

오이 수확용 로봇 매니플레이터 개발

Development of a Robotic Manipulator for a Cucumber Harvester

이대원 이원희 김현태 민병로 성시흥
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
D. W. Lee W. H. Lee H. T. Kim B. R. Min S. H. Sung

SUMMARY

This study developed a manipulator for robotic harvester to harvest cucumber. The manipulator was designed and built for transferring an end-effector from a fixed point to a specified cucumber. Its development involved the integration of a manipulating system with a PC compatible, DC motors, geared boxes, timing belts, and a motor controller board. Software, written in Quick basic, combined the functions of motor control with various circumstances. In order to move smoothly and rapidly the manipulator, its shoulder link and elbow link were minimized by using rotational inertial moment without a motor and a geared box.

After 30 replications of exercising the manipulator, it was concluded that the precision values of the X, Y and Z axes were less than 0.5mm, 0.25mm and 0.35mm, respectively. The precision data indicated the manipulator was not missing any steps for the harvester to reach a target cucumber.

Keywords : Manipulator, Robotic harvester, Geared box, Cucumber.

1. 서 론

시설원예에서 소요되는 노동력 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 부분 중에 하나가 바로 수확 작업이다. 시설원예 작물 중에서 오이의 수확작업은 많은 노동력이 투입되고 있다. 또한 시설원예에서 수확되는 오이의 생산량 및 수출현황은 '97년에 IMF로 인하여 감소하였지만, 농림부의 농산물생산통계에 의하면 '99년 노지오이의 재배면적이 1,728ha이고, 시설오이 재배면적은 5,964ha이다 (농산물생산통계, 농림부, 2000). 이는 시설오이의

재배면적이 약 3.5배정도 많은 면적이며, 시설내 재배환경에 대한 생력화가 필요하며, 이에 따른 과다 노동력 투입을 해소하기 위해서는 오이수확작업의 자동화가 절실하다고 할 수 있다. 오이수확작업의 자동화를 위해서는 먼저 작업기의 이동이 선행되어야 하며 이를 위해 X-Y테이블형 궤도 시스템을 이용한 작업기의 접근성능에 관한 연구가 보고되었다(Lee et al., 1998). 3차원 시각을 센서를 이용한 미니토마토의 수확로봇에 대한 연구도 있었으며, 이 연구에 이용된 매니플레이터는 4 자유도를 가지고 있으며, 그리퍼는 흡입력을 이용

This study was supported by Agricultural Research Promotion Center. The paper was submitted for publication in June 2001; reviewed and approved by the editorial board of KSAM in October 2001. The authors are D. W. Lee, Associate Professor, W. H. Lee, H. T. Kim, B. L. Min, Research Assistant, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University and S. H. Sung, Associate Professor, Dept. of Agricultural & Biosystems Engineering, Konkuk University. The corresponding author is S. H. Sung, Associate Professor, Dept. of Agricultural & Biosystems Engineering, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea. E-mail : <shsung@kku.edu>.

하였으며, 3차원시각센서를 이용한 수확 실험에 유효하다고 보고하였다(Subrata et al. 1998).

오이 수확작업의 자동화를 이루기 위해서 필요한 기술적 방법은 다른 작물에 비하여 어렵다. 왜냐하면 첫째 오이는 한번 심은 줄기로부터 계속해서 오이가 열리고 연속적으로 관찰하여 수확하여야 하고, 둘째 농물식물로써 줄기는 가늘고 잎은 크다는 특징이 있기 때문이다. 즉 오이 수확 작업시 오이 줄기의 손상은 바로 오이 수확량의 감소로 이어지고, 잎이 크기 때문에 수확하려는 오이를 쉽게 구별해 내기가 어렵다(Lee et al. 1998). 이렇게 어려운 수확작업을 자동화하기 위하여 로봇 수확기가 필요한 실정이다. 이 로봇 수확기에 필요한 기술은 크게 4가지로 볼 수 있다.

첫째 오이를 인식하는 영상처리 시스템 개발이고 둘째는 위치가 파악된 오이를 파지(把持)하고 과병(果柄)을 절단하는 엔드이펙터의 개발이고 세 번째는 엔드이펙터를 오이에 근접하도록 이동시키고 수확된 오이를 이동시키는 매니플레이터의 개발이다. 마지막 네 번째는 수확된 오이를 이동시키는 자동대차이다. 본 연구는 앞에서 언급한 기술적 요소 가운데에서 오이 수확작업에 적합한 매니플레이터의 개발을 목적으로 하고 있다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

(1) 매니플레이터의 설계 고려사항

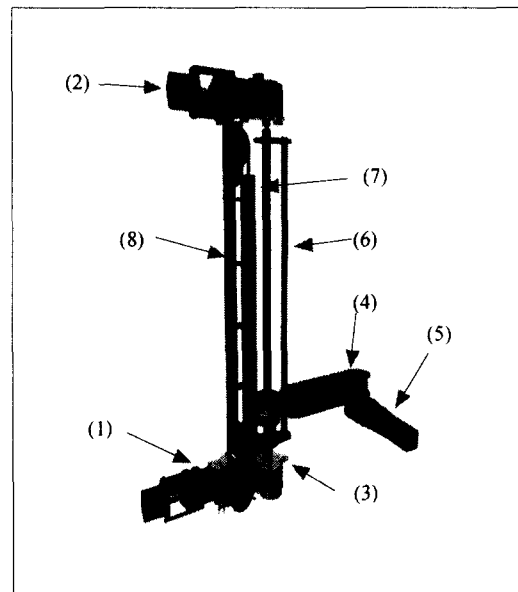
수확작업을 수행하는데 있어 매니플레이터의 역할은 연약하고 상해를 입기 쉬운 오이에 엔드이펙터를 근접시켜 일정한 장소에 옮기는 것이다. 이러한 궁극적인 목표 외에도 작업성능을 향상되도록 경량이어야 하고 단순 반복적인 작업에서도 대응할 수 있도록 내구성도 있어야 한다. 특히 매니플레이터의 작업환경이 습도가 높은 온실 내부임을 감안할 때 내부식성이어야 한다.

온실 내부에 작물이 심겨진 형태는 골을 따라 재배된다. 그리고 그 골의 간격은 작물의 수확량을 높이기 위해 60cm 내외로 매우 협소하다. 이러한 작업환경에서 자유 자제로 작업이 가능하도록 매니플레이터를 제작하는 것도 설계기준에 포함된다. 앞에서 언급한 설계 기준을 기반으로 본 매니플레이터를 설계 제작하였다.

(2) 매니플레이터의 제작

3차원 설계 컴퓨터 프로그램을 이용하여 본 매니플레이터를 설계하였다. 각종 프레임 및 부품 제작은 CNC 조각기(Model HR-600, Halim, Korea)를 이용하여 1/100mm 정밀도로 제작하였다. 감속 DC모터의 감속율이 53.9:1이고 엔코더의 사양이 360 (pulse/rev)인 것을 감안할 때 감속이 이루어진 후 출력 축이 1바퀴 회전하면 엔코더에서 19,404개의 펄스가 출력되었다. 따라서 엘보우 링크(elbow link)의 길이가 294mm 인 점을 감안할 때 펄스간격으로 움직이는 엘보우링크 이동거리는 $294 \times \pi (3.141592) / 19404 = 0.0476\text{mm}$ 다. 이를 매니플레이터의 엘보우링크 디비전(division)으로 하였다. 하지만 감속기의 백래쉬가 0.27° 인 것을 감안한다면 $294 \times \pi \times (0.27/365) = 0.683\text{mm}$ 이다. 여기서, 294 mm는 엘보우링크의 길이, π 는 기어 백래쉬, 0.27/365는 엘보우 링크오차를 나타낸다.

매니플레이터는 쇼울더 링크(shoulder link)와 엘보우 링크 그리고 이 두 링크를 상하로 이동시켜주는 슬라이딩 베어링으로 구성된다. 슬라이딩 베



(1) Motor 1 (2) Motor 2 (3) Motor 3
(4) Shoulder Link (5) Elbow Link
(6) Shoulder Link Axis (7) Elbow Link Guide
(8) Timing Belt

Fig. 1 Perspective view of the robotic manipulator.

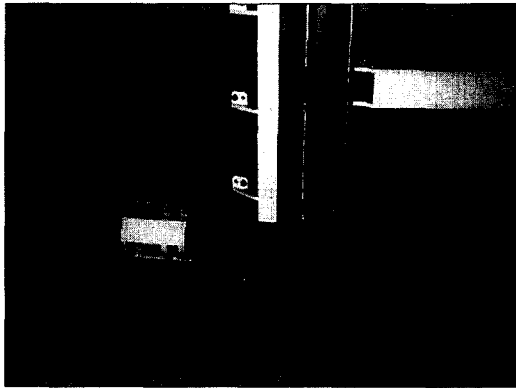


Fig. 2 Picture of the robotic manipulator.

어링은 타이밍벨트 및 벨트풀리로 이송되며 수직 방향으로 이송된다.

그림 1과 같이 본 연구에 이용된 매니플레이터는 3자유도 가지고 있으며, 엘보우 링크를 회전시키기 위한 모터(2)의 구동 축이 회전하면 그 구동 축에 연결된 원통형의 직선 가이드(7)가 회전하고 직선가이드를 따라 왕복하는 베어링에 장착된 풀리가 회전하게 된다. 풀리에 연결된 타이밍벨트가 동력을 전달하여 엘보우링크가 회전하게 하였다. 따라서 무게가 무거운 모터 및 기어부분을 작동부 즉 쇼울더 및 엘보우 링크에 장착하지 않아 매니플레이터 동작시 발생하는 관성 모멘트를 줄여 작동능이 향상되도록 하였다.

각 관절의 동력전달은 타이밍벨트로 하였으며, 타이밍 벨트가 느슨하면 동작시 부드러움이 감소하고 오차가 커진다. 이를 방지하기 위하여 타이밍벨트가 걸쳐진 두 개의 풀리 중 한쪽에 나사를 이용하여 벨트가 팽팽해지는 방향으로 당기도록 제작하였다. 이렇게 함으로써 정교한 구동이 되도록 하였다. 또한 타이밍벨트의 풀리 엘보우 링크의 회전축에 고정하였으며, 이는 엘보우 링크의 회전을 하기 위한 동력전달용이다. 즉 풀리가 회전하면 타이밍벨트가 따라서 회전하게 되고 엘보우 링크에 풀리고정용 키에 의해 고정된 풀리를 회전시킨다. 따라서 엘보우 링크도 회전하게 된다. 즉 모터의 회전력이 엘보우 링크의 회전력으로 전달되는 것이다. 이는 작동부 즉 엘보우 링크 및 쇼울더 링크에 모터와 같은 무게가 큰 부품을 장착시키지 않기 위하여 설계한 것이다. 이렇게하여 보다 원활하고 신속하게 매니플레이터 작동이 가능하도록 하였다.

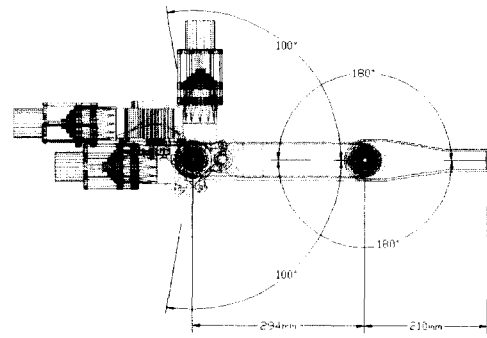


Fig. 3 Top view of the manipulator.

그림 2는 매니플레이터의 작동부위를 찍은 사진이다. 쇼울더 링크와 엘보우 링크는 지면에 대하여 평행하게 회전하게 되고 Z축 방향 즉, 지면 수직인 방향으로의 이동은 쇼울더 링크와 엘보우 링크가 동시에 슬라이딩 가이드(7)를 따라서 이송되게 된다. 이렇게 함으로써 Z축 방향의 위치결정을 정확하게 할 수 있다. Z축의 이론상 이송속도 계산은 수직 이송용 벨트 풀리의 직경 × 모터출력 축의 회전수 × 분당 이송속도로 구했다.

$$62(\text{mm}) \times \pi (3.141592) \times 60 (\text{rpm}) = 11,686.72(\text{mm}/\text{min})$$

쇼울더 링크 및 엘보우 링크의 이론상 최대 회전속도는 모터 출력 축과 감속없이 연결되어 있으므로 60rpm으로 설정하였다.

그림 3은 매니플레이터의 작동범위 및 치수를 나타낸다. 엘보우 링크 및 쇼울더 링크는 모두 5mm의 ABS 수지를 이용해서 제작하였다. ABS 수지는 가벼울 뿐만 아니라 가공이 쉽고 내구성이 있어 적합하다고 판단되었기 때문에 사용하였다. 이렇게 함으로써 링크의 무게를 최소화하여 소모 전력을 줄일 뿐만 아니라 매니플레이터의 제어를 쉽게 하고 작동도 신속하도록 하였다.

(3) 제어장치

그림 4는 제어 원리를 나타낸 프로그램 흐름도이다. 처음 프로그램이 시작되면 먼저 매니플레이터의 모터 1, 2, 3을 원점으로 복귀시킨다. 이는 매니플레이터의 위치가 기억되는 변수의 값과 실제 매니플레이터의 위치를 일치시키는 작업으로

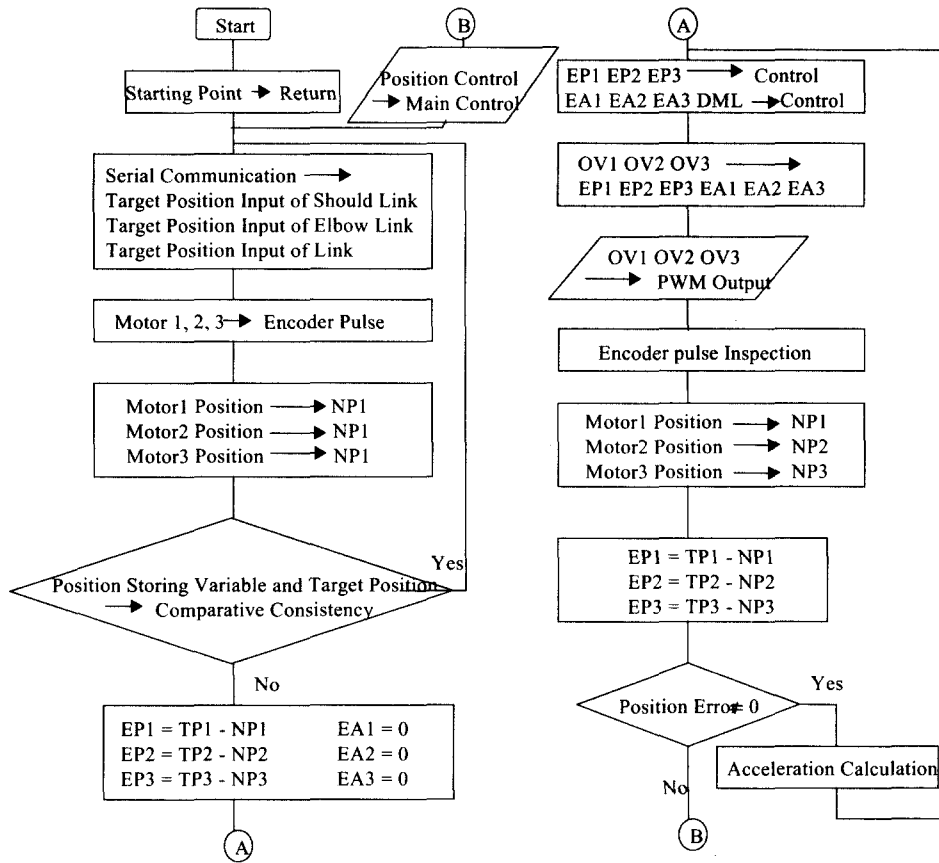


Fig. 4 Flow chart of the manipulator control program.

매우 중요한 작업이다. 만일 원점이 교차되지 않으면 작업시 일정량의 오차가 계속적으로 발생한다.

그 다음으로 처리되는 것은 메인 컨트롤러로부터 매니플레이터가 이동하여야 할 목표지점을 통신을 통해 입력받는 작업이다. 이는 본 제어장치가 독립적으로 모든 처리를 하는 것이 아니고 단순히 주어지는 각도로 모터를 회전시키는 작업만을 통해서 수행한다는 것을 의미한다. 만일 입력되어지는 값이 없다면 매니플레이터는 동작하지 않는다. 이렇게 대기동작을 하는 부분은 그림 4에서 첫 번째 만나는 비교문이다. 이 비교문은 현재의 매니플레이터의 위치와 통신으로 주어지는 목표 위치와의 차이가 없을 경우 혹은 입력되어지는 위치 값이 없을 경우 계속적으로 입력 값을 기다리게 하는 비교문이다. 만일 입력되어지는 값은 없으나 외부 힘에 의해 매니플레이터가 움직였을 경우에는 이 루프를 벗어나게 된다. 왜냐하면 현

재의 매니플레이터의 위치를 계속 검사하여 이전에 입력되어진 목표위치 즉 이전 값과 계속적으로 비교를 하기 때문이다. 따라서 첫 번째 루프에서 빠져 나올 수 있는 경우의 수는 위 두 가지 경우 이외에는 없다. 목표 값이 주어졌을 경우에는 현재의 매니플레이터의 위치와 목표하는 위치가 틀리므로 비교 문에서 NO 방향으로 진행된다. 그러면 다음 처리로 들어가게 된다. 다음 처리과정은 두 입력값 즉 변위 오차 (목표로 하는 위치 - 현재위치)와 각 가속도를 구하게 되는데 초기 정지상태의 매니플레이터에서 구동을 시작하는 것이기 때문에 가속도는 0으로 초기 값을 정하여 준다.

Ⓐ로 처리가 넘어가면 입력 값을 일정기준에 의한 7단계의 등급으로 나누어진다. 즉 변위차를 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 중에서 하나로 결정하고, 가속도를 마찬가지로 -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 중에서 맞는 레벨을 선택한다. 이렇게 단순화시킨 입력 값을 토대로 룰 베이스에서 결정된 출력값 즉 모

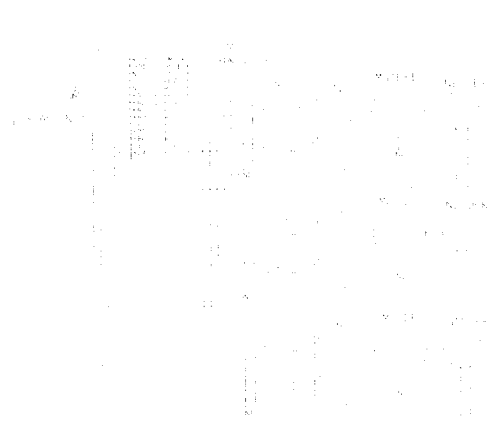


Fig. 5 Circuit of the motor controller.

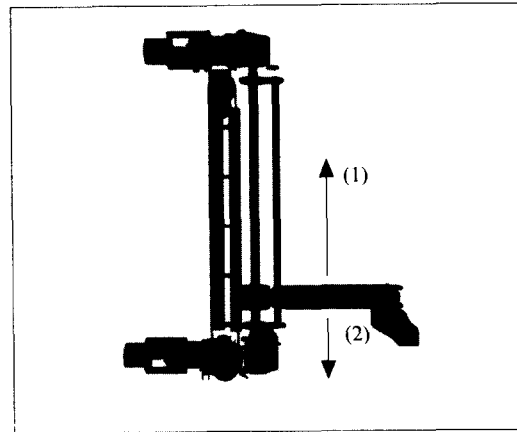
터의 전압을 변수에 저장한다. 이 값을 기준으로 모터에 PWM 펄스를 출력한다. 이러한 작업을 목표위치에 도달할 때까지 반복하는데 원하는 위치에 갔다고 해서 바로 루프를 빠져 나올 경우 매니플레이터의 진동에 의한 오차를 벗어날 수 없다. 이를 방지하기 위하여 모터가 완전히 정지한 것을 확인하기 위하여 일정시간 동안 목표위치에 서 있음을 확인한 후에 루프를 빠져 나오도록 비교문을 사용한다.

일정시간 목표위치에 있었음이 확인되면 초기 ①부분으로 이동 목표위치로 이동 완료했음을 메인 컨트롤러에게 알리고 다음 신호를 기다린다. 그림 5는 간략화 시킨 회로도를 나타낸다.

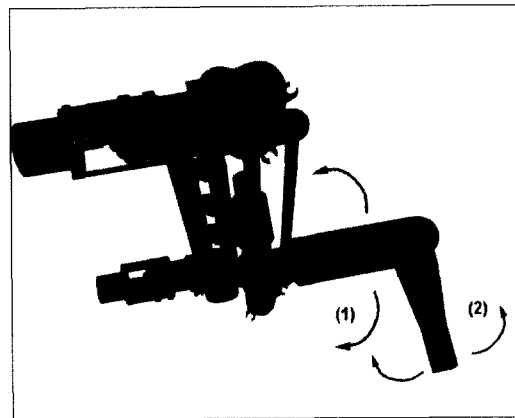
나. 작동방법

메인 컨트롤러는 PC(personal computer)가 사용되었다. 실제 오이 수확기에서 필수적인 영상처리 작업을 수행하려면 PC가 사용되어야 하는데 그 이유는 그래버 보드가 보통 PC에 부착되어 사용되도록 제작되어 나오기 때문이다. 메인 컨트롤러는 영상처리작업을 통해 얻어진 오이의 3차원 위치를 토대로 행렬계산을 통해 매니플레이터를 구동시킬 수 있는 실제 모터 회전량을 구하게 된다. 구하여진 모터의 위치 값을 시리얼 통신을 통해 모터 컨트롤러로 보낸다. 그러면 매니플레이터는 목표로 하는 위치 즉 오이로 엔드이펙터를 이동시키는 것이다.

그림 6의 (a)에 나타난 그림과 같이 모터 1의 회전위치를 + 방향의 위치오차가 발생하도록 보내



[a]



[b]

Fig. 6 Directions of the moving elbow link (a) and the shoulder link(b).

면 (1) 방향으로 -의 위치오차가 발생하는 방향으로 목표위치를 보내면 (2) 방향으로 이송하게 된다. 이때 위치오차는 목표위치와 현재위치의 차가 된다. 목표 위치를 한 개씩 간격을 두고 보내는 것이 아니고 한꺼번에 연속적으로 모터 1, 2, 3의 목표위치를 한꺼번에 보내면 각 모터가 동시에 그 위치로 회전하여 매니플레이터가 작동되게 된다. 모터 2의 회전에 의해 매니플레이터가 작동되는 방향은 + 방향의 위치오차가 발생하는 위치로 목표점을 주었을 때 그림 6의 (b)에서 엘보우 링크가 (1)방향으로 위치오차값이 -가 되는 목표값을 주었을 때엔 (2) 방향으로 회전한다.

Table 1 Experimental design

Number of actual test		Position of cucumber									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
First cucumber:1	300mm(A)	1-1-A	2-1-A	3-1-A	4-1-A	5-1-A	6-1-A	7-1-A	8-1-A	9-1-A	10-1-A
	400mm(B)	1-1-B	2-1-B	3-1-B	4-1-B	5-1-B	6-1-B	7-1-B	8-1-B	9-1-B	10-1-B
Second cucumber:2	300mm(A)	1-2-A	2-2-A	3-2-A	4-2-A	5-2-A	6-2-A	7-2-A	8-2-A	9-2-A	10-2-A
	400mm(B)	1-2-B	2-2-B	3-2-B	4-2-B	5-2-B	6-2-B	7-2-B	8-2-B	9-2-B	10-2-B
Third cucumber:3	300mm(A)	1-3-A	3-2-A	3-3-A	4-3-A	5-3-A	6-3-A	7-3-A	8-3-A	9-3-A	10-3-A
	400mm(B)	1-3-B	3-2-B	3-3-B	4-3-B	5-3-B	6-3-B	7-3-B	8-3-B	9-3-B	10-3-B

다. 실험방법

(1) 실험설계

매니플레이터의 성능실험방법은 3차원 공간에 놓인 오이의 좌표를 매니플레이터의 컨트롤러에 기억시켜놓고 작동시켜서 엔드이펙터를 수확 가능한 위치로 이동시키는 것이다. 이러한 작업을 반복하면서 오이와 엔드이펙터의 위치오차를 측정 기록하고 기록된 데이터를 분석하는 방법으로 표 1과 같이 실험 설계하였다.

실험설계의 내용은 세 개의 오이를 가지고 설계 제작한 매니플레이터의 원점에서 X, Y, Z축으로 300mm, 400mm의 두 가지 형태로 위치를 변환하여 10회 반복 측정하는 것으로 60개의 실험구를 두었다.

(2) 분석방법

매니플레이터를 임의의 원점에서 오이를 300mm의 거리에 고정하여 10차례 반복 측정하였으며, 이때, 오이의 기준점은 과경의 하부 50mm로 정하였다. 이는 엔드이펙터의 절단부와 파지부의 간격을 기준으로 정하였다. 다시 오이를 X, Y, Z축으로 100mm 더 이동하여 임의의 원점에서 400mm의 거리에 고정한 후 10차례 반복 측정을 하여 성능을 측정하였다. 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정된 데이터를 통해 본 매니플레이터의 정확도를 분석하였다.

그림 7은 실험장치 및 실험방법을 보여주는 그림으로 매니플레이터가 반복동작을 할 경우 엔드이펙터가 오이에 어느 정도의 오차로 접근하는지를 측정하는 모습이다. 버니어캘리퍼스를 이용하

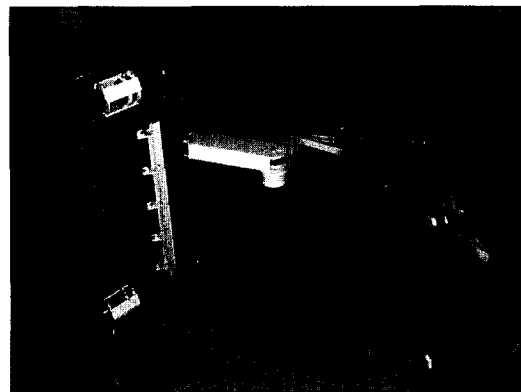


Fig. 7 Method of testing the manipulator.

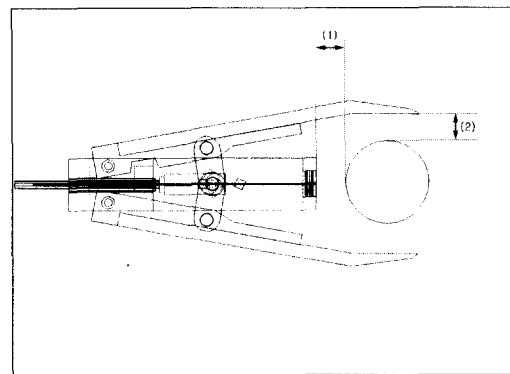


Fig. 8 Measuring the X and Y distance.

여 X, Y, Z의 3방향으로 측정하였다. 그림 8은 X 변위 및 Y 변위 측정부를 나타낸 그림이고, 그림 9는 Z 변위 측정부를 나타낸 그림이다.

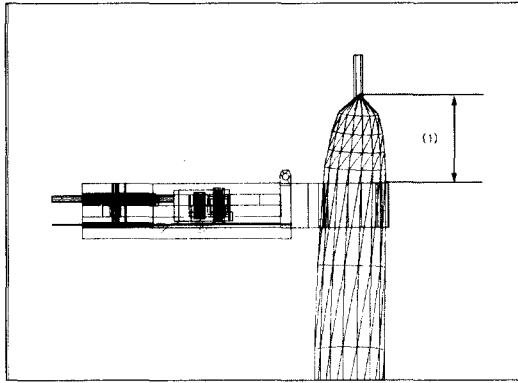


Fig. 9 Measuring the Z distance.

3. 결과 및 고찰

가. 반복 위치오차 측정

설계 제작한 매니플레이터의 원점에서 X, Y, Z 축으로 300mm 떨어진 거리에 오이를 고정시켜 10회 반복 측정한 후, 오이를 원점에서 X, Y, Z 축으로 400mm의 위치로 이동시켜 매니플레이터를 작동시키면서 엔드이펙터와 오이와의 거리를 측정하였다. 그 결과 표 2와 같은 오차가 생겼으며, 구체적인 측정결과는 표 3, 표 4, 표 5와 같이 나타났다.

Table 2 Maximum error of the measured distance between the tips of each position

(unit : mm)

Measured No.	Maximum error		X axis		Y axis		Z axis	
	+	-	+	-	+	-	+	-
1	0.86	1.09	0.37	0.28	0.37	0.28	0.37	0.28
2	0.25	0.35	0.22	0.33	0.14	0.36	0.14	0.36
3	0.26	0.24	0.11	0.14	0.17	0.18	0.17	0.18

Table 3 Maximum error of the distance for the measured No. 1

(unit : mm)

Number	Axis	X		Average	Y		Average	Z		Average
		300	400		300	400		300	400	
1		10.2	10.1	10.15	10.8	10.8	10.8	30.9	30.7	30.8
2		11.1	11.1	11.1	10.3	10.3	10.3	30	30.5	30.25
3		10.2	10.2	10.2	10.5	10.5	10.5	30.2	30.3	30.25
4		10.8	10.8	10.8	10.9	11	10.95	30.6	30.5	30.55
5		9.5	9.5	9.5	9.6	9.5	9.55	30.4	30.5	30.45
6		9.8	9.7	9.75	7.1	7.1	7.1	30.3	30.1	30.2
7		11.0	11.1	11.05	9.5	9.5	9.5	30.5	30.4	30.45
8		10.5	10.5	10.5	10.1	10	10.05	30.2	30.5	30.35
9		10.3	10.3	10.3	9.8	9.7	9.75	30.2	30.1	30.15
10		9.2	9.1	9.15	9.6	9.4	9.5	30.8	30.8	30.8
Average		10.26	10.24	10.25	9.82	9.78	9.80	30.41	30.44	30.43
Standard deviation		0.63	0.67	-	1.08	1.10	-	0.29	0.23	-
Standard error		0.20	0.21	-	0.34	0.35	-	0.09	0.07	-
Maximum error		+0.86 -1.09			+0.37 -0.28			+0.37 -0.28		

Table 4 Maximum error of the distance for the measured No. 2

(unit : mm)

Number	Axis	X		Average	Y		Average	Z		Average
		300	400		300	400		300	400	
1		11.4	11.2	11.3	8.3	8.4	8.35	28.1	28.2	28.15
2		12.0	11.8	11.9	8.6	8.6	8.6	28.6	28.7	28.65
3		11.6	11.5	11.55	8.9	8.7	8.8	28.5	28.5	28.5
4		11.4	11.4	11.4	8.3	8.2	8.25	28.6	28.4	28.5
5		11.6	11.7	11.65	8.8	8.7	8.75	28.7	28.6	28.65
6		11.8	11.9	11.85	8.5	8.6	8.55	28.4	28.4	28.4
7		11.7	11.7	11.7	8.6	8.5	8.55	28.6	28.5	28.55
8		11.9	11.6	11.75	8.4	8.5	8.45	28.5	28.5	28.5
9		11.6	11.5	11.55	8.9	8.8	8.85	28.6	28.7	28.65
10		11.8	11.8	11.8	8.6	8.6	8.6	28.7	28.5	28.6
Average		11.68	11.61	11.64	8.59	8.56	8.57	28.53	28.50	28.52
Standard deviation		0.20	0.21	-	0.22	0.17	-	0.18	0.15	-
Standard error		0.06	0.07	-	0.07	0.05	-	0.06	0.05	-
Maximum error		+0.25 -0.35		-	+0.22 -0.33		-	+0.14 -0.36		-

Table 5 Maximum error of the distance for the measured No. 3

(unit : mm)

Number	Axis	X		Average	Y		Average	Z		Average
		300	400		300	400		300	400	
1		11.8	11.8	11.8	8.6	8.6	8.6	25.7	25.9	25.8
2		11.5	11.5	11.5	8.9	8.8	8.85	25.6	25.6	25.6
3		11.9	11.9	11.9	8.4	8.5	8.45	25.9	25.8	25.85
4		11.6	11.4	11.5	8.5	8.5	8.5	25.8	25.6	25.7
5		11.5	11.6	11.55	8.7	8.4	8.55	25.6	25.6	25.6
6		11.6	11.5	11.55	8.5	8.6	8.55	25.7	25.7	25.7
7		11.7	11.7	11.7	8.8	8.6	8.7	25.3	25.6	25.45
8		11.4	11.4	11.4	8.5	8.6	8.55	25.8	25.7	25.75
9		11.8	11.9	11.85	8.6	8.5	8.55	25.5	25.7	25.6
10		11.6	11.7	11.65	8.8	8.7	8.75	25.7	25.5	25.6
Average		11.64	11.64	11.64	8.63	8.58	8.60	25.66	25.67	25.66
Standard deviation		0.16	0.19	-	0.16	0.11	-	0.17	0.12	-
Standard error		0.05	0.06	-	0.05	0.04	-	0.05	0.04	-
Maximum error		+0.26 -0.24		-	+0.11 -0.14		-	+0.17 -0.18		-

측정된 오차의 범위를 보면 각 좌표에서 1mm 이하로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 매니플레이터의 원점에서 X, Y, Z축의 위치에 대해서 동일한 오차범위가 나타나는 것으로 보아 오이의 위치에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

표 3에서 Y, Z축은 최대오차가 +0.37 -0.28로 낮은 오차 범위에서 같은 수치를 나타냈다. X축은 +0.86 -1.09로 오차 범위가 Y, Z축에 비해 높게 나타났으나 엔드이펙터가 오이를 파지하기 위해 접근하는 때는 문제가 없었다. 표준편차는 X, Y, Z축의 300, 400의 경우 0.63, 0.67, 1.08, 1.10, 0.29, 0.23이었으며, 표준오차는 0.20, 0.21, 0.34, 0.35, 0.09, 0.07이었다. 다음의 식을 이용하여 T-검증을 한 결과 X, Y, Z축의 등분산은 0.07, 0.08, -0.26으로 나타났다.

표 4와 5에서 X, Y, Z축은 최대오차가 0.5mm 내외로 오차범위가 낮게 나타났다. 이것은 수확작업을 하는데 있어서 엔드이펙터가 오이에 정확히 접근한다는 것을 나타내고 있다. 표 4에서 표준편차는 X, Y, Z축의 300, 400의 경우 0.20, 0.21, 0.22, 0.17, 0.18, 0.15였으며, 표준오차는 0.06, 0.07, 0.07, 0.05, 0.06, 0.05이었다. T-검증을 한 결과 X, Y, Z축의 등분산은 0.76, 0.34, 0.41로 나타났다.

표 5에서 표준편차는 X, Y, Z축의 300, 400의 경우 0.16, 0.19, 0.16, 0.11, 0.17, 0.12이었으며, 표준오차는 0.05, 0.06, 0.05, 0.04, 0.05, 0.04이었다. T-검증을 한 결과 X, Y, Z축의 등분산은 ±0.00, 0.79, -0.15로 나타났다.

나. 매니플레이터의 수확작업시 적합성

매니플레이터가 목표위치에 도달되는 시간은 그 목표로 하는 위치에 따라 다르다. 하지만 각 모터의 정격부하시 회전수에 따라 계산된 값과 차이가 없게 나타나는 것으로 측정되었다. 즉 작업공간내의 한 점에서 다른 한 점으로 이동하는데 걸리는 최대 시간은 3초 미만이다. 이것은 매니플레이터의 상승 하강시간 때문이다. 즉 Z축의 이동시간을 아래의 식과 같이 계산하였다.

$$62(\text{mm}) \times \pi(3.14592) \times 60(\text{rpm}) = 11686.72(\text{mm}/\text{min})$$

Z축의 총 길이가 432mm임을 감안 할 때, Z축의 아래 끝점에서 윗 끝점에서의 이동시간은 432/

11686.72 = 0.3696(min) 즉 2.21(sec)가 된다. 즉 목표위치로의 이동시간의 최대 소요시간은 2.21초가 된다. 소요시간을 줄이려면 상하이동시간을 단축시키는 방법이 있다. 이를 위해서 매니플레이터 상하 이송용 폴리의 직경을 크게 해주면 된다. 즉 영상처리장치, 오이 파지 및 줄기 절단장치, 대차장치의 성능과 속도를 고려하여 결정하여야 할 것으로 판정된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 오이 수확에 적합한 링크 구조와 메카니즘을 가진 매니플레이터를 개발하는 것이다. 연구 목적은 오이 수확에 적합한 링크구조와 메카니즘을 설계하는 것이다. 그래서 매니플레이터와 DC 모터 작동이 가능한 모터 컨트롤러를 설계하였다. 본 실험에 이용한 매니플레이터의 사양은 3축 PRR(prismatic revolute revolute)형 매니플레이터이다. 그리고 각각의 모터는 회전관성모멘트가 실리지 않는 부분에 장착되고 동력은 타이밍 벨트를 이용하여 전달하는 방식을 취하였다. 이렇게 함으로써 매니플레이터의 작동성능을 높였고 내구성 또한 증가되도록 하였다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 매니플레이터의 쇼울더링크 및 엘보우 링크에 모터 및 감속기를 장착시키지 않음으로 해서 회전 관성 모멘트를 최소화 시켰다. 이렇게 함으로써 쇼울더 링크 및 엘보우 링크 회전이 유연하게 작동되도록 하였다.

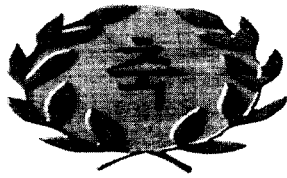
2) 각 축을 제어함에 있어 동력원으로 모터를 사용하였다. 모터는 제어가 용이한 장점이 있다. 모터 제어방법은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 작업환경에 맞게 룰 베이스(rule base)를 작성하여 대응하도록 하였다.

3) 모터의 회전력을 각 링크에 전달하기 위해 감속을 하였다. 이때 감속용으로 웜기어를 사용하고 동력전달은 타이밍 벨트를 이용함으로써 저가의 실용적인 매니플레이터를 설계하였다.

4) 매니플레이터의 반복 오차를 측정된 결과 월드좌표계(World coordinate)에서, X축으로 최대 오차 +0.26mm -0.24mm, Y축으로 최대오차 +0.11mm -0.14mm, Z축으로 최대오차 +0.17mm -0.18mm로 나타나 수확작업에 적합한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Lee, Dae-Weon et al. 1998. Effects of a growth and yield of grown cucumber from cutting leaves for a cucumber harvester, Biological Production Facilities and Environment Control 7(1):45-53. (In Korean).
2. Lee, Dae-Weon and Choi-Woong, Kim. 1998. A traveling control system with the X-Y table actuator for a workable machine without an operator in the greenhouse. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 23(2):157-166. (In Korean).
3. Hwang, H. and F. E. Sistler. 1985. The implementation of a robotic machine. ASAE and SME, Proceedings of the Agri-Motion I Conference & Exposition. 173-182.
4. Subrata, I. Dewa Made et al. 1998. Cherry tomato harvesting robot using 3-D vision sensor (Part 2). Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 60(1):59-68. (In Japanese).
5. 농림부. 2000. 농산물생산통계.



학 위 취 득



성 명 : 김 찬 수(金讚洙)
생 년 월 일 : 1961년 10월 3일
취 득 학 위 명 : 공 학 박사
학 위 수 여 대 학 : 충남대학교
학 위 취 득 년 월 일 : 2001년 2월 24일
학 위 논 문 : 건조 벧짚의 수집 결속 작업기 개발