

## Woodgrab을 이용한 단목집재와 가선집재방식에 의한 전목집재의 경제적 효율성 비교분석

설아라<sup>1</sup> · 한 희<sup>2</sup> · 정윤구<sup>2</sup> · 정혜진<sup>2</sup> · 정주상<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학연구원, <sup>2</sup>서울대학교 산림과학부

## Analyzing the Comparative Economic Efficiency of Short-wood Woodgrab Logging and Whole-tree Cable Logging Operations

Ara Seol<sup>1</sup>, Hee Han<sup>2</sup>, Yoonkoo Jung<sup>2</sup>, Hyejean Chung<sup>2</sup> and Joosang Chung<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

**요 약:** 본 연구는 국내 벌채현장에서 가장 많이 활용되고 있는 Woodgrab에 의한 단목집재작업이 생산성 및 수익성 측면에서 가장 유리한 방식인가에 대한 검토를 하고자 수행되었다. 이를 위해 Woodgrab 목재수확방법의 생산성 및 수익성을 비교하기 위하여 Swing yarder와 Tower yarder에 의한 전목집재작업을 선정하였다. 이를 토대로 낙엽송 임분에 대한 작업기종별 조재지침을 적용하여 각 기종별 수확작업과정에 따른 작업비용과 등급별 원목매각 순수익을 산출하여 비교하였다. 연구결과, Woodgrab을 이용한 단목집재작업은 Swing yarder 혹은 Tower yarder에 의한 전목집재작업에 비해 생산성이나 생산단가 측면에서 유리한 반면 원목생산의 수익성 측면에서는 오히려 불리한 것으로 나타났다. 이것은 Woodgrab에 의한 목재생산작업을 하는 경우 생산비가 절감되는 대신 시장가격이 낮은 펄프, 보드류 혹은 톱밥 등의 원료재로 사용되는 단목을 주로 생산할 수 밖에 없는 것에 기인한 것이다.

**Abstract:** This research was conducted in order to examine whether the Woodgrab short-wood logging method, most widely used logging method in Korea, is more favorable than other logging methods in terms of productivity and profitability. For the comparative purposes, whole-tree logging methods with cable yarding system using a swing yarder and a tower yarder were evaluated. The productivity and the profitability of the logging operations by the machine types on a L. kaempferi stand were estimated by simulating logging processes based on bucking patterns and the results were compared. As a result, the Woodgrab short-wood logging system showed the most favorable results in terms of skidding productivity and operating cost. On the contrary, the system was the least profitable among the three logging methods. Main reason is that while the system may be beneficial in terms of operation productivity, it is restricted to produce only short logs mainly for low quality raw materials such as pulp, bolts, etc. which are sold at cheap prices.

**Key words:** woodgrab operation, cable logging operation, productivity and profitability of short-wood skidding, simulation for log production

### 서 론

우리나라는 이미 오래전부터 임업 노동력의 고령화, 목재 가격의 정체 및 노임의 급상승 등의 문제가 예견되고 있었음에도 불구하고, 국내 벌채작업을 위한 대처가 매우 부족한 편이다. 특히 험준한 산악지형을 지닌 국내 임업 여건상 열악한 산림환경을 극복하기 위한 저비용 · 고효율의 임업화 기술이 필히 요구되지만, 아직까지 공학적 관

점에서는 물론 제도 · 정책적 관점에서 발전이 매우 늦은 실정이다.

이런 관점에서 우리나라 기계화 벌채현장에서 가장 선호되는 Woodgrab을 이용한 집재방식을 살펴볼 필요가 있다. 이 집재방식은 임업기계화가 담보된 국내 현실에서 볼 때 작업생산성 측면에서 가장 유리하고, 쉽게 적용이 가능한 방식으로 볼 수 있다. 즉, 건설용 중장비 활용에 익숙한 기술자가 많은 국내 여건상 소형 굴삭기에 배토판(blade) 및 유압식 집게(grapple)를 부착하여 단목으로 조재된 통나무를 밀거나 집어 던져서 집재하는 방식이 가선

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

집재나 지상집재와 같은 기술축적이 비교적 미진했던 국내 현실에서 가장 유리한 선택이었음을 미루어 짐작할 수 있다.

그러나 이에 따른 환경적 피해나 작업의 안전성에 관한 우려에 대해서는 이미 국내에도 잘 알려져 있다. FTTC (2003), Lee and Park(2006), Kim and Park(2013) 등이 지적한 바와 같이, 급경사지에서 Woodgrab 작업을 위해 야기되는 무분별한 작업로 개설과 임내 주행 등에 의한 심각한 입지 훼손 및 사고의 위험에 대해서는 이미 많은 학자들이 지적하고 있다.

그 외에도 조재된 원목을 투척에 의해 집재하는 Woodgrab 집재방식의 한계로 전목 혹은 전간집재가 어려워 불가피하게 선택하는 단목조재, 그리고 수익간벌에서 굴삭기의 임내 이동경로 및 붐(boom)의 회전반경 확보를 위해 수행되는 과잉 간벌 등은 목재생산을 위한 임업경영 현장에서 매우 심각한 환경적·경제적 손실을 야기할 수 있다.

따라서 Woodgrab을 이용한 집재작업의 득과 실을 알아보기 위한 연구가 시급한 실정이나, 국내에서 Woodgrab 집재방식에 따른 환경적·경제적 영향에 대한 연구가 많지 않은 것으로 나타났다. 다만, 문헌고찰에 의하면 Woodgrab에 의한 집재작업의 환경적 문제에 대해서는 Park and Lee(2004)의 연구에서 일부 보고된 바 있으며, 생산성이나 생산단가에 관한 추정연구로 Park and Lee(2004) 및 Kim and Park(2013)만 확인되었다. 특히 Kim and Park(2013)의 연구결과를 보면 Woodgrab에 의한 단목집재작업의 생산성이 다른 기종에 비해 현저하게 높은 편임을 알 수 있다.

국내에서 Woodgrab에 의한 집재작업의 선호현상은 상대적으로 높은 작업생산성과 저렴한 벌채작업 비용 단가가 주된 요인으로 판단된다. 그러나, 원목매각에 의한 수익성 측면까지 고려할 경우, 이와 같은 선정 기준이 여전히 유효할 것인가에 대한 의문이 제기된다.

2014년 한국임업진흥원(KFPI)에서 발표한 국산재 원목 시장가격에 의하면 원목 등급의 시장가격 동향은 원목 등

급에 의해 크게 달라질 수 있다. 원목 등급에 따른 시장동향을 고려할 때 Woodgrab에 의한 단목집재작업은 집재비용 측면에서 매우 유리할 수는 있지만, 대신 조재 공간의 작업여건이나 단목조재에 따른 원목개수의 증가로 인해 조재작업과 원목분류 및 층적쌓기 등 반복작업의 횟수가 늘어나 결국 후속작업의 생산성을 떨어뜨리는 주된 원인이 될 수 있다. 또한 단목조재방식의 한계로 인해 전목집재 혹은 전간집재에서 가능한 고품질 원목 생산이 제한되어 이로 인한 불이익이 매우 클 수밖에 없다.

본 연구에서는 Woodgrab에 의한 단목집재작업과 Swing yarder 및 Tower yarder를 이용한 전목집재작업의 생산성에 따른 원목생산 비용단가 및 원목매각에 의한 순수익을 비교함으로써 Woodgrab에 의한 단목집재작업의 상대적 효율성을 비교·분석하고자 하였다.

### 연구방법

#### 1. 연구대상지 임분

본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 임목의 벌채비용 및 원목매각에 의한 순수익을 산출할 목적으로 Table 1과 같은 임분구조를 상정하여 적용하였다. 이 조사지 임분은 벌기령에 접어든 낙엽송 임분이며, 본 연구의 분석과정에 요구되는 일련의 과정을 체계적으로 제시할 목적으로 경급 구성을 4개로 단순화하여 원목 생산비용 산출에 요구되는 제반 과정을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

#### 2. 집재작업 경제성 분석을 위한 시뮬레이션모델

본 연구에서는 원목생산에 따른 순수익을 산출하기 위해 개발한 모델을 이용하여 크게 2단계의 시뮬레이션 작업을 수행하였다. 즉, Figure 1에서 보듯이 우선 임분 내 낙엽송 임목으로부터 집재방식에 따라 생산 가능한 등급

Table 1. Diameter distribution of a *L. kaempferi* stand.

DBH (cm)	42	32	22	12	Sum
No. of trees/ha	17	101	329	169	616

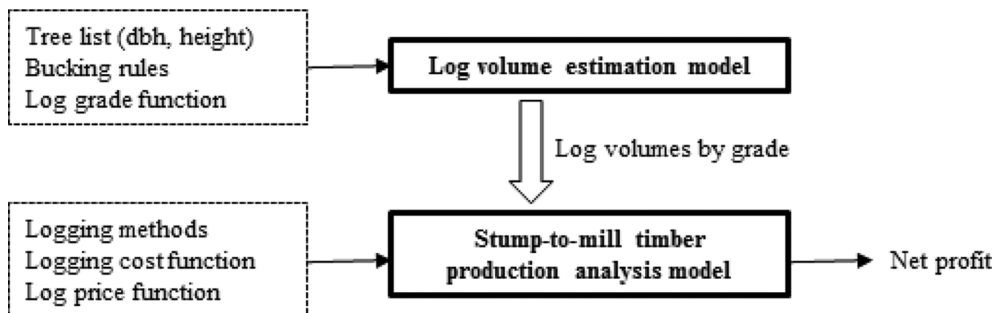


Figure 1. The structure of the simulation model to evaluate the net profit of timber productions.

별 원목의 생산량을 산출하고, 이를 토대로 시장에 도착하기까지 소요된 비용과 수입을 산출하여 최종적으로 등급별 원목생산에 따른 순수익을 산출하기 위한 시물레이션을 수행하였다.

### 1) 원목의 등급 평가

낙엽송 원목의 등급(log grade)은 Table 2에 나타난 KFPI(2014)의 등급기준을 적용하여 분류하였다. 다만, 벌기령에 접어든 우량한 낙엽송 임분은 할열, 굵음, 썩음 등의 결점이 대체로 미미하거나 무시할 수 있을 정도인 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 Table 2의 등급기준 중에서 말구직경과 재장 기준만을 적용하여 평가하였으며, 가장 낮은 등급에 속하는 원료재급은 펄프재로 설정하였다.

### 2) 원목의 조재

본 연구에서 벌도목에 대한 조재기준(bucking rule)은 2가지 경우를 상정하였다. 첫째, 조재기준은 전목집재의 경우 토장(landing)에서 가장 고급재에 속하는 특등급(superior)부터 저가의 원료재급 혹은 펄프재까지 상위등급 우선 조재의 원칙을 적용하였다. 둘째, Woodgrab에 의한 단목집재의 경우, 벌도목의 하단부터 2.1 m 씩 일률적인 조재를 가정하였다. 이 경우 Table 2의 원목 등급기준 재장기준에 따라 특등급, III 등급 및 원료재급의 원목 생산이 가능하다.

### 3) 수간재적 및 원목량 산출

본 연구에서 임목의 수간재적은 KFPI(2014)에서 발표한 수간재적표를 적용하여 산출하였다. 또한 벌도된 원목의 수간재적은 Kwon et al.(2013)이 개발한 구분구적모형을 활용하여 산출하였다. 즉, 지상부 0.2 m에서 벌목을 하며, 식 1을 적용하여 수간부위에 대해 1 cm 간격의 구분구적기법을 적용하여 원목량을 산출하였다.

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

**Table 2. Log scaling rules referred to KFRI (2014).**

Dimensions	Log grades					
	Superior	I	II	III	Log bolts	Pulp
Small-end diameter (cm)	≥30	≥24	≥18	≥15	≥9	≥6
Log length (m)	≥2.1	≥3.6	≥3.6	≥2.1	≥2.4	≥1.8

**Table 3. Parameters of the Kozak's taper equation for *L. kaempferi* (Son et al., 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

where,  $d_i$  : small end diameter of ith log

$n$  : number of logs

$l$  : log length (cm)

위의 식 1을 이용하기 위한 수간부위에 따른 지름(diameter)를 추정하기 위해 Kozak(1988)의 수간곡선식 2을 이용하였고, 이 곡선식의 모수는 Table 3에 제시된 Son et al.(2012)이 추정된 값을 이용하였다.

$$d = a_0 DBH^{a_1} a_2^{DBH} \left( \frac{1 - \sqrt{h/H}}{1 - \sqrt{p}} \right)^{b_1 \left( \frac{h}{H} \right)^2 + b_2 \ln \left( \frac{h}{H} + 0.001 \right) + b_3 \sqrt{\frac{h}{H}} + b_4 e^{\frac{h}{H}} + b_5 \left( \frac{DBH}{H} \right)} \quad (2)$$

where,  $a_i, b_i$  : parameters

$H$  : total height (m),

$h$  : height along stem (m)

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

그 외에 연구대상지의 수고곡선식은 식 3의 수고곡선함수모델에 수고 측정치를 적용하여 추정하였다.

$$H = a_1 \ln(\text{dbh}) - a_2 \quad (3)$$

where,  $a_i$  : parameters

$H$  : total height

$h$  : height along stem

### 4) 원목 등급별 재적의 산출

본 연구에서 원목 등급별 재적은 임목의 수간곡선식 2를 적용한 시물레이션을 통해 각 등급별로 생산이 가능한 등급의 백분율을 산출하여 적용하였다. 즉, 각 등급별 수간재적에 각 등급별로 생산이 가능한 백분율을 곱하여 추정하였다.

### 5) 목재생산 작업 방식

Table 4는 본 연구에서 시물레이션을 위한 집재작업 방식에 따른 전반적인 목재생산작업 조건을 나타낸 것이다. 이 표에 의하면 집재작업은 Woodgrab을 적용한 단목집재작업과, Swing yarder나 Tower yarder를 적용한 전목집재작업으로 구분하고 있다.

시물레이션을 위한 조건으로서는 Woodgrab에 의한 단목집재작업의 경우, 체인톱으로 임목을 벌도 및 조재작업을 한 후, Woodgrab을 이용하여 집재와 토장에서 원목

**Table 4. The logging operation options for short-wood and whole-tree production systems.**

Primary transportation		Logging operations at			
		Stump		Landing	
Logging methods	Machine types	Operations	Machine	Operations	Machine
Whole-tree	Cable yarder (Tower, Swing yarders)	Felling	Chainsaw Chainsaw	Measuring Limbing Bucking Topping	Chainsaw
				Sorting & Piling up	Woodgrab
Short-wood	Woodgrab	Felling Measuring Limbing Bucking Topping	Chainsaw	Sorting & Piling up	Woodgrab

쌓기작업을 수행한다. 반면 가선집재에 의한 전목집재작업의 경우, 체인톱으로 벌도를 한 후, 벌도목을 전목상태로 토장까지 스윙야더 및 타워야더에 의해 집재한 후에 작업이 유리한 토장에서 체인톱으로 조재작업을 진행하면서 Woodgrab으로 쌓는 작업을 시행하되, 집재작업과정에 벌도의 소운반은 없는 것으로 가정하였다.

6) 목재생산비용의 산출

본 연구에서 생산되는 모든 원목은 임도변 혹은 작업로변에 층적쌓기를 한 상태에서 원목의 등급별 분류에 따른 시장가 혹은 산지원가를 적용하여 매각하는 것으로 설정하였다. 따라서 원목을 생산하는 비용은 식 4에서와 같이 벌목비용과 조재비용, 집재비용, 층적비용, 작업로 개설비용, 기타비용 등으로 구성된다. 이 중 벌목, 조재, 집재작업과 작업로 개설 등에 소요되는 비용단가는 Kim and Park(2013)의 연구결과를 활용하였으며, 기타 비용에는 소운반 비용이나 토장 개설비용 등이 포함될 수 있으나 본 연구에서는 임도나 작업로변의 연속토장(continuous landing) 방식만을 적용하는 것으로 하여 기타비용은 없는 것으로 설정하였다.

$$TC = FC + BC + PC + SC + RC + \gamma \tag{4}$$

- where, TC : total cost
- FC : felling cost
- SC : skidding cost
- BC : bucking cost
- PC : piling up cost
- RC : road construction cost
- $\gamma$  : other costs

3. 원목의 가격단가 및 매각방법

원목의 시장단가는 KFPI(2014)의 낙엽송 등급기준에 따

른 가격단가를 적용하되, 산지원가 적용에 따라 가격단가에서 상차 및 운재비용 20,000원을 일률적으로 공제한 값을 적용하였다. 또한 집재된 모든 원목은 일시에 매각되는 것으로 설정하였다.

**결과 및 고찰**

1. 임분의 임목재적 산출

임분 벌채계획을 수립하기 위해서는 우선 임분재적을 먼저 산출해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 KFPI(2014)이 발표한 간재적표를 이용하여 연구대상 사례임분에 대한 각 등급별 임목의 재적을 산출하였다. 임분재적은 Table 1의 흉고직경 분포와 Figure 2의 수고곡선을 토대로 산출하였으며, 그 결과가 Table 5에 제시되어 있다. 이 표에 의하면 연구대상지 임분의 평균 흉고직경이 21.45 cm, 재적이 234.0 m<sup>3</sup>/ha로 비교적 우량한 임분에 속하는 것으로 판단된다.

2. 등급별 원목생산량 산출

Table 6은 Table 5의 임분에서 생산한 벌도목에 대해 Table 3의 등급별 원목기준을 적용하여 생산할 수 있는 등급별 · 등급별 원목량의 백분율(% log volume by log

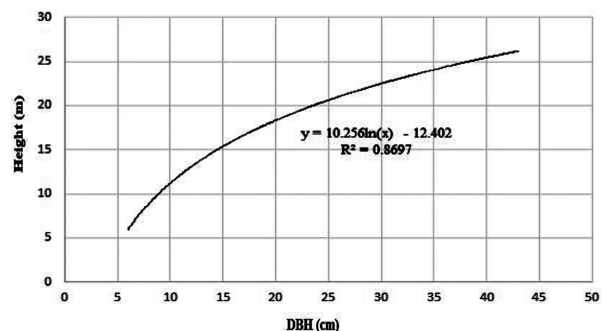


Figure 2. Height curve for a *L. kaempferi* forest stand.

grade)을 보여준다. 각 원목별 등급기준에 해당하는 말구 직경은 Kozak(1988)의 수간곡선식 2를 이용하여 산출하고, 각 원목의 재적은 Kwon et al.(2013)의 구분구적식 1을 적용하여 산출하였다.

Table 6에서 전목집재의 경우에는 토장(landing)에서 등급기준에 따라 특등급에서 원료재급(펄프재)까지 조재하여 원목을 생산할 수 있다. 반면 벌채지 임분 내에서 조재를 해야 하는 Woodgrab 집재의 경우에는 재장이 2.1 m로 한정된 단목 생산이 불가피하므로, 특등급, III등급 및 원료재급만 생산이 가능함을 알 수 있다.

한편, Table 7은 집재방식에 따라 생산되는 각 등급별·등급별 원목 생산량을 보여준다. 이 표의 원목생산량은 Table 5의 각 등급별 임목생산량에 Table 6의 등급별 원목 생산 비율을 곱하여 결정할 수 있다. 다만, 원목생산을 위

**Table 5. Estimation of stem and stand volumes by tree DBH.**

DBH (cm)	42	32	22	12	Sum
Stem vol. (m <sup>3</sup> /tree)	1.5252	0.8278	0.3408	0.0725	-
No. of trees/ha	17	101	329	169	616
Stand vol. (m <sup>3</sup> /ha)	25.8	83.9	112.1	12.2	234.0

**Table 6. Percentage proportion of log volumes produced by DBH class and log grade based on logging methods.**

Logging methods	DBH (cm)	% log volumes by log grades					Total	
		S	I	II	III	LB		Pulp
Whole-tree	42	8.0	56.2	16.1	5.3	9.4	5.0	100.0
	32	-	29.8	42.0	9.9	12.5	5.8	100.0
	22	-	-	16.7	41.9	32.7	8.7	100.0
	12	-	-	-	-	50.8	49.2	100.0
Short-wood	42	8.0	-	-	77.7	-	14.3	100.0
	32	-	-	-	81.7	-	18.3	100.0
	22	-	-	-	58.6	-	41.4	100.0
	12	-	-	-	-	-	100.0	100.0

(S: Superior; LB: Log bolt)

**Table 7. Log volumes by DBH class and log grade based on logging methods.**

Logging methods	DBH (cm)	Log volume by log grade (m <sup>3</sup> )					Total	
		S	I	II	III	LB		Pulp
Whole-tree	42	1.9	13.1	3.8	1.2	2.2	1.2	23.4
	32	-	22.5	31.7	7.5	9.4	4.5	75.6
	22	-	-	16.8	42.3	33.0	8.9	101.0
	12	-	-	-	-	5.6	5.4	11.0
	Total	1.9	35.6	52.3	51.0	50.2	20.0	211.0
Short-wood	42	1.8	-	-	17.1	-	3.2	22.1
	32	-	-	-	58.3	-	13.1	71.4
	22	-	-	-	55.8	-	39.4	95.2
	12	-	-	-	-	-	10.4	10.4
	Total	1.8	-	-	131.2	-	66.1	199.1

(S: Superior; LB: Log bolt)

한 벌도목 조재 시 발생할 수 있는 파손이나 초두부 제거 등의 목재 손실(wood loss)이 발생할 수 있음을 고려하여, 전목집재작업의 경우에는 10% 그리고 조재작업이 상대적으로 불리한 여건에서 이루어지는 단목집재 작업의 경우에는 15%의 목재손실율을 적용하였다.

### 3. 벌채작업 방식에 따른 작업단가의 비교

Table 4에 제시된 일련의 벌채작업을 순차적으로 진행한다고 할 때 집재방식에 따라 소요되는 벌목, 조재 및 집재 비용과 작업로 개설 단가가 Table 8에 나타나 있다. 이 표에서 사용한 각 생산 혹은 작업 단가는 Kim and Park (2013)이 충남 공주시 이인면 신흥리에서 Tower yarder, Swing yarder 및 Woodgrab 등의 기종별 개별작업에 대한 생산성 및 비용 분석에 따른 결과를 참조하여 작성하였다.

Table 8에 의하면, Woodgrab에 의한 단목집재작업 단가는 7,567원/m<sup>3</sup>으로 Tower yarder 및 Swing yarder에 의한 전목집재작업 단가에 비해 각각 약 27% 및 41% 정도에 불과한 것으로 나타났다. 이와 같은 기종 혹은 집재방식에 따른 차이는 현장의 작업여건, 임상분포, 작업자의 숙련도 등 다양한 현지 여건에 따라 일부 달라질 수 있겠지

**Table 8. Estimation of logging costs in Won/m<sup>3</sup> referred to Kim and Park (2013).**

Logging methods		Whole tree		Short wood
Machine types		Tower yarder	Swing yarder	Woodgrab
	Felling	2,099	2,099	2,099
	Skidding	28,286	18,265	7,567
Cost (Won/m <sup>3</sup> )		@ stump	-	8,061
	Bucking sorting and piling up	@ landing	18,939	12,593
		Sub total	18,939	20,654
	Road construction	-	-	3,040
Total		49,324	39,303	33,360

**Table 9. Market prices of logs by grades (KFPI, 2013).**

Log grades	S	I	II	III	LB	Pulp
Unit price (Won/m <sup>3</sup> )	153,330	144,100	138,020	134,220	129,200	78,500

(S: Superior; LB: Log bolt)

만, 일반적으로 Woodgrab 집재작업의 생산성이 가선집재 작업에 비해 매우 높은 것으로 알려져 있음을 입증하는 것으로 볼 수 있다.

하지만, 조재(bucking)와 분류(sorting), 증적(pile)에 소요되는 작업단가의 경우에는 Woodgrab에 의한 단목집재 작업이 가선집재작업에 의한 전목집재작업에 비해 약 9% 높은 것으로 나타났다. 이러한 차이는 전목집재와 단목집재 방식의 조재작업 여건이나 조재횟수 등에 의한 영향으로 판단된다.

즉, 단목집재의 경우 작업여건이 불리한 벌채지에서 조재를 해야 하는 반면, 전목집재는 작업여건이 유리한 토장에서 작업하므로 작업생산성이 상대적으로 높을 수밖에 없을 것이다. 또한 단목으로의 조재작업은 장재 생산에 비해 더 많은 횟수의 절동작업이 요구됨은 물론 원목의 수가 증가함에 따라 벌채지에서의 집재작업이나 토장에서 원목 분류 및 증적쌓기 작업의 횟수가 크게 늘어나게 된다. 결과적으로 단목집재에서는 이와 같은 조재, 집재, 원목 분류, 증적쌓기 등의 작업 특성으로 인해 작업생산성이 감소하고, 생산비용은 증가될 수밖에 없는 것으로 판단된다.

한편 본 연구에서는 기존의 임도나 작업로에 연속토장(continuous landings)을 설치하되, 별도의 소운반 과정은 없는 것으로 가정하였다. 다만, Woodgrab을 이용한 단목집재작업의 경우에는 하향집재에 의한 집재거리의 한계로 인해 임도변의 토장까지 접근하기가 쉽지 않은 경우가 많다. 따라서 별도의 소운반 과정은 고려하지 않았지만, Table 8에서와 같이 Woodgrab이나 차량 등의 접근을 위한 작업로 개설 단가 3,040원/m<sup>3</sup>을 별도 적용하였다.

결국 Table 8에서 보듯이 벌목과 조재, 집재의 작업비용 외에 작업로 개설비용 등을 고려하면, Woodgrab에 의한 목재생산 비용단가는 33,360원/m<sup>3</sup>으로, Tower yarder 나

Swing yarder를 이용한 전목집재작업에 비해 각각 약 32% 및 15%의 비용 감소효과가 발생하는 것으로 나타났다.

#### 4. 기종별 · 집재방식별 순수익의 비교

Table 8에서 보는 바와 같이 단목집재 방식의 Woodgrab 작업은 전목집재 방식의 가선집재작업에 비해 상대적으로 저렴한 생산단가가 장점이 될 수 있다. 반면 Table 3의 원목등급 판정기준에서 볼 때, 이러한 Woodgrab 단목집재 방식은 장재(long-wood)를 생산할 수 없다는 한계로 인해 원목등급 판정에서 불리한 측면이 있다. 따라서 수익성 측면에서 Woodgrab을 이용한 단목 생산이 전목집재가 가능한 다른 기종의 집재방식에 비해 유 · 불리를 판단하기가 쉽지 않은 것으로 볼 수 있다.

이러한 판단을 위해 본 연구에서는 Woodgrab에 의한 단목집재작업과 Swing yarder 및 Tower yarder를 이용한 전목집재작업의 원목생산 비용 및 원목매각 수입에 따른 순수익을 비교하고자 하였으며, 그 결과가 Table 10에 나타나 있다. 이 표는 Table 7의 산지에서 생산된 각 등급별 원목이 시장으로 전량 반출된 후, Table 9(KFPI, 2014)의 시장 도착가에서 Table 8의 벌채비용과 토장에서 시장까지의 운재비용(본 연구에서 트럭운재 단가는 일률적으로 20,000원/m<sup>3</sup>을 적용)을 공제한 기종별 · 집재방식별 원목매각 순수익을 산출한 결과를 보여준다.

Table 10에 의하면, Woodgrab을 이용한 단목집재 방식의 경우 순수익이 약 12,370,000원으로 Tower yarder 및 Swing yarder를 이용한 전목집재 방식의 순수익에 비해 각각 약 95.8% 및 약 82.4% 정도에 그치고 있다. 이러한 순수익의 감소현상은 Table 7에서 보듯이, Woodgrab을 이용한 2.1 m 단목집재의 경우 등급별 최소 채장 기준으로 인해 전목집재에 비해 상대적으로 저급한 등급의 원목이 많

**Table 10. Net profit of timber sales at timber market by logging methods.**

Logging methods		Revenue or cost by Log grades (Unit : 1,000 Won)						Total
		S	I	II	III	LB	Pulp	
Tower yarder (WTY)	Revenue	248	4,415	6,175	5,823	5,481	1,164	23,306
	Cost	92	1,755	2,581	2,515	2,476	981	10,400
	Net profit	156	2,660	3,594	3,308	3,005	183	12,906
Swing yarder (WTY)	Revenue	248	4,415	6,175	5,823	5,481	1,164	23,306
	Cost	73	1,398	2,057	2,004	1,973	782	8,287
	Net profit	175	3,017	4,118	3,819	3,508	382	15,019
Wood grab (SWS)	Revenue	234	-	-	14,981	-	3,863	19,078
	Cost	59	-	-	4,423	-	2,226	6,708
	Net profit	175	-	-	10,558	-	1,637	12,370

(WTY: Whole-tree yarding; SWS: Short-wood skidding)

이 생산되는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구결과는 Woodgrab을 이용한 단목집재 방식이 비록 일련의 목재생산작업공정에 소요되는 전체 비용의 관점에서는 유리하지만, 최종 수익성 측면에서 보면 오히려 가선집재를 이용한 전목집재방식에 비해 결코 유리하지 않을 수 있음을 보여준다.

## 결 론

본 연구에서는 일반적으로 국내에서 생산성이 가장 높은 것으로 알려진 Woodgrab에 의한 단목집재작업이 Swing yarder나 Tower yarder와 같은 가선집재를 이용한 전목집재작업에 비해 수익성 관점에서도 유리한 것인지 시뮬레이션기법을 통해 분석해 보고자 하였다.

이를 위해 Kim and Park(2013)의 기종별 벌채작업시스템의 공정별 생산성 및 비용단가 연구결과를 참조하여 분석한 결과 Woodgrab 단목집재방식이 집재작업의 생산성 측면에서 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, Woodgrab 단목집재방식이 수익성 관점에서는 Swing yarder나 Tower yarder와 같은 가선집재를 이용한 전목집재작업시스템에 비해 상대적으로 불리한 것으로 나타났다.

따라서 일반적으로 Woodgrab 작업이 산림환경에 미치는 영향이나 작업안전의 측면에서 불리한 것으로 판단됨에도 불구하고, 부득이 생산성 관점에서 유리하기 때문에 혹은 오퍼레이터 등 기타 다양한 여건문제로 Woodgrab을 이용한 목재생산작업을 선택할 수밖에 없다는 논리에 대한 재검토가 요구된다고 판단된다.

한편, 본 연구는 국내 집재작업의 생산성 및 작업비용에 대한 연구가 비교적 미진하여 매우 제한된 연구자료를 토대로 연구를 수행할 수밖에 없었다. 향후의 연구에서는 Woodgrab에 의한 단목생산작업에 대해 임상이나 지형 특성, 접근성 등의 제반 인자를 고려하여 보다 폭 넓고 다양

한 접근이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호 : S211315L020110)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## References

- FTTC (Forestry Technical Training Center). 2003. Analysis of process for the development of timber harvesting model. Seoul: National Forestry Cooperative Federation.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2013. Analysis of the operational cost in the whole-tree and cut-to-length logging operation system. *Journal of Korean Forest Society* 102(2): 229-238.
- Korea Forestry Promotion Institute (KFPI). 2014. The 2013 Fall Domestic Timber Market Price Trends. pp. 92.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. *Canadian J. of Forest Research* 18: 1363-1368.
- Kwon, K., Han, H., Seol, A., Chung, H., and Chung J. 2013. Development of a wood recovery estimation model for the tree conversion processes of *Larix kaempferi*. *Journal of Korean Forest Society* 102(4): 484-490.
- Lee, G.T. and Park, S.J. 2006. Analysis of process for the development of timber harvesting model. *Journal of The Korean Society of Forest Engineering* 4(1): 31-56.
- Park, S.J. and Lee, G.T. 2004. An analysis of timber harvesting by the log grapple of an excavator. *Journal of Korea Society Forest Engineering Technology* 2(2): 164-176.
- 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. pp. 261.

(Received: November 13, 2015; Accepted: May 28, 2016)