

중부지역 일본잎갈나무의 수간중량 추정식 개발

고치웅¹ · 손영모^{2*} · 강진택¹ · 김동근³

¹국립산림과학원 산림산업연구과, ²국립산림과학원 산림복지연구과,
³경북대학교 생태환경시스템학부

Development of Tree Stem Weight Equations for *Larix kaempferi* in Central Region of South Korea

Chi-Ung Ko¹, Yeong-Mo Son^{2*}, Jin-Taek Kang¹ and Dong-Geun Kim³

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

²Division of Forest Welfare, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

³Department of Ecology Environment System, Kyungpook University, Sangju 37224, Korea

요약: 본 연구는 중부지역 일본잎갈나무의 수간중량 추정식을 개발하기 위하여 지역별 개체목의 지위와 직경을 고려하여 표준지를 선정 후, 총 55본의 표본목을 선정하였다. 표본목의 실측자료를 이용하여 수피외생중량, 수피외건중량, 수피내건중량 및 이용중량 등 네종류의 중량을 추정하기 위해 11개의 모형을 비교·분석하였다. 중량을 추정하기 위해 흉고직경을 변수로 이용하는 경우, 흉고직경과 수고를 이용하는 경우, 재적을 이용하는 경우의 3개 변수에 따라 모형을 구분하였다. 최적의 모형은 적합지수와 추정의 표준오차 및 잔차의 분포를 이용하여 모형의 이행능력을 비교하여 선정하였다. 그 결과, 1변수인 흉고직경을 이용하는 식은 $W = a + bD + cD^2$ 이며 설명력은 90~92%를 나타냈고, 흉고직경과 수고를 이용한 2변수식은 $W = aD^bH^c$ 으로 97~98%의 설명력으로 2변수 모형이 1변수 모형 보다 높은 적합도를 보였다. 또한 전체수간에 대한 재적과 이용재적에 대한 식인 $W = aV$ 로 중량추정설명력이 98~99%로 높게 나타났고 SEE 도 7.7~17.5, $CV(\%)$ 도 8.0~10.0으로 우수한 적합도를 보였다. 본 연구는 개체목의 중량정보 제공 및 임분단위의 중량·바이오매스추정식의 기초연구로 활용될 것으로 판단된다.

Abstract: In this study was implemented to develop tree stem weight prediction equation of *Larix kaempferi* in central region by selecting a standard site, taking into account of diameter and position of the local trees. Fifty five sample trees were selected in total. By utilizing actual data of the sample trees, 11 models were compared and analyzed in order to estimate four different kinds of weights which include fresh weight, ovendry outside bark weight, ovendry inside bark weight and merchantable weight. As to estimate its weight, the study has classified its model according to three parameters: DBH, DBH and height, and volume. The optimal model was chosen by comparing the performance of model using the fit index and standard error of estimate and residual distribution. As a result, the formula utilizing DBH (Variable 1) is $W = a + bD + cD^2$ (3) and its fit index was 90~92%. The formula for DBH and height (Variable 2) is $W = aD^bH^c$ (8) and its fit index was 97~98%. In summation, Variable 2 model showed higher fitness than Variable 1 model. Moreover, fit index of formula for total volume and merchantable volume ($W = aV$) showed high rate of 98~99%, as well as resulting 7.7-17.5 with SEE and 8.0-10.0 with $CV(\%)$ which lead to predominately high fitness in conclusion. This study is expected to provide information on weights for single trees and furthermore, to be used as a basic study for weight of stand unit and biomass estimation equations.

Key words: tree stem weight, ovendry outside bark weight, ovendry inside bark weight, *Larix kaempferi*, Biomass

* Corresponding author

E-mail: treelove@korea.kr

ORCID

Yeong-Mo Son  <https://orcid.org/0000-0002-9346-4351>

서론

일본잎갈나무는 대표적인 양수이자 속성수로서 70년대부터 온대중부, 북부지역의 대표적인 장기수 용재림 조성을 위해 많이 식재된 수종 중 하나로서 2015년 말 현재 침엽수종의 전체 산림면적인 2,339,002 ha 중에 272,800 ha로 소나무 다음으로 많이 분포하고 있다. 또한 임목축적도 403,971,330 m³ 중 46,970,137 m³로 높은 임목 축적을 가진 수종이다(Korea Forest Research Institute, 2015; Korea Forest Service, 2017).

최근 기후변화에 따라 산림은 지구온난화를 감소시키고자 이산화탄소를 흡수, 저장하고 과거의 목재로서만 사용된 기능 외에도 재생 가능한 에너지 자원으로 임목바이오매스의 가치에 대한 관심이 집중되고 있다. 산림의 임목자원에 대한 가치 평가를 위해서 우리나라는 일반적으로 재적 정보제시에 초점을 맞추었으나, 원목의 거래와 산림바이오매스 추정에 중요한 역할을 하는 중량단위의 정보도 도출할 필요가 있다(Son et al., 2005; Son et al., 2011; Seo and Lee, 2013). 중량과 임목바이오매스에 대한 연구로 임업선진국의 경우 해당 수종의 분포를 고려하여 조사지와 표본목을 선정하여 수고 및 흉고직경을 이용해 바이오매스를 추정하는 회귀식을 개발하였다. 또한 재적표와 함께 중량표를 개발하고 임목바이오매스를 추정식 개발에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 미국의 경우 물푸레나무와 테다소나무의 표본목을 선정하여 이용중량과 생중량을 추정하였고, 캐나다는 소나무와 전나무를 포함한 17개의 수종에 대한 추정식이 개발되었다(Aldred and Alemdag, 1988; Schlaegel, 1984; Evert, 1985). 우리나라의 경우 소나무림의 바이오매스 순생산량에 관한 연구, 천연림의 물질생산량과 현존량 추정식에 관한 연구, 삼나무와 편백의 영급별 지상부와 지하부의 상관관계 및 바이오매스 추정식, 중부지방 소나무와 굴참나무의 바이오매스 상대생장식 개발 등의 연구(Park et al., 1989; Park et al., 1990; Seo and Lee 2010; Seo et al., 2010; Na et al., 2011; Son et al., 2011)가 진행되었으나, 중량을 측정하고

수집하는 어려움으로 목재자원평가 및 목재거래에 사용할 수 있는 중량의 추정에 관한 연구는 부피단위의 연구보다는 상대적으로 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 우리나라의 전국적으로 많이 식재되어 있는 일본잎갈나무를 대상으로 임업경영과 목재거래에 있어 요구되는 중량을 흉고직경, 수고를 이용하여 생중량과 건중량을 추정하는 식을 개발하고자 하였다 그리고 수간재적을 중량으로 전환하는 추정식을 개발하여, 일본잎갈나무의 임분수준 중량과 산림 내 바이오매스의 추정에 기초적인 정보를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에 사용된 표본목은 총 55본으로 충주, 제천, 영주, 함양, 산청, 무주지역의 일본잎갈나무 조림지에서 직경급(대, 중, 소)과 지위(상, 하)를 고려하여 표준지를 설정한 후, 표본목을 선정, 벌도 하였다(Table 1).

표본목의 실측 자료는 선정된 표본목을 벌채 한 뒤, 수간 전체에 대한 생중량을 측정하고 지상부 0.2 m부분에서 1m 간격으로 절단하였다. 1 m 간격의 원목은 건중량 측정을 위하여 원판을 2~3 cm 크기로 시료를 채취하여 생중량을 측정하였다. 채취한 시료는 건조기에서 105°C에서 항량이 될 때까지 완전 건조한 뒤 목질부와 수피를 분리하여 각각 건중량을 측정하였고 건중비를 이용하여 수피외건중량, 수피내건중량 및 이용중량을 산출하였다(Table 2).

본 연구에서 다루는 중량은 산주와 목상, 목상과 펄프 공장 간에 주로 거래에서 사용되는 수피를 포함한 수간 전체의 생중량, 수간부의 물질생산량과 탄소의 저장량을 평가할 때 이용되는 수피를 포함한 수간 전체 건중량인 수피외건중량과 수간부의 목질부분에 대한 바이오매스를 나타내는 수피를 제외한 수간 전체 건중량인 수피내건중량, 그리고 실제 순수한 바이오매스를 나타내는 수간 높이 0.2 m에서 수피내직경이 6 cm에 이르는 높이까지의 건중량인 수피내이용중량 등이다(Lee et al., 2000).

Table 1. Distribution of sample trees by DBH and height class.

Height class (m)	DBH class (cm)			Total
	<10.0	10.1~20.0	20.0<	
<10.0	1	1		2
10.1~15.0	4	14		18
15.1~20.0		14	9	23
20.0<		5	7	12
Total	5	34	16	55

Table 2. Description and mensuration unit variables used in the models.

Notation	Description	Unit
D	Diameter outside bark at breast height, DBH	cm
H	Total height	m
V	Stem volume	m ³
W	Stem weight	kg
a, b, c	Model parameters	

2. 분석방법

1) 수간중량 추정을 위한 검정모형

본 연구는 현장에서 다양하게 이용할 수 있도록 수간중량의 추정을 위한 검정모형을 3개 변수에 따라 Table 3의 모형들로 구분하였다.

첫째는 1개 변수인 흉고직경으로만 중량을 추정하는 모형이고, 둘째는 2개 변수인 흉고직경과 수고를 이용하여 중량을 추정하는 모형이며, 셋째는 재적만 이용하여 중량을 추정하는 모형이다. 현장에서 흉고직경과 수고를 측정한 후에 사용할 경우 첫째와 둘째 모형을 이용하여 사용할 수 있으며, 기존의 개체목에 대한 재적에 관한 자료가 있는 경우에는 세 번째 모형을 이용하여 중량을 추정할 수 있다.

2) 최적의 중량추정식 개발

최적의 중량추정식을 선정하기 위해 적합도를 나타내는 두 개의 통계량과 그래프상에서의 잔차의 분포 등으로 각 중량추정식의 종합적인 부분을 비교하였다. 각 모형간의 실제적인 적합도를 비교하기 위해서 원래 단위로 전환된 추정치와 실측치의 차이에 근거한 통계량을 이용하였다.

그 중 회귀분석에서의 결정계수(coefficient of determination, R^2)와 같은 성격의 지수인 적합지수(Fitness Index, FI)와 추정치 표준오차의 백분율인(standard error of estimate as percent of the mean, $SEE\%$)를 이용하여 모형의 상대적인 정도(accuracy)를 평가하였다. $SEE\%$ 는 종속변수의 평균에 대한 표준오차의 비를 백분율로 나타냄으로서 서로 다른 단위나 표본에서 얻어진 추정식과 비교가 가능하다. 또한 다른 단위나 표본과의 추정식의 정도를 비교를 가능하게 하는 종속변수의 평균에 대한 표준오차의 비를 나타내는 변이계수인 $CV\%$ 도 제시하였다(Evert, 1983; Schlaegel, 1984; Son et al., 2009; Son et al., 2012; Kang et al., 2015), 이것의 계산식은 Table 4와 같다.

재적에 의한 중량추정식은 기존의 재적자료를 이용하여 중량으로 전환하는 것이 주된 목적으로 잔차의 분포를 검토하여 과대치나 과소치가 나타나지 않고 적합도를 판단할 수 있는 FI , SEE 및 CV 를 확인하여 최적의 중량추정모형을 선정하였다. 또한 재적을 이용한 모형을 이용하여 산출된 수치가 큰 차이를 보이지 않을 경우에는 최적의 중량추정모형으로 선정하였다.

Table 3. Models tested for stem weight equations on DBH, DBH and Height, and Volume.

D		D and H		V	
$W = a+bD^2$	(1)	$W = bD^2H$	(1)	$W = aV$	(1)
$W = bD+cD^2$	(2)	$W = a+bD^2H$	(2)		
$W = a+bD+cD^2$	(3)	$W = a(D^2H)^b$	(3)		
$W = aD^b$	(4)	$W = aD^bH^c$	(4)		

Table 4. Statistics for evaluating performance of weight equations.

Statistics	Equation
Fitness index (FI)	$FI = 1 - \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (\sum Y_i - \bar{Y})^2$
Standard error of estimate as percent of the mean ($SEE\%$)	$SEE\% = \sqrt{(\sum (e_i - \bar{D})^2 / (N-1))} / \bar{Y} \times 100$

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

결과 및 고찰

1. 흉고직경 및 수고를 이용한 중량의 추정

1) 흉고직경을 이용한 중량추정모형의 평가

일본잎갈나무의 표본목 자료에 의한 수간 생중량, 건중량 및 이용중량을 흉고직경만을 이용한 모형을 이용한 추정이행능력은 Table 5와 같다. 모형의 설명력을 나타내는 *FI*와 정도를 나타내는 *SEE%*를 확인하여 보면 모형1과 모형3이 모형2와 모형4보다 모든 중량에서 수치가 높은 결과를 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 또한 과대치와 과소치를 확인하기 위하여 직경별 추정치의 잔차의 분포를 확인해본 결과, 생중량의 경우 모형3을 제외한 모형들은 구간에 따라 과대치 혹은 과소치가 나타났으며 수피외건중량, 수피내건중량, 이용중량에서는 모형1과 모형 3에서 잔차가 고르게 분포하였다. 이상의 결과로 흉고직경만을 이용한 중량추정 모형은 *FI*가 전 구간에서 가장 높고 잔차의 범위도 고르게 분포한 모형3인 $W = a+bD+cD^2$ 가 최적의 모형으로 판단된다.

2) 흉고직경과 수고를 이용한 중량추정모형의 평가

수고와 흉고직경 2개 변수를 이용하여 표본목 수간의 중량식의 모형별 추정치는 다음 Table 6과 같다.

*FI*와 *SEE*를 확인하여보면 생중량, 수피외건중량, 수피내건중량 및 이용중량에서 선형회귀식인 모형(1)과 모형(2)보다 지수식인 모형(3)과 모형(4)가 우수한 적합도를 보였다. 잔차의 분포인 Figure 1을 보면 선형회귀식인 모형(1)과 모형(2)는 생중량과 수피외건중량에서 과대치 및 과소치를 보였으며 이용 중량에서는 고른 분포를 보였다. 반면 지수식인 모형(3)과 모형(4)는 모든 중량추정에서 고른 잔차를 보였다. 이상의 결과로 잔차가 고르게 분포하며 적합도에서도 가장 높은 수치를 나타내는 모형(4)인 $W = aD^bH^c$ 가 흉고직경과 수고를 이용한 중량추정 모형으로 최적의 모형으로 판단된다.

3) 흉고직경과 수고를 이용한 최적의 중량추정식 선정
 개체목의 흉고직경 또는 흉고직경과 수고를 이용하는 중량추정모형의 평가결과에 따라 선택된 모형의 부위별 파라미터값과 *FI*, *CV%*는 다음 Table 7과 같다.

평가결과에 따라 선정된 변수별 모형의 *FI*를 확인하여 보면 흉고직경(1변수)만 이용한 추정식이 생중량, 건중량 및 이용중량 추정에 90~92%의 적합도를 수치를 나타냈다. 반면 흉고직경과 수고(2변수)를 이용한 추정식은 97~98%로 흉고직경을 이용한 추정식보다 더 높은 설명력을 나타내고 있다. 이는 흉고직경만을 이용하여 중량을 추정하는 것보다 흉고직경과 수고를 이용하는 것이 수목의 중량을 추정하는데 식의 적합성을 높여 줌을 알 수 있었으며 이는 통계적으로도 변수의 추가에 따른 당연한 결과로 사료된다. 또한 *CV*의 경우 2변수를 이용한 모형8은 9.5~13.6% 범위에 있어 흉고직경만을 이용하여 구한 모형3의 *CV*인 22~25%보다 크게 낮은 것을 알 수 있으며, 기존의 선행연구인 강원지방소나무의 결과인 15~20% (Lee et al., 2000)보다도 높은 신뢰도를 보이고 있다. 결과적으로 Table 7에 나타난 중량추정모형들이 높은 수준의 설명력과 신뢰도로 나타나 현장에서 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4) 일본잎갈나무 생중량 및 수피외건중량표 조제

이용자에게 활용될 수 있는 ‘중량표’ 작성을 위하여 여기에서는 모형(4)를 이용하여 일본잎갈나무의 생중량 및 수피외건중량표를 조제한 바 Table 8, 9와 같다.

2. 재적을 이용한 중량추정식

1) 재적을 이용한 중량추정 모형의 평가

전체수간재적을 이용하여 생중량 및 건중량을 추정할 수 있는 식($W = aV$)을 검토한 결과, *FI*와 *SEE*는 다음 Table 10과 같다.

Table 5. Performance of weight equations on DBH.

Weight	Statistics	$W = a+bD^2$	$W = bD+cD^2$	$W = a+bD+cD^2$	$W = aD^b$
		(1)	(2)	(3)	(4)
Fresh	<i>FI</i>	0.9190	0.9175	0.9204	0.9158
	<i>SEE</i>	41.6761	42.0460	41.3173	42.4873
Ovendry outside bark	<i>FI</i>	0.9090	0.9082	0.9090	0.9065
	<i>SEE</i>	24.1037	24.2100	24.0947	24.4261
Ovendry inside bark	<i>FI</i>	0.9104	0.9100	0.9104	0.9085
	<i>SEE</i>	21.7377	21.7845	21.7357	21.9678
Merchantable	<i>FI</i>	0.9128	0.9120	0.9128	0.9097
	<i>SEE</i>	20.7118	20.8124	20.7116	21.0749

Table 6. Performance of weight equations on DBH and Height.

Weight	Statistics	$W = bD^2H$ (1)	$W = a+bD^2H$ (2)	$W = a(D^2H)^b$ (3)	$W = aD^bH^c$ (4)
Fresh	FI	0.9790	0.9829	0.9849	0.9854
	SEE	21.2291	19.1611	17.9673	17.6967
Ovendry outside bark	FI	0.9738	0.9751	0.9757	0.9760
	SEE	12.9413	12.6048	12.4557	12.3675
Ovendry inside bark	FI	0.9727	0.9734	0.9736	0.9736
	SEE	11.9907	11.8478	11.8081	11.7891
Merchantable	FI	0.9737	0.9737	0.9739	0.9740
	SEE	11.3855	11.3726	11.3317	11.3209

Table 7. Selected weight equations on DBH(D) and DBH(D) and Height(H) together.

Weight	$W = a+bD+cD^2$					$W = aD^bH^c$				
	Parameter estimate			FI	CV (%)	Parameter estimate			FI	CV (%)
	a	b	c			a	b	c		
Fresh	-60.990	4.6632	0.4924	0.92036	22.226	0.0579	1.7982	0.9944	0.9853	9.520
Ovendry outside bark	-18.468	0.5604	0.3170	0.90904	24.605	0.0225	1.8688	1.02	0.9760	12.630
Ovendry inside bark	-11.410	-0.2501	0.3075	0.91039	24.791	0.0182	1.9183	1.0023	0.9736	13.446
Merchantable	-16.015	0.0919	0.2891	0.91282	25.007	0.0153	1.9509	1.0090	0.9739	13.669

전체수간재적 및 이용재적 자료에 의해 얻어진 식의 결과를 보면 생중량부터 이용중량까지 FI가 0.9854~0.9896으로서 약 98% 이상으로 높은 설명력을 보이며 SEE도 7.7~17.5, CV(%)도 8.0~10.0으로 우세한 적합도를 보였다. 이는 기존의 선행연구인 강원지방소나무의 중량추정식의 FI 값인 0.984~0.991과 유사한 적합도를 보였으며, 10.3~26.3의 SEE와 9~12%의 CV(%)값과 비교해본 결과 본 연구결과 보다 높은 적합도를 나타내었다(Lee et al., 2000). 이는 모형 $W = aV$ 가 기존의 재적자료를 이용하여 중량으로 전환하는 식으로 사용되는데 있어 충분한 설명력을 가진다고 사료된다. 또한, 절편이 없는 단순회귀모형인 $W = aV$ 모형은 Parameter estimate (a)가 수피를 포함한 전체수간의 목재밀도(kg/m³)를 의미한다. 이에 전체수간재적의 밀도는 349~763kg/m³, 이용재적의 밀도는 412~899kg/m³임을 알 수 있다.

결론

본 연구는 중부지역 일본잎갈나무의 수간중량 추정식을 개발하기 위하여 지역별 개체목의 직경과 지

위를 고려하여 총 55본의 표본목을 선정하여 모형에 따른 적합지수와 추정의 표준오차 및 잔차의 분포를 이용하여 모형의 이행능력을 비교하여 최적의 모형을 선정하였다. 그 결과, 1변수인 흉고직경을 이용하는 식은 $W = a+bD+cD^2$ 으로 생중량부터 이용중량까지 설명력이 90~92%로 높게 나타났고, 흉고직경과 수고를 이용한 2변수식은 $W = aD^bH^c$ 으로 97~98%의 매우 높은 설명력이 나타났다. 이에 수고와 직경을 이용하는 2변수 모형을 사용하는 것이 중량을 추정하는데 보다 정확도가 높을 것으로 판단된다. 또한 전체수간 재적으로 생중량과 건중량을 추정할 수 있는 식에 대한 설명력도 98~99%으로 매우 높게 나타났고, 변이계수도 8.3~10.0%로 잔차의 분포도 균일하게 나타났다. 따라서 선정된 모형들이 일본잎갈나무의 중량을 추정하는데 적합하다고 판단되며, 본 연구에서 제시한 모형의 추정이행능력으로 일본잎갈나무 수종을 이용한 파티클보드, 펄프용재 등 경제자원의 거래평가와 일본잎갈나무의 수간부 바이오매스를 추정식을 개발할 때 기초적인 연구자료로 이용될 것으로 판단된다.

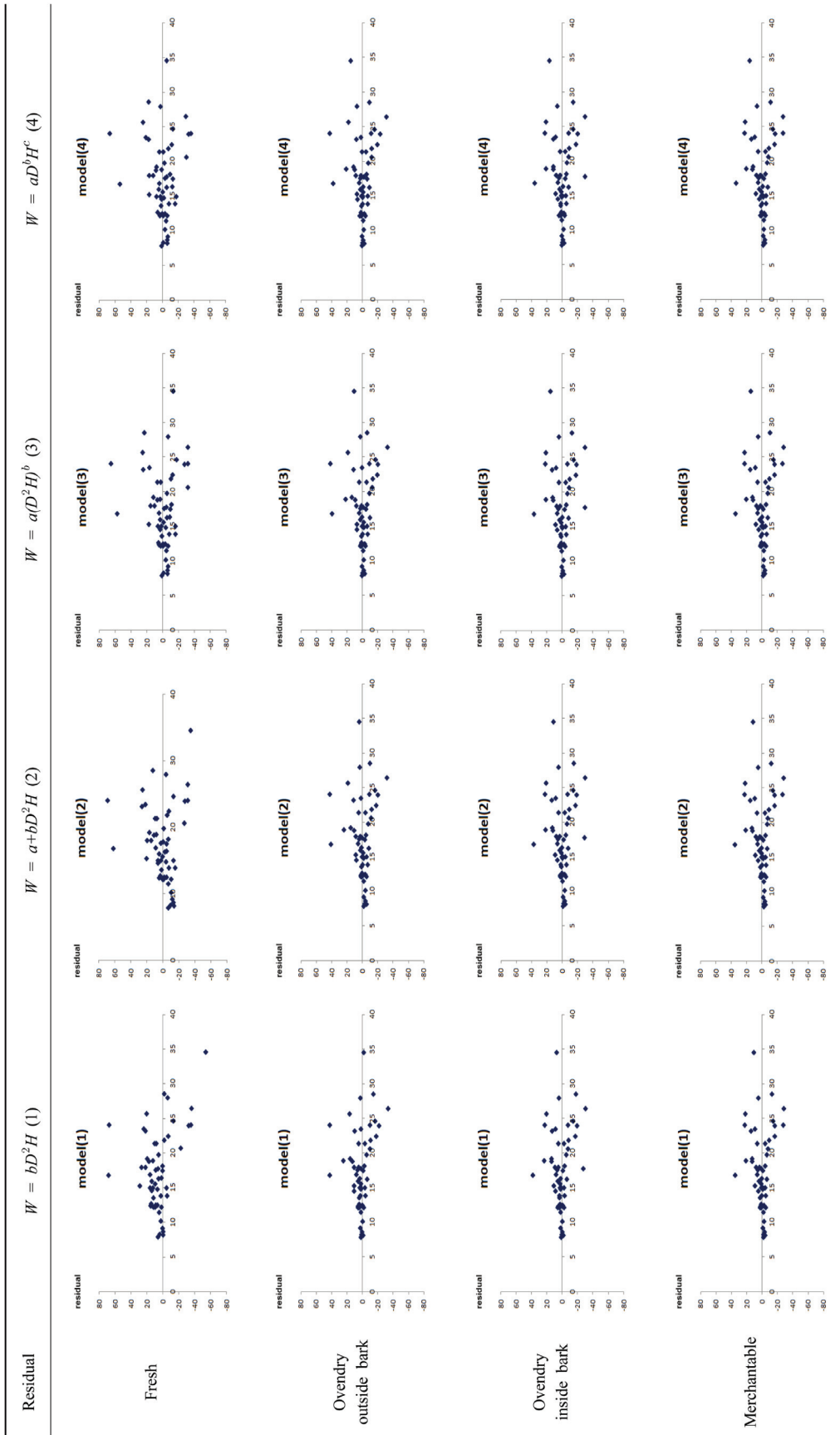


Figure 1. Residual distribution of DBH(D) and height(H) together model based on weight.

Table 8. Fresh weight table within stem bark for *Larix kaempferi*.

(Unit : DBH(cm), Height(m), Weight(kg))

	DBH_6	DBH_8	DBH_10	DBH_12	DBH_14	DBH_16	DBH_18	DBH_20	DBH_22	DBH_24	DBH_26	DBH_28	DBH_30
H_3	4.269	7.161	10.696	14.846	19.589	24.905	30.780	37.201	44.156	51.635	59.628	68.128	77.127
H_4	5.683	9.533	14.239	19.764	26.077	33.154	40.975	49.523	58.781	68.737	79.378	90.693	102.673
H_5	7.095	11.901	17.777	24.674	32.556	41.392	51.156	61.827	73.386	85.815	99.100	113.227	128.183
H_6	8.505	14.267	21.311	29.579	39.028	49.620	61.326	74.118	87.974	102.875	118.801	135.736	153.665
H_7	9.914	16.631	24.842	34.480	45.494	57.841	71.486	86.397	102.550	119.918	138.483	158.224	179.123
H_8	11.322	18.993	28.370	39.377	51.955	66.055	81.638	98.667	117.113	136.949	158.150	180.694	204.561
H_9	12.729	21.353	31.895	44.270	58.411	74.264	91.783	110.928	131.667	153.967	177.803	203.148	229.982
H_10	14.135	23.712	35.418	49.160	64.863	82.467	101.921	123.182	146.211	170.975	197.444	225.589	255.387
H_11	15.540	26.069	38.940	54.048	71.312	90.666	112.055	135.429	160.748	187.974	217.074	248.018	280.778
H_12	16.945	28.426	42.459	58.933	77.758	98.861	122.183	147.670	175.277	204.964	236.694	270.435	306.156
H_13	18.349	30.781	45.977	63.816	84.200	107.052	132.306	159.905	189.800	221.946	256.305	292.841	331.522
H_14	19.752	33.135	49.494	68.697	90.640	115.240	142.425	172.135	204.316	238.921	275.908	315.239	356.878
H_15	21.155	35.488	53.009	73.576	97.078	123.425	152.540	184.360	218.827	255.889	295.503	337.627	382.224
H_16	22.557	37.841	56.523	78.453	103.513	131.606	162.652	196.581	233.332	272.851	315.091	360.007	407.560
H_17	23.959	40.192	60.035	83.328	109.945	139.785	172.760	208.797	247.832	289.808	334.672	382.380	432.888
H_18	25.361	42.543	63.547	88.202	116.376	147.960	182.864	221.010	262.328	306.758	354.247	404.745	458.207
H_19	26.762	44.893	67.057	93.074	122.805	156.134	192.966	233.218	276.819	323.704	373.816	427.103	483.519
H_20	28.162	47.242	70.566	97.945	129.231	164.305	203.065	245.423	291.306	340.645	393.379	449.455	508.823
H_21	29.562	49.591	74.075	102.815	135.657	172.474	213.160	257.625	305.789	357.580	412.937	471.801	534.120
H_22	30.962	51.939	77.582	107.683	142.080	180.640	223.253	269.824	320.268	374.512	432.489	494.141	559.411
H_23	32.361	54.287	81.089	112.550	148.502	188.805	233.344	282.019	334.743	391.439	452.037	516.475	584.695
H_24	33.761	56.634	84.594	117.416	154.922	196.968	243.432	294.212	349.215	408.362	471.580	538.804	609.974
H_25	35.159	58.980	88.099	122.281	161.340	205.128	253.518	306.402	363.684	425.281	491.119	561.127	635.246
H_26	36.558	61.326	91.604	127.145	167.758	213.287	263.602	318.589	378.150	442.197	510.653	583.446	660.513
H_27	37.956	63.672	95.107	132.007	174.174	221.444	273.683	330.773	392.612	459.109	530.183	605.760	685.774
H_28	39.354	66.017	98.610	136.869	180.588	229.600	283.763	342.955	407.071	476.017	549.709	628.070	711.031
H_29	40.751	68.361	102.112	141.730	187.002	237.754	293.840	355.135	421.528	492.922	569.231	650.375	736.282
H_30	42.149	70.705	105.613	146.589	193.414	245.906	303.916	367.312	435.982	509.824	588.749	672.676	761.528
H_31	43.546	73.049	109.114	151.448	199.825	254.057	313.989	379.487	450.433	526.723	608.264	694.972	786.770
H_32	44.943	75.392	112.614	156.306	206.235	262.207	324.061	391.660	464.882	543.619	627.776	717.265	812.008
H_33	46.339	77.735	116.113	161.163	212.643	270.355	334.132	403.831	479.328	560.512	647.284	739.554	837.241
H_34	47.736	80.077	119.612	166.020	219.051	278.501	344.200	416.000	493.772	577.402	666.789	761.839	862.470
H_35	49.132	82.419	123.110	170.875	225.458	286.647	354.267	428.166	508.213	594.289	686.290	784.121	887.694

Table 9. Ovendry weight table within stem bark for *Larix kaempferi*.

(Unit : DBH(cm), Height(m), Weight(kg))

	DBH_6	DBH_8	DBH_10	DBH_12	DBH_14	DBH_16	DBH_18	DBH_20	DBH_22	DBH_24	DBH_26	DBH_28	DBH_30
H_3	1.964	3.362	5.101	7.172	9.566	12.278	15.301	18.631	22.264	26.195	30.422	34.941	39.749
H_4	2.633	4.508	6.840	9.618	12.829	16.465	20.519	24.985	29.856	35.128	40.796	46.857	53.305
H_5	3.306	5.660	8.589	12.076	16.108	20.673	25.764	31.371	37.487	44.107	51.224	58.833	66.929
H_6	3.982	6.817	10.344	14.544	19.400	24.899	31.029	37.782	45.149	53.121	61.693	70.857	80.609
H_7	4.660	7.978	12.106	17.020	22.703	29.138	36.313	44.215	52.836	62.166	72.197	82.922	94.334
H_8	5.340	9.142	13.872	19.504	26.016	33.390	41.611	50.667	60.546	71.237	82.732	95.021	108.098
H_9	6.021	10.309	15.643	21.993	29.337	37.652	46.923	57.135	68.275	80.331	93.293	107.151	121.898
H_10	6.705	11.478	17.417	24.489	32.665	41.924	52.247	63.617	76.021	89.445	103.877	119.308	135.727
H_11	7.389	12.650	19.196	26.989	36.000	46.204	57.581	70.112	83.782	98.577	114.483	131.489	149.585
H_12	8.075	13.824	20.977	29.494	39.341	50.492	62.925	76.619	91.558	107.726	125.108	143.693	163.468
H_13	8.762	15.000	22.762	32.003	42.688	54.788	68.278	83.137	99.347	116.890	135.751	155.917	177.374
H_14	9.450	16.178	24.549	34.516	46.040	59.090	73.639	89.665	107.148	126.068	146.410	168.159	191.301
H_15	10.139	17.357	26.339	37.032	49.396	63.398	79.008	96.203	114.960	135.259	157.085	180.419	205.249
H_16	10.829	18.538	28.131	39.552	52.757	67.712	84.384	102.749	122.782	144.463	167.773	192.696	219.215
H_17	11.520	19.721	29.926	42.075	56.123	72.031	89.767	109.303	130.614	153.678	178.475	204.988	233.198
H_18	12.211	20.905	31.722	44.601	59.492	76.355	95.156	115.865	138.455	162.904	189.190	217.294	247.198
H_19	12.903	22.090	33.521	47.130	62.865	80.684	100.551	122.434	146.306	172.141	199.917	229.614	261.214
H_20	13.597	23.277	35.321	49.661	66.242	85.018	105.952	129.010	154.164	181.387	210.655	241.947	275.244
H_21	14.290	24.464	37.124	52.195	69.622	89.356	111.358	135.593	162.030	190.642	221.403	254.293	289.289
H_22	14.985	25.653	38.927	54.731	73.005	93.698	116.770	142.182	169.904	199.906	232.162	266.650	303.346
H_23	15.680	26.843	40.733	57.270	76.391	98.045	122.186	148.777	177.785	209.178	242.931	279.018	317.417
H_24	16.375	28.034	42.540	59.811	79.780	102.394	127.607	155.378	185.673	218.459	253.709	291.397	331.500
H_25	17.072	29.226	44.349	62.354	83.173	106.748	133.033	161.984	193.567	227.747	264.496	303.787	345.594
H_26	17.768	30.419	46.159	64.899	86.567	111.105	138.462	168.596	201.468	237.043	275.292	316.186	359.700
H_27	18.466	31.613	47.971	67.446	89.965	115.465	143.896	175.213	209.374	246.346	286.096	328.595	373.817
H_28	19.164	32.808	49.784	69.995	93.365	119.829	149.335	181.834	217.287	255.656	296.908	341.013	387.944
H_29	19.862	34.003	51.598	72.546	96.767	124.196	154.776	188.460	225.205	264.972	307.728	353.440	402.081
H_30	20.561	35.199	53.413	75.098	100.172	128.566	160.222	195.091	233.129	274.295	318.555	365.876	416.228
H_31	21.260	36.397	55.230	77.652	103.579	132.938	165.672	201.727	241.058	283.624	329.389	378.320	430.384
H_32	21.960	37.595	57.048	80.208	106.988	137.314	171.124	208.366	248.992	292.959	340.231	390.772	444.550
H_33	22.660	38.793	58.867	82.766	110.399	141.692	176.581	215.010	256.931	302.300	351.079	403.231	458.724
H_34	23.361	39.993	60.687	85.325	113.812	146.073	182.040	221.658	264.875	311.647	361.934	415.699	472.907
H_35	24.062	41.193	62.508	87.885	117.228	150.456	187.503	228.309	272.823	320.999	372.795	428.173	487.099

Table 10. Selected weight equations on total stem volume(V_t) and merchantable stem volume(V_m).

Weight	W=aV _t				W=aV _m			
	Parameter estimate	FI	SEE	CV(%)	Parameter estimate	FI	SEE	CV(%)
	a				a			
Fresh	763.9	0.9898	14.906	8.0180	899.6	0.9857	17.537	9.4339
Ovendry outside bark	407.5	0.9870	9.1064	9.2993	480.0	0.9850	9.7792	9.9863
Ovendry inside bark	366.8	0.9854	8.7828	10.017	432.3	0.9861	8.5748	9.7803
Merchantable	349.7	0.9865	8.1296	9.8157	412.2	0.9878	7.7431	9.3491

References

- Aldred, A.H. and Alemdag, I.S. 1988. Guidelines for forest biomass inventory. can. For. Serv., Petawawa national Forestry Institute Information. Report. PI-X-77. pp. 134.
- Evert, F. 1983. A national systems of equations for estimating ovendry mass of trembling Aspen populus tremuloides Michx. can. For. Serv. Petawawa national Forestry Institute Information Report PI-X-24. pp. 23.
- Evert, F. 1985. Systems of equations for estimating ovendry mass 18 Canadian tree species. Can. For. Serv. Petawawa national Forestry Institute Information Report PI-X-59. pp. 50.
- 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. 2017. Statistical Yearbook of Forest. pp. 441.
- Korea Forest Research Institute. 2012. Economic tree species 4. Research Report on Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea, pp. 180.
- Lee, K.H., Son, Y.M. and Jung, Y.G. 2000. Tree stem weight equations for pinus densiflora in Kangwon province, Korea. FRI Journal of Forest Science 63: 41-50.
- Na, S.J., Kim, C.S., Woo, K.S., Kim, H.J. and Lee, D.H. 2011. Correlation of Above-and below-ground biomass between natural and planted stands of Pinus densiflora for. erecta of One age-class in Gangwon Province. Journal of Korean Forest Society 100(1): 42-51.
- Park, I.H. and Kim, J.S. 1989. Biomass regressions of Pinus densiflora natural forests of four local forms in Korea. Journal of Korean Forest Society 78(6): 320-330.
- Park, I.H. and Lee, S.M. 1990. Biomass and net production of Pinus densiflora national forests of four local forms in Korea. Journal of Korean Forest Society 79(6): 196-204.
- Schlaegel, Bryce E. 1984. Green ash volume and weight table. Res. Pap. SO-206. New Orleans, LA. U.S. Dep. Agric.For. Serv. pp. 1-14.
- Seo, Y.O., Lee, Y.J., Pyo, J.K., Kim, R.H., Son, Y.M. and Lee, K.H., 2010. Above-and belowground biomass and net primary production for Pinus densiflora stands of Cheongyang and Boryeong regions in Chungnam. Journal of Korean Forest Society 99(6): 914-921.
- Seo, Y.O. and Lee, Y.J. 2010. Biomass and net primary production of Pinus densiflora stands in Gochang regions. Journal of Agriculture & Life Science 44(5): 45-53.
- Seo, Y.O. and Lee, Y.J. 2013. Estimation of above- and belowground biomass with consideration of age classes for Cryptomeria japonica stands. Journal of Agriculture & Life Science 47(2): 17-23.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Park, I.H., Son, Y.W., Lee, Y.J., Kim, D.K. and Seo, J.H., 2005. Assessment of carbon stock and biomass expansion factor by major species. Korean Journal of Forest Measurements 8: 91-98.
- Son, Y.M., Kim, H., Lee, H.Y., 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 plantation in Indonesia. Journal of Korean Forest Society 98(6): 633-638.
- Son, Y.M., Lee, K.H. and Pyo, J.K. 2011. Development of biomass allometric equations for Pinus densiflora in central region and Quercus variabilis. Journal of Agriculture & Life Science 45(4): 65-72.
- 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.

Manuscript Received : April 18, 2018

First Revision : May 30, 2018

Accepted : June 11, 2018