

산림바이오매스 이용을 위한 산림작업 공정 및 비용 분석(II) - 작업비용 분석 -

문호성^{1,2} · 조구현¹ · 박상준^{2*}

¹국립산림과학원 산림생산기술연구소, ²경북대학교 임학과

An Analysis of the Operational Productivity and Cost for the Utilization of Forest-biomass(II) - the Analysis of Operational Cost -

Ho-Seong Mun^{1,2}, Koo-Hyun Cho¹ and Sang-Jun Park^{2*}

¹Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

²Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

요 약: 현재 우리나라의 주요 임업기계에 의한 임목수확작업시스템에서 벌목 및 조제, 집재, 소운제, 파쇄 등의 목재생산 및 파쇄작업에 대한 작업비용을 분석하여, 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 임목수확작업시스템을 구축하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 임목수확작업시스템의 작업비용을 분석한 결과, 체인톱에 의한 벌목 및 조제와 타워야더에 의한 집재, 임내작업차에 의한 소운제, 트럭에 의한 운제작업으로 이루어진 임목수확작업시스템 D가 63,482원/m³으로 가장 적은 비용이 소요되는 것으로 나타났다. 또한, 산림바이오매스 이용을 위한 작업시스템의 작업비용을 분석한 결과, 소형 목재파쇄기에 의한 현장파쇄, 임내작업차에 의한 칩 소운반, 트럭에 의한 칩 운반작업의 작업시스템 E가 90,770원/ton으로 가장 적은 비용이 산출되었다. 따라서, 이들의 결과가 임목수확작업 및 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 작업시스템이라고 판단된다.

Abstract: This study was analyzed the operational cost of logging and chipping operations in order to develop the efficient logging operation system for the utilization of forest-biomass. Analysis of the operational cost of logging operation systems, the operation system D which include chain saw, tower-yarder, mini-forwarder and truck was calculated the lowest cost to be 68,498 Won/m³. In the utilization of forest-biomass, the operation system E which include chipping by mini-chipper at the site, forwarding of chips by mini-forwarder, transportation of chips by truck was estimated to be 90,770 Won/Ton. Thus, These results are determined as an effective operating system for logging operation and the utilization of forest-biomass.

Key words: forest-biomass, operation system, operational cost, forest machinery

서 론

우리나라 산림은 대부분이 1970~80년대 집중 녹화된 침엽수 단순림으로 IV영급 이상의 산림면적이 약 65% 정도 차지하고 있으며, 영급 구조의 장·노령림화 되고 있다. 1 ha당 평균 입목축적은 125.6 m³로 2000년의 1 ha당 평균 입목축적 63.5 m³과 비교하여 약 2배가 증가하였으며, 숲가꾸기 사업과 간벌사업 등 목재생산작업이 시급히 필요한 실정이다(Korea Forest Service, 2011b). 향후 국산재 생산이 증량화 및 대량화될 것이므로, 이에 따라 주벌수

확을 위한 임업기술을 준비하고, 지속가능한 산림자원의 이용을 위한 영급구조 개선 등 산림자원의 관리가 중요한 시기이다.

한편, 세계적으로 국제유가 상승과 지구 기후변화에 대한 대응 및 온실가스 감축의 유용한 수단으로 목질계 바이오매스인 목재 칩, 펠릿 등이 주목 받고 있는 실정이다. 목재에너지를 이용할 경우 유가상승에 따른 경제충격을 완화할 수 있고, 탄소배출량을 기존의 화석연료보다 8배 감축할 수 있다(The Korea Forestry News, 2009). 또한 2012년부터 신재생에너지 설치의무화사업의 일환으로 공공건물에 대한 신재생에너지 도입이 확대되고, RPS(신재생에너지 의무 할당제)제도 도입, 온실가스 에너지 목표

*Corresponding author
E-mail: sjupark@knu.ac.kr

관리제의 시행 등의 환경변화에 대응 수단으로서 목질계 바이오매스의 신규수요가 발생할 것으로 예측된다(Korea Forest Service, 2011a).

그러나 현재 인력중심의 숲가꾸기와 집재작업에서는 산물의 일부만 수집하여 벌채 후 가지, 초두목 등이 임지에 방치되고 있으며, 연간 270만ha에서 약 867만m³의 임목이 벌채되어 그 중 수집되어 사용하는 것은 50% 미만인 420만m³에 불과하다(Korea Forest Service, 2012). 최근 임업의 경쟁력확보와 임업노동 후계자 양성을 위하여 임업기계화 사업의 추진과 노무관리 개선 등을 위해 다양한 정책을 추진하고 있으나 임업기계화 사업이 아직 실험단계를 벗어나지 못하고 여전히 초기 단계에 머물고 있으며, 다양한 작업조건에 맞는 응용력과 숙련도를 갖춘 작업원(operator)이 부족하여 임업기계화 정착에 어려움이 있다(Lee and Park, 2001; 2002; 2003). 이러한 외부환경의 변화와 목질계 바이오매스의 수요에 따라 우리나라 지형에 적합한 타워야더와 스윙야더, 트랙터부착 집재기 등의 가선계 임업기계를 통한 전목집재작업을 실시하여 집재한 원목은 다양한 용도로 이용하고, 가지와 초두목 등의 임목부산물은 산림바이오매스로 이용할 필요가 있다.

우리나라에서 가선계 임업기계를 이용한 목재생산작업 시스템에 관한 연구를 살펴보면, Woo et al.(1990)은 케이블크레인(K-300)을 이용한 집재작업에서 인건비의 상승에 따른 케이블크레인의 경쟁력은 상승할 것이라 하였으며, Park(2002)은 트랙터부착 집재기인 HAM200 타워집재기와 FARMi 원치집재기의 집재작업공정을 분석하여 임목생산작업의 작업능률 향상 및 작업시스템 구축과 효율적인 임목생산기술을 보급하기 위한 기초자료를 제공하였다. Park and Ham(2002)은 우리나라의 지형과 임상, 간벌작업 등에 알맞고 경제적으로 실용성이 높은 임업기계의 보급을 위해 연구·개발된 굴삭기를 이용한 타워집재기(Tower-yarder) 및 원목집계톱(Grapple saw)의 실용성 평가와 기초자료를 작성하기 위한 목적으로 작업능률 및 작업비용을 분석하였다. 또한, Park(2004a; 2004b)은 타워야더(RME-300T)의 작업시스템 구축과 효율적인 임목생산기술을 보급하기 위해 열상간벌작업에서 집재작업공정과 집재작업시스템을 분석하였고, 타워야더에 의한 집재작업에서 최적의 집재작업시스템을 구축하기 위해 적정 가설간격과 적정 가로집재거리 및 집재거리 등을 분석하였다. Kim and Park(2010)은 숲가꾸기 작업에서 플라스틱 수라를 이용한 인력집재, 국내에서 개발된 트랙터 부착 집재기인 춘천집재기, 일본 오이까와사의 임내차 탑재형 타워야더(RME-300T)의 산물수집작업 공정 및 비용을 분석하였다. Kim and Park(2012; 2013)은 현재 우리나라의 임목생산작업시스템에 이용되고 있는 체인톱, 타워야더(RME-300T), 스윙야더, 굴삭기 그래플, 오이까와사의 임내차, 영

운기(소운재용 트럭) 등에 의한 전목집재작업시스템 및 단목집재작업시스템의 작업공정 및 비용을 분석하여 목재생산작업의 생산성 향상 및 비용절감과 작업시스템을 구축하여 효율적인 임목생산작업시스템의 기술을 보급하기 위한 기초자료를 제공하였다. Han et al.(2014)은 임목수확작업에서 타워야더(RME-300T), 트랙터부착 집재기(춘천집재기), 트랙터 원치(FARMi원치)의 작업생산성 및 집재비용에 따른 작업효율성을 분석하여 작업조건에 맞는 작업시스템을 선정하는데 필요한 기초자료를 제공하였다. 이와 같이 우리나라에서 목재생산작업의 공정 및 비용 등에 대한 다양한 연구는 실시되었으나 최근 기후변화 등에 따른 목재 칩과 펠릿 등의 산림바이오매스 이용을 위한 목재생산작업에 대한 연구는 많지 않다.

본 연구는 현재 우리나라에서 주로 사용되고 있는 체인톱에 의한 벌목 및 조재작업, 트랙터 부착형 집재기와 타워야더에 의한 집재작업, 굴삭기 그래플과 소운재용 트럭 및 임내작업차에 의한 소운재작업, 소형 목재파쇄기와 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업, 트럭에 의한 운재작업 등에 의한 임목수확작업시스템에 대한 일련의 연구로써 작업시간 및 공정 분석(Mun et al., 2014)에 이어 작업비용을 분석하여 산림바이오매스 이용을 위한 최적의 임목수확작업시스템의 구축 및 기술을 보급하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

조사 및 방법

1. 조사지 및 조사에 적용된 기계의 개요

본 연구의 조사지 및 조사에 적용된 임업기계는 산림바이오매스 이용을 위한 작업시간 및 공정 분석에 대한 기존의 연구(Mun et al., 2014)에서 제시한 조사지 및 조사에 적용된 기계와 동일하다.

조사는 경상북도 영양군과 김천시, 봉화군 등의 3개 지역을 중심으로 실시하였으며, 조사지 1, 조사지 2, 조사지 3으로 구분하여 조사하였다. 조사지 1은 경상북도 영양군 석보면 삼의리 산 1-2번지의 목재생산작업 현장으로서 계획 면적 19.0 ha인 개별작업지이며, 체인톱에 의한 벌목 및 조재작업과 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭의 소운재작업의 작업비용을 분석하였다. 소나무 79%로서 평균영급이 VII영급인 침엽수 천연림지역이며, 평균수고 11 m, 평균흉고직경 28 cm, ha당 임목축적은 141 m³/ha이다. 조사지 2는 경상북도 김천시 증산면 황점리 산 63-5번지의 낙엽송 대경재생산작업 현장으로서 계획 면적 13.5 ha인 개별작업지이며, 체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업, 타워야더(Koller K301-3)에 의한 집재와 굴삭기 그래플 및 모르오카 임내작업차에 의한 소운재작업의 작업비용을 분석하였다. 평균영급이 IX영급인 침엽수 인공림지역이며,

Table 1. Summary of study sites.

Items	Contents		
	Site 1	Site 2	Site 3
Location	Samui-ri, Seokbo-myeon, Yeongyang-gun, Gyung-sangbuk-do	Hwangjeom-ri, Jengsan-myeon, Kimcheon-si, Gyung-sangbuk-do	Galsan-ri, Jaesan-myeon, Bonghwa-gun, Gyung-sangbuk-do
Total area	19.0 ha	13.5 ha	0.7 ha
Average slope	25°	37°	25°
Origin of forest	Natural forest	Plantation	Plantation
Forest type	Coniferous forest	Coniferous forest	Coniferous forest
Species(ratio)	<i>Pinus densiflora</i> (79%)	<i>Larix kaempferi</i> (99%)	<i>Larix kaempferi</i> (99%)
Average age class	VII	IX	IV
Average height	11 m (5~15 m)	21 m (8~32 m)	19 m (16~23 m)
Average DBH	28 cm (6~64 cm)	32 cm (10~76 cm)	26 cm (14~40 cm)
Average growing stork	141 m ³ /ha	230 m ³ /ha	360.65 m ³ /ha
Cutting method	Clear cutting	Clear cutting	30% Thinning

평균수고 21 m, 평균흉고직경 32 cm, ha당 임목축적은 230 m³/ha이다. 조사지 3은 경상북도 봉화군 재산면 갈산리 산 582-15번지의 수익형 숲가꾸기사업 작업현장으로 계획 면적 0.7 ha인 30% 간벌작업지이며, 트랙터 부착형집재기(스마트집재기)에 의한 집재작업의 작업비용을 분석하였다. 평균영급이 IV영급인 침엽수 인공림지역이며, 평균수고 19 m, 평균흉고직경 26 cm, ha당 임목축적은 360.65 m³/ha이다(Table 1). 산림바이오매스에 대한 연구를 위해 전목집재를 고려하나, 부득이하게 현재 우리나라의 임목수확작업에서 이루어지는 작업시스템을 기초로 조사지를 선정하고 작업공정 및 비용을 분석하였다.

별목 및 조재 작업에 적용된 기계는 Husqvarna사에서 제작한 390 xp모델의 체인톱이며, 배기량 88 cc, 6.5마력, 안내판길이 24인치, 중량 7 kg, 연료탱크 용량 0.89 l, 오일탱크 용량 0.5 l이다. 집재작업에 적용된 기계는 트랙터 부착형 집재기와 타워야더이다. 트랙터 부착형 집재기는 신풍엔지니어링사에서 제작된 스마트3DS[*SUPER*]집재기 모델이며, 3드럼 유압 방식으로 최대 집재거리 180 m이고, 최대 가로집재거리 40 m로서 상·하양집재가 가능하다(Shinphoong Engineering, 2013). 타워야더는 오스트리아 KOLLER사에서 제작된 2003년식 K301-3모델이며, 최대 집재거리 400 m이고, 최대 가로집재거리는 60 m이다(Son, 2009). 소운재작업에 적용된 기계는 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭과 모로오카 임내작업차이다. 소운재용 트럭은 미국 GM사(GMC)에서 제작된 6륜구동의 덤프 트럭으로서 1회집재량은 최대 5톤, 주행속도는 일반도로에서 최대 70 km/hr이다(Kim and Park, 2012). 모로오카 임내작업차는 일본 모로오카사에서 제작된 기계로서 전차 방식으로 전복을 최소화하였으며, 최대 적재하중은 3.8톤이다(Korea Forest Service and National Forestry Cooperative Federation, 2008). 파쇄작업에 적용된 기계는 소형목재파쇄기와 대형목재파쇄기이다. 소형목재파쇄기는 유림기계

사에서 제작된 YM-500C 모델로서 자주식 고무타이어 휠 방식이며, 시간당 28~33 ton/hr을 생산한다(Yulim-Machine, 2013). 대형목재파쇄기는 듀라텍사에서 제작된 3010T 모델로서 자주식 케도형이며, 캐터필러 엔진과 케도를 이용하였고 파쇄통의 회전 방향과 배출 컨베이어의 방향을 제어할 수 있다(Shinyoung Equipment Company, 2013). 운반작업은 25톤 컨테이너 트럭이 적용되었다.

2. 조사 및 분석 방법

1) 조사 내용 및 방법

본 연구의 조사 내용 및 방법은 본 연구와 관련된 기존의 연구(Mun et al., 2014)에서 실시한 것과 동일하다. 즉, 현장조사는 2012년 11월부터 2013년 10월까지 조사지를 조사지 1, 2, 3으로 구분하여 실시하였고, 주요 조사내용은 각 작업에 대한 작업원수, 요소작업과 별도목의 흉고 직경 및 조재된 원목의 길이, 집재목의 직경 및 길이, 집재거리 및 가로집재거리, 소운재거리 및 소운재분수, 투입된 파쇄목의 직경 및 길이 등이다. 또한, 각 조사지의 작업공정을 분석하기 위한 작업시간 측정에는 스톱워치(Stop watch)를 이용한 연속작업시간 측정법으로 실시하였다.

2) 작업비용 분석방법

작업비용 분석은 작업시간 측정 등을 통해 분석한 작업 공정 결과를 기초로 실시하였다. 산림작업비용은 인건비, 기계비용, 재료비로 구성되어 있으며, 인건비와 기계비용은 단위생산량 또는 단위시간당 단가로 나타낼 수 있다. 기계비용의 계산법은 경영분석 방법에 따라 차이가 있을 수 있으며, 감가상각비의 계산방법과 작업원의 임금산정법, 작업시간의 기준에 따라 계산결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 기계비용의 산정방법으로 KWF법을 사용하였으며, 이 방법은 독일 산림작업 및 임업기계위원회에서 정한 방식에 의해서 기계작업비용을 계산하는 방법으

로써 감가상각비를 기계의 활용도에 따라 다르게 적용하는 것이 특징이며, 주요한 작업비용분석 방법은 아래와 같다(Woo et al., 1997).

(1) 감가상각비

경제적 내구년수 동안 기계의 수명(가동시간)에 달할 때까지 가동을 못할 경우는 감가상각비가 증가한다. 즉 장비의 활용도가 일정한 기준 이하일 때는 감가상각비가 증가하는 방식을 사용한다. 장비구입 가격이 P, 장비의 경제적 수명이 H 시간, 장비내구년수가 N 년, 실제 연간 가동시간이 J 시간일 경우에는 이 장비의 최소한 연간 H/N이상 사용하여야 하는데 실제 연간 가동시간 J가 H/N보다 적을 때의 감가상각비 D는 다음과 같이 계산된다(Woo et al., 1997).

$$J \geq H/N \text{ 일 경우 } D = P/H \tag{1}$$

$$J < H/N \text{ 일 경우 } D = P/(J \times N) \tag{2}$$

(2) 이자비용

기계구입시 자금을 은행으로부터 용자받는 것으로 계산하여 시중은행금리나, 임업이자율 등을 적용하여 계산하고 평균 투자금액은 장비구입가격의 1/2로 계산한다(Woo et al., 1997).

$$\text{자본이자 (I)} = P/2 \times \text{연이율} \tag{3}$$

(3) 수리 유지비

감가상각비에 대한 수리정비계수(r)를 이용하여 계산한다(Woo et al., 1997).

$$\text{수리 유지비 (RM)} = P/H \times r \tag{4}$$

(4) 유류비

연료비는 한국석유공사의 2013년 9월 4주의 평균유가(Korea National Oil Corporation, 2013)를 기준으로 적용하여 사용연료의 시간당 비용으로 계산하고 윤회유 비용은 윤회유 계수를 이용하여 구하며, 보통 장비일 경우 윤회유계수는 0.1이나 유압시스템으로 가동되는 하베스터 등의 대형장비일 경우에는 0.4에 달한다(Woo et al., 1997).

(5) 인건비

인건비는 대한건설협회의 2013년 하반기 적용 임금보고서를 기준으로 적용하였다(Construction Association of Korea, 2013).

(6) 기타

비용계산에 적용된 기초인자들은 산림작업용 장비(Korea Forest Research Institute, 2008)와 2013년도 건설기계의 기계경비 산출표(Korea Specialty Contractors Association, 2013)를 참고하였다. 소운재용 트럭에 의한 소운재작업비용은 기존 연구(Eom et al., 2010)의 소운재용 트럭 현실 품셈인 1일 작업비용 400,000원/일을 적용하였다.

3) 작업시스템에 따른 작업비용 분석방법

작업시스템에 따른 작업비용은 벌목 및 조재 작업비용, 집재작업비용, 소운재작업비용, 운재작업비용을 합하여 비교하였으며, 기본적으로 집재기계, 소운재기계별 적용 가능한 시스템을 A~D Type으로 가정하여 구분하고 비용을 추정하였다. 또한 산림벌채부산물과 파쇄된 칩의 소운반 및 운반작업량을 톤(ton)으로 환산하여 비용을 추정하고, 파쇄기계 및 그 위치에 따른 소운반, 파쇄, 운반작업의 비용의 합을 시스템 E~H Type으로 가정하여 구분하고 비용을 추정하였다. 파쇄된 칩과 벌채부산물의 무게단위 환산계수는 합수율 40.20%의 용기별 목재칩 산물밀도의 평균값 254.38 kg/m³(Hwang et al., 2010)과 벌채부산물의 걸보기밀도 150 kg/m³(Oh et al., 2013)을 각각 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 벌목 및 조재 작업비용 분석

체인톱에 의한 벌목 및 조재작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 2와 같다. 산출된 시간당 비용은 감가상각비 867원/hr, 이자비용 130원/hr, 수리유지비 520원/hr, 유류비 1,621원/hr, 인건비 19,034원/hr으로 산출되었다. 조사지 1에서의 벌목 및 조재작업 공정은 11.16 m³/hr으로 작업비용은 단위체적(m³)당 약 1,987원/m³으로 산출되었으며, 조사지 2에서의 벌목 및 조재공정은 7.31 m³/hr으로 단위체적(m³)당 작업비용은 약 3,033원/m³으로 산출되었다. 체인톱을 이용한 벌목 및 조재작업 비용은 조사지 1과 2에서의 벌목 및 조재작업 비용을 평균하면 약 2,510원/m³, 22,172원/hr, 133,032원/

Table 2. Calculation of operational cost for chain saw.

Items		Values
Purchase price (Won)	(P)	1,300,000
Service life (Years)	(N)	3
Life in hours (hr)	(H)	1,500
Scheduled time per year (hr/yr)	(J)	500
Fuel consumption per hour (l/hr)		0.7
Coefficient of maintenance and repair	(r)	0.6
Coefficient of lubricant		0.2
Annual interest rate (%)	(i)	10
Daily wage of Wood Worker (Won/day)		114,201
Depreciation cost (Won/hr)		867
Interest cost (Won/hr)		130
Repair and maintenance cost (Won/hr)		520
Fuel cost (Won/hr)		1,621
Labor cost (Won/hr)		19,034
Total felling and bucking cost (Won/hr)		22,172
Productivity of chain saw in site 1 (m ³ /hr)		11.16
Productivity of chain saw in site 2 (m ³ /hr)		7.31

Note: Productive time per day is 6 hours.

일이다.

2. 집재작업비용 분석

1) 트랙터 부착형 집재기에 의한 집재작업비용

트랙터 부착형 집재기에 의한 집재작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 3과 같다. 산출한 시간당 비용은 감가상각비 16,667원/hr, 이자비용 4,167원/hr, 수리유지비 11,667원/hr, 유류비 4,777원/hr, 인건비 47,035원/hr으로 나타났으며, 트랙터 부착형 집재기의 작업공정은 5.68 m³/hr으로 단위재적(m³)당 집재작업비용은 약 29,688원/m³으로 산출되었다.

2) 타워야더에 의한 집재작업비용

타워야더에 의한 집재작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 3과 같다. 산출한 시간당 비용은 감가상각비 25,000원/hr, 이자비용 8,333원/hr, 수리유지비 17,500원/hr, 유류비 11,941원/hr, 인건비 47,035원/hr으로 나타났으며, 타워야더의 작업공정은 10.74 m³/hr으로 단위재적(m³)당 집재작업비용은 약 20,449원/m³으로 산출되었다.

3. 소운재작업비용 분석

1) 굴삭기 그레플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재작업비용

(1) 상차 및 집적 작업에 사용된 굴삭기 그레플의 작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 4와 같다. 산출한 시간당 비용은 감가상각비 8,571

Table 4. Calculation of operational cost for excavator with grapple.

Items	Values	
Purchase price (Won)	(P)	60,000,000
Service life (Years)	(N)	5
Life in hours (hr)	(H)	10,000
Scheduled time per year (hr/yr)	(J)	1,400
Fuel consumption per hour (l/hr)		5
Coefficient of maintenance and repair	(r)	0.7
Coefficient of lubricant		0.21
Annual interest rate (%)	(i)	10
Daily wage of Operator (Won/day)		114,259
Depreciation cost (Won/hr)		8,571
Interest cost (Won/hr)		2,143
Repair and maintenance cost (Won/hr)		4,200
Fuel cost (Won/hr)		10,470
Labor cost (Won/hr)		19,043
Total cost of excavator with grapple (Won/hr)		44,427

Note: Productive time per day is 6 hours.

원/hr, 이자비용 2,143원/hr, 수리유지비 4,200원/hr, 유류비 10,470원/hr, 인건비 19,043원/hr으로 나타났으며, 굴삭기 그레플의 단위시간(hr)당 상차 및 집적작업의 비용은 약 44,427원/hr으로 산출되었다.

(2) 소운재용 트럭에 의한 소운재작업비용

소운재용 트럭의 작업공정은 7.10 m³/hr으로 기존연구 (Eom et al., 2010)의 1일 작업비용 400,000원/일을 적용한 단위재적(m³)당 소운재작업의 비용은 9,394원/m³로 산출되었다.

소운재거리 1.5 km에 해당하는 굴삭기 그레플 및 소운

Table 3. Calculation of operational cost for yarding.

Items		Values	
		Tractor-yarder	Tower-yarder
Purchase price (Won)	(P)	100,000,000	200,000,000
Service life (Years)	(N)	6	8
Life in hours(hr)	(H)	6,000	8,000
Scheduled time per year (hr/yr)	(J)	1,200	1,200
Fuel consumption per hour (l/hr)		2	5
Coefficient of maintenance and repair	(r)	0.7	0.7
Coefficient of lubricant		0.29	0.38
Annual interest rate (%)	(i)	10	10
Daily wage of Operator (Won/day)		114,259	114,259
Daily wage of Assistant worker (Won/day)		83,975	83,975
Depreciation cost (Won/hr)		16,667	25,000
Interest cost (Won/hr)		4,167	8,333
Repair and maintenance cost (Won/hr)		11,667	17,500
Fuel cost (Won/hr)		4,777	11,941
Labor cost (Won/hr)		47,035	47,035
Total yarding cost (Won/hr)		84,313	109,809
Productivity of tower-yarder (m ³ /hr)		2.84	5.37

Note: Productive time per day is 6 hours.

재용 트럭에 의한 소운재 및 집적작업비용은 굴삭기 그레플에 의한 상차작업비용과 소운재용 트럭에 의한 소운재작업비용, 그리고 굴삭기 그레플에 의한 집적작업비용의 합으로 단위재적(m³)당 약 21,914원/m³으로 나타났다.

2) 굴삭기 그레플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업비용

상차 및 집적 작업에 사용된 굴삭기 그레플의 작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 상

Table 5. Calculation of operational cost for mini-forwarder.

Items		Values
Purchase price (Won)	(P)	87,000,000
Service life (Years)	(N)	5
Life in hours (hr)	(H)	5,000
Scheduled time per year (hr/yr)	(J)	1,000
Fuel consumption per hour (l/hr)		5.8
Coefficient of maintenance and repair	(r)	0.9
Coefficient of lubricant		0.20
Annual interest rate (%)	(i)	10
Daily wage of Operator (Won/day)		114,259
Depreciation cost (Won/hr)		17,400
Interest cost (Won/hr)		4,350
Repair and maintenance cost (Won/hr)		15,660
Fuel cost (Won/hr)		12,045
Labor cost (Won/hr)		19,043
Total forwarding cost (Won/hr)		68,498
Productivity of mini-forwarder (m ³ /hr)		9.52

Notes: 1) Productive time per day is 6 hours.

2) Forwarding distance is 1.5 km.

기 Table 4와 같고 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 5와 같다. 산출한 시간당 비용은 감가상각비 17,400원/hr, 이자비용 4,350원/hr, 수리유지비 15,660원/hr, 유류비 12,045원/hr, 인건비 19,043원/hr으로 나타났으며, 모로오카 임내작업차의 작업공정은 9.52 m³/hr으로 단위재적(m³)당 소운재작업의 비용은 7,134원/m³로 산출되었다.

소운재거리 1.5 km에 해당하는 굴삭기 그레플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재 및 집적작업비용은 굴삭기 그레플에 의한 상차작업비용과 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업비용, 그리고 굴삭기 그레플에 의한 집적작업비용의 합으로 단위재적(m³)당 약 16,523원/m³으로 나타났다.

4. 파쇄작업비용 분석

1) 소형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업비용

소형 목재파쇄기의 파쇄작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 6과 같다. 산출된 시간당 비용은 감가상각비 8,286원/hr, 이자비용 2,071원/hr, 수리유지비 4,060원/hr, 유류비 15,022원/hr, 인건비 75,026원/hr으로 나타났으며, 단위재적(m³)당 소형 목재파쇄기의 파쇄작업의 비용은 약 28,387원/m³으로 산출되었다.

2) 굴삭기 그레플 및 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업비용

파쇄작업에 사용된 굴삭기 그레플의 작업비용을 산출

Table 6. Calculation of operational cost for chipping.

Items		Values	
		Mini-chipper	Large-chipper
Purchase price (Won)	(P)	58,000,000	423,000,000
Service life (Years)	(N)	5	8
Life in hours (hr)	(H)	10,000	10,000
Scheduled time per year (hr/yr)	(J)	1,400	1,000
Fuel consumption per hour (l/hr)		7	70
Coefficient of maintenance and repair	(r)	0.7	0.85
Coefficient of lubricant		0.24	0.24
Annual interest rate (%)	(i)	10	10
Daily wage of Operator (Won/day)		114,259	114,259
Daily wage of Assistant worker (Won/day)		83,975	-
Depreciation cost (Won/hr)		8,286	52,875
Interest cost (Won/hr)		2,071	21,150
Repair and maintenance cost (Won/hr)		4,060	35,955
Fuel cost (Won/hr)		15,022	150,220
Labor cost (Won/hr)		75,026	19,043
Total chipping cost (Won/hr)		104,465	279,243
Productivity of mini-chipper (m ³ /hr)		3.68	7.29

Note: Productive time per day is 6 hours.

하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 상기 Table 6 과 같고 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업비용을 산출하기 위해 사용된 기초인자 및 산출내역은 Table 8과 같다. 산출된 시간당 비용은 감가상각비 52,875원/hr, 이자비용 21,150원/hr, 수리유지비 35,955원/hr, 유류비 150,220원/hr, 인건비 19,043원/hr으로 나타났으며, 단위재적(m³)당 대형 목재파쇄기의 파쇄작업의 비용은 38,305원/m³으로 산출되었다.

굴삭기 그래플 및 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업비용은 굴삭기 그래플의 투입작업비용과 대형 목재파쇄기

에 의한 파쇄작업비용의 합으로 단위재적(m³)당 약 44,399 원/m³으로 산출되었다.

5. 산림작업시스템에 따른 작업비용 분석

1) 임목생산작업시스템에 따른 작업비용

적용기계별 작업공정 및 비용을 분석한 결과는 Table 7 과 같다. 임목수확의 작업시스템별 비용을 분석한 결과는 Table 8과 같으며, 체인톱에 의한 벌목 및 조재, 타워야더에 의한 집재, 임내작업차에 의한 소운재, 트럭에 의한 운재로 이루어진 D Type의 작업시스템이 72,057원/m³로 가

Table 7. Productivity and cost of machines.

Items	Machine	Productivity (m ³ /day)	Operational cost		
			Per hour (Won/hr)	Per day (Won/day)	Per m ³ (Won/m ³)
Felling and Bucking	Chain saw	53.00	22,172	133,032	2,510
Yarding	Yarder attached on tractor	17.04	84,313	505,875	29,688
	Tower-yarder	32.22	109,809	658,854	20,449
Forwarding	Grapple + Mini-truck + Grapple	42.58	44,427 66,667 44,427	266,562 400,000 266,562	6,260 9,394 6,260
	Grapple + Mini-forwarder + Grapple	57.14	44,427 68,498 44,427	266,562 410,988 266,562	4,665 7,193 4,665
	Mini-chipper	22.08	104,465	626,790	28,387
	Grapple + Large-chipper	43.74	44,427 279,243	266,562 1,675,458	6,094 38,305
Transportation	25ton truck	29.17	-	700,000	24,000

Notes: 1) Forwarding distance is 1.5 km.
2) Transportation distance is 200 km.

Table 8. Cost for logging operation systems.

Items	Operation system				Productivity (m ³ /day)	Operational cost	
	Chain saw	Tractor Yarder	Mini-truck	25ton truck		Per m ³ (Won/)	Per day (Won/day)
A	Chain saw	Tractor Yarder	Mini-truck	25ton truck	7.39	78,112	2,272,031
B	Chain saw	Tractor Yarder	Mini-forwarder	25ton truck	7.73	72,721	2,283,019
C	Chain saw	Tower-yarder	Mini-truck	25ton truck	9.29	68,873	2,425,010
D	Chain saw	Tower-yarder	Mini-forwarder	25ton truck	9.83	63,482	2,435,998

Table 9. Estimation of cost for chipping operation systems.

Items	Machine	Handling type	Productivity (Ton/day)	Operational cost		
				Per hour (Won/hr)	Per day (Won/day)	Per ton (Won/ton)
Chipping	Mini-chipper	Chip	12.81	104,465	626,790	48,930
	Grapple + Large-chipper	Chip	25.37	323,670	1,942,020	76,548
Forwarding	Mini-forwarder	Chip	19.29	68,498	410,988	21,306
		Residue	11.37			36,147
Transportation	25ton truck	Chip	34.09	-	700,000	20,534
		Residue	20.10			34,826

Table 10. Cost for chipping operation systems.

Items	Operation system		Productivity (Ton/day)	Cost (Won/ton)	
E	Mini-chipper in the site	Chip forwarding	Chip transportation	6.28	90,770
F	Residue forwarding	Mini-chipper in the landing	Chip transportation	5.12	105,611
G	Residue forwarding	Large-chipper in the landing	Chip transportation	6.38	133,229
H	Residue forwarding	Residue transportation	Mini-chipper in the plant	5.65	147,521

장 비용이 적게 드는 것으로 나타났다.

2) 산림바이오매스 생산시스템에 따른 작업비용

벌채부산물의 취급 상태에 따른 소운반, 파쇄, 운반의 작업량 및 작업비용을 추정한 결과는 Table 9와 같으며, 파쇄기계 및 그 위치에 따른 작업시스템별 비용을 분석한 결과는 Table 10과 같다. 소운반거리 1 km와 운반거리 100 km에서 시스템공정은 대형 목재파쇄기를 이용한 G Type의 작업시스템이 6.04 Ton/일로 가장 높았으나, 비용적인 측면에서 소형 목재파쇄기에 의한 현장파쇄, 임내작업차에 의한 칩 소운반, 트럭에 의한 칩 운반 작업으로 이루어진 E Type의 작업시스템이 90,770원/Ton으로 가장 효율적으로 나타났다. 이는 대형목재파쇄기 1대의 구입가격으로 소형목재파쇄기 10대를 구입하여 목재 칩을 생산하는 것이 더욱 효율적이라는 일본의 연구결과(Sakai and Yoshida, 2013)와 같은 맥락으로 볼 수 있다. 그러나 산림바이오매스의 생산비용이 현실 공급가격보다 높게 나타난 결과를 보인다. 이는 목재 칩의 생성방식에 따라 칩의 산물밀도가 다르게 나타나고 함수율에 따른 단위부피당 무게도 차이 있기 때문으로 판단된다.

결 론

본 연구는 현재 우리나라에의 주요 임업기계를 이용한 임목수확작업시스템에서 벌목 및 조재, 집재, 소운재, 파쇄 등의 작업에 대한 작업비용을 분석하여, 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 임목수확작업시스템을 구축하며, 그 기술을 보급하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였으며, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

임목수확작업 중심의 작업시스템에서 체인톱에 의한 벌목 및 조재와 타워야더에 의한 집재, 임내작업차에 의한 소운재, 트럭에 의한 운재작업으로 이루어진 작업시스템의 작업비용이 가장 적게 드는 것으로 나타났다. 또한, 산림바이오매스 이용을 위한 작업시스템에서 작업비용은 소형 목재파쇄기에 의한 현장파쇄, 임내작업차에 의한 소운반, 트럭에 의한 운반작업의 시스템이 가장 적게 나타났으므로 산림바이오매스 이용을 위해서 위 시스템을 이용한 소규모 분산형 작업시스템이 효과적이라 판단된다.

한편, 벌채부산물 등을 산림바이오매스로 활용하기 위

해서는 전목집재작업의 임목수확작업시스템이 우선적으로 적용하고 소형 파쇄기를 이용한 현장 파쇄작업시스템이 도입되어야 하며, 수요자에 맞는 산림바이오매스의 생산 및 공급이 이루어져야 할 것이다. 또한, 향후 생산된 목재 칩을 연소시킨 후 발생하는 배기가스 및 클링커 등의 처리문제도 고려해야 할 것이며, 산림바이오매스의 이용 촉진을 위해서는 지속적인 공급방안과 연소효율 등 다양한 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국지역난방공사의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 본 연구에 많은 협조를 해준 남부지방산림청의 영주국유림관리소, 영덕국유림관리소, 구미국유림관리소와 산림조합중앙회 중부목재유통센터 및 임업기술훈련원 관계자 및 작업원분들께 깊은 감사를 드린다.

References

Construction Association of Korea. 2013. Apply the second half of 2013, survey report of construction salary (the market wage costs). pp. 17.

Eom, Y.G., Kim, Y.S., Shin, E.G., and Lee, M.R. 2010. An Empirical Study of Pilot Project on Improvement of By-product Utilization Method in New Forest Project. - Focusing on the case of Pilot Project on Utilization of Logging Residue-. Northern Regional Office of the KFS. pp. 143.

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.

Hwang, J.S., Oh, J.H., Kim, N.H., and Cha, D.S. 2010. Physical properties of wood-chips with different moisture contents for forest bioenergy. Journal of The Korea Society of Forest Engineering 8(2): 93-102.

Kim, J.H. and Park, S.J. 2010. An Analysis of the Yarding Productivity and Cost in Forest Tending Operation. Journal of Korea Forest Society 99(4): 625-632.

Kim, M.K. and Park, S.J. 2012. An Analysis of the Operational Time and Productivity in the Whole-tree and Cut-

- to-Length Logging Operation System. Journal of Korea Forest Society 101(2): 344-355.
- Kim, M.K. and Park, S.J. 2013. An Analysis of the Operational Cost in the Whole-tree and Cut-to-Length Logging Operation System. Journal of Korea Forest Society 102(2): 229-238.
- Korea Forest Research Institute. 2008. Equipment for Forestry. pp. 101.
- Korea Forest Service. 2008. National Forestry Cooperative Federation. Main Forest Machinery in Korea. pp. 158.
- Korea Forest Service. 2011a. Master Plan for the Promotion of Wood Industry (2012~2016). pp. 104.
- Korea Forest Service. 2011b. Statistical Yearbook of Forestry. pp. 486.
- Korea Forest Service. 2012. Guideline for Demonstration Project on Design and Inspection of Timber Harvest. pp. 47.
- Korea National Oil Corporation. 2013. Productional price of oil in Korea. <http://www.knoc.co.kr/> (2013. 9. 30).
- Korea Specialty Contractors Association. 2013. Cost estimate table of construction equipment in 2013. pp. 43.
- Lee, G.T. and Park, S.J. 2001. Study on Development of Eco-Friendly Timber Harvest Model and Research of Productivity. National Forestry Cooperative Federation. pp. 114.
- Lee, G.T. and Park, S.J. 2002. Project on Development of Eco-Friendly Timber Harvest Model and Research of Productivity. National Forestry Cooperative Federation. pp. 89.
- Lee, G.T. and Park, S.J. 2003. Project on Development of Eco-Friendly Timber Harvest Model and Research of Productivity. National Forestry Cooperative Federation. pp. 86.
- 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 Korea Forest Society 103(4): 583-592.
- Oh, J.H., Lee, J.A., and Kim, D.H. 2013. Compression and Relaxation Behavior of Logging Residues for *Pinus Rigida*. Journal of Korean Forest Society Conference. 2013(4): 874-877.
- Park, S.J. 2002. An Analysis of the Efficiency of Yarding Operation by Yarder Attached on Tractor. Journal of Korea Forest Society 91(3): 287-295.
- Park, S.J. 2004a. An Analysis of the Yarding Operation System with a Mobile Tower-yarder. Journal of Korea Forest Society 93(3): 205-214.
- Park, S.J. 2004b. The Optimizing of Yarding Operation System with a Mobile Tower-yarder. Journal of Korea Forest Society 93(7): 436-445.
- Park, S.J., Ham, Y.C. 2002. An Analysis of Operation Efficiency and Working Cost of Tower-yarder and Grapple Saw with Shovel Type Excavator. Journal of Korea Forest Society 91(4): 507-516.
- Sakai, H. and Yoshida, M. 2013. Innovation of operation system and recommendations to forestry industrialization. Forest technology 852: 30-33.
- Shinphoong Engineering. 2013. Manual and Instructions of Smart 3DS[SUPER] yarder. pp. 13.
- Shinyoung Equipment Company. 2013. Duratech 3010T Chipper in Products. <http://www.duratechkorea.com> (2013. 10. 10).
- Son, B.S. 2009. An Analysis of the Yarding Operation System with a Mobile Tower-yarder (K301-3). Kyungpook National University. Masters Thesis. pp. 32.
- The Korea Forestry News. 2009. Symposium on Industrialization of Forest Biomass(Wood Pallet). pp. 87.
- Woo, B.M. et al. 1997. Forest Engineering. Gwangil Publishing. pp. 454.
- 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.
- Yulim-Machine. 2013. YM-500C in About Product. <http://www.yulim-mc.com> (2013. 10. 10).