

# 붉가시나무의 영급에 따른 현존량 확장계수<sup>1</sup>

이상태<sup>2\*</sup> · 황재홍<sup>3</sup> · 이경재<sup>3</sup> · 신현철<sup>2</sup> · 김병부<sup>4</sup> · 박문섭<sup>2</sup> · 전권석<sup>2</sup> · 조현서<sup>5</sup>

## Biomass Expansion Factors(BEFs) for *Quercus acuta* According to Age Classes<sup>1</sup>

Sang-Tae Lee<sup>2\*</sup>, Jae-Hong Hwang<sup>3</sup>, Kyung-Jae Lee<sup>3</sup>, Hyun-Cheol Shin<sup>2</sup>,  
Byung-Bu Kim<sup>4</sup>, Mun-Seub Park<sup>2</sup>, Kwon-Suk Jun<sup>2</sup>, Hyun-Seo Cho<sup>5</sup>

### 요 약

산림의 현존량 측정에 대한 연구는 줄기밀도와 임목의 재적과 건중량을 전환하는 현존량 확장계수를 이용하여 추정한다. 본 연구의 목적은 전라남도 완도군 붉가시나무 임분의 줄기밀도와 영급에 따른 현존량 확장계수를 추정하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 각 영급별로 수간석해를 실시하여 각 부위별 현존량을 분석하였다. 분석결과 임목의 영급에 따른 줄기밀도의 값은 0.557~0.636으로 나타났으며, 지상부 현존량 확장계수는 1.168~1.324였다. 지상부 현존량 확장계수는 수령이 증가할수록 값이 증가하였으며, 현존량 확장계수와 줄기밀도는 임목의 영급에 따라 유의적인 차이가 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과들은 붉가시나무에 대한 전국 규모의 탄소고정량 산출에 있어서 영급에 따른 확장계수 추정의 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 건중량, 줄기밀도, 탄소고정

### ABSTRACT

Current biomass stock of forest has been calculated by using biomass expansion factors (BEFs) that convert timber volumes to dry weight and stem density. The objective of this study was to estimate stem density values and to develop BEFs that are dependent on tree age classes for *Quercus acuta* stands in Jeonnam Wando-gun. Sample trees on the three different age classes were harvested to obtain each components biomass with stem analysis. Stem density values as tree age classes were ranged from 0.557 to 0.636. Aboveground BEFs were ranged from 1.168 to 1.324. BEFs were increased with increasing age classes. There was a significant difference between BEFs and stem density values with tree age classes. These results suggest that the reliability of the national carbon stock inventory could be improved by applying age classes BEFs, which are formulated on the basis of representative for *Quercus acuta*.

**KEY WORDS : DRY WEIGHT, STEM DENSITY, CARBON STOCK**

1 접수 10월 29일 Received on Oct. 29, 2007

2 국립산림과학원 남부산림연구소 Southern Forest Research Center, KFRI, Jinju(660-300), Korea

3 국립산림과학원 산림생산기술연구소 Forest Practice Research Center, Pochon(487-821), Korea

4 국립공원관리공단 Korea National Park Service, Namhae(668-821), Korea

5 국립전주산업대학교 Department of Forest Resources, Jinju National Univ., Jinju(660-758), Korea

\* 교신저자, Corresponding author(s\_stlee@hanmail.net)

## 서론

산림의 가치는 그 존재만으로도 우리 인류에게 중요한 자원중의 하나로 부각되고 있다. 이는 급격한 산업화와 공업화된 사회 구조로 야기된 문명 이기의 부작용인 지구온난화 문제가 발생하였기 때문이다. 지구온난화는 이 지구상에 생존하는 모든 인류와 자연생태계 전체가 위협 받는 무서운 현상으로, 화석연료 사용의 증가와 산림의 파괴 및 전용으로 인해 탄소저장 능력을 가진 산림 자원의 감소와 대기 중에 방출된 이산화탄소와 메탄가스, 산화질소, 오존 그리고 프레온가스 등 대기 중의 온실가스 농도가 증가되기 때문이다.

이와 같이 산림의 파괴로 인한 기후변화의 영향을 조사하기 위해 IPCC(2000)에서는 지구상의 생태계로부터 연간 탄소중대 추정과 토지이용에 따른 연간 탄소 방출량 그리고 산림의 탄소고정 균형을 위한 생태계와 국가적 수준의 평가를 보고하였다. 또한 지구온난화와 관련된 문제 해결을 위하여 산림이 가지고 있는 무한한 탄소저장능력과 임목축적에 대한 많은 연구가 수행되었다(Alban & Perala, 1992; Laitat *et al.*, 2000; IPCC, 2003). 산림의 탄소고정과 관련된 현존량의 경우 임목 건중량의 약 50%가 탄소로 이루어져 있으며(Satoo and Madgwick, 1982; 송철영 등, 1997), 이를 근거로 임목 전체의 건중량은 탄소구성비 0.5를 곱하여 현존량을 추정하였다. 일반적으로 임분 현존량은 임목의 흉고직경이나 수고를 독립변수로 회귀식 유도에 의한 방법을 사용하였으나, 전국 규모의 산림조사에 의한 현존량 추정에 적용하기에는 방법적인 문제가 있다(박인협 등, 2005). 국제 기후변화협약과 관련하여 IPCC(2003)에서는 탄소축적량 조사를 위한 전국 규모의 산림 현존량 추정 방법으로서 국가별 임업통계상의 임목축적 즉, 줄기재적을 이용하는 방법을 권장하고 있다. 특히 국가 및 지역적 단위에서의 임목축적 양에 대한 체계적인 산림자원 정보 획득과 현존량 및 탄소에 관한 연구가 중요시 되고 있으며(Kauppi *et al.*, 1992; Laitat *et al.*, 2000), 최근에는 산림의 탄소고

정량 평가 방법으로 현존량확장계수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Johnson and Sharpe, 1983; Venninen *et al.*, 1996; Fukuda *et al.*, 2003; Lehtonen *et al.*, 2004). 이상과 같이 지금까지의 현존량 추정은 단목의 회귀추정에 의한 방법을 이용하였으나, 전국 규모의 임목 축적이 조사되어 있는 상황에서는 무엇보다도 수종별 줄기밀도와 현존량 확장계수를 이용한 방법이 중요시 되고 있다.

본 연구는 우리나라 난대상록수림을 대표하는 불가시나무의 현존량 확장계수와 관련된 연구를 통하여 남부지방 및 도서해안지역에 분포하고 있는 난대림의 경제적 가치뿐만 아니라 생태계 안정 능력을 가진 임목의 탄소고정량에 대한 정확한 평가를 위하여 수행되었다. 특히 우리나라의 경우 지구온난화로 인해 점진적인 난대림의 북상이 예견되고 있는 만큼 이들 자원의 효율적인 가치 평가를 통하여 산림의 공익적 순기능 중의 하나인 대기중의 이산화탄소 고정능력에 대한 불가시나무의 산림 탄소고정량 평가를 위한 확장계수를 추정하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구 대상지는 전라남도 완도군 군외면에 위치한 완도수목원으로 난대상록활엽수림이 광범위하게 분포하고 있으며, 주요 분포 수종으로는 불가시나무, 동백나무, 황칠나무, 구실잣밤나무 등이 있으며, 주요 임분 구조는 단순 불가시나무림, 불가시나무-동백나무군락, 불가시나무-개서어나무군락, 불가시나무-줄참나무군락 등 크게 4개의 군락이 분포하고 있다(김상오 등, 2002). 조사대상지인 불가시나무 군락은 서향에 위치하고 있으며, 경사 20~25°, 임목 밀도는 ha당 2,000본으로 맹아에 의해 갱신된 이차림이다. 하층식생으로는 동백나무, 마삭줄, 생달나무, 황칠나무 그리고 사스레

Table 1. The growth characteristics of *Quercus acuta* stands

Age class	Age(years)	DBH(cm)	Height(m)	No. of trees
≤ 20	9	8.6	11.7	3
	7 - 13	4.8 - 12	9.7 - 13.5	
21-40	33	11.6	11.8	4
	31 - 35	10 - 16.5	9.7 - 14.3	
≥ 41	42	14.1	14.8	3
	41 - 44	18 - 22.3	14.1 - 15.3	

피나무 등이 출현하였으며, 조사대상지인 완도지역 기상조건은 최근 10년간(1997년~2006년) 연평균 온도 14.1°C, 강수량은 1,710mm이다(기상청, 2007). 붉가시나무의 물질생산량 분석을 위한 임목 벌채는 3개의 영급에서 총 10본을 벌채하였으며, 임목의 생육상황은 Table 1과 같다.

## 2. 표준목 선정 및 현존량

표준목은 임목의 벌근부 20cm지점에서 벌채하여 임목의 수령을 측정하였으며, 그 뒤 수간석해에 따른 방법을 적용하여 2m씩 잘라서 각각의 생중량을 측정하였다. 2m간격으로 절단된 통나무 중간부위의 직경을 측정 후 10cm두께의 원판을 채취하였다. 채취된 원판은 생중량을 측정 후 수피내, 수피의 직경을 측정하며, 수피재적과 연륜을 각각 측정하였다. 가지와 잎 등은 해당 주간 부위별로 1년생과 2년생 등으로 구분 채취하였다. 이와 같이 붉가시나무의 생중량을 현장에서 측정 후, 채취된 원판과 각 부위별 시료들을 85°C 건조기에서 항량이 될 때 까지 건조하여, 부위별 시료의 건조량을 각각 측정하였다.

각 표준목의 줄기 건조량은 2m길이의 통나무 생중량과 원판의 생중량과 건조량의 비에 의하여 산출된 건조량의 합으로 하였다. 또한 수피의 건조량은 원판측정치에 의해 산출된 통나무의 수피재적과 원판의 수피건중량대 수피재적비에 의하여 산출된 각 통나무의 수피 건조량을 합산한 값을 적용하였으며, 가지와 잎의 부위별 시료에서 측정된 생중량과 건조량의 비를 이용하여 단목별 가지와 잎의 건조량을 조사하였다.

## 3. 줄기밀도와 현존량 확장계수

줄기밀도는 줄기의 건조량을 재적으로 나눈 값에 해

당하며, 수피를 포함한 줄기의 건조량대 재적의 비로 계산하였다. 현존량 확장계수는 줄기의 건조량대 임목 전체의 건조량 비로 산출하였으며(Johnson and Sharpe, 1983; IPCC, 2003), 산출된 자료들은 SAS(1988)에 의하여 분산분석과 Duncan 다중 검정의 통계적 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 표준목 현존량

영급 단위별 표준목의 부위별 재적 및 건조량 분포는 Table 2와 같다. 세 개의 영급으로 분류된 붉가시나무의 줄기재적은 영급이 증가할수록 높았으며, 이에 따른 부위별 건조량 분포 또한 증가하는 것으로 나타났다. 특히 40년생까지의 줄기재적과 지상부 건조량 값이 각 영급간 약 두 배 정도 증가하였으며, 40년생 이상의 경우에는 줄기재적과 건조량 구성비는 세배 정도로 높게 나타났다.

Table 3에서와 같이 붉가시나무 각 영급별 지상부 현존량 구성비의 경우 임목 수령이 증가할수록 줄기의 목질부 건조량 구성비는 감소하였으나 가지의 경우는 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수종간의 차이는 있으나 편백 임분의 현존량을 분석한 박인협 등(2000)과 이영진 등(2006)이 보고한 연구에 의하면 20년생 급의 유령림의 경우 줄기 목질부 건조량비는 증가하지만, 잎의 건조량 구성비는 감소한다고 하였다. 이는 유령림 단계의 편백은 낙엽의 낙지가 용이하지 않아 장령림 영급에 비하여 잎의 건조량이 높기 때문이라고 하였다. 일반적으로 줄기의 경우 영급이 증가함에 따라 건조량 구성비는 높아지고, 가지와 잎의 건조량 구성비는 감소한다고 하였는데, 줄기는 지

Table 2. Mean dimensions of the sample trees in *Quercus acuta* stands

Dimensions		Age class		
		≤ 20	21-40	≥ 41
Volume (cm <sup>3</sup> )	Stem wood	42,259	88,855	259,289
	Bark	4,180	9,130	32,183
	Stem total	46,440	97,986	291,472
Dry weight (g)	Stem wood	25,408	57,308	151,549
	Branch	2,700	10,198	39,441
	Foliage	1,944	5,654	13,111
	Bark	2,468	4,992	10,909
	Aboveground biomass	32,520	78,152	215,010

Table 3. Aboveground dry weight distribution for the sample trees in *Quercus acuta* stands

Age class	Aboveground dry weight distribution(%)			
	Stem wood	Bark	Branch	Foliage
≤ 20	78.1 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	8.3 <sup>c</sup>	6.0 <sup>b</sup>
21-40	73.3 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	13.0 <sup>b</sup>	7.2 <sup>a</sup>
≥ 41	70.5 <sup>c</sup>	5.1 <sup>c</sup>	18.3 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>

\* Means with different letters within same columns are statistically different at p<0.05

Table 4. Stem density and each components of biomass expansion factors for the sample trees by age classes in *Quercus acuta* stands

Age class	Stem density (g/cm <sup>3</sup> )	Stem wood	Bark	Branch	Foliage	Aboveground
≤ 20	0.600 <sup>b</sup>	0.912 <sup>c</sup>	0.089 <sup>a</sup>	0.097 <sup>c</sup>	0.070 <sup>c</sup>	1.168 <sup>c</sup>
21-40	0.636 <sup>a</sup>	0.920 <sup>b</sup>	0.080 <sup>b</sup>	0.164 <sup>b</sup>	0.091 <sup>a</sup>	1.255 <sup>b</sup>
≥ 41	0.557 <sup>c</sup>	0.933 <sup>a</sup>	0.067 <sup>c</sup>	0.243 <sup>a</sup>	0.081 <sup>b</sup>	1.324 <sup>a</sup>

\* Means with different letters within same columns are statistically different at p<0.05

속적인 축적기관이며, 가지는 단기간에 형성된 축적기관 그리고 잎의 경우 비축적 기관이기 때문이라고 하였다(Whittaker and Marks, 1975). 그러나 불가시나무의 경우 수령이 증가할수록 줄기의 건조량 비는 감소하였지만, 가지와 잎의 경우에는 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 결과는 침엽수종의 경우 원추형 수관이 형성되며 주간의 형성이 발달하는데 반해 활엽수종의 경우는 측지가 발달하고 둥근 수관형의 형성으로 가지 부위의 발달이 두드러지며, 본 연구대상 수종인 불가시나무 역시 상록활엽수종으로서 측지의 발달이 활발하기 때문인 것으로 사료된다. 수피를 포함한 줄기의 구성 비율은 75.6~85.7%로서 김종성 등(1996)이 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 현존량 분석 결과 각각 78%와 81%로 보고되어 본 조사 결과와 유사한 것으로 나타났다.

## 2. 현존량 확장계수와 줄기밀도

영급별로 구분된 불가시나무의 현존량 확장계수와 줄기밀도에 대한 분산분석 결과 유의수준 5%에서 유의성이 있는 것으로 분석되었다(Table 4). 영급에 따른 줄기밀도는 0.557~0.636이며, 수령의 증가에 따른 경향은 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 박인협 등(2005)이 지역형에 따른 소나무의 줄기밀도는 수령이 증가할수록 높아지는 경향을 보고하였으나, 상록활엽수종인 불가시나무의 경우 다르게 나타나 수종간의 차이가 줄기밀도에 영향을 주는 것으로 판단된다. 또한 조사대상지인 불가시나무 임분의 경우 2차림으로 유도된

후 거의 천연림 상태로 방치되어 있어 높은 임분 밀도로 인해 수고생장 및 수관생장이 영급간에 큰 차이가 없는 것도 하나의 원인인 것으로 사료된다. 본 연구결과에서 나타난 불가시나무의 줄기밀도는 Lehtonen *et al.*, (2004)이 활엽수종인 자작나무 줄기밀도의 경우 동일 영급간의 비교 결과 50년생까지 0.544~0.556으로 불가시나무에 비해 다소 낮게 나타났다. 특히 온대지방 소나무의 수피를 제외한 줄기밀도가 0.32~0.44 (IPCC, 2003)인 점을 감안하면 난대상록수종인 불가시나무의 줄기밀도는 침엽수종에 비해 상당히 높은 것으로 조사되었으며, 현존량 확장계수의 경우 수피를 제외한 다른 부위에서는 수령이 증가할수록 확장계수 값이 높은 것으로 나타났다. 각 영급별 지상부 전체의 현존량 확장계수 분포는 1.168~1.324의 분포를 보이고 있다. 이러한 결과는 우리나라 중부지방 소나무의 지상부 현존량 확장계수 값이 1.200~1.432, 금강형 소나무 1.362~2.377인 점을 감안하면, 중부지방 소나무의 경우 불가시나무와 유사하나, 금강형 소나무에 비해서는 다소 낮은 값을 보이고 있다.

## 인용문헌

- 기상청(2007) 기후자료, [http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather\\_main.jsp](http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp).
- 김상오, 진상철, 오찬진(2002) 원도난대림수목원 지역 불가시나무림의 삼림군락구조. 한국임학회 91(6): 781-792.
- 김종성, 손요환, 임주훈, 김진수(1996) 리기다소나무와 낙엽송 인공조림지의 지상부 생체량, 질소와 인의 분포 및

- 낙엽에 관한 연구. 한국임학회지 85(3) :416-425.
- 박인협, 박민수, 이경학, 손영모, 서정호, 손요환, 이영진 (2005) 소나무의 생태형과 임령에 따른 물질 현존량 확장 계수. 한국임학회지 94(6): 441-445.
- 박인협, 임도형, 유석봉(2000). 편백 유형 인공림의 임령에 따른 물질생산 및 무기양료 분배. 한국임학회지 89(1): 85-92.
- 송칠영, 장관순, 박관수, 이승우(1997). 신갈나무와 굴참나무 천연림의 탄소 고정량 분석. 한국임학회지 86(1): 35-45.
- 이영진, 이미향, 이경학, 손영모, 서정호, 박인협, 손요환 (2006) 편백 조림지에서 영급이 바이오매스 확장계수와 줄기밀도에 미치는 영향. 한국임학회지 95(1): 50-54.
- Alban, D. H. and D. A. Perala(1992) Carbon storage in Lake States aspen ecosystem. Can. J. For. Res. 22(8): 1107-1110.
- Fukuda M., T. Iehera and M. Matsumoto(2003) Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. For. Ecol. Manage. 184: 1-16.
- IPCC(2000) A Special Report of the IPCC. Land Use, Land-use Change, and Forestry. Cambridge University Press, Cambridge, 375pp.
- IPCC(2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan, 576pp.
- Johnson, W. C. and D. M. Sharpe(1983) The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. Can. J. For. Res. 13: 372-383.
- Kauppi P. E., K. Mielikäinen and K. Kuusela(1992) Biomass and carbon budget of European forests. Science 256: 70-74.
- Laitat, E., T. Karjalainen, D. Loustau and M. Lindner (2000) Towards an integrated scientific approach for carbon accounting in forestry. *Biotechnology, Agronomy Society and Environment* 4: 241-251.
- Lehtonen A., R. Mäkipää, J. Heikkinen, R. Sievänen and J. Liski(2004) Biomass expansion factors (BEFs) for Scot pine, Norway Spruce and birch according to stand age for boreal forests. For. Ecol. Manage. 188: 211-224.
- SAS(1988) *SAS/STAT User's Guide, Release 6, 03 Edition*. SAS Institute Inc. Cary, 1028pp.
- Satoo, T., and H. A. I. Madgwick(1982) *Forest biomass*. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publisher, The Hague, 152pp.
- Venninen P., H. Ylitalo, R. Sievanen and A. Makel(1996) Effects of age and site quality on the distribution of biomass in Scots pine. Tree 10: 231-238.
- Whittaker, R. H. and P. L. Marks(1975) Methods of assessing terrestrial productivity In: H. Lieth and R. H. Whittaker(ed.) Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New York, pp.55-118.