

일본잎갈나무와 리기다소나무의 중량추정식 및 중량표 개발

강진택^{ID*} · 고치웅 · 박정묵 · 임종수 · 이선정 · 원명수

국립산림과학원 산림ICT연구센터

Development of Weight Estimation Equations and Weight Tables for *Larix kaempferi* and *Pinus rigida* Stand

Jintaek Kang^{ID*}, Chiung Ko, Jeongmuk Park, Jongsu Yim,
Sun-Jeong Lee and Myoungsoo Won

Forest ICT Research Center, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약: 본 연구는 우리나라 주요 침엽수종인 일본잎갈나무와 리기다소나무의 생중량과 건중량 도출을 위한 최적 추정식 도출과 최적 중량식에 의한 중량표를 개발하기 위해 수행되었다. 중량표를 개발하기 위하여 전국에 분포하고 있는 일본잎갈나무 150본, 리기다소나무 90본, 전체 240본을 샘플링하여 현장에서 생중량을 측정하고, 각 부위별 시료를 채취하여 실험실에서 건중량을 측정하였다. 원목의 생중량과 건중량을 추정하기 위하여 이용한 식은 흉고직경의 1변수식, 그리고 흉고직경과 수고를 이용하는 2변수식으로 구분하였다. 또한 생중량 및 건중량 추정식들에 대해 적합성 검증을 위하여 적합도지수(FI), 평균제곱근오차(RMSE), 추정표준오차(SEE), 잔차도 등의 통계량을 이용하였으며, 도출된 최적식에 의해 중량을 계산하여 적용성을 검토하였다. 이 결과 흉고직경만을 이용할 때 $W = bD + cD^2$ 그리고 흉고직경과 수고를 이용할 때 $W = aD^bH^c$ 가 선정되었다. 선택된 1변수 중량추정식 $W = bD + cD^2$ 의 적합도지수는 0.91였으며, 2변수 중량추정식 $W = aD^bH^c$ 의 적합도지수는 0.95로 모두 높게 나타났다. 이들 추정식으로 일본잎갈나무와 리기다소나무에 대한 생중량 및 건중량표를 새롭게 작성하였으며, 20년전의 중량표와 비교할 때 두 수종 모두 생중량 및 건중량이 기존 중량표가 큰 것으로 나타났다.

Abstract: This study was conducted to derive the optimal estimation equations for deriving the green and dry weights of *Larix kaempferi* (Japanese larch) and *Pinus rigida* (Rigida pine), which are major coniferous tree species in South Korea. The equations were then used to develop weight tables. Table development began with the sampling of 150 *L. kaempferi* and 90 *P. rigida* trees distributed throughout the national scale, after which green weights were measured on-site. Samples from each stand were then collected, and their dry weights were measured in a laboratory. The equation used to calculate green and dry weights was divided into a one-variable formula that uses only the diameter at breast height (DBH) and a two-variable equation that employs DBH and height. The equations used to estimate the green and dry weights of logs were divided into one- and two-variable equations using DBH. Statistical data, such as the fitness index (FI), root mean square error, standard error of estimation, and residual diagram, were used to verify the suitability of the estimation equations. Applicability was examined by calculating weights using the derived optimal equations. The equation $W = bD + cD^2$ was used in measurements involving only DBH, whereas the equation $W = aD^bH^c$ was employed in cases involving both diameter and height at breast height. The FI of $W = bD + cD^2$ was 0.91, while that of $W = aD^bH^c$ was 0.95, both of which are high values. With these estimation formulas, weight tables for the green and dry weights of *L. kaempferi* and *P. rigida* were prepared and compared with weight tables created 20 years ago. The green and dry weight tables of both species were larger.

Key words: green weight, dry weight, *larix kaempferi*, *pinus rigida*, weight estimation equation, weight table

* Corresponding author
E-mail: beg8bune@korea.kr

ORCID
Jintaek Kang ^{ID} <https://orcid.org/0000-0002-4688-8450>

서론

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)는 1910년대에 일본으로부터 도입되어 우리나라 대부분의 지역에서 잘 적응하여 자라고 있는 수종이다(Yim, 1985). 일본잎갈나무는 현재 우리나라 주요 조림수종 중의 하나로써 우량목재 생산을 위해 해안지방을 제외한 전국 대부분 지역에서 분포하고 있으며, 1970년대에 치산녹화사업이 시작되면서 본격적으로 식재되어 온 수종이다(Lee, 1995; Jeon et al., 2007). 일본잎갈나무는 우리나라 주요 산림수종으로 전체 침엽수(2,320천 ha)중 소나무류(1,580천 ha, 68.1%) 다음으로 많이 분포(260천 ha, 11.2%)하고 있는 수종이다(KFS, 2022). 또한 리기다소나무(*Pinus rigida* Miller)는 소나무과에 속하면서 북아메리카와 대서양 연안이 원산지(Mirov, 1967) 1920년대에 처음으로 국내에 도입된 이래, 1960~70년대에 주요 조림수종으로 대규모 조림하여 계속적으로 수종갱신되었으며, 현재 235천 ha(10.1%)로 소나무, 일본잎갈나무 다음으로 많은 면적을 차지하고 있다(KFS, 2022). 최근 벌기령에 도달한 리기다소나무는 성장량 감소와 목재 재질 등의 이유로 주된 갱신 대상수종이 되었으며 다른 수종으로 갱신 조림되고 있는 실정이다(KFS, 2012b; Yang et al., 2013). 이처럼 과거에 많은 면적이 조림된 리기다소나무림은 다른 수종으로의 갱신이 불가피한 상황이다. 간벌, 갱신 등 산림경영활동에 의한 리기다소나무 생산재는 목재 옥벽, 목재 소형 사방댐, 목재 울타리, 목재 난간 등 토목용 부재로도 많이 사용되고 있다(Kim et al., 2008; Son et al., 2014; Park, 2010).

산림에서 생산되는 목재의 거래는 주로 재적 단위로 거래가 되나 활엽수, 소경재 또는 펄프재의 거래는 증량 단위의 거래가 증가되고 있는 추세다. 최근에는 미이용 산림 바이오매스의 증량단위의 매각 및 거래가 증가되면서 민원 발생이 증가하고 임목의 증량단위 대한 체계적 정보가 필요한 시점이다. 또한 최근 과학자들은 산림생태계에 있어 생물적 생산성에 지속적인 관심을 갖게 되었고, Boysen-Jensen(1932) 이래 육상식물의 생산성(biomass productivity)에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다(Baskerville, 1972; Cunia, 1964; Kwon et al., 2006; Lee et al., 2003). 바이오매스(biomass) 관련 연구는 20세기 중반 이후에 미국, 일본, 벨기에, 캐나다를 중심으로 biomass의 생산구조 및 측정방법에 관한 연구가 활발히 진행되었다(Kozak, 1970; Lavigne et al., 1981; Ouellet, 1985; Nautiyal and Belli, 1987; Marshall, 1995). 특히 캐나다 임산에너지 프로젝트(ENFOR)에서는 산림 바이오매스 조사 표준화를 위하여 일련의 활동과 이에 관련된 많은 문헌을 발표하

바 있다(Pardé, 1980; Son et al., 1998).

우리나라 초창기 바이오매스 연구는 육상식물의 생산력 추정에 대한 연구였으며(Kim, 1970), 이후 관련된 연구가 활발하게 수행되어 왔다(Kim et al., 1983a, 1989b; Yim et al., 1984; Lee et al., 1986; Lee et al., 1988; Park et al., 1990). 지금까지의 연구들은 대부분 생태계 식물에 대한 건증량 개념의 연구가 진행되어 왔다면, 국립산림과학원은 산림현장에서 직접적으로 거래될 수 있는 임목의 증량에 대한 연구를 진행하여 왔으며, 강원지방소나무 등 8수종에 대한 임목증량표를 개발하여 사용해 왔다(NIFoS, 2001). 증량량은 건증량을 나타내는 바이오매스는 아니지만 현장에서는 펄프용 원자재 등으로 원목을 거래할 때 사용하고 있으므로 임업 현장에서 매우 중요한 정보이다(Son et al., 2007). 보통 원목의 증량산출은 흉고직경의 1변수식과 흉고직경과 수고를 모두 이용하는 2변수식으로 도출할 수 있다. 1변수를 이용한 증량식은 수고변수가 추가된 2변수식보다 약간의 설명력이 떨어질 수 있으나, 일선 현장에서는 수고를 측정하지 못한 자료가 있을 수 있고 측정이 실제 곤란한 경우가 있으므로 1변수식을 이용할 수 있을 것이다. 이에 대하여 캐나다의 산림 바이오매스 지침서(Guidelines for forest biomass inventory)에서는 수고를 직접 측정하지 않아 일반적으로 알려진 특정 수고곡선 추정으로 굳이 2변수식을 이용하는 것보다는, 오히려 측정이 가능한 흉고직경만의 1변수식을 이용하라고 권장한 바 있다(Aldred et al., 1988).

본 연구는 2001년 국립산림과학원에서 처음 만들어진 증량표가 당시 미성숙 단계의 산림에서 주로 중경목 이하의 표본목이 선발되었고, 또한 수집 시료가 전국적으로 고르게 수집되지 못하여 우리나라를 대표하는 증량표로서의 한계점을 개선하기 위하여 수행되었다. 따라서 새롭게 개발된 일본잎갈나무와 리기다소나무의 증량표는 수종 및 지역별 분포면적을 고려하여 국가적 단위에서 균일하게 시료와 정보를 수집하였다. 이러한 자료를 바탕으로 개발된 원목 증량표와 건증량표는 임목 매각 현장과 탄소 흡수량 추정에 널리 활용될 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 공시재료 및 자료 수집

본 연구의 신규 증량표 개발을 위한 시료수집과 현장조사는 2022년 5월~11월까지 실시하였으며, 표준목 시료는 전체 240본으로 임상도(1:5,000)의 분포지역 및 면적비율과 최대한 고려하여 직경급별로 일본잎갈나무 150본, 리기다소나무 90본의 표준목을 선정하여 시료를 수집하였다.

Table 1. Characteristic of growth factors in *L. kamepferi* and *P. rigida*.

Region	Inventory Items Collected sample tree no.	Present Weight Table			New Weight Table			
		DBH (cm)	Height (m)	Collection region ¹⁾	Collected sample tree no.	DBH (cm)	Height (m)	Collection region ²⁾
<i>L. kamepferi</i>	78	$\frac{18.3}{7.9-34.6}$	$\frac{17.6}{9.1-25.1}$	9	150	$\frac{28.7}{8.5-48.0}$	$\frac{22.3}{10.4-32.4}$	24
<i>P. rigida</i>	50	$\frac{13.1}{6.6-21.8}$	$\frac{17.0}{5.7-27.0}$	5	90	$\frac{25.6}{10.0-41.1}$	$\frac{17.3}{10.5-23.5}$	17

¹⁾: (*L. kamepferi*) Chungju, Jecheon, Yeongju, Hamyang, Sancueong, Yeongwol, Muju, Phcheon

(*P. rigida*) Gongju, Yangpyeong, Jangsu, Sancueong, Yeongyang

²⁾: (*L. kamepferi*) Seoul, Suwon, Yanggu, Inje, Chuncun, Hongcheon, Gangneung, Sancheok, Yangyang, Yeongwol, Jungseong, Taebaek, Pheongchang, Yeongju, Uljin, Gumi, Yangsan, Danyang, Boeun, Buyeo, Chungju, Muju, Jeongeup, Hamyang

(*P. rigida*) Seoul, Suwon, Chuncun, Hongcheon, Yeongdeok, Yeongju, Gumi, Yangsan, Danyang, Boeun, Chungju, Muju, Jeongeup, Suncheon, Yeongam, Jeongeup, Hamyang

일본잎갈나무는 5개 지방청 27개 국유림관리소 권역을 중심으로 27개 지역, 리기다소나무는 17개 지역에서 시료를 수집하였다(Table 1). 지역별 시료수집을 위한 표준지는 현장의 임분밀도, 영급 및 경급을 고려하여 최소 크기 (10 m × 10 m)에서 최대 (40 m × 50 m) 크기로 구획하여 GPS 좌표를 측정하였다. 또한 표준지에 대한 임황 및 지황조사를 실시하여 경급별로 표준목을 선정하여 시료를 수집하였다. 직경급별 시료를 고르게 수집하기 위하여 제 7차 국가산림자원조사(NIFoS, 2021)의 직경급별 비율(소경급 30%, 중경급 40%, 대경급 30%)을 우선 고려하여 소경급, 중경급, 대경급의 수집 비율을 구분한 후, 다시 각 경급별로 본수를 할당하여 수집하였다. 일본잎갈나무 소경급 14본, 중경급 67본, 대경급 69본, 총 150본, 리기다소나무는 소경급 9본, 중경급 47본, 대경급 34본표준목 90본을 조사·수집하였다.

일본잎갈나무와 리기다소나무의 생중량은 현장에서 나무의 수간(Stem), 가지, 잎의 무게를 측정하였으며, 건중량은 수간의 높이별 원판(Disk) 시료를 수집하여 건조기에서 향량에 도달할 때까지 건조한 후, 건중량을 측정하였다(NIFoS, 2007). 본 연구에서는 수간 중량표를 개발하기 위하여 수간의 생중간과 건중량 자료만 분석에 활용하였다.

2. 분석방법

1) 중량 추정식 도출

(1) 생중량 및 건중량 추정식 도출 및 통계적 검증
중량을 추정할 수 있는 추정식은 2001년 사용하였던 흉고직경만을 이용하는 1변수식 4개와 흉고직경과 수고를 이용하는 2변수식 등 Table 2와 같은 8개식을 그대로 원용하였는데(Lee et al., 2002), 이는 당시 분석결과와 상호 비교 검증을 위한 것이다.

Table 2. Used stem weight equations on *D* alone, and *D* and *H* together.

Equations (variable D only)		Equations (variables D and H)	
$W = a+bD^2$	(1)	$W = bD^2H$	(5)
$W = bD+cD^2$	(2)	$W = a+bD^2H$	(6)
$W = a+bD+cD^2$	(3)	$W = a(D^2H)^b$	(7)
$W = aD^b$	(4)	$W = aD^bH^c$	(8)

Note) D (DBH) = Diameter outside bark at breast height (1.2 m), H = Tree height, W = Total weight of stem, a, b, c = Model parameters

신규 중량추정식은 비선형 회귀분석을 통해 도출하였고, 추정식에 대한 적합성을 검증하기 위하여 적합도지수 (Fitness Index, FI)를 분석하였다. 또한 추정표준오차 (Standard Error of Estimation, SEE)와 평균제곱근오차 (Root Mean Squar Error, RMSE), 잔차(Residual) 등을 도출하여 추정식의 정확성 검증을 통한 최적식을 찾고자 하였다(Kim, 2000; Lee et al., 2002; Parresol, 1999; Schlaegel, 1984). 추정된 값이 모수의 참값에 대하여 평균적인 과소과대치를 주는지를 알아보고자 편의(Bias)와 잔차의 표준오차를 비교하여 상대적인 정도를 평가하였다. 본 연구와 관련된 통계분석은 R프로그램(Version4.3.2)으로 분석하였다.

2) 중량표 작성

(1) 생중량 및 건중량표 작성

흉고직경 1변수와 흉고직경과 수고의 2변수를 이용한 최적 중량추정식을 도출한 후, 추정된 최적식에 의해 사용자의 편의를 고려하여 흉고직경 1변수만 이용하여 중량을 추정할 수 있도록 중량표를 제시하고, 흉고직경과 수고 2변수에 의해 중량을 추정할 수 있도록 중량표를 개발하였다.

(2) 기존 증량표와 신규증량표의 비교

새롭게 도출된 일본잎갈나무와 리기다소나무의 증량표와 기존의 증량표와 상호간 차이가 있는지를 아래와 같이 t-test 처리하여 검증하고자 하였으며, 또한 기존 국립산림과학원에서 2011년 만든 증량표와의 차이를 t-test로 검증하고자 하였다(Kim, 2000).

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{s^2(1/n_1 - 1/n_2)}}, s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

where, $\bar{X}_{i,j}$ = The average of measure across groups, $n_{i,j}$ = Number of measurement, s^2 = Pooled variance, $s_{i,j}^2$ = Variance of each group

결과 및 고찰

1. 증량 추정식의 도출

1) 생증량 추정식 도출 및 통계적 검증

(1) 흉고직경 1변수 추정식 도출

일본잎갈나무와 리기다소나무의 생증량을 추정하기 위하여 흉고직경 1변수만을 이용한 추정식 계수(Parameter) 및 적합도 검증 결과는 Table 3과 같다.

흉고직경 1변수만을 이용한 4가지 생증량 추정식의 FI는 일본잎갈나무 89.6~91.8%, 리기다소나무 88.9~92.8 범위 사이로 나타났으며, RMSE는 123.0~124.0, 92.7~96.2, SEE는 각각 18.0~18.2%, 21.7~22.5% 범위에 있는 것으로 나타났다. 일본잎갈나무의 적합도가 유사한 식 (1)과 (3)은 추정된 증량표의 낮은 경급(6 cm 이하)에서 “마이너스(-)” 값을 보이고 있어 제외하였다. 또한 리기다소나무에서도 일본잎갈나무와 마찬가지로 식 (1)은 추정 증량표에서 일부 경급에서 “마이너스(-)” 값을 보여 제외하였다. 전체적으로 추정식에 대한 적합도지수는 4가지 식 모두 거의 차

이가 없으나, SEE 등 통계량과 추정식에 의해 추정된 증량표의 이상치 유무를 종합적으로 고려하여 식 (2)를 두 수준의 생증량을 추정하는데 가장 적합한 것으로 판단하였다.

4가지 식에 대한 실측지와 추정치 간 잔차를 도식화한 것은 Figure 1과 같다. 일본잎갈나무 및 리기다소나무의 실측지와 추정치 간의 잔차도에서 4개의 추정식 모두 “0”을 중심으로 대부분 잔차가 고르게 분포하고 있으나, 경급이 증가할 수록 잔차의 폭이 증가하는 경향을 보였다. 식 (1)~(4)의 잔차가 모두 유사하 패턴을 보이고 있으나 추정식 (2)와 (4)가 경급이 작을때 다른 추정식에 비해 “0”을 중심으로 다소 균형있게 분포하고 있는 경향을 보였다.

(2) 흉고직경과 수고 2변수 추정식 도출

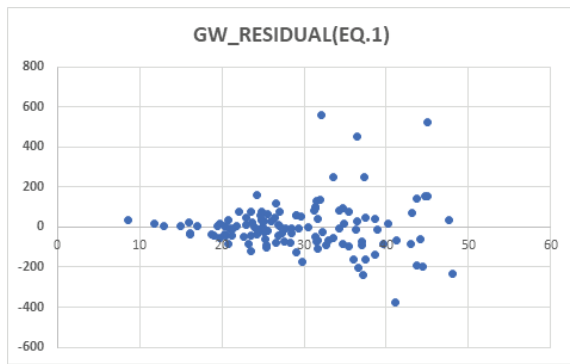
흉고직경과 수고 2변수에 의한 일본잎갈나무 및 리기다소나무의 생증량 도출을 위한 4가지 추정식에 대한 계수 및 FI 검증 결과는 Table 4와 같다.

흉고직경과 수고 2변수에 의한 생증량 추정식의 FI는 일본잎갈나무 94.0~1.1, 리기다소나무 95.0~99.1 범위내로 추정식 (5)~(8) 간에는 큰 차이를 보이지 않았으며, RMSE는 94.0~99.5, 64.8~65.2, SEE는 각각 13.9~14.5, 15.1%~15.3% 범위에 있는 것으로 나타났다. 흉고직경만을 갖는 추정식보다는 FI가 약간 높음을 알 수 있는데, 이는 수고 변수가 추가됨에 따라 설명력이 높아진 것으로 판단된다. FI와 오차 등의 통계량을 종합적으로 고려하여 흉고직경과 수고의 2변수를 이용한 일본잎갈나무의 생증량 최적 추정식은 식 (8)로 나타났다. FI에서는 추정식간에는 유사하게 나타났으나, RMSE와 SEE에서는 추정식간에 약간의 차이를 보였다. FI, RMSE, SEE 및 추정된 임목 증량값의 적합성 등을 종합적으로 고려하여 식 (8)을 흉고직경과 수고를 이용하여 일본잎갈나무의 증량을 추정하는데 가장 적합한 추정식으로 선정하였다.

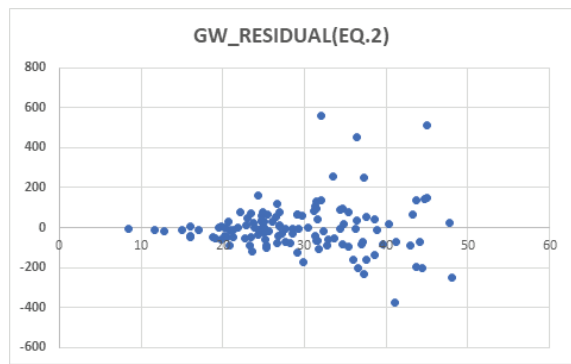
이같은 결과는 Kang et al.(2022)이 우리나라 소나무에

Table 3. Green weight equation and statistic information using variable DBH.

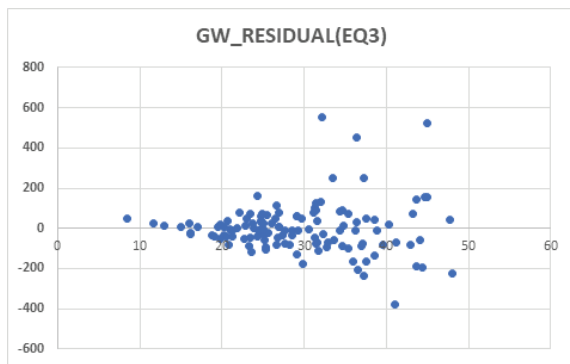
Equations	Species	Parameters			Statistic		
		a	b	c	FI	RMSE	SEE
$W = a + bD^2$ (1)	<i>L. kaempferi</i>	-72.4416	0.8251	-	0.9181	123.0083	18.0155
	<i>P. rigida</i>	-69.3902	0.7467	-	0.8893	96.1780	22.4735
$W = bD + cD^2$ (2)	<i>L. kaempferi</i>	-	-4.7779	0.8990	0.9109	123.3453	18.0648
	<i>P. rigida</i>	-	-6.4160	0.8789	0.9105	94.5946	22.1035
$W = a + bD + cD^2$ (3)	<i>L. kaempferi</i>	-100.3799	1.9502	0.7935	0.9182	122.9787	18.0873
	<i>P. rigida</i>	184.5173	-21.1915	1.1550	0.8966	92.9401	21.8715
$W = aD^b$ (4)	<i>L. kaempferi</i>	0.3968	2.1823	-	0.8955	123.9504	18.1535
	<i>P. rigida</i>	0.1534	2.4269	-	0.9283	92.7269	21.6671



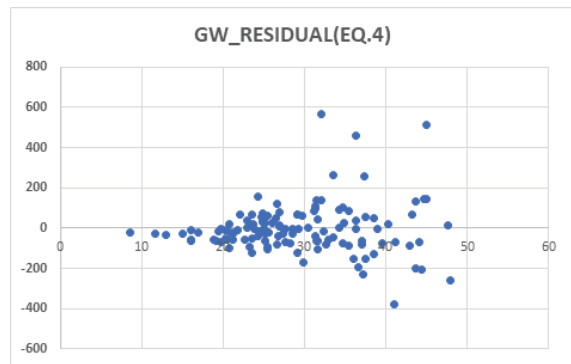
(a) Residual on EQ.1 in *L. kamepferi*



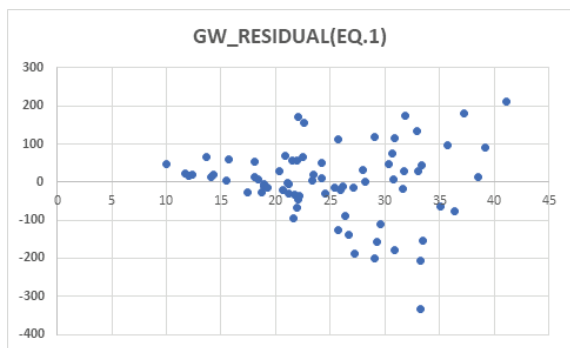
(b) Residual on EQ.2 in *L. kamepferi*



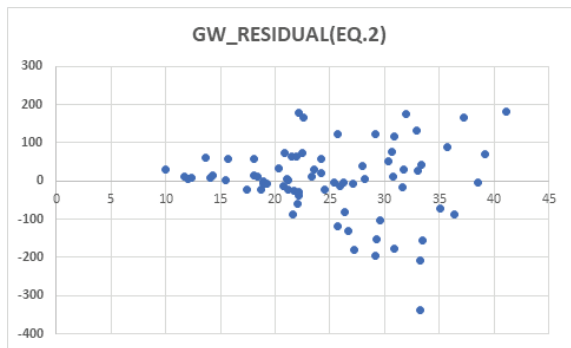
(c) Residual on EQ.3 in *L. kamepferi*



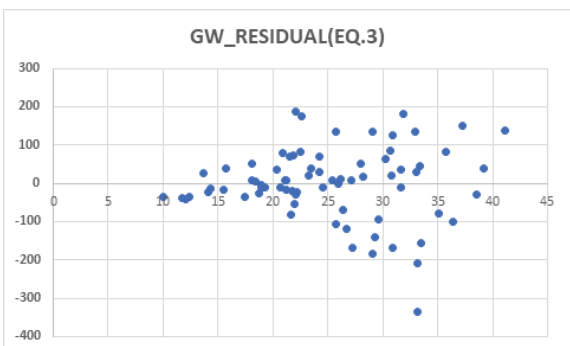
(d) Residual on EQ.4 in *L. kamepferi*



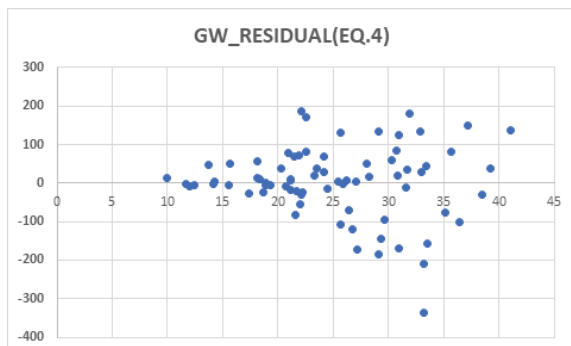
(e) Residual on EQ.1 in *P. rigida*



(f) Residual on EQ.2 in *P. rigida*



(g) Residual on EQ.3 in *P. rigida*



(h) Residual on EQ.4 in *P. rigida*

Figure 1. Residual scatter diagram for green weight estimation equations using DBH in *L. kamepferi* and *P. rigida*.

대해 생증량 추정에 흉고직경과 수고를 이용한 2변수 추정식이 가장 적합하다고 보고한 바와 유사한 결과를 보였다.

위의 식에 대한 실측지와 추정치 간 잔차를 도식화한 결과는 Figure 2와 같다. 흉고직경과 수고의 2변수에 의한 증량추정식의 잔차도 식 (5)-(8) 모두 유사한 잔차 패턴을 보였으며, 중경급 이상에서부터 잔차의 폭이 증가하는 경향을 보였으며, 식 (5)과 (8)이 다소 안정된 패턴을 보였다. 흉고직경 1변수식보다 흉고직경과 수고의 2변수식의 잔

차가 다소 “0”을 중심으로 더 가까이 균형적으로 밀집되어 있는 경향을 보였다.

2) 건증량 추정식 도출 및 통계적 검증

(1) 흉고직경의 1변수에 의한 추정식 도출

흉고직경 1변수만을 이용하여 일본잎갈나무 및 리기다소나무에 대한 건증량을 도출하기 위한 4가지 추정식의 계수 및 적합도 검증 결과는 Table 5와 같다. 기후변화 시대에

Table 4. Green weight equation and statistic information using variables DBH and height.

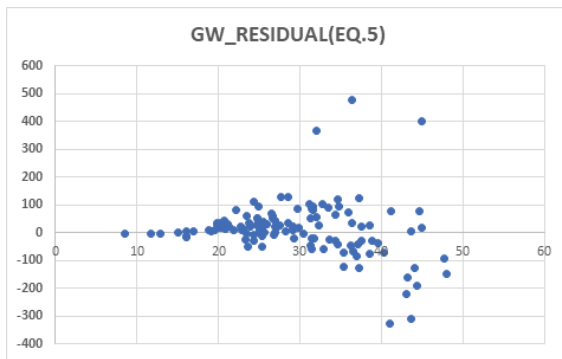
Equations	Species	Parameters			Statistic		
		a	b	c	FI	RMSE	SEE
$W = bD^2H$ (5)	<i>L. kaempferi</i>	-	0.0290	-	0.9489	99.5348	14.5168
	<i>P. rigida</i>	-	0.0352	-	0.9912	65.2174	15.1329
$W = a + bD^2H$ (6)	<i>L. kaempferi</i>	4.587e+01	2.757e-02	-	0.9498	96.3519	14.1115
	<i>P. rigida</i>	13.1401	0.0345	-	0.9497	64.8105	15.1440
$W = a(D^2H)^b$ (7)	<i>L. kaempferi</i>	0.0662	0.9214	-	0.9400	94.8332	13.8890
	<i>P. rigida</i>	0.0448	0.9756	-	0.9601	64.9478	15.1761
$W = aD^bH^c$ (8)	<i>L. kaempferi</i>	0.0501	1.7728	1.0835	0.9433	94.0560	13.8335
	<i>P. rigida</i>	0.0446	1.9477	0.9816	0.9600	64.9466	15.2838

Table 5. Dry weight equation and statistic information using variable DBH.

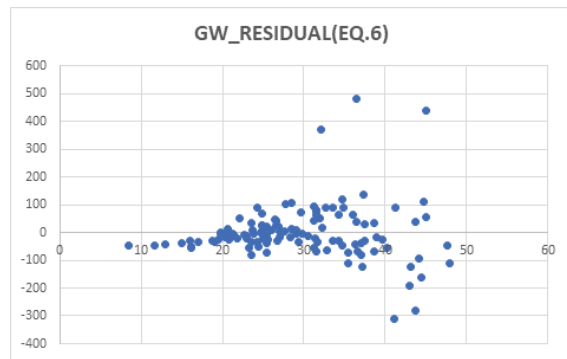
Equations	Species	Parameters			Statistic		
		a	b	c	FI	RMSE	SEE
$W = a + bD^2$ (1)	<i>L. kaempferi</i>	-55.1527	0.5317	-	0.9200	78.2865	18.1379
	<i>P. rigida</i>	0.2188	2.2215	-	0.8943	79.0577	22.1203
$W = bD + cD^2$ (2)	<i>L. kaempferi</i>	-30.7453	0.3840	-	0.8881	49.7466	18.1924
	<i>P. rigida</i>	-	-2.8419	0.4425	0.9062	49.1487	21.8545
$W = a + bD + cD^2$ (3)	<i>L. kaempferi</i>	-64.9031	0.6806	0.5207	0.9200	78.2809	18.2133
	<i>P. rigida</i>	81.4913	-9.3674	0.5644	0.8935	48.5292	21.7326
$W = aD^b$ (4)	<i>L. kaempferi</i>	0.2188	2.2215	-	0.8943	79.0577	18.3166
	<i>P. rigida</i>	0.1027	2.3552	-	0.9195	48.4937	21.5632

Table 6. Dry weight equation and statistic information using variables DBH and height.

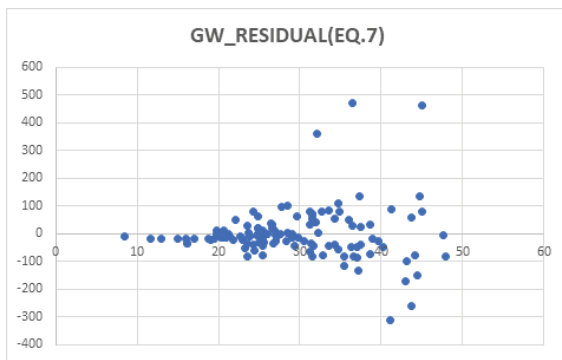
Equations	Species	Parameters			Statistic		
		a	b	c	FI	RMSE	SEE
$W = bD^2H$ (5)	<i>L. kaempferi</i>	-	0.0184	-	0.9523	61.5255	14.1951
	<i>P. rigida</i>	-	0.0184	-	0.9562	31.7000	13.9974
$W = a + bD^2H$ (6)	<i>L. kaempferi</i>	2.095e+01	1.777e-02	-	0.9523	60.4587	14.0074
	<i>P. rigida</i>	1.081e+01	1.780e-02	-	0.9562	31.1300	13.8423
$W = a(D^2H)^b$ (7)	<i>L. kaempferi</i>	0.0354	0.9380	-	0.9385	59.6329	13.8161
	<i>P. rigida</i>	0.0276	0.9592	-	0.9693	31.2695	13.9043
$W = aD^bH^c$ (8)	<i>L. kaempferi</i>	0.0262	1.8007	1.1121	0.9419	59.0587	13.7409
	<i>P. rigida</i>	0.0252	1.8607	1.0574	0.9690	31.0803	13.9185



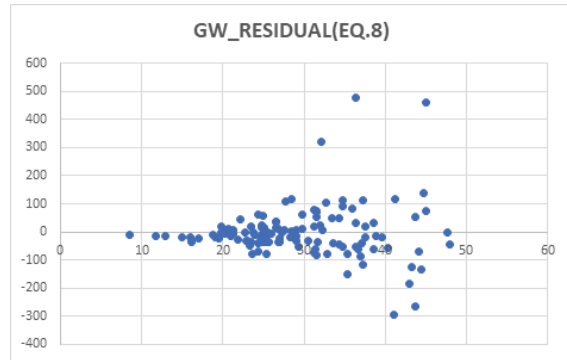
(a) Residual on EQ.5 in *L. kamepferi*



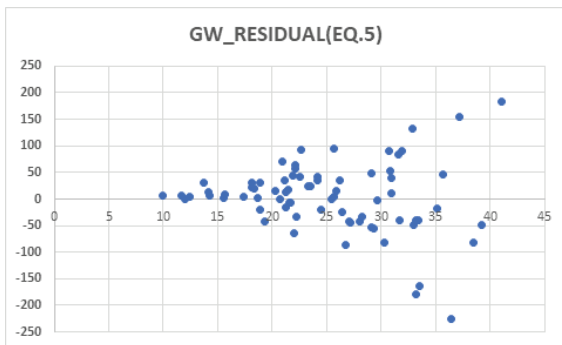
(b) Residual on EQ.6 in *L. kamepferi*



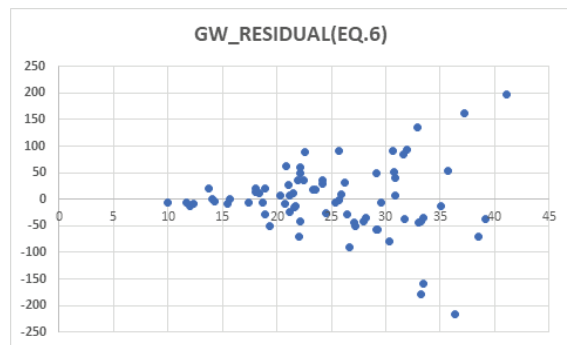
(c) Residual on EQ.7 in *L. kamepferi*



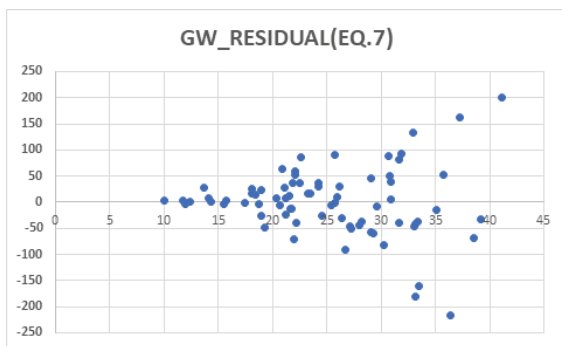
(d) Residual on EQ.8 in *L. kamepferi*



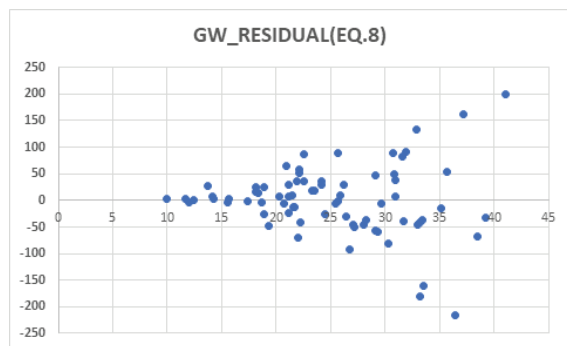
(e) Residual on EQ.5 in *P. rigida*



(f) Residual on EQ.6 in *P. rigida*

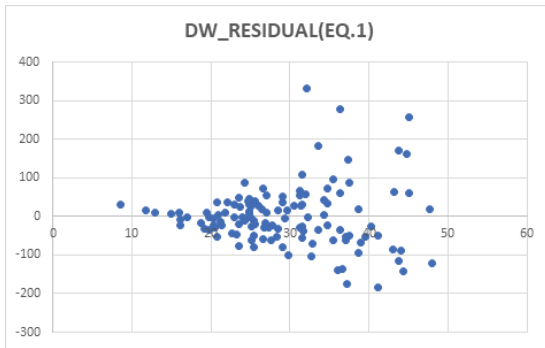


(g) Residual on EQ.7 in *P. rigida*

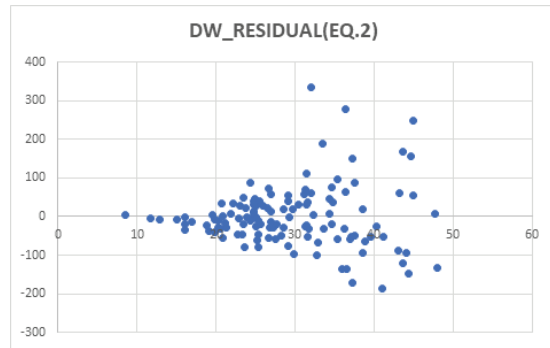


(h) Residual on EQ.8 in *P. rigida*

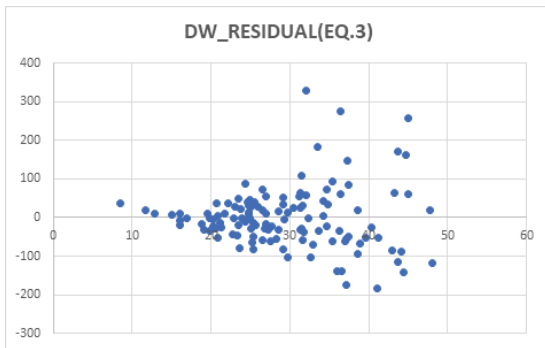
Figure 2. Residual scatter diagram for green weight estimation equations using DBH and height in *L. kamepferi* and *P. rigida*.



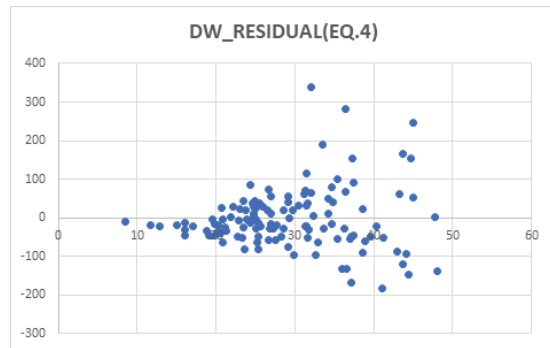
(a) Residual on EQ.1 in *L. kamepferi*



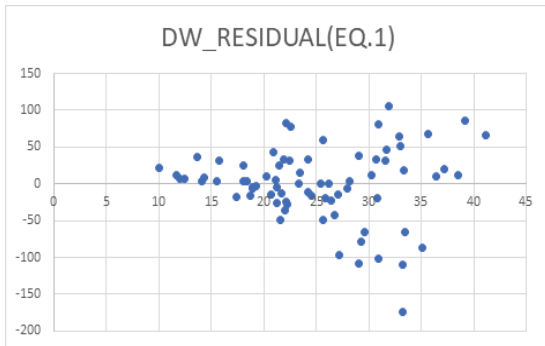
(b) Residual on EQ.2 in *L. kamepferi*



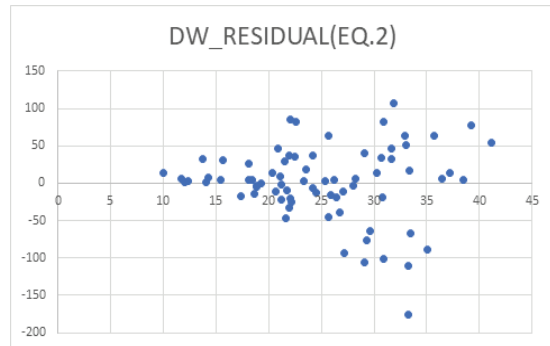
(c) Residual on EQ.1 in *L. kamepferi*



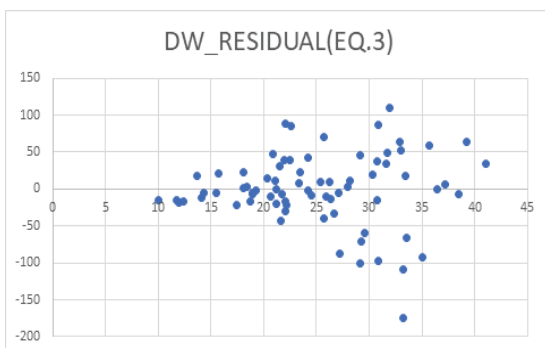
(d) Residual on EQ.2 in *L. kamepferi*



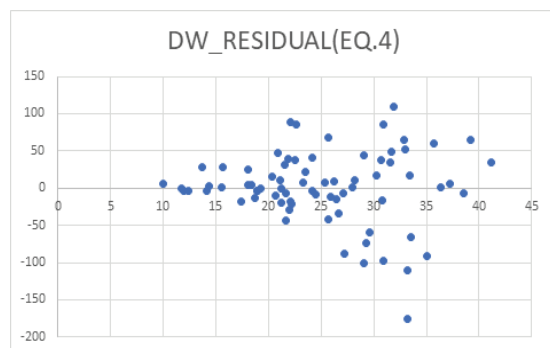
(e) Residual on EQ.1 in *P. rigida*



(f) Residual on EQ.2 in *P. rigida*

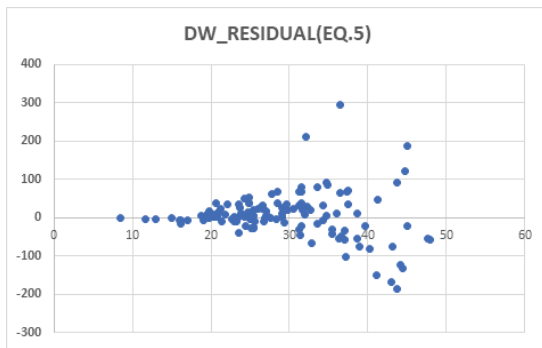


(g) Residual on EQ.3 in *P. rigida*

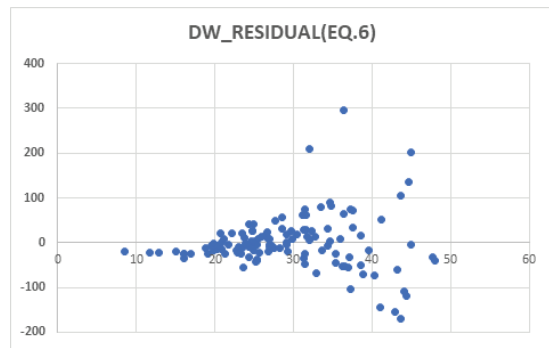


(h) Residual on EQ.4 in *P. rigida*

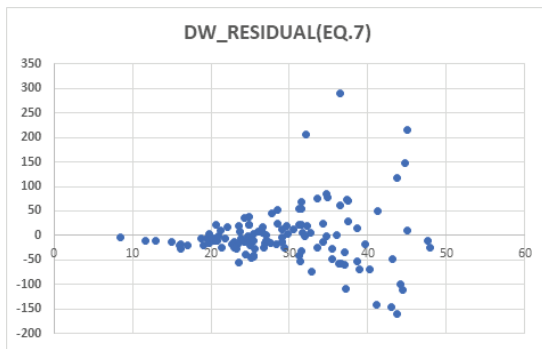
Figure 3. Residual scatter diagram for dry weight estimation equations using DBH in *L. kamepferi* and *P. rigida*.



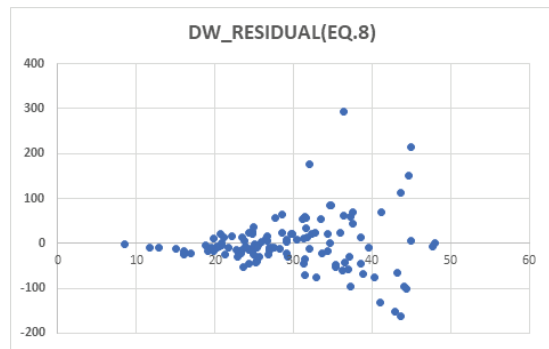
(a) Residual on EQ.5 in *L. kamepferei*



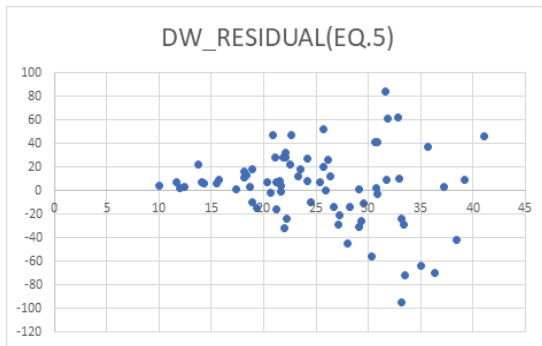
(b) Residual on EQ.6 in *L. kamepferei*



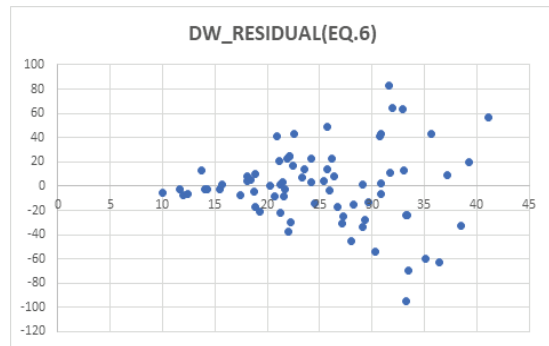
(c) Residual on EQ.7 in *L. kamepferei*



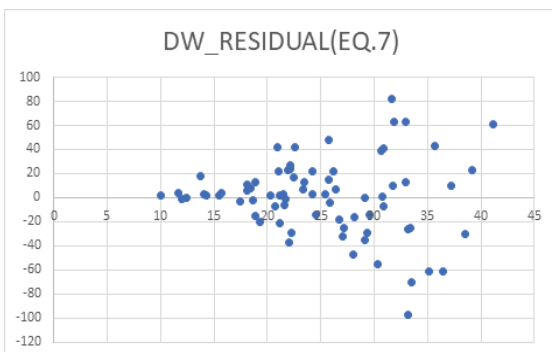
(d) Residual on EQ.8 in *L. kamepferei*



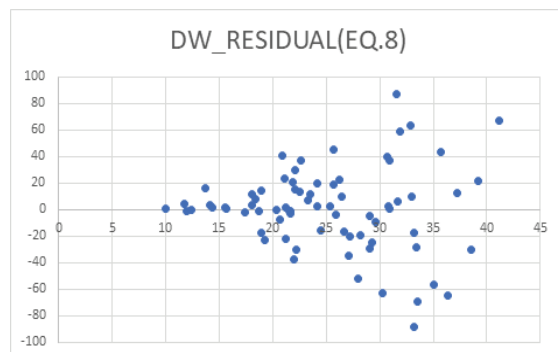
(e) Residual on EQ.5 in *P. rigida*



(f) Residual on EQ.6 in *P. rigida*



(g) Residual on EQ.7 in *P. rigida*



(h) Residual on EQ.8 in *P. rigida*

Figure 4. Residual scatter diagram for dry weight estimation equations using DBH and height in *L. kamepferei* and *P. rigida*.

온실가스 흡수원으로서 중요한 역할을 하고 있는 산림부문의 탄소흡수량 도출을 위한 건중량 산정 추정식 도출은 줄기의 바이오매스 추정할 수 있는 기본 자료이다(Kwon et al., 2006; Lee et al., 2003; Son et al., 2010). 건중량 산정을 위한 4가지 추정식 중 FI와 오차를 고려하여 최적식을 선정결과는 Table 5와 같다. 흉고직경을 이용하는 4가지 생중량 추정식의 FI는 일본잎갈나무 88.8~92.0%, 리기다소나무 89.4~92.0% 범위내로 추정식 (1)~(4) 간에는 큰 차이를 보이지 않았으며, RMSE는 49.8~79.1, 48.5~79.1, 추정오차는 각각 18.1~18.3%, 21.5~22.1% 범위에 있는 것으로 나타났다. 최적 생중량 추정식 선정에 있어서와 마찬가지로 일본잎갈나무의 증량 추정식 (1)과 (3)에 의해 추정된 건중량의 값의 일부가 “마이너스(-)” 값을 가져 사용할 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 최적 건중량 추정식 도출에 있어서 FI, RMSE, SEE 및 추정된 임목 증량값의 적합성 등을 종합적으로 고려하여 흉고직경만을 이용하는 경우 식 (2)가 두 수종 모두에서 건중량을 추정하는데 가장 적합한 추정식으로 선정하였다.

이들 식에 대한 실측지와 추정치 간 잔차도는 Figure 3과 같았다. 일본잎갈나무의 건중량을 추정할 수 있는 4가지 모두 생중량과 마찬가지로 경급이 증가할수록 잔차폭이 다소 증가하는 유사한 경향을 보였으며, 식 (2)와 (4)가 낮은 경급에서 “0”을 중심으로 균일한 잔차 형태를 보였다. 리기다소나무도 일본잎갈나무와 마찬가지로 경급이 증가할 수록 잔차폭이 증가하는 경향을 보였으며, 식 (1)~(4)간에는 특별한 차이를 보이지 않았다.

(2) 흉고직경과 수고의 2변수 추정식

흉고직경과 수고 변수를 이용한 일본잎갈나무와 리기다소나무에 대한 건중량을 도출하기 위하여 4가지 추정식의 계수 및 적합도 검증 결과는 Table 6과 같다. 흉고직경과 수고의 2변수에 의한 건중량을 추정하는 4가지 건중량 추정식의 적합도는 일본잎갈나무 93.6~1.0, 리기다소나무 95.5~95.6 범위내로 추정식 (5)~(8) 간에는 큰 차이를 보이지 않았으며, RMSE는 59.1~61.5, 31.1~31.7, SEE는 각각 13.7~14.2, 13.8~14.0 범위에 있는 것으로 나타났다. 일본잎갈나무의 건중량 추정식 (5)~(8)의 FI는 유사하였으나, RMSE, SEE가 낮은 식(8)을 선정하였다. 또한 리기다소나무도 FI는 유사하였으나, RMSE, SEE를 고려하여 식 (8)을 선정하였다. 식 (8)은 현재 사용하고 있는 증량표를 만들 때 최적의 식으로 도출된 식으로(NiFoS, 2002), 본 연구에서도 건중량 산정을 위한 최적식으로 선정하였다.

이들 식에 대한 실측지와 추정치 간 잔차도는 Figure 4와 같다. 잔차도 분석에 있어 식 (5)~(8)의 잔차 패턴은 증

경급 이상에서 잔차 폭이 증가하는 경향을 보였으며, 식 (6)은 직경이 20 cm 이하에서 과소값을 도출할 것으로 예상되어 건중량 추정을 위한 최적식에서 제외하는 것이 적절하다고 판단된다. 일본잎갈나무의 건중량 산정을 위한 추정식의 잔차도는 식 (6)을 제외한 나머지 3개 식은 모두 “0”을 중심으로 잔차가 고르게 분포하고 있음을 알 수 있었다. 리기다소나무는 일본잎갈나무와 마찬가지로 경급이 증가할수록 잔차 폭이 증가하는 경향을 보였으나, 식 (5)~(8)간에는 모두 유사한 경향을 보였다.

2. 증량표 개발

1) 생중량표

(1) 일본잎갈나무

일본잎갈나무의 생중량 추정에 가장 적합한 식($W = bD + cD^2$)을 이용하여 증량표를 도출한 결과는 Table 7과 같다. Table 7에서는 흉고직경만을 측정한 이용자를 위하여 “DBH” 1변수로 생중량을 추정하여 증량값을 제시하였으며, 또한 최적의 생중량 추정식으로 흉고직경(D)과 수고(H) 2변수에 의한 증량값도 동시에 제공하고 있다. 증량표의 값들중 음영으로 처리한 범위내의 값들은 국가산림자원조사 자료를 전체 분석하여 현실임분에서 나타나는 흉고직경과 수고범위의 실질적인 생중량의 범위를 표시하였다.

(2) 리기다소나무

Table 8은 리기다소나무에 대하여 일본잎갈나무와 마찬가지로 흉고직경 1변수, 또는 흉고직경과 수고 2변수를 이용한 생중량을 추정하여 나타내고 있다.

2) 건중량표

(1) 일본잎갈나무

일본잎갈나무의 건중량 산정을 위한 도출된 최적식($W = aD^bH^c$)을 이용하여 건중량 산정하여 Table 9와 같이 제시하였다.

(2) 리기다소나무

Table 10은 일본잎갈나무의 건중량 산정하여 제시한 것과 마찬가지로 리기다소나무의 건중량 산정을 위한 최적식을 이용하여 건중량표를 도출한 것이다.

Table 9와 10에서 건중량에서는 신규 증량표가 기존의 증량표보다 높은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보였다. 이러한 차이는 위의 Table 1에서 보는 바와 같이, 기존의 증량표를 만들기 위해 샘플링한 일본잎갈나무 시료가 대부분 중경급 이하(평균 DBH 18.3 cm)로

Table 7. Green weight table in *L. kamepferi*.

(Unit : kg)

DBH(cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
DBH variable only	3.7	19.3	42.1	72.1	109.3	153.7	205.3	264.1	330.0	403.2	483.5	571.1	665.8	767.7	876.8	993.1	1,116.6	1247.3	
Height (m)	3	3.9	6.6	9.8	13.5	17.7	22.4	27.7	33.3	39.5	46.1	53.1	60.5	68.4	76.7	85.4	94.5	104.0	113.9
	4	5.4	9.0	13.3	18.4	24.2	30.7	37.8	45.5	53.9	62.9	72.5	82.7	93.4	104.7	116.6	129.1	142.0	155.6
	5	6.9	11.4	17.0	23.4	30.8	39.0	48.1	58.0	68.6	80.1	92.3	105.3	119.0	133.4	148.5	164.4	180.9	198.1
	6	8.4	13.9	20.7	28.6	37.5	47.6	58.6	70.6	83.6	97.6	112.5	128.3	144.9	162.5	181.0	200.2	220.4	241.4
	7	9.9	16.4	24.4	33.8	44.4	56.2	69.3	83.5	98.8	115.3	132.9	151.6	171.3	192.1	213.8	236.6	260.5	285.2
	8	11.4	19.0	28.2	39.0	51.3	65.0	80.0	96.5	114.2	133.3	153.6	175.2	198.0	222.0	247.1	273.5	301.0	329.7
	9	13.0	21.6	32.1	44.3	58.2	73.8	90.9	109.6	129.8	151.4	174.5	199.0	224.9	252.2	280.8	310.7	342.0	374.5
	10	14.5	24.2	36.0	49.7	65.3	82.7	101.9	122.9	145.5	169.7	195.6	223.1	252.1	282.7	314.7	348.3	383.3	419.8
	11	16.1	26.8	39.9	55.1	72.4	91.7	113.0	136.2	161.3	188.2	216.9	247.3	279.5	313.4	349.0	386.2	425.0	465.5
	12	17.7	29.5	43.8	60.5	79.5	100.8	124.2	149.7	177.2	206.8	238.3	271.8	307.2	344.4	383.5	424.4	467.0	511.5
	13	19.3	32.2	47.8	66.0	86.7	109.9	135.4	163.3	193.3	225.5	259.9	296.4	335.0	375.6	418.2	462.8	509.4	557.8
	14	20.9	34.9	51.8	71.5	94.0	119.1	146.8	176.9	209.5	244.4	281.7	321.2	363.0	407.0	453.2	501.5	551.9	604.5
	15	22.6	37.6	55.8	77.1	101.3	128.4	158.2	190.6	225.7	263.4	303.5	346.1	391.2	438.6	488.3	540.4	594.8	651.4
	16	24.2	40.3	59.8	82.7	108.6	137.6	169.6	204.4	242.1	282.4	325.5	371.2	419.5	470.4	523.7	579.6	637.9	698.6
	17	25.8	43.0	63.9	88.3	116.0	147.0	181.1	218.3	258.5	301.6	347.6	396.4	448.0	502.3	559.3	618.9	681.2	746.0
	18	27.5	45.8	68.0	93.9	123.4	156.4	192.7	232.3	275.0	320.9	369.8	421.7	476.6	534.4	595.0	658.5	724.7	793.7
	19	29.1	48.5	72.1	99.6	130.9	165.8	204.3	246.3	291.6	340.3	392.1	447.2	505.4	566.6	630.9	698.2	768.4	841.6
	20	30.8	51.3	76.2	105.3	138.3	175.3	216.0	260.4	308.3	359.7	414.5	472.7	534.2	599.0	667.0	738.1	812.3	889.7
	21	32.5	54.1	80.3	111.0	145.9	184.8	227.7	274.5	325.0	379.2	437.0	498.4	563.2	631.5	703.2	778.2	856.4	938.0
	22	34.2	56.9	84.5	116.7	153.4	194.4	239.5	288.7	341.8	398.8	459.6	524.2	592.4	664.2	739.5	818.4	900.7	986.4
	23	35.8	59.7	88.7	122.5	161.0	204.0	251.3	302.9	358.7	418.5	482.3	550.0	621.6	696.9	776.0	858.8	945.1	1035.1
	24	37.5	62.5	92.8	128.3	168.6	213.6	263.2	317.2	375.6	438.3	505.1	576.0	650.9	729.8	812.6	899.3	989.8	1084.0
	25	39.2	65.3	97.0	134.1	176.2	223.2	275.1	331.6	392.6	458.1	527.9	602.0	680.4	762.8	849.4	940.0	1034.5	1133.0
	26	40.9	68.2	101.2	139.9	183.8	232.9	287.0	346.0	409.6	478.0	550.8	628.2	709.9	795.9	886.3	980.8	1079.4	1182.2
	27	42.6	71.0	105.5	145.7	191.5	242.7	299.0	360.4	426.7	497.9	573.8	654.4	739.5	829.2	923.2	1021.7	1124.5	1231.5
	28	44.4	73.9	109.7	151.6	199.2	252.4	311.0	374.9	443.9	517.9	596.9	680.7	769.3	862.5	960.4	1062.8	1169.7	1281.0
	29	46.1	76.7	114.0	157.4	206.9	262.2	323.1	389.4	461.1	538.0	620.0	707.1	799.1	895.9	997.6	1104.0	1215.0	1330.7
	30	47.8	79.6	118.2	163.3	214.7	272.0	335.2	404.0	478.3	558.1	643.2	733.5	829.0	929.4	1034.9	1145.3	1260.5	1380.4

Table 8. Green weight table in *P. rigida*.

(Unit : kg)

DBH(cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
DBH variable only	3.8	6.3	23.7	49.6	82.4	122.3	169.3	223.2	284.2	352.2	427.3	509.4	598.5	694.6	797.8	908.3	1,025.3	1,149.5	
Height (m)	3	4.3	7.5	11.6	16.6	22.4	29.0	36.5	44.8	54.0	64.0	74.8	86.4	98.8	112.0	126.1	140.9	156.5	173.0
	4	5.7	10.0	15.4	22.0	29.7	38.5	48.4	59.5	71.6	84.8	99.2	114.5	131.0	148.6	167.2	186.9	207.6	229.4
	5	7.1	12.4	19.2	27.4	37.0	47.9	60.3	74.0	89.1	105.6	123.4	142.6	163.1	185.0	208.1	232.6	258.5	285.6
	6	8.5	14.9	23.0	32.7	44.2	57.3	72.1	88.6	106.6	126.3	147.6	170.5	195.1	221.2	248.9	278.2	309.1	341.6
	7	9.9	17.3	26.7	38.1	51.4	66.7	83.9	103.0	124.0	146.9	171.7	198.4	226.9	257.3	289.6	323.7	359.6	397.4
	8	11.3	19.7	30.4	43.4	58.6	76.1	95.7	117.5	141.4	167.5	195.8	226.2	258.7	293.4	330.2	369.0	410.0	453.1
	9	12.6	22.1	34.2	48.8	65.8	85.4	107.4	131.8	158.7	188.1	219.8	253.9	290.4	329.3	370.6	414.3	460.3	508.6
	10	14.0	24.5	37.9	54.1	73.0	94.7	119.1	146.2	176.0	208.6	243.7	281.6	322.1	365.2	411.0	459.4	510.4	564.0
	11	15.4	26.9	41.6	59.4	80.2	104.0	130.8	160.6	193.3	229.0	267.6	309.2	353.7	401.0	451.3	504.5	560.5	619.4
	12	16.8	29.4	45.3	64.7	87.3	113.2	142.4	174.9	210.5	249.4	291.5	336.8	385.2	436.8	491.6	549.4	610.5	674.6
	13	18.1	31.8	49.0	69.9	94.4	122.5	154.1	189.2	227.8	269.8	315.3	364.3	416.7	472.5	531.7	594.3	660.4	729.7
	14	19.5	34.1	52.7	75.2	101.6	131.7	165.7	203.4	244.9	290.2	339.1	391.8	448.1	508.2	571.9	639.2	710.2	784.8
	15	20.9	36.5	56.4	80.5	108.7	141.0	177.3	217.7	262.1	310.5	362.9	419.2	479.5	543.8	611.9	684.0	759.9	839.8
	16	22.2	38.9	60.1	85.8	115.8	150.2	188.9	231.9	279.2	330.8	386.6	446.7	510.9	579.3	651.9	728.7	809.6	894.7
	17	23.6	41.3	63.8	91.0	122.9	159.4	200.5	246.2	296.4	351.1	410.3	474.1	542.2	614.9	691.9	773.4	859.3	949.6
	18	25.0	43.7	67.5	96.3	130.0	168.6	212.1	260.4	313.5	371.4	434.0	501.4	573.5	650.3	731.9	818.0	908.9	1004.4
	19	26.3	46.1	71.2	101.5	137.1	177.8	223.6	274.6	330.6	391.6	457.7	528.7	604.8	685.8	771.7	862.6	958.4	1059.1
	20	27.7	48.5	74.8	106.8	144.1	187.0	235.2	288.7	347.6	411.8	481.3	556.0	636.0	721.2	811.6	907.2	1007.9	1113.8
	21	29.0	50.8	78.5	112.0	151.2	196.1	246.7	302.9	364.7	432.0	504.9	583.3	667.2	756.6	851.4	951.7	1057.4	1168.5
	22	30.4	53.2	82.2	117.2	158.3	205.3	258.2	317.0	381.7	452.2	528.5	610.6	698.4	791.9	891.2	996.1	1106.8	1223.1
	23	31.7	55.6	85.9	122.5	165.3	214.4	269.7	331.2	398.7	472.4	552.1	637.8	729.5	827.3	930.9	1040.6	1156.1	1277.6
	24	33.1	58.0	89.5	127.7	172.4	223.6	281.3	345.3	415.8	492.5	575.6	665.0	760.7	862.6	970.7	1085.0	1205.5	1332.1
	25	34.5	60.3	93.2	132.9	179.4	232.7	292.8	359.4	432.8	512.7	599.2	692.2	791.8	897.8	1010.3	1129.3	1254.7	1386.6
	26	35.8	62.7	96.8	138.1	186.5	241.9	304.2	373.5	449.7	532.8	622.7	719.4	822.8	933.1	1050.0	1173.7	1304.0	1441.0
	27	37.2	65.1	100.5	143.3	193.5	251.0	315.7	387.6	466.7	552.9	646.2	746.5	853.9	968.3	1089.6	1218.0	1353.2	1495.4
	28	38.5	67.4	104.1	148.5	200.6	260.1	327.2	401.7	483.7	573.0	669.7	773.7	884.9	1003.5	1129.2	1262.2	1402.4	1549.7
	29	39.9	69.8	107.8	153.7	207.6	269.2	338.7	415.8	500.6	593.1	693.1	800.8	916.0	1038.6	1168.8	1306.5	1451.5	1604.0
	30	41.2	72.2	111.4	158.9	214.6	278.4	350.1	429.9	517.6	613.2	716.6	827.9	946.9	1073.8	1208.4	1350.7	1500.7	1658.3

Table 9. Dry weight table in *L. kamepferi*.

(Unit : kg)

DBH(cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
DBH variable only	2.7	8.3	22.2	40.8	64.0	92.0	124.7	162.2	204.3	251.1	302.7	358.9	419.9	485.6	556.0	631.1	710.9	795.4
3	2.2	3.8	5.6	7.8	10.3	13.1	16.2	19.6	23.2	27.2	31.4	35.8	40.6	45.6	50.8	56.4	62.1	68.1
4	3.1	5.2	7.7	10.7	14.2	18.0	22.3	26.9	32.0	37.4	43.2	49.4	55.9	62.8	70.0	77.6	85.5	93.8
5	3.9	6.6	9.9	13.8	18.2	23.1	28.6	34.5	41.0	47.9	55.4	63.3	71.6	80.5	89.7	99.5	109.6	120.2
6	4.8	8.1	12.1	16.8	22.2	28.3	35.0	42.3	50.2	58.7	67.8	77.5	87.7	98.5	109.9	121.8	134.3	147.3
7	5.7	9.6	14.4	20.0	26.4	33.6	41.5	50.2	59.6	69.7	80.5	92.0	104.1	117.0	130.5	144.6	159.4	174.8
8	6.7	11.2	16.7	23.2	30.6	39.0	48.2	58.2	69.1	80.8	93.4	106.7	120.8	135.7	151.3	167.8	184.9	202.8
9	7.6	12.7	19.0	26.5	34.9	44.4	54.9	66.4	78.8	92.1	106.4	121.6	137.7	154.7	172.5	191.2	210.8	231.2
10	8.5	14.3	21.4	29.7	39.3	49.9	61.7	74.6	88.6	103.6	119.7	136.7	154.8	173.9	194.0	215.0	237.0	259.9
11	9.5	15.9	23.8	33.1	43.6	55.5	68.6	83.0	98.5	115.2	133.0	152.0	172.2	193.4	215.7	239.1	263.5	289.0
12	10.5	17.6	26.2	36.4	48.1	61.1	75.6	91.4	108.5	126.9	146.6	167.5	189.6	213.0	237.6	263.3	290.3	318.4
13	11.4	19.2	28.7	39.8	52.6	66.8	82.6	99.9	118.6	138.7	160.2	183.1	207.3	232.8	259.7	287.9	317.3	348.0
14	12.4	20.8	31.1	43.2	57.1	72.6	89.7	108.5	128.8	150.6	174.0	198.8	225.1	252.8	282.0	312.6	344.6	377.9
15	13.4	22.5	33.6	46.7	61.6	78.4	96.9	117.1	139.0	162.6	187.8	214.7	243.1	273.0	304.5	337.5	372.0	408.0
16	14.4	24.2	36.1	50.2	66.2	84.2	104.1	125.8	149.4	174.7	201.8	230.6	261.1	293.3	327.2	362.6	399.7	438.4
17	15.4	25.9	38.6	53.7	70.8	90.1	111.3	134.6	159.8	186.9	215.9	246.7	279.4	313.8	350.0	387.9	427.6	469.0
18	16.4	27.6	41.2	57.2	75.5	96.0	118.7	143.4	170.3	199.2	230.1	262.9	297.7	334.4	373.0	413.4	455.7	499.7
19	17.4	29.3	43.7	60.7	80.1	101.9	126.0	152.3	180.9	211.5	244.3	279.2	316.1	355.1	396.1	439.0	483.9	530.7
20	18.5	31.0	46.3	64.3	84.8	107.9	133.4	161.3	191.5	224.0	258.7	295.6	334.7	376.0	419.3	464.8	512.3	561.9
21	19.5	32.7	48.9	67.9	89.6	113.9	140.8	170.3	202.2	236.4	273.1	312.1	353.4	396.9	442.7	490.7	540.9	593.2
22	20.5	34.4	51.5	71.5	94.3	120.0	148.3	179.3	212.9	249.0	287.6	328.7	372.1	418.0	466.2	516.7	569.6	624.7
23	21.6	36.2	54.1	75.1	99.1	126.1	155.8	188.4	223.7	261.6	302.2	345.3	391.0	439.2	489.8	542.9	598.4	656.4
24	22.6	37.9	56.7	78.7	103.9	132.2	163.4	197.5	234.5	274.3	316.8	362.0	409.9	460.5	513.6	569.2	627.5	688.2
25	23.6	39.7	59.3	82.4	108.7	138.3	171.0	206.7	245.4	287.0	331.5	378.9	429.0	481.8	537.4	595.7	656.6	720.1
26	24.7	41.5	62.0	86.1	113.6	144.5	178.6	215.9	256.4	299.8	346.3	395.8	448.1	503.3	561.4	622.2	685.9	752.2
27	25.8	43.2	64.6	89.8	118.5	150.7	186.3	225.2	267.3	312.7	361.2	412.7	467.3	524.9	585.5	648.9	715.3	784.5
28	26.8	45.0	67.3	93.5	123.4	156.9	194.0	234.5	278.4	325.6	376.1	429.8	486.6	546.6	609.6	675.7	744.8	816.9
29	27.9	46.8	70.0	97.2	128.3	163.1	201.7	243.8	289.5	338.5	391.0	446.9	506.0	568.3	633.9	702.6	774.4	849.4
30	29.0	48.6	72.7	100.9	133.2	169.4	209.4	253.2	300.6	351.6	406.1	464.0	525.4	590.2	658.2	729.6	804.2	882.0

Height (m)

Table 10. Dry weight table in *P. rigida*.

(Unit : kg)

DBH(cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
DBH variable only	2.1	5.6	15.8	29.6	46.9	67.8	92.2	120.2	151.6	186.7	225.2	297.3	313.0	362.2	414.9	471.1	530.9	594.3	
Height (m)	3	2.3	3.8	5.8	8.2	10.9	14.0	17.4	21.2	25.3	29.7	34.5	39.6	45.0	50.8	56.8	63.2	69.9	76.9
	4	3.1	5.2	7.9	11.1	14.8	19.0	23.6	28.7	34.3	40.3	46.8	53.7	61.0	68.8	77.1	85.7	94.8	104.3
	5	3.9	6.6	10.0	14.1	18.7	24.0	29.9	36.3	43.4	51.0	59.2	68.0	77.3	87.2	97.6	108.5	120.0	132.0
	6	4.7	8.0	12.1	17.0	22.7	29.1	36.2	44.1	52.6	61.9	71.8	82.4	93.7	105.7	118.3	131.6	145.5	160.1
	7	5.5	9.4	14.3	20.1	26.7	34.3	42.6	51.9	61.9	72.8	84.5	97.0	110.3	124.4	139.3	154.9	171.3	188.4
	8	6.4	10.9	16.5	23.1	30.8	39.4	49.1	59.7	71.3	83.9	97.4	111.7	127.1	143.3	160.4	178.4	197.2	217.0
	9	7.2	12.3	18.6	26.2	34.8	44.7	55.6	67.7	80.8	95.0	110.3	126.6	143.9	162.3	181.6	202.0	223.4	245.8
	10	8.1	13.8	20.8	29.2	39.0	49.9	62.2	75.6	90.3	106.2	123.3	141.5	160.9	181.4	203.1	225.8	249.7	274.8
	11	8.9	15.2	23.0	32.3	43.1	55.2	68.8	83.7	99.9	117.5	136.3	156.5	177.9	200.6	224.6	249.8	276.2	303.9
	12	9.8	16.7	25.3	35.5	47.2	60.6	75.4	91.7	109.5	128.8	149.5	171.6	195.1	220.0	246.2	273.9	302.8	333.2
	13	10.6	18.1	27.5	38.6	51.4	65.9	82.1	99.8	119.2	140.2	162.7	186.7	212.3	239.4	268.0	298.0	329.6	362.6
	14	11.5	19.6	29.7	41.7	55.6	71.3	88.8	108.0	128.9	151.6	175.9	201.9	229.6	258.9	289.8	322.3	356.5	392.2
	15	12.4	21.1	32.0	44.9	59.8	76.7	95.5	116.1	138.7	163.1	189.2	217.2	247.0	278.5	311.8	346.7	383.4	421.8
	16	13.2	22.6	34.2	48.1	64.0	82.1	102.2	124.4	148.5	174.6	202.6	232.6	264.4	298.2	333.8	371.2	410.5	451.6
	17	14.1	24.1	36.5	51.2	68.3	87.5	109.0	132.6	158.3	186.1	216.0	248.0	281.9	317.9	355.9	395.8	437.7	481.5
	18	15.0	25.6	38.8	54.4	72.5	93.0	115.8	140.8	168.2	197.7	229.5	263.4	299.5	337.7	378.0	420.5	465.0	511.5
	19	15.9	27.1	41.1	57.6	76.8	98.5	122.6	149.1	178.1	209.4	243.0	278.9	317.1	357.6	400.3	445.2	492.3	541.6
	20	16.8	28.6	43.3	60.9	81.1	103.9	129.4	157.4	188.0	221.0	256.5	294.5	334.8	377.5	422.6	470.0	519.8	571.8
	21	17.6	30.1	45.6	64.1	85.4	109.4	136.3	165.8	197.9	232.7	270.1	310.1	352.5	397.5	445.0	494.9	547.3	602.1
	22	18.5	31.7	47.9	67.3	89.7	115.0	143.1	174.1	207.9	244.5	283.7	325.7	370.3	417.5	467.4	519.9	574.9	632.5
	23	19.4	33.2	50.3	70.6	94.0	120.5	150.0	182.5	217.9	256.2	297.4	341.4	388.1	437.6	489.9	544.9	602.6	662.9
	24	20.3	34.7	52.6	73.8	98.3	126.0	156.9	190.9	228.0	268.0	311.1	357.1	406.0	457.8	512.5	570.0	630.3	693.4
	25	21.2	36.2	54.9	77.1	102.7	131.6	163.9	199.3	238.0	279.9	324.8	372.8	423.9	478.0	535.1	595.1	658.1	724.0
	26	22.1	37.8	57.2	80.3	107.0	137.2	170.8	207.8	248.1	291.7	338.6	388.6	441.8	498.2	557.7	620.3	686.0	754.7
	27	23.0	39.3	59.5	83.6	111.4	142.8	177.7	216.2	258.2	303.6	352.3	404.4	459.8	518.5	580.4	645.6	713.9	785.4
	28	23.9	40.8	61.9	86.9	115.7	148.4	184.7	224.7	268.3	315.5	366.2	420.3	477.9	538.8	603.2	670.9	741.9	816.2
	29	24.8	42.4	64.2	90.1	120.1	154.0	191.7	233.2	278.5	327.4	380.0	436.2	495.9	559.2	626.0	696.2	769.9	847.0
	30	25.7	43.9	66.6	93.4	124.5	159.6	198.7	241.7	288.6	339.4	393.9	452.1	514.0	579.6	648.8	721.6	798.0	877.9

신규 중량표 개발 시료(평균 DBH 28.7 cm)보다 훨씬 어린 임목으로 목재기본밀도가 낮은 것이 중량의 차이를 보이는 것으로 판단된다. 일본잎갈나무와 리기다소나무의 건중량 차이는 생중량에서와 마찬가지로 두 수종 모두 기존의 건중량보다 경급이 높을 수록 더 높은 값을 가지는 것으로 나타났다.

3. 기존 중량표와의 비교

국립산림과학원에서 작성한 중량표(NIFoS, 2001)와 현실임을 반영하여 조사, 수집한 자료에 의해 본 연구에서 개발된 신규중량표를 비교한 결과는 Figure 5와 같다. 일본잎갈나무와 리기다소나무에 대한 기존의 원목 생중량표와 이번 새롭게 만들어진 신규 생중량표의 중량 차이를 경급별로 나타낸 결과이다. 일본잎갈나무와 리기다소나무 모두 생중량과 건중량 모두 대부분의 경급에서 신규 원목 중량이 기존의 원목 중량보다 모두 높게 나타났다. 특히 신규 건중량이 생중량보다 더 큰 차이를 보였으며 경급이 증가할수록 중량차이는 비례적으로 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 기존의 중량표보다 신규 중량표의 중량이 높게 나타난 원인은 Table 1에서 보는바와 같이 기존에 만들어진 일본잎갈나무 중량표는 평균 흉고직경

이 18.3 cm, 리기다소나무 13.1 cm로 대부분 소경급의 자료로 중량표가 개발된 반면, 이번에 새롭게 개발된 중량표는 분포면적 및 경급 비율을 고려하여 최대한 지역 편중이 없도록 국가적 수준에서 표본설계 하였다. 또한 조사 본수도 확대하여 중량표를 개발하였기 때문에 기존의 중량표보다 더욱 신뢰할 수 있는 자료라고 판단된다.

Table 11에서, 기존의 중량표(NIFoS, 2001)와 본 연구에서 개발된 신규 중량표와 차이를 알아보기 위하여 상호 비교(t-test) 결과는 Table 11과 같다.

현재 사용하고 있는 일본잎갈나무의 경우 입목 생중량표가 흉고직경 50 cm, 수고 35 m까지만 제시되어 있어 흉고직경 50 cm, 수고 35 m의 입목 생중량을 비교한 결과, 신규 입목 중량표가 평균 551.5 kg으로 기존 중량표 545.2 kg 보다 높게 나타났다. 직경 및 수고급에 따른 신규 중량표와 기존 중량표간의 중량값은 평균값은 약간 높았으나, 전체적으로 볼 때 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면에 건중량에 있어서는 신규 건중량이 평균 348.4 kg, 기존 건중량 평균 278.0 kg 보다 높게 나타났으며, 통계적으로도 유의한 차이를 보였다. 또한 리기다소나무에서도 일본 잎갈나무와 마찬가지로 신규 생중량이 평

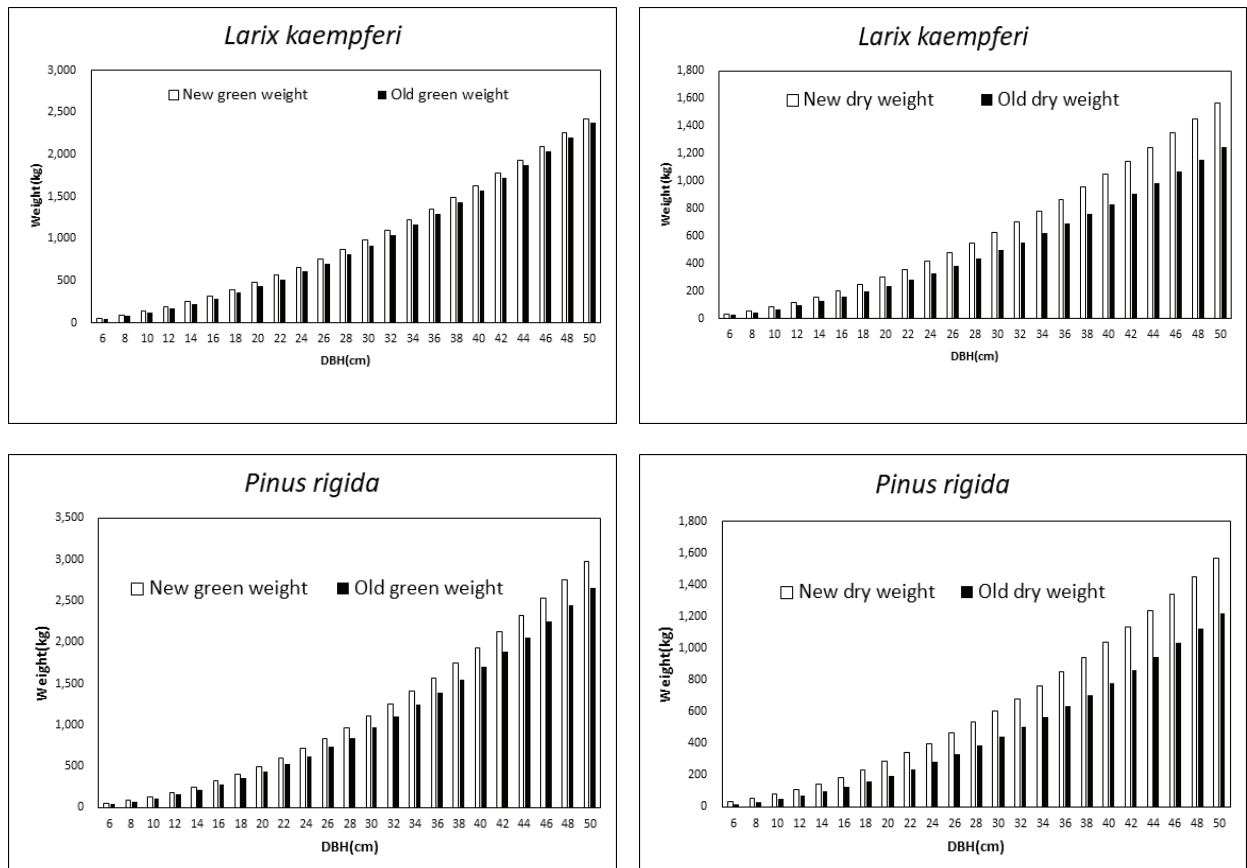


Figure 5. Comparison between new and old green weight, new and old dry weight table of *L. kaempferi* and *P. rigida*.

Table 11. T-test results for comparison between previous weight table and new weight table of *L. kaempferi* and *P. rigida*.

Species		Green weight(kg)				Dry weight(kg)			
		N	Mean	t value	P(T<=t)	Mean	t value	P(T<=t)	
<i>L.kaempferi</i>	New	713	551.5	0.2312	0.8172	348.4	4.4298	0.0001	
	Old	713	545.2			278.2			
<i>P. rigida</i>	New	713	670.2	1.2902	0.1972	350.0	3.5246	0.0004	
	Old	713	628.3			293.3			

Table 12. Comparison of wood properties between *L. kaempferi* and *P. rigida*.

Species	Wood properties																							
	Height (m)			DBH (cm)			Volume (m ³)			Fresh weight (kg)			Dry weight (kg)			Moisture content (%)				Wood density (g/cm ³)				
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	S.D.	Avg	Max	Min	S.D.	
<i>L. kaempferi</i>	23.7	32.4	10.4	29.3	48.0	8.5	0.8974	2.400	0.036	691.3	2,207.7	19.7	437.0	1,277.4	14.5	59.9	80.6	36.2	8.1	0.48	0.70	0.35	0.05	
<i>P. rigida</i>	17.0	23.4	10.5	25.0	41.1	10.0	0.4612	1.2751	0.0578	436.9	1,403.5	53.9	229.6	684.2	29.3	88.8	120.6	61.3	10.8	0.50	0.65	0.36	0.06	

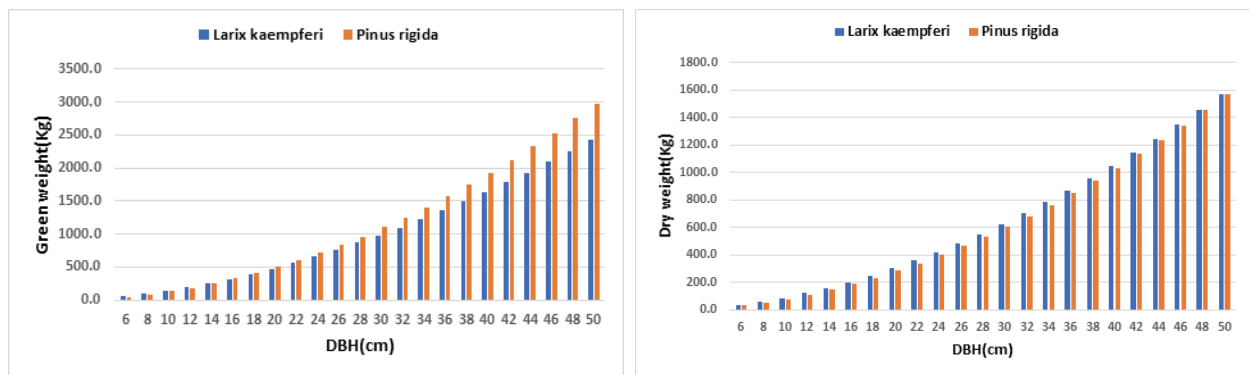


Figure 6. Comparison of green and dry weight by DBH class between *L. kaempferi* and *P. rigida*.

균 670.2 kg으로 기존 생증량이 평균 628.3 kg으로 높게 나타났다. 건증량에 있어서 신규 건증량이 평균 350.0 kg으로 기존 건증량 296.3 kg보다 훨씬 높게 나타났으며, 일본잎갈나무($p < 0.001$)와 리기다소나무($p < 0.005$) 모두 유의한 차이를 보였다(Table 11).

본 연구에서 일본잎갈나무와 리기다소나무의 신규 생증량은 기존의 생증량보다 높게 나타났는데, 기존의 증량표를 만들기 위해 수집한 일본잎갈나무 시료가 대부분 중경급 이하로 신규 증량표 개발 시료 보다 덜 성숙된 임목으로, 20년이 지난 영급이 증가한 지금의 신규 증량표 개발 시료보다 목재기본밀도가 낮을 것으로 판단된다. 이러한 목재기본밀도의 차이가 원목건증량의 무게에 영향을 미치는 특성중 하나인 것으로 판단되며, 또한 직경이 유사하더라도 수령, 지위, 춘재/추재 비율 등 다양한 임목특성에 따라 원목 증량의 차이가 나타날 수 있다.

Figure 6과 같이, 일본잎갈나무와 리기다소나무의 수종간 증량 비교에서, 생증량에서는 리기다소나무가 높게 나타났으며, 건증량에서는 일본잎갈나무가 약간 높게 나타났다. 본 연구에서 수집한 일본잎갈나무와 리기다소나무의 원목생재의 함수율을 분석한 결과 각각 59.9%, 88.8%로 수종간 함수율 차이가 리기다소나무가 일본잎갈나무보다 훨씬 높게 나타났다. 이러한 함수율의 차이는 수종, 수령, 지위, 입지, 춘재/추재 비율 등에 따라 함수율이 달라지므로 생증량의 무게에 영향을 미칠것으로 판단된다. 그러나 원목건증량에 있어서 일본잎갈나무가 리기다소나무보다 약간 높게 나타났으나 유의적인 차이를 보이지 않았다.

Table 12에서 보는바와 같이, 본 연구에서 일본잎갈나무와 리기다소나무의 목재비중을 분석할 결과, 일본잎갈나무 0.48, 리기다소나무 0.50으로 두 수종이 유사한 것으로 나타났다. 이전의 연구에서는 일본잎갈나무의 목재비중

은 0.61, 리기다소나무 0.53으로 일본잎갈나무의 목재비중이 높은 것으로 보고된 결과와는 차이를 보이고 있었다 (Chong and Park, 2008).

결 론

일본잎갈나무와 리기다소나무는 우리나라 주요 인공 조림수종으로 지금까지 건축자재, 펄프재 등으로 널리 사용되어 왔다. 현재 사용하고 있는 일본잎갈나무와 리기다소나무의 생중량 및 건중량은 20년 전 영급이 낮고 유령림, 중경목 이하의 임분에서 조사, 측정된 자료를 바탕으로 만들었다. 현재 우리나라 산림은 영급 및 경급이 증가한 성숙된 산림구조로 기존에 만들어진 중량표가 현실 임분의 임목무게를 나타내는데 차이를 보이고 있다. 본 연구는 현실임분의 임목특성을 최대한 반영한 새로운 일본잎갈나무와 리기다소나무의 중량표 개발을 위하여 현재의 성숙한 현실림의 생장특성을 반영한 중량표를 개발하였다. 1970년 이후 집중적으로 조림한 일본잎갈나무와 리기다소나무는 현재 벌기령에 도달한 상태로 지금까지 집중적으로 벌채되어 왔으며, 이러한 벌채로 인한 생산원목과 부산물에 대한 거래가 재적과 중량단위로 거래되고 있는 있다. 특히 최근 미이용 산림바이오매스 이용의 증가에 따른 중량단위 거래가 증가하고 있으나, 임목의 중량단위에 대한 정확한 정보가 미흡한 실정이다.

산림경영 활동 등 산림사업 현장에서 주로 재적 단위로 거래되지만, 최근 미이용 산림바이오매스, 산불 및 산림병해충 등 피해목이나 활엽수 원목 거래에 있어 중량 단위 거래가 증가하고 있어 현실에 맞는 기준에 대한 요구도가 증가하고 있는 실정이다. 또한 건축 및 토목공사 등에서 발생하는 산림폐기물 처리를 위한 작업공정에도 임목의 중량 단위 정보가 필수적으로 활용되고 있으며, 활용범위가 다양화 되고 있는 추세다.

본 연구는 일본잎갈나무와 리기다소나무의 생중량과 건중량을 흉고직경 1변수와 흉고직경과 수고의 2변수로 구분하여, 중량에 대한 정보를 획득할 수 있도록 제시함으로써 최대한 이용자의 측면에서 개발하였다. 전국적으로 산림경영 활동 등 산림현장에서 이용하고 있는 기존의 중량표와 신규 중량표를 비교한 결과, 일본잎갈나무와 리기다소나무의 생중량과 건중량 모두 기존의 중량표보다 높게 나타났다. 최근 우리나라 산림이 기존 중량표 개발 당시의 산림보다 성숙해지고 산림구조가 변화하면서 대부분 벌기령에 도달하였기 때문에 기존의 중량표와 차이가 나는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 전국을 대상으로 체계적인 표본설계에 의해 수집한 자료를 바탕으로 개발된 중량표는 다양한

산림경영 활동과 산업 현장에서 중량단위 정보를 제공할 것으로 기대되며, 최근 미이용 바이오매스 및 활엽수의 목재 이용 증가는 추세로 활엽수 등 수종 다양화에 의한 중량표의 개발이 시급히 추진되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 국립산림과학원 일반연구과제 연구비로 수행되었습니다(과제번호:FM0000-2020-01-2021).

References

- Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2(1): 49-53.
- Boysen-Jensen, P. 1932. Die Stoffproduktion der pflanzen. Jena, G. Fischer. pp. 108.
- Chong, S.H. and Park, B.S. 2008. Wood properties of the useful species grown in Korea. National Institute of Forest Science. Seoul, Korea. pp. 376.
- Cunia T. 1964. Weighted least square method and construction of volume tables. *Forest Science* 10(2): 180-191.
- Jeon, B.H., Lee, S.H., Lee Y.J., Kim, H. and Kang, H.M. 2007. Estimation of site index stem volume equations for *Larix leptolepis* stand in Jinan, Chonbuk. *Jour. Korean. Journal of Korean Society of Forest Science* 96(1): 40-47.
- Kim, C.R. 2000. SAS, a statistic box. *Data Plus*. pp. 592.
- Kang, J.H., Yim, J.S., Ko, C.U., Sung, S.M. and Son, Y.M. 2022. Development of weight estimation equation and weight table in *Pinus densiflora* stand (Kangwon and Central Districts).
- Kim, G.D. and Kim, C.M. 1988. Analysis of studies on production of forest biomass in Korea, *Journal of Korea Forestry Energy* 8(2): 94-107.
- Kim, G.D. and Lee, K.J. 1983. A study on the biomass of 63 years old *Larix leptolepis* stands. *Research Bulletin of Seoul National University Forest*. 19: 30-36.
- Kim, J.H. and Yoon, S.M. 1972. Studies on the productivity and the productive structure of the forests. *Journal of Korean Plant Biology* 15(3): 71-78.
- Kim, K.D. and Park, I.H. 1989. Biomass and net production of *Sasa purpurascens* at a vally in Mt. Baeun area. *Research Bulletin of Seoul National University Forest*. 25: 15-21.
- Kim, S.W., Park, J.C., Lee, D.H., Son, D.W. and Hong, S.I. 2008. Strength properties of wooden function erosion control dams using domestic *Pinus rigida* Miller. *Journal*

- of the Korean Wood Science and Technology 36(6): 77-78.
- KFS (Korea Forest Service). 2022. 52th Statistical yearbook of forestry. pp. 454.
- Kozak, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. The Forestry Chronicle 46(5): 402-404
- Kwon, K.C. and Lee, D.K. 2006. Biomass and energy content of *Quercus mongolica* stands in Gwangyang and Jeju areas. Journal of the Korean Wood Science and Technology 34(4): 54-65.
- Lavigne, M.B. and von Nostrandm R.S. 1981. Biomass equations for tree species in Central Newfoundland. Environment Canada, Forestry Service, Information Report N-X-199. pp. 43.
- Lee, C.B. 1995. Dendrology. Hyangmun Press. p. 88.
- Lee, K.H., Chung, Y.G. and Son, Y.M. 1998. A study on the biomass of 35 years old *Pinus koraiensis* plantation, Pochun, Gyeonggi-do. The Journal of Korean Forest Measurement 1(1): 61-68.
- Lee, K.H., Son, Y.M., Rho, D.K. and Kwon, S.D. 2002. Stem weight equations for six major tree species in Korea. Journal of Forest Science and Technology 91(2): 206-212.
- Lee, K.H., Son, Y.M. and Chung, Y.G. 1999. Tree stem weight equations for *Pinus densiflora* in Kangwon Province. Korea Forest Research Institute Journal of Forest Science 63: 41-50.
- Lee, K.S. and Chung, Y.G. 2003. Aboveground biomass of 30 years old *Chamaecyparis obtusa* plantation in Jinhae. Journal of Korea Forestry Energy 22(1):49-57.
- Lee, S.O. and Park, G.H. 1986. Biomass and organic energy production in pine and oak natural forest ecosystem in Korea. Journal of Korea Forestry Energy 6(1): 46-58.
- Marshall, P.L. and Wang, Y. 1995. Above ground tree biomass of interior uneven-aged douglas-fir stands. FRDA II, Canada. pp. 23.
- Mirov, N.T. 1967. The Genus *Pinus*. Ronald Press Co. pp. 602.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2001. Volume and weight table. pp. 253.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2007. Survey manual for forest biomass and soil carbon. pp. 74.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2021. 2020 Forest Resources of Korea. pp. 244.
- Nautiyal, J.C. and Belli, K.L. 1989. Study of production function for modelling forest biomass: an area for research. Forest Science 35(3): 843-849.
- Ouellet, D. 1985. Biomass equations for six commercial tree species in Quebec. The Forestry Chronicle. 61(3): 218-222.
- Pardé, J. 1980. Forest Biomass. Forestry Abstracts Review Article. 41(8): 343-362.
- Park, I.H. and Lee, S.M. 1990. Biomass and net production of *Pinus densiflora* natural forests of four local forms in Korea. Journal of Korean Forest Society 79(2): 196-204.
- Park, I.H., Seo, Y.K., Kim, D.Y., Son, Y.H., Yi, M.J. and Jin, H.O. 2003. Biomass and net production of *Quercus mongolica* stand and a *Quercus variabilis* stand in Chuncheon, Kangwon-Do. Journal of Korean Forest Society 92(1): 52-57.
- Park, J.C., Kim, K.H., Lee, D.H., Hwang, W.J. and Hong, S.I. 2010. Strength properties of wooden function retaining wall using preservative treated square timber of domestic *Pinus rigida* Miller. Journal of the Korean Wood Science and Technology 38(6): 532-540.
- Parresol, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. Forest Science 45(4): 572-593.
- Schlaegel, B.E. 1984. Green ash volume and weight tables. U.S. U.S. Department of Agriculture, Forest Service Research Paper SO-206. pp. 5.
- Son, W.L., Park J.S., Kim, K.M. 2014. Life Cycle assessment of timber arch-truss bridge by using domestic *Pinus rigida* glued-laminated timber. Journal of the Korean Wood Science and Technology 42(1): 1-12.
- Son, Y.M., Lee, K.H. and Kim, R.H. 2007. Forest biomass estimation in Korea. Journal of Korean Forest Society 96(4): 477-482.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kim, R.H., Pyo, J.K., Park, I.H., Son, Y.H., Lee, Y.J., and Kim, C.S. 2010. Carbon factors in major species for forest green gas inventory. National Institute of Forest Science, Research report 11-25. pp. 89.
- Yang, A.R, Hwang, J.H., Cho, M.S. and Song, S.W. 2013. Soil physical and chemical properties with plantation regions and stand age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* Plantations. Journal of Korean Society of Forest Science 102(4): 578-586.
- Yim, K.B., Lee, K.J., and Kwon, T.H. 1984. Spatial distribution of biomass and production in *Pinus rigida* × *taeda* plantation in Korea. Journal of Korea Forestry Energy Research Society 4(1): 1-8.