

무주지역 리기다소나무 임분에 대한 탄소저장량 평가¹

서연옥² · 정성철² · 이영진^{3*}

Estimation of Carbon Storage for *Pinus rigida* Stands in Muju¹

Yeon Ok Seo², Sung Cheol Jung², Young Jin Lee^{3*}

요 약

본 연구는 전라북도 무주 지역의 36년생 리기다소나무 임분을 대상으로 임목(지상부와 지하부), 고사목, 유기물층, 토양에 대한 탄소저장량을 산출하고자 하였다. 총 3개의 표준지 내에서 11 그루의 표준목을 선정하였고 고사목, 유기물층, 토양에 대한 시료를 채취하여 분석 자료로 활용하였다. 그 결과, 리기다소나무 임분에 대한 지상부 및 지하부 탄소저장량은 각각 51.0 ton C/ha, 29.6 ton C/ha로 나타났다. 부위별 구성비는 줄기 목질부 41.0% > 뿌리 36.8% > 가지 12.8% > 줄기 수피 6.0% > 잎 3.4% 순으로 나타났다. 고사목의 탄소저장량은 0.65 ton C/ha로 나타났으며 유기물층 탄소저장량은 6.40 ton C/ha로 나타났다. 토양의 총 탄소저장량은 51.62 ton C/ha로 나타났으며 층위별 탄소저장량은 0~10cm에서 20.27 ton C/ha, 10~20cm에서 12.83 ton C/ha, 20~30cm에서 12.27 ton C/ha, 30~50cm에서 6.24 ton C/ha로 나타났다. 토양 탄소저장량은 층위가 깊어질수록 감소하는 경향을 보였으며 이는 탄소농도와 용적밀도에 의해 나타난 결과라고 판단된다. 산림생태계 탄소저장량은 총 139.27 ton C/ha로 나타났고 탄소저장량 구성비는 토양에서 37.1%로 가장 높았으며 다음으로 지상부에서 36.6%로 나타났고 지하부(21.3%), 유기물층(4.6%), 고사목(0.5%) 순으로 나타났다. 따라서 본 연구는 산림생태계 탄소저장량 산출에 기초적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 산림생태계, 고사목, 유기물층, 토양

ABSTRACT

This study aimed to determine the total amount of carbon stored in the aboveground, belowground tree biomass, dead trees, and organic matter in the forest floor and soil of the 36-year-old *Pinus rigida* stands in Muju. A total of three plots were selected to measure the carbon stored in live trees, dead trees, forest floor, and soil. Results showed that the carbon stocks of *P. rigida* stands amounted to 51.0 ton C/ha in aboveground biomass and 29.6 ton C/ha in belowground biomass. The distribution ratios of carbon stocks were as follows: 41.0% in stem wood, 36.8% in roots, 12.8% in branches, 6.0% in stem bark and 3.4% in foliage. The carbon stocks in dead tree amounted to 0.65 ton C/ha while it was 6.40 ton C/ha in organic matter in forest floor. The total amount of carbon stocks found in soil was 51.62 ton C/ha: 20.27 ton C/ha at 0~10 cm depth, 12.83 ton C/ha at 10~20 cm depth, 12.27 ton C/ha at 20~30 cm depth, and 6.24 ton C/ha at 30~50 cm depth. It was also observed that, as the soil depth increased, the soil carbon stocks tended to decrease. Results showed that the total amount of

1 접수 2015년 9월 18일, 수정 (1차: 2015년 11월 25일, 2차: 2016년 6월 22일), 게재확정 2016년 6월 23일

Received 18 September 2015; Revised (1st: 25 November 2015, 2nd: 22 June 2016); Accepted 23 June 2016

2 국립산림과학원 난대아열대산림연구소 Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, NFOS, Jeju, 63582, Korea

3 공주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Kongju National University., Yesan, Chungnam 32439, Korea

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-330-1304, Fax: +82-41-330-1308, E-mail: leeyj@Kongju.ac.kr

carbon stocks of *P. rigida* stands in Muju was 139.27 ton C/ha; the highest portion of the cumulative carbon stocks was found to be in soil at 37.1%, followed by the aboveground biomass with 36.6%, belowground biomass with 21.3%, forest floor with 4.6 % and dead trees with 0.5 %. This study is expected to provide forest managers accurate estimates of carbon stored in the habitat of *P. rigida* stands in Muju.

KEY WORDS: FOREST ECOSYSTEM, DEAD TREE, FOREST FLOOR, SOIL

서론

기후변화가 발생함에 따라 기상이변, 사막화, 해빙, 해수면 상승, 생태계 파괴 등이 급격하게 진행되고 있으며 이러한 현상들은 이산화탄소의 농도 증가가 주된 원인이다 (Tans *et al.*, 1990). 현재 대기 중의 이산화탄소 농도는 산업혁명 이전 280ppm에서 2010년 389ppm으로 약 39% 증가하였고(KFRI, 2012) 지구온난화의 약 60%는 이산화탄소에 의해 발생되고 있다. 따라서 지구온난화와 관련하여 대기 중 탄소 축적에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 따른 산림 내 재생 가능한 바이오매스 생산과 탄소고정 능력 파악의 중요성이 재인식 되고 있다. 특히 산림의 주요 수종에 대한 세부적이고 정확한 연구가 요구되고 있으며 산림 바이오매스는 임령과 지역에 따라 많은 차이를 보이고 있어 우리나라 실정에 맞는 주요 수종별, 임령별, 지역별 연구가 필요하다(Park and Lee, 1990; Park *et al.*, 2000).

산림 바이오매스는 지구의 이산화탄소를 지상부에서 약 80% 포함하고 있고 지하부에서 약 40% 포함하고 있다 (Peichl and Arain, 2007). 따라서 산림은 지상부뿐만 아니라 지하부에 대한 연구도 매우 중요시 되고 있으며 지하부는 지구탄소순환에 기여하는 가장 중요한 구성요소로 알려져 있다(Davidson *et al.*, 2002). 이에 따라 산림 내 임목의 지상부와 지하부 탄소저장량 및 고사목, 유기물층, 토양 탄소저장량을 산출하기 위한 체계적인 자료 구축이 필요한 실정이다.

리기다소나무는 우리나라 산림 면적의 약 387천 ha로 소나무(1,447천 ha), 낙엽송(425천 ha) 다음으로 많은 면적을 차지하고 있으며(KFS, 2014), 생장이 빠르고 줄기가 곧아 내한성 및 내충성에 비교적 강하여 건조하고 척박한 곳에서

도 잘 자랄 수 있는 특징을 가지고 있다(Kim, 1985; KFRI, 2007). 현재 우리나라의 리기다소나무는 3영급 이상의 임분이 대부분을 차지하고 있으며(Kwon and Lee, 2006), 전국에 걸쳐 약 445천 ha에 달하는 임지가 분포하고 있다(KFS, 2014). 그러나 리기다소나무 대부분이 벌채되고 있고 생장량이 감소하고 있어 산림청 정책으로 리기다소나무의 갱신이 추진되고 있으므로 갱신지에 대한 명확한 탄소저장량 특성이 고려되어야 한다. 따라서 무분별한 갱신 보다는 벌채 전 리기다소나무 탄소저장량에 대한 연구가 선행되어야 하며 적절한 관리가 요구되는 시점이라 할 수 있다.

기존의 리기다소나무 바이오매스에 대한 연구는 상대생장식을 이용한 경우(Yim *et al.*, 1982; Kim *et al.*, 1985; Lee *et al.*, 1985; Kim *et al.*, 1996; Kim, 1999; Kim and Jeong, 2001), 지상부와 지하부를 추정한 연구 등이 추진되었으나(Seo *et al.*, 2006) 지상부에 비해 지하부에 대한 연구가 부족하고 탄소저장량을 추정한 연구 역시 매우 부족한 상태이므로 구체적인 연구가 지속적으로 진행되어야 한다. 따라서 본 연구는 전북 무주지역 36년생 리기다소나무 임분을 대상으로 임목, 고사목, 유기물층, 토양의 탄소저장량을 산출하고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구는 전라북도 무주군 국유림 내(E 127° 39'19.0", N 35° 59'17.9") 36년생 리기다소나무 조림지를 대상으로 조사를 실시하였으며 3개 조사구 내에서 11 그루의 표준목을 선정하였다. 조사지의 해발고는 약 361m, 사면은 남동쪽, 경사는 약 15°로 나타났으며, 표준목의 평균 흉고직경과

Table 1. The summary of observed statistics for the *Pinus rigida* stands in Muju-gun

Age (years)	DBH (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Crown percent (%)
36±2.8 (28~39)	18±4.1 (12~24)	15±3.4 (9~19)	792±208 (625~1,025)	SE	361	15	64

Note : Value is mean ± S.D. with ranges in parenthesis

평균 수고는 각각 18cm와 15m로 나타났다(Table 1). 조사지의 기상조건(KMA, 2015)은 최근 30년간(1971~2000년) 연평균 강수량 1,422.1mm, 연평균 기온 10.4℃, 최저기온과 최고기온은 각각 4.8℃와 16.9℃로 나타났다(Figure 1). 조사지의 임분밀도는 792 trees/ha로 울폐된 임분을 형성하고 있었으며, 중층 식생으로는 노간주나무, 굴참나무, 비목, 때죽나무, 신갈나무, 율나무 등이 분포하였고, 하층식생은 싸리, 청미래덩굴, 진달래, 국수나무, 복분자 등이 분포하였다.

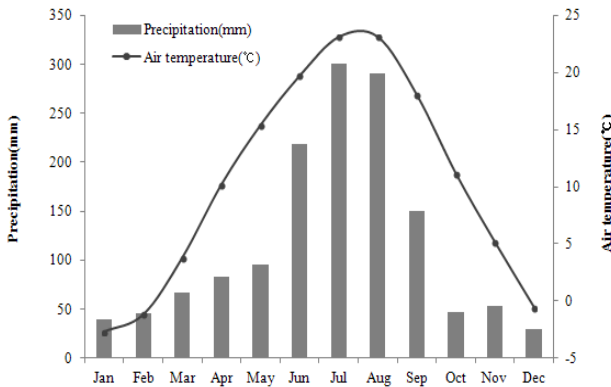


Figure 1. Monthly average precipitation and temperature in Muju-gun

2. 조사방법

리기다소나무 임분을 대상으로 3개의 표준지를 선정하였고 20m × 20m 정방형 조사구를 설치하여 임분 내 6cm 이상의 임목에 대하여 매목조사를 실시하였다. 표준목은 매목조사에서 얻은 자료를 이용하여 최소직경에서 최대직경까지 골고루 분포하도록 총 11본을 선정하였다. 총 11본의 표준목을 별목하여 줄기, 가지, 잎으로 구분하였으며 줄기의 원반은 지상 0.2m에서 별목한 후 1.2m, 3.2m, 5.2m 간격으로 별도를 실시하였고 생중량을 측정하였다(KFRI, 2007). 건중량 측정을 위하여 원반의 두께는 5cm 단위로 균일하게 채취하였다. 가지와 잎도 전량을 수거한 후 생중량을 측정하였고 일부 시료는 건중량 측정을 위해 실험실로 운반하였다(KFRI, 2007). 임목의 뿌리는 굴삭기를 이용하여 11본 중 5본을 굴취하였고 전자저울을 이용하여 생중량을 측정하였으며 약 1kg의 시료를 채취하였다. 모든 시료(원반, 가지, 잎, 뿌리)는 실험실로 운반하여 건조기에서 100℃로 향량에 도달될 때까지 건조 시킨 후 건중량을 측정하였다. 측정된 건중량을 단위면적당 바이오매스로 산출하였으며 이를 대상으로 탄소함량인 50.2%를 적용하여 탄소저장량을 산출하였다.

고사목은 표준지 내에서 직경 10cm, 길이 1m 이상인 모

든 목질부(줄기, 가지) 유기물을 고사목으로 분류하여 조사를 실시하였다. 또한 조사 수종 이외의 수종은 고사목 측정에서 제외하였으며 고사목은 위치 상태와 부후등급을 분류하여 조사를 실시하였으며 부후등급은 초기, 중기, 후기 3등급으로 분류하였다. 초기는 고사 직후부터 변재까지 가해된 고사목, 중기는 심재까지 가해된 상태로 원형을 유지하는 고사목, 후기는 원형을 유지하지 못한 상태로 파편화 또는 입자화된 고사목으로 구분하였다(KFRI, 2010). 구분된 고사목은 부후등급에 따라 부후상태를 대표할 수 있는 부위에서 단편을 약 1kg 정도 채취하였다.

유기물층은 표준지 내에서 3개의 시료 채취 지점을 선정하였고 심하게 교란된 곳, 고사목, 암석이 많은 곳은 피하여 조사를 실시하였으며 30cm × 30cm 정방형구 내에 존재하는 신선한 낙엽층과 나머지 분해층, 부식층 구분없이 채취하였다. 측정된 시료는 실내로 운반하여 100℃로 향량에 도달할 때까지 건조시킨 후 건중량을 측정하였다(KFRI, 2007).

토양은 유기물층과 동일한 지점에서 측정하였으며 이 때 다른 종류의 식생과 인접한 곳, 암석 노출이 심한 곳, 바람과 물에 의해 낙엽, 낙지가 모아지는 곳은 제외하였다. 토양의 시료 채취는 간이트양시료채취기(407cm³)를 이용하여 각 처리구에서 3반복으로 0~10cm, 10~20cm, 20~30cm, 30~50cm 깊이로 토양시료를 채취하였다. 채취한 토양 시료는 풍건 후 2mm체(US standard No. 10)로 세토와 자갈로 분리하였고 각각의 무게를 측정하였으며 일부 세토는 용적밀도 산출에 사용하였다. 고사목, 유기물층, 토양의 탄소 분석은 원소분석기(NCS-2500)를 이용한 건식연소법을 이용하였다. 고사목과 유기물층은 건중량에 탄소농도를 곱하여 산출하였고 토양 탄소저장량은 탄소농도에 용적밀도와 토양 깊이를 곱하여 산출하였다(KFRI, 2010).

3. 통계 분석

바이오매스 추정은 표준목을 대상으로 흉고직경(X)을 독립변수로 하고 바이오매스(Y)를 종속변수로 하는 대수회귀식(logY=A+BlogX)을 부위별로 유도한 후 매목 조사 시 측정된 흉고직경을 대입하여 추정하였다. 결정계수(R²)와 평균 제곱근 오차(RMSE)의 통계량을 이용하여 설명력과 적합도 검정을 실시하였으며(Beal, 2005), 대수회귀식 보정을 위해 Sprugel 보정계수를 사용하였다(Sprugel, 1983).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \hat{H}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (H_i - \hat{H}_i)^2 / n}$$

$$CF = \exp(SEE^2/2)$$

$$S.E.E. = [\sum(s.s.e.)/(n-2)]^{1/2}$$

층위별 토양 용적밀도, 토양 탄소저장량은 Duncan의 다중검정법을 이용하여 평균을 비교 분석하였으며 모든 통계적 자료 분석은 SAS 9.1(SAS Institute Inc, 2004)을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 바이오매스 상대생장식

리기다소나무의 흉고직경에 대한 부위별 바이오매스(kg/tree)를 추정된 결과, 줄기 목질부, 지상부 바이오매스, 전체 바이오매스에서 95% 이상의 설명력으로 나타났으며 가지, 잎에서는 68% 이상의 설명력이 나타났다(Table 2). 기존의 연구와 비교 분석한 결과, 36년생 리기다소나무의 줄기 목질부, 줄기 수피, 가지 모두 95% 이상의 설명력으로 나타났고(Kwon and Lee, 2006), 22년생 리기다소나무는 줄기, 가지, 잎에서 92% 이상의 설명력으로 나타났다(Lee *et al.*, 1985). 본 연구에서 가지와 잎은 적합도가 낮은 것으로 나타났으며 이는 조사대상지의 임령, 지위, 환경인자와 큰 연관성이 있는 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2015). 바이오매스 추정식에서 얻은 상수 a, b값은 각각 -5.874~-2.868, 2.054~3.471로 나타났고 상수 b값이 (+) 값을 나타내므로 DBH가 증가함

에 따라 증가하는 경향을 보였으며 대수회귀식 보정계수는 1.001~1.011로 나타났다.

2. 임목 탄소저장량 및 구성비

리기다소나무의 지상부 탄소저장량(ton C/ha)은 51.0으로 나타났으며 줄기 목질부 33.0, 가지 10.3, 줄기 수피 4.9, 잎 2.8로 나타났다. 지하부 탄소저장량은 29.6으로 나타났으며 리기다소나무의 총 탄소저장량은 80.6으로 나타났다(Table 3). 기존의 연구 결과, 36년생 리기다소나무의 지상부 탄소저장량은 126.0(Kwon and Lee, 2006), 50년생과 30년생이 각각 63.4, 53.3(Kim *et al.*, 1985), 37년생은 69.1(Kim *et al.*, 1996)로 나타났다. 월악산 35년생 소나무림의 평균 탄소저장량(지상부와 지하부)은 68.5로 본 연구에서 다소 높은 수치를 보였다(Lee *et al.*, 2013). 본 연구에서 기존 연구와 탄소저장량의 차이를 보이는 이유는 흉고직경, 수고, 임분밀도, 지역적인 차이에 기인한 것으로 판단된다. 반면에, Ohtsuka *et al.*(2010)은 일본 중부 냉온대 낙엽활엽수림 50년생 임분에서 탄소저장량을 평가한 결과, 77로 나타나 본 연구와 유사하였으며 온대 산림의 탄소저장량

Table 3. Carbon stored in the different tree components of *Pinus rigida* stands in Muju-gun

Component	Carbon storage (ton C/ha)	Carbon storage (%)
Stem wood	33.0	41.0
Stem bark	4.9	6.0
Branch	10.3	12.8
Leaf	2.8	3.4
Aboveground	51.0	63.2
Root	29.6	36.8
Total	80.6	100

Table 2. Biomass equations for the tree components biomass using DBH for *Pinus rigida* stands in Muju-gun

Tree component	a	b	RMSE	R ²	CF
Stem	-2.991	2.594	0.132	0.962	1.001
Stem wood	-3.414	2.689	0.158	0.950	1.001
Stem bark	-3.451	2.054	0.067	0.984	1.000
Branch	-5.511	2.990	0.340	0.836	1.006
Leaf	-5.498	2.533	0.443	0.683	1.011
Aboveground	-2.869	2.652	0.130	0.965	1.001
Root	-5.874	3.471	0.254	0.934	1.011
Total	-2.868	2.821	0.104	0.982	1.002

Note: Regression equation form is $\ln Y = \alpha + b \ln D$, α , b is estimated parameters, D is diameter at breast height(cm), R^2 is adjusted multiple coefficient of determination, CF is $\exp(SEE^2/2)$.

이 평균 96(60~130)으로 나타나(Prentice, 2001; Lal, 2005), 전 세계 산림의 온대림 안에 포함되는 수치를 보였다.

리기다소나무의 구성비(%)는 줄기 목질부 41.0 > 뿌리 36.8 > 가지 12.8 > 줄기 수피 6.0 > 잎 3.4 순으로 나타났다. 이는 기존에 36년생 리기다소나무림과 동일한 패턴으로 줄기 목질부(65.9) > 가지(20.6) > 줄기 수피(8.9) > 잎(2.6) > 1년생 잎(1.5) > 구과(1.3) 순으로 나타났다(Kwon and Lee, 2006).

3. 유기물층, 고사목 탄소저장량

리기다소나무의 유기물층 탄소농도(%)와 탄소저장량 (ton C/ha)은 각각 41.25와 6.40으로 나타났다. 기존 연구와 비교한 결과, 충청남도 예산지역 리기다소나무 임분 내 유기물 탄소저장량은 1~2영급 2.47, 3~4영급 10.10, 5~6영급 6.49(Seo *et al.*, 2006)로 3~4영급과 비교하면 본 연구의 탄소저장량이 적은 값을 보였다. 충청남도 공주시역 32년생 리기다소나무림 내 유기물 탄소저장량은 4.32(Han *et al.*, 2009)로 본 연구에서 유기물 탄소저장량이 다소 높게 나타났다. 유기물층 탄소저장량이 지역별로 차이를 보이는 것은 유기물층을 구성하는 유기물의 질적 차이에 따라 미생물 반응이 다르게 나타남으로써, 분해되고 남아있는 유기물의 양이 다르기 때문으로 추정된다(Lee *et al.*, 2009).

고사목 탄소농도(%)와 탄소저장량(ton C/ha)은 각각 초기 48.95와 0.09, 중기 50.24와 0.43, 후기 50.67와 0.13으로 나타났고 고사목의 총 탄소저장량은 0.65로 나타났다. 국립산림과학원에서 조사된 고사목 탄소저장량은 0.83(KFRI, 2010)으로 나타나 본 연구에서는 낮은 수치를 보였으며 이러한 원인은 간벌에 따른 인위적인 요인에 의해서 많은 영향을 받은 것으로 판단된다.

4. 토양 탄소저장량

리기다소나무의 0-50cm 깊이의 토양 탄소농도(%)는 깊이별로 각각 4.06, 2.19, 1.51, 1.13으로 토양 깊이가 깊어짐에 따라 토양 탄소농도는 감소하였으며 깊이에 따라 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 토양 탄소농도가 상층에서 높게 나타난 원인은 지상부로부터 유입된 낙엽, 죽은 가지, 줄기 등과 같은 유기물이 분해되어 토층으로 유입되었기 때문이며(Armson, 1977), 세근도 분해되어 유입되었기 때문으로 판단된다. 토양의 용적밀도(g/cm^3)는 각각 0.87, 1.06, 1.18, 1.06으로 나타났으며 층위별 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 4).

토양 층위별 탄소저장량(ton C/ha)은 0~10cm에서 20.27, 10~20cm에서 12.83, 20~30cm에서 12.27, 30~50cm에서

6.24로 나타났으며 총 토양 탄소저장량은 51.62로 나타났다(Figure 2). 층위가 깊어질수록 탄소저장량은 감소하는 경향을 보였으며 이는 층위가 깊어질수록 감소하는 탄소농도와 증가하는 용적밀도에 기인하는 것으로 사료된다. 기존 연구와 비교한 결과, 우리나라 평균 토양 탄소저장량은 67(Jeong *et al.*, 1998)로 본 연구에서 15.38정도 적게 나타났으며, 충청남도 공주시역 32년생 리기다소나무림 내 토양 탄소저장량은 100.32(Han *et al.*, 2009)으로 본 연구의 토양 탄소저장량이 48.70 정도 적은 것으로 나타났다. 반면에 국립산림과학원에서 8영급 소나무림을 대상으로 30cm까지 측정된 결과, 45.40(Lee *et al.*, 2009)으로 본 연구에서 다소 높은 수치를 보였다. 토양 탄소저장량은 지역과 수종에 따라 많은 차이를 보이고 있으며 이러한 차이는 토양의 깊이 및 유기물층의 유기물 함량 차이에서 기인하는 것으로 판단된다(Lee *et al.*, 2009)

Table 4. Soil characteristics at different depths in *Pinus rigida* stands in Muju-gun

Soil depth	Bulk density(g/cm^3)	Carbon concentration(%)
0~10cm	0.87(0.06) a	4.06(0.28) a
10~20cm	1.06(0.08) a	2.19(0.37) b
20~30cm	1.18(0.07) a	1.51(0.29) bc
30~50cm	1.06(0.30) a	1.13(0.21) c

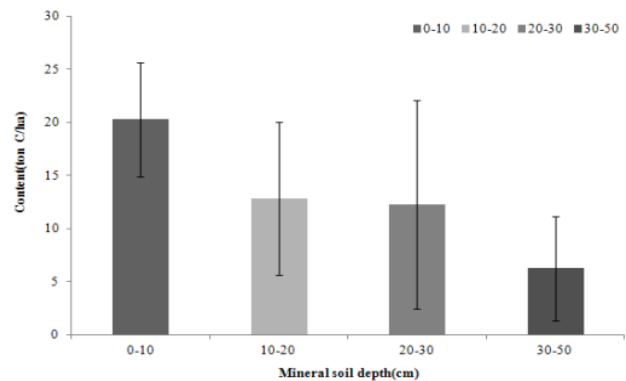


Figure 2. Carbon stocks in the different soil depth of *Pinus rigida* stands

5. 산림생태계 탄소저장량

리기다소나무의 생태계 탄소저장량(ton C/ha)은 지상부 50.95, 지하부 29.60, 고사목 0.65, 유기물 6.40, 토양 51.62로 총 139.27로 나타났다. 산림생태계의 탄소저장량 구성비

(%)는 토양에서 37.1로 가장 높았으며 다음으로 지상부에서 36.6, 지하부 21.3, 유기물 4.6, 고사목 0.5 순으로 나타났다(Figure 3).

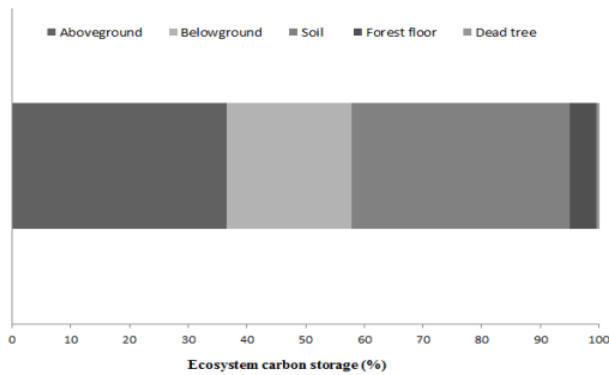


Figure 3. Carbon stocks in aboveground, belowground, dead tree, organic matter in forest floor and soil of the *Pinus rigida* stands

REFERENCES

- Armson, K.A. 1977. Forest Soils: Properties and Processes. University of Toronto Press, Toronto, 390pp.
- Beal, D.J. 2005. SAS code to select the best multiple linear regression model for multivariate data using information criteria.
- Davidson, E.A., Savage, K., Bolstad, P., Clark, D.A. Cutis, P.S., Ellworth, D.S., Hanson, P.J., Law, B.E., Luo, Y., Pregitzer, K.S., Randolph, J.C., Zak, D. 2002. Belowground carbon allocation in forests estimated from litterfall and IRGA-based soil respiration measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 113:39-51.
- Han, A. R.(2009) Organic Carbon and Nutrient Distribution in *Pinus rigida* Plantation in Kongju. Department of Biology Graduate School of Kong Ju National University Kong Ju Korea pp.48.(in Korean)
- Jeong, J.H., Kim, C.S. and W.K. Lee(1998) Soil organic carbon content in forest soils of Korea. *FRI. J. For. Sci.* 57:178-183.(in Korean)
- Kim, C.S.(1999) Aboveground Nutrient Distribution in Pitch Pine (*Pinus rigida*) and Japanese Larch (*Larix leptolepis*) Plantations. *Journal of Korean Forest Society* 88(2):266-272. (in Korean)
- Kim, C.S. and J.H. Jung(2001) Change of Aboveground Carbon Storage in a *Pinus rigida* Stand in Gwangnung, Gyunggi-do, Korea. *Journal of Korean forestry society* 90(6):774-780. (in Korean)
- Kim, J.S., Son, Y.W., Lim, J.H., Kim, Z.S.(1996) Aboveground biomass, N and P distribution, and litterfall in *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* Plantation. *Journal of Korean forestry society* 85(3):416-425.(in Korean)
- Kim, K.D., Park, J.W., Park, I.H., Kim, C.M., Cheong, S.H.(1985) Growth and Dry Matter Production of *Pinus Rigida* Mill and *Robinia Pseudoacacia* L. *Journal of Korea forestry energy* 5(1):1-9.(in Korean)
- Kim, S.Y., Jang, M.N., Lee, B.D and Y.J. Lee.(2015) Allometric equations for crown fuel biomass of *Pinus Koraiensis* stands in Korea. *Journal of Korean forestry society* 104(1):104-110(in Korea)
- Korea Forest Research Institute.(2007) Survey manual for forest biomass and soil carbon pp.73(in Korean)
- Korea Forest Research Institute.(2010) Main tree species carbon emission factors for forest greenhouse inventory pp.89.(in Korean)
- Korea Forest Research Institute.(2012) Climate change, forest and human pp.360(in Korea)
- Korea Forest Service.(2014) Statistical yearbook of forestry (in Korean)
- Korea Meteorological Administration.(2015) Climate information (in Korean)
- Kwon, K.C. and D. K. Lee(2006) Biomass and Energy Content of *Pinus rigida* Stand in Gwangju, Gyeonggi Province. *Journal of Korea forestry energy* 25(1):39-45.(in Korean)
- Lal, R.(2005) Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220:242-258.
- Lee, A.R., Noh, N.J., Yoon, T.K., Lee, S.K., Seo, K.W., Lee, W.K., Cho, Y.S., Son, Y.H.(2009) Estimation of Forest Soil Carbon Stocks with Yasso using a Dendrochronological Approach. *Journal of Korean forestry society* 98(6):791-798.(in Korean)
- Lee, J.Y., Kim, D.K., Won, H.Y., Mun, H.T.(2013) Organic carbon distribution and budget in the *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak National Park. *Korean Journal Environment Ecology* 27(5):561-570(in Korean)
- Lee, K.J., Kim, K.D., Kim, J.S., Park, I.H.(1985) Distribution of Biomass and Production of *Pinus rigida* and *Pinus rigida* × *taeda* Plantation in Kwangju District. *Journal of Korean Forest Society* 69:28-35.(in Korean)
- Lee, S.K., Son, Y.H., Noh, N.J., Heo, S.J., Yoon, T.K., Lee, A.R., Razak, S.A., Lee, W.K.(2009) Carbon storage of natural pine and oak pure and mixed forests in Hoengseong, Kangwon. *Journal of Korean Forest Science* 98(6):772-779.(in Korean)
- Ohtsuka, T., Shizu, Y., Nishiwaki, A., Yashiro, Y. and H. Koizumi (2010) Carbon cycling and net ecosystem production at an early stage of secondary succession in an abandoned coppiced forest. *Journal of Plant Research*. 123:393-401.
- Park, I.H. and S.M. Lee(1990) Biomass and net production of *Pinus*

- densiflora* natural forests of four local forms in Korea. Journal of Korean forestry society 79(2):196-204.(in Korean)
- Park, I.H., Lim, D.H., Ryu, S.B.(2000) Biomass, Net Production and Nutrient Distribution Related to Age of Young *Chamaecyparis obtusa* Plantations. Journal of Korean forestry society 89(1):85-92.(in Korean)
- Peichl, M and M. A. Arain(2007) Allometry and partitioning of above-and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. Forest Ecology and Management 253:68-80.
- Prentice, I.C.(2001) The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. Climate Change 2001. The Scientific Basis IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 183-237.
- SAS Institute, Inc., 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute, Inc. Cary. NC.
- Seo, Y.O., Lee, Y.J., Lee, M.H., Park, S.M., Park, I.H., Son, Y.H., Son, Y.M., Lee, K.H.(2006) Estimation of above and below-ground biomass for Pitch pine(*Pinus ridida*) planted in Yesan. Korea J. For. Measure. 9:1-9.(in Korean)
- Sprugel, D.G. 1983. Correction for bias in log-transformed allometric equation. Ecology 64(1):209-210.
- Tans, P.P., Fung, I.Y., Takahashi, T. 1990. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. Science 247:1431-1439.
- Yim, K.B., Lee, K.J., Kwon, T.H., Park, I.H.(1982) Distribution of Biomass and Production in Man-made Pitch Pine Plantation in Korea. Journal of Korea forestry energy pp.1-12.(in Korean)