

오이 수확용 매니플레이터 개발 II

Development of the Manipulator of a Cucumber Harvester

민병로* 이대원* 김현대* 김 옹* 김동우* 김용석* 서광욱*

정희원 정희원 정희원 정희원 정희원

B.R.Min D.W.Lee H.T.Kim W.Kim D.W.Kim W.S.Kim K.W.Seo

1. 서론

시설원예에서 소요되는 노동력 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것이 수확작업이다. 특히 오이의 경우 지상 1m 내외에서 수확작업을 하기 때문에 적당한 매니플레이터가 있어야 한다. 매니플레이터의 역할은 오이를 파지하고 줄기를 절단하는 역할을 하는 그리퍼를 공간상에서 원하는 위치로 정확하게 이동시키는 것이 필요하다. 이때 요구되어지는 사항은 먼저 신속히 공간상을 이동하기 위해 모든 구조물이 가벼워야 하며, 또한 매니플레이터는 엔드이펙터가 오이 과병에 5mm내외로 접근해야 한다.

즉 모터 및 감속기가 매니플레이터 무게의 대부분을 차지한다고 해도 과언이 아니다. 회전 관성 모멘트 및 토크를 줄이기 위해 모터 및 감속기를 아래에 두어 하중을 줄였다. 상하의 이동은 스크류를 이용하여 정확하게 제어 할 수 있도록 하였다. 이렇게 함으로써 장치가 내구성 향상 및 고속 작동이 되도록 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

(1) 매니플레이터 개발

수확작업을 수행하는데는 매니플레이터의 성능이 매우 중요하므로 다음과 같은 설계기준을 두고 설계하였다. 첫째, 공간상에서 원활하게 움직이며 작업을 하기 위해 경량이어야 하고 둘째, 오이의 파지 및 과병의 절단시 작업 대상에 상해를 주지 않아야 한다. 셋째, 하우스상에서 작업을 하므로 습기에 대한 내부식성이어야 하고 넷째, 고장으로 인한 수리 및 소제(掃除)를 위해 구조가 간단하고, 작업중 변형이 없어야한다는 기준을 두고 설계하였다.

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

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

그림 3은 3차원 오이의 영상을 추출하기 위한 카메라이며, 그림 4는 매니플레이터를 구동하기 위한 모터 컨트롤러를 나타내고 있다.

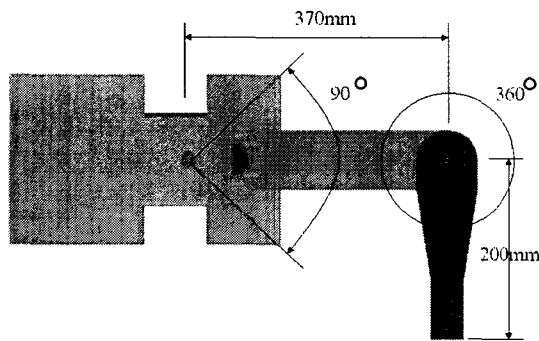


그림 1. 매니플레이터의 설계도

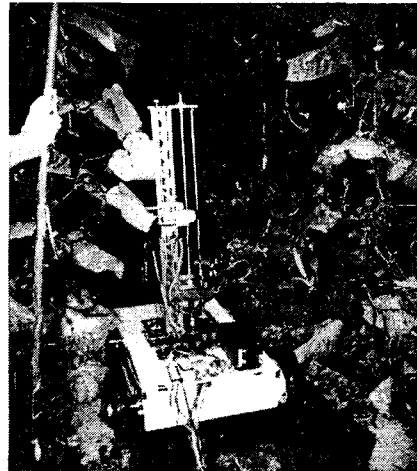


그림 2. 매니플레이터

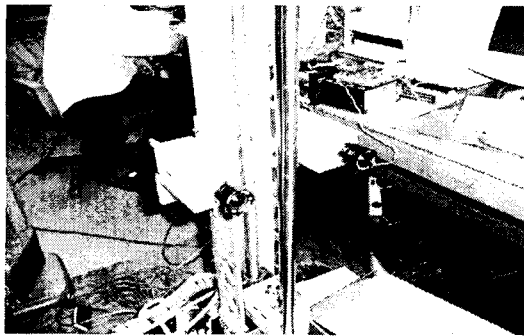


그림 3. 영상장치



그림 4. 모터 컨트롤러

(2) 실험재료

과채류 수확기 개발에 있어서 과병의 절단을 통한 수확은 수확기 개발에 있어서 필수요 소라 할 수 있다. 본 실험에 사용된 오이는 그림 5에서와 같이 시장에서 판매하는 은성백다다기 오이 25개를 대상으로 실내실험을 하였다. 그림 6은 원예연구소내 2-PET온실에서 재배하고 있는 모습을 나타내고 있다. 현장실험 온실은 동서동(東西棟)이며, 실험 대상오이는 은성백다다기종을 대상으로 행하였으며, 50개의 오이를 본 실험의 대상오이로 정하였다.

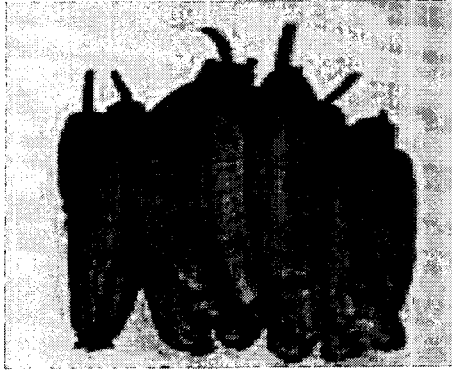


그림 5. 은성백다다기 오이

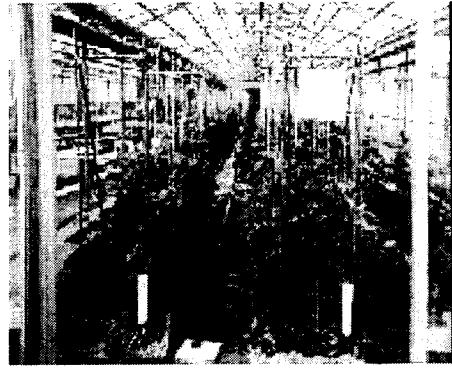


그림 6. 현장 오이

나. 실험방법

(1) 실내실험

본 실험은 영상장치를 통하여 입력된 좌표로 매니플레이터가 실제 좌표로 정확하게 이동하는 것을 알아보기 위해서 위치별로 10회씩 반복 측정하였다. 또한 그림 7은 매니플레이터의 이동오차를 실험하기 위하여 제작한 실험 장치이다. 실험장치는 오이를 매단 후 오이 과병을 절단하기 위하여 가로 세로가 20×20mm인 프로파일을 이용하여 장축 1100mm, 단축 420mm, 밑판 장축 800mm, 단축 600mm이며, 오이 과병의 결속을 위하여 장축의 끝에 클립을 장착하여 실내 실험을 하였다.

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

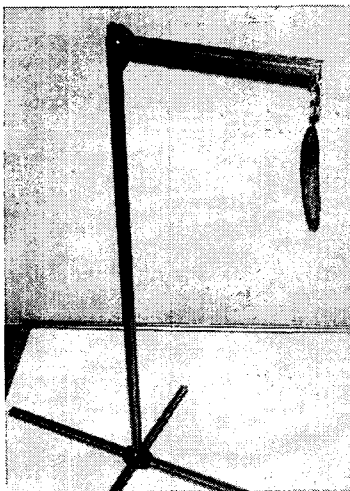


그림 7. 실험 장치

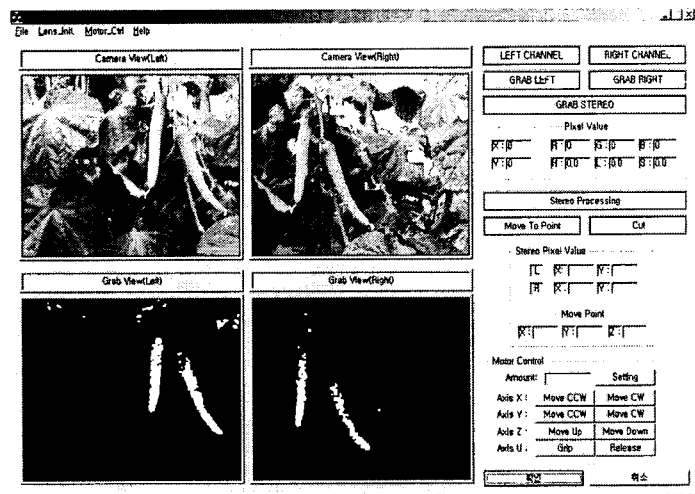


그림 8. 영상장치 프로그램

그림 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.

(2) 현장실험

매니플레이터의 현장실험을 위해서 원예연구소를 방문하여 작업성능실험을 수행하였다. 매니플레이터의 성능은 3차원 공간에서 재배되고 있는 오이의 좌표를 영상처리에 의해 인식하고 매니플레이터의 컨트롤러에 기억되어 제작한 엔드이펙터를 수확 가능한 위치로 이동시키는 것이다. 실험은 온실에서 재배되고 50개의 오이를 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 반복 위치오차 측정

매니플레이터의 반복오차를 측정하기 위하여 카메라 영상의 원점을 기준으로 X, Y축으로 -100mm, 0mm, 100mm, Z축으로 -200mm, 0mm, 200mm이동하면서 각 실험구 마다 10회 반복 측정하였다. 표 1은 카메라 원점에서 Z축으로 -200mm 이동했을 때 10회 반복오차이다. 오차의 측정은 카메라를 이용하여 엔드이펙터의 끝단과 모형 오이 과병의 중심간 거리를 Visual C++ 프로그램을 이용하여 계산하는 방법과 버어니어캘리퍼스를 이용하여 측정하는 방법을 병행하였다.

표 1. 카메라 원점으로부터 Z축으로 -200mm이동 < 단위 : mm >

X축		X											
		-100			0			100					
Y축	이동거리	반복오차			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			

표 2. 카메라 Z축의 원점 < 단위 : mm >

X축		X											
		-100			0			100					
Y축	이동거리	반복오차			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			

표 3. 카메라 원점으로부터 Z축으로 200mm이동

< 단위 : mm >

Y축	X축		X								
	이동거리	반복오차	-100			0			100		
			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

표 2는 카메라의 Z축으로 원점일 때 10회 반복 측정 오차이며, 표 3은 카메라 원점으로부터 Z축으로 200mm 이동했을때의 10회 반복 오차를 나타내고 있다. 표 1, 2, 3을 통하여 알 수 있는데 매니플레이터의 10회 반복 위치 오차는 0.1mm 내외로 정확하게 작동하는 것으로 나타났다.

나. 실내실험

실내 실험은 시장에서 판매하는 25개의 오이를 가지고 하였다. 클립을 이용하여 오이 과병을 고정한 후 카메라를 통하여 들어온 영상좌표를 입력해 주면 매니플레이터가 파지하고자 하는 부분으로 이동한다. 또한 그러퍼부가 오이 과병으로부터 5cm 떨어진 부분을 파지하면 에어 컴프레셔가 작동하여 엔드이펙터가 오이 과병을 절단하도록 하였다.

25개의 오이에 대한 실험 결과 22개의 절단하여 92%의 성공률을 보였으며, 카메라의 영상정보에 의한 X, Y, Z의 좌표가 (150, 0, 200)(200, 0, 200)(100, 0, 200)의 경우에 절단을 하지 못하였다. 결과적으로 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 0.1m 내외로 엔드이펙터를 접근시켰다.

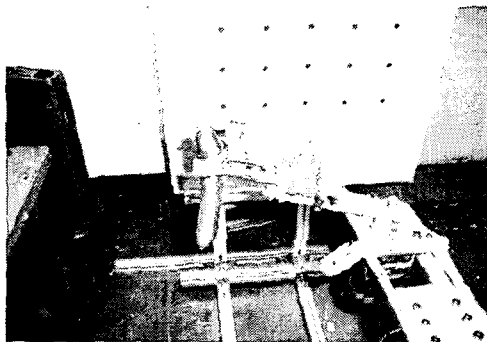


그림 9 반복 오차측정



그림 10. 실내실험

다. 현장실험

그림 11은 온실에서 메니플레이터의 작업을 나타낸 사진이다. 3차원에 존재하는 오이 영상 정보를 카메라로 인식한 후 메니플레이터가 작동하여 엔드이펙터를 오이에 접근시켜 절단시키는 모습이다.

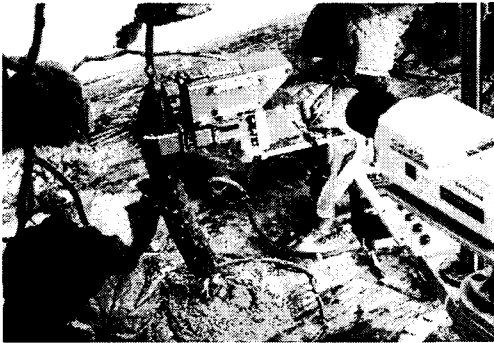


그림 11. 현장 실험

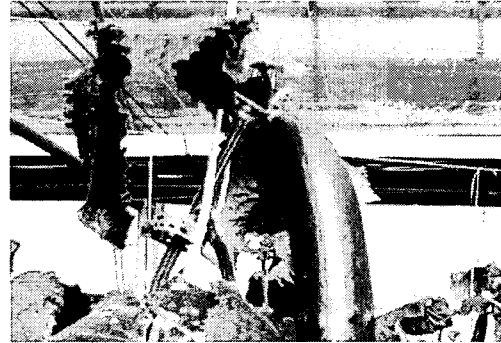


그림 12. 기형과

그림 11에서와 같이 총 50개의 오이에 대하여 수확 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차가 16%로 나타난 것은 그림 12와 같은 기형과의 경우와 영상정보의 잘못된 입력으로 인한 결과로 판단된다. 특히, 원예연구소에서 재배중인 오이의 경우 재배 환경은 좋으나, 수확기간이 끝날 무렵이기 때문에 기형과가 많이 발생하였으며, 오이 과병의 경우도 1cm 이내로 짧고 뭉툭한 경우가 많았다. 오이 과병이 짧기 때문에 영상 정보에서 잘못된 값이 입력되었으며, 과실의 경우도 굵은 경우가 있기 때문에 그리퍼가 오이 과실을 파지할 때 과병이 엔드이펙터의 절단위치가 아닌 다른 위치로 이동되는 경우가 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 오이 수확기 개발을 위해 메니플레이터를 설계 제작하였다. 실험에 사용한 3축 메니플레이터는 견고성, 내구성, 모멘트를 줄이기 위해 모터 및 감속기 등이 하중이 실리지 않는 곳에 장착하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 3차원 공간상의 좌표에 대하여 메니플레이터의 10회 반복 위치 오차는 Z축에 관계없이 0.1mm 내외로 정확하게 작동하는 것으로 나타났다
- 2) 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.
- 3) 실내 실험에서 오이 과병을 절단하지 못한 경우에도 메니플레이터는 오이에 0.1m 내외로 엔드이펙터를 접근시켰다.

4) 50개의 오이에 대하여 현장 실험을 한 결과 42개, 84%의 절단율을 보였다. 오차가 16% 발생한 것은 수확적기가 지나서 오이의 과병이 짧고 뭉툭해서 나타난 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 류관희, 박정인, 류영선, 김기영. 1999. 여유자유도 로봇의 장애물 회피 시뮬레이션(II). 한국농업기계학회 동계학술대회 논문집 제 4권 1호. pp691-697
2. 이대원, 김현태, 민병로. 2001. 오이수확용 로봇개발을 위한 앞제거가 낙과에 미치는 영향. 성균관대학교 논문집. 제6권 1호. pp23-33.
3. 이대원, 김현태, 민병로, 성시홍, 이원희. 2002. 오이수확용 로봇 매니플레이터개발. 한국농업기계학회지. 제26권6호. pp535-544.
4. Kondo,N., Y.Nishitsuji, P. P. Ling and K. C. Ting. 1996. Visual feedback guded robotic cherry tomato harvesting. Transactions of the ASAE 39(6):2331-23338
5. shiller, Zvi and Steven Dubowsky. 1989. Robot path planning with obstacles, actuator, gripper, and payload constraints, The International Journal of Robotic Research, v8(6):3-18