

트랙터부착 집재기를 이용한 집재작업 분석
- 춘천집재기를 중심으로 -

한원성^{1*} · 한한섭² · 김영숙¹ · 신만용¹

¹국민대학교 산림과학대학, ²험볼트 주립대학교

The Yarding Productivity and Cost of Cable Yarding
Operation by Yarder Attached on Tractor
- Using the Chuncheon Tower-yarder -

Won Sung Han^{1*}, Han-Sup Han², Yeong-Suk Kim¹ and Man Yong Shin¹

¹College of Forest Science, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

²Department of Forestry and Wildland Resources, Humboldt State University, Arcata, California, USA

요 약: 본 연구에서는 춘천집재기를 이용한 집재작업에서의 집재작업생산성 및 비용을 분석하기 위해 낙엽송 간벌 작업지 4개소에서 상향집재와 하향집재 작업으로 구분하여 조사를 실시하였다. 집재작업의 작업생산성을 예측하기 위한 평균 집재작업시간 추정식을 도출하였으며, 이를 이용하여 생산비용에 관여되는 인자들과 함께 집재작업 비용을 분석하였다. 춘천집재기를 이용한 집재작업 비용은 상향집재에서 12,844원/m³, 하향집재에서는 13,221원/m³로 나타났다. 평균집재 작업시간은 상향집재시 239초, 하향집재시 274초로 나타났다. 상향집재시에는 가로집재가 가장 많은 부분(37%)을 차지한 반면, 하향집재에서는 집재시간이 평균집재시간에서 가장 높은 비율(46%)을 차지하였다. 이는 하향집재시 집재목 걸림현상이 상향집재보다 많이 발생하기 때문이다. 조사지에서의 작업 생산성은 하향집재 작업이 상향집재 작업보다 높은 것으로 나타났으나, 집재방향을 제외한 동일한 작업조건에서 비교하였을 경우 상향집재 작업이 하향집재 작업에 비해 생산성이 높은 것으로 나타났다.

Abstract: This study was conducted to evaluate the productivity and the operational costs of the Chuncheon Tower-yarder, a skyline yarding system used in Korea. Detailed time study data were collected from 4 thinning sites in Japanese larch (*Larix leptolepis*) stands; one site for uphill yarding and three sites for downhill yarding. This study derived regression models to estimate the average cycle time (sec.) for uphill and downhill yarding. The average yarding cost was 12,844 won/m³ for uphill yarding, while downhill yarding cost was 13,221 won/m³. The average yarding time was 239 sec/cycle for uphill yarding, while downhill average yarding time was 274 sec/cycle. We found that uphill yarding productivity was higher when the operation system was examined under the same work conditions (i.e. standardized comparison) except yarding directions for both uphill yarding and downhill yarding.

Key words : skyline thinning, yarding productivity and cost, yarding direction

서 론

우리나라의 산림은 지금까지 치산녹화를 위해 많은 노력을 해온 결과 III-IV영급의 산림이 대부분을 차지하고 있다(산림청, 2007). 그러나 대부분의 산림에 대한 관리가 제대로 이루어지지 않고 있으며, 최근 숲 가꾸기 사업을 통해 무육간벌 등을 실시하고 있으나 그 효과는 미비

한 실정이다. 1970년대 이후 임업기계의 보급과 연구가 시작되면서 산림작업에 많은 영향을 주었으나, 부족한 예산과 인력으로 인해 방치되는 산림이 아직도 많은 것이 사실이다(북부지방산림청, 2007). 더욱이 무육간벌 작업 등을 실시한 후에는 간벌목 등의 부산물을 임분 밖으로 끌어내는 것이 중요한데, 이러한 집재작업은 산림작업 중에서도 가장 많은 비용과 노력이 요구되는 작업 중의 하나이며(우보명 등, 1990), 부족한 예산과 노동력, 그리고 임금 상승 등으로 인해 작업에 어려움이 발생하게 된다. 집재작업은 잔존하는 임목과 임분 환경에 큰 훼손을 가져

*Corresponding author

E-mail: mikey-hws@hanmail.net

본 연구는 산림청(S210707L010110)의 지원에 의해 수행되었음.

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

Site No.	Area (ha)	Mean DBH (cm)	Trees per ha (No.)		Volume (m ³ /ha)		Mean ground slope	Yarding direction
			Pre-harvest	Residual	Pre-harvest	Removed		
A	5	26	424	133	215.9	44.9	27°	Downhill
B	5	26	425	125	206.7	39.1	30°	Uphill
C	5	28	416	133	263.0	51.5	24°	Downhill
D	5	28	408	125	259.6	48.3	27°	Downhill

오기도 하며, 이러한 문제로 인해 친환경적인 수확방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히, 집재기계에 대한 도입과 이를 이용한 연구가 이루어지고 있으며(노재후 등, 1988; 박종명, 1990; 우보명 등, 1990; 노재후, 1993; 김덕수, 1994; 송태영 등, 1998; 박상준, 2002a, 2002b, 2004), 현장에서의 사용가능성과 작업능률, 그리고 주요 특징들에 대한 연구가 보고되고 있다(산림청, 1999; 북부지방산림청, 2007). 임업기계의 성능과 작업능률 등에 대한 정보는 임목수확작업을 계획하고 실행하는데 있어 매우 중요한 요인으로 작용하므로, 각 기계의 생산성과 이에 따른 생산비용 등을 파악하는 것이 중요하다.

결국 목재 생산비용의 절감을 위해서는 무엇보다 기계화에 의한 작업이 필요하며(송태영 등, 1998), 각 기계의 기초 정보를 활용한 사업계획이 작업의 효율성을 높여 줄 것으로 기대된다. 이를 위해 최근에는 임업기계의 도입뿐만 아니라, 우리나라 지형에 알맞은 집재기계를 개발하고 있으며(농림부, 1997; 박상준, 2002b), 특히 트랙터부착 집재기인 춘천집재기는 트랙터에 부착하는 집재기계로서 국내 산지 여건이 감안되어 연구개발되었으며, 상하 높이 조절이 가능한 타워를 탑재하여 상·하향 가선집재가 가능한 기계이다(북부지방산림청, 2007). 각 임분의 조건에 따라 기계의 작업능률을 미리 예측할 수 있다면 임목수확작업을 계획하는데 도움이 될 수 있으며, 가장 효율적인 작업을 시행할 수 있는 기초자료가 될 수 있다.

본 연구는 춘천집재기의 작업능률과 집재비용을 분석하고, 집재작업에서의 비효율적 요소에 대한 문제점 등을 파악하여, 향후 효율적인 집재작업 시스템을 구축하는데 기초자료를 제공하고자 수행 하였다.

조사 및 방법

1. 조사지와 집재작업 및 집재기계의 개요

본 연구의 조사지는 Table 1과 같으며 강원도 춘천시 사북면과 경기도 가평군 설악면에 위치한 낙엽송 조림지로서, 두 지역에 각각 5 ha의 집재작업지 2개씩을 설치하여 조사하였다. 조사지는 ha당 임목재적이 200 m³ 이상으로

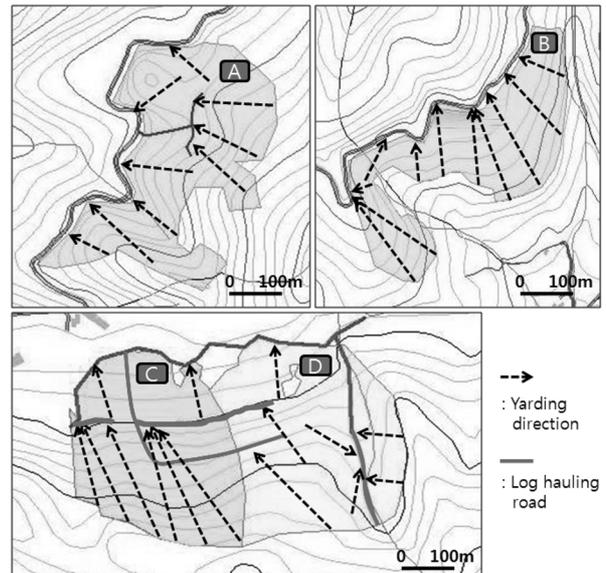


Figure 1. Skyline line roads and yarding directions in the study units.

수익간벌 대상지이며, 강도간벌지로서 간벌률은 본수 대비 약 30%이다.

조사지의 임목수확작업은 체인톱(Chain saw)을 이용한 벌채작업과 춘천집재기를 이용한 전간재 집재 그리고 체인톱에 의한 절동 작업을 통해 이루어졌다. 4개 조사지 중에서 1개 조사지에서 상향집재가 이루어졌고, 나머지 작업지에서는 하향집재가 이루어졌다. Figure 1에서 보는바와 같이 각 작업지에서 집재 작업을 위한 가선을 설치하였다. 상향집재 작업에서는 평균 가선거리가 77 m였으며, 하향집재 작업에서는 평균 98 m의 가선이 설치되었다. 집재작업은 2~3인이 1개조를 이루어 가능하나, 안전성과 효율성을 위해 4인이 1개조를 이루어 실시되었다.

조사에 사용한 트랙터부착 타워집재기인 춘천집재기는 50~80마력급 트랙터에 부착하여 사용하며, 타워의 높이는 2.5 m에서 4.2 m까지 조절이 가능하다. 스카이라인, 견인용 및 되돌림용 등 3개의 드럼을 부착하고 있으며, 최대 집재 거리는 200 m, 그리고 최대 1.0톤까지 견인이 가능한 기계로써 3~4인이 1개조로 편성되어 작업이 진행된다(북부지방산림청, 2007).

2. 조사 방법

춘천집재기를 이용한 집재작업에서의 조사는 스톱워치(stop watch)를 이용한 연속작업시간 측정에 의해 실시하였으며, 작업공정을 반송기보내기(carriage out), 와이어로프 가로뜰기(lateral out), 초커설치(choking), 가로집재(lateral yarding), 집재(yarding) 그리고 짐풀기 작업(unhooking) 등으로 구분하였다(Studier and Binkley, 1974; Huyler and Ledoux, 1997). 이 외에 작업대기시간, 신호보내기(signaling)시간, 작업지연(delay)시간 그리고 가선 설치 및 철거 시간 등을 추가로 조사하였다. 각 공정별 작업시간을 측정하면서 집재거리, 가로집재거리, 집재수량, 경사도 그리고 집재목의 흉고직경(DBH) 등을 시간관측 야장에 기입하였다.

수집한 자료는 작업방법별로 평균작업 시간을 예측할 수 있는 추정식을 개발하기 위해 상향집재가 이루어지는 대상지 B와, 하향집재가 이루어지는 A, C 그리고 D로 분류하였다. 이와 같은 방법으로 조사된 자료는 상향집재와 하향집재 자료로 구분하고, 다시 평균작업 시간 예측 추정식 도출에 필요한 추정자료(fit data)와 검증에 필요한 검증자료(test data)로 분류하였다. 자료의 분류는 무작위 분류(random)에 의해 Table 2와 같이 추정자료를 70% 그리고 검증자료가 30%가 되도록 분류하였다(Snee, 1977). 사용된 자료는 3개 조사지에서 수집된 하향집재 자료 350회와 나머지 1개 조사지에서 수집된 상향집재 자료 174회로 하향집재 작업에서 수집된 자료의 양이 많았다.

3. 분석 방법

1) 집재작업 생산성 분석

수집한 자료를 이용하여 춘천집재기를 이용한 평균집재작업시간을 추정하였다. 분석은 모든 독립변수가 추정식을 만드는 데 적합한 변수인지 알 수 없으므로 여러 독립변수 중에 중요한 인자만을 선택하여 추정식을 만드는 방법을 사용하였다. 그 방법으로 중회귀분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)에 의해 추정식에 필요한 최적의 변수 조합을 선택하는 방법을 사용하였다(신만용 등, 2006; Lortz et al., 1997). 이 과정에서 변수들 사이에 내부상관이 있는지를 검증함으로써(Belsley et al., 1980; Myers, 1986; Judge et al., 1988), 내부상관의 문제를 제거하면서 최적 변수의 조합에 의하여 결정계수가 높은 추정식이 산출되도록 하였다.

Table 2. Summary of the model fit and test data used to develop predictive equations of yarding cycle time.

Yarding direction	Total	Fit data	Test data
Uphill	174	123	51
Downhill	350	245	105

추정식이 도출되면 추정식의 적합성을 검증하여야 하므로 검증자료를 이용하여 각 추정식의 적합성을 검증하였다. 검증자료에 의한 평균 집재작업 시간과 추정식에 의한 평균 집재작업 시간에 대한 통계 검증 방법은 대응하는 두 표본평균 간의 비교에 사용되는 t-검정을 사용하였다(신만용과 한원성, 2006; Adebayo et al., 2007). 이 검증에 사용되는 t 통계량은 다음과 같다.

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

여기서, $t^*=t$ 통계량, \bar{D} =검증자료와 추정식에 의한 평균 집재작업 시간 차이의 평균치 그리고 s_D =평균 집재작업 시간 차이의 평균치에 대한 표준오차이다.

추정자료를 사용하여 개발된 회귀식을 검증자료에 근거하여 통계적으로 평가한 후 추정식이 적합하다고 판단될 경우, 추정자료와 검증자료를 통합한 전체 자료를 사용하여 동일한 방법으로 최종적인 회귀 추정식을 개발하는 것이 바람직하다(신만용 등, 2006). 이는 회귀 추정식 조제에서는 더 많은 자료를 사용할수록 추정능력이 더욱 높은 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 추정자료와 검증자료를 통합하여 앞에서 제시한 방법에 따라 최적의 추정식을 도출하였다.

2) 집재작업 비용 분석

생산비용은 작업의 생산성과 기계비용에 따라 달라지게 되며, 기계비용은 크게 고정비용과 운용비용으로 구분한다(우보명, 1990). 고정비용은 작업량에 관계없이 소요되는 비용으로 감가상각비, 이자, 보험, 세금 등이 포함되며, 운용비용은 작업시간과 사용시간에 따라 소요되는 비용으로, 유지관리비, 연료비와 오일 그리고 인건비 등이 포함된다. 기계비용 산출에 관여되는 인자들을 조사하여, 시간당 고정비용과 운용비용을 산출한 후(우보명 등, 1990; 송태영 등, 1998; Brinker et al., 2002), 시간당 생산량을 이용하여 집재비용을 산출하였다(Brinker et al., 2002).

집재비용의 계산은 우보명 등(1990)과 Brinker et al.(2002) 등이 사용한 방법을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$D = \frac{(P-S)}{N}, \text{ AYI} = \frac{(P-S) \times (N+1)}{2N} + S, \\ \text{IN} = \text{AYI} \times \text{이자율}(\%)$$

여기서, D는 감가상각비(depreciation), P는 기계구입비(purchase price), S는 기계의 잔존가치(salvage value), N은 기계의 수명(machine life) 그리고 AYI는 투자평균가치(average yearly investment)이다. 또한 고정적으로 들어가는 IN은 이자(interest cost)이며, 보험 그리고 세금 등도 IN과 같은 방법으로 계산하였다.

본 집재작업 비용 분석에서 사용한 각 인자의 값은 Table

Table 3. Cost factors and assumptions used for machine rate calculations.

Cost factor	Value
Purchase price	70,000,000 won
Scheduled machine hours (SMH) per year	1,680 hours
Economic lives	6 years
Salvage value	10% of purchase price
Interest, insurance and tax	17% of average annual investment
Repair and maintenance	100% of annual depreciation
Diesel price	1,400 won/litter
Fuel consumption	4 litter/hour
Oil and lube cost	40% of fuel cost
Labor ^a	Operator : 78,468 won/day Ground crew : 72,914 won/day Assistant worker : 56,822 won/day

a : Forest Service, 2007a

3과 같으며, 이를 이용하여 집재작업비용을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 집재작업 생산성 분석

1) 요소작업시간 및 공정 분석

춘천집재기를 이용한 집재작업에서의 요소작업별 작업 시간은 Figure 2와 같다. 하향집재 작업에서는 순 작업시간(PMH) 185초 중에서 주집재 시간이 46초로 가장 많은 시간이 소요되고 있었으며, 상향집재 작업에서는 가로끌기 작업시간이 가장 많은 시간이 소요되었다. 이것은 하향집재 작업에서의 평균 집재 거리가 66 m로 상향집재 작업의 집재거리(47 m) 보다 길기 때문인 것으로 판단되며, 반송기 보내기 시간에서도 이러한 현상을 확인할 수 있다. 짐풀기 작업에서도 상당한 차이를 나타내고 있으며, 하향집재 작업(30초)이 상향집재 작업(22초)보다 많은 시간이 소요되는 것은 집재목이 집재기계 앞에 쌓이면서 짐풀기

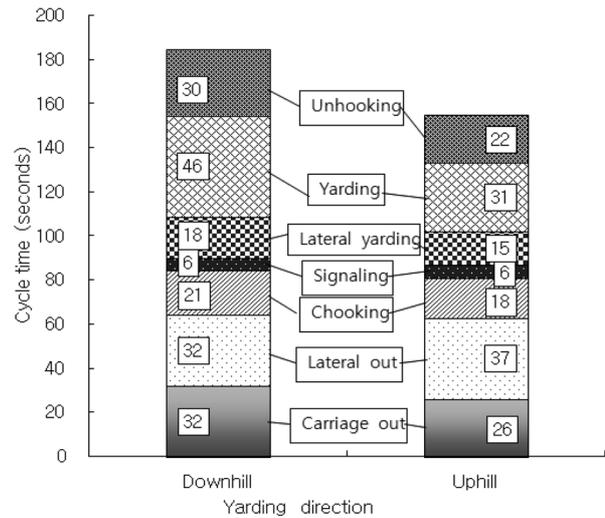


Figure 2. Yarding cycle components seconds of the average productive cycle time.

작업에 어려움이 발생하는 현상이 나타났기 때문인 것으로 판단되며 반면, 상향집재의 경우 집재목이 집재기계 아래쪽의 경사 밑으로 쌓이면서 하향집재보다 수월한 작업이 이루어지기 때문으로 판단된다.

춘천집재기를 이용한 집재작업공정 분석 결과는 Table 4와 같으며, 상향집재 작업에서는 집재거리가 평균 47 m, 가로집재거리가 평균 11 m, 하향집재 작업에서는 평균 집재거리가 66 m, 평균 가로집재거리가 11 m인 조사지에서 작업지연을 포함하지 않은 평균 집재시간은 상향집재의 경우 155초 그리고 하향집재의 경우 185초가 소요되는 것으로 나타났다. 상향집재에서는 1회 평균 약 1.05개의 집재목을 집재하고 있는 것으로 나타났으며, 집재목 1개의 평균 재적은 0.484으로 1회 집재시 평균 작업량은 0.508 m³/cycle이다. 반면, 하향집재에서는 1회 평균 집재목의 수가 1.16개 그리고 집재목의 평균 재적은 0.577으로 1회 평균 작업량은 0.669 m³/cycle으로 나타났다.

Table 4. Comparison of yarding productivity between uphill and downhill yarding.

	Yarding direction	
	Uphill	Downhill
Average lateral distance (m)	11 (1-36)	11 (1-39)
Average yarding distance (m)	47 (7-107)	66 (2-145)
Average number of pieces per cycle	1.05 (1-2)	1.16 (1-4)
Average volume per pieces (m ³)	0.484	0.577
Average volume per cycle (m ³)	0.508	0.669
Average delay-free cycle time (sec)	155 (91-279)	185 (69-374)
Average delay time per cycle (sec)	84	90
Average cycle time (sec)	239 (91-1,419)	274 (69-2,375)
Machine utilization (%) ^a	64.8	67.2
Yarding productivity (m ³ /PMH) ^b	11.8	13.1

a : Machine utilization rates were only 37.3% and 51.0% for uphill and downhill yarding operations, respectively if time required for skyline road changes were include in the utilization calculation (=PMH/SMH×100).

b : PMH=productive machine hours.

Table 5. Regression models to estimate the average cycle time(sec.) by fit data.

Yarding direction	Regression equations	n	R ²
Uphill	time(sec)=110.32 + 3.15×lateral dist. + 0.60×yarding dist. + 39.43×pieces - 1.99×slope	123	0.50
Downhill	time(sec)=16.81 + 3.05×lateral dist. + 1.40×yarding dist. + 21.77×pieces + 0.55×DBH	245	0.78

작업 도중에 발생하는 기계작동 오류나 작업원의 휴식, 작업 지체 등의 작업지연 시간은 상향집재에서 1회 평균 84초가 발생하고, 하향집재에서는 90초 정도가 발생하고 있는 것으로 나타났다. 하향집재의 경우 평균 집재거리가 상향집재에 비해 길고, 집재목의 걸림 현상이 많아 작업 지연 시간이 높은 것으로 판단된다. 결국 순작업시간과 작업지연시간을 고려한 기계 이용률(machine utilization)은 Table 4와 같이 상향집재가 64.8% 그리고 하향집재가 67.2%로 나타나고 있다. 또한 집재작업을 위한 기계의 이동이나, 설치 및 철거 시간 등은 상향집재 작업에서는 평균적으로 77 m의 가선을 설치, 철거하는데 평균 64분이 소요되었으며, 하향집재 작업에서는 평균 98 m의 가선을 설치, 철거하는데 평균 51분이 소요되는 것으로 나타났다. 가선은 상하향 작업시 모두 되돌림줄(haulback line)을 설치하여 집재작업을 실시하였으며, 상향집재 작업에서 가선을 설치, 철거하는데 시간이 오래 걸리는 것은 작업지의 경사도가 높아 작업자의 이동이 어려운 것이 가장 큰 이유인 것으로 판단된다. 작업지연 시간을 포함시킬 경우 기계 이용률은 상향집재가 37.3%, 하향집재가 51.0%로 낮아진다. 상향집재의 기계이용률이 하향집재에 비해 현저하게 낮아지는 것은 상향집재 작업에서는 집재장소가 협소하여 하향집재 작업에 비해 집재료를 자주 변경하였고, 이에 따라 집재횟수가 적었기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 기계이용률은 전체 작업시간(Scheduled machine hours : SMH) 중에서 작업지연시간 등을 제외한 순작업시간의 비율을 의미하며, 기계이용률이 높을수록 생산성은 높아지게 된다. 따라서 집재작업 중의 작업지연 시간을 단축시키고, 적절한 집재료를 선택하여 기계를 설치해 기계의 불필요한 이동과 설치 및 철거 시간을 줄이는 것이 생산성을 높이는 방법이다.

춘천집재기를 이용한 집재작업량(m³/PMH)은 상향집재가 11.8 m³ 그리고 하향집재가 13.1 m³이다(Table 4). 이것을 1일 집재작업량으로 계산할 경우, 가선의 설치, 철거 등을 포함한 기계 이용률이 각각 37.3%, 51.0%이므로 하루 8시간의 작업시간 중 기계이용률을 적용한 순집재작업 시간은 상향집재가 약 3시간, 하향집재가 약 4시간이며, 4인 1조 작업시의 집재작업량은 각각 35.4 m³/일, 52.0 m³/일이다.

2) 집재작업 생산성 예측

집재작업에서의 생산성을 예측하기 위해서는 집재작업

시간의 추정이 필요하다. 따라서 본 연구에서 수집한 자료를 바탕으로 평균 집재작업 시간을 예측할 수 있는 추정식을 개발하였다. 수집된 자료는 추정식을 개발하기 위한 추정자료와 이를 검증하기 위한 검증자료로 분류하였으며, 추정자료를 이용하여 평균 집재작업시간 추정식을 도출하였다.

평균 집재작업 시간은 단계별 회귀분석 기법에 의해 추정식에 적합한 최적의 조합에 의해 도출하였으며, 결과적으로 상향집재와 하향집재 모두 4개의 독립변수에 의해 추정할 수 있는 것으로 판명되었다(Table 5). 본 연구에서 개발된 추정식은 모형의 설명력을 나타내는 결정계수가 상향집재와 하향집재가 각각 0.50과 0.78의 값을 나타내고 있다. 상향집재에서는 가로집재 거리, 주집재 거리, 집재수량 그리고 경사도에 의해 평균 집재작업 시간을 추정하고 있으며, 하향집재의 경우 가로집재 거리, 주집재 거리, 집재수량 그리고 DBH에 의해 추정식이 도출되었다.

이와 같이 도출된 추정식의 적합성을 검증하기 위해 t-검정을 실시한 결과는 Table 6과 같다. 상향집재와 하향집재 모두 t-검정 결과 실측치와 추정치 간에는 유의수준 5%에서 차이가 인정되지 않았다. 이는 추정식에 의한 평균 집재작업 시간 추정치와 실제 집재작업 시간이 통계적으로 차이가 없다는 것을 의미하는 것이다.

Table 6에서 검증자료와 추정식에 의한 평균 집재작업 시간 차이의 평균치(\bar{D})는 1.15초로 매우 작은 것으로 분석되었으며, 평균 작업시간이 같을 확률은 86.48%인 것으로 추정되어 매우 높은 것을 알 수 있다. 또한 하향집재 작업에서도 추정치와 실측치 간의 차이는 0.49초로 매우 적었으며, 평균 작업시간이 같을 확률은 94.81%로 매우 높게 분석되었다.

이상과 같이 본 연구에서 개발한 평균 집재작업 시간 예측 추정식은 통계적으로 문제가 없는 것으로 분석되었다. 따라서 보다 많은 자료를 이용하여 추정식을 개발하는 것이 바람직하기 때문에 앞에서 추정자료와 검증자료로 분류하였던 자료를 통합하여 최종적으로 추정식을 도출하였다. 통합된 데이터를 이용하여 추정식을 도출한 결과

Table 6. Validation result of the regression equations based on the test data.

Yarding direction	n	\bar{D}	$S_{\bar{D}}$	t*	Prob> t
Uphill	51	1.15	6.76	0.17	0.8648
Downhill	105	0.49	7.50	0.07	0.9481

Table 7. Regression models to estimate the average cycle time(sec.) for uphill and downhill yarding.

Yarding direction	Regression equations	n	R ²	Prob>F	Std. Err.	p-value
Uphill	time(sec)=144.38	174	0.51	<0.0001	27.70	<0.0001
	+2.87×lateral dist.				0.26	<0.0001
	+0.50×yarding dist.				0.10	<0.0001
	+18.32×pieces				9.07	0.045
	-2.13×slope				0.82	0.010
Downhill	time(sec)=36.17	350	0.75	<0.0001	5.88	<0.0001
	+3.19×lateral dist.				0.19	<0.0001
	+1.34×yarding dist.				0.05	<0.0001
	+20.18×pieces				3.98	<0.0001

Table 8. Comparison of yarding cost between uphill and downhill yarding.

Cost factor	Value	
	Uphill	Downhill
Machine utilization ^a	37.3%	51.0%
Fixed costs (won/PMH)	Depreciation cost	16,756
	Interest, Insurance and Tax	11,869
Operating costs (won/PMH)	Repair and Maintenance cost	16,756
	Fuel and Lube cost	7,840
Labor costs (won/PMH)	Labor cost	94,208
	Insurance cost	9,421
	Benefit cost	9,421
Total machine costs (won/PMH)	166,271	123,712
Hourly production (m ³ /PMH)	11.8	13.1
Yarding cost (won/m ³)	14,119	9,467

a : includes time for skyline road changes.

(Table 7), 상향집재 작업에서의 추정식에서는 결정계수가 0.01정도가 증가한 것으로 나타났으며, 하향집재 작업에서의 추정식에서는 결정계수가 0.03 감소한 것으로 나타났다. 최종적으로 상향집재 작업에서의 평균 작업 시간은 가로끌기 거리, 주집재 거리, 집재수량 그리고 경사도가 영향을 미치고 있는 것으로 나타났으며, 하향집재 작업에서는 가로끌기 거리, 주집재 거리 그리고 집재수량이 평균 작업 시간에 영향을 주고 있는 것으로 분석되었다. 하향집재 작업에서는 경사도가 통계적으로 중요한 영향을 미치지 못하고 있는 것으로 분석되었다.

2. 집재작업 비용 분석

춘천집재기를 이용한 집재작업 비용은 기계비용(machine cost)과 시간당 생산량(hourly production)에 의해 결정되며, 기계비용과 시간당 생산량은 기계이용률에 따라 변화한다. Table 4에서 기계이용률의 경우 작업지연과 함께 집재기의 설치 및 철거에 소요되는 시간을 포함하여 계산하였을 경우 상향집재는 37.3%, 하향집재는 51.0%로 나타났다. Table 8은 춘천집재기의 기계비용에 관련된 인자들과 시간당 기계비용(won/PMH)을 계산한 후, 집재비용을 계산한 결과이다. 집재비용은 상향집재 작업에서 14,119원/

m³, 하향집재 작업에서는 9,467원/m³으로 나타났다. 상향집재 작업에서의 집재비용이 높은 것은 하향집재 작업지의 집재목 1본의 재적(0.577 m³)이 상향집재 작업지(0.508 m³) 보다 큰 것이 원인인 것으로 판단된다. 또한 하향집재 작업지에서의 기계이용률이 더 높았던 것도 하나의 원인인 것으로 판단된다.

3. 춘천집재기의 작업능력 예측

본 연구에서는 춘천집재기를 이용한 집재작업에서의 생산성과 집재비용을 분석하였고, 평균 집재작업시간을 예측할 수 있는 추정식을 도출하였다. 따라서 추정식 도출에 이용된 변수들의 변화와 집재목의 재적 그리고 기계이용률 등에 따라 집재작업의 생산성과 집재비용의 변화를 파악할 수 있으며, 상향집재작업과 하향집재작업을 비교할 수 있다. 연구대상지에서 조사한 자료의 결과는 임분의 상태와 작업 조건 등이 동일한 경우에 비교한 것이 아니므로 상·하향집재 작업의 직접적인 비교는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 동일한 조건 하에서 작업이 진행된다 가정하여 비교해 보았다. 같은 조건에서의 작업을 비교하기 위해 상향집재 작업과 하향집재 작업에서 수집한 데이터를 통합한 후, 무작위 추출법에 의해 100개의 자

Table 9. Summary of the values used in the standardized comparison of yarding productivity between uphill/downhill yarding.

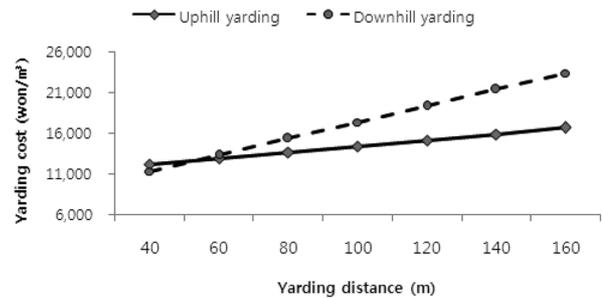
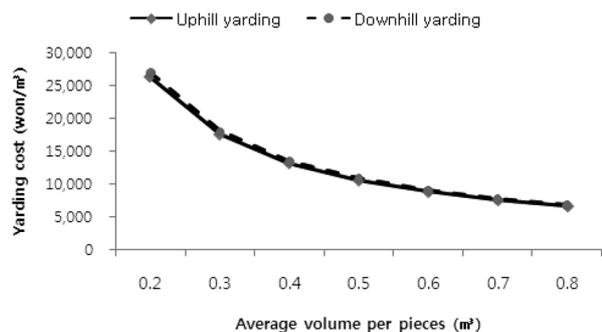
	Lateral distance (m)	Yarding distance (m)	number of pieces per cycle	DBH (cm)	Slope (°)
Mean	12	59	1.14	24	27
Min-Max	1-36	6-140	1-4	14-39	18-34
Standard deviation	8.59	29.32	0.43	3.97	3.84

료를 추출하여 정리하였다(Table 9).

이렇게 분류된 자료는 동일한 조건에서 수집된 자료라는 가정 하에서 상향집재 작업과 하향집재 작업에서의 집재비용 비교에 사용하였다. 가로끝기 거리, 주집재 거리, 집재수량, DBH 그리고 경사도 등의 변수를 Table 7에서 최종적으로 도출한 평균 집재작업 시간 추정식에 적용하여 평균 집재시간을 산출한 후 집재비용을 분석하였다. 가로집재 거리가 12 m 그리고 집재거리가 평균 59 m일 때 상향집재 작업에서는 1회 집재시간이 144.4초 그리고 하향집재에서는 176.5초 소요되는 것으로 추정되었으며, 이때 집재목 1본의 재적은 0.41 그리고 기계이용률은 50%로 계산하였다. 순작업시간당 생산성(m^3/PMH)은 상향집재 작업이 9.8으로 추정되며, 하향집재의 경우 9.5 m^3 으로 상향집재 작업의 생산성이 약간 높은 것으로 분석되었다. 이에 따른 집재 비용은 상향집재 작업이 12,844원/ m^3 이 소요되는 것으로 분석되었으며, 하향집재 작업은 이보다 많은 13,221원/ m^3 이 소요될 것으로 추정되었다. 이러한 결과를 살펴볼 때 상향집재 작업의 생산능률이 하향집재 작업보다 약간 높다는 것을 알 수 있다. 상향집재 작업의 생산 능률이 약간 높은 것은 하향집재 작업에서 집재목 견인시 지나치게 빠른 속도로 하강하는 것을 방지하고, 짐 내림 위치를 안전하게 잡아주기 위해 브레이크를 자주 사용하여 집재시간이 길어지는 현상이 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

Table 9에서 정리한 동일한 조건에서의 자료를 이용하여 집재거리의 변화에 따른 집재비용의 변화를 비교하였다(Figure 3). 집재거리를 40 m에서 160 m까지 변화를 주었을 경우 상향집재와 하향집재 작업에서의 집재비용의 변화를 추정하였다. Figure 3에서 보듯이 집재거리가 증가할수록 집재비용은 높아지게 되며, 상향집재에서의 집재비용 증가폭이 하향집재보다는 낮다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 하향집재작업이 상향집재 작업보다 집재목을 견인하는 과정에서 브레이크를 자주 사용하여 집재 시간이 길어지기 때문이며, 이로 인해 집재거리가 증가할수록 집재시간이 점점 늘어나면서 생산성이 낮아지는 것이 원인인 것으로 판단된다. 따라서 작업로나 운재로의 개설시 집재방향을 고려하여 설계를 하고, 하향집재 작업보다는 상향집재작업이 진행될 수 있도록 집재로를 선정하는 것이 중요하겠다.

Figure 4는 집재목 1본의 재적 변화에 따른 집재비용의

**Figure 3. Comparison of yarding costs between uphill and downhill yarding systems for a wide range of yarding distance.****Figure 4. Comparison of yarding costs between uphill and downhill yarding systems for various piece sizes.**

변화를 예측한 그래프이다. 상향집재와 하향집재의 경우 모두 집재목의 재적이 클수록 생산성은 높아지므로, 집재비용은 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 집재목의 재적이 증가하더라도 어느 순간부터 집재비용의 감소폭이 둔해지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 집재목의 재적이 증가하여 생산성이 높아지더라도, 기본적으로 소요되는 기계비용의 영향으로 급격히 감소하던 집재비용의 감소폭이 어느 순간 둔해지는 것으로 판단된다.

집재비용의 증감에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 기계이용률이다. 얼마나 효율적으로 작업을 하느냐에 따라 집재비용의 절감효과를 느낄 수 있게 된다. Figure 5는 기계이용률을 40%, 55%, 70%, 85% 그리고 100%로 가정하여 집재비용의 증감현황을 살펴보았다.

기계이용률이 증가함에 따라 집재비용은 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 작업지연 등의 비효율적 작업요소를 줄이고 기계이용률을 높이는 것이 생산성을 증가시키고, 집재비용을 절감시킬 수 있는 방안으로 판단된다. 또한 적절한 집재로의 선택으로 적정한 집재거리를 유지하면서 불필요한 기계의 이동 등을 줄이는 방안도

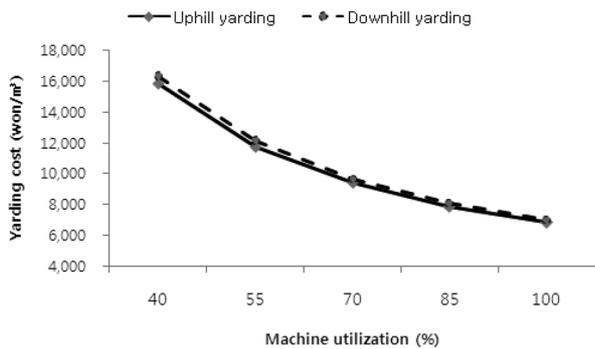


Figure 5. Comparison of yarding costs between uphill and downhill yarding systems for various machine utilization rates.

모색되어야 할 것이다. 위의 결과들에서 상향집재 작업에서의 집재비용이 하향집재 작업보다 낮게 나타나고 있으며, 결과적으로 생산성도 상향집재 작업에서 높게 나타난다는 것을 알 수 있다.

춘천집재기의 집재작업에서는 집재거리, 집재목의 재적 그리고 기계이용률 등에서 모두 상향집재 작업의 능률이 높은 것으로 나타나고 있다. 상향집재 작업이 하향집재 작업에 비해 생산성이 높고, 비용이 적게 들지만 우리나라 산림의 지형과 임도 조건 등이 상향집재 작업을 하기에 적합하지 않아 대부분 하향집재 작업이 이루어지고 있으며, 이를 개선할 수 있는 방안이 필요하다.

결론

본 연구에서는 춘천집재기를 이용한 집재작업에서의 작업능률을 분석하고자 하였다. 집재작업은 상향집재와 하향집재 작업으로 구분하였으며, 작업생산성을 예측하기 위해 수집한 자료를 이용하여 평균 집재작업 시간 추정식을 개발하였다. 상향집재 작업에서의 평균 집재작업 시간 추정식은 다음과 같으며, 최종적으로 가로집재 거리, 집재거리, 집재수량 그리고 경사도가 영향을 미치는 것으로 나타났다.

$$\text{Average cycle time(sec)} = 144.38 + 2.87 \times \text{lateral dist.} + 0.50 \times \text{yarding dist.} + 18.32 \times \text{pieces} - 2.13 \times \text{slope} \quad (R^2 = 0.51)$$

하향집재 작업에서는 가로집재 거리와 집재거리 그리고 집재수량이 영향을 주는 것으로 분석되었으며, 평균 집재작업 시간 추정식은 다음과 같다.

$$\text{Average cycle time(sec)} = 36.17 + 3.19 \times \text{lateral dist.} + 1.34 \times \text{yarding dist.} + 20.18 \times \text{pieces} \quad (R^2 = 0.75)$$

조사지에서의 집재작업에서는 상향집재 작업과 하향집재 작업의 기계이용률이 각각 64.8%, 67.2%이며, 기계의

이동, 가선설치 및 철거 등의 시간까지 고려한다면 기계이용률은 37.3%, 51%로 낮아지게 된다. 조사지에서의 작업에서는 하향집재 작업이 상향집재 작업보다 작업능률이 높은 것으로 나타나고 있다. 이것은 하향집재 작업에서의 집재목의 평균 재적이 크고, 기계이용률이 높았기 때문이다. 그러나 동일한 임분 조건, 즉 가로집재거리가 12 m 그리고 평균 집재거리가 59 m일 경우의 춘천집재기의 1일 작업량은 상향집재 작업의 경우 39.3 m³, 하향집재 작업은 38.1 m³인 것으로 분석되었으며, 집재작업 비용은 상향집재가 m³당 12,844원, 하향집재가 13,221원이 소요되는 것으로 나타났다. 상향집재작업이 하향집재작업보다 생산성이 높게 나타나는 것은 집재목 집재시 안전성을 위해 상향집재보다 하향집재에서 브레이크를 많이 사용하였으며 이로 인해 집재시간이 증가함으로써 나타난 결과로 판단된다. 특히, 하향집재시에는 집재비용이 상향집재보다 집재거리 증가에 민감하게 반응하여, 집재거리가 증가함에 따라 비용차이가 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

춘천집재기를 이용한 집재작업에서는 집재방향, 집재거리, 집재목의 재적 그리고 기계이용률 등에 따라 생산성과 비용이 크게 달라지게 되며, 상향집재 작업의 능률이 하향집재 작업보다 높은 것으로 나타나고 있다. 따라서 집재작업의 시행에 앞서 이러한 점들을 충분히 고려한 후 계획을 수립한다면 좀 더 효율적인 작업의 시행이 예상된다. 향후 임분조건에 따라 각 집재기계의 최적 집재거리 선정 방안과 작업지연 최소화 방안에 대한 연구가 지속적으로 이루어진다면 최적의 집재작업시스템이 구축될 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김덕수. 1994. Radi-carry를 이용한 무선조종식 가선집재 작업의 생산성 분석. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 45p.
2. 노재후, 김재원. 1988. 로깅부기의 사용방법 및 타당성 연구. 임업연구원 연구보고 36: 135-144.
3. 노재후. 1993. 집재작업시스템의 작업능력분석에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문. 123p.
4. 농림부. 1997. 사유림 간벌재 생산기계화 기술개발에 관한 연구. 349pp.
5. 박상준. 2002a. 트랙터부착 집재기에 의한 집재작업공정 분석. 한국임학회지 91(3): 287-295.
6. 박상준. 2002b. 굴삭기를 이용한 타워집재기 및 원목집계톱 개발. 한국임학회지 91(3): 322-333.
7. 박상준. 2004. 타워야더에 의한 집재작업시스템 분석. 한국임학회지 93(3): 205-214.
8. 박종명. 1990. 소형케이블클레인 K-300을 이용한 집재 작업에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 45p.
9. 북부지방산림청. 2007. 임업기계 사용 매뉴얼. 122pp.

10. 산림청. 1999. 임업기계화의 방향과 활용. 186pp.
11. 산림청. 2007a. 숲가꾸기 설계감리 및 사업시행 지침. 89pp.
12. 산림청. 2007b. 임업통계연보. p78.
13. 송태영, 박문섭, 김재원, 강건우. 1998. 케도형 집재차의 집재작업 방법에 따른 작업비용 비교연구. 산림경제연구 6(2): 20-28.
14. 신만용, 정일빈, 구교상, 원형규. 2006. 환경요인에 의한 잣나무의 지위지수 추정식 개발과 적지판정. 한국농림기상학회지 8(2): 97-106.
15. 신만용, 한원성. 2006. 지속가능한 산림경영에 적합한 표본조사 방법의 개발. 한국임학회지 95(3): 370-377.
16. 우보명, 박종명, 이준우, 정남훈. 1990. 케이블클레인을 이용한 집재작업의 경제성에 관한 연구. 한국임학회지 79(4): 413-418.
17. 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.
18. Belsley, D.A., Kuh, E. and Welsch, R.E. 1980. Regression diagnostics. John Wiley & Sons, New York, 292p.
19. Brinker, R.W., Kinkard, J., Rummer, B. and Landford, B. 2002. Machine Rates for Selected Harvesting Machines. Circular 296 Revised. Sept. Alabama Agricultural Experimental Station. Auburn Un. Auburn, AL.
20. Huyler, N.K. and LeDoux, C.B. 1997. Cycle-time equation for the Koller K300 cable yarder operating on steep slopes in the Northeast. Res. Pap. NE-705. Rannor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 4p.
21. 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, 1024pp.
22. 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.
23. Myers, R.H. 1986. Classical and modern regression with applications. Duxbury Press. 395p.
24. Snee, R.D. 1977. Validation of regression models : Methods and examples. *Technometrics* 19: 415-428.
25. Studier, D.D. and Binkley, V.W. 1974. Cable logging systems. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Region. 211p.

(2008년 9월 19일 접수; 2008년 11월 24일 채택)