

피나무의 임지생산력지수 및 임분수확모델 개발

김소라¹ · 임종수² · 이선정² · 송정은¹ · 이해림¹ · 손영모^{1*}

¹한국산지보전협회, ²국립산림과학원 산림ICT연구센터

Development of a Site Productivity Index and Yield Prediction Model for a *Tilia amurensis* Stand

Sora Kim¹, Jongsu Yim², Sunjung Lee², Jungeun Song¹, Hyeelim Lee¹ and Yeongmo Son^{1*}

¹Korea Forest Conservation Association, Daejeon 35262, Korea


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

요약: 본 연구는 국가산림자원조사 자료를 활용하여 피나무림의 임지생산력지수와 수확예측모델을 도출하기 위하여 수행되었다. 피나무의 임지생산력을 알 수 있는 지위지수는 Schumacher 모델로서 파라미터를 도출하였으며, 이 결과로서 지위지수분류곡선도를 작성하였다. 국내 피나무림 지위지수 분포는 8~16 범위에 있는 것으로 나타났다. 임령을 설명변수로 하여 흉고직경과 수고를 추정하는 성장모델은 Chapman-Richards 모델과 Weibull 모델을 이용하여 각각 도출하였다. 추정 모델의 적합도는 각각 0.32, 0.11로 나타나 일반적으로 볼 때 낮은 값이었으나, 추정식의 잔차가 “0”을 중심으로 고르게 분포하여 식을 적용하는데는 문제가 없을 것으로 판단되었다. 피나무림의 임분축적 변화에는 흉고단면적과 지위지수가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 두 가지 인자를 적용시켜 피나무림의 수확모델을 도출하였으며, 모델에 대한 설명력은 약 94%로 높게 나타났다. 그리고 이들 수확모델의 잔차에 대한 정규성 및 자기상관 등에 대해서도 검증한 결과 문제가 없는 것으로 나타났다. 최종적으로 피나무림의 성장모델과 수확모델을 이용하여 임시로 활용할 수 있는 임분수확표를 제작하였으며, 이 자료에 의하면 피나무림이 70년생이 될 때, ha당 축적은 약 208 m³이 될 것으로 예측되었다. 본 연구의 결과가 밀원자원 및 목재로서 활용가치가 높은 피나무림에 대한 경영의사결정에 도움이 되기를 기대한다.

Abstract: This study aimed to use national forest inventory data to develop a forest productivity index and yield prediction model of a *Tilia amurensis* stand. The site index displaying the forest productivity of the *Tilia amurensis* stand was developed as a Schumacher model, and the site index classification curve was generated from the model results; its distribution growth in Korea ranged from 8-16. The growth model using age as an independent variable for breast height and height diameter estimation was derived from the Chapman-Richards and Weibull model. The Fitness Indices of the estimation models were 0.32 and 0.11, respectively, which were generally low values, but the estimation-equation residuals were evenly distributed around 0, so we judged that there would be no issue in applying the equation. The stand basal area and site index of the *Tilia amurensis* stand had the greatest effect on the stand-volume change. These two factors were used to derive the *Tilia amurensis* stand yield model, and the model's determination coefficient was approximately 94%. After verifying the residual normality of the equation and autocorrelation of the growth factors in the yield model, no particular problems were observed. Finally, the growth and yield models of the *Tilia amurensis* stand were used to produce the makeshift stand yield table. According to this table, when the *Tilia amurensis* stand is 70 years old, the estimated stand-volume per hectare would be approximately 208 m³. It is expected that these study results will be helpful for decision-making of *Tilia amurensis* stands management, which have high value as a forest resource for honey and timber.

Key words: honey forest resources, national forest inventory, site productivity index (site index), stand growth model, stand yield prediction model, *Tilia amurensis*

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

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

서론

피나무(*Tilia amurensis*)는 껍질이 질기면서 부드러운 섬유 자원으로 사용해 왔다고 하여 ‘피(皮)나무’로 불리고 있으며, 목재는 연한 황색으로 결이 치밀하고 연하며 가볍고 잘 마르므로 집기류, 악기, 바둑판 등 특수용도 목재로 활용되었다(Korea Forestry Promotion Institute, 2020). 또한 피나무는 밀원식물로서의 가치가 높은 수종으로 산림청의 「양봉산업의 육성 및 지원에 관한 법률 시행규칙」 제2조에서 정하는 25종의 목본 밀원식물 중 하나로 규정하고 있다. 국립산림과학원(National Institute of Forest Science, 2022a)은 국내 수종별 꿀 생산가능량 추정 연구에서, 피나무의 꿀 생산량이 104.9 kg/ha로 다른 수종에 비해 상대적으로 높은 것(90 kg/ha 이상을 “높음”으로 정함)으로 추정하였다. 피나무의 개화시기는 지역 및 고도에 따라 다르게 보고되고 있으나, 개략적으로 6 ~ 8월로 다른 주밀원식물이 부족한 여름철에 약 2주간 개화함에 따라 계절적으로 선호되는 밀원식물로 평가되고 있다(Han et al., 2010; Oh et al., 2016; Kim et al., 2022). 또한, 피나무는 목재, 경관 가치, 약리 효능 등 산림자원으로 이용가치가 매우 높아, 최근 대두되고 있는 화밀 생산과 용재, 약용, 환경기능을 결합한 산림복합경영에 활용할 수가 있는 수종이다(National Institute of Forest Science, 2022b).

국내외적으로 피나무 성숙림에 대한 생리·생장 연구는 그다지 많지 않은데, 이는 피나무가 순림으로 구성되어 군락단위로 생육하는 경우가 극히 드물어, 표준지(조사지)를 설정하기 어렵기 때문이다. 그리고 우리나라 피나무는 대부분 혼효림에서 일부 개체목 단위로 생육하고 있다. 국내에서는 Bae et al.(2004)이 3~5영급의 성숙된 피나무 천연림 및 인공림의 임분구조와 수관면적 분석을 통해 흉고 직경으로 수관면적을 추정하는 단순회귀식을 도출한 것이 유일한 사례이다.

피나무에 대한 다른 학술적인 연구로는, Cho et al.(2013)은 피나무의 어린 목목에 대해 시설양묘 시 사용하는 생육상토 중에서 화학적, 물리적 특성을 고려한 최적조합의 상토를 선정한 바 있다. Hwang et al.(2013)은 피나무의 용기묘목의 품질 및 생산비용을 고려하여 1 g/L의 시비가 가장 적정함을 제시하기도 하였다. 그리고 피나무가 밀원식물

인 관계로 수분기작(pollination mechanism), 화밀분비(nectar secretion), 화밀 당함량, 개화시기 등에 대한 연구가 수행된 바 있다(Chung et al., 1984; Han et al., 2010; Kim et al., 2013; Kim et al., 2022). 또한 우리나라에 생육하는 밀원수종에 대해, 최근 Na et al.(2022)은 동백나무 등 15개 밀원수종(추가로 10수종 별도자료 제공)의 밀원생산성 평가방법 정립, 밀원자원 가치평가 매뉴얼 개발 및 수종별 밀원생산량 등을 망라하는 연구결과를 발표한 바 있다.

외국에서의 연구도 피나무에 대해서는 수목의 생장·수확 보다는 화밀생산, 개화, 기상과의 관계, 동화효율(assimilation efficiency) 등의 연구를 찾을 수 있는데, Xu(1999), Massetti et al.(2015), Sun et al.(2020)의 연구에서 결과를 볼 수 있다.

본 연구는 차세대 주요 밀원식물로 부상하고 있는 피나무에 대해 흉고직경, 수고, 흉고단면적 등의 기본적인 성장인자와 임령 간의 관계를 파악하여 수식화하고, 피나무 임지의 생산력을 알 수 있는 지위지수 모델을 국내 처음으로 개발하고자 하였으며, 아울러 몇 가지 성장인자를 활용하여 임목 수확량 예측이 가능한 임분수확모델을 도출하고자 하였다. 지위지수 모델은 임목생장의 적지를 판정할 수 있는 가장 기본적인 지표가 되므로, 향후 밀원단지 구성에 있어 주요한 지표로서 역할이 기대되며, 임분수확모델은 피나무의 여러 효용 중 밀원자원으로서의 가치 이후, 목재로서의 이용가치를 알아 볼 수 있는 중요한 기준이 될 것이다.

재료 및 방법

1. 공시재료

피나무 생장 분석을 위해 사용한 자료는 5,6,7차기(2006~2020년) 국가산림자원조사(National forest inventory, NFI) 조사 자료 중 표본점의 대표 수종이 피나무인 지역의 생장자료를 활용하였다. 2006년부터 새롭게 시작된 제5차 국가산림자원조사(2006~2010년)는 기존 4차까지의 층화추출법에 의한 표본점 배치와 다르게 계통추출법을 사용하였으며, 전국을 5년 주기 연년조사 체계를 도입함으로써 임목축적량, 임분구조 변화 등에 대한 정보를 시의성있게 제공할 수 있게 되었다(National Institute of Forest Science, 2021a).

분석에 활용된 피나무 표본점은 Table 1과 같이 33개였으며, 이는 해당 수종의 흉고단면적이 50%가 넘는 것을

Table 1. General characteristic of sample plots in *Tilia amurensis* stand.

Species	Growth factors	No. of plots	Stand age	DBH (cm)	Height (m)	Trees number/ha (No.)
<i>Tilia amurensis</i>		33	43 25-59 *	22.8 9.8-31.3	12.3 7.3-15.9	884 200-2,150

(* Note) $\frac{Mean}{Minimum - Maximum}$

그 지역의 대표 수종으로 정한다는 국가산림자원조사 내 부지침에 의해서 정해진 것이다(Korea Forestry Promotion Institute, 2017; National Institute of Forest Science, 2021a).

Table 1에서 국가산림자원조사에 의한 우리나라 피나무림의 평균 임령은 43년이었으며, 평균흉고직경은 22.8 cm, 평균수고는 12.3 m, ha당 입목본수는 884본인 것으로 나타났다. 피나무는 산림청에서 밀원자원으로 선정된 식물로 최근에는 밀원단지 조성 시 인공조림을 하고 있으나, 국가산림자원조사의 표본점에는 아직 나타나고 있지는 않았다.

피나무에 대한 국가산림자원조사 표본점을 분석한 결과, 국소지형적으로 산복부(hillside)에 70%정도가 분포하는 것으로 나타났으며, 경사도는 31° 이상의 급경사지에 72%가, 그리고 해발고는 600 m 이상에 85%가 분포하고 있는 것으로 나타나, 현재 생존하는 피나무 군락은 다소 지형이 험하며, 해발고가 높은 지역에 분포함을 알 수 있었다.

2. 분석 방법

1) 피나무림의 임지생산력지수 추정

임지생산력(site productivity)은 해당 임지의 입지환경, 토양, 기상 등이 입목 생육에 반영된 총수확량이라 볼 수 있으며, 이는 지위(site quality)라는 용어와 동일한 개념이다. 국내의 산림경영에 있어 임지생산력에 대한 등급을 매기어, 이를 경영의사결정하는 지표로 삼고 있는데, 등급을 매기는 것이 지위지수(site index)라고 정의할 수 있다(Park et al., 1992). 임지생산력의 등급인 지위지수를 산정하기 위하여 일반적으로 지위지수 추정에 많이 활용되는 Chapman-Richards 모델(1959)을 고려하였으나, 본 분석에서 선발된 표본점 수가 적고, 임령이 유령기부터 장령기, 그리고 노령기까지 다양하게 분포하지 않은 관계로 이 모델의 파라미터를 수렴하지 않아, 지위지수가 다소 직선적 경향일 때, 이를 잘 설명해 준다고 하는 Schumacher모델(식 1)을 적용시켰다(Clutter et al., 1983).

$$SI = \exp(\log(H_D) - b \times (\frac{1}{t_i} - \frac{1}{t_j})) \quad (1)$$

(여기에서, SI: site index, H_D : dominant tree height, t_i : stand age, t_j : base age(30), b : parameter)

2) 피나무 임분생장 및 수확모델 도출

생장(growth)과 수확(yield)의 개념을 정의해 보면, 생장은 주어진 시간의 주기에 따른 임분 내 개체목이나 군락에 대한 크기의 증가를 말하며, 수확은 특정 시점의 마지막에 측정되는 크기로 정의되어, 용어를 구분하여 사용할 필요가 있다(Chung et al, 2023).

본 연구에서 피나무림의 성장모델은 임분의 평균흉고직경과 평균수고(반응변수)를 임령(설명변수)으로 표현하였으며(식 2, 식 3), 수확모델은 임분축적(반응변수)을 대상으로 임령, 흉고단면적, 임분밀도, 지위지수 등을 적용시켜, 단계적 회귀분석(stepwise regression) 기법을 이용하여, 설명변수 중 적정 변수로 선택이 되는 것만을 이용하는 최적 수확모델을 도출하고자 하였다(식 5). 회귀분석 시 사용되는 임분밀도를 추정하기 위한 수식은 Kim et al.(2014)이 제시한 지수식을 활용하였으며(식 4), 각 파라미터는 SAS 프로그램을 이용하여 도출하였다(Kim, 2000).

$$f(DBH) = a(1 - e^{(-b \cdot age^c)})^c \quad (2, \text{Chapman-Richards equation})$$

$$f(HT) = a(1 - e^{(-b \cdot age^c)}) \quad (3, \text{Weibull equation})$$

$$f(No./ha) = a e^{(-b \cdot age)} \quad (4, \text{Exponential equation})$$

$$f(V) = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 \dots \dots (5, \text{Multiple regression equation})$$

(여기에서, DBH = Diameter at breast height, HT = Height, V = Stand volume, age = Stand age, a,b,c,d = Parameters, x_i = Independent variables)

결과 및 고찰

1. 피나무림의 임지생산력지수 추정

1) 임지생산력지수 추정식 도출

피나무의 임지생산력지수 즉, 지위지수 도출을 위해 Schumacher모델을 적용하였으며, 본래 지위지수는 우세목 수고와 임령 간의 관계에서 가져오는 것이므로, 현지 측정이 가능한 성장인자인 임령을 설명변수로, 우세목 수고를 반응변수로 하는 아래 식 6의 모델에 대한 파라미터를 먼저 도출하였다.

$$\text{Dominant Height} = a \left(e^{\frac{-b}{age}} \right) \quad (6)$$

Table 2. Parameters of the Schumacher model for dominant height estimation in *Tilia amurensis* stand.

Parameters	Estimate	Asymptotic standard error	Asymptotic 95% confidence interval	
			Lower	Upper
a	15.3094	1.9240	11.3857	19.2336
b	-9.2337	5.0889	-19.6125	1.1450

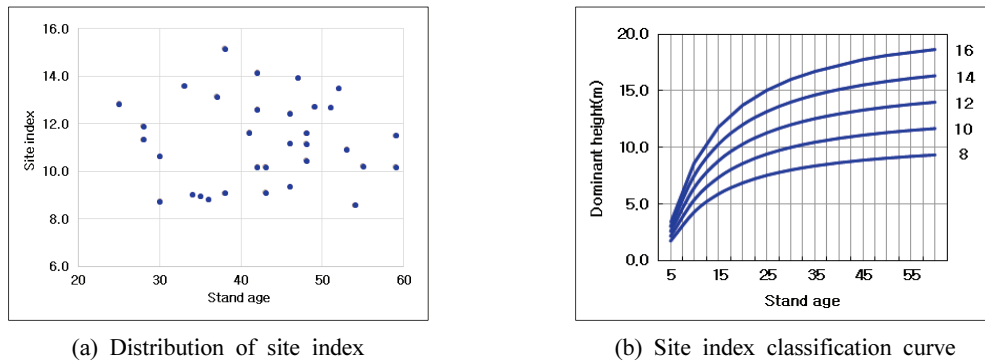


Figure 1. Distribution and classification curve of site index in *Tilia amurensis* stand.

Table 2에서 피나무 임분의 우세목 수고는 약 11~19 m 범위에 있는 것으로 나타났으며, 이 우세목 수고는 식 6과 같이 지위지수 추정 형태로 전환이 되므로, 실제 지위지수 추정을 위해 사용되는 파라미터는 *b*만 사용이 되고, 우세목 수고는 현실 자료를 그대로 입력하게 된다. 따라서 지위지수를 추정할 수 있는 식은 식 7과 같이 수식 부호 및 대수 치환을 통해 변환을 할 수 있다. 식 7에서 지위지수 추정을 위한 기준임령(base age)을 30년으로 설정한 것은, 임목의 수고생장이 “S”자 곡선(sigmoid) 형태를 갖는데 30년 정도가 되면 거의 정점에 이르는 때이며, 이후는 거의 점근화(asymptotic curve line)되는 경향이 있기 때문에 기준임령을 30년으로 설정한 것이다(Kim et al., 2022).

$$SI = \exp(\log(H_D) + 9.2337 \times (\frac{1}{t_i} - \frac{1}{30})) \quad (7)$$

2) 지위지수 분류곡선도 작성

국가산림자원조사 자료 상 나타난 피나무의 지위지수 분포는 Figure 1(a)와 같이 8~15 내에 분포하는 것으로 나타나는데, 앞서 언급한 우세목 수고와 분포 범위가 다른 것은 지위지수 추정 시 기준임령을 30으로 정하여 산정하였기 때문이다. 현실 지위지수 분포를 식 7에 의해 임령별, 지위지수별로 도식화한 지위지수분류곡선도는 Figure 1(b)와 같다.

2. 피나무 임분생장 및 수확모델 도출

1) 임분생장 모델의 적합화

피나무림의 대표 성장인자인 흉고직경과 수고에 대한

생장모델을 도출하기 위하여 임령을 설명변수로 하는 비선형 추정식의 파라미터를 도출하였으며 이들 식에 대한 통계량을 검정 결과는 Table 3과 같다. 본 분석에 적합화 시킨 모델은 흉고직경은 Chapman-Richards 모델, 수고는 Weibull 모델이었다. 성장인자별로 모델을 달리 적용한 것은 본 분석에 Chapman-Richards 모델, Weibull 모델, Schumacher 모델 등을 적용하여, 그중 모델의 적합도 지수(fitness index)가 가장 높은 값을 가지는 모델을 선택하였기 때문이다.

Table 3과 Figure 2에서 피나무 임분의 흉고직경과 수고는 임령을 기준으로 최대 점근값을 나타내는 파라미터 *a*에 따라 점차 증가하고 있으며, 추정식에 대한 적합도 지수는 그다지 높지 않으나, Figure 2에서와 같이 실측값(DBH_m, Height_m)의 증양을 추정선이 대체적으로 지나고 있으나, 잔차도를 살펴보면, 흉고직경 추정의 경우 50년 이상의 표준지 한 곳에서 과대 추정치(outlier)를 보였으며, 수고 추정의 경우 역시 50년 이상에서 과대 추정치 한 개소가 나타났다. 이러한 과대 추정치를 제외하면, 잔차의 분포가 대체적으로 “0”을 중심으로 고르게 분포하므로, 흉고직경과 수고 추정식 모두 현장에 적용함에 특별한 문제는 없을 것으로 보인다. 그리고 우리나라의 피나무 천연림은 다양한 임령으로 군상 분포되지 않으며, 소수의 군락지 형성에 따른 국가산림자원조사 표준지 개소수가 적음에 따라 조사의 한계가 있어, 현재로서는 본 분석의 결과가 최선의 선택이라고 판단된다.

Bae et al.(2004)의 홍천 운두령의 피나무림 조사에 의하면, 4~5영급일 경우 평균흉고직경은 16.1 cm, 평균수고는

Table 3. Parameters and statistic of growth model by factors in *Tilia amurensis* stand.

Equations	Parameters			Fitness index	Standard error
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
$DBH = a(1 - e^{(-b \cdot age)^c})$	31.3715	0.0506	2.3791	0.3192	0.0042
$HT = a(1 - e^{(-b \cdot age^c)})$	22.1408	0.1575	0.4382	0.1098	0.0143

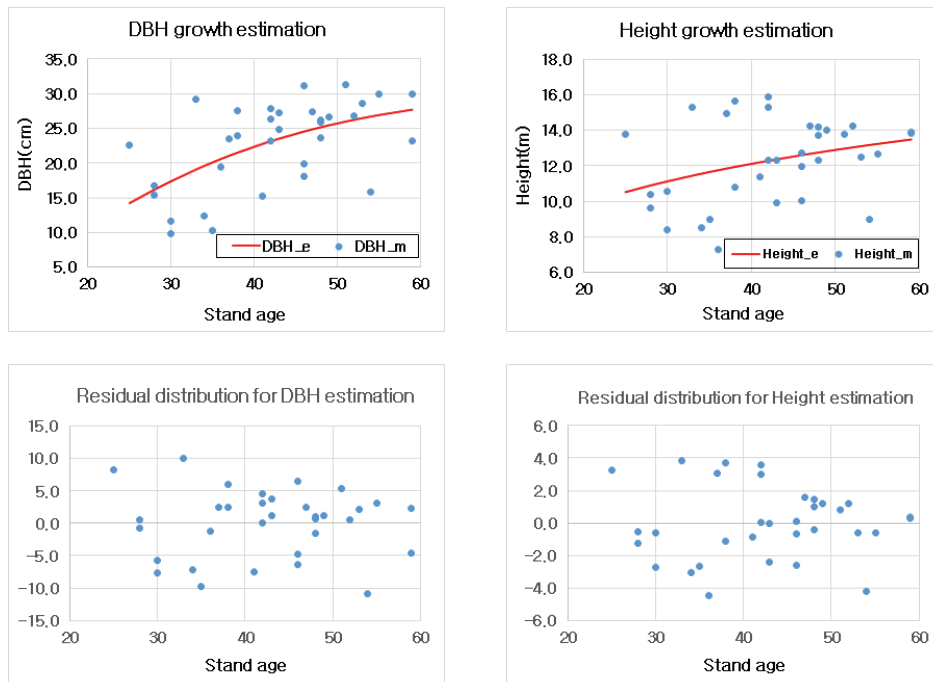


Figure 2. Estimated growth curve and residual scattergram of dbh and height in *Tilia amurensis* stand.

13.6 m임을 밝혔는데, 본 연구에 의해 나타난 40년생 평균 흉고직경 약 23 cm, 평균 수고 약 12 m와는, 지역적 생장에 따라 차이가 발생한 것이라 판단된다.

본 연구에 의한 생장 추정곡선은 25년 이상의 국가산림자원조사 자료로 도출된 것이므로, 차후 피나무 임분의 유령기 생장에 대한 더 많은 정보를 수집하여, 피나무 임분생애 전반(total growth period)에 걸쳐 이용할 수 있는 추정식을 구축할 필요가 있다고 본다.

2) 피나무림 수확모델

수확모형은 생장모형에서 중요시되는 임령보다는 오히려 입지환경인자, 지위지수, 임분밀도, 흉고단면적 등의 인자가 더 많은 영향을 미친다고 볼 수 있다(Clutter et al., 1983; Chung et al., 2023). 본 분석에서는 국가산림자원조사의 표본점 자료(일부는 계산) 중 흉고단면적, 임분밀도, 지위지수, 임령 등의 인자를 표본점의 ha당 임분축적에 적합화 시키는 단계적회귀분석(stepwise regression)을 실시

하였으며, 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서 피나무림의 임분축적에 가장 영향을 크게 미치는 인자는 흉고단면적(BA)이었으며, 다음으로 지위지수(SI)가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 분석절차 상 임분축적 변화에 영향을 미치는 첫 인자로 투입이 된 것은 흉고단면적으로서, 모델의 결정계수(Model R²)에 의하면, 약 90.4%의 설명력을 가지고 있는데, 이는 임분생장 구조 상 축적이 3차원(m³)의 개념이고, 흉고단면적이 2차원(m²)이므로 당연히 큰 영향을 미칠 수 밖에 없을 것이다(Chung et al., 2023). 지위지수의 경우는 흉고단면적 변수가 선택된 후, 2차로 선택이 됨에 따라, 흉고단면적 변수 선택 때보다 결정계수(R²)가 약 3% 증가하였다. 따라서 전체 모델에 대한 결정계수는 약 93.6%로서, 흉고단면적에 비해 낮은 영향력을 갖는 것으로 나타났으나, 5% 수준에서 유의성이 인정되어 설명변수로 채택이 되었다. 이 분석 결과로서 식 8을 만들 수가 있었다. 이 식의 잔차에 대한 정규성을 알 수 있는 더빈 왓슨값(durbin-watson, DW)은 2.082로

Table 4. Stepwise regression analysis result influencing the stand volume in *Tilia amurensis* stand.

Input variable	Parameter estimate	Prob>F	Model R ²	DW	Autocorrelation
Constant	-81.4966	0.0016			
BA	5.0602	0.0001	0.9041	2.082	-0.115
SI	8.5361	0.0006	0.9355		

Table 5. Makeshift stand yield table available for *Tilia amurensis* stand.

Stand age	DBH (cm)	Height (m)	Basal area (m ² /ha)	Trees no./ha	Stand volume (m ³ /ha)
10	3.5	7.8	7.7	2,807	59.7
15	7.0	8.9	11.1	1,681	77.2
20	10.7	9.8	14.4	1,300	93.6
25	14.2	10.5	17.4	1,115	108.9
30	17.4	11.1	20.2	1,006	123.1
35	20.1	11.7	22.8	935	136.5
40	22.4	12.1	25.3	885	148.9
45	24.2	12.5	27.6	848	160.6
50	25.7	12.9	29.7	820	171.5
55	26.9	13.2	31.8	797	181.6
60	27.9	13.6	33.6	779	191.1
65	28.7	13.8	35.4	763	200.0
70	29.2	14.1	37.0	751	208.3

일반적인 통계 기준인 2에 근접하므로 정규성을 띤다고 볼 수 있었으며, 잔차에 대한 자기상관(Autocorrelation)을 나타내는 값은 -0.115로 자기상관이 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다.

$$\text{Stand volume (m}^3\text{/ha)} = -81.4966 + 5.0602 \text{ BA} + 8.5361 \text{ SI} \quad (8)$$

각종 수종별 임분의 수확량 산정을 위한 연구로는, Clutter(1963)는 테다소나무림의 수확량 산정에 흉고단면적, 지위지수, 임령 등 3개 변수를 적용하는 식을 개발하였으며, Bennett(1970)는 slash 소나무 천연림의 수확량 산정을 위해 이와 동일한 변수를 사용하였고, Borders et al.(1986)은 slash 소나무 수확량 산정에 흉고단면적과 수고만을 사용하기도 하였다. 국내에서는 Chung et al.(2023)이 혼효림의 수확량 구명을 위해 흉고단면적, 지위지수, 임령으로 추정식을 개발한 바가 있다.

3) 피나무 임분의 간이 임분수확표

피나무림의 성장모델(식 2, 3, 4)과 수확모델(식 8)을 이용하여 Table 5와 같이 임시로 활용할 수 있는 간이 임분수확표를 작성하였다. 피나무림의 임령대별 다양한 자료가 수집되지 않은 관계로 수확표는 지위별, 임령별로 다양하게 구분하여 작성하지 않았으며, 또한 성장인자도 일부 국한하여 수확표를 만들게 되었다. 그러나 피나무림의 임령에 따른 수확량을 알 수 있는 표준이 없는 현재로서는, 임시로 만든 피나무림 임분수확표가 산주나 임업정책자 등의 경영의사결정 시 일부 기준이 될 수 있을 것으로 본다.

Table 5에 의하면, 피나무림이 70년에 이르면 ha당 약

208 m³의 목재를 수확할 수 있을 것으로 예측되는데, 이는 신갈나무 현실림 임분수확표(National Institute of Forest Science, 2021b) 지위 중(14)에서 70년일 때의 234.9 m³에는 미치지 못하는 것으로 나타났으며, Chung et al.(2023) 등이 만든 우리나라 혼효림 간이 임분수확표 임령 70년일 때 289.9 m³와 비교해 보면, 80 m³이나 적은 수확량을 알 수 있었다. 이 부분에 대해서는 앞으로 피나무림에 대한 성장 모니터링, 자료 구축 및 분석을 통한다면 좀 더 명확히 밝혀 질 것이라 예상된다.

결론

우리나라의 피나무는 그동안 너무나 많은 쓰임새 때문에 도·남별로 수많은 수탈이 이루어져, 요즘에는 군락지를 찾기가 아주 어려우며, 깊고 높은 산에서만 겨우 만날 수가 있게 되었다. 이에 국립산림과학원에서는 피나무를 우리나라 특용 및 경제수종으로 육성하기 위한 노력을 2021년부터 시작한다고 발표한 바 있고(Jeon, 2021), 농촌진흥청에서는 2022년 피나무 꿀에서 선천면역 반응 물질을 찾아 이를 특허출원까지 하였으며, 피나무 꿀이 건강기능 및 의약품화로 고부가가치를 생산할 수 있을 것이라 하였다(Kim, 2022). 목재와 꿀 생산 두 가지를 만족시킬 수 있는 피나무의 효용 가치는 시간이 지날수록 늘어날 것으로 예상된다.

이 시점에서 현재까지 우리나라에서는 개발된 바 없는 피나무 임분의 성장과 수확을 예측하여 차후 밀원단지 조성 및 목재생산 단지의 관리에 가장 기본적인 경영 기준을 제공함이 본 연구의 목적이었다. 그러나 본 분석에 필요한

국가산림자원조사 자료를 수집하여 검토한 결과, 임목의 성장 및 수확 분석을 위한 표준지의 개소수가 충분하지 않음을 알 수 있었다. 다만 우리나라에 생육하고 있는 피나무의 성장과 수확에 대한 정보가 전혀 존재치 않은 현실을 조금이나마 해결해 보고자, 부족한 자료이지만 연구를 통해 성장·수확모델 개발 및 임시 임분수확표 등을 작성하게 되었다.

향후, 최근에 국가차원에서 조림된 어린 피나무림과, 기존 산림에 일부 남아있는 장령기 이상의 피나무림 성장정보를 지속적으로 모니터링 및 분석함에 따라 꿀생산, 목재생산, 의약품 재료 등으로 고부가가치가 높고, 복합경영이 가능한 이 수종에 대해 정밀한 정보가 제공될 것으로 본다. 또한, 더욱더 진척된 연구로서 본 연구에서 제시한 성장, 수확모델과 피나무의 화밀생산 간을 연계시킨 꿀생산 모델이 개발되어, 양봉업자에게 직접적인 도움을 줄 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(FTIS 2021362D10-2323-BD01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Bae, S.W., Kim, S.K., Lee, K.J., Lee, K.S. and Kim, H.S. 2004. Considering of structure and crown projection area in *Tilia amurensis* stand. Korea Journal of Forest Measurements 7(1): 100-105.
- Bennett, F.A. 1970. Variable-density yield tables for managed stands of natural slash pine. Southeastern Forest Experiment Station, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Research Note SE-141.
- Borders, B.E. and Bailey, R.L. 1986. A compatible system of growth and yield equations for slash pine fitted with restricted three-stage least squares. Forest Science 32(1): 185-201.
- Cho, M.S., Hwang, J.H., Yang, A.R. and Lee, S.G. 2013. Physiological characteristics and growth performances of *Tilia amurensis* grown at different growing media in the container nursery system. Thesis Paper of Forest Science Joint Conference, Korean Society of Forest Science. pp. 52-54.
- Chung, S.Y., Yim, J.S., Lee, S.J., Song, J.E., Park, H.K., Lee, J.B., Yeom, G.J. and Son, Y.M. 2023. Detection of site environment and estimation of stand yield in the mixed forests using national forest inventory. Journal of Korean Society of Forest Science 112(1): 83-92.
- Chung, Y.H. and Kim, K.J. 1984. Flowering process and pollination mechanism of genus *Tilia* in Korea. Korean Journal of Botany 27(3): 107-127.
- 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.
- Clutter, J.L. 1963. Compatible growth and yield models for loblolly pine. Forest Science 9(3): 354-371.
- Han, J.K., Kim, S.H., Kamg, M.S., Kim, C.S. and Baik, E.S. 2010. Flowering and nectar secretion characteristics of *Tilia amurensis* Rupr. and *Tilia manshurica* Rupr. et Max. Journal of Apiculture 25(3): 217-221.
- Hwang, J.H., Cho, M.S., Yang, A.R. and Lee, S.G. 2013. Effects fertilization on the physiological characteristics and growth performances of container seedling of *Tilia amurensis*. Thesis paper of forest science joint conference, Korean Society of Forest Science. pp. 48-49.
- Jeon, W.J. 2021. Accelerating research on resource utilization of *Tilia manshurica* with high value such as wheat water. <http://www.chuksannews.co.kr/news/article.html?no=241621>. (2021. 05. 27.).
- Kim, C.R. 2000. SAS, a statistic box. Data Plus. pp. 592.
- Kim, J.A. 2022. Immune cell secreted substances increased up to 90 times! Confirmation of the antiviral effect of 'domestic cinnamon honey'. https://digitalchosun.dizzo.com/site/data/html_dir /2022/09/08/2022090880670.html. (2022. 09. 08.).
- Kim, M.J., Son, M.W., Lee, J.H. and Jung, C.E. 2022. Blooming time of *Tilia amurensis* Rupr. in mountainous area and prediction of its blooming progress using growing degree day model. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 24(1): 1-12.
- Kim, M.S., Kim, S.H., Song, J.H. and Kim, H.S. 2013. Honeybee visiting and secreted nectar characteristics of *Tilia insularis* Nakai and relation with meteorologic traits. Journal of Apiculture 28(5): 331-337.
- 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.
- Kim, S.W., Son, Y.M., Kang, J.T., Lee, K.H. and Park, H. 2014. Linear and nonlinear models for the fitness of experimental analysis in forest Science. Research Information No. 542. pp. 109.
- Korea Forestry Promotion Institute. 2017. Field survey

- guidelines for the 7th national forest resources survey and health vitality of Forests. pp. 98.
- Korea Forestry Promotion Institute. 2020. Learn about the uses and characteristics of *Tilia amurensis*. <https://kofpi.tistory.com/984>. (2020. 08. 18.).
- Massetti, L., Petralli, M. and Orlandini, S. 2015. The effect of urban morphology on *Tilia × europaea* flowering. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(1): 187-193.
- Na, S.J., Kim, Y.G., Kwon, H.Y. and Kim, M.C. 2022. A study on the development and valuation of honey plants. National Institute of Forest Science, Research Reports 22-21. pp. 136.
- National Institute of Forest Science. 2021a. 2020 Forest inventory of Korea. pp. 135.
- National Institute of Forest Science. 2021b. 2021 Tree volume, biomass and stand yield table. Research Report No. 979. pp. 373.
- National Institute of Forest Science. 2022a. Estimation of honey production potential by species. Internal research data. pp. 2.
- National Institute of Forest Science. 2022b. Investigation and selection of superior forest stands and trees of *Tilia amurensis* on Korea. Research report Vol. 1020. pp. 3.
- Oh, M.S., Kim, D. and Lee, S. 2016. History, Current Status, and Discussion on the Future Vision of *Apis cerana* Beekeeping in Korea. *Journal of Apiculture* 31(2): 165-172.
- Park, T.S. et al. 1992. Forest Management. Hwangmunsa. pp. 426.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10(29): 290-300.
- Schumacher, F.X. 1939. A new growth curve and its application in timber yield studies. *Journal of Forestry* 37(10): 819-820.
- Sun, Z., Liu, Q.J., Xu, Z.Z. and Xu, W.Z. 2020. Nectar productivity of *Tilia amurensis* in a broadleaved-conifer mixed forest in Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* 31(8): 2500-2506.
- Xu, C.Y. 1999. Biomass allocation and assimilation efficiency of natural *Tilia amurensis* samplings in response to different light regimes. *Journal of Forestry Research* 10(2): 69-74.

Manuscript Received : March 3, 2023

First Revision : April 10, 2023

Second Revision : May 22, 2023

Accepted : May 23, 2023