

경남 서부지역 소나무임분의 지상부 Biomass에 관한 연구

정재엽¹ · 조현종¹ · 서정현¹ · 김래현² · 손영모² · 이경학² · 김춘식^{1*}

¹진주산업대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 탄소경영과

Aboveground Biomass Estimation of *Pinus densiflora* Stands in the Western Gyeongnam Regions

Jaeyeob Jeong¹, Hyun-Jong Cho¹, Jeong-Hyun Seo¹, Rae-Hyun Kim²,
Young-Mo Son², Kyeong Hak Lee² and Choonsig Kim^{1*}

¹Department of Forest Resources, Jinju National University, Jinju 660-758, Korea

²Division of Forest Carbon Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요약: 경상남도 서부지역인 산청, 함양, 하동 3지역의 유사한 입지환경에서 생육한 약 40년생의 소나무임분을 대상으로 각 지역별 biomass 추정식을 개발하고, 소나무 biomass가 지역별로 차이가 있는지를 비교한 결과 흉고직경을 독립변수로 하고 소나무 각 부위별 건조량을 종속변수로 하는 상대성장식의 유의성이 인정되었으며($P < 0.05$), 결정계수(R^2)의 값도 0.87-0.99 이상으로 회귀식의 적합도가 높게 나타났다. 소나무임분의 biomass는 지역간 유의적인 차이가($P < 0.05$) 나타났으며, 하동지역이 173.3 Mg/ha로 가장 많은 양이 저장되어 있었고, 산청 131.0 Mg/ha, 함양 66.5 Mg/ha 순으로 나타났다. 현존량분포비율의 경우 3지역 모두 줄기>가지>줄기수피>잎 순으로 이중 줄기목질부 70.4-77.1%, 가지 10.9-15.2%, 줄기수피 8.9-10.4%, 잎 3.1-4.4% 정도 분포하였다. 본 연구결과에 따르면 경상남도 서부 지역 소나무임분의 지상부 현존량은 임목밀도와 지위 등이 원인이 되어 지역 간에 차이가 있었다.

Abstract: This study was carried out to develop local allometric biomass regression equations and to estimate aboveground biomass of red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) stands among three regions (Hadong, Hamyang, Sancheong) from the western regions of Gyeongnam province. We selected three natural red pine stands with similar stand ages (about 40-year-old) from each region. The allometric regression equations were significant in all tree components ($P < 0.05$) and the determination of coefficient (R^2) ranged 0.87 from 0.99. There was a significant difference ($P < 0.05$) in the biomass of tree components among three regions. The biomass was 173.3 Mg/ha in Hadong, 131.0 Mg/ha in Sancheong, and 66.5 Mg/ha in Hamyang. The proportion of biomass was 70.4-77.1% in stemwood, 10.9-15.2% in branch, 8.9-10.4% in stembark, and 3.1-4.4% in needle. The results indicated that red pine stands in the western Gyeongnam regions showed the significant difference of aboveground biomass which was attributed to site quality and stand density.

Key words : carbon storage, forest inventory, red pine, tree biomass

서론

산림생태계 biomass는 물질생산기작의 해석과(Whittaker *et al.*, 1974) 목질계를 이용한 대체 에너지원으로서 물질 생산능력의 파악(이경재 등, 1985, 박인협과 이석면, 1990; Son *et al.* 2001) 등과 관련하여 다양한 연구가 수행되었다. 그러나 최근 지구온난화 같은 지구 환경변화가 대기 중 이산화탄소 농도의 증가와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려지면서 산림내 biomass 추정에 의한 탄소저장능력 파

악의 중요성이 재인식되고 있으며(김춘식과 정진현, 2001; Fukuda *et al.*, 2003; Lehtonen *et al.*, 2004; 박인협 등, 2005), 그 결과 임목 biomass로부터 줄기밀도 계산 및 현존량확장계수 등의 산출은 국가산림자원 조사 결과로부터 탄소저장량의 정량적 환산을 위해 필수적으로 필요하게 되었다(Fukuda *et al.*, 2003; 박인협 등, 2005). 예를 들면, 국내에서는 소나무의 생태형과 임령에 따른 산림생태계 내 탄소 축적량을 추정하기 위한 물질 현존량 확장계수가 산출된바 있으며(박인협 등, 2005), 국외에서는 구주적송, 독일가문비, 자작나무 등의 현존량확장계수가 조사된 바 있고(Lehtonen *et al.*, 2004), 일본의 경우 편백림

*Corresponding author
E-mail: ckim@jinju.ac.kr

Table 1. Site characteristics of red pine stands in the western Gyeongnam regions.

Region	Location	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Parent rock	Forest Soil type
Sancheong	37° 27' 35" N 127° 57' 45" E	SW	766	20	Granite	B ₂
Hadong	35° 12' 25" N 127° 43' 11" E	S	555	25	Granite gneiss	B ₃
Hamyang	35° 21' 11" N 127° 43' 44" E	SW	746	20	Granite gneiss	B ₂

을 대상으로 한 전국 규모의 탄소저장량 추정(Fukuda *et al.*, 2003) 등 다양한 연구가 진행되고 있다.

소나무는(*Pinus densiflora* S. et Z.) 국내 분포하는 경제성 있는 침엽수종으로 전 국토 산림면적의 23.5%인 약 150만ha를 점유하고 있다(산림청, 2006). 이러한 중요성 때문에 소나무 임분의 biomass 및 순생산량(Net primary production)에 관한 비교적 많은 연구가 국내에서 수행된 바 있다(이수옥, 1985; 박인협과 김준선, 1989; 박인협과 이석면, 1990). 예를 들면 강원도 홍천 소나무 36년생 천연 임분의 지상부 biomass는 198.82 Mg/ha 정도였으며(이수옥, 1985), 우리나라 소나무 천연림의 경우 지역형에 따라 물질생산능력이 차이가 있는 것으로 보고되었다(박인협과 이석면, 1990). 소나무 biomass 추정 등과 관련한 비교적 많은 연구가 국내·외에서 수행되었으나, 조사구사이에 임목밀도 및 입지환경 차이로 인하여 지역간 biomass 생산능력의 직접적인 비교는 어려운 실정이다. 본 연구는 경상남도내 지리산과 황매산의 높은 산이 위치하여 비교적 임상이 잘 보전된 산청, 함양, 하동지역의 소나무임분을 선정하여 각 지역별 biomass 추정식을 개발하고 소나무 biomass가 지역별로 차이가 있는지를 비교하기 위한 목적으로 실시되었다.

재료 및 방법

본 연구는 경상남도 서부지역인 함양군, 산청군, 하동군을 대상으로 실시하였다. 이 지역은 지리산(1,915 m)과 황매산(1,108 m)의 높은 산이 위치하고 자연 발생한 소나무 임분이 많이 분포하고 있다. 본 조사지의 최근 30년간(1970-2000) 기상요인 중 산청군의 연평균 강수량은 1,479 mm, 연평균 기온 12.7°C, 함양군의 경우 기상관측자료가 제공되지 않아 인접한 거창지역 기상자료에 따르면 연평균 강수량 1,265 mm, 연평균 기온 11.4°C, 하동군에 인접한 진주지역의 경우 연평균 강수량은 1,490 mm, 연평균 기온 13.1°C 정도였다.

본 연구를 위한 조사지는 입지특성 및 임분밀도를 고려하여 20m×20m의 조사구를 각 지역별로 3개씩(총 9개소) 선정하였다. 조사구의 입지 특성으로 방위는 산청과 함양은 남서사면, 하동은 남사면에 위치하였으며, 경사는 20-25°, 해발고는 550 m-760 m까지 분포하나 하동의 해발고

가 가장 낮았다. 산림토양형의 경우 산청과 함양지역은 화강암이나 화강편마암 모재의 갈색약건산림토양형(B₂), 하동지역은 화강편마암모재의 갈색적윤산림토양형(B₃)이 분포하고 있으며(Table 1), 토양단면조사 결과에 따르면 하동지역의 토양특성이 가장 양호하였다. 출현식생은 산청지역 조사구내 중층의 경우 진달래, 비목나무, 싸리류, 갈참나무, 노린재나무, 신갈나무, 하층은 싸리류, 개암나무, 물푸레나무, 생강나무, 상수리나무 등이며, 하동군은 중층의 경우 히어리, 때죽나무, 산벚나무, 당단풍, 하층식생은 청미래덩굴, 진달래, 비목나무, 생강나무 등이 분포하나 하층식생은 빈약하게 나타났다. 또한 함양군은 신갈나무, 비목나무, 청미래덩굴, 졸참나무, 철쭉, 신갈나무, 쇠물푸레가 우점하였다.

선정된 조사구는 2007년 8월 중순 흉고직경 6 cm 이상의 임목을 대상으로 매목 조사를 실시하였다. 매목 조사 후 얻어진 자료로부터 지상부 현존량 추정을 위해 별도될 임목을 직경급이 고르게 분포하도록 선정하였다. 선정된 임목은 2007년 8월 15일에서 20일 사이에 산림바이오메스 및 토양탄소 조사·분석 표준(국립산림과학원 2007)에 의거 지상부 20 cm 높이를 기계톱을 이용하여 별채하였으며, 별채된 임목의 경우 지상부 0.2 m, 1.2 m, 3.2 m, 5.2 m, 7.2 m의 간격으로 별도를 실시하고 생중량을 측정하였다. 줄기의 경우 살아있는 가지나 죽은 가지를 분리하여 생중량을 측정하였고, 가지에 부착된 잎의 경우도 가지에서 전체를 분리하여 생중량을 측정하였다. 줄기의 경우 건중량 환산을 위해 줄기 아래 부분에서 약 5 cm 정도의 원편을 채취하여 비닐주머니에 밀봉한 후 실험실로 운반하였다. 생중량이 측정된 가지와 잎시료의 경우도 건중량 환산을 위해 1-2 kg씩 현지에서 채취하고 비닐주머니에 밀봉하여 실험실로 운반한 후 85°C 온풍건조기에 넣고 항량이 도달할 때까지 건조 후 건중량을 측정하였다. 각 부위별 건중량은 현존량 추정을 위해 흉고직경(DBH)을 이용한 상대생장식을 각 지역별로 계산하였다. 흉고직경을 이용하여 계산한 상대생장식의 유의성이 인정되는 경우($P < 0.05$) 상대생장식을 이용하여 각 부위별 단위면적당 biomass를 추정하였다. 추정된 biomass는 지역간 차이가 있는지에 대하여 분산분석을 실시하였으며 유의적인 차이가 있는 경우($P < 0.05$) Tukey 방법을 이용하여 지역 간 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 조사구 현황

조사구로 선정된 임분의 임목밀도는 산청 1,158 본/ha, 하동 925 본/ha, 함양 692 본/ha로서 산청지역의 임목밀도가 가장 높았고, 함양지역의 임목밀도가 낮았다. 평균임목연령은 산청과 하동이 40년 이상, 함양이 36년생으로 함양이 타 지역에 비해 낮은 임목연령을 보였다. 평균흉고직경은 하동지역이 25.1 cm 가장 크게 나타났으며, 산청과 함양의 경우 20.4 cm와 20.2 cm로서 임목밀도에 상당한 차이에도 불구하고 두 지역 사이에 평균 흉고직경은 유사하였다(Table 2). 평균수고의 경우도 흉고직경이 가장 크게 나타난 하동이 17.6 m로, 산청 13.8 m, 함양 14.8 m에 비해 높게 나타나 조사된 3지역 중 산림생산력이 가장 높을 것으로 사료되었다.

각 지역별 조사구의 매목조사 결과에 따른 흉고직경의 경우 하동지역 조사구가 흉고직경이 큰 임목이 많이 분포하였고, 산청지역의 경우 하동에 비해 낮은 흉고직경급이 분포하였으며 함양은 중간정도의 수준으로 나타났다(Figure 1). 각 지역별 흉고직경분포의 경우 산청은 흉고직경 15-25 cm 사이에 최다 빈도를 보이고 있으며, 함양의 경우 10-25 cm로 산청과 유사하였으나, 하동의 경우 12-35 cm 까지 낮은 흉고직경급에서 높은 흉고직경급까지 고르게 분포하였다(Figure 1).

Table 2. Stand characteristics of red pine stands in the western Gyeongnam regions.

Region	Stand density (trees/ha)	Stand age (yrs)	DBH (cm)	Height (m)
Sancheong	1158 (175)	42 (3.0)	20.4 (1.4)	13.8 (0.5)
Hadong	925 (14)	43 (2.6)	25.1 (0.5)	17.6 (0.4)
Hamyang	692 (148)	36 (1.0)	20.2 (1.5)	14.8 (1.0)

Values in parenthesis are standard error

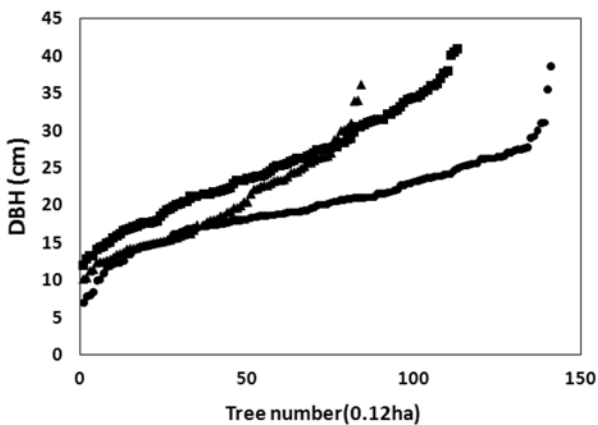


Figure 1. Diameter at breast height (DBH) distribution in red pine stands of each 0.12 ha in the western Gyeongnam regions (▲ Hamyang, ■ Hadong, ● Sancheong).

2. 표본목 특성

각 조사구별 벌채된 표본목의 흉고직경에 따른 줄기 목질부 건조량은 유사한 흉고직경급에서 하동지역 소나무 줄기건중량이 높았으며, 함양지역의 건조량이 가장 낮았고 산청지역은 중간정도 수준을 유지하였다(Figure 2). 이와 같이 흉고직경급에 따른 지역별 목질부 건조량의 차이는 지역간 수고성장차가 원인으로 사료되며 조사지를 대상으로 지위판정 결과 20년 기준연령에서 하동의 지위지수는 11로 산청 8, 함양 9에 비해 가장 높은 지위지수 값을 보이고 있다(산림청, 1995). 줄기수피의 경우 지역별 뚜렷한 차이는 나타나지 않았으나(Figure 2) 흉고직경 35 cm의 경우 줄기생산량과는 대조적으로 함양지역이 하동지역에 비해 줄기수피 건조량이 높은 값을 보이고 있다. 가지의 경우 20-30 cm 직경급에서는 산청의 가지량이 많은 반면에 하동의 가지량은 타 지역에 비해 낮게 나타났고(Figure 2), 함양의 가지 건조량은 높은 흉고직경급에서 하동에 비해 높게 나타났다. 이는 자연낙지 특성을 가지는 소나무의 경우 임목밀도와 자연낙지 특성과는 밀접한 관련이 있어 임목밀도가 낮았던 함양지역의 경우 수관의 발달이 왕성하고 자연낙지가 타 지역에 비해 활발하지 않아 가지량이 높게 나타난 것으로 사료된다. 잎량의 경우 유사한 흉고직경에서 산청지역의 잎량이 가장 많았으며 함양의 경우 낮은 흉고직경급에서는 산청과 유사하였으나(Figure 2), 흉고직경이 증가할수록 잎량이 적어지는 경향을 보였다. 하동지역의 경우 30 cm 이하 흉고직경급에서 잎량은 타지역에 비해 적으나 30 cm 이상 직경급에서는 함양과 산청의 중간 수준으로 나타났다.

표본목의 총 지상부 biomass는 유사한 흉고직경급에서 하동이 산청이나 함양에 비해 높은 값을 보이고 있으며 함양과 산청지역 사이에는 큰 차이가 없었다(Figure 2). 그러나 30 cm 이상의 직경급에서는 줄기나 잎량이 낮게 나타난 하동지역에 비해 함양지역의 경우 가지나 잎량이 높게 나타났다. 지역별 소나무 형질을 고려할 때 낮은 가지량과 잎량에도 불구하고 줄기 biomass가 높게 나타난 하동지역 소나무의 형질이 조사된 3지역 중 가장 우수한 것으로 나타났다.

3. 상대생장식

흉고직경을 독립변수(X)로 하고 소나무 임목의 각 부위별 건조량을 종속변수(Y)로 하는 상대생장식($\log_{10} Y = a + b \log_{10} X$)을 지역별로 계산한 결과가 Table 3에 제시되어 있다. 조사된 3지역 모두 상대생장식에 대한 유의성이 인정되었으며($P < 0.05$), 결정계수(R^2)의 값도 산청의 수피 0.8701, 함양의 가지 0.8839를 제외하고 0.90이상으로 각 부위별 현존량 추정을 위한 상대생장식의 적합도가 높게 나타났다. 각 부위별 상대생장식의 적합도는 3지역 모두

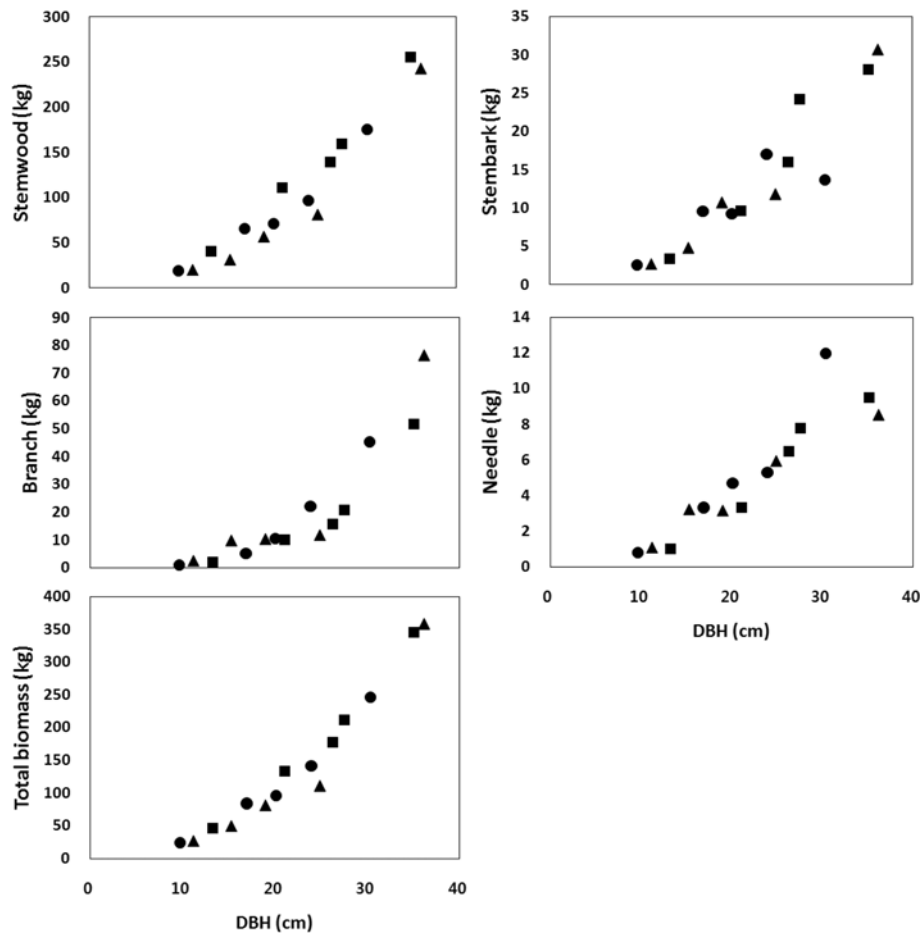


Figure 2. Relationships between DBH and biomass of sampled red pine trees in the western Gyeongnam regions (▲ Hamyang, ■ Hadong, ● Sancheong).

Table 3. Allometric biomass regression equations ($\log_{10}Y=a+b\log_{10}X$) for different tree components of red pine stands in the western Gyeongnam regions.

Region	Tree component	a	b	R ²	P-value
Sancheong	Stem wood	-0.5245	1.8527	0.9824	0.0010
	Stem bark	-1.0742	1.5843	0.8701	0.0207
	Total stem	-0.4427	1.8308	0.9840	0.0009
	Branch	-3.3021	3.3362	0.9935	0.0002
	Needle	-2.2925	2.2545	0.9826	0.0010
	Aboveground total	-0.5781	1.9943	0.9908	0.0004
Hadong	Stem wood	-0.4756	1.8644	0.9892	0.0005
	Stem bark	-2.0424	2.3004	0.9684	0.0024
	Total stem	-0.4869	1.9056	0.9916	0.0003
	Branch	-3.3474	3.2494	0.9919	0.0003
	Needle	-2.6987	2.4374	0.9715	0.0021
	Aboveground total	-0.6029	2.0312	0.9933	0.0002
Hamyang	Stem wood	-0.9423	2.0983	0.9800	0.0012
	Stem bark	-1.6736	2.0222	0.9664	0.0026
	Total stem	-0.8698	2.0889	0.9809	0.0011
	Branch	-2.1966	2.5298	0.8839	0.0174
	Needle	-1.6292	1.6827	0.9162	0.0106
	Aboveground total	-0.8410	2.1393	0.9795	0.0013

Y: biomass (dry weight, kg); X: diameter at breast height (DBH, cm)

Table 4. Aboveground biomass of tree components of red pine stands in the western Gyeongnam regions.

Region	Tree component (Mg/ha)				
	Stemwood	Stembark	Branch	Needle	Total aboveground
Sancheong	96.4 (11.2) b	11.8 (1.3) a	17.1 (3.1) ab	5.7 (0.7) a	131 (16.1) a
Hadong	136.5 (1.2) a	15.9 (0.2) a	19.4 (0.3) a	5.5 (0.06) a	177 (1.4) a
Hamyang	46.8 (7.9) c	6.9 (1.1) b	10.1 (1.7) b	2.6 (0.4) b	66.5 (11.2) b
Mean	93.2 (13.6)	11.5 (1.4)	15.6 (1.7)	4.6 (0.6)	124.7 (17.0)

Values in parenthesis are standard error. Values followed by different letters indicate significant differences at $P=0.05$.

줄기목질부의 결정계수가 0.96-0.98로 임목의 타부위보다 회귀식의 적합도가 높게 나타났으며 타 연구에서 조사된 결과와 비교할 때 우리나라 소나무임분의 지역형에 따른 줄기현존량 추정식의 결정계수 0.9-0.97과 유사하였다(박인협과 김준선, 1989). 지역간 상대성장계수(b)의 경우 줄기목질부는 1.85-2.30까지 분포하고 있으며, 이는 우리나라 소나무의 지역형에 따른 상대성장계수 1.71-2.33 범위에 분포하고 있다(박인협과 이석면, 1990). 산림지역 biomass 추정식의 경우 입지환경(Montagu *et al.* 2005), 임분상태, 수령 등에 따라 차이가 있으며(Madgwick과 Kreh, 1980; Muukkonen, 2007), 소나무의 경우 지역형에 따라 상대성장계수가 차이가 나는 것으로 알려져 있다(박인협과 이석면, 1990).

4. 현존량 추정

경상남도 서부지역 소나무임분의 현존량중 줄기목질부의 경우 지역간 유의적인 차이가($P<0.05$) 있었으며 하동 지역이 136.5 Mg/ha으로 가장 높은 값을 보였고, 산청 96.4 Mg/ha, 함양 46.8 Mg/ha 순으로 나타났다(Table 4). 이와 같이 줄기목질부에 지역간 차이는 임목밀도나 지위의 차가 원인으로 사료되며(김춘식과 정진현, 2001) 특히 유사한 지위를 보였던 산청과 함양을 비교할 때 산청지역의 임목밀도는 1,158 본/ha로, 함양은 692 본/ha로 산청지역의 줄기현존량이 유의적으로 높은 것은 임목밀도의 차가 원인으로 사료된다. 줄기수피, 가지, 잎량도 줄기목질부와 유사한 경향을 보이고 있으며 임목밀도가 높았던 하

동과 산청지역의 현존량이 높고 임목밀도가 낮았던 함양지역의 현존량이 낮게 나타났다. 경남서부지역 소나무임분의 줄기 현존량은 국내 소나무임분의 줄기현존량 10.4 Mg/ha-123.96 Mg/ha(박인협과 이석면, 1990)과 비교할 때 산청과 함양은 국내에서 조사된 범위에 속하나 하동은 높은 값을 가지는 것으로 나타났다. 줄기수피량은 6.9 Mg/ha-15.9 Mg/ha로서 우리나라 중남부고지형 소나무 8.82 Mg/ha(박인협과 이석면, 1990)보다 하동과 산청지역은 높았고, 함양지역은 낮게 나타났다. 잎량의 경우 2.6 Mg/ha-5.7 Mg/ha로서, 우리나라 중남부 평지형 소나무 잎량 6.68 Mg/ha과 중남부고지형 소나무 잎량 8.82 Mg/ha에 비해 3 지역 모두 낮게 나타났다. 총 지상부 현존량의 경우 함양 66.5 Mg/ha, 산청 131 Mg/ha, 하동 177 Mg/ha로서 우리나라 소나무 지상부 현존량 중 중남부평지형 소나무 93.55 Mg/ha, 중남부고지형 소나무 116.61 Mg/ha, 금강형 소나무 181.87 Mg/ha에 비해(박인협과 이석면, 1990), 함양은 낮으나 산청과 하동의 경우 중남부고지형보다는 높고 금

Table 5. Proportion of tree components of red pine stands in the western Gyeongnam regions.

Region	Tree component (%)				
	Stem Wood	Stem bark	Branch	Needle	Total
Sancheong	73.6	9.0	13.0	4.4	100
Hadong	77.1	8.9	10.9	3.1	100
Hamyang	70.4	10.4	15.2	4.0	100
Mean	73.7	9.4	13.0	3.9	100

Table 6. Aboveground biomass of red pine stands in Korea.

Region	Tree density (trees/ha)	Stand age (yrs)	Biomass (Mg/ha)	Reference
Gangwondo Hongcheon	682	36	198.82	Lee (1985)
Gyeongsangbukdo Wolseong	2,520	42	22.97	Park and Lee (1990)
Jellanamdo Seungju	1,030	33	93.55	"
Jellanabukdo Namwon	1,150	31	116.61	"
Gangwondo Myongju	723	35	181.87	"
Gyeongsangnamdo Sancheong	1308	40	110.5	Kim <i>et al.</i> (2009)
Gyeongsangnamdo Sancheong	367	40	68.54	"
Gyeongsangnamdo Hadong	925	43	177.0	This study
Gyeongsangnamdo Hamyang	691	42	66.5	"
Gyeongsangnamdo Sancheong	1,158	36	131.0	"

강형소나무 보다는 낮았다.

5. 현존량 분포비율

현존량 분포비율의 경우 3지역 모두 줄기>가지>줄기수피>잎 순으로 나타났고(Table 5) 줄기목질부 70.4-77.1%, 가지 10.9-15.2%, 줄기수피 8.9-10.4%, 잎 3.1-4.4%정도 분포하였다. 줄기목질부의 경우 하동은 77.1%로서 함양 70.4%, 산청 73.6%에 비해 줄기목질부 점유 비율이 높았으나, 잎량의 경우는 3.1%로 산청 4.4%, 함양 4.0%에 비해 낮았다. 특히 이러한 경향은 소나무 임분의 생산성이 양호한 지역의 줄기목질부가 높게 나타난다는 보고(박인협과 이석면, 1990)와 유사한 경향을 보였다. 타 연구에서 조사된 강원지방 소나무임분의 현존량분포비율은 줄기 74%, 가지 20.2%(줄기수피포함), 잎 4.6%로(이수옥, 1985) 본연구결과의 현존량분포비율과 유사하였다. 국내에서 조사된 소나무 천연림의 biomass와 본 연구에서 조사된 biomass를 비교한 결과(Table 6) 경상남도 서부지역 소나무임분의 biomass는 강원도지역의 소나무 임분에 비해 낮은 값을 보이거나 함양을 제외하고는 국내의 타 지역에 비해 높게 나타나고 있으며 특히 중부지방소나무로서 유사한 성장 특성을 가지는 전라남도 승주나 전라북도 남원지역 소나무에 비해 경상남도 서부지역 소나무임분의 생산성은 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘임업기술개발사업(과제번호: S11709L010113)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

인용문헌

1. 국립산림과학원. 2007. 산림바이오메스 및 토양탄소 조사·분석 표준. 74pp.
2. 김춘식, 정진현. 2001. 경기도 광릉 리기다 소나무 지상부 탄소저장량변화. 한국임학회지 90(6): 774-780.
3. 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질 현존량추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3): 323-330.
4. 박인협, 박민수, 이경학, 손영모, 서정호, 손요환, 이영진. 2005. 소나무의 생태형과 임령에 따른 물질 현존량 확장계수. 한국임학회지 94(6): 441-445.

5. 박인협, 이석면. 1990. 한국산4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 논문. 한국임학회지 79(2): 196-204.
6. 산림청. 1995. 산림입지조사요령.
7. 산림청. 2006. 임업통계요람.
8. 이경재, 김갑덕, 김재생, 박인협. 1985. 광주지방의 리기다소나무 및 리기테다 소나무 조림지의 물질생산량에 관한 연구. 한국임학회지 69: 28-35.
9. 이수옥. 1985. 강원도산 소나무 천연림 생태계의 Biomass 및 Net Primary Production에 관한 연구. 한국임학회지 71: 74-81.
10. 임경빈, 이경재, 권태호, 박인협. 1982. 리기다 소나무 인공조림지의 물질생산량에 관한연구. 한국임산에너지학회지 2(2): 1-12.
11. Fukuda, M., Iehara, T. and Matsumato, M. 2003. Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. Forest Ecology and Management 184: 1-16.
12. Kim, C., Son, Y., Lee, W.K., Jeong, J. and Noh, N.J. 2009. Influences of forest tending works on carbon distribution and cycling in a *Pinus densiflora* S. et Z. stand in Korea. Forest Ecology and Management 257: 1420-1428.
13. Lehtonen, A., Makipaa, R. Heikkinen, J., Sievanen, R. and Liski, J. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. Forest Ecology and Management 188: 211-224.
14. Madgwick, H.A.I. and Kreh, R.E. 1980. Biomass estimation for Virginia pine trees and stands. Forest Science 26: 107-111.
15. Montagu, K.D., Duttmer, K., Barton, C.V.M. and Cowie, A.L. 2005. Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration-an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites. Forest Ecology and Management 204: 113-127.
16. Muukkonen, P. 2007. Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. European Journal of Forest Research 126: 157-166.
17. Son, Y. Hwang, J.W., Kim, Z.S., Lee, W.K. and Kim, J.S. 2001. Allometry and biomass of Korean pine (*Pinus koraiensis*) in central Korea. Bioresource Technology 78: 251-255.
18. Whittaker, R.H., Bormann, F.H., Likens, G.E. and Siccama, T.G. 1994. The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. Ecological Monograph 44: 233-252.

(2009년 11월 30일 접수; 2010년 1월 7일 채택)