

## 오이 로봇 수확을 위한 매니플레이터 개발

민병로 · 문정환 · 이대원\*  
성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

### Development of the Manipulator of a Cucumber Robotic Harvester

Min, Byeong-Ro, Joung-Hwan Mun, and Dae-Weon Lee\*  
Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University

**Abstract.** In this study, a robotic manipulator for harvesting cucumber was developed. The objective of this research was to design and to construct a robotic manipulator specifically tailored to harvest cucumber in the greenhouse. The system was consisted of an integrated end-effector, an image processing system and a controlling system. Especially, the image processing system detected the quality of cucumber within each plant in order for the computer to furnish harvest instructions to the manipulator. In all tests of cucumber, the success rate for cucumber harvest was 84% in the greenhouse. End-effector, image processing system and controlling system showed good performance. Based on the results of this research the following recommendations are made for further study. Besides harvesting cucumbers, the oldest leaves, creepers and the youngest small side leaves need to be removed.

**Key words :** oldest leaves, creeper, youngest small side leaves

\*Corresponding author

## 서 언

시설원예에서 소요되는 노동력 중에서 많은 비중을 차지하고 있는 것이 수확 작업이다. 오이 과실은 잎과 줄기로 복잡하게 둘러싸여 있기 때문에 정확한 수확 작업이 가능한 오이 수확용 매니플레이터가 필요하다. 오이 수확용 로봇 매니플레이터는 오이 과실을 잡고 오이 과병을 절단하는 엔드이펙터를 원하는 위치로 정확하게 이동시키는 역할을 한다.

과채류 로봇 매니플레이터의 많은 연구는 과채류의 종류와 정밀제어 정도에 관하여 수행되었다. 과채류는 종류별 재배환경과 조건이 다르며, 과실, 잎, 줄기 등의 크기와 모양이 다르기 때문에 이를 대처하기 위한 과채류 수확용 로봇 매니플레이터의 연구가 수행되었다. 과채류 중에서 오이(Min 등, 2002), 딸기(Nagata 등, 2000), 고추(Hwang과 Sistler, 1986), 그리고 수박(Hwang, 2002)을 위한 매니플레이터 연구가 수행되었다. 과채류의 정밀제어 정도를 위하여 구동장치 종류와 축의 수(자유도)에 따른 매니플레이터가 연구 개발되었다. 구동장치는 DC모터(Lee 등, 2001), 서보모터

(Nagata 등, 2000) 및 유압모터(Sakai과 Iida, 2000)를 사용하였다. 매니플레이터의 축에 따라 3축(Min 등, 2003), 4축(Nagata 등, 2000), 그리고 5축(Kim 등, 2003) 매니플레이터가 연구 개발되었다.

오이를 자동으로 수확하기 위한 기술적 방법은 다른 작물보다 어렵다. 왜냐하면 첫째 오이는 한번 심은 줄기로부터 계속해서 과실이 열리기 때문에 연속적으로 관찰하여 수확하여야 하고, 둘째 넝쿨식물로써 줄기는 가늘고 얇은 크기 때문이다. 이렇게 어려운 오이수확 작업을 자동화하기 위하여 로봇 수확기 개발이 필요한 실정이다. 본 연구의 목적은 3차원 공간상에서 매니플레이터를 1 mm 이내의 오차 범위로 과실에 접근시키는 것이며, 매니플레이터의 끝단에 엔드이펙터를 설치하여 오이를 잡고 오이 과병을 절단하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험장치

오이수확작업을 수행하는데는 매니플레이터의 성능이 매우 중요하므로 다음과 같은 기준을 두고 설계하

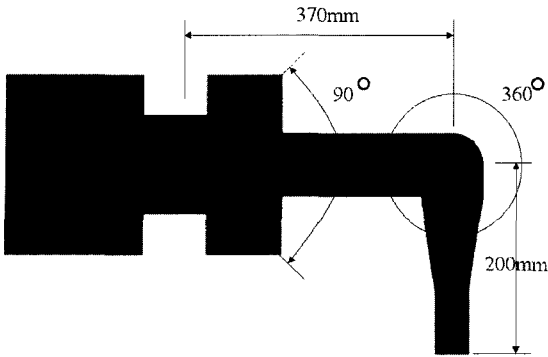


Fig. 1. Design of manipulator.

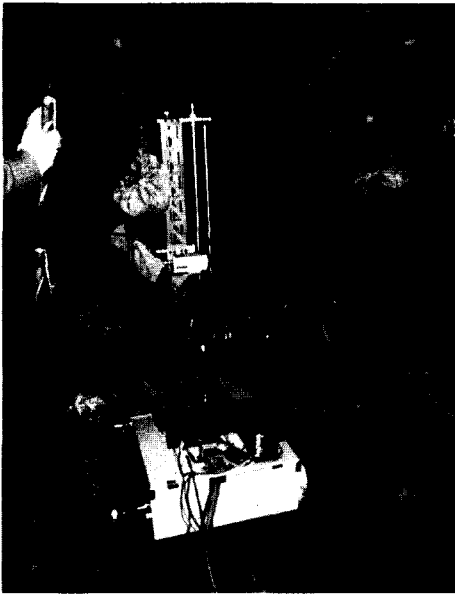


Fig. 2. Manipulator.

였다. 매니플레이터의 설계기준은 첫째, 공간상에서 원활하게 움직이며 작업을 하기 위해 경량이어야 하고, 둘째, 오이의 파지 및 과병의 절단시 작업 대상에 상해를 주지 않아야 한다. 셋째, 플라스틱하우스에서 작업을 하므로 습기에 대한 내부식성이어야 하고 넷째, 고장으로 인한 수리 및 청소를 위해 구조가 간단하고, 작업중 변형이 없어야 한다는 것이다.

본 매니플레이터는 3차원 설계 프로그램(3D-MAX)을 이용하여 설계하였으며, 프레임 및 부품 제작은 CNC 조각기(Model: HR-600)를 이용하여 1/100 mm의 정밀도로 제작하였고, 제어는 Visual C++을 이용하였다. Fig. 1은 매니플레이터의 설계도이며, Fig. 2은 개발된 매니플레이터의 사진이다. Fig. 3은 3차원

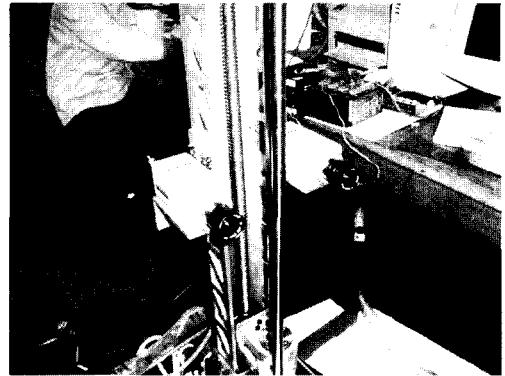


Fig. 3. Image processing system.

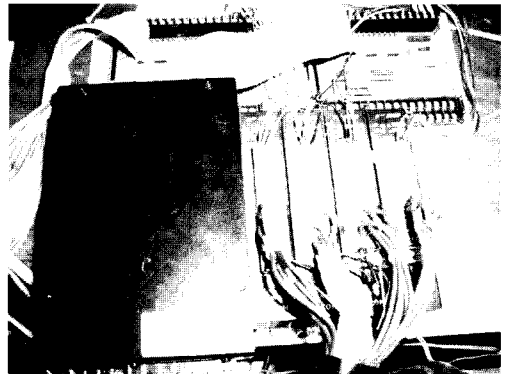


Fig. 4. The motor control for system operating.



Fig. 5. Cucumber fruits.

오이의 영상을 추출하기 위한 카메라이며, Fig. 4는 매니플레이터를 구동하기 위한 모터 컨트롤러를 나타내고 있다.

과병에 접근하는 매니플레이터의 연구와 개발은 필수요소라 할 수 있다. 본 실험에 사용된 오이는 Fig. 5에서와 같이 시장에서 판매하는 은성백다다기 오이

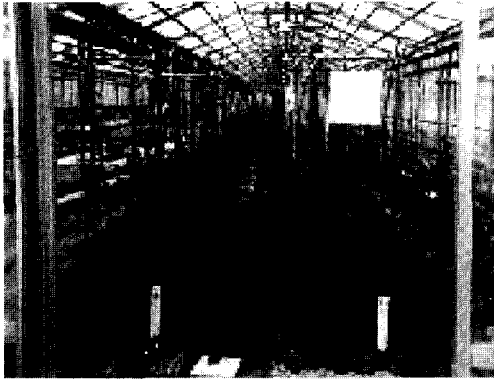


Fig. 6. The fixture of an experimental greenhouse.

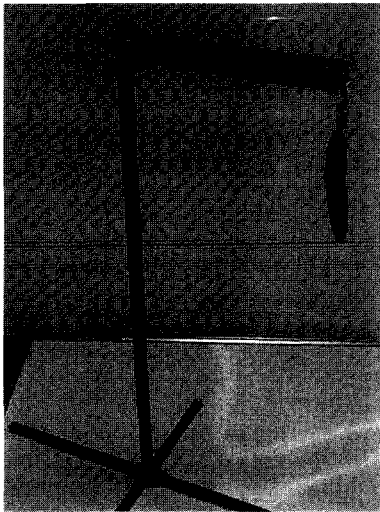


Fig. 7. Equipment used for experiments.

25개를 대상으로 실내실험을 하였다. Fig. 6은 원예연구소내 플라스틱하우스에서 재배하고 있는 모습을 나타내고 있다. 현장실험 온실은 동서동(東西棟)이며, 실험 대상오이는 온성백다다기종을 대상으로 행하였으며, 50개의 오이를 본 실험의 대상으로 정하였다.

## 2. 실험방법

본 실험은 영상장치를 통하여 입력된 좌표로 매니플레이터가 실제 좌표로 정확하게 이동하는 것을 알아보기 위해서 위치별로 10회씩 반복 측정하였다. 또한 Fig. 7은 매니플레이터의 이동오차를 실험하기 위하여 제작한 장치이다. 실험장치는 오이를 매단 후 오이 과병을 절단하기 위하여 가로 세로가 20×20 mm인 프로파일을 이용하여 장축 1100 mm, 단축 420 mm, 밀

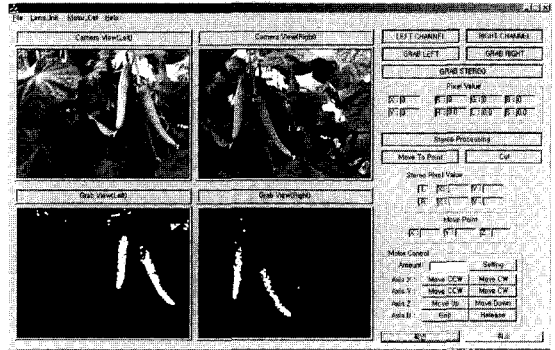


Fig. 8. The main program for image processing.

판 장축 800 mm, 단축 600 mm이며, 오이 과병을 장축 끝에 클립으로 고정하여 실내실험을 하였다.

오이는 지상에서 1000 mm 내외에서 수확을 하기 때문에 3차원 공간상에서 X, Y, Z 축으로 이동하면서 25개의 오이에 대하여 실험을 하였다. 영상장치는 Z축으로부터 920 mm인 부분에 설치하였으며, 영상장치로부터 입력 값의 한계를 고려하여 X, Y축은 카메라 중심으로부터 ±200 mm, Z축은 800~1200 mm까지 100 mm 간격으로 이동하면서 실험하였다.

Fig. 8은 영상처리를 통한 오이의 위치 결정을 위해 구축한 전체 프로그램의 본 화면을 나타내었다. 2개의 카메라를 통하여 입력된 오이 과병 좌표로 매니플레이터가 작동하여 엔드이펙터가 정확하게 절단하는 것을 실험하였다.

매니플레이터의 현장실험을 위해 원예연구소의 플라스틱하우스에서 작업성능실험을 수행하였다. 매니플레이터의 성능은 플라스틱하우스에서 재배되고 있는 오이의 좌표를 영상치리에 의해 인식하고 매니플레이터의 컨트롤러에 기억되어 제작한 엔드이펙터를 수확 가능한 위치로 이동시키는 것이다. 실험은 플라스틱하우스에서 재배되고 50개의 오이를 대상으로 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 반복 위치오차 측정

매니플레이터의 반복오차를 측정하기 위하여 카메라 영상의 원점을 기준으로 X, Y축으로 -100 mm, 0 mm, 100 mm, Z축으로 -200 mm, 0 mm, 200 mm 이동하면서 각 실험구 마다 10회 반복 측정하였다. Table 1은 카메라 원점에서 Z축으로 -200 mm 이동했

**Table 1.** -200 mm translation from Z axis.

<unit: mm>

X axis			X								
Y axis	Travel	Travel	-100			0			100		
		Replication error	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y		-100	0.08	0.12	0.12	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07
		0	0.07	0.07	0.09	0.02	0.06	0.04	0.07	0.06	0.04
		100	0.05	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.03

**Table 2.** Zero offset of Z axis.

<unit: mm>

X axis			X								
Y axis	Travel	Travel	-100			0			100		
		Replication error	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y		-100	0.09	0.08	0.12	0.08	0.06	0.09	0.07	0.07	0.07
		0	0.07	0.07	0.09	0.02	0.07	0.04	0.07	0.07	0.06
		100	0.06	0.03	0.07	0.04	0.06	0.03	0.05	0.07	0.03

**Table 3.** 200 mm translation from Z axis.

<unit: mm>

X axis			X								
Y axis	Travel	Travel	-100			0			100		
		Replication error	x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y		-100	0.07	0.08	0.12	0.07	0.04	0.09	0.06	0.06	0.05
		0	0.06	0.06	0.09	0.06	0.08	0.04	0.07	0.09	0.05
		100	0.04	0.05	0.07	0.04	0.04	0.06	0.04	0.05	0.06

을 때 10회 반복한 오차의 평균값이다. 오차의 측정은 카메라를 이용하여 엔드이펙터의 끝단과 모형 오이 과병의 중심간 거리를 Visual C++ 프로그램을 이용하여 계산하는 방법과 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하는 방법을 병행한 결과 Table 1, 2, 3과 같이 나타났다. 실험한 결과 카메라를 통하여 입력된 좌표 값과 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정한 값은 동일하였다.

Table 2는 카메라의 Z축으로 원점일 때 10회 반복 측정한 오차의 평균값이며, Table 3은 카메라 원점으로부터 Z축으로 200 mm 이동 했을때의 10회 반복 측정한 오차의 평균값을 나타내고 있다. Table 1, 2, 3을 통하여 매니플레이터는 0.1 mm 내외의 적은 오차 범위에서 작동하는 것으로 나타났다.

**2. 실내실험**

실내 실험은 시장에서 판매하는 25개의 오이를 가지고 하였다. 클립을 이용하여 오이 과병을 고정한 후 카메라를 통하여 들어온 영상좌표를 입력해 주면 매니

플레이터가 과지하고자 하는 부분으로 이동한다. 또한 그러퍼가 오이 과병으로부터 5 cm 떨어진 부분을 과지하면 에어 컴프레서가 작동하여 엔드이펙터가 오이 과병을 절단하도록 하였다.

25개의 오이에 대한 실험 결과 22개의 절단하여 92%의 성공률을 보였으며, Y, Z의 좌표가 0, 200일 경우에 절단을 못하는 것으로 나타났으나, 원인은 오이가 기형과이며, 수확한 후 시간이 경과하여 오이 과병의 물성이 변한 것으로 판단된다. 그러나, 모든 경우에 매니플레이터는 오이에 0.1 mm 내외로 엔드이펙터를 접근시켰다.

**3. 현장실험**

Fig. 11은 온실에서 매니플레이터의 작업을 나타낸 사진이다. 3차원에 위치한 오이 영상 정보를 카메라로 인식한 후 매니플레이터가 작동하여 엔드이펙터를 오이에 접근시켜 절단시키는 모습이다.

Fig. 11에서와 같이 총 50개의 오이에 대하여 수확

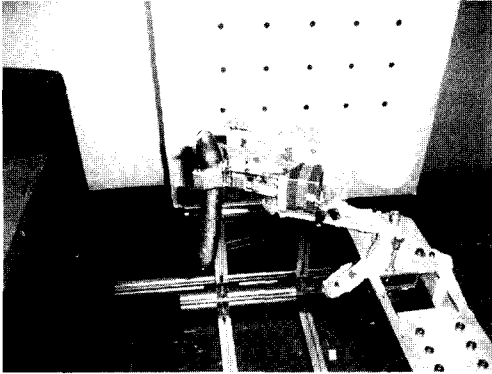


Fig. 9. Measurement of repetition error.



Fig. 10. Laboratory work.

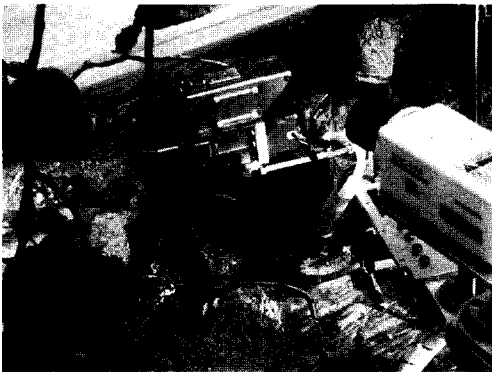


Fig. 11. Operating on field.

실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오이 과병을 절단하지 못한 비율이 16%로 나타난 것은 Fig. 12와 같은 기형과의 경우와 영상정보의 잘못된 입력으로 인한 결과로 판단된다. 특히, 재배중인 오이가 수확기간이 끝날 무렵이기 때문에 기형과가 많이 발생하였으며, 오이 과병의 경우도 1 cm 이내로 짧고 몽툭한 경우가 많았다. 오이 과병이 짧기 때문에 영상

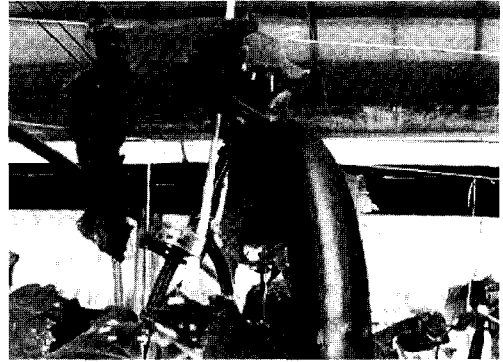


Fig. 12. Malformation of cucumber.

정보에서 잘못된 값이 입력되었으며, 과실의 경우도 굵은 경우가 있기 때문에 그리퍼가 오이 과실을 파지할 때 과병이 엔드이펙터의 절단위치가 아닌 다른 위치로 이동되는 경우가 있었다.

## 적 요

본 연구는 오이 수확기 개발을 위해 매니플레이터를 설계 제작하였다. 실험에 사용한 3축 매니플레이터는 견고성, 내구성, 모멘트를 줄이기 위해 모터 및 감속기의 하중이 실리지 않는 곳에 장착하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 3차원 공간상의 좌표에 대하여 매니플레이터의 10회 반복 측정된 오차의 평균은 Z축에 관계없이 0.1 mm 내외로 정확하게 작동하는 것으로 나타났다. 실내 실험에서 25개의 오이에 대한 실험 결과 22개의 절단하여 92%의 성공률을 보였으나, 원인은 오이가 기형과이며, 수확한 후 시간이 경과하여 오이 과병의 물성이 변한 것으로 판단된다. 실내 실험에서 오이 과병을 절단하지 못한 경우에도 매니플레이터는 오이 과병에 0.1 mm 내외로 엔드이펙터를 접근시켰다. 50개의 오이에 대하여 현장 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 16%의 오차가 발생한 것은 수확적기가 지나서 오이의 과병이 짧고 몽툭해서 나타난 것으로 판단된다.

**주제어** : 하위연, 덩쿨, 측지

## 인 용 문 헌

1. Hwang, H. 2002. Development of modular type multi-

- purpose tele-operative robot system for watermelon cultivation, harvesting, sorting, and loading. Agricultural R&D Promotion Center (ARPC).
2. Hwang, H. and F.E. Sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. *Applied Engineering in Agriculture* 2(1): 2-5.
  3. Kim, W., B.R. Min, D.W. Kim, K.W. Seo, C.W. Lee, D.J. Kwon and D.W. Lee. 2003. Kinematics analysis of robot manipulator for automatic milking system. *Proceedings of Livestock Housing and Environment* 9:51-60.
  4. Lee, D.W., W.H. Lee, H.T. Kim, B.R. Min and S.H. Sung. 2001. Development of a robotic manipulator for a cucumber harvester. *J. of the Korean Soc. for Agricultural Machinery* 26(6):535-544.
  5. Min, B.R., D.W. Lee, H.T. Kim, W. Kim, D.W. Kim, W.S. Kim and K.W. Seo. 2002. Development of the manipulator of a cucumber harvester. *Proceedings of the KSAM 2002* 7(1):210-216.
  6. Min, B.R., W. Kim, D.W. Kim, K.W. Seo, C.W. Lee and D.W. Lee. 2003. Kinematics for development of the robot manipulator. *Proceedings of the KSAM 2003* 8(1):393-399.
  7. Nagata, M., Q. Cao, K. Hiyoshi, S. Muta and K. Ootsu. 2000. Basic study on strawberry harvesting robot. II. *Proceeding of the Bio-robotics II*:59-64.
  8. Sakai, S. and M. Iida. 2000. Heavy vegetable robot. *Proceeding of the Bio-robotics II*:47-50.