

소나무 임분에서의 트랙터윈치를 이용한 집재작업 생산성 및 비용분석

정웅진¹ · 조민재² · 박정묵¹ · 조구현² · 유영민¹ · 차두송^{1*}

¹강원대학교 산림환경과학대학, ²국립산림과학원 산림기술경영연구소

The Productivity and Cost of Yarding Operations Using a Tractor-attached Winch in *Pinus densiflora* Stands

Eung-Jin Jeong¹, Min-Jae Cho², Jeong-Mook Park¹, Koo-Hyun Cho²,
Young-Min Yoo¹ and Du-Song Cha^{1*}

¹Division of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science,
Pocheon 11187, Korea

요약: 본 연구는 임목수확작업에 사용되는 트랙터윈치의 작업효율성을 검토하기 위하여 강원도 양양군지역의 소나무 간벌지를 대상으로 트랙터윈치를 이용한 전목 집재작업에서의 작업생산성 및 작업비용을 분석하였다. 평균집재거리는 29m, 평균 임목체적은 0.15m³으로 총 95회 집재작업 중 상향집재가 51%, 하향집재가 49%로 작업이 수행되었다. 집재작업 생산성은 하향집재 2.28m³/hr, 상향집재 1.89m³/hr으로 운용적 작업지연시간을 최소화하여 기계이용률을 80%로 높일 경우, 약 0.5m³/hr 생산성이 향상될 것으로 판단된다. 집재작업비용은 하향집재 작업비용(44,116원/m³)이 집재본수(본/cycle)의 차이로 인하여 상향집재작업비용(53,369원/m³) 보다 낮게 산출되었다. 또한 상·하향 집재작업시간 예측모델식을 개발하여, 민감도 분석을 실시한 결과, 집재거리(m), 집재본수(본/cycle), 집재경사(%) 순으로 집재작업시간에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 향후 집재방향에 따른 정확한 예측모델식을 개발하기 위하여 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

Abstract: The present study analyzed the productivity and cost of winching operations for evaluating the efficiency of a tractor-attached winch in a *Pinus densiflora* thinning site located in the Yangyang County of Gangwon-do. The mean yarding distance and mean timber volume were 29 m and 0.15 m³, respectively. In the 95 cycles of yarding operations, the uphill and downhill yarding operations constituted 51% and 49%, respectively, of the total yarding operations. The productivity of the uphill yarding operation was 2.28 m³/h, and the productivity of the downhill yarding operation was 1.89 m³/h. The findings of this study revealed that productivity would increase by 0.5 m³/h when the rate of utilization of the machine is increased to 80% by reducing the operational delay time. The cost of the downhill yarding operation was 44,116 KRW/m³, whereas that of the uphill yarding operation was 53,369 KRW/m³. The difference in cost resulted from the difference in the number of yarding stems (stems/cycle). Furthermore, the results of the multiple linear regression equation developed for predicting the yarding operation times showed that productivity was significantly affected by working conditions such as yarding distance (m), the number of stems per cycle (stems/cycle), and the terrain slope (%) in the uphill and downhill yarding operations. Further research is required for developing an accurate prediction model equation according to a yarding direction.

Key words: whole-tree, tractor-winch, TAJFUN, productivity, cost, thinning

서론

우리나라의 산림 면적은 2018년 기준 638만 ha로써 국

토면적의 약 64%를 차지하며, 임목수확기에 가까워진 IV 영급이상의 산림은 약 65%를 차지하고 있다. 1973년부터 ‘심는 산림정책’을 수행한 치산녹화에 의해 조성된 산림은 1990년대 후반부터 숲가꾸기 사업이 시행됨에 따라 임목벌채 및 산물수집 작업이 증가하기 시작하였다(Korea Forest Service, 2018). 특히 숲가꾸기 작업은 험준한 국내 산지의 특성과 중량물인 목재를 다루는 작업이므로 산물

* Corresponding author

E-mail: dscha@kangwon.ac.kr

ORCID

Du-Song Cha  https://orcid.org/0000-0003-2184-9532

수집에는 많은 비용과 노력이 요구되는 산림작업 중의 하나로 수확작업의 어려움을 해소하기 위해 대부분 임업 기계를 이용한 작업을 실행하고 있으며, 특히, 임업기계의 적용에 있어서 경사는 매우 중요한 요소로 차량계와 가선형 임업기계의 선택기준이 되며 일반적으로 차량계 임업기계 중 바퀴형 임업기계는 경사 35%, 궤도형 임업기계는 경사 50% 까지를 안전한 작업이 가능한 범위로 구분하고 있다(MacDonald, 1999).

이에 대한 연구를 살펴보면 국외에서는 Heinimann et al.(1999)이 급경사 지역에서 지면끌기집재류 기계의 작업 능력 및 작업자 효율 등을 분석하였으며, Ghaffariyan (2014)는 급경사 지역에서 집재 방식별 환경영향 및 효율을 비교 분석하였다. 그리고 Wang et al.(2004)과 Bodaghi et al.(2018)은 Timberjack 460 cable skidder 및 Timberjack 450c와 트랙터 집재기(Same 140)의 작업 생산성을, Gilanipoor et al.(2012)는 트랙터 스키더 Tafe 8502를 이용한 하향집재에서의 작업생산성 및 작업비용을 분석하는 등, 국외에서는 산지경사 및 작업방법에 따른 다양한 임업기계를 활용하여 집재작업 생산성 및 비용연구를 실시하고 있다. 또한 국내에서는 트랙터 부착형 집재기계인 춘천집재기(Han et al., 2008; Han et al., 2009; Kim et al., 2010; Han et al., 2014; Mun et al., 2014), HAM200(Park, 2002; Han et al., 2014)와 FARMi 윈치(Park, 2002)에 대한 집재작업 생산성 및 비용 연구 등이 보고되어 있으며, 현장에서 사용되고 있는 작업기계에 대한 작업생산성 및 비용에 관한 많은 자료를 구축하여 집재작업에서의 임업기계의 활성화를 도모해야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 강원도 양양군지역의 소나무 간벌지를 대상으로 간벌현장에서 활발히 사용되는 트랙터 윈치(TAJFUN)를 이용한 전목집재작업의 작업생산성 및 작업비용을 분석하여 지면끌기 집재작업의 실증자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

강원도 양양군 현북면 범수치리에 위치한 숲 가꾸기 간벌 대상지로서 작업면적은 14 ha, 평균 산지경사 40%, 침엽수 소나무림으로, 평균수고는 11 m, 평균직경은 20 cm이다.

2. 조사방법

트랙터윈치(TAJFUN)를 이용한 전목집재작업을 실시하였으며, 최대 집재거리 100 m, 윈치 견인력은 최대 8.5 톤이며 작업원은 3인 1조로 구성되었다

작업공정은 스톱워치(stop watch)를 이용하여 시간 및

동작연구방법(time and motion study)을 적용하였다. 집재작업은 타이폰윈치 조직원 1명, 초커맨 2명으로 3인 1조로 작업하며 요소작업은 와이어로프클리 및 초킹(wire out and hooking), 지면끌기(skidding), 초커해제(unhooking), 그리고 작업지연(delay)시간으로 구분하였다. 작업지연시간은 기계적 지연(장비의 공장, 수리 및 정비 등), 운용적 지연(작업대기, 나무걸림 등), 그리고 인위적 지연(휴식, 개인용무 등)으로 구분하였다. 간벌작업 생산성에 영향을 주는 인자(variables)로서 집재본수, 집재재적, 집재거리, 집재방향 및 집재경사를 조사하였다.

집재목의 재적은 Smalian식으로 산출하였고, GPS(Garmin Montana 650)를 이용해 타이폰 윈치의 위치와 집재목의 위치를 파악하여 집재거리, 집재경사 및 집재 방향(상·하향 집재)을 조사하였다.

3. 분석방법

1) 작업생산성

작업생산성을 산출하기 위해, 타이폰윈치를 이용한 집재작업의 인자별 연속 작업 시간을 이용하여 평균 작업시간을 산출하였으며, Smalian식을 이용하여 임목재적(m^3 /본)을 구하여 식 1과 같이 작업생산성(m^3/hr)을 구하였다.

$$\text{작업생산성}(m^3/hr) = \text{시간당 생산량}(본/hr) \times \text{임목재적}(m^3/본) \quad (1)$$

2) 기계이용율

기계이용율(%)은 작업효율성을 분석하기 위한 중요한 요소로서, 전체작업시간(SMH; Scheduled Machine Hour), 순수작업시간(PMH; Productive Machine Hour), 그리고 지연시간을 이용하여 식 2와 같이 계산하였다(Brinker et al., 2002; Cho et al., 2018).

$$\text{기계이용율}(\%) = \frac{\text{순수작업시간}(PMH)}{\text{전체작업시간}(SMH)} \quad (2)$$

3) 작업비용

집재작업 비용은 시간당 생산성과 기계비용을 이용하여 식 3과 같이 산출하였으며, 기계비용은 고정비용과 노무비용 운영비용을 통해 계산하였다(Miyata, 1980; Brinker et al., 2002; Han et al., 2014). 고정비용에는 감가상각비, 이자, 보험 그리고 세금이 포함되며(Miyata, 1980; Brinker et al., 2002; Han et al., 2014), 운용비용에는 연료비와 윤활유 그리고 수리유지비가 포함된다(Korea National Oil Corporation, 2018). 노무비용은 직접노무비, 간접노무비와 보험료를 포함하였다(Construction Association of Korea, 2018).

Table 1. Description of study site.

Area (ha)	Type	Species	Growing stock (m ³ /ha)	thinning rate (%)	Age class	Avg. slope (%)	Avg. Height (m)	Avg. DBH (cm)
14	Coniferous forest	<i>Pinus densiflora</i>	112.7	29	IV	40	11 (4~16)	20 (8~36)

Table 2. The average cycle time of yarding operation by direction.

Direction	Classification	Wireout and hooking	Skidding	Unhooking	Delay	PMH ¹⁾	SMH ²⁾
Downhill	Avg. (sec)	167	92	39	164	297	461
	Std. (sec)	97	70	27	336	158	331
	Percentage (%)	36	20	9	36	64	100
Uphill	Avg. (sec)	113	127	31	175	271	446
	Std. (sec)	61	103	18	568	153	435
	Percentage (%)	25	28	7	39	61	100

¹⁾ PMH: Productive Machine Hour

²⁾ SMH: Scheduled Machine Hour

$$\text{작업비용(원/m}^3\text{)} = \frac{\text{기계비용(원/hr)}}{\text{작업생산성(m}^3\text{/hr)}} \quad (3)$$

4) 집재작업시간 예측모델식 개발

작업생산성에 영향을 미치는 집재작업시간을 예측하기 위해 집재작업시간 예측 모델식을 개발하였다(Kim et al., 2010; Han et al., 2008; Cho et al., 2014). 집재작업시간 예측모델식은 자료 70%를 이용하였으며, 모델식의 검증 을 위해서 나머지 30%를 사용하였다. 또한 도출된 예측모델식을 t-검정을 사용하여 적합성을 검토하였다(Adebayo et al., 2007; Han et al., 2014; Cho et al., 2015; Jeong et al., 2017; Cho et al., 2018). 그리고 작업인자들에 대해 민감도 분석을 실시하여 인자별 작업시간에 미치는 영향을 분석 하였다.

결과 및 고찰

1. 작업생산성

타이폰 윈치를 이용한 집재작업의 요소작업별 작업시간은 Table 1과 같다. 하향 집재작업에서는 전체작업시간 461초 중 와이어로프끌기 및 초킹 시간이 167초(36%)로 가장 많은 시간이 소요되고 있었고, 상향집재에서는 전체작업시간 446초 중 집재시간이 127(28%)초로 가장 많은 시간이 소요되고 있었다.

집재작업공정 분석 결과는 Table 2와 같다. 총 10개 집재선에서 시행된 집재횟수는 95회로써 1 cycle 당 평균 집재재적은 0.26 m³이고, 평균 작업 시간이 약 453초, 평

균 집재거리는 29 m(표준편차: 15.2), 최대집재거리 67 m 이었다. 이 중 지연시간이 평균 약 169초(37%)로 가장 많은 시간을 차지하였으며, 초커해제 시간 약 166초, 와이어로프끌기 및 초킹 시간 약 139초 그리고 집재시간 약 110초로 나타났다. 이에 평균임목재적이 0.17 m³으로 시간당 약 12본의 임목을 집재하였다. 집재방향별 분석결과, 하향집재는 총 47회로써 78본을 집재하였으며, 시간당 약 13본의 임목을 집재하여 총 작업생산성은 2.28 m³/hr, 순작업생산성은 3.54 m³/hr으로 나타났다. 평균 집재거리는 23 m로써 순수작업시간(PMH)은 297초, 전체작업시간(SMH)은 461초이다. 상향집재는 총 48회로써 63본을 집재하였고, 평균 집재거리는 34 m로써 순수작업시간(PMH)은 271초, 전체작업시간(SMH)은 446초이다. 집재재적은 시간당 약 11본의 임목을 집재하여 총 작업생산성은 1.89m³/hr, 순작업생산성은 3.11 m³/hr로 나타났다. 따라서 하향집재 생산성이 상향집재 생산성보다 높은 것을 확인하였는데, 이는 작업시간이 하향집재가 15초 더 길게 나타났으나, 하향집재의 시간당 집재본수가 13본으로 상향집재 11본 보다 더 많았기 때문에 시간당 약 0.39 m³의 재적이 더 추가된 것 때문인 것으로 사료된다. 이러한 결과는 Spinelli et al.(1992)과 Han et al.(2008)의 하향 집재 생산성이 상향집재 생산성보다 높은 결과와 같은 경향을 확인하였다.

기존의 하향집재 생산성 연구결과인 Kim and Park (2010)과 Mun et al.(2014)의 춘천집재기를 이용한 연구의 집재작업 생산성(PMH) 3.18 m³/hr과 2.84 m³/hr과 유사한 결과를 보였으나, Spinelli et al.(1992)의 하향집재

Table 3. Comparison of yarding productivity between downhill and uphill yarding.

	Yarding direction	
	Downhill	Uphill
Average yarding slope (%)	29 (1~60*)	43 (17~63)
Average yarding distance (m)	23 (5~67)	34 (10~65)
Average number of trees per hour	12.97	10.6
Average volume per trees (m ³)	0.18 (0.05~1.07)	0.18 (0.06~0.66)
Average volume per cycle (m ³)	0.29	0.23
Average delay-free cycle time (sec)	297	271
Average delay time per cycle (sec)	164 (30~1250)	175 (67~2368)
Average cycle time (sec)	461	446
Yarding productivity (m ³ /SMH)	2.28	1.89
Yarding productivity (m ³ /PMH)	3.54	3.11

*() : 값의 최대최소

Table 4. Cost factors and assumptions used for machine rate calculations.

Cost factor	Unit	Yarding
Purchase price	KRW	55,000,000
Economic lives	years	6
Salvage value	%	10
Scheduled operating time	hr/year	1200
Annual interest rate	%	10
Repair and maintenance	%	100
Oil price	KRW/L	1,244
Coefficient of lubricant	%	30
Fuel consumption	L/hr	4
Daily wage of operator	KRW/day	133,417
Daily wage of ground crew	KRW/day	109,819

생산성인 5.08 m³/hr과는 큰 차이를 나타냈다. 이 연구결과를 종합적으로 고찰하면 집재재적(m³/cycle)에 대한 작업생산성(m³/hr)은 $y = 2.84 + 1.70x$ ($R^2=0.95$)으로 도출하였으며, 집재재적 0.1 m³당 작업생산성은 0.17 m³/hr씩 일정한 영향을 주며 상관관계가 매우 높은 것으로 나타났다.

2. 작업비용

집재작업비용 산출을 위한 기계비용 인자값은 현장조사를 통하여 Table 3과 같이 종합적으로 정리하였다.

기계비용은 Table 4와 같이 고정비용, 운용비용 및 노무비용 등을 이용하여 시간당 약 100,772원이 소요되었으며, 집재방향에 따른 생산성의 차이로 하향집재 작업비용은 44,166원/m³, 상향집재 작업비용은 53,369원/m³으로 나타났다. 이는 침엽수림의 춘천집재기를 이용한 전목 하향집재(Kim et al., 2010)와 비교하였을 때, 기계비용의 경우 95,397원으로 연간 물가 상승률로 고려하면 큰 차이가 없는 것으로 판단되며, 집재작업 생산성 3.18

m³/PMH에 따른 작업비용 29,968원/m³과 비교해 본 결과, 생산성의 차이로 인하여 약 1,000원/m³ 저렴한 결과를 나타내었다.

3. 작업효율성

1) 기계이용율에 따른 작업비용 변화

기계이용율과 작업생산성이 양의 상관관계를 가진다고 가정하면(Harrill and Han, 2012), 기계이용율을 높이기 위하여 지연시간을 최소화 하는 방안이 필요하다. 따라서 지연시간을 분석해본 결과(Figure 1), 운용적 지연은 45%, 인위적 지연이 55%로 나타났으며, 기계적 지연은 발생하지 않았다.

따라서 지연시간 분석을 통해 나타난 휴식 등의 인위적 지연은 필요불가결한 지연시간으로 개선여지가 없다고 판단한다면, 운용적 지연을 개선하여 Table 5와 같이 기계이용률을 높여서 작업생산성 향상 및 비용 절감을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 운용적 지연시간을 최소화

Table 5. Comparison of yarding cost between downhill and uphill yarding.

		Yarding direction	
		Downhill	Uphill
Machine utilization(%)		64	61
Fixed costs (KRW/hr)	Depreciation cost	6,875	
	Interest, Insurance and Tax	4,297	
Operating costs (KRW/hr)	Fuel cost	4,976	
	Lube cost	1,493	
	Repair and Maintenance cost	10,913	
Labor costs (KRW/hr)	Labor cost	64,385	
	Benefit cost	7,082	
	Insurance cost	7,182	
Total machine costs (KRW/hr)		100,772	
Hourly productivity (m ³ /hr)		2.28	1.89
Yarding cost (KRW/m ³)		44,166	53,369

Table 6. Yarding costs estimated based on different machine utilization rates.

Utilization (%)	Productivity (m ³ /SMH)		Cost (KRW/m ³)	
	Downhill	Uphill	Downhill	Uphill
60	2.11	1.84	47,759	54,767
70	2.47	2.14	40,798	47,090
80	2.82	2.45	35,735	41,131
90	3.16	2.75	31,890	36,644

Table 7. Validation result of the regression equations based on the test data.

Yarding direction	n	\bar{D}	$S_{\bar{D}}$	t^*	Prob> t
Downhill	14	-9.56	23.45	-0.407	0.69
Uphill	15	3.02	20.69	0.146	0.89

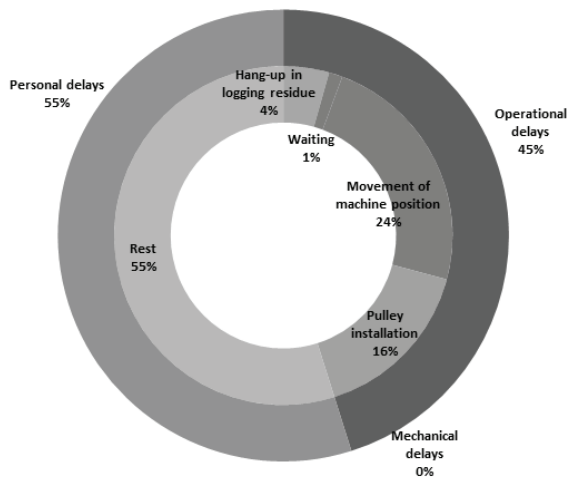


Figure 1. Delay Time.

할 경우, 기계이용율이 최대 약 80%까지 가능하므로 이에 작업생산성은 현재의 생산성 보다 약 0.5 m³/SMH 향상되며, 작업비용은 하향집재 약 8,000원/m³, 상향집재 약 12,000원/m³ 저감될 것으로 기대된다.

2) 회귀모델식

집재작업 95개 자료 중에서 70%인 66개의 자료를 이용하여 집재본수(pieces/cycle), 집재거리(m), 집재경사(%) 및 집재재적(m³)을 인자로 하는 하향(R²=0.64)과 상향(R²=0.82)의 집재작업시간 예측모델식을 개발하였으며, 그리고 검증자료 29개를 이용하여 t-검정을 실시하였다 (Table 6). 두 예측모델식 모두 실측값과 추정값 간의 유의수준 5%내에서 차이가 인정되지 않았다(p>0.05).

예측모델식에 사용된 독립변수 중 집재거리는 상·하향 모두 유의적이었으나(p<0.05), 하향집재에서는 집재본수(p=0.084)와 집재재적(p=0.114)이 유의성이 없는 것으로 나타났다(p>0.05). 상향집재에서는 집재경사(p=0.179)와 집재재적(p=0.850)이 유의수준 5%에서 유의적이지 않는 것을 확인하였으나, 집재재적은 상·하향 집재에서 중복적으로 유의성이 없는 것으로 나타났으며, 또한 집재본수와의 상관관계가 높은 것으로 사료되어 독립변수에서 제외하였다.

따라서 추정자료와 검증자료의 통합하여 최종 집재시간

Table 8. Regression models to estimate the average cycle time(sec.) by fit data

Yarding direction	Regression equations	n	R ²	Prob>F	Std. Err.	p-value
Downhill	time(sec)=-13.468	47	0.62	<0.0001	52.073	0.797
	+53.973 × pieces				23.171	0.025
	+ 7.074 × yarding dist. + 1.837 × slope				1.078 0.987	<0.0001 0.070
Uphill	time(sec)=-129.962	48	0.82	<0.0001	40.347	0.002
	+76.883 × pieces				17.850	<0.0001
	+ 7.762 × yarding dist. + 0.905 × slope				0.781 0.656	<0.0001 0.175

예측모델식을 Table 7과 같이 개발하였다. 예측모델식의 독립변수인 집재본수와 집재거리는 모두 유의적으로 나타났으나(p<0.05), 집재경사는 상·하향집재에서 모두 유의적이지 않은 것으로 확인되었다(p>0.05). 그러나 집재경사는 작업효율성에 미치는 영향이 매우 크다는 현장작업자의 의견을 반영하여 예측모델식의 인자로서 포함하였다.

4. 민감도 분석

개발된 집재작업시간 예측모델식을 이용하여 효율적 집재작업분석을 위해, 각 대상지 작업조건에 따라 인자들의 평균값을 적용하는 표준화 작업을 실시하였다. 하향집재의 경우 평균 집재거리 23.9 m, 평균경사 28.6%, 평균집재본수 1.6본이었으며, 상향집재의 경우 평균 집재거리 33.4 m, 평균경사 42.5%, 평균집재본수 1.4본으로 적용하였다.

집재거리는 10 m 단위로 작업생산성의 증감을 확인하였다. 상향집재 작업생산성은 10~20 m 구간에서 증감률 약 -45%로 크게 나타났으며, 이후 점차 감소폭이 둔화되었다. 하향집재 작업생산성은 상 10~20 m 구간에서 증감률 약 -17%로 나타났으며 이후 감소폭이 둔화현상이 발생되었다(Figure 2).

또한 Figure 3과 같이 집재경사에 따른 상향집재 작업생산성의 변화는 증감률 약 -3%씩 지속적으로 감소하였으며, 하향집재 작업생산성은 -5%로 상향집재 생산성의 감소폭 보다 더 크게 감소되는 것을 확인하였다. 따라서 상향집재보다 하향집재에서 경사에 대한 작업안전의 원인으로 작업시간이 증가되는 것으로 사료된다.

그리고 집재본수에 따른 작업생산성은 집재목이 최대 3본으로 집재되어 이에 따른 변화량을 확인하였다. 작업생산성은 집재목 2본을 기준으로 상·하향 집재의 증가폭 변화되었으며, 상향집재에서는 작업생산성의 증가폭이 52%에서 32%, 하향집재는 66%에서 47% 감소되었다(Figure 4). 따라서 작업생산성은 집재목 2본을 기준으로 집재목이 증가할 경우 하향집재가, 집재목이 1본일 경우 상향집재가 유리한 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인

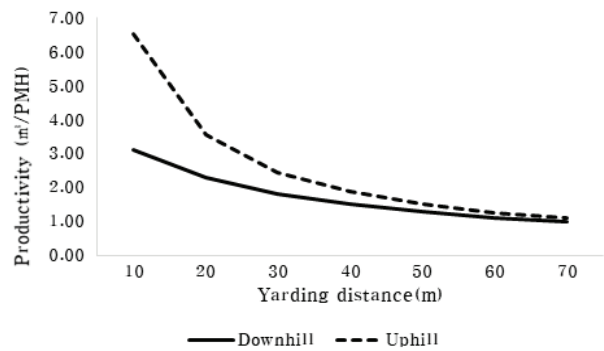


Figure 2. Sensitivity analysis on productivity for different yarding distances.

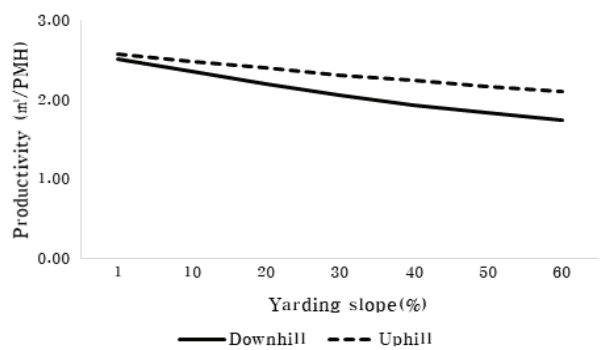


Figure 3. Sensitivity analysis on productivity for different yarding slope.

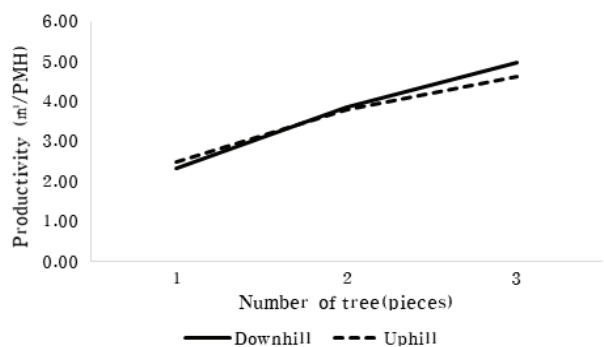


Figure 4. Sensitivity analysis on productivity for different number of tree.

검토가 필요할 것으로 판단된다.

트랙터원칭(TAJFUN)를 이용한 상·하향집재 작업에 대한 각 인자별 민감도를 분석한 결과, 집재거리가 작업생산성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 집재본수와 집재경사 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

결론

본 연구에서는 숲가꾸기 간벌작업지를 대상으로 국내의 지면끝기집재에 대한 연구에 대한 기초자료를 제공하기 위하여 트랙터원칭(TAJFUN)를 이용한 전목집재작업의 작업생산성 및 수확비용을 분석하였다.

집재작업의 비용은 작업생산성에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 하향작업의 생산성은 2.28 m³/hr로 상향집재작업 생산성 1.89 m³/hr 보다 높게 산출되었다. 이는 1 cycle 당 평균 집재재적의 차이, 즉 집재목의 본수가 작업생산성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 하향집재가 상향집재보다 작업의 수월성으로 인하여 생산성이 높은 것으로 판단된다. 또한 하향집재작업 시 1 cycle 당 평균 집재재적에 대한 생산성을 기존 연구들과 종합적으로 검토한 결과, 집재재적 0.1 m³이 증가할수록 작업생산성은 0.17 m³/hr씩 증가하는 경향을 나타내고 있으므로 1 cycle당 집재본수를 높일 수 있도록 작업을 실시해야 할 것으로 판단된다.

또한 작업생산성에 영향을 미치는 작업지연 시간에 대한 분석 결과, 운용적 지연 및 인위적 지연을 작업개선 등을 통해 최소화하여 기계이용률을 80%까지 높일 경우 생산성은 약 0.5 m³/SMH로 향상되며, 작업비용은 하향집재 약 8000원/m³, 상향집재 약 12,000원/m³ 저감될 것으로 기대된다.

집재작업시간 예측모델식을 이용하여 민감도 분석 결과, 작업생산성에 영향을 미치는 인자는 집재거리, 집재본수 및 집재경사의 순으로 나타나, 작업생산성을 향상시키기 위해서는 적정 집재거리, 최대 집재본수 그리고 집재경사에 적합한 작업방식을 고려할 필요가 있으며, 금후 트랙터 원칭 작업에 대한 많은 데이터를 수집·분석하여 범용적인 작업 생산성 및 비용을 제시할 필요가 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S111213L040100)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 현장 자료수집에 도움을 준 강원대학교 산림경영학과 우탄 학생에게 감사드립니다.

References

- 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 Prod Journal* 57(5): 59-69.
- Brinker, R.W., Kinkard, J., Rummer, B. and Landford, B. 2002. Machine rates for selected forest harvesting machines. Circular 296(Revised). Alabama Agricultural Experimental Station. Auburn, Alabama, USA. pp. 32.
- Bodaghi, A.I., Nikooy, M., Naghdi, R., Venanzi, R., Latterini, F., Tavankar, F. and Picchio, R. 2018. Ground-based extraction on salvage logging in two high forests a productivity and cost analysis. *Forests*.
- 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 Korean Forest Science* 30(1): 107-112.
- Cho, M.J., Cho, K.H., Choi, B.K. and Cha, D.S. 2018. Yarding productivity of tree-length harvesting using a small cable-yarder in steep slope, South Korea. *Forest Science and Technology* 14(3) : 132-137.
- Construction Association of Korea. 2018. Government Standards for Unit Labor Costs in the 2nd Half of 2018.
- Ghaffariyan, M.R. 2014. A short review of efficient ground-based harvesting systems for steep and mountainous areas. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering* 7(2): 11-16.
- Gilanipoor, N., Najafi, A. and Heshmat Alivaezin, S.M. 2012. Productivity and cost of farm tractor skidding. *Journal of Forest Science* 58(1): 21-26.
- 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 system. *Journal of Korean Forest Society* 103(1): 87-97.
- Han, W.S., Han, H.S., Kim, Y.S. and Sin, M.Y. 2008. The yarding productivity and cost of cable yarding operation by yarder attached on tractor using the Chuncheon tower-yarder. *Journal of Korean Forest Society* 97(6): 641-649.
- Han, W.S., Kim, J.W., Song, T.Y., Cho, K.H., Oh, J.H., Han, H.S., Kim, Y.S. and Shin, M.Y. 2009. The yarding productivity of cable yarding operation by yarder attached on tractor. 2009 Regular Conference of Korean Forest Society : 354-356.
- Heinimann, H. 1999. Ground-based Harvesting Technologies for Steep Slopes. In *Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium* : 1-19.

- Jeong, E.J., Cho, K.H., Cho, M.J., Choi, B.K. and Cha, D.S. 2017. Productivity and cost of tree-length harvesting using cable yarding system in a larch(*Larix leptolepis*) clear-cutting stand. *Journal of Forest and Environmental Science* 33(2): 147-153.
- Kim, J.H. and Park, S.J. 2010. An analysis of the yarding productivity and cost in forest tending operation. *Journal of Korean Forest Society* 99(4): 625-632.
- Kim, J.H. 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.
- Kim, J.H. and Park, S.J. 2013. An 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 National Oil Corporation. 2018. Oil Price Database. <http://www.knoc.co.kr>. Accessed 2018.
- Korea Forest Service. 2018. Statistical Yearbook of Forestry pp. 78.
- MacDonald, A.J. 1999. Harvesting systems and Equipment in British Columbia. pp. 197.
- Miyata, E.S. 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. U.S. Department of Agriculture Forest Service Gen. Tech. Re. NC=55. pp. 16.
- 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.
- Park, S.J. 2002. An Analysis of the efficiency of tarding operation by yarder attached on tractor. *Journal of Korean Forest Society* 91(3): 287-295.
- Seol, A., Han, H., Jung, Y.K., Chung, H.J. and Chung, J.S. 2016. Analyzing the comparative economic efficiency of short-wood woodgrab logging and whole-tree cable logging operations. *Journal of Korean Forest Society* 105(2): 231-237.
- Wang, J., Long, C., McNeel, J. and Baumgras, J. 2004. Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal* 54(12): 45-51.
- 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.

Manuscript Received : August 13, 2019

First Revision : November 6, 2019

Second Revision : November 12, 2019

Accepted : November 13, 2019