

기구학적 분석을 이용한 로봇 매니퓰레이터 개발

민병로 · 이대원*

성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

Development of the Robot Manipulator for Kinematics

Min, Byeong-Ro and Lee, Dae-Weon*

Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan National University

Abstract. This study is kinematics for the manipulator development of cucumber harvesting. A theory value was verified by repeated error measurement after the forward kinematics or inverse kinematics analysis of manipulator. Manipulator is consisted of one perpendicular link and two revolution link. The transformation of manipulator can be valued by kinematics using Denavit-Hartenberg parameter. The value of inverse kinematics which is solved by three angles faction shows two types. Repeated errors referred maximum 2.60 mm, 2.05 mm and 1.55 mm according to X, Y, Z axis. In this study, the actual coordinates of maximum point and minimum point were agreement in the forward kinematics or inverse kinematics. The results of repeated error measurement were reflect to be smaller compared to a diameter of cucumber. measurement errors were determined by experimented errors during the test. For reducing errors of manipulator and improving work efficiency, the number of link should be reduced and breeding and cultural environment should be considered to reduce the weight and use the hard stuff. The velocity of motor for working should be considered, too.

Key words : repeated error, forward kinematics, inverse kinematics

*Corresponding author

서 언

산업의 발전과 더불어 농업인구는 해마다 감소하고 있으며 농업 연령층은 고령화 현상이 나타나고 있다. 전체 농가인구와 호당 농업인구가 줄어들고 있는데 반해 호당 경지면적은 매년 증가하고 있다. 노동력은 농업생산비의 가장 큰 비중을 차지하고 있고, 농가의 연령층 또한 고령화가 되어가고 있음을 고려해 본다면 농업의 기계화·자동화는 절실히 요구되고 있다. 매니퓰레이터는 3차원 공간으로 위치 이동을 하여 수확 작업을 하기 위해 선행되어야 할 사항이다.

수확용 매니퓰레이터의 연구는 그리퍼가 줄기를 잡아 이식할 수 있도록 하였고(Hwang과 Sistler, 1986), 공압을 이용하였다(Kutz 등, 1987). 또한 카메라 영상을 이용하여 장애물 회피 및 과실에 접근하도록 하였다(Ryu 등, 1999). 딸기 수확로봇은 4축을 가지고 딸기의 절단을 위하여 서보모터를 이용하였으며(Nagata

등, 2000), 오이 수확로봇은 3축을 가지고 있으며, DC 모터를 이용하였다(Lee 등, 2001). 또한 카메라의 좌표를 인식하여 3축 매니퓰레이터를 이동하였다(Min 등, 2002). 딸기수확로봇은 3축을 가지고 있으며, 하중 때문에 유압모터를 이용하였다(Sakai과 Iida, 2000). 오이를 수확하기 위한 3축 매니퓰레이터의 기구학적 분석(Min 등, 2001)과 착유시스템을 위한 5축 매니퓰레이터의 기구학적 분석을 하였다(Kim 등, 2003).

수확은 재배 과정 가운데 노동력, 시간 및 비용이 가장 많이 소요되는 작업이다. 본 연구는 수확용 매니퓰레이터의 개발을 위한 기구학적 분석을 하는 것이다. 구체적인 연구 목적은 매니퓰레이터의 작동에 대한 오차를 측정하여 대상체의 접근 범위를 판단하는 것이다. 매니퓰레이터의 정방향 기구학 및 역방향 분석을 통해 방정식을 구한 후 Visual C++ 6.0을 이용하여 장치를 작동시켜 반복오차를 측정한 후 이 값을 이론 값과 비교하여 검증하였다.

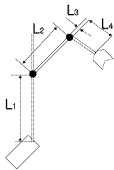


Fig. 1. Schematic diagram of manipulator.

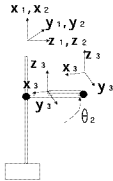


Fig. 2. Denavit-Hartenberg parameters of the links of a manipulator.

재료 및 방법

1. 매니퓰레이터의 정기구학

본 연구에 사용된 매니퓰레이터는 엔드이펙터까지 한 개의 수직 관절과 두개의 회전관절을 포함 총 3개의 자유도로 구성되어 있다.

Fig. 1은 매니퓰레이터 각 부분의 길이 L_1, L_2, L_3, L_4 는 1000 mm, 315 mm, 34 mm, 195 mm와 엔드이펙터의 위치를 나타낸 것이고, Fig. 2에서 매니퓰레이터 링크계는 1개의 수직관절, 2개의 회전관절과 엔드이펙터 부분까지 총 네 쌍의 인자로 구성되어 있다.

Fig. 2에 표시된 계층 전달함수 ${}^i T$ 의 일반적 형태를 이용하여 각각의 링크인자를 구하면 Table 1과 같다. 여기서, a_{i-1} 는 x_{i-1} 를 따라 측정된 z_i 에서 z_{i-1} 까지의 거리이며, a_i 는 x_i 주위로 측정된 z_i 와 z_{i-1} 사이의 각도이다. 상호 연결된 인자는 다른 링크까지 같은 축을 측정된 거리와 관계가 있다. 관절에서의 오프셋을 d_i 라하고, 링크와 접한 공동축의 회전방향을 관절각 θ_i 이다.

각 링크인자로부터 각각의 Transformation matrix를 구하면

Table 1. Link factors of the cucumber harvesting robot.

Link	Factor	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
1		0	0	L_1	45°
2		0	0	0	θ_2
3		L_2	0	L_3	$180 + \theta_3$
4		L_4	0	0	0

$${}^0 T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^1 T_2 = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^2 T_3 = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 & L_2 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^3 T_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & L_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

이것, 이를 이용해 ${}^0 T_4$ 를 구하면 다음과 같다.

$${}^0 T_4 = {}^0 T_1 {}^1 T_2 {}^2 T_3 {}^3 T_4 = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^2 T_4 = {}^2 T_3 {}^3 T_4 = \begin{pmatrix} -\cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 & -L_4 \cos \theta_3 + L_2 \\ -\sin \theta_3 & -\cos \theta_3 & 0 & -L_4 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

이를 이용하여 3개의 자유도를 갖는 전달함수 ${}^0 T_4$ 를 구하면

$${}^0 T_4 = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

다음과 같고 각 행렬의 원소는 아래와 같다.

$$r_{11} = -\cos \theta_2 \cos \theta_3 + \sin \theta_2 \sin \theta_3$$

$$r_{21} = -\sin \theta_2 \cos \theta_3 - \cos \theta_2 \sin \theta_3$$

$$r_{31} = 0$$

$$r_{12} = \cos \theta_2 \sin \theta_3 + \sin \theta_2 \cos \theta_3$$

$$r_{22} = \sin \theta_2 \sin \theta_3 - \cos \theta_2 \cos \theta_3$$

$$r_{32} = 0$$

$$r_{13} = 0$$

$$r_{23} = 0$$

$$r_{33} = 1$$

$$P_1 = -L_4 \cos \theta_2 \cos \theta_3 + L_2 \cos \theta_2 + L_3 \sin \theta_2 \sin \theta_3$$

$$P_2 = -L_4 \sin \theta_2 \cos \theta_3 + L_2 \sin \theta_2 - L_3 \cos \theta_2 \sin \theta_3$$

$$P_z = L_1 + L_3$$

각 행렬의 원소는 수학적 매니퓰레이터의 기구학적 해석을 하는데 필요한 기본 방정식이다.

2. 매니퓰레이터의 역기구학

정방향기구학은 의 인자 값을 이용하여 원점을 기준으로 목표 지점의 위치벡터와 방향행렬을 구하는 것이고, 역기구학은 반대의 경우를 생각하는 것이다. 원점을 기준으로 하여 공간상에 장치의 위치벡터가 주어지면 이로부터 값을 계산하는 것이 역기구학인 것이다. 역기구학을 구하는 여러 가지 방법 가운데 삼각함수를 이용한 기하학적 방법을 적용하였다.

매니퓰레이터의 원점에 대한 위치벡터 $P = (P_x, P_y, P_z)$ 를 나타내면 Fig. 3과 같다.

매니퓰레이터는 하나의 수직 축과 두개의 회전관절로 총 3개의 자유도를 가지고 있다. 역기구학으로 얻어야 할 인자 값은 L_1, θ_2, θ_3 값이다. 기준좌표계에 대한 위치벡터 $P = (P_x, P_y, P_z)$ 가 주어졌으므로 이로부터 L_1 값은 P_z 로부터 구할 수 있다. θ_2, θ_3 의 값을 구하기 위해 기준 좌표계의 x_0, y_0 로 이루어진 2차원 평면에 P_x, P_y 를 나타낸 후, 이 가운데 가장 적절한 해를 결정해야 한다. 해는 각 관절이 이동할 수 있는 범위와 장애물 및 이동 효율성 등을 고려한 후 선택한다. $\theta_{2,a} - \theta_2 = 2\alpha, \theta_{3,a}$ 에 \cos 법칙을 적용하여 $\cos\theta_3$ 를 구하면 $d^2 - L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2\cos\theta_2, (\cos\theta_3 -$

$$\frac{L_1^2 + L_2^2 - d^2}{2L_1L_2})$$
이다.

$$\text{따라서 } \theta_{3,b} = \cos^{-1}\left(\frac{d^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2}\right)$$
이다.

$$\phi \text{와 } \alpha \text{를 각각 구하면 } \phi = \cos^{-1}\frac{P_x}{d}, \alpha = \tan^{-1}$$

$$\left(\frac{L_1 \sin\theta_2}{L_2 - L_3 \cos\theta_3}\right)$$
이므로, θ_3 는 $\theta_2 - \phi + \alpha$ 에 의해 구할 수 있다.

3. 실험 장치

매니퓰레이터의 설계에 있어 가장 중요하게 고려해야 할 것은 작업성능이다. 작업 성능은 매니퓰레이터의 신속성과 정확성이 요구된다. 이를 위해선 경량이면서도 반복 작업 중 변형이 일어나지 않도록 견고한 재료를 사용해야만 한다. 또한 환경이 고온 다습한 것을 감안하여 변형이 적고 내부식성 재료인 알루미늄계 합금인 듀랄루민(Duralumin)을 사용하였다.

매니퓰레이터의 각 관절은 이러한 온신의 규모를 고려하여 3차원 설계 프로그램인 3D MAX를 이용하여 설계하였다. 각종 프레임 및 부품 제작은 CNC 조각기를 이용하여 1/100mm의 정밀도로 제작하였다. Fig. 4는 정면도, Fig. 5는 측면도를 나타냈다.

매니퓰레이터는 총 세 개의 스텝핑 모터(Stepping motor)를 사용하였고, 모터 사양은 Table 2와 같다.

수직 운동축인 스크류에 동력을 전달하는 한 개의 모터와 수평운동의 위치를 결정하기 위해 두개의 팔에 각각 모터를 설치하였으며, 이를 제어하기 위하여 모터 컨트롤러에 연결하였다.

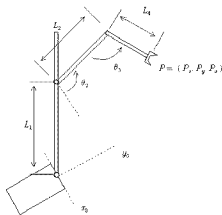


Fig. 3. Parameter signals of the position and angle vectors of links.

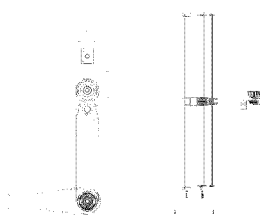


Fig. 4. Top view of manipulator.

Fig. 5. Right view of manipulator.

Table 2. Specification of stepping motor

Model No.	Holding torque (kg · cm)	Current (A/phase)	Voltage (V)	Resistance (Ω /phase)	Rotor inertia (gcm^2)	Overall length (mm)	Weight (Kg)
NK266-02A	9	2	3.6	1.8	300	54	0.7



Fig. 6. Motor controller.

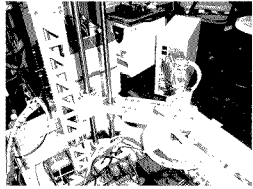


Fig. 7. Manipulator for actual tests.

Fig. 6은 모터 컨트롤러로써 Mycom사의 MFD-40C 모델을 사용하였다. 전원을 공급해 주는 Power supply 와 각자의 관절을 구동하기 위해 스텝핑 모터에 연결 하는 컨트롤러 및 컴퓨터와 연결되는 인터페이스 카드로 구성되어 있다.

프로그램은 매니플레이터를 작동시키기 전에 세 개의 모터를 원점으로 복귀시켜 변수를 초기화 시킨 후 중간상으로부터 목표 지점의 자료를 입력받아 매니플레이터가 입력 좌표로 이동한다.

4. 실험 방법

기구학적 분석에 의한 매니플레이터의 작동은 정방

향(Kinematics) 및 역방향(Inverse kinematics)의 경우에 대해 세 가지 측정변수(Factor)를 적용하여 Table 3과 같이 실험 설계를 하였다. ()로 표시된 부분은 역방향기구학에 의해 측정된 실험이고, ()로 표시되지 않은 부분은 정방향기구학에 의한 것이다.

원점을 기준으로 비파에 좌표를 설정하고 매니플레이터 끝부분에 추를 연결하여 목표지점으로 이동하도록 하였다. 반복 오차는 좌표와 추의 끝부분의 거리를 버니어캘리퍼스를 이용하여 X, Y, Z축에 대하여 데이터를 분석하는 방법으로 실험하였다. Fig. 7은 실험 장면을 나타낸 것이다.

정방향기구학 실험은 두개의 회전축(θ_1, θ_2)과 한 개

Table 3. Experimental design.

Factor 2	Factor 1			θ_2 (X)								
	Value	Error			50 (-50)			60 (0)			70 (50)	
Value		x	y	z	x	y	z	x	y	z		
θ_1 (Y)	210 (330)	A-1 (B-1)	A-4 (B-4)	A-7 (B-7)	A-10 (B-10)	A-13 (B-13)	A-16 (B-16)	A-19 (B-19)	A-22 (B-22)	A-25 (B-25)		
	240 (380)	A-2 (B-2)	A-5 (B-5)	A-8 (B-8)	A-11 (B-11)	A-14 (B-14)	A-17 (B-17)	A-20 (B-20)	A-23 (B-23)	A-26 (B-26)		
	270 (430)	A-3 (B-3)	A-6 (B-6)	A-9 (B-9)	A-12 (B-12)	A-15 (B-15)	A-18 (B-18)	A-21 (B-21)	A-24 (B-24)	A-27 (B-27)		

() : Measure by Inverse-Kinematics

의 수직이동축(L_1)에 각각 10° , 30° , 50 mm 씩 간격을 두고, 측정값과 계산값을 비교하여 위치에러를 측정하였다. 역방향기구학 실험은 공간상의 좌표(X, Y, Z)를 설정한 후 각각 50 mm 씩 간격을 두고 매니퓰레이터를 반복 이동시켜 위치에러를 측정하였다.

Table 3에 따른 정방향기구학 실험은 두개의 회전축(θ_1 , θ_2)과 한 개의 수직이동축(L_1)에 각각 10° , 30° , 50 mm 씩 간격을 두고, 측정값과 계산값을 비교하여 위치에러를 측정하였다. 역방향기구학 실험은 공간상의 좌표(X, Y, Z)를 설정한 후 각각 50 mm 씩 간격을 두고 매니퓰레이터를 반복 이동시켜 위치에러를 측정하였다.

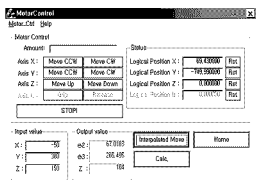


Fig. 8. Program of motor controller.

Fig. 8은 모터 컨트롤러에 연결되어 있는 각 링크의 스텝핑 모터를 제어하는 프로그램이다.

입력값에 3차원 좌표를 입력시키면 목표 지점으로 이동하기 위한 모터의 회전 값을 Output에서 확인할 수 있으며 보간법(Interpolation)을 이용하여 출력 값에 의한 관절의 회전을 동시에 움직이도록 하였다.

결과 및 고찰

Table 3의 실험실제 순서를 기준으로 매니퓰레이터를 목표지점까지 이동시켜 발생하는 오차를 10회 반복 측정하여 평균값을 나타내었다. 정방향 기구학에 의한 측정결과는 Table 4, Table 5, Table 6에 나타내었다.

Z축이 50 mm 일때 오차의 범위는 $0.80\sim 2.15\text{ mm}$ 로 나타났다. A-2, A-3지점은 평균 2.20 , 2.40 mm 로 가장 큰 오차가 발생하였고, A-21, A-24 지점에는 0.80 mm 로 가장 작은 오차가 발생하였다.

Z축이 100 mm 일때 오차의 범위는 $0.95\sim 2.15\text{ mm}$ 로 나타났다.

Z축이 지면에서 150 mm 일때 오차의 범위는 $1.05\sim 2.30\text{ mm}$ 로 나타났다. A-1, A-2 지점은 평균 2.15 , 2.30 mm 로 가장 큰 오차가 발생하였고, A26 지점에서는 평균 1.05 mm 로 가장 작은 오차가 발생하였다.

X, Y, Z축 가운데 X축의 평균 오차는 1.56 mm 로

Table 4. 50 mm translation from Z axis by kinematics.

		Theta 2			Theta 3			Error								
		Degree			50			70								
Theta 3	Degree	x	y	z	x	y	z	x	y	z						
											Theta 2			Theta 3		
											Degree			50		
	210	2.05	1.45	1.35	1.10	1.00	1.15	1.05	1.75	1.40						
	240	2.20	1.85	1.20	1.20	0.83	1.05	1.85	1.20	0.90						
	270	2.40	1.95	0.95	1.30	1.50	1.20	0.80	0.80	1.20						

Table 5. 100 mm translation from Z axis by kinematics.

		Theta 2			Theta 3			Error								
		Degree			50			70								
Theta 3	Degree	x	y	z	x	y	z	x	y	z						
											Theta 2			Theta 3		
											Degree			50		
	210	1.95	1.15	1.45	1.25	1.20	1.25	1.20	1.55	1.15						
	240	2.15	1.60	1.55	1.20	1.10	1.30	1.65	1.40	1.05						
	270	1.80	1.90	1.25	1.35	1.45	1.20	1.00	0.95	1.10						

Table 6. 150 mm translation from Z axis by kinematics.

< unit : mm >

		Theta 2			θ_2					
		Degree	50		60		70			
Theta 3	Degree	Error								
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
θ_3	210	2.15	1.40	1.50	1.55	1.30	1.20	1.25	1.40	1.25
	240	2.30	1.35	1.55	1.30	1.15	1.40	1.55	1.35	1.05
	270	2.00	1.75	1.20	1.45	1.35	1.25	1.20	1.15	1.15

가장 크게 나타났으며, Z축 평균의 오차는 1.23 mm로 가장 작게 나타났다. A-2 지점은 모든 경우 가장 많은 오차가 발생하여 정확성이 가장 작은 곳으로 나타났다.

역방향 기구학에 의한 측정결과는 Table 7, Table 8, Table 9와 같이 나타났다.

Z축이 50 mm일때 오차의 범위는 0.60~2.60 mm로

나타났다. B-2, B-3 지점은 평균 2.60, 2.40 mm로 가장 큰 오차가 발생하였으며, B-17 지점에서는 0.60 mm로 가장 작은 오차가 발생했다.

Z축이 100 mm일때 오차의 범위는 0.80~2.45 mm로 나타났다. B-2, B-3 지점에서는 2.45, 2.35 mm로 가장 큰 오차가 발생하였으며, B-17, B-19 지점에서는 평균 0.80, 0.85 mm로 가장 작은 오차가 발생했다.

Table 7. 50 mm translation from Z axis by inverse-kinematics.

< unit : mm >

		X axis			X					
		Travel	-50		0		50			
Y axis	Travel	Error								
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y	330	2.00	1.40	1.25	1.10	1.00	0.85	1.05	0.90	1.15
	380	2.60	1.85	1.05	1.20	1.35	0.60	1.85	1.20	1.30
	430	2.40	1.95	1.30	1.35	1.50	1.15	0.80	0.80	1.05

Table 8. 100 mm translation from Z axis by inverse-kinematics.

< unit : mm >

		X axis			X					
		Travel	-50		0		50			
Y axis	Travel	Error								
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y	330	2.10	1.30	1.30	1.30	1.20	1.05	0.85	1.20	1.00
	380	2.45	1.65	1.25	1.20	1.15	0.80	1.65	1.20	1.35
	430	2.35	2.05	1.10	1.15	1.40	1.35	1.20	0.90	1.15

Table 9. 150 mm translation from Z axis by inverse-kinematics.

< unit : mm >

		X axis			X					
		Travel	-50		0		50			
Y axis	Travel	Error								
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
Y	330	2.20	1.20	1.50	1.25	0.85	1.45	1.55	1.70	1.60
	380	2.40	1.85	1.40	1.40	0.95	1.20	1.30	1.50	1.75
	430	1.95	1.98	1.15	1.25	1.30	1.40	0.90	1.15	1.25

Z축이 150 mm일때 오차의 범위는 0.85~2.40 mm로 나타났다. B-1, B-2 지점에서는 평균 2.20, 2.40으로 가장 큰 오차가 발생하였으며, B-13, B-21 지점에서는 0.85, 0.90 mm로 가장 작은 오차가 발생했다.

Z축 변화에 따른 정방향기구학의 반복오차는 X, Y, Z축 가운데 X축의 오차가 평균 1.58 mm로 가장 크게 나타났으며, Z축 오차는 1.19 mm로 가장 작았다. B-2, B-3 지점에서 평균 오차는 1.69~1.88 mm로 가장 크게 발생하였다.

정방향 기구학 및 역방향 기구학 실험에서 모든 측정 오차는 2.4 mm 이내로 나타났고, Z축의 높이 변화는 X, Y, Z축 오차에 큰 영향을 주지 않았다. 정방향기구학의 A-3지점과 역방향의 B-2지점은 가장 많은 오차가 나타났다.

적 요

본 연구는 오이수확기의 매니플레이터 개발을 위한 기구학적 분석을 하는 것이다. 매니플레이터의 정방향 기구학 및 역방향 기구학 분석을 한 후 실제 장치의 반복오차 측정실험을 통해 이론 값을 검증하였다. 매니플레이터는 총 세 개의 링크로서 한 개의 수직링크와 두개의 회전링크로 구성되어 있으며, 세 개의 스테핑 모터가 각 관절에 장착되어 링크에 동력을 전달한다. 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

D-H Parameter를 이용하여 정방향 기구학에 의한 매니플레이터의 변환 연산자를 얻었다. 역방향 기구학의 해는 두가지로 나타났으며 삼각함수를 이용하여 해를 구하였다. 매니플레이터의 반복오차를 측정한 검증 실험에서는 X, Y, Z축에 대하여 반복 오차가 최대 2.60 mm, 2.05 mm, 1.55 mm로 나타났으며, 정방향 및 역방향 기구학에서 오차의 최대지점 및 최소지점의 실제 좌표는 일치하였다.

반복오차 측정 결과는 매니플레이터의 목표지점인 오

이의 직경에 비해 비교적 작게 나타났다. 측정오차는 실험중 발생한 실험오차로 판단된다. 매니플레이터의 오차를 줄이고 작업능률의 향상을 위해서는 링크의 수를 줄이고 오이의 품종 및 재배환경을 고려하여야 하며, 경량 이면서도 견고한 재료를 사용하여 하중을 줄여야 한다.

주제어 : 반복오차, 정방향, 역방향 기구학

인 용 문 헌

1. Hwang, H. and F.E. sistler. 1986. A robotic pepper transplanter. Applied Engineering in Agriculture 2(1): 2-5.
2. 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.
3. Kutz, L.J., G.E. Miles, P.A. Hammer, and G.W. Krutz. 1987. Robotic transplanting of bedding plants. Transactions of the ASAE 30(3):586-590.
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. Journal of the Korean Society 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. Proceeding of the Bio-robotics 59-64.
8. Ryu, K.H., I.H. Pak, Y.S. Uyu, and G.Y. Kim. 1999. A simulation of obstacle avoidance with a redundant robot. Proceedings the KSAM 1999 4(1):691-697.
9. Sakai, S. and M. Iida. 2000. Heavy vegetable robot. Proceeding of the Bio-robotics 47-50.