

삼나무 조림지의 임분밀도에 따른 상대생장식과 현존량 확장계수

권정화¹ · 서희영² · 이광수³ · 유병오³ · 박용배³ · 정재엽⁴ · 김춘식^{2*}

¹경상남도 산림환경연구원, ²경남과학기술대학교 산림자원학과,
³국립산림과학원 남부산림자원연구소, ⁴남호주대학교

Allometric Equations and Biomass Expansion Factors by Stand Density in *Cryptomeria japonica* Plantations

Jung-Hwa Gwon¹, Huiyeong Seo², Kwang-Soo Lee³, Byung-oh You³, Yong-Bae Park³,
Jaeyeb Jeong⁴ and Choonsig Kim^{2*}

¹Gyeongsangnamdo Forest Environment Research Institute, Jinju 660-871, Korea

²Department of Forest Resources, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

³Southern Forest Resource Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

⁴CERAR, University of South Australia, Adelaide, SA 5095, Australia

요약: 경상남도 남해군의 유사한 입지환경에서 생육한 삼나무 조림지를 대상으로 47년생의 고밀도임분(667 tree·ha⁻¹)과 49년생의 저밀도임분(267 tree·ha⁻¹)으로 구분한 후 임분밀도에 따른 상대생장식과 현존량 확장계수를 비교하였다. 흉고직경을 독립변수로 하고 각 부위별 건중량을 종속변수로 하는 상대생장식은 고밀도임분의 가지, 저밀도임분의 잎과 종실을 제외하고 상대생장식의 유의성이 인정되었으며($P<0.05$), 결정계수(R^2)의 값은 0.80-0.96 범위였다. 또한 각 임분밀도에 대한 상대생장식(stand density-specific allometric equations)의 회귀계수(slope)에 유의적인 차가 없어($P>0.05$), 일괄 상대생장식(generalized allometric equations)의 적용이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 현존량 확장계수는 고밀도임분 1.33, 저밀도임분 1.50으로 임분밀도 간 유의적인 차가 있었다($P<0.05$). 성숙한 삼나무 조림지의 바이오매스 추정을 위한 상대생장식의 경우 임분밀도의 영향이 크지 않으나 현존량 확장계수의 경우 임분밀도에 따라 상당한 차이가 있었다.

Abstract: This study was conducted to evaluate stand density-specific and generalized allometric equations, and biomass expansion factors (BEFs) for two stand densities (high density of 47-year-old: 667 tree·ha⁻¹; low density of 49-year-old: 267 tree·ha⁻¹) of *Cryptomeria japonica* plantations in Namhae-gun, located in the southern Korea. Biomass in each tree component, i.e. foliage, branch, and stem, was quantified by destructive tree harvesting. Allometric regression equations of each tree component were significant ($P<0.05$) with diameter at breast height (DBH) accounting for 80-96% of the variation except for branch biomass in high density or foliage and cone biomass in low density. Generalized allometric equations can be used to estimate the biomass of *C. japonica* plantations because the slopes of allometric equations were not significantly different by the stand density. The biomass expansion factors (BEFs) were significantly lower in the high stand density (1.33) than in the low stand density (1.50). The results indicate that BEFs were affected by different stand density, while allometric equations were little related to the stand density.

Key words: biomass equations, stem density, carbon stocks, forest inventory

서론

산림 바이오매스의 정량적 평가는 생태계 물질생산기작의 해석이나(Whittaker et al., 1974), 목질계를 이용한 대체 에너지원의 생산능력 파악(Son et al., 2001) 산림생

태계 서비스(ecosystem service) 증진을 위한 산림자원관리, 산림 내 바이오매스에 의한 탄소저장량 및 탄소 격리 능력의 정확한 이해 등과 관련하여 연구의 중요성과 관심이 증가하고 있다(IPCC, 2003; Bravo et al., 2008; Toebaldelli et al., 2009). 또한 국가산림자원 조사 결과로부터 탄소저장량의 정량적 환산을 위해서는 수종별 상대생장식(allometric regression equations)이나 줄기밀도(stem density) 및 현존량

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

Table 1. General site characteristics by stand density of *Cryptomeria japonica* plantations.

Treatment	Age (yrs)	Location	Aspect	Elevation (m)	Slope (°)	Parent rock	Soil type
High density	47	34°46'21"N 128°00'05"E	SE	389	30	Granite	B ₃
Low density	49	34°46'32"N 128°00'01"E	NE	298	15	Granite	B ₃

확장계수(biomass expansion factors) 등의 산출이 필요한 것으로 알려져 있다(Fukuda et al., 2003; Lehtonen et al., 2004; Park et al., 2005). 이러한 중요성 때문에 국내에서는 소나무의 생태형과 임령에 따른 탄소저장량 추정을 위한 현존량 확장계수나(Park et al., 2005), 삼나무, 편백, 소나무, 낙엽송, 상수리나무 등 8수종의 현존량 확장계수에 대한 적합성 검증(Kim et al. 2011c), 곰솔의 임분 연령에 따른 줄기 밀도와 현존량 확장계수 변화 등이 연구된 바 있다(Kim et al., 2013). 국외에서도 구주적송, 독일가문비, 자작나무의 현존량 확장계수(Lehtonen et al., 2004), 스트로브잣나무의 임분 연령에 따른 상대생장식 및 현존량 확장계수(Peichl and Arain, 2007) 등이 제시되었다.

삼나무(*Cryptomeria japonica*)는 1900년대 초 편백나무와 함께 일본에서 도입된 이후 남부지방에 식재되는 대표적인 경제수종이다. 이러한 중요성 때문에 삼나무를 대상으로 다양한 연구가 수행되어 하층식생을 이용한 삼나무 지위판정(Lee, 1985), 삼나무 조림지의 토양환경 변화(Jin, 1991), 삼나무 지위지수 추정식 개발(Lee, 2003), 등이 연구된 바 있다. 또한 바이오매스 관련 연구로 전남 장성지역 삼나무와 편백나무의 물질생산량 비교(Kim et al., 1987), 남부지역 삼나무의 줄기밀도 및 현존량 확장계수(Lim et al., 2013)가 개발되었다. 그러나 대부분 연구가 40년생 이하이고 지역적으로 전라남도에도 편중되어 있으며 40년 이상 성숙림이나 경상남도 지역 자료는 매우 제한된 실정이다. 또한 최근 숲 가꾸기 같은 산림보육 작업의 실시에 따라 소면적의 산림 내 다양한 수준의 임분밀도가 발생하고 있으나 이러한 임분밀도가 biomass 추정을 위한 상대생장식이나, 줄기밀도 및 현존량 확장계수에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 편이다.

본 연구는 40년생 이상의 성숙한 삼나무조림지를 대상으로 산림자원의 정량적인 가치를 평가할 수 있는 기초 자료 획득과 임분밀도가 바이오매스 추정을 위한 상대생장식과 줄기밀도 및 현존량 확장계수에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 조사구 현황

본 연구는 경상남도 남해군 삼동면에 위치한 고밀도임분의 47년생과 저밀도임분의 49년생 삼나무 조림지를 대

상으로 실시하였다(Table 1). 입지현황으로 고밀도임분의 경우 표고 389 m의 산복에 위치한 조림지로서 평균경사 30° 이상의 남동향에 위치하며, 화강암을 모재로 생성된 갈색적운산림토양형(B₃)이 분포하였다. 저밀도임분은 평균경사 15°인 북동향의 표고 298 m 계곡부에 위치하며 고밀도임분과 같은 갈색적운산림토양형(B₃)이 분포하였다. 주요 하층식생으로 고밀도임분은 산초나무, 청미래덩굴, 두릅나무, 감태나무, 산뽕나무, 담쟁이덩굴, 작살나무, 개웃나무 등이며, 저밀도임분은 당단풍나무, 작살나무, 비목, 층층나무 등이 출현하였다. 토양단면 특성으로 고밀도임분의 A층 깊이는 0-24 cm, B층은 24-50 cm정도이며 토색은 A층 10YR 3/4, B층 10YR 4/4, 토성은 A층과 B층 모두 양토였다. 저밀도임분의 경우 A층 깊이 0-27 cm, B층 27-50 cm 정도이며 토색은 A층 10YR 3/3, B층 10YR 4/4, 토성은 A층과 B층 모두 양토가 분포하였다.

2. 상대생장식

본 연구를 위해 선정된 고밀도임분과 저밀도임분을 대상으로 각 3개의 20 m × 20 m 조사구를 설치하고 2013년 6월 하순 흉고직경 6 cm 이상의 임목에 대하여 매목조사를 실시하였으며 매목조사 후 얻어진 자료로부터 상대생장식 개발을 위해 별도될 임목을 직경급이 고르게 분포하도록 각 임분밀도 당 5본을 선정하였다. 선정된 임목은 2013년 6월 하순 “산림바이오매스 및 토양탄소 조사·분석 표준 매뉴얼”(Korea Forest Research Institute, 2010)에 의거 지상부 20 cm 높이를 기계톱을 이용하여 별도하였으며, 별도된 임목의 경우 지상부 0.2 m부터 1 m 간격으로 절단하고 디지털 저울을 이용하여 줄기 생중량을 측정하였다. 가지 생중량은 줄기로부터 분리하여 측정하였고, 가지에 부착된 잎과 종실의 경우도 전체를 분리하여 생중량을 측정하였다. 생중량이 측정된 줄기, 가지, 잎, 종실 시료는 건중량 환산을 위해 1-2 씩 현지에서 비닐주머니에 밀봉하여 실험실로 운반한 후 85°C 온풍건조기에 넣고 향량에 도달할 때까지 건조시킨 후 건중량을 측정하였다. 바이오매스 추정을 위한 상대생장식 $\{\log_{10} Y = a + b \log_{10} X\}$ [(Y=임목 각 부위 건중량 (kg); X: DBH (cm))]은 각 임분밀도의 표본목으로부터 얻어진 건중량과 흉고직경(DBH)을 이용하였으며, 상대생장식의 유의성이 인정되는 경우 ($P < 0.05$) 각 부위별 단위면적당 바이오매스를 계산하였다. 임분밀도 별 계산된 상대생장식의 유의성검정과 상대생

장식 slope(b)의 유의성 검정은 SAS의 Proc Reg. procedure 와 analysis of covariance를 이용하였다(Milliken and Johnson, 2002). 또한 SAS의 t-test를 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 두 임분밀도의 바이오매스, 줄기밀도 및 현존량 확장계수 값에 대한 유의성을 검정하였다(SAS Institute, 2003).

결과 및 고찰

1. 표본목 특성

삼나무 조림지의 평균 흉고직경은 고밀도임분 25.3 cm, 저밀도임분 32.3 cm로 유사한 연령에도 불구하고 평균 흉고직경 차가 크게 나타났다(Table 2). 이는 각 임분밀도에 따른 흉고직경 분포에서 나타난 것과 같이(Figure 1) 저밀도임분의 경우 흉고직경 30 cm 이상 대경목이 주로 분포하고 있으나, 고밀도임분의 경우 대부분 흉고직경 20-30 cm 이내 범위였기 때문이다. 또한 별채된 표본목의 평균 건중량에 대한 바이오매스 분배비율의 경우 고밀도임분은 줄기목질부나 줄기수피 비율이 높으나 저밀도임분의 경우 가지, 잎의 비율이 고밀도임분에 비해 높았으며(Table 3), 이는 임분밀도가 상층 수관발달에 상당한 영향을 미치고 있기 때문이다. 유사한 결과로 임분밀도의 차에 따라 가지나 잎 바이오매스 비율에 상당한 변이가 발생하며 임분밀도가 높을 경우 가지나 잎 바이오매스 비율이 감소한다는 연구결과와 일치한다(Konôpka et al., 2000). 각 임분

Table 2. Stand characteristics by stand density of *Cryptomeria japonica* plantations.

Treatment	Plot	Stand density (trees·ha ⁻¹)	DBH (cm)	Basal area (m ² ·ha ⁻¹)
High density	1	600	22.6	24.5
	2	650	24.8	31.8
	3	750	28.8	50.4
	Mean	667	25.3	35.5
Low density	1	250	36.1	26.9
	2	250	27.3	15.7
	3	300	33.5	27.4
	Mean	267	32.3	23.4

Table 3. Aboveground biomass partitioning of sampled tree components of *Cryptomeria japonica* plantations.

Treatment	DBH (cm)	Height (m)	Tree components (kg·tree ⁻¹)					Above ground total
			Stem wood	Stem bark	Branch	Foliage	Cone	
High density	24.6±2.18	16.2±0.98	148.1±25.67 (69.5)	12.41±2.68 (5.8)	20.6±4.27 (9.6)	28.7±5.68 (13.4)	3.2±1.39 (1.5)	212.9±37.60 (100)
Low density	26.7±3.41	13.3±1.10	120.1±30.35 (62.5)	8.7±1.81 (4.5)	31.95±8.73 (16.6)	28.9±5.65 (15.0)	2.45±1.52 (1.2)	192.1±47.11 (100)
Mean	25.7±1.94	14.8±0.84	134.1±19.31 (66.2)	10.57±1.64 (5.2)	26.3±4.95 (12.9)	28.8±3.77 (14.2)	2.80±0.98 (1.3)	202.5±28.62 (100)

Mean ± standard error. Values in parenthesis are the proportion of total biomass

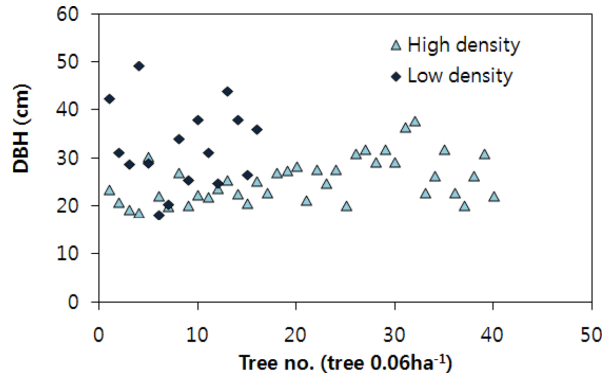


Figure 1. Diameter at breast height (DBH) distribution by stand density of *Cryptomeria japonica* (0.06 ha).

별 별채된 표본목의 흉고직경에 따른 가지 및 잎 건중량은 임분밀도와 흉고직경에 따라 변이 폭이 크게 나타났다(Figure 2). 이는 자연낙지 특성을 가지는 삼나무의 경우 수관형태가 불규칙하게 나타나며 수관의 공간분포와 관계되는 임분밀도가 가지나 잎 발달 특성과 밀접한 관련이 있기 때문으로 사료된다. 예를 들면 자연낙지 특성을 가진 소나무의 경우도 임분밀도나 입지비옥도 등의 차이에 따라 수관의 발달특성이 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다(Jeong et al., 2010). 그러나 줄기의 경우 유사한 흉고직경 급에서 고밀도임분이 저밀도임분에 비해 건중량이 크게 나타났으며 이는 임분밀도나 지위 등의 차이에 따른 임목생육특성과 관련이 있을 것으로 사료된다. 삼나무 종실의 경우 흉고직경의 증가에 따라 증가하는 경향을 보이거나 낮은 흉고직경급에서는 종실 생산량이 낮고 개체 간 생산량에 변이 폭이 크게 나타났다. 표본목의 총 지상부 건중량은 흉고직경 증가와 선형관계를 보였으며 줄기 건중량과 유사하게 고밀도임분이 저밀도임분에 비해 지상부 건중량이 크게 나타났으며(Figure 2) 이는 표본목의 평균수고가 고밀도임분 16.2 m, 저밀도임분 13.3 m로 두 임분밀도 간 수고 성장차가 원인으로 사료된다(Table 3).

2. 상대생장식

표본목의 각 부위별 바이오매스(Y)와 흉고직경(DBH)

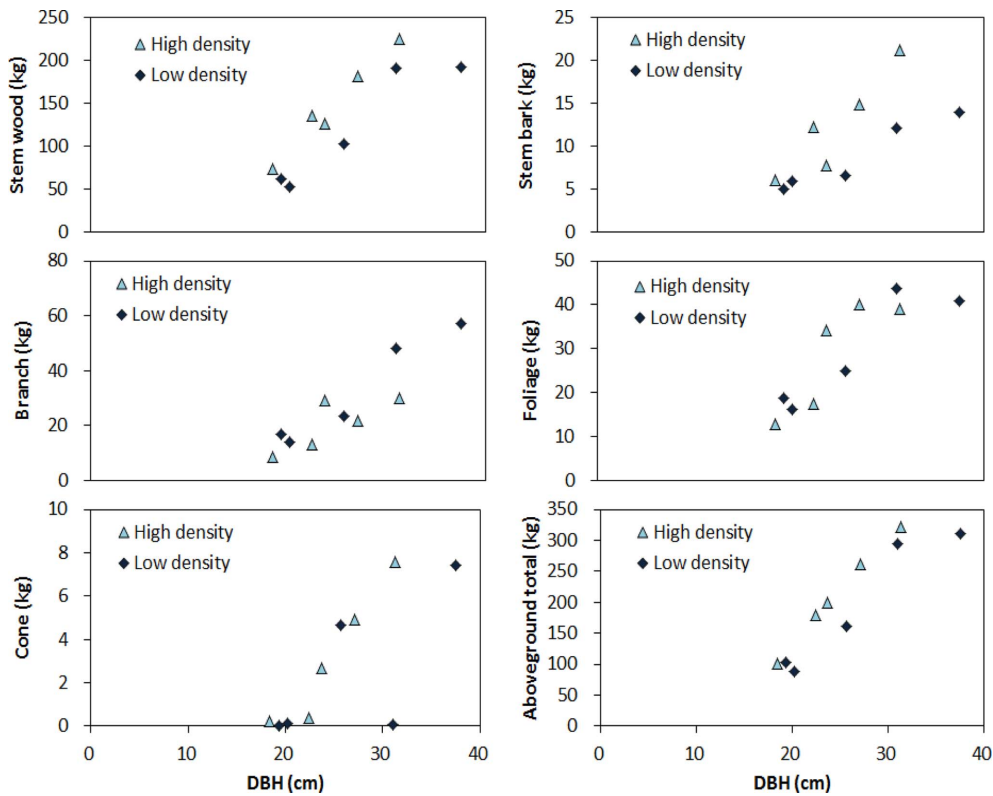


Figure 2. Scatter plots of tree component biomass against diameter at breast height (DBH) by stand density of *Cryptomeria japonica*.

을 독립변수(X)로 하여 계산된 상대생장식은 고밀도임분의 경우 가지, 저밀도임분은 줄기수피, 잎, 종실을 제외하고 상대생장식의 유의성이 인정되었다($P < 0.05$). 결정계수 (R^2) 값은 줄기 바이오매스나 지상부 총바이오매스의 경우 0.91 이상으로 상대생장식의 적합도가 높았으나(Table 4), 가지나 종실 등의 결정계수는 고밀도임분의 경우 0.72, 저밀도임분은 0.25로 적합도가 낮고 상대생장식의 유의성이 인정되지 않았다($P > 0.05$). 특히 저밀도임분의 경우 줄기수피, 잎, 열매 등의 상대생장식의 유의성이 인정되지 않아 임분밀도에 따른 상대생장식의 유의수준 차가 큰 것으로 나타났다. 본 연구와 유사한 결과로 남부지역 삼나무 조림지 30본의 표본목을 대상으로 개발된 삼나무 가지 바이오매스 추정 상대생장식의 결정계수는 0.65 정도로 낮았으나(Lim et al., 2013), 전남 장성지역 삼나무 조림지의 경우 0.96으로 높게 나타났으며(Seo and Lee, 2013), 이는 지역, 임분밀도 등에 따른 삼나무 생육상태가 상대생장식의 결정계수에 영향을 미치기 때문으로 사료된다. 그러나 일반적으로 잎이나 가지 바이오매스 추정을 위한 상대생장식의 결정계수는 임목의 타 부위에 비해 낮은 값을 보이는 것으로 알려져 있다(Peichl and Arain, 2007; Fatemi et al., 2011).

상대생장식의 결정계수가 임분밀도 별로 차가 크게 나타난 것과는 대조적으로 임분밀도 별 상대생장식(stand-

density specific allometric equations)의 회귀계수(b, slope)는 조사된 임목부위 모두 유의적인 차가 없어($P > 0.05$) 삼나무 조림지의 경우 종실 등과 같은 일부 임목부위를 제외하고 일괄 상대생장식(generalized allometric equations)의 이용도 가능한 것으로 나타났다. 특히 고밀도임분에서 상대생장식에 유의성이 없었던 가지나 저밀도임분의 줄기수피 및 잎 등의 경우 일괄 상대생장식에서는 유의적인 상대생장식의 개발이 가능하였다.

3. 바이오매스 추정

삼나무 조림지의 임분밀도에 따른 각 임목부위 별 바이오매스는 고밀도임분이 높은 경향을 보이나 저밀도임분과 유의적인 차이는 없었다(Table 5). 이는 고밀도임분의 경우 조사구 간 임분밀도(600-750 tree-ha⁻¹)에는 큰 차이가 없지만, 흉고단면적(24.5-50.4 m²·ha⁻¹)에 차이가 커서 임목 각 부위별 바이오매스 변이 폭이 크게 나타났기 때문이다. 임목부위별 바이오매스 분포의 경우 임분밀도 별 차이가 있어 고밀도임분의 경우 줄기목질부>잎>가지>줄기수피>종실 순이었으나 저밀도임분은 줄기목질부>가지>잎>줄기수피>종실 순으로 가지와 잎 바이오매스 비율은 임분밀도의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사된 삼나무 조림지의 임목 총 바이오매스는 108.03 Mg ha⁻¹로 전남 장성지역 20년생 삼나무 조림지 108.7

Table 4. Stand density-specific and generalized allometric regression equations ($\log_{10} Y = a + b \log_{10} X$) for different tree components of *Cryptomeria japonica* plantations.

Equation	Treatment	Tree component	a	b	R ²	P-value
Stand density-specific equations	High density	Stem wood (kg)	-0.7335	2.0776	0.96	0.004
		Stem bark (kg)	-2.0807	2.2636	0.82	0.033
		Stem (kg)	-0.7195	2.0923	0.95	0.004
		Branch (kg)	-1.8833	2.2769	0.72	0.071
		Foliage (kg)	-1.8076	2.3288	0.80	0.041
		Cone (kg)	-9.7773	7.2039	0.86	0.023
		Aboveground total (kg)	-0.7187	2.1794	0.97	0.002
	Low density	Stem wood (kg)	-1.1550	2.2341	0.91	0.045
		Stem bark (kg)	-1.2739	1.5425	0.90	0.053
		Stem (kg)	-1.0397	2.1769	0.92	0.042
		Branch (kg)	-2.0251	2.4311	0.96	0.021
		Foliage (kg)	-0.9021	1.6379	0.88	0.063
		Cone (kg)	-6.7066	4.5528	0.25	0.496
		Aboveground total (kg)	-0.8357	2.1560	0.93	0.034
	P-value of slope (b) and intercept(a)	Stem wood (kg)	0.06	0.98	-	-
		Stem bark (kg)	0.04	0.29	-	-
		Stem (kg)	0.08	0.89	-	-
		Branch (kg)	0.05	0.88	-	-
		Foliage (kg)	0.28	0.27	-	-
		Cone (kg)	0.26	0.65	-	-
		Aboveground total (kg)	0.13	0.66	-	-
Generalized equations	Stem wood (kg)	-0.4501	1.8153	0.71	0.004	
	Stem bark (kg)	-1.0906	1.4878	0.55	0.022	
	Stem (kg)	-0.3799	1.7892	0.71	0.005	
	Branch (kg)	-2.1572	2.4965	0.85	0.000	
	Foliage (kg)	-1.1268	1.8170	0.78	0.002	
	Cone (kg)	-6.3491	4.5347	0.30	0.124	
	Aboveground total (kg)	-0.3972	1.9041	0.82	0.001	

Y; biomass (dry weight, kg), X; DBH (cm).

Table 5. Aboveground biomass partitioning by stand density of *Cryptomeria japonica* plantations.

Treatment	Biomass (Mg·ha ⁻¹)					
	Stem wood	Stem bark	Branch	Foliage	Cone	Aboveground total
High density	87.47±17.69	6.83±1.20	16.24±4.16	18.52±3.74	3.22±1.99	132.28±28.76
Low density	54.67±8.42	3.91±0.54	12.29±2.31	11.58±1.78	1.33±0.38	83.79±13.39
P-value	P=0.19	P=0.12	P=0.47	P=0.20	P=0.44	P=0.23
Mean	71.07±11.42	5.37±0.88	14.27±2.31	15.05±2.42	2.28±1.00	108.03±17.85

Mean ± standard error.

Mg·ha⁻¹(Kim et al., 1987)와 유사하였으나, 제주도의 46년 생 327 Mg·ha⁻¹(Kim et al., 2011b), 장성 46년생 조림지 328 Mg·ha⁻¹(Seo and Lee, 2013)에 비해 상당히 낮은 값을 보여 경남 남해지역 삼나무 조림지의 바이오매스 생산 능력은 타 지역에 비해 높지 않았다.

4. 줄기밀도 및 현존량 확장계수

줄기 현존량에 대한 줄기 재적비로 표현되는 줄기밀도의 경우 일반적으로 고밀도임분이 저밀도임분에 높은 값

Table 6. Stem density and aboveground biomass expansion factors (BEFs) by stand density of *Cryptomeria japonica* plantations.

Treatment	Stem density (g·cm ⁻³)	Aboveground BEFs
High density	0.28±0.01 (0.26-0.30)	1.33±0.05 (1.21-1.49)
Low density	0.24±0.01 (0.22-0.27)	1.50±0.01 (1.45-1.53)
P-value	P=0.01	P=0.02
Mean	0.26±0.01 (0.22-0.30)	1.41±0.04 (1.21-1.53)

Mean ± standard error. Values in parenthesis are range. Stem density, stem biomass/stem volume; aboveground BEF, aboveground biomass/stem biomass.

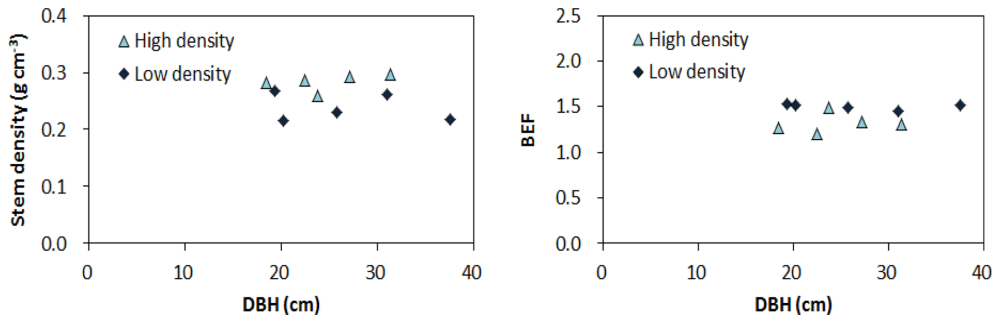


Figure 3. Scatter plots of stem density and aboveground biomass expansion factors (BEFs) by stand density of *Cryptomeria japonica*.

을 보이고 있으며(Figure 3) 평균 줄기밀도는 고밀도임분 $0.28 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 저밀도임분 $0.24 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 로 줄기밀도에 유의적인 차이가 있었다(Table 6). 특정 수종의 줄기밀도 변이는 연륜 폭의 성장과 밀접한 관계가 있으며 임분 연령뿐만 아니라 비옥도 및 기후조건 등 다수의 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Tobin and Nieuwenhuis, 2007). 국내에서 조사된 삼나무의 줄기밀도는 $0.31\text{-}0.41 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 로(Kim et al., 2011b; Lim et al., 2013; Seo and Lee, 2013) 본 조사구의 값에 비해 높으며 이는 임분 연령이나 임분밀도의 차에 따른 성장특성의 차가 원인으로 사료된다.

임분밀도 별 현존량 확장계수의 경우 저밀도임분의 표본목은 고밀도임분의 표본목에 비해 일반적으로 높은 현존량 확장계수를 보이고 있으며(Figure 3), 평균 현존량 확장계수는 고밀도임분 1.33, 저밀도임분 1.50으로 임분밀도에 따라 유의적인 차이가 있었다(Table 6). 이와 같이 저밀도임분에서 현존량 확장계수가 높은 것은 수관의 공간 점유율이 높아 잎량과 가지량의 비율이 고밀도임분에 비해 높게 나타났기 때문이다. 현존량 확장계수의 경우 임분 연령(Park et al., 2005; Kim et al., 2011), 수종(Lehtonen et al., 2004), 지위지수(Toebaldelli et al., 2009), 임분밀도(Tobin and Nieuwenhuis, 2007) 등에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 두 임분밀도의 평균 현존량 확장계수는 1.41로서 지금까지 국내에서 조사된 삼나무 현존량 확장계수 1.19-1.63의 범위에 속하나(Kim et al., 2011b; Lim et al., 2013; Seo and Lee, 2013) 본 연구와 유사한 영급의 제주(Kim et al., 2011b)나 장성(Seo and Lee, 2013)의 현존량 확장계수 1.19-1.28에 비해 높게 나타났으며, 이는 남해지역의 삼나무 성장 특성이 제주나 장성 등과는 차이가 있기 때문으로 사료된다. 예를 들면 남해에서 조사된 삼나무 표본목의 평균수고는 13.3-16.2 m(Table 2)로 유사한 영급의 장성 21.2 m(Seo and Lee, 2013)나, 제주 22.1 m(Kim et al., 2011b)에 비해 수고생장이 매우 낮은 특성을 보이고 있으며, 이 지역 삼나무 수고생장이 타 지역에 비해 낮게 나타나는 원인이 임목의 유

전적 요인이나 입지환경의 차이 인지 등에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

결론

경상남도 남해군의 유사한 입지에서 생육한 삼나무 조림지를 대상으로 임분밀도에 따른 상대성장식, 줄기밀도, 현존량 확장계수의 차이를 조사한 결과 상대성장식의 회귀계수는 유의적인 차이가 없어 일괄 상대성장식의 이용이 가능한 것으로 나타났으나, 줄기밀도와 현존량 확장계수의 경우 임분밀도 간 유의적인 차이가 있었다. 본 연구 결과에 따르면 다양한 임분밀도를 보이는 성숙한 삼나무 조림지의 경우 상대성장식에 의한 바이오매스 추정치 줄기밀도 및 현존량 확장계수보다 추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2013년 국립산림과학원 남부산림자원연구소 연구용역과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구 조사구를 제공하여 주신 함양국유림관리소에 감사함을 전합니다.

References

- Bravo, F., LeMay, V., Jandl, R., and Gadow, K. 2008. Managing Forest Ecosystem: The challenge of climate change. Springer, pp. 338.
- Fatemi, F.R., Yanai, R.D., Hamburg, S.P., Vadeboncoeur, M.A., Arthur, M.A., Briggs, R.D., and Levine, C.R. 2011. Allometric equations for young northern hardwoods: the importance of age-specific equations for estimating aboveground biomass. Canadian Journal of Forest Research 41: 881-891.
- Fukuda, M., Iehara, T., and Matsumoto, M. 2003. Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. Forest Ecology and Management 184: 1-16.

- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES, Kanagawa, Japan.
- Jeong, J., Cho, H.J., Seo, J.H., Kim, R.H., Son, Y.M., Lee, K.H., and Kim, C. 2010. Aboveground biomass estimation of *Pinus densiflora* stands in the western Gyeongnam regions. *Journal of Korean Forestry Society* 99: 62-67.
- Jin, H.O. 1991. Nutrient environment of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) I. Changes of soil chemical properties in grassland afforestation. *Journal of Korean Soil Science and Fertilizer* 24: 177-182.
- Kim C., Lee, J.S., and Cho, K.J. 1987. Biomass and net production of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* plantation in Changsong district, Chonnam. *Journal of Korea Forest Energy* 7(1): 1-10.
- Kim, C., Jeong, J., Kim, R.H., Son, Y.M., Lee, K.H., Kim, J.S., and Park I.H. 2011a. Allometric equations and biomass expansion factors of Japanese red pine on the local level. *Landscape and Ecological Engineering* 7: 283-289.
- Kim, C.M., Chung, Y.K., Kim, D.H., and Son, Y.M. 2011b. Biomass production and carbon factor development for *Cryptomeria japonica* in Jeju island. *Proceeding of Forest Science Conference at 2011*. Gyeongju, pp. 1085-1087.
- Kim, C., Lee, K.S., Son, Y.M., and Cho, H.S. 2013. Allometric equations and biomass expansion factors in a age-sequence of black pine (*Pinus thunbergii*) stands. *Journal of Korean Forest Society* 102 (4): 543-549.
- Konôpka, H., Tsukahara, H., and Netsu, A. 2000. Biomass distribution in 40-year-old trees of Japanese black pine. *Journal of Forest Research* 5: 163-168.
- Korea Forest Research Institute. 2010. Survey Manual for Biomass and Soil Carbon. pp. 60.
- 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.
- Lee, J.S. 1985. The study of forest vegetation in *Cryptomeria japonica* D. Don plantations. *Journal of Korean Forest Society* 69: 42-50.
- Lee, S.H. 2003. Development of site index equation and curves for *Cryptomeria japonica*. *Journal of Korean Forest Society* 92: 152-159.
- Lim, H., Lee, K.H., Lee, K.H., and Park, I.H. 2013. Biomass expansion factors and allometric equations in an age sequence for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in southern Korea. *Journal of Forest Research* 18: 316-322.
- Milliken, G.A. and Johnson, D.E. 2002. Analysis of Messy Data. Volume III: Analysis of Covariance. Chapman & Hall/CRC. pp. 605.
- Park, I.H., Park, M.S., Lee, K.H., Son, Y.M., Seo, J.H., Son, Y., and Lee, Y.J. 2005. Biomass expansion factors for *Pinus densiflora* in relation to ecotype and stand age. *Journal of Korean Forestry Society* 94: 441-445.
- Peichl, M. and Arain, M.A. 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.
- SAS Institute Inc. 2003. SAS/STAT Statistical Software. Version 9.1 SAS publishing Cary, NC.
- Seo, Y.O., and Lee, Y.J. 2013. Estimation of above- and belowground biomass with consideration of age classes for *Cryptomeria japonica* stands. *Journal of Agriculture & Life Science* 47: 17-23.
- 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.
- Teobaldelli, M., Somogyi, Z., Migliavacca, M., and Usoltsev, V. 2009. Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management* 257: 1004-1013.
- Tobin, B. and Nieuwenhuis, M. 2007. Biomass expansion factors for Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in Ireland. *European Journal of Forest Research* 126: 189-196.
- Whittaker, R.H., Bormann, F.H., Likens, G.E., and Siccama, T.G. 1974. The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. *Ecological Monograph* 44: 233-252.