Journal of Environmental Science International
31(9): 793~801; September 2022

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2022.31.9.793

ORIGINAL ARTICLE

현실임분 생장특성을 반영한 삼나무 지위지수 추정 모델 개발

김현수 · 정수영* · 이광수 · 이상현[1)]
국립산림과학원 난대아열대산림연구, [1)]전북대학교 산림환경과학과

Development of Site Index Model for *Cryptomeria japonica* Stands by the Current Growth Characteristics in South Korea

Hyun-Soo Kim, Su-Young Jung*, Kwang-Soo Lee, Sang-Hyun Lee[1)]
Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea
[1)]Department of Forest Environmental Science, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract

This study was carried out to provide basic data for logical forest management by developing a site index curve reflecting the current growth characteristics of *Cryptomeria japonica* stands in Korea. The height growth model was developed using the Chapman-Richards, Schumacher, Gompertz, and Weibull algebraic difference equations, which are widely used in growth estimation, for data collected from 119 plots through the 7th National Forest Inventory and stand survey. The Chapman-Richards equation, with the highest model fit, was selected as the best equation for the height growth model, and a site index curve was developed using the guide curve method. To compare the developed site index curve with that on the yield table, paired T-tests with a significance level of 5% were performed. The results indicated that there were no significant differences between the site index curve values at all ages, and the p-value was smaller after the reference age than before. Therefore, the site index curve developed through this study reflects the characteristics of the changing growth environment of *C. japonica* stands and can be used in accordance with the site index curve on the current yield table. Thus, this information can be considered valuable as basic data for reasonable forest management.

Key words : *Site index curves*, Cryptomeria japonica, *Height growth model, Chapman-Richards*

1. 서 론

일반적으로 산림 생장모델은 크게 임분생장모델(forest stand growth model), 직경분포모델(diameter distribution model), 단목생장모델(individual tree growth model)의 세 범주로 나눌 수 있다(Munro, 1974; Burkhart, 1990). 이러한 생장모델은 합리적인 산림경영에 중요한 역할을 차지하고 있으며, 특히 임지생산력(site quality)은 임목의 최종 수확량을 예측할 수 있는 지표로 의사결정에 필요한 정보이다. 이러한 임지생산력을 지위라고 하며 지위를 추정할 수 있는 다양한 방법이 존재하지만 그 중 가장 일반적으로 사용되는 것은 지위지수(site index)이다.

지위지수에 의한 방법은 생장 및 수확의 산정이 편리

Received 5 August, 2022; **Revised** 18 August, 2022;
Accepted 18 August, 2022
***Corresponding author :** Su-Young Jung, Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea
Phone: +82-64-730-7250
E-mail: suyoung.jung@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Status of *C. japonica* stands in study area

Species	Number of plots	Ages (years)	Stand density (trees ha^{-1})	Average tree hight(m)	Average dominant tree height(m)
C. japonica	119	36 17－59	1,376 350－3,000	12.82 5.15－21.47	13.21 5.39－22.10

하고 자료의 수집이 용이하며 높은 정확성으로 인해 여러 나라에서 임지의 생산력 결정, 생장과 수확의 예측에 널리 사용되고 있다(Avery and Bukhart, 1994; Husch et al., 2003). 국외에서는 고정조사구를 중심으로 지위지수를 비롯한 생장 연구가 이루어지며, 국내의 경우 국가산림자원조사((National Forest Inventoty, NFI)를 통해 획득된 자료를 이용하여 수종별 지위지수 및 생장모델 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernment Panel on Climate Change. IPCC)의 제 4차 보고서(2007)에 의하면 지난 100년간 지구의 평균 기온은 약 0.74℃ 상승하였으며, 강수량은 지역별 패턴의 변화로 아시아 북부와 중부 지역의 강수량이 증가하였고 이러한 기후변화는 2100년에는 최대 6.4℃까지 온도가 상승할 것이라 예측하고 있다(IPCC 2007). 이러한 배경에 의해 지구 온난화에 의한 식물 분포에 관한 예측 연구는 1990년대부터 유럽과 미국을 중심으로 활발히 진행되어 왔다(Huntley et al., 1995; Leathwick et al., 1996; Sykes et al., 1996; Iverson et al., 1998). 최근 기후변화에 따른 난대 · 아열대 수종에 대한 관심이 증대되고 있으며, 주요 난대 아열대 수종에 대한 조림, 육림 및 생장예측 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

삼나무(*Cryptomeria japonica*)는 기후변화에 대응할 수 있는 주요 수종이며, 1900년대 초 편백과 함께 일본에서 도입된 이후 남부지방의 대표적인 수종으로, 수간이 통직하고 재질이 우수하며 생장이 빨라 용재로서의 가치가 높아 일본 및 대만 등에서 주요 조림수종으로 알려져 있다((Hong et al., 1998). 국내 삼나무의 조림면적과 임목 축적은 6,296 ha, 1,326,052 ㎥가 분포하고 있으며(Korea Forest Research Institute, 2014), 이러한 삼나무의 지위지수에 관한 연구는 우리나라 남부지역(Lee, 2002), 전라북도 고창군(Lee, 2003), 제주특별자치도와 남부지역(Kang, 2016), 전라도 지역(Choi, 2020) 및 경상도 지역(Park et al., 2021)에 대해 수행되었다.

최근 삼나무 지위지수에 관한 연구의 경우 생육적지라 할 수 있는 남부지역과 제주도를 중심으로 이루어지고 있다. 또한 현재 삼나무 임분은 중장령림에 도달하고 있어, 이러한 임분특성을 반영할 수 있는 전국단위 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라 현실임분의 생장특성을 반영할 수 있는 지위지수모델을 개발하여 합리적인 임분 관리 및 경영이 이루어지기 위한 기초자료 제공을 목적으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 분석자료

본 연구는 7차 국가산림자원조사를 통해 획득한 121 plots과 2021년 자체 조사를 통해 수집된 13 plots의 삼나무 임분 자료를 수집하여 진행되었다. 해당 자료 중 이상치를 기각한 119 plots에 대한 임령 및 우세목의 수고자료를 이용하여 분석을 위한 기초자료를 구성하였다(Table 1).

2.2. 수고생장모델 개발

본 연구의 수고생장모델 개발을 위해 임령만을 매개변수로 하는 동형(anamorphic) 대수차분방정식(algebraic difference equation) 중 생장추정에 널리 쓰이고 있는 Chapman-Richards, Schumacher, Gompertz 및 Weibull 방정식을 이용하였다(Table 2). Chapman-Richards 방정식은 식물 생장의 원리에서 유도되어 임학분야에서 임령에 따른 생장 및 수확의 예측에 이용되며(Fabbio et al., 1994; Garcia, 2005), Gompertz 방정식은 인구 연령 분포를 알기 위해 1825년 개발되어 임목의 생장량 추정에 사용된 모형이다(Park and Chung, 1999).

최적 함수 도출을 위한 통계는 통계프로그램 SAS ver. 9.4을 이용하여 PROC NLIN 프로시저의 비선형 최소자승 회귀(nonlinear least squares regression) 분석을 실시하였다.

Table 2. General forms of projection equations applied to data

Equation name	Equation Forms*
Chapman-Richards	$H=\alpha(1-\exp(-\beta \cdot age)^{\gamma})$
Schumacher	$H=\alpha \cdot age^{\beta} \cdot \exp(\gamma/age)$
Gompertz	$H=\alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \exp(-\gamma \cdot age))$
Weibull	$H=\alpha(1-e^{-\beta \cdot age^{\gamma}})$

Table 3. Model performance evaluation criteria (fitting and testing procedures)

Criterion	Symbol	Formula	Optimum value
Mean residual	MRes	$\sum_{i=1}^{n}\frac{\widehat{H}_i-H_i}{n}$	0
Variance ratio	VR	$\frac{\sum_{i=1}^{n}(\widehat{H}_i-\overline{\widehat{H}})^2}{\sum_{i=1}^{n}(H_i-\overline{H})^2}$	1
Residual mean of squares	RMS	$\sum_{i=1}^{n}\frac{(\widehat{H}_i-H_i)^2}{n-p}$	0
Absolute mean residual	AMRes	$\sum_{i=1}^{n}\frac{\lvert\widehat{H}_i-H_i\rvert}{n}$	0
Coefficient of determination-model efficiency	R^2-MEf	$1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(\widehat{H}_i-H_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(H_i-\overline{H})^2}$	1

*Note: $\widehat{H}_i$ is the ith estimated value, H_i is the ith observed value, n is the number of observations, p is the number of model parameters.

2.3. 지위지수 곡선 유도

수고생장모델 개발 결과를 바탕으로 유도곡선법(guide curve method)을 이용하여, 지위지수곡선을 개발하였다. 유도곡선법(Guide curve method)은 동형(anamorphic)의 지위지수방정식을 개발하는데 사용되며, 지위지수곡선을 추정하는 방법을 직접적으로 정량화한 방법이다(Clutter et al., 1983).

지위지수는 기준임령(base age)에서 우세목(dominant tree) 또는 준우세목(co-dominant tree)의 수고로 정의되며(Philip, 1994; Laar and Akca, 1997; Avery and burkhart, 2002), 수고생장모델 개발에 의해 유도된 곡선에 임령 대신 기준임령(base age)을 대입하면 지위지수식이 유도된다. 유도된 지위지수식을 우세목수고생장식으로 나누면 지위지수가 추정되고, 우세목수고를 기준으로 정리하면 다양한 지위지수에 대한 우세목의 수고곡선을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 기준임령 30년에 대한 지위지수 추정 곡선을 개발하였다.

2.4. 적합도 검정

본 연구에서 추정된 4가지 모델의 적합성을 비교·분석하기 위해 Amaro et al.(1998)에 의해 설명된 5가지 평가 기준을 적용하였다(Table 3). 평균잔차(mean residual)는 모델에 의해 생성된 편향의 지표이며, 잔차제곱평균(residual mean of squares)과 절대평균잔차(absolute mean residual)를 포함하여 추정된 분산과 관측된 분산 간의 비율(variance ratio)은 모델정밀도의 지표이다. 모델효율성(coefficient of determination-

Table 4. Statistics of residuals with the projection equations fitted to the dominant tree height

Model names	Estimated coefficients			MRes	VR	RMS	AMRes	R^2-Mef
	α	β	γ					
Chap.-Rich.	21.1622	0.0389	1.5628	-0.0256	0.6384	3.5841	1.5275	0.6337
Gompertz	19.9089	2.5869	0.0533	-0.0107	0.6365	3.5966	1.5300	0.6324
Weibull	20.6412	0.0105	1.2929	0.0180	0.6362	3.5861	1.5277	0.6335

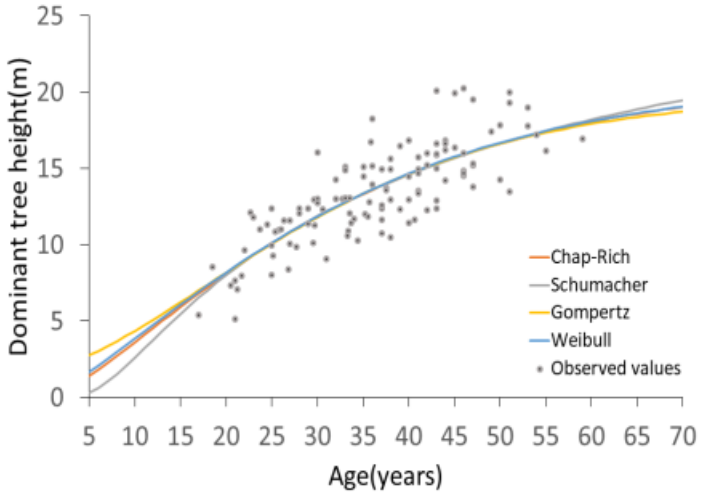

Fig. 1. Relationship of dominant height and stand age of observed values, and estimated tree height.

model efficiency)은 모델에 의해 설명되는 분산의 비율을 측정하며, 이 측정은 추정 절차에 대한 모델결정계수 R^2와 동일하다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수고 생장모델 추정

수고 생장모델을 추정하기 위해 4가지 모델을 사용한 결과는 Table 4와 같으며, 수렴기준을 충족하지 못한 Schumacher식을 제외한 모든 함수식에 대한 모수 추정치는 5% 수준에서 유의하였다. Park et al.(2021)의 연구에 의하면 경상도 지역 삼나무의 수고 생장모델을 추정하는 과정에서 수렴기준을 충족하지 못한 Chapman-Richards식과 Schumacher식을 제외한 바 있으며, Kyriaki et al.(2012)의 연구에서는 *Pinus brutia* Ten.의 수고생장모델을 추정하는 과정에서 수렴기준을 충족하지 못한 Chapman-Richards식이 제외된 바 있다. 이처럼 비선형모형을 이용한 수고 생장모형 추정에서 95% 신뢰수준에서 한계구간이 0을 포함함으로써 수렴기준을 충족시키지 못한 경우는 다른 수종 및 지역을 대상으로 실시된 연구결과에서도 다수 보고되고 있는 것으로 나타났다.

모수 추정치가 5% 수준에서 유의하게 분석된 3가지 모델에 대한 적합성 검증 결과(Table 4), 편향의 지표에 해당하는 MRes는 Gompertz식이 최적값인 0에 가장 근사하였나, 잔차의 분포모형이 중요하게 고려되는 비선형 회귀분석의 모델적합성 판정에서는 MRes의 우선순위가 여타 적합도 지표에 비해 상대적으로 높지 않다. 따라서 모델정밀도의 판단기준이 되는 VR, RMS 및 AMRes와 모델 효율성의 판단기준이 되는 R^2-Mef 값이 최적값에 가장 근사하게 분석된 Chapman-Richards식을 삼나무 수고 생장모델에 대한 적합식으로 선정하였다.

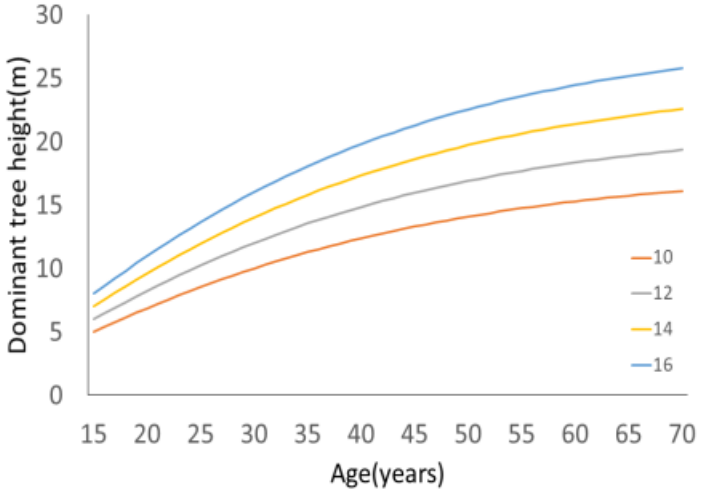

Fig. 2. The site index curves using Chapman-Richards model for C. japonica.

Table 5. Statistic of the paired T-test summary of developed site index curves and site index curves of yield table for C. japonica

Site index range	Mean		Variance		T-value	P-value
	α*	β*	α	β		
Site index 10	11.94	11.39	13.37	6.62	1.7266	0.0561
Site index 12	14.32	13.68	19.25	9.52	1.7134	0.0573
Site index 14	16.71	15.94	26.21	12.90	1.7306	0.0557
Site index 16	19.10	18.23	34.23	17.02	1.7417	0.0547
Site index 10 under 30 years	6.79	7.83	3.11	1.44	-3.2071	0.0425
Site index 12 under 30 years	8.15	9.40	4.47	2.11	-3.2531	0.0415
Site index 14 under 30 years	9.51	10.97	6.09	2.90	-3.2854	0.0407
Site index 16 under 30 years	10.87	12.50	7.95	3.81	-3.2515	0.0415
Site index 10 over 30 years	14.11	12.90	2.87	1.69	8.5002	0.00003
Site index 12 over 30 years	16.93	15.49	4.13	2.37	8.1585	0.00004
Site index 14 over 30 years	19.75	18.05	5.62	3.21	8.1219	0.00004
Site index 16 over 30 years	22.57	20.65	7.34	4.18	8.0145	0.00005

*Note: α is developed site index curves in this study, β is site index curves of yield table.

Kyriaki et al.(2012)은 *Pinus brutia* Ten.의 수고생장모델 추정에 관한 연구에서 모델의 적합성 검증을 위한 판정지표를 본 연구와 유사하게 적용하였다. 적합성 검증 결과, MRes는 -0.0359~4.0092, VR은 0.0632~0.3855, RMS는 7.6554~25.5877, AMRes는 0.0145~4.0092, MEf는 -1.0147~0.3972의 범위로 분석되었으며, 모든 판정지표에서 model 1과 model 2, 3 사이의 차이가 큰 것으로 나타났다. 본 연구의 경우 모든 판정지표에서 모델 사이의 결과값의 차이가 크지 않았으며, AMRes를 제외한 모든 지표에서 Kyriaki et al.(2012)의 연구 결과보다 삼나무 임분을 대상으로 수고생장모델을 추정한 본 연구의 결과가 최적

값에 가까워 모델의 적합성 검증과정이 합리적인 것으로 판단되었다.

추정된 생장모델에 의해 수고곡선과 실측치와의 관계는 Fig. 1과 같다. 4가지 식에 의한 수고곡선의 경우 임령 20~60년에서 유사한 생장유형을 나타내고 있으며, 생장곡선을 기준으로 실측치가 고르게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 유령임분과 장령임분에서 식에 따른 수고곡선 모형의 차이를 관찰할 수 있었으며, 이러한 경향은 일본 홋카이도지방의 *Abies sachalinensi*를 대상으로 지위지수 곡선을 추정한 Mika(2014)의 연구와 일본 홋카이도 남쪽 지방의 삼나무를 대상으로 지위지수곡선을 추정한 Mika(2019)의 연구에서도 유사한 경향을 나타내고 있었다. 이와같이 식에 따른 유령임분과 장령임분에서의 수고곡선 모형 차이는 식의 구조적 차이, 해당 임령에 대한 자료의 부족 등 다양한 원인에 의해 발생된 것으로 판단된다.

3.2. 지위지수 곡선 유도

적합성이 가장 높은 Chapman-Richards식을 이용하여 지위지수 곡선을 유도하기 위해 수고 생장모델에 임령 대신 기준임령 30년을 대입하여 우세목수고 생장식으로 구분하고, 우세목수고를 기준으로 정리하여 지위지수 곡선을 유도한 결과는 Fig. 2와 같다.

기준임령 30년일 때 우세목의 수고는 11.82 m로 나타났으며, 분석에 활용된 임분자료를 모두 포함하고 현재 수확표(National Institute of Forest Science, 2020)에 제시된 지위지수 분류 곡선(지위 10, 12, 14, 16)과의 비교를 위해 지위 10, 12, 14, 16의 범위로 추정하였다.

3.3. 비교 검정

수확표상에 제시된 지위지수 곡선과의 비교 검정을 위해 지위지수 곡선에 나타나 있는 모든 임령과 기준임령 전, 기준임령 후로 구분하여 각각의 임령에 대한 모든 지위에서 대응표본 T-test를 실시하였다(Table 5). 대응표본 T-test 결과, 전임령의 모든 지위에서 유의적 차이가 없었으나($p > 0.05$), 기준임령 전과 후의 모든 지위에서 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과는 기준임령 전에는 수확표상의 지위지수 곡선이 더 컸으나, 기준임령 후에 본 연구의 지위지수 곡선이 더 커지면서 오차가 절충되었기 때문이라고 판단된다.

본 연구를 통해 개발된 우리나라 삼나무 현실임분의 지위지수표와 현재 수확표상에 제시된 지위지수표를 비교한 결과는 Table 6과 같다. 기준임령 30년보다 낮은 임령에서는 수확표상의 지위지수표의 각 지위급별 우세목의 수고가 해당 연구를 통해 개발된 지위지수표의 우세목 수고보다 높게 나타났으나, 기준임령 이후 본 연구의 우세목 수고가 높게 나타났다.

또한, 개발된 지위지수 분류 곡선과 수확표상의 지위지수 분류 곡선을 비교한 결과는 Fig. 3과 같으며, 수확표상의 지위지수 분류 곡선의 경우 기준임령 이후 기울기가 줄어들면서 일정 수고에 점근하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 개발된 지위지수 분류 곡선의 경우 기준임령이 지난 후에도 기울기가 줄어들지 않았으며, 임령 60년을 전후로 기울기가 줄어들면서 일정 수고에 점근하고 있었다. Katsuhiro et al.(2022)에 의하면 일본의 삼나무임분을 대상으로 4가지의 생장타입에 따른 수고생장을 예측한 결과, 임령 80년 이후에도 모든 생장타입에서 일정 수고에 점근하지 않고 지속적으로 생장하는 추세를 나타냈다. 현재 우리나라도 기후변화로 인해 삼나무가 생육하기 적합한 환경으로 바뀌고 있고 임지생산력 또한 증가하고 있어 장령임분에서의 수고생장을 기대할 수 있으며, 본 연구의 결과는 삼나무 현실임분의 생장특성 변화과정을 반영하고 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 우리나라 삼나무 임분의 지위지수 분류 곡선을 개발하기 위해 4가지의 모델을 이용하여 수고생장곡선을 개발하였으며, 모수 추정치가 5% 수준에서 유의하고 모델 적합도가 가장 높은 Chapman-Richards 식을 지위지수 분류 곡선 개발을 위한 적합식으로 선정하였다. 선정된 식에 의해 분류된 지위지수는 10, 12, 14, 16의 범위로 기존 수확표상의 지위지수의 범위와 동일하게 분류되었다.

기존 수확표와 본 연구에서 개발된 지위지수 분류표 및 분류곡선을 비교한 결과, 기준임령 전에는 수확표상의 지위지수가 크고 기준임령 후에는 개발된 지위지수가 큰 것으로 나타났다. 또한 수확표상의 지위지수 분류곡선은 기준임령이 지나는 시점부터 생장률이 감소하여 일정 수고에 점근하는 형상을 나타냈다. 본 연구를 통해 개발된 지위지수 분류 곡선은 임령 60년부터 생장

Table 6. Developed site index table and site index table of yield table for C. japonica

(unit : m)

Age (years)	Developed site index table				Site index table of yield table			
	Site index							
	10	12	14	16	10	12	14	16
15	5.0	6.0	7.0	8.0	6.6	7.9	9.2	10.5
20	6.9	8.2	9.6	11.0	7.9	9.5	11.1	12.6
25	8.5	10.2	11.9	13.6	9.0	10.8	12.6	14.4
30	10.0	12.0	14.0	16.0	10.0	12.0	14.0	16.0
35	11.3	13.5	15.8	18.0	10.8	13	15.2	17.4
40	12.4	14.8	17.3	19.8	11.6	13.9	16.2	18.5
45	13.3	16.0	18.6	21.3	12.2	14.7	17.1	19.6
50	14.1	16.9	19.7	22.5	12.8	15.4	17.9	20.5
55	14.7	17.7	20.6	23.6	13.3	16.0	18.6	21.3
60	15.3	18.3	21.4	24.4	13.8	16.5	19.3	22.0

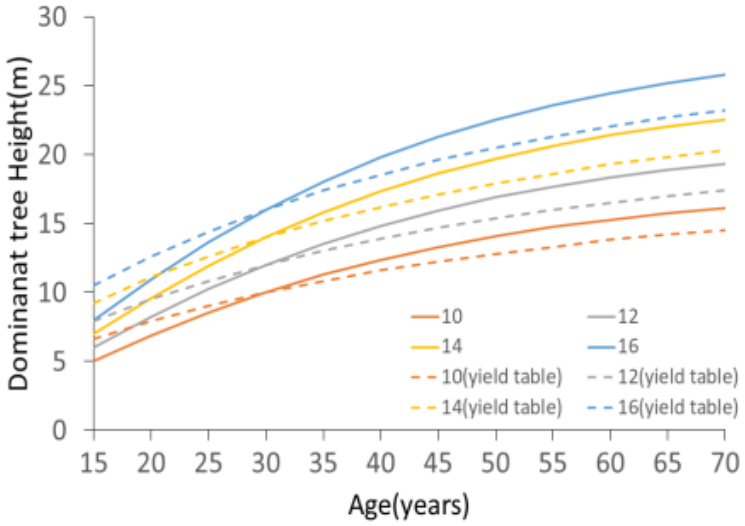

Fig. 3. The comparison of developed site index table and site index table of yield table for C. japonica.

률이 감소하고 일정 수고에 점근하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 임분이 삼나무생육에 적합한 환경으로 바뀌고 있으며, 임지생산력도 증가되고 있는 과정임을 증명할 수 있는 증거로 판단된다.

기존 수확표상의 지위지수 곡선과 본 연구에서 개발된 지위지수 곡선을 비교하기 위해 T-test를 실행한 결과, 모든 임령과 지위에서 p-value가 0.05 이상으로 나타나 유의적 차이가 없는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구를 통해 개발된 지위지수 곡선이 변화하고 있는 삼나무 임분의 생육환경을 나타내고 있으며, 현재 수확표상의 지위지수 곡선과 준용하여 사용할 수 있다고 판단된다. 그러나 유령과 장령 임분에 대한 자료가 부족하여 해당 임령에 대한 적합성 판단이 어려우므로 이러한 사항을 고려한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 일반연구사업 (과제번호: SC0600-2021-01)의 일부 지원으로 이루어진 것입니다.

REFERENCES

Amaro, A., Reed, D., Tomé, M., Themido, I., 1998, Modeling dominant height growth: eucalyptus plantations in Portugal, Forest Science, 44, 37-46.

Avery, T. E., Bukhart, H. E., 1994, Forest Measurements, McGraw-Hill, Inc., 321-347.

Avery, T. E., Bukhart, H. E., 2002, Forest Measurements 5th Edition, McGraw-Hill, Inc., 321-347.

Burkhart, H. E., 1990, Status and future of growth and yield models, In: Proc. a Sump. on State-of the Art Methodology of Forest Inventory, USDA Forest Service General Technical Report PNWGTR-263, 409-414 .

Choi, S. W., 2020, Development of site index curves and validation for *C. japonica*·*Pinus koraiensis*·*Liriodendron tulipifera*·*Betula platyphylla:* Focused on Jeolla-do, Jeonju, Jeonbuk National University.

Clutter, J. L., Fortson, J. C. L, Pienaar, V., Brister, G. H., Bailey, R. L., 1983, Timber Management - A Quantitative Approach, John Wiley and Sons, 31-58.

Fabbio, G., Frattegiani, M., Manetti, M. C., 1994, Height estimation in stem analysis using second differences, Forest Science, 40, 329-340.

Garcia, O., 2005, Comparing and combining stem analysis and permanent sample plot data in site index models, Forest Science, 51(4), 277-283.

Hong, S. C., Byun, H. S., Kim, S. S., 1998, Colored illustrations of trees & shrubs in Korea. Book publication of Gyemyeongsa, Seoul, 310.

Huntley, B., Berry, P. M., Cramer, W., McDonald, A. P., 1995, Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces, Journal of Biogeography, 22, 967-1001.

Husch, B. T., Beers, W., Kershaw, J. A., 2003, Forest Mensuration, John Wiley Sons, Inc., 198-200.

IPCC, 2007, Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working group I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Core Writing Team, Pachauri RK, Reisinger A, eds), IPCC, Geneva, Switzerland.

Iverson, L. R., Prasad A. M., 1998, Predicting abundance of 80 tree species following climate change in the eastern United States, Ecological Monographs, 465-485.

Kang, S. P., 2016, Estimation of site quality and site suitability analysis using environmental factors for major tree species in warm-temperate zone, Gwangju, Chonnam National University.

Katsuhiro, N., Daisuke, K., Yoshio, A., Shin, Y., Ikutaro, T., Hiromi, Y., Kazuki, M., Masatake,, G. A., 2022, Assessing the regional-scale distribution of height growth of *Cryptomeria japonica* stands using airborne LiDAR, forest GIS database and machine learning, Journal of Forest Ecology and Management, 506, 119953.

Kyriaki, K., Petrou, P., Milios, E., 2012, Dominant height growth and site index curves for Calabrian pine(*Pinus brutia* Ten.) in central Cyprus, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(2), 1323-1329.

Korea Forest Research Institute, 2014, Forest resources and distribution of major tree species in Southern Korea, 22.

Laar, A. B., Akca, A., 1997, Forest mensuration, Cuvilier Verlag Gottingen, 229-235.

Leathwick, J. R., Whitehead, D., McLeod, M., 1996, Predicting changes in the composition of New Zealand's indigenous forests in response to global warming: a modeling approach, Environmental Software, 11, 81-90.

Lee, S. H., 2003, Development of site index equation and curves for *Cryptomeria japonica,* Journal of Korean Forest Society, 92(2), 152-159.

Lee, Y. J., 2002, Estimation of Height Growth Patterns and Site Index Curves for Japanese Red Cedar (*Cryptomeria japonica* D.Don) Stands planted in Southern Regions Korea, Journal of Korean Ecological, 25(1), 29-31

Mika, T., 2014, Site index curve estimation of *Abies sachalinensis* plantation forest in Hokkaido, Japan, Hokkaido Forestry Research Institute, Japan, 56, 15-20.

Mika, T., 2019, Estimation of site index curve of *Cryptomeria japonica* plantation forest in Southern Hokkaido, Japan, Hokkaido Forestry Research Institute, Japan, 51, 7-12.

Munro, D. D., 1974, Forest growth models: a prognosis, In: Fries, J. (Ed.), Growth Models for Tree and Stand Simulation Research, Note 30, Department of Forestry Yield Research, Royal College of Forestry, Stockholm, 7-21.

National Institute of Forest Science, 2020, Stand volume · biomass and stand yield table, Seoul, Korea, 361.

Park, M. S., Chung, Y. G., 1999, Estimation of diameter

and height growth in *Pinus thunbergii* stand using linear and nonlinear growth functions, Journal of Korean Forest Society, 88, 47-54.

Park, H. J., Choi, S. W., Ko, B. J., Lee, S. H., 2021, Development of site index curves and comparison with national scale for *Cryptomeria japonica* in Gyeongsang-do, Journal of Korean Forest Society, 110(4), 658-664.

Philip, M. S., 1994, Measuring trees and forests, Cab International, 28-35.

Sykes M. T., Prentice I. C., Cramer W., 1996, A Bioclimatic model for the potential distributions of European tree species under present and future climates, Journal of Biogeography, 23, 203-233.

• Researcher fellow, Hyun-Soo Kim
Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science
khsggam1@korea.kr
• Researcher, Su-Young Jung
Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science
suyoung.jung@korea.kr
• Senior researcher, Kwang-Soo Lee
Division of Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science
beldel660@korea.kr
• Professor, Sang-Hyun Lee
Department of Forest Environmental Science, Chonbuk National University
leesh@jbnu.ac.kr