

일본잎갈나무의 탄소저장량 및 흡수량 추정

강진택[†] · 손영모 · 임종수 · 전주현

국립산림과학원 산림산업연구과

Estimation of Carbon Stock and Uptake for *Larix kaempferi* Lamb.

Kang, Jin-Taek[†] · Son, Yeong-Mo · Yim, Jong-Su and Jeon, Ju-Hyeon

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

ABSTRACT

This study was conducted to estimate carbon stock and uptake for *Larix kaempferi* Lamb., the single species, which is the most widely distributed one following *Pinus densiflora*, using data from 6th national forest inventory and forest type map of 1:5,000. Overall distribution area of *Larix kaempferi* in South Korea was shown as 272,800ha, in detail, Gangwon-do was the most widely distributed region with 39.6% (108,141 ha) of the whole forest area, and Gyeongsangbuk-do was 18.6%(50,839 ha), Chungcheongbuk-do was 15.1%(41,205ha) in order. As the results of analysis in carbon stock and uptake for each province, the values were high with Gyeonggi-do 109.0 tC/ha, 10.3 tCO₂/ha/yr, Gangwon-do 349.1 tC/ha, 9.7 tCO₂/ha/yr in order, and Jeollabuk-do was the lowest with 78.3 tC/ha, 7.6 tCO₂/ha/yr. Also, the results of estimation in total carbon stocks and uptakes by year (1989~2015) were turned out that total carbon stocks and uptakes were 24,891 thousand tC, 2,428 thousand tCO₂ in 2015, increasing about 4.8 times and 3.8 times each compared with 5,238 thousand C/ha, 640 thousand CO₂ in 1989. Although forest area was decreased 26.6% with 371,884 ha in 1989 to 272,800 ha in 2015, carbon stocks and uptakes were increased in 2015 in that forest stock was increased 126% compared to 1989.

Key words: Carbon Stock and Uptake, National Forest Inventory, Forest Type Map, Forest Area, CO₂

1. 서 론

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)는 1910년대에 일본으로부터 도입되어 우리나라 대부분의 지역에서 잘 적응하여 자라고 있는 수종이다(Yim, 1985). 일본잎갈나무는 우리나라 잎갈나무보다 생장이 빠르며, 초기생장이 빠른 극양수로서 현재 우리나라 주요 조림수종 중의 하나로써 우량목재 생산을 위해 해안지방을 제외한 전국 대부분의 지역에서 분포하고 있으며, 1970년대에 치산녹화사업이 시작되면서 본격적으로 식재되어 온 수종이다(Lee, 1995; Jeon *et al.*, 2007). 일본잎갈나무는 우리나라 주요 산림수종으로 소나무(1,563천 ha, 35.8%) 다음으로 많이 분포(272천 ha, 6.2%)하고 있는 인공조림 수종이다(KFS, 2016). 연도별 조림기록이 명확한 1989년의 산림면적이 371,884 ha에서 2015년에는 272,800 ha로 26.6%가 감소하였

음에도 불구하고, 산림축적은 1989년에 비하여 126%가 증가하였다. 이처럼 일본잎갈나무의 전체 분포면적은 줄어들고 있지만 산림의 경급 및 영급 구조는 증가하여 임목축적이 크게 증가하고 있다. 그러나 기후변화에 따른 고온현상 등으로 일본잎갈나무의 분포면적은 계속적으로 감소할 것으로 전망하고 있다.

일본잎갈나무에 대한 현재의 적지분포와 기후변화시나리오 RCP 4.5를 적용할 경우, 2090년에는 강원도 일부지역에만 한정되어 약 4만 ha 정도만 적지가 될 것으로 예측하고 있다(KFRI, 2014). 우리나라 산림의 주요 임상별 면적과 비율은 소나무림이 1,563천 ha로 전체 산림면적의 35.8%를 차지하고 있고, 그 다음으로 참나무류(1,079천 ha)가 18%로 많은 면적을 차지하고 있다(KFS, 2016). 한국의 천연림 생태계는 상록 침엽수림에서 낙엽 활엽수림으로 천이되어 가는 과정으로 낙엽

[†] Corresponding author: beg8bune@korea.kr

Received November 9, 2016 / Revised November 21, 2016 / Accepted November 28, 2016

활엽수 천연림의 주종을 이루고 있는 수종은 참나무류이다. 현재 참나무류의 분포는 전체 산림면적의 22.3%(975천 ha)로 향후 소나무의 분포 면적은 점점 줄어들고 있는 반면, 참나무류의 분포 면적은 확대되고 있는 추세이다(Park and Moon, 1999). 따라서 침엽수 목제품의 시장수요에 대한 지속적인 공급을 위한 장기적인 대책 마련이 시급하며, 이와 더불어 수종의 변화에 따른 산림부문 온실가스 흡수량의 변화 예측도 중요한 이슈로 떠오르고 있다.

일본잎갈나무의 주요 용도는 건축용 중에서도 내구성을 필요로 하는 갱목, 침목 등 토목 및 건축자재 등이 있으며, 선박, 제지용 펄프, 파티클보드 등 다양한 용도로 활용되고 있다(Yang et al., 2013). 최근에는 웰빙 바람으로 건축용 내장재 및 목조주택에 대한 수요가 증가하고 있는 시점에서 시간의 흐름에 따라 일본잎갈나무의 이용가치는 증대될 것으로 예측된다. 목제품의 이용이 점차 증가함에 따라서 목제품 내의 탄소계정 등 전 과정 평가에 대한 연구가 증가될 것으로 판단된다. 교토체제 이후의 기후변화 대응차원에서 탄소축적의 보고인 산림조성과 함께 탄소 장기저장 역할을 하는 목재의 이용 측면에서 HWP(Harvested Wood Products, 수확된 목제품)은 탄소 인벤토리(Inventory)에 크게 기여할 것으로 전망된다(KFRI, 2012).

전 세계적으로 온실효과로 인한 기후변화에 대처하기 위하여 이산화탄소 흡수원과 방출원 및 주요 생태계의 탄소축적량 평가에 대한 연구가 중요하게 다루어지고 있다(Lee et al., 2009). 특히 산림생태계는 육상생태계에서 가장 큰 탄소저장고이기 때문에 생태계 탄소저장량 연구에서 주목을 받고 있다(McCar and Schneider, 2001). 최근 이러한 산림이 유일한 탄소흡수원으로서 중요한 역할을 하고 있는 가운데 산림의 수종별 국가고유 계수 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 온실가스 배출·흡수계수는 부문 온실가스 배출을 정량화하는 계수로, 국가와 지자체 온실가스 배출량 산정 및 산림의 탄소상쇄사업 등에서 탄소저장량 및 흡수량을 산정할 때 사용된다. 특히, 국가 온실가스 인벤토리 보고서 작성에 있어서 국가 고유계수를 개발하여 적용하면 『기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)』에서 제시한 기본값을 사용한 통계보다 통계의 신뢰성이 높은 수준으로 인정받고 있다. 현재 우리나라는 산림부문 온실가스 통계 산정에 필요한 우리나라 주요 수종별(침엽수 9수종, 활엽수 8수종) 탄소배출·흡수 계수에 대한 『토지 이용 및 토지이용 변화와 임업(LULUCF)』 분야의 국가 승인 고유계수를 개발한 상태이다. 이러한 국가 고유계수를 이용하여 주요 수종별 탄소저장·흡수량을 정확히 산정할 수 있다. 또한 산림의 전체 면적과 수종별 면적, 축적 등에 대한 정

보를 획득하기 위해서는 국가 단위의 산림통계정보를 수집할 수 있는 장치가 필수적이다. 우리나라는 국가산림자원조사(National Forest Inventory, NFI) 자료와 수치임상도(1:5,000) 자료를 통하여 산림에 대한 세부적인 정보를 얻고 있고 있다. 최근 이러한 방대하고 정교한 정보를 통하여 수종별 산림면적, ha당 임목축적 등 다양한 정보를 수집·이용할 수 있으며, 산림의 수종별 탄소저장량 추정이 가능하게 되었다. 최근 기후변화에 대한 관심이 고조되면서 탄소량 추정에 관한 연구(Song et al., 1997; Kim et al., 2010; Son et al., 2013, 2014)와 고해상도 위성영상을 이용하여 바이오매스나 탄소저장량 추정에 관한 연구(Thenkabail et al., 2004; Kim, 2007; Kim et al., 2009; Lee et al., 2009; Park and Lee, 2011)가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구는 우리나라에서 단일수종으로 소나무 다음으로 많이 분포하고 있고, 목재 산업 및 시장에서 상업적으로 수요 요구도가 높은 일본잎갈나무를 대상으로 탄소저장량 및 흡수량을 추정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 일본잎갈나무 분포면적

일본잎갈나무의 전국 분포면적을 추출하기 위하여 1:5,000 임상도 총 16,270도엽을 이용하였다(Korea Forest Research Institute, 2013). 본 연구에 사용된 자료인 1:5,000 임상도는 2008~2012년까지 5년 동안 구축한 임상도이며, 임상도의 산림 정의에 따라 최소면적은 인공림 0.1 ha, 천연림 0.5 ha, 최소폭 20 m를 기준으로 판독한 자료이다(Fig. 1). 이러한 임상도 분석 자료를 이용하여 2016 임업통계연보의 수종별 면적자료를 작성하였다. 따라서 본 연구에서 일본잎갈나무의 도별 및 전국 분포면적은 1:5,000 임상도를 기반으로 한 2016 임업통계연보(Korea Forest Service, 2016) 자료를 이용하였다.

2.2 조사 및 분석 항목

우리나라에 분포하고 있는 일본잎갈나무의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하기 위해서 사용된 제6차 국가산림자원조사(National Forest Inventory)는 2011~2015까지 5년 동안 전국 4,085개의 표본점을 조사한 자료이며, 일본잎갈나무가 분포하고 있는 422개의 표본점 자료를 기반으로 산림지 면적 및 축적을 추정하였다. 임업통계연보에는 시도별, 임상별 축적만 제시되어 있고 수종별 통계량이 제시되어 있지 않기 때문에 탄소량 추정에는 한계가 있다(Lee et al., 2015). 국가산림자원 조사의 표본 조사구의 설계는 계통적 추출법(Systematic sam-

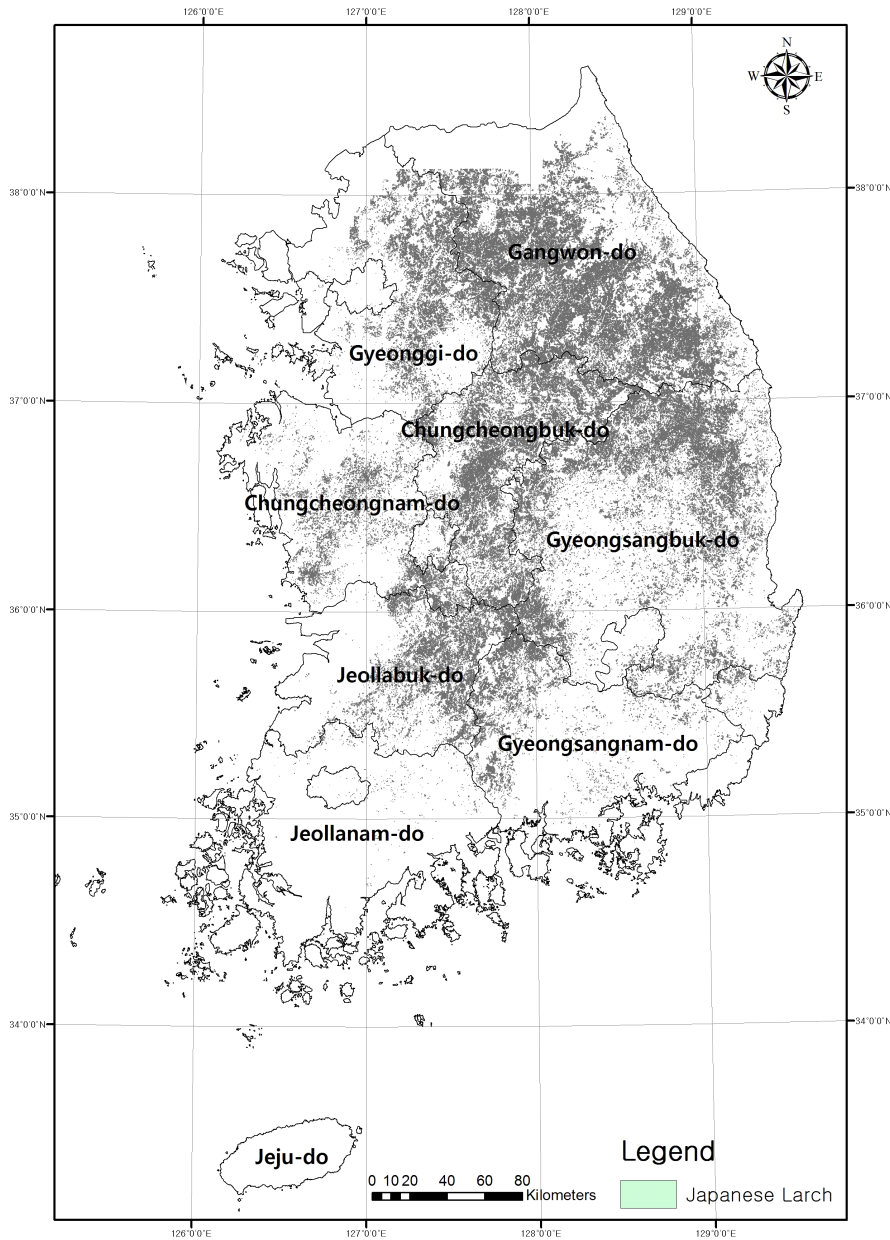


Fig. 1. Growing space distribution of *Larix kaempferi* stand in South Korea.

pling)으로 표본점간의 격자 간격은 4 km × 4 km로 설계되어 있다(Fig. 2). 본 연구에서는 일본잎갈나무의 탄소저장량 및 흡수량 추정을 위해 필요한 인자인 임목본수, 임령, 수고 및 흉고직경, 축적 및 면적 등의 임목자원조사인자를 분석에 이용하였다.

2.3 조사구 임분 현황

본 연구는 우리나라 전역에 분포하고 있는 일본잎갈나무의

지역별 탄소저장량 및 흡수량을 추정하기 위하여 제 6차 국가 산림자원조사(NFI)의 422개 표본점(0.04 m²/plot) 자료를 이용하였으며, 표본점 내의 임목 성장특성은 Table 1과 같다.

2.4 탄소저장량 및 흡수량 추정

정확한 산림의 탄소저장량 및 흡수량 추정을 위해서는 국제적 기준에 맞는 정확하고 신뢰성 있는 온실가스 흡수/배출 계수와 수종별 국가 고유의 계수 개발이 필요하다. 기후변화

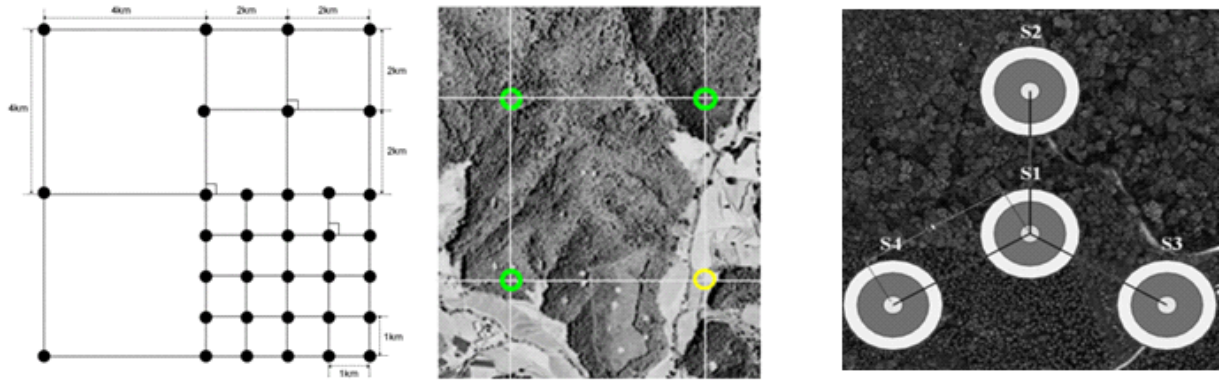


Fig. 2. Sample plot design of national forest inventory.

Table 1. Status on characteristics of stand growth in sample plots

Region	Sample plot	Area (ha)	Tree age (yr)			DBH (cm)			Tree height (m)			Volume (m ³)/ha
			Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.
	422	272,800	37	21	47	23.2	11.7	32.8	17.3	8.7	22.8	245.6
GW	204	108,141	36	17	28	23.3	8.5	42.9	17.7	9.5	22.9	243.9
GG	31	27,215	39	27	54	25.7	16.7	37.9	18.5	8.7	25.0	279.3
CN	9	12,195	39	24	56	22.3	15.6	29.8	17.4	8.5	23.3	238.0
CB	57	41,205	35	5	45	22.7	8.1	28.9	16.9	8.4	21.9	217.3
JB	28	19,836	39	29	51	22.5	14.0	27.4	16.3	8.1	22.1	200.7
GN	20	13,369	36	27	46	22.9	10.7	30.4	16.6	8.7	21.6	208.3
GB	73	50,839	35	20	50	23.3	8.3	50.0	17.6	8.8	23.0	219.6

※ GW: Gwangwon-do, GG: Gyeonggi-do, CN: Chungbuk-do, CB: Chungnam-do, JB: Jeollabuk-do, GN: Gyeongsangnam-do, GB: Gyeongsanbuk-do.

※ 제주, 전남은 NFI 표본점 개소가 적어 전북에 포함하였음. 전북: 전북, 전남, 제주도.

협약에 따른 온실가스 흡수량 및 배출량을 추정하기 위한 방법론을 각각 3가지의 수준으로 구분하여 정의하고 있는데 (IPCC, 2003), 본 연구에서는 국가고유의 활동자료와 배출계수를 이용한 Tier 2 수준에서 탄소저장 및 흡수량을 산정하였다. 국가산림자원조사 자료에서 일본잎갈나무의 면적, 임령, 임목축적, ha당 분수 및 재적 등의 정보를 이용하였으며, 탄소저장량 및 흡수량 추정은 IPCC GPG(2003)에서 제시하는 탄소저장량 추정 방법을 적용하였으며[식 (1)], 이용된 탄소배출계수는 국립산림과학원에서 개발하여 사용되고 있는 일본잎갈나무의 국가고유의 계수로서 Table 2와 같다(GIR, 2015).

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

Table 2. Carbon emission factors of *Larix kaempferi*

Species	Basic wood density (D) (Unit : t/m ³)	Biomass expansion factor (BEF)	Root-shoot ratio (R)
<i>Larix kaempferi</i>	0.453	1.335	0.291

C : Carbon storage [tC]

V : Volume [m³]

D : Basic wood density [td · m · [m³]⁻¹]

BEF : Biomass expansion factor

R : Root to shoot ration

CF : Carbon fraction

3. 결과 및 고찰

3.1 일본잎갈나무 분포면적

1:5,000 수치임상도를 이용하여 일본잎갈나무의 분포면적을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 현재 우리나라 일본잎갈나무의 전체 분포면적은 272,800 ha인 것으로 분석되었으며, 강원도가 산림 전체면적의 39.6%(108,141 ha)로 가장 많이 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 경상북도 18.6%(50,839 ha), 충청북도 15.1%(41,205 ha) 순으로 나타났다. 일본잎갈나무의 분포면적은 272,000 ha로 우리나라 전체 산림면적의 6.2%를 차지하고 있으며, 단일 수종으로는 소나무(1,563천 ha, 35.8%) 다음으로 많이 분포하고 있는 수종이다. 일본잎갈나무의 면적이 2015년에는 424,668 ha에서 2016년은 272,800 ha로 크게 줄어들었다(KFS, 2016). 그 이유는 2015년에는 1:25,000의 임상도를 이용하여 면적을 분석하였고, 2016년에는 1:5,000의 대축적 임상도를 이용하여 분석함에 따라 더욱 정확하게 수종을 구분할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 면적정보의 정확성은 탄소량 산정에 있어 매우 중요한 요인이기 때문에 고품질의 공간분포 자료의 구축이 필요하다. 분석된 임상도상에서 일본잎갈나무의 분포는 대부분 강원도, 경기도, 충청북도, 경상북도 북부지역으로, 대체적으로 남부지방보다 중부 이북 지역에 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 일본잎갈나무는 일본에서 도입된 수종(Yim, 1985)

으로 현재 일본에서도 대부분 최북단인 홋카이도 지방을 중심으로 약 40%가 분포하고 있고 대체적으로 서늘하고 해발고가 높은 기후대에 잘 생육하고 있다는 연구결과(Takahashi et al., 2015)와 유사한 경향을 보였다.

3.2 지역별 탄소저장량 및 흡수량 추정

우리나라 전역에 분포하고 있는 일본잎갈나무의 탄소저장량 및 흡수량을 추정하기 위하여 산림부문 탄소흡수량 산정에 필요한 일본잎갈나무 국가 고유계수를 개발하여 본 연구의 탄소저장량 및 흡수량 산정에 적용하였다. 일본잎갈나무의 지역별 탄소저장량 및 흡수량을 분석한 결과는 Table 3과 같다.

각 도별 탄소저장량과 흡수량 분석결과, 경기 109.0 tC/ha, 10.3 tCO₂/ha/yr, 강원도 349.1 tC/ha, 9.7 tCO₂/ha/yr 순으로 높게 나타났으며, 전라북도가 78.3 tC/ha, 7.6 tCO₂/ha/yr로 가장 낮게 나타났다. 일본잎갈나무는 일본에서 도입한 수종으로 일본의 북부지역인 홋카이도 지방에 많이 분포하고 있고, 서늘한 기후대에서 생육이 양호한 것으로 볼 때(Takahashi et al., 2015), Table 1에서도 보는 바와 같이 수고 및 직경, ha당 축적이 중부 이북 지역이 대체적으로 생장이 양호하여 경기, 강원지방이 남부지방보다 탄소저장량 및 흡수량이 높은 것을 알 수 있다(Table 3). 우리나라에 분포하고 있는 일본잎갈나무의 탄소저장량과 흡수량은 평균 89.6 tC/ha, 8.9 tCO₂/ha/yr로 나타났으며, 총 탄소저장량과 흡수량은 24,890천 tC, 2,518천 tCO₂로 나타났다. 우리나라 산림 부문 총 탄소흡수량은 47,000천 tCO₂(GIR, 2015)으로 일본잎갈나무가 차지하는 총 탄소흡

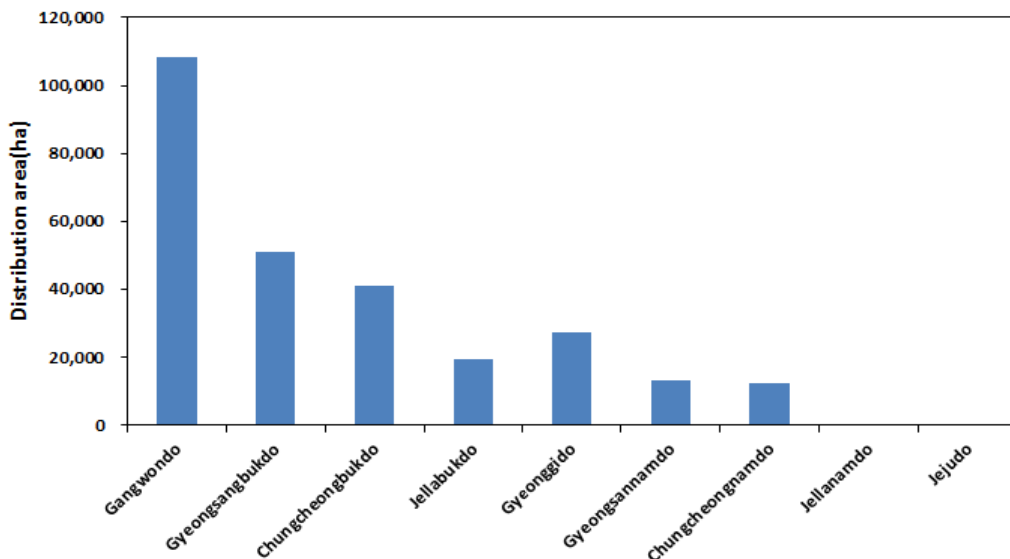


Fig. 3. Distribution area of *Larix kaempferi* stand by province in Korea.

Table 3. Carbon storage and carbon uptake by region for *Larix kaempferi*

Region	Carbon storage (tC/ha)	Carbon uptake (tCO ₂ /ha/yr)	Total carbon storage (tC/yr)	Total carbon uptake (tCO ₂ /yr)
Gangwon-do	95.2	9.7	10,296,222	1,048,689
Gyeonggi-do	109.0	10.3	2,967,256	278,973
Chungcheongnam-do	92.9	8.7	1,133,012	106,522
Chungcheongbuk-do	84.8	8.9	3,495,307	366,175
Jeollabuk-do	78.3	7.6	1,553,706	149,919
Gyeongsangnam-do	81.3	8.3	1,087,086	110,722
Gyeongsangbuk-do	85.7	9.0	4,358,179	456,571
Average (Total)	89.6	8.9	24,890,768	2,517,571

수량은 약 5.4%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 가장 많은 분포면적을 차지하고 있는 소나무가 차지하는 총 탄소흡수량은 11,979천 tCO₂으로, 분포면적을 볼 때 우리나라 산림의 25.5%를 차지하고 있는 것과 비교하면 면적대비 일본잎갈나무의 탄소흡수량이 약간 우수한 것으로 나타났다. 그러나 Kim *et al.* (2014)은 아까시나무 25년생의 연간 이산화탄소흡수량이 13.79 tCO₂/ha(Son *et al.*, 2014)과 Kang *et al.* (2014)의 졸참나무 34년생의 이산화탄소 흡수량의 14.8 tCO₂/ha/yr보다는 낮게 나타났다. 일본잎갈나무에 비하여 아까시나무와 졸참나무의 이산화탄소흡수량이 높은 것은 임령이나 축적에 따라 차이가 있을 수도 있겠지만, 기본적으로 아까시나무와 졸참나무의 경우 목재기본밀도(Wood density, D), 바이오매스확장계수(Biomass Expansion Factor, BEF) 그리고 뿌리합량비(Root-shoot ration, R)의 탄소배출계수가 일본잎갈나무에 비하여 훨씬 높기 때문인 것으로 판단된다. 이처럼 수종별 고유의 탄소배출계수를 개발하여 사용하면 훨씬 정확한 국가탄소흡수량을 추정할 수 있다. 이러한 산림의 산림 탄소저장 및 흡수량을 산정할 수 있는 Tier 2 수준의 국가기본산림 통계자료와 국가고유계수를 개발 보유함으로써, 향후 국제적으로 높은 수준의 온실가스 통계자료를 제공할 수 있을 것이다.

3.3 연도별 총 탄소저장량 및 흡수량 추정

일본잎갈나무의 연도별 탄소저장량 및 흡수량의 변화(1989~2015)를 추정하는 결과는 Fig. 4와 같다. 1910년대에 일본으로 도입된 일본잎갈나무의 제1차 녹화사업기간(1973~1978)과 제2차 녹화사업기간(1979~1987)을 거치면서, 이 기간 동안 매년 평균 24,322 ha를 식재하여 총 365천 ha를 조림하였다. 이후 매년 조림면적이 줄어들면서 1989년부터 2015년까지 매년 약

1,835 ha씩 식재하여 현재 272,800 ha가 전국에 걸쳐 분포하고 있다. 일본잎갈나무의 탄소저장량과 흡수량을 추정하기 위해서는 연도별 산림면적 및 축적, 임령 정보에 대한 기록이 있어야 하나, 현재 이러한 정보가 완전하게 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 일본잎갈나무의 연도별 분포면적이 1989년부터 명확히 기록되어 있는 조림대상 면적을 적용하였으며, 수종별 축적에 대한 기록이 없기 때문에 우리나라 전체 연도별 평균 축적자료를 적용하였다. 또한 연간탄소흡수량 추정에 필요한 평균 임령은 30년을 기준으로 하여 추정하였다. 일본잎갈나무의 연도별 조림실적 기록이 명확한 1989년부터 총 탄소저장량과 흡수량을 추정하는 결과는 Fig. 4와 같다. 1989년부터 2015년까지 일본잎갈나무의 총 탄소저장량과 흡수량은 매년 평균 12,759천 tC, 1,537천 tCO₂으로 나타났으며, 2015년 기준 현재 24,891천 tC, 2,428천 tCO₂로 나타났다. 총 탄소흡수량이 2014년 2,838천 tCO₂에 비하여 2015년에는 2,428천 tCO₂으로 감소하였다. 이러한 원인은 2014년 산림면적 통계자료는 1/25,000 축적의 임상도를 이용하여 분석한 결과 424,668 ha로 나타났고, 2015년에는 1/5,000 축적의 임상도를 이용한 경우 272,800 ha로 나타나 면적감소 때문인 것으로 판단된다. 2015년의 경우, 1/5,000의 대축적 임상도를 이용함으로써 산림 면적을 더욱 정확하게 분석할 수 있어, 기존의 1/25,000 임상도 상에서 불명확한 수종으로 분류되었던 것이 명확하게 분류됨에 따라 일본잎갈나무의 면적변화를 초래한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 단일수종으로 우리나라에서 소나무 다음으로 많이 분포하고 있고, 목재시장에서도 널리 유통되고 있

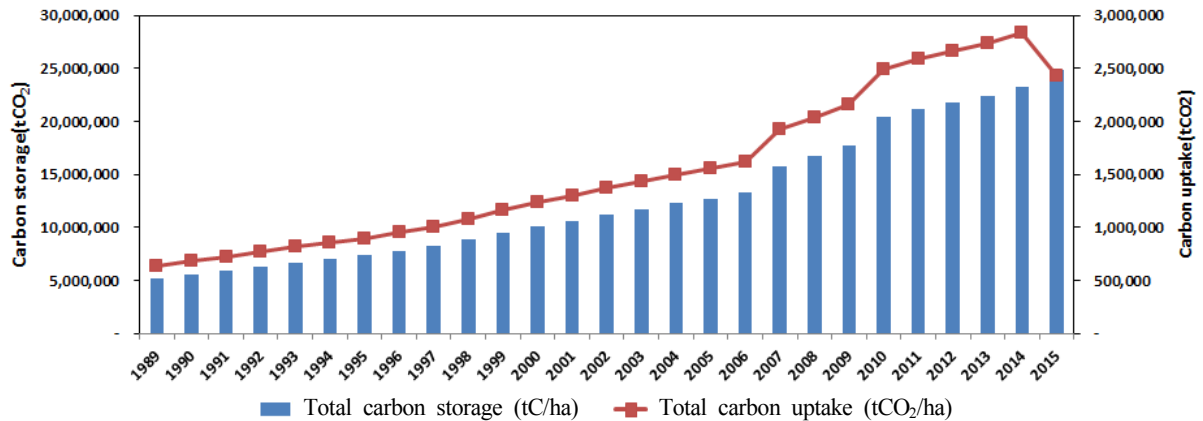


Fig. 4. Carbon storage and uptake by year of *Larix kaempferi*.

는 일본잎갈나무를 대상으로 국가산림자원조사 자료와 임상도자료를 활용하여 탄소저장량과 흡수량을 추정하는데 있다. 일본잎갈나무의 탄소저장량 및 흡수량을 추정하기 위해서는 먼저 분포면적을 정확하게 분석하였으며, 국가산림자원조사 자료를 활용하여 각 도별 탄소저장량 및 흡수량과 총 탄소저장량 및 흡수량을 추정하였다. 먼저 우리나라에 분포하고 있는 일본잎갈나무의 정확한 면적을 산출하기 위하여 1:5,000 수치 임상도를 사용하여 각 도별 면적을 분석하였다. 일본잎갈나무의 전체 분포면적은 272,800 ha로, 강원도가 산림 전체면적의 39.6%(108,141 ha)로 가장 많이 분포하고 있는 것으로 나타났으며 그 다음으로는 경상북도 18.6%(50,839 ha), 충청북도 15.1%(41,205 ha) 순으로 나타났다. 각 도별 탄소저장량과 흡수량을 추정하기 위하여 제 6차 국가산림자원조사 자료의 표본점을 분석하여 각 도별 축적을 산출하였으며, 국립산림과학원에서 개발한 일본잎갈나무 국가고유의 탄소배출계수를 적용하였다. 분석 결과, 경기 109.0 tC/ha, 10.3 tCO₂/ha/yr, 강원도 349.1 tC/ha, 9.7 tCO₂/ha/yr 순으로 높게 나타났으며, 전라도가 78.3 tC/ha, 7.6 tCO₂/ha/yr으로 가장 낮게 나타났다.

일본잎갈나무는 일본에서도 최북단인 홋카이도 지방에 대부분 분포하고 있으며 남쪽보다 생육이 훨씬 잘 자라는 것으로 알려진 것처럼, 우리나라에서도 중부 이북지역 경기, 강원 지방에서 수고 및 직경생장과 임목축적이 높은 것으로 나타났다. 이러한 영향으로 중부 이북지역에서의 탄소저장량과 흡수량도 높게 나타났다. 일본잎갈나무의 연도별 조림면적 정보가 명확한 1989년부터 총 탄소저장량과 흡수량을 추정한 결과, 산림면적이 1989년에 371,884 ha에서 2015년에는 272,800 ha로 26.6%가 감소하였음에도 불구하고 총 탄소저장량과 흡수량은 1989년에 5,238천 tC, 640천 tCO₂에서 2015년에는 24,891천 tC, 2,428천 tCO₂로 각각 4.8배, 3.8배씩 증가하

였다. 이러한 원인은 산림축적이 1989년에 비하여 126%가 증가하였기 때문이다. 그러나 2014년 총 탄소저장량과 흡수량은 23,216천 tC, 2,838천 tCO₂인 것에 비하여 2015년에는 24,891천 tC, 2,428천 tCO₂로 떨어졌는데, 그 원인은 2014년의 산림면적 분석을 위해 적용한 임상도의 축적은 1/25,000인 반면, 2015년에는 1/5,000의 대축적 임상도를 이용하여 면적을 추출하였기 때문에 훨씬 정확하게 수종별 분포 면적 분류가 가능하였기 때문인 것으로 나타났다. 우리나라 산림의 수종 분포는 소나무 다음으로 일본잎갈나무가 많은 면적을 차지하고 있으나, 기후변화 시나리오 예측결과에 의하면 소나무와 일본잎갈나무와 같은 침엽수는 점차 사라지면서 우리나라 산림의 임상은 참나무류로 변할 것으로 예측하고 있다(KFRI, 2014; Park and Moon, 1999). 따라서 본 연구는 향후 기후변화에 따라 장기적으로 사라질 것으로 예상되는 주요 침엽수종의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하고, 향후 기후변화 대응수종 개발 및 탄소량 추정에 관한 기본 정보 제공에 기여할 것으로 기대된다. 또한 우리나라 산림부문 온실가스 통계기반 구축을 위한 기초자료로 활용함으로써 국가온실가스통계의 질적 향상을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

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.

GIR (Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea). 2015. National greenhouse gas inventory report of Korea. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea,

- Seoul. 266pp.
- IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan. pp 3-24.
- Jeon BH, Lee SH, Lee YJ, Kim H, Kang, HM. 2007. Estimation of site index stem volume equations for *Larix leptolepis* stand in Jinan, Chonbuk. Jour Korean For Soc 96(1):40-47.
- Kang JT, Son YM, Kim SW, Park H, Hwang JS. 2014. Development of local stem volume table for *Larix kaempferi* using Kozak's stem taper model. Jour of Agriculture & Life Science 48(6):119-131.
- Kim HS, Bae SW, Lee ST, Hwang JH. 2010. Analysis for growth characteristics and aboveground carbon storage for *Zelkova serra* artificial forests in Gwangneung Experimental Forest. Jour Korean For Soc 99(1):144-152.
- Kim SR. 2007. Forest cover classification by optimal segmentation of IKONOS imagery. Thesis for Master, Korea University, Seoul.
- Kim SR, Lee WK, Kwak, HB, Choi SH. 2009. Estimating carbon sequestration in forest using KOMPSAT-2 Imagery. Jour Korean For Soc 98(3):324-330.
- Kim SW, Son YM, Kim ES, Park H. 2014. Estimation of growing a stock and carbon stock based on components of forest type map: The case of Kangwon province. Jour Korean For Soc 103(3):446-452.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2012. Climate change, forest and human. Korea Forest Research Institute, p 333.
- KFRI (Korea Forest Research Institute) 2013. Distribution of major species based on digital forest type map (1:5,000) in Korea, pp 15.
- KFRI (Korea Forest Research Institute). 2014. Predicting the change of productive areas for major tree species under climate change in Korea. Korea Institute of Forest Science, p 85-86.
- KFS (Korea Forest Service). 2016. The 6th national forest inventory.
- KFS(Korea Forest Service). 2016. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service, pp 414.
- Lee CB. 1995. Dendrology. Hyangmun Press, p 88.
- Lee SJ, Yim JS, Son YM, Kim RH. 2015. Estimation of the carbon stock and greenhouse gas removals by tree species and forest types in Gangwon province. Journal of Climate Change Research 6(4):303-310.
- Lee SK, Son YH, Noh NJ, Heo SJ, Yoon TK, Lee AR, Razak SA, Lee WK. 2009. Carbon storage of natural pine and oak pure and mixed forests in Hoengseong, Kangwon. Jour Korean Fo Soc 98(6):772-779.
- Park IH, Moon GS. 1999. Species competition and productivity in a natural mixed forest *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* at a Mt. Mohu area. Jour Korean For Soc 88(2):462-468.
- Park JW, Lee JS. 2011. Analysis of spatial distribution and estimation of carbon emissions in deforestation using GIS and administrative data. Jour Korean For Soc 100(3):466-475.
- Song CY, Chang KS, Park KS, Lee SW. 1997. Analysis of carbon fixation in natural forests of *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis*. Jour Korean For Soc 86(1):35-45.
- Son YM, Kang JT, Chung YG, Lee KS, Yoo BO. 2013. Development of statistics infrastructure for forest greenhouse gas. Korea Forest Research Institute Report, pp 477-515.
- Son YM, Kim SW, Lee SJ, Kim JS. 2014. Estimation of stand yield and carbon stock for *Robinia pseudoacacia* stands in Korea. Jour Korean For Soc 103(2):264-269.
- Takahashi M, Hosoda K, Nishizono T, Takao G, Saito H, Ishibashi S, Furuya N, Kodani E. 2015. Resources and growth Japanese Larch(*Larix kaempferi*) in Japan. Proceeding of SFEM 2015(Sustainable Forest Ecosystem Management, The International Symposium).
- Thenkabail PS, Stucky N, Grisscom BW, Ashton MS, Diels J. van der Meer B, Enclona E. 2004 Biomass estimations and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. International Journal of Remote Sensing 25(3):5447-5472.
- Yim KB. 1985. Silviculture theory. Hyangmun Press, p 491.