

산림바이오매스 수집용 칩하베스터의 개발과 생산성 및 비용 분석

김재환¹ · 박상준^{2*}

¹경북대학교 농업과학기술연구소, ²경북대학교 임학과

Development of Chip-harvester for Collecting Forest Biomass and an Analysis of Productivity and Cost of Operation

Jae-Hwan Kim¹ and Sang-Jun Park^{2*}

¹Institute of Agricultural Sciences & Technology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Department of Forestry, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

요약: 산림바이오매스의 효율적인 수집 및 운반을 위하여 칩하베스터를 개발하고 작업 생산성 및 비용을 분석하였다. 칩하베스터의 주요 목표제원은 속도 8 km/hr, 최대등판능력 30°, 최대적재량 2,000 kg 등이고, 차체구조는 회전반경을 줄이기 위하여 차체굴절식을 채택하고, 주행장치는 6륜 구동으로 후륜은 접지력을 높이기 위하여 탠덤보기방식을 채택하였다. 개발된 칩하베스터의 주행테스트 결과, 칩 적재시 ±10% 경사에서 각각 6.9 km/hr, 8.1 km/hr로 나타났다. 또한, 공차시 ±10% 경사에서 각각 7.3 km/hr, 7.9 km/hr로 나타났다. 따라서, 주행성능은 개발목표를 달성하였다고 판단된다. 작업생산성 및 비용을 분석한 결과, 파쇄 및 운반의 작업생산성은 약 10 m³/일이었으며, 작업비용은 393,126원/일로 나타났다.

Abstract: This study was carried to develop the chip-harvester and to analysis the operation productivity and cost for effective collection and forwarding of forest biomass. Main target specification of chip-harvester is speed of 8km/h, maximum climbing capacity of 30° and maximum load capability of 2000 kg. Body structure is articulate type to reduce turning radius. Driving equipment is six-wheel drive, and a rear wheel is tandem bogie type to increase grip force. As a result of the driving test about developed chip-harvester, driving speed was 6.9 km/hr and 8.1 km/hr in ±10% slope with loaded and 7.3 km/hr and 7.9 km/hr in ±10% slope without load. As a result of the operation productivity and cost, operation productivity of grinding and forwarding was approximately 10 m³ per day, and operation cost was 393,126 won per day.

Key words: chip-harvester, development, forest biomass, productivity, cost

서론

세계는 지금 기후변화로 상징되는 환경위기와 고유가로 대표되는 자원위기에 동시에 직면하고 있어 미국, 유럽, 일본 등의 임업선진국에서는 산림 목질계 에너지와 목제품의 활용 증대가 화석연료 대체와 온실가스 감축을 위한 유력한 수단으로 부각되고 있다(Korea Forest Service, 2011).

국내에서도 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)가 시행되면서 국내 주요 발전사들이 목재펠릿과 더불어 목재칩 전용 발전소를 건설하여 사용량을 증대시키고 있고, 대량으로 목질계 바이오매스 활용을 검토하고 있다(Korea Forest Research Institute, 2013).

그러나, 우리나라는 노동력의 부족과 비용문제, 기계화 미비 등으로 산지내 미이용 목질계바이오매스 자원의 수집 및 운반이 어려워 대부분 방치되고 있는 실정이다. 목질계바이오매스 수집 및 운반에서의 임업기계화가 시급한 실정이지만 임업기계의 보급과 도입에는 많은 비용이 요구되므로 임업기계의 보급과 도입에 따른 경제적·산업적 비용을 감안하고 임업의 활성화를 위한 방안이 필요하다.

우리나라에서의 임업기계 개발에 대한 연구를 살펴보면, 트랙터부착 집재기(HAM-200)(Forestry Machine Training Center, 1997), 트랙터부착형 윈치(Farmi winch) 및 유선 리모콘 윈치의 개발(Korea Forest Service, 1999), 타워야더 및 썰매형 2드럼 윈치와 휴대용 1드럼 무선 리모콘 소형윈치의 개발(Korea Forest Research Institute, 1999), 춘천집재기와 북부집재기, 시용집재기 등의 가선계 집재기(Korea Forest Service, 1999; 2006; 2009a), 굴삭기를 이용

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

한 타워집재기 및 원목집계톱(Park, 2002), 굴삭기를 이용한 조재기 개발(Korea Forest Research Institute, 2003), 트랙터부착 집재기(Park, 2008) 등 우리나라 급경사 지형을 고려한 가선계 임업기계가 많이 연구·개발되었다. 또한, 산림작업차에 대한 연구로서는 원목운반용 미니 포워더의 연구·개발(Korea Forest Research Institute, 2001)과 궤도식 소형 임내작업차(미니포워더)의 개발(Korea Forest Research Institute, 2006), 반궤도식 산림작업차 개발(Kim and Park, 2011) 등이 있다.

또한, 임업기계 작업 공정 및 비용 분석에 대한 연구를 보면 Song(1998)이 궤도형 집재차를 이용한 집재작업방법에 따른 작업비용을 비교하였고, Numinen(2008)는 기계화 단목수확시스템의 시간 소비 분석을 연구하였다. Spinelli(2008; 2010)은 목재수확작업에서의 지연시간에 대하여 분석하였고 개발된 미니포워더의 작업공정 및 비용을 분석하였다. Mika(2014)는 소형파쇄기의 자본경비

감소의 중요성과 생산성에 대하여 연구하였다.

가선계집재기 및 산림작업차와 같은 임업기계의 개발과 작업 공정 및 비용 분석에 관한 연구는 진행되었으나, 산림내 미이용 산림바이오매스를 파쇄, 수집 및 운반할 수 있는 칩하베스터의 개발과 작업 공정 및 비용 분석에 관한 연구는 아직 수행되지 않은 실정이다.

본 연구는 산림바이오매스 자원의 효율적인 활용, 임업기계화의 촉진, 국산 임업기계 연구 개발의 기술력 확보 등을 위해 칩하베스터(Chip-harvester)를 개발하고, 개발된 칩하베스터를 활용한 효율적인 작업시스템 구축을 위한 작업 생산성 및 비용을 분석하였다.

연구 내용 및 방법

1. 칩하베스터 설계 및 제작

칩하베스터의 기본적인 구조는 크게 동력부와 주행부,

Table 1. Target specifications of the chip-harvester.

Items	Specifications	
Capacity	Speed (km/hr)	8
	Climbing ability (°)	30
	Max. payload (kg)	2,000
	Vehicle weight (kg)	5,000
Standard	Overall length (mm)	6,700
	Overall height (mm)	1,645
	Overall width (mm)	2,000
	Load height (mm)	1,000
	Load length (mm)	2,500
Engine	Type	4Cycle, Water cooling
	Displacement (cc)	3,568
	Max. output power (ps/rpm)	96/3,400
	Torque (kg · m)	26
Driving system	Hydraulic, 6 Wheel drive	
Transmission	HST System	
Suspension	Independent suspension	
Fuel	Type	Diesel
	Fuel tank capacity (ℓ)	40
Brake	Hydraulic brake system by motor	
Tire	10-16.5, 08PR	
Frame type	Articulate type	
Steering	Ackerman type	
Wood chipper	Type	Cutting board rotation type
	Particle type	Cutting
	Size of feeding entrance (mm)	300 (L)×270 (W)
	cutting capacity (ton/hr)	10-15
Crane	Type	Hydraulic grapple crane
	Lifting capacity (m/kg)	2.0/1,000
		3.0/665
		4.0/500
		5.0/400
Outreach lifting capacity (m)	5.2	

차체 및 적재부, 조작부, 칩 파쇄부로 구성되며, 이를 중심으로 전체 설계도와 각 구조별 부품의 세부 설계도를 작성하고, 각 부품을 조립하여 시작기를 제작하였다. 본 연구 개발에서 목표로 한 칩하베스터의 제원은 Table 1과 같다.

1) 동력부

(1) 동력원부

칩하베스터의 동력원인 엔진은 칩을 파쇄하고, 파쇄한 중량의 칩을 적재하여 임도 및 작업도 등의 험로를 주행하여야 한다. 따라서, 일반 자동차보다 큰 부하가 걸리기 때문에 산업용 또는 일반 자동차용 엔진 중에서 구동력과 등판력, 내구성 등을 고려하여 선정하였다.

(2) 유압동력부

입업기계 및 건설토목기계는 작업의 속도보다 높은 토크(Torque)를 필요로 하기 때문에 대부분 유압동력을 이용한다. 칩하베스터 개발에서도 모든 동력은 엔진에 연결한 1개의 유압펌프에 의해 얻어진 유압동력을 이용하도록 설계·제작하였다. 유압동력의 전달방식은 HST (Hydro-Static Transmission) 시스템을 적용하여 설계·제작하였다.

HST시스템은 엔진에 연결된 유압펌프의 회전력에 의해 유압이 발생하고, 다시 구동축의 기계적 회전력과 실린더의 왕복 운동력으로 환원됨으로써 기계식에 비하여 에너지효율이 낮고, 가격이 다소 비싼 단점이 있다. 그러나, HST시스템은 구동장치를 설계할 경우 기계의 조작이 쉽고, 구동시 기동성이나 응답성이 높아 속도변환과 등판, 미세조작 등에 유리한 장점이 있다. 또한, 제동안전성이 뛰어나 브레이크 수명이 길고 A/S비용 측면에서 유리하며 높은 주행 토크를 발휘할 수 있다. 더욱이 유압라인에 의한 동력전달로 엔진의 위치가 특별히 제한되지 않아 차량 등의 설계 시에 부품배치도 자유로운 장점이 있어서 많이 활용된다(kim et al., 2009).

따라서, 칩하베스터도 험로 주행 및 파쇄작업, 우드그랩작업 등의 높은 토크를 필요로 하는 입업기계이므로 엔진에서 PTO를 통해 유압펌프를 작동하여 각 기능부에 유압동력을 전달하는 HST방식을 채택하였다.

2) 주행부

칩하베스터는 임도 및 작업도 등의 험로에서 주행하며 미이용 산림부산물을 수집 파쇄하기 위해 개발하므로 주행부가 접지력과 안정성이 높은 크롤러식(Crawler type)보다 주행성이 높은 타이어식(Wheel type)으로 설계·제작하였다. 주행부의 구동방식은 전·후륜이 전부 유압으로 구동되는 유압식 전륜(全輪)구동방식으로 설계·제작하였다. 또한, 후륜은 지면과 접지력을 높이기 위해 한

개의 축으로 두 개의 휠을 구동시키는 탠덤보기(Tandem bogie) 방식을 채택하였다.

주행부의 제동 브레이크는 브레이크 내장 유압모터에 의한 유압 브레이크방식을 채택하였다. 기본 제동은 칩하베스터의 정지에 의해 자동으로 작동되고, 이때 전륜의 유압 회전모터와 후륜의 유압 회전모터가 모두 제동되도록 설계·제작하였다. 또한, 주행부에 설치한 유압모터들의 구성회로는 원활한 주행과 안전성을 감안하여 병렬연결로 설계·제작하였다.

3) 차체 및 적재부

칩하베스터의 차체는 적재함과 파쇄기, 로그그래플 등이 탑재되어 차체길이가 길어지기 때문에 회전반경을 줄이기 위하여 차체굴절식(articulate type)을 채택하였다. 적재부는 칩의 파쇄물을 적재하기 위하여 컨테이너형태로 설계하고, 덤프식 적재함으로 칩의 하차를 용이하게 설계·제작하였다.

4) 조작부

칩하베스터의 조작부는 운전석의 전면부에 조향핸들과 전후 주행용 레버 등을 장착하고, 후면부에는 크레인 조작 레버를 장착하여 운전석 의자를 180° 회전하여 운전석에서 주행과 크레인 작업이 가능하도록 설계·제작하였다. 또한, 운전석에는 엔진상태와 엔진속도, 연료량, 엔진온도 등 기본적인 차량상태를 파악할 수 있는 계기판을 장착하였다.

5) 칩 파쇄부

칩하베스터의 파쇄기는 원판회전식 절삭방법으로 원목을 파쇄하여 칩을 생산하도록 하였다. 파쇄된 칩은 별도의 분출기 없이 원판의 회전력에 의해 적재함으로 이동 적재할 수 있도록 하였으며, 투입구의 크기는 미이용 목재인 초두부 및 가지를 파쇄하기에 적합한 크기 및 구조로 설계·제작하였다.

6) 로그그래플 및 아우트리거

목재의 견인 및 파쇄기 투입을 효율적으로 수행하기 위해 유압레버로 조작하는 로그그래플을 장착하도록 설계·제작하였다. 또한, 칩하베스터의 작업 시에 차체의 안정과 수월성을 확보하기 위해 차체의 중앙 좌우에 2개의 아우트리거(out-rigger)를 장착하도록 설계·제작하였다.

2. 조사지 및 작업시스템 개요

칩하베스터를 이용한 산지내 미이용 산림부산물의 소운반 작업의 공정 등을 위한 조사지는 입업기술훈련원 산하 입업시험장(양산시 원동면 대리)이다. 조사지는 혼효림 임

Table 2. Investigated location.

Location	Forest type	Avg. height	Avg. diameter	Avg. slop of forest road	Avg. width of forest road
Dae-ri, Wondong-myeon, Yangsang-si, Gyeongsangnam-do	Mixed forest	17 m	16 cm	10%	3 m

지로 입목의 평균 수고는 16 m, 평균 흉고직경은 18 cm, 입도의 평균 경사는 10%, 평균 노폭은 3 m이다(Table 2).

조사에 적용된 작업시스템은 전목집재작업으로 목재를 입도까지 반출하여 입도변에서 체인톱으로 조재한 뒤, 원목을 반출하고 입도변에 쌓여있는 목재 초두부 및 가지 등을 칩하베스터를 이용하여 약 1 km 입도 주행하면서 파쇄·적재하여 토장까지 운반하는 방식이었다.

3. 조사 및 분석 방법

1) 조사방법

칩하베스터에 대한 요소작업시간 측정은 스톱워치(stop-watch)를 이용한 연속작업시간 측정법으로 실시하였다. 연속작업과정 중 주체작업은 이동, 파쇄준비, 파쇄, 이동준비, 파쇄물 하차 준비, 파쇄물 하차 작업으로 구분하였고, 부대작업은 나무걸림 및 기타 작업중지 등으로 구분하여 조사하였다.

2) 생산성 분석방법

칩의 생산작업에 대한 생산성 분석방법은 칩하베스터의 작업을 연속작업시간측정을 실시한 뒤에 이를 종합하여 주체작업시간과 부대작업시간을 구분하고 총 작업시간 및 1cycle에 대한 작업시간을 산출하였다. 즉, 칩하베스터가 지엽 등이 쌓여있는 곳까지 이동 후 적재함에 파쇄물을 가득 채우고 토장으로 이동하여 파쇄물을 하차하는데 걸리는 평균작업시간을 산출하였으며, 이를 이용하여 칩의 적재량을 바탕으로 1일 평균생산량을 산출하였다.

3) 칩 생산작업비용 분석방법

칩 생산작업비용의 산출은 우보명(1990)과 Sundberg (1988)의 산출방법을 이용하였으며, 식 1과 같다. 여기서, 감가상각비의 계산은 정액법(fixed instalment method)을 사용하였으며, 이자는 투자평균가치(AVI: Average Value of yearly Investment over its entire economic life)를 사용하였다.

$$\text{총비용} = D + T + R + FL + Lw \quad (1)$$

$$D = P - S / N \quad (2)$$

$$AVI = (P - S) \times (N + 1) / 2N + S \quad (3)$$

$$T = AVI \times \text{이자율} / \text{연간가동시간} \quad (4)$$

$$R = D \times r \quad (5)$$

$$FL = F \times L \quad (6)$$

$$Lw = Lc / \text{일일작업시간} \quad (7)$$

여기서, D 는 시간당 감가상각비, P 는 기계구입비, S 는 잔존비용(기계구입비의 10%), N 은 내용시간, T 는 시간당 이자, R 은 수리정비비용, r 은 수리정비계수, FL 은 연료 및 윤활유 비용, F 는 시간당 연료비용, L 은 시간당 윤활유비용, Lw 는 시간당 임금비용, Lc 는 일일 임금비용이다. 작업비용계산에 사용된 기초인자들은 산림청 재정사업 품셈조사 연구와 국립산림과학원의 임업기계별 작업비용계산에서 사용된 인자를 참고하였으며, 연료비는 한국 석유공사의 평균유가를 기준으로 하였고, 인건비는 대한 건설협회의 적용임금보고서(Construction Association of Korea, 2015)를 참고하였다.

결과 및 고찰

1. 칩하베스터의 설계 및 제작

칩하베스터의 설계 및 제작은 동력부와 주행부, 차체 및 적재부, 조작부, 칩 파쇄부로 구분하여 목표제원에 맞게 설계도를 작성하고, 시작기를 제작하였다. 칩하베스터의 전체 설계도는 Figure 1과 같다.

1) 동력부

(1) 동력원부

칩하베스터에 사용된 엔진은 국내 H사의 엔진으로 목

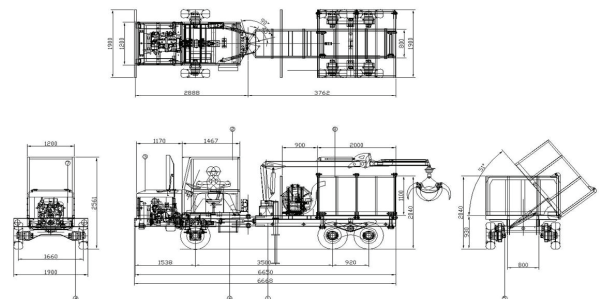


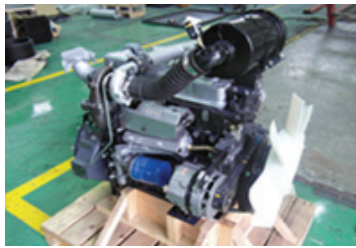
Figure 1. Design drawing of the chip-harvester.

Table 3. Specification of the hydraulic pump.

Items	Unit	Specifications
Displacement	cc	72
Pressure rating		380
Peak pressure	bar	420
Pump speed	rpm	500-3,300
Max. oil temperature	℃	80
Max. housing pressure	bar	1.5
Weight	kg	48

Table 4. Specifications of the hydraulic motor.

Items	Unit	Specifications
Displacement	cm ³ /rev	295
Max. torque	Nm	2,110
Gear ratio	-	5:1
Peak pressure	bar	400
Max. speed	rpm	240



a. engine



b. hydraulic pump



c. hydraulic motor

Figure 2. Major function part of chip-harvester.

표한 최대속도 및 등판능력 등의 제원에 맞는 최대 회전수를 고려하여 선정하였으며, 내구성이 높고 중저속에서 토크가 높은 엔진으로 주요한 성능은 3,568 cc로서 3,400 rpm에서 96마력까지 조절할 수 있는 엔진이다.

(2) 유압동력부

유압펌프는 칩하베스터 목표 주행속도와 각종 작업기를 구동시키기 위하여 주행용 유압펌프 2개와 각종 작업기용 유압펌프 2개를 4련으로 연결하는 이탈리아 제품의 유압펌프를 선정하였다. 주행용 유압펌프의 주요 제원은 Table 3과 같으며, 유압펌프의 최대 토출량과 주행용 유압펌프 1개당 주행용 유압라인 2개에 유량을 공급함으로 각 유압모터에 공급되는 유량은 다음과 같이 산출하였다 (KFRI, 2001; Lee, 2000).

$$\begin{aligned} \text{유압펌프 최대 토출량} &= \frac{\text{최대회전수} \times \text{펌프토출량} \times \text{용적효율}}{1,000} \\ &= \frac{3,300 \times 72 \times 0.95}{1,000} = 225.72 \text{ l/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{유압모터 공급 유량} &= \frac{\text{전체 토출량}}{\text{펌프에 연결된 라인수}} \\ &= \frac{225.72}{2} = 112.86 \text{ l/min} \end{aligned}$$

2) 주행부

주행부는 2개의 전륜 유압모터와 4개의 후륜 유압모터로 이루어지며, 유압펌프와 유압모터의 용량에 따라 주

행성능이 결정된다. 선정된 유압모터의 제원은 Table 4와 같으며, 사판식 액시얼 피스톤 모터(Swash plate type axial piston motor)로서 메커니컬 브레이크(Mechanical brake)를 내장하고 있다.

후륜부 주행장치는 텐덤보기식 주행장치로 좌우 각 2개씩의 유압모터를 중간 연결부를 중심으로 앞뒤로 배치하여 험로 주행시 타이어와 지면이 최대한 분리되지 않고 주행되도록 제작하였다(Figure 3).

선정된 유압모터의 최대 회전속도와 그에 따른 칩하베스터의 최고 주행속도는 다음과 같이 산출하였다(KFRI, 2001; Lee, 2000).

$$\begin{aligned} \text{최대 회전속도} &= \frac{\text{공급유량} \times 1,000 \times \text{용적효율}}{\text{모터체적}} \\ &= \frac{112.86 \times 1,000 \times 0.95}{295} = 363.45 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{최고 주행속도} &= \text{모터 최대 회전속도} \times \frac{\pi \times \text{휠직경} \times 60}{1,000 \times \text{모터감속비}} \\ &= 363.45 \times \frac{3.14 \times 0.76 \times 60}{1,000 \times 5} = 10.41 \text{ km/hr} \end{aligned}$$

산출결과 선정된 유압모터의 공주행시 최고 주행속도는 10.41 km/hr으로 산출되었다. 하지만 실주행시 차체 무게, 유압라인의 동력손실 등을 고려하면 주행속도는 산출값보다 낮아질 것으로 판단된다.



Figure 3. Front and rear wheel part of chip-harvester.



Figure 4. Articulate body of chip-harvester.



Figure 5. Chipper part of chip-harvester.



Figure 6. Shape of the developed chip-harvester.

3) 차체 및 적재부

칩하베스터의 차체는 칩하베스터의 구조상 차체의 길이가 길어지기 때문에 회전반경을 줄이기 위하여 엔진부, 운전석 등과 로그그래플, 목재파쇄기, 적재부 등이 분리되어 축으로 연결된 Figure 4와 같이 아티큘레이트식으로 제작하였고, 유압실린더를 부착하여 차체조향이 가능하도록 제작하였다.

적재부는 컨테이너식 적재함으로 제작하여 파쇄물이 바로 적재함에 투입되도록 하였고 파쇄물 하차의 효율성을 위해 덤프실린더에 의해 옆으로 파쇄물을 하차시키도록 제작하였다. 적재함의 크기는 2,000 mm×1,900 mm×1,100 mm(길이×폭×높이)으로 약 4.2 m³ 정도의 파쇄물

을 적재할 수 있다.

4) 조작부

칩하베스터의 조작부는 캐빈을 장착하여 운전자를 외부환경으로 보호할 수 있도록 제작하였으며, 운전석을 180° 회전하여 주행조작과 크레인조작을 할 수 있게 제작되어 작업자의 효율성을 높였다. 또한, 운전석에는 엔진상태와 엔진속도, 연료량, 엔진온도 등 기본적인 차량 상태를 파악할 수 있는 계기판을 장착하였다.

5) 칩 파쇄부

칩 파쇄기는 Figure 5와 같이 제작하였으며, 기존의 파

Table 5. Running speed of the chip-harvester in forest road.

Distance	Situation	Slope (%)	Up-hill (km/hr)			Down-hill (km/hr)		
			1st	2nd	Average	1st	2nd	Average
100 m	Load	0	7.7	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8
		10	6.8	6.9	6.9	8.2	8.0	8.1
		20	6.7	6.7	6.7	8.6	8.2	8.4
	Unload	0	8	7.8	7.9	8	7.8	7.9
		10	7.2	7.5	7.3	7.8	8	7.9
		20	7.3	7.2	7.3	8	8.2	8.1

쇄기와 비슷한 형태로 제작하여 부품 교환 및 A/S가 용이하도록 제작하였다. 또한 파쇄목의 크기별로 회전속도를 조절하기 위한 감속기를 설치하였고, 파쇄칼날은 칼날의 양측면 일부를 2° 각도로 경사지게 하여 파쇄시 칼날부가 파쇄 홈 사이에 끼는 현상을 방지하고, 파쇄칼날의 마모를 최소화 할 수 있도록 제작하였다.

6) 로그그래플 및 아우트리거

목재의 견인 및 파쇄기 투입을 효율적으로 수행하기 위해 유압레버로 조작하는 로그그래플을 장착하였다. 또한, 칩하베스터의 작업 시에 차체의 안정과 수월성을 확보하기 위해 차체의 중앙 좌우에 2개의 아우트리거(out-rigger)를 장착하도록 제작하였다(Figure 6).

2. 칩하베스터의 시작기 완성 및 주행시험

칩하베스터의 구조물 제작 및 기능품의 조립을 통하여 시작기 제작을 완성하였으며, Figure 6은 개발 완성된 칩하베스터의 시작기 모습이다.

칩하베스터 시작기의 주행테스트를 위하여 임도에서 경사별(0%, 10%, 20%)로 적재시와 공차시에 평균 속도를 측정하였다. 평균 속도를 시험한 결과는 Table 5와 같으며, 적재시 ±10% 경사에서 각각 6.9 km/hr, 8.1 km/hr로 나타났으며, 공차시 ±10% 경사에서 각각 7.3 km/hr, 7.9 km/hr로 나타났다. 따라서, 개발 칩하베스터의 주행 속도 목표제율이 8 km/hr이므로, 시험조건과 시작기에 따른 조작 미숙 등을 고려하면 개발목표를 달성하였다고 판단된다.

3. 칩하베스터의 칩 생산성 분석

칩하베스터의 칩 생산작업에서 생산성을 조사 분석한 결과는 Table 6과 같다. Table 6에서 칩하베스터 1 cycle 당 총 파쇄량은 2인 1조 기준 약 4m³이고, 파쇄시간은 약 75분 52초로 나타났다. 따라서 칩하베스터의 목재파쇄기의 시간당 파쇄능력은 약 3.5 m³/hr으로 나타났으며, 1일 파쇄능력은 21 m³/일로 나타났다.

Table 6. Chipping capacity and productive of chip-harvester.

Classification	Productivity
Chipping capacity per hour	3.5 m ³ /hr
Chipping capacity per day ^a	21 m ³ /day
Productive machine hour	1.7 m ³ /hr
Productive machine day ^a	10 m ³ /day

^a Productivity time per a day is 6 hours

상기의 결과를 바탕으로 10% 경사의 임도에서 상·하향 각 1 km 주행 시 칩하베스터 작업의 1 cycle당 총 작업시간은 143분 48초로 나타났으며, 1일 6시간의 작업시간을 기준으로 할 경우, 1일 약 10 m³/일을 파쇄·운반 할 수 있는 것으로 산출되었다.

4. 칩하베스터의 칩 생산작업비용 분석

칩하베스터의 칩 생산작업비용은 식 1을 이용하여 산출하였으며, 산출식에 사용한 인자 및 시간당 생산비용은 Table 7과 같다. 전체 칩 생산작업에 따른 작업비용을 분석한 결과는 Table 8과 같다. Table 8에서 시간당 칩 생산작업비용은 65,521원/hr이 소요되는 것으로 나타났으며, 1일 칩 생산작업시간 6시간을 기준으로 한 경우, 1일 칩 생산작업비용은 393,126원/일이 소요되는 것으로 나타났다.

또한, m³당 칩 생산작업비용은 38,542원/m³, 건조한 나무를 칩 생산한다고 가정했을 경우, 톤당 15,717원/톤이 소요되는 것으로 나타났다.

결 론

본 연구는 산림바이오매스 자원의 효율적인 활용, 임업 기계화의 촉진, 국산 임업기계 연구 개발의 기술력 확보 등을 위한 방안으로서 칩하베스터(Chip-harvester)를 개발하고, 작업 생산성 및 비용을 분석하여 칩하베스터의 효율적인 작업시스템 구축에 필요한 기초자료를 제공하기

Table 7. Calculation of operation cost for chip-harvester.

Classification	Items	Unit	Values
Basic factor	Purchase price	Won	120,000,000
	Using years	Years	8
	Salvage value	Won	12,000,000
	Life in hours	hr	8000
	Operating hours per day	hr	6
	Actual using time per year	hr	1000
	Annual interest rate	%	10
	Fuel consumption per day	ℓ/hr	9.6
	Coefficient of lubricant		0.29
	Oil price per one liter	Won/ℓ	1,389
	Coefficient of maintenance and repair		0.7
	Daily wage of Operator	Won/day	108,569
	The cost per one hour	Depreciation cost	Won/hr
Interest		Won/hr	7,275
Repair & Maintenance cost		Won/hr	9,450
Fuel & Lubricant cost		Won/hr	17,201
Labor wage		Won/hr	18,095

Table 8. Total operation cost of Chip-harvester.

Classification	Cost
Cost per hour	65,521 won/hr
Cost per day ^a	393,126 won/day
Cost per m ³	38,542 won/m ³
Cost per ton ^b	15,417 won/ton

^a Productivity time per a day is 6 hours,

^b 1BDT (Bone Dried Ton)≒2.5 m³

위하여 수행하였으며, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

국내의 관련 임업기계의 제원 및 기능을 분석하여 우리나라 산림 작업의 특성에 맞는 칩하베스터의 목표제원을 설정하고 목표제원에 맞게 칩하베스터를 개발할 수 있었다. 개발된 칩하베스터의 테스트 결과, 시작기의 칩하베스터 오퍼레이터의 작동 미숙 등을 고려하여도 개발 목표를 달성하였다고 판단된다. 또한, 칩하베스터 개발을 통해 우리나라 임업기계 개발능력 및 기술력을 확보할 수 있었다고 사료된다.

개발된 칩하베스터의 작업생산성 및 작업비용을 분석한 결과, 칩하베스터 파쇄기의 작업능력은 21 m³/일, 칩하베스터의 파쇄·운반 작업능력은 10 m³/일로 조사되었으며, 칩하베스터의 작업비용은 393,126원/일로 산출되었다. 임업기계의 경우 오퍼레이터의 작업 능력 및 요령에 따라 작업효율성의 차이가 나타나지만, 칩하베스터는 파쇄기의 작업능력과 파쇄·운반 작업능력의 효율성이 있다고 판단되었으며, 칩하베스터의 작업비용도 적정하

다고 판단되었다. 본 칩하베스터의 개발이 향후 유사 임업기계의 개발과 산림바이오매스 수집에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호: S1210 12L030100)’의 지원에 의하여 수행되었음.

References

An, B.J., Choi, D.H. and Cho, S.T. 2013. Domestic forest biomass energy industry and policy trends. Korea Forest Research Institute. pp. 18.

Construction Association of Korea. 2015. Apply the first half of 2015, survey report of construction salary (the market wage costs). pp. 17.

Forestry machine training Center. 1997. Studies on development of thinning mechanization in private forest. Ministry of Agriculture and Forestry. pp. 480.

Kim, K.U., Kim, K.D., Koo, Y.M. and Park, G.J. 2009. Design of agricultural machinery (I). Munundang. pp. 381.

Kim J.H. and Park. S.J. 2011. Development of the Semi-Crawler Type Mini-Forwarder(I) -Design and Manufacture-. Journal of Korean Forest Society. 100(2): 154-164.

Korea Forest Research Institute. 1999. Development of the timber extraction equipment for mountainous conditions

- in Korea. Ministry of Agriculture and Forestry. pp. 269.
- Korea Forest Research Institute. 2001. Development of the mini forwarder for logging operation. Ministry of Agriculture and Forestry. pp. 186.
- Korea Forest Research Institute. 2003. Development of the Processor Head for Attachment of Excavator. Ministry of Agriculture and Forestry. pp. 315.
- Korea Forest Research Institute. 2006. Development of crawler type mini forwarder for thinning operations. Ministry of Agriculture and Forestry. pp. 194.
- Korea Forest Service. 1999. Direction and utilization of forestry mechanization. pp. 186.
- Korea Forest Service. 2006. Research of policy direction for forestry mechanization and workforce development through monitored. pp. 127.
- Korea Forest Service. 2009. Annual report on forests and forestry trends. pp. 700.
- Korea Forest Service. 2011. Development master plan of timber industry. pp. 98.
- Korea Forest Service. 2013. Development of chip-harvester for the forest biomass. pp. 122.
- Lee, J.S. 2000. Hydraulic and Pneumatic Engineering. Daegwangsulim. pp. 470.
- Mika yoshida and Hideo sakai. 2014. Importance of capital cost reduction of chippers and their required productivity. Journal of Forest Research. 19: 361-368.
- Nurminen, T., H. Korpunen, and Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. Silva fenn. 40: 335-363.
- Park, S.J. 2002. The development of tower-yarder and grapple saw with shovel type excavator. Journal of Korean Forest Society. 91(3): 355-333.
- Park, S.J. and Kim, B.K. 2008. Development of a mobile tower-yarder with tractor(1) -Design and manufacture-. Journal of Korean Forest Society. 97(1): 61-70.
- Song, T.Y., Park, M.S., Kim, J.W. and Kang, G.W. 1998. Studies on the comparison of the working cost with skidding method far track-type mini skidder. Research of Forest Economic. 6(2): 20-28.
- Spinelli R. and Natascia magagnotti. 2010. Performance and cost of a new mini-forwarder for use in thinning operations. Journal of Forest Research. 15: 358-364.
- Spinelli R. and Visser R. 2008. Analyzing and estimating delays in harvester operations. International Journal of Forest Engineering. 15: 358-364.
- Sundberg, U. and Silversides, C.R. 1988. Operational Efficiency in forestry. Vol. 1 : Analysis. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston and London. pp. 219.
- 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.

(Received: November 15, 2016; Accepted: December 5, 2016)