

## 난대지역 주요 4개 수종의 탄소배출계수 개발 및 적용

손영모<sup>1\*</sup> · 김래현<sup>1</sup> · 강진택<sup>1</sup> · 이광수<sup>2</sup> · 김소원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 기후변화연구센터, <sup>2</sup>국립산림과학원 남부산림자원연구소

### A Practical Application and Development of Carbon Emission Factors for 4 Major Species of Warm Temperate Forest in Korea

Yeong Mo Son<sup>1\*</sup>, Rae Hyun Kim<sup>1</sup>, Jin Taek Kang<sup>1</sup>, Kwang Su Lee<sup>2</sup> and So Won Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Center for Forest & Climate Change, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>2</sup>Southern Forest Resource Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

**요약:** 본 연구는 주요 4개 난대수종에 대한 탄소배출계수를 개발하고 이를 이용하여 탄소저장/흡수량을 산정하고자 하였다. 대상 수종은 구실잣밤나무, 동백나무, 붉가시나무 및 종가시나무였으며, 이들에 대한 탄소배출계수는 다음과 같이 도출되었다. 탄소배출계수 중 하나인 목재기본밀도는 구실잣밤나무 0.583, 동백나무 0.657, 붉가시나무 0.833, 종가시나무 0.763이었으며, 이들 계수에 대한 불확도는 5.3~17.9%의 범위에 있는 것으로 나타났다. 바이오매스 확장계수는 구실잣밤나무 1.386, 동백나무 2.621, 붉가시나무 1.701, 종가시나무 2.123이었으며, 이들에 대한 불확도는 14.7~30.5%의 범위에 있었다. 또한 뿌리 함량비는 구실잣밤나무 0.454, 동백나무 0.356, 붉가시나무 0.191, 종가시나무 0.299이었으며, 이들에 대한 불확도는 19.8~35.7%의 범위에 있는 것으로 나타났다. 목재기본밀도 등 3개의 탄소배출계수는 모두 FAO에서 권장하는 40% 이하의 불확도를 갖고 있으므로 국가고유계수로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 난대지역에 분포하는 주요 4개 수종에 대한 탄소저장량을 산정한 결과, 구실잣밤나무 186.10 tCO<sub>2</sub>/ha, 동백나무 280.63 tCO<sub>2</sub>/ha, 붉가시나무 344.04 tCO<sub>2</sub>/ha, 종가시나무 278.91 tCO<sub>2</sub>/ha 으로 나타났으며, 연간 탄소흡수량은 6.65 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 6.25 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 11.70 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 12.29 tCO<sub>2</sub>/ha/yr으로 각각 나타났다. 이러한 정보는 난대지역 상록 활엽수림 경영관리에 있어 중요한 정보가 될 것이며, 기후변화에 의한 산림 식생대 변화를 대비하는 정책적 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

**Abstract:** In this study, we developed the carbon emission factors for 4 major species of warm-temperate region in Korea, and tried to provide their carbon emissions and removals estimates using these carbon emission factors. We selected *Castanopsis cuspidata*, *Camellia japonica*, *Quercus acuta* and *Quercus glauca* as target species and derived their carbon emission factors. The basic wood density that serve as one of the carbon emission factors were 0.583 for *Castanopsis cuspidata*, 0.657 for *Camellia japonica*, 0.833 for *Quercus acuta* and 0.763 for *Quercus glauca* and their uncertainties ranged from 5.3 to 17.9%. Biomass expansion factors were calculated as well: 1.386 for *Castanopsis cuspidata*, 2.621 for *Camellia japonica*, 1.701 for *Quercus acuta* and 2.123 for *Quercus glauca* and associated uncertainties varied from 14.7 to 30.5%. Lastly root-shoot ratios for each species were also determined: 0.454 for *Castanopsis cuspidata*, 0.356 for *Camellia japonica*, 0.191 for *Quercus acuta* and 0.299 for *Quercus glauca* with the uncertainties lying within a range from 19.8 to 35.7%. These three carbon emission factors including basic wood density had the uncertainties of less than 40% recommended by FAO. Therefore the application of country-specific emission factors seemed to provide quite accurate estimates of carbon emissions and removals. The estimation of the carbon stored in the 4 species were also conducted which amounted to 186.10 tCO<sub>2</sub>/ha for *Castanopsis cuspidata*, 280.63 tCO<sub>2</sub>/ha for *Camellia japonica*, 344.04 tCO<sub>2</sub>/ha for *Quercus acuta* and 278.91 tCO<sub>2</sub>/ha for *Quercus glauca* and their annual carbon removals were 6.65 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 6.25 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 11.70 tCO<sub>2</sub>/ha/yr and 12.29 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, respectively. This systematic assessment of forest resources can be a reliable source of information for managing evergreen broad-leaved forest in warm temperate regions and thus serve as useful data for effective decision-making to address vegetation zone shifts due to climate change.

**Key words:** 4 major species, annual carbon removals, carbon emission factors, uncertainties, warm-temperate region

\*Corresponding author  
E-mail: treelove@forest.go.kr

## 서 론

UN 기후변화협약에서의 ‘토지이용, 토지이용변화 및 임업(LULUCF)’부분에 있어 주요 바이오매스 탄소배출계수<sup>1)</sup>로는 목재기본밀도(Basic wood density, D), 바이오매스 확장계수(Biomass expansion factor, BEF), 뿌리함량비(Root-shoot ratio, R), 탄소함량비(Carbon fraction, CF) 등을 들 수 있다. 이들 탄소배출계수는 임목 축적(부피)을 탄소량으로 전환시키는 아주 중요한 인자로, 현재 세계 각국에서는 자국에 맞는 계수를 개발 중에 있으며, 이들에 대한 기본적인 정보는 ‘기후변화협약 정부 간 패널(IPCC)’에서 제시한 ‘우수실행지침(GPG, 2003)’ 및 ‘IPCC 지침서(GL, 2006)’ 등에 제시되고 있다.

국가 차원에서 온실가스 통계의 정확성 제고 및 국제적 신뢰성을 확보하기 위해서는 가장 기본적으로 LULUCF 부분의 활동자료 즉, 통계가 제대로 구축되어 있어야 하며, 이를 탄소로 전환하기 위해 가장 적합한 탄소배출계수를 개발·적용할 필요가 있다.

IPCC에서는 이들 계수가 산림형, 임령, 성장조건, 임분 밀도 및 기후 등에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 각국의 여건에 따라 수준별로 적용할 것을 권장하고 있다. 반면, 탄소흡수원으로서 LULUCF 부분의 중요성이 그다지 높지 않은 국가는 많은 노력과 경비를 들여 구태여 계수를 개발할 필요는 없을 것이다. 이러한 경우 IPCC에서는 가이드라인 등에서 제시하는 기본값(default) 또는 생태형이 유사한 인접 국가의 값을 이용할 것을 권장하고 있다. 또한 IPCC에서는 국가 차원의 고유계수 개발 및 영급, 수종, 지역별로 구분되는 정밀한 계수 또는 바이오매스 상대생장식 등 모델 개발을 통한 차원 높은 수준(tier)으로의 접근법 등을 제시한 바 있다(Aldred et al. 1988; Son et al., 2007).

그리고 탄소배출계수의 도출과 이를 국가고유계수로 적용함은 별개의 문제 즉, 어느 정도의 신뢰성을 가지고 있느냐를 검증해 주어야 한다는 것이다. 이를 IPCC에서는 불확도 평가(Uncertainty assessment)라고 하며, 이 절차는 필히 거쳐야 한다. IPCC 지침은 불확도를 측정하는 두 가지 방법을 기술하고 있는데, 방법 1은 “Propagation of sample error”, 방법 2는 “Monte Carlo simulation” 이다. 이 두 가지 방법에 관한 상세한 기술은 IPCC GPG(2003)와 IPCC GL(2006)에 자세히 기술되어 있다. 1이나 2 방법에서의 불확도 평가와 이용은 어떻게 각각의 범주에 영향하는지, 그리고 주어진 연도에서 부문별 온실가스가 전체 배출에 얼마나 기여하는지에 대한 전반적인 이해력을 제시해 준다.

본 연구에서는 우리나라 남부지방에 주로 생육하고 있는 상록활엽수인 구실잣밤나무(*Castanopsis cuspidata*), 동백나무(*Camellia japonica*), 붉가시나무(*Quercus acuta*), 종가시나무(*Quercus glauca*) 등에 대한 탄소배출계수 개발과정 및 결과를 밝히고자 하며, 도출된 계수를 적용하여 이들 수종이 차지하고 있는 탄소저장량(Carbon stock, ‘누적된 총저장량’) 및 흡수량(Carbon removal, ‘연간 흡수량’) 등을 산정하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시 재료

#### 1) 현지조사

수종 및 영급을 감안하여 현지에서 연구 대상 임분을 정하고, 그 안에 방형구(20 m × 20 m 기준)를 설치하였다. 구실잣밤나무는 전남 완도 지역에서 4개 plots, 동백나무는 제주도 서귀포 난아열대산림연구소 시험림에서 3개 plots, 붉가시나무는 전남 완도 지역 4개 plots, 제주도 서귀포 난아열대산림연구소 시험림에서 3개 plots, 종가시나무는 제주도 서귀포 난아열대산림연구소 시험림에서 4개 plots이 각각 조사되었다. 조사지가 완도 및 제주 등에 제한적인 것은 주요 난대수종의 군락차원의 분포지가 이들 지역에 국한되었기 때문이다. 또한 이들 수종은 남부 해안지역 및 제주도에 주로 산재하여 분포하고 있는 관계로 우점 군락지를 선정하는데 다소 어려움이 있었다. 조사구 수의 보다 원활한 통계적 처리를 위한 추가 확보는 추후 확보할 예정에 있다.

바이오매스 조사지 크기는 보통 20 m × 20 m 로 처리하여 조사하나, 20년 이하의 군락지인 경우 10 m × 10 m 로 조정하기도 하였으며, 만약 대상 임분의 임목밀도가 낮을 경우는 방형구 내 조사목이 최소 10본 이상이 되도록 방형구의 크기를 조절하기도 하였다. 매목조사는 방형구 내에서 수관이 임관층에 도달한 상층목(조사 대상목이 수관올폐율 75% 이상을 점하고 있어, 기타 수종은 동일 수종으로 간주)을 대상으로 흉고직경(0.1 cm 단위까지)을 모두 측정하였다. 수고는 별채되는 표준목 5본에 한하여 조사하였다(0.1 m 단위까지). 측정된 흉고직경 자료를 기초로 2 cm 단위의 직경급 별 임목본수 분포표를 작성하였고, 이를 바탕으로 임분의 직경급 분포와 유사한 비율로 별채할 표준목 5본을 선정하였다(Korea Forest Research Institute, 2010; Son et al., 2010). 표준목을 벌목한 후 줄기, 가지, 잎 또는 잎+소지, 뿌리 등 부위별로 구분하여 각각의 생중량을 측정하고, 원관과 시료를 채취하여 생중량을 측정하였다. 뿌리의 굴취는 표준목 중 2~3본을 선정하

<sup>1)</sup>에너지, 선박, 교통 등 타 분야 대부분은 CO<sub>2</sub>를 배출하므로 탄소배출계수로 명명하나, LULUCF 부문은 CO<sub>2</sub>를 흡수/저장하므로 탄소흡수계수로도 표현함.

**Table 1. Characteristic of growth factors by major 4 species of warm temperate forest.**

| Growth factors                    | Species | <i>Castanopsis cuspidata</i> | <i>Camellia japonica</i> | <i>Quercus acuta</i>     | <i>Quercus glauca</i>   |
|-----------------------------------|---------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Age                               |         | $\frac{28.0}{4.0-46.0}$      | $\frac{44.9}{5.0-96.0}$  | $\frac{29.4}{11.0-46.0}$ | $\frac{22.7}{5.0-47.0}$ |
| DBH (cm)                          |         | $\frac{10.8}{0.1-20.0}$      | $\frac{9.4}{0.4-19.7}$   | $\frac{10.2}{3.0-14.9}$  | $\frac{13.8}{0.9-29.3}$ |
| Height (m)                        |         | $\frac{9.9}{1.2-18.5}$       | $\frac{5.6}{1.5-8.8}$    | $\frac{9.9}{3.5-13.8}$   | $\frac{8.3}{1.5-13.7}$  |
| Tree density<br>(no. of trees/ha) |         | 2,175                        | 1,717                    | 2,206                    | 1,042                   |

였으며, 굴취는 대부분 포크레인을 이용하였으나, 잔뿌리 등은 수작업으로 수행하였다.

2) 대상목 및 기본 정보

바이오매스 조사를 실시한 구실잣밤나무 등 4수종의 표본목에 대한 정보는 Table 1과 같다.

2. 분석 방법

1) 탄소배출계수 도출 방법

(1) 목재기본밀도

$$\text{목재기본밀도}(\text{g/cm}^3) = \frac{\text{수피를 제외한 줄기 건중량}}{\text{수피를 제외한 줄기 부피}}$$

목재기본밀도는 상기와 같이 정의할 수 있으며, 현지에서 채취한 시료와 건중량 자료를 이용하여 직접 계산할 수도 있으나, 일반적으로 실험실에서 목편으로 물 치환 방법(floating method)에 의해 분석하였다(Korea Forest Research Institute, 2010).

(2) 바이오매스 확장계수

$$\text{바이오매스 확장계수} = \frac{\text{지상부 바이오매스(줄기, 가지, 잎 등)}}{\text{줄기 바이오매스}}$$

바이오매스 확장계수는 가장 많은 탄소를 저장하는 부위인 줄기 대비 가지, 잎, 수피 등의 탄소저장량을 의미하는 계수로서, 바이오매스 확장계수는 유령림에서 장령림으로 갈수록 점차 적어지는 경향이 있으므로 적용에 있어 주의를 요하는 계수이다. IPCC(2003)에서도 산림을 20년 이하와 21년 이상으로 구분하여 계수를 적용할 것을 권장하고 있다.

(3) 뿌리함량비

$$\text{뿌리함량비} = \frac{\text{뿌리 바이오매스}}{\text{지상부 총 바이오매스(줄기, 가지, 잎 등)}}$$

지하에 있는 뿌리 부분도 탄소저장고로서 역할을 다하

고 있으며, 본 계수는 지상부 전체 바이오매스 대비 지하부(뿌리)가 차지하는 비율로 계산된다. 뿌리에 대한 바이오매스 조사는 예전 연구자들이 ‘night-mare(악몽)’라 칭할 정도로 아주 노력과 시간이 많이 소요되는 어려운 작업이며(Pardé, 1980), 뿌리의 완전한 굴취가 어려운 관계로 불확도가 높게 나타나는 계수이다.

2) 탄소배출계수 불확도 평가

탄소배출계수는 국내 및 국제적으로 신뢰성을 확보하기 위하여 불확도를 평가하여야 하며, 이들에 대한 방법은 아래와 같은 수식(1방법, ‘propagation of sample error’ method)에 의해 계산하였다. IPCC에서 제시하는 양적인 불확도의 산정방법은 미지의 확률밀도함수에서 실제 값이 존재하는 95% 신뢰구간의 이용을 권고하고 있다. 아래 수식은 95% 신뢰구간의 반을 추정된 평균으로 나누어 불확도를 산정하였다(IPCC, 2003).

$$\text{Uncertainty} = \frac{1/2 \times (95\% \text{C.I. width})}{\mu} \times 100$$

여기서, C.I.는 95% 신뢰구간;  $\mu$ 는 평균을 나타냄.

3) 수종별 탄소저장량 산정을 위한 활동자료 수집

수종별 탄소계정을 위해서는 활동자료(면적 또는 축적자료)가 필요한 바, 구실잣밤나무 등 4개 수종에 대한 활동자료를 수집한 결과는 다음과 같다(Table 2). 국립산림과학원 남부산림자원연구소(2013)는 주요 상록활엽수에 대한 분포지 면적을 산출한 바 있으며, 구실잣밤나무 등 4개 수종의 총면적을 4,910 ha, 총축적을 507,558 m<sup>3</sup>로 집계한 바 있어 이 면적 및 축적 자료를 분석에 인용하였다. 1/5,000 임상도에서의 수종별 면적은 0.5 ha 이상인 군락만을 대상으로 하였기 때문에 산재하여 생육하는 개체목 차원의 수종별 면적은 산정되지 않았다. 남부산림자원연구소는 4개 수종을 포함하는 상록활엽수 전체 면적은 9,669 ha, 면적은 983,164 m<sup>3</sup>이라고 보고한 바 있다.

**Table 2. Distribution area and tree volume by major 4 species of warm temperate forest.**

| Area & Volume                      | Species | <i>Castanopsis cuspidata</i> | <i>Camellia japonica</i> | <i>Quercus acuta</i> | <i>Quercus glauca</i> |
|------------------------------------|---------|------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| Area(ha)                           |         | 1,326                        | 49                       | 1,824                | 1,711                 |
| Total volume (m <sup>3</sup> )     |         | 131,314                      | 3,775                    | 202,437              | 170,032               |
| Volume per ha (m <sup>3</sup> /ha) |         | 86.4                         | 65.7                     | 111.2                | 72.3                  |

탄소저장량 산정을 위하여 필요한 ha당 축적 계산은 총량 개념으로 계산한 것이 아니라 전남 등 생육 분포지별 단위면적당 축적을 산정하여 이를 평균한 값이다. 그리고 탄소저장량 산정은 다음의 절차를 거치게 된다.

- 임목재적(축적, m<sup>3</sup>) × 목재기본밀도(D)
- × 바이오매스 확장계수(BEF) × 뿌리함량비(1+R)
- × 탄소함량비(CF, 보통 0.5 적용)
- × 이산화탄소 전환계수(44/12 적용)

**결과 및 고찰**

**1. 탄소배출계수 산정 및 불확도 평가 결과**

1) 목재기본밀도 및 불확도

구실잣밤나무 등 4개 수종에 대한 목재기본밀도 및 불확도 평가 결과는 다음과 같다.

Table 3에서의 목재기본밀도를 정성호 등(2008)이 제시한 바 있는 자료와 비교(Remark)하면, 구실잣밤나무와 종가시나무는 별 차이가 없었으나, 붉가시나무는 본 연구에서 도출한 수치가 약간 높게(0.833 vs. 0.721) 나타났다. 이러한 차이는 분석에 이용한 시료의 개수 차이 또는 지역적인 편차라고 생각되며, 전체적으로 본 연구에서의 분석 결과는 기존 정성호 등(2008)이 수행하였던 분석 시료보다 많아 신뢰성이 다소 제고된 수치라 판단된다. 그리고 붉가시나무와 종가시나무 등의 목재기본밀도는 참나무류의 계수보다 더 큰 값을 갖는 것으로 나타나, 이들 수종이 목질부가 더 경질화(硬質化)되어 있음을 유추할 수 있었다(Son et al., 2010).

불확도 분석 결과, 4개 수종 모두 5.3~17.9% 범위에 있어, FAO가 이용 가능 계수의 상한 범위인 40% 이하에 있음을 알 수 있었다. 따라서 이를 국가고유계수로 사용하

**Table 3. Basic wood density and uncertainty by major 4 species.**

| Species                      | Basic wood density (g/cm <sup>3</sup> ) | Remark | Uncertainty (%) |
|------------------------------|---|--------|-----------------|
| <i>Castanopsis cuspidata</i> | 0.583                                   | 0.615  | 17.9            |
| <i>Camellia japonica</i>     | 0.657                                   | -      | 9.5             |
| <i>Quercus acuta</i>         | 0.833                                   | 0.721  | 5.3             |
| <i>Quercus glauca</i>        | 0.763                                   | 0.718  | 12.9            |

여도 별 무리가 없을 것이며, 추후 수종별 탄소저장량/흡수량 산정 시 이를 이용할 수 있을 것이다.

2) 바이오매스 확장계수 및 불확도

구실잣밤나무 등 4개 수종에 대한 바이오매스 확장계수 및 불확도 평가 결과는 다음과 같다.

Table 4에서 도출된 계수를 IPCC(2003)가 제시한 바 있는 온대지방 계수와 비교(Remark)하면, 모두 IPCC 기준 값 범위 안에 포함되는 것임을 알 수 있었으며, 참고로 우리와 산림생태형이 유사한 일본의 관련 수종과 비교하여도 바이오매스 확장계수가 유사한 것으로 나타났다(Iehara, 2008). 한편 동백나무는 타 수종보다 상대적으로 바이오매스 확장계수가 높은 값을 나타내고 있는데, 이는 다른 3수종보다 수관부가 넓게 퍼지는 경향이 있는 수종이라 볼 수 있다.

불확도 분석 결과, 4개 수종 모두 14.7~30.5% 범위에 있는 것으로 나타났는데, 이는 FAO가 이용 가능 계수의 상한 범위인 40% 이하에 있어(IPCC, 2003), 이를 국가고유계수로 사용 가능할 수 있을 것이며, 추후 수종별 탄소저장량/흡수량 산정 시에도 이용할 수 있을 것이다.

3) 뿌리함량비 및 불확도

구실잣밤나무 등 4개 수종에 대한 뿌리함량비 및 불확

**Table 4. Biomass expansion factor and uncertainty by major 4 species.**

| Species                      | Biomass expansion factor | Remark   | Uncertainty (%) |
|------------------------------|--------------------------|----------|-----------------|
| <i>Castanopsis cuspidata</i> | 1.386                    | 1.15-3.2 | 30.5            |
| <i>Camellia japonica</i>     | 2.621                    |          | 14.7            |
| <i>Quercus acuta</i>         | 1.701                    |          | 16.0            |
| <i>Quercus glauca</i>        | 2.123                    |          | 19.8            |

**Table 5. Root-shoot ratio and uncertainty by major 4 species.**

| Species                      | Root-shoot ratio | Remark    | Uncertainty (%) |
|------------------------------|------------------|-----------|-----------------|
| <i>Castanopsis cuspidata</i> | 0.454            | 0.20-1.16 | 31.4            |
| <i>Camellia japonica</i>     | 0.356            |           | 32.2            |
| <i>Quercus acuta</i>         | 0.191            | 0.17-0.44 | 19.8            |
| <i>Quercus glauca</i>        | 0.299            |           | 35.7            |

도 평가 결과는 다음과 같다.

Table 5에서 도출된 계수를 IPCC GL(2006)이 제시한 바 있는 온대지방 자료와 비교(Remark)하면, 모두 이들 기준값 범위 안에 포함되는 것임을 알 수 있었다. 동백나무의 경우는 바이오매스 확장계수가 높게 나타나 수관부의 확장을 추측할 수 있었는데, 뿌리함량비 역시 타 수종보다 수치가 높게 나와 지상부 대비 뿌리의 양이 많은 수종임을 알 수 있었다.

불확도 분석 결과, 4개 수종 모두 19.8~35.7% 범위에 있었으며, 이 계수 역시 앞선 두가지 계수와 마찬가지로 FAO가 제시한 이용 가능 계수의 상한 범위인 40% 이하에 있는 것으로 나타났다. 뿌리함량비의 불확도는 붉가시나무를 제외하고는 대부분 30% 이상의 다소 높은 값을 나타내고 있다.

본 연구에서 수행된 뿌리함량비의 조사는 5본의 표준목 중 3본의 뿌리를 굴취하고 도출하고 있다. 하지만 지형적인 복잡성과 지하부의 뿌리 분포 등을 파악하기 어려운 관계로 뿌리 굴취를 위한 표준목의 선정이 어렵다. 이를 개선하기 위해 다양한 경우를 고려한 조사 매뉴얼 상의 명확한 조사지침이 필요하며, 생태학적 배경을 가진 연구자의 참여 또는 뿌리함량비의 조사/분석을 위하여 많은 노력이 필요하다고 생각된다.

**2. 난대지역 수종별 탄소량 산정**

1) 수종별 탄소저장량 및 흡수량 산정

4개 수종에 대한 탄소저장량 및 흡수량 산정은 IPCC GPG(2003) 상의 방법을 따랐다. ha당 탄소흡수량은 본 탄소배출계수 산정을 위하여 현지 바이오매스 조사된 지역을 임상별 평균 임령이라 가정하고, 수종별 평균 임령(Table 1)으로 나누어 산정하였다. Table 6에서 단위면적 당 탄소저장량은 구실잣밤나무 186.10 tCO<sub>2</sub>/ha, 동백나무 280.63 tCO<sub>2</sub>/ha, 붉가시나무 344.04 tCO<sub>2</sub>/ha, 종가시나무 278.91 tCO<sub>2</sub>/ha 인 것으로 계산되었다. 연간 탄소흡수량은 구실잣밤나무 6.65 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 동백나무 6.25 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 붉가시나무 11.70 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 종가시나무 12.291 tCO<sub>2</sub>/ha/yr 인 것으로 나타났는데, 이는 참나무류 30년생일 때의 평균 탄소흡수량인 12.10 tCO<sub>2</sub>/ha/yr과 비교할 때(Korea Forest Research Institute, 2012), 붉가시나무 및 종가시나무는 유사한 흡수량을 보이고 있으나, 구실잣밤나무 및 동백나무는 참나무 탄소흡수량의 1/2 수준인 것으로 판단된다. 후자 두 수종의 탄소흡수량이 떨어지는 것은 구실잣밤나무의 경우 제대로 군락이 형성되지 못하는 것이 그 원인이며, 동백나무는 아교목인 관계로 참나무와 비교하는 자체가 다소 무리가 있을 수 있다.

구실잣밤나무 등 4개 수종의 면적 및 ha당 연간흡수량 등으로 계산한 전체 연간 이산화탄소흡수량은 51,486.6 tCO<sub>2</sub>/

**Table 6. Carbon stocks and annual carbon removals by major 4 species.**

| Species                                   | <i>Castanopsis cuspidata</i> | <i>Camellia japonica</i> | <i>Quercus acuta</i> | <i>Quercus glauca</i> |
|---|------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|
| Carbon stocks (tCO <sub>2</sub> /ha)      | 186.10                       | 280.63                   | 344.04               | 278.91                |
| Carbon removals (tCO <sub>2</sub> /ha/yr) | 6.65                         | 6.25                     | 11.70                | 12.29                 |

ha/yr 으로서, 이는 일반 승용차의 연간 온실가스 배출량이 2.4 tCO<sub>2</sub>/ha/yr인 것과 비교할 때, 약 21,453대 분량의 온실가스 배출을 상쇄할 수 있는 양이 된다.

본 연구는 이들 난대수종이 지구 온도 상승 등으로 식생 이동이 발생할 시 탄소저장 및 흡수량에 대한 기본적인 정보를 제공할 수 있을 것이며, 앞으로의 난대수종의 관리 및 정책수립에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

**결 론**

우리나라 온실가스 배출량(약 7억 tCO<sub>2</sub>)의 약 6%인 4천만 tCO<sub>2</sub>을 흡수하는 것으로 알려져 있는 산림은 기후변화 시대에 아주 중요한 대안으로 부상하고 있으며, 정부 차원에서는 ‘탄소흡수원 유지 및 증진에 관한 법률(2013년 발효)’ 등의 온실가스 저감 및 탄소흡수원 확충을 위한 제도적 기반을 마련하고 있다. 이의 이행을 위해서는 산림부문 온실가스 인벤토리 시스템 구축, 흡수원 확충 방안 마련, 산림영향 및 적응 평가 등의 실천적인 노력이 필요하다. 이러한 실천 이행 사항 중 온실가스 인벤토리 차원에서는 탄소배출계수 개발 및 활동자료 DB 구축은 필수적인 요소이다. 특히 온실가스에 따른 지구온난화는 산림식생대의 변화 초래가 예상되며, 우리나라도 현재 난대지역에 생육하고 있는 수종들도 점차 복상이 예상되고 있다. 따라서 난대수종에 대한 탄소배출계수 개발과 탄소저장량 평가를 통하여 추후 난대수종 복상과 식생대를 반영한 온실가스 통계를 작성할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 구실잣밤나무 등 우리나라 남부지역 주요 4개 난대수종에 대한 탄소배출계수 개발과 이를 적용한 단위면적(ha)당 탄소저장량을 산정하였다. 구실잣밤나무의 경우 186.10 tCO<sub>2</sub>/ha, 동백나무 280.63 tCO<sub>2</sub>/ha, 붉가시나무 344.04 tCO<sub>2</sub>/ha, 종가시나무 278.91 tCO<sub>2</sub>/ha 인 것으로 각각 계산되었고, 연간 탄소흡수량은 구실잣밤나무 6.65 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 동백나무 6.25 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 붉가시나무 11.70 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 종가시나무 12.291 tCO<sub>2</sub>/ha/yr 인 것으로 나타났다. 이러한 정보는 한반도의 온난화에 따른 난대수종 확장에 대응하여 이들 수종의 관리정책 수립 및 탄소계정을 위한 유용한 정보로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서의 구실잣밤나무 등 4개 수종에 대한 탄소 배출계수는 추후 조사구 수 추가 확보와 분석을 통하여 검증기관(온실가스 종합정보센터, GIR)에서 국가고유의 계수로 검·인정받도록 노력할 것이며, 이의 사용을 통해 기후변화에 따른 난대수종의 천이변화로 인한 온실가스 통계의 정밀화를 제고시킬 수 있을 것이다.

## References

- Aldred, A.H. and Alemdag, I.S. 1988. Guidelines for forest biomass inventory. Canadian Forest Service, Information Report PI-X-77. pp. 134.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4 Agriculture, forestry and other land use. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan.
- Iehara, T. 2008. The biomass parameter in Japan for GHG accounting-BEF and roor-shoot ratio, wood density-. Workshop on forest biomass and soil carbon inventory system in East Asia. pp. 22.
- Jung, S.H. and Park, B.S. 2008. Wood properties of the useful tree species grown in Korea. KFRI. pp. 390. (in Korean)
- Korea Forest Research Institute. 2010. Survey Manual for Biomass and Soil Carbon. pp. 60.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Standard carbon removal of major forest species. Korea Forest Research Institute, briefing memo. pp. 18.
- Pardé, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Abstracts 41: 343-362.
- Son, Y.M., Kim, J.C., Lee, K.H., and Kim, R.H. 2007. Assessment for Forest Biomass in Korea. Korea Forest Research Institute Report 07-22. pp. 105. (in Korean)
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kim, R.H., Pyo, J.K., Park, I.H., Son, Y.H., Lee, Y.J., and Kim, C.S. 2010. Carbon factors in major species for forest green gas inventory. Korea Forest Research Institute Report 11-25. pp. 89. (in Korean)
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kweon S.D. and Pyo, J.K. 2012. Forest volume, biomass and stand yield table. Korea Forest Research Institute. pp. 261. (in Korean)
- Southern Forest Resource Research Center. 2013. Korea Forest Research Institute Report 5-5. (in Korean)

---

(2014년 4월 14일 접수; 2014년 8월 8일 채택)