

체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업 공정 분석

한원성^{1*} · 조구현¹ · 오재현¹ · 송태영¹ · 김재원¹ · 신만용²

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²국민대학교 산림자원학과

Felling Productivity in Korean Pine Stands by Using Chain Saw

Won Sung Han^{1*}, Koo Hyun Cho¹, Jae-Heun Oh¹, Tae-Young Song¹,
Jae-Won Kim¹ and Man Yong Shin²

¹Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

²Department of Forest Resources, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

요 약: 본 연구에서는 벌도작업에서의 현실성 있는 품셈 적용기준을 마련하기 위해 잣나무 간벌작업지에서의 간벌 단계별 벌도작업 공정을 분석하고자 하였다. 이를 위해 4개 잣나무 간벌작업지에서 체인톱을 이용한 벌도작업 공정 조사를 실시하였다. 벌도작업의 작업공정을 예측하기 위해 평균 벌도작업시간 예측 추정식을 개발하였으며, 이를 이용하여 간벌단계별 작업공정을 분석하였다. 연구대상지에서의 잣나무 1본의 평균 벌도작업시간은 약 463초/cycle인 것으로 나타났으며, 시간당 작업공정은 약 2.26 m³/hr으로 분석되었다. 잣나무의 간벌단계는 생산목표를 소경재, 중경재, 그리고 대경재로 구분하고, 각 생산목표에 따라 간벌횟수와 시기를 설정하여 작업공정을 분석하였다. 소경재 생산에서는 1회의 간벌을 실시하며, 이때 평균 흉고직경이 16 cm로 작업공정은 약 8.94 m³/인·일로 분석되었다. 중경재와 대경재 생산에서는 각각 2회와 3회의 간벌을 실시하며, 1차, 2차 간벌시기는 동일하며, 이때 평균 흉고직경이 16 cm와 21 cm이고, 1일 작업공정은 9.06 m³/인·일과 10.86 m³/인·일이다. 대경재 생산의 3차 간벌에서는 평균 흉고직경이 30 cm, 1일 작업공정이 15.12 m³/인·일로 예측되었다. 이와 같이 간벌단계에 따라 작업공정에서 차이가 나타나고 있으며, 향후 숲가꾸기 품셈적용 기준에 새롭게 반영하기 위한 수종별 벌도작업 공정조사가 요구되고 있다.

Abstract: This study was conducted to evaluate the felling productivity by chain saw in thinning operation of Korean pine (*Pinus koraiensis*) stands. Time study data were collected from 4 thinning site in Korean pine stands. This study derived a regression model to estimate the average felling cycle time for evaluating the productivity in felling, which was used to analyze the felling productivity by thinning period. In the study sites, the average felling cycle time per a tree was 463 sec/cycle and the productivity was 2.26 m³/hr. Thinning period in Korean pine is divided into three groups by producing purposes; small-diameter log, medium-diameter log, and large-diameter log. And analyzed working time and productivity from thinning period fixed by producing purposes. For the small-diameter log producing purpose estimated to be thinning period operated once when the mean DBH was 16 cm and its productivity was 8.94 m³/man·day. For the medium-diameter and large-diameter log producing purposes, thinning period was twice and three times when the mean DBH of the 1st and 2nd thinning period was 16 cm and 21 cm, and its productivity was 9.06 m³/man·day and 10.86 m³/man·day. The 30 cm in DBH and 15.12 m³/man·day in productivity was operated 3rd thinning for the large-diameter log producing purposes.

Key words : felling productivity, chain saw, Korean pine, time study, thinning

서 론

우리나라의 산림은 현재 대부분 III~IV영급 이상으로 성장하여 간벌 및 수확작업이 절실히 필요한 시기이며, 간벌단계에 따른 벌도작업 공정을 분석하고 예측하여 효율

적인 작업 방법을 마련하는 것이 필요하다. 우리나라에서의 산림 벌도작업은 주로 체인톱(chain saw)에 의해 이루어지고 있고, 이러한 체인톱은 1960년대 후반에 우리나라에 보급·사용되고 있으며, 산림작업에서는 가장 중요한 기계 중의 하나이다(노재후와 김재원, 1984; 강건우, 1989). 특히 우리나라의 산림이 대부분 III~IV영급 이상으로 성장하여(산림청, 2007), 단순한 어린나무가꾸기가 아닌 간

*Corresponding author
E-mail: wshan@kookmin.ac.kr

별과 주별 등의 작업이 더욱 필요한 시기이기 때문에 체인톱 등의 임업기계장비의 활용이 더욱 필요하다. 우리나라는 1960년대 이후 조성된 인공림의 경우, 낙엽송, 리기다소나무, 그리고 잣나무의 면적이 현재 인공림 면적의 약 80%를 차지하고 있으며(국립산림과학원, 2006), 이 임분에 대한 지속적인 시업과 관리가 필요한 상태이다. 이를 위해 대부분 숲가꾸기 사업시행 지침에 따라 각종 시업과 관리가 이루어지고 있으며, 숲가꾸기 품셈 적용기준에 따라 사업비용을 산출하고 있다(산림청, 2008). 이때, 벌도 수종과 작업방법에 따라 품셈 적용기준이 달라져야 하지만, 현재의 적용 기준은 일률적으로 적용되고 있는 문제점이 있다. 따라서 앞으로 벌도 수종과 작업방법에 따라 품셈을 다르게 적용하여야 하며, 이를 위해 수종별 벌도 작업 공정을 새롭게 정리할 필요가 있다. 하지만, 수종별 벌도 작업 공정의 기준을 제시하기 위해서는 여러 가지 조건에서의 공정조사와 분석이 필요하다. 벌도작업 공정 제시를 위한 기초자료가 될 수 있는 벌도작업 공정조사가 많이 이루어져 왔으나(강건우, 1989; 1991a; 1991b; 1999; 신정환과 강건우, 1992), 대부분 소경목 위주의 벌도작업 공정조사가 이루어져 왔으며, 특히 잣나무의 벌도작업 공정에 관한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 잣나무 간벌작업에서의 벌도작업 공정을 분석하고, 이를 이용하여 각 벌도단계별로 작업공정을 분석하여 좀 더 현실성 있는 품셈 적용기준의 기초자료를 제공하고자 하였다. 향후 각 수종별로 벌도작업 공정과 생산비용 산출에 필요한 기초자료를 구축하여야 하며, 이를 바탕으로 벌도작업에서의 품셈 적용기준을 새롭게 정립하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

조사 및 방법

1. 조사지와 벌도작업의 개요

본 연구의 조사지는 경기도 가평군 설악면 가일리에 위치한 잣나무 조림지로서, 4개의 벌도작업지로 구분하여 벌도작업 공정을 조사하였다. 4개 벌도작업지는 평균 임령이 30~45년생으로 Table 1과 같이 평균 흉고직경이 20~26 cm의 분포를 보이고 있다.

조사지는 작업자 4인이 각각 체인톱을 이용하여 벌도

대상목을 벌도하고, 임내에서 초두부와 가지를 제거한 후, 전간재집재를 실시하여 산물을 수집하는 방식으로 이루어졌으며, 간벌률은 본수대비 약 30%였다. 이때, 체인톱을 사용한 작업자 1인의 잣나무 벌도작업 공정을 조사하였으며, 작업자는 벌도 경력이 5~10년 이상으로 매우 숙련된 전문 작업자들로 구성되어 있었다.

2. 조사 방법

체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업 공정조사는 스톱워치(stop watch)를 이용한 연속작업시간 측정에 의해 실시하였으며, 작업자 1인이 벌도목까지 이동한 후, 제거대상목을 벌도하여 쓰러진 나무의 초두부와 가지를 제거하는 과정까지의 요소작업을 조사하였다(강건우, 1991a; 이준우 등, 1998). 작업공정은 벌도목까지의 이동(walking) 시간, 벌도목 주변 정리(removal)시간, 벌도(felling) 시간, 가지제거(limbing) 시간, 그리고 작업지연(delay)시간 등으로 구분하여 조사하였다. 이때, 작업지연 시간은 작업자의 휴식, 기계고장이나 수리, 주유 등의 기계장비와 관련된 지연시간, 그리고 벌도작업에서의 벌도목 걸림현상(hang-up) 등을 포함하여 조사하였다. 조사시 벌도목의 흉고직경(DBH), 벌도목까지의 이동거리(moving distance), 경사도(ground slope), 그리고 하층·관목의 분포밀도(density of vegetation and shrubs; DVS) 등을 함께 조사하여 시간 관측 야장에 기입하였다.

3. 분석방법

1) 벌도작업 공정 분석과 작업시간 추정식 산출

수집한 자료를 이용하여 체인톱을 이용한 잣나무의 벌도 작업시간과 작업공정을 분석하였다. 요소작업별로 수집된 시간조사 자료를 이용하여 벌도작업시간을 분석하고, 평균 작업시간을 추정하기 위한 벌도작업시간 예측 추정식을 도출하였다. 하나의 자료(cycle)는 작업자가 체인톱을 이용하여 잣나무 1본을 벌도하기 위해 벌도목을 지정 후, 벌도하여 가지제거 작업까지 완료한 것을 기준으로 하였다. 이와 같이 수집한 자료는 Table 2와 같이 평균작업시간 예측 추정식 도출에 필요한 추정자료(fit data)와 검증에 필요한 검증자료(test data)로 분류하였으며, 자료의 분류는 무작위 분류(random)에 의해 추정자료가 70%,

Table 1. Stand description and harvest volume in the study sites.

Site No.	Area (ha)	Mean		Trees per ha (no.)		Volume (m ³ /ha)	
		DBH (cm)	HT (m)	Pre-harvest	Removal	Pre-harvest	Removed
A	8	26	17	485	139	195.3	27.3
B	3	22	16	682	196	119.7	20.0
C	13	21	15	957	329	197.0	33.0
D	10	20	15	902	307	158.4	31.8

Table 2. Summary of the fit and test data (cycle) used to develop predictive equations of felling cycle time.

Species	Total	Fit data	Test data
<i>Pinus koraiensis</i>	210 (100%)	147 (70%)	63 (30%)

그리고 검증자료가 30%가 되도록 분류하였다(Snee, 1977).

작업시간 예측 추정식은 여러 가지 독립변수(벌도목의 DBH, 이동거리, 경사도, 하층·관목의 분포밀도) 중에서 중요한 인자만을 선택하도록 하기위해 중회귀분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)을 사용하였다(신만용 등, 2006; Lortz *et al.*, 1997). 이때, 각 변수들 간에 내부상관이 있는지를 검증하고(Belsley *et al.*, 1980; Myers, 1986; Judge *et al.*, 1988), 내부상관 문제를 제거하면서 최적변수조합에 의한 추정식이 도출되도록 하였다. 이와 같은 방법으로 도출된 추정식은 검증자료를 이용하여 추정식의 적합성을 검증하였다. 추정식의 통계검증 방법은 대응하는 두 표본평균간의 비교에 사용되는 t-검정을 사용하였으며(신만용과 한원성, 2006; Adebayo *et al.*, 2007), 이 검정에 사용되는 t-통계량은 다음과 같다.

$$t^* = \frac{\bar{D}}{s_{\bar{D}}}$$

여기서, t^* 는 t-통계량, \bar{D} 는 검증자료와 추정식에 의한 평균 벌도작업시간 차이의 평균치, 그리고 $s_{\bar{D}}$ 는 평균 벌도작업시간 차이의 평균치에 대한 표준오차이다.

2) 간벌단계별 벌도작업 공정 분석

잣나무의 간벌단계는 ‘지속가능한 산림자원 관리지침’의 수종별 시업기준에 근거하여 3단계로 구분하였다(산림청, 2008). Table 3과 같이 간벌단계를 3가지로 구분하였으며, 목표로 하는 생산재에 따라 간벌 횟수를 결정하게 된다. 잣나무를 ha당 3,000본 식재하였을 때, 소경재(small-diameter log) 생산을 목표로 할 경우 어린나무가꾸기를 2회 실시한 후, 간벌을 1회 실시하여 최종적으로 수확을 하게 된다. 중경재(media-diameter log) 생산을 목표로 할 경우에는 어린나무가꾸기 2회와 간벌을 2회 실시하며, 대경재(large-diameter log) 생산이 목표일 경우에도 어린나

무가꾸기 2회와 간벌작업을 3회에 걸쳐 실시한다. 어린나 무가꾸기는 식재 후 10년과 15년 후에 실시하며, 처음 어린나무가꾸기에서 1,000본, 그리고 두 번째에 500본을 제거하여 1차 간벌 직전에 ha당 임목본수가 1,500본이 되도록 관리하는 것을 기준으로 하였다(산림청, 2008).

위와 같은 간벌 단계에 따라서 작업시간을 분석하고, 작업공정을 산출하도록 하였으며, 이를 위해 앞에서 개발한 평균 벌도작업시간 예측 추정식을 이용하여 간벌단계별 임목의 평균 흉고직경을 기준으로 작업공정을 분석하였다. 이때 각 간벌 단계별 작업공정 분석 범위는 평균 흉고 직경의 ±5 cm 범위로 지정하였으며, 이동거리는 벌도목 간의 거리와 초두부를 제외한 수고를 합하여 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 벌도작업 공정 분석

체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업 조건은 Table 4와 같이 벌도목의 평균 흉고직경이 24 cm, 평균 이동거리가 약 9.6 m, 임분 경사도가 약 24°, 그리고 하층·관목은 아주 적게 분포하고 있었다. 이와 같은 작업조건에서 작업자 1인이 잣나무 1본을 벌도하는 평균 벌도작업시간은 463초였으며, 이때 1회 평균 작업지연시간이 약 135초로 잣나무 벌도작업에서의 기계가동률(machine utilization)은 약 71%로 분석되었다. 즉, 실제 작업자 1인이 잣나무 1본을 벌도하는 순수작업시간은 작업지연시간을 제외한 329초로 나타났다.

벌도작업에서의 요소작업별 소요시간은 Table 4와 같이 가지제거 작업시간이 247초(75%)로 가장 많은 시간이 소요되고 있었으며, 벌도작업 시간이 약 36초(11%)가 소요되고 있는 것으로 나타났다. 낙엽송이나 리기다소나무의 경우 벌도목의 가지제거 시간 비율이 50~60%인 것에 비해 잣나무의 가지제거 작업시간이 상당히 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다(한원성, 2008). 이것은 잣나무의 가지가 낙엽송이나 리기다소나무보다 비교적 굵고, 가지수가 많은 것이 원인인 것으로 판단된다. 그리고 벌도목 간의 이동시간과 주변정리 작업시간이 각각 30초

Table 3. Stand thinning scenario of Korean Pine in this study.

Classification	Thinning period		Mean DBH (cm)	Mean HT (m)	Trees per ha(no.)	
	No.	age			Residual	Removal
Small-diameter log	1	25	16	10	1,000	500
		35	21	16	400	400
Medium-diameter log	2	25	16	10	800	700
		35	21	16	400	400
Large-diameter log	3	25	16	10	800	700
		35	21	16	400	400
		60	30	21	250	150

Table 4. Stand description, average cycle time and felling productivity in this study.

Classification		Mean	Min	Max
Stand description	DBH (cm)	24.0	9	45
	Walking distances(m)	9.6	2	24
	Density of vegetation and shrubs(DVS)	1.1	1	3
	Ground slope (°)	23.5	12	34
Components time of felling cycle	Walking time (sec/cycle)	30	3	131
	Removal time (sec/cycle)	16	1	113
	Felling time (sec/cycle)	36	6	298
	Limbing time (sec/cycle)	247	16	920
	Average delay time (sec/cycle) (A)	135	0	1,715
	Average delay-free cycle time (sec/cycle) (B)	329	48	1,061
	Average cycle time (sec/cycle) (C=A+B)	463	61	2,103
Average volume (m ³ /cycle) (V)				0.29
Machine utilization (%) (B/C×100)				71
Felling productivity (m ³ /hr) (3600/C×V)				2.26

(9%)와 16초(5%)를 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

위와 같은 벌도작업에 의해 벌도된 잣나무 1본의 평균 흉고직경이 24 cm일 경우 이용가능한 재적(이용재적)은 약 0.29 m³/본이며(산림청, 2001), 작업자 1인이 체인톱을 이용하여 1본을 벌도하는 작업시간은 약 463초가 소요되므로, 시간당 약 7.8본/hr의 임목을 벌도할 수 있는 것으로 분석되었다. 즉, 평균 흉고직경이 24 cm인 잣나무 임분에서는 시간당 약 2.26 m³/hr의 임목을 벌도할 수 있는 것으로 분석되었으며, 비슷한 조건에서의 낙엽송 벌도작업에서는 시간당 약 2.63 m³/hr의 임목을 벌도하는 것에 비해 작업능률이 약간 떨어지는 것으로 분석되었다(한원성, 2008). 이것은 낙엽송에 비해 잣나무의 가지제거작업 시간이 더 많이 소요되기 때문인 것으로 판단된다. 결국 체인톱을 이용한 잣나무의 벌도작업이 1일 평균 6시간 이루어질 경우, 1인·1일 벌도작업량은 약 13.56 m³/인·일으로 판단된다.

2. 벌도작업시간 예측 추정식의 산출

벌도작업에서의 작업공정을 예측하기 위해 수집한 자료를 이용하여 벌도작업시간 추정식을 도출하였다. Table 2에서 분류한 자료 중 추정자료를 이용하여 단계별 회귀 분석 기법에 의해 벌도작업시간 예측 추정식을 아래와 같이 도출하였으며, 벌도목의 흉고직경, 이동거리, 그리고 하층·관목의 분포밀도 등 3개의 변수 조합에 의해 추정되는 것으로 나타났다. 이때, 추정자료를 이용한 벌도작업시간 예측 추정식의 모형 설명력을 나타내는 결정계수는 0.71로 분석되었다.

$$\text{time(sec)} = -223.58 + 19.09 \times \text{DBH} + 3.79 \times \text{Moving dist.} + 49.62 \times \text{DVS} \quad (R^2=0.71, n=147)$$

위와 같이 도출된 추정식의 적합성을 검증하기 위해 검

Table 5. Validation result of the regression equations based on the test data.

n	\bar{D}	$s_{\bar{D}}$	t^*	Prob> t
63	2.736	30.629	0.09	0.929

Table 6. Regression models to estimate the average cycle time(sec.) for felling.

Regression equations	n	R ²	Prob>F	Std. Err.	p-value
time(sec)= -237.98	210	0.72	<0.0001	29.113	<0.0001
+19.58×DBH				0.922	<0.0001
+3.92×Moving dist.				1.226	0.002
+51.49×DVS				14.994	0.001

증자료를 이용하여 t-검정을 실시한 결과 Table 5과 같이 실측치와 추정치 간에는 유의수준 5%에서 차이가 인정되지 않았다. 결국 통계적으로 잣나무 벌도작업시간 예측 추정식에 의한 작업시간 추정치와 실제 벌도작업 시간은 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상과 같이 본 연구에서 개발한 잣나무의 벌도작업시간 예측 추정식이 통계적으로 적합하다고 판단되며, 따라서 보다 많은 자료를 이용하여 추정식을 개발하기 위해 추정자료와 검증자료를 통합하여 최종적으로 추정식을 도출하도록 하였다(신만용 등, 2006). 통합된 자료에 의해 도출된 추정식은 Table 6과 같으며, 벌도목의 DBH, 이동거리, 그리고 하층·관목의 분포밀도 등에 의해 벌도작업시간이 결정되는 것으로 나타났다. 최종적으로 잣나무 벌도작업시간 예측 추정식의 결정계수는 0.72로 나타났으며, 추정자료를 이용하여 개발한 추정식보다 결정계수가 약간 높게 나타났다.

위와 같은 벌도작업시간 예측 추정식의 결과를 이용하

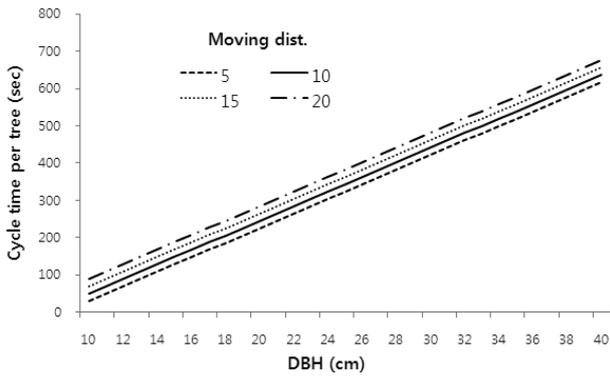


Figure 1. Comparison of felling time by DBH and moving distances.

여 흉고직경별로 이동거리와 하층·관목의 분포밀도 등에 따라 잣나무 1본의 벌도작업시간을 예측하여 Figure 1과 같은 결과를 산출하였다. 이때, 잣나무 임분에서는 하층식생이나 관목들이 잘 자라지 않는 점을 감안하여 하층·관목의 분포밀도는 1로 고정하여 계산하였으며, 작업자의 이동거리는 최대 20 m로 하고 5 m 단위로 설정하여 계산하였다. 따라서, Figure 1과 같은 결과를 이용하여 잣나무 간벌작업지에서의 벌도작업시간을 흉고직경과 이

동거리 등에 따라 예측할 수 있도록 하였다.

3. 간벌단계별 벌도작업 공정 분석

잣나무의 간벌단계는 Table 3과 같이 생산목표에 따라 시기와 간벌정도를 달리하게 된다. 즉, 간벌시기에 따라 잣나무 임목의 흉고직경과 수고 등이 달라지게 되며, 벌도작업 공정에도 변화가 생기게 된다. 따라서 체인톱을 이용한 잣나무의 간벌단계에 따른 벌도작업 공정을 분석하기 위해 본 연구에서 개발한 벌도작업시간 예측 추정식을 이용하였다. 분석은 각 간벌단계별 평균 흉고직경을 기준으로 벌도작업시간과 벌도작업 공정을 산출하였으며, 체인톱을 이용한 잣나무의 간벌단계별 벌도작업 공정(m³/인·일)은 Table 7과 같다. 이때 벌도되는 임목분수는 소경재 생산에서는 1차 간벌에서 500본, 중경재 생산에서는 1차 간벌시 700본, 2차 간벌시 400본이며, 대경재 생산에서의 벌도분수는 1차, 2차, 3차 간벌에서 각각 700본, 400본, 그리고 150본을 기준으로 하였다(산림청, 2008).

Table 7에서 보듯이 소경재 생산이 목표인 임분에서는 1회 간벌을 실시하며, 벌도목의 평균 흉고직경이 16 cm일 경우, 1일 벌도작업 공정은 8.94 m³/인·일로 분석되었다

Table 7. Felling productivity by thinning period of Korean Pine.

Thinning period	Felling productivity (m ³ /man · day)					
	Small-diameter log		Medium-diameter log		Large-diameter log	
DBH	1st	1st	2nd	1st	2nd	3rd
11	8.88	9.18		9.18		
12	8.52	8.70		8.70		
13	8.40	8.58		8.58		
14	8.52	8.64		8.64		
15	8.70	8.82		8.82		
16	8.94	9.06	8.88	9.06	8.88	
17	9.30	9.42	9.18	9.42	9.18	
18	9.66	9.78	9.54	9.78	9.54	
19	10.02	10.14	9.96	10.14	9.96	
20	10.50	10.56	10.38	10.56	10.38	
21	10.92	11.04	10.86	11.04	10.86	
22			11.34		11.34	
23			11.82		11.82	
24			12.30		12.30	
25			12.84		12.84	12.42
26			13.32		13.32	12.96
27						13.50
28						14.04
29						14.58
30						15.12
31						15.72
32						16.26
33						16.86
34						17.46
35						18.00

. 1차 간벌 시기에 25년생 잣나무 임분의 흉고직경 분포가 11~21 cm의 범위에 있을 경우 1일 벌도작업 공정은 약 8.88~10.92 m³/인·일로 분석되었다.

중경재 생산이 목표인 임분에서는 총 2회의 간벌을 실시하며, 1차 간벌에서는 벌도작업 공정이 9.18~11.04 m³/인·일로 소경재 생산에서의 간벌보다 작업공정이 약간 높게 나타났으며, 2차 간벌작업에서는 벌도작업 공정이 8.88~13.32 m³/인·일로 분석되었다.

대경재 생산이 목표인 임분에서는 3회에 걸쳐 간벌이 시행되며, 1차와 2차 간벌에서의 벌도작업 공정은 중경재 생산 임분과 같으며, 3차 간벌에서의 벌도작업 공정은 12.42~18.00 m³/인·일로 나타났다.

이와 같이 각 간벌 단계별로 임분의 평균 흉고직경에 따라 벌도작업 공정이 다르게 나타나고 있으며, 수종별로도 벌도생산성은 다르게 나타난다(한원성, 2008). 따라서 산림작업 실행 계획을 작성할 경우 이러한 점들을 감안하여 벌도작업 공정을 적용하여야 할 것이다. 향후, 각 수종별로 간벌단계에 따른 작업능률을 산정하여 숲가꾸기 품셈 적용기준에 새롭게 반영이 되어 좀 더 효율적이고 현실적인 사업이 진행되도록 활용해야 할 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 체인톱을 이용한 잣나무 벌도작업에서의 작업공정을 분석하고, 간벌단계별 작업공정을 예측하고자 하였다. 이를 위해 연속작업시간 측정에 의해 자료를 수집하였으며, 잣나무의 벌도작업 공정을 분석하고, 작업공정 예측을 위한 작업시간 예측 추정식을 개발하였다. 잣나무의 평균 흉고직경이 24 cm일 경우 평균 벌도작업 시간은 약 463초/cycle로 나타났으며, 이중 가지제거 작업 시간이 75%를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 벌도작업 공정 예측을 위해 개발한 벌도작업시간 예측 추정식은 벌도목의 흉고직경, 이동거리 그리고 하층·관목의 분포 밀도 등에 의해 결정되는 것으로 나타났다. 이러한 추정식을 이용하여 흉고직경별로 이동거리와 하층·관목의 분포밀도에 따라 잣나무의 벌도작업 시간을 추정하였다. 본 연구의 조사지에서는 잣나무의 평균 흉고직경이 24 cm일 경우, 1인·1일의 벌도작업 공정은 약 13.56 m³/인·일로 나타났다.

잣나무의 간벌단계별 벌도작업 공정을 분석하기 위해 시업기준을 소경재 생산, 중경재 생산, 그리고 대경재 생산 등으로 분류하고, 목표수확기까지 1~3회에 걸쳐 간벌작업을 실시하며 이때의 간벌단계별 벌도작업 공정을 분석하기 위해 벌도작업시간 예측 추정식을 이용하였다. 소경재 생산이 목표인 임분에서는 한번의 간벌작업을 실시하며, 이때 임분의 평균 흉고직경은 약 16 cm로 1일 약

8.94 m³을 생산할 수 있는 것으로 분석되었다. 중경재 생산이 목표인 임분에서는 총 2회의 간벌작업을 실시하며, 첫번째 간벌단계에서는 평균 흉고직경이 약 16 cm이며, 이때 1일 벌도작업 공정은 약 9.06 m³/인·일로 분석되었다. 두 번째 간벌단계에서의 임목의 평균 흉고직경은 약 21 cm이며, 이때의 벌도작업 공정은 1일 약 10.86 m³/인·일로 분석되었다. 그리고 대경재 생산이 목표인 임분에서는 3회의 간벌을 실시하며, 1, 2차 간벌단계에서의 벌도작업 공정은 중경재 생산과 동일하고, 마지막 3차 간벌 단계에서는 임목의 평균 흉고직경이 약 30 cm로, 이때의 벌도작업 공정은 1일 약 15.12 m³/인·일로 분석되었다.

본 연구에서와 같이 벌도작업에서의 작업공정을 수종별로 분석하고, 임분의 간벌단계별 1일 벌도작업 공정 등을 분석하여 숲가꾸기 품셈 적용기준에 반영 한다면, 향후 산림작업 시행에서 좀 더 효율적이고 현실적인 사업계획을 작성하는데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 강건우. 1989. 임업에서의 순작업시간과 임목형상조건과의 관계 연구. 한국임학회지 78(4): 381-395.
2. 강건우. 1991a. 벌목작업 표준화 연구. 한국임학회지 80(2): 220-231.
3. 강건우. 1991b. 몇가지 침엽수종의 간벌작업 공정에 관한 연구. 자원문제연구 10: 29-37.
4. 강건우. 1999. 체인톱을 사용한 소나무 간벌작업에서의 생산성 연구. 산림경제연구 7(2): 12-18.
5. 국립산림과학원. 2006. 우리나라의 산림녹화 성공 요인 - 가용연료의 대체와 대규모 조림. 연구보고 06-17. pp.78.
6. 노재후, 김재원. 1984. 5변수 체인쏘 벌목공정표 조제에 관한 연구. 임업시험장 연구연보 31: 1-19.
7. 산림청. 2001. 재적 중량표(입목 및 원목). pp.259.
8. 산림청. 2007. 임업통계연보. pp.78.
9. 산림청. 2008. 지속가능한 산림자원 관리지침/숲가꾸기 설계감리 및 사업시행 지침. pp.169.
10. 신만용, 정일빈, 구교상, 원형규. 2006. 환경요인에 의한 잣나무의 지위지수 추정식 개발과 적지판정. 한국농림기상학회지 8(2): 97-106.
11. 신만용, 한원성. 2006. 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법의 개발. 한국임학회지 95(3): 370-377.
12. 신정환, 강건우. 1992. 벌채작업에서 요소작업 구분별 소요시간 분석에 관한 연구. 자원문제연구 11: 85-95.
13. 이준우, 박법진, 김재원, 송태영. 1998. 체인톱을 이용한 낙엽송 벌목작업에서의 작업강도분석. 한국임학회지 87(2): 121-130.
14. 한원성. 2008. 임목수확 및 운송비용 예측모델의 개발. 국민대학교 대학원 박사학위논문. pp.157.
15. Adebayo, A.B., Han, H.S. and Johnson, L. 2007. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting

- in a mixed-conifer stand. *Forest Products Journal* 57(6): 59-69.
16. Belsley, D.A., Kuh, E. and Welsch, R.E. 1980. *Regression diagnostics*. John Wiley & Sons, New York, pp.292.
17. Judge, G.G., Hill, R.C., Griffiths, W.E., Lutdepohl, H. and Lee, T. 1988. *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*. John Wiley & Sons. New York, pp.1024.
18. Lortz, D., Kluender, R., Mccoy, W., Stokes, B. and Klepac, J. 1997. Manual felling time and productivity in Southern Pine forests. *Forest Products Journal* 47(10): 59-63.
19. Myers, R.H. 1986. *Classical and modern regression with applications*. Duxbury Press. pp.395.
20. Snee, R.D. 1977. Validation of regression models : Methods and examples. *Technometrics* 19: 415-428.
-

(2009년 6월 30일 접수; 2009년 9월 15일 채택)