

## 아까시나무 임분의 임목수확량 및 탄소저장량 추정

손영모\* · 김소원 · 이선정 · 김정수

국립산림과학원 기후변화연구센터

### Estimation of Stand Yield and Carbon Stock for *Robinia pseudoacacia* Stands in Korea

Yeong Mo Son\*, So Won Kim, Sun Jeoung Lee and Jeong Soo Kim

Center for Forest & Climate Change, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

**요약:** 본 연구는 아까시나무 군락에 대한 현재 생육지 분포면적의 파악과 임분수확량 및 탄소저장량을 구명하기 위하여 수행되었다. 아까시나무에 대한 분포면적은 1:5,000 임상도를 이용하여 추출하였으며, 임분수확량은 Weibull 직경분포모델을 이용하였고, 탄소저장량 및 흡수량은 임분수확량에 탄소배출계수를 적용하여 산출하였다. 임분수확량을 산출하기 위하여 임분 평균직경, 임분 흉고단면적, 최소 및 최대 직경 등 임분 성장인자에 대한 추정식을 산출하고 정확성을 검증하였다. 이 결과 모든 성장인자의 추정식이 분석에 이용할 수 있는 유의성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또한 임지의 생산력을 판정할 수 있는 지위지수를 도출한 바, 지위지수는 16~22 범위에 있는 것으로 나타났으며, 이들을 종합하여 임분수확표를 만들었다. 우리나라 아까시나무는 경상, 충청 및 경기도의 내륙에 주로 분포하는 것으로 나타났으며, 총 면적은 26,770 ha에 달하는 것으로 나타났다. 이를 탄소저장량으로 전환한 결과 2,517,598 tC였으며, 연간 3.76 tC/ha를 흡수하는 것으로 계산되었다. 이는 탄소흡수량이 높은 수종으로 알려져 있는 참나무류와 유사하여, 추후 아까시나무가 기후변화 시대에 온실가스를 저장하는 수종으로서의 역할도 충분히 가능할 것이라 판단된다. 또한 본 연구에서 만든 임분수확표는 아까시나무 경영 및 관리정책에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

**Abstract:** The aim of this study was to determine the current distribution area of *Robinia pseudoacacia* habitat and to estimate its stand yield as well as its carbon stocks. In order to do so, the area of *R. pseudoacacia* distribution is obtained based on the large-scaled forest type map (1:5,000). Also, Weibull diameter distribution model is used to predict the yield of *R. pseudoacacia* stands. In addition, carbon emission factor is applied to calculate carbon stocks and removals. To obtain the stand yield of *R. pseudoacacia*, we developed estimation equation considering growth factors of the stand, e.g. mean diameter, the basal area, maximum and minimum diameter and etc. and tested it to ensure accuracy. Consequently, estimation equation derived from all growth factors have shown significance that could also be used for analysis. Site index was also established to determine the productivity of the forestland that later turned out to be ranging from 16 to 22. Based on these results, stand yield tables were drawn up. *R. pseudoacacia* is widely distributed in inland areas of Gyeongsang, Chungcheong and Gyeonggi provinces which covers total area of 26,770 ha. And when it is converted into carbon stocks, it amounts to 2,517,598tC with annual carbon uptake of 3.76tC/ha which is comparable to *Quercus* species that is known to storer large amounts of carbon. Therefore, *R. pseudoacacia* is also expected to serve as a viable carbon pool that would contribute to the mitigation of climate change. Furthermore, stand yield tables, an outcome of this survey would assist not only in proper management but also in sustainable management policy of *R. pseudoacacia*.

**Key words:** carbon stocks and removals, climate change, *Robinia pseudoacacia*, stand yield

## 서론

아까시나무는 속성수임에도 불구하고 목재의 치밀함과

단단함을 나타내는 전건비중이 다른 속성수에 비해 높아 (이태리포플러 0.34 g/cm<sup>3</sup>, 오리나무 0.52 g/cm<sup>3</sup>, 아까시나무 0.74 g/cm<sup>3</sup>), 기후변화에 따른 온실가스 증가가 문제 시 되는 이 시점에 이산화탄소를 흡수하는 양도 상대적으로 높은 수종이다. 휘강도도 1,212 kg/cm<sup>2</sup>로 높은 것으로 보

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

고되고 있어(오리나무 607 kg/cm<sup>2</sup>, 잣나무 772 kg/cm<sup>2</sup>) 구조재로 이용하고 있는 잣나무와 낙엽송 등을 대체할 수 있는 수종으로 인지되고 있다(Park, 1997).

북미 원산의 아까시나무가 우리나라에 도입된 것은 1891년 일본인 사카기가 중국 상해에서 묘목을 구입하여 인천 공원에 식재한 것이 처음이라고 알려져 있으며, 그 후 총독부에서 북미 및 중국의 청도 등에서 종자를 수입하여 파종하여 전국에 보급하게 되었다. 철도청에서 보급하게 된 동기는 아까시나무는 재질이 강인하며 내구성이 매우 크기 때문에 철도침목용으로 사용하기 위해서였다고 한다(The Forest Experiment Station, 1925).

아까시나무는 일제 강점기에 황폐된 산지의 녹화와 연료림 조성을 목적으로 식재가 권장되어 1926-1940년 사이에 9,398만 그루의 묘목이 생산되었다. 이후 아까시나무는 1960년 전후에 전개된 강력한 산림녹화 정책의 일환으로 사방(砂防)용으로 널리 식재되었다. 이는 아까시나무가 콩과식물로서 뿌리에 질소고정(nitrogen fixation) 세균과 공생하며 척박하고 쓸모없는 땅에서도 잘 자라기 때문이다(Lim, 1994).

또한 아까시나무는 1960년부터 1990년까지 30여년에 걸쳐 연료림, 밀원수림 등으로 무려 324천ha가 조림됐다. 그러나 1980년대 들어오면서 산림녹화의 성공, 1980년대 중반부터 시작된 ‘해로운 나무인가, 이로운 나무인가’에 대한 논란 등으로 조림 물량은 거의 사라지게 되었다(Park, 2008).

그러나 아까시나무의 유용가치는 여전히 높다고 볼 수 있다. 6.25 전쟁 등으로 황폐화된 산을 일제히 녹화시켰는가 하면, 아까시나무 등의 꽃들은 양봉농가에 한해 약 3천억원 이상의 수입(2010년 기준)을 가져다주는 중요한 밀원이기 때문이다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2010; Ryu, 1992).

이에 따라 본 연구는 일제 강점기, 치산녹화 시기 등에 집중적으로 조림되었던 아까시나무가 현재 어느 정도의 공간을 점유하고 있는지를 임상도 및 GIS 기법 등을 통해 파악하고, 이 수종에 대한 잠재적인 목재수확량 및 탄소저장/흡수량을 임분직경분포 모델과 IPCC의 탄소계정 방법을 적용시켜 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시 재료

#### 1) 현지조사

아까시나무에 대한 성장 현황을 파악하기 위하여 현재 (2013년) 일반적인 성장을 보이는 군락을 대상으로 전국적인 조사(기존 조사자료 분석 포함)를 실시하였다. 조사는 군락의 형태에 맞게 장방형 또는 원형 표준지를 설치

**Table 1. Characteristic of growth factors in *Robinia pseudoacacia* stand.**

Species	Growth factors	Age (year)	DBH (cm)	Height (m)
<i>Robinia pseudoacacia</i>		26.4 5-78	15.7 2.8-56.3	13.7 2.0-33.2

하였으며, 표준지 크기는 군락 구조와 임령 등으로 고려하여 다양하게 조정하였으며, 표준지 내의 표준목에 대하여 임령, 직경, 수고 등을 측정하였다.

#### 2) 조사 표준지 개황 및 기본 정보

아까시나무 표준지에 대한 총 조사구 수는 191개소이었으며, 이들에 대한 성장 정보는 Table 1과 같다.

## 2. 분석 방법

#### 1) 아까시나무 분포 분석

아까시나무의 전국 분포를 추출하기 위하여 1:5,000 임상도 총 16,270도엽을 이용하였다(Korea Forest Research Institute, 2013). 1:5,000 임상도의 총 51개의 분류 수종 중 지형지물속성코드 49에 해당하는 아까시나무를 추출하여 지도화하고 면적을 산출하였다(Korea Forest Research Institute, 2011). 본 연구에 사용된 자료인 1:5,000 임상도는 2008년부터 2012년까지 5년 동안 구축한 최신의 임상도로써, 판독자료에 있어 컬러 고해상도 항공사진을 이용함에 따라 기존 1:25,000 임상도의 27개 분류 수종에서 51개로 세분화하였다. 임상도의 산림 정의에 따라 최소면적은 인공림 0.1 ha, 천연림 0.5 ha, 최소폭은 20 m를 기준으로 판독한 자료이다.

#### 2) 임분 수확량 추정 방법

아까시나무 임분에 대한 성장 및 수확량 예측을 위하여 먼저 직경급 분포 분석이 필요한데, 이는 Weibull 확률밀도함수를 이용한 직경분포모델을 적용시켰으며(Garcia, 1981), 모델의 모수 추정(estimation), 모수 적합(recovery), 모수 예측(prediction)의 절차를 거쳤다. Weibull 직경분포 모델을 수확량 추정에 이용한 것은 아까시나무의 임분수확이 최종 벌기령에서 이루어 지겠지만, 일정 시기에서의 간벌 등을 통하여 일어 날 수 있기 때문에, 이 시기별로 직경별 어느 정도의 간벌을 할 것인지, 결과로 간벌에 따른 추후 생장이 어떻게 될 것인지에 대한 정보를 충분히 얻을 수 있기 때문에 이를 이용한 것이다. 모델의 분석 수행에 있어 임분 재적은 기존의 개체목 수간곡선 모델(Son et al., 2012)에서 도출된 재적과 본수 등을 연계시켰다.

**Table 2. Carbon emission factors of *Robinia pseudoacacia* stand.**

Species	Carbon emission factors	Basic wood density (W)	Biomass expansion factor (BEF)	Root-shoot ratio (R)
<i>Robinia pseudoacacia</i>		0.613	1.558	0.461

3) 이산화탄소 저장 및 흡수량 추정 방법

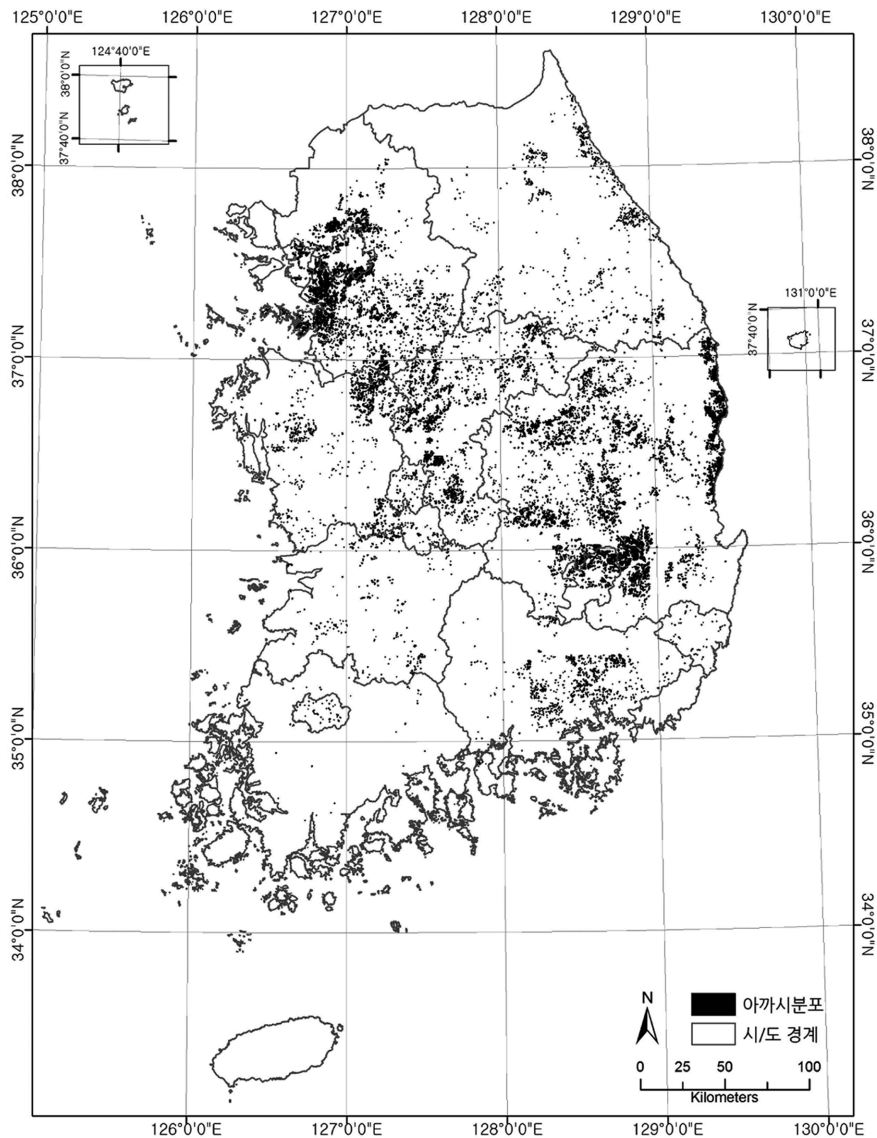
아까시나무 면적과 단위면적 당 축적량이 상기의 분석 방법을 통해 산정되므로, IPCC GPG(2003)가 제시하는 방법에 의해 탄소배출계수를 적용시키면 탄소저장량 및 흡수량을 도출할 수가 있으며, 이용한 탄소배출계수는 Table 2와 같다(Son et al., 2013).

탄소저장 및 흡수량 = 임목축적(또는 성장량) × 탄소배출계수

**결과 및 고찰**

1. 아까시나무의 면적 분포

아까시나무 면적을 도출하기 위하여 1:5,000 수치임상도를 이용하여 생육 군락지를 탐색하였다. 그 결과 다음 Figure 1와 같은 공간분포를 가지고 있었으며, 이를 수치화한 것인 Table 3이다. 현재 우리나라의 아까시나무 분포 면적은 총 26,770ha인 것으로 확인되었다. 우리나라 아까시나무 조림의 역사를 통해 보면, 본 수종은 최소한 산림



**Figure 1. Growing space distribution of *Robinia pseudoacacia* stand.**

**Table 3. Area distribution of *Robinia pseudoacacia* stand.**

Total	26,770 ha
Seoul	1,836
Daegu	916
Incheon	561
Gwangju	23
Daejeon	119
Ulsan	40
Gyeonggi-do	6,043
Gangwon-do	686
Chungcheongbuk-do	2,942
Chungcheongnam-do	1,245
Jeollabuk-do	475
Jeollanam-do	38
Gyeongsangbuk-do	10,883
Gyeongsangnam-do	963

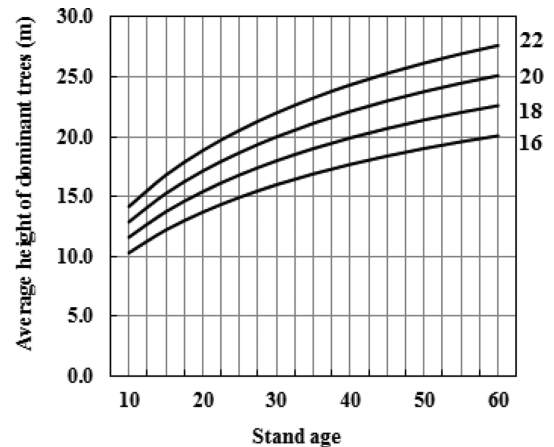
서의 기능, 오락 제공처로서의 기능 등 많은 혜택을 제공해 주었다. 그러나 아까시나무는 녹화 성공 이후, 다른 식물을 몰아내는 특성과 왕성한 번식력 때문에 독수(毒樹)로 평가되기도 하는 등의 원인으로 최근 조림은 거의 이루어지지 않는 상태이다(Jeon, 2012).

**2. 직경분포생장모델 적용을 위한 임분생장 추정**

1) 성장인자별 임분생장식 추정

아까시나무 임분직경분포 추정 및 예측을 위하여 다음과 같은 성장인자별 추정식을 추정하고, 식의 설명력을 평가하기 위하여 적합도지수(Fitness index, FI)를 도출하였다. Table 4에서 임분 흉고단면적의 경우는 임령(age)과 지위지수(SI)를 변수로 하는 추정식인데, 흉고직경(cm)이 1차원적 인자인데 비하여, 단면적(m<sup>2</sup>)은 2차원적 인자인 관계로 식의 설명력이 상대적으로 흉고직경을 추정할 때 보다 떨어지는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 그리고 실제 계산된 단면적의 산포도를 그려보아도 흉고직경에 비해 분포의 범위가 확장되어 있음을 알 수 있었다.

수고추정식은 우세목 수고(H<sub>D</sub>)를 기준으로 해당 경급까지의 누적밀도와 임령을 이용하여 보정하는 형태를 취함으로써 이론적으로 우수한 구조를 가지고 있으며, 누적된



**Figure 2. Site index curve in *Robinia pseudoacacia* stand.**

직경분포는 마치 수고곡선의 전형적인 형태인 sigmoid 모양을 가져 모델의 신뢰성을 더 높여 주고 있기 때문에 이와 같은 식을 이용하였다.

2) 지위지수 추정

아까시나무 임지의 생산능력을 판단할 수 있는 지위지수 추정식은 우세목의 수고와 임령을 변수로 하는 Chapman-Richard 모델을 적용시켜 아래와 같이 도출하였으며(Clutter et al., 1983), 지위지수의 기준임령은 수고의 생장이 어느 정도 안정화에 접어드는 30년을 기준으로 하였다. 현재 우리나라에 생육하는 아까시나무의 지위지수 범위는 16~22의 범위에 있었으며 <Figure 2>, 현재 노령화된 임분이 거의 존재하지 않는 관계로 60년까지만 지위지수 곡선을 도식화하였다.

$$SI = H_D \left[ \frac{1 - e^{-0.014608 \cdot \text{age}}}{1 - e^{-0.014608 \cdot 30}} \right]^{0.457552}$$

**3. 임분수확량 예측**

1) 임분재적 추정

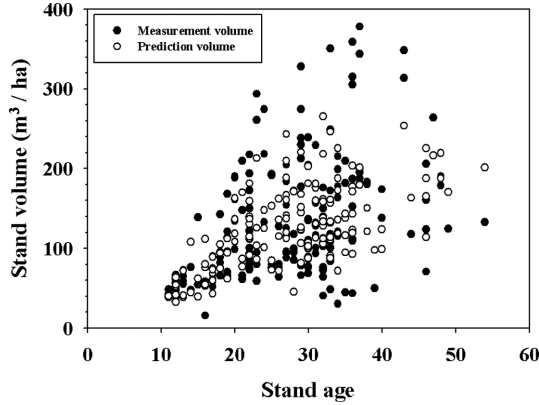
직경분포모델을 이용하여 아까시나무 임분재적을 추정 한 결과 검정통계량은 Table 5와 같으며, 식의 적합성은 약 50% 정도로 나타났다. 그리고 아까시나무의 실제 재적값과 추정값을 비교한 바 Figure 3과 같이 나타났으

**Table 4. Equations and fitness index by growth factors in *Robinia pseudoacacia* stand**

Stand growth factors	Equations	Fitness index
DBH	$D = (0.4382 + 0.0341 \times SI) \times (\text{age}^{0.8192})$	0.69
Basal area	$BA = (-0.6089 + 1.3878 \times SI) \times (1 - \exp(-0.0133 \times \text{age}^{1.3868}))$	0.38
Min. DBH	$\text{Min. } D = -4.5917 + 0.6061 \times D + 39.0546 / H_D$	0.68
Max. DBH	$\text{Max. } D = 1.8948 + 0.8361 \times D + 0.6544 \times H_D$	0.78
Height	$H = H_D \left( 0.253 + \frac{0.058}{H_D} \right) \times \text{age} + 0.933 \times \ln(\text{fxad} + 1) - \frac{0.101}{\text{age}} \times H_D \times \ln(\text{fxad} + 1)$	0.71

**Table 5. Test statistic for stand volume equation in *Robinia pseudoacacia* stand.**

Species	FI	SEE	Bias	MAD
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.4937	60.2885	6.6513	45.2417

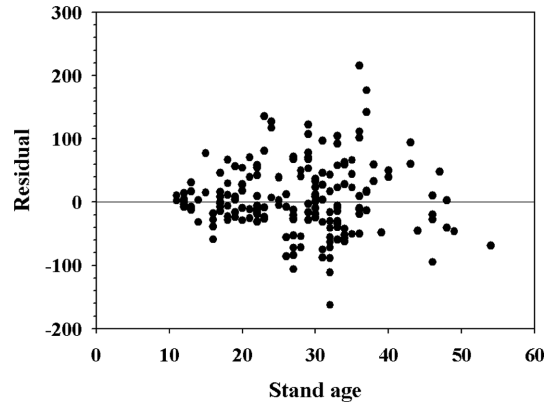


**Figure 3. Comparison between measurement volume data and prediction volume data in *Robinia pseudoacacia* stand.**

며, 이의 잔차도는 Figure 4와 같다. 본 분석에서의 추정 재적값은 30~40년 전후의 재적을 설명하는데 있어서는 약간의 과소 값을 가지나, 전반적으로는 잔차도 등을 고려할 때 아까시나무 임분 재적 추정에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

2) 임분성장량 평가 및 예측표

아까시나무 임분의 수확량을 알 수 있는 임분수확표를 상기의 추정식들을 이용하여 조제한 결과 아래와 같으며, 아까시나무는 다른 활엽수의 성장과는 달리 40년 전후로 정기성장량이 급격히 떨어지는 것(2 m³이하)으로 나타났다. 따라서 아까시나무의 벌기령 및 수확은 단벌기 경영이 유리할 것으로 판단된다.



**Figure 4. Residual scattergram for prediction volume.**

4. 탄소저장량 및 흡수량 산정

아까시나무의 탄소배출계수가 기존 연구에서 도출되어 있으므로(Son et al., 2013), 이를 이용하여 우리나라 아까시나무의 탄소저장량 및 흡수량을 산정하고자 하였다. Figure 1 및 Table 3에서 도출된 아까시나무 면적으로서 탄소저장량 및 흡수량으로 전환하고자 하였다. 이를 위해서는 활동자료 즉, 아까시나무 축적이 필요한데, 이 자료는 상기 ‘아까시나무 임분수확표’ 결과에서 가져 왔다. Table 1에 의하면 현재 아까시나무 평균 임령은 약 25년이며, 이에 해당하는 임분수확표 상의 ha당 축적은 134.8 m³이다. 이를 면적(26,770 ha)으로 곱하면 전체 축적 3,608,596 m³이 계산된다. 탄소계정의 국제적 지침(IPCC, 2003, 2006)에 의하여, 축적에 탄소배출계수를 적용하면, 탄소저장량 2,517,598 tC가 계산되고, 평균 임령을 나누면 연간 탄소흡수량 3.76 tC/ha/yr, 연간 이산화탄소흡수량 13.79 tCO₂/ha/yr.이 계산된다. 이는 많은 탄소를 흡수한다고 알려져 있는 참나무류 연간 이산화탄소 흡수량 12.1 tCO₂/ha/yr. 와 비교하여도 아까시나무가 많은 양이다(Korea Forest Research Institute, 2012). 또한 아까시나무 임분수

**Table 6. Stand yield table of *Robinia pseudoacacia* stand (Site index; 20).**

Stand age	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	Basal area (m²/ha)	Tree number (No.)	Stand volume (m³/ha)	Periodic increment (m³/ha)	Periodic incrementratio (%)	Mean annual increment (m³/ha)
10	7.39	8.64	7.53	1,765	43.37			4.34
15	10.30	10.30	11.80	1,425	76.13	6.55	11.00	5.08
20	13.00	11.70	15.50	1,173	107.50	6.28	6.84	5.38
25	15.70	13.00	18.60	977	134.80	5.45	4.50	5.39
30	18.20	14.10	21.00	910	157.00	4.45	3.05	5.23
35	20.60	15.10	22.90	784	174.30	3.45	2.08	4.98
40	23.00	16.00	24.20	682	187.00	2.55	1.41	4.68
45	25.30	16.80	25.20	599	196.10	1.81	0.95	4.36
50	27.60	17.60	25.80	531	202.20	1.23	0.62	4.04
55	29.90	18.30	26.30	475	206.10	0.77	0.38	3.75
60	32.10	19.00	26.60	429	208.30	0.44	0.21	3.47

확표 상 25년생 잔존 그루수인 977본을 나누어 1그루의 연간 이산화탄소흡수량을 계산하면 10.8 kg/yr. 으로, 이는 소나무 1그루 평균 흡수량인 6.6 kg/yr. 의 약 2배에 이르는 양임을 알 수 있다. 따라서 아까시나무는 꽃과 꿀만 주는 나무가 아니라 기후변화 시대에 온실가스의 주범인 탄소를 잡는 나무로서의 역할을 충분히 기대할 수 있을 것이다.

## 결 론

우리나라 아까시나무 분포 면적은 26,770 ha인 것으로 나타났으며, 본 자료와 직경분포모델, 수치임상도, 탄소배출계수 등을 이용하여 아까시나무 임목수확량 및 탄소저장량을 추정된 결과, 우리나라에 생육하고 있는 아까시나무는 연간 13.79 tCO<sub>2</sub>/ha/yr의 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났다. 이는 우리나라 소나무의 연간 이산화탄소 흡수량은 10.8 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 참나무류 12.1 tCO<sub>2</sub>/ha/yr, 전체 수종별 평균 10.4 tCO<sub>2</sub>/ha/yr 등과 비교할 때 결코 적은 흡수량이 아님을 알 수 있었다.

아까시나무의 기능 중 가장 처음에 서는 밀원식물로서의 기능은 이제 기후변화라는 화두 앞에서 탄소흡수원으로서의 기능 뒷자리에 설지도 모르는 일이다. 여타 다른 수종보다 우수한 탄소흡수원으로서의 능력과 탄소를 절감할 수 있는 연료 기능으로서의 아까시나무를 다시 보아야 하는 시기가 온 것은 아닐까 생각해 본다.

본 연구는 아까시나무의 생장적인 측면과 환경적인 효용 등에 대해서만 고찰하고 정리하여 본 것이다. 이제 좀 더 다른 시각에서 아까시나무의 또 다른 효용과 가치를 재인식할 필요가 있으며, 생장 뿐만아니라 조림, 갱신, 생리, 수확, 이용 등 제 방면에서 연구와 정책을 추진함이 바람직하다고 사료된다. 그리고 대국민 차원에서 기능성 홍보와 친화성을 설명해 주는 기획의 시간을 가져야 할 것이라고 생각된다.

## References

Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H., and Bailey, R.L. 1983. Timber management - A quantitative approach-. John Wiley & Sons. pp. 333.  
Garcia, O. 1981. Simplified method-of-moments estimation for the

Weibull distribution. New Zealand Journal of Forestry Science 11(3): 304-306.  
IPCC. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama, Japan. pp. 3.24.  
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. pp. 2.12-2.13.  
Jeon, Y.W. 2012. Wrong common sense for forest. <http://blog.daum.net/hamgge11/42>.  
Korea Forest Research Institute. 2011. Cartography manual for Forest type map. pp. 10.  
Korea Forest Research Institute. 2012. Standard carbon removal of major forest species. Korea Forest Research Institute, briefing memo. pp. 18.  
Korea Forest Research Institute. 2013. Distribution of major species based on digital forest type map (1:5,000) in Korea. pp. 15.  
Lim, K.B. 1994. A study on the development of new demand for utilization and silviculture in *Robinia pseudoacacia*. Korea Forest Service. pp. 211.  
Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2010. Cultivating countermeasures of apiculture. pp. 39.  
Park, J.H. 1997. Utilization and trend of *Robinia pseudoacacia*. Korea Research Society of *Robinia pseudoacacia*. pp. 56-78 (in Korean).  
Park, Y.G. 2008. *Robinia pseudoacacia*. Yoo Han Co. pp. 326.  
Ryu, S.Y. 1992. *Robinia pseudoacacia* and Korea's apiculture. Korea Forest Research Institute, Research Note 65. pp. 53-79 (in Korean).  
Son, Y.M., Jeon, J.H., Pyo, J.K., Kim, G.N., Kim, S.W., and Lee, K.H. 2012. Development of Stem Volume Table for *Robinia Pseudoacacia* Using Kozak's Stem Profile Model. Gyeongsang National University, Journal of Agriculture & Life Sciences 46(6):43-49.  
Son, Y.M., Kang, J.T., Chung, Y.G., Lee, K.S., and Yoo, B.O. 2013. Development of statistics infrastructure for forest greenhouse gas. Korea Forest Research Institute Report. pp. 477-515.  
The Forest Experiment Station. 1925. *Robinia Pseudoacacia* in Korea (question and answer). Bulletin of the forest experiment station, No. 1. pp. 17-19.