

## 임목수확방법별 벌도작업 생산성 및 비용 분석

조민재<sup>1</sup> · 최윤성<sup>2</sup> · 문호성<sup>2</sup> · 이충진<sup>3</sup> · 이은재<sup>4</sup> · 정용진<sup>1</sup> · 오재현<sup>2</sup> · 한상균<sup>5</sup> · 김대현<sup>3</sup> · 차두송<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림과학부, <sup>2</sup>국립산림과학원 생산기술연구소, <sup>3</sup>강원대학교 바이오시스템공학과,  
<sup>4</sup>서울대학교 산림과학부, <sup>5</sup>한국농수산대학 산림조경학과

## Productivity and Costs of Felling Operation for Three Harvesting Methods in Mixed Forest Stands

Min-Jae Cho<sup>1</sup>, Yun-Sung Choi<sup>2</sup>, Ho-Seoung Mun<sup>2</sup>, Chung-Geon Lee<sup>3</sup>, Eun-Jai Lee<sup>4</sup>,  
Eung-Jin Jung<sup>1</sup>, Jae-Heun Oh<sup>2</sup>, Sang-Kyun Han<sup>5</sup>, Dae-Hyun Kim<sup>3</sup> and Du-Song Cha<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

<sup>2</sup>Forest Practice Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

<sup>3</sup>Department of Bio System Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

<sup>4</sup>Department of Forest Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>5</sup>Department of Forestry and Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries,  
Jeonju 54874, Korea

**요 약:** 본 연구는 동일한 임분조건에서 작업자 2명(A: 작업경력 5년 이하, B: 작업경력 15년 이상)을 대상으로 임목수확방법별(전목수확·전간수확·단목수확)에 따른 벌도작업의 작업생산성과 비용을 분석하였다. 전목작업에서 작업자 A의 생산성은 10.3 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 2,066원/m<sup>3</sup>이며, 작업자 B는 생산성 12.7 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용 2,201원/m<sup>3</sup>으로 산출되었으며, 시간당 생산성은 작업자 B가 다소 높았지만, 작업비용은 작업자 B의 높은 임금으로 작업자 A가 약간 낮게 나타났다(p>0.05). 전간작업의 경우 작업자 A와 B의 생산성은 각각 2.2 m<sup>3</sup>/SMH와 3.3 m<sup>3</sup>/SMH이며, 작업비용은 각각 9,890원/m<sup>3</sup>과 8,459원/m<sup>3</sup>으로, 작업자 B가 A보다 생산성은 높게, 작업비용은 낮게 산출되어 작업의 숙련도에 따라 큰 차이를 보이고 있었다(p<0.05). 단목작업에서 작업자 A와 B의 생산성은 2.3 m<sup>3</sup>/SMH와 3.0 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 9,584원/m<sup>3</sup>, 9,395원/m<sup>3</sup>으로, 작업자 B의 생산성이 높고, 작업비용은 낮게 산출되었다(p>0.05). 이와 같이 벌도작업 중에서도 임목의 절단작업과 같이 높은 숙련도를 요구하지 않는 단순작업에서는 오히려 작업자의 임금이 생산비용에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 가지정리와 같이 임지 내 벌도목 사이를 이동하며, 작업하는 것은 작업자의 높은 숙련도가 작업경비의 저감에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

**Abstract:** The purpose of this study was to broaden our knowledge on the productivity and costs of felling operation in three different harvesting methods(whole tree, tree-length and cut-to-length). Felling was conducted in three different harvesting methods with two workers who have different work experiences. Worker A and B have had felling experiences for about 5 years and 15 years, respectively. Felling productivity in whole tree method was 10.3 m<sup>3</sup>/SMH for worker A and 12.7 m<sup>3</sup>/SMH for worker B. Felling costs for worker A and B were 2,066 won/m<sup>3</sup> and 2,201 won/m<sup>3</sup>, respectively. Although felling productivity of worker B in whole tree method was higher than worker A, felling costs of worker A were similar to worker B because the wage of worker B was more expensive than the wage of worker A (p>0.05). In tree-length method, felling cost of worker B were cheaper than that of worker A. Felling productivity and cost in tree-length method were 2.2 m<sup>3</sup>/SMH and 9,890 won/m<sup>3</sup> for worker A and 3.3 m<sup>3</sup>/SMH and 8,459 won/m<sup>3</sup> for worker B, respectively (p<0.05). In cut-to-length method, felling productivity and cost were 2.3 m<sup>3</sup>/SMH and 9,584 won/m<sup>3</sup> for worker A and 3.0 m<sup>3</sup>/SMH and 9,395 won/m<sup>3</sup> for worker B, respectively. Felling productivity of worker B was higher than that of worker A (p>0.05). Our preliminary results found that harvesting methods and worker's experiences highly affect on the productivity and costs of felling operations. These results should be useful for forest managers when planning cost-effective harvesting operations.

**Key words:** felling cost, whole-tree, tree-length, cut-to-length, work experiences

\*Corresponding author  
E-mail: dscha@kangwon.ac.kr

## 서론

우리나라는 1970년 치산녹화사업의 성공과 지속적인 숲가꾸기 사업 등으로 IV영급 이상의 산림이 65.3%로 장·노령림으로 변화함에 따라 지속적인 간벌 및 개벌 등의 산림사업 요구가 점점 증가되고 있다(Korea Forest Service, 2015a). 또한 목재자원 보유국의 수출규제와 자국의 자원 보호 등에 따른 목재 수입의 여건이 악화되고 있으며, 산림청은 2014년 기준 국내 목재자급률은 16.7%를 2017년까지 21.0%로 증대방안을 추진하는 등 국산재의 생산 및 이용에 관한 기대가 높아지고 있다(Korea Forest Service, 2015b).

임목수확작업에서 벌도작업은 가장 기본이 되는 작업으로, 체인톱이 최초로 보급된 1960년대 이후부터 현재까지 대부분의 벌도작업에서 체인톱이 이용되고 있다. 현재 체인톱을 이용한 벌도작업에서는 작업자의 숙련도에 따라 임금이 차등적으로 지급되고 있으나, 작업자의 숙련도에 따른 작업 생산성 및 비용에 대한 검토는 대부분 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 과거의 목재수확작업은 대부분 단목작업 중심으로 작업자의 능력에 따라 생산성 및 비용의 차이가 구분 가능하였으나, 현재와 같이 다양한 임목수확방법에서 작업자의 능력에 의해 생산성 및 비용의 차이에 관한 연구는 미흡한 실정이다(Lee et al., 1998). 이에 벌도작업의 비용을 절감하기 위해서는 작업의 난이도 및 작업자의 숙련도를 고려하여 작업자를 적절하게 배치하는 것이 필요하다.

우리나라 벌도작업에 관한 기존 연구를 살펴보면, 리기다소나무림과 낙엽송림에서 전목작업에 대한 벌도작업 생산성 및 비용분석(Kim and Park, 2012; Cho et al., 2014)을 하였고, 낙엽송림, 리기다소나무림, 잣나무림에서 전간작업에 대한 벌도작업 생산성 및 비용을 분석하였다(Han, 2008; Han et al., 2009; Cho, 2015; Cho et al., 2015). 또한 Kang(1999)은 체인톱을 이용한 소나무 간벌작업지에서 단목작업의 생산성을 연구하였고, Kim and Park(2012)은 리기다소나무림의 개벌작업지에서 단목작업에 대해 작업시간 및 공정분석을 실시하였다.

국외는 Bruce et al.(1998)이 미국 폰데로사 소나무조림지를 대상으로 전목, 전간 및 단목작업에서 체인톱과 펠러번처를 이용한 벌도작업 생산성 및 비용을 산출하고, 생산성 예측모델식을 개발하였으며, 애팔래치아(Appalachian) 산맥의 활엽수림에서 수종별 전간작업에 대한 벌도작업 생산성 및 비용을 분석하였다(Jingxin et al., 2004). Damson and Han(2007)은 4가지 작업종(개벌, 이령림, 간벌, 군상간벌)별 펠러번처(Timbc0 445-D)와 체인톱(Stihl 064)을 이용한 벌도작업의 생산성 및 비용에 관한 연구를 실시하였으며, Farshad(2012)는 카스

피(Caspian) 산림을 대상으로 체인톱을 이용한 벌도작업에서 벌채목 선정 방식에 따른 생산성에 관한 연구를 실시하였다.

이와 같이 다양한 임분조건을 대상으로 임목수확방법 및 작업방식에 따른 벌도작업의 차이에 관한 연구는 많이 진행되어왔으나, 동일한 임분조건을 대상으로 임목수확방법과 작업자의 숙련도에 따른 벌도작업의 생산성 및 비용 분석에 관한 연구는 아직까지 시도된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 경기도 이천시 호법면의 혼효림 개별작업지에서 임목수확방법과 작업자의 숙련도에 따른 벌도작업의 생산성 및 비용을 산출하고, 기계이용률 변화에 따른 벌도작업 생산성 및 비용분석으로 효율적인 벌도작업을 제시하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상지

연구대상지는 경기도 이천시 호법면 모곡리 17임반 3소반에 위치한 혼효림으로, 총면적은 7.2 ha이다. 수종은 리기다소나무(*Pinus rigida*), 잣나무(*Pinus koraiensis*) 및 활엽수(broad-leaved tree) 등으로 구성되어 있으며, 평균 산지경사 30°, 평균직경 21 cm, 평균수고 14 m, 평균임목축적 121.1 m<sup>3</sup>/ha이다. 벌도작업은 Figure 1과 같이 전목수확(1.8 ha), 전간수확(3.1 ha) 및 단목수확(2.3 ha)으로 구분하였다.

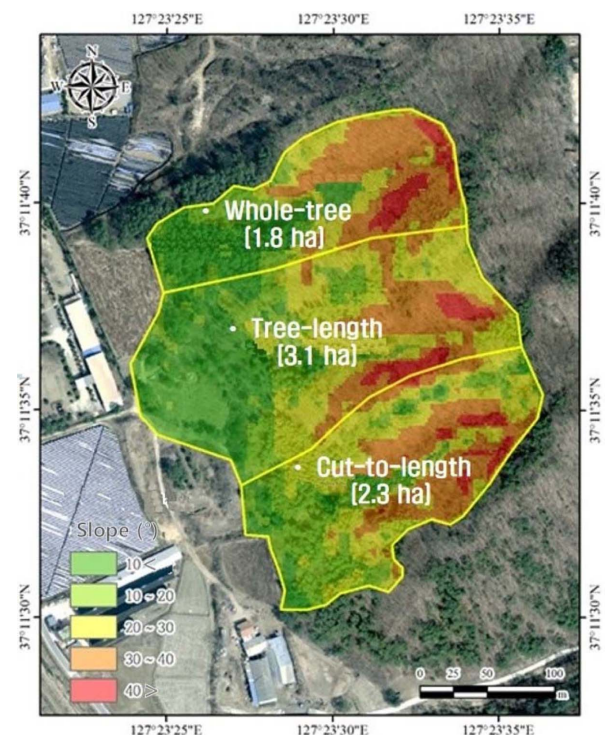


Figure 1. Study site.

## 2. 벌도작업의 개요

임목수확방법(전목·전간·단목)에 따라 작업자 A(경력 5년 미만), 작업자 B(경력 15년 이상)로 구분하여 벌도작업을 실시하였으며, 전목작업은 벌도작업만, 전간작업은 벌도작업+가지정리작업, 단목작업은 벌도작업+가지정리작업+절동작업으로 구분하였다. 사용된 체인톱(STIHL MS261)은 배기량 50.2cc, 중량 5.3 kg, 가이드바 40 cm, 연료탱크 용량 0.5 L, 오일탱크 용량 0.25 L이다.

## 3. 조사방법

작업비용 산출을 위한 작업생산성은 각 공정별 요소작업으로 구분하여 동작연구방법(time and motion study)을 적용하였다.

벌도작업에 있어서 요소작업은 이동시간, 하층정리시간, 벌목시간, 가지정리시간, 절동시간, 작업지연시간(Delay)이며, 작업지연시간(Delay)은 휴식 및 작업자 대화 등과 같은 작업자지연(Personal delay), 주유 및 오일보충, 날세우기 및 장비점검 등의 기계적지연(Mechanical delay), 체인톱끼임, 나무걸림 및 주변정리 등의 작업지연(Operational delay)으로 구분하였다(Cho, 2015). 일일 작업은 전체작업시간(SMH; Scheduled Machine Hour), 순수작업시간(PMH; Productive Machine Hour) 및 작업지연시간(Delay)으로 구분하였다.

## 4. 분석방법

벌도작업비용(won/m<sup>3</sup>)은 기계비용(won/hr)과 작업생산성(m<sup>3</sup>/hr)을 이용하여 산출하였으며, 기계비용과 생산성분석에 이용되는 기계이용률(%)은 전체작업시간(SMH)과 순수작업시간(PMH)으로 산출하였다. 두 작업자간의 평균 순수작업시간은 SPSS 통계프로그램의 t-검정을 이용하여 분석하였다(p<0.05).

$$\text{Felling cost(won/m}^3\text{)} = \frac{\text{Machine cost(won/hr)}}{\text{Productivity(m}^3\text{/hr)}}$$

$$\text{Utilization(\%)} = \frac{\text{PMH}}{\text{SMH}} \times 100$$

### 1) 작업생산성

작업생산성(m<sup>3</sup>/hr)은 시간당 생산본수(본/hr)와 본수당 원목재적(m<sup>3</sup>/본)으로 산출한다. 즉, 요소작업별로 측정된 연속작업시간을 이용하여 시간당 생산본수를 구하였으며, 원목재적은 스말리언(Smalian)식을 이용하여 산출하였다.

### 2) 기계비용

기계비용은 고정비용, 운영비용, 노무비로 구분되며, 고정비용은 감가상각비, 이자, 보험, 세금이고, 운영비용은 연료비, 윤활유비 등이 포함된다. 기계비용은 연간 기계이용시간을 고려한 계산법(machine rate calculation)을 이용

**Table 1. Cost factors and assumptions used for machine rate calculations.**

Cost factor	Unit	Felling
		Chainsaw
Purchase price	won	900,000
Economic lives	years	1
Salvage value	%	0
Scheduled operating time	hr/year	2,000
Annual interest rate	%	10
Repair and maintenance	%	80
Oil price	won/L	1,578
Coefficient of lubricant	%	50
Fuel consumption	L/hr	0.8
Daily wage of operator A	won/day	130,000
Daily wage of operator B	won/day	170,000

하여 산출하였다(Woo et al., 1990; Miyata, 1980; Brinker et al., 2002). 또한 벌도작업비용 산출을 위한 기계비용 인자 값은 현장조사를 통하여 Table 1과 같이 종합적으로 정리하였다(Han et al., 2014; Cho et al., 2016).

### 3) 기계이용률 변화에 따른 벌도작업 생산성 및 비용

임목수확방법에 따라 작업자 A와 B의 시간당 생산성(m<sup>3</sup>/PMH)을 산출한 후, 기계이용률을 현재 체인톱 가동률인 최소 40%에서 최대 80%까지의 벌도작업의 생산성(m<sup>3</sup>/SMH)과 비용(원/m<sup>3</sup>)을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 전목작업

#### 1) 벌도작업 생산성 및 비용

두 작업자의 분당 평균작업시간 및 m<sup>3</sup>당 작업비용은 Table 2 및 Table 3과 같다. 작업자 A의 기계이용률(%)은 약 46.1%로서, 평균 전체작업시간(SMH)은 91초, 평균 순수작업시간(PMH)은 42초이며, 평균 작업지연시간(Delay)은 49초로써 약 53.9%를 점유하고 있다. 순수작업시간 중

**Table 2. Average cycle time in whole-tree felling. (unit : sec.)**

Classification	Operator A		Operator B	
	Average (n=157)	Standard deviation	Average (n=167)	Standard deviation
Moving	18	11	22	15
Clear felling area	3	8	2	5
Felling	21	13	19	14
PMH <sup>2</sup>	42	19	42	21
Delay	49	193	32	210
SMH <sup>3</sup>	91	196	75	213

<sup>2</sup>Productive machine hour, <sup>3</sup>Scheduled machine hour

Table 3. Whole-tree felling cost in this study.

		Operator A	Operator B
Machine utilization(%)		46.1	56.7
Fixed costs (won/SMH)	Depreciation cost	450	450
	Interest, Insurance and Tax	45	45
Operating costs (won/SMH)	Fuel cost	1,261	1,261
	Lube cost	630	630
	Repair and Maintenance cost	782	630
	Labor cost	16,250	21,250
Labor costs (won/SMH)	Benefit cost	1,885	2,465
	Insurance cost	1,770	2,315
Total machine costs (won/SMH)		21,276	27,957
Hourly productivity (m <sup>3</sup> /SMH)		10.3	12.7
Felling cost (won/m <sup>3</sup> )		2,066	2,201

에서는 평균 벌도시간이 21초로 가장 많은 시간을 차지하고 있으며, 평균 이동시간은 18초, 평균 하층정리시간은 3초이다. 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 48.7%를 차지하였고, 기계적지연(Mechanical delay) 41.1%, 작업지연(Operational delay) 10.2%순으로 나타났다. 이에 평균임목재적이 0.26 m<sup>3</sup>/분이고 시간당 39본/SMH를 벌도하여, 작업생산성은 10.3 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 2,006원/m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 또한 작업자 B는 전체작업시간(SMH)이 75초, 순수작업시간(PMH)이 42초, 작업지연시간(Delay)이 32초로써 기계이용률(%)은 56.7%로 산출되었으며, 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 62.7%이고 기계적지연(Mechanical delay) 19.7%, 작업지연(Operational delay) 17.6%순으로 나타났다. 시간당 벌도작업 본수는 48본/SMH, 평균임목재적 0.26 m<sup>3</sup>/분을 벌도하여, 시간당 작업생산성은 12.7 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 2,201원/m<sup>3</sup>이다.

두 작업자의 평균 순수작업시간을 비교하면 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았으나(p>0.05), 작업자 A는 작업지연시간이 높은 관계로 기계이용률이 낮게 산출되어 작업생산성은 낮은 것으로 나타났으나, 낮은 임금으로 작업비용은 낮게 산출되었다. 따라서 벌도작업과 같이 임목을 단순히 절단하는 작업에서는 어느 정도의 숙련을 가진 저임금 작업자에게 작업을 실행시키는 것이 작업비용의 절감효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 또한 작업자 A의 작업생산성을 높이는 위해서 작업지연시간 중에서 날세우기, 주유 및 오일보충 등과 같은 기계적지연(Mechanical delay)을 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

벌도작업의 생산성을 검토해 보면, Kim and Park(2012)은 본 연구대상지와 동일한 산지경사의 리기다소나무림에서 전목순수작업시간이 46.6초(이동시간 15.4초, 주변정리시간 18.7초, 벌도시간 10.8초)로써 기계이용률을 고려

Table 4. Sensitivity analysis of productivity and cost of whole-tree felling

Utilization (%)	Operator A		Operator B	
	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )
40	9.0	2,433	8.9	3,128
50	11.2	1,946	11.2	2,502
60	13.5	1,622	13.4	2,085
70	15.7	1,390	15.7	1,787
80	18.0	1,216	17.9	1,564

한 생산성은 9.7 m<sup>3</sup>/SMH으로 나타났으며, Cho et al. (2014)은 환경사지의 낙엽송림에서 전목순수작업시간이 98초(이동시간 53초, 벌도시간 45초), 작업생산성은 17.93 m<sup>3</sup>/SMH으로 산출되었다. 이는 본 연구의 결과와는 상이하게 산출되었으나, 현장조사에 따르면, 전목작업의 벌도작업의 작업시간 및 생산성은 임목의 흉고직경 크기와 이동거리에 따라서 변화되며, 산지경사는 그다지 영향을 미치는 않는 것으로 판단된다.

## 2) 기계이용률 변화에 따른 벌도작업 비용

두 작업자의 동일한 조건에서 작업능력을 비교하는 순수작업시간만을 대상으로 기계이용률을 변화시키면서 작업자간의 생산성 및 비용을 검토하였다. 작업자 A와 B는 Table 2의 본당 순수작업시간 42초를 기준으로 본당 평균 임목재적 0.26 m<sup>3</sup>/분, 시간당 85본/PMH를 적용하면 작업생산성은 시간당 22.3 m<sup>3</sup>/PMH로 산출되었다. 따라서 기계이용률을 최소 40%에서 최대 80%까지의 변화에 따른 작업비용은 Table 4와 같이 산출되었다. 작업자 A보다 작업자 B의 인건비가 높은 관계로 기계이용률 80%에서 최소 348원/m<sup>3</sup>, 기계이용률 40%에서 최대 695원/m<sup>3</sup>으로 기계이용률이 높을수록 차이가 적게 나타났으며, 전목작업에 있어서의 벌도작업은 다른 임목수확방법에 비해 작업공정이 작은 것으로 작업자의 숙련도가 작업생산성과 비용에 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

## 2. 전간작업

### 1) 벌도와 가지정리작업 생산성 및 비용

두 작업자의 본당 평균작업시간 및 m<sup>3</sup>당 작업비용은 Table 5와 Table 6과 같으며, 작업자 A의 기계이용률(%)은 약 53.7%로서, 평균 전체작업시간(SMH)은 360초, 평균 순수작업시간(PMH)은 193초이며, 평균 작업지연시간(Delay)은 167초로써 약 46.3%를 점유하고 있다. 순수작업시간 중에서는 평균 가지정리시간이 102초로 가장 많은 시간을 차지하고 있으며, 평균 하층정리시간은 48초, 평균 벌도시간은 22초, 평균 이동시간 21초이다. 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 70.8%로 대부분을

**Table 5. Average cycle time in tree-length felling and delimiting.**  
(unit : sec.)

Classification	Operator A		Operator B	
	Average (n=147)	Standard deviation	Average (n=176)	Standard deviation
Moving	21	18	29	25
Clear felling area	48	84	11	14
Felling	22	30	18	12
Delimiting	102	103	91	64
PMH <sup>2</sup>	193*	150	153*	81
Delay	167	453	128	357
SMH <sup>3</sup>	360	493	281	366

<sup>2</sup>Productive machine hour, <sup>3</sup>Scheduled machine hour  
\*: p<0.05

**Table 6. Tree-length felling and delimiting cost in this study.**

		Operator A	Operator B
Machine utilization(%)		53.7	54.5
Fixed costs (won/SMH)	Depreciation cost	450	450
	Interest, Insurance and Tax	45	45
Operating costs (won/SMH)	Fuel cost	1,261	1,261
	Lube cost	630	630
	Repair and Maintenance cost	683	662
Labor costs (won/SMH)	Labor cost	16,250	21,250
	Benefit cost	1,885	2,465
	Insurance cost	1,770	2,315
Total machine costs (won/SMH)		21,758	27,914
Hourly productivity (m <sup>3</sup> /SMH)		2.2	3.3
Felling and delimiting cost (won/m <sup>3</sup> )		9,890	8,459

차지하였고, 기계적지연(Mechanical delay) 21.4%, 작업지연(Operational delay) 7.8%순으로 나타났다. 이에 평균임목재적이 0.22 m<sup>3</sup>/분이고 시간당 10분/SMH을 벌도와 가지정리를 하여, 작업생산성은 2.2 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 9,890원/m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 또한 작업자 B는 전체작업시간(SMH)이 281초이고, 순수작업시간(PMH)이 153초, 작업지연시간(Delay)이 128초로써 기계이용률(%)은 54.5%로 산출되었으며, 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 70.1%이고 기계적지연(Mechanical delay) 18.8%, 작업지연(Operational delay) 11.1%순으로 나타났다. 시간당 벌도와 가지정리작업 본수는 13분/SMH, 평균임목재적 0.26 m<sup>3</sup>/분을 벌도와 가지정리를 하여, 시간당 작업생산성은 3.3 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 8,459원/m<sup>3</sup>이다.

두 작업자의 평균 순수작업시간을 비교하면 통계적으로 유의한 차이가 존재하였으며(p<0.05), 작업자 B가 작업지연시간이 낮은 관계로 기계이용률이 높게 산출되어 작업생산성이 높았으며, 높은 임금에도 작업비용은 낮게 산출되었다. 따라서 벌도와 가지정리작업과 같이 임목을

절단하고 쓰러진 나무사이를 이동하면서 가지를 제거하는 작업에서는 숙련도가 높은 고임금 작업자에게 작업을 실행시키는 것이 작업비용의 절감효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 또한 작업자 A의 작업생산성을 높이기 위해서는 작업자의 숙련도 향상도 필요하지만, 날세우기, 주유 및 오일보충 등과 같은 기계적지연(Mechanical delay)을 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

벌도와 가지정리작업의 생산성을 검토해 보면, Han et al.(2009)은 잣나무림의 급경사지에서 전간순수작업시간이 329초(이동시간 30초, 주변정리시간 16초, 벌도시간 36초, 가지정리시간 247초)로써 기계이용률을 고려한 생산성은 2.3 m<sup>3</sup>/SMH으로 나타났으며, Cho et al.(2015)은 낙엽송림의 경사지에서 전간순수작업시간이 189초(이동시간 55초, 주변정리시간 4초, 벌도시간 22초, 가지정리시간 108초), 작업생산성은 4.4 m<sup>3</sup>/SMH으로 산출되었다. 이는 본 연구의 결과와는 상이하게 산출되었으나, 전간작업에서 벌도와 가지정리작업의 작업시간 및 생산성은 산지경사와 수종별 가지정리시간에 따라서 변화되는 것으로 판단된다.

2) 기계이용률 변화에 따른 벌도와 가지정리작업 생산성 및 비용

작업자 A와 B의 기계이용률 변화에 따른 전간작업 생산성(m<sup>3</sup>/SMH)과 비용(원/SMH)을 비교·분석하기 위해 순수작업시간(PMH) 당 생산성(m<sup>3</sup>/PMH)을 산출하였다. 순수작업시간을 기준으로 전간작업의 작업생산성은 작업자 B가 6.1 m<sup>3</sup>/PMH로 작업자 A의 4.1 m<sup>3</sup>/PMH보다 높았으며, 작업자 B의 인건비가 높음에도 작업자 B의 작업비용이 작업자 A보다 단위재적 당 최소 947원/m<sup>3</sup>에서 최대 1,896원/m<sup>3</sup>이 낮게 나타났다(Table 7). 또한 기계이용률 60%를 기준으로 전간작업(벌도+가지정리)비용에서 전목작업(벌도)비용을 제외하면 작업자 A의 가지정리작업비용은 7,247원/m<sup>3</sup>이고, 작업자 B는 5,520원/m<sup>3</sup>으로 가지정리작업비용이 증가하였다. 따라서 전간작업에서는 작업량이 많아질수록 작업자의 숙련도가 작업생산성 및 비용에는 영향을 미치는 것으로 판단된다.

**Table 7. Sensitivity analysis of productivity and cost of tree-length felling.**

Utilization (%)	Operator A		Operator B	
	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )
40	1.6	13,305	2.5	11,409
50	2.1	10,643	3.1	9,127
60	2.5	8,869	3.7	7,605
70	2.9	7,602	4.3	6,518
80	3.3	6,651	4.9	5,704

**Table 8. Average cycle time in cut-to-length felling and processing.**  
(unit : sec.)

Classification	Operator A		Operator B	
	Average (n=107)	Standard deviation	Average (n=146)	Standard deviation
Moving	29	21	43	38
Clear felling area	8	13	10	16
Felling	16	7	21	11
Delimiting	152	102	151	105
Bucking	29	29	31	22
PMH <sup>2</sup>	233	133	255	140
Delay	121	437	117	329
SMH <sup>3</sup>	345	474	372	354

<sup>2</sup>Productive machine hour, <sup>3</sup>Scheduled machine hour

**Table 9. Cut-to-length felling and processing cost in this study.**

		Operator A	Operator B
Machine utilization(%)		67.7	68.7
Fixed costs (won/SMH)	Depreciation cost	450	450
	Interest, Insurance and Tax	45	45
Operating costs (won/SMH)	Fuel cost	1,261	1,261
	Lube cost	630	630
	Repair and Maintenance cost	683	524
Labor costs (won/SMH)	Labor cost	16,250	21,250
	Benefit cost	1,885	2,465
	Insurance cost	1,770	2,315
Total machine costs (won/SMH)		22,043	28,185
Hourly productivity (m <sup>3</sup> /SMH)		2.3	3.0
Felling and processing cost (won/m <sup>3</sup> )		9,584	9,395

**3. 단목작업**

1) 벌도와 조재작업 생산성 및 비용

두 작업자의 본당 평균작업시간 및 m<sup>3</sup>당 작업비용은 Table 8과 Table 9와 같다. 작업자 A의 기계이용률(%)은 약 67.7%로서, 평균 전체작업시간(SMH)은 345초, 평균 순수작업시간(PMH)은 233초이며, 평균 작업지연시간(Delay)은 121초로써 약 32.3%를 점유하고 있다. 순수작업시간 중에서는 평균 가지정리시간이 152초로 가장 많은 시간을 차지하고 있으며, 평균 조재와 이동시간이 각각 29초로 같으며, 평균 벌도시간 16초, 평균 하층정리시간이 8초이다. 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 66.3%로 대부분 차지하였고, 작업지연(Operational delay) 18.1%, 기계적지연(Mechanical delay) 15.6%순으로 나타났다. 이에 평균임목재적이 0.22 m<sup>3</sup>/분이고 시간당 10 분/SMH을 벌도와 조재작업을 하여, 작업생산성은 2.3 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 9,584원/m<sup>3</sup>으로 산출되었다. 또한 작업자 B는 전체작업시간(SMH)이 372초이고, 순수작업시간(PMH)이 255초, 작업지연시간(Delay)이 117초로써 기계이

용률(%)은 68.7%로 산출되었으며, 작업지연시간은 작업자지연(Personal delay)이 70.8%이고 기계적지연(Mechanical delay) 21.4%, 작업지연(Operational delay) 7.8%순으로 나타났다. 시간당 벌도와 조재작업 본수는 10분/SMH, 평균 임목재적 0.31 m<sup>3</sup>/분을 벌도와 조재작업을 하여, 시간당 작업생산성은 3.0 m<sup>3</sup>/SMH, 작업비용은 9,395원/m<sup>3</sup>이다.

두 작업자를 평균 순수작업시간을 비교하면 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았으나(p>0.05), 작업자 A보다 작업자 B의 전체작업시간이 높음에도, 평균임목재적의 차이로 인하여 작업자 B의 작업생산성이 높게 나타났다. 또한 전간작업에 비해 절동작업이 추가되어 두 작업자간의 작업비용이 큰 차이를 나타내야 하지만, 작업자 B의 작업비용이 약간 낮게 산출되었다. 이는 전간작업과 단목작업에서 작업자 B의 생산성은 감소하였으나, 작업자 A의 단목작업 생산성이 전간작업에서 보다 높았는데, 두 작업에서 지연시간의 차이가 작업생산성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 작업자 B의 작업생산성을 높이기 위해서는 날세우기 및 장비점검 등과 같은 기계적지연(Mechanical delay)을 개선할 필요가 있을 것으로 사료된다.

벌도와 조재작업의 생산성을 검토해 보면, Kim and Park(2012)은 리기다소나무림의 험준지에서 단목순수작업시간이 217초(이동시간 27초, 주변정리시간 71초, 벌도시간 17초, 단목이동시간 15초, 단목조재시간 87초)로써, 기계이용률을 고려한 생산성은 2.0 m<sup>3</sup>/SMH으로 나타났으며, Mun et al.(2014)은 낙엽송림의 절형지에서 기계이용률 75%를 적용한 작업생산성은 5.5 m<sup>3</sup>/SMH으로 산출되었다. 이는 본 연구의 결과와는 상이하게 산출되었으나, 단목작업에서 벌도와 조재작업의 작업시간 및 생산성은 수종별 가지정리시간과 본당 임목재적에 따라서 변화되는 것으로 판단된다.

2) 기계이용률 변화에 따른 벌도와 조재작업 생산성 및 비용

작업자 A와 B의 기계이용률 변화에 따른 단목작업의 생산성(m<sup>3</sup>/SMH)과 비용(원/SMH)을 비교·분석하기 위해 순수작업시간(PMH) 당 생산성(m<sup>3</sup>/PMH)을 산출하였다.

**Table 10. Sensitivity analysis of productivity and cost of cut-to-length felling.**

Utilization (%)	Operator A		Operator B	
	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH)	Cost (won/m <sup>3</sup> )
40	1.4	15,873	1.8	15,978
50	1.7	12,697	2.2	12,782
60	2.1	10,580	2.6	10,651
70	2.4	9,069	3.1	9,129
80	2.8	7,935	3.5	7,988



순수작업시간을 기준으로 단목작업의 작업생산성은 작업자 B가 4.4 m<sup>3</sup>/PMH로 작업자 A의 3.4 m<sup>3</sup>/PMH보다 높았으나, 작업자 B의 인건비가 높은 관계로 작업자 A와 B의 작업비용은 비슷하게 낮게 나타났다(Table 10). 또한 기계이용률 60%를 기준으로 단목작업(벌도+가지정리+절동) 비용에서 전간작업(벌도+가지정리)비용을 제외하면 작업자 A의 절동작업비용은 1,711원/m<sup>3</sup>이고, 작업자 B는 3,046원/m<sup>3</sup>으로 절동작업비용이 증가하였다. 이는 작업자 A와 B의 절동작업비용은 전목작업의 벌도작업비용과 비교하면 약간 높거나 비슷한 경향을 보여주고 있다.

## 결론

본 연구에서는 경기도 이천시 호법면의 혼효림 개별작업지에서 임목수확방법과 작업자의 숙련도에 따른 벌도작업의 생산성 및 비용을 산출하고, 기계이용률 변화에 따라 벌도작업의 생산성 및 비용분석으로 효율적인 벌도작업을 제시하고자 수행하였다.

전목작업에서 작업자 B의 시간당 생산성이 작업자 A보다 약 1.2배 높았지만, 작업자 B의 인건비가 작업자 A보다 높아서 두 작업자의 단위재적 당 전목작업비용은 비슷하게 나타났다. 또한 기계이용률 변화에 따른 전목작업 생산성 및 비용분석결과, 작업자 A와 B의 전목작업은 작업자의 숙련도가 작업생산성과 작업비용에 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

전간작업은 작업자 B의 인건비가 높음에도 작업자 A보다 작업자 B의 생산성이 약 1.5배 높은 관계로 작업자 B의 전간작업비용이 작업자 A보다 단위 재적 당 1,837원/m<sup>3</sup>이 낮게 분석되었다. 또한 기계이용률 변화에 따른 전간작업 생산성 및 비용분석 결과, 전간작업비용 중 가지정리작업비용이 가장 높은 비율을 차지하였고, 작업자 B의 단위재적 당 가지정리작업비용이 작업자 A보다 낮게 산출되었다. 이는 작업량이 많아질수록 숙련도가 높은 작업자의 전간작업이 효율적인 것으로 사료된다.

단목작업에 있어서 두 작업자의 생산성 및 비용을 비교하면, 작업자 A보다 작업자 B의 생산성이 높았으나, 작업자의 인건비에 비례한 작업생산성에 미치지 못하여, 작업자 B의 작업비용이 약간 낮게 산출되었다. 이는 전간작업에 비해 절동작업이 추가되었음에도 작업자의 숙련도에 따른 작업비용의 차이가 크게 나타나지 않아, 단순한 절동작업은 작업비용에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다. 또한 작업자 A의 전간작업과 비교하면, 원래는 비용이 단목작업이 높아야 하지만, 본 연구결과에서는 약간 낮게 산출되었다. 이는 작업비용인자인 전체작업시간 중에서 지연시간의 차이에 기인한 것으로 사료된다. 즉, 작업자 A의 순수작업시간(PMH)은 작업공정의 추가에 따라

서 증가하는 일반적인 경향을 보였으나, 작업지연시간이 포함된 전체작업시간(SMH)에서는 반대의 경향이 나타나 이에 대해서는 추후 많은 데이터를 수집하여 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

따라서 임목수확방법에 따른 벌도작업은 작업공정이 많을수록, 작업자의 숙련도가 높을수록 작업생산성은 높고 비용은 낮게 산출되었다. 향후 다양한 임황 및 지황에 대한 벌도작업의 DB를 구축하여, 임목수확방법에 따른 생산성 및 비용을 검토할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호 : S111415L090100)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## References

- Brinker, R.W., Kinard, J., Rummer, B., and Lanford, B. 2002. Machine rates for selected forest harvesting machines. Circular 296(Revised). Alabama Agricultural Experimental Station. Auburn. Alabama. USA. pp. 32.
- Bruce, R.H., Alex, G., and Rogger, D.F. 1998. Productivity and cost relationships for harvesting Ponderosa pine plantations. *Forest Products Journal* 48(9): 87-93.
- Cho, K.H., Cho, M.J., Han, H.S., Han, S.K., and Cha, D.S. 2015. Harvesting cost of tree-length thinning in a *Larix leptolepis* stands. *Journal of Korean Forest Society* 104(2): 221-229.
- Cho, M.J. 2015. Efficient tree-length harvesting system using tower-yarder and tractor-yarder. Department of Forest Management Graduate School, Kangwon National University. pp. 13-16.
- Cho, M.J., Cho, K.H., Jeong, E.J., Choi, B.K., Han, S.K., and Cha, D.S. 2016. Harvesting cost and productivity of tree-length thinning in a *Pinus densiflora* stand using the tower yarder (HAM300). *Journal of Forest and Environmental Science* 32(2): 189-195.
- Cho, M.J., Cho, K.H., Oh J.H., Han, H.S., and Cha, D.S. 2014. Harvesting productivity and cost of whole-tree clear cutting using a tower yarder in a *Larix leptolepis* stand. *Journal of Forest and Environmental Science* 30(1): 107-112.
- Damon, S.H. and Han, H.S. 2007. Effects of alternative silvicultural treatments on cable harvesting productivity and cost in Western Washington. *Western Journal of Applied Forestry* 22(3): 204-212.
- Farshad, K.B. 2012. Effect of selective cutting type on the chainsaw productivity in Caspian forests. *Journal of Forestry Research* 23(4): 699-702.
- Han, W.S. 2008. Development of an Estimation Model for Timber Harvesting and Transportation Costs. Department of Forest Resources Graduate School, Kookmin University.

- pp. 12-73.
- Han, W.S., Cho, K.H., Oh, J.H., Song, T.Y., Kim, J.W., and Shin, M.Y. 2009. Felling productivity in Korean Pine Stands by using chain saw. *Journal of Korean Forest Society* 98(4): 451-457.
- Han, W.S., Han, H.S., Kim, N.H., Cha, D.S., Cho, K.H., Min, D.H., and Kwon, K.C. 2014. Comparison of harvesting productivity and cost of cable yarding systems. *Journal of Korean Forest Society* 103(1): 87-97.
- Jingxin, W., Charlie, L., Joe, M., and John, B. 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal* 54(12): 45-51.
- Kang, G.U. 1999. A study on the thinning productivity in Red pin stand. *Korean Journal of Forest Economics* 7(2): 12-18.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2012. An analysis of the operational time and productivity in whole-tree and cut-to-length logging operation system. *Journal of Korean Forest Society* 101(3): 344-355.
- Korea Forest Service. 2015a. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service. pp. 39.
- Korea Forest Service. 2015b. Statistical yearbook of forestry. Korea Forest Service. pp. 286.
- Lee, J.W., Park, B.J., Kim, J.W., and Song, T.Y. 1998. Work load felling work using chain saw in japanes larch plantation site. *Journal of Korean Forest Society* 87(2): 121-130.
- Miyata, E.S. 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. U.S. Department of Agriculture Forest Service General Technical Report NC-55. 16 p.
- Mun, H.S., Cho, K.H., and Park, S.J. 2014. An analysis of the operational productivity and cost for the utilization of forest-biomass(I) - the operational time and productivity -. *Journal of Korean Forest Society* 103(4): 583-592.
- Woo, B.M., Park, J.M., Lee, J.W., and Chung, N.H. 1990. A study on economical analysis of yarding operation by cable crane. *Journal of Korean Forest Society* 79(4): 413-418.

---

(Received: September 1, 2016; Accepted: November 11, 2016)