

강원도 산림의 임상별, 수종별 탄소저장량 및 온실가스 흡수량 산정

이선정* · 임종수* · 손영모* · 김래현**†

*국립산림과학원 산림산업연구과, **국립산림과학원 연구기획과

Estimation of the Carbon Stock and Greenhouse Gas Removals by Tree Species and Forest Types in Gangwon Province

Lee, Sun Jeoung*, Yim, Jong-Su*, Son, Yeong Mo* and Kim, Raehyun**†

*Division of Forest Industry Research, Korea Forest Research Institute, Korea,

**Division of Research Planning and Coordination, Korea Forest Research Institute, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to estimate of carbon stock and greenhouse gas (GHGs) removals by tree species and forest type at Gangwon province. We used a point sampling data with permanent sample plots in national forest inventory and national emission factors. GHGs emissions was calculated using the stock change method related to K-MRV and IPCC guidance. Total carbon stock and greenhouse gas removals were high in deciduous forest and species than in coniferous. The range of annual net greenhouse gas emissions in other deciduous species was from $-11,564.83 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ to $-13,500.60 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ during 3 years (2011~2013). On the other hand, coniferous forest was temporally converted to source due to reducing of growing stock in 2012. It was that growing stocks and forest area were likely to reduce by the deforestation and clear cutting. This study did not consider other carbon pools (soil and dead organic matter) due to the lack of data. This study needs to complement the activity data and emission factors, and then will find the way to calculate the greenhouse gas emissions and removals in the near future.

Key words: Biomass, Carbon Stock Change, Greenhouse Gas Inventory.

1. 서 론

최근 국제사회는 2015년 12월 파리에서 개최되는 기후변화협약 당사국총회(COP21)의 결과를 주목하고 있다. 현재까지 121개국 이 제출한 국가별 자발적 감축목표(INDC, Intended Nationally Determined Contribution)로는 산업화 이전 수준으로 대기온도를 안정화시킨다는 기후변화협약의 목표를 달성하기는 어려울 것이라는 전문가들의 평가가 회자되고 있지만, 그것보다 모든 국가들이 참여하는 새로운 기후변화 대응체제가 어떻게 결정될 것인지에 관심이 집중되고 있다. 많은 이슈가 있지만, 산림에 관한 가장 중요한 쟁점은 흡수량을 국가 감축목표 달성에 활용할 수 있을 것인가에 대한 것이다. COP21 이전의 마지막 협상회의(ADP 2-11, 2015년 10월)에서 논의할

합의문 초안(Draft Agreement)에서는 제3조 감축에서 토지분야의 탄소계정 규칙과 지침을 향후에 결정할 것을 촉구하는 내용(5항)이 포함되어 있어, 현재까지는 Post-2020 기후체제에서도 산림은 흡수원으로써 국가 감축목표 이행에 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

산림은 육상의 생태계 발달과 유지 등의 기능과 함께 전 지구적 탄소순환의 중요한 요소이며, 이러한 기능과 중요성으로 인하여 기후변화협약에서도 흡수원으로 인정받고 있다(KFRI, 2012; UNFCCC, 1998; 2009). 우리나라도 국토 면적의 약 64%를 차지하는 산림을 기후변화 대응을 위한 감축수단의 하나인 흡수원으로 최대한 활용하기 위하여 과학적·정책적으로 접근하여 노력하고 있다(The Republic of Korea, 2011). 이러한 노력에 있어 가장 중요한 것은 국제적으로 합의된 방

† Corresponding author : rhkim@korea.kr

Received October 12, 2015 / Revised November 25, 2015 / Accepted December 7, 2015

법론에 따라 국가 온실가스 인벤토리(연간 온실가스 배출량·흡수량)를 정확하게 산정하고 투명하게 보고하는 것이다(Kim, DS, 2007; Kim et al., 2014b). 교토체제에서 감축의무를 가졌던 부속서 I 국가들은 2003년부터 국가 온실가스 인벤토리를 보고하고 검증을 받는 일련의 절차를 매년 이행함으로써 이에 대한 정확성과 객관성 및 투명성을 제고해오고 있다. 우리나라 역시 온실가스종합정보센터(GIR, greenhouse gas inventory and research center)를 중심으로 국가 온실가스 인벤토리 보고 수준을 자발적으로 높여가고 있다.

현재 산림부문의 온실가스 인벤토리는 국가 수준의 임상별 흡수량을 산정하여 보고하고 있다. 우리나라 산림부문 온실가스 인벤토리는 수준(Tier) 2로 임업통계연보, 국가산림자원조사 및 국가 고유계수를 활용하여 산정하고 있다(GIR, 2014). 반면 스웨덴, 핀란드, 일본 등에서는 지자체 및 수종별로 산림부문 국가 온실가스 인벤토리를 보고하고 있고, 세분화된 인벤토리 체계는 높은 수준으로 투명성을 인정받을 수 있는 접근방안이다. 우리나라는 기후변화협약에 적극적으로 대응하기 위해 2006년부터 국가산림자원조사 체계를 변경하여 전국은 물론 지자체 수준에서 수종별 정보를 수집하여 공표하고 있다(KFRI, 2008). 그러나 지자체 및 수종별 산림부문 국가 온실가스 인벤토리는 보고된 바 없다. 본 연구는 우리나라의 국가산림자원조사 자료를 활용하여 산림자원이 가장 많은 강원도의 임상 및 수종별 탄소저장량과 온실가스 배출량을 산정해 봄으로써 국가산림자원조사 자료의 활용성을 높이고, 지자체 수준의 온실가스 인벤토리 산정 가능성을 확인해 보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 대상지

본 연구는 우리나라의 전체 산림 면적의 약 21%를 차지하는 강원도 산림을 대상지로 선정하였다(KFS, 2011). 강원도의 전체 면적은 2010년을 기준으로 1,669.31 천 ha이며, 산림은 1,368.57 천 ha로 강원도 전체 면적의 약 82%가 산림으로 구성되어 있다(KFS, 2011). 지리적 위치는 N 37°02'~38°37', E 127°05'~129°22'에 위치하고 있으며, 온대성 기후에 속한다(Gangwon Province Office, 2015). 강원도의 2010년을 기준으로 산림은 침엽수림이 32.4%, 활엽수림 36.7%, 그리고 혼효림이 28.9%를 차지하고 있으며, 전체 산림면적의 52%가 IV~V영급으로 이루어져 있다(KFS, 2011). 주요 수종으로는 강원지방소나무(*Pinus densiflora*, 23.7%), 신갈나무(*Quercus mongolica*, 23.3%), 낙엽송(*Larix kaempferi*, 7.4%), 굴참나무(*Q.*

variabilis, 6.2%), 잣나무(*P. koraiensis*, 2.9%) 등으로 보고되었다(KOFPI, 2013). 이에 본 연구에서는 강원도의 주요 수종 5가지에 국가산림자원조사에서 관찰되고 있는 상수리나무(*Q. acutissima*), 졸참나무(*Q. serrata*), 리기다소나무(*P. rigida*), 곰솔(*P. thunbergii*) 및 그 외 기타 침엽수(Other coniferous), 기타 활엽수(Other deciduous) 등 5종을 더해 총 10종을 대상으로 하였다.

2.2 연구방법

강원도의 임상별 탄소저장량 및 온실가스 흡수량을 산정하기 위해서 제5차 및 6차 국가산림자원조사의 표본점 조사 자료(2006~2013)와 산림기본통계(2011~2013)의 강원도 산림지 면적 자료를 활용하였다. 임상별, 수종별 탄소저장량 및 온실가스 흡수량 산정을 위해서 제5차 및 6차 국가산림자원조사 표본점 자료를 기반으로 산림지 면적 및 축적을 추정하였다. 이는 임업통계연보에는 시도별, 임상별 면적 및 축적만 제시되어 있을 뿐, 수종별 통계량을 제시하지 않기 때문이다. 또한 국가산림자원조사는 계통적 추출법에 의해 매년 4 km × 4 km 격자크기로 고정표본점이 배치되고, 5년 동안 모든 표본점에 대해 산림 조사가 이루어지기 때문에(KFRI, 2011), 임상별, 수종별 면적 및 축적을 추정할 수 있다. 따라서 각 임상별, 수종별 면적은 식 (1)과 같이 점 표본점에 기반한 비 추정법으로 산출하였다(Yim et al., 2015). 단, 제6차 산림자원조사는 2015년에 완료되기 때문에, 2011년부터 2013년의 3개년 자료를 이동평균하여 연간 통계를 추정하였다.

$$A_h = A \times p_h, \left(\text{where, } p_h = \frac{n_h}{n} \right) \quad \text{식 (1)}$$

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 stocked forest area

강원지방의 탄소저장량 및 온실가스 인벤토리 산정 방법은 식 (2)와 같이 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에 근거하였다(GIR, 2015). 단, 활동자료의 제한으로 임목축적은 당해연도 임목축적을 적용하였다. 본 연구에서는 현재 활용할 수 있는 활동자료와 배출계수 등을 고려하여 산림지에서의 임목 바이오매스 탄소축적 변화량을 산정하였다. 토양과 고사유기물에 대한 조사체계가 제5차와 제6차 국가산림자원조사 간

에 차이가 있어 정확한 비교가 힘들기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 IPCC(2003) 지침의 수준 1 가정에 따라 토양과 고사 유기물의 탄소저장량은 안정하다고 가정하고 '0'으로 설정하였다. 또한 본 연구에서는 공통보고양식(Common Reporting Format) 표기 방법과 동일하게 온실가스를 배출하는 경우는 '+'를, 흡수하는 경우 '-' 부호를 이용하여 구분하였다. 임상별, 수종별 목재기본밀도, 바이오매스확장계수, 지하부-지상부 비율, 탄소전환계수 등 활용한 모든 계수들은 온실가스종합정보센터에서 검증받아 공표된 자료를 활용하였다(Table 1). 단, 혼효림의 경우, 국가 고유계수가 없기 때문에, 국가 온실가스 인벤토리 체계와 같이 침엽수림과 활엽수림에 동일한 비율로 포함하여 계산하였다.

Table 1. National specific expansion factors

Forest type	Tree species	Basic wood density (D)	Biomass expansion factor (BEF)	Root to shoot ratio (R)
Coniferous	<i>Larix kaempferi</i>	0.45	1.34	0.29
	<i>Pinus densiflora</i>	0.42	1.48	0.26
	<i>P. rigida</i>	0.50	1.33	0.36
	<i>P. thunbergii</i>	0.48	1.52	0.29
	<i>P. koraiensis</i>	0.41	1.74	0.28
	Other coniferous	0.46	1.43	0.27
Deciduous	<i>Quercus variabilis</i>	0.72	1.34	0.32
	<i>Q. acutissima</i>	0.72	1.45	0.31
	<i>Q. mongolica</i>	0.66	1.60	0.39
	<i>Q. serrata</i>	0.66	1.55	0.43
	Other deciduous	0.68	1.51	0.36

Table 2. The growing stock volume per ha by sample plot in Gangwon province

Forest types	2010		2011		2012		2013	
	m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N
Coniferous	177.30(±3.53) ^a	659	185.02(±3.71) ^a	634	190.17(±4.01) ^a	601	199.23(±4.19) ^a	588
Deciduous	126.44(±1.77) ^b	1,409	132.54(±1.80) ^b	1,425	136.70(±1.83) ^b	1,457	143.16(±1.89) ^b	1,478
Mixed	149.29(±2.64) ^c	809	155.08(±2.77) ^c	809	161.89(±2.88) ^c	804	166.76(±2.98) ^c	793

* Values with different letters indicate significant differences among stand at p<0.05.

** The values in parentheses are standard errors.

또한 임상별 수종별 단위면적당 축적 차이의 유의성 검증은 일반선형모형(General liner model)을 활용하였고, Duncan의 다중검정법을 이용하여 평균을 비교하였다(p<0.05). 모든 분석에 SAS 9.3. 프로그램을 사용하였다(SAS Institute Inc., USA).

Annual change in CO₂ emissions in living biomass(IPCC, 2003)

$$\Delta C_{FFLB} = \left(\frac{C_{t2} - C_{t1}}{t_2 - t_1} \right) \quad \text{식 (2)}$$

ΔC_{FFLB} : Annual change in CO₂ emissions in living biomass

C_{t2} : Total biomass carbon stock at t_2

C_{t1} : Total biomass carbon stock at t_1

$$C = \sum_j (V_j \cdot D_j \cdot BEF_j) \cdot (1 + R_j) \cdot CF$$

C : Carbon storage [tC]

V : Volume [m³]

D : Basic wood density [t d.m. [m³]⁻¹]

BEF_j : Biomass expansion factor

R : Root to shoot ratio

CF : Carbon fraction

3. 결과 및 고찰

3.1 강원도의 임상별, 수종별 면적 및 축적

임목축적을 산정하기 위해서 국가산림자원조사의 2010년부터 2013년까지의 단위면적당 임목축적을 분석한 결과, 임상별로는 침엽수림의 임목축적이 177.30~199.23 m³ ha⁻¹ 범위

로 가장 높은 것으로 나타났다(Table 2). 제5차 국가 산림자원 조사의 연구결과에서는 2010년 기준 강원도 혼효림의 단위면 적당 임목축적이 $156 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 로 가장 높게 나타난 것으로 보고된 바 있는데(KFRI, 2011), 이는 산림기본통계 산출 시 적용한 임상 및 영급별 면적 산출 기준의 차이에 의해 다른 결과가 나타난 것으로 판단된다. 또, 다른 연구에서 임상도를 활용해 추정한 임목축적은 침엽수림 $35.0 \sim 305.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 활엽수림 $20.0 \sim 200.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, 혼효림 $23.8 \sim 238.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ 의 범위로 보고된 바 있다(Kim *et al.* 2014a). 그러나 임목축적은 활동자료 및 추정 방법에 따라 추정 값의 차이가 크기 때문에 연구 결과들의 차이를 정확히 비교하기는 어려웠다. 한편, 수종별로 침엽수종은 낙엽송, 활엽수종은 굴참나무가 단위면적당 임목축적이 가장 높은 것으로 나타났지만, 일부 수종과는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

2010년부터 2013년까지 표본점에 기반한 비 추정법을 적용하여 임상별, 수종별 산림지 면적을 추정한 결과, 임상별 면적은 활엽수림 656.91~691.20 천 ha, 침엽수림 274.99~307.24 천 ha, 혼효림 370.86~377.58 천 ha의 범위를 보였고, 수종별로는 강원지방소나무와 신갈나무가 가장 많은 면적을 차지하는 것으로 나타났다(Table 4). 또한 강원도 전체 산림지의 임목축적(2010~2013)을 추정한 결과, 침엽수로는 강원지방소나무, 활엽수로는 신갈나무가 가장 높은 것으로 나타났다(Table 4). 2010년부터 2013년까지 강원도의 산림지 총 축적은 증가하는 것으로 나타났으나, 임상별로 보면 침엽수림이 2012년에 일시적으로 감소하는 것으로 나타났다(Table 4). 이는 침엽수림 임목축적의 대부분을 차지하고 있는 강원지방소나무림의 임목축적 감소에 의한 것으로 나타났는데, 강원지방소나무림의 면적이 186.96 천 ha(2010년)에서 160.88 천 ha(2013년)로 감소하였다. 반면, 기타활엽수림은 309.57 천 ha(2010년)에서 356.83 천 ha(2013년)로 증가하였는데, 이는 강원지방소나무림이 활엽수림으로 전환되는 식생 천이 등에 기인하는 것으로 사료된다. 또한 본 연구 결과에서 추정된 2012년 강원지방소나무림의 표본점 개수와 면적이 감소한 것으로 볼 때 강원지방소나무림의 임목축적 감소는 일시적 전용 및 벌채, 수종 갱신 등에 의한 것으로 판단된다.

3.2 주요 임상 및 수종별 탄소저장량 및 온실가스 흡수량

강원도의 임상 및 수종별 탄소저장량을 추정한 결과(2010~2013)는 Table 5에 제시하였다. 임상별로는 활엽수림의 탄소저장량이 침엽수림보다 높게 나타났는데, 이는 활엽수림이 임목축적이 높은 것과 함께 활엽수림의 흡수·배출계수가 침엽

수림보다 값이 크기 때문이다(Table 1 및 Table 4). Son *et al.* (2005)이 수행한 이전의 연구에서도 참나무류의 흡수·배출계수들이 소나무에 비해 높은 것으로 보고된 바 있다. 수종별로 볼 때, 침엽수종에서는 강원지방소나무, 활엽수종에서는 신갈나무가 탄소를 많이 저장하고 있는 것으로 나타났다(Table 5). 반면 국내 다른 연구에 의하면 소나무림과 참나무림을 대상으로 지상부 탄소저장량은 7영급의 소나무림이 5영급의 신갈나무보다 큰 것으로 나타났고, 토양 및 고사유기물을 고려한 총 생태계 탄소저장량은 소나무림에서 $199.6 \text{ MgC ha}^{-1}$ 참나무림에서 $192.5 \text{ MgC ha}^{-1}$ 으로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않은 것으로 보고되었다(Lee *et al.* 2009). 본 연구는 지상부 및 지하부 바이오매스 탄소저장량만을 추정한 것으로 전체 산림의 총 탄소저장량의 약 50% 이상도 차지하는 토양 및 고사유기물의 탄소저장량까지 향후 평가해야 할 것이다.

본 연구결과, 강원도의 산림은 이산화탄소, 즉 온실가스를 흡수하고 있는 것으로 나타났으며(Table 6), 임상별 2012년도 강원도의 연간 이산화탄소 흡수량($-14,835.98 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$)은 국가 전체 산림의 연간 이산화탄소 흡수량($-55,307 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$)의 약 26.8%를 차지하는 것으로 나타났다(GIR, 2014). 이전 연구에서도 강원도는 이산화탄소를 흡수하는 것으로 보고되었는데(Kim *et al.*, 2014b), 임업통계연보의 임목축적을 기반으로 재계산한 임목축적을 활용하였기 때문에, 본 연구의 결과와 약간의 차이를 보였다. 각각의 임상별로도 침엽수림과 활엽수림에서 모두 매년 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났지만, 예외적으로 2012년에 침엽수림에서 $416.53 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ 의 이산화탄소를 배출한 것으로 나타났다(Table 6). 이는 강원지방소나무와 리기다소나무 등의 임목축적 감소로 침엽수림 전체의 연간 임목축적 변화량이 작아졌기 때문이다.

수종별 연간 이산화탄소 흡수량은 침엽수종의 경우 2011년의 강원지방소나무, 2012년의 강원지방소나무, 리기다소나무, 2013년의 리기다소나무를 제외하고는 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났다(Table 6). 또한 2011년, 2012년의 경우 기타 침엽수에서 각각 $-2,132.79 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ 로 $-1,614.82 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ 로 가장 많은 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났으며, 2013년의 경우 낙엽송이 $-1,230.68 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ 로 가장 많이 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났다. 활엽수림의 경우도 2011년 졸참나무, 2013년의 상수리나무를 제외하고 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났으며, 모든 연도에서 기타 활엽수가 $-11,564.83 \sim -13,500.60 \text{ Gg CO}_2 \text{ yr}^{-1}$ 범위로 가장 많은 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났다.

본 연구결과, 2011년부터 2013년까지의 임상별, 수종별의 연간 이산화탄소 흡수량은 통계적으로 유의적인 차이가 나타

Table 3. The volume per ha by species in Gangwon province

Forest types	Tree species	2010		2011		2012		2013	
		m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N	m ³ ha ⁻¹	N
Coniferous	<i>Pinus densiflora</i>	182.61(±4.21) ^{ab}	401	189.43(±4.58) ^{ab}	377	191.71(±4.90) ^{ab}	353	198.98(±5.14) ^{ab}	344
	<i>Larix kaempferi</i>	189.77(±7.49) ^a	164	199.04(±7.49) ^a	164	209.56(±7.57) ^a	156	218.26(±7.93) ^a	158
	<i>P. rigida</i>	150.05(±21.44) ^{ab}	6	172.92(±28.26) ^{ab}	6	167.89(±34.06) ^{abc}	5	189.60(±34.41) ^{ab}	4
	<i>P. koraiensis</i>	151.02(±11.79) ^{ab}	64	161.78(±12.32) ^{ab}	60	178.42(±15.47) ^{ab}	60	186.49(±16.20) ^{abc}	58
	<i>P. thunbergii</i>	-	0	-	0	-	0	9.62 ^d	1
	Other coniferous	80.26(±17.24) ^d	24	92.65(±16.83) ^d	27	88.20(±17.21) ^d	27	114.30(±21.01) ^{bc}	23
Deciduous	<i>Quercus variabilis</i>	162.61(±6.31) ^{ab}	147	171.51(±6.35) ^{ab}	145	173.71(±6.46) ^{ab}	145	187.42(±6.82) ^{abc}	144
	<i>Q. acutissima</i>	58.39(±22.20) ^d	6	74.50(±27.67) ^d	5	78.46(±22.93) ^d	6	91.14(±29.65) ^{cd}	4
	<i>Q. mongolica</i>	145.78(±2.41) ^{abc}	579	151.38(±2.48) ^{abc}	568	155.87(±2.59) ^{abc}	558	160.32(±2.73) ^{abc}	556
	<i>Q. serrata</i>	139.71(±18.48) ^{bc}	13	142.64(±19.10) ^{bc}	11	142.64(±19.10) ^{bc}	11	159.63(±24.56) ^{abc}	11
	Other deciduous	101.92(±2.38) ^{cd}	664	109.31(±2.44) ^{cd}	696	115.28(±2.47) ^{cd}	737	122.34(±2.51) ^{abc}	763
Mixed		149.29(±2.64) ^{ab}	809	155.08(±2.77) ^{abc}	809	161.89(±2.88) ^{abc}	804	166.76(±2.98) ^{abc}	793

* Values with different letters indicate significant differences among stand at $p < 0.05$.

** The values in parentheses are standard errors.

Table 4. Forest area and volume by tree species in Gangwon province

Forest types	Tree species	2010		2011		2012		2013	
		Area (1,000ha)	Volume (1,000 m ³)	Area (1,000ha)	Volume (1,000 m ³)	Area (1,000ha)	Volume (1,000 m ³)	Area (1,000ha)	Volume (1,000 m ³)
Coniferous	<i>Pinus densiflora</i>	186.96	34,140.37	175.96	33,331.27	164.83	31,599.10	160.88	32,011.81
	<i>Larix kaempferi</i>	76.46	14,510.30	76.54	15,234.91	72.84	15,264.53	73.89	16,127.51
	<i>P. rigida</i>	2.80	419.74	2.80	484.22	2.33	391.97	1.87	354.67
	<i>P. koraiensis</i>	29.84	4,506.08	28.00	4,530.30	28.02	4,998.78	27.12	5,058.35
	<i>P. thunbergii</i>	-	-	-	-	-	-	0.47	4.50
	Other coniferous	11.19	898.02	12.60	1,167.57	12.61	1,111.98	10.76	1,229.41
	Sub-total	307.24	54,474.51	0 295.90	54,748.27	280.63	53,366.37	274.99	54,786.25
Deciduous	<i>Quercus variabilis</i>	68.54	11,144.33	67.68	11,606.86	67.71	11,761.38	67.34	12,621.54
	<i>Q. acutissima</i>	2.80	163.34	2.33	173.86	2.80	219.80	1.87	170.48
	<i>Q. mongolica</i>	269.94	39,353.35	265.10	40,129.95	260.55	40,613.45	260.02	41,687.28
	<i>Q. serrata</i>	6.06	846.79	5.13	732.31	5.14	732.64	5.14	821.19
	Other deciduous	309.57	31,551.62	324.84	35,508.56	344.13	39,671.97	356.83	43,655.51
	Sub-total	656.91	83,059.43	665.08	88,151.53	680.33	92,999.24	691.20	98,956.00
Mixed		377.18	56,309.85	377.58	58,555.82	375.42	60,775.70	370.86	61,843.12
Total		1,341.33	193,843.79	1,338.57	201,455.62	1,336.38	207,141.32	1,337.05	215,585.36

Table 5. Carbon storage by tree species and forest types in Gangwon province

(Unit : 1,000 t C)

		2010	2011	2012	2013	
Forest types	Conifer forest	34,514.56	35,097.99	34,984.39	35,800.41	
	Deciduous forest	77,652.53	81,992.05	86,151.83	90,683.63	
	Total	112,167.09	117,090.04	121,136.22	126,484.03	
Tree species	Conifer	<i>Pinus densiflora</i>	13,369.64	13,052.79	12,374.46	12,536.08
		<i>Larix kaempferi</i>	5,643.56	5,925.39	5,936.91	6,272.55
		<i>P. rigida</i>	189.81	218.97	177.25	160.38
		<i>P. koraiensis</i>	2,057.37	2,068.43	2,282.32	2,309.52
		<i>P. thunbergii</i>	0.00	0.00	0.00	2.12
		Other coniferous	12,135.50	12,717.17	13,157.58	13,429.56
		Sub-total	33,395.88	33,982.74	33,928.52	34,710.21
		Deciduous	<i>Quercus variabilis</i>	7,096.35	7,390.87	7,489.27
	<i>Q. acutissima</i>		111.70	118.89	150.31	116.58
	<i>Q. mongolica</i>		28,882.21	29,452.17	29,807.02	30,595.13
	<i>Q. serrata</i>		619.38	535.64	535.89	600.65
	Other deciduous		41,688.54	45,235.47	48,917.45	52,071.50
	Sub-total		78,398.18	82,733.04	86,899.93	91,420.85
	Total		111,794.06	116,715.79	120,828.45	126,131.06

Table 6. Annual net greenhouse gas emissions and removals by tree species and forest types in Gangwon province

(Unit : Gg CO₂ yr⁻¹)

		2011	2012	2013	
Forest types	Conifer forest	-2,139.24	416.53	-2,992.06	
	Deciduous forest	-15,911.57	-15,252.51	-16,616.58	
	Total	-18,050.81	-14,835.98	-19,608.65	
Tree species	Conifer	<i>Pinus densiflora</i>	1,161.79	2,487.20	-592.60
		<i>Larix kaempferi</i>	-1,033.36	-42.25	-1,230.68
		<i>P. rigida</i>	-106.92	152.97	61.85
		<i>P. koraiensis</i>	-40.55	-784.28	-99.74
		<i>P. thunbergii</i>	-	-	-7.76
		Other coniferous	-2,132.79	-1,614.82	-997.26
		Sub-total	-2,151.83	198.82	-2,866.19
	Deciduous	<i>Quercus variabilis</i>	-1,079.92	-360.78	-2,008.32
		<i>Q. acutissima</i>	-26.36	-115.20	123.66
		<i>Q. mongolica</i>	-2,089.86	-1,301.12	-2,889.73

Table 6. Continued

		2011	2012	2013
Tree species	<i>Q. serrata</i>	307.04	-0.90	-237.47
	Deciduous			
	Other deciduous	-13,005.40	-13,500.60	-11,564.83
	Sub-total	-15,894.49	-15,278.59	-16,576.70
Total		-18,046.32	-15,079.78	-19,442.89

* The signs for removals are negative(-) and for emissions for positive(+).

나지는 않았지만, 최소 4.49 Gg CO₂, 최대 243.79 Gg CO₂ 차이가 있었다(Table 6). 이는 수종별, 임상별 적용되는 축적 및 흡수·배출계수 차이 등에 의한 것으로 판단된다. 본 연구는 제6차 국가산림자원조사의 5년 주기 조사체계에서 3년간의 자료만 활용한 것으로 향후 제6차 국가산림자원조사가 완료되면, 강원도의 이산화탄소 흡수량의 정확도 개선을 위한 재계산이 필요한 것으로 판단된다. 또한 매년 조사되는 국가산림자원조사의 토양 및 고사기물의 탄소저장량 및 온실가스 흡수량 산정 체계를 구축한다면 지역 및 수종별 온실가스 인벤토리에 대한 정확성이 개선될 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 국가 산림자원 조사를 활용하여 강원도의 임상별, 수종별 탄소저장량 및 온실가스 흡수량을 시범 산정하는 것이 목적이다. 탄소저장량 및 온실가스 흡수 및 배출량 산정을 위해 표본점 자료를 활용하여 임상별, 수종별 산림지 면적을 산출하고, 임목축적량을 산정하였다. 축적차이법에 따라 강원도는 매년 이산화탄소, 즉 온실가스를 꾸준히 흡수하는 것으로 나타났으며, 임상별 연간 이산화탄소 변화량과 수종별 총 연간 이산화탄소 변화량을 비교해본 결과 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지는 않았다. 연간 이산화탄소 흡수량은 임상별로는 활엽수림이 -15,252.51 Gg CO₂ yr⁻¹ ~ -16,616.58 Gg CO₂ yr⁻¹ 범위로 가장 많이 흡수하는 것으로 나타났고, 수종별로는 기타 활엽수가 -11,564.83 Gg CO₂ yr⁻¹ ~ -13,500.60 Gg CO₂ yr⁻¹ 범위로 가장 많이 흡수하는 것으로 나타났다. 침엽수림의 경우, 2012년에 온실가스를 배출하는 것으로 나타났는데, 이는 일시적인 산림전용 및 벌채의 증가로 인한 소나무 등 침엽수종의 임목축적이 감소한 것에 기인한다. 본 연구는 기존 국가 온실가스 인벤토리 산정 기준을 활용하여 지방자치단체들의 온실가스 통계 산정 방안 및 수종별 계수의 적용에 관한 연구로 수행하였으며, 향후 정확한 온실가스 배출량 추정을 위해서는 활동자료 및 흡수 배출계

수 등을 보완할 필요가 있다. 또한 토양 및 고사유기물에 대한 산정 체계를 구축하여 산림 부문 온실가스 인벤토리 정확성을 향상시킬 수 있어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 국가 산림자원 조사의 연구 결과를 활용한 것이며, 산림청 입업기술개발사업 'Post-2020 산림탄소체계 고도화 연구'의 지원에 의한 논문입니다.

REFERENCES

- Gangwon Province Office. 2015. http://www.provin.gangwon.kr/gw/portal/sub03_01
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2014. National greenhouse gas inventory report of Korea. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, Seoul.
- GIR(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2015. Guidelines for measurement reporting and verification in national greenhouse gas inventory. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, Seoul.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- KFRI(Korea Forest Research Institute). 2008. The 5th national forest inventory - field manual-. Korea Research Institute, Seoul, Korea.
- KFRI(Korea Forest Research Institute). 2011. The 5th national forest inventor report. Korea Forest Research Institute, Seoul.
- KFRI(Korea Forest Research Institute). 2012. The forest and human in climate change. Korea Forest Research Institute, Seoul.

- KFS(Korea Forest Service). 2011. Statistical yearbook of forest. Korea Forest Service, Daejeon.
- Kim DS. 2007. Greenhouse gas (CH₄, CO₂, N₂O) emissions from estuarine tidal and wetland and their characteristic. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 23(2):225-241. (in Korean with English abstract)
- Kim S, Son YM, Kim ES, Park H. 2014a. Estimation of growing stock and carbon stock based on components of forest type map: the case of Kangwon province. Jour of Korean For Soc 103(3):446-452. (in Korean English abstract)
- Kim KN, Lee SJ, Kim R, Son YM. 2014b. Estimation of the greenhouse gas inventory on forest land at provincial level. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 16(4):336-342. (in Korean with English abstract)
- KOFPI(Korea Forestry Promotion Institute). 2013. Assessment of the Korea's forest resources. Korea Forestry Promotion Institute, Seoul.
- Lee SK, Son Y, Noh NJ, Heo SJ, Yoon TK, Lee AR, Pazak SA, Lee WK. 2009. Carbon storage of natural pine and oak pure and mixed forests in Hoengseong, Kangwon. Journal of Korean Forst Society 98(6):772-779. (in Korean with English abstract)
- Son YM, Lee KH, Park IH, Son Y, Lee YJ, Kim D, Seo JH. 2005. Assessment of carbon stock using biomass expansion factor by major species. Korean Journal of Forst Measurements 8:91-98. (in Korean with English abstract)
- The Republic of Korea. 2011. Korea's third national communication under the United Nations framework convention on climate change. The Republic of Korea, Seoul.
- UNFCCC. 1998. Kyoto Protocol Bodies [Available from <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>].
- UNFCCC. 2009. Decision 2/CP.15 [Available from : http://unfccc.int/meetings/copenhagen_dec_2009/session/6262/php/view/decisions.php].
- Yim J, Kim R, 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)