

충남 공주지역 잣나무림과 낙엽송림의 지상부와 뿌리에 의한 탄소고정

강길남¹ · 박관수^{2*} · 이상진² · 이항구² · 김준성³ · 김연태¹

Carbon Storages in Aboveground and Root of *Pinus koraiensis* and *Larix leptolepis* Stands in Gongju, Chungnam Province

Kil-Nam Kang¹ · Gwan-Soo Park^{2*} · Sang-Jin Lee² · Hang-Goo Lee² · Jun-Sung Kim³ · Yeon-Tae Kim¹

ABSTRACT

This study has been carried out to estimate carbon contents in an average 40-years-old *Pinus koraiensis* plantations and an average 37-years-old *Larix leptolepis* plantations in Gongju, Chungnam Province. Average carbon concentration in stemwood, stembark, branches, needles, and root were 54.31% in *Pinus koraiensis* and 53.49% in *Larix leptolepis* stands. Carbon contents was estimated by the equation model $\log Wt = A + B \log D$ where Wt is oven-dry weight in kg and D is DBH in cm. Total carbon contents was 103.38tC/ha in *Pinus koraiensis* stands and 96.59tC/ha in *Larix leptolepis* stands. Net primary carbon production was estimated at 8.79tC/ha/yr in *Pinus koraiensis* stands and 11.42tC/ha/yr in *Larix leptolepis* stands.

Key Words: carbon accumulation, carbon content, net primary carbon production

1. 서론

오늘날 대기 중 이산화탄소함량의 증가는 지구온난화의 관점에서 세계인의 많은 주목을 받고 있다. 전 세계적으로 발생하는 태풍의 피해, 이상 고온, 극심한 가뭄, 극지방 빙하의 해빙 등의 자연 재해, 즉 지구온난화(Global Warming)로 야기되는 문제들의 주된 원인은 바로 대기 중 이산화탄소가 증가했기 때문이다. 이에 따라 이산화탄소의 흡수저장 능력을 가진 산림 내 탄소저장량에 대한 관심 또한 증가하고 있는데(Vitousek, 1991; Alban and Perala, 1992; Laitat et al., 2000; Watson et al., 2000), 산림생태계는 대기 중 이산화탄소 함량의 저감을 위한 어떠한 시도에서도 유용한 매개체로서 큰 역할을 할 것으로 기대되기 때문에 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 또한, 우리나라는 총 국토 면적의 약 64% 이상을 산림이 차지하고 있어 국토 면적에 비례하여 큰 탄소축적지를 가지고 있기 때문에 그 잠재성은 매우 크다 하겠다. 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 능력 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 억제를 위한 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 물질 생산 및 탄소 고정에 관한 연구 중 우리나라에 가장 많이 분포하고 있는 소나무 및 참나무에 관한 연구는 다양한 반면, 잣나무와 낙엽송에 관한 연구는 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구(김중성 등, 1996), 경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형특성과 물질분배(이돈구와 김갑태, 1997), 월악산 24년생 잣나무 인공림의 바이오매스와 에너지량(권기철과 이돈구, 2006), 강릉지방 27년생 잣나무조림지의 바이오매스에 관한 연구(이영진 등, 2009) 등 임목의 지상부에 관한 연구가 대부분을 차지하고 있으며, 산림생태계 탄소저장량

¹ 충청남도 산림환경연구소(Chungcheongnam-do Forest Environment Research Institute)

² 충남대학교 산림환경자원학과(Dept. of Forest Resources, Chungnam National University)

³ 산림조합중앙회 충남도지회(Chungnam Provincial Office of National Forestry Cooperatives Federation)

* Corresponding author : 박관수
Tel.: +82-42-821-5743 Fax: +82-42-826-7850

E-mail : gspark@cnu.ac.kr

2010년 4월 11일 투고

2010년 5월 18일 심사완료

2010년 6월 11일 게재확정

의 약 10-30% 정도를 차지하는 뿌리에 대한 연구는 샘플링의 어려움 때문에 국내뿐만 아니라 외국에서도 매우 미미한 실정이다.

본 연구는 지난 1960년대 이래 우리나라에서 가장 많이 식재된 2대 조림수종인 잣나무림과 낙엽송림을 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 잣나무 조림지는 충청남도 공주시 정안면(동경 127° 02' 10" ~127° 06' 07" , 북위 36° 35' 58" ~36° 36' 58")에 위치하고 있으며, 낙엽송 조림지는 반포면(동경 127° 11' 53" ~127° 26' 03" , 북위 36° 25' 05" ~36° 26' 13")에 위치하고 있다. 본 조사지역 중 잣나무림은 충청남도 산림환경연구소에서 1972년 10ha를 조림한 40년생 시험림이며, 낙엽송림은 1975년 6.5ha를 국유림에 조성한 37년생 임분이다.

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 잣나무림의 경우 해발고 94m, 경사도 29° 그리고 남동~남서사면에 분포하고 있으며, 낙엽송림은 해발고 241m, 경사도 23° 그리고 남서사면에 분포하고 있다. 조사지 임목의 평균 임령은 잣나무와 낙엽송 임분 모두 3~4영급으로 조사되었으며, 각 조사지의 ha당 본수는 잣나무림 1,015본/ha, 낙엽송림 583본/ha로 조사되었다(Table 1).

2. 표본채취 및 분석방법

2007년 7, 8월에 지상부와 뿌리에 대한 시료채취를 실시하였다. 지상부와 뿌리의 탄소축적량의 조사를 위해 20m × 20m의 조사구를 잣나무림과 낙엽송림의 각 지역에 4개씩 총 8개를 설치한 후 매목조사를 실시하였다. 조사된 흉고직경 범위 내에서 정상적 형태를 갖는 표본목을 잣나무림에서 6본, 낙엽송림에서 8본을 선정하였으며, 선정된 14본의 임목은 지상부 20cm위치에서 별도하였고, 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 항량에 도달될 때까지 건조시켰다.

뿌리의 경우에는 벌목한 나무 중 잣나무림과 낙엽송림에서 각 6본씩 선택하여, 뿌리가 절단 되지 않는 범위 내에서 삼과 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 항량에 도달할 때 까지 건조하였다. 표본목의 각 부위별 탄소함량은 loss on ignition방법으로 분석하였다.

지상부와 뿌리의 탄소 순생산량을 추정하기 위해 수간목부의 순생산량은 최근 5년간 재적생장량을 Smalian공식을 사용하여 구하고, 이를 다시 5로 나누어 1년간 평균재적생장량을 구한 다음 전체 재적에 대한 비율을 이용하여

Table 1. DBH class and number of tree per hectare of *Pinus koraiensis* stands and *Larix leptolepis* stands.

<i>Pinus koraiensis</i>		<i>Larix leptolepis</i>	
DBH (cm)	No. of Tree/ha	DBH (cm)	No. of Tree/ha
14	50	12	25
16	169	18	38
18	181	20	94
20	144	22	19
22	188	24	75
24	138	26	163
26	119	28	106
28	13	30	63
30	13		
Total	1,015	Total	583

건중량을 계산하였다. 수피부에 대한 순생산량은 수간목부의 연간 성장율을 적용 산정하였다. 잎은 채취한 샘플을 사용하였으며, 생지부는 단목별로 채취된 3~4개의 가지 밑 등(branch trunk)에서 가지 연령을 측정된 후 Whittaker 공식(Whittaker and Marks, 1975)을 이용하여 얻은 값에 소지(current twig)의 양을 합하여 추정하였으며, 뿌리의 순생산량은 뿌리의 현존량에 줄기와 가지의 순생산량 대 현존량 비를 곱하여 산출하였다(박인협과 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 회귀방정식에서 얻은 상수

(slope constant)

잣나무림과 낙엽송림에서 선별한 총 14주의 표본목에서 부위별로 분리 측정된 건중량에 각 부위별 탄소함량을 곱한 후 공식 $\log Wt = A + B \log D$ [Wt: 건중량(kg), D: DBH(cm), A: 상수, B: 상수]와 같은 모형의 회귀식을 이용하여 탄소 축적량과 탄소 순생산량 방정식을 유도하였다. 매목조사 결과를 통해 측정된 매목의 흉고직경을 유도된 공식에 대입하여 매목의 탄소축적량과 탄소 순생산량을 구한 후 각각을 합산함으로써 전체 탄소축적량과 탄소 순생산량을 추정하였다.

토양시료는 잣나무림과 낙엽송림에서 대표적인 입지를 선정하여 토양층위별로 시료를 채취하였으며 분석한 결과는 Table 2, 3과 같다. 채취된 토양은 음지에서 자연 건조한 후 토양 중 유기물 함량은 Walkely-Black wet oxidation법으로, pH는 1:5로 분석하였고, 전질소 함량은 Kjeldahl법으로, 치환성 K와 Ca는 ICP를 이용하여 분석하였다(농업기술 연구소, 1988).

III. 결과 및 고찰

1. 표본목의 부위별 탄소함량

본 연구지의 잣나무림과 낙엽송림의 지상부와 뿌리의 탄소고정량을 추정하기 위하여, 각 부위별 건중량에 Table 4, 5의 탄소함량을 적용하여 표준목의 탄소고정량을 환산한 후, 회귀 분석하여 추정식의 각 상수를 구한 결과는 Table 6, 7 같았으며, 이를 적용하여 지상부와 뿌리의 탄소 고정량을 추정한 결과는 Table 8, 9와 같다.

Alban과 Perala(1992), Satoo와 Madgwick(1982), 그리고 송철영과 이수욱(1996)의 보고에 의하면 수목에서의 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 잣나무 임분과 낙엽송 임분에 대한 부위별 탄소함량을 분석하였다.

각 임분별 탄소함량을 살펴보면 잣나무 임분의 탄소함량은 Table 4에서와 같이 전체 평균 탄소함량은 54.31%로 나타났으며, 뿌리를 제외한 지상부 탄소함량은 55.90%로 나타나 임목 건중량의 50%로 알려져 있는 것보다 약 4~6% 정도 높았다. 부위별 탄소함량은 수간목부가 57.16%, 수피는 55.90%, 1년생 잎은 55.30%, 소지와 1년생 이상 잎은 54.53% 그리고 뿌리는 48.75% 순이었다. 그 중 1년생 잎과 소지의 탄소함량은 비슷한 것으로 나타났으며, 뿌리 부위의 탄소함량은 50%미만으로 가장 낮게 나타났다.

낙엽송임분의 탄소함량은 Table 5에서 보는 바와 같이 전체 탄소함량은 53.49%이며, 뿌리를 제외한 지상부 탄소함량은 53.95%로 나타나 일반적으로 사용하고 있는 건중량 50%를 탄소함량으로 사용하고 있는 것보다 3~4% 높은 것으로 나타났다. 부위별 탄소함량은 수피가 55.75%, 잎은 54.73%, 뿌리는 52.23% 그리고 수간목부는 51.86%순으로 부위별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

이상진(2008)은 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산과 탄소고정에 관한 연구에서 뿌리를 포함한

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

Soil horizon	Depth (cm)	Texture	O.M. (%)	Total N(%)	Avail. P (ppm)	K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg)	C.E.C. (cmol+/kg)	pH (1:5)
A층	0-20	CL	2.74	0.11	0.71	0.08	2.49	16.16	4.90
B층	21-70	CL	2.25	0.09	0.34	0.10	1.85	14.31	5.17

Table 3. Soil characteristics of *Larix leptolepis* stand.

Soil horizon	Depth (cm)	Texture	O.M. (%)	Total N(%)	Avail. P (ppm)	K ⁺ (cmol ⁺ /kg)	Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg)	C.E.C. (cmol+/kg)	pH (1:5)
A층	0-17	L	4.57	0.13	0.48	0.09	0.65	11.10	4.48
B층	18-55	L	1.57	0.05	0.52	0.08	0.27	7.38	4.80

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 잣나무 54.31%, 낙엽송 53.49%로 일반적인 50%로 계산했을 때 보다 각각 4.31%, 3.49% 높게 나타났으며, 이것은 기존에 사용하고 있는 건중량에 0.5를 곱하여 탄소고정량을 추정할 경우 그 양이 과소평가 될 수가 있음을 시사한다.

Table 4. Carbon concentrations (%) of stem wood, stem bark, branches, needles and root in *Pinus koraiensis* stands.

Tree Component	<i>Pinus koraiensis</i>
Stem wood	57.16±0.92
Stem bark	55.90±1.30
Branches	57.16±0.92
Twigs	54.53±0.06
>1-yr-old needles	54.53±0.06
1-yr-old needles	55.30±0.26
Root	48.75±4.03
Aboveground total	55.90±1.23
Total	54.31±3.67

Table 5. Carbon concentrations (%) of stem wood, stem bark, branches, needles and root in *Larix leptolepis* stands.

Tree Component	<i>Larix leptolepis</i>
Stem wood	51.86±2.15
Stem bark	55.75±0.42
Branches	51.86±2.15
Needles	54.73±0.21
Root	52.23±2.55
Aboveground total	53.95±2.31
Total	53.49±2.45

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

Tree Component	A	B	R-Square
Stem wood	2.548	1.645	0.953
Stem bark	2.011	1.232	0.876
Branches	-0.027	3.261	0.853
Needles	-2.120	4.404	0.785
Root	0.873	2.588	0.776
Aboveground total	2.142	2.103	0.948
Tree total	2.217	2.118	0.951

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

Tree component	A	B	R-Square
Stem wood	1.166	2.708	0.976
Stem bark	0.760	2.137	0.915
Branches	-1.453	4.273	0.951
Needles	-1.546	3.826	0.946
Root	0.283	2.985	0.981
Aboveground total	1.035	2.924	0.979
Tree total	0.911	3.085	0.985

2. 지상부와 뿌리의 탄소고정량

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

대수회귀식의 결정계수(R^2) 값은 지상부의 경우 낙엽송 임분에서는 0.90 이상이었으나, 잣나무 임분의 잎과 뿌리에서 낮은 상관관계를 보이고 있다. 지상부 총량의 약 65%를 차지하는 수간목부의 결정계수는 잣나무림 0.953, 낙엽송림 0.976으로 높은 상관관계를 보였으며, 뿌리의 결정계수는 잣나무림에서 0.776, 낙엽송림에서는 0.981로 나타났다(Table 6, 7).

본 연구에서 지상부와 뿌리의 총 탄소고정량은 잣나무림은 103.38tC/ha, 낙엽송림은 96.59tC/ha으로 잣나무림이 낙엽송림의 총 탄소고정량보다 ha당 약 7ton정도 높은 것으로 나타났다(Table 8, 9). 부위별 전체 탄소고정량 구성비를 살펴보면 잣나무림의 경우 수간목부가 50.8%로 가장 높았고, 다음으로는 가지, 뿌리, 잎 그리고 수피 순이었다. 낙엽송림도 수간목부가 54%로 가장 높았으며, 그 다음으로는 잣나무의 경우와 같이 가지, 뿌리, 잎 그리고 수피 순으로 나타났다. 지상부의 탄소고정량은 잣나무림의 경우 전체 탄소고정량의 80.5%를 차지하였으며, 낙엽송림은 82.7%를 차지하여 잣나무림이 낙엽송림에서 보다 낮은 지상부 비율을 보이는 것으로 나타났다(Table 8, 9).

선행연구를 살펴보면 김종성 등(1996)은 경기도 양평지

역의 37년생 낙엽송 인공조림지의 지상부 임목의 생체량은 127.2t/ha로 보고하고 있으며, 이돈구와 김갑태(1997)는 경기도 광주지방에서 자라는 29년생 낙엽송림의 지상부 물질현존량은 171.1t/ha, 28년생 잣나무림은 75.3t/ha로 보고하고 있고, 이명종(1998)은 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적 연구에서 잣나무의 지상부 현존량은 9년생 임분에서 21.8t/ha, 22년생 임분에서 92.8t/ha, 34년 임분에서 95.7t/ha, 46년 임분에서 127.8t/ha, 66년생 임분에서 130.8t/ha로 임령이 높아짐에 따라 증가한다고 보고하고 있다. 권기철과 이돈구(2006)는 월악산 24년생 잣나무 인공조림지의 지상부 바이오매스는 47.0t/ha로 보고하였으며, 이영진 등(2009)은 강릉지방 27년생 잣나무조림지의 지하부를 포함한 임목전체 바이오매스는 82.4t/ha로 보고하고 있다.

선행연구들의 물질현존량에 0.5를 곱하여 탄소고정량을 추정(Alban and Perala, 1992; Satoo and Madgwick, 1982; 송칠영과 이수욱, 1996)한 후 본 연구의 지상부 탄소고정량과 비교하여 보면 잣나무림의 경우 탄소고정량이 83.18tC/ha, 낙엽송림의 경우 79.85tC/ha로 본 연구에서의 고정량은 선행연구보다 높게 조사되었는데 이러한 이유는 본 연구지가 인공 조림지로 기존 연구에 비해 수령이 오래 되었을 뿐만 아니라 ha당 임목본수 또한 잣나무림에서 1,015본, 낙엽송림에서 538본으로 높았으며, 시비와 가지치기 등을 통한 관리가 제대로 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구의 잣나무림과 낙엽송림의 지상부와 뿌리의 탄소 순생산량을 추정하기 위하여, 각 부위별 순생산량에 Table 4, 5의 탄소함량을 적용하여 표준목의 탄소고정량을

Table 8. Organic carbon content(tC/ha) of *Pinus koraiensis* stands.

Tree component	<i>Pinus koraiensis</i>	
	(tC/ha)	(%)
Stem wood	52.55	50.8
Stem bark	4.33	4.2
Branches	20.45	19.8
Needles	5.85	5.7
Root	20.20	19.5
Aboveground total	83.18	80.5
Tree total	103.38	100.0

Table 9. Organic carbon content(tC/ha) of *Larix leptolepis* stands.

Tree component	<i>Larix leptolepis</i>	
	(tC/ha)	(%)
Stem wood	52.11	54.0
Stem bark	3.20	3.3
Branches	20.68	21.4
Foliage	3.85	4.0
Root	16.73	17.3
Aboveground total	79.85	82.7
Tree total	96.59	100.0

3. 지상부와 뿌리의 탄소 순생산량

환산한 후 회귀분석하여 추정식의 각 상수를 구한 결과는 Table 10, 11과 같다. 뿌리의 탄소 순생산량은 뿌리의 탄소고정량에 수간부와 가지의 탄소 순생산량 대 탄소고정량 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 Table 12, 13과 같다.

탄소의 순생산량 대수회귀식의 결정계수(R^2)의 값은 전체 탄소 순생산량의 경우 잣나무림 0.877, 낙엽송림 0.982로 나타났으며, 각 임분별 수간목부의 탄소 순생산량 결정계수의 경우 낙엽송림에서는 0.922로 나타났지만, 잣나무

Table 10. Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Pinus koraiensis*. 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	1.650	1.303	0.639
Stem bark	1.134	0.875	0.664
Branches	0.129	2.444	0.849
Needles	-2.367	4.330	0.792
Root	-0.092	2.418	0.540
Aboveground total	0.485	2.568	0.849
Tree total	0.626	2.517	0.877

Table 11. Organic carbon estimation equation of individual tree NPP of *Larix leptolepis*. 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	0.048	2.555	0.922
Stem bark	-0.358	1.984	0.771
Branches	-1.450	3.741	0.947
Needles	-1.546	3.826	0.946
Root	-0.929	3.073	0.977
Aboveground total	-0.277	3.214	0.972
Tree total	-0.462	3.400	0.982

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

Tree Component	<i>Pinus koraiensis</i>	
	(tC/ha/yr)	(%)
Stem wood	2.34	26.7
Stem bark	0.19	2.2
Branches	2.33	26.5
Needles	2.63	29.9
Root	1.29	14.7
Aboveground total	7.50	85.3
Tree total	8.79	100.0

Table 13. Net primary production of carbon(tC/ha/yr) in *Larix leptolepis* stands.

Tree Component	<i>Larix leptolepis</i>	
	(tC/ha/yr)	(%)
Stem wood	2.40	21.1
Stem bark	0.15	1.3
Branches	3.65	32.0
Needles	3.85	33.8
Root	1.37	12.0
Aboveground total	10.05	88.0
Tree total	11.42	100.0

림에서는 0.639로 매우 낮게 나타났다. 이렇게 결정계수(R^2)의 값이 수간부와 수피부에서 낮게 나타난 원인은 본 조사에 이용된 잣나무 표본목 중 흉고직경 12.7cm와 15.4cm의 두 개 표본목의 최근 5년간의 나이테가 매우 넓게 분포하고 있어서 흉고직경 21.3cm의 임목에서 보다 최근 5년간의 재적성장량이 높게 나타났기 때문으로 사료된다.

각 임분별 전체 탄소의 순생산량은 잣나무림이 8.79tC/ha/yr, 낙엽송림이 11.42tC/ha/yr로 잣나무림의 탄소 순생산량이 낙엽송림에서 보다 낮았으며, 각 임분별 탄소의 총순생산량은 잣나무림의 경우 총 탄소고정량의 8.5%, 낙엽송림은 11.8%에 해당하였다. 또한, 지상부 탄소 순생산량은 잣나무림에서는 7.50tC/ha/yr로 전체 탄소고정량의 85.3%, 낙엽송림에서는 10.05tC/ha/yr로 전체 탄소고정량의 88.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 각 임목의 전체 부위별 탄소 순생산량은 잣나무림의 경우 잎이 2.63tC/ha/yr로 가장 높았고, 다음이 수간목부가 2.34tC/ha/yr, 가지가 2.33tC/ha/yr, 뿌리가 1.29tC/ha/yr, 그리고 수피가 0.19tC/ha/yr 순으로 낮게 나타났다. 낙엽송림의 경우 잣나무림과 같이 잎이 3.85tC/ha/yr로 가장 높았으며, 가지가 3.65tC/ha/yr, 수간목부 2.40tC/ha/yr, 뿌리 1.37tC/ha/yr, 그리고 수피가 0.15tC/ha/yr로 가장 낮게 나타났다(Table 12, 13). 본 연구의 두 임상 모두에서 탄소의 순생산량은 현존량의 경우와는 다르게 잎과 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 추정 할 수 있다(이수옥, 1985).

선행연구를 살펴보면 권기철과 이돈구(2006)는 월악산 24년생 잣나무 인공조림지의 지상부 순생산량은 6.0t/ha/yr로 보고하였으며, 이영진 등(2009)은 강릉지방 27년생 잣나무조림지의 지하부를 포함한 임목전체 순생산량은 11.3t/ha/yr, 지상부 순생산량은 9.4t/ha/yr로 보고하였다. 선행연구들의 순생산량에 0.5를 곱하여 탄소 순생산량을 추정(Alban and Perala, 1992; Satoo and Madgwick, 1982; 송철영과 이수옥, 1996)한 후 본 연구의 지상부 탄소고정량과 비교하여 보면 잣나무림의 경우 지상부 탄소 순생산량은 7.50tC/ha/yr, 낙엽송림의 경우 10.05tC/ha/yr로 높게 조사되었는데 이러한 이유는 본 연구지가 잣나무림과 낙엽송림 인공조림지로 기존 연구에 비해 수령이 오래 되었을 뿐만 아니라 ha당 임목본수 또한 높았으며, 시비와 가지치기 등이 적기에 제대로 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 우리나라 주요 조림수종 중 하나인 잣나무림과 낙엽송림을 대상으로 탄소순환 동태의 이해를 돕고 정

보를 제공하기 위해 실시되었다. 이를 위해, 충청남도 공주지역의 평균 40년생 잣나무조림지에서 6본, 평균 37년생 낙엽송 조림지에서 8본을 선정한 후 지상부를 벌도하고 뿌리를 채취하였다. 정확한 수종별, 부위별 탄소함량을 파악하기 위하여 각 임분에 대한 부위별 탄소함량을 분석한 결과, 평균 탄소함량은 잣나무 54.31% 그리고 낙엽송 53.49%로 나타났다. 지상부 및 지하부 전체 탄소고정량은 잣나무림 103.38t/ha 그리고 낙엽송림 96.59t/ha로 나타났으며, 전체 탄소고정량 중 지상부가 차지하는 비율은 잣나무림 80.5%, 낙엽송림이 82.7%로 나타났다. 지상부 및 지하부 전체 탄소 순생산량은 잣나무림 8.79tC/ha/yr, 낙엽송림 11.42tC/ha/yr로 낙엽송림에서 매우 높게 나타났다. 지상부 및 지하부 총 탄소고정량 중 순생산량이 차지하는 비율은 잣나무림이 8.5%, 낙엽송림이 11.8%로 나타났다. 총 탄소 순생산량 중 가장 높은 비율을 차지한 부위는 잣나무림과 낙엽송림 모두 잎으로 나타났다.

참고문헌

1. 권기철, 이돈구. 2006. 월악산 24년생 잣나무 인공림의 바이오매스와 에너지량. 한국목재공학회지. 34(4):66-75.
2. 김종성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의(人工造林地) 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지. 85(3): 416-425.
3. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청. 450.
4. 박인협, 문광선. 1994. 주요 참나무류 천연림의 물질생산 및 현존량추정식(現存量推定式)에 관한 연구. 한국임학회지. 83(2):246-253.
5. 박관수, 임재구, 김준성, 고소현. 2003. 주요 참나무류 천연림 생태계의 탄소고정에 관한 연구. 2003한국임학회 학술연구 발표논문집[2월]. 174-176.
6. 송철영, 이수옥. 1996. 신갈나무와 굴참나무 천연림 생태계의 현존량 및 물질 생산량에 관한 연구. 한국임학회지. 85(3):443-452.
7. 이돈구, 김갑태. 1997. 경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형특성과 물질분배. 한국임학회지. 86(2):208-213.
8. 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지. 87(2): 276-285.
9. 이상진. 2008. 충주지역의 자작나무와 가래나무 조림지의 물질생산과 탄소고정에 관한 연구. 충남대학교 석사 학위논문. p44.
10. 이수옥. 1985. 강원도산 소나무 천연림 생태계의 Biomass 및 Net primary production에 관한 연구. 한국임학회지. 71:74-81.
11. 이영진, 서연옥, 박상문, 표정기, 김래현, 손영모, 이경학,

- 김형호. 2009. 강릉지방 27년생 잣나무조림지의 바이오매스에 관한 연구. 경상대학교 농업생명과학연구원(구 경상대학교 농업자원이용연구소). 농업생명과학연구. 43(1):1-8.
12. Alban, D.H., and D.A. Perala. 1992. Carbon storage in Lake States aspen ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 22:1107-1110.
13. 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.
14. Birdsey, R.A. 1992. Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems. USDA-USFS Gen. Tech. Rep. WO-59.
15. 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.
16. Earth Negotiation Bulletin. 2001. A reporting service for environment and development negotiations. COP-6 vis. <http://www.lisd.ca/climate/cop6bis/>.
17. 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.
18. Laitat, E., T. Karjalainen, D. Loustau and M. Lindner. 2000. Contribution of forests and forestry to mitigate greenhouse effects. *Biotechnology, Agronomy Society and Environment*. 4(4):241-251.
19. 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.
20. 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.
21. Satoo, T. and H.A.I. Madgwick. 1982. Forest Biomass. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publisher, The Hague. 152.
22. Schroeder, P.E. and J.K. Winjum. 1995. Assessing Brazil's carbon budget : I. Biotic carbon pool. *Forest Ecology and Management*. 75:77-86.
23. Sedjo, R.A. 1989. Forests: A tool to moderate global warming? *Environment* 31(1):15-21.
24. Tans, P.P., I.Y. Fung and T. Takahashi. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*. 247:1431-1438.
25. Vitousek, P.M. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon dioxide? *J. Environ. Qual.* 20:348-354.
26. 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.
27. 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.