J. Korean For. Soc. Vol. 103, No. 4, pp. 583~592 (2014)
http://dx.doi.org/10.14578/jkfs.2014.103.4.583

한국임학회지
JOURNAL OF KOREAN FOREST SOCIETY
ISSN 0445-4650(Print), ISSN 2289-0904(Online)
http://e-journal.kfs21.or.kr

산림바이오매스 이용을 위한 산림작업 공정 및 비용 분석(I)
– 작업시간 및 공정 –

문호성[1,2] · 조구현[1] · 박상준[2]*
[1]국립산림과학원 산림생산기술연구소, [2]경북대학교 임학과

An Analysis of the Operational Productivity and Cost for the Utilization of Forest-biomass(I)
– the Operational time and Productivity –

Ho-Seong Mun[1,2], Koo-Hyun Cho[1] and Sang-Jun Park[2]*
[1]Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea
[2]Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

요 약: 본 연구는 현재 우리나라의 주요 임업기계를 이용한 임목수확작업시스템에서 벌목 및 조재, 집재, 소운재, 파쇄 등의 목재생산 및 파쇄작업에 대한 작업시간 및 공정을 분석하여, 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 임목수확작업시스템의 구축하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 1회당 주체작업시간은 체인톱에 의한 벌목 및 조재작업은 조사지 1(벌목 및 조재:체인톱, 소운재:굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭)과 조사지 2(벌목 및 조재:체인톱, 집재:타워야더, 소운재:굴삭기 그래플 및 임내작업차)에서 각각 182.7초/회와 518.5초/회로 나타났다. 트랙터 부착형 집재기에 의한 집재는 202.5초/회, 타워야더에 의한 집재는 295.1초/회로 나타났다. 소운재용 트럭(일명:영운기)에 의한 소운재작업은 2,073초/회, 임내작업차에 의한 소운재작업은 2,248.4초/회로 나타났다. 체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업공정은 조사지 1과 2에서 각각 평균 66.96 m^3/인 · 일과 43.86 m^3/인 · 일으로 나타났다. 트랙터 부착형 집재기에 의한 집재작업공정은 평균 5.68 m^3/인·일으로 나타났으며, 타워야더에 의한 집재작업공정은 평균 10.74 m^3/인·일으로 나타났다. 소운재용 트럭(영운기)에 의한 소운재작업공정은 평균 21.29 m^3/인 · 일으로 나타났으며, 임내작업차에 의한 소운재작업공정은 평균 28.57 m^3/인·일으로 나타났다. 또한, 소형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업공정은 4.42 m^3/인 · 일으로 나타났으며, 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업공정은 21.87 m^3/인 · 일으로 나타났다.

Abstract: This study was carried out to investigate the operational time and productivity of logging operation by chain saw, yarder attached on tractor, tower-yarder, mini-truck, mini-forwarder, and chipping operations by mini-chipper, large-chipper in order to develop the efficient logging operation system for utilization of forest-biomass. As a result, the average felling and bucking time using chain saw at the site 1 and 2 was observed to be 182.7 sec/cycle and 518.5 sec/cycle respectively. The average yarding time was 202.5 sec/cycle using yarder attached on tractor and 295.1 sec/cycle using tower-yarder. The average forwarding time was 2,073 sec/cycle using mini-truck and 2,248.4 sec/cycle using mini-forwarder. The operational time of felling and bucking using chain-saw can be delayed according to the direction of fallen trees. The selection of felling direction is very important to yarding operation because the direction between width-yarding and felling are interrelated. Productivity can be improved through educating and training operators in the yarding operations. Mini-forwarder is needed to use because of higher productivity and lower cost than mini-truck. The operational productivity of felling and bucking by chain saw was 66.96 m^3/man · day and 43.86 m^3/man · day at site 1 and 2 respectively. The yarding productivity was 5.68 m^3/man · day by yarder attached on tractor, 10.74 m^3/man · day by tower-yarder. The forwarding productivity was 21.29 m^3/man · day by mini-truck, 28.57 m^3/man · day by mini-forwarder. The chipping productivity was 4.42 m^3/man · day by mini-chipper, 21.87 m^3/man · day by large-chipper.

Key words: *forest machinery, timber harvest, forest-biomass, operational productivity*

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

서 론

우리나라 산림면적은 국토의 63.7%로서 산림의 대부분이 1970~80년대 집중적으로 녹화된 침엽수 단순림으로 III영급 이상의 산림면적이 약 80% 정도 차지하고 있다. 입목 총재적은 약 800백만 m^3로서 치산녹화가 시작된 '73년의 74백만 m^3에 비해 약 10.7배가 증가하였다. 우리나라 산림의 영급 구조가 청・장년림에서 장・노령림으로 변해가고 있어 숲가꾸기 사업과 간벌사업 등의 산림시업이 시급히 필요한 실정이다(Korea Forest Service, 2011).

목재생산작업은 소형 굴삭기부착 우드그랩과 GMC트럭, 불법 개조 개량한 집・운재용 트럭 등의 영세하고 비효율적인 임업기계로 실시되고 있으며, 임내의 굴삭기 주행과 운재로, 주행로 개설 등에 따른 임지의 훼손 및 붕괴와 토사유출 등이 심각하다(Lee and Park, 2001; 2002; 2003). 더욱이, 농산촌의 인구감소와 고령화로 인한 임업노동력 확보가 어렵고, 국산재 생산비의 절감, 노동조건 개선 등을 위해 임업기계화가 절실히 필요하다(Park et al., 2006). 이러한 비효율적인 작업시스템으로 숲가꾸기 산물의 일부만 수집하여 벌채 후 가지, 후동목 등이 임지에 방치되고 있으며, 연간 270만 ha에서 약 867만m^3의 입목이 벌채되고, 그 중 수집되어 사용하는 것은 50% 미만인 420만m^3에 불과하다(Korea Forest Service, 2012a, 2012b).

한편, 세계적으로 국제유가 상승과 지구 기후변화에 대한 대응 및 온실가스 감축의 유용한 수단으로 목질계 바이오매스인 목재 칩, 펠릿 등이 주목 받고 있는 실정이다. 또한 공공건물에 대한 신재생에너지 도입 확대, 2012년 RPS(신재생에너지 의무 할당제)제도 도입 등 환경변화에 대한 대응 수단으로써 목질계 바이오매스의 활용은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(Lee, 2009). 목재에너지를 이용할 경우 유가상승에 따른 경제충격을 완화 할 수 있고, 탄소 배출량을 기존의 화석연료 보다 8배 감축할 수 있다(The Korea Forestry News, 2009).

인력중심의 집재작업과 소형 임업기계에 의한 임목수확작업시스템보다, 친환경적이고 우리나라 지형에 적합한 타워야더와 스윙야더, 트랙터부착 집재기 등의 가선계 임업기계의 임업기계화가 추진되어야하며, 이를 통한 전목집재작업으로 집재한 원목은 다양한 용도로 이용하고 지엽 및 후동목 등의 임목부산물은 산림바이오매스로 이용할 필요가 있다.

우리나라에서 목재생산작업의 공정 및 시스템 등에 관한 주요 연구를 살펴보면, Woo et al.(1990)은 케이블크레인(K-300)을 이용한 집재작업에서 인건비의 상승에 따른 케이블크레인의 경쟁력은 상승할 것이라 하였으며, Song et al.(1998)은 궤도형 집재차의 경제적인 최소 집재거리를 제시하였다. Park(1997)은 작업규모에 따라 적정한 기계장비, 작업시스템의 선택이 필요하다고 하였다. Cha et al.(1997)은 체인톱에 의한 낙엽송 임분의 벌도・조재작업에서 시간분석을 통하여 표준작업에 대한 공정분석의 기초자료를 제공하였으며, Kang(1999)은 체인쏘를 사용한 소나무 간벌작업에서 흉고직경별 생산성을 나타낼 기준시간을 산출하였다. Kang and Kim(1999)은 간벌림에서 인력집재작업의 생산성을 분석하였다. 또한, Park(2002)은 트랙터부착 집재기인 HAM200 타워집재기와 FARMI 윈치집재기의 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 원목집게톱(Grapple saw)의 실용성 평가와 기초자료를 작성하기 위한 목적으로 작업능률 및 작업비용을 분석하였다. Park(2004a, 2004b)은 타워야더(RME-300T)의 작업시스템 구축과 효율적인 임목생산기술을 보급하기 위해 열상간벌작업에서 집재작업공정과 집재작업시스템, 집재작업시간을 분석하였고, 타워야더에 의한 집재작업에서 최적의 집재작업시스템을 구축하기 위해 적정 가설간격과 적정 가로집재거리 및 집재거리 등을 분석하였다. Han et al.(2008)은 트랙터부착 집재기를 이용한 집재작업에서 생산성 및 비용을 분석 하였으며, Han et al.(2009)은 체인톱을 이용한 잣나무의 벌도 작업 공정을 분석하였다. Kim and Park(2010)은 숲가꾸기 작업에서 플라스틱 수라를 이용한 인력집재, 국내에서 개발 된 트랙터 부착 집재기인 춘천집재기, 일본 오이까와사의 임내차 탑재형 타워야더(RME-300T)의 산물수집작업 공정 및 비용을 분석하였고 Kim and Park(2012; 2013)은 현재 우리나라의 임목생산작업스템에 이용되고 있는 체인톱, 타워야더(RME-300T), 스윙야더, 굴삭기 그래플, 오이까와사의 임내차, 영운기(소운재용 트럭) 등에 의한 전목집재작업시스템 및 단목집재작업시스템의 작업공정 및 비용을 분석하여 목생생산작업의 생산성 향상 및 비용절감과 작업시스템을 구축하여 효율적인 임목생산작업시스템의 기술을 보급하기 위한 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 거의 없다.

본 연구는 현재 우리나라의 임목수확작업시스템에 이용되고 있는 체인톱에 의한 벌목 및 조재, 트랙터 부착형 집재기[스마트3DS(SUPER)집재기]와 타워야더(K301-3)에 의한 집재, 굴삭기 그래플과 소운재용 트럭(일명: 영운기) 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업의 임목수

확작업과 소형 목재파쇄기(YM-500C)와 대형 목재파쇄기(듀라텍 3010T)에 의한 파쇄작업의 바이오매스 생산작업, 트럭에 의한 운반작업 등에 대한 작업공정 및 비용 등을 분석하여, 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 임목수확작업시스템을 구축하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

조사 및 방법

1. 조사지의 개요

본 연구는 영양군과 김천시, 봉화군 등의 3개 지역을 중심으로 조사를 실시하였으며, 조사지는 조사지 1, 조사지 2, 조사지 3으로 구분하였다. 각 조사지의 개요는 아래와 같으며, Table 1에 정리하였다.

1) 조사지 1

조사지 1은 경상북도 영양군 석보면 삼의리 산 1-2번지의 목재생산작업 현장으로 계획 면적 19.0 ha인 개벌작업지이다. 소나무 79%로서 평균영급이 VII영급인 침엽수 천연림지역이며, 평균수고 11 m, 평균흉고직경 28 cm, ha당 임목축적은 141 m^3/ha이다. 체인톱에 의한 벌목 및 조재작업과 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭(일명: 영운기)에 의한 소운재작업의 작업시간을 측정하였다.

2) 조사지 2

조사지 2은 경상북도 김천시 증산면 황점리 산 63-5번지의 낙엽송 대경재생산 작업 현장으로 계획 면적 13.5 ha인 개벌작업지이다. 평균영급이 IX영급인 침엽수 인공림지역이며, 평균수고 21 m, 평균흉고직경 32 cm, ha당 임목축적은 230 m^3/ha이다. 체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업, 타워야더(K301-3)에 의한 집재와 굴삭기 그래플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업의 작업시간을 측정하였다.

3) 조사지 3

조사지 3은 경상북도 봉화군 재산면 갈산리 산 582-15번지의 수익형 숲가꾸기사업 작업현장으로 계획 면적 0.7 ha인 30% 간벌작업지이다. 평균영급이 IV영급인 침엽수 인공림지역으로 밀하며, 평균수고 19 m, 평균흉고직경 26 cm, ha당 임목축적은 360.65 m^3/ha이다. 트랙터 부착형 집재기(일명:스마트집재기)에 의한 집재작업의 작업시간을 측정하였다.

2. 조사에 적용된 기계의 개요

조사지의 벌목 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 스마트 3DS[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 덤프트럭으로서 1회집재량은 최대 5톤, 주행속도는 일반도로에서 최대 70 km/hr이다(Kim and Park, 2012). 모로오카 임내작업차는 일본 모로오카사에서 제작된 기계로서 전차방식으로 전복을 최소화하였으며, 최대 적재하중은 3.8톤이다(Korea Forest Service and National Forestry Cooperative Federation, 2008). 파쇄작업에 적용

Table 1. Summary of study sites.

Items	Contents		
	Site 1	Site 2	Site 3
Location	Samui-ri, Seokbo-myeon, Yeongyang-gun, Gyungsangbuk-do	Hwangjeom-ri, Jengsan-myeon, Kimcheon-si, Gyungsangbuk-do	Galsan-ri, Jaesan-myeon, Bonghwa-gun, Gyungsangbuk-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)	*Pinus densiflora* (79%)	*Larix kaempferi* (99%)	*Larix kaempferi* (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	Thinning (30%)

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

3. 조사내용과 분석방법

1) 조사 내용 및 방법

2012년 11월부터 2013년 10월까지 조사지 1, 2, 3에서 각 작업에 대한 작업시간 측정은 스톱워치(Stop watch)를 이용한 연속작업시간 측정법으로 실시하였다. 각 작업에 대한 작업원수, 요소작업과 벌도목의 흉고직경 및 조재된 원목의 길이, 집재목의 직경 및 길이, 집재거리 및 가로집재거리, 소운재거리 및 소운재본수, 투입된 파쇄목의 직경 및 길이 등을 측정, 조사하였다.

벌목 및 조재작업의 요소작업은 다음과 같이 정의하였다.

- 주변정리 – 벌목 및 대피로 확보를 위해 벌도목 주변의 하층식생을 정리하는 작업
- 벌도 – 벌목을 시작하여 나무가 넘어갈 때까지 작업
- 이동 – 벌목 또는 조재작업을 위해 이동
- 조재 – 가지정리를 포함하여 작동하는 작업
- 마름질 – 통나무자르기를 위해서 줄자 등으로 길이를 재어 표시하는 작업

집재작업의 요소작업은 다음과 같이 정의하였다.

- 로프 상승 - 반송기를 보내기 위해서 와이어로프를 올리는 작업
- 반송기보내기 – 집재목을 집재할 위치까지 반송기를 보내는 작업
- 로프 하강 – 보낸 반송기에서 지면까지 와이어로프를 내리는 작업
- 로프 가로끌기 – 와이어로프를 집재목까지 끌고 가는 작업
- 쵸킹 – 쵸킹수가 쵸커를 나무에 매는 작업
- 쵸킹수 이동 및 신호 – 쵸킹 후 안전한 곳으로 대피, 오퍼레이터에게 집재신호를 보내는 작업
- 가로 집재 – 와이어로프를 감기 시작해서 쵸커가 반송기에 부착되는 작업
- 집재 – 집재목이 달린 반송기를 토장까지 끌어당기는 작업
- 짐 내리기 – 집재된 나무를 반송기에서 토장까지 내리는 작업
- 짐 풀기 – 쵸커를 해체하는 작업

소운재작업의 요소작업은 다음과 같이 정의하였다.

- 상차준비 – 집재장에서 상차를 위해 차량을 준비하는 작업
- 상차 – 굴삭기 그래플을 이용해 목재를 차량에 싣는 작업
- 소운반 준비 – 상차가 끝난 후 시동을 켜고 소운반 준비하는 작업
- 소운반 – 짐을 싣고 집재장에서 토장까지 이동하는 작업
- 하차준비 – 토장에서 하차를 위해 차량을 준비하는 작업
- 하차 – 짐을 내리는 작업
- 공차주행 준비 – 하차가 끝난 후 공차주행을 준비하는 작업
- 공차주행 – 짐을 싣지 않은 상태로 토장에서 집재장까지 이동하는 작업

2) 작업시간 및 작업공정 분석방법

작업시간은 연속작업시간 조사결과를 이용하여 주체작업시간과 부대작업시간으로 구분하고 전체 작업 및 1회당 요소작업시간을 분석하였으며, 작업시간 결과와 벌도목의 흉고직경 및 조재된 원목의 길이, 집재목의 직경 및 길이, 소운재 본수, 투입된 파쇄목의 직경 및 길이 등을 기초로 작업량을 산출하여 작업공정을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 벌목 및 조재 작업의 시간 및 공정 분석

1) 조사지 1의 작업시간 및 공정 분석

조사지 1에서의 체인톱을 이용한 벌목 및 조재 작업의 1회당 작업시간내역 및 비율은 Table 2와 같다. 벌목 및 조

Table 2. The element operation time per cycle in felling and bucking by chain saw at the site 1.

Element operation		Time(sec)	Ratio(%)
Main operation	Moving	41.7	22.8
	Clearing around for felling	31.7	17.4
	Felling	24.6	13.5
	Bucking	84.7	46.3
	Total	182.7	100.0
Accessory operation	Removal of hang-up tree and chain saw jammed	32.6	3.8
	Refueling	64.6	7.0
	Maintaining	478	39.0
	Taking rest	344.8	37.5
	The others	234.5	12.7
	Total	1,154.5	100.0

Table 3. Productivity in felling and bucking operation by chain saw at the site 1.

Items		Productivity
Observed value	The number of felling and bucking (tree)	70
	The volume of timber felled and bucked (m^3)	39.64
	Felling and bucking time (sec)	16,472
	Number of workers (man)	1
Average per tree	The volume of timber felled and bucked (m^3/tree)	0.5664
	Felling and bucking time (sec/tree)	182.7
Average per hour	The number of felling and bucking (tree/hr)	19.7
	The volume of timber felled and bucked (m^3/hr)	11.16
Average per man·day	The number of felling and bucking (tree/man·day)	118.2
	The volume of timber felled and bucked (m^3/man·day)	66.96

Note) Productive time per day is 6 hours.

재 작업의 총 조사시간은 4시간 34분 30초이며, 그 중 주체작업시간이 3시간 33분 10초로 총 작업시간의 77.7%를 차지하였고, 부대작업시간이 1시간 1분 20초로 22.3%를 차지하였다. 또한, 1회당 주체작업에서는 조재작업시간이 46.3%로 가장 큰 비율을 차지하였으며, 부대작업에서는 체인톱정비시간이 39.0%로 가장 큰 비율을 차지하였다. 벌도방향에 따라 벌도목 걸림 현상과 조재작업에서 체이톱 끼임 등의 작업시간이 지체될 수 있으므로 벌도방향과 나무에 걸리는 응력을 고려한 체인톱작업이 필요하다.

조사지 1에서의 체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업공정 결과는 Table 3과 같다. 조사시간 동안 벌목 및 조재 본수는 70본이며, 1본당 평균재적은 0.5664 m^3/본으로 총 벌목 및 조재 작업 재적은 39.64 m^3이다. 1본당 평균 벌목 및 조재 작업시간은 182.7초/본이며, 이를 실동작업시간 6시간에 대한 1인 1일 평균 벌목 및 조재 작업공정으로 산출하면 66.96 m^3/인・일이다. 이 결과는 선행 연구에서 평균 흉고직경 16 cm, 평균수고 10 m의 3영급 리기다소나무 개벌작업에서 1본당 평균 재적 0.1249 m^3/본일 경우 1인 1일의 벌도작업 공정인 약 11.96 m^3/인・일(Kim and Park, 2012)보다 높게 나타났으며, 작업지의 경사, 수종, 영급, 입목재적 등의 차이에 따른 결과로 판단된다.

2) 조사지 2의 작업시간 및 공정 분석

조사지 2에서의 체인톱을 이용한 벌목작업의 1회당 작업시간내역 및 비율은 Table 4와 같다. 벌목작업의 총 조사시간은 59분 59초이며, 그 중 주체작업시간이 42분 19초로 총 작업시간의 70.5%를 차지하였고, 부대작업시간이 17분 40초로 29.5%를 차지하였다. 조재작업의 1회당 작업시간내역 및 비율은 Table 5와 같다. 조재작업의 총 조사시간은 45분 4초이며, 그 중 주체작업시간이 36분 9초로 총 작업시간의 80.2%를 차지하였고, 부대작업시간이 8분 55초로 19.8%를 차지하였다. 또한, 벌목작업에서 1회당 주체작업의 비율은 벌도작업시간이 43.1%로 가장 높게 나타났으며, 부대작업의 비율은 휴식시간이 75.4%로 가장 높게 나타났다. 조재작업에서 1회당 주체작업의 비율은 조재작업시간이 38.5%로 가장 높게 나타났으며, 부대작업의 비율은 휴식시간이 72.7%로 가장 높게 나타났다. 조재 및 벌목작업의 부대작업의 비율 중 휴식시간이 높게 나타난 것은 조사지 2의 평균경사가 급하고 대경재생산지로서 작업자의 위험부담이 크기 때문인 것으로 판단된다.

Table 4. The element operation time per cycle in felling by chain saw at the site 2.

Element operation		Time(sec)	Ratio(%)
Main operation	Moving	24.3	28.7
	Clearing around for felling	23.9	28.2
	Felling	36.5	43.1
	Total	84.7	100.0
Accessory operation	Refueling	47.0	11.7
	Removal of hang-up tree	47.5	11.9
	Taking rest	306.0	76.4
	Total	400.5	100.0

Table 5. The element operation time per cycle in bucking by chain saw at the site 2.

Element operation		Time(sec)	Ratio(%)
Main operation	Moving	122.6	28.3
	Clearing around for bucking	15.8	3.6
	Conversion	128.2	29.6
	Bucking and debranching	167.2	38.5
	Total	433.8	100.0
Accessory operation	Chain saw jammed	53.5	27.3
	Taking rest	142.7	72.7
	Total	196.2	100.0

조사지 2에서의 체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업공정 결과는 Table 6과 같다. 조사시간 동안 벌목본수는 30본, 조재본수는 5본이며, 1본당 평균재적은 1.0589 m^3/본으로 총 벌목재적이 31.77 m^3, 조재재적은 5.29 m^3이다. 1본당 평

Table 6. Productivity in felling and bucking operation by chain saw at the site 2.

Items		Productivity
Observed value	The number of felling (tree)	30
	The volume of timber felled (m^3)	31.77
	Felling time (sec)	3,599
	The number of bucking (tree)	5
	The volume of timber bucked (m^3)	5.29
	Bucking time (sec)	2,704
	Number of workers (man)	1
Average per tree	The volume of timber felled and bucked (m^3/tree)	1.0589
	Felling time (sec/tree)	84.7
	Bucking time (sec/tree)	433.8
Average per hour	The number of felling and bucking (tree/hr)	6.9
	The volume of timber felled and bucked (m^3/hr)	7.31
Average per man·day	The number of felling and bucking (tree/man·day)	41.4
	The volume of timber felled and bucked (m^3/man·day)	43.86

Note) Productive time per day is 6 hours.

Table 7. The element operation time per cycle in yarding by tractor-yarder.

Element operation		Average time(sec)	Standard deviation	Ratio(%)
Main operation	Unloaded carriage running	32.3	9.3	15.9
	Wire-rope down	14.0	6.4	6.9
	Lateral wire traction	35.5	25.3	17.6
	Choker setting	42.9	28.6	21.2
	Choker moving and signaling	8.7	4.3	4.3
	Lateral yarding	14.4	10.6	7.1
	Yarding	39.2	9.9	19.4
	Unhook	15.5	5.9	7.6
	Total	202.5		100.0
Accessory operation	Setting-up	3,483.0	65.4	
	Dismantling	1,248.0	23.4	
	Taking rest	251.0	4.7	
	Removal of hang-up tree	184.6	3.5	
	The others	159.7	3.0	
	Total	5,326.3	100.0	

균 벌목작업시간이 84.7초/본, 조재작업시간은 433.8초/본으로 평균 벌목 및 조재 작업시간은 518.5초/본이다. 이를 실동작업시간 6시간에 대한 1인 1일 평균 벌목 및 조재 작업공정으로 산출하면 43.86 m^3/인・일이다. 이 결과는 상기 조사지 1에서의 벌목 및 조재작업에서 66.96 m^3/인・일보다 낮은 결과이다. 이러한 결과는 작업지의 경사, 수종, 영급, 입목재적 등의 차이에 따른 결과이며, 그 점을 고려하면 적절한 벌도 및 조재 작업이 이루어 졌다고 판단된다.

2. 집재작업의 시간 및 공정 분석

1) 트랙터 부착형 집재기에 의한 집재작업의 시간 및 공정 분석

트랙터 부착형 집재기를 이용한 집재작업은 최대집재거리 약 60 m의 하향집재작업으로 조사한 집재거리는 15~50 m이고 평균집재거리는 34 m이며, 가로집재거리는 1~10 m이고 평균 가로집재거리는 5 m이다. 집재작업 1회당 작업시간내역 및 비율은 Table 7과 같다. 총 조사시간은 4시간 8분 41초이고, 총 작업횟수는 39회이다. 그 중 주체작업시간이 2시간 11분 31초로 총 작업시간의 52.9%를 차지하였고, 부대작업시간이 1시간 57분 10초로 47.1%를 차지하였다. 1회당 주체작업의 비율은 쵸킹시간이 21.2%로 가장 높게 나타났으며, 부대작업의 비율은 설치시간이 65.4%로 가장 높게 나타났다. 또한, 집재기의 설치 및 해체작업을 제외한 부대작업 중 나무걸림이 가장 큰 비율과 많은 빈도를 나타내는데, 나무그루터기 또는 집재목간 나무걸림이 있었다. 이는 가로집재방향을 고려하지 않고 나무를 벌목하여 벌도목이 서로 엉켜 있고, 반송기의 위치가 적합하지 않거나 지형적인 원인으로 지연된

Table 8. The element operation time per cycle in yarding by tower-yarder.

Element operation		Average time(sec)	Standard deviation	Ratio(%)
Main operation	Wire-rope up	7.9	4.0	2.7
	Unloaded carriage running	40.5	14.7	13.7
	Wire-rope down	10.7	2.9	3.6
	Lateral wire traction	69.3	57.0	23.5
	Choker setting	57.8	64.9	19.6
	Choker moving and signaling	19.5	12.1	6.6
	Lateral yarding	16.6	8.3	5.6
	Yarding	43.0	11.2	14.6
	Log down	7.4	1.9	2.5
	Unhook	22.6	11.8	7.6
	Total	295.1		100.0
Accessory operation	Setting-up	14,435.0		53.9
	Dismantling	11,802.0		44.0
	Maintaining wire-rope	289.0		1.0
	Removal of hang-up tree	45.0		0.2
	The others	215.7		0.8
	Total	26,786.7		100.0

Table 9. Productivity in yarding operation.

Items		Tractor-yarder	Tower-yarder
Observed value	The number of yarding (cycle)	39	40
	The number of timber yarded (tree)	67	57
	The volume of timber yarded (m^3)	6.16	17.79
	Yarding time (sec)	7,891	11,805
	Number of workers (man)	3	3
Average per cycle	The number of timber yarded (tree/cycle)	1.72	1.43
	The volume of timber yarded (m^3/cycle)	0.16	0.44
	Yarding time (sec/cycle)	202.5	295.1
Average per hour	The number of yarding (cycle/hr)	17.78	12.20
	The volume of timber yarded (m^3/hr)	2.84	5.37
Average per day	The number of yarding (cycle/day)	106.68	73.19
	The volume of timber yarded (m^3/day)	17.04	32.22
Average per man·day	The number of yarding (cycle/man·day)	53.34	24.40
	The volume of timber yarded (m^3/man·day)	5.68	10.74

Note) Productive time per day is 6 hours.

것으로 판단된다.

조사시간내의 총 집재본수는 단목 및 전간재로서 낙엽송 67본이고, 총 집재재적은 6.16 m^3, 1본당 임목재적은 0.09 m^3/인·일 본이다. 1회당 집재본수는 1.72본/회, 집재재적 0.16 m^3/회, 집재시간 202.5초/회로 나타났다. 집재작업공정은 Table 9와 같고, 3인 1조의 작업에서 실동작업시간 6시간에 대한 1일 평균 집재재적이 17.04 m^3/일, 1인 1일 평균 집재재적이 5.68 m^3/인·일으로 나타났다. 선행연구결과와 비교했을 경우, 트랙터 부착형 집재기(춘천집재기)의 하향집재작업에서 1일 평균 집재재적 19.1 m^3/일(Kim and Park, 2010)과 트랙터 부착형 집재기(HAM200)의 상향집재작업에서 1일 평균 집재재적 31.5 m^3/일(Park, 2002)보다 낮은 결과이다. 이는 1본당 평균 임목재적이 0.15 m^3/본(춘천집재기)과 0.31 m^3/본(HAM200)인 전간 및 전목 집재작업의 선행연구결과가 1본당 평균 임목재적 0.09 m^3/본인 단목 및 전간 집재작업의 본 연구결과보다 약 1.5배 또는 3배정도 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 오퍼레이터의 조작미숙과 와이어로프의 무게, 벌도목 엉킴 등에 의한 집재작업에 어려움이 있기 때문으로 판단된다.

2) 타워야더에 의한 집재작업의 시간 및 공정 분석

타워야더를 이용한 집재작업에서 최대집재거리는 250 m의 상향집재작업으로 조사한 집재거리는 80~160m이고 평균 집재거리는 118 m이며, 가로집재거리는 5~20 m이고 평균 가로집재거리는 16 m이다. 집재작업 1회당 작업시간내역 및 비율은 Table 8과 같다. 총 조사시간은 10시간 56분 59초이고, 총 작업횟수는 40회이다. 그 중 주체작업시간이 3시간 16분 45초로 총 작업시간의 30.0%를 차지하였고, 부대작업시간이 7시간 40분 14초로 70.0%를 차지하였다. 또한, 1회당 주체작업의 비율은 가로끌기시간이 23.5%로 가장 높게 나타났으며, 부대작업의 비율은 설치시간이 53.9%로 가장 높게 나타났다.

조사시간내의 총 집재본수는 단목 및 전간재로서 낙엽송 57본이고, 총 집재재적은 17.79 m^3, 1본당 임목재적은 1.5017 m^3/본이다. 1회당 집재본수는 1.43본/회, 집재재적 0.44 m^3/회, 집재시간 295.1초/회로 나타났다. 집재작업공정은 Table 9와 같고, 3인 1조의 작업에서 실동작업시간 6시간에 대한 1일 평균 집재재적이 32.22 m^3/일, 1일 1인 평균 집재재적이 10.74 m^3/일・인으로 나타났다. 선행연구결과와 비교했을 경우, 타워야더(RME-300T)의 상향집재작업에서 1일평균 집재재적 10.5 m^3/일(Park, 2004a)과 하양집재작업에서 1일 평균 집재재적 20.3 m^3/일(Kim and Park, 2012)보다 높은 결과이다. 이는 1회 평균 집재재적이 0.1 m^3/회(Park, 2004a)과 0.32 m^3/회(Kim and Park, 2012)인 선행연구결과보다 본 연구결과의 1회 평균 집재재적이 0.44 m^3/회로 차이가 있기 때문으로 판단되며, 타워야더에 의한 집재작업이 효율적으로 잘 구축되었다고 할 수 있다.

가선집재작업에서는 쵸킹작업시간과 부대작업시간의 대부분인 집재기계의 설치 및 해체작업시간의 비율이 높았으므로 오퍼레이터의 교육 및 훈련을 통해 이를 해소하고 작업공정을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

3. 소운재작업의 시간 및 공정 분석

1) 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재작업의 시간 및 공정 분석

굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재거리 0.4 km의 소운재작업에서 총 조사시간은 1시간 43분 39초이고 작업횟수는 3회이다. 소운재작업시간내역은 Table 10과 같으며, 상차작업시간이 57.7%로 가장 높은 비율을 차지하였다.

굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재작업의 작업공정은 Table 11과 같다. 소운재거리 1.5 km기준, 실동작업시간 6시간에 대한 1일 평균 소운재재적이 42.58 m^3/일이며, 1인 1일 평균 소운재재적은 21.29 m^3/인・일으로 나타났다. 한편 본 연구결과는 선행연구결과와 비교했을 경우, 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재작업에서 주행거리 1.5 km에 대한 1일 평균 소운재재적이 65.03 m^3/일(Kim and Park, 2012)보다 낮은 결과이다. 이는 선행연구에서는 전목으로 집재한 임목을 임도상에서 조재작업을 실시하여 집적한 후에 소운재작업을 진행하였으나 본 연구에서는 굴삭기 그래플을 이용한 중하산 단목집재 작업으로 집재목이 엉켜있어 상차시 집재목을 정리하는데 시간이 지연되어 작업공정이 낮게 나타난 것으로 판단되며, 집재작업과 소운재작업을 연계하여 작업이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Table 10. The average of element operation time per cycle in forwarding.

Element operation	Mini-truck		Mini-forwarder	
	Time(sec)	Ratio(%)	Time(sec)	Ratio(%)
Ready for loading	118	5.7	21.0	0.9
Loading	1,196	57.7	581.3	25.9
Ready for forwarding	27	1.3	20.7	0.9
Forwarding	331	15.9	747.0	33.2
Ready for unloading	4	0.2	31.7	1.4
Unloading	43	2.1	20.0	0.9
Ready for running	15	0.7	12.7	0.6
Running	339	16.4	814.0	36.2
Total	2,073	100.0	2,248.4	100.0

2) 굴삭기 그래플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업의 시간 및 공정 분석

굴삭기 그래플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재거리 1.2 km의 소운재작업에서 총 조사시간은 1시간 52분 25초이고 작업횟수는 3회이다. 소운재작업시간내역은 Table 10과 같으며, 공차주행시간이 36.2%로 가장 높은 비율을 차지하였다.

굴삭기 그래플 및 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업의 작업공정은 Table 11과 같고, 소운재거리 1.5 km 기준, 실동작업시간 6시간에 대한 1일 평균 소운재재적이 57.14 m^3/일이며, 1인 1일 평균 소운재재적은 28.57 m^3/인・일으로 나타났다. 본 연구결과는 선행연구결과와 비교했을 경우, 굴삭기 그래플 및 소운재용 트럭에 의한 소운재작업에서 주행거리 1.5 km에 대한 1일 평균 소운재재적이 65.03 m^3/일(Kim and Park, 2012)보다 낮은 결과이다. 이는 모로오카 임내작업차와 소운재용 트럭은 최대적재량이 각각 3.8톤과 5톤으로 1회 소운재재적의 차이 때문인 것으로 판단되며, 이 점을 고려하면 비슷한 결과이다.

4. 파쇄작업의 공정분석

1) 소형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업의 공정분석

소형 목재파쇄기를 이용한 파쇄작업공정은 Table 12와 같다. 1시간 동안 투입된 파쇄목의 평균직경은 9.2 cm, 평균길이는 1.17 m로 나타났으며, 5인 1조의 파쇄작업에서

Table 11. Productivity in forwarding operation.

Items		Mini-truck	Mini-forwarder
Observed value	The number of forwarding (cycle)	3	3
	The number of timber forwarded (tree)	576	69
	The volume of timber forwarded (m^3)	23.15	20.94
	Forwarding time (sec)	11,748	7,916
	Number of workers (man)	2	2
Average per cycle	The number of timber forwarded (tree/cycle)	192	23
	The volume of timber forwarded (m^3/cycle)	7.72	6.98
	Forwarding time (sec/cycle)	3,915.5	2,638.7
Average per hour	The number of forwarding (cycle/hr)	0.92	1.36
	The volume of timber forwarded (m^3/hr)	7.10	9.52
Average per day	The number of forwarding (cycle/day)	5.52	8.16
	The volume of timber forwarded (m^3/day)	42.58	57.14
Average per man · day	The number of forwarding (cycle/man·day)	2.76	4.08
	The volume of timber forwarded (m^3/man·day)	21.29	28.57

Note 1) Productive time per day is 6 hours.
2) Forwarding distance is 1.5 km.

Table 12. Productivity in chipping operation.

Items		Mini-chipper	Large-chipper
Observed value	Chipping time (hr)	1	1
	The volume of timber chipped (m^3)	3.68	7.29
	Number of workers (man)	5	2
Productivity	The volume of timber chipped (m^3/hr)	3.68	7.29
	The volume of timber chipped (m^3/day)	22.08	43.74
	The volume of timber chipped (m^3/man · day)	4.42	21.87

Note) Productive time per day is 6 hours.

1일 평균 파쇄재적이 22.08 m^3/일, 1인 1일 파쇄재적은 4.42 m^3/인·일으로 나타났다. 톤으로 환산하면 시간당 약 0.94 ton/hr으로 제원에 미치지 못한 생산성이다. 이는 파쇄목이 벌채부산물을 중심으로 작업을 진행하였고, 공공근로사업으로 인해 작업원의 생산성이 다소 낮게 나타난 것으로 판단된다.

2) 굴삭기 그래플 및 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업의 공정분석

굴삭기 그래플 및 대형 목재파쇄기를 이용한 파쇄작업 공정은 Table 12와 같다. 1시간 동안 투입된 파쇄목의 평균 직경은 16.1 cm, 평균길이는 1.60 m로 나타났으며, 2인 1조의 파쇄작업에서 1일 평균 파쇄재적이 43.74 m^3/인 · 일, 1인 1일 파쇄재적은 21.87 m^3/인 · 일으로 나타났다. 톤으로 환산하면 시간당 약 1.85 ton/hr이다.

결 론

본 연구는 산림바이오매스 이용을 위한 효율적인 임목수확작업시스템을 구축하기 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였으며, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

체인톱에 의한 벌목 및 조재는 조사지 1과 2에서 각각 평균 66.96 m^3/인 · 일과 43.86 m^3/일 · 인으로 나타났다. 트랙터 부착형 집재기에 의한 집재는 평균 5.68 m^3/인 · 일으로 나타났으며, 타워야더에 의한 집재는 평균 10.74 m^3/인 · 일으로 나타났다. 소운재용 트럭(일명:영운기)에 의한 소운재작업은 평균 21.29/인 · 일으로 나타났으며, 모로오카 임내작업차에 의한 소운재작업은 평균 28.57 m^3/인 · 일으로 나타났다. 또한, 소형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업공정은 4.42/인 · 일으로 나타났으며, 대형 목재파쇄기에 의한 파쇄작업공정은 21.87 m^3/인·일으로 나타났다.

체인톱에 의한 벌목 및 조재 작업에서 벌도방향에 따라 벌도목의 나무걸림과 톱걸림 등으로 작업시간이 지체될 수 있으며, 집재작업시 가로집재방향과 밀접한 관계에 있어 집재작업시간에도 영향을 줌으로 벌도방향의 선정이 매우 중요하였다. 가선집재작업에서는 쵸킹작업시간과 부대작업시간의 대부분인 집재기계의 설치 및 해체작업시간의 비율이 높았으므로 이를 해소하고 작업공정을 높이기 위해서는 오퍼레이터의 교육 및 훈련이 중요하였다. 소운재작업의 상차작업에서 집재목의 정리 상태에 따라 작

업능률이 달라질 수 있으므로 집재작업과 소운재작업이 연계된 작업시스템이 필요하였다. 또한, 소운재용 트럭에 의한 작업공정이 일반 소운재용 임내작업차에 의한 작업공정보다 낮게 나타났으므로 소운재용 트럭을 임내작업차로 대체할 필요가 있었다.

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

Cha, D.S., Ji, B.Y., and Choi, I.H. 1997. An Analysis of Time on Felling and Bucking Operations of *Larix kaempferi* Stand. Journal of Research Forest of Kangwon National University 17: 3-11.

Han, W.S., Cho, K.H., Oh, J.H., Song, T.Y., Kim, J.W., and Shin, M.Y. 2009. Felling Productivity in Korean Pine Stands by Using Chain Saw. Journal of Korea Forest Society 98(4): 451-457.

Han, W.S., Han, H.S., Kim, Y.S., and Shin, M.Y. 2008. The Yarding Productivity and Cost of Cable Yarding Operation by Yarder Attached on Tractor - Using the Chuncheon Tower-yarder -. Journal of Korea Forest Society 97(6): 641-649.

Kang, G.U. 1999. A Study on the Thinning Productivity in Red Pine Stand. Korean Journal of Forest Economics 7(2): 12-18.

Kang, G.U. and Kim, J.W. 1999. A Study on the Productivity of Manual Ground Skidding in Thinning. Journal of Resource Development 18(1): 1-7.

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.

The Korea Forestry News. 2009. Symposium on Industrialization of Forest Biomass(Wood Pallet). pp. 87.

Korea Forest Service. 2011. Statistical Yearbook of Forestry. pp. 486.

Korea Forest Service. 2012a. Master Plan for the Promotion of Wood Industry (2012~2016). pp. 104.

Korea Forest Service. 2012b. Guideline for Demonstration Project on Design and Inspection of Timber Harvest. pp. 47.

Korea Forest Service, National Forestry Cooperative Federation. 2008. Main Forest Machinery in Korea. pp. 158.

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.

Lee, J.I. 2009. A Study on the Energy Utilization of Woody Biomass. Gyeonggi Research Institute. pp. 138.

Park, J.M. 1997. Choosing Economical Optimum Logging Machines Based on the Operating Volume. Journal of Korea Forest Society 86(4): 450-458.

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. and 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.

Park, S.J., Ma, S.K., Kim, D.G., Hur, T.C., Jung, K.W., Park, G.H., and Lee, B.H. 2006. Research on Policy for Development of Mechanization and Forestry Workforce by Monitoring. Korea Forest Service. pp. 127.

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.

Song, T.Y., Park, M.S., Kim, J.W., and Kang, G.U. 1998. Studies on the Comparison of the Working Cost with Skidding Method for Track-type Mini Skidder. Korean Journal of Forest Economics 6(2): 20-28.

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 Korea Forest Society 79(4): 413-418.

Yulim-Machine. 2013. YM-500C in About Product. http://www.yulim-mc.com (2013. 10. 10)

(2014년 7월 3일 접수; 2014년 7월 30일 채택)