

농업용 트랙터 기반 소형 타워야더의 견인 성능 개선에 관한 연구

백승호¹ · 최윤성¹ · 조민재¹ · 문호성¹ · 한상균² · 김대현³ · 오재현^{1*}

¹국립산림과학원 산림기술경영연구소, ²한국농수산대학 산림학과, ³강원대학교 바이오시스템공학과

Traction Performance Improvement Study on a Small-scale Tower Yarder Attached to a Farm Tractor

Seung Ho Paik¹, Yun-Sung Choi¹, Min-Jae Cho¹, Ho-Seong Mun¹,
Sang-Kyun Han², Dae-Hyun Kim³ and Jae-Heun Oh^{1*}

¹Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

²Department of Forestry, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

³Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

요약: 국내 임목수확작업에 사용되고 있는 트랙터 기반 소형 타워야더는 소경재 생산을 목적으로 개발되었으며, 중대경재 수확 체제로 변화함에 따라 견인 성능의 개선이 필요하다. 이 연구는 동력 전달방식을 기존의 기계식에서 기계 유압식으로 개선하여 타워야더의 최대 견인력을 비교·분석하였으며, 트랙터 엔진속도, 유압식 동력 전달 기구의 압력을 변수로 두고 견인 성능 실험을 실시하였다. 실험 수준은 트랙터 엔진속도(1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200 rpm) 6수준, 동력 전달 기구의 압력(4.9, 6.9, 8.8 MPa) 3수준으로 선정하였다. 기존의 경우 최대 견인력은 엔진 회전속도 757 rpm에서 15,146.6 N의 최대견인력을 발휘하였으나 개선된 타워야더는 엔진 회전속도 1,575 rpm에서 36,140 N의 최대 견인력이 나타나, 최대 견인력이 2.4배 증가되었다. 이에 따라 중대경재 위주의 목재수확 현장에서 작업이 가능할 것으로 판단된다. 또한 기존 장비를 재활용하여 성능 개선함으로써 견인력이 큰 집재장비의 신규 도입 및 운영에 필요한 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.


Abstract: In a cable yarding system, a small-scale tower yarder attached to a farm tractor was developed and used for small-diameter tree harvesting operations. Based on this design, improvement of traction performance was required for medium- and large-diameter tree harvesting operations. In this study, the mechanical transmission employed for the tower yarder was modified into a hydro-mechanical transmission system. Maximum traction forces, including tractor engine speed and hydraulic power pressure, were investigated, and comparisons were made between the mechanical and hydro-mechanical transmission systems. Six tractor engine speeds (1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, and 2,200) and three levels of power transmission mechanism pressure (4.9, 6.9, and 8.8 MPa) were investigated in the two different transmission systems. Results showed a maximum traction force of 15,146.6 N at an engine rotation speed of 757 rpm in the current mechanical transmission system, and 36,140.0 N at an engine rotation speed of 1,575 rpm in the modified hydro-mechanical transmission system. The maximum traction forces for the hydro-mechanical transmission were 2.4 times greater than those of the mechanical transmission, and may therefore be applicable to medium and large-diameter tree harvesting operations. Thus, as a modified version of the conventional transmission system, the new hydro-mechanical transmission system may be cost-effective for use in large-scale cable yarding operations. In the future, however, it will be necessary to investigate problems that may arise from field application tests.

Key words: traction performance, forestry machine, tower yarder, performance improvement

* Corresponding author

E-mail: jhoh7038@korea.kr

ORCID

Jae-Heun Oh  <https://orcid.org/000-0002-1384-6780>

서론

우리나라의 산림은 1970년대 치산녹화 사업 및 1990년대부터 본격적인 숲 가꾸기 사업을 통해, 현재 약 633만 ha의 산림면적에 9.5억^m의 임목 축적을 가진 임상을 보유하고 있다(Korea Forest Service, 2018). 또한 대부분 IV~V 영급이 전체 산림의 65.6%로 가꾸는 숲에서 수확할 수 있는 숲으로 변화하고 있다. 이에 기존에 활용되던 간벌위주의 소경재 수확용 임업기계는 본격적인 수확시대를 맞이하여 중대경재를 수확할 수 있는 장비로의 전환을 필요로 하고 있다.

국내 임목수확작업의 기계화는 1980년대 중반부터 대두되기 시작하였다. 당시 UNDP(United Nations Development Programme)의 지원 사업으로 팀버 마스터(Timber Master), 타워야더(Tower-yarder)가 스코틀랜드로부터 도입되었고, 트랙터 기반의 윈치 종류인 로깅 부기(Logging Bogie)와 썰매형 윈치(Ackya Winch), 플라스틱 수라(Plastic Chute)가 오스트리아에서 도입되어 집재방법 및 개량시험이 중부 임업시험장에서 최초로 시작되었다. 그 후, 1990년대 중반부터는 트랙터 기반의 동력을 이용한 소형 타워야더로 HAM200, 춘천집재기, HAM300, 스마트 집재기 등의 본격적인 국산화 장비들이 개발되어 사용되기 시작하였다(Song et al., 2009). 특히, 국내의 산림지형 특성상 경사가 급할 경우가 많아 집재 작업의 작업 효율 향상을 위해 가선방식의 집재 장비가 현장에 많이 적용되었다. 이로 인해 2000년대에 들어오면서 고성능의 타워야더가 국외로부터 도입되어 사용되었다. 그러나 국외에서 도입된 장비들은 초기 높은 구입비용과 장시간 소요되는 A/S 문제로 장비를 운용하는데 어려움이 있다.

국내의 고성능 타워야더는 2017년 기준으로 24대로 일본의 RME-200T, 300T와 오스트리아의 Koller 시리즈 등이 국외에서 도입되어 사용되고 있으며, 국내 개발 장비로 춘천 집재기, HAM200, HAM300, 스마트 집재기 등과 같은 트랙터 기반 소형 타워야더가 전체 임업기계에서 68.1%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었다(Korea Forest Service, 2018b).

국내 타워야더에 관한 선행 연구를 살펴보면, 집재 장비의 기본차량인 농업용 트랙터의 엔진출력, 견인력, 등판력, PTO출력을 파악하고 현재 가장 많이 도입되어있는 기종을 파악하여 베이스머신을 선정하였으며, 선정된 트랙터의 PTO에 대한 회전속도 및 회전력을 파악하여 타워집재기 개발에 대한 연구를 수행하였다(Park et al., 2007). 트랙터의 동력인 PTO를 이용한 3개의 유압 펌프를 장착하였으며 러닝스카이라인 집재방식과 인터락 기능을 채택하여, 더블캡스틴 드럼과 와이어로프 저장드럼,

인터락 클러치를 장착한 트랙터 부착형 타워야더의 개발 연구를 수행하였다(Park and Kim, 2008). 집재 장비의 견인력을 예측하기 위해 지면 집재와 반지면 집재를 고려하여 수학적 모델을 개발하였으며, 견인목의 형태, 중량, 집재개수의 예측 값과 실측한 최대 견인력 비교를 통해 적합성을 검증하였다(Oh et al., 2007). 트랙터 기반의 소형 타워야더를 이용한 가선 집재 작업을 통해 작업생산성 및 비용 분석에 따른 작업 효율성을 조사분석하여 현장 작업 조건에 적합한 작업시스템을 선정하는데 필요한 연구를 수행하였다(Han et al., 2008). 중대형급 타워야더인 Koller K301-4, Koller K300 두 기종을 활엽수 혼효임분을 대상으로 집재 작업을 실시하여 작업생산성 및 비용을 검토하였다(Cho et al., 2014). 그러나 트랙터 기반의 집재 장비나 기타 타워야더에 대한 작업의 생산성 및 비용 연구는 활발히 이루어졌으나, 집재 장비의 성능 및 기능 개선을 통한 미활용 장비의 재활용과 생산성 개선에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구는 소경재 생산에 적합한 트랙터 기반의 소형 타워야더를 중대경재 수확이 가능한 집재 장비로의 성능 개선을 위한 방법으로 기계적 구조와 동력 전달방식을 수정·보완하여 집재 장비의 견인력을 향상시켜 집재 작업에서의 활용도를 높이기 위해 수행하였다.

조사방법

1. 공시 트랙터

1) 기본 차량의 제원

국내에서는 작업줄 드럼, 되돌림줄 드럼, 가공본줄 드럼이 적용된 3드럼 방식의 작업기 형태를 갖춘 트랙터 동력을 이용한 집재기가 많이 사용되고 있으며, 약 40~60 kW급의 트랙터가 대부분의 집재 작업에 이용되고 있다. 본 연구에서는 67 kW급의 농업용 트랙터(T993, TYM Co., Korea)를 기본 차량으로 선정하여 기존 및 성능 개선된 소형 타워야더의 견인 성능을 비교 분석하였다. 기본차량의 제원은 다음 Table 1과 같다.

2. 공시 소형 타워야더

1) 현행 트랙터 부착 소형 타워야더

집재 장비의 동력 전달 성능 시험을 위한 기준 집재 장비는 40~60 kW급 트랙터에 부착하여 사용하며, 기계식 동력 전달방식을 적용하였다. 타워의 높이는 2.5~4.2 m까지 조절을 할 수 있다. 또한 가공본줄(Sky line), 작업줄(Main line), 되돌림줄(Haulback line) 등 3종류의 드럼이 장착되어있으며, 최대 집재거리 200 m에서 최대 1톤까지 견인할 수 있다.

Table 1. Specification of the farm tractor as a base machine.

Items	Specification
Engine rated output (kW/rpm)	67/2,200
Length (mm)	4,090
Width (mm)	2,220
Height (mm)	2,718
Lowest height ground (mm)	338
Tire	front (inch) 13.6~24 / 8PR rear (inch) 16.9~34 / 8PR
PTO rated output (kW/rpm)	540 / 747 / 988
Max. gross weight (kg)	3,941

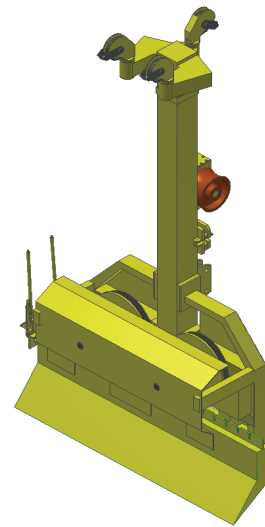
2) 성능 개선 트랙터 부착 소형 타워야더

성능 개선된 집재 장비는 기존 집재 장비와 구조는 같고, 타워부 도르래 구조 개선과 동력 전달 방식을 기존 기계식 레버 조작 방식에서 기계 유압식 레버 조작 방식으로 적용하여 목표 견인력 3톤을 기준으로 설계하였다 (Figure 1). 소형 타워야더의 제원은 Table 2와 같다.

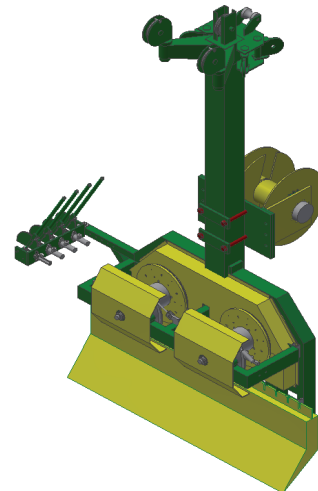
3. 견인력 측정 장치

트랙터 기반 소형 타워야더의 성능 개선 전후의 견인력 변화를 측정하기 위해서 Figure 2와 같이 견인력 측정 장치를 고안하였다. 타워야더의 견인줄인 작업줄(Main line)이 목재를 견인할 때 견인력과 견인속도를 동시에 측정하기 위해 도르래 지지축에 하중을 측정할 수 있는 로드셀(CMCS-5T, Bongshin Co., Korea)을 부착하여 견인력을 측정하였으며, 견인속도는 와이어로프가 통과하는 도르래에 근접센서(PR08-2DN, Autonics Co., Korea)를 부착하여 측정하였다(Figure 2).

견인력 측정 장치의 견인력을 산출하기 위해 Figure 3의 자유선체도를 이용하여 역학적 분석을 실시하였다. 로드셀에서 측정된 하중은 식 1, 2에 의해 견인력 (T)로 환산하여 적용하였다. 동력 측정 장치의 상단에 있는 도르래 2개와 하단에 있는 도르래 사이를 와이어로프가 통과할 때 하단 도르래의 상단부분에 작용하는 합력이 로드셀이 측정하는 하중 N과 같은 힘이 작용하게 되며 이때 모멘트 축 상에서 하단 도르래의 축과의 거리와 로드셀까지의 거리를 이용하면 하단 도르래의 축 상에 작용하는 합력 R과 로드 셀이 측정하는 하중 N이 같으며 이 관계는 식 1과 같다. 여기서 상단에 있는 도르래 2개와 하단에 있는 도르래 사이를 지나가는 와이어로프의 각도는 고정되어 있으나 각 와이어의 직경에 따라 변화하는 각도를 고려하였다.



(a) Current used the tower-yarder.



(b) Upgraded the tower-yarder.

Figure 1. Tested small-scaled tower-yarder.

$$\sum M_0 = RL_1 - N(L_1 + L_2) = 0$$

$$R = \frac{N(L_1 + L_2)}{L_1} \quad (1)$$

$$2T \sin \alpha = R$$

$$T = \frac{R}{2 \sin \alpha}$$

$$T = \frac{N(L_1 + L_2)}{L_1} \times \frac{1}{2 \sin \alpha} \quad (2)$$

where, N = Measured force (N)

R = Resultant force (N)

T = Traction force (N)

Table 2. Specification of current and upgraded of small-scaled tower-yarde.r

Items	Current	Upgraded
Designed max. pulling force (kW)	60	67
Length (mm)		4,090
Width (mm)		2,220
Height (mm)		2,718
Traction (N)	9,810	29,430
Equipped winch drum		sky line drum main line drum haulback line drum
Max. yarding distance (m)		200
Power clutch type	mechanical single clutch with hard lever	mechanical tripple clutch with hydraulic cylinder

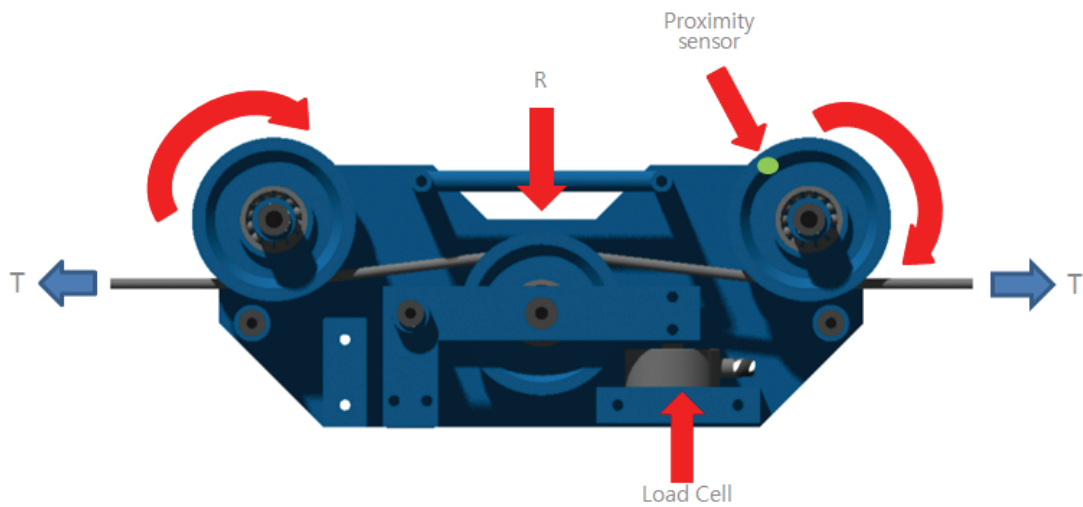


Figure 2. Measuring device of traction force..

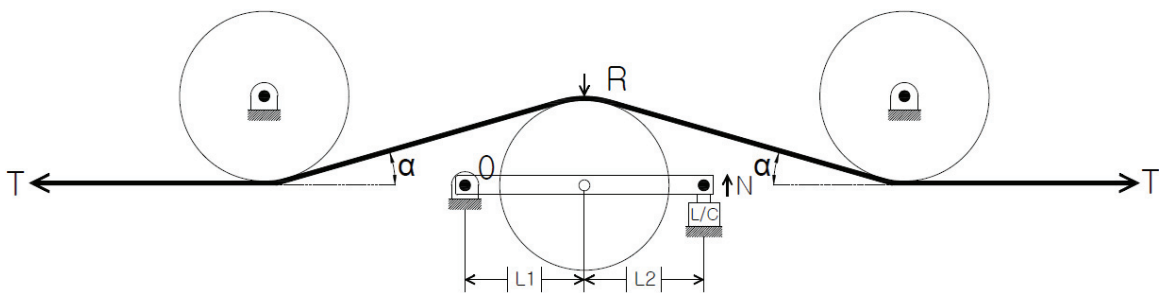


Figure 3. Free body diagram.

또한 엔진속도 따른 PTO의 회전속도를 측정하기 위해 엔진 회전축과 PTO 회전축에 근접센서(PR08-2DN, Autonics Co., Korea)를 부착하여 각각의 회전속도를 측정하였다. 작

업용 드럼의 회전력을 전달하는데 필요한 클러치판의 누름 압력을 측정하기 위해 압력센서(HT-PD400, Hydrotechnik Co., Germany)를 Figure 4와 같이 부착하였다.



Figure 4. Sensor location of pressure and rotational speed for traction analysis.

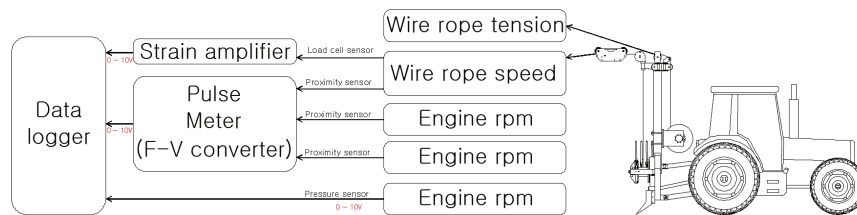


Figure 5. Schematic diagram of data acquisition system for winch traction measurements.

4. 통합 데이터 수집 시스템

트랙터 기반 소형 타워야더의 성능 개선 전·후의 견인력 변화 비교를 위한 데이터 수집 시스템은 Figure 5와 같이 엔진속도, PTO 속도, 유압압력 측정이 가능하도록 20채널의 데이터 수집장치(GL800, Graphtec Co., USA)를 이용하여 구성하였다. 시스템의 제원은 Table 3과 같다.

데이터 수집은 아날로그와 디지털 신호방식으로 받을 수 있으며, 로드셀과 근접센서의 경우 각각 스트레인 앰프(WGA-710A, Kyowa Co., Japan)와 F-V 변환기(MP5W-44, Autonics Co., Korea)를 이용하여 전류신호를 전압신호로 변환하여 측정하였다. 또한 압력센서도 측정 출력 신호선의 끝단에 저항을 설치하여 전류신호를 전압신호로 변환하여 데이터를 수집하였다.

5. 견인 성능 측정 시험 방법

트랙터 기반 집재 장비의 소요동력 실험은 Figure 6과 같이 13톤급 휠형 굴삭기를 부하차량으로 이용하여 견인

력을 측정하였다. 또한 실험변수로는 트랙터 엔진속도, 동력 전달 압력 을 설정하여 각각 3회 반복 실험하였다. 기존 트랙터 기반 집재 장비의 경우 동력 전달 레버를 작동시켰을 때 레버를 당기는 기준을 일정시간동안 유지할 수 없기 때문에 레버를 최대한 당겼을 때를 기준으로 실험하였으며, 성능 개선된 트랙터 기반 집재 장비의 경우 동력 전달 레버의 압력을 4.9 MPa, 6.9 MPa, 8.8 MPa 범위로 총 3가지 수준을 고려하여 실험하였다. 엔진속도의 실험변수로는 1,200~2,200 rpm 범위에서 200 rpm 기준으로 상승하여, 총 6가지 수준으로 기존 및 성능 개선된 트랙터 기반 집재 장비 모두 동일하게 고려하여 실험을 실시하였다(Table 4). 견인 성능 측정 시험을 시험장비의 견인줄을 부하차량에 고정된 후 엔진속도 별로 측정하였다. 시험장비의 엔진속도별 견인력 측정시 부하차량은 장착된 브레이크를 통해 견인부하를 주어 최대로 견인하면서 견인줄의 힘을 측정하였다.

Table 3. Specification of data acquisition system.

Items	Specification
Data logger	AC adapter : 100 to 240 VAC, 50/60HZ DC input : 8.5 to 24 VDC
Load cell	rated capacity(R.C.) : 500kg, 1, 2, 5, 10T rated output(R.O.) : 2mV/V ± 0.2% excitation voltage : 10V(Recommended), 15V(Max.)
Proximity sensor	control output : NPN Normally Open residual voltage : 2 V Below current specification : 10mA Below
Strain amplifier	measuring range : 24 VDC display range : 105 mA at 24 VDC frequency response : max. 2.5 W output : current, 4 ~ 20 mA
Pulse meter	sensor power supply : 12 VDC ± 10%, 80mA power consumption : 6 VA Below

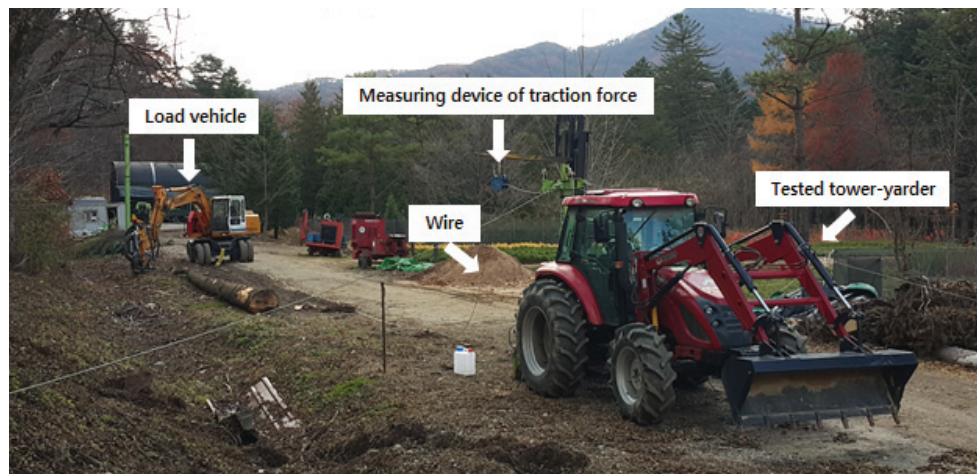


Figure 6. Scene of traction measurement.

Table 4. Experimental variables and it measurement levels.

Variables	Level
Tractor engine speed, rpm	1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200
Lever position(Current)	Full leveling
Master cylinder pressure, MPa(Upgraded)	4.9, 6.9, 8.8

결과 및 고찰

1. 트랙터 부착 소형 타워야더의 성능 개선

1) 장비의 재활용

본 연구에서 사용된 공시장비의 재설계 과정에서 비유적인 부분을 고려하여 메인프레임, 드럼, 타워 등 가격이 많이 들어가는 부품 및 수정이 필요 없는 부분들에 대해서는 기존 부품을 재활용하였다.

2) 동력 전달부 설계

(1) 판형 실린더 설계

본 연구에서 공시장비의 목표 견인력 3톤을 달성하기 위해 기존 기계식 동력 전달 방식에서 마스터실린더, 판형 실린더를 적용한 기계 유압식 동력 전달 방식으로 재설계 하였다(Figure 7). 견인력 3.0 톤에 적합한 마스터 실린더와 판형실린더의 용량을 선정하기 위해 다음 식 3, 4, 5, 6을 이용하여 이론적으로 설계 및 검토하였다(Ryu, 2004).

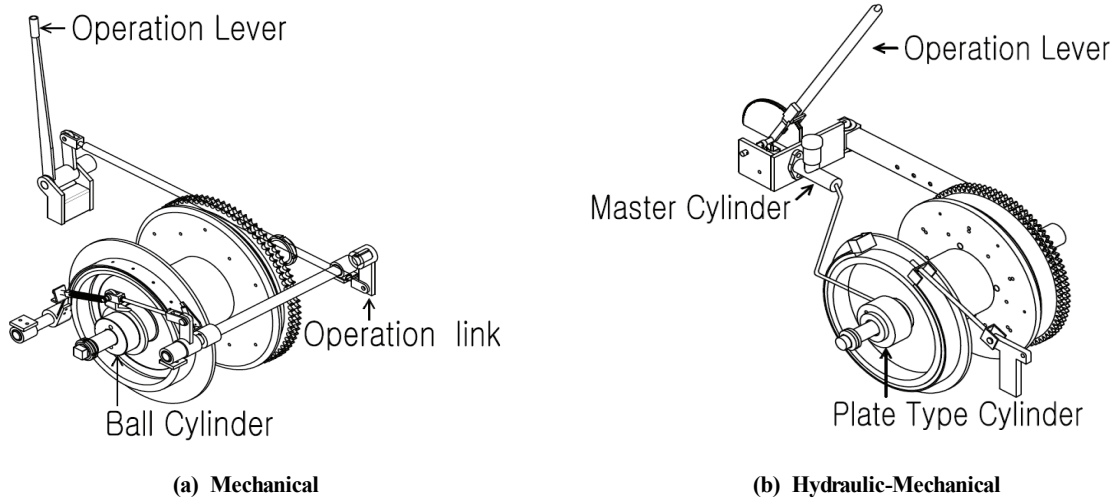


Figure 7. Lever of power transmission system.

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \tag{3}$$

$$L_{mc} = L_F \times L_R \tag{4}$$

$$L_{mc} = P_{mc} \times A \tag{5}$$

$$P_{mc} = \frac{L_{mc}}{A}$$

$$A_c = \pi(R_1^2 - R_2^2) \tag{6}$$

$$F_c = P_{mc} \times A_c$$

Where,

- A : Cross section of master cylinder (m²)
- D : Outer diameter of master cylinder (m)
- L_F : Pulling force (N)
- L_R : Ratio of lever (21:1)
- L_{mc} : Force pushing master cylinder of lever (N)
- P_{mc} : Pressure of master cylinder (kgf/m²)
- A_c : Cross section of plate type cylinder (m²)
- R₁ : External diameter of plate cylinder (m)
- R₂ : Inside diameter of plate cylinder (m)
- P_{mc2} : Pressure of plate type cylinder (kgf/m²)
- F_c : Force of plate type cylinder (N)

계산 결과 판형 실린더의 단면적 50.3 cm², 마스터 실린더의 단면적 4.9 cm²으로 길이의 비율이 21:1인 조작 레버를 최대로 당겼을 때 마스터 실린더의 압력은 9.2 MPa로 나타났으며, 이 때의 판형 실린더의 힘은 46,282

N으로 산출되었다. 실험에 사용된 집재 장비와 유사한 외국 기종의 트랙터 윈치(TAJFUN, EGV-65, Slovenia)는 판형 실린더의 단면적과 판형실린더의 압력이 각각 50.3 cm², 15.7 MPa으로 나타났으며, 이 때의 판형 실린더의 힘은 78,902 N으로 실험에 사용된 집재 장비보다 약 1.7배 높은 것으로 산출되었다. 그러나, 외국 기종 트랙터 윈치의 경우 실험에 사용된 집재 장비의 판형 실린더와 단면적이 같으나, 동력 전달을 조작 레버나 마스터 실린더가 아닌 유압 펌프에서 발생하는 압력을 이용하기 때문이다. 본 연구에서는 기존의 소형 타워야더의 견인 성능 향상을 위해 가장 경제적인 방법으로 개선 방향을 고려하였기 때문에 유압 펌프를 별도로 설치하는 방법은 고려하지 않았다. 직인식 트랙터 윈치와 같이 원목을 지면에 접촉된 상태에서 집재하는 경우에 견인 시 접촉 면적이 많기 때문에 높은 견인력을 필요로 하므로 높은 압력의 클러치 전달력이 필요로 하지만 실험에 사용된 집재 장비의 경우 가선을 이용한 작업 방법으로 원목을 견인 시 가선을 이용해 지면에서 띄운 상태로 견인하기 때문에 접촉 되는 면적이 직인식 방법에 비해서 작으므로 상대적으로 낮은 견인력에서도 작업이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 클러치 동력 전달 성능 개선

기존 소형 타워야더의 동력 전달부인 클러치는 단판으로 되어있어 접촉 면적이 적고 외부에 노출되어있어 이물질의 유입으로 동력 전달에 큰 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 부분을 보완하여 접촉면적을 증가시키기 위해 단판 클러치 형식을 다판 클러치형식으로 보완하였으며 동력 전달부에 하우징을 설치하여 이물질의 유입을

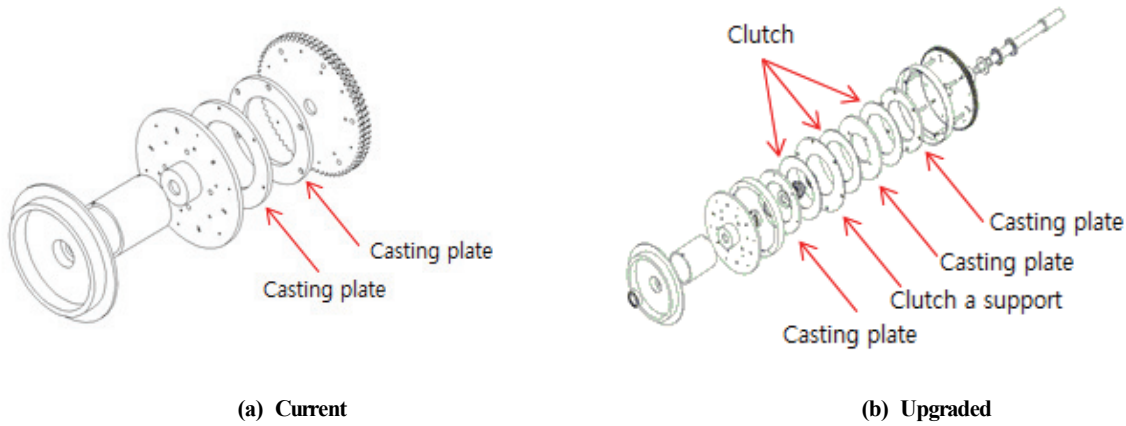


Figure 8. The two clutch assemblies used for traction performance test.

차단하여 클러치 및 체인 스프로킷의 안정성을 확보하였다(Figure 8). 클러치의 전달 토크는 다음 식 7과 8을 이용하여 산출하였다(Ryu, 2004).

$$A = \pi(R_1^2 - R_2^2) \tag{7}$$

$$T = 2 \times \mu \times P \times R \times A \times Z \tag{8}$$

Where,

T : Torque of clutch (N·m)

μ : Coefficient of friction (0.5)

P : Force of plate type cylinder (N)

R : Average radius of clutch (m)

A : Cross section of clutch (m²)

R_1 : External diameter of clutch (m)

R_2 : Inside diameter of clutch (m)

Z : Number of clutch (3EA)

계산 결과 마찰계수 0.5 판형 실린더의 힘 46,282 N, 클러치의 평균 반경 0.134 m, 클러치의 단면적 0.048 m², 클러치의 개수는 3개이며, 이 때 클러치 동력 전달 토크가 893.1 N·m로 산출되었다. 외국 기종의 트랙터 원치의 경우에서도 동일한 마찰계수를 적용하고, 이 때 판형 실린더의 힘 78,902 N, 클러치의 평균 반경 0.119 m, 클러치의 단면적 0.027 m², 클러치의 개수는 5개이며, 클러치 동력 전달 토크는 1,267.6 N·m으로 나타났으며, 이는 실험에 사용된 집재 장비보다 약 1.4배 높은 것으로 나타났다. 따라서 동력을 전달하는 판형 실린더와 클러치의 개수가 증가 할수록 토크가 높게 발생하는 것으로 나타났고, 목표 견인력을 3톤으로 가정하였을 때 본 연구에서 적용된 클러치 3개가 적정 한 것으로 판단된다.

Table 5. PTO torque of the base machine by engine speed.

Engine speed (rpm)	PTO torque (N·m)
1,210	330
1,310	370
1,400	375
1,500	365
1,600	360
1,700	350
1,800	335
1,900	330
2,000	320
2,100	300
2,200	280
2,290	245
2,310	185
2,320	130
2,320	60

2. 엔진속도에 따른 기존 트랙터 기반 집재 장비의 견인력 분석

기본 차량 트랙터의 PTO 성능 시험결과는 다음 Table 5와 같으며(Nigerian Institution of Agricultural Engineers, 2007), 기존 트랙터 기반 집재 장비의 엔진속도에 따른 견인력 측정 결과는 다음 Figure 9와 같다. 각각 데이터에 기록된 견인력의 측정 결과는 트랙터의 엔진속도를 1,200~2,200 rpm까지 변화시키면서 측정된 값 중 최대 값을 표현한 것이다. 실험결과 기존 트랙터 기반 집재 장비의 견인력 측정 결과 최소 12,106 N에서 최대 13,391 N으로 견인력이 측정되었으며, 엔진속도 1,400 rpm에서 최대 견인력이 측정되었다. 기본 차량 트랙터의 PTO 성능 시험 결과와 같이 최대 토크가 출력되는 1,400 rpm에서 최대 견인력이 분석되었으며, 엔진속도가 증가할수록 견인력이 감소하는 경향까지 PTO 성능 시험 결과와 유사하게 나타났다.

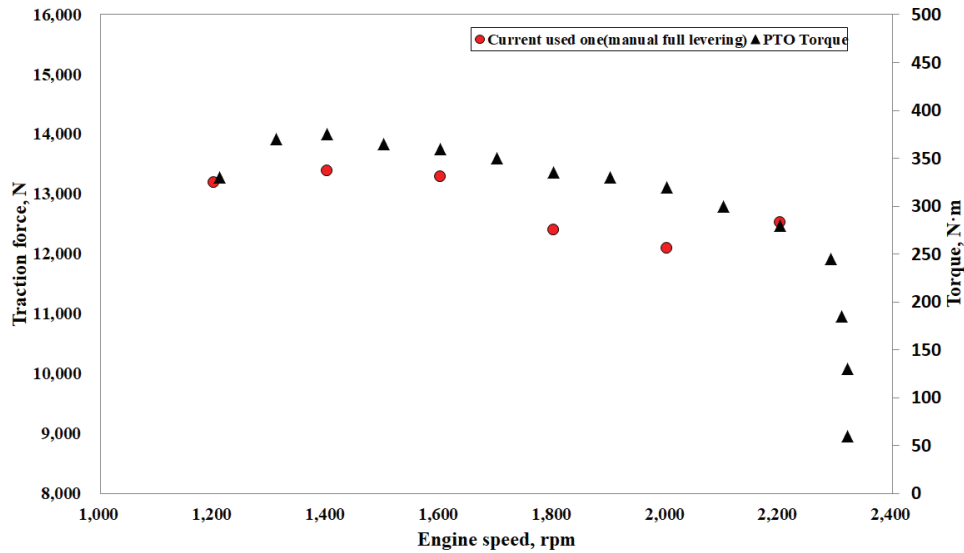


Figure 9. Traction force of current used small-scaled tower-yarder by engine speeds.

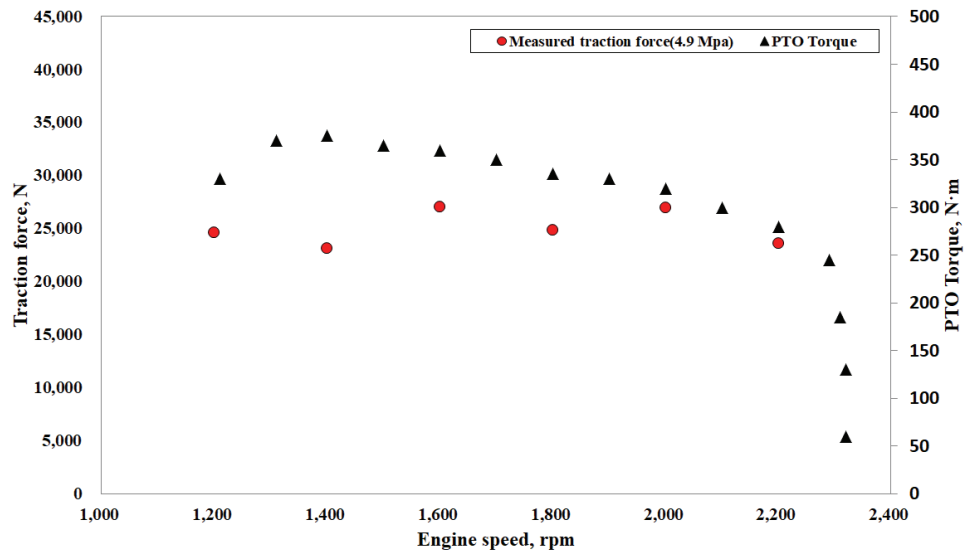


Figure 10. Traction force of Upgraded small-scaled tower-yarder at lever pressure (4.9 MPa) by engine speeds.

3. 성능 개선 후 엔진속도와 레버의 압력에 따른 트랙터 기반 집재 장비의 견인력 분석

1) 레버의 압력 4.9 MPa

성능 개선 후 트랙터 기반 집재 장비의 엔진속도와 레버의 압력에 따른 견인력 측정 결과는 Figure 10과 같다. 견인력 측정 결과 최소 23,161 N에서 최대 27,066 N으로 견인력이 측정되었으며, 엔진속도 1,600 rpm에서 최대 견인력이 측정되었다. 이는 Table 5와 같이 최대 토크가 출력되는 엔진속도인 1,400 rpm이 아닌 토크가 낮아지기 시작하는 1,600 rpm에서 최대 견인력이 분석되었으며, 엔

진속도에 따라 견인력이 변화하는 경향은 있었으나 PTO 성능 시험결과와 같이 엔진속도가 높아질수록 견인력이 꾸준히 감소하는 경향을 보이진 않았다.

2) 레버의 압력 6.9 MPa

성능 개선 후 트랙터 기반 집재장비의 엔진속도와 레버의 압력에 따른 견인력 측정 결과는 다음 Figure 11과 같다. 견인력 측정 결과 최소 28,792 N에서 최대 32,275 N 으로 견인력이 측정되었으며, 엔진속도 1,400 rpm에서 최대 견인력이 측정되었다. Table 5와 같이 최대 토크가 출

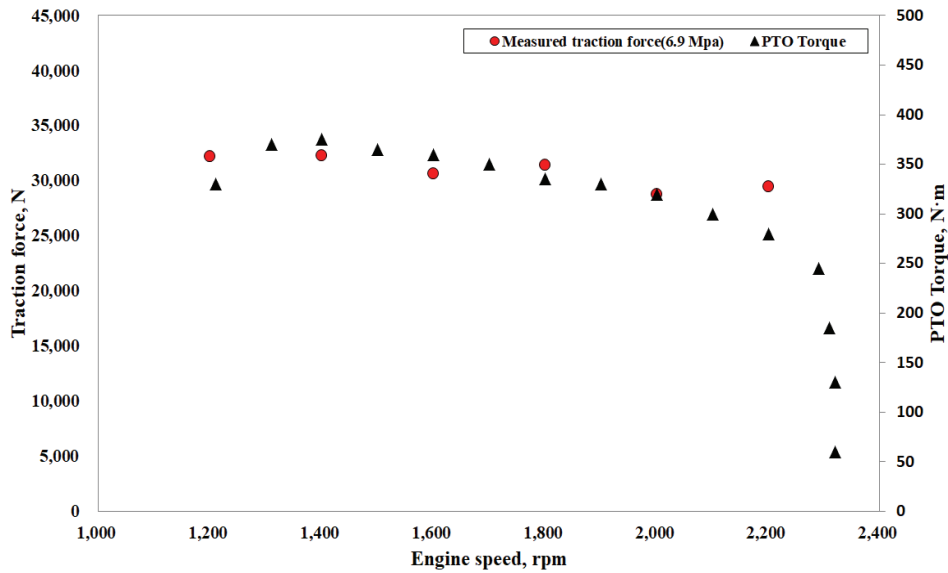


Figure 11. Traction force of Upgraded small-scaled tower-yarder at lever pressure (6.9 MPa) by engine speeds.

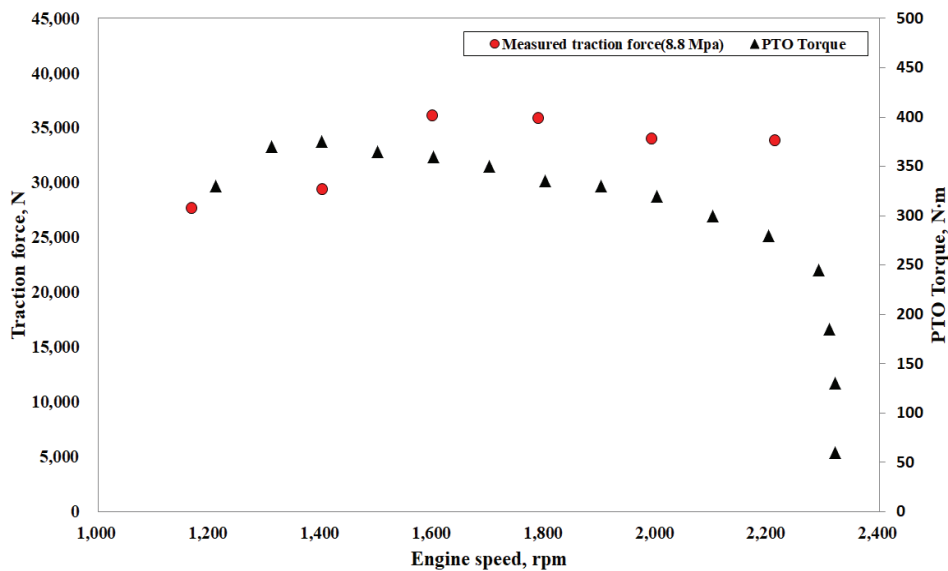


Figure 12. Traction force of Upgraded small-scaled tower-yarder at lever pressure (8.8 MPa) by engine speeds.

력되는 1,400 rpm에서 최대 견인력이 분석되었으며, 엔진 속도에 따라 견인력이 증가하는 경향은 있었으나 PTO 성능 시험결과와 같이 엔진속도가 증가할수록 견인력이 꾸준히 감소하는 경향은 보이지 않았으며, 2,200 rpm에서는 오히려 증가했다. 실험의 특성상 부하가 순간적으로 증가하여 충격에 의한 이상치가 발생한 것으로 사료된다.

3) 레버의 압력 8.8 MPa

능 개선 후 트랙터 기반 집재장비의 엔진속도와 레버의

압력에 따라 측정된 견인력은 Figure 12와 같다. 견인력 측정 결과 최소 27,684 N에서 최대 36,140 N으로 견인력이 측정되었으며, 엔진속도 1,600 rpm에서 최대 견인력이 측정되었다. Table 5와 다르게 최대 토크가 출력되는 1,400 rpm이 아닌 토크가 낮아지기 시작하는 1,600 rpm에서 최대 견인력이 분석되었으며, 엔진속도에 따라 견인력이 변화하는 경향은 있었지만 PTO 성능 시험결과와 다르게 엔진속도가 토크가 낮게 출력되는 1,600- 2,200 rpm이상부터는 35,000 N 이상의 견인력이 측정되었다.

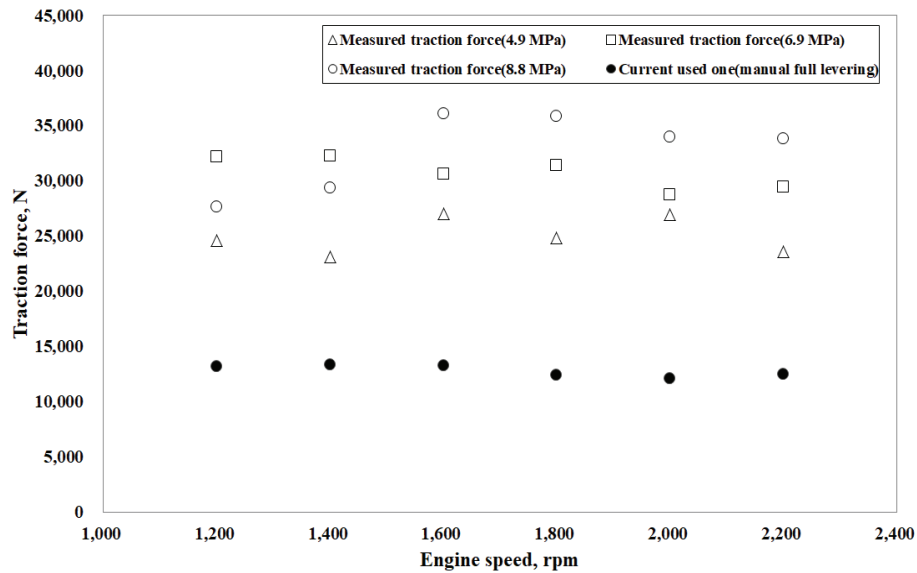


Figure 13. Comparison between the traction force distributions of current used and Upgraded small-scaled tower-yarder by lever pressure and engine speed.

4. 기존 및 성능 개선 된 트랙터 기반 집재장비의 견인력 비교 분석

기존 및 성능 개선 된 트랙터 기반 집재장비의 엔진속도에 따른 견인력 측정 결과를 비교하여 나타내었다 (Figure 13). 기존 트랙터 기반 집재장비의 경우 엔진속도 1,400 rpm 일 때 13,391 N으로 최대 견인력이 측정되었으며, PTO 성능 시험결과(Table 5)와 같이 최대 토크가 출력되는 엔진속도에서 최대 견인력이 측정되었으며, 이후 엔진속도가 증가할수록 견인력이 감소되어 PTO의 토크와 유사한 경향을 나타내었다. 성능 개선 된 소형 타워야더의 경우는 성능 PTO 성능 시험결과(Table 5)와는 달리 엔진속도가 증가 할수록 일정하게 유지되거나 증가하는 경향을 보여 부하를 크게 받는 상태에서의 PTO 출력 토크는 엔진속도가 증가할수록 엔진의 출력 특성과는 다른 양상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 실험결과에 따라 상대적으로 낮은 엔진속도인 1,400 rpm에서도 약 30,000 N의 견인력을 나타내어 기본 차량 트랙터의 낮은 엔진속도를 이용하여도 높은 견인력을 사용 할 수 있으므로 실제 현장에서 높은 엔진속도를 이용하는 것 보다 낮은 엔진속도로 작업을 하는 것이 현장작업의 비용 및 유류소비량을 감소할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 기존 트랙터 기반 집재 장비를 성능 개선을 통하여 최대 견인력을 2.7배 증가시켜 중대경제 수확작업에 적합한 장비로 성능을 향상 시킬 수 있었으나 보다 정확한 데이터를 얻기 위해 부하차량 등을 이용하여 다양한 부하 조건에서 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다. 또한 실제

현장에서 성능 개선된 트랙터 기반 집재 장비에 대한 현장 적용성 평가가 필요할 것으로 보인다.

결론

우리나라 산림의 대부분이 중대경제 수확시대를 맞이함에 따라 견인 성능이 좋은 장비가 필요한 상황이다. 그러나, 고성능 장비의 도입과 운영에 필요한 비용이 크기 때문에 기존 우리나라에 가장 많이 보급되어 있는 트랙터 기반 소형 타워야더를 대상으로 견인력 및 안전관련 기구의 단점을 보완하여 현장 적용성을 높이고자 하였다. 견인력 측정 실험 결과 성능 개선된 트랙터 기반 소형 타워야더의 견인력이 최대 36,140 N으로 나타났다. 이는 기존 개발된 트랙터 기반 소형 타워야더의 최대 견인력 13,391 N 보다 2.7배 이상의 견인력이 증가된 것으로 나타났으며, 실험 변수인 압력에 따른 견인력 변화는 있었지만 엔진속도에 따른 견인력은 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 이는 현장 작업에서 낮은 엔진속도를 사용하였을 때 높은 엔진속도와 비슷한 견인력을 사용할 수 있으므로 중대경제 작업이 가능 할 것으로 판단되며 동력이 낮은 장비를 사용하므로 유류소비량을 절약하고 작업비용을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

앞으로 기존 장비들을 재활용하여 성능 개선을 하였을 때 검증실험을 정확한 데이터를 얻기 위해 부하차량 등을 이용하여 다양한 부하조건에 대한 실험이 필요할 것으로 판단되며, 이를 통해 실제 현장에서의 적용성을 높

일 필요가 있다. 또한 기존 장비의 재활용을 통하여 현재 보급되어 있으나 사용하지 않는 장비들을 재활용 하여 개량한다면 고성능 장비의 도입 및 운영하는 비용을 크게 줄일 수 있으며 현장에 적합하지 않아 사용되지 않던 여러 장비들을 앞으로의 국내 산림작업에 필요한 성능에 맞게 개선하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Cho, M.J., Cho, K.H., Oh, J.H., Han, H.S. and Cha, D.S. 2014. Harvesting Productivity and Cost Using Tower-Yarders. Proceedings of the 2014 Spring Meeting of the Korean Forest Society 265.
- 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 Korean Forest Society 97(6): 641-649.
- Korea Forest Service. 2018. Statistical yearbook of forestry. KOREA Forest Service.
- Nigerian Institution of Agricultural Engineers. 2007. Agricultural Tractor National Test Standard National Institute of Agricultural Engineering pp. 16.
- Oh, J.H., Hwang, J.S. and Cha, D.S. 2007. Development and Evaluation of Mathematical Model for Predictive Tension Force. Journal of the Korean Forestry Society 96(4): 448-454.
- Park, S.J., Kim, T.H., Kim, D.H., Kwon, K.Y., Kim, B.G., Oh, K.C., Park, K.J., Cho, Y.U., Lee, G.T., Yoon, Y.H. and Choi, B.C. 2007. Development of Tower-yarder with Tractor. Ministry of Agriculture and Forestry. Sejong, KOREA. pp. 2-3.
- Park, S.J. and Kim, B.K. 2008. Development of Tractor attached. Tower(1) - Design and Production-Journal of the Korean Forestry Society 97(1): 61-70.
- Ryu, K.H. 2004. Tractor Engineering Principles. Munundang. Seoul.
- Song, T.Y., Kim, J.W., Cho, K.H. and Oh, J.H. 2009. Forest Harvesting System, National Institute of Forest Science. Seoul, KOREA. pp. 1-2.

Manuscript Received : July 19, 2019

First Revision : August 14, 2019

Second Revision : September 16, 2019

Third Revision : October 23, 2019

Accepted : October 28, 2019