

RESEARCH ARTICLE

자주식 두 줄 무 수확기의 수집부 하중에 따른 주행부 시뮬레이션 모델 개발

박민재¹, 양철우¹, Md. Abu Ayub Siddique¹, 백승만², 백승윤², 전현호³, 박민중³, 박종대³, 김용주^{1,2,3*}

¹충남대학교 바이오시스템기계공학과

²충남대학교 친환경 수소·전기 농기계 연구소

³충남대학교 스마트농업시스템학과

Development of a simulation model of the driving platform of a self-propelled two-row radish harvester according to collector load.

Min-Jae Park¹, Cheol-Woo Yang¹, Md. Abu Ayub Siddique⁴, Seung-Min Baek², Seung-Yun Baek², Hyeon-Ho Jeon³, Min-Jong Park³, Jong-Dae Park³, Yong-Joo Kim^{1,2,3*}

¹Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea

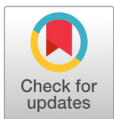
²Eco-friendly Hydrogen Electric Tractor & Agricultural Machinery Institute, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea

³Department of Smart Agricultural Systems, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea

*Corresponding author: babina@cnu.ac.kr

Abstract

Radishes are one of the most popular vegetables in many South Asian countries (e.g., Korea, Japan, China, India). In recent years, the domestic radish consumption rate has been steadily increasing. The annual consumption has been increased by 16% from 19.8 kg in 2016 to 23 kg in 2022. However, annual production has been increased by only 4.19% from 467,104 tons in 2016 to 486,698 tons in 2023. On the other hand, the mechanization rate of field crops cultivation was 63.3% in 2021 whereas the mechanization rate harvesting operations was low at 31.6%, and the mechanization rate of radish harvesting operations was particularly low at 10.4%, resulting in significant labor consumption for transportation and storage operations other than harvesting. To meet the increasing demand, it is necessary to increase the production and harvesting process efficiency. Therefore, this study aimed to develop a simulation model of the driving part of a self-propelled two-row radish harvester using AMESim software and evaluated the driving performance under different collector load conditions (0 kg, 250 kg, 500 kg, and 1,000 kg). The results of the study showed that the driving speed varied from 1.58 m/s to 1.55 m/s even as the tonnage increased, indicating the stability of the system to the driving load. However, the torque and power increased with the weight of the tonnage, reaching a maximum of 402.61 Nm and 2.89 kW, respectively. In particular, the torque tended to increase by about 130.61 Nm and the required power



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20240005>

Received: December 17, 2024

Revised: December 27, 2024

Accepted: December 27, 2024

Copyright: © 2024 Journal of Agricultural Machinery Engineering



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.

increased by 0.91 kW when the load increased from 0 kg to 1,000 kg. These results, including the influence of the weight of the collector load on the driving performance can be used as an important basis for the design and operation of self-propelled radish harvesters in the future. This study provides a useful simulation model that can contribute to the mechanization and efficiency improvement of self-propelled two-row radish harvesters and has practical application in the context of the increasing need for agricultural mechanization, especially for radish cultivation.

Keywords: Self-propelled, Radish harvester, Driving platform, Hydraulic system, Simulation

Introduction

최근 국내 무 소비율이 꾸준히 증가하고 있다. 1인 연간 무 소비량은 2016년 19.8 kg에서 2022년 23 kg으로 16% 증가하였으며, 수확량은 2016년 467,104 톤에서 2023년 486,698 톤으로 약 4.19% 증가하였다. 이러한 소비 증가에 대응하기 위해서는 수확 과정의 효율성을 높이는 것이 필수적이다.

2021년 기준으로 밭작물 기계화율은 63.3%에 달하나, 이 중 수확 작업의 기계화율은 31.6%로 낮은 수준을 보인다. 특히 무 수확 작업의 기계화율은 10.4%로 낮아, 대부분의 작업이 수작업으로 이루어지고 있으며 이로 인해 무 수확 과정에서 많은 노동력이 요구되고 있는 상황이다.

더불어, 최근 한국의 농가인구는 지속적으로 감소하고 있으며, KOSIS의 농가인구 조사에 따르면, 농가인구는 2015년 256.9만명에서 2020년 231.4명으로 5년 사이 약 10% 감소하는 경향을 보였다. 이처럼 노동 집약적인 밭작물, 특히 무에 대한 수요에 대응하기 위해서는 관련 농업기계의 기계화가 필요하다. 이에 따라, 국내에서는 무 수확 작업의 기계화율을 높이기 위해 무 수확 작업기에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다.

Jeon et al (2023)은 견인동력 및 구동 토크를 예측하기 위한 밭 농업용 다목적 플랫폼의 시뮬레이션 모델을 개발하고 검증하였으며, AMESim 소프트웨어를 사용하여 시뮬레이션 모델을 개발하고 실차 필드 시험을 통해 모델의 예측값과 계측값 간 오차를 비교하였다. Kim et al (2022)은 자주식 무 수확기의 안정성을 분석하기 위해 Recurdyn 소프트웨어를 사용하여 3D 시뮬레이션 모델을 개발하고, 다양한 하중 조건에서 무 수확기의 전복 각도를 분석하였다. Kim et al (2023)은 무한 궤도 기반 주행 플랫폼의 개발 및 성능 분석을 수행하였다. AMESim 소프트웨어를 사용하여 무한 궤도 기반의 주행 플랫폼을 설계하고, 주행 안정성 및 작업 효율성을 높이기 위해 제어 시스템을 구축하였다. Lee et al (2023)은 무와 배추 수확 작업을 위한 다목적 주행 플랫폼을 개발하고 플랫폼 성능을 분석하였다.

이전 연구들은 주행 작업에서 플랫폼의 주행 안정성, 견인력, 구동 토크 및 전복 안정성을 시뮬레이션을 통해 분석하고, 실차 실험과 비교하여 모델의 정확성을 평가하였다. 그러나 대부분의 밭작물 수확기는 수확물을 수집부에 수집하면서 주행 작업을 동시에 수행하는 특성을 가진다. 기존 선행 연구에서는 수확물 적재에 따른 작업기계의 무게 증가와 같은 조건이 충분히 고려되지 않았다.

따라서 최적화 설계 및 안정적인 주행 플랫폼을 제작하기 위해서는 수확물이 적재된 수집부 하중에 따른 주행부 플랫폼의 작업 성능을 평가하여 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 자주식 두 줄 무 수확기의 수집부 하중 조건을 고려한 주행부 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 분석하였다.

Materials and Methods

자주식 두 줄 무 수확기 주행부 플랫폼

두 줄 무 수확을 위한 자주식 두 줄 무 수확기 주행부 플랫폼은 무 수확 작업 환경에서 접지 능력 및 높은 견인력을 위하여 무한 궤도 시스템 기반으로 개발되었다. 주행부의 무한 궤도 시스템은 Fig. 1과 같이 주행 유압모터, 스프로킷 (Sprocket), 텐션 롤러(Tension roller), 하부 롤러(Track roller), 이퀄라이저(Equalizer)로 구성되어 있다. 주행 유압모터는 엔진, 유압펌프, 유압밸브로 전달되는 동력으로 구동된다. 스프로킷은 주행 유압모터의 동력을 궤도에 전달하여 구동할 수 있게 주행 유압모터에 부착되어 있다. 텐션 롤러는 장력 조절 가능한 장치이며, 궤도 후방에 장착되어 있다. 하부 롤러는 궤도 하부에서 지면과 접촉하고 있으며, 하중을 넓은 면적으로 배분하여 접지압을 줄여주는 역할을 한다. 이퀄라이저는 비정형 작업 환경에서 궤도가 주행할 때 궤도 모양에 변화를 주어 안정적인 주행을 할 수 있도록 하며, 좌, 우 궤도에 있는 하부 롤러 2개에 부착되어, 궤도당 2개의 이퀄라이저가 부착되어 있다.

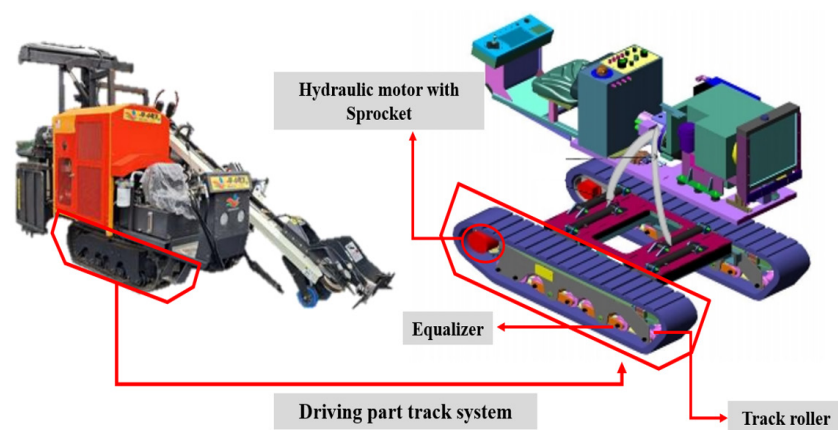


Fig. 1. A photo of driving part of self-propelled two-row radish harvester platform

주행부 유압 동력 전달 시스템

주행부 유압 동력 전달 시스템 설계를 위해, 무한궤도 기반 주행 플랫폼의 요구 조건에 따라 엔진, 유압펌프 및 유압모터의 사양을 선정하였다. 엔진은 정격출력이 2600 rpm에서 44 kW인 Tier 4 디젤 엔진(4B243, Daedong Co., Ltd., Korea)으로 선정하였다.

주행부 유압 동력 전달 시스템의 동력 전달 흐름은 디젤 엔진에서 발생한 동력이 좌, 우 분리되어 있는 유압펌프로 전달된다. 유압펌프에서 발생한 유압 동력은 차량의 조향 제어를 위해 비례제어밸브(Proportional valve group, PVG)에 전달된다. 이후 유압모터는 동력을 전달받아 스프로킷을 구동하게 하여 궤도를 움직임으로서 주행플랫폼을 주행하게 한다. 구동에 사용된 유압 오일은 리턴 라인(Return line)을 따라 다시 유압 오일 탱크로 복귀한다. 또한, 유압 동력 전달 시스템을 보호하기 위해 감압 밸브(Pressure relief valve)를 구성하였다. 릴리프 밸브는 시스템에서 압력이 증가하여 유압 시스템의 최대 압력인 250 bar 이상이 되면 정상 범위의 압력을 만들기 위해 유압 오일 탱크로 유압 오일을 흘려 보낸다.

주행부 시뮬레이션 모델

자주식 두 줄 무 수확기 주행부의 시뮬레이션 모델은 수확기의 동력 흐름 및 엔진, 유압 시스템 등의 사양을 검증하고 토크 및 출력을 예측하기 위해 Fig. 2와 같이 개발하였다. 주행부 시뮬레이션 모델은 유압 부품의 성능 예측에 활용되는 1-D 시뮬레이션 소프트웨어인 AMESim (Version 19.1, Siemens, Germany)을 이용하였다. 주행부 시뮬레이션 모델 구성은 엔진, 2개의 유압펌프, PVG, 유압모터, 유압모터, 릴리프 밸브, 감속기, 회전축을 담당하는 로터리 회전체로 구성되어 있다. 주행부 시뮬레이션 수행을 위해서는 각 부품의 사양을 시뮬레이션 유닛(Unit)에 입력하였다. AMESim 시뮬레이션 모델은 자주식 두 줄 무 수확기의 실제 구조를 기반으로 설계되었다.

주행부 시뮬레이션 모델 구동을 위한 시뮬레이션 파라미터는 엔진 회전속도 및 유압 시스템 부품 제원, 작업시간으로 선정해서 수행하였다. 엔진의 회전속도는 최대 토크에서 회전하는 1,800 rpm으로 입력하였고, 시뮬레이션에서의 유압 시스템 유닛들의 입력 파라미터는 Table 1과 같다. 유압펌프의 토출 유량(Pump displacement)은 30 cc/rev로 입력하였으며, 두 유압펌프는 동일한 사양이다. PVG는 4방향 제어 밸브 모델을 이용하여 밸브를 시뮬레이션에서 모델링하였다. 솔레노이드 밸브에서는 입력된 신호값이 -1 ~ 1에 따라 설정된 방향으로 유량을 제어한다. -1은 유량 최대 역방향, 0은 중립상태로 유량 차단, 1은 유량 최대 정방향을 의미한다. 유압모터의 토출 유량(Motor displacement)은 21.4 cc/rev, 유압모터는 양방향으로 회전할 수 있도록 설정하였다. 유압모터의 회전속도는 엔진 회전속도 1,800 rpm과 감속기의 감속비 1:39로 설정하였다. 수집부의 하중은 Machine model unit에 적용하여 0 kg, 250 kg, 500 kg, 1,000 kg의 무게들을 적용하였다.

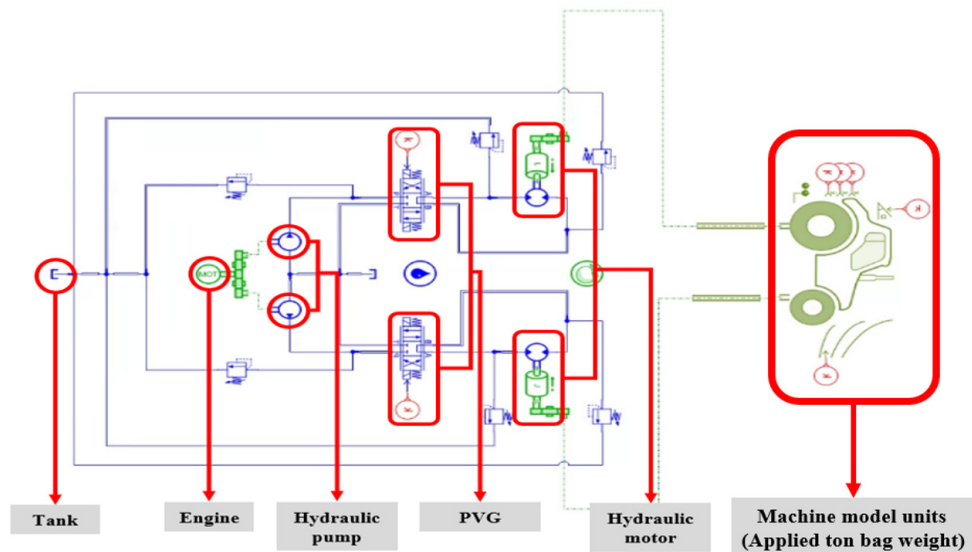


Fig. 2. AMESim simulation model of driving part of self-propelled two-row radish harvester

Table 1. Table of each component's parameters for operating the AMESim simulation model

Item	Parameter	Value
Engine	Rotational speed (rpm)	1800
Hydraulic pump	Pump displacement (cc/rev)	30
Hydraulic motor	Motor displacement (cc/rev)	21.4
Reducer	Reduction ratio	1:39

수확기 수집부 하중에 따른 주행부 부하 분석

식 (1)에서 회전속도(N)은 수확기 주행부 플랫폼 시뮬레이션 모델에서 스프로킷의 회전속도를 의미하며, 토크(T)는 동일한 모델에서 주행부 스프로킷에 하중 조건에 따라 작용하는 값을 나타낸다. 식 (1)은 회전속도와 토크를 기반으로 주행부의 소요 동력을 계산하는 식이다.

$$Power = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60000} \quad (1)$$

Where, T = Torque (Nm)

N = Rotational speed (rpm)

본 연구에서는 수집부의 하중에 따른 주행부 부하 변화 및 예측을 위해 0 kg, 250 kg, 500 kg, 1,000 kg을 공차 중량, 저중량, 중량, 고중량 4가지 조건을 설정하고, 자주식 두 줄 무 수확기 주행부 시뮬레이션 모델에 적용하였다. 특히 최대 적재 용량에 근접한 1,000 kg 하중조건에서 주행부 부하 변화를 분석하였다. 시뮬레이션 수행시간 설정은 국내 두 줄 무 밭의 크기에서 직선 100 m 평균 작업시간이 약 40초가 소요 시뮬레이션 수행 시간도 40초로 설정하였다.

Results and Discussion

수집부 하중에 따른 주행부 시뮬레이션 결과

수집부 하중에 따른 주행부 시뮬레이션 결과는 0 kg, 250 kg, 500 kg, 1,000 kg으로 구분하였으며, 결과는 Fig. 3과 같다. 시뮬레이션 결과에서 속도는 초기 급격히 증가한 뒤 일정 수준에서 안정적으로 유지되었다. 각 무게에 따른 주행 속도는 무게가 증가할수록 도달하는 최대 속도에 차이가 있었다. 토크는 속도와 함께 일정 시간 동안 급격하게 증가했으며, 최대값에 도달한 이후에는 주행부 유압 시스템의 안정화에 따라 일정 수준으로 유지되었다. 0 kg의 경우, 초기 속도가 급격히 증가했으며, 작업부하가 거의 없기 때문에 빠른 회복 속도를 보였다. 그러나 250 ~ 500 kg의 하중 조건에서는 속도의 최대값 도달 시간이 0 kg 조건보다 길어졌으며, 250 kg에서는 4.5초, 500 kg에서는 4.7초로 증가하였다. 토크는 0 kg의 하중 조건보다 약 0.25 ~ 0.5초 증가하였다. 1,000 kg 하중 조건에서 속도는 0 kg 조건보다 약 0.7초로 더 소요되었으며, 토크는 0 kg의 하중 조건보다 약 130.61 Nm 증가, 250 ~ 500 kg 약 70.08 ~ 105.03 Nm 증가하였다. 소요 동력은 초기 속도와 토크가 급격히 상승하는 구간에서 증가하였다. 최대값은 0 kg에서 약 1.95 kW, 1,000 kg에서는 2.89 kW로 나타났다. 이후 토크 안정화됨에 따라 소요 동력은 감소하여 시뮬레이션 종료 시점에서는 1.92 kW로 유지되었다.

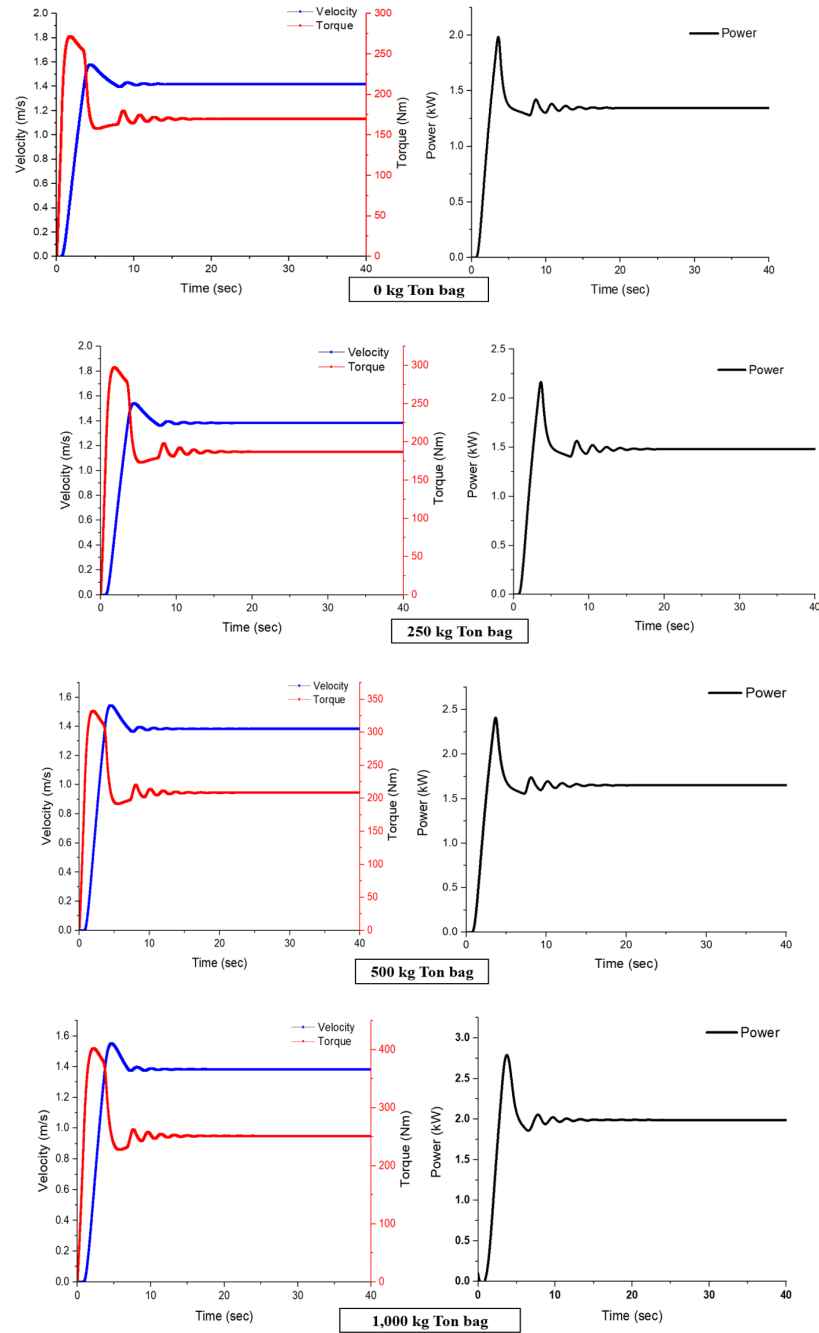


Fig. 3. Simulation results of the self-propelled two-row radish harvester driving platform according to collector load

수집부의 하중이 동력 특성에 미치는 영향

주행 성능 평가는 주행부 플랫폼의 속도, 토크, 소요 동력으로 구분하여 진행되었으며, Fig. 4 및 Table 2와 같이 각각의 하중 조건에서의 변화를 분석하였다. 0 kg의 수집부 하중에서의 작업기는 최대 주행 속도는 1.58 m/s, 평균 속도는 1.35 m/s, 표준편차는 0.28 m/s로 나타났다. 이때의 토크는 최대 272 Nm, 평균 174.97 Nm, 표준편차 27.84 Nm으로 나타났고, 작업

기 주행부의 소요 동력은 최대 1.98 kW, 평균 1.30 kW, 표준편차는 0.26 kW로 측정되었다. 이후 250 kg 수집부 하중을 장착한 상태에서의 시뮬레이션 결과를 분석하였을 때, 최대 주행 속도는 1.54 m/s, 평균 속도는 1.31 m/s, 표준편차는 0.28 m/s로, 0 kg의 수집부 하중 결과와 비교했을 때 속도는 다소 감소했으나 여전히 비슷한 수준을 유지하였다. 이때의 토크는 최대 297.58 Nm, 평균 192.40 Nm, 표준편차는 30.41 Nm으로 증가하였고, 소요 동력은 최대 2.16 kW, 평균 1.43 kW, 표준편차는 0.29 kW로 증가함을 보였다. 500 kg 수집부를 장착했을 때는 작업기 속도는 최대 1.55 m/s, 평균 1.31 m/s, 표준편차 0.29 m/s로, 여전히 일정한 속도를 유지했으나 토크는 최대 332.53 Nm, 평균 214.23 Nm, 표준편차는 34.8 Nm으로 증가하였으며 소요 동력은 최대 2.41 kW, 평균 1.59 kW, 표준편차는 0.34 kW로 높게 나타났다. 마지막으로, 최대 허용 무게인 1,000 kg 수집부를 장착한 경우, 최대 주행 속도는 1.55 m/s, 평균 속도는 1.31 m/s, 표준편차 0.30 m/s로 안정적으로 유지되었으나, 토크는 최대 402.61 Nm, 평균 257.78 Nm, 표준편차 42.55 Nm으로 크게 증가하였고, 소요 동력은 최대 2.89 kW, 평균 1.92 kW, 표준편차 0.42 kW로 가장 높은 수치를 기록하였다. 이러한 수치는 수집부의 중량 증가가 주행 성능에서 특정하게 속도는 크게 변하지 않으나, 토크와 소요 동력에 미치는 영향은 현저히 높아진다는 것을 보여준다. 0 kg 수집부를 장착한 상태에서의 속도는 하중이 있는 수집부 장착 시보다 약 0.3 m/s 더 높게 나타났다.

반면, 수집부의 하중이 증가함에 따라 작업기의 토크 및 소요 동력은 각각 약 130.61 Nm, 0.91 kW 증가하는 경향을 보였다. 각 수집부의 하중은 250 kg씩 100% 증가하게 설정하였다. 수집부의 하중이 0 kg에서 250 kg으로 증가 시, 토크는 약

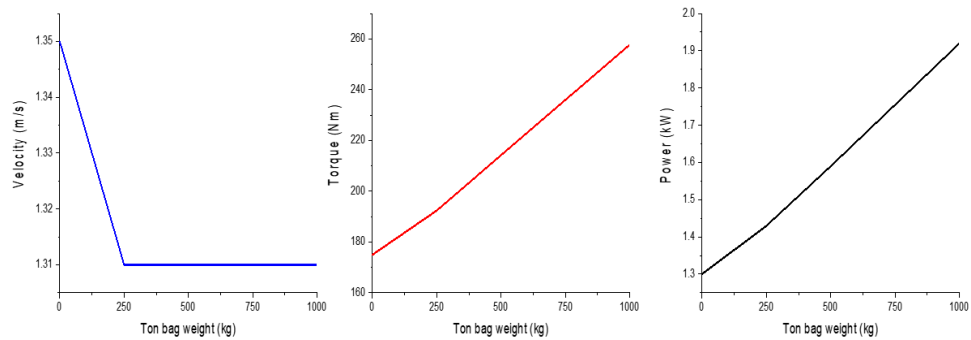


Fig. 4. Simulation results of power characteristics of the self-propelled two-row radish harvester driving platform according to collector load

Table 2. Table of simulation results of the self-propelled two-row radish harvester driving platform according to collector load

Each weight load	Item	Velocity (m/s)	Torque (Nm)	Power (kW)
0 kg	Max.	1.58	272	1.98
	Avg.	1.35	174.97	1.30
	Std.	0.28	27.84	0.26
250 kg	Max.	1.54	297.58	2.16
	Avg.	1.31	192.40	1.43
	Std.	0.28	30.41	0.29
500 kg	Max.	1.55	332.53	2.41
	Avg.	1.31	214.23	1.59
	Std.	0.29	34.38	0.34
1,000 kg	Max.	1.55	402.61	2.89
	Avg.	1.31	257.78	1.92
	Std.	0.30	42.55	0.42

15.3% 증가하여 272 Nm에서 313.35 Nm로 증가하였고, 소요 동력은 약 19.2% 증가하여 1.98 kW에서 약 2.36 kW로 증가하였다. 250 kg에서 500 kg으로 증가할 때, 역시 100% 증가에 해당하며, 속도는 여전히 거의 변화가 없으나, 토크는 약 17.5% 증가하여 313.35 Nm에서 약 368.88 Nm로 증가하였고, 소요 동력은 약 17.5% 증가하여 2.36 kW에서 약 2.77 kW로 증가하였다. 수집부의 하중이 500 kg에서 1,000 kg으로 증가할 때, 이는 100% 증가에 해당하며, 이 시점에서도 속도는 변하지 않았으나, 토크는 약 21% 증가하여 368.88 Nm에서 약 446.94 Nm로 증가하였고, 소요 동력은 약 30.2% 증가하여 2.77 kW에서 약 3.61 kW로 증가하였다.

Conclusion

본 연구에서는 자주식 두 줄 무 수확기의 수집부의 하중에 따른 주행부 시뮬레이션 모델을 개발하고, 이를 통해 주행 성능을 분석하였다. 최근 무 소비량의 지속적인 증가와 수확 작업의 기계화 필요성에 따라, 본 연구는 주행부의 최적화를 목표로 하였다. 시뮬레이션 모델은 AMESim 소프트웨어를 활용하여 설계되었으며, 다양한 수집부 하중 조건 0 kg, 250 kg, 500 kg, 1,000 kg에서의 주행 성능을 평가하였다. 주행 속도는 수집부 하중이 증가하더라도 최대 속도 1.58 m/s에서 1.55 m/s로 일정하게 유지되었으며 이는 주행 부하에 대한 시스템의 안정성을 나타낸다. 그러나 토크와 소요 동력은 수집부 하중에 따라 증가하여, 각각 최대 402.61 Nm와 2.89 kW로 나타났다. 특히, 0 kg에서 1,000 kg으로의 하중 증가에 따라 토크는 약 130.61 Nm, 소요 동력은 0.91 kW 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 수집부의 하중이 주행 성능에 미치는 영향을 보여주며 향후 자주식 무 수확기의 설계 및 운영에 있어 중요한 기초 자료로 활용될 수 있다.

Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 친환경동력원적용농업기계기술개발사업(322045-04) 및 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(114051-3)

References

- Ali M, Lee YS, Chowdhury M, Khan NA, Rasool KM, Kabir MSN, Lee DH, Chung SO. 2021. Analysis of Driving Stability and Vibration of a 20-kW Self-Propelled 1-Row Chinese Cabbage Harvester. *Journal of Biosystems Engineering* 46:48-59
- Cho YJ, Woo SY, Song SH, Hong HG, Yun HY, Oh JS, Kim JS, Kim DW, Seo KH, Kim DH. 2020. A Study on Modular Agricultural Robotic Platform for Upland. *Journal of Korea Robotics Society* 15(2): 124-130. [in Korean]
- Jeon HH, Baek SM, Baek SY, Hong YS, Kim TJ, Choi Y, Kim YK, Lee SH, Kim YJ. 2023. Development and Validation of Simulation Model for Traction Power and Driving Torque Prediction of Upland Multipurpose Platform. *Journal of Drive and Control*
- Kim WS, Siddique MAA, Kim YJ, Jung YJ, Baek SM, Baek SY, Kim YS, Lim RG. 2022. Simulation of the Rollover Angle of a Self-Propelled Radish Harvester for Different Load Conditions. *Applied Sciences*
- Kim TJ, Jeon HH, Siddique MMA, Choi JY, Kim YJ. 2023. Development and performance analysis of a crawler-based driving platform for upland farming. *Journal of Drive and Control* 20(6):100-106. [in Korean]

- KOSTAT. 2018. Autumn Chinese Cabbage and Radish Cultivation Area Survey Results in 2018. Accessed in https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301080700&bid=228&act=view&list_no=372170 on 22 June 2024. [in Korean]
- KOSTAT. 2021. Farmer population by age group and gender. Accessed in https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1AG20202&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=MT_CTITLE_m_001_002&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE on 22 June 2024. [in Korean]
- KOSTAT. 2023. Autumn Chinese Cabbage and Radish Cultivation Area Survey Results in 2023. Accessed in https://www.kostat.go.kr/board.es?mid=a10301080700&bid=228&act=view&list_no=428570 on 22 June 2024. [in Korean]
- Lee HN, Kim YJ. 2023. Development of a multi-purpose driving platform for Radish and Chinese cabbage harvester. *Journal of Drive and Control* 20(3):35-41. [in Korean]
- NIHHS. 2022. Annual per person consumption of vegetables. Accessed in https://www.nihhs.go.kr/farmer/statistics/statistics.do?t_cd=0202 on 24 June 2024. [in Korean]
- Siddique MAA, Kim WS, Kim YS, Kim TJ, Choi CH, Lee HJ, Chung SO, Kim YJ. 2020. Effects of Temperatures and Viscosity of the Hydraulic Oils on the Proportional Valve for a Rice Transplanter Based on PID Control Algorithm. *Agriculture* 10:73.
- Sohn JH, Lee CH, Kim YJ, Kim SS. 2021. Evaluation of Path Tracking Performance of a Self-driving Tracked Vehicle. *The Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers* 45(12):1167-1176. [in Korean]
- Xiao M, Zhao Y, Wang H, Xu X, Bartos P, Zhu Y. 2024. Design and Test of Hydraulic Driving System for Undercarriage of Paddy Field Weeder. *Agriculture* 14(4):595