

시설온실 생산성 향상을 위한 이송로봇의 토마토 적재 트레이 타탕성 확인과 과일상자 상하차 기구 제작에 관한 연구

김만중¹, 유범상², 김경철^{3*}

¹전북대학교 기계시스템공학과, ²전북대학교 자동차 신기술 연구센터, ³농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과

Study on the validation of the tomato loading tray of the transfer robot for improving the productivity of the greenhouse and the production of the fruit box loading and unloading mechanism

Man-Jung Kim¹, Beom-Sahng Ryuh², Kyoung-chul Kim^{3*}

¹Mechanical Systems Engineering, Chonbuk National University

²Automotive New Technology Research Center, Chonbuk National University

³Division of Smart Farm Development, National Academy of Agricultural Science, Rural Development
Administration, Jeonju, Korea

요약 본 논문은 시설온실에서 이송로봇을 사용할시 생산성 향상을 위한 토마토 트레이 필요 여부와 과일상자 상하차 기구에 관한 연구이다. 기존 연구한 토마토 경도측정 값을 토대로 토마토가 상자에서 최대 20kg의 하중을 받는다고 하였을 때 토마토 윗면의 30%가 접촉한다고 하면 23.6(g/mm²)이상의 압력을 버텨야 한다. 측정결과 토마토는 최소 46(g/mm²) 이상의 압력을 버틸 수 있음으로 별도의 적재 트레이가 없어도 수확이나 이송 시 문제가 없음을 알 수 있었다. 과일상자 상하차 기구는 알루미늄 프로파일을 사용하여 최대한 경량화 하였으며, 이송로봇과 이송로봇에 적재되는 과일상자의 크기를 기준으로 충분히 작동 할 수 있도록 설계를 진행 하였다. 상자를 밀어주는 구동부 부분과 상자를 받고 올려주는 테이블 부분으로 나누어 제작 하였으며, 구동부는 2개의 모터를 사용하여 2단으로 작동하여 이송로봇이 움직이지 않고 한 위치에서 상, 하차를 모두 진행 할 수 있도록 제작 하였다. 또한 실험을 통하여 상하차기구의 동작 시간과 동작을 시험한 결과 동작시간은 평균 62.25S로 측정 되었고, 상차 시 상자가 걸리는 문제점을 발견 하였으나 테이블에 롤러를 추가하여 해결 하였다. 본 연구를 통하여 시설 온실에서 이송로봇 이용에 도움을 주었으며 과일 상하차 기구를 통해 생산성을 높이는데 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다.

Abstract This paper studies whether tomato trays are needed for productivity improvement and presents a fruit box loading and unloading mechanism of a transfer robot in a facility greenhouse. Based on the tomato hardness value studied in the past, when a tomato receives a maximum load of 20 kg from a box, and if 30% of the top surface of the tomato is in contact, it must withstand a pressure of 23.6(g/mm²) or more. Based on the measurement result, it was found that there was no problem during harvest or transport even without a separate loading tray, as tomatoes can withstand a pressure of at least 46(g/mm²) or more. The fruit box loading and unloading mechanisms were made as lightweight as possible by using an aluminum profile. It was designed to operate sufficiently based on the transfer robot and the size of the fruit box loaded on the transfer robot. It was manufactured by dividing the driving part that pushes the box and the table part that receives and raises the box. In addition, the problems of the loading and unloading mechanism were identified and solved by conducting experiments. This study found that it is helpful to use a transfer robot in the facility greenhouse, and it is expected to increase productivity through the fruit loading and unloading mechanism.

Keywords : Automation, Facility Greenhouse, Smart Farm, Tomato Hardness, Transport Robot

본 논문은 농림축산식품연구개발사업(기관과제번호 : 320086100HD020)의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyoung-chul Kim(Division of Smart Farm Development, National Academy of Agricultural Science)
email: kkcsmole@korea.kr

Received August 31, 2021

Revised September 23, 2021

Accepted October 1, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

기술의 발전에 따라 스마트 팜, 농업용 로봇 등은 우리의 일상 속에 들어와 있으며, 연구개발 또한 지속적으로 진행되고 있다. 스마트 팜에서의 로봇은 방제, 이송, 수확 등 농업전반에 걸쳐서 진행되고 있으며, 이에 따른 기초자료의 필요성 또한 증대되고 있다[1].

과일을 수확하는 작업은 수확 > 이송 > 선별의 과정을 통해 진행 된다. 현재 수확 후 선별장으로 이송은 수확 카트 등을 사용하여 이송하고 있으나, 한 번에 옮길 수 있는 양이 많지 않고 선별장까지의 거리가 먼 경우 왕복하는 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 현재 개발된 이송로봇은 Fig. 1과 같이 물류, 택배 등에 관한 연구가 대부분이며, 농업용 이송로봇의 경우 김종실 등의 'LiDAR 센서 활용 객체 인식기술이 적용된 농업용 자율주행 이송 로봇 개발' [2], 김응찬등의 'RGB-D 센서와 딥러닝을 이용한 스마트온실 내 농작업자의 실시간 인식 및 거리 측정기술 개발' [3] 과 같이 이송로봇의 동작에 관련한 연구만 진행되고 있다. 해외 Bogaerts社의 경우 Fig. 2와 같이 이송로봇과 상하차 기구를 같이 판매하고 있으나, 크기 및 가격 면에서 국내 농가에서 사용하기에 어려움이 있다.



Fig. 1. Transport robots



Fig. 2. Bogaerts transport robot system

이송로봇을 사용한다면 수확지에서 선별장까지 이동하는 시간을 줄일 수 있으나, 선별장에서 이송로봇 위의 과일상자를 하차 시키고 빈 상자를 상차 시키는 일이 남

아 있다. 수확한 과일상자 1개의 무게는 약 20kg으로 사람이 반복적으로 작업할 경우 근골격계 질환을 일으킬 위험이 크므로 이 부분을 자동화한다면 온실에서의 생산성향상을 하는데 큰 도움이 될 것이다. 또한 상하차 기구를 사용하여 과일을 이동시킬 경우 충격의 발생에 따라 과일이 손상되지 않는지에 대한 확인도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구를 진행한 “스마트팜 온실의 적재 트레이 구조 고안을 위한 토마토 경도측정에 관한 연구”[4]에서 토마토 경도측정 자료를 바탕으로 상품성을 위하여 토마토 적재 트레이가 필요로 한지에 대한 타당성 확인을 진행하고, 이송로봇에서 과일상자 상하차를 자동으로 진행하는 자동 상하차 기구를 설계 제작 하였다.

2. 토마토 적재 트레이 타당성 확인

2.1 기존 연구 내용

기존 “스마트팜 온실의 적재 트레이 구조 고안을 위한 토마토 경도측정에 관한 연구”를 통하여 토마토 경도측정을 수행하였다. 측정결과는 Table 1과 같이 측정 되었다.

Table 1. Hardness measurement result

Unit:g	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6
Top	2183	2619	1838	1593	1642
Meddle	2438	2454	2020	1299	1592
Tail	2909	2964	2006	1594	1668

각 숙성단계별 경도측정기의 피크값(g)들의 평균은 상, 중, 하 위치에서 2단계는 2183, 2428, 2909. 3단계는 2619, 2454, 2963. 4단계는 1837, 2024, 2007. 5단계는 1593, 1299, 1594. 6단계는 1642, 1592, 1670 임을 보였다. 니들의 면적(28.26mm²)을 바탕으로 Eq. (1) 과 같이 한계 압력(g/mm²)을 계산한 결과 Table 2.와 같이 상, 중, 하 위치에서 2단계는 77, 86, 103, 3단계는 93, 87, 105. 4단계는 65, 72, 71. 5단계는 56, 46, 56. 6단계는 58, 56, 59의 압력을 보였다.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

(P = 압력, F=힘, A=면적)

Table 2. Limit pressure measurement result

Unit:g/mm ²	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6
Top	77	93	65	56	58
Meddle	86	87	72	46	56
Tail	103	105	71	56	59

적재 트레이는 Fig. 4와 같이 상자 내부에서 과일끼리 부딪히지 않도록 하거나, 과일에 압력이 가해질 때 손상을 막는 역할을 한다.

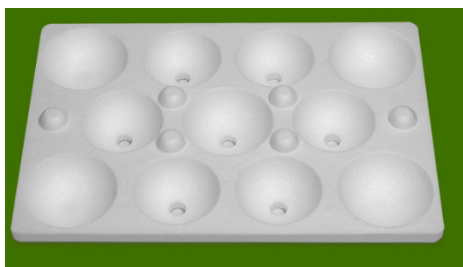


Fig. 3. Fruit tray

과일 트레이는 과일을 보호하는 측면에서는 좋으나 수확작업을 생각 하였을 때는 Fig. 5와 같이 한 상자에 담기는 수확물의 수를 제한하며, 한 층의 수확물이 담기면 다음 트레이를 올려 다시 적재해야 한다는 단점이 있다. 따라서 트레이가 꼭 필요한지 확인할 필요가 있다.

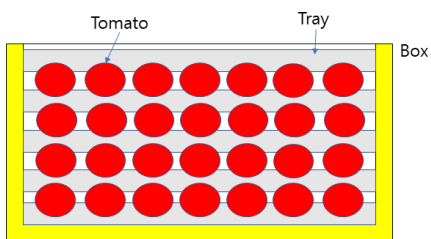


Fig. 4. Fruit tray in the Box

토마토 수확 시 한 상자에 20kg이 담기며 평균 지름 6cm지름을 가지는 토마토가 상자 내부에서 서로 맞닿는 면적을 윗면의 30%로 가정하였을 때 발생하는 압력은 23.6(g/mm²)으로 측정결과의 최소치인 46(g/mm²)아래로 토마토 수확을 보조하기 위한 트레이는 불필요함을 알 수 있다.

3. 과일상자 상하차 기구

3.1 이송로봇 및 온실 내부구조

본 연구와 같이 진행된 농업용 이송로봇사업으로 제작된 이송로봇은 Fig. 5와 같이 제작 되었으며, 4개의 과일상자를 싣고 수확장에서 선별장을 왕복한다.



Fig. 5. Transport robot

일반적인 온실에서 이송로봇의 이동은 Fig. 6과 같이 나타나며, 수확은 사람이 수확하여 과일상자에 넣으면 되나, 하역의 경우 로봇에서 하역 테이블로 사람의 힘으로 옮겨야 한다. 과일이 담긴 과일상자는 1개에 20kg이며 1번에 4개의 과일상자를 이송시킴으로 총 80kg의 무게를 반복적으로 옮겨야함으로 이를 자동화 시켜 작업자 보호와 생산향상을 이룰 수 있다.

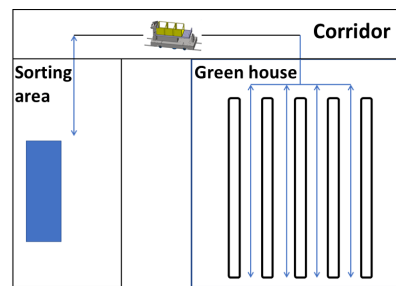


Fig. 6. Transport robot route

3.2 과일상자 상하차 기구 기본 설계

과일상자 상, 하차기구는 기존 개발된 농업용 이송로봇이 하역장에 위치하였을 때 수확이 완료된 과일 상자를 자동으로 상, 하차하기 위한 기구이다. 지면으로부터 이송로봇의 높이는 780mm이며 주로 사용되는 과일상자는 3호 과일상자로 Fig.7.과 같이 366x523x245mm 의 크기를 가지고 있다.



Fig. 7. Fruit box size

따라서 과일 상자 상하차기구에서 과일상자를 밀어 주는 부분은 지면으로부터 높이 780~1,025mm 사이에 위치 되어야 한다. Fig. 8은 이송로봇의 크기를 보인다. 과일 상자는 4개가 올라가며 과일상자 4개를 동시에 밀어주어야 함으로 최소 1,464mm 이상이 되어야 한다. 또 과일이 수확되어진 과일상자의 무게는 각 20kg으로 4개를 한꺼번에 움직여야 함으로 80kg의 하중을 움직일 수 있어야 하며 과일상자의 하차와 상차를 동시에 할 수 있어야 한다. 위의 조건을 정리하면 다음 Table 3과 같다.

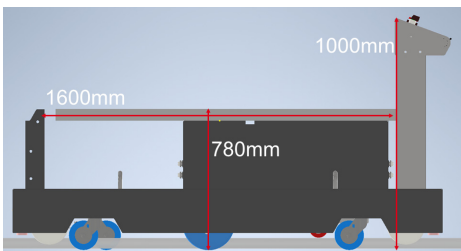


Fig. 8. Transport robot Size

Table 3. Loading and unloading mechanism conditions

Spec.		
Size	Height	780~1,025mm
	Width	1,464mm
Power	Weight	80kg
Motion	Box Lode, Unload	

과일상자 상하차 기구는 Fig. 9와 같이 상자를 이동시킬 구동부분과 상자를 올려놓을 테이블 부분으로 2부분으로 나누어 구성 하였다

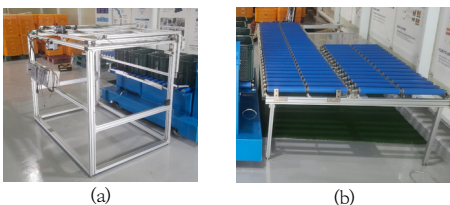


Fig. 9. Loading and unloading machine
(a) Drive part (b) Table part

3.3 과일상자 상하차 기구 설계 및 제작

과일상자 상하차 기구를 제작하기 위한 부품을 선정 하였다. 기본 프레임은 알루미늄프로파일 3030으로 선정 하였고, 적재함 및 테이블에서 상자를 이송하기 편하기 위한 롤러 컨베이어, 상자를 밀어주기 위하여 BLCD 모터 2개와 리니어가이드, 볼스크류를 사용하여 제작 하였다. 볼스크류를 사용하는 경우 모터의 토크는 Eq. (2)와 같이 계산 된다[5].

$$T = \frac{1}{2\pi} P \cdot (F + \mu W) [kgf \cdot cm] \quad (2)$$

(F:외력(kgf), W : 부하중량(kgf), μ : 마찰계수, P : 스크류의 리드(cm))

외력은 과일상자의 무게인 80kg, 부하중량은 상단 구조물의 무게인 10kg, 마찰계수는 0.2, 스크류의 리드는 0.5cm라 할 때 계산되는 토크 T는 6.68kgf · cm가 된다. 사용한 모터는 GGM社의 100W모터 K9BH100N2모델에 감속기 K9H20B를 사용하였다. 과일 상, 하차 기구는 저속으로 움직임으로 100~2500rpm에서 7.2N · m 약 73.44kgf · cm를 가짐으로 충분히 사용이 가능하다.

이송기구의 움직임을 제어하기 위하여 4개의 근접 센서와 3개의 포토센서를 사용하였으며, 전체적인 제어는 PLC를 사용하여 수행 하였다. 각 센서와 액추에이터 위치는 Fig. 10과 같다.

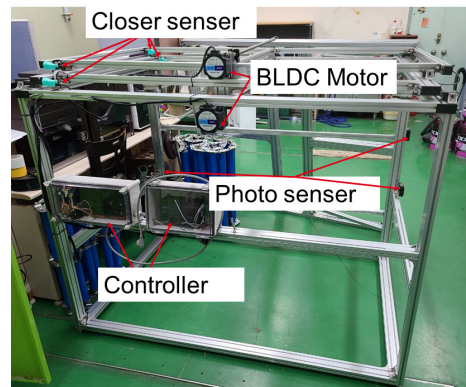


Fig. 10. Loading and unloading machine detail

프레임의 높이는 로봇의 손잡이 부분의 최대 높이인 1,000mm 보다 높도록 1,200mm의 높이로, 폭은 1,600mm로 설계 하였다. 과일상자를 상, 하차 시키는 부분은 2단으로 구성되어 이송로봇이 하역장에 위치하면 1,2번 모터가 정회전하여 상자를 테이블 안쪽으로 이송시키고 테

이블에 새로운 상자 4개가 들어오면 상자를 이송로봇으로 이동 시키도록 알고리즘을 구성하였다.

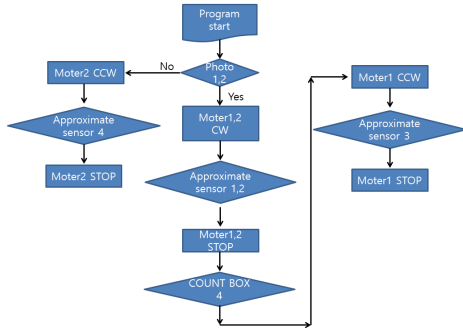


Fig. 11. Loading and unloading mechanism algorithm

상하차 기구의 동작은 3개의 단계로 이루어진다. 첫 번째는 로봇이 상하차기구 사이로 들어온다. 두 번째는 상하차기구가 과일상자를 테이블 가장 안쪽으로 밀어주고 새로운 과일상자가 들어온다. 세 번째는 상하차기구가 새로운 과일상자를 이송로봇 위에 올려주고, 로봇이 빠져나가면 다시 대기상태로 돌아온다. Fig. 12는 상하차 기구의 동작을 보여준다.

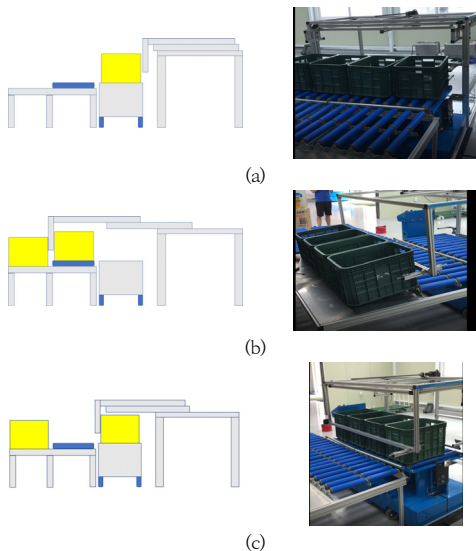


Fig. 12. Loading and unloading machine movement (a) Step 1 (b) Step 2 (c) Step 3

3.4 상하차 기구 작동 실험

과일상자 상하차기구의 작동 실험을 수행하였다. 작동 실험은 상하차 시간과 상하차 성공률을 확인 하였다. 총

5회를 측정하였다.

Table 4. Loading and unloading mechanism experiment

Spec.	1	2	3	4	5
Loading/Unloading Time	60	64	70	62	63
Success	O,X	O	O	X	O

실험결과 성공 시 상하차 시간은 62.25S로 측정되었고 1번의 실패가 있었다. 실패의 원인은 빈 상자의 상차 시 Fig. 13과 같이 로봇의 롤러에 상자가 걸리는 문제가 있었다.

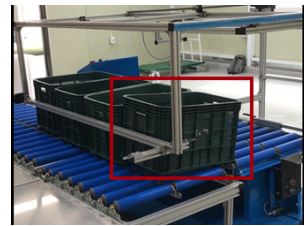


Fig. 13. Box jam

위의 문제를 해결하기 위하여 과일상자 테이블의 높이를 높이고 Fig. 14와 같이 상자가 부드럽게 타고 넘어 갈 수 있도록 로봇과 테이블 사이에 롤러를 보강하여 문제를 해결 하였다.

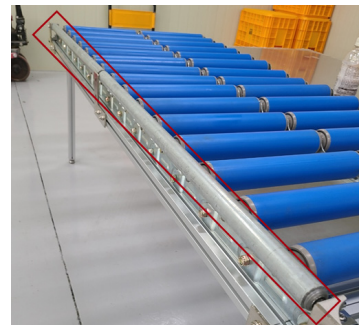


Fig. 14. Table with rollers

4. 결론

본 논문에서는 스마트 온실에서 운용되는 이송로봇을 사용하는 경우에 생산성을 높이기 위하여 토마토 수확

트레이 필요 사항 확인을 위한 경도결과 비교와 과일상자 상하차를 자동으로 할 수 있는 기구를 설계 제작 하였다.

첫 번째로 측정된 경도값을 압력단위로 변환하여 결과를 확인 하였다. 토마토 수확 시 한 상자에 20kg이 담기며 토마토가 상자 내부에서 서로 맞닿는 면적을 토마토 윗면의 30%로 가정하였을 때 발생하는 압력은 23.6(g/mm²)으로 측정결과의 최소치인 46(g/mm²)아래로 토마토 수확을 보조하기 위한 트레이는 불필요함을 알 수 있다.

두 번째로 이송로봇에서 과일상자를 자동으로 상하차하는 기구를 설계하기 위해 이송로봇과 과일상자의 재원을 조사하였다.

세 번째로 위에서 조사한 재원을 바탕으로 과일상자상, 하차 기구를 제작 하였으며 원활히 작동함을 알 수 있었다.

네 번째로 과일 상하차 기구의 동작 실험을 통하여 문제점을 파악하고 수정하여 해결 하였다.

추후 본 논문에서 제작한 과일 상하차 기구의 롤 컨베이어의 방향을 상자의 상하차방향과 수직이 아닌 수평방향으로 배열 한다면 좀 더 빠른 사이클 타임을 가질 수 있을 것으로 보인다.

References

- [1] G.S.Ryuh, C.M Yue, "2021 Technology Trend Brief", KISTEP, Korea, pp.1-3,
- [2] J.S.Kim, Y.T.Ju, E.K.Kim, "Object Recognition Technology using LiDAR Sensor for Obstacle Detection of Agricultural Autonomous Robot", Journal of the KIECS. pp. 565-570, vol. 16, no. 3, Jun. 30. 2021. DOI : <http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2021.16.3.565>
- [3] E.C.Kim, C.H.Lee, S.J.Hong, S.Y.Kim, S.J.Kim, S.W.Roh, J.W.Ryu, G.S.Kim, "Development of real-time detection and distance measurement algorithm for agricultural workers in smart greenhouse using RGB-D sensor and deep learning", Proceedings of the KSAM & ARCS 2021 Spring Conference, KSMA, Korea, Vol.26., No.1, p.101, April 2021.
- [4] M.J Kim, J.W Jung, K.C Kim, B.S Ryuh, "A Study on the Hardness Measurement of Tomatoes for the Stiffness of Load Tray in Smart Farm Greenhouse", Proceedings of the KSAM & ARCS 2021 Spring Conference, KSMA, Korea, Vol.26., No.1, p.176, April 2021.
- [5] GGM, Motor capacity calculation, when driving BALL SCREW, <http://www.ggm.co.kr/pages/m47.ko.php> (accessed May. 15, 2021)

김 만 중(Man-Jung Kim)

[준회원]



- 2017년 2월 : 전북대학교 공과대학 기계시스템공학부 (공학사)
- 2019년 2월 : 전북대학교 공과대학 기계시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 8월 : 전북대학교 공과대학 기계시스템공학과 (박사수료)

<관심분야>

농업용로봇, 자동화, 로보틱스

유 범 상(Beom-Sahng Ryuh)

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 공과대학 기계설계학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 서울대학교 공과대학원 기계설계공학과 (공학석사)
- 1989년 8월 : Purdue University 공과대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계시스템 공학부 교수

<관심분야>

자동화, 로보틱스

김 경 철(Kyoung-Chul Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2015년 8월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2016년 7월 ~ 2019년 1월 : 농업기술실용화재단 연구원
- 2019년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 스마트팜개발과 연구사

<관심분야>

농업로봇, 농업드론, 스마트 팜