

RESEARCH ARTICLE

마늘 수확기 경심 및 기어단수에 따른 42 kW급 트랙터 작업부하 분석

최세오¹, 배보민¹, 김민승¹, 정대위¹, 권승귀², 김연수^{1*}

¹부산대학교 바이오산업기계공학과

²주볼스

Effect Analysis of Working Depth and Gear Selection for Working Load of a 42 kW-Class Agricultural Tractor during Garlic Harvesting

Se-O Choi¹, Bo-Min Bae¹, Min-Seung Kim¹, Dae-Wi Jung¹, Seung-Gwi Kwon², Yeon-Soo Kim^{1*}

¹Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang, Republic of Korea

²Bulls Co., Ltd, Seongju 40053, Republic of Korea

*Corresponding author: yskim23@pusan.ac.kr

†These authors equally contributed to this study as first author.

Abstract

The purpose of this study is to analyze the load on the PTO shaft and the power required during garlic harvester operation according to the depth at which Nanji and Hanji garlic, two varieties of Korean garlic, are harvested. In order to identify the need for developing a garlic harvester, we identified the deepening shortage of agricultural labor through the phenomenon of decreasing and aging agricultural population. Since the garlic harvester is driven by transmitting rotational power through the PTO shaft, we focused on the load on the PTO shaft and the power required. Before testing the garlic harvester, we measured the physical and mechanical properties of the soil by dividing it into Layer1 and Layer2 to understand the properties of the soil. Then, we analyzed the soil properties and found that the soil was a sandy loam. The experimental conditions were divided into eight conditions based on the depth at which Nanji and Hanji garlic are harvested, the rotation speed of the PTO shaft, and the travel speed of the tractor. The load of the PTO shaft and the power required were analyzed by finding the working section in each experimental condition. The condition with the largest PTO shaft load and the largest power required in sandy loam soil was P2L2D10. The PTO torque was 237.903 Nm and the average PTO power was 2.380 kW. This means that 22.05% of the tractor's rated power of 42 kW was required, and the average power required was about 5.79 times higher than that of P1L2D5, the condition with the smallest power requirement. Therefore, it can be seen that care must be taken in garlic harvesting operations as the working depth increases.

Keywords: Garlic harvester, Agricultural tractor, Working load, Power requirement



OPEN ACCESS

Journal of Agricultural Machinery Engineering 5(1):1-12

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.2025.5.1.1>

Received: January 07, 2025

Revised: March 11, 2025

Accepted: March 12, 2025

Copyright: © 2025 Korean Society for Agricultural Machinery



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

마늘은 양파, 고추, 대파와 함께 국내 주력 양념채소로 분류되며, 2024년 국내의 재배면적은 23,592 ha로 주력 양념채소 중 고추 다음으로 넓은 재배면적을 보인다(KREI, 2024). 국내 마늘은 품종에 따라 난지형과 한지형으로 구분된다. 한지형 마늘은 강원, 경북 지역에서 주로 재배되며, 난지형 마늘은 경남, 제주, 전남지역에서 재배된다. 또한 한지형과 난지형을 함께 재배하는 지역으로 충청 지역과 전북 지역이 있다(Jo, 2005).

국내 농업 인구는 2022년 216.6만 명에서 연간 2.0%씩 감소하여 2033년에는 174.2만 명까지 감소가 예상되며, 해당 기간의 60세 이상의 고령화율은 49.8%에서 56.2%로 증가할 것으로 예상된다(KREI, 2023). 이러한 농업 인구의 감소 및 고령화 현상은 농업 노동력 부족의 심화를 야기하며, 이는 마늘 농가에도 영향을 주어 전주기 기계화에 대한 필요성이 제고되고 있다(Lee, 2021).

마늘의 기계화율은 2022년 기준 61.8%이며 작업별 기계화율의 차이가 커서 경운, 정지 작업의 경우 99.6%인 반면 파종 및 수확의 경우 각각 14.8%, 43.8%로 기계화율이 미흡한 실정이다(RDA, 2022). 현재 개발이 된 마늘 수확기의 종류는 굴취형, 롤러형, 수집형이 있으며 현재 개발된 대부분의 마늘 수확기는 트랙터와 같은 동력원에 부착하여 작업을 수행하며, 해당 동력은 PTO(Power Take Off)를 통해 공급받는다. 굴취, 롤러형의 경우 마늘을 굴취한 후 수집하는 과정에서 인력이 많이 소요되며, 수집형의 경우 마늘의 흠털림이 양호하지 않을 경우 마늘과 흙이 함께 수집되어 분별하기 위한 추가적인 인력이 소요된다. 이러한 문제로 마늘의 흠털림과 작업성, 마늘의 손상여부를 고려한 작업 조건을 정하는 것이 필요하다. 기존의 문헌 연구로 마늘 수확기 굴취부에서의 응력 집중에 대한 응력 검증(Kim et al., 2020)을 하는 연구가 존재하지만, 마늘 수확 작업기와 동력원 사이의 PTO축에 발생하는 부하를 관찰하는 연구는 없는 실정이다. 마늘 수확 작업 시 작업 깊이와 기어 조합의 변화는 작업기와 동력원의 부하에 차이를 야기한다. 이에 본 연구는 마늘 수확기 굴취부에서의 응력 분석이 아닌 부하계측 시스템을 활용한 작업 조건 별 PTO축에 발생하는 부하의 차이와 상관관계를 도출하였다. 또한 마늘 수확기 설계 및 최적 작업 조건 선정을 위한 기초연구로 부하 분석을 수행하였다.

Materials and Methods

토양 물성 계측 설계

마늘 수확 깊이에 따라 작업기에 작용하는 토양 저항 및 작업 부하를 파악하기 위해서는 작업 깊이에 따른 토양 물성을 파악하는 과정이 필요하다. 한국에서 수확되는 대표적인 종류인 난지형과 한지형 마늘은 수확되는 깊이가 다르고 난지형은 5~8 cm, 한지형은 10~13 cm의 깊이에서 수확된다. 토양 물성 계측은 성주군 용암면 덕평리의 밭에서 진행하였으며 Figure 1처럼 토양을 균일 그리드 샘플링 방법으로 15개의 구역을 나누어 진행하였다(Tan, 1995). 또한 난지형과 한지형이 수확되는 깊이에 따라 토양 실험 깊이를 Layer 1(0~5 cm), Layer 2(5~10 cm)로 나누어서 실험을 진행하였다.

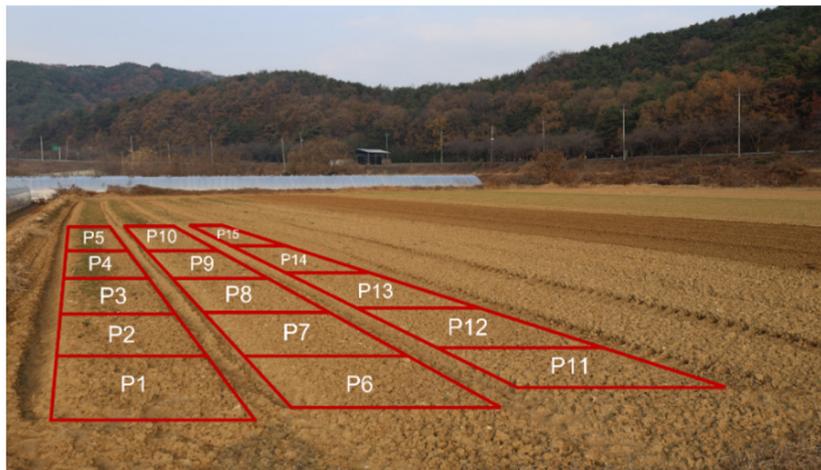


Fig. 1. Soil sampling method

토양 물리적 특성 계측

토양의 물성 중 물리적 특성을 파악하기 위해 함수율(Water contents), 체적 밀도(Bulk density), 애터버그 한계(Atterberg limit) 등을 측정하였다. 함수율은 대류형 건조기를 이용해 110°C의 온도에서 24시간 완전 건조를 한 후 측정하였다(O'Kelly et al., 2014). 체적 밀도는 토양을 100 ml의 원기둥 형태 스테인리스 토양 샘플러에 채취한 후 전자 저울을 통해 무게를 측정하여 구하였다. 3상 체적 시험기(DIK-1150, Daiki Rika Kogyo Co., Akagidai, Japan)를 이용하여 채취한 토양의 공극률과 고체 밀도를 측정하였다. 그다음 미국 농무부(USDA)에서 제공하는 분류법을 이용한 비중계법을 통해 Layer 1과 Layer 2의 깊이 에 따른 토성을 확인하였다(Ditzler et al., 2017, Kim et al., 2006).

토양 기계적 특성 계측

작업기에 의해 발생하는 토양의 기계적 부하는 토양의 물리적 특성과 기계적 특성에 큰 영향을 받는다(Kim et al., 2020). 토양의 깊이에 따른 경도와 경반층을 파악하기 위해 토양의 기계적 특성인 원추 지수(Cone Index), 전단 강도(Shear Strength) 등을 측정하였다(Lipiec et al., 2018, Siczek et al., 2015). 원추 관입 시험기(DIK-5532, Daiki Rika Kogyo Co., Ltd., Akagidai, Japan)를 이용하여 한 개의 그리드 당 30 cm 깊이로 10번씩 반복 측정하여 ASABE 기준에 따라 원추 지수를 측정 하였다. 그리고 베인 전단 시험기(450 DB3, Tohnichi America Co., Barclay, USA)를 이용하여 한 그리드마다 Layer 1(0~5 cm), Layer 2(5~10 cm)의 깊이에서 레이어 당 두 번씩 반복하여 전단 강도를 측정하였다.

부하 계측 시스템 구성

마늘 수확기 작업 시 작업 조건에 따른 PTO축 부하 분석을 파악하기 위해 부하 계측 시스템을 구성하였다. 이 연구에서는 42 kW급 트랙터(TX58, TYM, Iksan, Korea)를 사용하였다. 사용된 트랙터의 세부 사양은 Table 1에 제시하였다. 이번 연구에 사용된 마늘 수확기는 작업 깊이가 10~20 cm이고 작업 폭이 130 cm인 작업기(BG-1300HC, Bulls, Seongju, Korea)를 사용하여 PTO축 부하 실험을 진행하였다. 마늘 수확기의 세부 사양은 Table 2에 제시하였다.

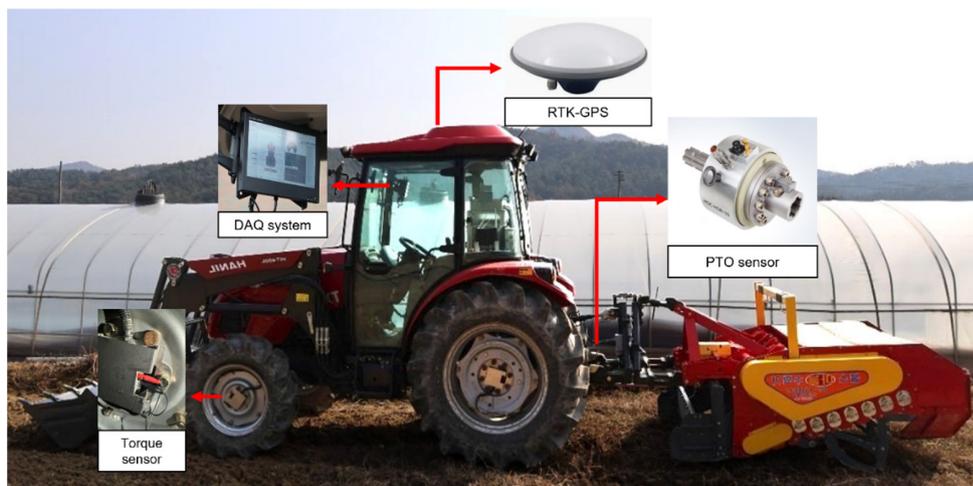
Table 1. Specifications of the agricultural tractor

Item	Specification	
Company	TYM	
Model	TX 58	
Wheel base (mm)	2,155	
Length×Width×height (mm)	3,695×1,848×2,560	
Engine	Rated power (kW)	42 @ 2,000 rpm
	Max torque (Nm)	211.8 @ 1,600 rpm
Transmission gear selection	Main 4 stage	
	Sub 6 stage	
PTO gear selection	1 st 540 rpm	
	2 nd 750 rpm	
	3 rd 1000 rpm	
Tire	11.2-20 / 14.9-30	
Maximum travel speed (km/h)	33.8	

Table 2. Specifications of the Garlic harvester

Item	Specification
Company	Bulls
Model	BG-1300HC
Length x Width x height (mm)	2,1208 x 1,500 x 1,150
Weight (kg)	540
Power requirements (kW)	37.2≤
Working depth (cm)	10~20
Working width (cm)	130

실험을 하기 위해 구성된 부하 계측 시스템은 휠 동력 측정부, PTO축 부하 측정부, RTK-GPS (Real Time Kinematic Global Positioning System)(Mini Survey An tenna GPS1000, Swift Navigation, SanFrancisco, USA)로 구성되었다. 센서가 부착되는 위치는 Figure 2와 같다. 휠 동력 측정부에는 휠에 휠 토크 센서와 휠 근접 센서를 부착하여 작업 중에 실시간으로 토크와 회전 속도를 측정하였다. PTO축 부하 측정부에는 PTO축에 센서를 부착하여 PTO축 rpm과 토크를 실시간으로 측정하였다. 작업 중의 마늘 수확기의 속도를 측정하기 위해 RTK-GPS를 트랙터의 무게 중심에 부착하였다. 마지막으로 데이터 수집 시스템은 Dewesoft X (Dewesoft 3X, Dewesoft, Trbovlje, Slovenia)를 트랙터 내부에 부착해 1 kHz의 속도로 현장에서 계측한 데이터를 실시간으로 측정하였다.

**Fig. 2.** Schematic of the sensor attachment locations on the agricultural tractor

필드 시험 설계

현장 기계 시험은 성주군 용암면 덕평리에 위치한 밭에서 시행하였다. 수확 작업은 트랙터에 마늘 수확기를 부착하여 5 m의 직선 코스에서 PTO 축의 속도는 P1, P2로 진행하였고 트랙터의 속도는 L1, L2로 나누어서 진행하였다. 또한 난지형, 한지형 마늘이 수확되는 깊이인 5~8 cm와 10~13 cm를 기준으로 대표 작업 깊이를 5 cm와 10 cm인 D5와 D10으로 나누어 총 8개의 조건으로 필드 시험을 진행하였다. PTO축의 부하를 분석하기 위해 PTO torque와 PTO speed를 측정하였고 이 요소들을 이용해 $P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60000}$ (kW) 공식에 대입하여 PTO power를 구하였다. PTO torque와 PTO power 데이터에서 각 시험 조건 별 최대/최소, 평균 및 표준 편차 값을 구하여 분석하였다. 또한 시험 조건 별 PTO power 평균값의 유의성을 확인하기 위해 SPSS 프로그램을 이용하여 ANOVA 검정과 사후검정을 진행하였다.

Results and Discussion

토양 물성 계측 결과

토양의 물성 중 기계적 특성을 15개의 그리드에서 반복 측정하였고 각 그리드에서의 계측값을 이용해 결과값의 평균을 구하였다. 측정된 물리적, 기계적 특성의 평균은 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Soil properties measured by soil layer

Properties	Layer 1	Layer 2
Moisture content (%)	20.643	21.639
Bulk density (g/cm ³)	1.582	1.585
Porosity	0.598	0.606
Solid density (g/cm ³)	3.171	3.216
Shear strength (kPa)	22.759	25.328

토양 물성 분석 결과 실험 현장의 토양은 사질 양토로 분석되었다. Layer 1은 Sand 56%, Silt 30%, Clay 14%로 나왔고, Layer 2는 Sand 54%, Silt 34%, Clay 12%의 결과를 보였다. Layer 2에서 Layer 1보다 함수율은 1.05배 높게 나왔으며 체적 밀도는 1.002배, 공극률은 1.013배, 고체 밀도는 1.014배, 전단 강도는 1.113배 높게 나온 것을 확인하였다.

원추 관입 시험을 통해 얻은 결과값들을 깊이별로 평균을 내어 Figure 3에 그래프로 나타냈다. 토양 원추 관입 시험 결과는 마늘 수확 시험 포장지의 경반층이 17.5~25 cm 깊이에 형성되어 있는 것을 확인하였다.

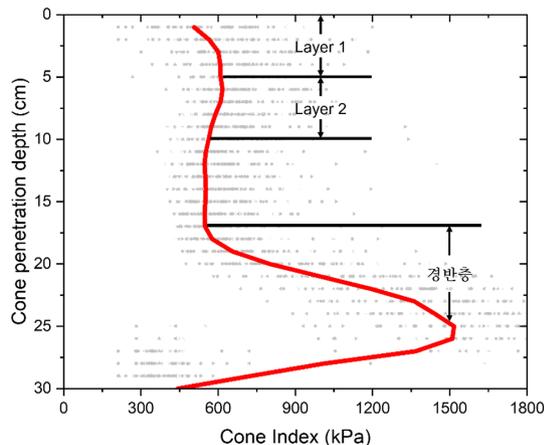


Fig. 3. Results of cone penetration test

작업 조건에 따른 PTO축 부하 데이터 분석

PTO 속도와 트랙터의 속도, 작업 깊이에 따른 실험 시 PTO축의 토크와 회전 속도에 대한 데이터는 작업 깊이에 따라서 나눈 후 Figure 4, Figure 5와 같이 나타냈다. 각 작업 조건에서 Working section을 나누어 Working section에서의 PTO축 토크 최솟값과 최댓값을 소수점 셋째 자리에서 반올림하여 Table 4에 나타냈다. 전체 작업 조건 중에서 PTO축의 토크 최댓값이 가장 작게 나온 작업 조건은 66.353 Nm의 P1L1D5이었고, 가장 크게 나온 조건은 237.903 Nm의 P2L2D10이었다. 따라서 P2L2D10의 작업 조건에서 PTO축에 순간적인 부하가 가장 크게 걸린 것을 확인하였다. 깊이가 5 cm로 같은 조건에서는 토크 최댓값이 P1의 조건에서 70 Nm 미만, P2의 조건에서 80 Nm 미만으로 PTO축 속도와 작업 깊이가 같을 때 유사하게 나왔다. 깊이가 10 cm로 같은 조건에서는 토크 최댓값이 L1의 조건에서 150 Nm 미만, L2의 조건에서 240 Nm 미만으로 트랙터의 속도 조건이 같을 때 유사하게 나왔다. PTO축의 토크 값을 평균으로 분석하였을 때 평균이 최대로 높은 조건이 10 cm 경심 조건 중 P2L2의 기어 단수 조건이 가장 높을 것으로 예상했으나 P1L2의 기어 단수 조건이 가장 높았다. 하지만 P2L2에서의 표준 편차가 P1L2에서의 표준 편차보다 더 높아 P2L2 기어 단수 조건에서 데이터 변동성이 더 커 특정 표본에서 평균이 상대적으로 낮게 나올 수 있었다. PTO축의 회전 속도는 P1의 조건에서 600 rpm 범위 이내의 값을 보였고, P2의 조건에서는 800 rpm 범위 이내의 값으로 나온 것을 확인하였다.

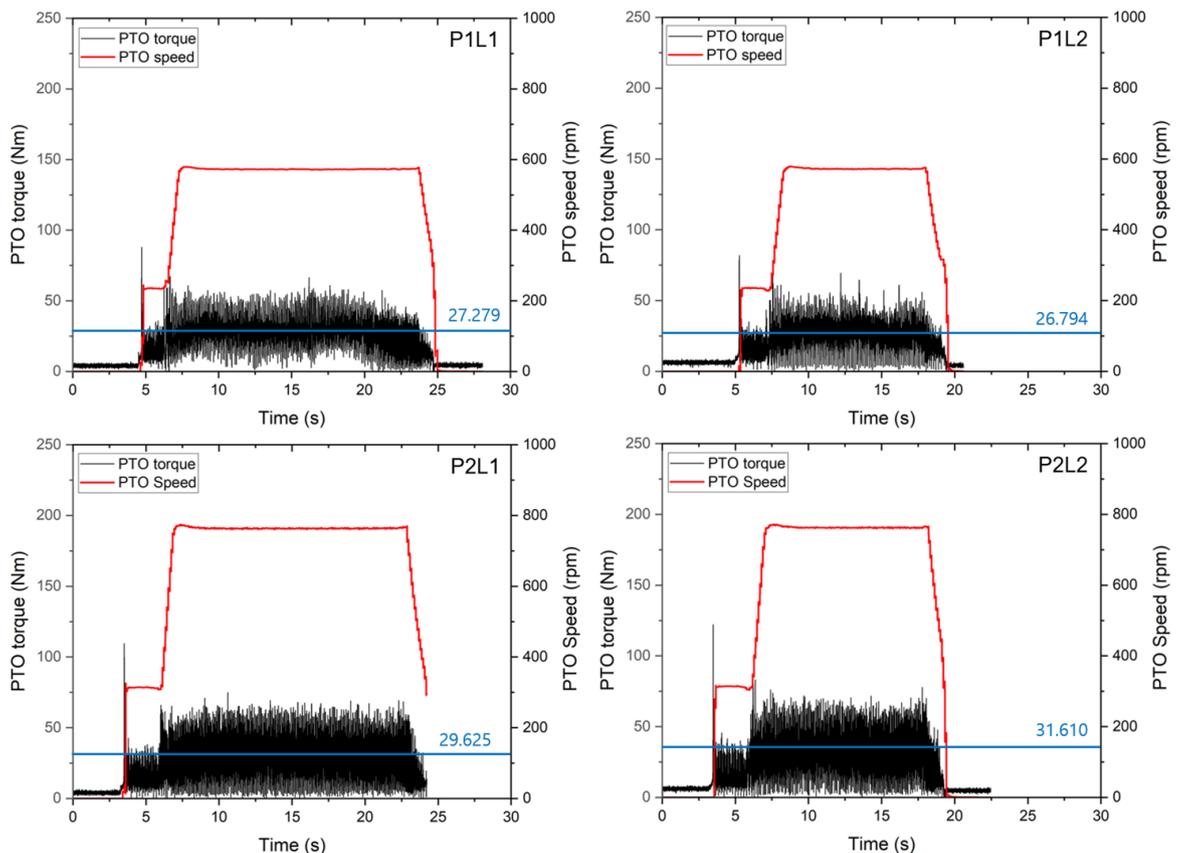


Fig. 4. Graph of PTO torque and speed according to working depth of 5 cm

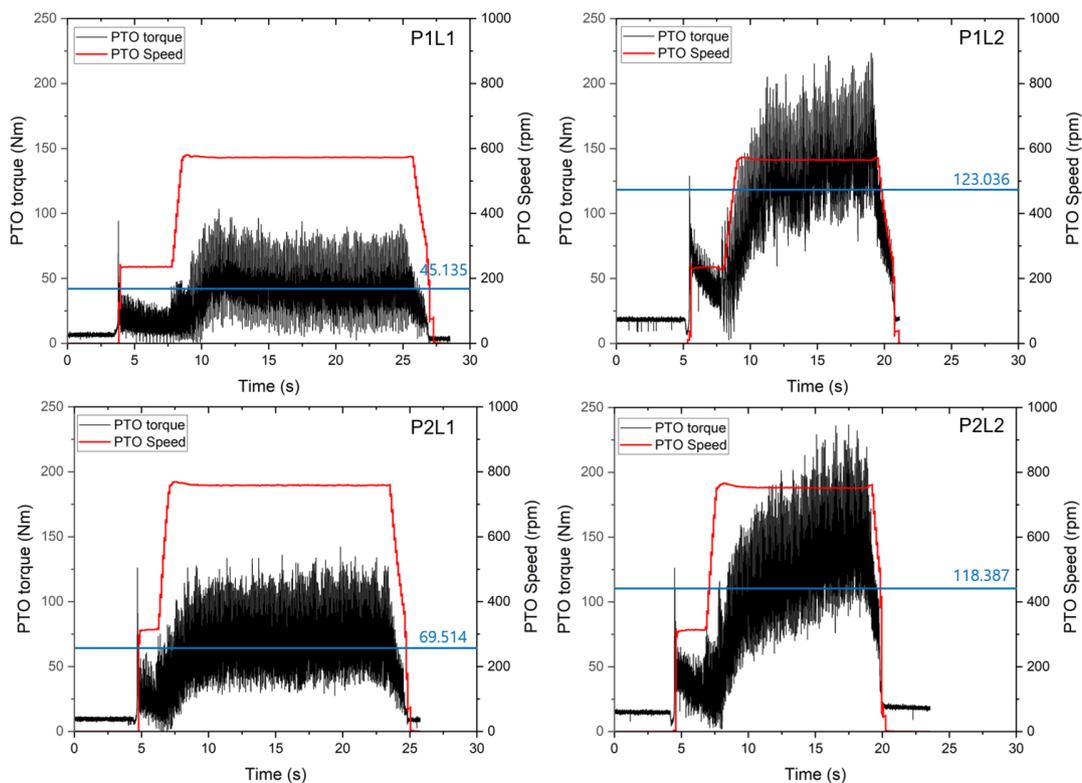


Fig. 5. Graph of PTO torque and speed according to working depth of 10 cm

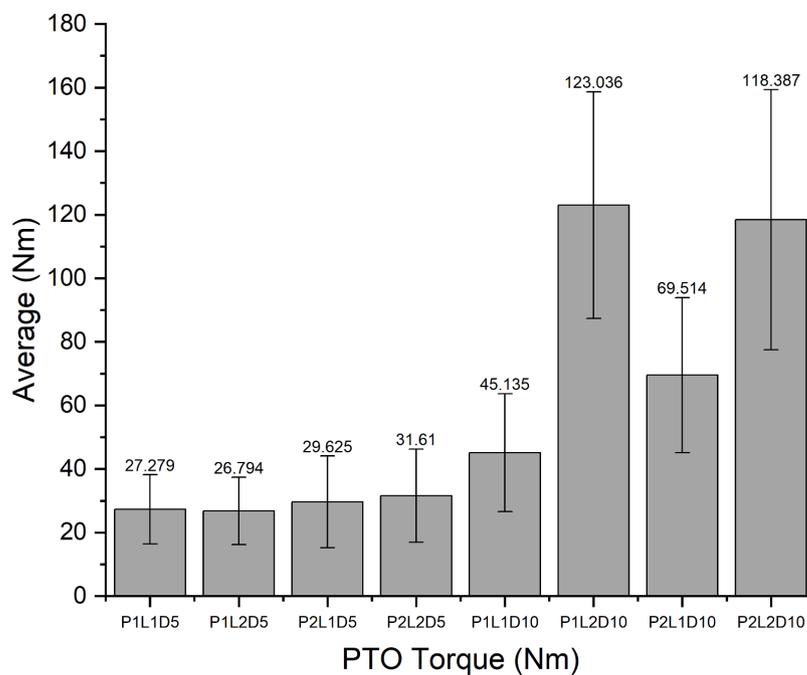


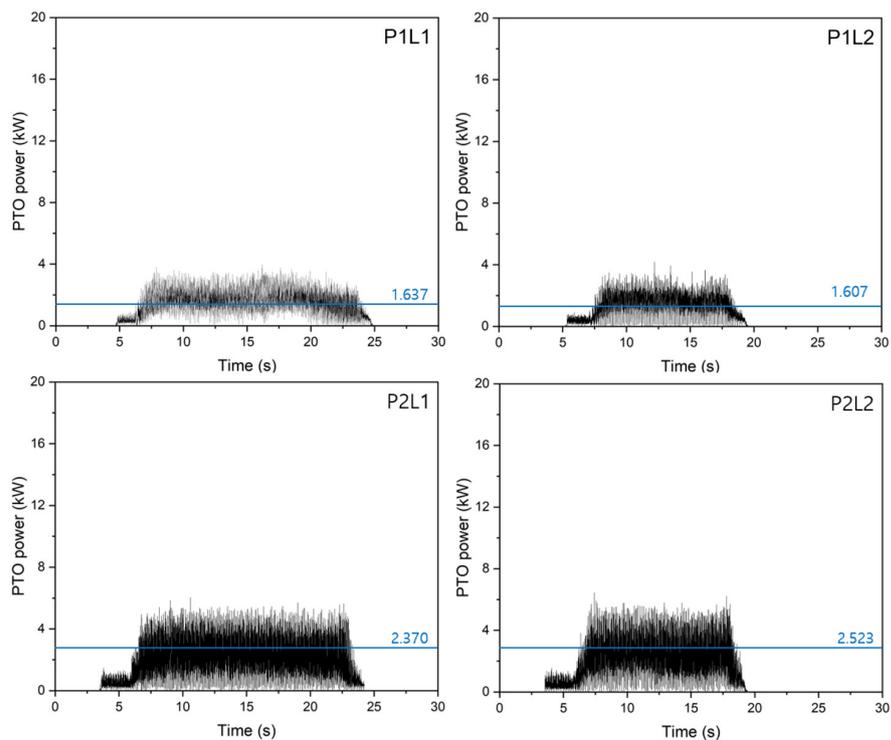
Fig. 6. Average and standard deviation graph of PTO torque

Table 4. Results of torque analysis according to working condition

Working condition	Working section (sec)	PTO torque (Nm)				
		Min.	Max.	Avg.	SD.	
5 cm of working depth	P1L1	7.4~23.7	0.056	66.353	27.279	10.890
	P1L2	8.4~18	0.013	69.794	26.794	10.562
	P2L1	6.9~22.9	0.004	75.556	29.625	14.451
	P2L2	7~18.2	0.060	79.869	31.610	14.687
10 cm of working depth	P1L1	8.6~25.8	0.239	104.920	45.135	18.569
	P1L2	8.5~20	1.730	223.733	123.036	35.649
	P2L1	7.3~23.5	4.277	141.018	69.514	24.397
	P2L2	7.6~19.2	1.065	237.903	118.387	40.923

작업 조건에 따른 PTO축 동력 분석

작업 조건에 따른 실험 시 PTO축의 동력은 Figure 6, Figure 7과 같이 나왔다. 각 작업 조건 Working section에서의 PTO축 동력의 최솟값과 최댓값, 평균은 소수점 셋째 자리에서 반올림하여 Table 5에 나타냈다. PTO축 동력 분석 결과는 부하 분석 결과와 유사하게 나왔다. PTO축 동력의 최댓값이 가장 작게 나온 조건은 3.978 kW의 P1L1D5였고 가장 크게 나온 조건은 18.722 kW의 P2L2D10이었다. PTO축 동력을 평균으로 분석했을 때는 P1L2D5의 작업 조건이 1.607 kW로 가장 작았으며 P2L2D10의 작업 조건이 9.337 kW로 가장 컸다. 이는 트랙터의 정격 출력인 42 kW 중 P1L2D5의 작업 조건에서 3.83%가 소요되고 P2L2D10의 조건에서 22.23%가 소요됨을 알 수 있으며 PTO축 평균 소요 동력이 최대 약 5.81배 차이가 나는 것을 확인하였다.

**Fig. 7.** Graph of PTO power according to working depth of 5 cm

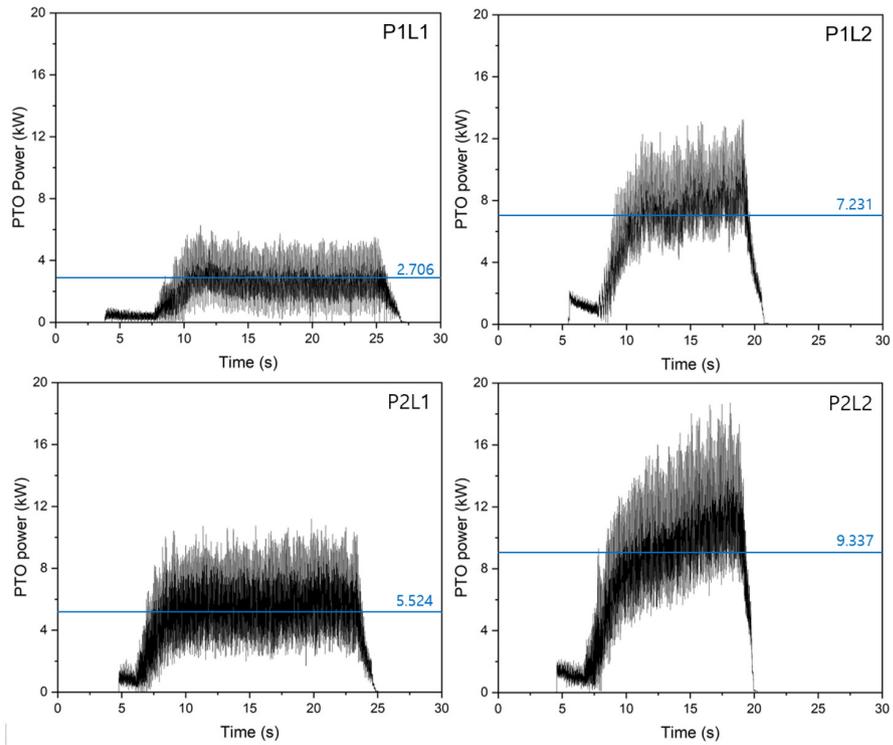


Fig. 8. Graph of PTO power according to working depth of 10 cm

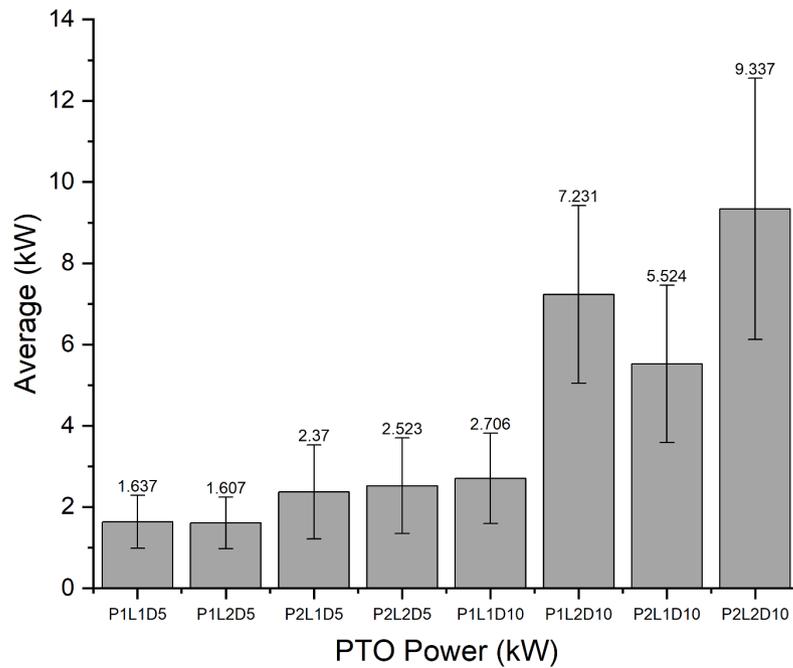


Fig. 9. Average and standard deviation graph of PTO power

Table 5. Results of power analysis according to working condition

Working condition	Working section (sec)	PTO power (kW)				
		Min.	Max.	Avg.	SD.	
5 cm of working depth	P1L1	7.4~23.7	0.003	3.978	1.637	0.653
	P1L2	8.4~18	0.001	4.180	1.607	0.633
	P2L1	6.9~22.9	0.001	6.040	2.370	1.156
	P2L2	7~18.2	0.005	6.444	2.523	1.174
10 cm of working depth	P1L1	8.6~25.8	0.014	6.276	2.706	1.112
	P1L2	8.5~20	0.073	13.238	7.231	2.189
	P2L1	7.3~23.5	0.344	11.202	5.524	1.936
	P2L2	7.6~19.2	0.085	18.722	9.337	3.214

작업 조건에 따른 PTO축 동력 평균 차이의 유의성 검증

작업 조건에 따른 PTO축 동력의 평균 차이가 통계적으로 유의미한 것인지 검증을 하기 위해 ANOVA 검정을 수행하였다. ANOVA 검정 결과는 Table 6에 나타났다. ANOVA 검정 결과 p-value 값이 0.05 보다 작게 나와 귀무가설(H_0 , 모든 그룹의 평균이 동일하다, 즉, 그룹 간 차이가 없음)이 기각되어 조건 간 평균 차이가 통계적으로 유의미해 적어도 하나의 조건이 다른 조건과 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 하지만 어떤 조건 간 차이가 있는지는 알 수 없으므로, 추가적으로 사후검정 (Post-hoc Test)를 진행하였다. p-value가 0.05 보다 작게 나왔으므로 등분산이 만족되지 않았으며, 조건 간 평균 차이를 비교하는 데 적합한 방법인 Games-Howell 사후검정 방식으로 진행하였고 사후검정의 결과는 Table 7에 나타났다. 사후 검정 결과 P1L1D5와 P1L2D5의 평균 차이가 약 0.03으로 두 조건 간 평균 차이가 거의 없었지만 p-value가 0.05보다 작아 두 조건 간 평균의 차이가 통계적으로 유의미한 것을 알 수 있었다. 나머지 조건들을 서로 비교했을 때도 모두 p-value가 0.05보다 작아 평균의 차이가 유의미한 것을 알 수 있었다.

Table 6. Results of ANOVA Test

	Sum_sq	df	F	PR (>F)
Between Groups	731,557.237	7	37,551.501	0
Within Groups	305,160.022	109,649		

Table 7. Mean difference of games-howell test

Mean difference	Group2 Group1	5 cm of working depth				10 cm of working depth			
		P1L1	P1L2	P2L1	P2L2	P1L1	P1L2	P2L1	P2L2
5 cm of working depth	P1L1	0	0.030	-0.733	-0.886	-1.069	-5.593	-3.887	-7.700
	P1L2	-0.030	0	-0.763	-0.916	-1.099	-5.624	-3.917	-7.730
	P2L1	0.733	0.763	0	-0.156	-0.336	-4.860	-3.154	-6.967
	P2L2	0.866	0.916	0.156	0	-0.179	-4.708	-3.001	-6.814
10 cm of working depth	P1L1	1.069	1.099	0.336	0.179	0	-4.525	-2.818	-6.631
	P1L2	5.593	5.624	4.860	4.708	4.525	0	1.707	-2.106
	P2L1	3.887	3.917	3.154	3.001	2.818	-1.707	0	-3.813
	P2L2	7.700	7.730	6.967	6.814	6.631	2.106	3.813	0

Table 8. P-value of games-howell test

p-value	5 cm of working depth				10 cm of working depth				
	Group1 \ Group2	P1L1	P1L2	P2L1	P2L2	P1L1	P1L2	P2L1	P2L2
5 cm of working depth	P1L1	1	0.000261	0	0	0	0	0	0
	P1L2	0.000261	1	0	0	0	0	0	0
	P2L1	0	0	1	2.3E-27	1.9E-157	0	0	0
	P2L2	0	0	2.3E-27	1	1.92E-37	0	0	0
10 cm of working depth	P1L1	0	0	1.9E-157	1.92E-37	1	0	0	0
	P1L2	0	0	0	0	0	1	0	0
	P2L1	0	0	0	0	0	0	1	0
	P2L2	0	0	0	0	0	0	0	1

Conclusion

본 연구는 마늘 수확기 개발을 위해 수행한 연구로 난지형 마늘과 한지형 마늘이 주로 수확되는 깊이인 5 cm와 10 cm의 작업 깊이 별 PTO축 속도와 트랙터 속도에 따라 8개의 조건으로 나누어 PTO축 부하 및 동력 분석을 하였다. 마늘 수확기 실험은 토양 물성이 사질 양토인 밭에서 실험하였다. PTO축 부하 및 동력은 마늘이 수확되는 깊이에 초점을 맞춰 분석하였다. 난지형 마늘이 주로 수확되는 5 cm의 경심 조건에서 부하의 최댓값은 P2L2의 기어 단수 조건에서 79.869 Nm로 가장 크게 나왔으며 평균 소요 동력은 같은 조건에서 2.533 kW로 가장 크게 나왔다. 한지형 마늘이 주로 수확되는 10 cm의 경심 환경에서 부하의 최댓값은 P2L2의 기어단수 조건에서 237.903 Nm로 가장 크게 나왔으며 평균 소요 동력은 같은 작업 조건에서 9.262 kW로 가장 크게 나와 수확 깊이가 깊어질수록 PTO축에 부하가 크게 걸리고 소요 동력이 커지는 것을 확인하였다. 또한 10 cm의 경심 조건에서 평균 소요 동력이 가장 작은 것은 P1L1에서의 2.806 kW인데 5 cm에서 평균 소요 동력이 가장 큰 것은 P2L2에서의 2.533 kW이다. 따라서 마늘 수확 작업 시 트랙터 PTO축의 소요 동력은 PTO축의 회전 속도나 트랙터의 주행 속도보다 마늘 수확기 작업 깊이에 의해 영향을 더 많이 받는 것을 확인하였다. 작업 조건에 따른 PTO축 소요 동력 평균의 차이가 유의미한 것인지 확인하기 위해 ANOVA 검정을 했으며, p-value가 0.05보다 작게 나와 귀무가설을 기각할 수 있었다. ANOVA 검정 결과에 따라 Games-Howell 사후검정을 실시한 결과 모든 실험 조건들의 평균을 비교하였을 때 p-value가 0.05보다 작게 나와 조건 간 평균의 차이가 유의하다는 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로 토양 물성이 사질 양토인 밭에서는 5 cm의 수확 깊이보다 10 cm에서 동력이 더 많이 소요되므로 10 cm에서 작업 시에는 PTO축에 걸리는 부하와 소요되는 동력에 주의해 작업을 진행하여야 하며 같은 깊이 조건이라면 PTO축 회전 속도와 트랙터의 주행속도가 빨라질수록 주의를 기울여서 작업을 해야 한다. 마늘 수확기를 이용한 마늘 수확 작업 시 본 연구의 PTO축 부하 분석 결과를 활용할 수 있으며, 작업 깊이와 기어의 조합으로 마늘 수확에 적절한 작업 조건을 고려하여 마늘 수확을 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 실험하여 도출해 낸 PTO축 부하와 소요 동력 분석 결과는 향후 마늘 수확기 고도화 및 가상 환경 시뮬레이션 모델링 연구에 활용 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 발농업기계화촉진기술개발사업(RS-2023-00236042)의 연구비와 농림식품기술기획평가원의 국제협력기반 수출농업경쟁력강화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2023-00233191)

References

- Ditzler C, Scheffe K, Monger H. USDA Handbook 18. Soil Survey Manual: Soil Science Division Staff. In USDA: 2017. [in American]
- Kim KB, Lee MH, Kim DC, Cho YJ. 2020. Finite element analysis approach for the stress of digging part of garlic harvesters. Korean society of Manufacturing process engineers 4: 133-140
- Kim LY, Han KH, Cho HJ, Oh DS. 2006. A precision Test of Hydrometer Method for Determining Soil Texture. Korean J. Soil Sci. Fert 5: 315-320
- Kim WS, Kim YJ, Baek SM, Bae SY, Moon SP, Lee NG, Kim TJ, Md A, Jeon HH, Kim YS. 2020. Effect of the cone index on the work load of the agricultural tractor. Drive and Contral 17, 9-18
- Korean Rural Economic Institute (KREI). 2023. Agriculture and Farm Economy Trends and Forecasts to 2024. On December 2023. [in Korean]
- Korean Rural Economic Institute (KREI). 2024. Agricultural Observations in September: spice vegetables. On September 02 2024 [in Korean]
- Lee EW.2021. Advances in field crop machinery technology boost productivity. Newspaper of Farming Materials. 06 Dec.2021. p. 1. [in Korean]
- Lipiec J, Czyz E, Dexter A, Siczek A. 2018. Effects of soil deformation on clay dispersion in loess soil. Soil and Tillage Reaserch 184: 203-206
- O'Kelly B, Sivakumar V. 2014. Water Content Determinations for Peat and Other Organic Soils Using the Oven-Drying Method. Drying Technology 32: 631-643
- Rural Development Administration (RDA). 2022. Garlic. Accessed in <https://www.nongsaro.go.kr/portal/search/nongsaroSearch.ps?categoryName=SCH01&menuId=PS00007&option=0&sortOrdr=01&searchWord=%EB%A7%88%EB%8A%98%EC%82%B0%EC%97%85%EC%9D%98+%ED%98%84%ED%99%A9> on December 16 2022 [in Korean]
- Siczek A, Horn R, Lipiec J, Usowicz B, Łukowski M. 2015. Effects of soil deformation and surface mulching on soil physical properties and soybean response related to weather conditions. Soil and Tillage Research 153, 175-184.
- Tan KH. 1995. Soil sampling, preparation, and analysis. CRC press