

아까시나무 임분의 갱신형태에 따른 생장량 변화 비교

이상태¹ · 정상훈¹ · 김우용² · 손영모^{2*}

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²씨엔 산림경영연구소

Comparison of Growth Change According to Regeneration Types in *Robinia pseudoacacia* Forests

Sangtae Lee¹, Sanghoon Chung¹, Wooyong Kim² and Yeongmo Son^{2*}

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pochon 11186, Korea

²Forest Management Research Center, CN Corporation, Anyang 14059, Korea

요약: 본 연구는 아까시나무림의 지위지수 추정과 두 가지 갱신형태(인공조림과 천연갱신)에 따른 생장량 차이를 구명하기 위해 수행하였다. 아까시나무림의 지위지수는 Schumacher 모델을 적용시켜 도출하였으며, 지위지수의 범위는 8~16 이었다. 조림지와 천연갱신지에서 지위지수의 평균값이 서로 차이가 있는 지에 대해 t-test를 실시하였다. T-test 결과, 지위지수의 평균 값은 조림지 13.3, 천연갱신지 12.7로 나타났으며, 유의수준 5%에서 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그리고 아까시 나무림의 입목재적 추정식은 Chapman-Richards 모델 등 3가지 모델을 적용시킨 결과, 적합도와 잔차도 등을 고려할 때 Weibull 모델이 최적인 것으로 밝혀졌다. Weibull 모델로 도출된 재적을 임령으로 나누어 연평균 재적생장량을 구하였으며, 이 생장량의 최고 지점은 임령 32년일 때 4.481 m³/ha/yr 이었다. 갱신형태별로 두 집단 간 연평균 생장량 차이를 구명하기 위하여, 지위지수를 하나로 고정시킨 후 통계적 검정(t-test)을 실시하였다. 지위지수가 12일 때 조림지와 천연갱신지에서의 연 평균 생장량은 집단 간 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 향후 이러한 연구 결과는 아까시나무림의 조림계획 및 경영전략 수립에 과학적 근거로 활용할 수 있을 것이다.

Abstract: This study estimated the site index of *Robinia pseudoacacia* forests and examined differences in growth between artificial and natural regeneration forests. The site index of *R. pseudoacacia* forests was derived using the Schumacher model, and ranged from 8 to 16. A t-test was performed to assess differences in the mean site index between artificial and natural regeneration forests. The results showed that the mean site index was 13.3 for artificial regeneration forests and 12.7 for natural regeneration forests ($P < 0.05$). To estimate the stand volume of *R. pseudoacacia* forests, three model -including the Chapman-Richards model- were applied. Based on the fitness index and residual analysis, the Weibull model was identified as the most appropriate model. The stand volume estimated using the Weibull model was divided by stand age to calculate the mean annual increment (MAI). The peak MAI was 4.481 m³/ha/yr at stand age 32. To evaluate differences in MAI between the two regeneration types, a t-test was conducted after fixing the site index to a single value. When the site index was set to 12, the MAI did not differ significantly between artificial and natural regeneration forests. These findings provide a scientific basis for silvicultural planning and management strategies in *R. pseudoacacia* forests.

Key words: artificial regeneration, mean annual increment (MAI), natural regeneration, *Robinia pseudoacacia*, site index, t-test

서론

산림을 새로운 임분으로 변화시키기 위한 갱신에는 인위적으로 임분을 조성하는 인공갱신과 자연의 갱신력을 활용하는 천연갱신이 있으며, 인공갱신은 조림을 통해 이루어지고, 천연갱신은 그 지역에서 자라던 수종의 씨앗이 어린나무로 재발현되거나, 수목 벌채 후 벌근에서 맹아로 발생하

* Corresponding author

E-mail: ymson@cn-corp.com

ORCID

Yeongmo Son  https://orcid.org/0000-0002-9346-4351

여 생존을 지속시키는 경우가 있다(KFS, 2007).

아까시나무는 천연갱신이 비교적 잘 되는 수종으로 북미가 원산지로 알려져 있으며, 1900년대 초에 서울 용산구 육군본부 자리와 경인선 철도변에 당시 조선총독 데라우치 마사타케(寺內正毅)에 의해 처음 식재되어 전국적으로 확산되었다(The Forest Experiment Station, 1925). 이후 이 수종에 대해서 조림 확대 및 정책 계획수립·이행 이력은 보이지 않으나, 1960년대 들어 국민들의 취사 및 방한을 위한 연료원, 그리고 산지 사방용으로 다시 아까시나무의 재조림이 시작되었다. 기록에 의하면, 1960~1967년까지 전국에 약 13억 그루가 조림이 된 것으로 나타나며, 1978년말 까지 누적합계로는 약 16억 그루, 면적 32만ha에 조림이 이루어졌다(Kim, 1993).

최근 들어 세계 각국에서는 왕성한 번식력을 가진 아까시나무가 산, 하천, 해안 등지에 여러가지 경로로 침입 및 정착하여 다른 식물의 성장을 방해하거나 고유 식생의 군집 동태를 변화시켜, 생태계의 다양성 저하를 유발하는 등 부정적인 영향이 이슈화된 적이 있다(Tamura et al., 2007; Vilà et al., 2008; Sádlo et al., 2017). 또한 국내에서도 일제에 의해 도입 식재되었다는 점과 맹아 등으로 치수가 주택, 논밭, 묘지 등으로 침입 함에 따라 아까시나무의 부정론이 2000년대에 대두되었으나, 이제는 이러한 인식은 저하된 상태이며, 밀원수종으로 또한 조경수종으로 천연갱신되거나 재조림되고 있는 실정이다(Park, 2008; Kim et al., 2022; Song et al., 2023)

우리나라에서 아까시나무는 당초 인공적으로 조성이 되었으나, 이제는 천연림화 되었다고 볼 수 있으며, 이것은 이 수종의 뛰어난 맹아갱신에 의한 영향력에 기인한다. 또한 이 수종은 한해에 수고가 1~2 m씩 자라고 3, 4년이면 부피가 12~15 m³/ha에 달해 연료림 조성용으로 우수한 수종 중 하나이며, 비교적 높은 발열량(4,200 cal)을 가진 것으로도 알려져 있다(Park, 2005; Lee, 2024).

이 시점에서, 동일한 수종이라 하더라도 인공적인 조림과 천연갱신을 통해 조성된 산림 간에 성장 및 임분 구조에서 차이가 있을 것이라는 의문이 제기될 수 있다. 이러한 갱신 방법에 따른 성장 차이에 대해서는 해외에서는 다양한 수종을 대상으로 활발히 연구되어 왔으며, 국내에서도 참나무류,

소나무, 물푸레나무, 자작나무 등을 대상으로 성장 차이 및 식생 구조 변화에 대한 연구가 수행되어 왔다(Lowell et al., 1987; Lee et al., 2000; Kim, 2003a, 2003b, 2004; Na et al., 2011; Crous and Burger, 2015; Fabbio, 2016; Chung et al., 2018; Chudy et al., 2022).

그러나 국내 아까시나무림에서 조림, 맹아, 천연하종에 따른 식생군집 변화 및 성장 차이를 구명한 연구는 보고된 바 없다. 이에 본 연구는 아까시나무림의 천연갱신과 인위적 조림에 따른 집단 간 성장차이를 구명하고, 향후 임분 조성 및 관련 수종의 산업화 정책 수립에 기초 자료를 제공하고 자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시 재료

본 연구를 위하여 국가산림조사(national forest inventory, NFI 5차~7차) 상 아까시나무가 대표 종으로 나타나는 각 조사 차수별 표본점을 모두 하나의 임시 표본점으로 간주하여 자료를 분석용으로 DB화하였다. 표본점 내에서 임령, 우세목 수고 등이 미기재되었거나, 임령에 따른 직경, 흉고단면적 성장량 등이 이해하기 어려운 과소 값 또는 과대 값을 보이는 표본점은 분석에서 제외하였다. 표본점 조사 시 기록되는 갱신형태 즉, 인공조림(이하 ‘조림’), 천연하종갱신(이하 ‘천연갱신’) 또는 맹아갱신으로 임분이 진행되는지에 대한 정보를 중심으로 분석 자료가 구축되었다.

5차~7차 국가산림조사 표본점 자료 중 아까시나무가 대표 종으로 나타나는 곳은 총 626개 plots이었으며, 이중 맹아갱신지는 12 plots, 조림지 265 plots, 천연갱신지 347 plots, 기타 2 plots인 것으로 나타났다. 이들 중 기타로 표현된 표본점은 처음부터 분석에서 제외시켰으며, 맹아갱신지로 나타난 표본점도 임령 및 흉고단면적 미기록이 3곳으로 나타나 이용가능한 표본점은 9 plots에 불과하였다. 따라서 맹아갱신지는 조림지와 천연갱신지에 비해 표본점 수가 상대적으로 적어 그 특성을 충분히 나타내기 어려웠으므로, 분석에서 제외하였다.

Table 1은 분석에 사용된 아까시나무 표본점의 성장량에 대한 일반적 개요를 나타낸 것이며 이들 자료는 맹아갱신지

Table 1. General characteristics of sample plots by regeneration types in *Robinia pseudoacacia* forests

Regeneration types	No. of plots	Stand age	Mean DBH (cm)	Mean height (m)	No. of trees (trees/ha)
Artificial*	240	$\frac{30}{12-48}$	$\frac{18.6}{7.7-36.4}$	$\frac{12.6}{4.6-21.0}$	$\frac{1,003}{225-2,325}$
Natural**	323	$\frac{31}{15-52}$	$\frac{18.9}{7.9-30.3}$	$\frac{12.6}{6.2-19.2}$	$\frac{961}{150-2,400}$

*Artificial regeneration forests, **Natural regeneration forests

자료의 기각 뿐만아니라 일부 극한값, 성장량 미기록 등이 나타난 표본점은 분석자료에서 제외한 정보이다. 분석에 이용한 전체 표본점은 563 plots이었으며, 국내 아까시나무림 조림지와 천연갱신지 모두 수고, 직경, 입목본수 등 전반적인 성장상태는 유사한 것으로 나타났다.

2. 분석 방법

1) 갱신형태별 임지생산력 비교를 위한 지위지수 도출
아까시나무림이 조림 및 천연갱신에 따라 임지생산력에 차이가 있는지를 파악하기 위하여, 기준임령 30년인 지위지수를 아래와 같은 Schumacher 모델을 적용시켜 도출하고 통계 검정하였다(Schumacher, 1939). Schumacher 모델에 의한 지위지수곡선은 임령별 우세목 수고를 동형 곡선 또는 변태 곡선으로 나타내 주는 대표적인 모델로서 임령 초기의 우세목 곡선을 잘 표현시켜 주고 있어 이를 사용하였다(Sadono, 2017; Mojena et al., 2019).

$$SI = \exp \left[\ln H_D + b \left(\frac{1}{t_i} - \frac{1}{t_j} \right) \right] \quad (1, \text{Schumacher model})$$

(Where is, SI : Site index, H_D : Dominant tree height, t_i : Stand age, t_j : Base age(30), b : Parameters)

아까시나무림의 지위지수를 도출한 후, 조림지와 천연갱신지 간에 지위지수의 범위 및 크기가 차이가 있는지를 파악하기 위해 t-test 실시하였으며, 통계적 검증은 유의수준 5%에서 유의성을 알아 보았다. 이 검증 결과에 따라 두 개 집단 간에 유의미한 차이가 난다면, 이들은 동일한 지위지수 식을 사용할 수 없으므로 별도로 추정식을 개발할 필요가 있다.

$$t\text{-value} = \frac{\overline{x_a} - \overline{x_b}}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

(Where is, $\overline{x_a} - \overline{x_b}$: Mean difference, $\frac{s}{\sqrt{n}}$: Standard deviation)

2) 아까시나무림의 성장량 추정식 도출

갱신형태를 떠나 아까시나무림의 입목재적을 알 수 있는 추정식을 도출하였으며, 식은 성장량 추정에 일반적으로 사용되는 Chapman-Richards 모델(C-R 모델), Weibull 모델, Monomolecular 모델을 적용시켰다(Richards, 1959; Draper and Smith, 1981; Ratkowsky, 1983). C-R 모델 및 Weibull 모델은 일반적으로 널리 알려진 함수식이나, Monomolecular 모델은 Mitscherlich 함수로 더 널리 알려져 있으며, 농업과

경제학에서는 수확체감의 법칙, 화학에서는 질량 작용의 법칙을 설명할 때 빈번히 이용되고 있다. Richards(1969)는 20세기 초에 독일 농업학자인 Mitscherlich의 이름을 따서 Mitscherlich 식이라 언급하고 이를 이용하였으나, 이 함수의 형태는 1891년 Weber가 입목의 성장을 설명할 때 이미 사용하였음이 일부 문헌에서 나타나고 있다(Zeide, 1993).

$$Y = a(1 - e^{-b \text{ age}})^c \quad (2, \text{C-R model})$$

$$Y = a(1 - e^{-b \text{ age}^c}) \quad (3, \text{Weibull model})$$

$$Y = a(1 - b e^{-c \text{ age}}) \quad (4, \text{Monomolecular model})$$

(Where, Y = Growth, age = Stand age, a, b, c = Parameters)

상기의 모델은 적합도지수(fitness index, FI), 오차의 추정 오차(SEE), 편의(bias), 잔차(residuals) 등으로서 통계적 활용 타당성을 검정하였다.

그리고 도출된 최적 모델로 입목재적을 산정하고, 임령별 연평균 성장량(mean annual increment, MAI)을 계산하였다.

$$FI = 1 - \sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(Y_i - \bar{Y})^2}, SEE = \sqrt{\sum \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n - p)}}, Bias = \sum \frac{(Y_i - \bar{Y})}{n}$$

(Where, $Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y}$ = Measurement, estimate and mean of growth, respectively, n = Number of sample, and p = Number of model parameters)

3) 지위지수 고정에 의한 갱신형태별 성장량 비교

아까시나무림의 지위지수와 성장량은 갱신형태별로 다양한 크기와 범위를 가질 것이다. 따라서 갱신형태별로 성장량 차이를 확인하고자 한다면 기준점이 있어야 하는데, 해결책은 하나의 지위지수를 선택하는 것이다. 즉, 선택된 지위지수를 갖는 표본점만을 추출하여, 표본점 내 조림지와 천연갱신지에서의 연평균 성장량 차이 여부를 알아보고자 하였다.

이런 유사한 방법의 사용은 Simonsen(2013)이 스웨덴 Scots pine을 대상으로 위도, 고도, 지위지수, 할인률 등을 변수로 하는 모델을 적용시킨 예에서 찾을 수 있다. 이 모델은 위도(2개), 고도(4개), 지위지수(7개), 할인률(5개)을 서로 조합하여 고정시켰을 때 순현재가치(net present value)로서 어떤 갱신방법이 최적인지 확인한 연구였다. 또한 갱신방법별 비교를 위해 사용한 성장 모형은 임분이 밀도, 연령, 수종 측면에서 완전히 균일하다고 가정하고 있어, 본 연구에서의 지위지수 고정이라는 것과 일맥상통한다 할 수 있다.

Soto-Cervantes et al.(2023)의 연구도 *Pinus durangensis* 임분의 조림지와 천연갱신지의 바이오매스와 탄소량의 비교하면서, 두 집단 간 임령을 산정하여, 동일 임령일 때 이를 비교하는 방법을 적용하였다.

본 분석에서 연평균 성장량 차이에 대해서는 t-test로 통계처리 하였다. 그리고 이런 모든 통계분석은 SAS 프로그램(ver 6.2)으로 처리하고, 이를 해석하였다(Sung, 2014).

결과 및 고찰

1. 아까시나무림 지위지수 추정식 도출 및 갱신형태별 차이 검정

1) 지위지수 추정식

아까시나무림에서의 임지생산력을 알 수 있는 지위지수는 Schumacher 모델을 적용시켜 도출하였으며, 파라미터 및 통계적 검정치는 (eq. 5)와 같이 나타났다. 지위지수(SI)와 우세목 수고(H_D)의 위치를 바꾸고, 파라미터 $b(17.415033)$ 의 부호를 '-'로 바꾸어 주면 우세목 수고로 전환할 수 있는 식으로 유연성이 있는 수식이다(Yoon et al., 2021).

아까시나무림의 지위지수 추정식의 적합도 지수는 0.3053으로, 편의 -0.2042, 오차의 표준오차가 2.3808로 나타났다는데, 실제로 이 수치는 우세목 수고 추정식에 대한 통계적 검정치라 볼 수 있으며, 지위지수는 몇 개의 범위를 갖는 2 cm 팔각의 선으로 표현되므로 지위지수에 대한 통계적 검정치는 필요없다고 볼 수 있다. 우세목 수고를 추정한 수식의 통계적 검정치 외에 이의 활용성을 알아보기 위하여 수식의 잔차도를 Figure 1과 같이 도식화하였는데, 잔차도

가 “0”을 중심으로 고르게 분포하고 있어 이 수식의 활용에는 전혀 문제가 없음을 알 수 있었다.

Park et al.(2025)은 일본잎갈나무림의 지위지수 추정에 Schumacher 모델을 적용시켜 적합성은 0.5895라 하였고, 잔차도 검정을 거쳐 이 모델이 충분한 활용성이 있다고 보고하였다.

$$SI = \exp \left[\ln H_D + 17.41503 \left(\frac{1}{age} - \frac{1}{30} \right) \right] \quad (5)$$

(FI: 0.3053, Bias: -0.2042, SEE: 2.3808)

2) 갱신형태별 지위지수 차이 검정

아까시나무림 조림지와 천연갱신지에서의 표본점별 지위지수 평균값이 집단간 차이가 있는 지 알아 보고자 하였다. 이들 두 집단 간의 비교를 위하여 t-test를 실시하였으며, 유의수준 5%에서 통계적 검정을 실시한 결과 Table 2와 같다. 조림지와 천연갱신지에서의 지위지수는 두 집단 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 조림지(13.3)의 지위지수가 천연갱신지(12.7) 보다 약간 높은 것으로 나타났는데, 이는 아까시나무림을 조성할 때 임지생산력을 고려하여 적지를 찾아 조림하였기 때문이라 판단된다.

수고생장은 아니지만, Kim(2003b)은 12~13년생 거제수나무, 물박달나무, 자작나무 직경생장에 조림지가 천연림보다 2~3 cm 크다고 하였으며, 또한 Kim(2004)은 9년생 가래나무의 직경생장에 천연림이 조림지보다 더 우수하다고 하여 수종별로 약간 상반된 결과를 보였다. Na et al.(2011)은 금강소나무 I영급지에서 흉고직경 생장이 천연갱신지가 조

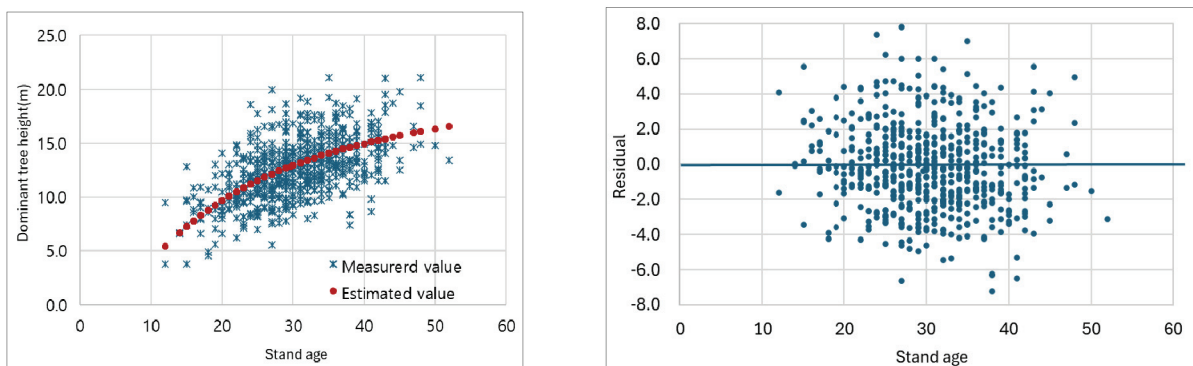


Figure 1. Curve form of dominant trees height and residuals diagram according to site index equation in *Robinia pseudoacacia* forests.

Table 2. T-test procedure table of site index in *Robinia pseudoacacia* forests

Regeneration types	Sample	Mean site index	SE	T-value	Prob. > T
Artificial	240	13.3	0.1836	2.7010	0.0071
Natural	323	12.7	0.1290		

림지보다 약 2 cm 정도 크다고 하였고, Yoon et al.(2020)은 고로쇠나무 흉고직경의 연평균 생장량이 인공림이 천연림보다 1.6배 더 높다고 하였다. 이러한 결과를 볼 때, 수종별, 입지별, 임령별로 조림지와 천연갱신지의 생장 차가 일관적으로 나타나지는 않음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 조림지와 천연갱신지 간에 지위지수의 차이가 존재하므로, 이들 두 집단은 서로 별도로 지위지수를 개발하여 사용함이 과학적으로 타당할 것으로 보인다. 이들 두 개 집단의 지위지수 추정식을 도출한 결과 다음 (eq. 6), (eq. 7)과 같으며, 지위지수 분류곡선은 Figure 2와 같다.

$$SI = \exp \left[\ln H_D + 18.94425 \left(\frac{1}{age} - \frac{1}{30} \right) \right] \quad (6, \text{Artificial regeneration})$$

$$SI = \exp \left[\ln H_D + 16.54779 \left(\frac{1}{age} - \frac{1}{30} \right) \right] \quad (7, \text{Natural regeneration})$$

Figure 2를 보면, 갱신형태별 지위지수 곡선의 형태가 약간 다른 것을 볼 수 있는데, 조림에 따른 지수 분류곡선(a)이 천연갱신 곡선(b)보다 약간 상위에서 위치하고 있음을 알 수 있다. 또한 천연갱신지의 지위지수 곡선이 조림지보다 유령기에 다소 기울기가 급한 것으로 나타났다. 이것은 천연갱신지에서의 우세목 수고생장이 유령기에 조금 더 빠른 것을 의미한다. 이런 현상은 임령 30년까지 이어지며, 그 이후는 조림지에서의 우세목 수고생장이 천연갱신지 보다 높게 형성됨을 볼 수 있었다.

그리고, Figure 2에서 국내 아까시나무림의 평균적인 지위지수 범위는 8~16 이라 볼 수 있다. 이 결과는 NIFoS(2024)

이 국가산림조사 자료로서 제시한 지위지수 분류표 상의 소나무, 리기다소나무, 곰솔, 신갈나무림 지위지수 범위와 일치하는 것이었다.

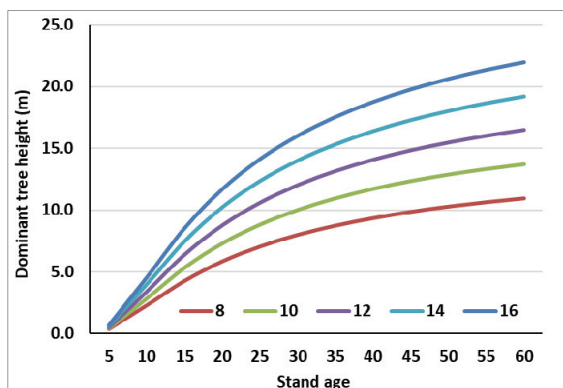
2. 갱신형태별 재적 생장량 비교

1) 입목재적 추정식 도출

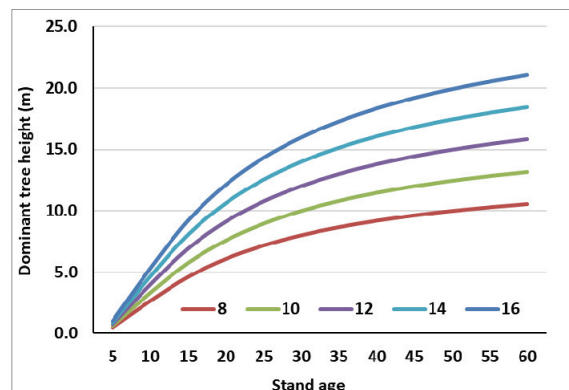
아까시나무림의 임령에 따른 입목재적 생장량을 추정하기 위하여 일반적으로 활용되는 C-R 모델 등 3개 모델로서 추정식을 도출하고, 통계검정량으로 최적의 모델을 선택하였다(Table 3).

3개 모델의 적합도 지수와 오차의 표준오차는 거의 차이가 없으며, 편의는 Monomolecular 모델이 3개 모델 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 입목재적 추정을 위한 최적모델을 찾기 위해 Figure 3과 같이 잔차도를 도식화하여 어떠한 추정 곡선식이 측정치의 중간을 통과하는 지를 파악하였다. Monomolecular 모델이 다른 두 개 모델과 비교해 볼 때, 유령기일 때 과소값을 갖는 것이 특징이며, C-R 모델과 Weibull 모델은 Monomolecular 모델과 같은 잔차는 보이지 않았다. 다만 Figure 3(b)가 Figure 3(a)보다 유령기일 때 미세하게 잔차가 적었다. 따라서 적합도 지수와 잔차도를 고려할 때, 아까시나무림의 입목축적을 설명하는 데는 Weibull 모델이 최적임을 알 수 있었다.

Dagogo et al.(2020)은 농업적인 생산성을 위한 실제 데이터 분석에 Richards, Gompertz, Weibull 모델을 적용시켜, Weibull 모델이 생장곡선을 위해 최적이라고 하였으며, 국내에서는 Park et al.(2015)은 제주지역 곰솔 수고생장에 다양한 비선형 생장모델을 적용시켜 수고-임령 간 관계는 Weibull 모델이 최적임을 밝혀 본 연구와 모델 적용이 일치하였다.



(a) Artificial regeneration

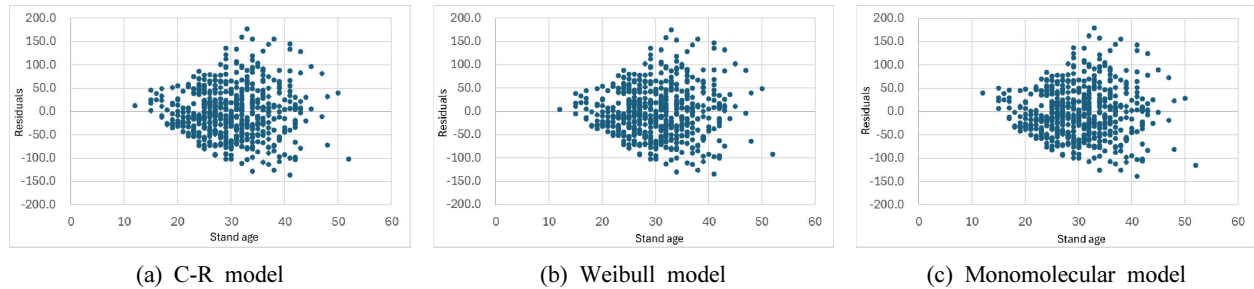


(b) Natural regeneration

Figure 2. Site index classification curve by regeneration types in *Robinia pseudoacacia* forests.

Table 3. The growth estimation equations for standing trees in *Robinia pseudoacacia* forests.

Regeneration types	Sample	Mean MAI (m ³ /ha)	SE	T-value	Prob. > T
Artificial	69	3.839	0.1714	0.5643	0.5733
Natural	101	3.700	0.6642		

Figure 3. Residual diagrams of stand volume estimation equation in *Robinia pseudoacacia* forests.

2) 연평균 성장량 및 연년 성장량 계산

Weibull 모델을 적용시켜 아까시나무림의 입목재적을 추정하고, 이를 이용하여 연평균 성장량(MAI)을 도출하였는데, 입목재적 추정식에 따른 재적 곡선과 이를 임령으로 나눈 연평균 성장량을 도식화하였다. 아까시나무림의 입목재적 성장 곡선은 전형적인 sigmoid curve를 보이고 있다(Figure 4). 임령 40년 정도부터는 성장량이 정체되는 점근선을 갖는 것으로 나타났으며, 연평균 성장량은 임령 32년에 4.481 m³/ha/yr로 최고였고, 연년 성장량(current annual increment, CAI)은 임령 24년일 때 7.962 m³/ha/yr로 최고 성장량을 보였다. 여기서 연년 성장량을 그래프에 표시한 것은 연평균 성장량과 연년 성장량이 만나는 지점이 재적성장 최대별기령으로 알려져 있어 이를 제시하였다. 아까시나무림의 재적생산 최대를 위해서는 임령 32년을 기점으로 모두베기를 실시하여 목재수확을 하되, 현장 상황에 따라 그 시기를 일부 조정할

수 있을 것이다.

Yoon et al.(2021)이 국가산림조사 자료로서 연평균 성장량 최대 시점을 분석한 결과, 중부지방소나무는 34년, 일본잎갈나무 35년, 리기다소나무 31년, 굴참나무 32년, 상수리나무 30년, 신갈나무 29년이라 하여, 본 분석과는 굴참나무림과는 정확히 일치하였으며, 다른 수종과도 거의 최대 시점이 유사하게 나타났다.

3) 갱신형태별 동일 지위지수에서의 연평균 성장량 비교

아까시나무림 조림지와 천연갱신지에서의 성장량 차이를 비교하기 위하여 연평균 성장량을 이용하였다. 두 갱신지의 재적성장식을 이용하여 재적곡선을 도출하여, MAI를 구하였다(Figure 5). Figure 5에서, 두 집단의 MAI는 곡선형태가 차이가 있음을 보이는데, 이는 상기의 갱신형태별 지위지수 곡선이 차이가 있는 것과 동일한 의미이다.

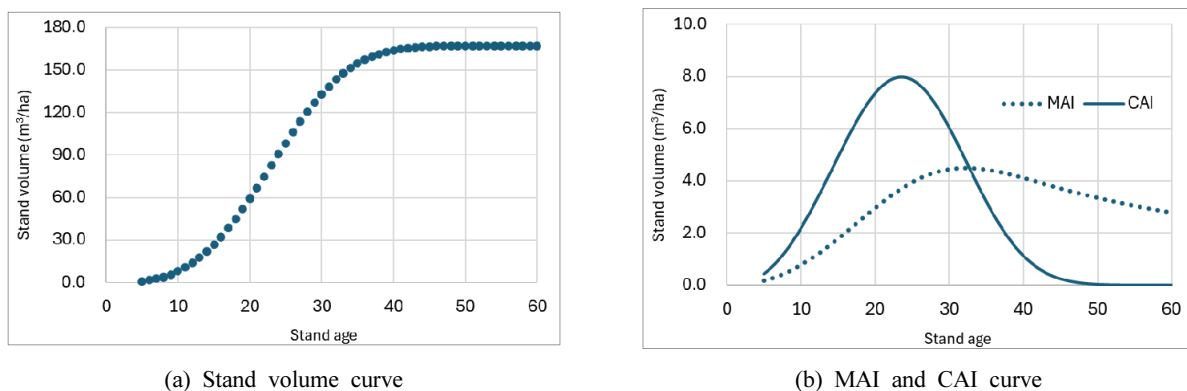
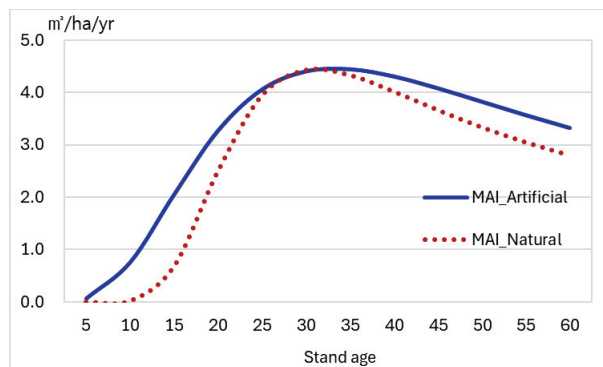
Figure 4. Mean annual increment curve and growth curve according to stand volume estimation equation in *Robinia pseudoacacia* forests.

Table 4. T-test result of mean annual increment by fixing the site index

Equations	Parameters			FI	bias	SEE
	a	b	c			
C-R model $Y = a(1 - e^{-b \text{ age}^c})$	179.834446	0.127115	13.769333	0.2444	0.1387	58.6525
Weibull model $Y = a(1 - e^{-b \text{ age}^c})$	167.137793	0.000031	3.183842	0.2453	0.0495	58.6156
Monomolecular model $Y = a(1 - b e^{-c \text{ age}})$	213.942437	2.205134	0.057506	0.2395	-0.0007	58.8410

Figure 5. Mean annual increment curve between artificial and natural regeneration in *Robinia pseudoacacia* forests.

따라서 앞선 분석에서 지위지수는 이미 갱신형태별로 차이가 있음이 밝혀졌기 때문에, 일반적인 성장량 비교는 의미가 없다. 지위지수는 임령에 따른 우세목 수고(m)로 표현되는 수고 중심의 일차원적 측면이고, 재적성장량(m³)은 임령에 따른 부피생장으로 3차원적 측면이므로, 동일한 임종, 동일한 수종은 유사한 패턴으로 진행됨이 타당할 것이다. 그러나 아까시나무림에 있어 조림지와 천연갱신지의 생장은 상호 간 성장 패턴이 다를 수도 있으므로, 지위지수를 고정시켜서 성장량 차이를 알아보고자 하였다.

본 분석에서는 아까시나무림 지위지수 “12”인 표본점을 취합하여 연평균 성장량을 t-test 하였다. 아까시나무림의 지위지수가 12인 전체 표본점은 170 plots(조림지 69 plots, 천연갱신지 101 plots)였으며, 이를 t-test한 결과, 두 집단 간에는 통계적 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 4). 조림지와 천연갱신지에서의 연평균 성장량은 3.839 m³/ha/yr, 3.700 m³/ha/yr으로 각각 제시되어 수치상으로도 거의 유사한 값을 알 수 있었다.

따라서 조림 또는 천연갱신된 아까시나무림에 있어 임지 생산력(지위지수)이 동일한 입지에서는 서로 다른 갱신형태, 입목 본수의 다양성, 흉고직경의 분포 및 성장 차이 등이 있을 수 있지만, 입목재적 추정식을 별도로 적용할 필요가

없으며, 재적에 따른 연평균 성장량 역시 구분하여 적용할 필요가 없음을 알 수 있었다.

결론

국내 아까시나무림은 과거 조림된 이후 맹아갱신을 거듭하며 천연림화로 진행되었고, 현재는 신규 조림지를 제외하면 맹아갱신이나 천연하종갱신으로 이루어진 임분이 대부분이다. 이런 점에서 조림지와 천연갱신된 임분에서의 성장 차이를 구명하고자 하였으며, 먼저 두 집단에서의 지위지수 차이가 있을지, 그리고 동일한 지위지수 조건 하에서 연평균 재적성장량이 집단 간 차이가 있을 지를 분석하였다. 그 결과, 조림지는 천연갱신지보다 지위지수가 통계적으로 유의하게 높았으나, 동일 지위지수 조건에서는 연평균 재적성장량에 유의한 차이가 없었다.

이것은 갱신형태가 다르면 지위지수는 차이가 있지만, 지위가 동일한 조건에서는 성장량에는 변화가 없음을 보여주는 것이다. 또한 아까시나무림의 MAI와 CAI를 분석한 결과, 재적수확 최대별기령은 32년으로 나타났다. 이는 임령 32년 전후에 이를 때 아까시나무림을 모두베기하면, 재적수확을 극대화할 수 있을 것이다.

아까시나무는 용재수, 밀원수로서의 가치뿐만 아니라 탄소배출계수 중 하나인 목재기본밀도 (basic wood density)가 높아 탄소흡수원으로서도 잠재력이 우수한 수종이므로, 정부나 산주가 경영 목적을 어디에 두느냐에 따라 다양한 활용성이 존재한다. 이런 다목적 기능 수종은 지속적으로 확대 조림할 필요가 있으며, 마침 산림청은 2020년부터 밀원수를 매년 150 ha씩 조림하겠다는 구상을 밝힌 바가 있다.

따라서 향후 아까시나무림의 신규 조림이나 재조림을 추진할 경우, 본 연구에서 제시한 지위지수를 활용하여 적지적수를 실현하는 것이 필요하다. 또한 천연갱신지가 조림지의 임지생산력에 미치지 못한다는 점을 고려하여, 조림·육성·관리 정책을 수립하는 것이 바람직하다.

References

- Chudy, R., Cubbage, F., Siry, J. and Chudy, J. 2022. The profitability of artificial and natural regeneration: A forest investment comparison of Poland and the U.S. South. *Journal of Forest Business Research* 1(1): 1-20.
- Chung, S.H., Lee, Y.G. and Lee, S.T. 2018. Characteristics of occurrence and growth for oak sprouts on the slope: with particular focused on Chungcheong region of south Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 107(4): 336-343.
- Crous, J.W. and Burger, L. 2015. A comparison of planting and coppice regeneration of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* clones in South Africa. *Southern Forests: A Journal of Forest Science* 77(4): 277-285.
- Dagogo, J., Nduka, E.C. and Ogoke, U.P. 2020. Comparative analysis of Richards, Gompertz and Weibull Models. *IOSR Journal of Mathematics (IOSR-JM)* 16(1): 15-25.
- Draper, N.R. and Smith, H. 1981. *Applied regression analysis*. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc. New York. pp. 709.
- Fabbio, G. 2016. Coppice forests, or the changeable aspect of things, a review. *Annals of silvicultural Research* 40(2): 108-132.
- KFS (Korea Forest Service), 2007. Standard textbook for forest tending, III. silviculture. pp. 181.
- Kim, G.T. 2003a. Ecological forest management and reforestation problem –comparison of diameter increment of *Fraxinus rhynchophylla* between artificial, natural and coppice forest-. *Korean Journal of Environmental Ecology* 17(2): 105-111.
- Kim, G.T. 2003b. Ecological forest management and reforestation problem - comparison of diameter increment of three genus *Betula* between artificial and natural forest-. *Korean Journal of Environmental Ecology* 17(3): 224-231.
- Kim, G.T. 2004. Ecological forest management and reforestation problem - comparison of diameter increment of *Juglans mandshurica* between artificial and natural forest-. *Korean Journal of Environmental Ecology* 17(4): 309-315.
- Kim, J.W. 1993. Silviculture technique of *Robinia pseudoacacia*. The 7th Honeybee industry lesson. Korea Research Society of *Robinia pseudoacacia*, pp. 56-64.
- Kim, S.R., Song, J.E., Park, C.H. Min, S.H., Hong, S.H., Yun, J.H. and Son, Y.M. 2022. Development of diameter distribution change and site index in a stand of *Robinia pseudoacacia*, a major honey plant. *Journal of Korean Society of Forest Science* 111(2): 311-318.
- Lee, D.K., Kwon, K.C., Jin, Y.H. and Kim, Y.S. 2000. Sprouting and sprout growth of four *Quercus* species - At natural stands of *Quercus mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. acutissima* and *Q. dentata* growing at Kwangju-gun, Kyeonggi-do -. *Journal of Korea Forestry Energy Society* 19(2): 61-68.
- Lee, H.S. 2024. Current status of afforestation in north Korea and consideration of tree species for afforestation. *Journal of Agriculture & Life Science* 58(1): 1-7.
- Lowell, K.E., Mitchell, R.J., Johnson, P.S., Garrett, H.E. and Cox, G.S. 1987. Predicting growth and "success" of coppice-regenerated oak stems. *Forest Science* 33(3): 740-749.
- Mojena, P.A., Caldeira, S.F., Silva, D. and Wruck, F.J. 2019. Site index and height-growth curves for *Eucalyptus urograndis*. *Scientific Electronic Archives* 12(5): 21-26.
- Na, S.J., Kim, C.S., Woo, K.S., Kim, H.J. and Lee, D.H. 2011. Correlation of above- and below-ground biomass between natural and planted stands of *Pinus densiflora* for. *erecta* of one age-class in Gangwon province. *Journal of Korean Society of Forest Science* 100(1): 42-51.
- NiFoS (National Institute of Forest Science). 2024. The development of actual stand yield table and management system by major species. Research Report. pp. 173. (Inner research report).
- Park, G.D., Lee, D.S., Seo, Y.W. and Choi, J.K. 2015. Height growth models for *Pinus thunbergii* in Jeju Island. *Journal of Forest and Environmental Science* 31(4): 255-260.
- Park, J.H., Lee, S.T., Yim, J.S., Chung, S.H., Song, J.E., Kim, W.Y., Kang, H.S. and Son, Y.M. 2025. Derivation of site index and mean annual volume increment in *Larix kaempferi* forests using national forest inventory. *Journal of Agriculture & Life Science* 59(1): 57-64.
- Park, Y.G. 2005. Prospect of black locust trees in South Korea and North Korea. *Association Magazine of Apiculture* 291: 14-17.
- Park, Y.G. 2008. *Robinia pseudoacacia*. Yoo Han Co. pp. 326.
- Ratkowsky, D.A. 1983. *Nonlinear regression modeling*. Marcel Dekker, New York. pp. 276.
- Richards, F.F. 1969. The quantitative analysis of growth. Steward, F.C. (ed.). Academic Press, New York. pp. 435.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300.
- Sádlo, J., Vítková, M., Pergl, J. and Pyšek, P. 2017. Towards site-specific management of invasive alien trees based on the assessment of their impacts: the case of *Robinia pseudoacacia*. *NeoBiota* 35: 1-34.

- Sadono, R. 2017. Temporary site index for two-invented teak clones with generative regeneration in the State Forestland in East Java, Indonesia. *Advances in Environmental Biology* 11(5): 6-12.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application in timber yield studies. *Journal of Forestry* 37: 819-820.
- Simonsen, R. 2013. Optimal regeneration method - Planting vs. natural regeneration of Scots pine in northern Sweden. *Silva Fennica* 47(2), article id 928. <https://doi.org/10.14214/sf.928>
- Song, J.S., Kim, H.Y., Kim, J.S., Oh, S.H. and Cho, H.J. 2023. Vegetation classification and ecological characteristics of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in Gyeongbuk province, Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 112(1): 11-22.
- Soto-Cervantes, J.A., Corral-Rivas, J.J., Dominguez-Calleros, P.A., Lopez-Serrano, P.M., Montiel-Antuna, E., GarciaMontiel, E. and Perez-Luna, A. 2023. Comparison of carbon content between plantation and natural regeneration seedlings in Durango, Mexico. *PeerJ* 11: e14774, DOI: 10.7717/peerj.14774
- Sung, W.H. 2014. Applied multivariate analysis—Theory, methodology, SAS utilization. Book publishing Tam Jin. pp. 396.
- Tamura, H., Kaneko, T. and Makita, A. 2007. Structure of 50 year old black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) populations planted in a heavily smoke polluted area around Kosaka Mine, Akita Prefecture, northern Japan. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* 32(3): 432-439.
- The Forest Experiment Station. 1925. *Robinia Pseudoacacia* in Korea(question and answer). *Bulletin of the Forest Experiment Station* 1: 17-19.
- Vilà, M., Basnou, C., Gollasch, S., Josefsson, M., Pergl, J. and Scalera, R. 2008. One hundred of the most invasive alien species in Europe. In: *Handbook of alien species in Europe*. Springer. Dordrecht, Germany. pp. 265-268.
- Yoon, J.H., Bae, E.J. and Son, Y.M. 2021. Growth curve estimation of stand volume by major species and forest type on actual forest in Korea. *Journal of Korean Society of Forest Science* 110(4): 648-657.
- Yoon, J.H., Bae, E.J., Jeon, H.G., Son, Y.M. and Lee, J.H. 2021. Site index estimation of *Pinus densiflora* stands in Mt. Yeonhwa, Gyeongnam-do. *Journal of Agriculture & Life Science* 55(3): 55-59.
- Yoon, J.H., Bae, E.J., Jin, E.J. and Sung, C.H. 2020. Estimation of sap collecting age and growth characteristics on *Acer pictum* subsp. *mono* in natural and artificial forests. *Journal of Agriculture & Life Science* 54(4): 61-68.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equation. *Forest Science* 39(3): 594-616.

Manuscript Received : June 25, 2025

First Revision : September 23, 2025

Accepted : September 24, 2025