

RESEARCH ARTICLE

고구마 순 부착기용 스마트 다기능 알림 시스템의 성능 고도화 연구

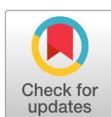
임훈^{1*}, 조진석², 조순호², 윤병운³, 방병주³¹한국건설기계연구원 지능제어연구실, ²(주)강농, ³신흥공업사 기업부설연구소

A study on improving the performance of a smart multi-functional notification system for sweet potato shoot attachment device

Hoon Lim^{1*}, Jin-Seok Cho², Soon-Ho Cho², Byong-Un Yun³, Byoung-Ju Bang³¹Intelligent Control Lab, Korea Construction Equipment Technology Institute, Gunsan, Republic of Korea²Kang Nong Company, Danyang, Republic of Korea³Research and Development Institute, Shinheung Industry Company, Hwaseong, Republic of Korea**Corresponding author: hoon.lim@koceti.re.kr*

Abstract

This study focused on resolving issues arising from a smart notification system developed to enhance the convenience and stability of a sweet potato shoot attachment machine. We identified issues arising from the existing system's sensing and notification methods and applied new sensing and improved notification methods to the improved system. And the improved system developed in this way was tested and its performance was compared and analyzed. Through this, we confirmed that the improved system outperforms the existing system in terms of performance. This paper proposes a development and verification method for an improved smart multi-functional notification system.



OPEN ACCESS

Journal of Agricultural Machinery Engineering
5(4):119-126

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.2025.5.4.2>

Received: November 19, 2025

Revised: December 02, 2025

Accepted: December 08, 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.

Keywords: Sweet Potato Shoot Attachment, Sensor Fusion, Multimodal Notification

Introduction

밭농업으로 재배하는 구근류 품종들 중 고구마는 대표적인 국내 주요 식량 작물이지만 노동 집약도가 높고, 정식 및 수확 작업의 기계화 보급율이 낮다. 특히 고구마 순 정식 작업은 반복적인 수작업이 많아 고령 인구와 여성 인력 중심으로 재편되고 있는 국내 농촌 현장에서 노동 강도가 높은 편에 속한다. 최근에는 이런 높은 노동 부담을 줄이기 위해 아래 Fig. 1과 같은 고구마 순 부착기 장비의 도입이 증가하고 있다(Lim et al., 2023, Kim et al., 2018).

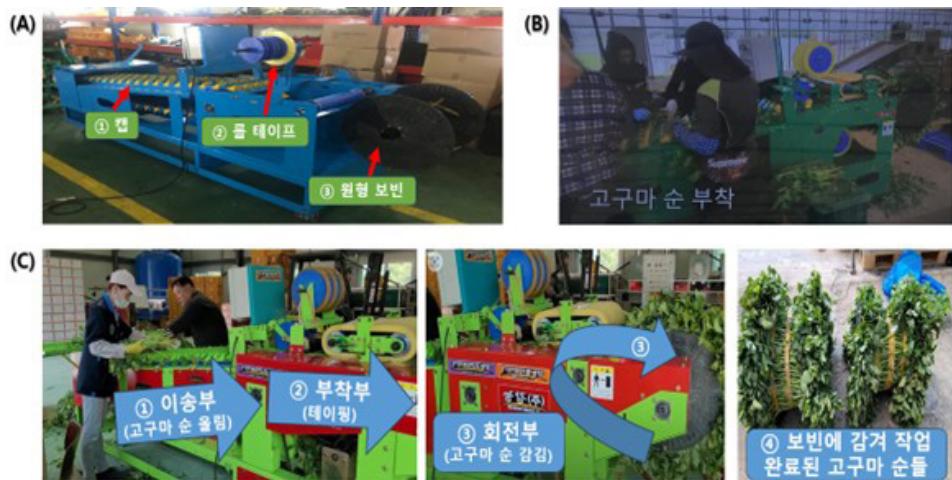


Fig. 1. (A) Appearance of the sweet potato shoot attachment equipment and (B) Sweet potato shoot attachment operation scene and (C) Order of operations

Fig. 1(A)는 고구마 순 부착기의 외형으로 장비에 고구마 순을 올리는 캡, 올려진 고구마 순을 테이핑 하는 롤 테이프, 테이핑 된 고구마 순을 감는 원형 보빈으로 크게 구성되며, Fig. 1(B)는 농민들이 고구마 순 부착기를 사용하여 순을 부착하는 작업 장면이고, Fig. 1(C)는 고구마 순 부착기의 작업 순서를 나타낸다. 이 농업용 장비의 핵심 기능은 컨베이어 벨트 방식으로 흘러가는 이송부의 캡들 위에 고구마 순들을 올려놓으면, 고구마 순들이 롤 테이프가 있는 부착부를 지나가며 자동 테이핑 되고, 이렇게 테이핑 된 고구마 순들은 장비 끝단의 회전부에서 원형 보빈에 둑글게 감기며 작업이 완료된다. 그리고 고구마 순들이 감긴 이 원형 보빈은 탈착하여 향후 고구마 정식기에 부착하여 사용된다(Choi et al., 2013, Kang et al., 2011, Choi et al., 2003).

이처럼 작업 현장에서 사용되고 있는 고구마 순 부착기 장비는 고구마 순의 테이핑과 보빈 감기라는 단순 자동화 기능만을 제공하고 있다.

그러므로 고구마 순을 테이핑 해주는 롤 테이프의 소진 시점은 사용자들이 캡들 위에 고구마 순들을 올려놓는 작업을 하며 육안으로 지속적으로 확인해야만 하고, 컨베이어 벨트 방식으로 흘러가는 이송부의 끝단에서 이러한 바쁜 작업 방식으로 인해 발생할 수 있는 작업자의 손 끼임 사고를 방지하기 위한 별도의 예방 시스템은 전무한 상황이다.

이에 사용자가 작업 시, 편의성과 안전성을 동시에 갖출 수 있는 고구마 순 부착기용 스마트 알림 시스템이 제안되었고, Fig. 2와 같이 초기 모델이 개발되었다.



Fig. 2. Early model of smart multi-functional notification system for sweet potato shoot attachment device

초기 모델인 기존 시스템은 광학 센서인 TCND5000 (Vishay Semiconductors, USA) 모델을 적용하여 테이프의 감김에 따른 남은 테이프 잔량 폭을 감지하여 테이프가 일정량 소진되었을 때, 사인타워를 이용해 점등하는 알림 방식으로 편의성을 갖추었고, 적외선 센서인 GP2Y0E02B (Sharp Microelectronics, Japan) 모델을 적용하여 일정 거리 내 객체가 감지되면 피에조 부저에서 경음하는 알림 방식으로 안전성을 갖추었다(Lim et al., 2025).

하지만 센서들의 감지 정밀도가 불안정하여 작업 생산성이 떨어지고, 경보 시스템이 단일 알림 방식으로 구성되어 시각이나 청각이 약한 고령 작업자에게 효과적인 알림을 제공하지 못하는 성능적 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 기존 시스템의 문제점들을 해결하고 이를 검증하여 사용자의 작업 편의성과 안전성을 한층 더 향상 시킨 “스마트 다기능 알림 시스템”的 성능 고도화 연구 내용에 대해 소개하고자 한다.

개선 시스템 설계 및 구현

개선 필요성

기존 스마트 알림 시스템은 광학 센서로 테이프의 남은 잔량 폭을 측정하고, 적외선(IR) 센서로 접근하는 객체를 감지하여 단일 방식으로 알림을 제공하였으나 실제 작업 현장에서 다음과 같은 문제점들이 발생되었다.

고구마 순 부착기는 작업 환경에 따라 실내 또는 실외에서 사용되므로 설치 장소는 다양한데, 일반적으로 농민들이 시각적으로 이송부의 캡 위에 올려놓아야 하는 크고 작은 고구마 순들이 육안으로 잘 보여야 되므로 주로 실내의 조명 주변이나 실외에서는 햇빛이 잘 비쳐야 한다. 이 때, 테이프 잔량 폭의 변화량을 감지하는 광학 센서가 시간과 장소에 따른 조도 변화와 빛 반사율 차이에 의해 감지 오차율이 증가하거나 감소하는 사례가 빈번하게 나타났다.

또한 농작물인 고구마 순들에 붙어있는 먼지나 이물질 등이 작업 중 대기 중으로 분산되며 객체 감지에 사용되는 적외선 센서의 오탐율이 증가했다.

그리고 편의 기능과 안전 기능 모두 단일 알림 방식이므로 작업하는 사용자가 종종 이를 인지하지 못하는 경우도 발생하였다.

즉, 기존에 개발한 고구마 순 부착기용 스마트 알림 시스템은 기능적으로는 작업 편의성과 안전성을 갖추었으나, 실제 현장에서 사용해 본 농민(사용자)들이 문제 제기한 센싱 방식의 복잡성, 먼지나 이물질 등이 많은 작업 환경에서의 감지 오작동 및 단일 알림 방식 등에 대한 개선 필요성이 나타났다.

성능 고도화 기술 적용 방안 제시

이러한 기존 시스템에서 발생되는 여러 문제점들을 해결하기 위해 시스템의 개선을 통한 성능 고도화가 필수적이었다.

첫 번째로 작업 환경에 따라 인식율이 변화하는 광학 센서로 매번 복잡한 알고리즘 보정이나 교정을 할 수 없으므로, 대신 테이프 장착 부위에 사용량에 따라 테이프 폭이 줄어들면 아래로 기울어지는 금속성 걸쇠 기구부를 제작하고, 금속성 걸쇠가 아래로 기울면 이를 감지하는 각주형 유도 근접 센서를 사용함으로써 주변 빛에 관계없이 테이프의 교체 시기를 즉각적으로 감지 가능하도록 센싱 방식을 단순화했다.

두 번째로 작업 시, 고구마 순들이 이송부 캡에 놓여지며 고구마 순에 붙어있는 먼지나 이물질들이 대기 중이나 센서 주변으로 분산되며 적외선 센서의 감지 기능을 저하시키고 오작동율이 증가했는데, 기존 센서 대비 대기 중에 퍼진 먼지나 이물질에 강인한 레이저 TOF(Time-of-Flight) 방식의 거리 센서를 적용하여 감지 정밀도를 향상시키며 강인화했다.

세 번째로 단일 알림 방식으로 단순 경광 또는 경음 표시만이 아닌 다단 경음 및 경광 기능으로 변경한 다중 알림 방식으로 알림 성능을 높였다.

이렇게 기존 대비 센싱 방식의 단순화 및 강인화로 정밀도를 향상시키고, 멀티모달 경고 알림 방안을 개선 시스템에 적

용하여 구현함으로써, 감지 오탐지율의 감소 및 알림 방식의 다양성을 확보하며 문제점들을 해결할 수 있었다.

전체 시스템 구성도

본 개선 버전의 스마트 다기능 알림 시스템은 크게 제어부, 센서부, 알림부, 설정부, 전원부의 5개 모듈로 구성된다.

제어부는 32비트 ARM 코어 기반인 STM32F030C8T6 (STMicroelectronics, EU) MCU를 사용했으며, 전체 구동 제어 및 센서 신호 처리에 사용된다. 센서부는 크게 두 종류로 나뉘는데, 편의 기능을 담당하는 테이프 소진 감지용 센서로는 Proximity Sensor인 PSN30-15DN (Autonics, Republic of Korea) 모델을 사용하였고, 손 끼임 사고 방지를 위한 안전 기능을 담당하는 객체 감지용 센서로는 레이저 TOF(Time-of-Flight) 방식의 Distance Sensor인 VL53L0X (STMicroelectronics, EU) 모델을 사용했다. 사용자가 화면을 터치해서 센서값이나 특정 설정값을 확인하고 변경할 수 있는 설정부는 감압식 타입의 5인치 HMI LCD 터치 스크린인 NX8048T050 (Nextion, China) 모델을 적용하였다. 그리고 사용자에게 경고 알림을 주는 알림부는 두 종류로 경광 표시를 나타내는 DC 24V의 3단 사인타워 (한영넥스, Republic of Korea)와 경음 표시를 나타내는 압전 방식의 피에조 부저 (PZT Electronic, China)를 사용했다. 마지막으로 전원부는 AC-DC 컨버터를 바탕으로 설계 적용하였다.

아래 Fig. 3은 본 시스템의 아키텍처 구성도와 제작한 실물 외형을 나타낸다.

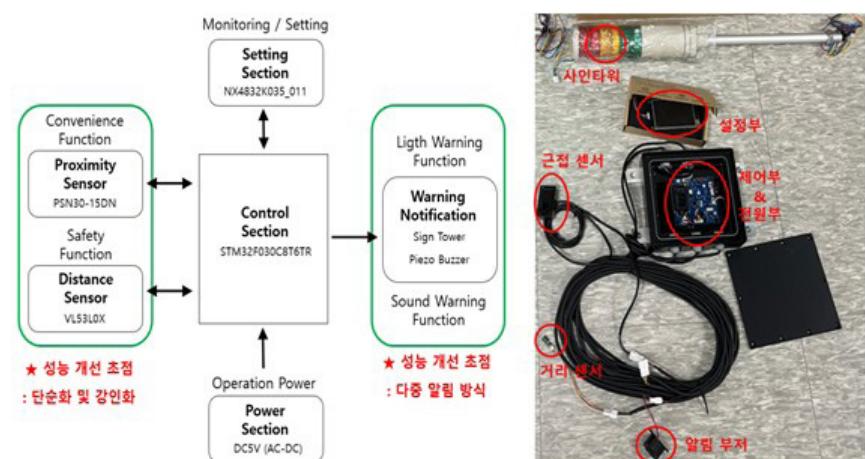


Fig. 3. Smart multi-functional notification system configuration diagram and appearance

그리고 Fig. 4는 편의 기능에서 감지 시 필요한 금속성 걸쇠 기구부의 외형으로 탄소강(Carbon Steel) 재질로 가공하여 롤 테이프 거치대 옆에 설치했다.



Fig. 4. Appearance of the metal clasp

성능 시험 및 적용 결과

본 장에서는 개선된 고구마 순 부착기용 스마트 다기능 알림 시스템의 성능에 대해 시험한 적용 결과에 대해 분석한 내용을 소개하고자 한다.

성능 시험

고구마 순 부착기 장비를 충북 단양의 실내 시험 현장에 설치하고, 개선 제작된 스마트 다기능 알림 시스템을 구성하는 5개 모듈들을 장비 몸체에 Fig. 5와 같이 장착하여 시험 환경을 구성한다.



Fig. 5. Improved model of smart multi-functional notification system for sweet potato shoot attachment device

스마트 다기능 알림 시스템의 주요 기능인 편의 알림 기능과 안전 알림 기능을 대상으로 성능 시험을 진행하는데, 시험 절차와 판정 기준은 다음과 같다.

편의 알림 기능은 근접 센서에 감지된 금속 기구부인 걸쇠를 인지하여 사인타워의 경광 및 경음 알림을 체크하여 정상 동작 여부를 판정한다.

안전 알림 기능은 손 끼임 사고가 자주 발생하는 이송부 끝단 위치에 설치한 거리 센서의 설정 거리인 15cm 내에 접근한 물체를 감지하여 경음 및 경광 알림을 체크하여 정상 동작 여부를 판정한다.

먼저 편의 알림 기능인 롤 테이프 교체 시기 알림에 대한 성능을 검증하였다.

Fig. 6의 (A)는 정상 상태, (B)는 테이프 소진에 의해 걸쇠가 내려와 감지된 상태로 롤 테이프의 측면에 장착한 녹색의 걸쇠 형태 금속 기구부가 사용량에 따라 점점 내려오면서 감지 높이에 다다르면 근접 센서가 감지하고 그에 따라 사인타워 와 부저에서 경광 및 경음 알림을 주는 시험 모습이다.

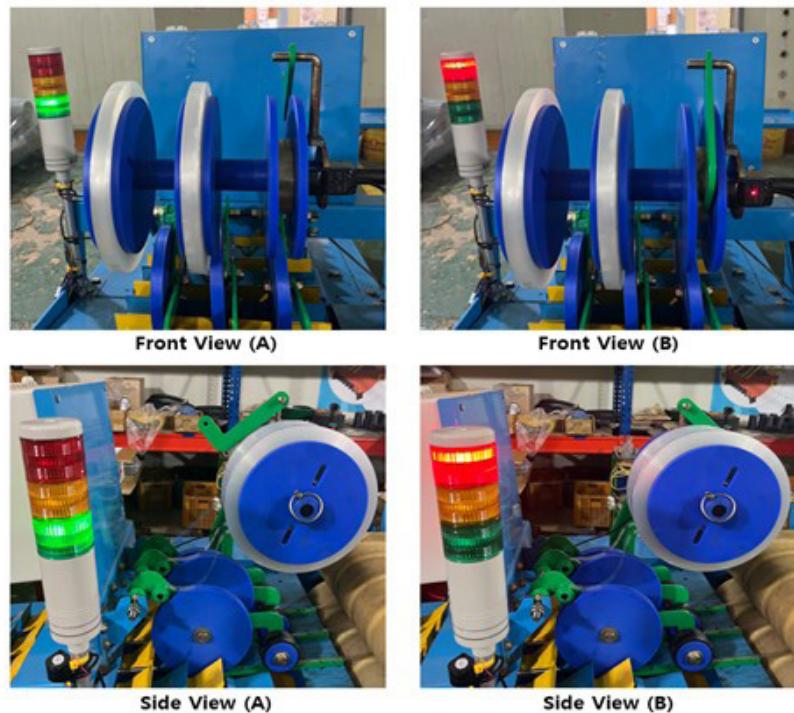


Fig. 6. Notification function for roll tape replacement (A: Normal, B: Detected)

그리고 안전 알림 기능인 작업 구역 위험 알림에 대한 성능을 검증하였다.

Fig. 7은 끼임 사고가 자주 발생하는 이송부의 끝단 지점에 거리 센서를 장착하고 객체인 손이 위험 거리인 15cm 내 접근하면 이를 감지하고 그에 따라 부저와 사인타워에서 경음 및 경광 알림을 주는 시험 모습이다.



Fig. 7. Hand entrapment alert test in various locations

지금까지의 내용을 바탕으로 편의 기능과 안전 기능에서 기존 시스템 대비 개선 시스템의 차이점을 Table 1에서 비교 분석하며 성능이 향상된 부분을 설명하고 있다.

Table 1. Comparison between the existing system and the improved system

| 센서 교체 성능 비교표 | 기존 시스템 | 개선 시스템 | 개선 효과 |
|---------------------------------|-------------|--|----------------------------|
| 편의 기능 (Convenience Function) | 센서 타입 | TCND5000 (광학 센서) | PSN30-15DN (근접 센서) |
| | 감지 방식 단점 | 테이프 잔량 폭 감지 주변광 변화에 따른 감지 오 차율 증가 | 금속 기구부(걸쇠) 감지 기구부 별도 설치 |
| 안전 기능 (Safety Function) | 센서 타입 | GP2Y0E02B (IR 센서) | VL53L0X (TOF 센서) |
| | 감지 방식 단점 | 적외선으로 객체 감지 먼지나 이물질 등으로 인한 감지 오동작 증가 | 레이저로 객체 감지 센서 비용 상승 |

적용 결과

위에서 비교 분석하고 설명한 Table 1의 내용처럼 기존 시스템에서 나타난 문제점들을 해결하기 위해 개선 시스템에서 센서 감지 방식 자체를 모두 새롭게 변경하였고 적용 결과를 확인하였다.

편의 알림 기능에 대한 시험 결과, 테이프 사용량에 따라 걸쇠 형태의 금속 기구부가 일정 위치에 있을 때는 정상 상태의 녹색 불빛, 교체를 해야 되는 감지 위치로 내려오면 알림 상태의 적색 불빛으로 경광 및 경음 알림하는 것을 확인하며 정상 동작하는 것을 검증하였다.

안전 알림 기능에 대한 시험 결과, 이송부 끝단 지점에 설치된 거리 센서에서 설정된 위험 거리 값인 15cm 내로 다가오는 손을 감지하고 피에조 부저에서 경음 및 사인타워에서 적색 불빛으로 경광 알림하는 것을 확인하며 정상 동작하는 것을 검증하였다.

이상과 같이 고구마 순 부착기에 실제로 부착한 개선된 스마트 다기능 알림 시스템의 성능 목표인 편의 알림 기능과 안전 알림 기능이 모두 정상적으로 동작하고 구현되는 것을 확인하며 성능 실험 검증을 성공적으로 마무리하였다.

Conclusion

본 논문에서 제안한 스마트 다기능 알림 시스템은 기존 시스템에서 나타났던 성능적 한계를 보완하고, 실제 현장에 적용 가능하도록 사용자 중심 설계가 반영되었다.

이를 위해 기존 시스템의 센싱 방식을 유지하며 알고리즘이나 프로그램을 수정 보완하는 방식이 아닌 센싱 방식 자체를 완전히 변경해야 된다는 결론에 도달하였고, 시스템을 개선시켰다. 그리고 이러한 연구 접근 방식을 통해 단순하고 즉각적 감지 형태의 테이프 소진 측정, 강인하고 향상된 손 끼임 방지 경고, 멀티모달 알림 체계 등을 통해 실험에서 높은 만족도와 신뢰성을 확인하였다. 또한 해당 시스템은 고구마를 재배하는 농민들이 실제 사용하며, 알림 기능의 다양성 및 정확도, 사용자 만족도 등의 정성적 측면에서도 기존 시스템 대비 우수한 성능을 보였다.

이에 본 연구는 주요 작업 인력이 여성화되고 고령화된 농촌 환경에서의 스마트 농기계 시스템이 현실적으로 적용 가능한지를 보여주는 하나의 대표적 사례로서, 향후 고구마 순 부착기와 같은 농기계 관련 자동화 기술 개발의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

그리고 향후 연구에서는 IoT 기반의 원격 제어 및 모니터링 시스템 구현 및 AI 기반의 사용자 동작 패턴 학습을 통한 알

림의 최적화와 고장 예측(Predictive Maintenance) 기능의 추가도 고려하고 있다. 이러한 성능적 확장을 통해 고구마 외에 감자와 마늘 등 타작물 부착기 시스템으로의 기술적 확대도 진행해보려 한다.

Acknowledgements

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(밭농업 기계화 촉진기술개발사업)의 지원을 받아 연구되었음 (RS-2023-00235959)

References

- Lim H, Cho JS, Cho SH, Yun BU, Bang BJ. 2025. Development of a smart multi-function notification system for sweet potato shoot attachment machine to improve work convenience and safety. The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. Vol. 74. No. 1:213-219. <https://doi.org/10.5370/KIEE.2025.74.1.213>
- Lim H, Cho JS, Cho SH, Yun BU, Bang BJ. 2023. A study on the smart multi-functional notification system technology for agricultural machinery considering convenience and safety. Information and Control System Conf. pp.128-129.
- Kim HS, Lee CJ, Kim SE, Ji CY, Kim ST, Kim JS, Kim SY, Kwak SS. 2018. Current status on global sweet potato cultivation and its prior tasks of mass production. Journal of Plant Biotechnology. Vol. 45. No. 3:190-195. Doi:10.5010/JPB/2018.45.3.190
- Choi Y. 2013. Development of integrated mechanization system for sweet potato production. Rural Development Administration Report(PJ009400). pp.1-69.
- Kang SI, Yoo SN, Choi Y, Kim YJ. 2011. Development of a vine crusher for harvesting sweet potato. Journal of Biosystems Eng. Vol. 36. No. 1:9-14. Doi:10.5307/JBE/2011.36.1.9
- Choi Y, Kim YK, Hong JT, Jun HJ, Kim JD, Yoo SN. 2003. Development of digging type sweet potato harvester. Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Summer Annual Conf. pp.181-186.