

편백 조림지에서 영급이 바이오매스 확장계수와 줄기밀도에 미치는 영향

이영진^{1*} · 이미향¹ · 이경학² · 손영모² · 서정호² · 박인협³ · 손요환⁴

¹공주대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원,

³순천대학교 산림자원학과, ⁴고려대학교 환경생태공학부

Effects of Stand Age Classes on Biomass Expansion Factors and Stem Densities in *Chamaecyparis obtusa* Plantations

Young Jin Lee^{1*}, Mi Hyang Lee¹, Kyeong Hak Lee², Young Mo Son²,
Jeong Ho Seo², In Hyeop Park³ and Yowhan Son⁴

¹Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 340-802, Korea

²Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

³Department of Forest Resources, Suncheon National University, Suncheon 540-742, Korea

⁴Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

요 약: Biomass 확장계수와 줄기밀도의 값은 임목측적 자료를 이용하여 국가단위의 총 탄소 저장량으로 전환하는데 일반적으로 사용되어왔다. 본 연구의 목적은 우리나라 남부지방에 식재된 편백 임분을 대상으로 임령이 Biomass 확장계수와 줄기밀도에 미치는 영향을 조사하였다. 연구 대상지는 동일한 임지에서 다양한 임령(8~54년생)이 분포하는 전라남도 장성군 편백 조림지를 기본 모델로 조사하였으며, 조사대상지 임분은 20년 단위를 1 영급단위로 분류하여 총 3개의 영급단위로 구분하였다. 각 영급단위별로 최소 5주 이상의 표준목을 선발하여 총 25주의 표준목을 별채하였고 줄기, 잎, 가지, 뿌리의 생중량과 건중량, 줄기밀도, Biomass 확장계수, 줄기의 Biomass에 의한 부위별 Biomass 전환계수 등을 분석하였다. 본 연구 결과, 전체 Biomass 확장계수는 임령이 증가함에 따라 3.64에서 1.44로 급격히 감소하는 반면에, 줄기밀도는 0.35(g/cm³)에서 0.44(g/cm³)로 약간 증가하는 경향을 나타내었다. Biomass 확장계수와 줄기밀도의 경우 영급에 따라 유의적인 차이가 있었으나 영급단위2와 영급단위3은 차이를 나타내지 않았다. 그러나 평균적으로 임령이 30년 이상인 경우에는 전체 Biomass 확장계수와 줄기밀도가 약 1.44와 0.44(g/cm³)라는 일정한 값들을 나타내었다. 본 연구 결과로 얻어진 Biomass 확장계수와 줄기밀도를 편백 임분의 영급별 측적에 적용함으로써 정확도 높은 총 Biomass 및 탄소 고정량을 추정하는데 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

Abstract: Biomass expansion factors and stem density values were commonly used in converting stand volumes into total carbon stocks for the purpose of national inventories of greenhouse gas emissions and carbon sequestration. The objective of this study was to examine the influence of stand age classes on aboveground and total biomass expansion factors, and stem density values in *Chamaecyparis obtusa* species. A total of 25 representative sample trees based on the three different stand age classes were destructively sampled to measure green weights and dry weights of the major four (root, stem, branch and foliage) portions of *C. obtusa* species grown in Jangseung-gun of southern Korea. According to the results of this study, as stand age classes increase, total biomass expansion factors tended to be decreased with the ranges from 3.64 to 1.44, while the stem density values tended to be slightly increased with the ranges from 0.35(g/cm³) to 0.44(g/cm³). There were statistically significant differences in biomass expansion factors and stem density values between stand age classes, but became nearly constant after 30 years old for *C. obtusa* species. This information could be very useful to improve a national-scaled inventory of greenhouse gas emissions and carbon sequestration for the *C. obtusa* species by applying different biomass expansion factors and stem density values.

Key words : *Chamaecyparis obtusa*, biomass expansion factor, stem density

*Corresponding author
E-mail: leeyj@kongju.ac.kr

서론

지구 온실가스 중의 하나인 대기 중 이산화탄소(CO₂) 농도의 증가가 지구온난화와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려지면서 지구온난화 같은 지구환경변화와 관련하여 대기 중 이산화탄소의 흡수 및 저장능력을 가진 산림생태계 내의 Biomass 및 탄소 고정량 추정은 지구탄소수지와 관련하여 주요한 연구 관심사이며 이산화탄소 배출량의 저감을 위한 국제사회의 다각적 노력이 진행되고 있다(손요환과 김현우, 1996; IPCC, 2003). 기존의 많은 연구들에 의하면, 경제적인 이산화탄소의 흡수 및 고정을 위해 임목의 식재가 대기 중 이산화탄소 농도 저감을 위한 가장 효과적인 수단중의 하나로 인정하고 있으며(Laclau, 2003), 그 결과 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)에서는 산림을 대기 중의 온실가스를 흡수하는 흡수원으로 규정한 바 있다. 따라서 1997년에 열린 기후협약 제 3차 당사국 총회에서는 부속서 국가들(선진국 및 동구권 국가까지)에게 1차 이행기간(2008~2012)동안 평균적으로 1990년 탄소배출량의 5.2%를 감축하라는 내용의 법적구속력 있는 교토의정서를 채택하였으며, 이 의정서는 온실가스 감축을 위한 국가간 공동이행제도(Joint Implementation)와 청정개발체제(Clean Development Mechanism)에 대한 규정 하에서 온실가스 감축실적의 거래를 인정하며 산림활동에 의한 흡수량을 의무이행 하도록 하였다. 기후변화협약에 따른 교토의정서가 2005년 2월 16일 공식적으로 발효됨에 따라 우리나라는 지금 당장은 1997년 의정서 제정 당시에 의무감축대상국이 아니었지만 국가보고서를 제출하게 되어 있고, 또한 2차 공약기간부터는 온실가스 배출량 10위 이내의 OECD 회원국으로 의무당사국이 될 가능성이 아주 높은 실정이다. 따라서 온실가스의 흡수원이자 저장원인 한국의 산림생태계 내의 Biomass 및 탄소 고정량 추정에 관한 연구는 의정서에 따른 의무이행과 의무부담협상을 위한 정량적 기초 자료로 활용 될 것이다. 또한 산림에 의한 환경 개선 효과의 평가뿐만 아니라 장차 Green Round에 대처방안을 모색하는 데에도 중요한 자료로 지속 가능한 산림경영 개념 도입에 따른 생태적 산림경영에 중요한 지표라 판단된다. 국외에서는 Biomass 확장계수와

줄기밀도 및 뿌리대 지상부 Biomass 비율과 임령과의 관계에 대한 많은 선행연구들이 수행되었으나(Venminen *et al.*, 1996; Fukuda *et al.*, 2003; Lehtonen, *et al.*, 2004; Levy *et al.*, 2004), 우리나라에서는 이 분야에 대한 연구가 미미한 실정이다. 편백 임분의 경우 우리나라에서는 지상부에 대한 물질생산에 관한 기존의 연구들은 있었으나(김춘식 등, 1987; 박인협 등, 2000; 정영교와 이광수, 2001, 2003), 영급별 지상부 Biomass와 지하부를 포함한 임목전체의 Biomass 그리고 임령이 Biomass 확장계수와 줄기밀도에 미치는 영향에 대한 기초적인 연구는 없는 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 남부지방의 대표적인 조림수종인 편백 임분을 대상으로 임령이 편백의 Biomass 확장계수와 줄기밀도에 미치는 영향에 대하여 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지의 개황

본 연구는 전라남도 장성군 서삼면(동경 126° 43' 40", 북위 35° 21' 30"~35° 21' 40") 산 98번지에 위치하고 있는 우리나라 남부지역의 대표적인 조림 수종 중의 하나인 편백 임분을 조사대상지로 선정하였다. 조사지의 기상조건으로 최근 30년간 연평균기온은 13.5°C, 최고평균기온은 18.8°C, 최저평균기온은 9.1°C이며, 연평균 강수량은 1,368 mm로 연중 6~8월에 집중하고 있었다. 조사지의 임분은 일부를 제외한 대부분은 1960년부터 1987년까지 28년간 조림한 지역으로 조림면적 240 ha 중에서 153 ha로 전체면적의 약 64%를 차지하고 있었다(서부지방 산림관리청, 2001). 조사대상지의 임분을 20년 단위를 1 영급단위로 분류하여 총 3개의 영급단위로 분류하였으며, 3개 임분에 대하여 10 m×10 m로 각각 6개씩 총 18개소의 표준지를 선정하여 상층목에 대하여 매목조사를 실시한 결과는 Table 1에서 나타난 바와 같다. 영급단위1(20년생 이하)의 경우 평균 임령은 11년생(8~15년)이며 임분의 표고는 257 m(235~280 m), 방위는 남동쪽이고 경사도는 10°이며 ha당 평균 임분밀도는 2,700본(2,500~2,800본)이었다. 영급단위2(21~40년생)의 경우 평균 임령은 30년생(22~35년)

Table 1. The summary of observed statistics for selected *Chamaecyparis obtusa* stands.

Age class (years)	No. of plots	Age (years)	DBH (cm)	Height (m)	Stand density (trees/ha)	Altitude (m)	Slope (°)	Aspect
1(1~20)	6	$\frac{11}{8-15}$	$\frac{1.8}{0.3-4}$	$\frac{2.1}{1.3-3.1}$	$\frac{2700}{2500-2800}$	$\frac{257}{235-280}$	10	SE
2(21~40)	6	$\frac{30}{22-35}$	$\frac{17.8}{14.3-22.0}$	$\frac{13.4}{9.6-16.1}$	$\frac{1900}{1400-2800}$	$\frac{330}{320-342}$	15	NW
3(41~60)	6	$\frac{49}{42-54}$	$\frac{26.8}{20.2-31.4}$	$\frac{18.2}{17.2-19.4}$	$\frac{767}{700-800}$	$\frac{412}{400-424}$	11	SE

이며 임분의 표고는 330 m(320~342 m), 방위는 북서쪽이고 경사도는 15°이며 ha당 평균 임분밀도는 1,900본(1,400~2,800본)이었다. 영급단위3(41~60년생)의 경우 평균 임령은 49년생(42~54년)이며 임분의 표고는 412 m(400~424 m), 방위는 남동쪽이고 경사도는 11°이며 ha당 평균 임분밀도는 767본(700~800본)이었다.

조사지 임분 내에 생육하고 있는 식생을 영급단위별로 비교해 보면 교목층과 아교목층은 거의 총위의 구분을 할 수 없었다. 그러나 임분 내의 관목층과 하층식생은 조금씩 차이를 보였다. 영급단위1의 경우 관목층에는 편백, 굴피나무, 느티나무가 출현하였고 하층식생으로는 억새, 고사리류, 때죽나무, 수리딸기 등이 출현하였다. 영급단위2의 경우 관목층에는 굴피나무, 느티나무, 층층나무가 출현하고 하층식생으로는 주름조개풀, 수리딸기, 산딸기 등이 출현하였다. 마지막으로 영급단위3의 관목층에는 층층나무, 비목, 누리장나무가 출현하였으며, 하층식생으로는 편백, 수리딸기 등이 출현하였다.

2. 조사방법

조사지는 지형의 변이가 거의 없고 임분 구조가 동일한 입지를 선정하였으며, 조사 시기는 7~8월에 집중적으로 현지조사 및 시료채취가 이루어졌다. 표준지의 매목조사는 영급단위별로 흉고직경을 측정하였으며 총 25주의 표준목을 선정하였다. 이 중에서 영급단위별 3본 이상씩 선정하여 총 15본은 임목의 뿌리까지 굴취하였다. 선정된 표준목들을 별도로 줄기, 가지(생지, 고사지), 잎, 뿌리로 구분하여 생중량을 측정하였다.

줄기는 Huber식에 의해 지상 0.2 m 높이에서 2 m 간격으로 절단하되 처음과 끝은 1 m로 맞추어 주었다. 원판의 두께는 건중량 측정을 위하여 5~10 cm로 통일 하였으며, 원판과 통나무의 생중량을 측정하고 원판은 수피내 직경, 수피의 직경, 연륜수 등을 측정하였다. 그리고 건조기에서 85°로 향량에 도달될 때까지 건조시킨 후 수피를 포함한 줄기(stemwood and stembark) 건중량과 수피내 줄기(stemwood only) 건중량을 측정하였다. 측정치에 의하여 각 원판의 건중량대 생중량비 등을 산정하였다. 또한 Huber식에 의하여 줄기의 목질부재적, Smalian식에 의하여 근주재적, 원추체식에 의하여 초두부재적 등을 산정하였으며 잎(잎+소지), 가지(생가지, 고사지)는 표본목별 생중량을 각각 측정하였다. 또한 뿌리는 원치와 도르래 및 기타 장비를 이용하여 가급적 전량의 뿌리를 채취하여 뿌리에 묻은 흙을 준비된 장비를 이용하여 깨끗이 제거한 후 생중량을 측정하였다. 잎, 가지, 뿌리는 생중량 측정 후 최소 350 g 이상의 시료들을 채취하여 건조기에서 85°로 향량에 도달될 때까지 건조(대략 10~14일 정도)시킨 후 잎, 가지, 뿌리의 시료에 대해서 건중량을 측정한 후 건중량대

생중량 비를 산출하였다. 줄기밀도는 수피를 포함한 줄기의 건중량대 재적의 비로 계산하였으며, Biomass 확장계수는 줄기의 건중량대 임목 전체의 건중량 비로 산출하였고, Biomass 전환계수는 줄기 Biomass에 대한 부위별 Biomass 비로 산출하였다(IPCC, 2003; Lehtonen, *et al.*, 2004). 표준목들의 수간석해 결과와 부위별 Biomass 측정치에 의하여 표준목별 줄기밀도 및 Biomass 확장계수, 부위별 Biomass 전환계수 등의 자료들에 대한 통계분석은 SAS(1988)에 의하여 분산분석(ANOVA)과 5% 유의수준에서 통계적 유의성이 있을 경우에, 처리평균간의 비교를 Duncan의 다중검정으로 비교하였다.

결과 및 고찰

1. Biomass와 Biomass 구성비

영급단위별 표준목의 부위별 평균 Biomass(kg)는 Table 2에서 나타난 바와 같다. 부위별 Biomass 구성비(%)의 경우 영급단위1 임분에서는 잎(42.1) > 줄기의 목질부(26.8) > 뿌리(22.2) > 가지(11.2) > 줄기의 수피(5.7) 순으로 구성비가 높았으며, 영급단위2 이상의 임분에서는 줄기의 목질부(64.7~65.4) > 뿌리(14.5~16.4) > 가지(11.7~12.6) > 잎(8.8~10.5) > 줄기의 수피(5.0~5.9) 순이었다(Figure 1(a)).

임령이 증가함에 따라 줄기의 목질부 건중량 구성비는 증가하는 반면, 잎의 건중량 구성비는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 편백 6년생 임분과 편백 20년생 임분에 대한 연구 결과(박인협 등, 2000)와 Whittaker and Marks (1975)의 연구결과와 유사하였다. 또한 편백 20년생 이하의 임분에서는 줄기의 목질부 Biomass 구성비보다 잎의 Biomass 구성비가 높았던 것은 편백이 유령림일 때 자연 낙지가 용이하지 않은 수종이기 때문인 것으로 판단되었다(Tadaki, 1976; 박인협 등, 2000; 이광수와 정영교, 2003).

Figure 1(a)에서 나타난 바와 같이 뿌리의 Biomass 구성비는 20년생 이하의 경우에는 22.2%를 20년생 이상의 임분에서는 각각 14.5%와 16.4%를 차지하며, 전체 평균치

Table 2. Biomass components for the sample trees in *Chamaecyparis obtusa* stands.

Age class (years)	Biomass components (kg)				
	Stem wood	Stem bark	Branch	Foliage	Roots
1(1~20)	0.31 (0.33)	0.07 (0.07)	0.09 (0.08)	0.38 (0.07)	0.23 (0.23)
2(21~40)	64.33 (28.64)	5.82 (2.59)	10.93 (2.59)	9.52 (4.45)	15.17 (5.16)
3(41~60)	218.07 (76.67)	16.50 (4.82)	44.89 (4.82)	29.73 (12.47)	72.88 (26.04)

Note: One standard deviation of the mean is in parenthesis.

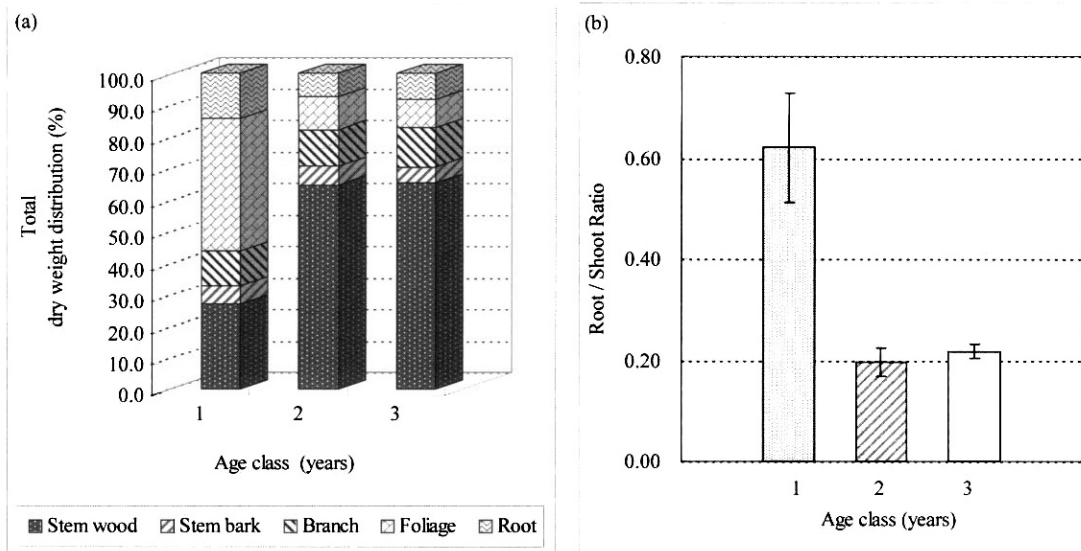


Figure 1. The percentages of total dry weight components(a), and ratios of root dry weight to stem and branch dry weight related to age class for 25 sample trees of *Chamaecyparis obtusa*. The lines above the bars indicate the standard deviation of the mean(b).

는 약 17.7%를 나타내고 있었다. 이 값은 Koch(1989)가 미국의 주요 수종들에 대한 뿌리의 평균 Biomass 구성비(16.7%)보다는 약간 높은 결과치를 나타낸 반면에, Fukuda(2003)등이 일본에서 조사한 편백과 삼나무 뿌리의 평균 Biomass 구성비(22.7%, 20.4%)보다는 다소 낮은 결과치를 나타내었다.

Caims(1997)등의 연구 결과에 의하면 뿌리대 지상부 Biomass 비율은 수목이 분포하는 위도와 토성 및 수목의 종류와는 관계없이 약 0.2~0.3 범위에 속하고, Whittaker and Marks(1975)가 연구한 바에 의하면 평균치 0.2를 나타낸다고 하였다. 본 연구의 결과에서는 영급단위 2 이상의 임분에서는 기존의 연구결과와 비슷한 약 0.2의 값을 나타낸 반면에 영급단위 1 임분에서는 0.620라는 상대적으로 매우 큰 값이 산출되었다(Figure 1(b)). 이는 20년생 이하의 영급단위 1 임분에서 다양한 임령에 대한 표준목의 수가 적고, 줄기나 가지가 차지하는 구성비보다 유형의 임분에서 뿌리가 차지하는 구성비가 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단되었다.

2. Biomass 확장계수와 줄기밀도

영급단위별로 표준목의 Biomass 확장계수와 줄기밀도에 대한 분산분석(ANOVA) 결과 모두 5% 유의수준에서 유의성을 보였으나($p < 0.05$), 영급단위 2(20년~40년생)와 영급단위 3(40년~60년생)사이의 유의성을 나타내지 않았다. 이는 영급단위 2 이상의 경우 일정한 값들을 나타낼 수 있었다(Table 3).

편백의 지상부 Biomass 확장계수와 뿌리를 포함한 임목전체의 Biomass 확장계수는 영급단위 1 임분에서는 각각 2.664와 3.636로 상대적으로 매우 높은 값들을 나타내

Table 3. Stem density and biomass expansion factors for the sample trees by stand age classes in *Chamaecyparis obtusa* stands.

Age class (years)	Stem density (g/cm ³)	Biomass expansion factor(g/g)	
		Aboveground	Total
1(1~20)	0.352 b (0.117)	2.664 a (1.596)	3.636 a (1.804)
2(21~40)	0.438 a (0.030)	1.006 b (0.002)	1.444 b (0.205)
3(41~60)	0.443 a (0.042)	1.002 b (0.001)	1.441 b (0.184)

Note: Means with different letter are significantly different ($p < 0.05$). One standard deviation of the mean is in parenthesis.

었으나, 영급단위 2와 영급단위 3에서는 거의 일정한 각각 1.002~1.006와 1.441~1.444를 나타내었다. 또한 지상부의 Biomass 확장계수와 뿌리를 포함한 임목전체의 Biomass 확장계수의 관측치 값들은 평균적으로 임령이 30년 이상의 경우 일정한 값들을 나타내었다. 이는 일본의 편백 임분의 Biomass 확장계수는 임령이 증가함에 따라 확장계수는 감소하지만 임령이 30년생 이후에는 거의 일정한 값을 가진다는 결과(Fukuda *et al.*, 2003)와 온대지방 침엽수 임분이 20년생 이하에서 3.1~4.4, 20년~40년생에서는 1.6~1.9, 40년생 이상에서는 1.5~1.6으로 임령이 증가함에 따라 Biomass 확장계수는 감소한다는(IPCC, 2003) 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

편백 임분의 줄기밀도는 각 영급단위별로 0.352, 0.438, 0.443으로 임령이 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 본 연구 결과에서 편백 임분의 평균 줄기밀도는 0.411(0.352~0.443)으로 일본 침엽수림의 평균치 0.37(For-estry Experiment Station, 1982)보다는 약간 높은 값을 나

Table 4. Biomass conversion factors for the sample trees by stand age classes in *Chamaecyparis obtusa* stands.

Age class (years)	Stem wood	Stem bark	Branch	Foliage	Roots
1(1~20)	0.830 b (0.090)	0.170 a (0.090)	0.419 a (0.243)	1.612 a (1.158)	0.951 a (0.477)
2(21~40)	0.917 a (0.007)	0.083 b (0.007)	0.171 b (0.053)	0.157 b (0.080)	0.231 b (0.072)
3(41~60)	0.929 a (0.008)	0.071 b (0.008)	0.184 b (0.052)	0.125 b (0.018)	0.263 b (0.038)

Note: Means with different letter are significantly different ($p < 0.05$). One standard deviation of the mean is in parenthesis.

타낸 반면에, 대부분 침엽수종의 줄기밀도가 0.3~0.45의 범위에 속한다는 기존의 연구 결과(Levy, *et al.*, 2004)와는 비슷한 결과치를 나타내었다.

3. Biomass 전환계수

영급단위별로 표준목들의 줄기 Biomass에 의한 부위별 Biomass 전환계수에 대한 분산분석(ANOVA) 결과 유의한 것으로($p < 0.05$) 나타났다(Table 4).

편백의 줄기에 의한 부위별 Biomass 전환계수는 20년 생 이하의 임분에서는 잎 > 뿌리 > 줄기의 목질부 > 가지 > 줄기의 수피 순으로 높았으며, 20년~40년생과 40년~60년생의 임분에서는 줄기의 목질부 > 뿌리 > 가지 > 잎 > 줄기의 수피 순이었다. 이는 임령이 증가함에 따라 줄기의 목질부가 증가하지만, 상대적으로 줄기의 수피, 가지, 잎, 뿌리는 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 Biomass 전환계수는 총 Biomass량에 대한 각 부위별 Biomass량과 탄소 고정량을 할당하는데 사용할 수가 있다.

본 연구의 결과로 얻어진 편백의 Biomass 확장계수와 줄기밀도를 전국 규모에 대한 편백 임분의 영급별 축적자료에 적용함으로써 정확도 높은 편백의 총 Biomass 및 탄소 고정량을 추정하는데 정량적 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 국립산림과학원에서 지원한 『기후변화협약 대응 임업부문 온실가스 통계 체계 구축』에 대한 연구결과와의 일부임.

인용문헌

1. 김춘식, 이정석, 조경진. 1987. 전남 장성지방 삼나무 및 편백 인공림의 물질생산량에 관하여. 임산에너지 7(1): 1-10.
2. 박인협, 임도형, 유석봉. 2000. 편백 유령 인공림의 임령에

3. 서부지방산림관리청. 2001. 편백(삼나무) 관리 방안에 관한 Workshop. pp. 130.
4. 손요환, 김현우. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림 지내 토양발생 이산화탄소에 관한 연구. 한국임학회지 84: 178-185.
5. 이광수, 정영교. 2003. 진해지역 30년생 편백 인공림의 지상부 현존량. 임산에너지 22(1): 49-57.
6. 정영교, 이광수. 2001. 40년생 편백임분의 물질생산. 한국산림측정학회지 4(2): 11-17.
7. Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1-11.
8. Forestry Experiment Station. 1982. Handbook of the Wood Industry. Maruzen, Tokyo. pp. 1099.
9. 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.
10. IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan. pp. 576.
11. Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. *Forest Ecology and Management*. 173: 353-360.
12. Lehtonen, A., Makipaa, R., Heikkinen, J., Sievanen, R. and Liski, J. 2004. Biomass expansion factors(BEFs) for Scotch pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188: 211-224.
13. Levy, P.E., Hale, S.E. and Nicoll, B.C. 2004. Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry* 77(5): 421-430.
14. Koch, P. 1989. Estimates by species group and region in the USA of below-ground root weight as a percentage of oven-dry complete-tree weight and carbon content of tree portions. Wood Science Laboratory, Inc., Corvallis, MT. pp. 23.
15. SAS. 1988. SAS/STAT User's Guide: Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc. Cary. pp. 1028.
16. Tadaki, Y. 1976. Biomass of forest, with special reference to the leaf biomass of forests in Japan. *Journal of Japanese Forest Society* 58(11): 416-423.
17. Venninen, P., Ylitalo, H., Sievanen, R. and Makel, A. 1996. Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine. *Trees* 10: 231-238.
18. Whittaker, R.H. and Marks, P.L. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity, pp. 55-118. In: H. Lieth and R.H. Whittaker (ed.) Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New York.

(2005년 10월 18일 접수; 2005년 11월 17일 채택)