

배추 농업 기계화를 위한 자주식 수집기 동력부 개발 연구

정다혜*,**, 손진관*, 박옥란*, 임준성*,***, 신목정*,****, 강현수*, 윤민우*

*현대농기계 기업부설연구소

**충남대학교 스마트농업기계시스템학과

***순천대학교 융합바이오시스템기계공학과

****경희대학교 경영학과

e-mail:son007005@naver.com

A Study on the Development of the Power Unit for a Self-Propelled Chinese Cabbage Harvester

Dahye Jeong*,**, Jinkwan Son*, Okran Park*, Junsung Lim*,***, Mukjeong Shin*,****, Hyunsoo Kang*, Minwoo Yoon*

*Hyundai Agricultural Machinery R&D Institute, Iksan, Korea

**Dept. of Smart Agricultural Systems Mechanical Engineering, Chungnam Univ., Daejeon, Korea

***Dept. of Convergence Bio-Systems Mechanical Engineering, Sunchon Univ., Sunchon, Korea

****School of Management, Kyunghee Univ., Seoul, Korea

요약

한국 농촌은 인구 감소와 고령화로 인한 노동력 부족이 심화되고 있으며, 이에 따라 배추 수확 공정의 기계화 필요성이 증대되고 있다. 본 연구는 자주식 배추 수집기의 동력부 개발 과정에서 2023년도 1단계 가솔린 엔진 모델과 2024년도 2단계 디젤 엔진 모델을 비교·분석하였다. 2023년 가솔린 모델은 30마력 엔진을 적용하여 경량성과 단순성을 확보했으나, 적재 조건에서 출력 부족과 경사지 주행 안정성 저하로 실용화에 한계가 드러났다. 반면 2024년 디젤 모델은 47마력 엔진과 HST 무단변속기를 적용하여 출력과 토크가 크게 향상되었고, 평지 및 경사지 주행 시험에서 안정성을 확보했으며 전도각 30° 시험을 통과하였다. 두 모델의 성능 비교 결과, 디젤 엔진 기반 설계는 가솔린 대비 작업 효율성과 안정성을 개선해 실용화 가능성이 높음을 확인하였다. 그러나 총중량 증기기에 따른 운송 제약과 온실가스 배출, 진동·소음 문제는 장기적 한계로 지적된다. 따라서 향후 연구는 경량화 기술 적용과 함께 친환경 에너지 기반(가솔린 저진동 설계, 전기 동력 전환 등)의 발전 방향을 모색해야 할 것이다. 본 연구는 배추 농업의 기계화 실현과 더불어 지속 가능한 농업과 탄소중립 목표 달성을 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

한국 농촌은 인구 감소와 고령화가 심화되고 있으며, 2021년 기준 농가 인구의 46.8%가 65세 이상으로 나타났다[1]. 이러한 인력 구조 변화는 농업 노동력 부족을 심화시키고, 농작업의 기계화 수요를 급격히 증가시키고 있다.

배추는 농림축산식품부 지정 10대 주요 작물 중 하나이며, 1인당 연간 소비량이 약 37kg으로 채소류 중 가장 높은 소비 비중(30% 이상)을 차지한다[2]. 그러나 최근 10년간 배추 재배면적은 가격 변동에 따라 크게 증감하며, 이는 수급 불안정을 야기한다. 또한 농촌 일용 노동임금은 2021년 대비 남성 9.4%, 여성 14.5% 상승하여 배추 농가의 생산비 부담을 가중시키고 있다[4]. 실제로 2021년 가을배추 생산비의 55.8%가 노동비로, 생산비 절감을 위한 기계화는 시급하다[5].

그러나 배추 재배의 전체 기계화율은 55.3%로 밭작물 평균(63.3%)보다 낮으며[6], 특히 파종·정식 및 수확 단계의 기계화율은 0%에 불과하다[7]. 이는 뿌리 절단과 외엽 제거 과정에서 발생하는 손상 문제로 인해 기계 수확이 어려웠기 때문이다. 현재 농가에서는 인력으로 뿌리를 절단하고 외엽을 제거하며 망에 수

집하는 방식이 보편적이어서 노동 강도가 높은 것이 현실이다.

또한 국내 배추 재배는 소규모 농가 중심(1.0ha 미만 농가 비율 85% 이상)으로 이루어지고 있으며[8], 트랙터 부착형 대형 수확기의 활용이 현실적으로 어렵다. 따라서 선회반경이 작고 경사지 재배지에서도 안정적인 작업이 가능한 자주식 수집기 개발이 필요하다.

더불어 중국산 김치 수입이 2022년 기준 전년 대비 9.5% 증가하여 26만 톤 이상을 기록하며 가격 경쟁력이 국내산보다 월등히 높다[9]. 이는 국내 배추 농가의 소득 감소와 재배 면적 축소를 유발할 수 있어, 생산비 절감을 통한 경쟁력 확보가 절실하다. 따라서 배추 농업의 노동비 절감, 생산비 절감, 안정적 수급 및 가격 경쟁력 확보를 위해 자주식 배추 수집기의 개발은 필수적이다고 할 수 있다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2023년도와 2024년도에 수행된 자주식 배추 수집기 개발 연구 중 동력부의 설계 변화와 주행 성능을 비교·분석하였다.

2023년에는 30마력급 가솔린 엔진을 탑재하여 경량화와 단순화를 중점으로 설계하였으나, 실제 시험에서 출력 부족으로 인해 적재 상태 주행 불안정, 굴취·이송 작업 시 토크 부족이 확인되었다. 이에 따라 2024년에는 47마력 디젤 엔진(LS S4QL, 4기통, 배기량 2,505cc)을 적용하여 출력과 내구성을 보강하고, HST 무단변속기 및 크롤러 접지 길이 확대를 통해 주행 안정성을 개선하였다.

2023년과 2024년도에 실시한 주요 분석항목은 동력원 사양(출력, 배기량, 연료 종류), 차체 규격 및 중량(기체 크기, 총중량, 설계 변경 사항), 주행 성능(접지 길이, 변속 방식, 안정성 시험, 전도각, 경사지 주행) 등을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

자주식 배추 수집기의 동력부는 표 1에 제시한 바와 같이 2023년도 30마력 가솔린 엔진 기반 설계에서 2024년도 47마력 디젤 엔진 기반 설계로 적용되었다.

[표 1] 가솔린과 디젤 적용 자주식 배추 수집기 동력부 재원

구분	2023년도 시험	2024년도 시험
엔진 형식	30 HP, 3,600 rpm	47 HP, 4기통, 2,505 cc
연료	Gasoline	Diesel
총중량	약 2,000 kg	약 3,000 kg
차체 규격	4,300×2,000×2,600 mm	5,000×2,200×2,600 mm
접지 길이	1.5~1.7 m	1.8~2.0 m
변속 방식	전진 3단, 후진 1단	HST 무단변속

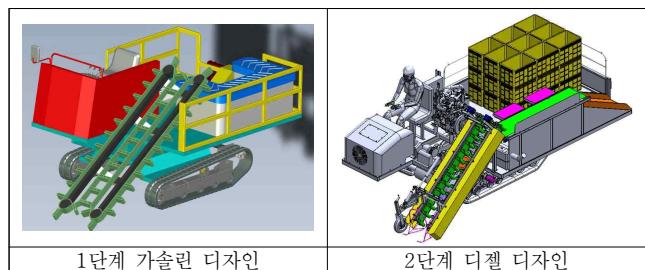
2023년도 자주식 배추 수집기에는 30마력 가솔린 엔진이 적용되었으며, 총중량은 약 2,000kg이었다. 차체 규격은 4,300×2,000×2,600mm 범위로 설계되었고, 변속 방식은 전진 3단·후진 1단 구조였다. 접지 길이는 약 1.5~1.7m로 구상되었다. 반면 2024년도에는 **47마력 디젤 엔진(4기통, 2,505cc)**이 적용되어 출력이 향상되었으며, 총중량은 약 3,000kg으로 증가하였다. 차체 규격은 5,000×2,200×2,600mm로 확장되었고, 접지 길이는 약 1.8~2.0m로 늘어났다. 변속 방식은 HST 무단변속기가 적용되었다.

[표 2] 가솔린과 디젤 적용 자주식 배추 수집기 동력부 비교

구분	2023년도 시험	2024년도 시험
평지 주행	무적재는 양호 / 적재 시 출력 부족	무·유적재 모두 원활
경사지 주행	15° 이상 진입 시 불안정	30° 경사지 시험 통과
전도각	25° 수준 불안정	30° 안정 통과
변속	전진 3단/후진 1단 (단차 큼)	HST 무단변속 (부드러운 조작)
종합 평가	출력 부족, 토크 한계	출력·안정성·작업 효율 향상
주행 속도	0.21 m/s 이내	0.21 m/s 이내
안정성	경사지 진입 충돌 최소화 설계	전도각 30° 시험 통과, 안정성 강화

분석 결과는 표 2와 같으며, 2023년도 가솔린 모델은 경량성과 단순성을 장점으로 하였으나, 실제 포장 시험에서 출력 부족으로 인한 한계가 드러났다. 무적재 상태에서는 기본적인 주행이 가능했으나, 500kg 이상 적재 시 가속 성능이 저하되고, 경사지 진입 시 안정성이 떨어졌다. 또한 변속 방식이 전진 3단·후진 1단으로 단차가 커 작업 중 부드러운 속도 조절이 어렵다는 문제도 나타났다.

반면, 2024년도 디젤 모델은 출력이 57% 증가한 47마력 엔진을 적용함으로써 무·유적재 조건 모두에서 안정적인 주행이 가능했다. HST 무단변속기의 적용은 가속·감속의 부드러움을 제공하였고, 작업 중에도 속도 제어가 용이하였다. 크롤러 접지 길이 확대는 경사지 주행 안정성을 높였으며, 전도각 30° 시험을 통과함으로써 안전성이 확보되었다.



[그림 1] 가솔린과 디젤 적용 자주식 배추 수집기 디자인 변경

이러한 연구 결과는 가솔린 엔진의 출력과 토크가 자주식 배추 수집기의 실제 작업 조건을 충족시키기에 부족함을 입증한다. 반대로 디젤 엔진은 충분한 출력과 안정성을 확보하여 실용화 가능성을 크게 높였다. 특히 경사지 및 적재 조건에서의 주행 안정성 확보는 국내 소규모 경사지 배추 재배지에서 필수적 요소임을 확인할 수 있었다. 다만, 디젤 모델은 총중량이 증가하여 운송 및 상·하차 과정에서 제약이 발생할 수 있어, 차체 경량화 기술과에너지 효율성 분석이 보완될 필요가 있다고 판단하였다.

4. 결론 및 제언

한국 농촌의 고령화로 인한 노동력 부족은 배추 수확의 기계화 필요성을 가속화하고 있으며, 이에 따라 자주식 배추 수집기의 동력부 개발이 진행되었다.

1단계 모델은 30마력 가솔린 엔진을 적용해 경량성과 단순성을 확보했으나, 적재 시 출력 부족과 경사지 주행 안정성 저하, 변속 단차 문제로 실용화에 한계가 드러났다. 반면 2024년도 2단계 개선 모델은 47마력 디젤 엔진과 HST 무단변속기를 적용해 출력과 토크가 크게 향상되었고, 크롤러 접지 길이 확대와 차체 규격 보강으로 평지 및 경사지 주행 조건에서 안정성을 확보했으며 전도각 30° 시험까지 통과하였다. 이러한 결과는 가솔린 기반 설계가 실제 작업 조건을 충족하기 어렵다는 점을 보여주며, 디젤 기반 설계가 실용화 가능성을 높이는 대안임을 입증하였으나, 총중량 증가에 따른 운송 제약을 보완하기 위해 향후 경량화와 친환경 동력원 전환이 필요하다고 할 수 있다.

디젤 엔진의 적용은 출력과 안정성 면에서 확실한 개선 효과를 보였으나, 장기적으로는 한계가 존재한다. 국내외적으로 농업 분야에서도 탄소중립 정책이 강화되고 있으며, 온실가스 배출량 저감이 필수 과제로 대두되고 있다. 또한 디젤 엔진은 상대적으로 진동·소음 발생량이 크기 때문에 작업자의 피로도와 기계 부품의 내구성 저하 요인이 될 수 있다. 따라서 향후 자주식 배추 수집기는 가솔린 엔진 기반의 저진동·저소음 설계 또는 전기 동력 기반 친환경 모델로의 발전이 필요하다고 판단된다.

이러한 연구 결과는 작업 환경 개선과 더불어, 지속 가능한 농업과 탄소중립 실현을 위해 활용될 수 있다고 기대한다.

사사 : 연구는 2025년 농촌진흥청 현장맞춤형 농업기계고도화(R&D)사업 (과제번호 : RS-2023-00220513)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- [1] Statistics Korea, 2022, Farm Household Economy Survey: Farm Population and Aging Status in 2021. Sejong, Korea.
- [2] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2022, Major Agricultural and Food Statistics. Sejong, Korea.
- [3] Monthly Horticulture, 2022, Vegetable Consumption Trends: Cabbage Consumption Analysis. Seoul, Korea.
- [4] Statistics Korea, 2022, Daily Agricultural Labor Wage Survey Results. Sejong, Korea.
- [5] Rural Development Administration (RDA), 2022, Farm

Income Data Book: Open-field Autumn Cabbage Production Costs. Jeonju, Korea.

- [6] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2022, Report on Mechanization Rate of Upland Crops. Sejong, Korea.
- [7] National Institute of Agricultural Sciences, Korea National College of Agriculture and Fisheries, & Hyundai Agricultural Machinery, 2023, Annual Report on the Development of a Self-propelled Cabbage Harvester. Jeonju, Korea.
- [8] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2015, Survey on Farm Size Distribution: Cabbage-growing Farms. Sejong, Korea.
- [9] Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation (aT), 2023, Import Trends of Chinese Kimchi. Seoul, Korea.