

아까시나무 임분의 시계열적 생장 모니터링 및 벌기령 도출

김재엽¹ · 김소라¹ · 송정은¹ · 성상민¹ · 임종수² · 손영모^{1*}

¹한국산지보전협회 산지연구본부, ²국립산림과학원 산림ICT연구센터

Periodic Growth Monitoring and Final Age at Maturity in a *Robinia pseudoacacia* Stand

Jaeyeop Kim¹, Sora Kim¹, Jeongeun Song¹, Sangmin Sung¹,
Jongsoo Yim² and Yeongmo Son^{1*}

¹Forest Research Bureau, Korea Forest Conservation Association, Daejeon 35262, Korea


²Forest ICT Research Center, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약: 본 연구는 5차, 6차, 7차 국가산림조사 자료 중 아까시나무가 우점종인 표본점을 수집하여, 산림조사 차수별, 기후대별(온대 북부, 온대중부, 온대남부, 난대지역), 해발고별(100 m 단위) 흉고직경, 임목본수, ha당 재적 및 지위지수의 변화를 구명하고자 하였다. 또한 용재로서 사용을 위한 기준인 벌기령을 산정하였다. 그리고 변화 구명은 통계처리 기법 중 분산분석과 Duncan 검정으로 이행하였다. 흉고직경의 변화를 보면, 당연히 산림조사 차수에 따라 증가하였고, 기후대별로는 온대남부 지역에서 가장 생장이 좋지 않았으며, 해발고별로는 301-400 m 지점에서 가장 생장이 떨어지는 것으로 나타났다. ha당 임목밀도는 산림조사 차수별, 해발고에 따라서 서로 간 차이를 보이지 않았으며, 온대중부 지역에서 밀도가 가장 높고, 온대남부 지역이 가장 낮은 밀도를 보였다. ha당 임분재적은 산림조사 차수에 따라 증가하였고, 온대북부·온대중부 지역과 온대남부·난대 지역으로 크게 두 그룹으로 구분되며, 해발고 201-300 m에서 재적생장량이 가장 높았다. 지위지수는 ha당 임분재적 변화와 유사한 결과를 보여 주었다. 그리고 아까시나무의 ha당 재적변화를 알 수 있는 성장량 곡선은 Weibull 함수식으로 추정하였으며, 임분재적은 임령 50-60년에 이를 때 약 200 m³에 달할 것으로 예측되었다. 아까시나무를 밀원 자원이 아닌 용재로 이용하기 위한 기준인 재적수확최대벌기령을 계산한 결과 34년으로 나타났다.

Abstract: The study aim was to investigate changes in the diameter, number of standing trees, stand volume per ha and site index by the forest survey order, climate zone (northern temperate, central temperate, southern temperate, and warm temperate regions), and altitude in 100 m intervals) by collecting samples of *Robinia pseudoacacia* from the fifth, sixth, and seventh national forest survey datasets. The rotation cutting age, which is a standard used for wood, was calculated. The changes were statistically analyzed by performing ANOVA and the Duncan multiple test. Diameter growth naturally increased according to the forest survey order and was lowest in the southern temperate region by climate zone and lowest at the 301-400 m altitude. The number of standing trees per ha did not change according to the forest survey order and altitude, and the density was highest in the central temperate region and lowest in the southern temperate region. The stand volume per ha increased according to the forest survey order, and the climate zone was divided into two groups: ① northern temperate region and central temperate region, ② southern temperate region and warm temperate region. The stand volume growth was highest at the 201-300 m point. The site index showed results similar to the change pattern of the stand volume per ha. The growth curve, which can be seen by the change in stand volume per ha, was estimated by applying the Weibull formula, and the stand volume per ha was estimated to reach approximately 200 m³/ha at 50-60 years. The rotation of the highest production in volume, which is the standard for using trees as wood rather than honey sources, was calculated to be 34 years.

Key words: altitude, climate zone, growth change, growth curve, national forest inventory, *Robinia pseudoacacia*, rotation cutting age

* Corresponding author
E-mail: pine21c@kfca.re.kr

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

서론

산림에서 수목의 성장 변화는 오랜 기간동안 모니터링 함으로써 그 추이를 구명할 수 있으며, 이러한 변화를 바탕으로 생태계 교란의 원인 파악 및 대책을 세우고, 산림작업 및 목재수확과 관련된 경영의사를 결정할 수 있다.

우리나라의 산림에 대한 장기적인 모니터링은 1972년부터 당시 황폐화되었던 산림을 복구, 복원하기 위하여 시작되었다고 볼 수 있으며, 1975년과 1981년에 전국산림실태 조사보고서가 2회 발행이 된 바 있다(Korea Forest Service, 1975; Forest Research Institute Office of Forestry, 1981). 자료에 의하면, 6년간 산림면적은 6,641천ha에서 6,567천ha로 약 1.1% 감소하였으며, 입목축적은 102,458천m³에서 145,795천m³으로 약 42.2%가 증가한 것으로 나타났다. 2차 보고서에 의하면, 영급별 산림면적비는 2영급 이하가 83.7%로 전국 산림이 대부분 유령림으로 구성되었음을 알 수 있고, 입상별로는 침엽수림 51.6%, 활엽수림 18.3%, 혼효림 30.1%라고 밝혔다. 그리고 경급별 입목축적 구성비를 보면, 소경목 67.7%, 중경목 29.3%로 당시 대부분의 입목은 용재로서의 사용은 어려운 실정이었음을 알 수 있었다.

산림변화를 모니터링하기 위한 기존의 산림실태조사는 1차(1972~1975년), 2차(1978~1980년), 3차(1986~1992년), 4차(1996~2005년)까지 전국의 기본계획구를 매년 순환적으로 조사한 관계로 4차 조사를 예를 들어보면 맨 처음 조사한 기본계획구는 계속 성장률을 반영하지만, 조사 종료 시점이 되면 10년이 경과하게 되어 현실림을 제대로 설명하기가 어려운 문제점이 있었다. 따라서 2006년부터 5년 주기로 새롭게 도입한 조사시스템은 ‘국가산림자원조사’라는 명칭으로 전국 산림을 매년 20%씩 조사하는 연년조사체제로 전환하게 되었다. 따라서 기후변화협약(UNFCCC), 지속가능한 산림경영(SFM), 국제농업식량기구(FAO) 등에서 요구하는 국가산림자원 정보를 융통성있게 제공하기 위하여 조사 내용도 바뀌게 되었다(National Institute of Forest Science, 2011; Yim et al., 2015). 우리나라의 국가차원 산림 조사는 현재까지 7차 조사(2016~2020년)가 완료된 상태이며, 8차 조사(2021~2025년)가 진행 중에 있다.

국가차원의 산림자원변화 모니터링 외에도 기후변화 적응과 관련한 산림생태계 장기변화 모니터링, 지속가능한 산림경영을 위한 고정표본점 설치 및 성장·탄소량 변화 모니터링, 고산지대 및 난야열대 산림 수종의 바이오매스·성장 변화에 대한 시계열적인 모니터링 등에 대해, 국내외에서 다양한 조사와 연구가 수행된 바 있다(Back et al., 2010; Chun and Lee, 2013; Kim et al., 2014; Köhler et al., 2001; Kwon et al., 2004; Laubhann et al., 2009; Pretzsch et al.,

2014; Samreth et al., 2012; Shin et al., 2005; Son et al., 2006).

한편 유럽의 오스트리아, 벨지움, 체코, 덴마크 등 23개국의 국가산림조사에 대한 역사, 조사방법 및 환경과의 조화 등에 대한 전 방위적인 연구결과가 Thomas 등(2022) 25명의 학자를 통해 최근 발표되었는데, 지속적으로 국가산림조사를 수행하고, 고도화 방향을 찾고 있는 우리로서는 그들의 조사 체계 및 내용 등에 대해 벤치마킹해 볼만한 자료로 보여진다.

본 연구는 5·6·7차 국가산림자원조사 표본점 조사자료 중 밀원식물인 아까시나무를 대상으로, 이 수종이 시간의 경과에 따라 그리고 생태적 위치 및 해발고 등에 따라 어떠한 성장변화가 일어나는지를 파악하여, 향후 밀원식물로서의 존치 가능성, 입지 및 환경변화에 따른 생육 가능성 등을 탐지해 보고자 하였다. 또한 입분생장추정식과 재적수확최대별기령을 제시하여 현존 아까시나무 입분의 전주기적 성장 형태와 용재로서의 이용 시점 등을 파악해 봄으로써, 아까시나무 입분의 관리에 대한 향후 경영의사 결정에 도움이 되고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에 사용된 자료는 5·6·7차에 걸쳐 수행된 국가산림자원조사(2006~2020년)에서 아까시나무 표본점으로 구분된 자료를 선택 취합하였다. 국가산림조사의 표본점에서 대표 수종 집단을 판정하는 기준은, 표본점 내 해당 입목의 흉고단면적 구성비가 50%를 넘을 때 해당 표본점의 대표 수종이 된다는 산림청의 국가산림조사 지침에 의하였다(National Institute of Forest Science, 2011). 그리고 조사 시기별로 표본점 내 아까시나무의 입분생장 상태를 비교하기 위하여 각 조사 차수별로 동일한 표본점(116 plots)을 선택하였으며, 인위적 또는 자연적으로 소실된 표본점은 제외시켰다.

Table 1에 의하면, 우리나라에 생육하는 아까시나무 군락은 최고 약 800 m까지 분포하고 있으나 주로 200 m 주변의 산지에 다수가 생육하고 있었으며, 위치한 군락지의 평균적인 경사도는 24°선, 그리고 군락에 접근할 수 있는 지표라 볼 수 있는 ‘지리(location locality)’ 즉, 도로(임도포함)로 부터는 약 320 m 떨어진 지역에 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다.

2. 분석 방법

1) 조사 차수별 생장비교

5년 주기로 조사된 동일 표본점의 5차, 6차, 7차 입분생

Table 1. General characteristic of *Robinia pseudoacacia* sample plots.

Species	Growth factors	No. of plots	Altitude (m)	Slope (°)	Location locality (m)
Robinia pseudoacacia		116	204	24	319
			35-770	5-51	15-1,110

(note) $\frac{Mean}{Minimum - Maximum}$

장 자료 중 흉고직경, ha당 입목본수, ha당 재적 그리고 지위지수의 자료를 분석 대상으로 삼았다. 그 중 지위지수의 경우는 표본점의 임령과 우세목 수고를 이용, Kim et al.(2022)이 제시한 임령 30년 기준의 지위지수 추정식을 적용시켜 계산하였다.

흉고직경 등 4가지 성장 인자는 3개의 집단(5차, 6차, 7차 조사)간 물질적 성장량 변화 비교, 성장대별 수평적 비교를 위한 기후대별(난대, 온대남부, 온대중부, 온대북부) 성장 변화 검증, 수직적 비교를 위한 해발고별(100 m 단위) 성장 변화 검증을 실시하였다. 이러한 분석은 3개 집단이상의 상호간 비교이므로 분산분석(Analysis of Variance, ANOVA)을 적용시켰으며, 유의수준 5%에서 분석의 타당성을 검증하였다(Kim, 2000; Huh, 1994). 그리고 집단간의 유의차는 다중범위 검정법 중 하나인 Duncan test로서 알아보았으며, 이러한 분석을 위한 통계처리 프로그램은 SAS (Statistical Analysis System)의 ver. 6.3 버전을 이용하였다.

2) 시계열 자료를 활용한 아까시나무임분의 성장곡선 도출

5차-7차에 걸쳐 조사된 아까시나무 군락지에 대한 각 표본점의 임령과 ha당 재적을 가지고 비선형 성장추정식을 도출하고자, Chapman-Richards model, Schumacher model, Weibull model 등을 적용시켰으며, 이중 적합도 및 잔차 등을 고려하여 최적식을 선정하였다(Chapman, 1961; Clutter et al., 1983; Richards, 1959; Schumacher, 1939; Weibull, 1952).

그리고 선정된 최적 성장식을 적용하여 임령별 성장곡선 도출 및 재적의 연평균성장량 및 연년성장량 등을 계산하였으며, 이 결과로서 아까시나무가 밀원식물 대상 수목으로서의 기능 뿐만아니라 생활 용재로서의 활용 가치 정립을 위하여 재적수확최대벌기령을 산정하였다.

결과 및 고찰

1. 아까시나무 임분의 산림조사 차수별 성장 비교

1) 흉고직경 성장

산림조사 차수별(3개 범주), 기후대별(4개 범주), 해발고별(5개범주)에 따른 아까시나무 임분의 흉고직경 성장변화를 분산분석 처리한 결과는 다음 Table 2와 같다.

반응변수 흉고직경을 산림조사 차수 등 3개 변수, 12개 범주 등이 분산분석을 통해 설명할 수 있는 설명력(R²)은 약 50.4%로 나타났으며, 1%의 유의수준에서 유의성이 인정되어, 사용된 변수들로서 흉고직경의 변화를 탐지할 수 있었다. 흉고직경 평균에 대한 분산정도를 알 수 있는 즉, 오차를 평균으로 나누어 준 변이계수(CV)는 21.79로 나타났다.

흉고직경 성장변화가 산림조사 차수, 기후대 및 해발고에 따라 집단 간 차이가 있는지를 파악하기 위하여 Duncan test를 실시한 결과 Table 3과 같다.

산림조사에 의하면, 아까시나무 군락의 흉고직경 성장 변화는 5차, 6차, 7차를 거치면서 유의적으로 성장하고 있음을 알 수 있었는데, 5차 조사에서 6차 조사로 진행됨에 따라 흉고직경이 약 7 cm 이상 증가한 것은 다소 이해가 어려운 부분이다. 다만, 5차 산림조사(2006~2010년) 이전 아까시나무 잎의 황화현상이 전국적으로 발생하여 유령목이 대거 고사한 것에서 오는 상대적인 성장 증가일 것으로 추측한다(Shin et al., 2006). 그리고 기후대별로는 온대 북부, 온대 중부, 난대 지역에서는 성장 차가 없으나, 온대 남부지역의 흉고생장은 앞선 3개 기후대보다는 저조한 것으로 나타났다. 해발고별로는 300 m 이하 지역에서는 흉고직경 생장이 거의 유사하나, 그 이상일 때는 생장이 떨어져, 향후 산지에서의 아까시나무 조성 시 의사결정에 참고해야 할 것이다.

Table 2. ANOVA procedure table between DBH growth and forest survey order, climate zone, altitude.

Source	DF	SS	F-value	Pr. > F	R ²	CV
Variables	12	5,930.3	28.38	0.0001	0.5041	21.7891
Error	335	5.833.8				

(note) DF: degree of freedom, SS: sum of square due to error, CV: coefficient of variation.

Table 3. Duncan test grouping for environmental variables affecting DBH growth.

Survey order	Mean DBH	Significant grouping	Climate zone	Mean DBH	Significant grouping	Altitude (m)	Mean DBH	Significant grouping
5 th	13.86	A	NT	20.03	A	>100 m	19.41	A
6 th	20.52	B	CT	19.60	A	101-200 m	19.40	A
7 th	23.08	C	WT	18.86	A	201-300 m	18.67	A
-	-	-	ST	16.90	B	301-400 m	15.46	B

(note) NT: northern temperate zone, CT: central temperate zone, ST: southern temperate zone, WT: warm temperate zone.

Table 4. ANOVA procedure table between tree numbers per ha and forest survey order, climate zone, altitude.

Source	DF	SS	F-value	Pr. > F	R ²	CV
Variables	12	7,705,959.1	4.75	0.001	0.1455	35.4584
Error	335	45,258,410.9				

(note) DF: degree of freedom, SS: sum of square due to error, CV: coefficient of variation.

Table 5. Duncan test grouping for environmental variables affecting standing tree numbers per ha.

Survey order	Mean tree no./ha	Significant grouping	Climate zone	Mean tree no./ha	Significant grouping	Altitude (m)	Mean tree no./ha	Significant grouping
5 th	1,059.8	A	CT	1,111.2	A	201-300 m	1,133.7	A
7 th	1,031.4	A	WT	1,081.3	AB	301-400 m	1,068.8	A
6 th	1,018.6	A	NT	976.5	B	101-200 m	1,033.2	A
-	-	-	ST	832.1	C	>100 m	956.1	A

(note) NT: northern temperate zone, CT: central temperate zone, ST: southern temperate zone, WT: warm temperate zone.

2) ha당 입목본수 변화

산림조사 차수별(3개 범주), 기후대별(4개 범주), 해발고도별(5개 범주)에 따른 아까시나무의 ha당 입목본수 변화를 분산분석 처리한 결과는 다음 Table 4와 같다.

반응변수인 ha당 입목본수를 산림조사 차수 등 3개 변수, 12개 범주 등이 분산분석을 통해 설명할 수 있는 설명력(R²)은 약 14.6% 다소 낮게 나타났으나, 1%의 유의수준에서 유의성이 인정되어, 사용된 변수들로서 ha당 입목본수의 변화를 탐지할 수 있었다. R²가 낮다는 것은 분석에 사용된 인자(산림조사 차수, 기후대, 해발고)가 범주별로 구분이 거의 나타나지 않음을 의미하는데, 이는 Table 5에서 설명토록 하겠다. 그리고 ha당 입목본수에 대한 분산정도를 알 수 있는 변이계수(CV)는 35.46으로 나타났다.

ha당 입목본수 변화가 산림조사 차수, 기후대 및 해발고도에 따라 집단 간에 어떠한 차이가 있는지를 파악하기 위하여 Duncan test를 실시한 결과 Table 5와 같다.

산림조사에 의하면, 아까시나무 군락의 ha당 입목본수 변화는 5차, 6차, 7차 조사에 따른 시간적 변화를 거침에도 불구하고 유의적으로 차이가 없음을 알 수 있었다. 이것은

5년 주기의 산림조사에 따라 동일 표본점에서의 입목밀도는 거의 변화하지 않는다는 것을 알 수 있었으며, 맹아갱신이 있을 수 있으나 고사목 또한 그 정도의 양이 나타남을 유추할 수 있었다. Yim et al.(2015)이 충북지역 고정표본점 전체를 조사한 결과를 비교 분석(5차 → 6차)한 결과, 평균 입목본수는 1,230본/ha → 1,127본/ha 으로 나타나, 본 아까시나무 임분에 대한 입목본수 비교 연구와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

그리고 해발고도별로도 입목밀도의 변화는 나타나지 않는 것으로 분석되어, 아까시나무가 분포하는 산지의 높낮이에 따라 입목밀도는 별다른 차이가 없음을 알 수 있었다. 그러나 일종의 생태권역을 평면적으로 나누어 4개 기후대별(온대남부, 중부, 북부, 난대)로 입목밀도를 분석한 결과, 온대 중부권이 가장 높은 ha당 입목밀도(약 1,111,본)를 갖는 것으로 나타났고, 온대북부와 난대권역 간에 밀도 차이가 있는 것으로 나타났다. 다만 온대남부는 약 1,081본으로, 온대중부와 온대남부 간의 밀도는 유의적인 차이가 없는 것으로 분석되었다.

Table 6. ANOVA procedure table between stand volume per ha and forest survey order, climate zone, altitude.

Source	DF	SS	F-value	Pr. > F	R ²	CV
Variables	12	417,726.1	11.15	0.0001	0.2854	40.4445
Error	335	1,045,829.5				

(note) DF: degree of freedom, SS: sum of square due to error, CV: coefficient of variation.

Table 7. Duncan test grouping for environmental variables affecting stand volume per ha.

Survey order	Stand volume/ha	Significant grouping	Climate zone	Stand volume/ha	Significant grouping	Altitude (m)	Stand volume/ha	Significant grouping
7th	163.3	A	NT	156.1	A	201-300m	166.4	A
6th	141.7	B	CT	148.9	A	101-200m	138.0	B
5th	109.5	C	ST	116.1	B	301-400m	120.0	B
-	-	-	WT	102.9	B	>100m	118.0	B

(note) NT: northern temperate zone, CT: central temperate zone, ST: southern temperate zone, WT: warm temperate zone.

Table 8. ANOVA procedure table between site index and forest survey order, climate zone, altitude.

Source	DF	SS	F-value	Pr. > F	R ²	CV
Variables	12	1,534.9	29.66	0.0001	0.5152	15.9614
Error	335	1,444.6				

(note) DF: degree of freedom, SS: sum of square due to error, CV: coefficient of variation.

3) ha당 임분 재적생장

산림조사 차수별(3개 범주), 기후대별(4개 범주), 해발고도별(5개범주)에 따른 아까시나무의 ha당 재적 변화를 분산분석 처리한 결과는 다음 Table 6과 같다.

ha당 재적의 변화를 산림조사 차수 등 3개 변수, 12개 범주 등이 분산분석을 통해 설명할 수 있는 설명력(R²)은 약 28.5%로 다소 낮게 나타났으나, 1%의 유의수준에서 유의성이 인정되어, 사용된 변수들로서 ha당 재적생장의 변화를 탐지할 수 있었다. ha당 재적생장에 대한 분산정도를 알 수 있는 변이계수(CV)는 40.44로 나타났다.

ha당 임분 재적생장이 산림조사 차수, 기후대 및 해발고도에 따라 집단 간 어떠한 차이가 있는 지를 파악하기 위하여 Duncan test를 실시한 결과 Table 7과 같다.

산림조사에 의하면, 아까시나무 군락의 ha당 재적생장은 5차, 6차, 7차 조사에 따라, 당연한 결과이지만, 조사차수별로 차이가 있음을 알 수 있었고, 7차 조사 시 아까시나무 표본점의 평균 임령이 37년임을 고려해 볼 때, 5차 조사(27년)에서 6차 조사(32년) 때 변화된 임분재적이 약 33 m³/ha이었고, 6차 조사에서 7차 조사로 차수가 변함에 따라 임분재적이 약 22 m³/ha가 늘어 남을 알 수 있었다. 이를 통해 아까시나무의 재적생장은 급격한 증가 시기를 지나 이제 점차 둔화되는 시기임을 알 수 있었다. Yim et al.(2015)에 의하면 충청권 국가산림조사 표본점에서 5차에서 6차 조사 실시에 따라 ha당 재적이 22.3~34.6 m³ 증

가하였다고 보고하여, 본 아까시나무 표본점 연구와 유사한 결과를 보여 주었다.

기후대별로는 온대북부와 중부에서의 재적생장은 차이가 없음을 알 수 있었으며, 온대 남부와 난대 지역 역시 서로 간 재적생장 차이는 없는 것으로 나타났다. 다만, 온대 중부권 이북과 온대 남부권 이남은 두 그룹 간 재적생장이 지역별로 나타나는 것으로 분석되었다. 아까시나무 산지의 높낮이별로는 해발 201~300 m 일 때가 재적생장이 가장 양호한 것으로 나타났으며, 그 외 해발고도별로는 유의적인 재적생장 차이를 보이지 못하였다.

4) 지위지수 변화

지위지수(site index)는 임지생산력을 나타내는 산림경영 상 주요한 지표이므로, 이에 대한 산지별 정보를 획득하는 것은 중요한 일이다. 임지생산력은 개개 임목의 생장 뿐만아니라 건강성, 활력도 등과 관계되므로 밀원식물인 아까시나무에 대한 표본점별 지위지수를 파악하고, 시기별, 지역별 등에 따라 지위지수가 변화하는 것이 바로 꿀생산 등과 관계되므로 이를 분석하였다.

지위지수의 변화가 산림조사 차수별(3개 범주), 기후대별(4개 범주), 해발고도별(5개범주)에 따라 어떻게 변화하였는 지를 분산분석 처리한 결과는 Table 8과 같다.

지위지수의 변화를 산림조사 차수 등 3개 변수, 12개 범주 등으로 분산분석을 통해 설명할 수 있는 설명력(R²)은

Table 9. Duncan test grouping for environmental variables affecting site index.

Survey order	Mean site index	Significant grouping	Climate zone	Mean site index	Significant grouping	Altitude (m)	Mean site index	Significant grouping
7 th	15.5	A	NT	13.5	A	201-300 m	13.8	A
6 th	12.6	B	CT	13.2	A	101-200 m	13.1	AB
5 th	10.9	C	WT	12.4	B	301-400 m	12.5	B
-	-	-	ST	12.4	B	>100 m	12.1	B

(note) NT: northern temperate zone, CT: central temperate zone, ST: southern temperate zone, WT: warm temperate zone.

약 51.5%로 나타났으며, 1% 이상의 고도의 유의수준에서 유의성이 인정되어, 사용된 변수들로서 지위지수의 변화를 알 수 있었다. 그리고 지위지수에 대한 변이계수(CV)는 15.96으로 나타났다.

아까시나무 임분의 지위지수가 산림조사 차수, 기후대 및 해발고도에 따라 그룹별로 어떤 집단 간 차이가 있는지를 파악하기 위하여 Duncan test를 실시한 결과 Table 9과 같다.

수종별 산림 내 지위지수는 본래 잘 변하지 않는 특징이 있으나, 5차, 6차, 7차 산림조사에 따라 변함을 알 수 있었다. 7차 산림조사의 결과가 아까시나무의 지위지수가 최대임을 알 수 있었으며, 이는 임령이 변화됨에 따라 우세목의 수고가 급격히 성장했음을 보여 주는 결과라 볼 수 있다. Kim et al.(2022)이 아까시나무 임분에 대한 국가산림조사 자료, 국립산림과학원 고정수확시험지 자료 및 일부 내부 자료를 종합하여 지위지수를 추정된 결과, 지위지수의 범위는 16~22에 있다고 보고 한 바 있는데, 본 분석에서는 7차 조사에서 15.5에 달하고 있어 국가산림조사 만의 자료로 분석할 때는 지위지수가 약간 낮게 도출되는 것을 알 수 있었다.

기후대별로는 온대북부와 중부에서 아까시나무 임분의 지위지수는 차이가 없음을 알 수 있었으며, 난대지역과 온대남부지역 역시 서로 간 지위지수의 차이는 없는 것으로 분석

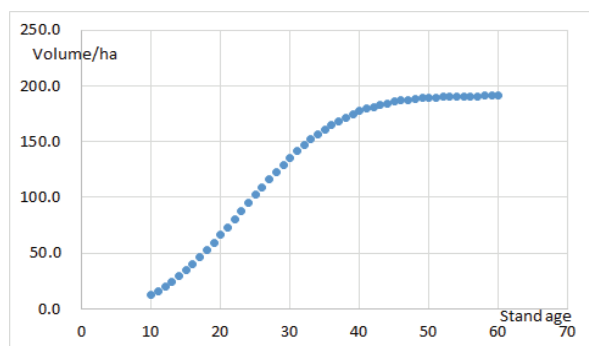
결과 나타났다. 그리고 온대 중부권 이북과 온대 남부권 이남은 두 그룹 간 지위지수가 차이가 있는 것으로 분석되었다. 아까시나무 산지의 높낮이별로는 해발 201~ 300 m 그룹에서 지위지수가 가장 높으나, 이 그룹과 해발 101~200 m 그룹에서도 지위지수는 집단 간 차이를 보이지 않았다. 그러나 100 m 이하와 301~400 m 그룹에서의 지위지수는 201~300 m 그룹의 지위지수와 집단 간에 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다.

2. 아까시나무 임분의 성장량 곡선 및 벌기령 도출

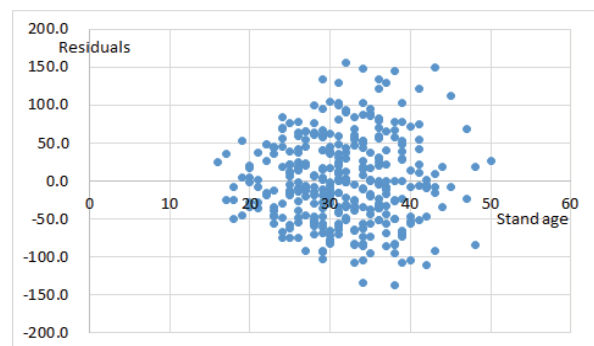
1) ha당 재적성장량 곡선

임목의 주요 성장인자인 수고, 흉고직경, 흉고단면적 및 재적은 임령(개체목인 경우 ‘수령’)에 따라 보통 10년 이하의 연년성장량(current annual increment, CAI)이 극대점에 이를 때 까지를 ‘유령기’, 연평균성장량(mean annual increment, MAI)이 극대점에 이를 때 까지를 ‘장령기’, 그리고 그 이후를 노령기로 구분하고 있다. 그리고 이를 임령에 따라 하나의 선으로 연결해 보면 “S”자를 비스듬히 늘린 것과 같다하여 sigmoid curve 라고 부른다(Avery, 1967; Clutter et al., 1983; Kim, 1992).

아까시나무 임분의 재적성장량 곡선을 도출한 바, 임령 60년에 평균적인 재적성장량은 최대 200 m³/ha 정도에 이를 것으로 나타났으며[Figure 1(a)], 이는 같은 활엽수인



(a) Volume growth curve



(b) Residual distribution of estimated volume

Figure 1. Volume growth curve and residual distribution using Weibull formula in Robinia pseudoacacia stand.

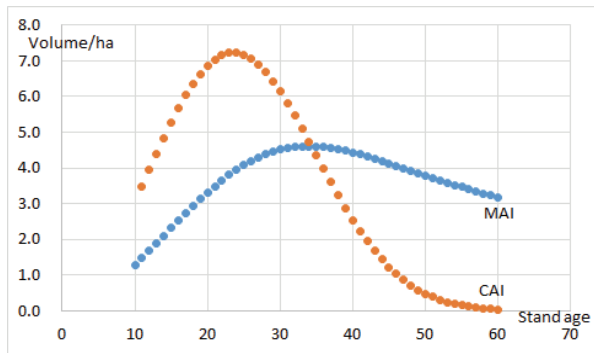


Figure 2. Mean annual increment curve and current annual increment curve in *Robinia pseudoacacia* stand.

굴참나무의 지위 중(14) 일 때 재적 270 m³/ha에 미치지 못하는 양이다(National Institute of Forest Science, 2021). 재적성장량 곡선을 도출하기 위해서는, 여러 성장모형 중 최적모형으로 판정된 식 1과 같은 Weibull 함수를 이용하였고, 추정식에 따른 재적의 잔차는 [Figure 1(b)]와 같으며, 잔차는 “0”을 중심으로 고르게 분포하여 식의 활용 적합성을 보여 주었다.

$$Volume = 191.0448 \times (1 - e^{-0.00017 \times age^{2.6187}}) \quad (1)$$

2) 재적수확최대벌기령 도출

재적수확최대벌기령(rotation of the highest production in volume)은 단위면적당 수확되는 목재생산량이 임령 대비 최대가 되는 벌기령을 말하는데, 연평균성장량(MAI)과 연년성장량(CAI)이 만나는 지점 또는 연평균 재적성장량이 최대가 되는 지점이 해당 수종의 재적수확최대의 벌기령이 된다(Park et al., 1992; Shater et al., 2011; Yun et al., 2021; Park et al., 2020). 아까시나무 임분의 이 벌기령을 계산하고 도식화한 바 Figure 2와 같다.

Figure 2에서 아까시나무 임분의 연평균성장량이 최대가 되는 지점(벌기령)은 임령 34년으로, 이때 벌채를 하면 시기적, 경영 효율적으로 재적수확이 최대가 될 수 있다. 이 같은 결과는 Yun et al.(2021)이 주요 수종별 벌기령 연구에서 활엽수인 굴참나무 32년, 상수리나무 30년이라고 한 바 있어, 본 연구와 유사한 결과를 보여 주었다. 그러나 Park et al.(2020)은 굴참나무 맹아림 벌기령 산출에 있어, 지위 10과 12일 때 44년, 14일 때 43년이라고 보고하여, 본 연구와는 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다.

한편, Park et al.(1992)은 최적수확 최대가 되는 시점에서의 연평균성장량의 곡선 변화가 그다지 크게 나타나지 않으므로, 주변의 경제적, 환경적인 상황을 고려하여 벌

기령을 10~20년 당기거나 늦추어 벌채하여도 그 목적을 달성할 수 있다고 밝힌 바 있다. 이에 따라 아까시나무의 재적수확 최대를 기대하고자 한다면, 임령 34년을 기준으로 해당하는 산림 경영에 맞게 앞뒤로 융통성있게 벌기령을 정할 수가 있을 것이다. 한편, 아까시나무 임령이 34년 경일 때가 수고, 재적성장 및 수세도 가장 우세할 것으로 밀원식물로서의 꿀 생산량도 가장 많은 시기일 것으로 예측하며, 이에 대한 연구는 추가적으로 이루어져야 할 것이다.

산림청(Korea Forest Service, 2014)에서 제시한 기준 벌기령표를 보면, 기타 활엽수의 경우 국유림은 60년, 공·사유림은 40년으로 정하고 있는데, 국유림의 경우는 대경재 및 장벌기 경영을 위주로 하기 때문에 벌기령이 높고, 공·사유림은 자원의 빠른 순환에 의한 산주의 경제적 이익 제고가 주목적이므로 국유림에 비해 상대적으로 낮은 벌기령이 정해진 것으로 파악된다.

한편, 우리가 계산한 아까시나무 임분의 재적수확최대 벌기령이 34년이었는데, 산림청의 공·사유림의 기타 활엽수 벌기령(40년)과 별반 차이가 나지 않는 것임을 알 수 있다.

결론

본 연구는 밀원식물로 널리 알려진 아까시나무에 대해 시계열적 국가산림조사 자료를 활용하여 수평적 및 수직적 생육 위치에 따른 직경과 본수, 재적의 변화, 지위지수가 주기 조사에 따라 얼마나 변하는지, 그리고 벌기령을 도출함으로써 이 수종에 대한 생태적, 성장적인 관리 기준으로 삼고자 하였다.

아까시나무의 수평적인 생육기준인 기후대별 성장차이, 수직적인 생육기준인 해발고에 따른 성장차이, 그리고 시기별 생육기준인 산림조사 차수별(5년 주기, 5차·6차·7차 조사) 성장 차이를 비교한 결과, 당연히 각 기준별로 차이가 나타났다. 다만, ha당 입목밀도의 경우, 조사 주기별 변화를 분석한 결과, 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 해발고별로도 유의적인 차이가 없음을 알 수 있었다. 이것은 맹아갱신이 수없이 일어나는 아까시나무가 시간이 지남에 따라 개체목의 죽는 비율(고사율)도 그 만큼 일어나고 있음을 유추할 수 있었으며, 해발고에 따라서 본수 변화를 알 수 없다는 것은, 현재 아까시나무 군락의 생존 문제에 있어서 해발의 높낮이에는 그다지 영향을 받지 않음을 알 수 있는 결과였다. 다른 관점에서 본다면, 현재 우리나라 산지의 400m 이상 해발고를 갖는 지역에서는 아까시나무가 군락을 이루며 생육하지 않는다는 것을 확인해 주는

사실일 수도 있다.

아까시나무 임분의 ha당 재적 생장량은 임령 50-60년에 이를 때 약 200m³에 달할 것으로 생장곡선이 나타났는데, 이는 다른 활엽수의 생장량과 비교할 때, 약간 낮은 생장량임을 알 수 있었다. 1970년대 조림된 아까시나무는 그동안 수많은 맹아갱신으로 그만큼 활력이 떨어졌고, 이로 인해 번식력 또한 한계점에 이른 것이라 추측되며, 결국 이는 생장량 즉, 최종 수확량 역시 다른 수종에 비해 낮아지게 된 원인이라 보여진다.

밀원식물로서 현재까지도 가장 각광받는 아까시나무이지만, 영구적으로 밀원식물로서의 역할을 할 수는 없으므로, 일정 시기가 되면 용재로서 활용할 수 있는 즉, 최적의 목재수확 시기에 대한 기준을 도출할 필요도 있다. 산림청에서의 기타 활엽수에 대한 공·사유림 기준 벌기령을 40년으로 정하고 있는데, 이번 분석에서는 재적수확최대벌기령이 34년으로 계산되어, 산림청의 기준 벌기령을 사용하여도 시기적으로 경영효율적으로 최대의 재적수확을 가져오는 데는 별다른 문제가 없을 것으로 판단된다.

국가차원에서 산림조사는 우리에게 산림생장의 변화, 임분구조의 변화 뿐만아니라 해당 수종 및 임상에 대한 경영관리에 대해서도 다양한 정보를 제공해 주고 있다. 다만 본 연구를 수행하면서 아쉬운 점은 국가산림조사 자료에 수많은 학술적, 산림경영적인 정보가 내재되어 있음에도 불구하고, 이를 이용하는 사람은 일부에 국한되어 있다는 사실이다. 앞으로 8차, 9차, 그 이상의 국가산림조사 자료의 질 높은 축적과 다양한 자료 활용을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(FTIS 2021362D10-2223-BD01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Avery, T.E. 1967. Forest measurement. McGraw Hill Co. New York. pp. 290.
- Back, J.H., Yim, J.S. and Shin, M.Y. 2010. Stand density control by selection system in Pyungchang area Gangwon province. Journal of Korean Forest Society 99(1): 136-143.
- Chapman, D.G. 1961. Statistical problems in population dynamics. In Proc. Fourth Berkly Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Univ. Calif. Press, Berkly.
- Chun, J.H. and Lee, C.B. 2013. Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus densiflora* in Korea using ecological niche model. Korea Agriculture and Meteorology 15(4): 219-233.
- 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.
- Forest Research Institute Office of Forestry. 1981. Forest inventory report. pp. 281.
- Huh, M.H. 1994. SAS, Analysis of variance. Freedom Academy. Seoul. pp. 82.
- Kim, C.R. 2000. SAS, a statistic box. Data Plus. pp. 592.
- Kim, G.D. 1992. Forest Measurement. Hwangmunsa. pp. 282.
- 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 Forest Society 111(2): 311-318.
- Kim, S.W., Kang, J.T., Hwang, J.S., Lee, S.J., Park, H. and Son, Y.M. 2014. Stand growth analysis and carbon stocks/removals assesment on forest growth monitoring plots in Korea. Journal of Agriculture & Life Science 48(6): 11-19.
- Köhler, P., Ditzer, T., Ong, R.C. and Huth, A. 2001. Comparison of measured and modelled growth on permanent plots in Sabahs rain forests. Forest Ecology and Management 144: 101-111.
- Korea Forest Service. 1975. Forest inventory report. pp. 299.
- Korea Forest Service. 2014. Standard cutting age.
- Kwon, S.D., Son, Y.M., Lee, K.H., Chung, S.K. and Kim, J.M. 2004. Stand growth analysis and carbon stocks/removals assesment using the data of forest growth monitoring plots. Journal of Korea Forest Energy 23: 1-8.
- Laubhann, D., Sterba, H., Reinds, G.J. and De Vires, W. 2009. The impact of atmospheric climate on forest growth in European monitoring plots: An individual tree growth model. Forest Ecology and Management 258: 1751-1761.
- National Institute of Forest Science. 2011. The 5th national forest inventory report. pp. 180.
- National Institute of Forest Science. 2021. 2021 Tree volume, biomass and stand yield table. Research report vol. 979. pp. 373.
- Park, J.H., Chung, S.H., Kim, S.H., Kim, H.H. and Lee, S.T.. 2020. Analysis of the final cutting ages in *Quercus variabilis* coppice forest. Journal of Korean Society of Forest Science 109(4): 468-476.
- Park, T.S., Kim, D.C., Kwon, O.B., Lee, M.W., Lee, S.S., Lee R.H., Cho, Y.H., Kang, S.Y., Chung, Y.K., Byun, W.H., Woo, J.C. 1992. Forest Management. Hwangmunsa. pp. 426.

- Pretzsch, H., Biber, P., Schutze, G. and Bietak, K. 2014. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management* 316: 65-77.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300.
- Samreth, V., Chheng, K., Monda, Y., Kiyono, Y., Toriyama, J., Saito, S., Saito, H. and Ito, E. 2012. Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different seasonal forests in Cambodia. *JARQ-Japan Agricultural Research Quarterly* 46(2): 187-192.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application in timber yield studies. *Journal of Forestry* 37: 819-820.
- Shater, Z., Miguel, S.D., Kraid, B., Pukkala, T. and Palahí, M. 2011. A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria. *Annals of Forest Science* 68: 149-157.
- Shin, J.H. et al. 2006. A study on the causes of leaf-yellowing damage and its management method in *Robinia pseudoacacia* stand. *Research of National Institute of Forest Science* 06-16, pp. 150.
- Shin, M.Y., Lee, S.M. and Lee, D.K. 2005. Forest management using growth and ecological characteristics by site types in the natural deciduous. *Journal of Korean Forest Society* 94(1): 26-33.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kim, R.H. and Seo, J.H. 2006. Stand development estimate and carbon stocks/removals assessment using stand growth monitoring. *Journal of Korea Forest Energy* 25: 42-48.
- Thomas, G. et al. 2022. Growing stock monitoring by European national forest inventories: historical origins, current methods and harmonisation. *Forest Ecology and Management* 505: 1-22.
- Weibull, W., 1951. *Applied Linear Regression*, 2nd. ed. Wiley, N.Y., pp. 324.
- Yim, J.S., Kim, E.S., Kim, C.M. and Son, Y.M. 2015. Assessment on forest resources change using permanent plot data in national forest inventory. *Journal of Korean Forest Society* 104(2): 239-247.
- Yun, 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 Forest Society* 111(4): 648-657.

Manuscript Received : July 20, 2022

First Revision : October 27, 2022

Second Revision : November 4, 2022

Accepted : November 7, 2022