이전보다 2배 이상 증가 할 것으로 예상된다(Winjum *et al.*, 1992).

대기 중 이산화탄소함량의 증가는 지구온난화의 관점에서 상당한 주목을 받고 있으며, 이에 따라 이산화탄소의 흡수·저장 능력을 가진 산림 내 탄소저장량에 대한 관심이 증가하고 있다 (Vitousek, 1991; Alban and Perala, 1992; Laitat *et al.*, 2000; Watson *et al.*, 2000). 특히, 2001년 7월에 개최된 기후변화당사국 제6차 총회 속개회의에서 경영림(Management Forest)에 대한 탄소권(Carbon Credit)을 인정함으로써 조림지(Artificial Forest)와 같은 경영림의 탄소저장 능력의 파악이 잠재적인 탄소권 획득을 위한 기초단계로서 그 중요성이 크게 부각되고 있다(Earth Negotiation Bulletin, 2001).

외국의 경우 지구 전체의 탄소순환(방출량과 흡수량)에 대한 연구(Tans *et al.* 1990; Post *et al.*, 1990), 탄소방출의 매개체 및 축적지에 관한 연구(Dixon *et al.* 1994), 대기 중 이산화탄소 증가 억제에 관한 방법제시(Kurz *et al.*, 1992; Sedjo, 1989; Vitousek, 1991; Dixon *et al.*, 1994), 국가 전체의 탄소저장 능력의 조사(Birdsey, 1992; Schroeder and Winjum, 1995; Alexeyev and Birdsey, 1998), 그리고 이산화탄소 저감을 위한 도시림 관리 요령(McPherson and Simpson, 1999) 등의 연구가 활발히 진행되어 왔다.

국내 산림에서의 탄소 고정에 관한 연구로는 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질현존량 추정식에 관한 연구(박인협 · 김준선, 1989), 경기도 광주지역 잣나무 인공림의 물질생산에 관한 연구(권태호, 1982), 63년생 낙엽송 임분의 물질생산량에 관한 연구(김갑덕 · 이경재, 1983), 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량 추정식에 관한 연구(박인협 · 문광선, 1994), 충주지역 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 지상부

및 토양 중 탄소고정에 관한 연구(박관수, 1999), 공주, 포항, 그리고 양양 지역 굴참나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구(박관수 · 이승우, 2001), 광양, 무주, 포항 지역 졸참나무 천연림의 현존생물량 및 순생산량에 관한 연구(박관수와 임재구, 2004)등 임목의 지상부에 관한 연구가 주로 진행되어 왔을 뿐, 산림생태계 탄소저장량의 약 10-30% 정도를 차지하는 뿌리에 대한 연구는 샘플링의 어려움 때문에 국내뿐만 아니라 외국에서도 매우 미미한 실정이다.

본 연구는 충청남도 공주지역에서 생육하고 있는 소나무림과 상수리나무림을 대상으로 임목의 지상부와 뿌리의 탄소고정량 및 연간 탄소축적량을 파악하여 산림생태계 내 탄소순환 동태의 이해를 돕기 위해 실시되었다.

## II. 연구의 내용 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구의 소나무 조림지는 충청남도 공주시 정안면(동경 127° 02' 10"~127° 06' 07", 북위 36° 35' 58"~36° 36' 58")에 위치하고 있으며, 상수리나무 천연림은 반포면(동경 127° 11' 53"~127° 26' 03", 북위 36° 25' 05"~36° 26' 13")에 위치하고 있다. 본 조사지역 중 소나무림은 1975년 2.0ha를 조림한 37년생이며, 상수리나무 천연림은 충청남도 산림환경연구소 내에 생육하고 있는 평균임령 42년생 천연임분이다.

본 조사지의 기상 조건으로는 1996년부터 2005년까지 평균기온은 11.20℃, 최고 평균기온은 18.40℃, 최저평균기온은 6.3℃이며, 평균강수량은 1203.9mm로 연중 6~8월에 집중하고 있다. 조사지의 지형조건은 소나무림의 경우 해발고 163m, 경사도 30°, 그리고 북서 사면에 분포하고 있으며, 상수리나무림은 해발고 211m, 경사도 25°, 그리고 북동~남동 사면에 분포하고 있다. 조사지 임목의 평균 임령은 소나무림은 37년생, 상수리나무림은 42년생으로, 각 조사지의 ha당

**Table 1.** DBH class and number of tree per hectare of *Pinus densiflora* stands, and *Quercus acutissima* stands.

<i>Pinus densiflora</i>		<i>Quercus acutissima</i>	
DBH (cm)	No. of Tree/ha	DBH (cm)	No. of Tree/ha
8	13	8	38
10	13	14	25
12	106	16	6
14	53	18	38
16	256	20	31
18	306	22	25
20	269	24	94
22	75	26	6
24	81	30	19
26	25	32	19
30	19	34	19
-	-	38	6
Total	1,216	Total	326

본수는 소나무림 1,216본/ha, 상수리나무림 326본/ha로 조사되었다(표 1).

## 2. 표본채취 및 분석방법

2007년 7, 8월에 지상부와 뿌리에 대한 시료채취를 실시하였다. 지상부와 뿌리의 탄소축적량 조사를 위해 20m×20m의 조사구를 소나무림과 상수리나무림의 각 지역에 설치한 후 매목조사를 실시하였다. 조사된 흉고직경 범위 내에서 정상적 형태를 갖는 표본목을 소나무림에서 8본, 상수리나무림에서 8본을 선정하였으며, 선정된 16본의 임목은 지상부 20cm위치에서 벌도하였고, 수간부는 1.2m 높이부터 2m간격으로 절단하여 저울을 사용하여 각각의 통나무 생중량을 측정하였다. 건중량 추정을 위해 각 2m 간격의 통나무에서 두께 약 5cm정도의 원판 표본을 분리하여 측정 후 실험실로 운반하였다. 수간부에 붙어있는 모든 가지를 잘라 그 생중량을 측정하고 그 중에서 일부 가지를 표본으로 선정하여 생중량을 측정 후 건중량 추정을 위해 실험실로 운반하였다. 잎의 경우도 분리, 포장하여 현장에서 측정 후

표본시료를 실험실로 운반하여 dry oven에서 75~80℃로 향량에 도달될 때까지 건조시켰다.

뿌리의 경우에는 별목한 나무 중 소나무림에서 7본, 상수리나무림에서 6본을 선택하여, 뿌리가 절단 되지 않는 범위 내에서 삽과 곡괭이를 이용하여 둘레를 최대한 깊게 판 후 3ton 용량의 와이어 윈치를 사용해 굴취 한 후 생중량을 측정하였다. 뿌리의 건중량을 측정하기 위하여 현장에서 일부의 뿌리 샘플을 실험실로 운반한 후 건조기에서 향량에 도달할 때 까지 건조하였다. 표본목의 각 부위별 탄소함량은 loss on ignition 방법으로 분석하였다.

지상부와 뿌리의 탄소 순생산량을 추정하기 위해 수간목부의 순생산량은 최근 5년간 재적생장량을 Smalian 공식을 사용하여 구하고, 이를 다시 5로 나누어 1년간 평균재적생장량을 구한 다음 전체 재적에 대한 비율을 이용하여 건중량을 계산하였다. 수피부에 대한 순생산량은 수간목부의 연간 성장율을 적용 산정하였다. 잎은 채취한 샘플을 사용하였으며, 생지부는 단목별로 채취된 3~4개의 가지밑둥(branch trunk)에서 가지 연령을 측정 후 Whittaker공식(Whittaker and Marks, 1975)을 이용하여 얻은 값에 소지(current twig)의 양을 합하여 추정하였으며, 뿌리의 순생산량은 뿌리의 현존량에 줄기와 가지의 순생산량 대 현존량비를 곱하여 산출하였다(박인협·문광선, 1994).

(Whittaker formula)

$$W=Bw/A$$

W : 생지의 1년간 성장량

w : 가지의 목질부와 수피의 건중량(kg)

A : 가지연령(branch age)

B : 가지연령에 대한 가지 건중량의 대수 회귀 방정식에서 얻은 상수(slope constant)

소나무림과 상수리나무림에서 선별한 총 16주의 표본목에서 부위별로 분리 측정된 건중량에 각 부위별 탄소함량을 곱한 후 공식  $\log Wt=A+$

**Table 2.** Soil characteristics of *Pinus densiflora* stand.

Soil horizon	Depth (cm)	Texture (U.S.A)	OM (%)	Total N(%)	Ava-P (PPm)	Exc-K (me/100g)	Exc-Ca (me/100g)	CEC (me/100g)	PH (1 : 5)
A층	0-15	CL	2.32	0.09	0.33	0.09	0.28	6.75	4.58
B층	16-50	CL	1.54	0.07	0.15	0.09	0.25	5.69	4.48

**Table 3.** Soil characteristics of *Quercus acutissima* stand.

Soil horizon	Depth (cm)	Texture (U.S.A)	OM (%)	Total N(%)	Ava-P (PPm)	Exc-K (me/100g)	Exc-Ca (me/100g)	CEC (me/100g)	PH (1 : 5)
A층	0-18	L	7.80	0.26	2.18	0.15	1.98	18.86	5.02
B층	19-68	L	5.08	0.18	0.41	0.08	0.98	13.56	5.00

BlogD[Wt : 건중량(kg), D : DBH(cm), A : 상수, B : 상수)와 같은 모형의 회귀식을 이용하여 탄소 축적량과 순생산량 방정식을 유도하였다. 매목조사 결과를 통해 측정된 매목의 흉고직경을 유도된 공식에 대입하여 매목의 탄소축적량과 순생산량을 구한 후 각각을 합산함으로써 탄소축적량과 순생산량을 추정하였다.

토양시료는 소나무림과 상수리나무림에서 대표적인 입지를 선정하여 토양층위별로 시료를 채취하였으며 분석한 결과는 표 2, 3과 같다. 채취된 토양은 음지에서 자연 건조한 후 토양중 유기물 함량은 Walkely-Black wet oxidation법으로, pH는 1 : 5로 분석하였고, 전질소 함량은 Kjeldahl법으로, 치환성 K와 Ca는 ICP를 이용하여 분석하였다(농업기술연구소, 1988).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 표본목의 부위별 탄소함량

본 연구지의 소나무림과 상수리나무림의 지상부와 뿌리의 탄소고정량을 추정하기 위하여, 각 부위별 건중량에 표 4, 5의 탄소함량을 적용하여 표본목의 탄소고정량을 환산한 후, 회귀분석하여 추정식의 각 상수를 구한 결과는 표 6, 7과 같으며, 이를 적용하여 지상부와 뿌리의 탄소고정량을 추정된 결과는 표 8, 9와 같다.

**Table 4.** Carbon concentrations(%) in stem wood, stem bark, branch, current twig, foliage, and root of *Pinus densiflora* stands.

Tree Component	<i>Pinus densiflora</i>
Stem wood	57.45±0.40
Stem bark	54.51±0.72
Branches	57.45±0.40
Current twig	55.27±0.78
Foliage	55.78±0.24
Root	50.11±1.67
Aboveground total	55.85±1.32
Total	54.59±2.77

**Table 5.** Carbon concentrations(%) in stem wood, stem bark, branch, foliage, and root of *Quercus acutissima* stands.

Tree Component	<i>Quercus acutissima</i>
Stem wood	56.96±0.92
Stem bark	54.91±1.41
Branches	56.96±0.92
Foliage	53.90±0.10
Root	47.77±1.36
Aboveground total	55.62±1.62
Total	53.73±3.75

Alban과 Perala(1992), Satoo와 Madgwick(1982), 그리고 송철영과 이수욱(1996)의 보고에 의하면 탄소함량은 임목 건중량의 약 50%에 해당된다고

하였으며, 이는 탄소구성비 0.5를 임목의 건중량에 곱하여 구할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 보다 정확한 수종별, 부위별 탄소함량을 파악하기 위하여 소나무 임분과 상수리나무 임분에 대한 부위별 탄소함량을 분석하였다.

각 임분별 탄소함량을 살펴보면 소나무의 탄소함량은 표 4에서와 같이 전체 평균 탄소함량은 54.59%로 나타났으며, 뿌리를 제외한 지상부 탄소함량은 55.85%로 나타나 임목 건중량의 50%로 알려져 있는 것보다 약 4~6% 정도 높았다. 부위별 탄소함량을 보면 수간목부 57.45%, 잎 55.78%, 수피 54.51%, 소지 55.27%, 그리고 뿌리는 50.11% 순이었으며, 부위별로 다소 차이는 있었으며, 그 중 뿌리가 가장 낮은 탄소함량을 보여 주었다.

상수리나무의 탄소함량은 표 5에서 보는 바와 같이 전체 평균 탄소함량은 53.73%로 나타났으며, 뿌리를 제외한 지상부 탄소함량은 55.62%로 나타나서 임목 건중량의 50%보다 약 3~6% 정도 높은 것으로 나타났다. 부위별 탄소함량을 보면 수간목부 56.96%, 수피 54.91%, 잎 53.90%, 그리고 뿌리 47.77% 순으로 부위별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

이상진(2008)은 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산과 탄소고정에 관한 연구에서 뿌리를 포함한 자작나무의 평균 탄소함량은 55.5%, 가래나무는 54.7%라고 보고하여 본 연구의 두 수종과 유사한 값의 탄소함량을 보였고, 박관수 등(2003)은 주요 참나무류 천연림생태계의 탄소고정에 관한 연구에서 신갈나무림에서의 평균 탄소함량은 50.4%, 굴참나무림에서는 51.0%, 졸참나무림에서는 51.3%라고 보고하여 본 연구지의 임분들에서 보다 다소 낮은 탄소함량을 보였다.

결과적으로 임분별 평균 탄소함량은 소나무 54.59%, 상수리나무 53.73%로 일반적인 50%로 계산했을 때 보다 각각 4.59%, 3.73%로 높게 나타났다. 이것은 기존에서 사용하고 있는 건중

량에 0.5를 곱하여 탄소고정량을 추정할 경우 그 양이 과소평가 될 수가 있음을 시사한다.

## 2. 지상부와 뿌리의 탄소고정량

본 연구 소나무림과 상수리나무림의 지상부와 뿌리의 탄소고정량을 추정하기 위하여, 각 부위별 현존량(Biomass)에 표 4, 5의 탄소함량을 적용하여 표준목의 탄소고정량을 환산한 후 회귀분석하여 추정식의 각 상수를 구한 결과는 표 6, 7과 같다.

대수회귀식의 결정계수( $R^2$ ) 값은 지상부의 경우 두 임분 모두 0.96 이상으로 상관관계가 높았으며, 지상부 총량의 64~68%를 차지하는 수간목부는 소나무림 0.977, 상수리나무림 0.970으로

**Table 6.** Organic carbon estimation equation of individual tree biomass of *Pinus densiflora*. Equation for  $m : \log Wt = A + B \log D$ , where  $Wt$  is weight in g,  $D$  is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Stem wood	1.641	2.312	0.977
Stem bark	0.928	2.028	0.971
Branches	0.366	2.915	0.982
Foliage	-0.762	3.219	0.921
Root	0.929	2.409	0.975
Aboveground total	1.674	2.414	0.984
Tree total	1.740	2.417	0.986

**Table 7.** Organic carbon estimation equation of individual tree biomass of *Quercus acutissima*. Equation form :  $\log Wt = A + B \log D$ , where  $Wt$  is weight in g,  $D$  is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Stem wood	1.240	2.783	0.970
Stem bark	1.070	2.396	0.977
Branches	-0.075	3.353	0.950
Foliage	-0.874	3.215	0.944
Root	0.906	2.688	0.948
Aboveground total	1.372	2.822	0.973
Tree total	1.567	2.749	0.968

또한 높은 상관관계를 보였다. 뿌리의 결정계수는 소나무림에서 0.975, 상수리나무림에서는 0.948로 나타났다(표 6, 7).

본 연구에서 지상부와 뿌리의 총 탄소고정량은 소나무림은 79.28tC/ha, 상수리나무림은 71.52tC/ha으로 소나무림이 상수리나무림의 총 탄소고정량보다 ha당 약 8ton정도 높은 것으로 나타났다(표 8, 9). 부위별 전체 탄소고정량 구성비를 살펴 보면 소나무림의 경우 수간목부가 58%로 가장 높았고, 다음으로는 가지, 뿌리, 수피, 잎 순이었다. 상수리나무림도 수간목부가 53.2%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 뿌리, 가지, 수피, 그리고 잎 순으로 나타났다. 지상부의 탄소고정량은 소나무림의 경우 전체 탄소고정량의 85%를 차지하였으며, 상수리나무림은 지상부 탄소고정량의 82%를 차지하여 소나무림이 상수리나무림에서 보다 높은 지상부 비율을 보이는 것으로 나타났다(표 8, 9).

송철영과 이수욱(1996)은 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림에 관한 연구에서 지상부 탄소고정량은 신갈나무 60.5tC/ha, 굴참나무림 62.22tC/ha라고 보고하여 본 연구의 상수리나무림과 약 10tC/ha정도의 차이를 보였다. 부위별 탄소고정량 비율은 수간목부, 가지, 수피, 그리고 잎의 순으로 본 연구의 상수리나무림과 매우 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 박관수(1999)는 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림생태계의 지상부 및 토양 중 탄소고정에 관한 연구에서 신갈나무림의 지상부 탄소고정량은 48.85tC/ha, 굴참나무림은 57.49tC/ha로 보고하여 본 연구에서 보다 적은 탄소고정량을 보이는 것으로 나타났다. Ovington(1957)이 보고한 44년생의 *Quercus*가 영국에서 46.2tC/ha라고 한 것보다는 높은 값을 보인 반면, Ovington(1962)이 보고한 소련에서 *Quercus* 속 42년생 84.9tC/ha보다는 낮은 값을 보이고 있는 것으로 나타났다.

김춘식과 정진현(2001)의 광릉 중부임업시험장내 리기다소나무림의 지상부에 저장된 탄소고

**Table 8.** Organic carbon content(t/ha) of *Pinus densiflora* plantations.

Tree component	<i>Pinus densiflora</i>	
	(t/ha)	(%)
Stem wood	46.02	58.0
Stem bark	3.84	4.8
Branches	14.77	18.6
Foliage	2.74	3.5
Root	11.91	15.0
Aboveground total	67.37	85.0
Tree total	79.28	100.0

**Table 9.** Organic carbon content(t/ha) of *Quercus acutissima* plantations.

Tree component	<i>Quercus acutissima</i>	
	(t/ha)	(%)
Stem wood	38.05	53.2
Stem bark	7.28	10.2
Branches	12.05	16.9
Foliage	1.21	1.7
Root	12.92	18.1
Aboveground total	58.60	81.9
Tree total	71.52	100.0

정량은 55.8tC/ha~95.2tC/ha로 본 연구의 소나무림 지상부 탄소고정량과 유사한 것으로 나타났으며, 이수욱(1985)의 강원도산 소나무 천연림의 99.4tC/ha(현존량의 약 50%로 추정) 보다는 낮은 것으로 나타났다. 박인협과 이석면(1990)의 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 현존량과 비교해 보면 안강형 14.9tC/ha, 중남부평지형 55.4tC/ha, 중남부고지형 66.7tC/ha, 금강형 102.7tC/ha 중 중남부고지형과 가장 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 일본의 소나무 조림지 물질 생산에 관한 Ovington(1962)의 보고에서는 16년생의 경우 29.6tC/ha(현존량의 약 50%로 추정)라고 하였으며, 소나무 천연림에 관한 Satoo(1966)의 연구에서는 15년생의 경우 현존량이 32tC/ha(현존량의 약 50%로 추정)라고 보고한 것과는 연령 차이

는 있지만 본 연구지의 소나무림에서 다소 높은 것으로 나타났다. 또한, Ovington(1956)은 일본의 *Pinus strobus* 41년생의 경우 102.1tC/ha으로 나타났다고 보고하여 본 연구지 소나무림에서의 탄소고정량보다 높은 것으로 보인다.

### 3. 지상부와 뿌리의 탄소 순생산량

본 연구의 소나무림과 상수리나무림의 지상부와 뿌리의 탄소 순생산량을 추정하기 위하여, 각 부위별 순생산량에 표 4, 5의 탄소함량을 적용하여 표준목의 탄소고정량을 환산한 후 회귀분석하여 추정식의 각 상수를 구한 결과는 표 10, 11과 같으며, 뿌리의 순생산량은 뿌리의 현존량에 줄기와 가지의 순생산량 대 현존량 비를 곱하여 산출하였으며(박인협과 문광선, 1994), 표본목의 부위별 탄소 순생산량을 측정된 값에 공식  $\log Wt = A + B \log D$  ( $Wt$ : 건중량(kg),  $D$ : DBH(cm),  $A$ : 상수,  $B$ : 상수)를 이용하여 탄소의 순 생산량을 구한 결과는 표 12, 13과 같다.

탄소의 순생산량 대수회귀식의 결정계수( $R^2$ )의 값은 전체 탄소 순생산량의 경우 소나무림 0.929, 상수리나무림 0.956로 나타났으며, 각 임분별 수간목부의 탄소 순생산량 결정계수의 경우 상수리나무림에서는 0.924로 나타났지만, 소나무림에서는 0.737로 매우 낮게 나타났다. 이렇게 결정계수( $R^2$ )의 값이 수간부와 수피부에서 낮게 나타난 원인은 본 조사에 이용된 소나무 표본목 중 흉고직경 12.7cm과 15.4cm 두 개 표본목의 최근 5년간의 나이테가 매우 넓게 분포하고 있어서 흉고직경 21.3cm의 임목에서 보다 최근 5년간의 재적생장량이 높은 것으로 나타났기 때문이다.

각 임분별 전체 탄소의 순생산량은 소나무림이 9.79tC/ha/yr, 상수리나무림이 5.52tC/ha/yr로 소나무림의 탄소 순생산량이 상수리나무림에서 보다 높았으며, 각 임분별 탄소의 총순생산량은 소나무림의 경우 총 탄소고정량의 12.3%, 상수리나무림은 7.7%에 해당하였다. 또한, 지상부 탄소 순생산량은 소나무림에서는 8.90tC/ha/yr로 지상

**Table 10.** Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Pinus densiflora*. Equation form :  $\log Wt = A + B \log D$ , where  $Wt$  is weight in g,  $D$  is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Stem wood	0.815	2.081	0.737
Stem bark	0.102	1.797	0.725
Branches	0.726	1.810	0.976
Current twig	-0.832	3.184	0.919
Foliage	-0.988	3.246	0.904
Root	0.307	2.017	0.903
Aboveground total	0.962	2.287	0.899
Tree total	0.977	2.289	0.929

**Table 11.** Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Quercus acutissima*. Equation form :  $\log Wt = A + B \log D$ , where  $Wt$  is weight in g,  $D$  is DBH in cm.

Tree Component	A	B	R-Square
Stem wood	0.476	2.321	0.924
Stem bark	0.306	1.934	0.913
Branches	0.377	2.486	0.973
Foliage	-0.874	3.215	0.944
Root	0.426	2.184	0.912
Aboveground total	0.722	2.506	0.954
Tree total	0.957	2.394	0.956

부 총탄소고정량의 90.9%, 상수리나무림에서는 4.69tC/ha/yr로 85.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 각 임목의 전체 부위별 탄소 순생산량은 소나무림의 경우 수간목부가 3.47tC/ha/yr로 가장 높았고, 다음이 소지로 2.10tC/ha/yr, 잎이 1.77tC/ha/yr, 가지가 1.27tC/ha/yr, 뿌리가 0.89tC/ha/yr, 그리고 수피가 0.29tC/ha/yr로 가장 낮은 것으로 나타났다. 상수리나무림의 경우는 약간 다르게 나타났는데, 가지가 1.75tC/ha/yr로 가장 높았으며, 수간목부가 1.45tC/ha/yr, 잎 1.21tC/ha/yr, 뿌리 0.83tC/ha/yr, 그리고 수피가 0.28tC/ha/yr로 가장 낮게 나타났다(표 12, 13). 본 연구의 두 임상 모두에서 탄소의 순생산량은 현존량의 경우와는

**Table 12.** Net primary production of carbon(tonC/ha/yr) in *Pinus densiflora* stands.

Tree Component	<i>Pinus densiflora</i>	
	(tonC/ha/yr)	(%)
Stem wood	3.47	35.4
Stem bark	0.29	3.0
Branches	1.27	13.0
Current twig	2.10	21.5
Foliage	1.77	18.0
Root	0.89	9.1
Aboveground total	8.90	90.9
Tree total	9.79	100.0

**Table 13.** Net primary production of carbon(tonC/ha/yr) in *Quercus acutissima* stands.

Tree Component	<i>Quercus acutissima</i>	
	(tonC/ha/yr)	(%)
Stem wood	1.45	26.3
Stem bark	0.28	5.1
Branches	1.75	31.7
Foliage	1.21	21.9
Root	0.83	15.0
Aboveground total	4.69	85.0
Tree total	5.52	100.0

다르게 잎, 소지, 그리고 가지가 차지하는 부분이 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 매년 탄소 생산량 중에서 많은 부분이 낙엽과 낙지를 통해서 다시 토양으로 환원됨으로써 두 지역 생태계에서 상당량의 유기물 순환 및 양료의 순환이 이루어지고 있는 것으로 볼 수 있다(이수욱, 1985).

본 연구 상수리나무림에서의 총 탄소 순생산량은 이수욱과 박관화(1986)가 보고한 강원도 홍천의 신갈나무림 6.4tC/ha/yr와 박관수(1999)의 충주지역 신갈나무림 5.88tC/ha/yr 보다는 적은 것으로 나타났으며, 송철영과 이수욱(1996)의 충주지역 신갈나무림 4.78tC/ha/yr와 굴참나무림 4.28tC/ha/yr 보다는 많은 것으로 나타났다. 우리나라 산림생태계에서 활엽수림의 순탄소고정량

은 1.5~9tC/ha/yr의 범위를 갖고 있으며, 1.5~3tC/ha/yr에서 최고빈도가 나타나는데(김시경과 정좌용, 1985), 본 연구에서의 상수리나무림의 경우 범위값에 포함되며, 최고빈도 보다는 높은 것으로 나타났다. 본 연구 소나무림의 총 탄소 순생산량은 박인협과 이석면(1990)의 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 순생산량(안강형 1.85tC/ha/yr, 중남부평지형 5.39tC/ha/yr, 중남부고지형 6.54tC/ha/yr, 금강형 8.25tC/ha/yr) 보다는 높은 것으로 나타났는데, 이는 본 소나무 연구지의 경우 충청남도 지역의 소나무 시험림으로서 적기에 가지치기와 간벌 등을 지속적으로 해왔기 때문에 천연림에서 보다 높은 탄소 순생산량을 보이는 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 우리나라 주요 조림수종 중 하나인 소나무림 그리고 인접한 지역에 위치해 있는 상수리나무림을 대상으로 탄소순환 동태의 이해를 돕고 정보를 제공하기 위해 실시되었다. 이를 위해, 충청남도 공주지역의 37년생 소나무조림지에서 8주, 평균 42년생 상수리나무 천연림 임분에서 8주를 선정한 후 지상부를 별도로 뿌리를 채취하였다. 정확한 수종별, 부위별 탄소함량을 파악하기 위하여 각 임분에 대한 부위별 탄소함량을 분석한 결과, 평균 탄소함량은 소나무 54.59% 그리고 상수리나무 53.73%로 나타났다. 지상부 및 지하부 총 탄소고정량은 소나무림 79.28t/ha 그리고 상수리나무림 71.52t/ha로 나타났으며, 전체 탄소고정량 중 지상부가 차지하는 비율은 소나무림 85%, 상수리나무림이 81.9%로 나타났다. 지상부 및 지하부 총 탄소순생산량은 소나무림 9.79tC/ha/yr, 상수리나무림 5.52tC/ha/yr로 소나무림에서 매우 높게 나타났는데, 이는 적기에 간벌 등을 시행하는 등 지속적인 관리 때문으로 사료된다. 지상부 및 지하부 총 탄소고정량 중 순생산량이 차지하는 비율은 소나무림이 12.3%, 상수리나무

림이 7.7%로 나타났다. 총 탄소 순생산량 중 가장 높은 비율을 차지한 부위는 소나무림에서는 수간목부, 상수리나무림에서는 가지로 나타났다.

## 인용문헌

- 권태호. 1982. 경기도 광주지역 잣나무 인공림의 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문 58pp.
- 김갑덕 · 이경재. 1983. 63년생 낙엽송 임분의 물질생산량에 관한 연구. 서울대학교.
- 김시경 · 정좌용. 1985. 굴참나무 천연림의 생산구조 및 물질생산력에 관한 연구. 한국임학회지 70 : 91-102.
- 김춘식 · 정진현. 2001. 경기도 광릉 리기다소나무 임분의 지상부, 탄소 저장량 변화. 한국임학회지 90(6) : 774-780.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. 450.
- 박인협 · 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3) : 323-330.
- 박인협 · 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량추정식(現存量推定式)에 관한 연구. 한국임학회지 83(2) : 246-253.
- 박인협 · 이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2) : 196-204.
- 박관수. 1999. 충주지역의 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 지상부 및 토양 중 탄소고정에 관한 연구. 한국임학회지 88(1) : 93-100.
- 박관수 · 이승우. 2001. 공주, 포항 그리고 양양 지역 굴참나무 천연림 생태계의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 90(6) : 692-698.
- 박관수 · 임재구 · 김준성 · 고소현. 2003. 주요 참나무류 천연림 생태계의 탄소고정에 관한 연구. 2003한국임학회 학술연구 발표논문집 [2월], 174-176.
- 박관수 · 임재구. 2004. 충주지역 굴참나무림의 세균에 의한 탄소축적. 한국환경생태학회지 17 : 360-365.
- 송칠영 · 이수욱. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산량에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) : 443-452.
- 이상진. 2008. 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산과 탄소고정에 관한 연구. 충남대학교 석사학위논문 p.44.
- 이수욱. 1985. 강원도산 소나무 천연림 생태계의 Biomass 및 Net Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지 71 : 74-81.
- 이수욱 · 박관화. 1986. 한국의 소나무 및 참나무 천연림 생태계의 Biomass 및 유기 Energy 생산에 관한 연구. 한국임산에너지학회지 6 (1) : 46-58.
- Alban, D. H., and D. A. Perala. 1992. Carbon storage in Lake States aspen ecosystems. Canadian Journal of Forest Research, 22 : 1107-1110.
- Alexeyev, V. A., and R. A. Birdsey. 1998. Carbon Storage in Forests and Peat Lands of Russia. USDA-USFS Gen. Tech. Rep. NE-244. 1-37p.
- Birdsey, R. A. 1992. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems. USDA-USFS Gen. Tech. Rep. WO-59.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. Science, 263 : 185-190.
- Earth Negotiation Bulletin. 2001. A reporting service for environment and development negotiations. COP-6 vis. <http://www.lisd.ca/climate/cop6bis/>.
- Kurz, W. A., M. J. Apps, T. M. Webb and P. J. McNamee. 1992. The carbon budget of the

- Canadian Forest Sector; Phase I. Inf. Rep. NOR-X-326, Forestry Canada, Edmonton, Alberta. 56pp.
- Laitat, E., T. Karjalainen, D. Loustau and M. Lindner. 2000. Contribution of forests and forestry to mitigate greenhouse effects. *Bio-technology, Agronomy Society and Environment*, 4(4) : 241-251.
- McPherson, E. G., and J. R. Simpson. 1999. Carbon Dioxide Reduction through Urban Forestry : Guideline for Professional and Volunteer Tree Planters. USDA-USFS Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-171. 237p.
- Ovington, J. D. 1956. The form, weights and productivity of tree species grown in close stands. *New Phytol*, 55 : 289-304.
- Ovington, J. D. 1957. Dry matter production by *Pinus sylvestris*. *Ann. Bot.* 4 : 5-58.
- Ovington, J. D. 1962. Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. *Adv. Ecol. Res.* 1 : 103-192.
- Post, W. M., T. Peng, W. R. Emanuel, A. W. King, V. H. Dale and D. L. DeAngelis. 1990. The global carbon cycle. *Am. Sci.* 78 : 310-326.
- Satoo, T. 1966. Production and distribution of dry matter in forest ecosystems. *Misc. Inform. Tokyo Univ. For.* 16 : 1-15.
- Satoo, T., and H. A. I. Madgwick. 1982. Forest Biomass. *Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publisher, The Hague.* 152.
- Schroeder, P. E., and J. K. Winjum. 1995. Assessing Brazil's carbon budget : I. Biotic carbon pool. *Forest Ecology and Management*, 75 : 77-86.
- Sedjo, R. A. 1989. Forests : A tool to moderate global warming? *Environment*, 31(1) : 15-21.
- Tans, P. P., I. Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO<sub>2</sub> budget. *Science*, 247 : 1431-1438.
- Vitousek, P. M. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? *J. Environ. Qual.* 20 : 348-354.
- Watson, R. T., I. R. Novell, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo and D. J. Dokken. 2000. *Land use, Land-use Change, and Forestry.* Cambridge University Press. 377p.
- Whittaker, R. H., and P. L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. Pages 55-118 in H. Lieth and R.H. Whittaker. ed. *Primary Productivity of the Biosphere.* Springer-Verlag. New York. Inc.
- Winjum, J. K., R. K. Dixon and P. E. Schroeder. 1992. Estimating the global potential of forest and sequester carbon. *Water, Air, and Soil Pollut.* 64 : 213-227.