

## 국내 활엽수종의 탄소배출계수 개발 및 적용 - 아까시나무, 자작나무, 백합나무를 대상으로 -

이선정\* · 임종수\* · 강진택\* · 김래현\*\* · 손요환\*\*\* · 박관수\*\*\*\* · 손영모\*\*

\*국립산림과학원 산림산업연구과, \*\*국립산림과학원 연구기획과, \*\*\*고려대학교 환경생태공학과, \*\*\*\*충남대학교 산림자원학과

### Application and Development of Carbon Emissions Factors for Deciduous Species in Republic of Korea

#### - *Robinia pseudoacacia*, *Betula platyphylla*, and *Liriodendron tulipifera* -

Lee, Sun Jeoung\*, Yim, Jong Su\*, Kang, Jin Take\*, Kim, Raehyun\*\*, Son, Yowhan\*\*\*,  
Park, Gawn Su\*\*\*\* and Son, Yeong Mo\*\*†

\*Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

\*\*Division of Research Planning and Coordination, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

\*\*\*Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Graduate School, Korea University

\*\*\*\*Dept. of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

### ABSTRACT

According to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), all parties have to submit the national GHG inventory report. Estimating carbon stocks and changes in Land Use, Land-Use Changes and Forestry (LULUCF) needs an activity data and emission factors. So this study was conducted to develop carbon emission factor for *Robinia pseudoacacia* L., *Betula platyphylla* var. *japonica*, and *Liriodendron tulipifera*. As a result, the basic wood density ( $\text{g/cm}^3$ ) was 0.64 for *R. pseudoacacia*, 0.55 for *B. platyphylla*, and 0.46 for *L. tulipifera*. Biomass expansion factor was 1.47 for *R. pseudoacacia*, 1.30 for *B. platyphylla*, and 1.24 for *L. tulipifera*. Root to shoot ratio was 0.48 for *R. pseudoacacia*, 0.29 for *B. platyphylla*, and 0.23 for *L. tulipifera*. Uncertainty of estimated emission factors on three species ranged from 3.39% to 27.43% within recommended value (30%) by IPCC. We calculated carbon stock and change using these emission factors. Three species stored carbon in forest and net  $\text{CO}_2$  removal was 1,255,398 t  $\text{CO}_2/\text{yr}$  during 5 years. So we concluded that our result could be used as emission factors for national GHG inventory report on forest sector.

**Key words:** Carbon Stock, Emission Factor, Forest, Deciduous Tree Species, UNFCCC

## 1. 서 론

유엔기후변화협약의 부속서 I 국가들은 기후변화협약체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)에서 발간한 IPCC 가이드라인에 따라 매년 국가별 온실가스의 배출 및 흡수량을 보고하고 있다(IPCC, 2003; IPCC, 2006). IPCC 가이드라인은 각 국가의 상황에 맞게 활동자료와 배출계수를 선택하여 탄소저장량을 산정하도록 권고하고 있으며, 활동자료(Activity data)와 배출계수(Emission factor) 자료의 수준에 따

라 Tier 1에서 Tier 3로 구분하고 있다(IPCC, 2003). 활동자료는 FAO와 같이 국제기구에서 제시된 통계를 사용하는 경우 Tier 1단계이며, 국가에서 수집한 통계를 사용하는 경우 Tier 2단계, 그리고 공간적으로 구분이 명확한 자료 등을 사용하는 경우 Tier 3단계로 정의하고 있으며, 배출계수는 IPCC 기본 값을 사용하는 경우 Tier 1, 국가고유계수를 사용하는 경우 Tier 2 그리고 모델을 사용하는 경우 Tier 3단계로 구분한다.

산림은 국가 온실가스 보고 항목인 토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land Use, Land Use Changes and Forestry; LULUCF)

† Corresponding author: [treelove@korea.kr](mailto:treelove@korea.kr)

Received November 17, 2017 / Revised December 6, 2017 / Accepted December 13, 2017

에 속하며, 탄소흡수원으로 인정받고 있다(UNFCCC, 2009). 산림 내 탄소저장고는 입목바이오매스, 고사유기물, 토양, 그리고 수확된 목제품(Harvested Wood Products; HWP)으로 정의하고 있다(IPCC, 2006). 입목바이오매스의 탄소저장량을 산출하기 위해서는 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 뿌리함량비, 그리고 탄소함량비의 배출·흡수계수가 요구된다(IPCC, 2003). UNFCCC(United Nations Framework Convention on Climate Change)에 매년 국가 온실가스 인벤토리를 보고하고 있는 부속서 I 국가들은 활동자료와 배출계수 및 탄소순환모델 등을 활용하여 산림의 탄소저장량을 산정하고 있다. 일본은 산림의 탄소저장량 산정 시 수종별 국가고유계수를 적용하고 있으며(CGER, 2016), 핀란드의 경우 수종별 바이오매스 성장식을 활용하고 있다(Statistic Finland, 2016). 부속서 I 국가와 같이 수종별로 세분화된 인벤토리 체계는 높은 수준으로 투명성을 인정받을 수 있는 접근방안이다(Lee *et al.*, 2015).

우리나라는 산림부문 국가 온실가스 인벤토리 보고를 위한 탄소저장량 산정을 위하여 임업통계연보의 임목축적 자료를 활동자료로 활용하고 있으며, 배출계수는 최근 개발된 국가고유계수를 활용하고 있다(GIR, 2016). 산림부문의 국가고유계수는 2014년까지 13개 수종과 2개의 임상(침엽수림 및 활엽수림)에 대한 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 그리고 뿌리함량비가 개발되어 있으나, 수종별 임목축적에 관한 시계열 정보가 미흡하여 임상별 입목바이오매스의 탄소흡수량만 보고하고 있다(GIR, 2016).

국내 산림부문 배출계수에 대한 연구는 국립산림과학원을 중심으로 2000년 초부터 22개 수종에 대한 계수 개발 연구가 진행되어 왔으며(Li *et al.*, 2010; Pyo *et al.*, 2010; Seo *et al.*, 2011a; Seo *et al.*, 2011b; Son *et al.*, 2014b), 최근에는 지구온난화에 대한 산림식생대 변화 등을 고려해 온대 및 난대수종에 대한 국가고유계수 개발 연구가 진행된 바 있다(Son *et al.*, 2014a; 2014b). 본 연구는 상대적으로 분포면적은 작지만 밀원수종으로 가치가 있는 백합나무, 생장이 왕성하여 조림수종으로 선정된 자작나무와 아까시나무의 3개 수종을 대상으로 배출계수 특성을 규명하고자 하였다. 또한, 개발된 고유 계수를 활용한 수종별 탄소저장량 및 흡수량을 산정하여 국가 온실가스 인벤토리에 적용가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구자료

본 연구는 아까시나무, 자작나무와 백합나무를 대상으로 우리나라 산림특성을 반영할 수 있는 국가 고유 배출계수를 개

발하기 위하여 수종별 공간적 분포 및 영급분포를 고려하여 표본점을 배치하였다. 수종별 표본점의 개수는 아까시나무는 6개, 백합나무는 5개, 자작나무는 8개의 표본점을 배치하였다. 그림 1은 국가산림자원조사 고정표본점의 대표수종과 수종별 표본점의 분포를 나타낸 것으로 아까시나무는 타 수종과 비교하여 전 국토에 고르게 출현하고 있으므로 중부지역에 위치한 세종시와 충청남도에서 선정하였으며, 자작나무는 충청북도 이북지역에 주로 분포하고 있으므로 강원도와 충청북도에서 선정하였다. 백합나무는 2000년대 이후 조림된 수종으로 분포면적이 상대적으로 넓지 않으며 소규모로 조림되어 있으므로 조림지역을 중심으로 경기도와 전라남도에서 표본을 선정하였다(Fig. 1 및 Table 1).

표본점 내 매목조사에 의해 측정된 흉고직경 자료를 바탕으로 2 cm 단위의 흉고직경 등급으로 구분한 후, 흉고직경 등급별 임목본수 분포표를 작성하고, 이를 바탕으로 임분의 직경급 분포와 유사한 비율로 계수 개발을 위한 5개의 표본목을 선정하고 별채하였다. 직경이 가장 작은 표본목부터 가장 큰 표본목까지 1번에서 5번으로 번호를 매기고, 뿌리 굴취는 2번과 4번 표본목을 대상으로 하되, 굴취여건에 따라 조사자가 판단하여 변경하였다(KFRI, 2007).

### 2.2 탄소배출계수 개발

표본목을 벌목한 후 원편과 시료를 채취하여 생중량을 측정하고, 일부 시료를 채취하여 실험실내에서 건중량을 측정 후 바이오매스확장계수, 뿌리함량비를 계산하였고, 목재기본밀도의 경우 채취된 시료를 “floating method”로 분석 후 계산하였다(Fujiwara *et al.*, 2007; KFRI, 2007). 각 계수 도출에 활용된 계산 방법은 다음과 같다(KFRI, 2007).

Basic wood density (D) (g/cm<sup>3</sup>) =

$$\frac{\text{Dry-weight of stem without bark}}{\text{Volume of stem without bark}}$$

Biomass expansion factors (BEF) =

$$\frac{\text{Above ground biomass}}{\text{Stem biomass}}$$

$$\text{Root to shoot ratio (R)} = \frac{\text{Root biomass}}{\text{Above ground biomass}}$$

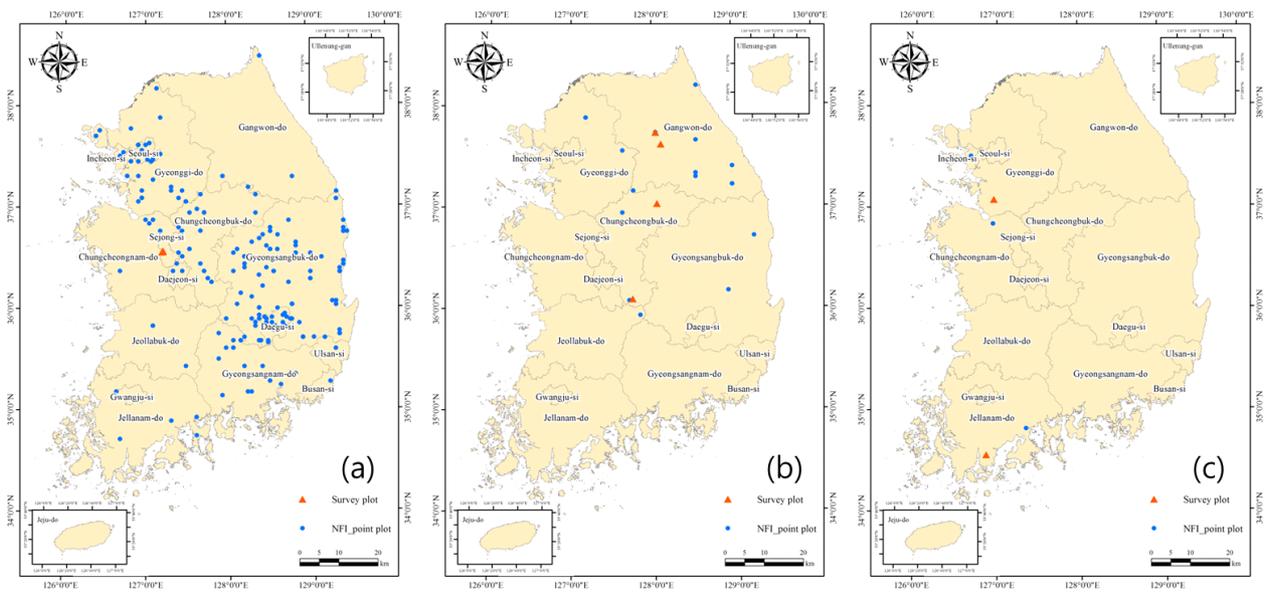


Fig. 1 Distribution of survey plots and NFI plots (a : *Robinia pseudoacacia*, b : *Betula platyphylla*, c : *Liriodendron tulipifera*).

Table 1. The summary of observed statistics for sampled trees

Species	Location of survey plot	Plot	Sample			Age	DBH (cm)	Height (m)
			D	BEF	R			
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Sejong	6	6	30	17	20 11–35	13 3–27	11 6–17
	Chungnam							
<i>Betula platyphylla</i>	Gangwon	8	7	40	27	25 9–39	14 2–28	14 3–20
	Chungbuk							
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Jeonnam	5	5	25	15	23 8–34	22 6–39	19 7–27
	Geongi							

D: basic wood density, BEF: Biomass expansion factor, R: Root to shoot ratio.

탄소배출계수는 국내 및 국제 신뢰성을 확보하기 위하여 불확도를 평가해야 하는데, IPCC 가이드라인에서는 오차증식법과 몬테카를로 시뮬레이션을 활용한 불확도 평가방법을 제시하고 있다(IPCC, 2003). 국내 연구에 의하면 산림부문 배출계수의 불확도 평가방법은 오차증식법이 더 타당한 것으로 보고된 바 있어(Pyo, 2013) 오차증식법을 활용한 불확도 평가를 진행하였다(eq. 1).

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

C.I.: confidence interval

μ: mean

### 2.3 탄소저장량 및 변화량 산정

수종별 탄소저장량을 산정하기 위해서는 수종별 임목축적자료가 필요하다. 그러나 임업통계연보에서는 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 임목축적 자료를 매년 제공하고 있지 않다(KFS, 2011; KFS, 2016). 따라서 제5차(2006~2010) 및 제6차(2011~2016) 국가산림자원조사 자료와 2011년과 2016년 임업통계연보의 활엽수림 전체 면적을 활용하여 표본점 자료

를 활용한 비 추정법을 적용하여 수종별 면적을 추정하였다(KFS, 2011; KFS, 2016; Yim *et al.*, 2015). 비 추정법에 사용한 국가산림자원조사의 표본점은 임상이 활엽수림으로 구분된 표본점이며, 조사차별 표본개수는 각각 5,978개(5차)와 5,537개(6차)로 산림사업 및 산림 생장에 의해 수종분포 변화에 따라 활엽수림의 표본수는 감소하였다. 수종별 면적 비율을 도출하기 위해 온실가스종합정보센터에서 국가 고유계수로 공표된 활엽수종을 기준으로 수종을 구분하고, 그 외의 수종에 대해서는 기타 활엽수림으로 구분하였다. 비 추정법에 의해 도출된 수종별 면적과 국가산림자원조사(2006~2016) 자료를 활용하여 추정된 ha당 임목축적 값을 적용하여 수종별 임목축적을 도출하였으며, 수종별 탄소저장량 및 변화량은 IPCC 가이드라인의 축적차이법에 의하여 계산하였다(IPCC, 2006).

$$A_h = A \times p_h, \left( \text{where, } p_h = \frac{n_h}{n} \right) \quad (\text{eq. 2})$$

- $A_h$ : Estimated area by tree species  $h$
- $n$ : Total number of points
- $n_h$ : Number of points by tree species  $h$
- $p_h$ : The proportion of points by tree species  $h$
- $A$ : The total deciduous forest area

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 탄소배출계수 개발 및 불확도 평가 결과

목재기본밀도( $\text{g/cm}^3$ )는 아까시나무의 경우 0.64, 자작나무의 경우 0.55, 백합나무의 경우 0.46으로 나타났다. Jeong and Park(2008)은 백합나무의 목재기본밀도는 0.40, 아까시나무의 목재기본밀도는 0.69로 보고한바 있으며, Fujiwara *et al.*(2007)은 자작나무의 목재기본밀도는 0.43으로 보고한 바 있다. 아까시나무, 자작나무의 목재기본밀도는 2014년까지 공표된 국

가고유계수의 목재기본밀도 값과 유사한 값을 보였다(GIR, 2016). 그러나 백합나무의 목재기본밀도는 공표된 다른 활엽수종보다 낮게 나타났는데, 이는 백합나무는 활엽수종이지만 저비중재이기 때문에 판단된다(Jeong and Park, 2008).

바이오매스확장계수의 경우에는 아까시나무는 1.47, 자작나무는 1.30, 백합나무는 1.24로 나타났으며(Table 2), 국내에서 연구된 활엽수종의 바이오매스 확장계수 범위(1.34~2.62)에 있는 것으로 나타났다(GIR, 2016; Son *et al.*, 2014a; Son *et al.*, 2014b), 또한 국가고유계수를 개발하고, 국가온실가스 인벤토리에 활용하고 있는 일본의 바이오매스 확장계수와도 유사한 값을 보였으며(CGER, 2016), 세 수종 모두 IPCC에서 제시하고 있는 활엽수의 바이오매스확장계수 범위(1.2~3.2)에 포함되었다(IPCC, 2003).

뿌리함량비의 경우, 아까시나무는 0.48, 자작나무는 0.29, 백합나무는 0.23으로 나타났으며(Table 2), IPCC 기본 값과 중국 북동지역의 활엽수림 대상지의 연구결과와 유사한 값을 보였다(IPCC, 2006; Wang *et al.*, 2008). 그러나 뿌리함량비는 수종별 영급별 편차가 매우 커서 경향성을 찾기 어려우며, 다른 배출계수에 비해 불확도가 높은 것으로 알려져 있다(Laclau, 2003; Son *et al.*, 2014b; Wang *et al.*, 2008). 이에 일본은 수종별 뿌리함량비를 개발하였음에도 불구하고, 산림부문 국가 온실가스 인벤토리 산정 시 단일 값을 적용하고 있다(CGER, 2016).

수종별 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 뿌리함량비에 대한 불확도를 평가한 결과, Table 2와 같이 나타났으며, FAO에서 제시된 불확도 범위(10~40%)와 IPCC에 제시된 범위(10~30%)에 있어(IPCC, 2003; FAO, 2006), 수종별 각 계수를 국가 온실가스 인벤토리에 적용할 수 있다고 판단된다. 한편, IPCC 가이드라인에서는 임령에 따른 계수 값의 차이 등을 고려하여 임령에 따른 계수 값을 제시하고 있다(IPCC, 2006). 일본도 바이오매스확장계수를 대상으로 20년 이상 및 이하로 계수를 구분하여 적용하고 있다(CGER, 2016). 그러나 본 연구에서는 표본수의 부족 등으로 임령별 계수 값을 도출하는데 무리가 있었다. 향후 임령별 표본수가 보완된다면 향후 임령별 국가 고유계수 값을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 그

Table 2. Emission factor and uncertainty by tree species

Species	D ( $\text{g/cm}^3$ )	Uncertainty (%)	BEF	Uncertainty (%)	R	Uncertainty (%)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.64 (n=6)	11.39	1.47 (n=30)	7.73	0.48 (n=17)	16.80
<i>Betula platyphylla</i>	0.55 (n=7)	3.90	1.30 (n=40)	5.62	0.29 (n=27)	16.25
<i>Liriodendron tulipifera</i>	0.46 (n=5)	10.02	1.24 (n=25)	6.35	0.23 (n=15)	27.43

D: Basic wood density, BEF: Biomass expansion factor, R: Root to shoot ratio.

림에도 불구하고 개발된 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 탄소배출계수는 불확도가 크지 않고 기존 연구결과와 유사한 값을 보이므로 본 연구에서 개발한 계수들은 국가 고유계수로 충분히 활용될 수 있을 것이라고 판단된다.

**3.2 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 탄소저장량 및 변화량 산정**

국가산림자원조사에서 수집된 활엽수림의 수종별 분포율과 임목축적은 Table 3 및 Table 4와 같이 나타났다. 제5차 및 6차 국가산림자원조사에서 활엽수림의 수종별 분포비율은 기타 활엽수가 59~61%를 차지하는 것으로 나타났으며, 신갈나무가 20%, 굴참나무가 11~12% 등으로 나타났다(Table 3). 본 연구의 대상 수종인 아까시나무와 자작나무, 백합나무는 전체 활엽수림 중에 약 3%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 3). 또한 국가산림자원조사에서 ha당 축적은 굴참나무가 가장 높았고, 자작나무와 백합나무는 다른 활엽수종에 비해 낮았는데, 이는 자작나무와 백합나무가 어린 임분으로 이루어졌기 때문이다(Table 4).

국가산림자원조사 자료와 임업통계연보의 활엽수림 면적 자료를 활용하여 수종별 탄소저장량을 산정한 결과는 Table 5

와 같이 나타났으며, 아까시나무, 자작나무, 백합나무는 각각 연간 317,247 tC/yr, 19,611 tC/yr, 5,524 tC/yr를 저장한 것으로 나타났으며, 총 1,255,398 tCO<sub>2</sub>/yr를 흡수한 것으로 나타났

Table 3. Frequency table of sampling point plot in NFI5 and NFI6

Deciduous species	NFI5		NFI6	
	n	%	n	%
<i>Quercus acuta</i>	3	0.05	3	0.05
<i>Q. acutissima</i>	174	2.91	212	3.83
<i>Q. mongolica</i>	1,200	20.07	1,133	20.46
<i>Q. variabilis</i>	664	11.11	640	11.56
<i>Q. serrata</i>	88	1.47	103	1.86
<i>Robinia pseudoacacia</i>	172	2.88	161	2.91
<i>Betula platyphylla</i>	17	0.28	17	0.31
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	0.02	4	0.07
Other deciduous	3,659	61.21	3,264	58.95
Total	5,978	100.00	5,537	100.00

Table 4. Volume (m<sup>3</sup>/ha) of deciduous species from NFI5 and NFI6

	NFI5			NFI6		
	n	Age class	m <sup>3</sup> /ha±Std.	n	Age class	m <sup>3</sup> /ha±Std.
<i>Robinia pseudoacacia</i>	172	$\frac{3}{1-4}$	100.63±65.29	161	$\frac{3}{1-5}$	122.97±64.30
<i>Betula platyphylla</i>	17	$\frac{2}{2-3}$	28.86±13.46	17	$\frac{3}{2-4}$	55.89±22.62
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	2	3.27	4	$\frac{2}{1-3}$	56.23±43.32

Table 5. Carbon stock and change by tree species

	2010		2015		ΔC (1,000 t C/yr)	ΔCO <sub>2</sub> (1,000 t CO <sub>2</sub> /yr)
	Volume (1,000 m <sup>3</sup> )	Carbon stock (1,000 t C)	Volume (1,000 m <sup>3</sup> )	Carbon stock (1,000 t C)		
<i>Robinia pseudoacacia</i>	4,981.67	3,468.20	7,260.11	5,054.43	317.25	1,163.24
<i>Betula platyphylla</i>	138.90	64.06	351.52	162.11	19.61	71.91
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1.12	0.39	79.86	28.01	5.52	20.25
Total	5,121.69	3,532.65	7,691.48	5,244.55	342.38	1,255.40

다(Table 5). 아까시나무의 탄소저장량과 흡수량이 자작나무와 백합나무에 비해 높은 이유는 탄소배출계수와 임목축적 및 분포 면적에 의한 것으로 판단된다.

부속서 I 국가들은 자국의 산림부문 온실가스 인벤토리 보고시 국가고유계수를 개발하고 활용하고 있다(CGER, 2016; Statistic Finland, 2016). 국가 차원에서 온실가스 통계의 정확성 제고 및 국제적 신뢰성을 확보하기 위해서는 국가 고유의 탄소배출계수를 개발하고 적용해야 한다(Son *et al.*, 2014a; 2014b). 불확도 평가와 국제기준과의 등가성 평가를 통해 개발된 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 계수는 국가 온실가스 인벤토리 보고에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 우리나라의 국가 고유계수는 수종별 및 임상별로 개발되어 있으나, 수종별 기초 통계가 제공되지 않아 임상별 탄소저장량 및 흡수량만 산정하고 있다(GIR, 2016). 향후 수종별 공식통계가 공표되어 수종별 인벤토리 산정이 가능하다면 높은 수준(Tier)의 인벤토리 보고가 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

우리나라 활엽수종인 아까시나무, 자작나무, 백합나무에 대한 탄소배출계수 개발하고, 국가 온실가스 인벤토리 산정의 적용가능성을 검토하였다. 오차증식법을 활용한 불확도 평가와 IPCC 가이드라인의 기본 값과의 비교 등을 통해 개발된 아까시나무, 자작나무, 백합나무의 계수는 국가 고유계수로 적용이 가능한 것으로 판단된다. 온실가스 인벤토리 보고를 위한 적용성을 검토하고자 탄소저장량 및 변화량을 산정한 결과, 아까시나무, 자작나무, 백합나무는 각각 최근 5년 동안 탄소저장량이 연간 317,247 t C/yr, 19,611 t C/yr, 5,524 t C/yr 증가한 것으로 나타났다. 이를 이산화탄소로 환산한 결과, 세 수종은 최근 5년간 1,255,398 tCO<sub>2</sub>/yr를 흡수한 것으로 나타났다. Tier 3 수준의 국가 온실가스 인벤토리 보고를 위해서는 수종별 온실가스 인벤토리 보고가 요구된다. 따라서 본 연구에서 개발한 탄소배출계수는 향후 수종별 온실가스 인벤토리 산정에 기초자료로 활용될 것으로 판단된다. 그러나 공식적인 수종별 임목축적 통계 제공이 제한된 상황에서는 적용하기 힘들며, 향후 활동자료의 보완이 요구된다.

#### 감사의 글

본 연구는 “산림청 임업기술개발사업(Post-2020 대응 산림탄소계정체계 고도화 : S111315L100100)”, “산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(신기후체제 대응 산림분

야 국가 온실가스 인벤토리 산정체계 및 탄소계정 고도화 연구: 2017044B10-1719-BB01)”, “국립산림과학원 일반과제(국가산림자원조사 자료의 융복합 활용기술 개발)”으로 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- CGER (Center for Global Environmental Research). 2016. National greenhouse gas inventory report of Japan. National Institute for Environmental Studies. Ibaraki, Japan.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. Global forest resources assessment 2005. FAO. Rome, Italy.
- Fujiwara T, Yamashita K, Kuroda Katsushi. 2007. Basic densities as a parameter for estimating the amount of carbon removal by forests and their variation. *Forestry and Forest Products Research Institute* 4(405):215-226.
- GIR (Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2016. National greenhouse gas inventory report 2016. GIR. Seoul, Korea. (In Korean).
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC/IGES. Hayama, Japan.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventory. IPCC/IGES. Hayama, Japan.
- Jeong SH, Park BS. 2008. Wood properties of the useful tree species grown in Korea. KFRI(Korea Forest Research Institute). Seoul, Korea. (in Korean).
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2007. Survey manual for forest biomass and soil carbon. KFRI. Seoul, Korea. (in Korean).
- KFS (Korea Forest Service). 2011. Statistical yearbook of forest. Korea Forest Service, Daejeon. (in Korean).
- KFS (Korea Forest Service). 2016. Statistical yearbook of forest. Korea Forest Service, Daejeon. (in Korean).
- Laclau P. 2003. Root biomass and carbon storage of ponderosa pine in a northwest Patagonia plantation. *Forest Ecology and Management* 173(2003):353-360.
- Lee SJ, Yim JS, Son YM, Kim RH. 2015. Estimation of the carbon stock and greenhouse gas removals by tree species and forest type in Gangwon province. *Journal of Climate Research* 6(4):303-310. (in Korean with English abstract).
- Li X, Yi MJ, Jeong MJ, Son Y, Park PS, Lee KH, Son YM, Kim RH. 2010. Biomass expansion factors for *Pinus ko-*

- raiensis* forests in Korea. Journal of Korean Forest Society 99(5):693-697.
- Pyo JK, Son YM, Lee KH, Kim RH, Kim YH, Lee YJ. 2010. Estimating the uncertainty and validation of basic wood density for *Pinus densiflora* in Korea. Journal of Korean Forest Society 99(6):929-933. (in Korean with English abstract).
- Pyo JK. 2013. A study on methods of uncertainty assessment for carbon accounting for *Pinus densiflora* in the Republic of Korea. Kongju University. (in Korean with English abstract).
- Statistic Finland. 2016. Greenhouse gas emissions in Finland 1990~2014. Statistics Finland. Helsinki, Finland.
- Seo YO, Lee YJ, Pyo JK, Kim RH, Son YM, Lee KH. 2011a. Uncertainty analysis of stem density and biomass expansion factor for *Pinus rigida* in Korea. Journal of Korean Forest Society 100(2):149-153. (in Korean with English abstract).
- Seo YO, Lee YJ, Pyo JK, Kim RH, Son YM, Lee KH. 2011b. Bootstrap evaluation of stem density and biomass expansion factors in *Pinus rigida* stands in Korea. Journal of Korean Forest Society 100(4):535-539. (in Korean with English abstract).
- Son YM, Kim RH, Kang JT, Lee KS, Kim SW. 2014a. A practical application and development of carbon emission factors. Journal of Korean Forest Society 103(4):593-598. (in Korean with English abstract).
- Son YM, Kim RH, Lee KH, Pyo JK, Kim SW, Hwang JS, Lee SJ, Park H. 2014b. Carbon emission factors and biomass allometric equations by species in Korea. Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2009. Decision 2/CP.15 [Available from: [http://unfccc.int/meetings/copenhagen\\_dec\\_2009/session/6262/php/view/decisions.php](http://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/session/6262/php/view/decisions.php)].
- Wang W, Fang J, Zhu B. 2008. Forest biomass and root-shoot allocation in northeast China. Forest Ecology and Management 255(2008):4007-4020.
- Yim JS, Kim RH, Lee SJ, Son YM. 2015. Land-use change assessment by permanent sample plots in national forest inventory. Journal of Climate Change Research 6(1):33-40. (in Korean with English abstract).