

자동 착유시스템을 위한 다관절 로봇 머니플레이터의 기구학적 분석

김 웅 · 이대원*

공주대학교 생물산업기계공학전공

Kinematics Analysis of the Milti-joint Robot Manipulator for an Automatic Milking System

Kim, W. and Lee, D. W.*

Major of Bio-industry Mechanical Engineering, Kongju Univ., Yesan, 340-702 Korea

Summary

The purpose of this study was kinematics analysis of the multi-joint robot manipulator for an automatic milking system. The multi-joint robot manipulator was consisted of one perpendicular link and four revolution links to attach simultaneously four teat cups to four teats of a milking cow.

The local coordinates of each joints on the robot manipulator was given for kinematics analysis. The transformation of manipulator was able to be given by kinematics using Denavit-Hatenberg parameters. The value of inverse kinematics which was solved by two geometric solution methods.

The kinematics solutions was verified by AutoCAD, MATLAB, simulation program was developed using Visual C++.

(Key words : Foreword kinematics, Inverse kinematics, Multi-joint robot manipulator)

서 론

우리나라의 낙농은 유럽 선진 낙농국과 같이 가족경영형태로 이루어지고 있다. 2005년 젖소사육 농가는 약 8,900 여 농가로 2000년 약 13,300 여 농가보다 4,500, 약 33% 농가가 감소하였으며, 꾸준히 감소하는 추세를 보이고 있다. 반면, 젖소사육두수는 2000년 54만 여 마리에서 2005년 48만여 마리로 10% 감소에 그쳤다. 2005년 젖소사육규모별 농가는 30두 이상을 키우는 농가가 7,000여 가구로

전체농가의 80%를 차지하고 있으며, 50두 이상 사육농가는 4,700여 가구로 전체농가의 53%를 차지하고 있어 규모화는 점차 확대되는 경향을 보이고 있다(농림부, 2006).

낙농은 사양관리와 착유관리, 분뇨처리, 번식 및 생산의 종합적인 관리가 필요한 산업이며, 특히 그중 착유관리는 낙농의 전체 노동투하시간의 50% 이상을 차지하고 있다. 따라서 많은 노동력을 필요로 하고 있으나 농민들의 기피 및 고용인을 두기 어려운 현실로 인해 노동력 부족은 앞으로도 계속될 것

* Department of Bio-mechatronics SungKyunKwan University

Corresponding author : Kim, W. Major of Bio-industry Mechanical Engineering, Kongju University, Yesan, 340-702 Korea, E-mail: kimw017@kongju.ac.kr

으로 판단된다(Lee et al., 1998).

자동 착유시스템은 네덜란드, 스웨덴 등 유럽의 선진 낙농국가를 중심으로 2006년 6,500대로 목장 당 1.44대가 보급되어 운영되고 있으며, 세계시장은 급격히 확산되는 추세이다.

그러나 현재 판매되고 있는 자동 착유시스템은 50~60두 기준으로 약 3~4억이 소요될 정도로 고가이나 신규로 로봇착유기를 도입할 경우 착유실 건축비용과 착유로봇 도입비용 간의 차이가 크지 않아 자동 착유시스템의 전망은 매우 밝다고 판단된다.

이러한 점에 착안해 본 연구는 자동 착유시스템을 위한 다관절 로봇 머니플레이터의 순기구학 및 역기구학의 해석을 통한 제어방법의 기초를 제공하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 머니플레이터 설계

자동 착유시스템에서 가장 중요한 부분 중 하나인 머니플레이터는 각 공정에 맞는 작업기의 탈·부착과 작업영역으로 정확한 이동을 할 수 있어야 한다. 이를 위하여 본 실험에서 설계된 머니플레이터는 젖소의 배 밑으로 들어가 작업할 수 있도록 하였으며, 기초 실험인 젖소의 체측 측정결과를 이용하여 다관절 머니플레이터를 설계하였다(Lee et al., 2001; Kwon et al., 2002).

각 관절의 구성은 각 공정의 작업기를 Z축으로 이동할 수 있는 수직 이동 축(1번 축)과 X, Y의 위치이동을 위해 수평회전운동을 할 수 있는 4개의 회전관절(2번, 3번, 4번, 5번 축)로 구성하였다.

각 관절의 구성을 살펴보면 Z축을 상·하로 이동하는 1번 축은 작동거리가 200 mm이며, 스크류와 LM 가이드를 이용하여 수직운동을 할 수 있도록 하였다. 2번 축은 로봇

이 팔을 완전히 뻗을 때를 기준으로 좌측으로 160°, 우측으로 180°로 총 340° 회전을 할 수 있으며, 링크길이는 450 mm, 웜기어는 감속비가 100:1로 설계하였다. 또한, 관절의 한계점과 원점을 알기 위해 OMRON사의 근접센서(EXE-X1C1)를 설치하였다.

3번 축은 좌·우 각각 150°, 총 300°를 회전할 수 있으며, 링크길이는 450 mm로 설계하였다. 2번 축과 같이 모터와 관절축은 웜기어 구조로 되어 있다. 4번 축은 좌·우 각각 90°씩, 총 180°를 회전하도록 하였으며, 링크길이는 100 mm로 설계하였다. 5번 축은 위·아래 각각 45°씩, 총 90°를 회전하도록 설계하였으며, 링크길이는 156 mm, 감속비는 70:1로 설계하였다. Table 1은 각 관절의 링크길이 및 회전각, 운동거리를 나타낸 표이며 Fig. 1은 설계된 머니플레이터의 구성도 및 설계도를 나타낸 것이다.

Table 1. Specification of robot manipulator

Axis	Range Angle (stroke)	Length of link (mm)
1	200 mm	200
2	340 °	450
3	300 °	450
4	180 °	100
5	90 °	156

2. 실험방법

설계된 머니플레이터의 제어를 위하여 순기구해와 역기구해를 구하고, 구해진 해를 검증하기 위하여 Autodesk사의 AutoCAD 프로그램과 Mathworks사의 MATLAB 프로그램을 이용하여 검증을 하였다. 또한 Visual C++ 프로그램을 이용한 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 검증을 하였다.

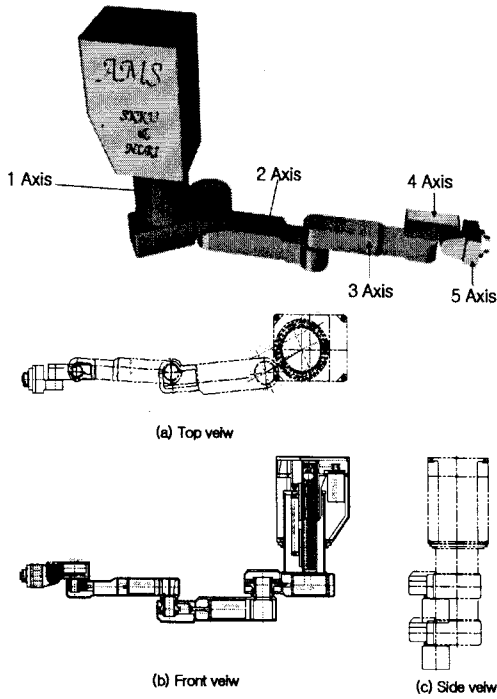


Fig. 1. Schematic diagram and drawing of the robot manipulator.

결과 및 고찰

1. D-H(Denavit Hartenberg) 파라미터

기구해석을 위해서 우선적으로 각 링크간

의 조인트 상태를 구해야 하는데, 이런 기하학적 특성을 규정하는데 표준이 되는 것을 Denavit Hartenberg(D-H) 파라미터라 한다. 본 연구에서 제작된 매니플레이터의 D-H 파라미터는 Table 2와 같다.

2. 순기구해

순기구학은 매니플레이터의 각 관절데이터를 알고 있을 때 엔드이펙터의 위치를 구하기 위한 방법이다. 이를 위하여 Fig. 2와 같이 설계된 매니플레이터 각 관절에 로컬 좌표를 설정하였다. 설계된 매니플레이터의 기준좌표로부터 엔드이펙터까지의 관계는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$${}^R_T E = {}^R_T 0 \quad {}^0_T 1 \quad {}^1_T 2 \quad {}^2_T 3 \quad {}^3_T 4 \quad {}^4_T E$$

여기서,

$${}^R_T 0 = \text{Rot}(Z, \theta_1)$$

$${}^0_T 1 = \text{Tran}(Z, d_1) \text{Tran}(X, a_1)$$

$${}^1_T 2 = \text{Rot}(Z, q_2 - \theta) \text{Tran}(X, a_2) \text{Tran}(Z, d_2)$$

$${}^2_T 3 = \text{Rot}(Z, q_3) \text{Tran}(X, a_3)$$

$${}^3_T 4 = \text{Rot}(Z, q_4) \text{Tran}(X, a_4) \text{Tran}(Z, d_4)$$

$${}^4_T E = \text{Rot}(X, \theta_5) \text{Tran}(X, a_E) \text{Tran}(Y, b_E)$$

$$\text{Rot}(X, \theta_5)$$

Table 2. D-H parameters of manipulator

Joint i	a_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
0	0	0	d_1	30
1	0	202.57	-11	$q_2 - 30$
2	0	450	0	q_3
3	0	450	44.5	q_4
4	90	100	0	0
E	-90	149.64	0	0

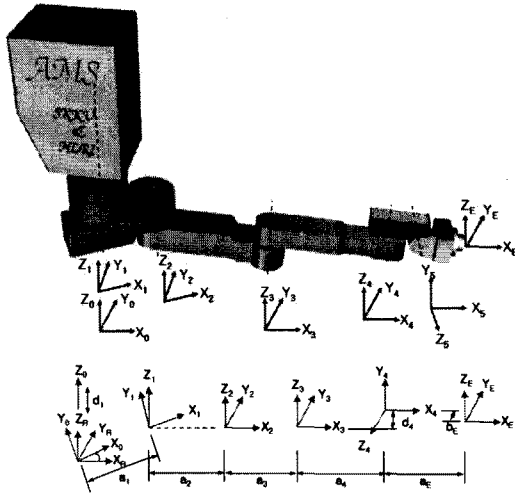


Fig. 2. Coordinates of manipulator for kinematics.

머니플레이터의 각 관절의 변환(transformations)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$${}^R T^0 = \text{Rot}(Z, \Theta_1)$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0 T^1 = \text{Tran}(Z, d_1) \text{Tran}(X, a_1)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1 T^2 = \text{Rot}(Z, q_2 - \Theta) \text{Tran}(X, a_2) \text{Tran}(Z, d_2)$$

$$= \begin{bmatrix} C(q_2 - \theta) & -S(q_2 - \theta) & 0 & a_2 C(q_2 - \theta) \\ S(q_2 - \theta) & C(q_2 - \theta) & 0 & a_2 S(q_2 - \theta) \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2 T^3 = \text{Rot}(Z, q_3) \text{Tran}(X, a_3)$$

$$= \begin{bmatrix} Cq_3 & -Sq_3 & 0 & a_3 Cq_3 \\ Sq_3 & Cq_3 & 0 & a_3 Sq_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3 T^4 = \text{Rot}(Z, q_4) \text{Tran}(X, a_4) \text{Tran}(Z, d_4)$$

$$= \begin{bmatrix} Cq_4 & -Sq_4 & 0 & a_4 Cq_4 \\ Sq_4 & Cq_4 & 0 & a_4 Sq_4 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4 T^E = \text{Rot}(X, \Theta_5) \text{Tran}(X, a_E) \text{Tran}(Y, b_E)$$

$$\text{Rot}(X, \Theta_5)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_E \\ 0 & C\theta_5 C\theta'_5 + S\theta_5 S\theta'_5 & -C\theta_5 S\theta'_5 - S\theta_5 C\theta'_5 & b_E C\theta_5 \\ 0 & S\theta_5 C\theta'_5 + C\theta_5 S\theta'_5 & -S\theta_5 S\theta'_5 + C\theta_5 C\theta'_5 & b_E S\theta_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

위에 나열한 각 관절의 변환으로부터 전체 ${}^R T^E$ 의 변환식을 나타내면 다음과 같다.

$${}^R T^E = {}^R T^0 {}^0 T^1 {}^1 T^2 {}^2 T^3 {}^3 T^4 {}^4 T^E$$

$$= \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & P_x \\ n_y & s_y & a_y & P_y \\ n_z & s_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기서,

$$n_x = (C\theta C(q_2 - \theta) - S\theta S(q_2 - \theta))$$

$$(Cq_3 Cq_4 - Sq_3 Sq_4) +$$

$$(-C\theta S(q_2 - \theta) - S\theta C(q_2 - \theta))$$

$$(Sq_3 Cq_4 + Cq_3 Sq_4)$$

$$n_y = (S\theta C(q_2 - \theta) + C\theta S(q_2 - \theta))$$

$$(Cq_3 Cq_4 - Sq_3 Sq_4) +$$

$$(-S\theta S(q_2 - \theta) + C\theta C(q_2 - \theta))$$

$$(Sq_3 Cq_4 + Cq_3 Sq_4)$$

$$n_z = 0$$

$$s_x = (C\theta C(q_2 - \theta) - S\theta S(q_2 - \theta))$$

$$(C\theta_5 C\theta'_5 + S\theta_5 S\theta'_5)$$

$$\times (a_4 Cq_3 Cq_4 - a_4 Sq_3 Sq_4 + a_3 Cq_3$$

$$(-C\theta S(q_2 - \theta) - S\theta C(q_2 - \theta))$$

$$(C\theta_5 C\theta'_5 + S\theta_5 S\theta'_5)$$

$$(-Sq_3 Sq_4 + Cq_3 Cq_4)$$

$$s_y = (S\theta C(q_2 - \theta) + C\theta S(q_2 - \theta))$$

$$(C\theta_5 C\theta'_5 + S\theta_5 S\theta'_5)$$

$$\times (a_4 Cq_3 Cq_4 - a_4 Sq_3 Sq_4 + a_3 Cq_3) +$$

$$\begin{aligned}
 & (-S\theta S(q_2 - \theta) + C\theta C(q_2 - \theta)) \\
 & (C\theta_5 C\theta'_5 + S\theta_5 S\theta'_5) \\
 & (-S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4}) \\
 s_z = & S\theta_5 C\theta'_5 + C\theta_5 S\theta'_5 \\
 a_x = & (-C\theta S(q_2 - \theta) - S\theta C(q_2 - \theta)) \\
 & (-S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4}) \times \\
 & (-C\theta_5 S\theta'_5 - S\theta_5 C\theta'_5) \\
 a_y = & (-S\theta S(q_2 - \theta) + C\theta C(q_2 - \theta)) \\
 & (-S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4}) \times \\
 & (-C\theta_5 S\theta'_5 - S\theta_5 C\theta'_5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_z = & -S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4} \\
 P_x = & (C\theta C(q_2 - \theta) - S\theta S(q_2 - \theta)) \\
 & (a_E(C_{q_3} C_{q_4} - S_{q_3} S_{q_4}) + b_E C\theta_5 \times \\
 & (-C_{q_3} S_{q_4} - S_{q_3} C_{q_4}) + \\
 & (a_4 C_{q_3} C_{q_4} - a_4 S_{q_3} S_{q_4} + a_3 C_{q_3})) + \\
 & (-C\theta S(q_2 - \theta) - S\theta C(q_2 - \theta)) \\
 & (a_E(S_{q_3} C_{q_4} + C_{q_3} S_{q_4}) + b_E C\theta_5 \times \\
 & (-S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4}) + \\
 & (a_4 S_{q_3} C_{q_4} + a_4 C_{q_3} S_{q_4} + a_3 S_{q_3})) + \\
 & (a_2 C\theta C(q_2 - \theta) - a_2 S\theta S(q_2 - \theta))
 \end{aligned}$$

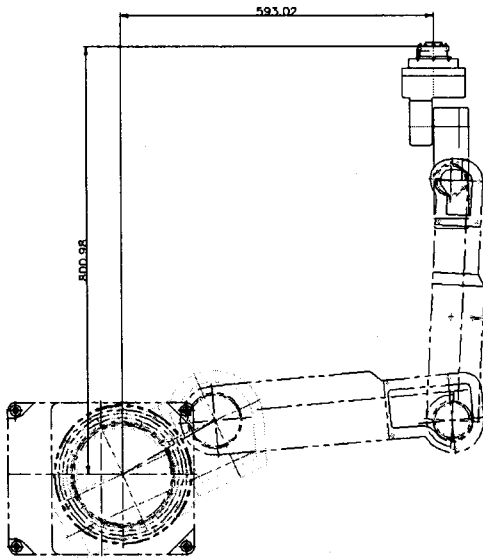
$$\begin{aligned}
 & + a_1 C\theta) \\
 P_y = & (S\theta C(q_2 - \theta) + C\theta S(q_2 - \theta)) \\
 & (a_E(C_{q_3} C_{q_4} - S_{q_3} S_{q_4}) + b_E C\theta_5 \times \\
 & (-C_{q_3} S_{q_4} - S_{q_3} C_{q_4}) + \\
 & (a_4 C_{q_3} C_{q_4} - a_4 S_{q_3} S_{q_4} + a_3 C_{q_3})) + \\
 & (-S\theta S(q_2 - \theta) + C\theta C(q_2 - \theta)) \\
 & (a_E(S_{q_3} C_{q_4} + C_{q_3} S_{q_4}) + b_E C\theta_5 \times \\
 & (-S_{q_3} S_{q_4} + C_{q_3} C_{q_4}) + \\
 & (a_4 S_{q_3} C_{q_4} + a_4 C_{q_3} S_{q_4} + a_3 S_{q_3})) + \\
 & (a_2 S\theta C(q_2 - \theta) - a_2 C\theta S(q_2 - \theta) + a_1 S\theta) \\
 P_z = & b_E S\theta_5 + d_1 + d_2 + d_4
 \end{aligned}$$

본 연구에서 설계된 머니플레이터를 위한 순기구학 해를 검증하기 위하여 임의 변수를 대입하여 MATLAB 프로그램과 Autodesk사의 AutoCAD 프로그램으로 검증한 결과는 Table 3, Fig. 3과 같이 나타났다. 최대오차는 0.52 mm, 최소오차는 0.18 mm, 평균오차는 0.37 mm로 나타나 순기구학을 위한 해가 올바르게 구해진 것으로 판단되었다.

Table 3. Verification of forward kinematics by MATLAB program

Time	Input parameter				Error			
	d ₁ (mm)	q ₂ (°)	q ₃ (°)	q ₄ (°)	X	Y	Z	E
1	50	0	90	0	0.41	0.04	0.02	0.41
2	55	0	90	90	0.24	0.12	0.23	0.35
3	60	45	45	0	0.35	0.31	0.25	0.53
4	65	90	90	0	0.27	0.06	0.14	0.31
5	70	0	45	45	0.10	0.14	0.04	0.18
6	75	0	135	0	0.38	0.34	0.08	0.52
7	80	90	90	45	0.29	0.17	0.21	0.40
8	85	90	90	-45	0.21	0.02	0.19	0.28
Maximum					0.41	0.34	0.25	0.53
Minimum					0.1	0.02	0.02	0.18
Average					0.28	0.15	0.15	0.37

$$* E = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$



$$R_{T^E} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 593.43 \\ 1 & 0 & 0 & 800.92 \\ 0 & 0 & 1 & 65.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fig. 3. Verification of forward kinematics by AutoCAD program.

3. 역기구해

역기구학은 엔드이펙터의 위치를 알고 있을 때 각 관절의 위치와 자세를 알기 위한 방법으로 머니플레이터를 제어하기 위하여 주로 사용된다. 역기구해를 구하기 위해서는 여러 가지 접근방법이 있지만 각 관절의 X_i 주위로 측정된 Z_i 와 Z_{i+1} 사이의 각도를 나타내는 α_i 의 값이 0° 또는 90° 인 머니플레이터의 해석에 많이 사용하는 기하학적(Geometric solution) 방법을 사용하여 적용하였다 (Craig, 1997; shigley and uicker, 1997).

본 연구에서 제작된 머니플레이터는 모두 5관절을 가지고 있으나, 2번, 3번, 4번 관절에 의해 X, Y 좌표가 결정되므로 2번, 3번, 4번 관절의 평면기하를 직접 적용하여 구할 수 있다.

2번, 3번, 4번 관절을 평면적으로 간략하게

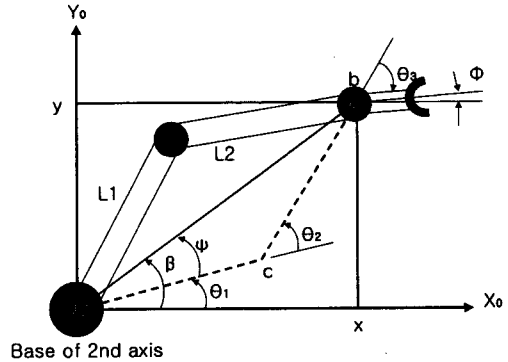


Fig. 4. The geometric plane of 2, 3, 4 joints.

그리면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 4에서 O점과 b점을 있는 선분을 기준으로 $\triangle oab$ 와 $\triangle ocb$ 는 엔드이펙터가 위치할 수 있는 지점에 대해 2번 축과 3번 축이 위치할 수 있는 두 가지의 상황을 나타낸 것이다. 삼각형에 대해서 Cosine 법칙을 적용하면 θ_2 를 구할 수 있다.

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos(180 + \theta_2)$$

여기서,

$$\cos(180 + \theta_2) = -\cos(\theta_2) \text{ 이므로}$$

$$\therefore \cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

$$(\text{단, } \sqrt{x^2 + y^2} \leq l_1 + l_2)$$

또한, 해가 존재한다면 θ_2 는 $\theta_2 = -\theta_2$ 와 같은 두 개의 해가 존재하게 된다.

θ_1 에 대한 해를 구하기 위해서는 β 와 ψ 에 대한 방정식을 풀어야한다. β 는 x, y 값의 변화에 의해서 사분면 어느 곳에도 위치할 수 있기 때문에 두 개의 변수를 가지는 arc tangent를 사용하게 되면 다음과 같다.

$$\beta = \text{atan}^2(y, x)$$

ψ 를 구하기 위해 Cosine 법칙을 적용하여 보면 다음과 같다.

$$\cos \psi = \frac{x^2 + y^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1 \sqrt{x^2 + y^2}}$$

ψ 의 값을 구하기 위해 arc cosine을 계산하게 되면 기하학적인 형상을 유지하기 위해 $0^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$ 의 조건을 만족해야만 한다. 위에서 구한 β 와 ψ 를 이용하여 다음과 같이 θ_1 을 구할 수 있다.

$$\therefore \theta_1 = \beta \pm \psi$$

(여기서, $+\Rightarrow \theta_2 < 0, - \Rightarrow \theta_2 > 0$)

θ_1 과 θ_2 를 알게 되면 4번 축이 이루는 방위각 ϕ 를 이용하여 θ_3 를 구할 수 있다.

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = \phi$$

$$\therefore \theta_3 = \phi - \theta_1 - \theta_2$$

본 연구에서 설계된 머니플레이터를 위한 역기구학 해를 검증하기 위해 임의의 위치를 대입하여 MATLAB 프로그램으로 알아본 결과는 Table 4와 같이 나타났으며, 이는 역기

구학을 위한 해가 올바르게 구해진 것으로 판단되었다.

2, 3, 4 관절의 해를 이용하여 올바른 자세를 유지하는지를 알아보기 위하여 위에서 제시한 역기구해를 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 프로그램을 이용하여 임의의 데이터를 입력한 후 확인된 결과는 Fig. 5와 같이 나타났으며, MATLAB 프로그램의 결과와 마찬가지로 역기구해가 잘 구해진 것으로 판단되었다.

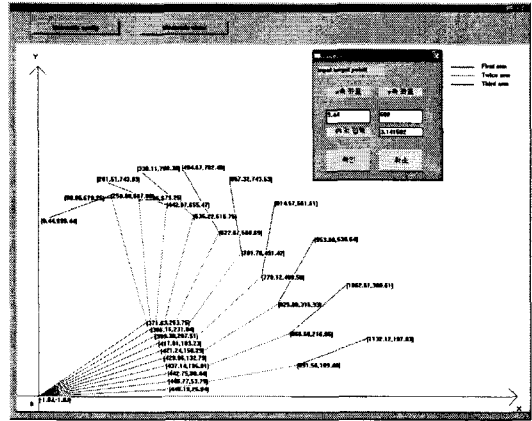


Fig. 5. Verification of inverse kinematics by simulator program.

Table 4. Verification of inverse kinematics by MATLAB program

Time	Input parameter(mm)			Output parameter			
	X	Y	Z	d ₁ (mm)	q ₂ (°)	q ₃ (°)	q ₄ (°)
1	563	865	50	50	0	90	0
2	311	519	55	55	0	90	90
3	461	1183	60	60	45	45	0
4	-589	519	65	65	90	90	0
5	911	755	70	70	0	45	45
6	62	619	75	75	0	135	0
7	-474	306	80	80	90	90	45
8	-538	706	85	85	90	90	-45

요약 및 결론

기술발전을 위해 자동 착유시스템을 위한 다관절 로봇 매니플레이터의 순기구학 및 역기구학의 해석을 통한 제어 방법의 기초를 제공하는데 그 목적이 있다

기구해석을 위해서 각 링크간 조인트 상태를 구하기 위하여 Denavit Hartenberg 파라미터를 구하였으며, 설계된 매니플레이터에 로컬 좌표계를 설정하여 순기구해를 구하였다. 또한, 역기구해는 기하학적 방법을 사용하여 구하였다.

구해진 해를 검증하기 위하여 AutoCAD, MATLAB 프로그램과 Visual C++ 프로그램을 이용한 시뮬레이션 프로그램을 제작하여 임의 데이터를 이용한 검증결과는 순기구해와 역기구해가 잘 구해진 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

1. 농림부. 2006. 농림통계연감.
2. John J. Craig. 1997. Introduction to robotics mechanics and control, second edition. 홍릉 과학출판사
3. Joseph edward shigley, John joseph uicker, jr. 1997. 기구학. 교보문고
4. Kwon, D. J., Kim, W. and Lee, D. W. 2002. Position Analysis of Cow Teats for Teat-cup Attachment System on Robotic Milking System. J. of Livestock Housing and Environment. 8(3):159-164.
5. Lee, D.W., Kim, W., Kim, H. T., Kim, D. W., Choi, D. Y., Han, J. D., Kwon, D. J. and Lee, S. K. 2001. A Robotic Milking Manipulator for Teat-cup Attachment Modules. J. of Bio-systems Engineering. 26(2):163-168.
6. Lee, S. H., Choi, K. J. and Yu, B. K. 1998. Research Trends and Their Perspectives in Milking Robot. J. of Bio-systems Engineering. 23(6):641-647.