

낙엽송 제재에 따른 이용재적 산출 모델의 개발

권기범¹ · 한 희¹ · 설아라¹ · 정혜진¹ · 정주상^{1,2*}

¹서울대학교 산림과학부, ²서울대학교 농업생명과학연구원

Development of a Wood Recovery Estimation Model for the Tree Conversion Processes of *Larix kaempferi*

Kibeom Kwon¹, Hee Han¹, Ara Seol¹, Hyejean Chung¹ and Joosang Chung^{1,2*}

¹Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

²Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

요약: 본 연구는 낙엽송 개체목의 가공처리 과정에서 생산되는 제재목 및 제재 부산물의 양을 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하고자 수행되었다. 이 모델에서는 수간곡선 추정식을 이용하여 개체목의 전간제적을 산출하고 절동된 원목에 대한 목재 가공 시뮬레이션을 통해 판재 및 각재, 원주목의 규격에 따른 최대 생산가능량을 예측하였다. 또한 제재목 가공처리 과정에서 생산되는 톱밥 및 죽데기의 잔존제적에 대한 분석을 수행하였다. 그 결과 흉고직경 12 cm 이상부터 제재목의 생산이 가능한 것으로 나타났고, 제재목의 생산이 가능한 경우에는 보다 큰 규격의 판재와 각재를 생산하는 것이 상대적으로 작은 규격의 판재와 각재 혹은 원주목을 생산하는 것에 비해 더 많은 생산량을 얻을 수 있었다. 향후 이 모델은 낙엽송의 이용재적 산출을 통한 산림의 경제적 가치평가는 물론, 최근 목질계 바이오에너지 자원으로서 그 중요성이 점차 높아지고 있는 톱밥과 같은 제재 부산물의 양을 예측하는 데에도 활용될 수 있을 것이다.

Abstract: This study was conducted to develop a simulation model for estimating the amount of such products as round wood, dimension lumber and the residual wood biomass produced by processing the individual trees of *Larix kaempferi*. In the model, the stem volume is assessed using the taper equations of the species to estimate the stem forms. Then, the model simulates the conversion processes of logs to round wood or lumber and assesses the maximum amount of the wood products by the lumber dimensions or round wood size. Also the model provides information on the amount of residuals for kerf and slabs produced on the conversion processes for sawn timber or round wood. According to the results of an application of the model to a *L. kaempferi* process, the trees greater than 12 cm of DBH can be converted to logs for lumber or round wood production. For the trees, of which DBH is available for log conversion, the maximum amount of final products by dimensions were analyzed. In this analysis, production of the bigger dimension lumber was assumed to be preferred to that of the smaller or round wood. This model can be used for assesment of forest economic value through estimation of merchantable volume for the trees, and assesment of mill residues which has the potential to provide significant amount of feedstock for bioenergy production as well.

Key words : round wood, dimension lumber, residual wood biomass, merchantable volume, tree conversion process, wood recovery estimation model

서 론

산림에서 수확된 목재는 부가가치가 높은 합판재나 다양한 용도의 판재와 각재 혹은 원주목 등으로 가공되어 유통되고, 이 과정에서 생산되는 잔존 부산물인 톱밥은 농축산업용으로, 죽데기는 보드류 산업의 원자재로서 활용

되는 경우가 많다. 하지만 최근 지구온난화를 야기하는 화석연료의 대체재로서 바이오에너지의 잠재력이 중요시되면서 제재과정에서 생산되는 톱밥이나 죽데기 등의 부산물은 새로운 양질의 바이오매스 에너지 원료로 그 중요성이 부각되고 있다. 따라서 수확된 목재를 어떤 목적으로 어떻게 가공처리를 할 것인가에 대한 판단은 합리적 임업 경영에 있어 매우 중요하다. 즉, 다양한 크기의 원목이 주어졌을 때 어떤 규격의 목재를 어떻게 가공처리 하는 것

*Corresponding author
E-mail: jschung@snu.ac.kr

이 수익성 증진에 도움이 되는 것인지 혹은 남은 부산물의 양에 의해 결정되는 바이오매스의 양은 얼마가 되는지 등에 관한 경영자의 판단은 합리적 임업경영을 위해 매우 중요한 의사결정의 내용이 된다.

이러한 관점에서 국내에서도 원목제재에 따른 이용재적 혹은 수율을 산출하기 위한 실연연구가 진행된 바 있다. Lee et al.(1989)은 낙엽송, 잣나무 및 소나무를 대상으로 이동식 제재기를 활용한 제재실연 시험을 통하여 제한된 공시목에 대해 제재에 따른 이용재적을 산출하였으며, 아까시나무와 오리나무 등 활엽수종의 제재이용에 관한 연구(Lee et al., 1985; 1986), 간벌소경재를 활용한 제재시험 등에 관한 연구(Lee et al., 1987) 등이 국산 원목제재의 생산성과 관련하여 수행되었다.

하지만 국내에서는 이와 같은 연구가 매우 제한적으로 이루어져 왔는데, 특히 원목제재에 의한 실연연구의 결과는 대개 조제된 원목을 특정한 규격으로 제재하여 생산되는 제재목의 양을 실적(實績)의 개념으로 산출함으로써 대개는 특정 수종 목재의 가공 수율을 산출하는 것에 목적을 두고 있다. 따라서 임분에서 생산되는 다양한 등급의 임목을 가공하여 처리하는 일련의 단계적 과정에서 생산되는 최종 산물로서의 규격재나 제재 부산물의 양을 종류별로 효율적으로 제시하기에는 한계가 있다.

한편, 다양한 목재 가공산물의 양을 산출하기 위해 직접 목재를 가공하는 실험보다는 목재의 기하학적 형상에 따른 목재가공 시뮬레이션 기법의 적용이 매우 효율적인 접근방식이 될 수 있다. 즉, 시뮬레이션 기법은 기하학적 해석을 통해 임목이나 원목의 조제 및 가공처리 과정을 통해 생산되는 다양한 산물의 양을 쉽고 빠르게 산출할 수 있어 목재 가공산물의 양을 산출하기 위해 자주 사용되는 기법이다.

이러한 이유로 국외에서는 이미 오래전부터 목재가공 시뮬레이션 기법들이 개발되어 활용되고 있다. 그 예로 Maclean and Martin(1984)은 사진측량기법의 적용을 통하여 임목의 이용재적을 추정한 바 있고, 이 외에도 다양한 기하학적 해석기법을 적용하여 임목의 이용재적을 산출하기 위한 시뮬레이션 연구가 수행된 바 있다(McTague and Bailey, 1987; Newberry et al., 1989; McAdoo, 1969; Hallock and Lewis, 1971; 1976; Lewis, 1985).

최근 국내에서도 Kwon et al.(2003; 2007)이 잣나무, 낙엽송 및 상수리나무 세 개 수종에 대해 원목의 형상에 따른 기하학적 해석을 통해 원목 제재에 의한 규격재 재적을 산출하는 시뮬레이션 모델을 개발한 바 있다. 이 모델은 개체목(individual tree)의 목재 용도를 규격용, 표고 자목용 및 펄프용 등으로 구분한 후 기하학적인 해석방법을 통해 각 용도별 우선순위에 따라 이론적으로 가능한 최대 수율을 가정하여 이용재적을 산출하기 위한 것이다.

본 연구에서는 낙엽송을 대상으로 제재에 의한 과정에서 생산되는 규격재나 제재 부산물의 양을 산출하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하고자 하였다. 이 모델은 현행 제재소에서 사용하는 일련의 제재공정을 적용함으로써 보다 현실적인 이용재적의 산출이 가능하며, 임목의 경제적 가치평가나 산림바이오매스량의 추정에도 활용될 수 있다.

연구내용 및 방법

1. 모델의 구조

Figure 1은 낙엽송의 전간재적, 절동 후 개별 원목의 크기에 따라 가공되는 제재목의 양, 제재 후 남은 톱밥, 수피 및 죽데기의 양을 예측하기 위해 본 연구에서 개발한 모델의 구조를 나타낸다. 이 모델의 입력 변수로는 각 개체목의 크기, 벌도목에 대한 절동이나 제재 기준, 원목을 판재와 각재 혹은 원주목 등으로 생산하기 위한 기준들이 포함된다.

개발된 모델에서는 우선 입력된 개체목의 흉고직경과 수고 정보로부터 전간재적을 산출한다. 그리고 절동 길이, 원주목 생산 기준 혹은 제재목 규격 정보에 의해 절동된 원목(log)별로 제재목(lumber)을 생산하게 되며, 각 제재목별 규격정보에 의해 전간재의 규격별 이용재적을 산출하게 된다.

제재 후 남은 제재 부산물은 수피, 톱밥 및 죽데기로 구분된다. 수피량은 Korea Forest Service(2000)의 수피율표에 의해 산출되고, 톱밥의 생산량은 톱날의 두께에 의해 결정된다. 그리고 죽데기 생산량은 잔존목 총량에서 톱밥과 수피량의 합을 감하여 산출된다. 각 유형별 생산량은 체적, 생중량 및 건중량으로 표현될 수 있도록 하였으며, 중량은 Lee et al.(2002)이 발표한 중량추정식을 활용하여 개발하였다.

2. 목재 이용량 산출방법

1) 전간 재적의 산출

이 연구에서 규정한 개체목의 전간 범위가 Figure 2에 나타나 있다. 이 전간재의 형태는 수간곡선식에 의해 정

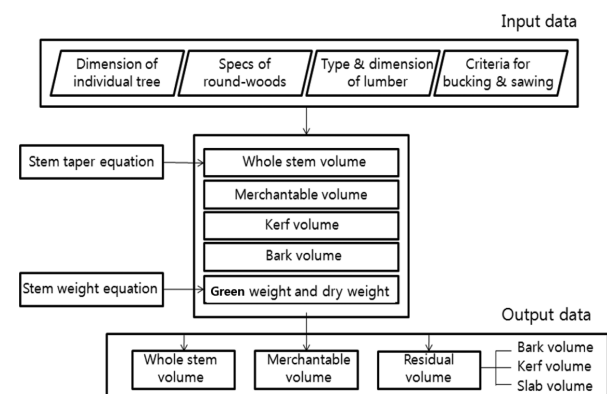


Figure 1. The structure of the model.

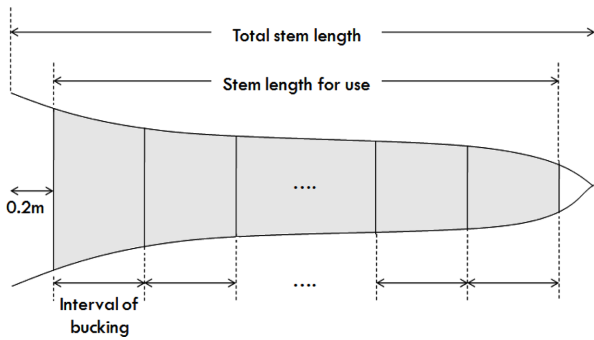


Figure 2. Longitudinal cross-section of a tree stem.

의될 수 있으며, 본 연구에서는 다음과 같이 Kozak(1988)의 수간곡선식을 이용하였고, 모수의 경우 Son et al.(2012)이 추정된 값을 이용하였다(Table 1). 한편, 수간곡선식을 이용한 재적 산출에 있어 필요한 임목의 수고는 Kwon(2003)이 제시한 수고추정식을 이용하였다.

수간곡선식(Kozak, 1988):

$$d = a_0 DBH^{a_1} a_2 \left(\frac{1 - \sqrt{h/H}}{1 - \sqrt{p}} \right)^{b_1 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + b_2 \ln \left(\frac{h}{H} + 0.01 \right) + b_3 \sqrt{\frac{h}{H}} + b_4 e^{\frac{h}{H}} + b_5 \left(\frac{DBH}{H} \right)} \quad (1)$$

where

a_0, b_1 : parameters

H : total height (m)

h : height along stem (m)

$p = \frac{HI}{H}$ (HI : inflection point)

일반적으로 임목 벌채는 지상으로 부터 0.2 m 가량 떨어진 곳에서 절단되므로 이 연구에서의 전간재적은 지상 0.2 m 부터 정단부 절단면 높이까지로 정의된다. 원목은 Figure 2에서와 같이 지상 절단고로부터 주어진 원목 길이에 맞춰 절동함으로써 생산되며, 수간재적은 다음과 같이 1 cm 간격의 구분구적법에 의해 산출하였다. 아래의 식에서 n 은 1 cm 간격으로 전간재장을 나눈 개수를, 그리고 d_i 는 i 번째 원판의 말구직경을 의미한다.

$$\text{Stem volume (m}^3\text{)} = \frac{1}{10,000} \sum_{i=1}^n \pi \left(\frac{d_i}{2} \right)^2 \times l \quad (2)$$

where

d_i : end diameter of the log

n : number of logs

l : log length (1cm)

2) 제재목의 종류 및 규격에 따른 이용재적의 산출

국내에서 생산되는 제재목은 일반적으로 판재와 각재, 원주목 3가지로 구분된다. 현재 운영중인 제재소를 대상으로 한 면접조사 결과(Korea Forest Service, 2010), 국내 제재소에서는 낙엽송의 경우 원목의 말구직경이 150 mm 이하일 경우에는 원주목을 그리고 그 이상일 경우에는 판재와 각재로 가공하는 것이 일반적이었다. 본 연구에서는 이 기준을 기본 값으로 사용하였으며, 모델의 이용 시 사용자가 필요에 의해 수정할 수 있도록 개발하였다.

일반적으로 제재 현장에서는 생산성과 작업의 효율성을 고려하여 생산하고자 하는 규격의 판재와 각재 너비를 기준으로 원목 양끝을 절단하고, 남은 목재로부터 각각의 제재목을 가공하는 형태를 취한다. 개발된 모델의 제재목 해석체계(Figure 3)에서 최초 재단선은 말구단면을 원으로 가정하며, 이를 기준으로 원목에서 죽데기부분을 잘라낸 후 정해진 규격의 판재와 각재로 각각 가공한다.

이 모델에서 정의한 제재목 생산규격은 Table 2에 제시되어 있다. 이를 바탕으로 우선 각 원목별로 모든 규격의 제재목을 시뮬레이션 후 이 중 가장 높은 조제수율을 보이는 제재목의 규격을 선정하고 이에 따라 가공하게 된다.

3) 톱밥량의 산출

모델은 원목별로 각각의 말구직경을 수간곡선 추정식을 통하여 도출하고, 이를 토대로 1/4 inch 톱을 이용하여 판재나 각재, 원주목으로 가공할 때 될 때 발생하는 톱밥량을 계산한다. 이 때 원주목의 경우에는 원주목 직경에 톱날의 두께를 더하여 부피를 계산한 후 원주목 재적을

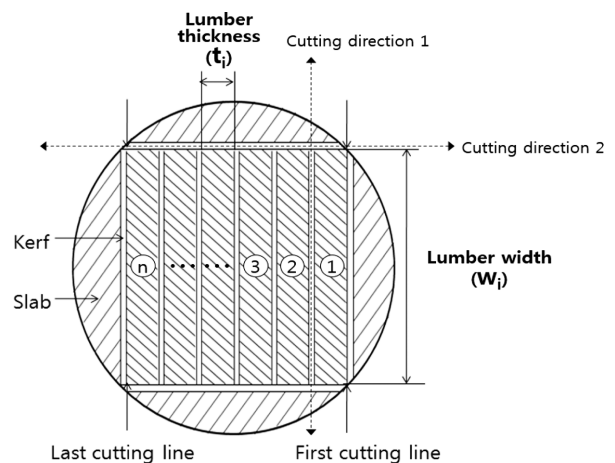


Figure 3. Sawing method.

Table 1. Parameter of the Kozak's taper equation model for *Larix kaempferi* (Korea Forest Research Institute, 2012).

Parameter	a_0	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	p
Value	0.883	1.020	0.997	0.610	-0.100	0.269	-0.104	0.150	0.20

Table 2. The dimensions of wood products.

Lumber		Round-wood
Thickness (mm)	Width (mm)	Diameter (mm)
15	95	60
21	120	80
20	200	100
27	89	120
27	140	150
38	38	180
38	89	200
38	140	250
38	184	-
38	235	-
38	285	-
89	89	-
89	140	-
140	140	-
180	180	-
200	200	-
250	250	-

Table 3. Bark proportion of individual tree by DBH class for *L. kaempferi* (Korea Forest Service, 2000).

DBH (cm)	% proportion of bark	DBH (cm)	% proportion of bark
6	15.6	24	11.6
8	14.7	26	11.5
10	14.0	28	11.3
12	13.5	30	11.1
14	13.0	32	11.0
16	12.7	34	10.8
18	12.4	36	10.7
20	12.1	38	10.6
22	11.9	40	10.5

Table 4. Coefficients of stem weight equation for *L. kaempferi* (Lee et al., 2002).

Weight	Parameters		
	a	b	c
Green weight	0.04704	1.85457	1.00568
Dry weight	0.02146	1.80422	1.09938

감하여 톱밥량을 산출하고, 판재와 각재의 경우에는 최초 재단선을 기준으로 판재와 각재의 두께와 너비, 톱날의 두께를 감안하여 톱밥량을 다음 식에서와 같이 두 가지의 방향에서 구분구적법에 의해 산출한다(Figure 3).

$$\text{Kerf volume}(m^3) = V_w + V_t \tag{3}$$

$$V_w = \frac{1}{4} \times 0.000254 \times \sum_{i=1}^{n+1} t_i \times l$$

$$V_t = \frac{1}{4} \times 0.000254 \times \sum_{i=1}^n t_i \times l$$

where

V_w : kerf volume (m^3) from cutting by direction 1

V_t : kerf volume (m^3) from cutting by direction 2

w_i : width of th lumber

t_i : thickness of th lumber

n : number of lumbers,

l : log length (m)

4) 수피량의 산출

수피량은 수피율표(Korea Forest Service, 2000)를 적용하여 산출한다. 즉, 해당 임목의 전간재적에 등급별 수피율(Table 3)을 곱하여 수피량을 도출하였다.

5) 생중량 및 건중량의 산출

생중량 및 건중량을 단위 재적 당 무게(kg/m^3)로 산출하기 위해 수간재적을 1 cm 단위로 구분구적하여 산출하였

고, 수간 중량의 경우에는 Aldred and Alemdag(1988)이 제안한 중량추정식을 이용하였다. 또한 모수의 경우 Lee et al.(2002)이 추정된 값을 이용하였다(Table 4).

$$W = aD^bH^c \tag{4}$$

where

a, b, c: parameters

W : stem weight (kg)

H : total height (m)

D : diameter outside bark at breast height (cm)

결과 및 고찰

1. 등급별 전간재적

먼저 본 모델을 이용하여 낙엽송 임목의 전간재적을 분석한 결과, 등급별로 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 이 표에 의하면 등급이 커질수록 임목의 수고와 재적량이 증가함을 알 수 있으나, 그 변화량에는 차이가 나타났다(Table 5). 즉, 수고의 경우 등급이 커질수록 수고증가량이 작아졌고, 재적의 경우 이와는 반대로 그 증가량이 커졌다. 이로부터 임목의 생장은 등급이 커질수록 수고생장보다 재적생장에 초점을 둔다는 사실을 알 수 있다.

2. 규격별 제재목 생산량

특정 흉고직경의 원목을 판재와 각재로 쪼갤 때 제재목의 규격에 따라 생산수율에 차이가 발생한다. 일례로, Table 6은 흉고직경이 30 cm인 낙엽송을 벌채하여 3.6 m 길이

Table 5. Estimated tree volume and weight of *L. kaempferi* by DBH class.

DBH class (cm)	Estimated height (m)	Estimated volume (m ³)	Weight	
			Green weight (kg)	Dry weight (kg)
6	7.6	0.0100	9.33	4.70
8	9.4	0.0217	19.50	9.89
10	11.1	0.0411	35.97	18.31
12	12.6	0.0667	57.28	29.24
14	14.1	0.0994	84.12	43.06
16	15.5	0.1455	121.77	62.46
18	16.8	0.1974	163.85	84.18
20	18.1	0.2582	212.93	109.58
22	19.2	0.3340	274.32	141.28
24	20.3	0.4159	340.57	175.55
26	21.2	0.5032	411.60	212.17
28	22.2	0.6096	498.24	256.97
30	23.0	0.7176	586.95	302.68
32	23.8	0.8358	684.51	352.97
34	24.6	0.9641	790.99	407.90
36	25.3	1.0979	903.13	465.61
38	26.0	1.2507	1031.89	531.91
40	26.6	1.4024	1161.35	598.38

의 판재와 각재를 켤 때 생산되는 규격별 제재목의 양을 보여준다. 이 표에서 사용한 너비 및 두께와 같은 판재와 각재 규격은 시중 제재소에서 일반적으로 사용하는 값이다.

분석 결과 판재와 각재의 두께나 너비에 따라 생산되는 제재목의 양에 차이가 있고, 일부 큰 규격의 제재목은 나무의 굵기가 충분하지 못해 생산할 수 없다는 것을 알 수

있다. 특히 30 cm의 낙엽송 원목을 제재하는데 있어 제재목 규격이 38×140×3600 mm 일 때 이용재적이 0.2490 m³로 가공수율이 가장 높은 것으로 나타났다.

3. 등급에 따른 제재목 생산량 및 가공 수율

Table 7은 낙엽송을 판재나 각재, 혹은 원주목으로 가공할 때 등급별로 달라지는 제재목 생산에 대한 분석 결과를 보여준다. 각 낙엽송 개체목을 3.6 m로 절동한 후 각 원목의 조재수율을 극대화한다고 가정할 때 생산이 가능한 제재목의 종류, 규격, 개수 및 이용재적을 산출하였다. 그 결과 흉고직경이 12 cm 이상일 때 제재목 생산이 가능하였으며 흉고직경 12, 18 cm의 임목에서 가공수율이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 이는 나무의 굵기가 충분하지 못하여 판재와 각재 생산에 비해 가공수율이 높은 원주목을 주로 생산하였기 때문인 것으로 판단된다.

4. 제재 후의 등급별 잔존재적

Table 8는 낙엽송의 등급별 잔존재적을 추정된 결과를 보여준다. 해당 등급의 잔존재적을 수피, 톱밥, 죽데기로 구분하여 각각의 생산량을 산출하였다. 다만, 이 표에서 흉고직경이 6 cm 이하의 경우 Table 7에서와 같이 판재나 각재, 원주목과 같은 제재목 생산에 사용되지 않으므로 별도의 톱밥 생산은 없는 것으로 나타났다.

결론

임목 이용재적의 정확한 산출은 정확한 임목 가치평가

Table 6. Estimating the amount of lumber products by dimensions in processing a tree of *L. kaempferi*, when the log length is 3.6 m.

DBH (cm)	Dimension (mm)		No. of products	Solid volume recovery		
	Thickness	Width		Volume (m ³)	G. weight (kg)	D. weight (kg)
30	15	95	37	0.1898	155.24	80.06
	21	120	25	0.2268	185.51	95.66
	20	200	13	0.1872	153.12	78.96
	27	89	23	0.1990	162.77	83.94
	27	140	18	0.2449	200.31	103.30
	38	38	20	0.1040	85.06	43.87
	38	89	18	0.2192	179.29	92.46
	38	140	13	0.2490	203.66	105.03
	38	184	9	0.2265	185.26	95.54
	38	235	3	0.0964	78.85	40.66
	38	285	-	-	-	-
	89	89	6	0.1711	139.95	72.17
	89	140	5	0.2243	183.46	94.61
	140	140	3	0.2117	173.16	89.29
	180	180	1	0.1166	95.37	49.18
	200	200	-	-	-	-
	250	250	-	-	-	-

Table 7. Wood products recovered by DBH classes for an individual tree of *L. kaempferi* when the log length is 3.6 m (BD: Board; RW: Round wood).

DBH class (cm)	No. of saw-logs	Solid vol. of products (m ³)	% vol. recovery	Wood products processed		
				Products	Dimensions	No.
6	2	-	-	BD	-	-
				RW	-	-
12	3	0.0385	57.7	BD	-	-
				RW	100×3600 60×3600	1 1
18	4	0.0953	48.3	BD	89×38×3600	3
				RW	120×3600 80×3600	1 1
24	5	0.1727	41.5	BD	140×140×3600 120×21×3600 89×89×3600	1 5 1
				RW	100×3600	1
30	6	0.3315	46.2	BD	180×180×3600 140×89×3600 140×140×3600 89×38×3600	1 2 1 3
				RW	80×3600	1
36	6	0.5269	48.0	BD	235×38×3600 200×200×3600 184×38×3600 140×140×3600	5 1 4 1
				RW	120×3600 60×3600	1 1
40	7	0.6652	47.4	BD	250×250×3600 235×38×3600 180×180×3600 140×89×3600	1 5 1 3
				RW	100×3600	1

Table 8. The residual volume after wood products processing for an individual tree of *L. kaempferi* by DBH classes.

DBH (cm)	Residual volume (m ³)			
	Total	Bark	Kerf	Slab
6	0.0100	0.0016	-	0.0084
12	0.0282	0.0090	0.0124	0.0068
18	0.1021	0.0245	0.0287	0.0489
24	0.2432	0.0482	0.0504	0.1446
30	0.3861	0.0797	0.0659	0.2405
36	0.5710	0.1175	0.1143	0.3392

를 위해 필수적이며, 이를 통해 투명한 목재시장을 정착시킬 수 있다. 특히 목질계 자원은 다양한 형태의 가공제품을 생산하기 위한 원자재에 속하므로 수확된 임목을 어떤 용도로, 어떻게 가공 처리할 것인가 결정하는 일은 생산된 목재의 가치를 증진하기 위한 주된 방안이 된다.

이러한 필요성에 의거하여 본 연구에서는 낙엽송을 대

상으로 제재에 의한 목재가공 과정에서 생산될 수 있는 판재와 각재, 원주목 그리고 톱밥 등과 같은 제재 부산물의 양을 기하학적 해석을 통해 산출하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발된 모델은 흉고직경 및 수고와 같은 제원에 따라 실제 목재시장에서 유통되는 제재목의 생산을 정량적으로 분석할 수 있도록 설계되었으며, 임목 가공의 우선순위를 제재목, 원주목 및 톱밥 등과 같은 제재 부산물의 순으로 결정함으로써 현실 목재시장의 유통체계를 감안할 수 있도록 하였다.

특히 이 모델은 최근 화석연료 대체재로서 부각되고 있는 산림바이오매스나 탄소저장고 역할을 하는 수확된 목제품(HWPs: Harvested Wood Products)의 양을 산출하기 위한 도구로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 따라서 향후 탄소 수지 등 기후변화에 대응하기 위한 산림의 기능을 평가하기 위한 종합적 모델을 개발함에 있어 용도별 목재 이용량을 산출하기 위한 도구로도 활용될 수 있을

것이라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 『차세대 산림사업기술개발 연구사업단』(과제번호:S211313L020110)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

인용문헌

- Aldred, A.H. and Alemdag, I.S. 1988. Guidelines for forest biomass inventory. Canadian Forest Service, Petawawa National Forestry Institute. Information Report PIX-077. pp. 115.
- Hallock, H. and Lewis, D.W. 1971. Increasing softwood dimension yield from small logs-best opening face. USDA Research paper FPL 166: 1-11.
- Hallock, H. and Lewis, D.W. 1976. Is there a "best" sawing method?. USDA Research paper FPL 280: 1-12.
- Korea Forest Service. 2000. Bark volume percent table. Forest & Forestry Technique. pp. 261.1.
- Korea Forest Service. 2010. Annual report of the centre for climate change forestry research. pp. 754.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. Canadian Journal of Forest Research 18: 1363-1368.
- Kwon, S.D. 2003. Development of a simulation model for stand-level forest management. Ph. D. Thesis. Seoul National University. pp. 113.
- Kwon, S.D., Kim, H.H., and Chung, J.S. 2007. Estimation of merchantable volume and yield using a stem shape simulation. Journal of Korean Forest Society 96(3): 362-368.
- Lee C.T., Kwon, J.T., and Han, G.J. 1989. A demonstration test of the domestic timber using movable sawing machine. Practical Research Report of Korea Forest Research Institute. pp. 195-213.
- Lee, C.T., Chung, D.J., and Park, J.H. 1986. The utilization of *Alnus* species for furniture. Research Report of Korea Forest Research Institute 33: 110-116.
- Lee, C.T., Chung, D.J., Park, J.H., and Kim, S.K. 1987. Sawing practice of twin band saw to small-thinning timbers. Research Report of Korea Forest Research Institute 35: 98-103.
- Lee, C.T., Chung, D.J., Lee, Y.D., and Cho, J.M. 1985. A study on sawing and utilization of lumber for *Robinia pseudoacacia*. Research Report of Korea Forest Research Institute 32: 17-23.
- 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 Korean Forest Society 91(2): 206-212.
- Lewis, D.W. 1985. Sawmill simulation and the best opening face system-a user's guide. USDA General Technical Report FPL 48: 1-29.
- Maclean, G.A. and Martin, G.L. 1984. Merchantable timber volume estimation using cross-sectional photogrammetric and densitometric methods. Canadian Journal Forest Research 14(6): 803-810.
- McAdoo, J.C. 1969. Computer simulation of small-log mill processing. Forest Products Journal 19(4): 34-35.
- McTague, J.P. and Bailey, R.L. 1987. Simultaneous total and merchantable volume equations and a compatible taper function for loblolly pine. Canadian Journal Forest Research 17(1): 87-92.
- Newberry, J.D., Burkhart, H.E. and Amateis, R.L. 1989. Individual tree merchantable volume to total volume ratios based on geometric solids. Canadian Journal Forest Research 19(5): 679-683.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Kwon, S.D., Pyo, J.K., Im, S.S., and Youn, H.J. 2012. Timber volume · biomass & yield table. Korea Forest Service, Daejeon. pp. 261.
- Son, Y.M., Lee, K.H., Lee, W.K., and Kwon, S.D. 2002. Stem taper equations for six major tree species in Korea. Journal of Korean Forest Society 91(2): 213-218.

(2013년 5월 8일 접수; 2013년 11월 6일 채택)