

수간곡선 모델을 이용한 소나무의 지방별 수간재적표 개발

강진택* · 손영모 · 김소원 · 이선정 · 박 현

국립산림과학원 기후변화연구센터

(2014년 10월 31일 접수; 2014년 11월 7일 수정; 2014년 11월 7일 수락)

Development of Local Stem Volume Table for *Pinus densiflora* S. et Z. Using Tree Stem Taper Model

Jin-Taek Kang*, Yeong-Mo Son, So-Won Kim, Sun-Jeoung Lee and Hyun Park

Center for Forest & Climate Change, Hoegi-ro, Dongdaemen-gu, Seoul 130-712, Korea

(Received October 31, 2014; Revised November 7, 2014; Accepted November 7, 2014)

ABSTRACT

Current volume tables might underestimate or overestimate the volumes of individual trees in a specific region because the tables were made using the data from broad regions within South Korea. Therefore, to solve this problem, this study was conducted to develop local stem volume tables reflecting the local growth pattern and properties using stem taper equations in the regions of Hongcheon and Yeongju. We developed the local stem volume table for *Pinus densiflora*, which is the widely planted species in South Korea. To derive the most suitable taper equation for estimating the stem volume of region, three models of Max & Burkhart, Kozak and Parresol *et al.* were applied and their fitness were statistically analyzed by using the Fitness Index, Bias, and Standard Error of Bias. The result showed that there is a significant difference among the three models, and the Fitness Index of the Kozak model was highest compared to the other models. Therefore, the Kozak model was chosen for generating stem taper equation and stem volume tables for *P. densiflora*. The result from the developed stem volume tables of each region was compared to the current stem volume tables with driven by the data of tree growth obtained throughout the nation. The result showed that there is a significant difference ($0.000 < \alpha = 0.05$) in two regions, Hongcheon and Yeongju, and also there is a significant difference ($0.000 < \alpha = 0.05$) between the two regions.

Key words: Stem volume table, Stem taper equations, Local stem volume table, Kozak model

I. 서 론

임목은 지리적 환경에 따라 형태적, 해부학적, 생리적 형질 변이를 나타내는 지리적 변이를 갖는다. 우리나라의 대표적 수종인 소나무의 분포는 수직적으로 북위 43° 20'의 함북에서부터 북위 33° 20'의 제주 한라산에 이르고 있으며, 수직적으로는 표고 10m에서 최고 1,300m까지 분포하고 있다(Jung and Lee, 1965).

Uyeki(1928)는 우리나라 소나무를 수형에 따라 6개군으로 분류한 바 있으며, 이러한 분류는 외부환경요인의 지리적·지역별 차이에 따른 임목생장차이도 같은 수종이라 할 지라도 크게 나타날 수 있음을 증명해 주는 것이라 볼 수 있다. Park and Lee(1990)은 우리나라 소나무의 4개 지역형 소나무 30-40년생 천연림 전체의 현존량이 안강형은 29.77t/ha인 반면 금강형은 205.42t/ha로 큰 차이를 보인다고 보고한 바 있다. 산림은 목재



* Corresponding Author : Jin-Taek Kang
(beg8bune@forest.go.kr)

생산을 위한 경제적 기능과 생태계의 유지 및 보건 문화 휴양기능과 더불어 탄소흡수원으로서의 공익적 기능을 가지고 있다. 다양한 산림의 다목적 기능을 최대한 발휘될 수 있도록 하려면 최적의 산림경영이 이루어져야 한다. 이러한 최적의 산림경영을 위해서는 산림의 임목에 대한 정확한 재적 추정은 필수적이다. 임목의 재적은 보통 그 임목의 흉고직경 (DBH), 수고(H), 그리고 형수(F)를 포함하는 함수에 의하여 추정된다. 그러나 형수의 변이가 임목재적에 미치는 영향은 흉고직경이나 수고의 변이가 재적에 미치는 영향보다 적고, 또한 수종에 따라서는 임목의 크기에 관계없이 형수는 상대적으로 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있어(Clutter *et al.*, 1983) 흉고직경과 수고의 2변수만을 이용하여 재적을 추정하는 것이 일반적인 방법이다. 그동안 임목 재적 추정식에 대한 많은 연구가 국내외적으로 진행되었으며 방법론으로는 형수에 의한 방법(Park and Chung, 1985; Seo, 1998), 간곡선식이나 임목의 완만도표 조제에 의한 방법(Kim *et al.*, 1994; Kim, *et al.*, 1986) 등이 있다. 초기의 재적표는 독립변수 흉고직경 및 수고의 값과 상응하는 재적에 대한 관련식(Chapman and Meyer, 1949; Amateis and Burkhart, 1987; Jeon *et al.*, 2007)이 일반적 방법이었으나, 근래 통계 이론 및 분석 기법의 발달은 많은 표본 자료를 이용하여 정도가 더 높은 개별 임목 재적식을 개발할 수 있게 되었다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 몇 가지 수종에 대한 재적표는 이러한 통계 모형 기법과 분석을 위한 컴퓨터의 사용이 일반화되기 이전에 조제된 것으로 소나무를 제외하고는 모두 전국에 적용시킴으로써 조제되었다(Korea Forest Service, 1981). 1970년대에 집중적으로 조성된 우리나라의 산림은 현재 성숙화 단계에 있으며, 임목자원과 관련된 산림정책 및 경영의 목표도 다각화되는 추세에 있다. 그러나 임목자원 평가와 관련된 경영 제표와 임목간재적표는 1960대에 만들어 진 이후, 1980년대와 최근 2009년에 일부 수종에 대해서 보완되었으나 대부분 40년 전에 작성되어 현재의 성숙된 임목자원을 대표하지 못하고 있어 경영

목표에 부합되는 정보를 제공하지 못하고 있다. 현재 우리나라 산림은 유령기에 해당하는 영급과 영급의 임목축적이 차지하는 비율이 1964년 69.4%에서 2010년에는 23%에 불과한 반면, 청·장년기에 해당하는 영급과 영급이 차지하는 임목축적의 비율은 22.7%에서 65.6%로 증가하였다(Korea Forest Service, 2013). 이러한 사실은 결과적으로 기존의 재적표가 우리나라 산림의 초장기 유령임분 상태의 전국 평균치 자료로 추정되었기 때문에 오늘날의 대부분 중·장령림 임분특성을 가진 특정 지역의 재적을 추정하기 위해 적용시킬 경우, 지역에 따라 통계적으로 인정할 수 없는 과소 또는 과대 추정치를 제공할 수도 있다.

본 연구는 최근 우리나라 산림의 영급, 경급 구조가 장령기에 접어들면서 지역간의 임목재적의 차이가 나타나고 있고, 기존의 임목재적표의 적용으로는 지역의 생장특성 및 현실재적을 반영하기에는 한계가 있어 지역의 특성을 반영한 지방별 재적표를 조제하고자 수행하였다. 대상수종은 현재 우리나라에서 가장 많은 면적을 차지하고 있는 소나무를 대상으로 하였으며, 강원도 홍천과 경북 영주 지역에 대한 지방별 재적표를 작성하기 위한 최적 수간곡선식을 도출하여 지방별 재적표를 작성하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구는 소나무 분포범위가 넓고, 지역을 대표하는 수종이 소나무인 강원 홍천과 경북 영주 지역의 소나무를 대상으로 각 지역별로 경급을 다양하게 하여 100여본의 개체목 생장 자료를 이용하였다. 분석에 이용된 개체목의 생장특성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

2.2. 분석방법

최근 수간재적표는 '70-80년대 재적표 개발에 주로 이용한 Logarithmic 모형 등 지수식에 의한 방법이 아니라, 수간곡선식을 도출하여 이를 적분하는 방법을

Table 1. Data summary of stem analysis by survey regions of *pinus densiflora* used in this study

Region	No. of Trees	DBH(cm)			Height(m)		
		Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean
Hongcheon	106	12.0	44.2	27.8	6.5	26.3	17.7
Yeongju	98	0.8	59.0	31.1	3.3	32.6	20.2

Table 2. Taper equations selected for this study

Model	Taper Equation
Max and Burkhart	$d = DBH \sqrt{b_1 \left(\frac{h}{H} - 1\right) + b_2 \left(\frac{h^2}{H^2} - 1\right) + b_3 \left(a_1 - \frac{h}{H}\right)^2 I_1 + b_4 \left(a_2 - \frac{h}{H}\right)^2 I_2}$ <p>where d = diameter outside bark at height (cm) DBH = diameter at breast height outside bark (cm) h = height along stem (m) H = total height (m) b_i = parameters a_i = inflection points (i=1; upper, i=2; lower)</p> $I_i = 1, \text{ if } \frac{h}{H} < \alpha_1$ $0, \text{ otherwise}$
Kozak	$d = a_0 DBH^{a_1} a_2^{DBH} X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z+0.01) + b_3 \sqrt{Z} + b_4 e^2 + b_5 \left(\frac{DBH}{H}\right)}$ <p>where Z = relative height ($= \frac{h}{H}$)</p> $X = \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H}}}{1 - \sqrt{p}} \left(p = \frac{HI}{H}, H_i; \text{ inflection point}\right)$ <p>a_i, b_i = parameters</p>
Parresol <i>et al.</i>	$d_i = d(Z^2(b_1 + b_2 Z) + (Z - a)^2(b_3 + b_4(Z + 2a)))I^{0.5}$ <p>$Z = (h - h_i)/h$, a: join point, $I = 1$, if $Z \geq a = 0$. if $Z \leq a$</p>

Table 3. Statistics for evaluating performance of taper equations

Statistics	Equation
Fitness index (FI)	$FI = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}$
Bias	$\bar{D} = \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$
Standard error of estimate as percent of the mean (SEE%)	$SEE\% = \left(\frac{\sum(e_i - \bar{D})^2}{(N-1)}\right)^{1/2} \bar{Y} \times 100$
Mean absolute difference (MAD)	$ \bar{D} = \frac{\sum Y_i - \hat{Y}_i }{n}$

많이 이용하고 있다. 후자의 방법이 좋은 것은 개체목 재적을 말구직경 및 원구직경 등을 자유롭게 조정하여 이용재적을 산출할 수 있게 하여 주기 때문이다. 또한 몇 m 간격으로 절단하여 이용할 수 있는 정보도 바로 제공할 수 있다(Lee *et al.*, 1999). 이에 많은 연구자들은 임목 수간곡선을 추정할 수 있는 다양한 모형을 개발한 바 있다(Son *et al.*, 2009, 2012; Shin *et al.*, 1996, Kim *et al.*, 1994). 본 연구에서는 임목재적표를 조제하기에 앞서 최적 수간곡선식을 도출하기 위하여 Max & Burkhart 모델, Kozak 모델 그리고 Parresol *et al.* 모델의 3가지 수간곡선 모델 중

분석을 통해 나타난 검정통계량을 이용하여 최적 모형을 판정하였다. 그리고 여기에서 도출된 최적 모델을 이용하여 수간곡선 모양을 구하고 이를 수간중심선 중심으로 회전시켜 수간재적을 산출하였다(Lee *et al.*, 2003; Kozak, 1988; Max and Burkhart, 1976).

각 수간곡선식의 수간높이별 수간직경 추정 이행능력을 평가하기 위해 ‘적합도지수(Fit index, FI)’, ‘편의(Bias)’, ‘추정치 표준오차(Standard error of estimate, SEE%)’, ‘평균절대편차(Mean absolute deviation, MAD)’ 등의 검정통계량을 이용하였다(Son *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 1999).

검정통계량 중 적합도지수(FI)는 회귀분석에서의 결정계수와 같은 성격의 지수이며, 비선형회귀분석에서의 결정계수는 의미가 없으므로 실측치와 추정치와의 관계 정도를 구명하기 위하여 나타내는 것이며, 편의($Bias$)는 추정량이 평균적으로 모수의 참값에 대해 어느 정도 과소치 혹은 과대치를 주는 지를 나타내 준다. 추정치 표준오차($SEE\%$)는 모델의 상대적인 정도($accuracy$)를 평가하고, 평균절대편차(MAD)는 각 추정치 잔차의 절대값을 평균한 값으로 각 추정치의 평균적인 편차 크기를 나타내 주는 것이다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 수간곡선식 파라미터 도출

3가지 수간곡선 모델을 이용하여 소나무 수간곡선식을 추정한 바, Table 4와 같이 각 모델별 파라미터 및 검정통계량을 도출할 수 있었다.

Table 4에서 적합도지수, 편의($Bias$) 등 기타 검정

통계량 값으로 모델의 적합성을 검토하였으며, 또한 잔차도를 그려 평균 범위를 벗어나는지를 검토하였다. Kozak 모델에 의해 추정된 수간곡선식의 적합성은 홍천 92%, 영주 97%였으며, 편의($Bias$) 역시 Kozak 모델이 타 모델보다 적어 모델의 적합성을 입증해 주었다(Son *et al.*, 2009, 2012; Chung *et al.*, 2010). Kozak 모델의 수간곡선 모형 적합성을 좀 더 정밀하게 알아보기 위하여 잔차를 도식한 결과, 2지역 모두에서 잔차는 “0”을 중심으로 하여 고르게 분포하고 있었다(Fig. 1). 따라서 Kozak 모델이 두 지역의 소나무 수간곡선을 설명하는데 우수함을 알 수 있어, 이 모델이 소나무의 수간곡선을 추정하는데 있어 가장 적합한 식임을 알 수 있었다. 그러므로 본 수간곡선을 제적표 도출에 이용하여도 무방할 것으로 판단하였다.

Kozak 모델에서 이용자가 결정하는 변곡점은 홍천과 영주지역 모두가 20%(변곡점 0.2) 높이의 상대수고에서 결정됨을 알 수 있었다(Fig. 2). 한편, Kozak (1988)에 의한 연구 결과를 보면, 소나무류 0.25, 가

Table 4. Parameter estimates for three taper equations by regions of Hongcheon and Yeongju for *Pinus densiflora*

Region	Model	Max and Burkhart	Kozak	Parresol <i>et al.</i>				
Hongcheon	Parameter	a_1	0.791435	a_0	42.501655	a	0.757252	
		a_2	0.183503	a_1	-0.637761	b_1	2.841149	
		b_1	-3.517518	a_2	1.054574	b_2	-2.346425	
		b_2	2.664500	b_1	-0.525333	b_3	-105.742615	
		b_3	-1.531044	b_2	0.552827	b_4	46.551373	
		b_4	13.890276	b_3	-1.447316			
				b_4	0.943278			
				b_5	0.063409			
			FI	0.87641	0.92073	0.085136		
			SEE	3.07851	2.46757	3.37462		
		$Bias$	0.30882	-0.01973	0.85225			
		MAD	1.88882	1.92665	2.25658			
	Yeongju	Parameter	a_1	0.715325	a_0	1.021054	a	0.747334
			a_2	0.163323	a_1	0.939454	b_1	2.368578
b_1			-3.52380	a_2	0.999953	b_2	-1.807123	
b_2			1.746077	b_1	-0.248397	b_3	-86.423131	
b_3			-1.829507	b_2	0.078796	b_4	38.545926	
b_4			18.923803	b_3	-1.757936			
				b_4	0.995425			
				b_5	0.099022			
			FI	0.97598	0.97828	0.96773		
			SEE	2.11574	2.01540	2.45079		
		$Bias$	0.14623	0.03500	0.82648			
		MAD	1.58198	1.46198	1.86666			

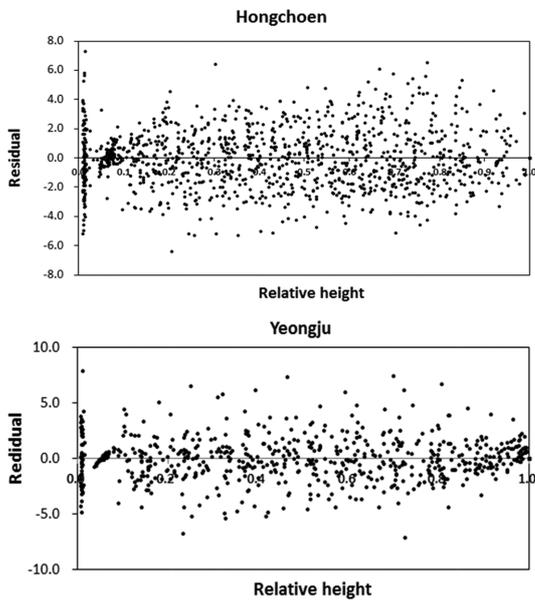


Fig. 1. Residual distribution of estimated diameter by relative height of regions, Hongcheon and Yeongju for *Pinus densiflora*.

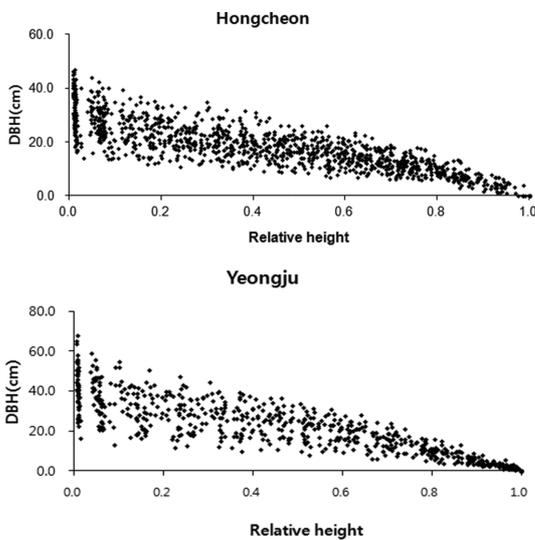


Fig. 2. Distribution of estimated diameter by relative height of regions, Hongcheon and Yeongju for *Pinus densiflora*.

문비나무 0.30, 사시나무 0.20 등을 수간 변곡점이라 보고한 바 있다. 국내에서는 Son *et al.* (2012)은 Kozak 모델을 이용하여 아까시나무의 수간곡선식 도출에 있어 0.25를 변곡점으로 정하였으며, 또한 전남 완도지역의 붉가시나무 변곡점은 0.25. 제주지역 붉가시

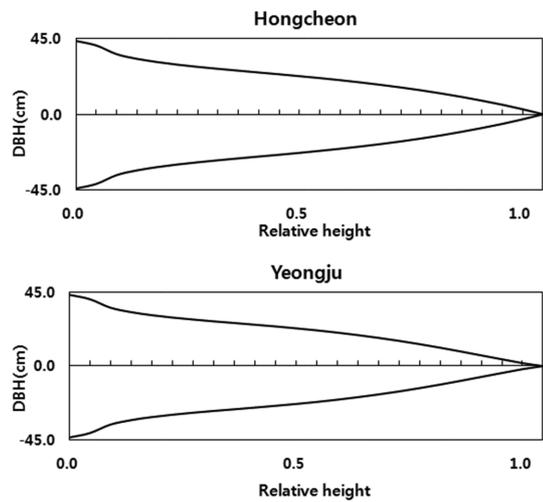


Fig. 3. Stem taper curve pattern by regions of Hongcheon and Yeongju for *Pinus densiflora*.

나무는 0.22라고 밝혀, 동일 수종이라도 지역에 따라 변곡점이 달리 형성될 수 있음을 밝힌 바 있다(Son *et. al.*, 2007).

3.2. 수간곡선형의 비교

Kozak 모델의 파라미터를 이용하여 각 지방별 소나무의 수간형을 상대수고(Relative height, RH)를 토대로 도식화하였다(Fig. 3). 정밀한 수간곡선형의 비교는 그림 상에서 식별하기 곤란하나, 홍천지역의 소나무 수간형의 수간고별 직경급이 영주지역보다 높은 것으로 나타났으며, 수간형 초살도는 영주지역이 다소 높은 것으로 나타났다. 초살도가 높다는 것은 임목의 부피, 즉 재적이 그만큼 적게 나타날 수 있음을 의미한다.

3.3. 지방별 낙엽송 수간재적표 조제

각 표본목의 수피포함 수간재적 추정은 먼저 측정된 수간고와 직경에 의해 모델별 수간곡선식을 도출한 후, 이를 이용하여 수간고 10cm 간격으로 직경을 추정하고, Smalian식에 의한 구분구적법으로 산출하였다(Son *et. al.*, 2012). 최적 수피포함 수간곡선식인 Kozak 모델을 이용하여 소나무의 지방별 수간재적표를 작성한 결과 아래 Table 5와 같다.

Kozak 모델에 의해 작성된 각 지방별 수간재적표와 기존의 전국 단위의 단일 수간재적표와의 차이 그리고 지방별 수간재적표간의 차이를 알아보기 위하여 T-test

Table 5. Local stem volume table within bark by region of, Hongcheon(a), and Yeongju(b) for *Pinus densiflora*

(a)

D(cm) H(m)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	0.0130	0.0216	0.0320	0.0442	0.0581	0.0737	0.0910	0.1100	0.1306	0.1529	0.1767	0.2023	0.2294
6	0.0157	0.0261	0.0387	0.0535	0.0704	0.0893	0.1102	0.1332	0.1582	0.1851	0.2141	0.2450	0.2779
7	0.0185	0.0307	0.0455	0.0628	0.0826	0.1049	0.1295	0.1565	0.1858	0.2174	0.2514	0.2877	0.3264
8	0.0212	0.0352	0.0522	0.0722	0.0949	0.1204	0.1487	0.1797	0.2134	0.2497	0.2888	0.3305	0.3749
9	0.0240	0.0398	0.0590	0.0815	0.1072	0.1360	0.1679	0.2029	0.2410	0.2820	0.3261	0.3732	0.4233
10	0.0267	0.0443	0.0657	0.0908	0.1194	0.1516	0.1872	0.2262	0.2685	0.3143	0.3634	0.4159	0.4718
11	0.0295	0.0489	0.0725	0.1001	0.1317	0.1672	0.2064	0.2494	0.2961	0.3466	0.4008	0.4587	0.5203
12	0.0322	0.0534	0.0792	0.1095	0.1440	0.1827	0.2256	0.2726	0.3237	0.3789	0.4381	0.5014	0.5688
13	0.0350	0.0580	0.0860	0.1188	0.1563	0.1983	0.2448	0.2959	0.3513	0.4112	0.4755	0.5441	0.6172
14	0.0377	0.0625	0.0928	0.1281	0.1685	0.2139	0.2641	0.3191	0.3789	0.4435	0.5128	0.5869	0.6657
15	0.0404	0.0671	0.0995	0.1375	0.1808	0.2294	0.2833	0.3423	0.4065	0.4758	0.5501	0.6296	0.7142
16	0.0435	0.0717	0.1063	0.1468	0.1931	0.2450	0.3025	0.3656	0.4341	0.5081	0.5875	0.6723	0.7627
17	0.0459	0.0762	0.1130	0.1561	0.2053	0.2606	0.3218	0.3888	0.4617	0.5404	0.6248	0.7151	0.8111
18	0.0487	0.0808	0.1198	0.1654	0.2176	0.2762	0.3410	0.4120	0.4893	0.5726	0.6622	0.7578	0.8596
19	0.0514	0.0853	0.1265	0.1748	0.2299	0.2917	0.3602	0.4353	0.5169	0.6049	0.6995	0.8005	0.9081
20	0.0539	0.0894	0.1326	0.1832	0.2409	0.3058	0.3775	0.4562	0.5417	0.6340	0.7331	0.8390	0.9517
21	0.0566	0.0940	0.1394	0.1925	0.2532	0.3213	0.3968	0.4794	0.5693	0.6663	0.7705	0.8817	1.0002
22	0.0594	0.0985	0.1461	0.2018	0.2655	0.3369	0.4160	0.5027	0.5969	0.6986	0.8078	0.9245	1.0486
23	0.0621	0.1031	0.1529	0.2112	0.2778	0.3525	0.4352	0.5259	0.6245	0.7309	0.8451	0.9672	1.0971
24	0.0649	0.1076	0.1596	0.2205	0.2900	0.3680	0.4544	0.5491	0.6521	0.7632	0.8825	1.0099	1.1456
25	0.0676	0.1122	0.1664	0.2298	0.3023	0.3836	0.4737	0.5724	0.6796	0.7955	0.9198	1.0527	1.1941

*H: Height, D: DBH

(b)

D(cm) H(m)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
5	0.0096	0.0130	0.0164	0.0197	0.0231	0.0265	0.0298	0.0330	0.0364	0.0398	0.0431	0.0465	0.0498
6	0.0136	0.0183	0.0231	0.0278	0.0325	0.0373	0.0420	0.0465	0.0512	0.0560	0.0607	0.0655	0.0702
7	0.0181	0.0245	0.0308	0.0371	0.0435	0.0498	0.0561	0.0621	0.0685	0.0748	0.0811	0.0874	0.0938
8	0.0233	0.0314	0.0396	0.0477	0.0558	0.0640	0.0721	0.0798	0.0880	0.0961	0.1042	0.1124	0.1205
9	0.0291	0.0392	0.0494	0.0595	0.0697	0.0798	0.0899	0.0996	0.1097	0.1199	0.1300	0.1402	0.1503
10	0.0354	0.0478	0.0602	0.0725	0.0849	0.0973	0.1096	0.1214	0.1337	0.1461	0.1585	0.1708	0.1832
11	0.0424	0.0572	0.0720	0.0867	0.1015	0.1163	0.1311	0.1451	0.1599	0.1747	0.1895	0.2043	0.2191
12	0.0499	0.0673	0.0847	0.1021	0.1195	0.1369	0.1544	0.1709	0.1883	0.2057	0.2231	0.2405	0.2579
13	0.0580	0.0782	0.0985	0.1187	0.1389	0.1591	0.1794	0.1986	0.2188	0.2391	0.2593	0.2795	0.2998
14	0.0667	0.0899	0.1132	0.1364	0.1597	0.1829	0.2062	0.2282	0.2515	0.2747	0.2980	0.3212	0.3445
15	0.0759	0.1023	0.1288	0.1553	0.1817	0.2082	0.2347	0.2598	0.2863	0.3127	0.3392	0.3657	0.3921
16	0.0856	0.1155	0.1454	0.1753	0.2051	0.2350	0.2649	0.2932	0.3231	0.3530	0.3829	0.4127	0.4426
17	0.0960	0.1294	0.1629	0.1964	0.2298	0.2633	0.2968	0.3286	0.3621	0.3955	0.4290	0.4625	0.4959
18	0.1068	0.1441	0.1813	0.2186	0.2559	0.2931	0.3304	0.3658	0.4031	0.4403	0.4776	0.5148	0.5521
19	0.1182	0.1595	0.2007	0.2419	0.2832	0.3244	0.3657	0.4049	0.4461	0.4873	0.5286	0.5698	0.6111
20	0.1302	0.1756	0.2210	0.2664	0.3118	0.3572	0.4026	0.4458	0.4912	0.5366	0.5820	0.6274	0.6728
21	0.1427	0.1924	0.2422	0.2919	0.3417	0.3915	0.4412	0.4885	0.5383	0.5880	0.6378	0.6875	0.7373
22	0.1557	0.2100	0.2643	0.3186	0.3729	0.4272	0.4815	0.5330	0.5873	0.6416	0.6959	0.7502	0.8045
23	0.1692	0.2282	0.2872	0.3463	0.4053	0.4643	0.5233	0.5794	0.6384	0.6975	0.7565	0.8155	0.8745
24	0.1833	0.2472	0.3111	0.3751	0.4390	0.5029	0.5668	0.6276	0.6915	0.7554	0.8194	0.8833	0.9472
25	0.1978	0.2669	0.3359	0.4049	0.4739	0.5429	0.6120	0.6775	0.7465	0.8156	0.8846	0.9536	1.0226

Table 6. Analysis of T-test between local stem volume table and standard stem volume table

Region	Class	N	Mean	SD	t	p-value	MD
Hongcheon	Standard	713	0.6190	0.5774	9.1200	<0.000	0.3733
	Local	713	0.9923	0.9280			
Yeongju	Standard	713	0.6189	0.5774	3.3590	<0.000	0.1128
	Local	713	0.7317	0.6857			

Table 7. Analysis of T-test between local stem volume table and standard stem volume table

Region	Mean	SD	F	p-value
Hongcheon	0.9923	0.9280	6.029	<0.000
Yeongju	0.7317	0.6857		

삼척)과 영서지방(횡성, 영월, 평창)으로 연년생장패턴이 유사하며 두 집단으로 구분함으로써 같은 강원지역 소나무라도 지역내에서도 지리적 환경 등에 따라 생장이 달라짐을 알 수 있었다.

IV. 결 론

검정을 실시한 결과는 Table 6, 7과 같다.

Table 6에서 홍천과 영주지역 모두에서 기존의 전국 단위의 단일 재적표(Korea Forest Research Institute, 2009)의 수고 및 직경별 평균 재적값의 차이는 모두 유의적인($p\text{-value}: 0.000 < \alpha = 0.05$) 것으로 나타났다. 또한 두 지역간 지방별 재적표의 평균 재적도 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 7). 이와 같이, 실제 개별 임목의 재적차이는 기존의 재적표 및 추정치와는 그 차이가 크지 않을 수 있지만, ha당 재적을 추정할 경우는 상당한 차이를 보인다. 이러한 결과는 합리적 경영을 위한 기초자료로 부실하고 목재자원량의 저평가로 국가 혹은 개인의 재산평가에 대한 손실의 결과를 초래할 수 있을 것이다. Kim et al.(1997)은 전국의 대표적 소나무 6곳의 산지별 소나무를 전국 8곳에 시험지를 조성하여 지역간 성장특성 변이 연구에서 수고, 직경 및 뿌리생장 등에서 산지 및 지역간 성장차이가 뚜렷이 나타났다고 하였으며, Matziris (1995)와 Alia(1995)도 산지별 성장시험에서 지역별로 차이가 크다고 보고하였다. 또한 Park and Lee(1990)는 한국산 4개 지역형별로 전형적인 수형을 보이는 소나무천연림의 30-40년생 임분을 대상으로 물질생산 현존량을 추정하여 비교 분석한 결과, 안경형 29.87t/ha, 중남부 평지형 110.89t/ha, 중남부고지형 133.53t/ha, 금강형 205.42t/ha로 지역형별로 큰 차이를 보이고 있었다. 한편, Song et al.(1995)은 강원도 9개 지역의 소나무 목편을 채취하여 직경성장패턴에 따른 강원도소나무의 생장권역 구분 연구에서 지역간의 근접성 분석을 위하여 cluster 분석을 한 결과 영동지방(명주, 양양, 고성,

우리나라에 소나무를 대상으로 수간고별 직경측정 자료와 일반적으로 많이 이용되는 3가지 수간곡선 모델을 이용하여 지방별 수간재적표를 작성하고 적합성 검정을 실시한 결과는 다음과 같다.

Max & Brukhart, Kozak, Parresol et al.의 3가지 수간곡선 모델 중 지방별 소나무의 수간곡선을 가장 잘 나타내는 식 선정에 위하여 적합도지수 및 기타 검정통계량을 비교 분석한 결과 Kozak 모형이 가장 우수함을 알 수 있어, 이 모형이 소나무의 지방별 수간곡선을 추정하는데 있어 최적의 식으로 판단하였다. Kozak 수간곡선 추정모델을 이용하여 각 개체목의 수간고별 직경을 추정하고 이를 구분구적하여 수간재적을 산출하였는데, 각 지방의 추정된 수간재적표와 전국단위의 기존 수간재적표와 비교·분석한 결과, 2지역 모두에서 기존 재적표보다 높은 값의 재적을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 추정된 두 지역의 지방별 수간재적표 간의 재적평균값에서도 지역간에 통계적으로 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이, 본 연구에서 기존의 재적표와 유의적인 차이를 보이고 있고 지역간에도 차이를 보이고 있어 지방별 재적표의 필요성에 대한 설득력을 얻을 수 있었다. 수간재적표는 임목의 매개시 경제적 가치를 판단하는 기준이 되며, 해당 임목의 축적 통계 등을 계산할 때도 필수적인 요소이다. 또한 지역별 입지환경 및 생육환경이 다르기 때문에 같은 수종이라도 재적성장 차이를 보이고 있다. 따라서 향후 지방별 수간재적표가 임목의 매개 또는 매각, 국가 또는 지자체 산림 통계 작성 시 가장 기본이 되

는 경영제품로 수요가 많아질 것으로 기대되며, 목재 이용 측면과 정확한 탄소저장량 계산 등 에서도 반드시 필요할 것으로 판단된다.

적 요

현재 사용하고 있는 임목 재적표는 전국 공용으로 제작되어 있기 때문에, 특정 지역에 적용할 경우 재적을 과소 또는 과대 추정하는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 수간곡선식을 이용하여 지역의 재적생장을 잘 반영할 수 있도록 홍천과 영주지역의 지방별 임목 수간재적표를 개발하고자 수행하였으며, 우리나라에서 가장 많은 분포를 보이고 있는 소나무를 대상으로 개발하였다. 추정에 적합한 수간곡선식의 도출을 위해서 Max & Burkhardt, Kozak 그리고 Parresol *et al.*의 세 가지 수간곡선 모델을 적용하였으며, 적합도, 편의, 잔차의 표준 오차 등의 통계량을 분석하여 각 모델의 적합성을 평가하였다. 그 결과 3개의 수간곡선 모델간에는 정확성에 대한 유의적인 차이가 없으나, 소나무의 수간생장을 표현하는 데에는 Kozak 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다. 따라서 Kozak 모형을 이용하여 소나무의 지방별 수간재적표를 조제하였다. 새롭게 개발된 지방별 수간재적표와 전국단위의 소나무 수간재적표와 비교한 결과, 홍천과 영주 2지역 모두에서 현재 재적표보다 재적이 높은 것으로 나타났으며($0.000 < \alpha = 0.05$), 또한 두 지역간 지방별 재적표의 재적에서도 통계적으로 유의한 차이를 보였고(p -value: $0.000 < \alpha = 0.05$) 홍천이 영주에 비해 재적이 높게 나타났다.

REFERENCES

- Alia, R., Gil and J. A. Parods. 1995. Performance of 43 *Pinus pinaster* Ait. Provenances on 5 Locations in central Spain. *Silvae Genetica* **44**(2-3), 75-81.
- Amateis, R. L. and H. E. Burkhardt, 1987: Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover, site prepared plantations. *St Jeanne Antide Foundation*, pp. 185-189.
- Bennett, F. A., C. E. McGee and J. L. Clutter. 1959. Yield of old-field slash pine plantations. USDA U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Paper No. 107.
- Bonnor, G. M. and P. Boudewyn 1990. Taper-volume equations for major tree species of the Yukon Territory. *Forestry Canada Pacific and Yukon Region-Information Report BC-X-323*, 18pp.
- Burkhart, H. E., R. C. Parker, M. R. Strub. and R. G. oderward. 1972. *Yield of old-field loblolly pine plantations*. Virginia Polytechnic Institute and State University Pub. FWS-3-72, 51.
- Chapman, H. H. and W. H. Meyer. 1949. *Forest Mensuration*. McGraw-Hill, New York.
- Chung, Y. G., D. H. Kim and C. M. Kim. 2010. Development of Stem Profile and Taper Equation for *Quercus acuta* in Jeju Experiment Forests. *Journal of Korean Forestry Society* **99**(1), 57-61.
- Clutter, J. R., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, G. H. Brister, and R. L. Bailey. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. 333.
- Gal, J. and I. E. Bella. 1994. New stem taper functions for 12 Saskatchewan timber species. *Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northwest Region, Northern Forestry Centre*, Information Report Nor-x-338.
- Jeon, B. H., S. H. Lee, Y. J. Lee, H. Kim, and H. M. Kang. 2007. Estimation of Site Index and Stem Volume Equations for *Larix leptolepis* Stand in Jinan, Chonbuk. *Journal of Korean Forestry Society* **96**(1), 40-47.
- Jung, T. H. and W. C. Lee. 1965. The Korean forest vegetation zone and theory of the suitable tree on a site tree. *Journal of SungKyunKwan University*. pp. 329-435.
- Kim, J. S., W. K. Lee and W. H. Byun. 1994. Regional Stem Curve and Volume Function Model of *Pinus densiflora* in Kangwon-Province. *Journal of Korean Forestry Society* **83**(4), 521-530.
- Kim, K. S. and Y. C. Han. 1997. Variation in Growth characteristics of *Pinus densiflora* S. et Z. at Eight Experimental Plantations of Korea. *Journal of Korean Forestry Society* **86**(2), 119-127.
- Kim, Y. W. and H. K. Lee. 1986. Study of Stem Volume Table of *Pinus thunbergii* in the southern Part of Korea. *Journal of Korean Forestry Society* **33**, 35-46.
- Korea Forest Research Institute. 2009. *Stem Volume Table*. 261pp.
- Korea Forestry Service. 2013. *Assessment of the Korea Forest Resources*. 59pp.
- Korea Forest Service. 2012. *Statistical Yearbook of forestry*. p88.
- Kozak, A. 1988. *A variable-exponent taper equation*. Can. J. For. Res. **18**, 1363-1368.
- Lee, K. H., Y. M. Son, Y. G. Chung and W. K. Lee. 1999. A Taper and Volume Prediction System for *Pinus densiflora* in Kangwon Province, Korea. *Korea Forestry Research Institute* **62**, 155-166.
- Lee, W. K., J. H., Seo, Y. M. Son, K. H. Lee and K. V. Gadow. 2003. Modelling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management* **172**(1), 69-77.
- Max, T. A. and H. E. Burkhardt. 1976. Segmented polynomial regression applied taper equations. *Forest Science* **22**(3),

- 283-289.
- Matziris, D. I. 1995. Provenance variation of *Pinus radiata* grown in Greece. *Silvae Genetica* **44**(2-3), 88-96.
- Park, I. H. and S. M. Lee. 1990. Biomass and Net Production of *Pinus densiflora* Natural forests of Four Local Forms in Korea. *Journal of Korean Forestry Society* **79**(2), 196-304.
- Park, N. C. and Y. G. Chung. 1985. Studies on the Determination of the Breast-Height Form Factors for Stem of *Pinus thunbergii* and *Cryptomeria japonica*. *Journal of Korean Forestry Society* **70**, 28-37.
- Seo, J. W. 1998. Studies on Estimation of Stand form Factor for Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Stands—Focusing on Stands in Kwangwon Province. *Jour. Korean For. Measur* **1**, 12-26.
- Shin, M, Y., J. W. Yun and D. S. Cha. 1996. Local Correction of Tree Volume Equation for *Larix leptolepis* by Rati-of-Means Estimator. *Journal of Korean Forestry Society* **85**(1), 56-65.
- Smalley, G. W. and D. R. Bower. 1968. Volume tables and point factors for loblolly pines in plantations on abandoned fields in Tennessee, Alabama, and Georgia highlands, USDA, *U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station*, Paper SO-32, 13.
- Son, Y. M., H. Kim, H. Y. Lee, C. M. Kim, C. S. Kim, J. W. Kim, R. W. Joo and K. H. Lee. 2009. Taper Equations and Stem Volume Table of *Eucalyptus pellita* and *Acacia mangium* Plantations in Indonesia. *Journal of Korean Forestry Society* **98**(6), 633-638.
- Son, Y. M., J. H. Jeon, J. K. Pyo, K. N. Kim, S. W. Kim, S. J. Lee and K. H. Lee. 2012. Development of Stem Volume Table for *Robinia Pseudoacacia* Using Kozak's Stem Profile Model. *Journal of Agriculture & Life Science* **46**(6), 43-49.
- Song, C. C., W. H. Byun and W. K. Lee. 1995. Districting the Growth Zone by Diameter Growth Pattern for *Pinus densiflora* in Kangwon Province. *Journal of Korean Forestry Society* **84**(10), 71-76.
- Uyeki, H. 1928. On the physiognomy of *Pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. *Bulletin of the Agricultural and Forestry College Suigen (Suwon)*. Korea. 263pp.