

농작업에 따른 78 kW급 농업용 트랙터 엔진 부하율 분석 Analysis of Engine Load Factor for a 78 kW Class Agricultural Tractor According to Agricultural Operations

백승민¹ · 김완수² · 백승윤¹ · 전현호¹ · 이대현³ · 김형권⁴ · 김용주^{1,3,*}

Seung Min Baek, Wan Soo Kim, Seung Yun Baek, Hyeon Ho Jeon, Dae Hyun Lee,
Hyung Kweon Kim, Yong Joo Kim

Received: 13 Dec. 2021, Accepted: 4 Jan. 2022

Key Words : Agricultural Tractor(농업용 트랙터), Agricultural Operation(농작업), Engine Power(엔진 출력), Load Factor(부하율), Load Measurement System(부하 측정 시스템)

Abstract: The purpose of this study was to calculate and analyze the engine load factor of major agricultural operations using a 78 kW class agricultural tractor for estimating the emission of air pollutants and greenhouse. Engine load data were collected using controller area network (CAN) communication. Main agricultural operations were selected as plow tillage (PT), rotary tillage (RT), baler operation (BO), loader operation (LO), driving on soil (DS), and driving on concrete (DC). The engine power was calculated using the measured engine load data. A weight factor was applied to load factor for considering usage ratio according to agricultural operations. Weight factors for different agricultural operations were calculated to be 27.4%, 32.9%, 17.5%, 7.7%, 4.5%, and 10.0% for PT, RT, BO, LO, DS, and DC, respectively. As a result of the field test, load factors were 0.74, 0.93, 0.41, 0.23, 0.27, and 0.21 for PT, RT, BO, LO, DS, and DC, respectively. The engine load factor was the highest for RT. Finally, as a result of applying the weight factor for usage ratio of agricultural operations, the integrated engine load factor was estimated to be 0.63, which was about 1.31 times higher than the conventional applied load factor of 0.48. In future studies, we plan to analyze the engine load factor by considering various horsepower and working conditions of the tractor.

기호 설명

PT : Plow tillage
RT : Rotary tillage

BO : Baler operation
LO : Loader operation
DS : Driving on soil
DC : Driving on concrete
P_e : Engine power (kW)
T_e : Engine torque (Nm)
N_e : Engine rotational speed (rpm)
LF : Load factor
EP_O : Engine power during operation (kW)
EP_R : Rated engine power (kW)
W₁ : Weight factor for road conditions (%)
W₂ : Weight factor for working and driving (%)
W₃ : Weight factor for type of agricultural operation (%)
W : Weight factor (%)

* Corresponding author: babina@cnu.ac.kr

1 Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

2 Department of Bio Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

3 Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

4 Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju 54875, 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.

- LF_T : Load factor of total
- LF_{PT} : Load factor for plow tillage
- W_{PT} : Weight factor for plow tillage (%)
- LF_{RT} : Load factor for rotary tillage
- W_{RT} : Weight factor for rotary tillage (%)
- LF_{BO} : Load factor for baler operation
- W_{BO} : Weight factor for baler operation (%)
- LF_{LO} : Load factor for loader operation
- W_{LO} : Weight factor for loader operation (%)
- LF_{DS} : Load factor for driving on soil
- W_{DS} : Weight factor for driving on soil (%)
- LF_{DC} : Load factor for driving on concrete
- W_{DC} : Weight factor for driving on concrete (%)

1. 서 론

최근 전세계적인 기후 변화 및 환경 문제로 인하여 국제사회에서 대기오염물질 및 온실가스 저감에 대한 관심이 증가하고 있다.¹⁾ 국내 온실가스 총 배출량은 2018년 727.6백만톤CO₂eq.으로 1990년 대비 149% 증가한 것으로 나타났으며, 전년 대비 2.5% (17.9백만톤CO₂eq.) 증가한 것으로 나타났다.²⁾ 이에 따라 국내에서도 대기오염물질 및 온실가스 배출 저감을 위해 배출원 부문별로 배출계수 및 활동도 자료에 대한 조사 및 연구를 지속적으로 수행하고 있다.³⁾ 대기오염물질 및 온실가스 배출량은 분야별 배출 통계를 이용해서 작성되고 있으며, 해당 자료는 국내 기후 변화 대응 정책에 대한 기초 자료로 활용되고 있다.⁴⁾

대기오염물질 및 온실가스 배출량 통계를 산출하기 위해서는 엔진 부하율(Load factor, LF)에 대한 고려가 필요하다. 현행의 대기오염물질 배출량 산정 방법에서는 비도로이동오염원 부하율을 0.48의 값을 일괄적으로 사용하고 있다.⁵⁾ 하지만 비도로이동오염원의 경우 농업기계 이외에도 선박, 건설기계, 철도, 항공기 등을 포함하고 있으며, 동일한 분야 내에서도 기종 및 작업 특성에 따라 부하율이 다양하게 나타나기 때문에 이를 세분화 시키는 것이 필요하다.⁶⁾ 또한, 농업기계 분야에서는 배출량 산정을 위한 부하율 관련 연구 사례가 타 분야 비해 부족한 실정이며, 배출량 통계 신뢰성 향상을 위해 부하율 분석에 관한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구는 농업기계 부하율 산정을 위한 기초 연구로써 대표적인 농업기계인 트랙터를 대상으로 주요 농작업을 선정하여 필드 시

험을 수행하였으며, 작업별 사용비율 가중치를 고려하여 트랙터 엔진 부하율을 산출하고 이를 비교 및 분석하였다.

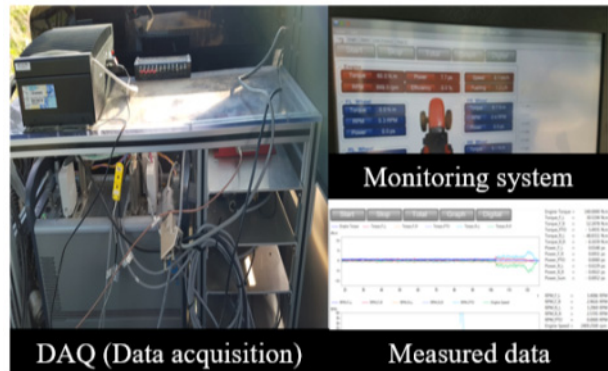
2. 재료 및 방법

2.1 계측용 트랙터

본 연구에서는 부하율을 분석하기 위하여 Fig. 1(a)와 같이 78 kW급 농업용 트랙터(S07, TYM Co., Ltd., Korea)를 사용하였다. 사용된 트랙터의 엔진(D34P, Hyundai Doosan Infracore Co., Ltd., Korea)은 Tier-4 규제를 만족하는 제품이며, 트랙터 엔진의 정격 토크는 2,300 rpm에서 324 Nm이며, 최대 토크는 1,400 rpm에서 430 Nm이다. 트랙터는 CAN (Controller Area Network) 통신 프로토콜로 J1939를 사용 중이며, 이를 통해 엔진 토크 및 회전속도를 수집하였다. 엔진 부하 데이터는 데이터 수집장치(CRONOS compact CRC-400-11, IMC, Germany)를 이용하여 계측되었으며, 데이터 계측 속도는 100 Hz로 설정하였다. 트랙터 내부는 Fig. 1(b)와 같이 데이터 모니터링 및 저장이 가능하도록 구성하였으며, 계측용 트랙터의 상세 제원은 Table 1과 같다.



(a)



(b)

Fig. 1 78 kW class agricultural tractor and data monitoring system for load measurement

Table 1 Specifications of 78 kW class agricultural tractor used in this study

Item		Specification
Length × Width × Height (mm)		4,225 × 2,140 × 2,830
Weight (kg)		3,985
Engine	Rated power (kW)	78 @2,300 rpm
	Max. torque (Nm)	430 @1,400 rpm
Transmission	Main	4 stages (1, 2, 3, 4) Power shift (High, Low)
	Sub	4 stages (C, L, M, H)
Hydraulics	No. of pump	2 (Main, Auxiliary)
	Displacement (cc/rev)	24 (Main pump) 12 (Auxiliary pump)
Tire	Front	13.6-24 8PR
	Rear	18.4-34 10PR

2.2 필드 시험 조건

본 연구에서는 부하율 산정을 위해 주요 농작업인 쟁기 경운(Plow tillage, PT), 로타리 경운(Rotary tillage, RT), 베일러 작업(Baler operation, BO), 로더 작업(Loader operation, LO)을 선정하였으며, 주행 작업으로서 콘크리트 노면 주행(Driving on concrete, DC) 및 토양 노면 주행(Driving on soil, DS) 조건을 선정하였다.⁷⁾ 농작업에 따른 필드 시험 조건은 Table 2와 같이 쟁기 경운 작업은 M3 Low (7.09 km/h), 로타리 경운 작업은 L3 Low (2.38 km/h), 베일러 및 로더 작업은 M2 Low (5.05 km/h), 토양 노면 주행은 M3 Low (7.09 km/h), 콘크리트 노면 주행은 H2 Low (17.12 km/h)로 선정하였으며, 필드 시험시 트랙터는 4륜구동 모드로 설정하였다. 로타리 경운 및 베일러 작업 시 PTO 단수는 1단(540 rpm)으로 설정하였으며, 쟁기 및 로타리 경운 작업의 경심은 15~20 cm 범위에서 작업 부하에 따라 제어가 가능하도록 설정하였다. 농작업은 작업자에 따라 부하에 영향을 미치기 때문에, 데이터의 신뢰성 확보를 위해 각 작업 조건 별 3회 반복 수행하였다.⁸⁾ 쟁기 경운 작업의 작업 패턴은 3점 히치를 하강한 후에 전진 작업, 작업기 상승 및 조향, 후진, 정지 등의 일반적인 작업 경로에 대해 수행하였으며, 베일러 작업은 베일 형성 구간, 결속 구간, 배출 구간의 순서로 작업을 수행하였다. 로더 작업은 로딩, 로더 상승, 후진, 직진, 로더 하강, 언로딩의 순서로 진행하였다. 토양 노면 주행은 농작

Table 2 Conditions of field test according to agricultural operations

Operation	Gear stage	Engine speed (rpm)	PTO Speed (rpm)	Depth (cm)
PT	M3 Low (7.09 km/h)	2,410	-	15-20
RT	L3 Low (2.38 km/h)		540	
BO	M2 Low (5.05 km/h)		-	
LO	M2 Low (5.05 km/h)		-	-
DS	M3 Low (7.09 km/h)		-	-
DC	H2 Low (17.12 km/h)		-	-

업 이전에 80 m 직진 구간을 대상으로 수행하였으며, 콘크리트 노면 주행은 약 500 m 직진 구간에서 수행하였다.

2.3 필드 시험지

필드 시험은 Fig. 2와 같이 세 곳의 논과 콘크리트 노면을 선정하여 수행하였다. 쟁기 및 로타리 경운 작업은 Site 1(충청남도 서산시), 베일러 및 로더 작업은 Site 2(충청남도 공주시), 토양 노면 주행은 Site 3(충청남도 당진시), 콘크리트 노면 주행은 Site 4(전라북도 김제시)에서 실시하였다. 필드 시험지의 크기는 Table 3과 같이 나타났으며, 토성을 분석하기 위해 각 필드에서 시료를 채취하고 미농무성(USDA)에서 제시하고 있는 토성 삼각도를 기준으로 분류하였다.⁹⁾ 그 결과, 선정된 필드 시험지는 모두 국내 대표적인 토성인 양토 계통으로 나타났다.¹⁰⁾



Fig. 2 Photos of field sites used in this study

Table 3 Field sites and size according to agricultural operations

Site	Size	Operation
1 (Seosan)	4,000 m ² (40 m × 100 m)	PT, LT
2 (Gongju)	14,400 m ² (80 m × 180 m)	BO, LO
3 (Dangjin)	4,000 m ² (40 m × 100 m)	DS
4 (Gimje)	5,000 m ² (10 m × 500 m)	DC

2.4 작업기

Fig. 3은 필드 시험에 사용된 작업기 종류를 나타내며, 이랑 쟁기(WJSP-8, Woongin Machinery Co., Ltd., Korea), 로타리(N225, CELLI S.p.A., Italy), 베일



Fig. 3 Photos of attached implements used in this study

Table 4 Specifications of attached implements used in this study

Item	Specification		
	Plow	Rotary	Baler
Company	Woongin Machinery Co., Ltd.	Celli Co., Ltd.	TYM Co., Ltd.
Model	WJSP-8	E260	TAB5310
Length × Width × Height (mm)	2,800 × 2,150 × 1,250	2,765 × 2,570 × 780	4,000 × 2,900 × 2,520
Weight (kg)	790	950	3,100
Power (kW)	66~88	88~102	>73.5

러(TAB5310, TYM Co., Ltd., Korea), 로더(TX105SL, TYM Co., Ltd., Korea)이다. 각 농작업에 따라 계측용 트랙터 마력대에 적합한 작업기를 선정하였으며, 상세 제원은 Table 4와 같다. 필드 시험 시 트랙터 하중이 후방으로 전이됨에 따라 전복 위험을 예방하기 위해 전방에 908 kg의 로더를 장착하였다. 로더의 조절 높이 범위는 60~360 cm이며, 최대 양력은 2,732 kg 이다.

2.5 엔진 부하율

농작업 시 엔진 출력은 계측된 엔진 토크 및 회전 속도를 이용하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$P_e = \frac{2\pi \times T_e \times N_e}{60,000} \tag{1}$$

엔진 부하율은 작업 시 발생하는 엔진 출력 데이터를 엔진 정격 출력으로 나눔으로써 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$LF = \frac{EP_O}{EP_R} \tag{2}$$

주요 농작업에 따른 통합 부하율 분석을 위해 농작업 사용비율에 대한 가중치(Weight factor, W)를 적용하였다. 농작업별 사용비율은 농민으로부터 수집한 설문조사 및 선행 연구 결과를 이용하였으며 Table 5와 같이 적용하였다.¹⁰⁾ 노면 조건별 사용 비율인 W₁은 토양 90%, 포장도로 10%로 나타났으며, 토양 작업 비율인 W₂은 농작업 95%, 주행 5%로 나타났다. 농작업 조건에 따른 비율인 W₃은 쟁기 경운 32.1%, 로타리 경운 38.4%, 베일러 작업 20.5%, 로더 작업 9.0%를 적용하였다. 최종적으로 농작업별 사용비율 가중치는 식 (3)을 이용하여 계산하였으며, 쟁기 경운, 로타리 경운, 베일러 작업, 로더 작업, 토양 노면 주행, 콘크리트 노면 주행에서 각각 27.4%, 32.9%, 17.5%, 7.7%, 10.0%, 4.5%로 나타났다. 통합 엔진 부하율은 식 (4)와 같이 각 농작업별 부하율과 사용비율 가중치 곱들의 합으로 계산하였다.

$$W = W_1 \times W_2 \times W_3 \tag{3}$$

$$LF_T = LF_{PT}W_{PT} + LF_{RT}W_{RT} + LF_{BO}W_{BO} + LF_{LO}W_{LO} + LF_{DS}W_{DS} + LF_{DC}W_{DC} \tag{4}$$

Table 5 Weight factor according to agricultural operations used in this study

Road condition	Operation	W_1 (%)	W_2 (%)	W_3 (%)	W (%)
Soil	PT	90	95	32.1	27.4
	RT			38.4	32.9
	BO			20.5	17.5
	LO			9.0	7.7
	DS			-	4.5
Concrete	DC	10	-	-	10.0
Total		100			

3. 결과 및 고찰

3.1 쟁기 경운 작업 조건

쟁기 경운 작업 시 엔진 데이터는 Fig. 4와 같이 나타났다. M3 Low (7.09 km/h) 단수에서 작업 구간의 엔진 토크 및 회전속도는 각각 237~411 Nm, 1,589~2,357 rpm의 범위로 나타났다. 엔진의 최대 출력 토크가 430 Nm인 것을 고려할 때, 쟁기 경운 작업 시 엔진의 최대 토크 대비 약 55~95%의 토크를 사용한 것으로 나타났다. 엔진 출력은 Fig. 5와 같이 작업 구간에서 58~78 kW로 나타났으며, 엔진의 출력은 약 2,382 rpm의 회전속도에서 최대로 나타났다. 본 연구에서 사용된 엔진의 최대 출력은 78 kW로, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 74~100%로 나타났다.

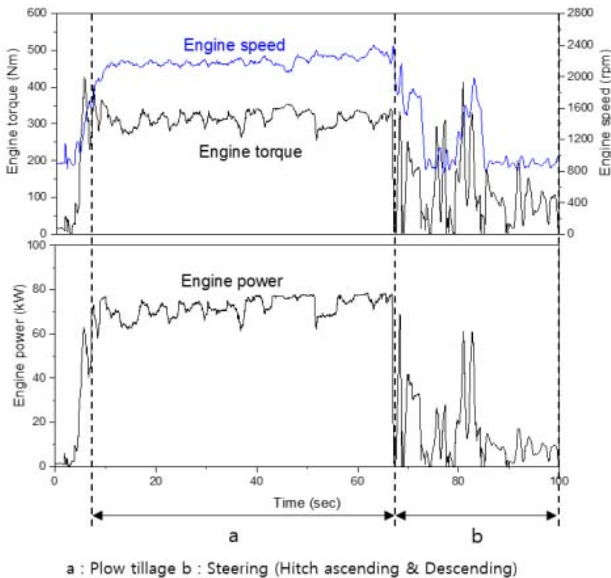


Fig. 4 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during plow tillage

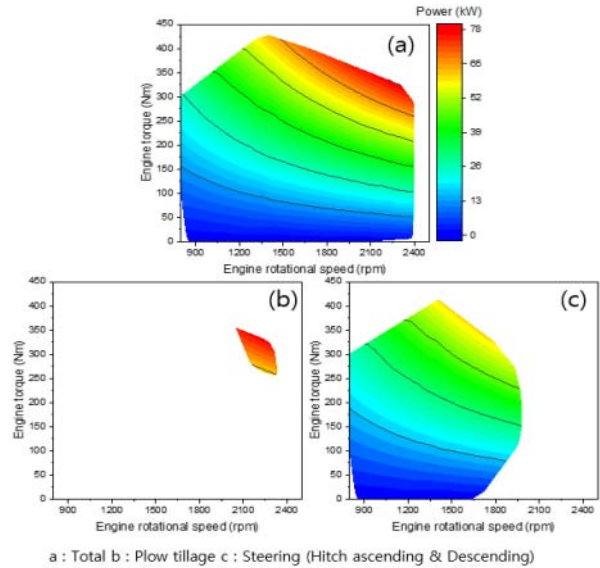


Fig. 5 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during plow tillage

3.2 로타리 경운 작업 조건

로타리 경운 작업 시 엔진 데이터는 Fig. 6과 같이 나타났다. L3 Low (2.38 km/h) 단수에서 작업 구간의 엔진 토크 및 회전속도는 각각 157~341, 1,737~2,386 rpm의 범위로 나타났다. 로타리 경운 작업의 경우 쟁기 경운 작업과 달리, 선회 구간에서 작업기 승-하강을 하지 않으므로 선회 구간에서도 높은 출력을 보이는 것으로 나타났다. 엔진의 최대 출력 토크가 430 Nm인 것을 고려할 때, 로타리 경운 작업 시 엔진의 최대 토크 대비 약 36~80%의 토크를 사용한 것으로

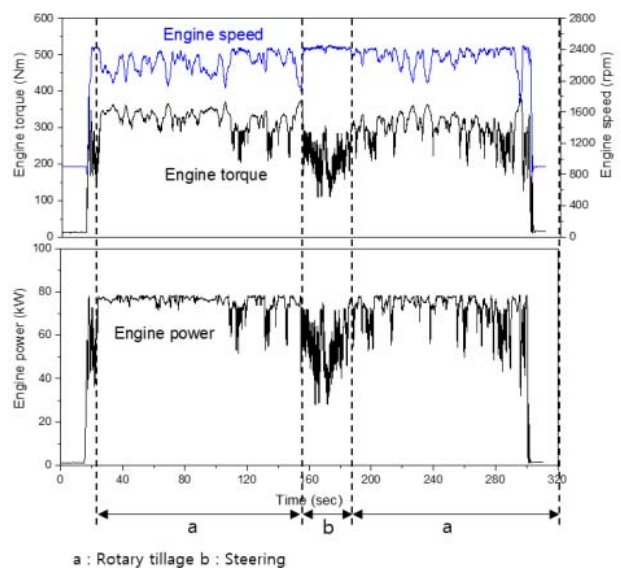


Fig. 6 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during rotary tillage

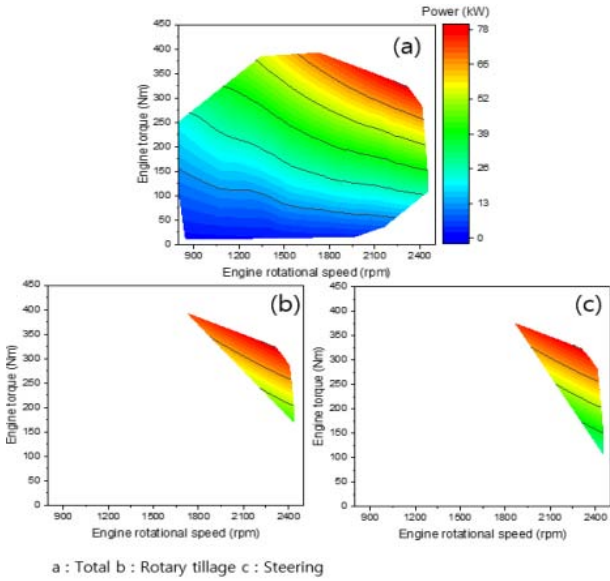


Fig. 7 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during rotary tillage

나타났다. 엔진 출력은 Fig. 7과 같이 작업 구간에서 70~78 kW로 나타났으며, 엔진의 출력은 약 2,441 rpm의 회전속도에서 최대로 나타났다. 본 연구에서 사용된 엔진의 최대 출력은 78 kW로, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 90~100%로 나타났다. 로타리 경운 작업은 모든 작업 중에서 가장 높은 출력이 발생하였으며, 이는 선행 연구 결과와 유사하게 나타났다.¹⁰⁾

3.3 베일러 작업 조건

베일러 작업 시 엔진 데이터는 Fig. 8과 같이 나타났다. 베일 작업은 다른 작업과 달리 베일링 작업과 베일을 묶고 배출하는 작업으로 cycle이 구성된다. M2 Low (5.05 km/h) 단수에서 엔진 토크 및 회전속도는 각각 70~340 Nm, 2,051~2,500 rpm의 범위로 나타났다. 엔진의 최대 출력 토크가 430 Nm인 것을 고려할 때, 베일러 작업 시 엔진의 최대 토크 대비 약 16~79%의 토크를 사용한 것으로 나타났다. 엔진 출력은 Fig. 9와 같이 베일링 구간에서 10~75 kW의 범위로 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 이후 배출 구간에서 감소하는 것으로 나타났다. 엔진의 출력은 약 2,500 rpm의 회전속도에서 최대로 나타났다. 본 연구에서 사용된 엔진의 최대 출력은 75 kW로, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 12~96%로 나타났다.

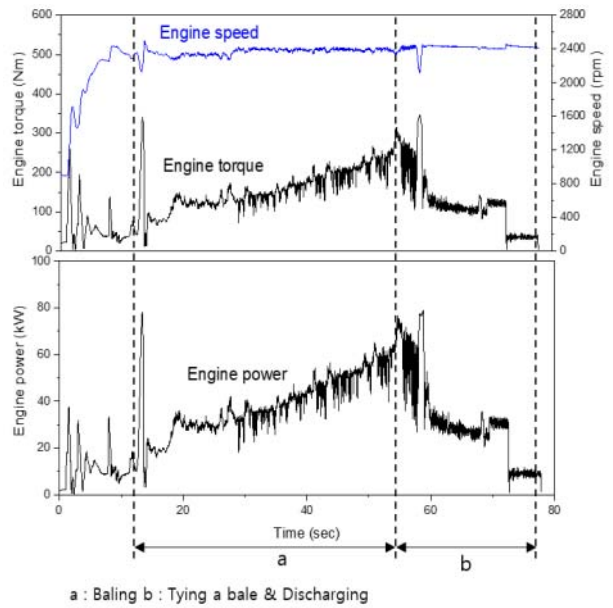


Fig. 8 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during baler operation

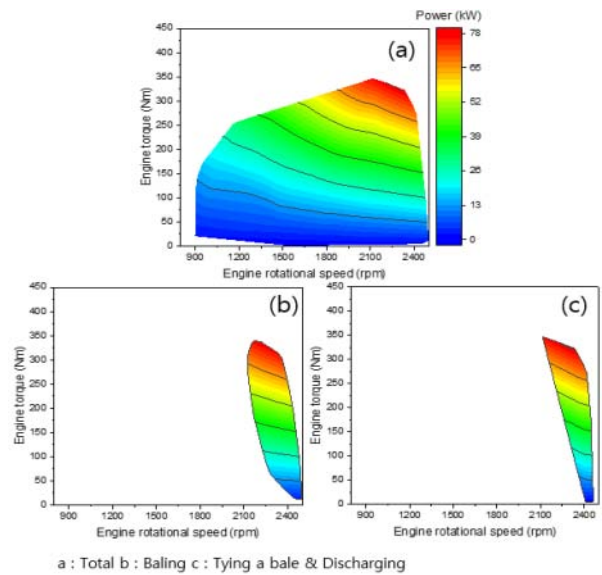


Fig. 9 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during baler operation

3.4 로더 작업 조건

로더 작업 시 엔진 데이터는 Fig. 10과 같이 나타났다. 로더 작업은 농작업 특성상 베일 작업과 같이 하나의 cycle로 구분하기 어려우며, 전진·후진·정지 등이 빈번하게 이루어진다. 이에 따라 엔진 출력 변화가 크게 나타났다. M2 Low (5.05 km/h) 단수에서 엔진 출력은 Fig. 11과 같이 7~78 kW로 나타났으며, 엔진의 출력은 약 2,450 rpm의 회전속도에서 최대로 나타났다. 본 연구에서 사용된 엔진의 최대 출력은

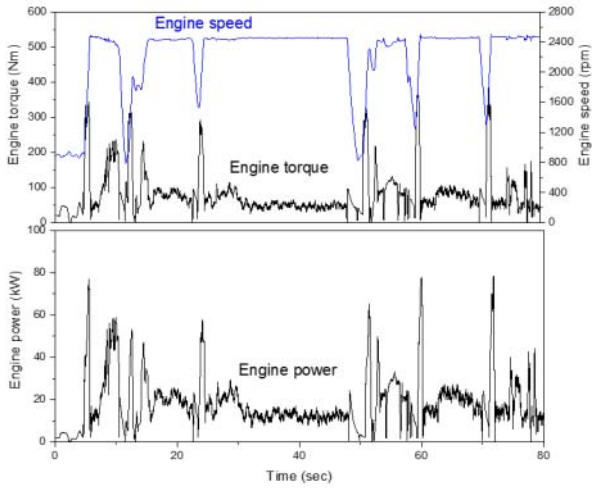


Fig. 10 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during loader operation

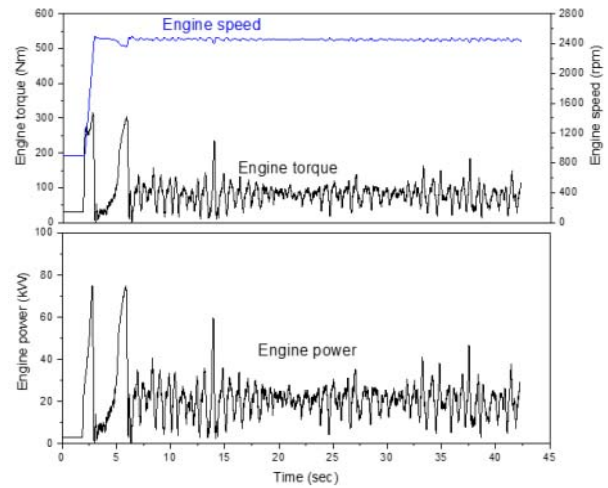


Fig. 12 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during driving operation on soil

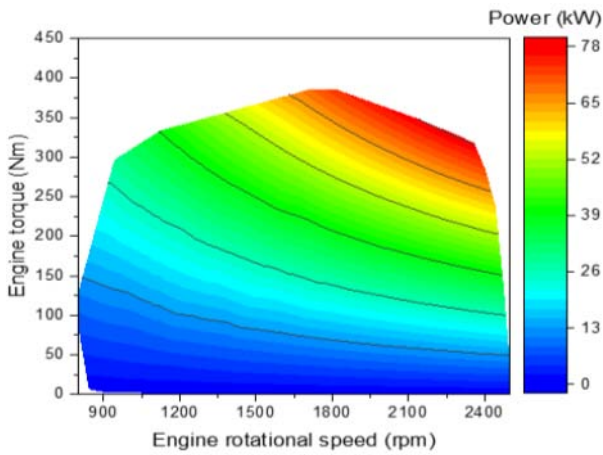


Fig. 11 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during loader operation

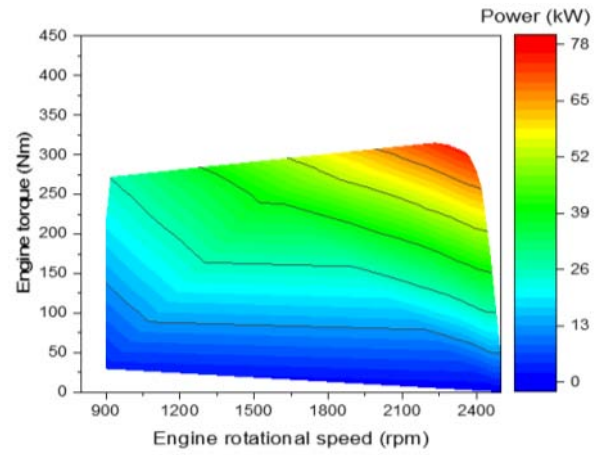


Fig. 13 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during driving operation on soil

78 kW로, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 9~100%로 나타났다.

3.5 토양 노면 주행 조건

토양 노면 주행 시 엔진 데이터는 Fig. 12와 같이 나타났다. M3 Low (7.09 km/h) 단수에서 주행은 0~45초 동안 수행되었다. 토양 노면 주행 조건에서 엔진 토크 및 회전속도의 최댓값은 각각 340 Nm, 2,430 rpm으로 나타났다. 엔진 토크는 최대 토크 대비 약 79%의 토크를 사용한 것으로 나타났다. 엔진 최대 출력은 Fig. 13과 같이 토양 노면 주행 조건에서 5~73 kW의 범위로 나타났으며, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 6~94%로 나타났다.

3.6 콘크리트 노면 주행 조건

콘크리트 노면 주행 시 엔진 데이터는 Fig. 14와 같이 나타났다. H2 Low (17.12 km/h) 단수에서 주행은 0~400초 동안 수행되었다. 콘크리트 노면 주행 조건에서 엔진 토크 및 회전속도의 최댓값은 각각 302 Nm, 2,420 rpm으로 나타났다. 엔진 토크는 최대 토크 대비 약 70%의 토크를 사용한 것으로 나타났다. 엔진 최대 출력은 Fig. 15와 같이 콘크리트 노면 주행 조건에서 7~45 kW의 범위로 나타났으며, 엔진 출력 범위는 정격 출력 대비 9~58%로 토양 노면 조건에 비해 상대적으로 부하가 낮게 나타남을 확인하였다. 이는 노면의 전단강도에 의하여 발생하는 토양 추진력(soil thrust)이 토양에서 콘크리트 보다 높게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.¹¹⁾

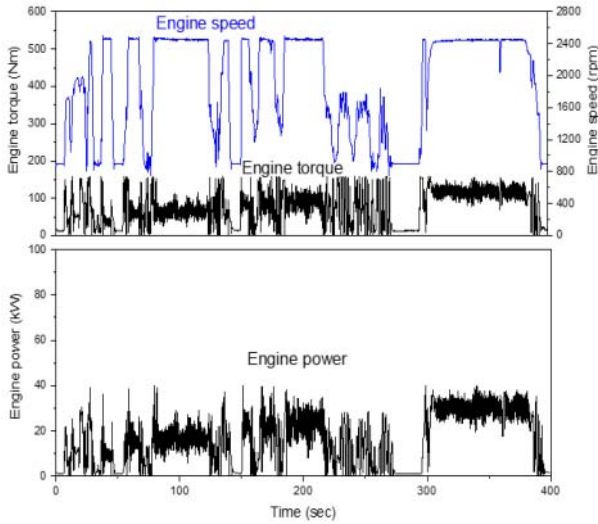


Fig. 14 Results of engine load data for 78 kW class agricultural tractor during driving operation on concrete

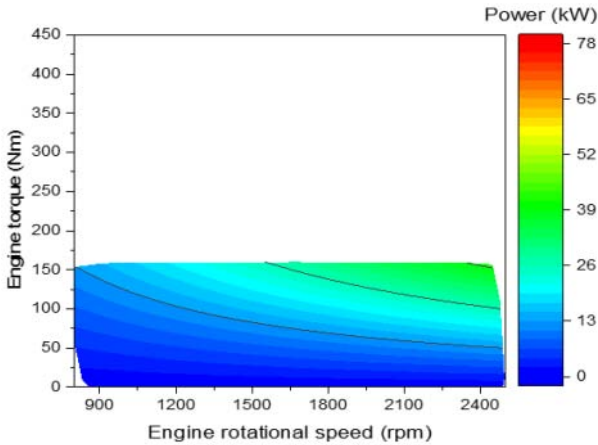


Fig. 15 Results of engine power for 78 kW class agricultural tractor during driving operation on concrete

3.7 엔진 부하율 분석

트랙터 엔진 부하율은 Fig. 16과 같이 농작업의 종류 및 특성에 따라 다양한 분포를 이루는 것으로 나타났다. 쟁기 경운 작업 시, 작업 구간에서 부하율은 0.8 이상 높게 나타났으며, 선회 구간에서는 0~0.8의 상대적으로 낮은 부하 범위에서 넓게 분포하고 있다. 로터리 작업 시 부하율은 0.7~1.0의 엔진 속도 범위에서 출력 가능한 최대의 범위를 보였으며, 베일러 작업은 0.8~1.0의 엔진 속도 범위에서 0.0~1.0의 부하율 범위를 보였다. 로더 작업은 다른 작업과 달리 특정한 작업 패턴이 없기 때문에, 엔진맵에서 불규칙하게 넓은 데이터 분포를 보였다. 토양 노면 주행 시

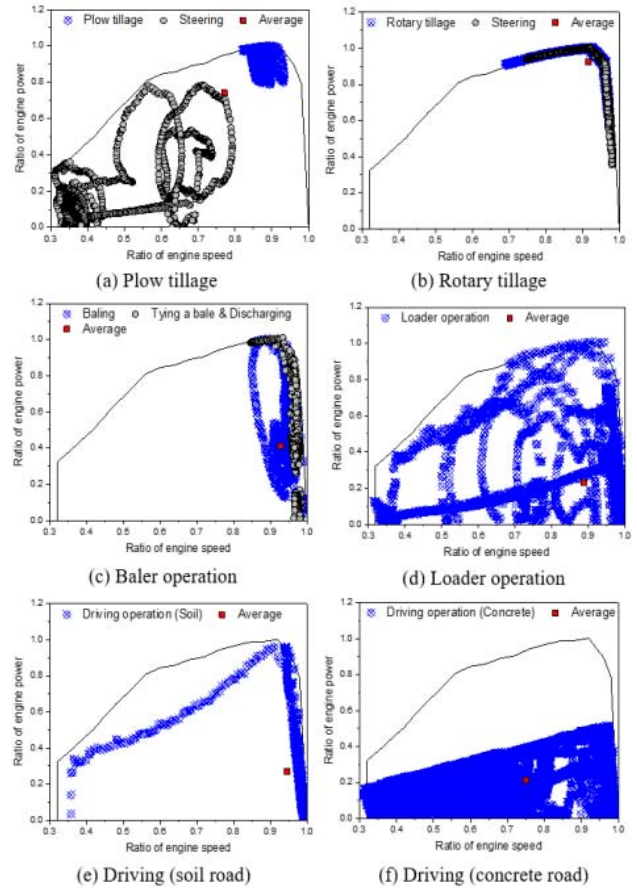


Fig. 16 Engine map of the load factor for 78 kW class tractor according to major agricultural operations

부하율은 0.35~1.0의 엔진 속도 범위에서 0.0~0.98의 부하율 범위를 보였으며, 콘크리트 노면 주행 시 부하율은 전체 엔진 속도 범위에서 0.5 이하의 낮은 범위로 나타났다.

Table 6은 트랙터 주요 농작업에 따른 엔진 출력, 부하율 결과를 나타낸다. 트랙터의 부하율은 쟁기 경운, 로터리 경운, 베일러 작업, 로더 작업 시 각각 0.74, 0.93, 0.41, 0.23으로 나타났으며, 토양 및 콘크리트 노면 주행 시 각각 0.27, 0.21로 나타났다.

농작업에 따른 사용비율을 반영하기 위하여 가중치를 곱하였을 때, 쟁기 경운, 로터리 경운, 베일러 작업, 로더 작업 시 각각 0.20, 0.31, 0.07, 0.02로 나타났으며, 토양 및 콘크리트 노면 주행 시 각각 0.01, 0.02로 나타났다. 통합 엔진 부하율은 최종적으로 계산된 값들을 모두 더하여 0.63로 나타났다. 이는 현행 적용 중인 비도로오염원의 부하율 값인 0.48 대비 31.3% 높은 값으로 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

Table 6 Results of engine load factor according to major field operations

Operations	W (%)	EP (kW)	LF	W x LF
PT	27.4	57.8	0.74	0.20
RT	32.9	72.2	0.93	0.31
BO	17.5	32.1	0.41	0.07
LO	7.7	18.0	0.23	0.02
DS	4.5	21.0	0.27	0.01
DC	10.0	16.7	0.21	0.02
Total	100	-	-	0.63

* W: weight factor, EP: engine power, LF: load factor, PT: plow tillage, RT: rotary tillage, BO: baler operation, LO: loader operation, DS: driving on soil, DC: driving on concrete

4. 결론

본 연구는 농업기계 배출량 통계 분석 신뢰성을 향상시키기 위한 기초 연구로써, 대표적인 농업기계인 트랙터를 대상으로 주요 농작업을 선정하고 필드 시험을 수행하였으며, 농작업에 따른 사용비율 가중치를 고려하여 엔진 부하율을 계산하고 최종적으로 통합 부하율을 산출하기 위해 수행되었으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 농작업에 따른 엔진 부하 데이터를 계측하기 위해 78 kW급 트랙터를 이용하여 필드 시험을 수행하였으며, CAN 통신을 이용하여 농작업 시 엔진 토크 및 회전속도를 계측하였다.

2) 트랙터의 주요 농작업은 쟁기 경운, 로타리 경운, 베일러 작업, 로더 작업, 토양 및 콘크리트 노면 주행으로 선정하였으며, 각 작업 조건에 적합한 단수를 선정하여 필드 시험을 수행하였다.

3) 계측된 엔진 토크 및 회전속도를 이용하여 엔진 출력을 계산하였으며, 농작업에 따른 부하율을 산출하기 위해 사용비율을 가중치로 적용하였다. 농작업별 가중치는 쟁기 경운, 로타리 경운, 베일러 작업, 로더 작업, 토양 및 콘크리트 노면 주행에 따라 각각 27.4%, 32.9%, 17.5%, 7.7%, 4.5%, 10.0%로 적용하였다.

4) 쟁기 경운 작업 시 엔진 출력은 58~78 kW로 나타났으며, 정격 출력 대비 74~100%의 출력을 사용하는 것으로 나타났다. 로타리 경운 작업의 경우 엔진 출력은 70~78 kW로 나타났으며, 정격 출력 대비

90~100%의 출력을 사용하는 것으로 나타났다. 베일러 작업의 경우 엔진 출력은 10~75 kW의 범위로 나타났으며, 정격 출력 대비 12~96%를 사용하는 것으로 나타났다. 로더 작업의 경우 엔진 출력은 7~78 kW의 범위로 나타났으며, 이는 정격 출력 대비 9~100%로 나타났다. 토양 및 콘크리트 노면 주행 작업 시 엔진 출력은 각각 5~73 kW, 7~45 kW의 범위로 나타났으며, 최대 출력 대비 엔진 출력은 각각 94%, 58%로 나타났다.

5) 트랙터 엔진 부하율은 쟁기 경운, 로타리 경운, 베일러 작업, 로더 작업 시 각각 0.74, 0.93, 0.41, 0.23으로 나타났으며, 토양 및 콘크리트 노면 주행 시 각각 0.27, 0.21로 나타났다.

6) 농작업별 엔진 부하율에 사용비율에 따른 가중치를 적용한 결과, 78 kW급 농업용 트랙터의 통합 엔진 부하율은 0.63로 나타났으며, 이는 현행 적용되고 있는 부하율인 0.48 대비 약 1.31배 더 높은 것으로 나타났다. 그러나, 본 연구는 78 kW급 트랙터의 계측 데이터를 기반으로 부하율을 산출하였으며, 농업기계 기종, 마력대, 작업 조건을 다르게 설정할 경우 부하율의 차이가 나타날 수 있다. 또한, 아직까지 국내에는 농작업 사용비율에 대한 신뢰성 있는 통계 데이터는 부족한 실정이며 추후 보완이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라, 향후 연구에서는 트랙터 마력, 작업 조건 등을 세분화하여 추가적인 필드 시험을 수행할 계획이며, 트랙터뿐만 아니라 다양한 농업기계에 대해서 시험 범위를 확장시킬 예정이다.

후 기

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ014981022021)의 지원에 의해 이루어진 것임.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

1) D. S. Kim and D. I. Lee, "Emission Regulations and Technology Trends on

- Off-highway Vehicles/equipments," Auto Journal, Vol.36, No.5, pp.16-21, 2014.
- 2) D. Y. Kim et al., "Establishment of Investigation System on Air Pollutants Emission Facilities in Gyeonggi-Do," Gyeonggi Research Institute, pp.1-126, 2017.
 - 3) G. B. Cho et al., "A Study of the Reduction of Diesel-engine Emissions for Off-road Vehicles," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, Vol.35, No.6, pp.577-583, 2011.
 - 4) Y. M. Kim, "2017 National Air Pollutants Emission," National Air Emission Inventory and Research Center, pp.1-141, 2020.
 - 5) C. K. Song et al., "National Air Pollutants Emission Estimation Guide(III)," National Institute of Environmental Research, pp.1-269, 2013.
 - 6) M. J. Choi et al., "Estimation of Greenhouse Gas Emission from Off-road Transportation." Journal of Climate Change Research, Vol.1, pp.211-217, 2010.
 - 7) W. S. Kim et al., "Work Load Analysis for Determination of the Reduction Gear Ratio for a 78 kW all Wheel Drive Electric Tractor Design" Korean Journal of Agricultural Science, Vol.46, No.3, pp.613-627, 2019.
 - 8) S. M. Baek et al., "Strength Analysis of the Driving Shift Gears for a 67 kW Class Agricultural Tractor According to Tire Type," Korean Journal of Agricultural Science, Vol.47, No.4, pp.1147-1158, 2020.
 - 9) S. M. Baek et al., "A Study on the Emissions of SO_x and NH₃ for a 78 kW Class Agricultural Tractor According to Agricultural Operations," Korean Journal of Agricultural Science, Vol.47, No.4, pp.1135-1145, 2020.
 - 10) W. S. Kim et al., "Analysis of Requirement of 78 kW Class Agricultural Tractor According to the Major Field Operation," Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol.43, No.12, pp.911-922, 2019.
 - 11) W. Y. Park and K. S. Lee, "The Effect of Tire Inflation Pressure on Soil Compaction and Tractive Performance of Tractor," Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, Vol. 27, No.6, pp.491-500, 2002.