

변량지수식을 이용한 전국 상수리나무의 입목수간재적표 추정

고치웅¹ · 김동근² · 강진택^{1*}

¹국립산림과학원 산림산업연구과, ²경북대학교 생태환경시스템학과

Estimating Stem Volume Table of *Quercus Acutissima* in South Korea using Variable Exponent Equation

Chi-Ung Ko¹, Dong-Geun Kim² and Jin-Taek Kang^{1*}

¹Division of Forest Industry Research, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

²Department of Ecology and Environment System, Kyungpook National University, Sangju 37224, Korea

요약: 본 연구는 Kozak 수간곡선모델을 이용하여 우리나라 상수리나무의 입목수간재적표를 개발하고자 수행하였다. 전국의 분포하고 있는 상수리나무를 총 2,700본의 표준목을 벌채하여 수간고별 직경과 수간석해 자료를 수집하여 성장특성을 조사하였다. 수간곡선식의 적합도 검정을 위하여 적합도지수(Fitness index), 편차(Bias), 평균절대편차(Mean Absolute Deviation)를 이용하여 모델의 적합성을 판단하였다. 추정된 모델의 적합도지수는 97%로 나타났고 편차는 0.017, 평균절대편차는 1.118로 높은 적합도를 보였다. 또한 현행재적표와 신규재적표의 재적간의 차이를 분석한 결과, 통계적으로 유의적인 재적차이를 보였다($p = 0.0008, <0.005$). 이는 현실림을 반영한 신규재적표를 이용하는 것이 목재자원량의 평가시 손실을 줄이고 국가 및 지자체의 산림통계의 정확도를 향상시킬 것으로 판단된다. 본 연구의 주요한 결과인 추정된 수간곡선식을 이용한 입목수간재적표는 우리나라의 주요 활엽수종인 참나무류 중 상수리나무의 성장 정보 및 합리적 경영을 위한 경영제표가 될 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to develop a stem volume table for *Quercus acutissima* in Korea by using Kozak's stem taper equation. In total, 2700 tree samples were collected around the country, and growth performance was investigated through compiling data on diameters by stem height and stem analysis. In order to test the stem taper equation's fitness, the fitness index (FI), bias, and mean absolute deviation (MAD) were analyzed. The fitness of the equation was estimated at 97%, bias as 0.017, and MAD turned out to be 1.118, respectively. Furthermore, there was a statistically significant volume difference between the current volume table and the new volume table ($p = 0.0008, <0.005$). The result indicates that using the new volume table that reflects the actual forest will reduce the loss when assessing wood resources and will improve the accuracy of forest statistics for national and local governments. A stem volume table, the main result of this research, which is utilized in the estimated stem taper equation, will provide growth information for *Quercus acutissima*, one of the main broadleaf species in Korea, and will function as a management indicator for rational forest management.

Key words: *Quercus acutissima*, stem volume table, stem taper model, Kozak's stem taper equation, forest management, stem analysis.

서론

참나무는 낙엽활엽수림의 대표적인 수목으로 우리나라는 식물지리학상 참나무대에 속하고 있어 전국의 어떤 지역

에서도 찾아 볼 수 있다. 참나무류는 2015년 말 현재 활엽수종의 전체 산림면적인 2,028,855 ha 중에 975,181 ha로 가장 많이 분포하고 있으며, 입목축적도 전체 263,738,277 m³ 중 133,606,365 m³로 전체 활엽수의 입목축적중 약 50%의 높은 입목축적을 가진 수종이다(Korea Forest Service, 2018). 우리나라에 분포하는 참나무중 신갈나무는 군집을 이루고 서식하나 이를 제외한 나머지 참나무는 대부분 침엽수나 기타활엽수 또는 몇 가지의 참나무류와 혼효림을 구성하여 분포하거나 소면적의 순림으로 분산되어 분

* Corresponding author

E-mail: beg8bune@korea.kr

ORCID

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


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

Table 1. Characteristics of surveyed sample trees.

variable	n	Mean	Std. Dev	Min	Max
Age		36.7	9.78	15	58
DBH (cm)	2,700	20.0	5.6	6.0	40.0
Height (m)		14.9	2.77	6.1	22.4

포하는 모습을 보이고 있다(National Institute of Forest Science, 2012). 그 중 상수리나무는 한라산 등의 일부 산을 제외하고 대부분 산의 하북부에서 중북부까지 분포하며 전국적인 평균 해발고는 200 m 안팎으로 추산되며, 생육적지로는 산록이나 야산의 구릉지대로서 통기성이나 보수성이 양호한 적운지 가운데 비교적 토양 비옥도가 높은 지역이 생육적으로 판단된다(National Institute of Forest Science, 2012).

우리나라의 산림은 1960년대 유행기에 해당하는 II~III 영급의 임목축적이 차지하는 비율이 69.4%를 차지하다 2010년에 들어서 23%로 많이 줄어든 반면, IV~V 영급이 되는 임목축적의 비율은 22.7%에서 65.6%로 청·장년기에 해당하는 영급이 상당히 증가한 것을 알 수 있다(Korea Forest Service, 2013). 이는 임목의 재적을 산출할 때 기존의 현행재적표는 우리나라의 산림이 과거 어린임분의 상태의 전국적인 자료의 평균치로 이용하여 추정되었기 때문에 현재 임분특성을 반영하기 힘들고, 이는 통계적으로 과대·과소치의 추정치를 나타낼 수 있다고 판단된다.

최적의 산림경영은 산림의 임목에 대한 정확한 재적의 추정이 기본이 되며, 임목 재적의 추정은 합리적인 임분의 경영과 이를 위한 조림의 형태와 강도를 결정하는 매우 중요한 자료이다(Kang et al., 2014a). 변량지수식을 이용하여 수간재적을 구하는 것은 수간고를 독립변수로 하고 그 높이 부위의 직경을 추정하는 곡선식을 추정하여 전체 임목수간형태를 알아내는 것으로 전체 수간재적과 이용재적과의 추정도 가능해진다(Ayer et al., 1989).

따라서 본 연구의 목적은 최근 우리나라 산림의 영급 및 경급의 구조가 올라감에 따라 현행재적표의 적용이 현실임분을 반영하지 못하는 한계가 있어 우리나라 상수리나무에 대하여 전체경급에 적용할수 있는 수간곡선식을 개발하고 이를 이용하여 수피를 포함하는 임목수간재적표를 개발하는데 있다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구는 우리나라 참나무류 중 상수리나무의 임목수간재적표를 개발하기 위하여 전국의 분포하고 있는 상수

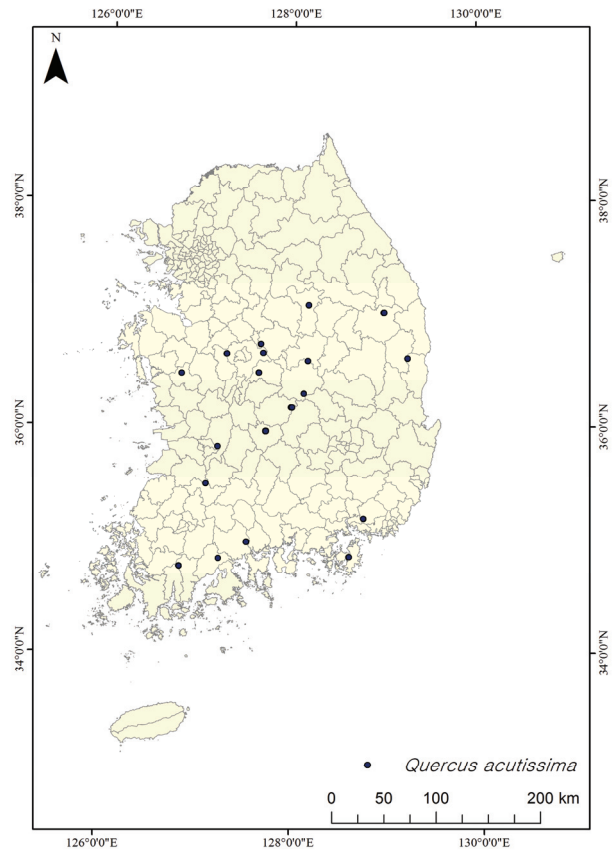


Figure 1. Location of the study area.

리나무를 1/5,000 임상도상의 분포면적을 지역별로 구분하여 분석 후, 분포면적의 비율에 따라 표본목을 선발하였다. 자료의 수집은 2018년 5월부터 10월까지 6개월간 경급별(소, 중, 대)로 균일하게 2,700본의 표준목을 벌채하였다. 분석에 사용된 참나무의 평균 임령은 36.7년생으로 나타났고, 평균 흉고직경은 20 cm 평균수고는 14.9 m로 나타났다(Table 1, Figure 1).

2. 분석방법

상수리나무의 임목수간재적표를 조제하기 위하여 미국, 캐나다 등의 임업 선진국에서 많이 이용되며, 국내에서도 국립산림과학원에서 주요 수종 11개의 임목재적표를 개발(National Institute of Forest Science, 2015)하는데 이용한 Kozak model(Kozak, 1988)로 상수리나무의 수간

Table 2. Applied stem taper equation for fitting of in *Quercus acutissima* this study.

Model	Taper equation
Kozak(1988)	$d = a_1 DBH_2^a a_3^{DBH} X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z + 0.001) + b_3 \sqrt{Z} + b_4 e^{-Z} + b_5 \left(\frac{DBH}{H}\right)}$ <p>where $Z = \text{relative height} (= \frac{h}{H})$</p> $X = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H}}}{1 - \sqrt{p}} \quad (p = \text{inflection point})$ <p>$a_i, b_i = \text{parameters}$ $d = \text{diameter (estimated) when } h/H$</p>

Table 3. Accuracy assessment for estimation of Kozak's stem profile model.

Statistics	Calculation forms
Fitness index (FI)	$FI = 1 - \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (Y_i - \bar{Y})^2$
Bias	$\bar{D} = \sum (Y_i - \hat{Y}_i) / n$
Standard error of estimate as percent of the mean (SEE%)	$SEE\% = \sqrt{(ei - \bar{D})^2 / (N - 1)} / \bar{Y} \times 100$
Mean Absolute Deviation (MAD)	$ \bar{D} = \sum Y_i - \hat{Y}_i / n$

where Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y} = measurement, estimate and mean of weight, respectively,
 n = the number of sample trees, and
 p = the number of model parameters

곡선 추정식을 구하였다(Table 2). 변량지수식인 Kozak model의 장점은 흉고직경과 수고를 이용하여 수간고별 수피의 직경을 구할 수 있는 식으로 높은 설명력을 나타내고 적은 변곡점을 이용하는 장점이 있다. 또한 개체목의 재적을 산정할 때, 말구 및 원구직경의 조정이 자유로워 실제 이용되는 이용재적과 재장별로 이용가능한 절동갯수 등을 산출을 할 수 있게 하기 때문이다.

3. 통계적 검정

Kozak model을 이용하여 상수리나무 수간곡선식의 적합도를 판단하기 위한 검정통계량은 Table 3과 같다. 적합도지수(FI)는 비선형식과 변수간의 관계를 나타내며, 선형식의 결정계수(Coefficient of determination, R²)와 같은 성격의 지수이다. 이는 비선형회귀분석에서 의미가 없어 추정값과 실측값의 관계정도를 나타내기 위한 값이다. 또한 추정된 값이 모수의 참값에 대하여 평균적인 과소·과대치를 주는지를 알아보고자 편의(Bias)와 잔차의 표준오차의 백분율(SEE%)을 비교하여 모델의 상대적인 정도를 평가하였다. 추정치 잔차의 절대값을 평균한 값인 평균절대편차(MAD)로 각 추정치 편차의 평균적인 크기를 알 수 있었으며 이들 통계량은 관측값과 추정값의 차이를 보여주는 것으로 값이 0과 근접할수록 높은 정도를 나타낸다. 한편 검정통계량은 수간곡선식의 추정이행능

력만을 확인 할 수 있다. 이에 추정치에 대한 잔차의 산포도를 그려 재적과 직경에 따른 과대·과소치 추정의 경향을 확인 하여야 한다(Lee et al., 1999; Son et al., 2012; Kang et al., 2014b; Son et al., 2017).

4. 입목수간재적표 조제

현재 사용하고 있는 재적표(National Institute of Forest Science, 2015)는 흉고직경 6 cm부터 80 cm까지이며 수고는 5 m부터 35 m까지로 신규 입목수간재적표 역시 같은 범위내에서 재적표를 조제하였다. 입목수간재적표는 각 표본목의 수피를 포함한 수간재적의 실측치를 가지고 수간고별 직경을 토대로 Smalian식을 이용한 구분구적법으로 계산하였다. 수간재적의 추정치는 측정된 수간고와 직경을 이용하여 모델별 수간곡선식을 도출한 후, 수간의 형태별로 나누어 재적을 산출하였다. 수간의 형태는 크게 3가지 형태로 나뉘는데 근주부는 나일로이드형(neiloid)이며, 초두부는 원추형이(conoid)고, 이 양쪽 끝을 제외한 수간의 대부분은 포물선형(paraboloid)으로 구분하였다(National Institute of Forest Science, 2018). 재적은 수간고를 10cm 간격으로 나누어 직경을 추정하고, Smalian식에 의한 구분구적법으로 산출하였다(Son et al., 2012; Kang et al., 2014b). 또한 Kozak model을 이용하여 작성한 신규상수리나무의 입목수간재적표와 현행상수리나

Table 4. Parameters and statistics of Kozak's stem profile model for *Quercus acutissima*.

Parameter	Estimate	FI	Bias	SEE	MAD
<i>a</i> 1	1.4720				
<i>a</i> 2	0.8104				
<i>a</i> 3	1.0045				
<i>b</i> 1	0.8145				
<i>b</i> 2	-0.2509	0.9702	0.0170	1.5136	1.1184
<i>b</i> 3	1.8771				
<i>b</i> 4	-0.7479				
<i>b</i> 5	0.0422				
<i>p</i>	0.2				

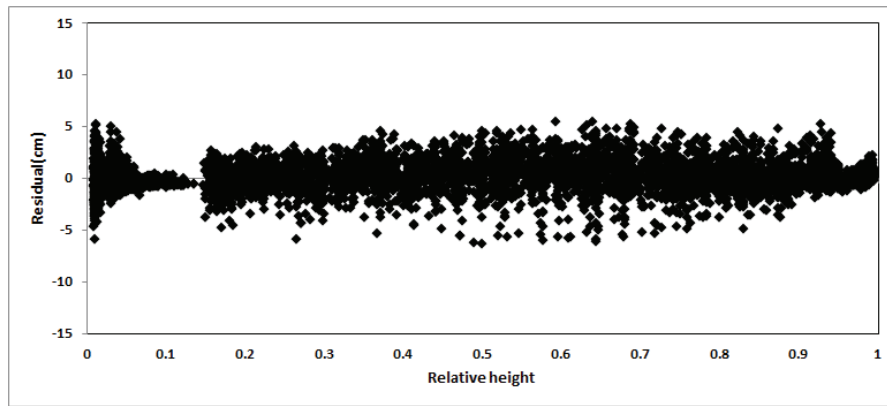


Figure 2. Residual distribution of estimated diameter based on relative height.

무 입목수간재적표의 재적차이를 알아보기 위하여 T-test를 진행하여 통계적 차이를 확인하였다.

결과 및 고찰

1. 수간곡선식 파라미터 도출

Kozak model을 이용하여 상수리나무의 수간곡선의 모수 및 검정통계량은 다음 Table 4와 같다.

변곡점은 나일로드체에서 포물선체로 변하는 부분을 말하며 수간고별로 직경의 분포를 그려 곡선이 변하는 지점을 임의로 선정하였다. Table 4에 *P*값은 Kozak model(1988)의 내용을 적용하여 수간곡선의 변곡점 값으로 상대수고의 20%가 되는 지점인 0.2을 변곡점으로 정하였다. 국내에서는 Kozak model(1988)을 이용한 연구의 변곡점을 보면 전남 완도 지역의 붉가시나무 변곡점 0.25, 제주지역 붉가시나무 0.22라고 측정된 바 있으며, 제주지역 삼나무의 변곡점 0.20(Kang et al., 2015a), 제주 서귀포시에 국립산림과학원 시험림내에 삼나무의 변곡점 0.22(Seo et al., 2014)등 변곡점은 동일 수종이라 하더라도 지역에 따라 달라질 수 있음을 의미한다고 밝힌 바가 있다(Son et al., 2007; Son et al., 2012) 또한 소나무류

(0.25), 가문비나무(0.3), 사시나무(0.2) 등을 수간의 변곡점이라고 보도한 결과가 있다(Son et al., 2009).

2. 수간곡선식 모델의 적합성 검정

본 연구에서 사용한 Kozak 수간곡선 모델의 적합성을 검증하기 위하여 Table 4에서 FI, Bias, SEE, MAD등의 값으로 모델의 적합성을 검정하였다. 또한 검정통계량 외에 상대수고에 따른 잔차의 분포를 확인하여 관측치와 추정치의 평균적인 범위를 확인하여 평균의 범위를 벗어나는 지 확인하였다(Figure 2).

상대수고별 잔차를 비교하여 보면 전체적으로 0과 가까운 값을 나타내며 양의 값과 음의 값의 차이가 없는 것으로 적합성이 높은 것으로 판단되며, 추정된 수간곡선식의 적합도는 97%로 높은 적합성을 보였고, Bias는 -0.0024로 0을 중심으로 평균과 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났으며 SEE는 0.9160으로 나타났다. 이는 Kozak model을 이용하여 활엽수종인 아까시나무를 이용한 선행연구(Son et al., 2009)의 통계적 결과인 Bias -0.0042, SEE 0.8656, 유칼립투스 Bias -0.0042, SEE 0.8915, 서어나무(Chung et al., 2010) FI 0.92, Bias 0.03, MAD 1.51와 졸참나무의 수간곡선식 개발의 선행연구(Kang et al.,

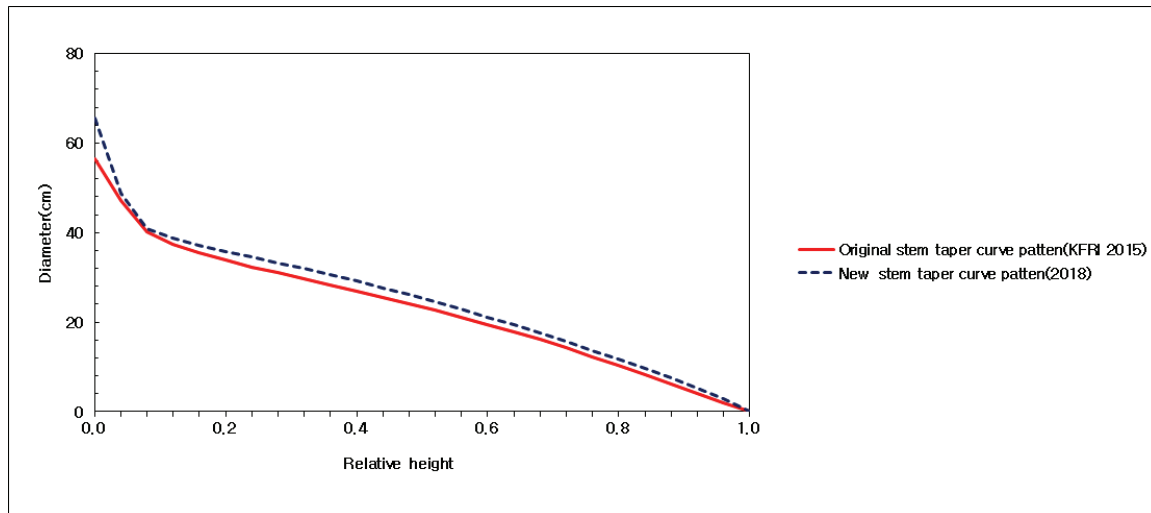


Figure 3. Stem taper curve patten of *Quercus acutissima*.

2015b)의 Bias 0.0115, SEE 1.1998와 신갈나무를 이용한 수간곡선식 개발의 선행연구(Ko et al., 2019)의 FI 0.9867, Bias -0.0024, SEE 0.9160와 비교 하였을 때 본 연구는 기존의 우리나라의 주요 활엽수종과 통계적 오차범위가 비슷한 수준으로 나타났다.

3. 수간곡선형 비교

Kozak model로 산출된 파라미터를 이용하여 상수리나무의 수간형을 수고별 직경(DBH)과 상대수고(Relative height, RH)를 이용하여 도식화 한 것은 다음과 같다(Figure 3).

Figure 3은 현행상수리나무 재적표의 수형과 신규상수리나무 재적표의 수간곡선 패턴을 상대수고별 직경으로 비교한 것이다. 도식화된 수간곡선형의 비교는 신규로 조제한 재적표의 값이 현행재적표의 패턴보다 전체적인 부분에서 다소 높은 값을 보인 것을 알 수 있다. 변량지수식은 수간고별 수피의 직경값을 찾은 후 수간고별로 수간곡선을 그려 적분하는 방법으로 두 곡선을 적분하여 보면 새로 도출한 상수리나무의 직경값이 전체 부분에서 큰 것을 알 수 있다. 이는 재적으로 산출시, 동일한 흉고 직경과 수고에서 새로 조제한 재적표의 재적 값이 더 높게 나타남을 의미한다.

4. 입목수간재적표 조제

현행재적표와 신규재적표의 통계적 차이를 비교 한 결과, 새로 조제한 신규재적표의 평균재적이 높은 것으로 나타났으며 통계적으로도 유의적인 차이를 보일 정도로 재적의 차이가 큰 것으로 나타났다($p < 0.005$). 이는 현행 재적표는 과거의 자료를 이용하여 조제한 것으로, 현시대의 상수리나무 임분을 제대로 반영하지 못할 것으로

판단되며, 본 연구로 새로 조제한 신규 상수리나무 입목수간재적표의 적용이 필요한 것으로 사료된다(Table 5, Table 6).

결론

본 연구는 우리나라의 전국적으로 분포하고 있는 참나무류중 상수리나무의 입목수간재적표를 개발하기 위하여 산림수종의 수간곡선 추정시에 적합도가 높은 식으로 알려진 변량지수식인 Kozak 수간곡선 모델을 이용하여 상수리나무 입목수간재적표를 개발하였다. 상수리나무의 수간곡선 추정에 있어 Kozak 수간곡선 모델의 적합성을 검증하기 위하여 통계적인 검증으로 적합도지수(FI)와 편의(Bias), 평균절대편차(MAD)등을 이용하였고 상수리나무의 수간곡선을 추정하는데 있어서 적합한 식으로 평가되었다. 또한 현행재적표와 신규재적표간의 평균을 비교한 결과 재적간에 통계적으로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.005$). 본 연구결과에 따르면 현행재적표는 현재 산림 상태를 기초로한 새로 개발된 신규재적표와 재적차이가 크게 나기 때문에 ha당 재적을 추정할 경우 차이가 크게 나타날 것이다. 이는 현행 재적표를 사용할 시에 현시대의 산림을 제대로 반영하지 못하여 임업경영상 기초자료로서 불합리하며 목재자원량의 평가시 과오차를 보일 것으로 판단되어 신규재적표를 사용하는 것이 활용도와 정확도 면에서 바람직 할 것으로 판단된다. 또한 환경적 기능인 탄소저장량의 계산, 산림부분 온실가스 인벤토리등 다양한 산림사업 현장에서 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 5. Stem volume table for *Quercus acutissima*.

D (cm) \ H (m)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	0.0094	0.0151	0.0219	0.0298	0.0387	0.0486	0.0596	0.0717	0.0848	0.0990	0.1143	0.1307	0.1483
6	0.0113	0.0182	0.0265	0.0360	0.0469	0.0590	0.0724	0.0870	0.1030	0.1203	0.1389	0.1590	0.1804
7	0.0132	0.0214	0.0311	0.0423	0.0551	0.0694	0.0851	0.1024	0.1213	0.1417	0.1637	0.1873	0.2127
8	0.0152	0.0245	0.0357	0.0486	0.0633	0.0797	0.0979	0.1178	0.1396	0.1631	0.1885	0.2158	0.2450
9	0.0171	0.0277	0.0403	0.0549	0.0715	0.0901	0.1107	0.1333	0.1579	0.1846	0.2134	0.2443	0.2775
10	0.0190	0.0308	0.0449	0.0612	0.0798	0.1005	0.1235	0.1487	0.1763	0.2061	0.2383	0.2729	0.3100
11	0.0210	0.0340	0.0495	0.0675	0.0880	0.1109	0.1363	0.1642	0.1946	0.2276	0.2632	0.3015	0.3425
12	0.0229	0.0371	0.0541	0.0738	0.0962	0.1213	0.1491	0.1797	0.2130	0.2492	0.2882	0.3302	0.3751
13	0.0249	0.0403	0.0587	0.0801	0.1045	0.1317	0.1620	0.1952	0.2314	0.2707	0.3132	0.3588	0.4078
14	0.0268	0.0434	0.0633	0.0864	0.1127	0.1421	0.1748	0.2107	0.2498	0.2923	0.3382	0.3875	0.4404
15	0.0288	0.0466	0.0679	0.0927	0.1209	0.1526	0.1876	0.2262	0.2682	0.3139	0.3632	0.4162	0.4731
16	0.0307	0.0497	0.0725	0.0990	0.1292	0.1630	0.2005	0.2417	0.2867	0.3355	0.3882	0.4450	0.5058
17	0.0326	0.0529	0.0771	0.1053	0.1374	0.1734	0.2133	0.2572	0.3051	0.3571	0.4132	0.4737	0.5385
18	0.0346	0.0560	0.0817	0.1116	0.1457	0.1838	0.2262	0.2727	0.3235	0.3787	0.4383	0.5024	0.5712
19	0.0365	0.0592	0.0863	0.1179	0.1539	0.1942	0.2390	0.2882	0.3419	0.4003	0.4633	0.5312	0.6040
20	0.0385	0.0623	0.0910	0.1242	0.1621	0.2047	0.2518	0.3037	0.3604	0.4219	0.4884	0.5599	0.6367
21	0.0404	0.0655	0.0956	0.1306	0.1704	0.2151	0.2647	0.3192	0.3788	0.4435	0.5134	0.5887	0.6695
22	0.0424	0.0686	0.1002	0.1369	0.1786	0.2255	0.2775	0.3348	0.3972	0.4651	0.5385	0.6175	0.7022
23	0.0443	0.0718	0.1048	0.1432	0.1869	0.2360	0.2904	0.3503	0.4157	0.4867	0.5636	0.6462	0.7350
24	0.0462	0.0749	0.1094	0.1495	0.1951	0.2464	0.3032	0.3658	0.4341	0.5084	0.5886	0.6750	0.7677
25	0.0482	0.0781	0.1140	0.1558	0.2034	0.2568	0.3161	0.3813	0.4526	0.5300	0.6137	0.7038	0.8005
26	0.0501	0.0812	0.1186	0.1621	0.2116	0.2672	0.3289	0.3968	0.4710	0.5516	0.6388	0.7326	0.8333
27	0.0521	0.0844	0.1232	0.1684	0.2199	0.2777	0.3418	0.4124	0.4895	0.5733	0.6638	0.7614	0.8661
28	0.0540	0.0876	0.1278	0.1747	0.2281	0.2881	0.3547	0.4279	0.5079	0.5949	0.6889	0.7902	0.8989
29	0.0560	0.0907	0.1325	0.1810	0.2364	0.2985	0.3675	0.4434	0.5264	0.6165	0.7140	0.8190	0.9316
30	0.0579	0.0939	0.1371	0.1873	0.2446	0.3090	0.3804	0.4590	0.5448	0.6382	0.7391	0.8478	0.9644
31	0.0598	0.0970	0.1417	0.1937	0.2529	0.3194	0.3932	0.4745	0.5633	0.6598	0.7642	0.8766	0.9972
32	0.0618	0.1002	0.1463	0.2000	0.2611	0.3298	0.4061	0.4900	0.5817	0.6814	0.7892	0.9054	1.0300
33	0.0637	0.1033	0.1509	0.2063	0.2694	0.3403	0.4189	0.5055	0.6002	0.7031	0.8143	0.9342	1.0628
34	0.0657	0.1065	0.1555	0.2126	0.2776	0.3507	0.4318	0.5211	0.6187	0.7247	0.8394	0.9630	1.0956
35	0.0676	0.1096	0.1601	0.2189	0.2859	0.3611	0.4447	0.5366	0.6371	0.7463	0.8645	0.9918	1.1284

Table 6. 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	868	0.8091	0.7604	0.0258	3.371	0.0008
New	868	0.9470	0.9361	0.0318		

Reference

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.

Kang, J.T., Moon, H.S., Son, Y.M. and Ahn, K.W. 2015a. 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.

Kang, J.T., Son, Y.M., Jeon, J.H. and Yoo, B.O. 2015b. Estimation of Carbon Stock by Development of Stem Taper Equation and Carbon Emission Factors for *Quercus serrata*. *Journal of Climate Change Research* 6(4): 357-366.

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
- Ko, C.U., Kang, J.T., Son, Y.M. and Kim, D.G. 2019. Estimating stem volume using stem taper equation for *Quercus mongolica* in South Korea. Forest Science and Technology 15(2): 58-62.
- Korea Forest Service (KFS). 2013. Assessment of the Korea Forest Resources. pp. 59.
- Korea Forest Service (KFS). 2018. Statistical Yearbook of Forestry. pp. 444.
- Kozak, A. 1988. "A Variable-exponent Taper Equation", Can. J. For. Res. 18: 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.
- Max, T.A. and Burkhart, H.E. 1976. Segmented Polynomial Regression Applied Taper Equations, Forest Science 22(3): 283-289.
- National Institute of Forest Science. 2012. Economic tree species2. Research Report on Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea. pp. 16.
- 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.
- Seo, Y.O., Jung, S.C., Won, H.K. and Lee, Y.J. 2014. 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.
- Son, Y.M., Kim, H., Lee, H.W., Kim, C.M., Kim, C.S., Kim, J.W., Joo, R.W. and Lee, K.H. 2009. Taper equations and stem volume table of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* plantations in Indonesia. Journal of Korean Forest Society 98(6): 633-638.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kim, R.H. and Seo, J.H. 2007. Development of Stem Profile and Taper Equation for *Quercus acuta* in Wando. Korean Journal of Forest Measurements. 10: 1-6.

Manuscript Received : May 7, 2019
 First Revision : June 11, 2019
 Second Revision : June 29, 2019
 Accepted : July 1, 2019