

배추 수집기 효율 향상을 위한 수집부(적재부) 개발 연구

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

*현대농기계 기업부설연구소

**충남대학교 스마트농업기계시스템학과

***순천대학교 융합바이오시스템기계공학과

****경희대학교 경영학과

e-mail:son007005@naver.com

A Study on the Development of the Loading Section(Unit) to Improve the Efficiency of a Chinese Cabbage Harvester

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

*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

본 연구는 국내 배추 재배 현장의 고령화·여성화와 노동력 부족 문제를 해결하기 위해 자주식 수집기 개발을 단계적으로 추진하였다. 1단계 모델은 접이식 컨베이어와 톤백 적재 시스템을 적용하여 기본적인 수확·이송 기능을 확보하였으나, 인력이 배추를 직접 인발해야 하는 한계가 있었다. 2단계 모델은 굴취 가이드와 보조 롤러를 통해 기계가 배추를 자동 인발·이송할 수 있도록 개선하였으나, 컨테이너 박스 적재 과정에서 여전히 인력 투입이 요구되었다. 3단계 모델은 교체형 팔레트 시스템(톤백, 철망 팔레트, 벌크형 철재상자)을 도입함으로써 현장 여건과 물류 체계에 적합한 다양한 적재 방식을 제공하였다. 특히 대형 팔레트는 약 250~270포기를, 중형 팔레트는 150~210포기를 수용할 수 있어, 각각 1톤 및 5톤 차량 운송에 최적화된 효율성을 확보하였다. 이로써 산지 단거리 운송뿐만 아니라 장거리 물류까지 연계 가능한 수확기계 모델을 제시할 수 있었다. 종합적으로, 단계별 개발 과정을 통해 수확·수집·적재 공정의 기계화 수준이 점진적으로 향상되었으며, 최종적으로 3단계 모델은 실용화 가능성이 가장 높은 것으로 평가된다. 본 연구의 성과는 배추 농가의 노동력 절감과 생산비 절감, 나아가 가격 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대된다. 향후 연구에서는 배추 절단의 자동화, 로봇 기반의 상자 적재 및 포장 시스템 개발이 필요하다. 이러한 후속 기술이 보완된다면, 배추 수확 전 과정을 기계화하여 농업 노동력 문제 해결에 실질적으로 기여할 수 있고 더불어 지속 가능한 농업과 탄소중립 목표 달성을 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

한국의 농업은 고령화와 여성화가 심화되고 있으며, 농가 인구의 57%가 60세 이상으로 노동력 확보에 심각한 어려움을 겪고 있다[1]. 특히 노동 집약도가 높은 밭작물 중 배추는 피종·정식과 더불어 수확 공정의 기계화율이 0%에 머물고 있다고 평가받고 있어, 농가의 노동비 부담이 전체 생산비의 절반 이상을 차지하는 실정이다. 실제로 2021년 기준 가을배추 10a당 생산비는 2,862,779원으로, 이 중 노동비가 55.8%(1,596,588원)에 달해 노동력 절감이 곧 농가 소득 향상과 직결된다고 할 수 있다[2].

배추는 국민 1인당 연간 소비량이 약 37kg으로 전체 채소 중 가장 높은 비중을 차지하며, 연중 전국 각지에서 재배·출하되고 있다[3]. 그러나 기후와 공급 요인에 따른 가격 변동성이 크고, 가격이 급락할 경우 수확을 포기하는 사례까지 발생하는 등 안정적인 수급이 어려운 실정이다. 또한 값싼 중국산 김치 수입량이 지속적으로 증가하면서 국내산 배추의 가격 경쟁력은 점차 약화되고 있다[4]. 따라서 생산비 절감, 특히 수확·수집·적재 공정의

기계화는 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있다.

그러나 국내 배추 재배 여건은 평지만이 아니라 강원도 고랭지와 같이 경사지 재배 비중이 높아, 대형 수확기의 도입이 용이하지 않다[5]. 더불어 영농현장은 소규모·협소포장이 많아, 컴팩트하면서도 다양한 적재 시스템과 연동 가능한 자주식 수확기 개발이 필요하다. 기존 연구는 트랙터 부착형이나 보행식 수집기에 국한되어 있어 현장 적응성이 낮고, 적재 효율이 떨어지는 한계가 있었다.

이에 본 연구는 단계별 접근을 통해 배추 수확기의 실용화와 표준화를 추진하였다. 1단계에서는 접이식 컨베이어와 톤백 적재 시스템을 적용하여 기본적인 수확·이송 기능과 톤백 하차 기능을 확보하였다. 2단계에서는 자주식 수집 기능과 컨테이너 박스 적재부를 적용함으로써 작업 효율과 물류 연계성을 향상시켰다. 마지막으로 3단계에서는 용도별 팔레트(철망, 톤백, 벌크형 철재상자)를 교체할 수 있는 자주식 수집기를 개발하여, 산지 단거리 유통부터 집하 후 공장 및 저장고까지 이어지는 통합 물류 체계에 대응할 수 있도록 구상하였다.

이러한 연구추진 및 설계 구상은 산지·평지·경사지 등 다양한 영농 환경에 적합한 장비 적용을 가능하게 하며, 결과적으로 배추 농가의 노동력 절감, 생산비 절감, 가격 경쟁력 강화를 달성할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 배추 수확 작업의 기계화를 위하여 3단계에 걸친 자주식 수집기 개발을 수행하였다. 각 단계별 모델은 수집·이송부, 수확 방식, 적재부, 구동 방식, 필요 작업 인력 등을 달리하여 설계·제작하였으며, 기본 제원은 다음과 같다.

1단계 모델은 접이식 컨베이어(1·2차) 구조를 적용한 자주식 수집기로, 작업자가 배추를 인발하여 컨베이어에 투입하는 방식으로 설계하였다. 적재부는 톤백(side discharge, 자동 탈거 포함)으로 구성하였으며, 구동부는 약 30마력급 엔진과 자주식 크롤러를 적용하였다.

2단계 모델은 굴취 가이드와 보조 롤러를 추가하여 기계가 배추를 직접 인발·이송할 수 있도록 하였다. 적재부는 컨테이너 박스로 구성하였으며, 구동부는 동일하게 30마력급 엔진 기반 자주식 크롤러 시스템을 적용하였다.

3단계 모델은 2단계의 기본 구조를 유지하되, 적재부를 교체형 팔레트(철망, 톤백, 벌크형) 방식으로 설계하여 다양한 물류 체계에 대응할 수 있도록 하였다. 또한 구동부는 약 47마력급 엔진을 적용하여 적재부의 하중에 대응할 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 배추 수확기계의 단계별 개발을 통해 수집·이송부, 적재부, 구동부 등 주요 구성을 변화시키며 성능을 비교하였다. 각 단계별 모델의 기본 제원은 표 1에, 현장 실증을 통한 작업 성능은 표 2에 제시하였다.

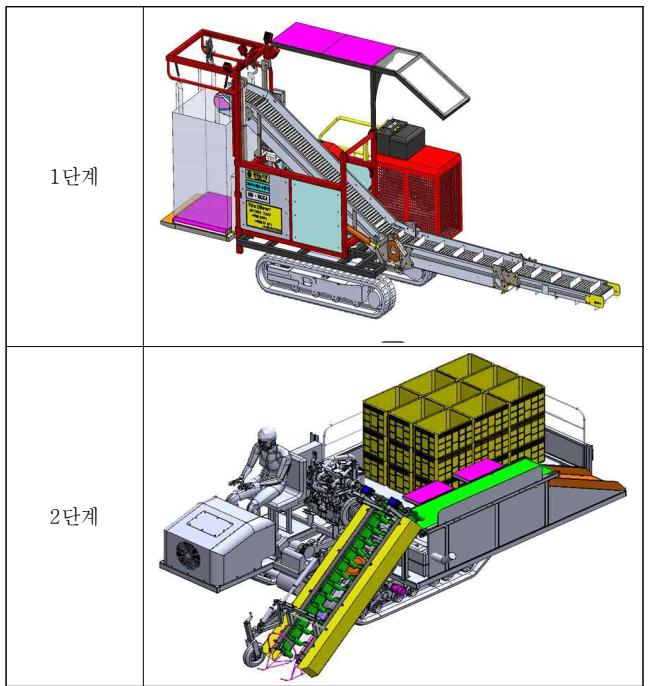
1단계 모델은 접이식 컨베이어를 기반으로 하여 배추 인발을 작업자가 직접 수행하는 방식이다. 이에 따라 수집·이송 공정에서 작업자의 노동 투입이 불가피하였으며, 수집 인력이 2명 이상 필요하였다. 그러나 톤백 적재부에 자동 탈거 기능을 포함시켜, 기존 인력 운반 대비 적재 효율은 향상되었다.

2단계 모델은 굴취 가이드와 보조 롤러를 적용함으로써 기계가 배추를 자동 인발·이송할 수 있도록 개선되었다. 이로 인해 별도의 인발 인력이 필요하지 않게 되었으며, 수확 공정의 자동화 수준이 크게 향상되었다. 다만, 적재부가 컨테이너 박스 방식으로 고정되어 있어, 현장에서 배추를 저장 상자에 옮겨 담는 과정이 시간적으로 지연되는 문제가 확인되었다. 이는 기계화된 인발·이송 기능에도 불구하고 전체 작업시간 단축 효과를 제한하는 요

인으로 작용하였다.

[표 1] 배추 수집기 효율 향상 모델 단계별 기본 제원

구분	1단계 모델	2단계 모델	3단계 모델
형식	자주식 수집기	자주식 수집기	자주식 수집기
수집-이송부	접이식 컨베이어 (1·2차)	굴취 가이드 + 보조 롤러 기계 수집	굴취 가이드 + 보조 롤러 기계 수집
수확 방식	작업자가 배추 인발 후 컨베이어 투입	인력 굴취 (배추 절단) 후 기계가 자동 인발·이송	인력 굴취 (배추 절단) 후 기계가 자동 인발·이송
적재부	톤백 (사이드 하차, 자동 탈거)	컨테이너 박스 적재	교체형 팔레트 (철망, 톤백, 벌크형)
구동 방식	자주식 크롤러 + 엔진 (약 30마력급)	자주식 크롤러 + 엔진 (약 30마력급)	자주식 크롤러 + 엔진 (약 47마력급)
작업 인력	운전자 수집 (인발) 적재	1 2 2	1 0 2



[그림 1] 배추 수집기 효율 향상 모델 단계별 기본 구상(1-2)

3단계 모델은 2단계 구조를 기반으로, 적재부를 교체형 팔레트(철망, 톤백, 벌크형)로 개선하였다. 이를 통해 작업 여건 및 물류 체계에 맞추어 다양한 적재 방식을 선택할 수 있었으며, 컨테이너 상자 작업에서 발생하던 시간 지연 문제가 완화되었다. 또한

엔진 출력을 47마력급으로 확장하여 증가된 적재 하중에도 안정적인 운행이 가능하였다. 따라서 3단계 모델은 전 단계 대비 가장 높은 적재 효율과 현장 적응성을 확보한 것으로 평가된다.

[표 2] 배추 수확기 효율 향상 모델 단계별 성능 평가

구분	1단계 모델	2단계 모델	3단계 모델
작업 소요시간 (분/10a)	약 68분	약 45~50분	약 30분
작업 효율	기존 인력 대비 개선, 그러나 보조 인력 필요	성능 개선, 인력 최소화	성능 동일, 적재능력 고도화
비고	이송만 기계화	박스 적재 과정 시간 지연	팔레트 교체 가능, 물류 대응력 향상

[표 3] 배추 수확기 효율 향상 모델 단계별 적재능력 평가

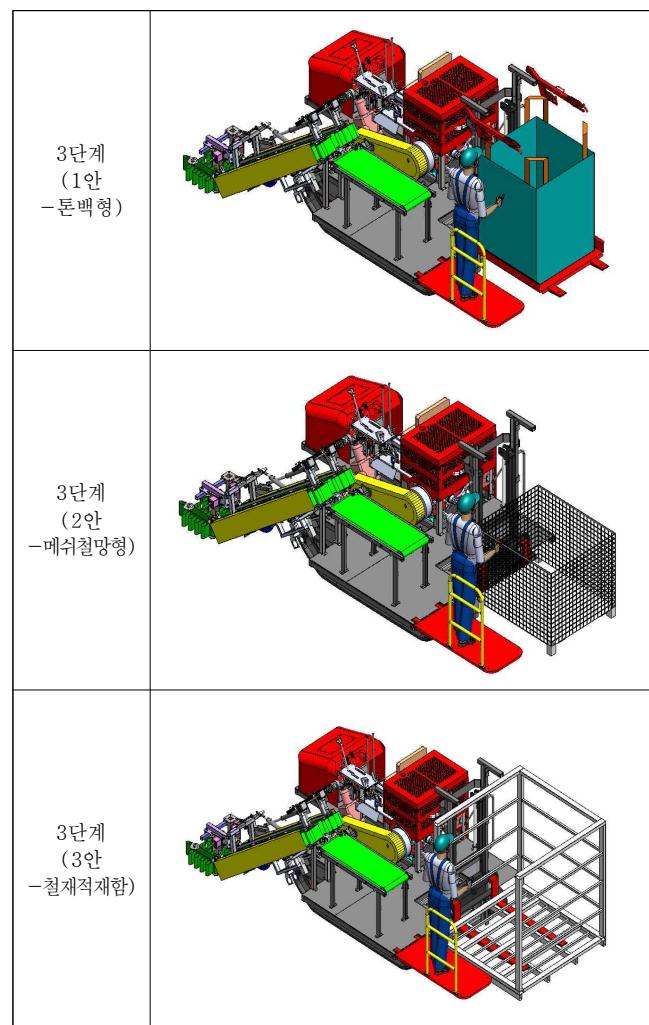
구분	적재 형식	적재용량 (배추 포기)	비고
1단계	톤백 (500kg)	80~90포기	접이식 컨베이어 투입, 사이드 하차
2단계	컨테이너 박스 (3×3×3 박스)	108포기 (박스당 4포기)	기계 자동 인발·이송, 인력 상자 적재
3-1단계	톤백 (500kg)	80~90포기	후작업 필수 (포장 및 선별)
3-2단계	철망 팔레트 (1100×1100m m)	80~90포기	후작업 필수 (포장 및 선별)
3-3단계	대형 팔레트 (1500×1500m m)	250~270포기	벌크형 대용량 (단거리 배추공장 이송용)
	중형 팔레트 (1100×1100m m)	150~210포기	벌크형 대용량 (장거리 배추공장 이송용)

본 연구에서 개발된 단계별 배추 수확기의 적재 능력을 비교한 결과, 1단계 모델은 톤백(500kg) 적재 방식을 적용하여 약 80~90포기의 배추를 수용할 수 있었다. 이 모델은 접이식 컨베이어와 사이드 하차 구조를 통해 기본적인 기계화 수집 기능을 확보하였으나, 여전히 작업자가 배추를 직접 인발하여 컨베이어에 투입해야 한다는 한계가 있었다.

2단계 모델은 굴취 가이드와 보조 롤러를 통해 기계가 직접 배추를 인발·이송할 수 있도록 개선되었으며, 컨테이너 박스를 이용해 약 108포기(박스당 4포기 × 27박스)를 적재할 수 있었다. 다만, 수확된 배추를 인력이 컨테이너 박스로 옮겨 담아야 하기

때문에 적재 과정에서 시간 소요가 증가하는 문제가 확인되었다.

3단계 모델은 교체형 팔레트 시스템을 적용하여 다양한 적재 방식을 지원하였다. 3-1단계 톤백(500kg)과 3-2단계 철망 팔레트(1100×1100mm)의 경우, 모두 약 80~90포기를 수용할 수 있었으나 수확 이후 별도의 포장 및 선별 작업이 필수적이었다. 반면, 3-3단계 모델은 대형 팔레트(1500×1500mm)와 중형 팔레트(1100×1100mm)를 도입하여 각각 약 250~270포기와 150~210포기의 대용량 적재가 가능하였다. 특히 대형 팔레트는 1톤 차량, 중형 팔레트는 5톤 차량에 적재가 적합한 규격으로 설계되어, 산지에서 가공공장이나 저장고까지의 물류 운송 효율을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 평가된다.



[그림 2] 배추 수확기 효율 향상 모델 단계별 기본 구상(3단계)

종합하면, 1단계와 2단계 모델은 기본적인 수집·이송 기능의 기계화를 실현하였으나 인력 투입이나 적재 효율 측면에서 한계가 있었다. 이에 비해 3단계 모델은 다양한 팔레트 규격을 도입함으로써 적재 능력과 물류 적합성을 크게 개선하였으며, 이는 배추 수확기계의 실용화 가능성과 높이는 핵심적인 성과로 판단된다.

4. 결론 및 제언

본 연구는 국내 배추 재배 현장의 고령화·여성화와 노동력 부족 문제를 해결하기 위해 자주식 수집기 개발을 단계적으로 추진하였다. 1단계 모델은 접이식 컨베이어와 톤백 적재 시스템을 적용하여 기본적인 수집·이송 기능을 확보하였으나, 인력이 배추를 직접 인발해야 하는 한계가 있었다. 2단계 모델은 굴취 가이드와 보조 롤러를 통해 기계가 배추를 자동 인발·이송할 수 있도록 개선하였으나, 컨테이너 박스 적재 과정에서 여전히 인력 투입이 요구되었다.

3단계 모델은 교체형 팔레트 시스템(톤백, 철망 팔레트, 벌크형 철재상자)을 도입함으로써 현장 여건과 물류 체계에 적합한 다양한 적재 방식을 제공하였다. 특히 대형 팔레트는 약 250~270포기를, 중형 팔레트는 150~210포기를 수용할 수 있어, 각각 1톤 및 5톤 차량 운송에 최적화된 효율성을 확보하였다. 이로써 산지 단거리 운송뿐만 아니라 장거리 물류까지 연계 가능한 수확기계 모델을 제시할 수 있었다.

종합적으로, 단계별 개발 과정을 통해 수확·수집·적재 공정의 기계화 수준이 점진적으로 향상되었으며, 최종적으로 3단계 모델은 실용화 가능성이 가장 높은 것으로 평가된다. 본 연구의 성과는 배추 농가의 노동력 절감과 생산비 절감, 나이가 가격 경쟁력 강화에 기여할 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 배추 절단의 자동화, 로봇 기반의 상자 적재 및 포장 시스템 개발이 필요하다. 이러한 후속 기술이 보완된다면, 배추 수확 전 과정을 기계화하여 농업 노동력 문제 해결에 실질적으로 기여할 수 있고 더불어 지속 가능한 농업과 탄소중립 목표 달성을 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사 : 연구는 2025년 농림축산식품부 밭농업기계화촉진기술 개발사업 (과제번호 : RS-2023-00231026)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- [1] 통계청, 「농가인구 및 고령화 통계」, 2021.
- [2] 농촌진흥청, 「농축산물 소득자료집」, 2021.
- [3] 월간원예, 「국내 채소류 소비 통계」, 2022.
- [4] 농식품수출정보(KATI), 「중국산 김치 수입 동향」, 2022.
- [5] 통계청, 「배추 재배면적 및 재배형태 통계」, 2022.