

주요 수종별 재적의 상업적 이용을 추정

손영모* · 강진택 · 원현규 · 전주현

국립산림과학원 산림산업연구과

Estimation of Merchantable Volume Ratio by Major Species

Yeong Mo Son*, Jin Taek Kang, Hyun Kyu Won and Ju Hyun Jeon

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

요 약: 본 연구는 중부지방소나무 등 주요 5개 수종에 대하여 상업적으로 이용가능한 재적율인 조재율을 구하기 위하여 수행되었다. 본 연구에 이용한 자료는 최소 1,300여본 이상의 전국적인 조사자료를 이용하였으며, 적용한 추정식은 임목재적 중 목질부 재적을 나타내는 목질부 재적을 추정식과 목질부 재적에 대한 이용재적을 나타내는 원목이용을 추정식이었으며, 이 두가지 추정식의 곱으로 조재율을 도출하였다. 흉고직경에 의한 목질부 재적(W)은

$W = \frac{a_1}{1+a_2/D} + \frac{b_1}{1+b_2/D}$ 의 모형을 이용하였으며, 이 식의 적합도는 수종별로 99% 이상이었고 기타 검정통계량도 식

의 적합성을 충분히 설명하고 있었다. 목질부 재적에 대한 원목이용율(M)은 $M = e^{a_1 \left(\frac{d}{D}\right)^{a_2}} - (b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^3)$

모형을 적용시켜 적합도는 수종별로 96% 이상이였다. 이 두가지 추정식을 이용하여 5개 수종별로 상업적 재적이용율인 조재율을 산정하고 조재율표를 작성하였다. 분석결과, 조재율은 침엽수와 활엽수 임상별로는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으나, 기존 침엽수, 활엽수 조재율과의 차이는 있는 것으로 나타났다.

Abstract: This study was conducted to derive merchantable volume ratio for 5 major species such as *Pinus densiflora* (Central Region). The data used for this study was from at least more than 1,300 trees of research data throughout the country. the study applied two estimation equations, which were the estimation equation for wood volume ratio representing total wood volume to total tree stem volume and the estimation equation for merchantability representing ratio of merchantable volume to total wood volume. The merchantable volume ratio was derived by multiplying those two estimation equations. In order to gain wood volume ratio(W) from

DBH, $W = \frac{a_1}{1+a_2/D} + \frac{b_1}{1+b_2/D}$ model was used. Fitness index of it was more than 99% by species, and other

test statistics also indicated the suitability of this equation enough. Merchantability (M) for wood volume applied

$M = e^{a_1 \left(\frac{d}{D}\right)^{a_2}} - (b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^3)$ model and fitness index was more than 96% by species. Merchantable

volume ratio was assessed using those two estimation equations by each 5 species, and constructed a merchantable volume ratio table. In result, merchantable volume ratio was little difference between stand types, but there was slightly different with the existing standard such as conifers of 85% and non-conifers of 70%.

Key words: wood volume, stem volume, merchantable volume ratio, major species

서 론

산림에서 벌채된 임목 또는 서있는 임목은 상업적인 목

재로 이용할 수 있고, 바이오매스 개념으로 전 부위를 이용할 수도 있다. 후자의 경우는 요즘 다시 이슈화되고 있는 신기후체제 하에서의 온실가스 흡수원으로서의 활용되는 전체 나무의 이용가치이며, 제재, 합판 등의 상업적 용재로 이용하기 위해서는 가지, 잎, 뿌리 및 초두부를 제

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

외한 벌목된 임목이 이용된다. 상업적으로 이용하는 임목은 줄기(樹幹) 중 용재로서 활용이 불가한 초두부의 말구 직경 일정부위 이하를 제거하여 이용한다. 이 때 이용되는 수간부위를 일반적으로 백분율로 표기하며, ‘상업적 이용률’ 또는 ‘조재율’이라는 용어를 쓴다(이하 간략히 ‘조재율’로 표기).

임목재적 중 이용가능한 재적을 구하는 방법은 직접적인 방법과 간접적인 방법 2가지가 있다. 직접적인 방법은 이용 기준에 따라 수간의 두 지점을 정하고 이 두지점과 구 상이 몇몇 지점의 직경을 측정 한 후 수간석해를 통해 재적을 추정하는 방법이며, 간접적인 방법은 수간곡선식을 이용하는 방법, 일정 최소말구직경까지의 재적을 구하는 추정식 이용 방법, 그리고 최소말구직경에 따라 수피내 수간재적에 대한 이용가능 재적의 비율 즉 이용율을 구하는 추정식 이용방법 등이 있다(Alemdag, 1988). 또한 외국의 경우 최근에는 전체 재적에 대한 이용가능한 재적 이용율을 선형 및 비선형식으로 설명하는 경우가 빈번하다(Brandeis, 2005; Alegria, 2011; Bueno-Lopez, 2012; Johansson, 2014).

우리나라의 경우 이용율과 유사한 조재율을 사용하고 있는데, 이에 대한 연구로는 Kim (1963)이 처음으로 용재 이용율에 대한 고찰을 한 이래, 일부 수종에 대한 조재율을 도출한 연구 등(Kim and Park, 1969; Park and Kim, 1978, Park and Chae, 1979; Woo et al., 1987)이 있었으며, 근래 들어와서 Lee et al. (2000)은 전국적인 단위에서 수간석해 수집한 자료를 활용하여 강원지방소나무의 최소말구직경에 따른 조재율을 도출한 바가 있다.

KFS (1981)에 의하면 ‘조제하여 생산된 재적(B)을 임목 재적(A)으로 나누어 구한 백분율(B/A×100)을 조재율이라 하며, 우리나라에서는 벌채지에서 0.1%에 해당하는 임목을 벌채하여 조재율을 산출, 이용하고 있으나 일반적으로 침엽수 85%, 활엽수 70%이다’라고 언급하고 있어, 이것이 현재까지도 현지 국유림관리소 등에 통용이 되고 있다.

국유림관리소 등에서는 임목매각을 할 시 상기의 조재율을 적용할 시 타당하지 않다는 지적이 많았으며, 조재율에 대한 현실화를 요구하는 사례가 빈번히 발생하고 있어 금번 이에 대한 연구를 수행하였다. 조재율은 물론 곡선재, 수간 부후, 초두부의 기형, 심한 분지 등을 가지는 임목에는 일괄적으로 어떠한 수치를 적용하기 곤란할 것이다. 따라서 본 연구에서는 이를 배제한 일반적인 수간형을 가진 임목을 대상으로 조재율을 산정하였다.

재료 및 방법

1. 분석 자료

수종별 조재율 추정을 위하여 이용한 자료는 국립산림과학원에서 주요 수종별 수간재적표를 조제하기 위하여 조사하였던 자료를 이용하였다. 대상 수종은 중부지방소나무 등 침엽수 3개 수종과 상수리나무 등 활엽수 2개 수종, 총 5개 수종이며 분석에 이용한 수종별 성장특성 등은 Table 1에서 보는 바와 같다. 특히, 수종별 흉고직경의 경우 대경목에 대한 일반적인 재적 및 조재율 변화 및 경향치를 좀 더 정확하게 파악하기 위하여 60~80 cm 까지의 자료를 확보하였다.

2. 분석방법

수종별 재적산정은 도출된 수간곡선식을 이용하여 Smalian 구분구적법으로 구한 ‘임목재적표’를 원용하였다(NIFoS, 2015). 조재율은 먼저 수피를 제외한 목질부만의 재적 산정이 필요하며, 다음은 실제 이용되는 즉, 말구직경을 어느 선에서 정하여 상업적으로 이용할 것인지에 대한 결정이 필요하다. 그리고 이 두가지 요인을 상호 고려한 것이 조재율이라 볼 수 있다. 목질부의 재적 및 원목 이용율을 구하는 공식은 다양하나, 여기에서 목질부 재적 이용률은 이를 가장 적절하게 표현할 수 있는 유리함수식(Rational function)을 원용하였으며(Sit et al., 1994), 원목

Table 1. Data summary statistics.

Species	No. of trees	Growth factors	Mean	Standard deviation (SD)	Minimum	Maximum
<i>Pinus densiflora</i> (Central)	1,839	DBH	24.9	12.9	6.0	72.3
		Height	13.5	5.1	3.5	31.8
<i>Pinus koraiensis</i>	1,531	DBH	27.3	12.4	6.0	65.4
		Height	16.6	4.5	4.1	29.4
<i>Larix kaempferi</i>	1,848	DBH	26.4	11.7	6.1	70.2
		Height	19.7	4.7	5.0	31.6
<i>Quercus acutissima</i>	1,674	DBH	22.8	9.8	6.2	70.7
		Height	15.8	4.0	5.5	31.6
<i>Quercus mongolica</i>	1,325	DBH	23.6	10.3	4.1	80.7
		Height	14.6	3.6	4.7	26.1

Table 2. Test statistics for equation used in the study.

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

이용률은 Alemdag(1988)의 식을 일부 조정하여 아래와 같은 형태로 적용시켰다.

- 목질부 재적용(W¹), 수피를 제외한 목질부 재적)

$$W = \frac{a_1}{1+a_2/D} + \frac{b_1}{1+b_2/D} \quad (1)$$

- 원목 이용율(M, 일정 크기의 말구직경 이상을 제외한 원목 재적)

$$M = e^{a_1 \left(\frac{d}{D}\right)^{a_2}} - (b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 D^3) \quad (2)$$

(여기에서, W 목질부 재적용, D 흉고직경, M 원목 이용율, d 말구직경)

그리고 이들 식에 대한 통계적 검정을 위하여 사용한 검정통계치는 Table 2와 같으며, 이를 설명하면, 추정식의 정확성을 평가하는 적합도지수(FI), 식의 상대적인 추정정도를 평가하기 위한 평균에 대한 추정치 오차의 백분율(SEE%), 개체목 표본목을 추정할 때 발생하는 편차의 평균적 크기를 나타내는 평균절대편차(MAD) 등이다.

결과 및 고찰

1. 목질부 재적이용율

임목의 수간은 목질부와 수피 부분으로 나누어진다. 관

재, 각재 등 용재로 이용하기 위해서는 수피부분이 필요 없으므로 수피를 제외한 순수 목질부만의 재적인 ‘목질부 재적이용율’을 산출하고자 식 1의 파라미터 및 검증통계량을 도출하였다(Table 3).

식 1에 대한 식의 적합도지수(FI)는 모든 수종별로 99% 이상으로 아주 높은 값을 보여 목질부 재적이용율의 표본 목간 변이를 거의 완벽하게 설명하고 있었으며, 평균절대편차(MAD)는 수종별로 0.0006~0.0008 사이에 있어 평균 0.06~0.08%의 편차만을 보여 주었다. 또한 추정식의 신뢰도를 나타내는 추정치의 표준오차율(SEE%)는 0.09~0.1%로 적합도지수에서 나타난 것과 같이 추정식의 신뢰도가 높음을 알 수 있었다. 그리고 Table 3에서 잣나무의 경우, a₁ = 0.9000, b₁ = 0.0556 으로 나타나, 식의 구조 상 목질부 이용재적률은 흉고직경이 커짐에 따라 a₁ + b₁ 즉, 0.9556 까지 접근할 수 있음을 알 수 있는데(Table 3), Figure 1을 보면 흉고직경 60 cm까지는 0.94에 못 미침을 알 수 있다. 이같은 결과는 Lee et al.(2000)이 강원지방소나무 조재율 추정에서 제시한 내용과 아주 유사한 결과였다.

상기 추정식의 파라미터를 적용하여 수종별 직경급(D)

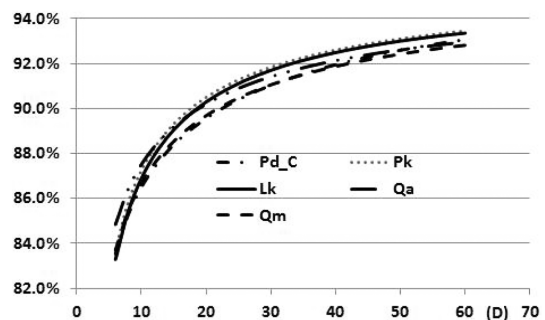


Figure 1. The ratio of total wood volume to total stem volume. (Note) Pd_c : Pinus densiflora (Central), Pk : Pinus koraiensis, Lk : Larix kaempferi, Qa : Quercus acutissima, Qm : Quercus mongolica

Table 3. Equation parameters and test statistics for the ratio of total wood volume to total stem volume.

Parm. & test statistics	Species	<i>Pinus densiflora</i> (Central)	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix kaempferi</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Quercus mongolica</i>
	a ₁		0.8769	0.9000	0.8833	0.8780
a ₂		0.4183	0.5585	0.5383	0.3496	0.4026
b ₁		0.0874	0.0556	0.0708	0.0731	0.0813
b ₂		27.6734	17.7718	13.1094	17.3689	18.6246
FI		0.9975	0.9964	0.9979	0.9967	0.9971
SEE		0.0012	0.0011	0.0009	0.0009	0.0009
MAD		0.0007	0.0008	0.0006	0.0007	0.0006

¹⁾ 목질부 재적이용율을 추정하는 유리함수식의 모수를 설명하면, 식에서 Y = a₁ + b₁으로 수평접근하며, 모수 a₂와 b₂는 곡선이 접근하는 비율을 제어하게 됨. 따라서 모수 a₁과 b₁은 같은 변화를 가져오며(동일한 영향을 미치며), a₂와 b₂는 같은 영향을 미침(결과 및 고찰에서 재설명).

Table 4. Equation parameters for the ratio of merchantable volume to total wood volume (Merchantable top diameter ≥ 6 cm).

Parm. & test statistics	Species				
	<i>Pinus densiflora</i> (Central)	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix kaempferi</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Quercus mongolica</i>
a_1	-1.1021	-0.8081	-1.0204	-0.9407	-0.7139
a_2	4.1612	3.7825	4.1059	3.6745	3.3128
b_0	0.0591	0.0406	0.0390	0.0339	0.0400
b_1	-0.0003	-0.0002	-0.0003	0.0010	0.0011
b_2	-0.00002	0.000005	0.000005	-0.00003	-0.00003
b_3	0.0000003	-0.00000009	-0.00000005	0.0000003	0.0000003
FI	0.9683	0.9733	0.9855	0.9823	0.9591
SEE	0.0113	0.0097	0.0075	0.0086	0.0126
MAD	0.0079	0.0075	0.0053	0.0066	0.0097

별 목질부 재적이용율을 도식화한 결과 Figure 1과 같다. 모든 수종별로 흉고직경 10 cm 이하일 때는 수피를 제외한 목질부 재적이용율이 86~88%정도이나, 20 cm 이상이 되면 90% 이상이 되는 것으로 나타났다. 수종별로는 특별한 차이를 보이 않았다.

2. 원목 이용율

수피를 제외한 목질부도 실제로 일정 크기 이하의 초두부는 제외시키고 이용하는데 이것이 ‘원목 이용율’이라 한다. 말구직경의 크기는 사용자 또는 작업환경에 따라 달라질 수 있는데, 통상 10 cm 선에서 자르나, 본 연구에서는 6 cm와 10 cm 두가지 말구직경으로 나누어 원목이용율을 도출하였다. 그리고 원목 이용율 추정식은 변수 중 하나가 말구직경(d)이므로 말구직경을 자유롭게 조정하여 이용율을 도출할 수 있는 장점이 있다.

Lee et al. (2000)에 의하면 원목 이용율을 구하는 추정식을 흉고직경과 수고 2변수를 이용할 수 있다고 하였으며, 2변수 사용 시 어느 정도의 식에 대한 정확성도 높다고 제시한 바 있는데, 그 차이는 거의 미미한 차이이기 때문에 본 분석에서는 흉고직경 1변수만을 이용하는 추정식을 적용하였다. Honer(1983)는 캐나다 중부 및 동부에서 white pine 등 11개 수종에 대한 원목 이용재적을 추정하는데 있어 흉고직경 또는 수고만을 이용하는 1변수식, 그리고 이들 두 인자를 모두 이용하는 2변수식을 적용시킨 결과, 정확성은 10% 이내의 정확성 차이만을 보일 뿐이라고 밝힌 바 있다. 한편 Alegria(2011)는 포르투갈의 해안 소나무에 대한 일정 말구직경급 이상의 상업적 재적이용율 추정은 수고 1변수로서도 99% 이상의 적합성을 나타낸다고 밝힌 바 있는데, 결국 재적의 상업적 이용율과 흉고직경 및 수고는 밀접한 관계가 있음을 입증하는 사례라 볼 수 있으며, 경우에 따라 일정 변수를 이용하는 추정식이 필요할 것이다.

식 2에 대한 식의 적합도지수(FI)는 모든 수종별로 96% 이상으로 높은 적합성을 보이고 있었으며, 평균절대편차

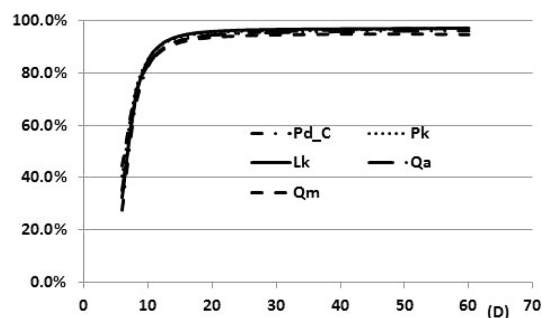


Figure 2. The ratio of merchantable volume to total wood volume (Merchantable top diameter ≥ 6 cm).

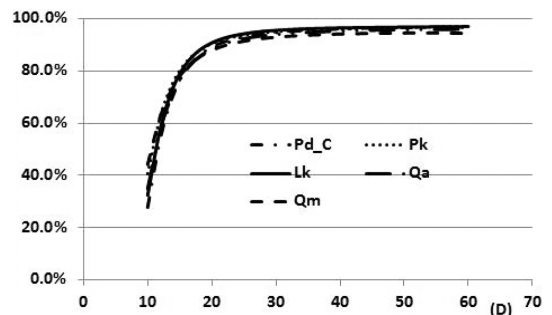


Figure 3. The ratio of merchantable volume to total wood volume (Merchantable top diameter ≥ 10 cm).

(MAD)는 수종별로 0.0053~0.0097 사이에 있어 평균 0.06~0.09%의 편차를 보이는 것으로 나타났다(Table 4). 그리고 추정치의 표준오차율(SEE%)은 0.8~1.3%로 목질부 재적이용율 보다는 낮은데, 이 역시 추정식의 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

상기 추정식의 파라미터를 적용하여 수종별 원목 이용율을 말구직경 6 cm, 10 cm로 구분하여 도식화한 결과 Figure 2, 3과 같다.

수종별 및 임상별로 별다른 차이는 없고, 말구직경을 6 cm 이상만을 이용하고 흉고직경 10 cm 일 때 81~85% 정도의 원목 이용율을 보였으며, 흉고직경 20 cm 이상이 되면 목질부 재적의 약 95% 이상의 이용율을 보이는 것

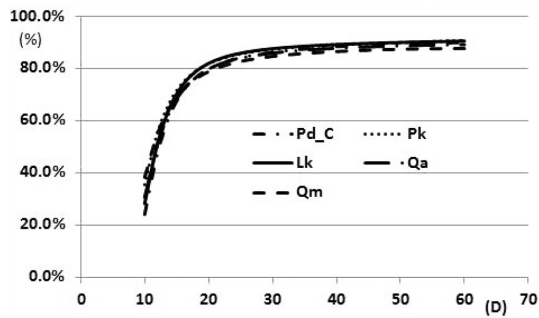


Figure 4. The ratio of merchantable volume to total stem volume (Merchantable top diameter ≥ 10 cm).

으로 나타났다. 말구직경 10 cm 이상을 이용할 때는 말구 직경 6 cm 보다 당연히 이용율이 적었으나, 직경급이 올라갈수록 별다른 차이를 보이지 않았다.

3. 조재율

조재율은 상기의 목질부 재적용율과 원목 이용율을 서로 곱하여 산출할 수 있으며, 이를 도식화한 것이 Figure 4이다. 여기에서 조재율은 말구직경 10 cm 이상일 때만을 제시한 것이다.

조재율은 현재 활용하고 있는 기준인 침엽수 85%, 활엽수 70%와는 약간 차이를 보였다(KFS, 1981). 우선 침엽수 및 활엽수 간에 조재율의 차이는 없는 것으로 나타났으며, 수종간 역시 차이를 보이지 않았다. 흉고직경 20 cm 이하일 때 조재율은 약 80%였으나, 26 cm 정도일 때 약 85%, 그리고 그 이상이 되면 더 높은 조재율을 보이는 것으로 나타났고, 대경재인 직경 50 cm 정도가 되면 조재율은 90%를 넘는 것으로 나타났다.

다음 Table 5는 임목 조재율을 수종별 직경급별로 대표

화한 것이다(말구직경 10 cm 적용). 여기에 제시된 조재율표와 재적표를 이용하면 우리가 실제 이용가능한 상업적 이용재적을 말구직경에 따라 제시할 수가 있을 것이다. 실례로 추정식들을 이용하여 Honer(1983)는 캐나다 10개 수종 2개 임상에 대한 이용재적표를 만들었고, Francis (1988)도 푸에르토리코의 Ucar에 대한 이용재적표를 조제한 바 있으며, 우리나라의 경우도 수간곡선식과 smalian 구분구적법을 이용하여 소나무와 낙엽송에 대한 이용재적표를 조제한 바가 있다(NiFos, 2013).

결론

현재 공식적으로 우리나라에서 적용되고 있는 상업적 이용가능한 재적이용율 즉, 조재율은 1980년대 만든 침엽수 85%, 활엽수 70%로 제시되어 있다. 이는 현재 현실림에서의 개체목 재적이용율과 다소 거리가 있어 현장에서 임목매각 업무 수행 시, 기준을 준용하여야 하기 때문에 현실적으로 문제가 제기되어 왔다. 따라서 임목재적표 조제 시 조사하였던 자료를 활용하여 주요 수종에 대하여 정상적인 수간형을 갖는 조건 하에서 조재율을 산정하였다.

조재율 산정을 위해서는 먼저 전체 임목의 수간재적에서 수피를 제외한 목질부의 재적이용율(A)을 산정하였으며, 이 자료로서 일정크기 이하의 말구직경을 제외한 원목 재적이용율(B)을 계산하였다. 그리고 실제 상업적 활용가능한 이용율인 조재율은 (A) × (B)로서 계산하는 절차를 거쳤다.

목질부 재적이용율을 구하는 추정식은 적합도지수(FI)는 모든 수종별로 99% 이상으로 아주 높은 값을 보여 목질부 재적이용율의 표본목간 변이를 거의 완벽하게 설명

Table 5. Merchantable volume ratio table by major species.

DBH (cm)	Merchantable volume ratio (%)				
	<i>Pinus densiflora</i> (Central)	<i>Pinus koraiensis</i>	<i>Larix kaempferi</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Quercus mongolica</i>
10	24.0	35.5	28.2	30.6	38.3
14	62.5	67.5	65.5	63.9	65.4
18	76.6	79.1	78.9	76.7	76.1
22	82.1	83.8	84.0	82.0	80.8
26	84.7	86.0	86.4	84.5	83.2
30	86.3	87.3	87.7	85.9	84.7
34	87.3	88.2	88.5	86.9	85.6
38	88.1	88.8	89.0	87.5	86.3
42	88.7	89.2	89.4	88.0	86.8
46	89.2	89.6	89.8	88.4	87.1
50	89.5	90.0	90.0	88.7	87.4
54	89.8	90.3	90.3	89.0	87.6
58	89.9	90.7	90.5	89.1	87.7
62	89.9	91.0	90.7	89.2	87.7

하고 있었으며, 평균절대편차는 수종별로 0.0006~0.0008, 추정식의 신뢰도를 나타내는 추정치의 표준오차율은 0.09~0.1%로 추정식의 신뢰도가 높음을 알 수 있었다. 그리고 원목 재적이용율을 구하는 추정식은 적합도지수가 모든 수종별로 96% 이상으로 높은 적합성을 보이고 있었고, 평균절대편차는 수종별로 0.0053~0.0097, 추정치의 표준오차율은 0.8~1.3%로 본 추정식 역시 신뢰도가 높음을 알 수 있었다. 이들 2가지 추정식을 이용하여 조재율을 산정하였으며, 그 결과 현재 활용하고 있는 조재율 기준인 칩엽수 85%, 활엽수 70%와는 약간 차이를 보이는 것으로 나타났다. 먼저 칩엽수 및 활엽수 간에 조재율의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 수종간 역시 차이를 보이지 않았다. 흉고직경 20 cm 이하일 때 조재율은 약 80%였으나, 26 cm 일 때 약 85%, 그리고 그 이상이 되면 더 높은 조재율을 보이는 것으로 나타났고, 대경재인 직경 50 cm 정도가 되면 조재율은 90%를 넘는 것으로 나타났다.

본 연구에서 도출된 임목의 상업적 재적이용율인 조재율은 실제 현장에서 곡선재나 부정형을 가지는 수간을 설명할 수는 없다. 다만 조재율이 현장에서 임목매각 시 아직까지 기준이 되고 있으므로 본 연구에서 도출된 값이 그 기준이 되는 지표로서의 역할을 하되 현지 사정에 따라 융통성있게 적용되어야 할 것이다. 본 조재율이 향후 현실됨을 반영하여 새롭게 개발되는 재적표와 함께 산림 내 임목의 경제적인 가치를 산주에게 또는 국가에게 정확하게 돌려 줄 수 있기를 기대한다.

References

Alegria, C. 2011. Modelling merchantable volumes for uneven aged maritime pine (*Pinus pinaster* Alton) stands established by natural regeneration in the central Portugal. *Annals of Forest Research* 54(2): 197-214.

Alemdag, I.S. 1988. A ratio method for calculateing stem volume to variable merchantable limits and associated taper equations. *The Forestry Chronicle* 64: 18-26.

Brandeis, T.J., kuegler, O., and Knowe, S.A. 2005. Equations for merchantable volume for subtropical moist and wet forests of Puerto Rico. USDA, Southern Forest Experiment Station, Research Papere, SRS-39. pp. 15.

Bueno-Lopez, S.W. and Bevilacqua. 2012. Nonlinear mixed model approaches to estimating merchantable bole volume for *Pinus occidentalis*. *Journal of Biogiosciences and Forestry* 5: 247-254.

Francis, J.K. 1988. Merchantable volume table for Ucar in puerto Rico. USDA, Southern Forest Experiment Station, Research Note, SO-350. pp. 3.

Honer, T.G. Ker, M.F., and Alemdag, I.S. 1983. Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada. Canadian Forest Service, Maritimes Forest Research Centre, Information Report M-X-140. pp. 139.

Johansson, T. 2014. Total stem and merchantable volume equations of norway spruce (*Picea abies*(L.) Karst.) growing on former farmland in Sweden. *Forests* 5: 2037-2049.

Kim, K.D. 1963. Studies on utilizing volume, *Journal of Korean Forest Society* 3: 10-14.

Kim, K.D. and Park M.K. 1969. Studies on the log-making ratio. *Research Bulletin of Seoul National University Forest* 6: 119-126.

Korea Forest Service (KFS). 1981. *Forestry technic handbook*. pp. 1362.

Lee, K.H., Son, Y.M., and Kwon, S.D. 2000. Estimation for merchantability on merchantable top diameter for *Pinus densiflora* in Kangwon province. *Korean Journal of Forest Measurements* 3(2): 35-44.

National Institute of Forest Science (NIFoS). 2013. *Log standard and merchantable volume table*. pp. 139.

National Institute of Forest Science (NIFoS). 2015. *Tree volume table, biomass table and stand yield table*. pp. 261.

Park, M.K. and Chae, S.S. 1979. The bucking rates and log-production of some hardwoods. *Research Bulletin of Seoul National University Forest* 15: 64-72.

Park, M.K. and Kim, S.I. 1978. Studies on the bucking rates of *Larix leptolepis* stand. *Research Bulletin of Seoul National University Forest* 14: 18-25.

Sit, V. and Poulin-Costello, M. 1994. *Catalogue of curves for curve fitting*. Ministry of Forests Research Program, Province of British Columbia. pp. 110.

Woo, B.M., Kim, C.M. and Kim K.H. 1987. Study of bucking rate of *Pinus rigida*. *Research Bulletin of Seoul National University Forest* 23: 37-46.

(Received: March 28, 2016; Accepted: August 18, 2016)