

가평지역 낙엽송림의 바이오매스와 영급별 줄기 밀도 및 바이오매스 확장계수 추정 연구¹

노남진², 손요환², 김종성³, 김래현⁶, 서금영², 서경원², 구진우², 경지현²
박인협⁴, 이영진⁵, 손영모⁶, 이경학⁶

A Study on Estimation of Biomass, Stem Density and Biomass Expansion Factor for Stand Age Classes of Japanese Larch (*Larix leptolepis*) Stands in Gapyeong Area¹

Nam Jin Noh², Yowhan Son², Jong Sung Kim³, Rae Hyun Kim⁶
Keum Young Seo², Kyung Won Seo², Jin Woo Koo², Ji Hyun Kyung²,
In Hyeop Park⁴, Young Jin Lee⁵, Yeong Mo Son⁶ and Kyeong Hak Lee⁶

요 약

본 연구는 경기도 가평군 일대의 낙엽송 임분 3개 영급 단위(1-2영급, 3-4영급, 5-6영급)에서 바이오매스 추정식을 개발하고 이를 바탕으로 바이오매스, 줄기 밀도, 바이오매스 확장계수를 추정한 것이다. 1-2영급, 3-4영급, 5-6영급에서 낙엽송 개체목의 평균 건조량(kg/tree)은 각각 57.8, 185.4, 1047.9, 지상부 바이오매스(ton/ha)는 71.1, 195.6, 180.6, 임목 전체 바이오매스(ton/ha)는 96.3, 265.7, 244.5 등으로 나타났다. 영급 단위가 증가함에 따라 줄기의 구성비(%)는 53.9, 55.7, 57.7 등으로 증가하였지만 잎의 구성비는 7.1, 4.5, 2.3 등으로 감소하였다. 뿌리와 지상부의 건조량 비는 모든 영급 단위에서 0.35로 나타났다. 줄기 밀도(g/cm³)는 영급 단위별로 각각 0.39, 0.48, 0.50 등으로 나타났고, 1-2영급과 3영급 이상 간에 차이를 보였다. 지상부 바이오매스 확장계수와 임목 전체 바이오매스 확장계수의 범위는 각각 1.31-1.44, 1.26-1.94 등으로 나타났다. 본 연구 결과 영급 단위에 따른 임분 밀도 차이가 바이오매스 추정 회귀식과 줄기 밀도 및 바이오매스 확장계수에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

1. 접수 2006년 2월 1일 Received on February 1, 2006.

2. 고려대학교 환경생태공학부 Division of Environmental and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea.

3. 고려대학교 생명자원연구소 Institute of Life Science and Natural Resources, Korea University, Seoul 136-701, Korea.

4. 순천대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Suncheon National University, Suncheon, Geonam 540-742, Korea.

5. 공주대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Gongju National University, Yesan, Chungnam 340-802, Korea.

6. 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

ABSTRACT

This study was conducted to develop allometric equations and to estimate biomass, stem density, and biomass expansion factor for the three stand age classes (I-II, III-IV, and V-VI) of Japanese larch (*Larix leptolepis*) in Gapyeong area. Total dry weight (kg/tree) and aboveground biomass (ton/ha) were 57.8 and 71.1 for I-II class, 185.4 and 195.6 for III-IV class, and 1047.9 and 180.6 for V-VI class, respectively. Total above and belowground biomass (ton/ha) was 96.3 for I-II class, 265.7 for III-IV class, and 244.5 for V-VI class. The proportion (%) of stem to total biomass increased with stand age class and was 53.9 for I-II class, 55.7 for III-IV class, and 57.7 for V-VI class, respectively, while that of foliage decreased and was 7.1 for I-II class, 4.5 for III-IV class, 2.3 for V-VI class. Ratios of root to aboveground biomass were 0.35 for all age classes. Stem density (g/cm^3) differed between I-II class and III-VI class. Aboveground and total biomass expansion factors were 1.31-1.44 and 1.26-1.94. Our results showed that differences in stand density with stand age classes might influence allometric equation, stem density and ratios of aboveground biomass to stem biomass and total biomass to stem biomass (biomass expansion factors).

keywords : age class, allometric equation, biomass, biomass expansion factors, *Larix leptolepis*, stem density

서 론

낙엽송(*Larix leptolepis* Gord.)은 우리나라 산림 면적의 17.1% (469천 ha)를 차지하는 침엽수로 소나무에 이어 많은 면적을 점유하여 국내 산림자원에서 매우 중요한 위치에 있다⁽¹²⁾. 낙엽송에 대해서는 용재로서의 이용 가치 증대와 물질 생산 관련 연구가 일부 진행되었고, 시비와 간벌에 따른 양분 순환과 물질 분배 연구, 지상부 바이오매스 추정 및 생산성과 생산구조에 관한 연구 등이 이루어졌다^(1,3,4,6). 그러나 다양한 지역과 영급 및 지하부를 포함한 바이오매스 연구는 여전히 부족한 실정이다.

임목의 바이오매스는 수종의 생리, 유전적 특성 외에도 임령과 임분 밀도를 비롯해 입지 조건, 기후 등 다양한 환경적 요인에 따라 차이를 보인다⁽²⁵⁾. 이를 감안한 지역별 바이오매스 연구는 생산성을 높일 뿐 만 아니라 생태적인 안정성을 고려한 적절한 산림자원 관리를 위해서 반드시

필요하다. 한편 최근 기후 변화에 대한 관심이 높아짐에 따라 이산화탄소 축적과 관련하여 보다 세부적이고 정확한 바이오매스 연구에 대한 필요성도 제기되고 있다. 따라서 산림을 구성하는 다양한 수종에 대한 바이오매스 연구와 함께 동일 수종이라도 지역과 임령에 따른 바이오매스의 연구를 통해 기후 변화에 대응하는 산림사업의 기초 자료를 마련하여야 한다^(10,11,13).

본 연구는 경기도 가평군 일대의 낙엽송림을 대상으로 20년생 이하, 21-40년생, 41-60년생 등으로 영급을 구분하여, 흉고직경과 부위별 바이오매스를 이용하여 바이오매스 추정 회귀식을 조제하고, 이를 이용하여 영급 단위 부위별 건중량과 구성비(%)를 추정하고자 수행되었다. 또한 영급 단위별 줄기 밀도(g/cm^3) 및 바이오매스 확장계수를 산출하며, 지하부 바이오매스와 고사목, 낙엽송 유기물 바이오매스를 조사함으로써 바이오매스 연구의 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

본 연구는 경기도 가평군 북면 일대(37° 56.8-58.5 N, 127° 31.5-32.0 E)에 위치하고 있는 낙엽송 임분 중에서 3개 영급 단위(1-2영급, 3-4영급, 5-6영급)를 구분, 선정하여 실행되었다 (Figure 1). 연구대상 임분 내에서 영급 단위별로 10m×10m 정방형 표준지를 3개씩 설치하고, 표준지 내 모든 임목을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 각 영급 단위별 연구 대상 임분의 특성은 Table 1과 같다. 연구대상 임분은 온대대륙성기후에 속하며, 최근 10년간 연평균 기온은 10.3°C로 최저 -4.3°C (1월)에서 최고 24.2°C (8월)의 분포를 보인다. 연강수량은 1,300mm 정도이며, 주로 6-8월에 집중된다.

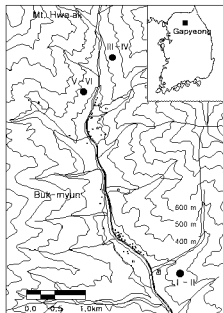


Figure 1. Location map of the study stands in Gapyeong area.

Table 1. Characteristics of the *Larix leptolepis* stands in Gapyeong area.

Age class	1-2	3-4	5-6
Altitude (m)	350	540	480
Aspect	SW	SW	SE
Slope (°)	15	10	20
Mean age (yr)	14	29	49
Mean DBH (cm)	11.7	18.6	38.0
Range of DBH (cm)	5-18	10-28	33-44
Density (tree/ha)	1,667	1,433	233

2. 바이오매스 추정 회귀식 조제

영급 단위별 연구대상 임분에서 매목조사시 흉고직경을 측정하고 그 분포를 고려하여 각각 5주씩 총 15본의 표본목을 선정하여 1회 측정하였으며, 뿌리는 1-2영급과 3-4영급에서 각각 3본, 5-6영급에서 1본씩을 굴취하였다. 각 입 여건상 모든 뿌리를 채취하는 것은 불가능하였으나, 세균을 포함하여 가능한 많은 뿌리를 채취하였다. 시료는 줄기, 가지, 잎, 뿌리 등으로 분리하여 생중량을 측정 후, 부위별로 일정량의 시료를 건조량 측정을 위하여 채취하였다. 줄기는 지상 0.2m 높이에서부터 2m 간격으로 절단하였고, 각각의 하단부에서 5cm 두께의 원편을 채취하여 생중량을 측정하였다. 수피 내외 직경과 간격, 연륜수 등을 측정하여 목질부와 수피 재적 등을 구하였다. 모든 시료는 75°C에서 48시간 이 될 때까지 건조시키고 원편은 수피를 분리하여 건조량을 측정하였다. 생중량과 건조량의 비로 부위별 건조량을 환산하였다. 측정 자료는 낙엽송의 바이오매스 추정 회귀식과 줄기 밀도 및 바이오매스 확장계수 등을 산출하는데 이용하였다⁽²⁾. 바이오매스 추정 회귀식은 일반적으로 적합도 및 효율성이 높은 것으로 알려져 있는 모형 중 흉고직경(X)을 독립변수로 하고 부위별 건조량(Y)을 종속변수로 하는 흉고직경변수모형($\log Y = a + b \log X$)을 적용하였다⁽⁷⁾.

3. 바이오매스 추정

바이오매스 추정 회귀식을 부위별로 유도한 뒤 임분별 표준지 내 개체목의 흉고직경 측정치를 적용하여 영급 단위별 바이오매스를 추정하였다. 회귀식은 r^2 의 통계량을 적용하여 검증하였고, 이를 보정하기 위해서 Sprugel(1983)의 보정 계수를 사용하였으며⁽²⁹⁾, 모든 자료 분석은 SAS(2000)를 이용하였다. 한편 고사목은 조사구 내 전량을, 낙엽층 유기물은 영급 단위별 조사구 내 3지점에서 30cm×30cm 방형틀을 이용하여 모두 수거하여 생중량을 측정하였다. 채취한 시료를 75℃에서 48시간 동안 건조시켜 건중량을 측정하고 생중량에 대한 건중량의 비로 임분 내 고사목 및 낙엽층 유기물 바이오매스(ton/ha)를 추정하였다.

4. 줄기 밀도 및 바이오매스 확장계수

표본목의 부위별 건중량 측정치와 제적을 이용하여 영급별 줄기 밀도와 바이오매스 확장계수를 구하였다. 줄기 밀도(g/cm^3)는 줄기의 제적에 대한 줄기 건중량의 비로 산출하였으며, 바이오매스 확장계수(biomass expansion factors)는 줄기 건중량에 대한 지상부 건중량 또는 임목 전체 건중량의 비로 산출하였다⁽²⁷⁾.

결과 및 고찰

1. 바이오매스 추정 회귀식

낙엽송의 흉고직경에 대한 부위별 바이오매스 추정 회귀식의 조정 결과를 Table 2에 나타내었다. 바이오매스 추정 회귀식은 모든 부위에서 통계적으로 매우 유의하였으며, 일일 제한 모든 부위에서 높은 설명력을 보였고($r^2 > 0.95$, $p < 0.0001$), CF 값의 범위는 1.001-1.012로 나타났다⁽³⁰⁾. 조정된 추정 회귀식의 a, b 값은 각각 -2.054~-0.812, 1.513-2.702의 범위를 보였다. Kim *et al.*(1995)에 의한 양평지역 36년생 낙엽송 부위별 바이오매스 추정 회귀식의 a값은 -2.568~-0.891, b값은 1.627-2.478의 범위로 본 연구 결과와 매우 유사하였다(Figure 2).

2. 바이오매스 추정량

전술한 바이오매스 추정 회귀식을 이용하여 추정된 임목 부위별 건중량과 단위면적당 바이오매스는 Table 3과 같다. 임목당 평균 건중량(kg/tree)은 1-2영급, 3-4영급, 5-6영급에서 각각 57.8, 185.4, 1047.9 등으로 나타났다. 본 연구에서 평균 임령이 29년인 3-4영급의 지상부 건중량은 136.4kg/tree로 경기도 팽주지방의 3영급에

Table 2. Regressions of tree component dry mass (kg) on diameter (cm) at breast height for *Larix leptolepis* in Gapyeong area. Equations follow the form $\log Y = a + b \log X$, where X is stem diameter and Y is component dry mass. CF is a correction factor⁽³⁰⁾.

Tree component	a	b	S^2_{yx}	r^2	CF
Stem	-1.405	2.642	0.005	0.985	1.002
Stem wood	-1.528	2.702	0.005	0.985	1.003
Stem bark	-1.713	2.099	0.004	0.972	1.002
Branch	-2.054	2.664	0.015	0.950	1.008
Foliage	-1.015	1.513	0.024	0.797	1.012
Total aboveground	-1.175	2.580	0.003	0.991	1.004
Root	-1.648	2.566	0.009	0.956	1.001
Total biomass	-0.812	2.350	0.007	0.955	1.004

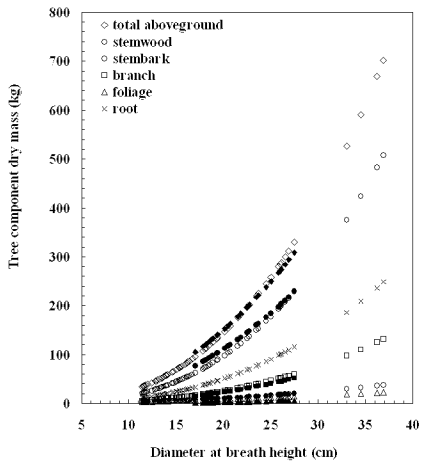


Figure 2. Relationships between diameter at breath height (cm) and tree component dry mass (kg) for *Larix leptolepis*; open symbols are data from this study, and filled symbols are data from Yangpyeong area (Kim *et al.* 1995).

해당하는 29년생 낙엽송의 148.8에 비해⁽¹⁵⁾ 낮은 값을 보였다. 단위 면적당 지상부 바이오매스 (ton/ha)는 영급 단위에 따라 각각 71.1, 195.5,

180.6 등으로 나타났고, 지하부를 포함한 임목 전체 바이오매스(ton/ha)는 영급 단위에 따라 각각 96.3, 265.7, 244.5 등으로 나타나 3-4영급에서 가장 높았다. 이러한 가평지역 낙엽송 지상부 바이오매스는 Kimmins 등(1985)과 Schulez 등(1995)의 일갈나무속의 추정치 44-275ton/ha 범위 내에 있었다. 또한 경기도 광주지역의 29년생 낙엽송 171.1ton/ha, 15년생 낙엽송 63.7ton/ha, 63년생 173.1ton/ha, 양평지역 37년생 낙엽송이 127.2ton/ha인 것에 비해 비교적 높게 나타났다^(2,4,15). 또한 Kim(1999)에 의한 경기도 광릉지역 31년생 낙엽송이 87.2ton/ha로 나타난 것에 비해 매우 높은 값이었다. 이것은 동일 수종임에도 불구하고 지역과 영급, 그리고 임분 밀도에 따라 차이가 있음을 보여 준다^(3,9,14). 한편 5-6영급 임분에서의 임목 건중량(kg/tree)은 매우 높게 나타났으나 단위면적당 바이오매스는 244.5 ton/ha로 일반적으로 보고된 범위에 포함되었다. 이것은 임분 밀도가 다른 연구조사지에 비해 매우 낮는데 기인하는 것이다(Table 1).

부위별 바이오매스 구성비(%)는 모든 영급 단위에서 줄기 > 뿌리 > 가지 > 잎의 순으로 나타났다(Table 3). 이것은 김 등(1996)의 37년생 낙엽송과 Kim(1999)의 31년생 낙엽송의 부위별

Table 3. Tree component biomass (kg/tree, ton/ha), biomass distribution ratio (%) and ratio of root biomass to aboveground biomass of *Larix leptolepis*.

Age class	1 - 2		3 - 4		5 - 6	
	kg/tree	ton/ha (%)	kg/tree	ton/ha (%)	kg/tree	ton/ha (%)
Stem	31.1	51.9 (53.9)	103.3	148.1 (55.7)	604.1	141.0 (57.7)
Stem wood	27.4	45.7 (47.4)	93.6	134.1 (50.5)	563.5	131.5 (53.8)
Stem bark	3.7	6.2 (6.5)	9.7	14.0 (5.3)	40.6	9.5 (3.9)
Branch	7.4	12.3 (12.8)	24.8	35.6 (13.4)	146.0	34.1 (13.9)
Foliage	4.1	6.9 (7.1)	8.3	11.9 (4.5)	23.8	5.6 (2.3)
Aboveground total	42.7	71.1 (73.8)	136.4	195.6 (73.6)	774.0	180.6 (73.9)
Root	15.1	25.2 (26.2)	48.9	70.1 (26.4)	274.0	63.9 (26.1)
Total biomass	57.8	96.3 (100)	185.4	265.7 (100)	1047.9	244.5 (100)
Ratio of root biomass to aboveground biomass	0.35		0.35		0.35	

건중량 구성비와도 일치하는 경향이었다. 그리고 1-2영급 임분에서 수피의 구성비는 일의 구성비 보다 낮았다. 한편 영급 단위가 증가함에 따라 가지의 구성비가 감소하지 않았으나, 줄기의 구성비가 증가하고 잎 구성비는 감소하는 일반적인 경향을 보였다⁽³¹⁾. 뿌리와 지상부 건중량의 비는 모든 영급 단위에서 0.35로 동일하게 나타났다. 이러한 비율은 이 등(1987)이 보고한 27년생 잣나무의 0.35와 유사한 것이며, 29년생 상수리나무의 0.32, 22년생 신갈나무와 굴참나무의 0.31⁽³²⁾에 비해 높은 것이다.

조사지 내 하층식생은 거의 존재하지 않았고, 고사목의 바이오매스는 3-4영급 임분에서만 4.0ton/ha로 나타났다. 임상 유기물 총량은 27.1-62.0ton/ha으로(Table 4), 가평지역 14.7-20.8 ton/ha과 강원도 지방의 6.0-22.2ton/ha에 비해 높은 값을 나타냈다^(5,17). 그러나 임분 내 하층식

생과 고사목 및 임상 유기물 바이오매스는 다양한 자연적, 인위적 요인에 따라 차이를 보인 것으로 사료된다.

3. 줄기 밀도 및 바이오매스 확장계수

표준목을 이용하여 구한 평균 줄기 밀도(g/cm³)는 영급 단위에 따라 각각 0.39, 0.48, 0.50 등으로 20년생 이하와 20년생 이상 간에 차이를 보였고, 영급 단위가 증가함에 따라 점차 높아지는 일반적인 경향을 나타냈다(Table 5). 한편 가평지역 잣나무의 평균 줄기밀도인 0.32-0.35, 중부 지방 소나무의 0.39-0.43, 강원도 소나무의 0.40, 일본 침엽수림의 평균치 0.37에 비해서 다소 높은 것이다^(5,8,20,22).

지상부 바이오매스 확장계수와 임목 전체 바이오매스 확장계수는 각각 1.31-1.44, 1.26-1.94의 범위를 나타냈다. 바이오매스 확장계수는 영급 단위 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 영급 단위가 증가함에 따라 모두 감소하는 경향을 보였다(Table 5). 이는 영급 단위가 증가할수록 줄기의 바이오매스 구성비가 증가하기 때문이며, 온대지방 침엽수의 바이오매스 확장계수가 수령의 증가에 따라 감소하는 것かと 일치하는 결과이다⁽²²⁾. 본 연구의 지상부 바이오매스 확장계수는 경기도 광주지역 29년생 낙엽송 1.24, 경기도 광릉지역 31년생 낙엽송 1.23, 양

Table 4. Dry mass (ton/ha) of woody debris and forest floor of *Larix leptolepis* by stand age class. Forest floor includes organic layer and woody debris with diameter < 10cm.

Age class	1-2	3-4	5-6
Woody debris (ton/ha)	-	4.0	-
Forest floor (ton/ha)	27.1	62.0	29.0

Table 5. Stem density, ratios of aboveground biomass to stem biomass and total biomass to stem biomass (biomass expansion factors). Significant differences among age classes at the p=0.05 level are indicated by different letters. Ratios of aboveground biomass to stem biomass and total biomass to stem biomass follow form by IPCC (2003).

Age class	1-2	3-4	5-6
Stem density (g/cm ³) (D)	0.39b	0.48a	0.50a
Ratio of aboveground biomass to stem biomass (BEF ₁)	1.44a	1.32a	1.31a
Ratio of total biomass to stem biomass (BEF ₂)	1.94a	1.90a	1.26a

cf. Total biomass=Accumulation×D×BEF₁₂⁽²²⁾

평지역 37년생 낙엽송 1.23에 비해 높은 값이었다^(4,15,23). 한편, 임목 전체 바이오매스 확장계수는 18-49년생 금강형 소나무의 1.44-1.67과 유사한 값을 보였고, 동일지역 12-52년생 잣나무의 1.80-2.44와 중부지방 15-46년생 소나무의 1.78-2.70보다는 비교적 낮은 것이다^(5,8).

감사의 글

본 논문은 기후변화협약 대응 임업부문 온실가스 통계체계 구축 연구사업으로 이루어진 결과의 일부입니다.

인용문헌

1. 권기철, 김홍은, 이종희. 1998. 낙엽송 인공조림 임분의 생산구조와 생산성. 임산에너지 17(1) : 1-7.
2. 김갑덕, 김철민. 1988. 국내 삼림 biomass의 생산에 관한 연구와 동향. 임산에너지 8(2) : 94-107.
3. 김영환, 맹환우, 이돈구. 1999. 백두산 동북부지역 소나무 천연림에서 밀도에 따른 임분의 biomass 생산성 및 수직 배분. 임산에너지 18(2) : 92-99.
4. 김중성, 손요환, 임주훈, 김진수. 1996. 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부생체량, 질소와 인의 분포 및 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) : 416-425.
5. 노남진, 손요환, 김래현, 서금영, 서경원, 구진우, 경지현, 김중성, 이영진, 박인협, 이경학, 손영도. 2005. 가평지역 잣나무 바이오매스 연구. 한국산림측정학회지 8 : 75-82.
6. 민두식, 이세표, 최태호. 1990. 落葉松(*Larix leptolepis* Gordon)의 心腐材. 한국임학회지 79(4) : 419-423.
7. 박인협, 김준선. 1989. 한국형 4개 지역형 소나무 천연림의 물질현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 87(3) : 323-330.
8. 박인협, 박민수, 이경학, 손영도, 서경호, 손요환, 이영진. 2005. 소나무의 생태형과 임령에 따른 물질 현존량 확장계수. 한국임학회지 94(6) : 441-445.
9. 박인협, 이돈구, 이경준, 문광순. 1996. 참나무류의 성장 및 물질생산에 관한 연구(I) - 경기도 광주지방의 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무, 신갈나무 천연임분을 대상으로-. 한국임학회지 85(1) : 76-83.
10. 박인협, 이석면. 1990. 한국산 4개 지역형 소나무 천연림의 물질생산에 관한 연구. 한국임학회지 79(2) : 196-204.
11. 박인협, 임도형, 류석광. 2000. 편백 유령 인공림의 임령에 따른 물질생산 및 무기양료 분배. 한국임학회지 89(1) : 85-92.
12. 산림청. 2005. 임업통계연보. II. 산림자원.
13. 손영도, 이경학, 권순덕. 2004. 지역간 잣나무의 수간곡선식 추정과 성장양태. 한국산림측정학회지 7(2) : 9-14.
14. 이경재. 1983. 잣나무인공림에서 밀도조절에 따른 성장 및 물질생산의 비교연구. 서울대학교 석사학위논문 pp.25.
15. 이돈구, 김갑테. 1997. 경기도 광주지방에서 자라는 참나무류, 낙엽송 및 잣나무의 수형특성과 물질분포. 한국임학회지 86(2) : 208-213.
16. 이돈구, 이경준, 신준환, 이경학. 1987. 중부지방 산림생태계의 물질생산 및 양료순환. 임산에너지 7(2) : 15-32.
17. 이병중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87(2) : 276-285.
18. 임업연구원. 2003. 임업부문의 기후변화협약 국가보고서 작성. 임업연구원 연구자료 pp. 211.
19. Alban, D. H., D. A. Pelara and B. E. Schlaegel. 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. Canadian Journal of

- Forest Research 8 : 290-299.
20. Forestry Experiment Station. 1982. Handbook of the Wood Industry. Maruzen, Tokyo. pp. 1099.
21. Gower, S.T., P.B. Reich and Y. Son. 1993. Canopy dynamics and aboveground production of five tree species with different leaf longevities. *Tree Physiology* 12 : 327-345.
22. IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. IGES, Kanagawa, Japan.
23. Kim, C. S. 1999. Aboveground nutrient distribution in pitch pine (*Pinus rigida*) and Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations. *Journal of Korean Forestry Society* 88(2) : 266-272.
24. Kim, J. S., Y. Son and Z. S. Kim. 1995. Allometry and canopy dynamics of *Pinus rigida*, *Larix leptolepis*, and *Quercus serrata* stands in Yangpyeong area. *Journal of Korean Forestry Society* 84(2) : 186-197.
25. Kimmins, J. P. 1996. *Forest Ecology : A Foundation for Sustainable Management*. 2nd. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
26. Kimmins, J. P., D. Binkley, L. Chatarpaul and J. de Catanzaro. 1985. *Biogeochemistry of Temperate Forest Ecosystems : Literature on Inventories and Dynamics of Biomass and Nutrients*. Petawawa National Forestry Institute Press. Canada.
27. Lehtonen, A., R. Makipaa, J. Heikkinen, R. Sievanen and J. Liski. 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forest. *Forest Ecology and Management* 188 : 211-224.
28. SAS. 2000. *SAS/STAT User's Guide*. Release 8.1 ed. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA.
29. Son. Y. and H. W. Kim. 1998. Aboveground biomass and nutrient distribution in a 15-year-old Ginko (*Ginko biloba*) plantation in central Korea. *Bioresource Technology* 63 : 173-177.
30. Sprugel, D. G. 1983. Correction for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64(1) : 209-210.
31. Whittaker, R. H. and P. L. Marks. 1975. *Methods of assessing terrestrial productivity : Primary Productivity of the Biosphere* (eds H. Lieth and R.H. Whittaker) Springer-Verlag, New York. pp. 55-118.