

## 낙엽송 전간수확작업에서 HAM300을 이용한 집재작업의 작업일수 및 작업량을 고려한 경제성 분석

이은재<sup>1</sup> · 임상준<sup>2,3</sup> · 이성재<sup>4</sup> · 한상균<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림기술경영연구소, <sup>2</sup>서울대학교 산림과학부, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학연구원,  
<sup>4</sup>서울대학교 학술림, <sup>5</sup>한국농수산대학 산림학과

### Economic Evaluation of the HAM300 Yarding Operation with Tree-Length Harvesting Method in *Larix kaempferi* Forest Stands

Eunjai Lee<sup>1</sup>, Sangjun Im<sup>2,3</sup>, Sung-Jae Lee<sup>4</sup> and Sang-Kyun Han<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

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

<sup>3</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences Seoul National University, Seoul 08826, Korea

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

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

**요약:** 목재수확작업의 경제성을 분석하기 위한 방법은 기계비용법(machine rate method)과 현금흐름법(cash-flow method: CFM)으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 CFM을 이용하여 낙엽송 임분에서 HAM300 전간집재작업의 경제적 타당성 분석을 실시하였다. 즉, 연간 작업일수(50, 100, 150, 200일/년)와 작업 생산성 변화(효율성 40% 개선 효과)에 대하여 집재작업의 경제적 타당성을 평가하고자 하였다. 분석방법으로는 순현재가치법(net present value: NPV)과 자본회수기간법(pay-back period)을 이용하였다. 연간 작업일수가 150일 이상인 조건에서 NPV의 값이 0보다 크기 때문에 경제적 타당성이 충분한 것으로 나타났으며, 이 때 자본회수기간은 3.65년 이하로 분석되었다. 작업생산성(m<sup>3</sup>/scheduled machine hour)이 40% 증가하는 시나리오에서는 연간 작업일수가 100일인 조건에서도 현금흐름이 안정적이며, 경제적 효과가 큰 것으로 나타났다. 하지만, 연간 작업일수가 50일 이하인 경우에는 집재작업의 수익성이 악화되어 투자에 대한 의사결정이 어려운 것으로 분석되었다. 결과적으로, HAM300 집재작업은 수익성이 있는 작업조건(연간작업일수: 100일 이상, 연간작업량: 5,000 m<sup>3</sup>)이 지속적으로 확보가 가능하다고 판단되는 작업조건에서 투자에 대한 결정이 이루어져야 한다.

**Abstract:** Two strategies for calculating economic feasibility are the machine rate and cash-flow methods. This study used the cash-flow method to evaluate the economic feasibility of the HAM300 yarding operation for extracting tree length logs in *Larix kaempferi* forest stands. In financial analysis based on 7-year cash-flow, the net present value and pay-back period method were used. We analyzed two scenarios: operating opportunities (50, 100, 150, and 200 days per year) and productivity change yield (7.5 and 10.5 m<sup>3</sup>/scheduled machine hour: SMH). The analysis indicated that high rates of return on extraction activity investment can be achieved when machines are used for >150 days per year. In addition, improved productivity (10.5 m<sup>3</sup>/SMH) increased financial feasibility compared to current productivity (7.5 m<sup>3</sup>/SMH) when machines were operated for 100 days per year. These results suggest that the appropriateness of HAM300 harvesting depends on the number of annual operating days and productivity.

**Key words:** economic feasibility, cash-flow method, net present value, pay-back period, financial analysis


## 서론

임업의 경쟁력 강화와 임업인의 소득향상을 위한 기계

화 목재수확작업은 2011년 7월 25일 「임업 및 산촌 진흥 촉진에 관한 법률(제10949호, 2012.1.26., 시행)」을 정비한 이래 지속적으로 추진되고 있다. 최근 산림작업 현장 여건에 맞는 목재수확 임업기계장비의 활용률 제고를 위해 도입된 임업기계장비의 현장 적용성 평가에 대한 연구의 중요성이 점차 증대되고 있는 실정이다. 더 나아가 목재수확작업은 3D (Dirty, Difficult, Dangerous) 업종이

\* Corresponding author  
E-mail: hsk5311@korea.kr

ORCID

Sang-Kyun Han  https://orcid.org/0000-0003-4037-1570

라는 인식으로 젊은 노동인력 확보가 어려울 뿐 아니라, 임업노동 인력의 고령화에 따른 작업 생산성 저하와 인건비 상승으로 인한 작업 및 생산비용 부담 증가 등의 문제를 가지고 있어, 이를 해결하기 위해서는 고성능 임업기계장비의 활용·확대가 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

전 세계적으로 가선집재작업시스템은 급경사지(경사 30% 이상) 또는 차량의 접근이 불가능한 지역에서 활용될 수 있도록 개발되었으며, 일반적으로 지상집재작업시스템보다 높은 작업비용이 소요되고 있으나 작업로 개설 비용과 환경피해 사회적 비용 등을 고려한다면 오히려 전체적인 작업비용은 저감될 수 있다(Huyler and LeDoux, 1995; Spinelli et al., 2010). 기본적으로 가선집재작업시스템은 장비의 구입비용이 높을 뿐만 아니라 차량 및 사람이 접근하기 어려운 환경에서 작업이 이루어지므로 운영 및 작업비용이 높게 나타난다(Spinelli et al., 2015). 결과적으로, 이 시스템은 높은 수익으로 작업비용을 감당할 수 있는 부가가치가 높은 양질의 목재를 생산할 수 있는 임분에서 활발하게 적용되어야 한다(Spinelli et al., 2017).

가선집재작업시스템의 활용성을 확대하기 위해서는 초기투입비용 최소화 또는 투자한 자본에 대한 수익성, 즉, 경제성을 평가하는 것이다(Lindroos and Cavalli, 2016). 목재수확작업 분야에서 경제성을 분석하는 방법은 크게 Miyata(1980)와 Brinker et al.(2002)가 제안한 기계비용법(machine rate method: MRM)과 Butler and Dykstra(1981)과 Turfts and Mills(1982)가 제안한 현금흐름법(cash-flow method: CFM)으로 구분할 수 있다. MRM은 일반적으로 연간 기계운영시간을 고려하여 단위시간당 작업비용을 산출하는데 사용되고 있으며, 경험기반 모델로 예측된 값이 실제 현금 흐름과 차이가 있을 뿐 아니라 화폐의 시간적 가치를 고려하여 수익성을 평가하지 못한다는 단점을 가지고 있다(Bilek, 2007). 반면, CFM은 수익가치에 대한 평가방법으로, 고성능 임업기계에 투자하였을 때 이자율을 활용하여 미래의 현금흐름을 추정하고 이를 할인율을 적용하여 현재가치로 변환시켜주는 방법이다(Bilek, 2007). 이러한 이유에서 이 방법은 화폐의 시간적 가치, 대출금리, 물가상승률을 고려할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 미래현금흐름에 대한 정확한 예측치가 필요하다는 단점을 가지고 있다.

우리나라 선행연구들을 살펴보면, 가선집재작업시스템의 작업 생산성 예측 모델 개발 및 MRM을 활용한 장비 및 작업방법별 작업비용 비교 분석하는 연구에 초점을 두고 있다(Cho et al., 2018; Lee et al., 2018). 이러한 선행연구 결과들은 경제성 분석을 위한 정보가 부족하므로, 산주 또는 원목생산자들이 적극 활용하지 못하고 있는

실정이다. 이를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 HAM300 전간집재작업을 대상으로 연간 작업일수 및 작업량을 고려하여 투자가치를 평가하는 것을 목적으로 하였다. 이를 통해 산림경영인들이 임업기계 투자에 대한 수익성을 예측하고 합리적인 의사결정을 하는데 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상 및 분석범위

본 연구는 목재생산림에서 우량대경재 생산을 목표로 체인톱을 이용하여 모두베기를 실시한 후 전간재를 생산하는 입목처분 방법을 대상으로 하였다. 임지 조건은 V~VI영급 낙엽송(larch : *Larix kaempferi*) 임분이며, 임분재적은 175 m<sup>3</sup>/ha로 설정하였다(National Institute of Forest Science, 2016). 이는 산림청 「조림 및 육림 실시요령」의 사유림 벌기령 기준을 활용하였다. 한편, 평균임목재적의 범위는 0.50 m<sup>3</sup> 이상으로 설정하였다. Ghaffariyan et al.(2009), Zimbalatti and Proto(2009), Spinelli et al. (2017) 등은 가선집재작업시스템의 투입비용 대비 효과성을 높이기 위해 생산성이 높은 임분, 즉, 중·대경목(평균흉고직경 ≥ 32 cm, 평균임목재적 ≥ 0.50 m<sup>3</sup>)이 생육하는 임분에서 이용되어야 한다고 지적하고 있다. 전간재 생산을 위한 가선집재작업시스템은 「체인톱 벌도(가지치기, 초두부 제거 포함)-HAM300 집재-우드그랩 집적(체인톱 조재작업 포함)」 3개의 과정으로 구분하였다. 특히, 집재작업은 상향집재방법을 적용하였고, 이 작업 후 벌도의 소운반 과정은 없는 것으로 가정하였다.

가선집재작업공정은 HAM300을 이용하여 임지내 원목을 가선에 매달아 임도주변 또는 집재장으로 수집하는 또는 끌어 오는 작업과 우드그랩을 이용한 전간재의 집적작업으로 구분할 수 있다(Figure 1). HAM300은 농업용 80마력 트랙터에 장착하여 사용하도록 개발되었으며, 노퍽이 좁은 임도에서 운행 및 집재작업이 가능하다. 특히, 최대 1.5톤 까지 원목을 끌어당길 수 있다. 한편, 우드그랩은 5톤급 굴삭기에 유압식 집계를 부착한 장비로 HAM300을 통해 집재된 원목을 임도변에 쌓는 작업에 이용하였다. 이에 따라 HAM300과 우드그랩 장비의 구입에 따른 집재작업의 투자가치와 자본회수기간을 평가하였으며, 잔존가치와 내구년수는 각각 10%, 7년으로 설정하였다(Table 1). 더 나아가 2018년 기준 산림을 소유하고 있는 산주는 평균 2 ha 미만의 산림을 소유하고 있는 것으로 나타났으며(Korea Forest Service, 2019), 이에 따라 목재수확작업 면적은 2 ha 기준으로 설정하였다.



Figure 1. Tree-length logs extraction using HAM300 and small-shovel.

Table 1. Summary of cost factors.

Cost factors	HAM300	Small-shovel
Purchase price (₩)	134,000,000 <sup>a</sup>	54,000,000
Salvage value (%)	10	10
Economic life (year)	7	7

<sup>a</sup> HAM300 price includes tractor purchase price.

## 2. 시나리오 구성

본 연구에서는 국내에서 개발된 HAM300의 경제성 분석을 위해서 순현재가치법을 활용하여 시나리오에 기반하여 수행하였다. 시나리오 방법은 산림작업 현장의 정확한 상황을 대표할 수는 없지만 임업기계장비를 보다 효율적이고 합리적으로 운영하는데 큰 도움이 된다고 알려져 있다(Duinker and Greig, 2007; Søvdé et al., 2014).

경제성 분석을 위한 시나리오의 첫 번째는 HAM300의 연간 가동일수가 변화(50, 100, 150, 200일)하는 시나리오이다. 이는 Korea Forest Service(2015) 「임업기계장비 활성화 계획」의 임목생산장비의 기준 작업일수를 고려하기 위함이다. 두 번째는 HAM300의 활용률 증진을 위해 작업 생산성( $m^3/scheduled\ machine\ hour$ )을 약 40% 향상시키는 목표로 한 시나리오이다. Murphy and Vanderberg (2007)와 Passicot and Murphy(2013)는 고가의 임업기계장비의 경제적 비용부담을 최소화하기 위해 작업시간 연장(작업시간 : 8  $\Rightarrow$  9시간; 주당 작업일수 : 6  $\Rightarrow$  7일) 또는 작업 생산성을 향상시키는 방법이 필요하다고 제안하였다. 작업시간을 연장하는 경우 작업효율이 최소 20%, 최대 60%의 범위로 감소하는 경향을 보이는데 이는 정신적 육체적 피로가 큰 영향을 미치기 때문이다(Nichols et al., 2004; Passicot and Murphy, 2013). 따라서, 본 연구에서는 HAM300의 연간 가동일수 변화와 생산성 향상 시나리오를 적용하여 경제적 타당성 분석하였다.

## 3. 경제성 분석방법

HAM300 장비를 활용한 집재작업의 투자가치를 평가하기 위하여 일반적으로 활용되고 있는 현금흐름할인법(discounted cash flow analysis: DCFA)을 이용하였다(Blik, 2007; Han et al., 2010). DCFA는 현재 및 미래 일정기간 동안 투자비용과 창출되는 수익비용을 합산하여 현재의 가치로 환산하여 경제성을 평가하는 방법으로 정의할 수 있다. 이를 통하여 경제성을 분석하는 방법은 순현재가치법(net present value: NPV), 내부수익률법(internal rate of return), 수익성지표법(profitability index)로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 NPV로 평가하였다. NPV 값이 0보다 큰 경우 경제적으로 타당성이 있다고 평가할 수 있다. 더 나아가 HAM300 집재작업에 투입된 비용의 회수기간(Pay-back period: PP)을 추가적으로 분석하였다. NPV와 PP의 평가식은 식 1과 같다(Blik, 2007).

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1 + ROIC)^t} \quad (1)$$

where,  $R_t$  : return in year  $t$ ,

$C_t$  : costs in year  $t$ ,

ROIC : required return on invested capita,  
investment's internal rate of return

HAM300 전간집재작업의 편익비용( $R_t$ )은 한국임업진흥원에서 제공하는 2019년 3분기 기준 낙엽송의 3등급 원목산지가격(Market cost: 113,125원/ $m^3$ ; Kofpi, 2019)에서 벌도(felling and delimiting), 우드그랩 조재·집적(sorting and piling up) 작업비용을 뺀 나머지 비용으로 정의하였다(식 2). 원목산지가격은 원목시장가격에서 대운반비(25톤 트럭, 50~100 km 기준)와 소운반비(500~1,000 m 기준)를 제외하여 산정된 가격이다. 벌도작업 비용은 산림청 산림과학기술 연구개발사업 중 「차세대 산림사업기술개발 연구사업단(2013~2019년)」의 연구결과 자료를 이용하였으며, 작업비용은 11,388원/ $m^3$ (작업원 4명)으로 적용하였다. 이 때 임분 내 개체목 또는 임목의 특성은 경급 32 cm(16~42 cm), 수고 22 m(17~26 m), 임목재적 0.92  $m^3$ 이었다. 우드그랩 조재·집적비용은 Seol et al.(2016) 논문의 자료를 참조하였으며, 이 비용은 18,939원/ $m^3$ 으로 설정하였다. 산림의 임황 및 지황 조건, 즉, 작업여건에 따라 작업비용은 증가하기도 하고 감소하기도 하는데(Hartley and Han, 2007; Hoffmann et al., 2016; Spinelli et al., 2017), 분석의 편의를 위해 작업비용은 모든 조건에서 동일하다고 가정하였다. 한편, 2014년부터 2019년까지 평균 원목산지가격의 증가율은 1% (범위 : -1~5%; Kofpi,

2019)로 계산되어, 본 연구에서 산지가격은 전년 대비 1%씩 증가하는 것으로 예상하였다.

$$R_t = M - (FandD + SandP) \quad (2)$$

where,  $R$  : HAM300 operation's revenue,  
 $M$  : market cost,  
 $FandD$  : felling and delimiting cost,  
 $SandP$  : sorting and piling up cost

HAM300 전간집재작업의 투입비용( $C_t$ )은 입목 및 장비 구입비, 인건비, 유류비, 수리·유지관리비, 장비운반비를 합한 비용으로 정의하였다(식 3). 낙엽송 입목가(stumpage price)는 Min(2019)이 시장가역산법(market value formula)을 이용하여 제시한 23,746원/m<sup>3</sup>을 이용하였다. HAM300과 우드그랩의 구입비, 잔존가치, 내구년수는 Table 1과 같이 적용하였다. 특히, 집재작업에 운영되는 장비의 운송비는 왕복 1,500,000원(100 km 기준)을 적용하였다. 작업자(오퍼레이터, 초커)의 인건비(labor cost)는 대한건설협회 2019년 하반기(9월 1일 기준) 노임단가를 적용하였으며, 인건비는 각각 155,599원/일(특별인부), 130,264원/일(보통인부)으로 적용하였다. HAM300과 우드그랩 장비의 1일 유류비(fuel cost)는 128리터/일 × 경유가격(1384.99원/리터, 2019년 12월 16일 전국 평균 경유가격) × 잡품(주 연료비의 40%)으로 계산하였다. 수리·유지관리 비용(repair and maintenance cost)은 장비 구입비용의 잔존가치와 내구년수 정보를 활용하여 계산하였다. 한편, 2019년 입목가와 인건비는 2018년 대비 각각 2%와 10% 증가하였으므로, 둘째 연도부터 발생할 입목가와 인건비는 각각 2%와 10%가 증가하는 것으로 가정하였다.

$$C_t = S + M + T + L + F + RandM \quad (3)$$

where,  $S$  : stumpage price,  
 $M$  : purchase price,  
 $T$  : transport cost,  
 $L$  : labor cost,  
 $F$  : Fuel cost,  
 $RandM$  : repair and maintenance cost,

할인율(ROIC)은 미래에 투입될 비용과 편익을 현재가치로 환산하는 비율을 의미하며, 이는 시장이자율, 기업할인율, 정부차입이자율, 사회적할인율로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 개인 또는 기업이 투자사업의 수익성을 평가할 때 사용하는 기업할인율을 이용하였다. 기업할인율, 즉 최소 기대 수익률은 국유임산물매각예정가격 사정기준 등 시행요령(시행 2015.9.18.; 산림청예규 제 642호)에서 제시된 12%(순이윤, 10%; 결손율, 2%)로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. HAM300 집재작업의 생산성

HAM300의 경제성 분석을 위해서는 우선 다양한 작업 조건에서 작업 생산성이 먼저 계산되어야 한다. 이를 위해 선행연구를 검토하여 HAM300 집재장비에 대한 현재 가능한 작업생산성을 산출하였다. 선행연구 문헌 검토는 학술지에 게재된 연구논문을 기반으로 하였으며, HAM300 작업 생산성을 분석한 주요 연구결과는 Table 2와 같다. 가선집재장비의 평균 작업생산성은 7.5 m<sup>3</sup>/SMH±0.58 (최소 : 5.8 m<sup>3</sup>/SMH, 최대 : 9.6 m<sup>3</sup>/SMH; 기계이용률 70%)으로 나타났으며, 입목재적은 0.86 m<sup>3</sup>±0.06 (최소 : 0.57 m<sup>3</sup>,

Table 2. Summary of the conditions which the empirical work presented in each study was conducted by authors.

Forest operation	Harvesting system	Felling method	Species	Average tree volume (m <sup>3</sup> )	Tree age (years)	Average ground slope (%)	Average yarding distance (m)	Productivity (m <sup>3</sup> /SMH <sup>a</sup> )
Cho et al.(2018)								
Clear felling	Tree-length	Chainsaw	<i>Larix kaempferi</i>	0.85	52	38	78	5.9
				1.02	55	38	33	7.8
				1.11	51	40	97	8.6
				0.84	51	40	89	8.8
Lee et al.(2018)								
Clear felling	Tree-length	Chainsaw	<i>Larix kaempferi</i>	0.57	45	42	55	6.3
Jeong et al.(2017)								
Clear felling	Tree-length	Chainsaw	<i>Larix kaempferi</i>	0.84	40	38	-	5.8
Kim et al.(2017)								
Clear felling	Tree-length	Chainsaw	<i>Larix kaempferi</i>	0.88	40	40	85	9.6

<sup>a</sup>SMH: Scheduled Machine Hour, at machine utilization rate 70%

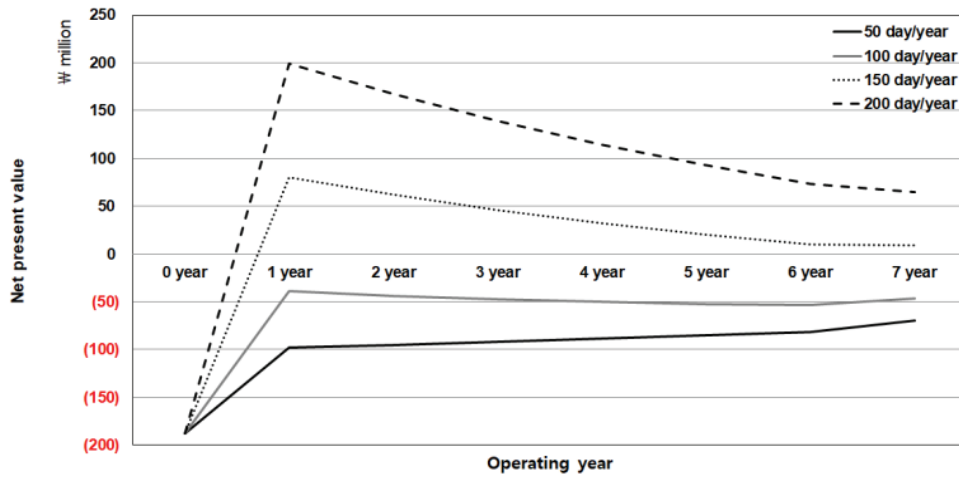


Figure 2. Effect of operating day on discounted cash flows over the 7-year period.

Table 3. Effect of operating day on discounted cash flow of HAM300 yarding operation with small-shovel

(unit : million KRW)

Year	50day/year	100day/year	150day/year	200day/year
0	-188	-188	-188	-188
1	-157	-38	80	199
2	-149	-43	61	167
3	-140	-47	45	139
4	-132	-50	32	114
5	-124	-52	20	92
6	-117	-53	10	73
7	-101	-46	9	65
<i>NPV</i> <sup>a</sup>	< 0	< 0	> 0	> 0

<sup>a</sup> *NPV* : Net Present Value.

최대 : 1.11 m<sup>3</sup>, 평균 집재거리는 73 m (범위 : 33-97 m)로 도출되었다. 결과적으로, HAM300 집재장비가 부가가치가 높은 양질의 목재를 생산할 수 있는 임분(임목재적 0.57-1.11 m<sup>3</sup>)에서 작업이 가능함을 파악하였고, 이 때 장비가 하루(8시간 기준)에 생산하는 작업량은 60 m<sup>3</sup>/one-day으로 확인할 수 있었다.

## 2. 작업일수 변화에 따른 집재작업의 경제성 평가

집재작업에 있어서 작업일수 변화에 따른 순현재가치를 평가한 결과, 연간 150~200일(작업량 : 7,560~10,080 m<sup>3</sup>) 동안 집재작업에 운영하는 경우 *NPV*는 71,000,000~663,000,000원으로 예측되어 현금흐름이 안정적이며, 경제적 효과가 큰 것으로 분석되었다(Figure 2, Table 3). 반면, HAM300을 연간 50~100일 운영하는 경우, *NPV*가 (-)로 산출되어 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었다. 특히, 선행연구에 의하면 작업의 수익성이 보장되는

작업기회(work opportunity)에서 새로운 임업기계에 대한 투자를 고려하게 되며, 작업시간 및 작업량은 경제성을 분석하는데 중요한 영향을 미친다(Han et al., 2010). 또한 작업시간 및 작업량이 증가하면 편익이 증가하게 되고 손익분기점이 낮아지게 되면서 장비 구입 및 운영 투자에 대한 타당성이 높아지게 된다. 결과적으로 연간 150일 이상의 작업일수와 7,560 m<sup>3</sup> 이상의 작업량이 지속적으로 확보하는 경우 HAM300을 활용한 가선집재작업은 경제적으로 투자 가치가 있다고 평가할 수 있다.

HAM300 장비구입 후 연간 50~100일 운영하는 경우, 초기 투자비용뿐 아니라 내구년수 7년 동안 투입된 자본을 회수하지 못하는 것을 알 수 있었다(Table 3). 한편, 연간 150일을 운영하는 경우에는 초기 투자비용을 회수하는데 소요되는 기간은 약 3.65년으로 분석되었다. 특히, 연간 200일 운영하게 되면 HAM300 및 우드그랩 장비 구입을 위한 초기 투자비용을 1년차에 100% 회수하

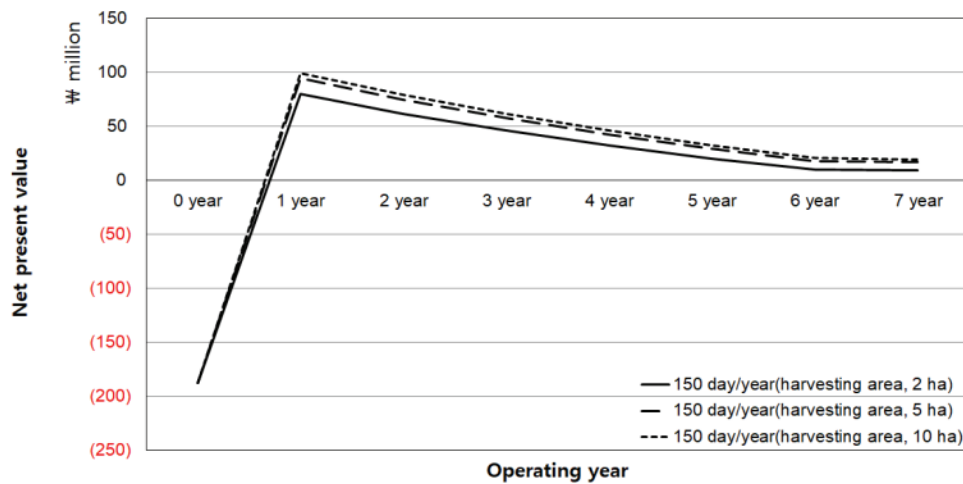


Figure 3. Effect of harvesting area on discounted cash flows over the 7-year period in 150-operating day/year.

Table 4. Effect of harvesting area on discounted cash flow of HAM300 yarding operation in 150-operating day per year.

(unit : million KRW)

Year	150day/year (2 ha <sup>a</sup> )	150day/year (5 ha <sup>a</sup> )	150day/year (10 ha <sup>a</sup> )
0	-188	-188	-188
1	80	94	99
2	61	74	79
3	45	57	61
4	32	42	45
5	20	29	32
6	9	18	20
7	9	16	19
<i>NPV</i> <sup>b</sup>	>0	>0	>0

<sup>a</sup> harvesting area

<sup>b</sup> *NPV* : Net Present Value.

는 것으로 분석되었다. 또한, 장비의 운영 연수가 증가할 수록 수익은 감소하는 것으로 나타났다(Figure 2). 이는 원목산지가격의 증가율 보다는 입목가, 인건비, 수리유지·관리비에 의한 영향이 더 크게 나타났기 때문으로 보인다. 기존 선행연구에 따르면, 산림작업의 경제성은 주로 시장가격에 의해 결정되며, 입목가, 목재수확작업 비용, 감가상각비 등에 많은 영향을 받는다(Dramm et al., 2002; Han et al., 2011). 즉, 실질적으로 경제적 타당성을 평가하는데 있어 투자비용이 미치는 영향에 비해 시장가격의 영향은 매우 미미한 것으로 보인다.

순현재가치법 분석 결과, 목재수확작업의 연간 총 작업일수가 150일 이상 유지하게 되면 작업면적이 2 ha이더라도 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 한편, 연간 작업일수가 150일인 조건에서 작업면적을 5, 10 ha로 변화하는 시나리오로 경제적 타당성을 분석한 결과 *NPV*가 (+)로 산

출되어 경제적 효과가 있는 것으로 분석되었다(Figure 3, Table 4). 특히, 초기 투자비용을 회수하는데 소요되는 기간을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다(2 ha, 3.65년; 5 ha, 3.52년; 10 ha, 3.48년). 이와 같은 결과는 목재수확작업 대상지의 면적이 증가하게 되면, 장비의 운송비용을 절감할 수 있기 때문에 집재작업의 수익이 증가한 것으로 보인다. 반면, 연간 작업일수가 100일 이하인 경우에는 작업면적을 증가시키더라도 *NPV*가 (-)로 계산되어 경제적 효과가 없는 것으로 분석되었다. 즉, 연간 6,300 m<sup>3</sup>의 작업량, 즉 36 ha의 작업면적은 작업의 수익성이 보장되는 작업기회(work opportunity)가 충분히 보장되는 것으로 판단할 수 있다. 더 나아가 목재수확작업 면적에 비해 연간 작업량이 경제적 타당성에 중요한 영향을 미치기 때문에 이와 같은 결과가 나타난 것으로 보인다.

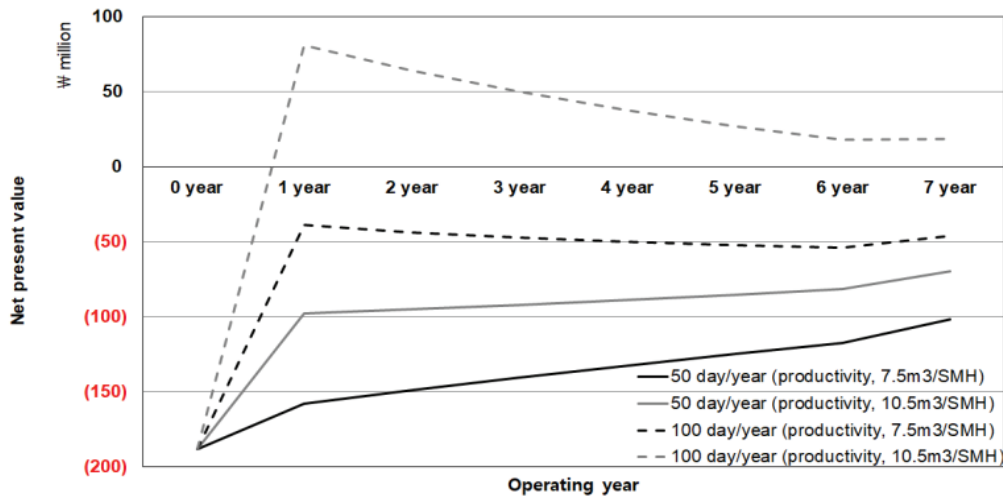


Figure 4. Effect of productivity( $m^3/SMH$ ) on discounted cash flows over the 7-year period.

Table 5. Effect of productivity( $m^3/SMH$ ) on discounted cash flow of HAM300 yarding operation in 50 and 100-operating day per year. (unit : million KRW)

Year	50day/year		100day/year	
	7.5 $m^3/SMH^a$	10.5 $m^3/SMH^a$	7.5 $m^3/SMH^a$	10.5 $m^3/SMH^a$
0	-188	-188	-188	-188
1	-157	-98	-38	80
2	-149	-95	-43	64
3	-140	-91	-47	50
4	-132	-88	-50	37
5	-124	-85	-52	26
6	-117	-81	-53	17
7	-101	69	-46	18
$NPV^b$	< 0	< 0	< 0	> 0

<sup>a</sup> SMH : Scheduled Machine Hour.

<sup>b</sup>  $NPV$  : Net Present Value.

### 3. 작업 생산성 변화에 따른 집재작업의 경제성 평가

산림경영의 수익, 즉 목재수확작업의 수익을 높이려면 작업 생산성을 향상시켜 작업 비용을 줄여야 한다(Murphy and Vanderberg, 2007; Passicot and Murphy, 2013; Min, 2019). 따라서 본 연구에서는 연간 작업일수 50과 100일을 대상으로 작업 생산성을 40% 향상시킨다는 시나리오로 경제성 평가를 실시하였다. Hoffmann et al. (2016) 등의 선행연구에 따르면, 적절한 작업 계획, 장비의 배치, 작업원의 현장 경험은 작업 생산성을 38% 개선하는 효과가 있다. 작업 생산성 변화에 따라 순현재가치를 평가한 결과, 연간 100일(작업량 : 5,880  $m^3$ ) 집재작업에 운영하는 경우 현금흐름이 안정적이며, 경제적 효과가 큰 것으로 분석되었다(Figure 4, Table 5). 또한 초기 투자비용을 회수하는데 소요되는 기간은 약 3.58년으로 분석되었다.

한편, HAM300의 작업생산성을 40% 개선하는 시나리오에서 연간 총 작업일수가 50일인 조건에서 순현재가치 평가 결과,  $NPV$ 가 (-)로 산출되어 경제적 타당성이 없는 것으로 분석되었다(Table 5). HAM300 및 우드그랩 장비 구입을 위한 초기 투자비용을 회수하지 못하는 것으로 분석되었다. 특히, 작업량이 3,000  $m^3$  이하인 경우 HAM300을 활용한 집재작업의 투자 의사결정은 어려운 것을 알 수 있었다. 이는 기존 연구결과와 일치하는 경향을 보인다. 작업시간 및 작업량이 감소할수록 편익이 감소하게 되므로 손익분기점은 높아지기 때문에 투자에 대한 위험이 높아진다(Han et al., 2010). 따라서 작업량이 5,000  $m^3$  이상 작업할 수 있는 조건에서 작업 생산성을 개선하는 경우 HAM300 집재작업의 경제적 타당성이 있는 것으로 판단된다.

## 결론

급경사지에서의 기계화 목재수확작업은 완경사지에 비해 작업이 어렵고 투입되는 비용이 높아 수익성·경제성을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 이유에서 목재수확작업에 투입되는 비용과 편익을 기초로 새로운 장비에 대해 투자할 것인지 또는 아닌지를 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 HAM300에 대한 경제적 타당성을 평가하고자 현금흐름법(CFM)을 활용하였으며, 분석방법으로는 순현재가치법(NPV) 및 자본회수기간법(PP)을 이용하였다. 현금흐름법(CFM)을 이용하여 HAM300 집재작업의 경제적 타당성을 분석한 결과, 장비의 연간 작업일수가 증가할수록 현금흐름이 안정적이며, 경제적 효과가 큰 것을 알 수 있었다. 목재수확작업 대상지의 면적이 증가할수록 집재장비의 운송비용이 절감되므로 수익성을 개선할 수 있는 것으로 분석되었다. 특히, 작업 생산성 변화에 따른 경제적 타당성을 분석하여 작업생산성이 집재작업의 수익성을 증진시키는 것으로 평가되었다. 반면, 연간 총 작업일수가 50일 이하이고, 작업량이 3,000 m<sup>3</sup> 이하인 조건에서는 전반적으로 가선집재작업의 경제성이 저하되는 것을 알 수 있었으며, 이는 HAM300 장비를 운영하는데 수익성을 보장하는 적절한 작업기회(work opportunity)가 보장된다고 할 수 없다.

본 연구에서는 미래현금흐름을 추정하기 위해 이용된 인자들의 값이 정확하지 않기 때문에 추가적으로 현실을 얼마나 반영하는지에 대한 검증 연구가 필요할 것으로 판단된다. 향후 경제성 분석에 대한 보완을 통해 국내에서 이용되고 있는 가선집재장비에 대해 최소 작업량 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

## References

Brinker, R.W., Kinard, J., Rummer, R. and Lanford, R. 2002. Machine rates for selected harvesting machines. Circular 296 (rev.) Auburn, AL: University of Auburn, School of Forestry and Wildlife Sciences.

Butler, D.A., and Dykstra, D.P. 1981. Logging equipment replacement: a quantitative approach. *Forest Science* 27(1): 2-12.

Cho, M., Cho, K., Choi, B., and Cha, D. 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.

Dramm, J., Jackson, G., and Wong, J. 2004. Log sort yard economics, planning, and feasibility. FPL-GTR-146. U.S. Forest Service. pp. 31.

Ghaffariyan, M.R., Stampfer, K. and Sessions, J. 2009. Production equations for tower yarders in Austria. *International Journal of Forest Engineering* 20(1): 17-21.

Han, H-S., Blik, E.M., Dramm, J., Loeffler, D. and Calkin, D. 2011. Financial feasibility of a log sort yard handling small-diameter logs: a preliminary study. *Western Journal of Applied Forestry* 26(4): 174-182.

Han, H-S., Halbrook, J., Pan, F. and Salazar, L. 2010. Economic evaluation of a roll-off trucking system removing forest biomass resulting from shaded fuelbreak treatments. *Biomass and Bioenergy* 34(7): 1006-1016.

Hoffmann, S., Jaeger, D., Lingenfelder, M. and Schoenherr, S. 2016. Analyzing the efficiency of a start-up cable yarding crew in Southern China under new forest management perspectives. *Forests* 7(188).

Huyler, N. and LeDoux, C. 1995. Estimating the cost of applying Vermont Acceptable Management Practices to logging on moderate slopes. *Proceedings of the 18th COFE Meeting*, North Carolina University, Raleigh. 165-171.

Kim, M-K., Baek, S-A., Cho, K-H. and Jung, D-H. 2017. Productivity, cost, and optimal forest road network density of tree-length yarding operations with tower yarder. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106(3): 300-309.

Korea Forestry Promotion Institute. 2019. Quarterly Domestic Log Market Price. 2019 Fall.

Korea Forest Service. 2015. Planning for mechanized forest operation.

Lee, E., Im, S. and Han, S-K. 2018. Productivity and cost of a small-scale cable yarder in an uphill and downhill area: a case study in South Korea. *Forest Science and Technology* 14(1): 16-22.

Lindroos, O. and Cavalli, R. 2016. Cable yarding productivity models: a systematic review over the period 2000-2011. *International Journal of Forest Engineering* 27(2): 79-97.

Min, K. 2019. Forestry profitability in Korea with evaluating stumpage prices. *Journal of Korean Society of Forest Science* 108(3): 405-417.

Miyata, E.S. 1980. Determining fixed and operating costs of logging equipment. General Technical Report NC-55. St. Paul, MN: USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station.

Murphy, G. and Vanderberg, M. 2007. Modelling the economics of extended shift and 24/7 forest harvesting. *New Zealand Journal of Forestry*, 15-19.

National Institute of Forest Science. 2016. Stand Yield Table of Real Forests.

Nichols, A., Bren, L. and Humphreys, N. 2004. Harvester productivity and operator fatigue: working extended hours. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 57-65.



- Passicot, P. and Murphy, G.E. 2013. Effect of work schedule design on productivity of mechanised harvesting operations in Chile. *New Zealand Journal of Forestry* 43(2).
- Spinelli, R., Maganotti, N. and Nati, C. 2010. Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. *Forest Ecology and Management* 260(11): 1997-2001.
- Spinelli, R., Visser, R. Thees, O., Sauter, H., Krajnc, N., Riond, C. and Maganotti, N. 2015. Cable logging contract rates in the Alps: the effect of regional variability and technical constraints. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(2): 195-203.
- Spinelli, R., Marchi, E., Visser, R., Harrill, H., Gallo, R., Cambi, M., Nero, F., Lombardini, C. and Maganotti, N. 2017. The effect of carriage type on yarding productivity and cost. *International Journal of Forest Engineering*. pp. 1-8.
- Tufts, R.A. and Mills, W.L. 1982. Financial analysis of equipment replacement. *Forest Products Journal* 32(10): 45-52.
- Zimbalatti, G. and Proto, A.R. 2009. Cable logging opportunities for firewood in Calabrian forests. *Biosystems Engineering* 102(1): 63-38.

---

Manuscript Received : February 4, 2019

First Revision : March 2, 2020

Accepted : March 9, 2020