

## 삼나무의 수간곡선식 및 입목수간재적표 개발

고치웅<sup>1,2</sup> · 이승현<sup>1</sup> · 이선정<sup>1</sup> · 김동근<sup>2</sup> · 강진택<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림산업연구과, <sup>2</sup>경북대학교 생태환경시스템학과

### Development of a Stem Taper Equation and a Stem Table for *Criptomeria japonica* Stands in South Korea

Chi-Ung Ko<sup>1,2</sup>, Seung-Hyun Lee<sup>1</sup>, Sun-Jung Lee<sup>1</sup>,  
Dong-Geun Kim<sup>2</sup> and Jin-Taek Kang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup>Department of Ecology and Environment System, Kyungpook University, Sangju 37224, Korea

**요약:** 본 연구는 정확도가 높은 Kozak 수간곡선모델을 이용하여 전국에 분포한 삼나무의 수간곡선식 및 입목수간재적표를 개발하고자 수행되었다. 이를 위해 전국에 분포하는 총 1,000본의 삼나무 표본목을 벌채하여 수간고별 직경을 측정하고 수간 형상을 파악할 수 있는 수간곡선식을 추정하였다. 추정된 모델의 통계적 적합도지수는 98.7%로 나타났고 편차는 -0.0142, 평균절대편차는 1.1640로 높은 적합도를 보였다. 또한 현행재적표와 신규재적표의 재적은 통계적으로 유의적인 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 새롭게 개발된 재적표는 현실림을 반영한 것으로, 국가 및 지자체의 산림통계 정확도 향상과 목재 자원량 평가 시 발생할 수 있는 경제적 손실 방지에 기여할 것으로 판단된다.

**Abstract:** The aim of this study was to utilize Kozak's stem taper model to develop both a stem taper equation and a stem volume table for *Criptomeria japonica*, a tree species distributed across Korea. A total of 1,000 sample trees were cut and collected across the country to measure their diameters by stem height. The equation was then used to estimate examine their stem shapes. Our results show that the Fitness Index for the equation was 98.7%, the Mean Absolute Deviation (MAD) was -0.0142, and the MAD was 1.1640, thus indicating a high level of fitness. A statistically significant difference ( $p < 0.05$ ) was also found from the analysis of discrepancies between a current table and the new table used in this study. It is therefore suggested that the new table—with data from actual stands—will contribute to enhancing the accuracy of national and municipal forest statistics and reducing losses caused by imprecise data on available forest resources.

**Key words:** *Criptomeria japonica*, stem volume table, Kozak's stem taper equation, forest management, stem analysis

## 서론

삼나무는 일본에서 도입된 수종으로 수간이 통직하고 재질이 우수하다(Seo et al., 2015). 또한 생장이 빠르며 용재로서의 가치가 매우 높아 일본 및 대만에서 주요 조림 수종으로 알려져 있다(Hong et al., 1998, Park et al., 2016).

제주도에서 삼나무는 목재생산, 방풍림 등으로 다양하게 이용되어 왔으나 체계적인 관리가 이루어지지 않아 목재 자원으로서 가치가 감소되고 있다(Roscinto et al., 2017).

우리나라의 산림은 현재 IV~V 영급이 되는 임목축적의 비율이 전국 65.6%로 청·장년기에 해당하는 영급이 가장 넓은 면적을 차지하고 있다(Korea Forest Service, 2013). 기존의 삼나무 재적표는 1987년에 개발(National Institute of Forest Science, 2015)되었기 때문에 33년이 지난 현재 임분특성을 반영하는데 통계적으로 과대치 또는 과소치를 나타낼 수 있다.

목재를 이용함에 있어 여러 기준을 충족시키기 위해서

\* Corresponding author

E-mail: beg8bunc@korea.kr

ORCID

Chi-Ung Ko  <https://orcid.org/0000-0001-6706-5624>

Jin-Taek Kang  <https://orcid.org/0000-0002-4688-8450>

는 수간의 재적을 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 목재의 이용은 지역시장과 경제조건에 대응하여 계속해서 변동됨으로 고정적인 재적방정식의 사용은 효율성이 부족하다(Raymond et al., 1989).

최적의 산림경영은 산림의 입목에 대한 정확한 재적 추정이 기본이 되며, 입목 재적의 추정은 합리적인 입분의 경영과 이를 위한 간벌의 형태와 강도를 결정하는 중요한 자료이다(Kang et al., 2014a). 또한 수간곡선식을 더욱 정확하게 만들려면 수간고별 직경 자료 수집 중 수피의 두께 자료를 얻어 수피포함·수피제외 추정식을 개발하는 것이 필요하다. 이는 수피와 다른 잔류물을 이용하는 산림바이오매스에도 정확한 재적 산출이 가능하게 된다. 수간곡선식을 이용하여 수간재적을 구하는 것은 수간높이를 독립변수로 하고 그 높이의 직경을 구하여 수고와 수간고별 직경 사이의 수학적 관계를 설명한다. 따라서 임의의 높이에서 수간 직경을 계산하고 반대로 임의의 수간직경에서 나무의 높이를 계산할 수 있다. 이는 전체 입목수간형태를 알아내는 것으로 전체 수간재적과 이용재적의 추정도 가능해진다(Ayer et al., 1989).

따라서 본 연구는 과거 입분자료를 이용하여 추정된 수간재적표의 적용이 현실입분을 반영하는데에 한계가 있다고 판단하고 장령림이 된 삼나무 표본목을 대상으로 새로운 삼나무의 수간곡선식을 개발하여 입목수간재적표를 다시 작성하는데 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시재료

삼나무의 입목수간재적표를 개발하기 위하여 강진군, 거제시, 고창군, 서귀포시, 순천시, 울주군, 제주시, 포항시에 분포하고 있는 삼나무를 대상으로 면적의 비율에 따라 표본목을 선발하였다(Figure 1). 자료의 수집은 2019년 5월부터 10월까지 6개월간 경급별로 총1,000본(대경목: 253본, 중경목: 166본, 소경목: 281본)의 표본목을 별채하였다. 이 중 844본은 수간곡선식 개발에 사용되었고 평균 임령은 31.6년생이며 평균 흉고직경은 22.3 cm 평균수고는 15.5 m로 나타났다(Table 1). 또한, 개발의 사용되지 않은 156본

Table 1. Characteristics of the sample trees surveyed.

variable	n	Mean	Std. Dev	Min	Max
Age		31.5	9.2	8	52
DBH (cm)	844	22.3	10.5	6.0	60
Height (m)		15.5	4	3.0	26

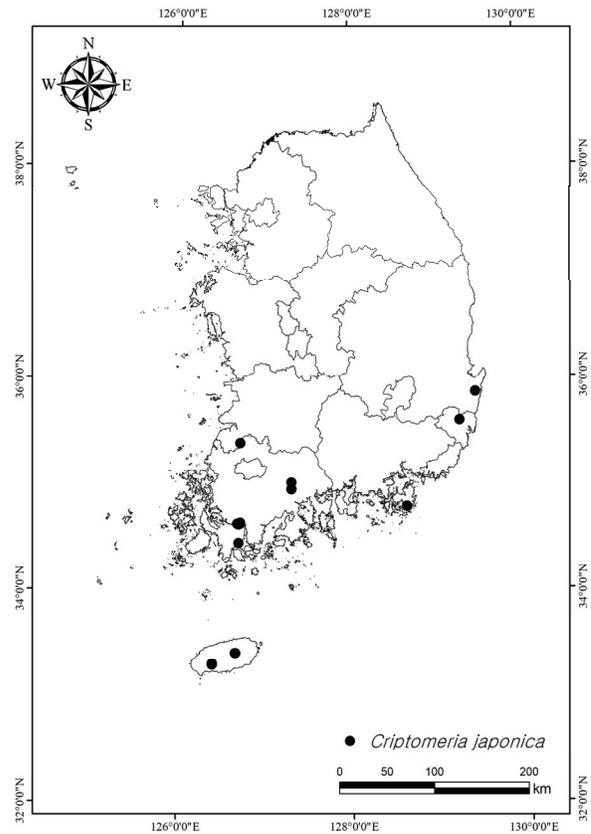


Figure 1. Location of the study area.

의 표본목을 이용하여 개발된 수간곡선식의 정확도 검증자료로 사용하였다(Table 2).

### 2. 분석방법 및 통계적 검정

삼나무의 입목수간재적표를 조제하기 위하여 Kozak model(Kozak, 1988)로 삼나무의 수간곡선 추정식을 구하였다(Table 3). 본 연구는 줄기의 하단부에서 초두부까지의 수고가 변화됨에 따라 지속적으로 수간의 형태를 추정하는 높은 정밀도와 낮은 편차를 나타내는 Kozak (Kozak, 1988, 2004) taper model을 이용하였다. 이 모델은 개체목의 수간재적의 산정시 높이별 수피외직경의 추정이 모두 가능하여 원목의 이용재적 및 개별 원목의 양을 추정할 때 실용적으로 활용할 수 있다.

Table 2. Characteristics of the trees used for validation data.

variable	n	Mean	Std. Dev	Min	Max
Age		33.0	10.5	10	52
DBH (cm)	156	22.9	10.6	6.0	49.6
Height (m)		15.7	4.5	2.8	24.7

**Table 3. Applied stem taper equation for fitting of in *Criptomeria japonica* this study.**

Model	Taper equation
Kozak(1988)	$d = a_1 DBH^{a_2} a_3^{DBH} X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z + 0.001) + b_3 \sqrt{Z} + b_4 e^Z + b_5 \left(\frac{DBH}{H}\right)}$ <p>where <math>Z = \text{relative height} (= \frac{h}{H})</math></p> $X = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H}}}{1 - \sqrt{p}} \quad (p = \text{inflection point})$ <p><math>a_i, b_i = \text{parameters}</math></p> <p><math>d = \text{diameter(estimated) when } h/H</math></p>

**Table 4. Accuracy assessment for estimation of Kozak's stem profile model.**

Statistics	Calculation forms
Fitness index (FI)	$FI = 1 - \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (\sum (Y_i - \bar{Y})^2)$
Bias	$\bar{D} = \sum (Y_i - \hat{Y}) / n$
Standard error of estimate of the mean (SEE)	$SEE = \sqrt{(\sum (e_i - \bar{D})^2 / (N - 1))} / \bar{Y}$
Mean Absolute Deviation (MAD)	$ \bar{D}  = \sum  Y_i - \hat{Y}  / n$

where  $Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y}$  = measurement, estimate and mean of diameter, respectively,  
 $n$  = the number of sample trees.

수간곡선식의 검정통계량은 Table 4와 같다. 이때 적합도지수(FI)는 측정값과 추정값의 관계를 나타내며 비선형회귀분석에선 추정값과 실측값의 관계의 정도를 나타내는 값이다. 추정된 값이 모수의 참값에 대하여 평균적인 과소·과대치를 주는지를 알아보고자 편의(Bias)와 잔차 표준오차(SEE)를 비교하여 상대적인 정도를 평가하였고 평균절대편차(MAD)로 각 추정치 편차의 평균적인 크기를 계산하였다. 이들 통계량은 관측값과 추정값의 차이를 보여주는 것으로 통계값이 0과 근접할수록 높은 정도를 나타낸다(Ko et al., 2019). 또한 검정통계량은 수간곡선식의 추정이행능력만을 확인 할 수 있기때문에 상대수고에 대한 추정치 잔차의 산포도를 그려 재적과 직경에 따른 과대·과소치 추정의 경향을 확인하였다(Lee et al., 1999; Son et al., 2012; Kang et al., 2014b; Son et al., 2017). 또한 검증자료를 이용하여 측정값과 추정값의 R<sup>2</sup>과 RMSE를 구하여 추정된 수간곡선식의 모수 값의 정확도를 검증하였다.

**3. 입목수간재적표 조제**

현재 사용하고 있는 삼나무재적표(National Institute of

Forest Science, 2015)는 1987년도에 개발되었다. 재적표 상 흉고직경의 범위는 6 cm부터 40 cm까지이며 수고의 범위는 5 m부터 30 m까지로 현재 이 범위 밖에 있는 삼나무의 재적은 파악하기 어렵다. 또한 현행재적표는 지수식으로 개발되어 개체목의 이용재적 및 원목의 구분별 재적을 산출하는데 한계가 있다. 본 연구는 장령림화되어 있는 삼나무의 현실임분을 반영하기 위해서 흉고직경 80 cm, 수고 35 m까지 범위를 확장한 입목수간재적표를 개발하였다. 단재적은 각 표본목의 전체수고를 10 cm 단위로 근원부부터 초두부까지 구분하여 수간고별 직경을 추정하여 Smalian식을 이용하여 계산하였다(Son et al., 2012; Kang et al., 2014b). 수간의 형태는 크게 3가지 형태로 나뉘는데 근주부에서 1.2 m까지는 나일로이드형(neiloid)이며, 초두부는 원추형이(conoid)고, 이 양쪽 끝을 제외한 수간의 대부분은 포물선형(paraboloid)으로 구분하였다(National Institute of Forest Science, 2018). 또한 새롭게 개발한 입목수간재적표와 지수식으로 개발한 현행 입목수간재적표의 재적간 차이는 T-test를 통해 확인하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 수간곡선식 파라미터 도출**

새롭게 추정된 삼나무의 수간곡선식의 모수 및 통계적 검정량은 Table 5와 같다.

수간곡선식은 흉고직경과 수고 이외에 변수로 변곡점이 필요하며 이는 나일로드체에서 포물선체로 변하는 부분을 말한다. Table 5에 P값은 Kozak model을 적용하여 산출된 수치로, 수간곡선의 변곡점 값을 0.2로 선정하여 파라미터를 추정된 것을 나타낸다(Kozak, 1988). 이 수치는 기존 국내에서 Kozak model을 이용하여 삼나무의 수간재적을 추정한 선행연구 Kang et al.(2015), Seo et al.(2015) 결과와 유사한 값이다.

Table 5. Parameters and statistics of Kozak's stem profile model for *Criptomeria japonica*.

Parameter	Estimate	FI	Bias	SEE	MAD
<i>a</i> 1	1.1858				
<i>a</i> 2	0.9116				
<i>a</i> 3	0.9997				
<i>b</i> 1	1.3045				
<i>b</i> 2	-0.3416	0.9874	-0.0142	1.1640	0.8399
<i>b</i> 3	1.9307				
<i>b</i> 4	-0.9738				
<i>b</i> 5	0.0795				
<i>p</i>	0.2				

2. 수간곡선식의 적합성 검증

수간곡선식의 적합성을 검증하기 위하여 FI, Bias, SEE, MAD를 산출하였다. 또한 검정통계량 외에 예측치 잔차의 분포가 상대수고를 기준으로 평균의 범위를 벗어나는지 확인하였다(Figure 2).

잔차를 보면 추정치의 값이 전체적으로 0과 가까운 값을 나타내며 잔차의 값이 양의 값과 음의 값의 대칭이 되는 것으로 보아 적합성이 높은 것으로 판단된다. 또한 추정된 수간곡선식의 통계적 적합도(FI)는 98.7%로 높은 적합성을 보였다. Bias는 -0.0142로 0을 중심으로 크게 차이가 나지 않고 SEE도 0.9160으로 나타나 통계적으로 적합성이 높은 것으로 나타났다. 이는 제주도 내 삼나무를 대상으로 3개의 지역별 수간재적을 구분한 선행연구인 Kang et al.(2015)의 결과인 애월(적합도 97%, Bias 0.115, SEE 1.1998), 구좌(적합도 96%, Bias 0.1245, SEE 1.4564), 한남(적합도 95%, Bias 0.0029, SEE 1.5646)의 연구결과와 유사한 통계값을 보였으며 제주 시험림내 삼나무 임분의 삼나무재적을 추정한 Seo et al.(2015)의 연구결과인 적합도 99%, Bias 0.008, SEE 1.229와 Roscinto et al.(2017)이 제주도 아열대 기후에서 5가지 수간곡선식의 정확도를 비교한 연구에서 적합성이 가장 높은 Kozak88의 결과인 적합도 99%, Bias -0.0160, SEE 1.5126과도 유사

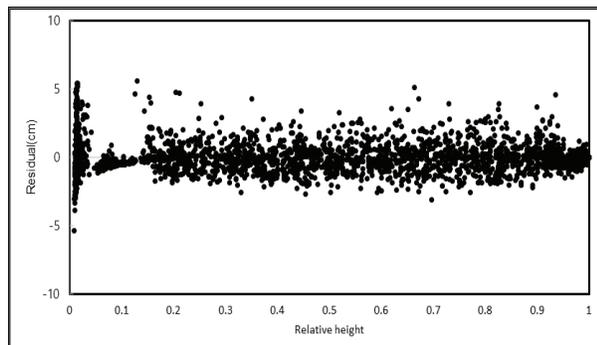


Figure 2. Residual distribution of estimated diameter based on relative height.

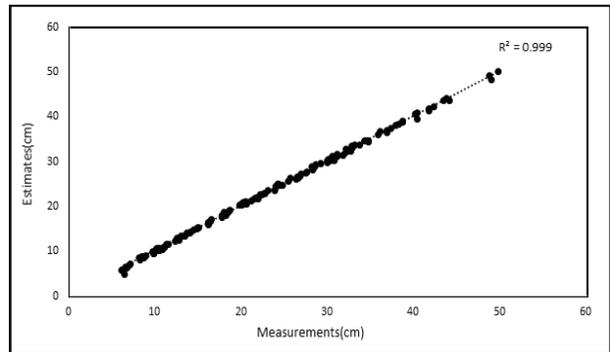


Figure 3. Validation of parameters in a stem taper equation.

한 통계적 적합성을 보였다. 그러나 삼나무의 수간곡선을 추정된 기존의 선행연구들은 제주지역 삼나무만을 표본목으로 선택한 연구로 전국 단위의 이용은 한계점이 있다고 판단된다. 이에 따라 전라도와 경상도를 포함하여 전국에 분포하는 삼나무를 대상으로 분석한 본 연구의 결과와 차이가 있을 것으로 판단된다. 또한 검정자료로 검증 한 결과 R<sup>2</sup> 0.99, RMSE 0.52 cm로 추정된 수간곡선식이 높은 정확도를 나타내는 것을 알 수 있었다(Figure 3).

3. 수간곡선형 도식화

Kozak model로 산출된 파라미터를 이용하여 삼나무의 수간곡선형을 수간고별 직경과 상대수고를 이용하여 도식화하였다(Figure 4).

Figure 4는 신규삼나무 수간곡선식을 이용하여 상대수고별 수피외직경 값을 도식화 한 것이다. 수간곡선식을 이용하면 흉고직경과 수고값을 변수로 하여 수간고별 수피외직경 값을 찾아 전체 재적 뿐만아니라 구분별 재적값을 추정할 수 있다. 그러나 현재 사용하고 있는 삼나무 재적표는 지수식으로 재적을 산정하여 수간의 전체 재적만 산정할 수 있고 구분별 재적은 나타낼 수 없다.

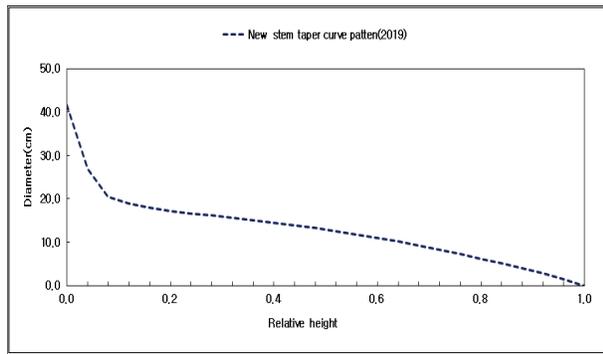


Figure 4. Stem taper curve patten of *Cryptomeria japonica*.

4. 입목수간재적표 조제

흉고직경 6 cm~40 cm, 수고 5 m~30 m 범위의 신규 재적표와 현행재적표의 재적차이를 통계적으로 비교한 결과 두 재적표의 평균재적 값이 통계적으로도 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 현행재적표가 과거의 제한된 입목자료를 활용하였기 때문에 대경급의 입목을 제대로 추정하지 못할 뿐만 아니라 지수식을 이용한 한계로 새롭게 개발된 재적표와 재적의 차이가 큰 것으로 판단된다. 따라서 현재의 삼나무 임분의 성장을 정확히 파악하기 위해서는 새로 조제한 입목수간재적표를 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다(Table 6, Table 7).

Table 6. Stem volume table for *Cryptomeria japonica*.

D(cm)\H(m)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	0.0088	0.0147	0.0218	0.0300	0.0392	0.0495	0.0607	0.0729	0.0861	0.1001	0.1151	0.131	0.1479
6	0.0107	0.0179	0.0265	0.0366	0.0479	0.0605	0.0743	0.0893	0.1054	0.1226	0.1409	0.1603	0.1808
7	0.0126	0.0211	0.0313	0.0432	0.0567	0.0716	0.088	0.1058	0.1249	0.1453	0.167	0.1900	0.2142
8	0.0145	0.0243	0.0361	0.0499	0.0654	0.0828	0.1017	0.1223	0.1445	0.1682	0.1933	0.2200	0.2480
9	0.0164	0.0275	0.0409	0.0565	0.0742	0.0939	0.1156	0.139	0.1642	0.1912	0.2199	0.2502	0.2821
10	0.0183	0.0307	0.0457	0.0632	0.0831	0.1052	0.1294	0.1557	0.1841	0.2144	0.2465	0.2806	0.3164
11	0.0202	0.0339	0.0505	0.0699	0.0919	0.1164	0.1433	0.1725	0.204	0.2376	0.2733	0.3111	0.3509
12	0.0221	0.0371	0.0553	0.0766	0.1007	0.1277	0.1572	0.1893	0.2239	0.2609	0.3002	0.3417	0.3855
13	0.0240	0.0403	0.0601	0.0833	0.1096	0.1389	0.1712	0.2062	0.2439	0.2842	0.3271	0.3724	0.4202
14	0.0259	0.0435	0.065	0.0900	0.1185	0.1502	0.1851	0.2230	0.2639	0.3076	0.3541	0.4032	0.4550
15	0.0278	0.0467	0.0698	0.0967	0.1273	0.1615	0.1991	0.2399	0.2839	0.3310	0.3811	0.4341	0.4899
16	0.0297	0.0500	0.0746	0.1034	0.1362	0.1728	0.2130	0.2568	0.3040	0.3545	0.4082	0.4650	0.5249
17	0.0317	0.0532	0.0794	0.1101	0.1451	0.1841	0.2270	0.2737	0.3241	0.3780	0.4353	0.4960	0.5599
18	0.0336	0.0564	0.0843	0.1169	0.1540	0.1954	0.2410	0.2907	0.3442	0.4015	0.4624	0.5269	0.5950
19	0.0355	0.0596	0.0891	0.1236	0.1629	0.2067	0.2550	0.3076	0.3643	0.4250	0.4896	0.5580	0.6301
20	0.0374	0.0628	0.0939	0.1303	0.1718	0.2181	0.2691	0.3245	0.3844	0.4485	0.5168	0.5890	0.6652
21	0.0393	0.0661	0.0987	0.137	0.1806	0.2294	0.2831	0.3415	0.4046	0.4721	0.5440	0.6201	0.7004
22	0.0412	0.0693	0.1036	0.1438	0.1895	0.2407	0.2971	0.3585	0.4247	0.4957	0.5712	0.6512	0.7356
23	0.0431	0.0725	0.1084	0.1505	0.1984	0.2521	0.3111	0.3754	0.4449	0.5192	0.5984	0.6823	0.7708
24	0.0450	0.0757	0.1132	0.1572	0.2073	0.2634	0.3252	0.3924	0.4650	0.5428	0.6257	0.7135	0.806
25	0.0469	0.0789	0.1181	0.1639	0.2162	0.2747	0.3392	0.4094	0.4852	0.5664	0.6529	0.7446	0.8413
26	0.0488	0.0822	0.1229	0.1707	0.2252	0.2861	0.3532	0.4264	0.5054	0.5900	0.6802	0.7758	0.8766
27	0.0507	0.0854	0.1277	0.1774	0.2341	0.2974	0.3673	0.4434	0.5256	0.6136	0.7075	0.8069	0.9119
28	0.0527	0.0886	0.1326	0.1841	0.243	0.3088	0.3813	0.4604	0.5457	0.6373	0.7348	0.8381	0.9472
29	0.0546	0.0918	0.1374	0.1909	0.2519	0.3201	0.3954	0.4774	0.5659	0.6609	0.7621	0.8693	0.9825
30	0.0565	0.0951	0.1422	0.1976	0.2608	0.3315	0.4094	0.4944	0.5861	0.6845	0.7894	0.9005	1.0178
31	0.0584	0.0983	0.1471	0.2043	0.2697	0.3428	0.4235	0.5114	0.6063	0.7082	0.8167	0.9317	1.0532
32	0.0603	0.1015	0.1519	0.2111	0.2786	0.3542	0.4375	0.5284	0.6265	0.7318	0.8440	0.9630	1.0885
33	0.0622	0.1047	0.1568	0.2178	0.2875	0.3655	0.4516	0.5454	0.6467	0.7555	0.8713	0.9942	1.1239
34	0.0641	0.1079	0.1616	0.2245	0.2964	0.3769	0.4656	0.5624	0.6669	0.7791	0.8987	1.0254	1.1593
35	0.0660	0.1112	0.1664	0.2313	0.3053	0.3882	0.4797	0.5794	0.6872	0.8028	0.9260	1.0567	1.1946

Table 7. Analysis of T-test between Original stem volume table and New stem volume table.

Volume	N	Mean	S.D.	S.E.	t value	Pr> t
Original	380	0.4172	0.3261	0.0167	2.2475	0.002
New	380	0.4747	0.3780	0.0193		

## 결론

본 연구는 우리나라의 남부 및 제주에 분포하는 삼나무의 전국단위 입목수간재적표를 개발하고자 수행되었다. 본 연구에서 사용된 Kozak 수간곡선식은 수종별 수간의 기하학적 형태를 추정할 때 적합도가 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 Kozak식은 수종 등의 입력자료에 따라 파라미터 값이 달라지기 때문에 다른수종 또는 다른 시기 자료를 활용하여 개발된 수간곡선식의 경우 수간고별 직경 값의 추정이 부정확 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 추정된 Kozak 수간곡선식의 적합성을 검증하기 위하여 통계적인 검정을 함께 수행 하였다. 본 연구의 결과에 따르면 현행 재적표는 새로 개발된 재적표와 동일한 흉고직경의 재적에서 차이가 크게 발생하였다. 따라서 과거 자료에 기반하여 작성된 현행 재적표는 현재 국내 삼나무 임분의 재적을 제대로 반영하지 못하다고 판단되며, 산림사업시 임업경영의 기초자료로서 불합리할 것으로 판단된다. 이에 재적예측의 정확도 측면에서 새롭게 개발된 신규 재적표를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## References

- Ayer Sachet, J.K., Briggs, D.G. and Fight, R.D. 1989. Tree value System: Users guide. DA. General Technical Report PNW-GTR-234. pp. 45.
- Chung, Y.G., Kim, D.H. and Kim, C.M. 2010. Development of stem profile and taper equation for *carpinus laxiflora* in Jeju experimental forests national institute of forest science. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(4): 1-7.
- Hong, S.C., Byun, H.S. and Kim, S.S. 1998. Colored illustrations of trees & shrubs in Korea, Book Publication of Gyemyeongsa. pp. 310.
- Kang, J.T., Son, Y.M., Kim, S.W., Lee, S.J. and Park, H. 2014a. Development of local stem volume table for *Pinus densiflora* S. et Z. using tree stem taper model. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 16(4): 327-335.
- Kang, J.T., Son, Y.M., Kim, S.W., Park, H. and Hwang, J.S. 2014b. Development of local stem volume table for *larix kaempferi* using Kozak's stem taper model. *Journal of Agriculture & Life Science* 48(6): 119-131.
- Kang, J.T., Moon, H.S., Son, Y.M. and Ahn, K.W. 2015. An estimation on the stem volume of *Cryptomeria Japonica* in Jeju using Kozak's Stem Taper Model. *The Journal of Korean Island*. 27(3): 145-160.
- Korea Forest Service. 2013. Assessment of the Korea Forest Resources. pp. 59.
- Korea Forest Service. 2018. Statistical Yearbook of Forestry. pp. 444.
- Ko, C.U., Kim, D.G. and Kang, J.T. 2019. Estimating stem volume table of *quercus acutissima* in South Korea using variable exponent equation. *Journal of Korean Forest Society of Forest Science* 108(3): 357-363.
- Kozak, A. 1988. A Variable-exponent Taper Equation. *Canadian Journal of Forest Research* 18(11): 1363-1368.
- Lee, K.H., Son, Y.M., Chung, Y.G. and Lee, W.K. 1999. A taper and volume prediction system for *Pinus densiflora* in Kangwon province, Korea. *Korea Forest Institute Journal of Forest Science* 62: 155-166.
- Lumbres, Roscinto Ian C., Seo, Y.O., Joo, S.H. and Jung, S.C. 2017. Evaluation of stem taper models fitted for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in the subtropical forests of Jeju Island, Korea. *Forest Science and Technology* 13(4): 181-186.
- National Institute of Forest Science. 2015. Stumpage volume · Biomass and Stand yield table. pp. 212.
- National Institute of Forest Science. 2018. Practical Forest Measurement and Investigation. pp. 191.
- Park, J.H., Lee, K.S., Ju, N.G., Kang, Y.J., Ryu, S.B., Yoo, B.O., Park, Y.B., Kim, H.H. and Jing, S.Y. 2016. Vegetation structure and growth characteristics of *cryptomeria japonica* (Thunb. ex L.f.) D. Don Plantations in the Southern Region of Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 50(1): 105-115.
- Raymond L. Czapplewski, Amy S. Brown, and Dale G. Guenther. 1989. Estimating merchantable tree volume in Oregon and Washington using stem profile models. *USDA Forest Service Research Paper RM-286*. pp. 1-15.
- Seo, Y.O., Jung, S.C., Won, H.K. and Lee, Y.J. 2015. Taper

- equation and stem volume table of *cryptomeria japonica* in Jeju experimental forests. *Journal of Agriculture & Life Science* 49(1): 71-77.
- Son, Y.M., Jeon, J.H., Pyo, J.K., Kim, K.N., Kim, S.W. and Lee, K.H. 2012. Development of stem volume table for *Robinia pseudoacacia* using Kozak's stem profile model. *Journal of Agriculture & Life Science* 46(6): 43-49.
- Son, Y.M., Kang, J.T., Jeon, J.H. and Ko, C.U. 2017. The estimation of stem volume for *Pinus thunbergii* by coast using Kozak's stem taper model in Korea. *The Journal of Korean Island* 29(4): 225-244.
- 
- Manuscript Received : August 13, 2020  
First Revision : September 10, 2020  
Accepted : September 11, 2020