

# 농작업 부하 계측을 위한 80kW급 계측 트랙터 개발 및 검증 Development of the 80-kW Test Tractor for Load Measurement of Agricultural Operations

조승제<sup>1</sup> · 김정길<sup>1</sup> · 박진선<sup>1</sup> · 김연수<sup>1</sup> · 이동근<sup>1\*</sup>

Seung-Je Cho, Jeong-Gil Kim, Jin-Sun Park, Yeon-Soo Kim and Dongkeun Lee

Received: 20 Sep. 2022, Revised: 04 Nov. 2022, Accepted: 18 Nov. 2022

**Key Words** : Field Load(필드부하), Test Tractor(시험 트랙터), Agriculture Implements(농업용 부속작업기), Rotavator(로터베이터)

**Abstract:** RIn this study, a test tractor that could measure various types of agricultural operational loads was developed, and its performance was verified. This tractor could be used to measure the load generated during agricultural work and convert the related data into a database. A test tractor was developed using an 80-kW-rated load tractor, and it could measure various types of field test data, such as engine torque and rpm, wheel torque, PTO(power take-off) torque, hexometer, IMU/INS sensor, steering angle sensor, hydraulic pressure, and flow sensor data. To verify the developed test tractor, a verification test using an agriculture rotavator was performed. The test conditions were L1, L2, and L3 based on the tractor's main and sub-transmission stages, and stages 1 and 2 were selected as the PTO. In a comparison of the analyzed test data, similar tendencies in the test results of this research and other research (Kim's research) were seen. Through this, the developed test tractor was verified. In the future, we plan to conduct research on the tractor developed in this study using various attached working machines.

## 기호 설명

- $T_{eq}$  : equivalent torque
- $T_i$  : ith torque of the measured data
- $p$  : slope of Wohler curve
- $n_i$  : rotational speed of applicable to ith torque of the measured data
- $N$  : total summation of measured rotational speed
- $N_{eq}$  : equivalent rotational speed
- $h_i$  : time of applicable to ith torque of the measured data

## 1. 서론

트랙터는 농작업 기계화의 핵심 장비로써 다양한 종류의 농작업에 대응하는 부속 작업기를 원활하게 활용할 수 있도록 동력을 제공해 주는 필수적 역할을 한다. 농작업 시 트랙터의 견인력, 후방의 PTO(power take-off) 동력, 유압 등을 활용하여 농업을 위한 사전 준비작업에서부터 수확 작업에 이르기까지 전주기 적으로 활용할 수 있기에 트랙터 관련 연구와 기술 개발은 매우 활발히 이루어지고 있다.

트랙터의 동력을 활용하는 부속 작업기에서 견인력의 경우 쟁기, 후방 PTO의 경우 로터베이터, 유압 동력의 경우 전방 로더 등이 대표적이다. 그 외에도 견인력 및 후방 PTO 동력, 유압 등을 동시에 활용하는 작업기도 다수 존재하는데 대표적으로 베일러를 꼽을 수 있다. 트랙터 부착형 작업기의 경우 상기 작업기 외에도 파종기, 복토기, 배토기, 구굴기, 휴림기, 살포기, 백호, 동력제초기 등을 포함하여 수십여 가

\* Corresponding author: hleb@kitech.re.kr  
1 Smart Agricultural Machinery R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Korea  
Copyright © 2022, KSFC  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지가 존재한다<sup>1)</sup>.

이러한 부속 작업기들은 농작업을 수행할 때 트랙터와 함께 다양한 환경에 노출되어 사용된다. 특히 부하 측면에서 견인력 및 PTO 동력에 의해 발생되는 동력계통 부하 및 구조적 부하, 유압 사용에 따른 부하 외 상기 부하들의 상호 영향에 의한 복합적 부하 등이 발생하며, 이러한 작업부하는 부속 작업기 및 트랙터의 작업 성능과 내구·신뢰성에 큰 영향을 미친다. 따라서 제품 개발 시 트랙터 및 부속 작업기의 성능을 확보하고, 내구·신뢰성을 보장하기 위해서는 제품의 설계 및 개선 단계에서부터 다양한 농작업 부하에 의한 영향을 반드시 고려해야 한다<sup>2-4)</sup>.

이에 본 연구에서는 농작업 시 발생 되는 부하를 계측하고 관련 데이터를 DB (Data Base)화 하기 위해 다양한 형태의 부하를 계측할 수 있는 계측 트랙터를 개발하여 성능을 검증하고자 하였다.

부하 계측 트랙터의 경우 기존에도 연구 및 개발된 사례가 존재한다. Kim(2019) 등은 주요 농작업에 따른 농업용 트랙터의 소요 동력 분석을 위해 78kW급의 부하 계측용 트랙터를 활용하였다. 해당 트랙터는 차축 부하 측정을 위해 15kNm까지 측정 가능한 전륜 토크미터(torque meter)와 30kNm까지 측정 가능한 후륜 토크미터가 적용되어 있으며, 각각의 차축에 근접센서를 장착하여 회전속도를 계측하였다. PTO 소요 동력의 경우 별도의 PTO 토크 미터를 설치하여 토크 및 회전수를 측정하였다. 엔진 토크 및 유압펌프의 유량은 엔진 CAN 데이터를 통해 획득된 값을 통해 도출 하였다<sup>5)</sup>.

본 연구에서는 국내에서 경운작업 및 로터리, 베일러 등의 작업에 주로 사용되는 용량인 80kW급 트랙터를 대상으로 하여 필요한 계측 요소들을 분석하고, 이를 구현하기 위한 시스템을 설계 및 제작하였다. 기존 계측 트랙터와의 차이점으로는 트랙터의 CAN 데이터를 활용하여 추정값으로 분석하던 입력축 토크 및 유압펌프의 유량 등을 센서를 통하여 실제 값을 도출할 수 있도록 하였다. 특히, 변속기 입력부하를 확인하기 위하여 별도로 Flexplate를 적용하였으며, 해당 장치는 원형의 플레이트에 스트레인 게이지가 부착된 형태로 장착 위치에서의 회전 토크를 직접적으로 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

최종적으로는 완성된 계측 트랙터를 로터베이터 작업에 활용하여 데이터를 취득하였으며 이를 통해 개발된 계측 트랙터를 검증하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 트랙터 선정

계측 트랙터 시스템은 기본적으로 트랙터 본체와 계측센서, 데이터 계측시스템 (Data acquisition, DAQ) 등으로 구성되어 있다. 트랙터는 국내 농작업에서 다양한 작업환경에 활용도가 높은 80kW급 농업용 트랙터를 선정하였으며, 트랙터의 세부 사양을 Table 1에 제시하였다.

Table 1 Specification of the tractor

Category	Item	Specification
Engine	Type	DL03-LEA08
	Rated power	76.8kW/2,200rpm
	Displacement	3,409cc
Dimension & weight	Overall Length	4,670mm
	Width	2,150mm
	Height	2,770mm
	Wheelbase	2,370mm
Transmission	Total weight	4,020kg
	Forward x Reverse	F32 / R32
PTO	Speed (rpm)	540 / 750 / 1,000

### 2.2 계측 대상 선정

계측 트랙터 제작을 위하여 계측이 필요한 주요 계측 대상을 선정하였다. 부속 작업기의 사용 특성상 트랙터 견인력, PTO 동력, 유압 동력 등에 대한 계측이 가장 우선으로 이루어져야 하며, 그 외에 차량 자체의 자세와 이동속도 등에 대한 분석이 필요하다고 판단하였다.

구체적으로 변속기의 입력부하 계측을 위한 Flexplate, 각 차축의 부하 계측을 위한 휠토크미터 (Wheel torque meter), 작업기 동력부하 계측을 위한 PTO토크미터 (PTO torque meter), 후방 견인력 계측을 위한 육분력계, 트랙터 자세 및 이동속도 계측을 위한 관성측정장치 (Inertial Measurement Unit, IMU) / 관성항법장치 (Inertial Navigation System, INS) 센서, 앞차축 조향각 계측을 위한 조향각 센서, 유압 계통 계측을 위한 유압 및 유량 센서 등 연속 계측을 위한 세부 계측 요소들을 선정하였으며 Fig. 1에 선정된 대표적 센서들을 나타내었다.



Fig. 1 Sensors for data measurement

### 2.3 세부 센서 선정

계측 센서의 종류를 선정 후 세부 사양을 결정하였다. 앞서 선정된 80kW급 트랙터 본기의 사양 이상을 센서가 수용할 수 있도록 하고자 하였으며, 취득 데이터의 신뢰성 및 센서 내구성, 내환경성 등을 만족시킬 수 있도록 검토하였다.

Flexplate의 경우 트랙터 엔진의 토크와 회전수를 고려하여 선정하였으며, 휠토크미터(MANNER Torquemeter, Germany)의 경우 변속기의 설계 사양을 고려하여 최대토크와 회전수를 만족시킬 수 있도록 MANNER사 제품을 선정하였다. 원활한 데이터 확보를 위해 데이터 전송 시스템은 텔레메트리 (Manner customized telemetry, Germany) 시스템을 적용하였다. 육분력계는 견인력 50 kN 이상을 만족하며 3점 hitch 규격이 CAT II에 속하도록 사양을 결정하였다<sup>6)</sup>.

그 외 GPS 센서의 경우 갱신주기 (update rate) 5Hz 이상, 유압부품의 유량 및 유압측정을 위한 센서는 유량 0~300l/min, 유압 200bar 내외의 사양을 만족시킬 수 있도록 하였다. 외부에 노출된 센서의 경우 작업 중 외부 환경에 의해 손상되지 않도록 방수 및 방진이 가능한 사양이 요구되었다.

데이터 계측장비의 경우 상기 센서들의 신호를 실시간으로 취득 및 저장가능하도록 Gantner DAQ (Q.brixxDAQ, Austria)와 운용 소프트웨어(DEWESoft, Slovenia)로 구성하였으며, 필드시험시 트랙터 차량 전원 (DC input)을 사용할 수 있도록 사양을 선정하였다.

### 2.4 계측 트랙터 제작

계측 트랙터 및 센서사양 선정 후 계측 트랙터의 제작을 진행하였으며, 시중에 판매 중인 완성차 트랙터를 구입하여 사후 개조하는 방식을 선택하였다.

구체적으로 엔진 부하는 CAN통신을 이용하여 토크와 회전수를 계측하도록 하였고, 변속기 입력부하 계측을 위해 엔진 크랭크샤프트 축과 변속기 축 사이에 토크 측정용 디스크를 설치하는 형태로 Flexplate를 장착하였다. 또한 4개의 차축에 휠토크미터와 회전수를 계측하기 위한 픽업 센서를 각각 장착 하였다. 해당 장치는 무선 Telemetry system으로 일정 수준의 방진 및 방수 기능을 구현할 수 있도록 밀폐식으로 보완하였다.

PTO토크미터는 기존 PTO 축에 연결하여 작업기 부착 시 작업부하 계측이 용이하도록 설치하였다. 작

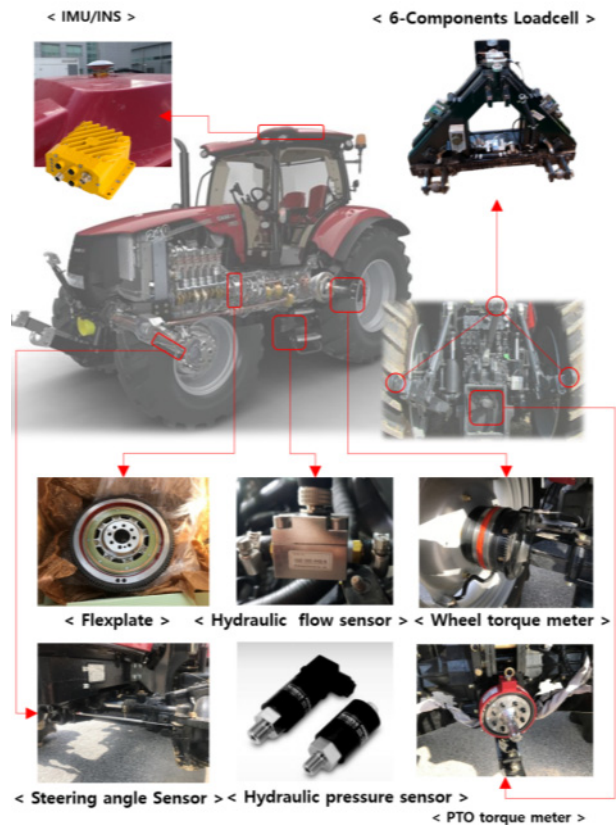


Fig. 2 Concept of the measuring system



Fig. 3 Actual version of the test tractor

업시 견인력 계측을 위한 육분력계의 경우 6개의 3ton 용량 Loadcell로 구성되어 있으며, 3점 히치부에 장착하여 견인부하 계측이 가능하도록 제작하였다. 3점히치, 전방 로더 등에 사용되는 유압 부품의 유압 및 유량 측정용 센서는 트랙터 본기 하단에 위치한 유압펌프 연결 라인에 별도의 가공 작업을 통하여 장착하였다.

그 외 데이터 계측장비의 경우 본체를 트랙터 캐빈 내부 운전석 후방에 위치시켰으며, 작업 중 부속 작업기의 운전 상황을 확인할 수 있도록 Cam을 설치하고 이를 별도의 디스플레이로 실시간 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 2 및 Fig. 3에 제작된 계측 트랙터의 구성과 최종 완성된 모습을 나타내었다.

### 2.5 필드시험 수행조건

개발된 계측 트랙터의 검증을 위하여 실차시험을 수행하였다. 시험 장소는 한국생산기술연구원 농기계 신뢰성평가센터 내부 약 2,000m<sup>2</sup> 면적의 테스트 베드로 부속 작업기로는 로타베이터를 선정하여 검증을 수행하였다. 검증용 부속 작업기로 로타베이터를 선택한 이유는 로타베이터의 작업부하 측정 및 분석에 대해 비교적 다양한 연구가 존재하여 시험 결과의 비교가 상대적으로 용이하기 때문이다.

로타베이터는 트랙터 후방 3점 히치에 장착되며, 후방 PTO (동력 취출 장치)와 로타베이터의 기어박스 연결되어 트랙터 동력이 로타베이터에 전달된

Table 2 Specifications of rotavator

Category	Specifications
Country	Republic of Korea
Company	WOONGJIN MACHINERY CO.,LTD.
Model	WJ230SE
Length	1,030mm
Width	2,550mm
Height	1,390mm
Weight	830kg
OVERALL WIDTH	2,300mm



Fig. 4 Rotavator for field test

다. 전달된 동력은 로타베이터의 회전축에 연결된 경운날들을 회전시켜 토양을 쇄토 및 반전하는 작업을 수행한다<sup>7)</sup>.

관련하여 Baek 등(2019)은 트랙터 변속기의 내구성 확보 및 최적 설계를 위하여 부하 수준이 높은 로타리 작업에 따른 등가 토크를 측정하여 분석하였으며<sup>8)</sup>, Myung(2009) 등은 트랙터를 활용하여 로타리 작업 시 새로운 로타리날을 개발하기 위한 자료로 활용하기 위해 작업에 소요 되는 동력을 측정하는 등 다양한 관련 연구 확인이 가능하였다<sup>9)</sup>.

시험에 사용된 로타베이터는 웅진기계에서 제작한 WJ230SE 모델으로 Table 2에 나타난 제원과 같이 경운 폭 2,300mm의 대형 로타베이터이다.

시험 조건은 트랙터의 주변속 및 부변속 단수 기준으로 L1, L2, L3이며, PTO 단수 1단, 2단을 선정하였다. 시험은 포장지 면적을 고려하여 6개 조건에 대하여 각 단수별로 1회씩 수행하였다.

시험수행 전 토양 물성을 측정하였으며 토양 물성 측정 후 로타베이터를 시험평가 트랙터의 후방에 장착하여 작업을 수행하면서 엔진, 차축, PTO 등의 측정 데이터 외 로타리 작업 시에 작업속도 변화, 트랙터 자세 변화, 연료소모율 변화 등을 확인하였다.



Fig. 5 Field test for tractor verification

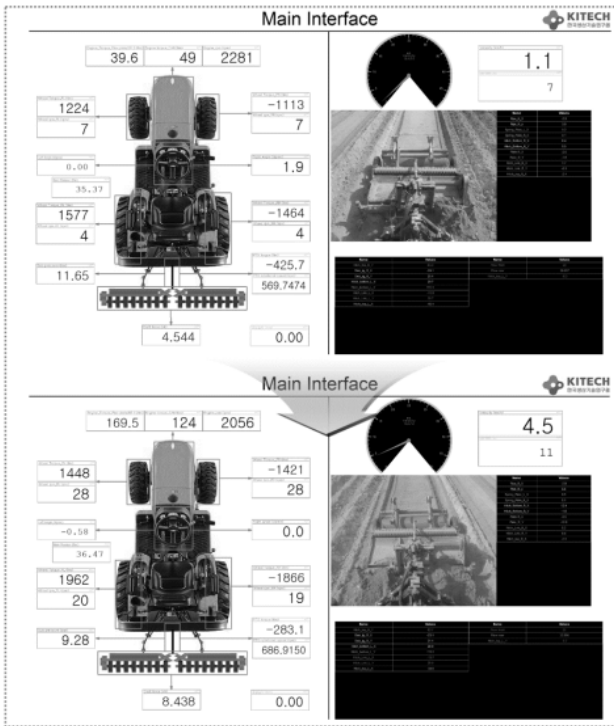


Fig. 6 Screen of progress on the field test

Fig. 5에 토양 물성 측정 및 트랙터 실차시험 모습을 나타내었으며, 필드시험 진행에 따른 데이터 변화는 Fig. 6과 같은 형태로 실시간 확인 및 영상으로 저장되어 연속적으로 확인할 수 있다. 또한, Raw data 형태로도 저장된 내용을 엑셀 등의 일반적인 데이터 처리 프로그램을 이용하여 확인할 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 계측 데이터

로터베이터를 활용한 필드시험시 트랙터 엔진 회전수는 정격회전수에 해당하는 2,200rpm을 기준으로 하였으며, 경심의 경우 트랙터 히치 레벨을 동일하게 설정한 상태에서 데이터를 계측하였다.

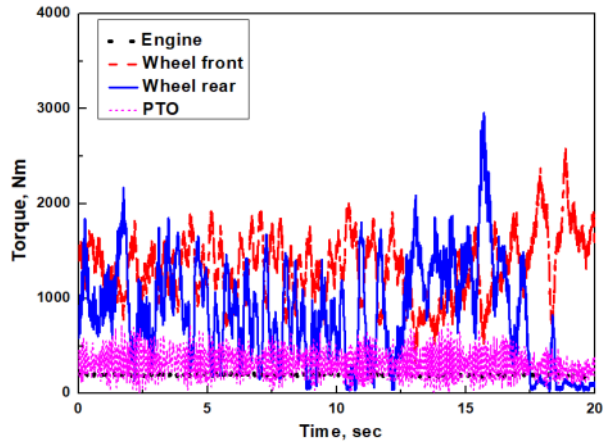


Fig. 7 Data sample of torque

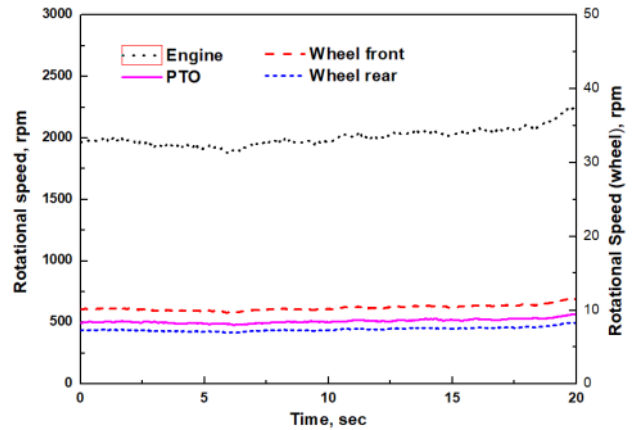


Fig. 8 Data sample of rotational speed

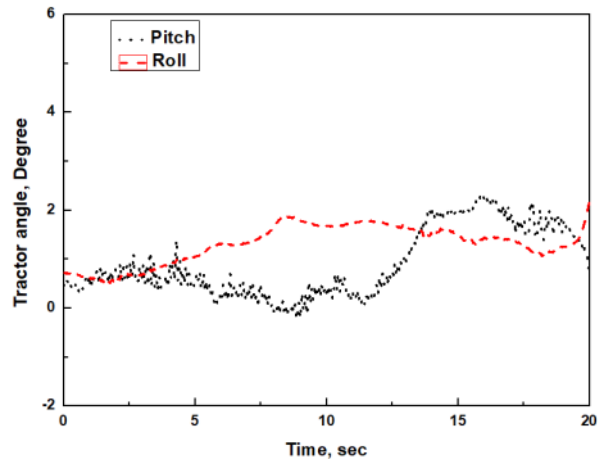


Fig. 9 Data sample of tractor angular

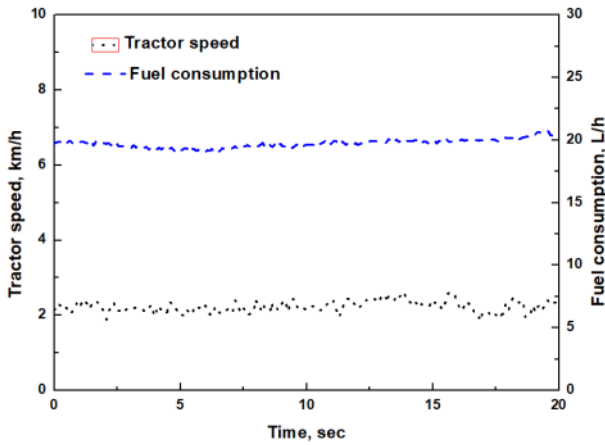


Fig. 10 Data sample of tractor speed and fuel consumption

Figs. 7~10에 트랙터 L2단 PTO 1단 조건에서 계속한 각 데이터 샘플을 나타내었다. Fig. 7에는 엔진, 차축, PTO 토크값을 나타내었으며, Fig. 8에는 엔진, 차축, PTO 회전속도 값을, Fig. 9에는 작업 진행에 따른 트랙터 자세값, Fig. 10에는 트랙터 속도 및 연료 소모량 등을 각각 나타내었다.

### 3.2 필드시험 부하분석

트랙터 검증을 위하여 필드시험 결과데이터를 활용한 부하분석을 수행하였다. 등가 토크와 등가 회전수는 Wohler curve 및 누적손상법 이론에 근거한 Palmgren-Miner 식을 통해 계산하였으며, 계산식은 아래와 같다<sup>10-11)</sup>.

$$T_{eq} = \sqrt[p]{\frac{\sum T_i^p \times n_i}{N}} \quad (1)$$

$$N_{eq} = \frac{1}{T_{eq}^p} \sum h_i n_i T_i^p \quad (2)$$

여기서  $T_{eq}$ 는 등가 토크 (N·m),  $T_i$ 는 계측 데이터의  $i$ 번째 토크 (N·m),  $p$ 는 Wohler curve의 기울기,  $n_i$ 는 계측 데이터의  $i$ 번째 토크에 해당하는 회전수 (rpm),  $N$ 은 계측 데이터의 회전수 총합 (rpm)을 나타내며, 다음으로  $N_{eq}$ 는 등가 회전수 (rpm),  $h_i$ 는 계측 데이터의  $i$ 번째 토크에 해당하는 시간(s)을 각각 나타낸다<sup>8-10)</sup>. 이때 Wohler curve의 기울기는 ISO 6336-6에서 제시한 기어의 표면 칩탄 재질에 대한 기준값인 6.61을 적용하였다<sup>12)</sup>.

계측된 데이터와 계산식을 이용하여 각각의 조건별 등가 토크 및 등가 회전수를 계산하였으며, 해당

결과를 이용하여 최종적으로 Fig. 11과 같이 부하 동력 (kW)의 형태로 환산하였다. 부하 분석 결과 트랙터 단수에 따른 소요 동력 변화는 크지 않았으며, PTO의 경우 단수가 높아지면서 PTO 부하가 소폭 상승하는 경향을 확인할 수 있었다.

작업 시 엔진에서 발생한 동력은 약 40kW 내외로 나타났으며, 그중 PTO에서 소요한 동력이 77.8~88.2% (평균 83.8%) 수준으로 가장 크게 나타났다. 전차축에 전달되는 동력은 5.8%~8.6% (평균 7.1%)로 나타났으며, 후차축에 전달되는 동력은 1.1%~4.0% (평균 2.7%) 수준으로 차축 자체에서 소요되는 동력은 상대적으로 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

후차축 대비 전차축의 소요 동력이 다소 높게 나타난 것은 로터베이터의 작업 특성으로 판단되며, 토양에 삽입된 경운날의 정방향 회전이 트랙터의 작업 진행 방향으로의 추진력과 상부로의 반력을 발생시켜 차축 위치별 소요 동력에 영향을 미친 것으로 판단된다.

### 3.3 시험분석 결과검증

부하 분석 후 본 시험 결과를 Kim(2021) 등이 기존에 수행한 연구와 비교분석 하였다<sup>7)</sup>. 해당 연구에서는 42kW 용량의 트랙터와 정방향 및 역방향 로터베이터를 이용하여 필드시험을 수행하여 각 부하 분석 결과를 비교분석 하였다. 동일한 장비를 사용한 결과가 아니므로 정확한 비교는 어려우나, 본 연구를 통해 개발된 계측 트랙터 데이터와의 경향성 비교를 통하여 검증을 수행하고자 하였다.

Kim의 연구에서 분석한 정방향 로터베이터를 활용한 시험 부하의 경우 엔진 부하는 평균 30~35kW 수준이며, 엔진 소요 동력 대비 PTO 소요 동력 비율은 84.1~93.5%로 나타났고, 전차축 0.1~0.8%, 후차축 0.1~0.2% 내외의 동력이 소요된 것으로 나타났다<sup>7)</sup>. 이는 본 연구에서 개발된 트랙터를 활용하여 분석한 로터베이터 시험 결과와 유사한 경향으로 각 파트별 소요 동력 크기의 경향 및 엔진 동력부하 대비 소요 동력 비율 등이 유사한 경향성을 가지는 것을 확인하였다.

또한, 유사한 용량의 트랙터에 대해 Kim(2019) 등이 기존에 수행한 연구와도 비교분석을 수행하였다<sup>5)</sup>. 해당 연구에서는 78kW급 농업용 트랙터를 활용한 주요 농작업시의 소요 동력을 분석하였다.

Kim의 연구에서 분석한 로터베이터 경운 작업시 소요 동력은 전차축에서 약 2~6kW로 비율로 환산하

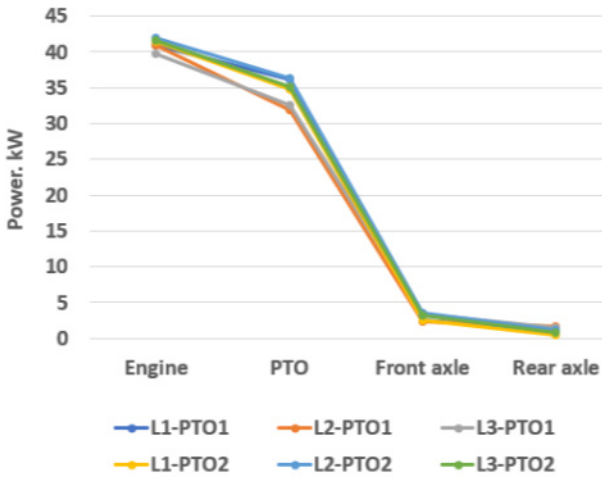


Fig. 11 Load analysis result using the rotavator

면 2.6~7.7%, 후차축에서 약 0.5~5kW로 0.6~6.4%의 범위로 낮게 나타났다. PTO축 소요 동력은 약 45~70kW로 57.7~89.7% 수준이며, 차축의 총합 대비 약 7배 이상 높은 소요 동력의 범위를 보임으로써 본 연구의 결과와 유사한 경향 및 수치를 가지는 것을 확인할 수 있었다<sup>5)</sup>.

#### 4. 결론

본 연구에서는 농작업 시 발생 되는 부하를 계측하고 관련 데이터를 DB화하기 위하여 다양한 형태의 부하를 계측할 수 있는 계측용 트랙터를 개발하고 성능을 검증하였다. 이를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1. 80kW급 트랙터를 활용하여 엔진 토크 및 rpm 센서, 휠토크미터, PTO토크미터, 육분력계, IMU/INS 센서, 조향각 센서, 유압 및 유량 센서 등 농작업 부하 및 다양한 필드시험 데이터를 취득할 수 있는 계측용 트랙터를 개발하였다.

2. 개발된 계측용 트랙터를 검증하기 위하여 로터 데이터를 이용한 검증시험을 수행하였으며, 작업 시 엔진 소요동력 대비 PTO에서 소요된 동력이 약 83.8% 수준으로 가장 크게 나타났고, 전차축에 전달되는 동력은 약 7.1%, 후차축에 전달되는 동력은 약 2.7%로 나타났다.

3. 본 연구에서 수행된 시험 결과와 타 시험 결과를 비교 검증한 결과 유사한 경향성을 나타내었으며, 이를 통해 개발된 계측 트랙터를 검증할 수 있었다. 향후 본 연구를 통해 개발된 트랙터를 활용하여 다양한 부속 작업기를 활용한 연구를 수행하고자 한다.

#### 후 기

본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 기계산업핵심기술개발사업(과제번호 : 20014649)의 지원을 받아 연구되었음을 밝힙니다.

#### 이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

“저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.”

#### References

- 1) S. Y. Baek W. S. Kim, Y. S. Kim, Y. J. Kim, C. G. Park, S. C. Ahn, H. C. Moon and B. S. Kim, “Development of a Simulation Model for an 80 kW-class Electric All-Wheel-Drive (AWD) Tractor using Agricultural Workload,” J. of Drive and Control, Vol.17, No.1, pp.27-36, 2020.
- 2) S. P. Moon, S. M. Baek, N. G. Lee, S. U. Park, Y. S. Choi, C. H. Choi and Y. J. Kim, “Safety Factor Analysis of Range-Shift on Multi-Purpose Agricultural Implement Machinery,” J. of Drive and Control, Vol.17, No.4, pp.141-151, 2020.
- 3) J. G. Kim, D. K. Lee, J. Y. Oh and J. S. Nam, “Gear Analysis of Hydro-Mechanical Transmission System using Field Load Data,” J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.20, No.5, pp.111-120, 2021.
- 4) N. G. Lee, Y. J. Kim, S. M. Baek, S. U. Park, Y. S. Choi and C. H. Choi, “Analysis of Traction Performance for Agricultural Tractor According to Soil Condition,” J. of Drive and Control, Vol.17, No.4, pp.133-140, 2020.
- 5) W. S. Kim, Y. S. Kim, T. J. Kim, S. U. Park, Y. Choi, I. S. Choi, Y. K. Kim and Y. J. Kim, “Analysis of Power Requirement of 78 kW Class Agricultural Tractor According to the Major Field Operation”, J. of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 43, No. 12, pp.911-922, 2019.
- 6) International Organization for Standardization (ISO), “Agricultural wheeled tractors Rear-mounted

- three-point linkage Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4” ISO 730, 2009.
- 7) J. G. Kim, J. S. Park, S. J. Cho, D. K. Lee, Y. J. Park and S. G. Moon, "Prediction of Power Consumed By Forward and Reverse Rotation Rotavator using Field Load Analysis," J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.20, No.8, pp.67-73, 2021.
- 8) S. M. Baek, W. S. Kim, S. U. Park and Y. J Kim, "Analysis of Equivalent Torque of 78 kW Agricultural Tractor during Rotary Tillage", J. of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.12, No.4, pp.359-365, 2019.
- 9) B. S. Myung and H. D. Lee, "Research on the Actual Condition of Rotary Tilling & Rotary Power Requirement in the Central Area", J. of The Korean Society of Industry Convergence, Vol.12, No.2, pp.79-83, 2009.
- 10) J. G. Kim, J. S. Park, K. J. Choi, D. K. Lee, M. S. Shin, J. Y. Oh, and J. S. Nam, "Analysis of Agricultural Tractor Transmission using Actual Farm Work Load," J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.19, No.11, pp.42-48, 2020.
- 11) International Electrotechnical Commission (IEC), "Wind Turbines-Part 4: Design Requirements for Wind Turbine Gearboxes," IEC 61400-4, 2012.
- 12) International Organization for Standardization (ISO), "Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 6 : Calculation of service life under variable load," ISO 6336-6, 2007.