

로봇궤적의 가상시뮬레이션에 관한 연구

(A Study on a Virtual Simulation of Robot Trajectory)

문진수* · 김철우

부산대 대학원 전기공학과

(Jin-Soo Moon · Cheul-U Kim)

Dept. of Electrical Engineering, Pusan National Univ.

Abstract

As people's living standard is being improved, human works are being replaced by robots. However, because most robots are used in process industry, fixed on the ground, we need to develop human robots that have wide applications. Currently many researches are being conducted on human robots with the object of replacing human works, but because of lack of relevant hardware, such robots are being applied limitedly to very simple tasks. To overcome the limitation, the present study developed a kinematical mechanism and a controller. Based on human kinematics, the shoulders and the arms were composed of master arms with 3 degree of freedom, and we reproduced motions similar to human ones through the characteristics of joint variables and experiment on the trajectory of the end effector.

[4,8].

1. 서 론

로봇은 산업현장의 3D해소와 생산성향상을 목적으로 점차 쓰임이 늘어나고 있지만, 지면에 고정된 장치산업으로 제한되어 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 다용도로 사용할 수 있는 이동용 로봇에 대한 필요성이 강조되고 있으며, 국내외에서도 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 로봇의 이동수단은 무게중심이 안정된 차륜이나 무한궤도방식을 적용하고 있으나, 이는 장애물과 지형에 많은 제약을 받는다. 이러한 이유로 동작이 완만하고 폭 넓은 응용가치를 기대할 수 있는 휴먼로봇에 대한 필요성이 강조되고 있다[1~4].

인간과 유사한 형태의 휴먼로봇은 다양한 응용가치를 가지고 있기 때문에, 기구학적 메커니즘을 바탕으로 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 관련 하드웨어 부족으로 RC서보(radio control servo motor, 이하 RC서보라 함)에 의존하고 있고, 이 RC서보는 토크나 속도의 한계로 매우 단순하고 제한적으로 적용되고 있다[5,6].

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 로봇메커니즘과 제어장치를 개발하여 휴먼로봇을 구성하고, 마스터 암의 관절변수 특성실험을 하였다. 그리고 휴먼로봇 암 엔드-이펙터(틀을 장착하고 작업을 할 수 있는 로봇의 말단 점, 이하 엔드-이펙터라 함)의 기준궤적과 추종궤적을 컴퓨터로 시뮬레이션하고, 휴먼로봇에 적용하여 사람과 유사한 동작재현을 예측 실험하고자 한다

2. 마스트 암의 Kinematics

휴먼로봇의 마스트 암은 머리부, 몸통부 그리고 양팔 부분으로 크게 나눌 수 있다. 여기서 팔 동작만을 다시 분류하면, 3자유도의 어깨, 1자유도의 팔꿈치 그리고 3자유도의 손목을 기반으로 하고 있기 때문에, 한 팔에 7개의 축을 갖도록 설계하는 것이 이상적인 방법이다. 그러나 마스터 암의 회전관절은 어깨와 손목의 중심에 직접 회전축이 부착될 수 없을 뿐 아니라, 인간의 어깨 및 손목운동이 동일한 점을 중심으로 회전하기 때문에 기구학적 간섭이 발생한다[9].

위와 같은 간섭을 해소하기 위해 3자유도 구조로 개발된 휴먼로봇의 마스터 암은 그림 1과 같이, 어깨에 2축, 팔꿈치에 1축으로 인간과 동일하게 구성하고, 마스트 암 직결회전축 θ_1 , 어깨 회전축 θ_2 , 팔꿈치 회전축 θ_3 로 좌표계를 설정한다.

로봇의 기구학 해석을 위해 D-H규약(Denavit-Hartenberg)에 따른 매개변수를 이용하면, 각 조인트의 좌표 변환 운동식은 식(1)과 같이 표현된다.

$${}^nT_{n+1} = A_{n+1} = \begin{matrix} Rot(z, \theta_{n+1}) \\ \times Trans(0, 0, d_{n+1}) \\ \times Trans(a_{n+1}, 0, 0) \\ \times Rot(x, \alpha_{n+1}) \end{matrix} \quad (1)$$

D-H표현법에서 모든 관절은 Z축을 기준으로 표

현할 수 있으며, 이때의 회전관절은 Z축이 된다. 병진관절은 직선 이동 방향이 Z축이 되고, X축과 Y축은 오일러 좌표에 따라 결정되므로 로봇기구학 해석을 위한 D-H파라미터는 표 1과 같다[9].

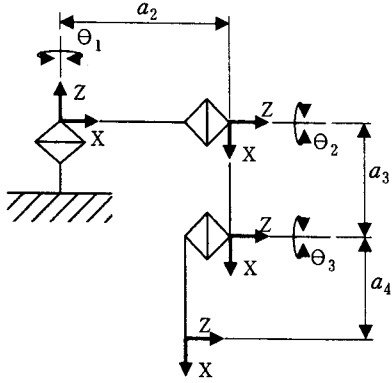


그림 1. 마스트 암의 기구학 구조
Fig. 1. Kinematic structure of master arm

표 1에서 매개변수 θ 는 각 축의 회전각도이고, d 는 동 축의 이동거리이다. 그리고 a 는 링크의 길이이고, α 는 Z축에 대한 비틀림 각도를 나타낸다.

표 1. 마스트 암의 D-H파라미터
Table 1. D-H Parameter of master arm

	θ	d	a	α
Joint1	θ_1	0	0	0
Joint2	θ_2	0	a_2	-90
Joint3	θ_3	0	a_3	0
Joint4	0	0	a_4	0

여기서, \sin 과 \cos 의 간략화를 위해 $\sin \theta_n$ 을 S_n , $\cos \theta_n$ 은 C_n 으로 표현하고, 다음 좌표 변환 운동에 대한 각 조인트 변환 행렬은 식(2)~(5)과 같다.

$$A_1 = Rot(z, \theta_1) \quad (2)$$

$$A_2 = Rot(z, \theta_2) \times Trans(a_2, 0, 0) \times Rot(x, -90) \quad (3)$$

$$A_3 = Rot(z, \theta_3) \times Trans(a_3, 0, 0) \quad (4)$$

$$A_4 = Trans(a_4, 0, 0) \quad (5)$$

전체 행렬의 곱을 로봇의 순기구학으로 표현하면 식(6)과 같이 된다.

$${}^0T_4 = A_1 A_2 A_3 A_4$$

$$= \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_2 & 0 & -S_2 & C_2 a_2 \\ S_2 & 0 & C_2 & S_2 a_2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \times \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & C_3 a_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & S_3 a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} C_{123} & -C_{12}S_3 - S_{12}C_2(C_3a_4 + C_3a_3 + a_2) \\ S_{12}C_3 - S_{12}S_3 & C_{12} & S_{12}(C_3a_4 + C_3a_3 + a_2) \\ -S_3 & -C_3 & 0 & -S_3a_4 - S_3a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

로봇의 기준 좌표는 식(7)과 같이 정의를 할 수 있다.

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서, 각 변수를 수식으로 표현하면 다음 식(8)~(10)과 같다.

$$P_x = C_{12}(C_3a_4 + C_3a_3 + a_2) \quad (8)$$

$$P_y = S_{12}(C_3a_4 + C_3a_3 + a_2) \quad (9)$$

$$P_z = -S_3a_4 - S_3a_3 \quad (10)$$

x, y, z 좌표를 알고자 함으로 각 관절의 각도 θ 에서 엔드-이펙터 궤적은 P_x, P_y, P_z 로 결정된다 [10].

3. 실험장치 구성

휴먼로봇은 키 85[Cm] 암 길이 30[Cm] 무게 20[kg]의 중형크기로 설계하였다. 다리부에는 5개의 자유도로 전진과 후진보행이 가능한 구조이며, 머리 부분에는 눈에 해당하는 카메라를 장착하여 화상인식 기능을 갖추었다. 그리고 전방 장애물 검출을 위한 초음파 센서가 2개 장착되어 있으며, 목 관절 운동이 가능하게 1자유도를 구성하였다. 암에 해당하는 부분은 어깨에 Pitch-Roll 2자유도와 팔에 Pitch 1자유도로 인간의 동작을 재현할 수 있도록 설계하였다.

3.1. 기준궤적 실험

실험의 데이터는 virtual instrument사의 pico ADC-200모형을 적용하여, 5ms 간격으로 샘플링데이터를 획득하였다. 얻어진 데이터는 그림 2와 같이 패턴에 맞추어 설계된 직결회전축 θ_1 , 어깨 회전축 θ_2 , 팔꿈치 회전축 θ_3 의 각도를 Joint1~3의 Angle value로 시간축에 나타낸 그림이다.

그림 3은 로봇 암의 엔드-이펙터 궤적 생성을 목적으로 식(8)~(10)을 블록선도로 표현한 그림이다. 입력 데이터는 표 1의 D-H파라미터를 그림 3의 기구학 블록선도에 적용한 것이며, 실험에서 얻어진 그림 2의 Angle value를 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 에 입력하고, a_2, a_3, a_4 는 로봇 암의 실측데이터인 60mm, 160mm, 140mm를 각각 입력하였다.

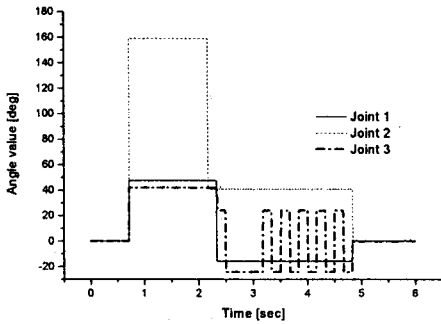


그림 2. 기준 각도
Fig. 2. Angle of reference

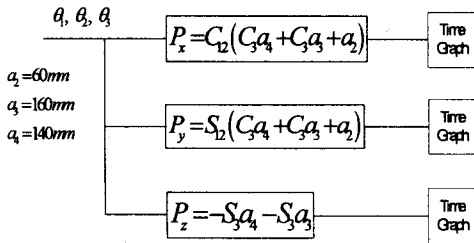


그림 3. 기구학 블록선도
Fig. 3. Block diagram of kinematics

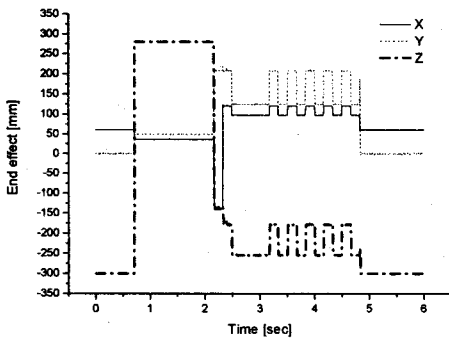


그림 4. 엔드-이펙터의 기준궤적
Fig. 4. Reference trajectory of end-effector

사용된 툴은 MATLAB 6.0의 simulink를 적용하였으며, 엔드-이펙터의 궤적은 그림 4와 같이 생성되었다. 그림에서와 같이 로봇기구부의 개별각도 θ 의 변수에 따라 X, Y, Z방향으로 추적한 엔드-이펙터 이동궤적이다.

이 실험에서 로봇동작이 보다 섬세하고 정밀한 위치설계가 가능하게 되었다.

4. 시뮬레이션

그림 5~9는 MATLAB 6.0의 simulink를 이용하여, 엔드-이펙터 궤적을 시뮬레이션 한 실험이다. 그림 2의 Joint1~3기준각도를 그림 3의 기구학블록선도에 적용하여, PID시뮬레이션 제어로 예측하였다. 로봇Joint의 구동에는 DC서보 모터 드라이버에 전압을 인가 하지만, 시뮬레이션에서는 Joint구동으로 토크 값을 적용하였다. 표 2는 튜닝에서 발생된 PID특성 파라미터이다.

표 2. PID 특성 파라미터
Table 2. Parameters of PID characteristics

	P	I	D
Joint1	300	40	8
Joint2	61	24	2
Joint3	43	11	2

시뮬레이션 방법은 그림 1 마스트 암의 $\theta_1 \sim \theta_3$ 을 대상으로 동작시의 각 변위에 대한 응답 특성을 예측하였다. 그림 2의 기준각도를 Reference로 하고 표 2의 PID 특성 파라미터를 적용하여, 그림 5~7의 결과 값을 얻을 수 있었다. 그림 5는 Joint1의 관절변수 특성으로 기준 값(Reference angle)은 MPU에서 패턴에 맞추어 발생된 값이고, 시뮬레이션 값(PID control)은 기준 값과 표 2의 PID파라미터를 적용한 Joint1의 각 변위를 시뮬레이션 하였다.

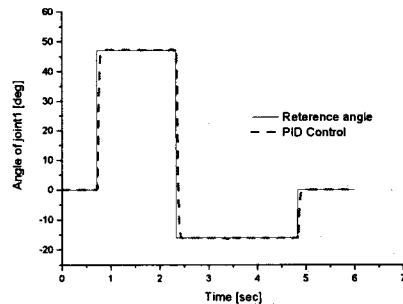


그림 5. Joint1 관절 변수
Fig. 5. Trace of #1 joint

그림 5에서 Joint1 관절변수는 기준각도와 일치하는 결과 값을 얻을 수 있었다. 로봇 팔에 직결된 회전축 Joint1에서는 부하가 적고, 동작이 단순하여 비교적 안정된 특성을 확인 할 수 있었다.

그림 6의 Joint2 관절변수 궤적에서는 암에 해당되는 축으로 부하가 직접 가해진다. 따라서 목표 값에 도달하는 응답시간이 늦고 불안정한 동작특성을 보이면서, 오차 폭이 Joint1 보다는 크게 나타나고 있다.

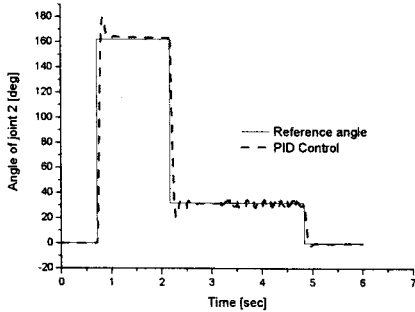


그림 6. Joint2 관절 변수
Fig. 6. Trace of #2 joint

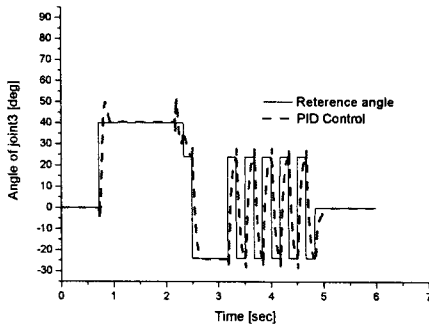


그림 7. Joint3 관절 변수
Fig. 7. Trace of #3 joint

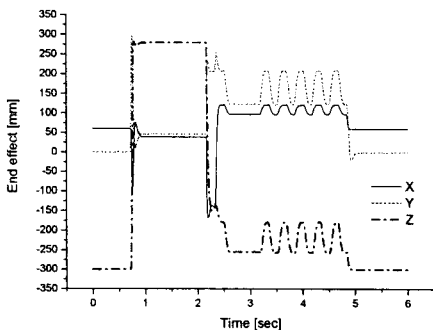


그림 8. 엔드-이펙터의 시뮬레이션 궤적
Fig. 8. Simulation trajectory of end-effector

그림 7의 Joint3 관절변수 궤적에서도 Joint2와 같은 암이지만 팔목에 해당됨으로 목표 값에는 비교적 안정되게 도달할 수 있었다. 그러나 간헐동작에서는 목표

값에 도달하기 전에, 다음 동작이 이어져 응답이 늦고 오차 폭이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

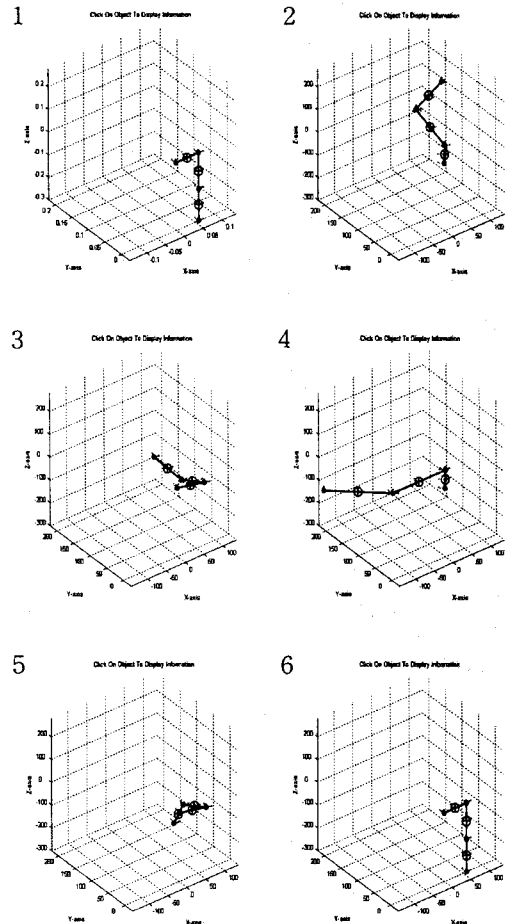


그림 9. Simulink의 가상모델
Fig. 9. Virtual Model of Simulink

그림 8은 시뮬레이션 결과인 그림 5~7Angle of join를 그림 3의 기구학 블록선도에 적용하여 추적한 3차원 궤적특성이다. 이는 스텝동작에 PID게인 값을 설정하고, 속도에 의한 궤적의 변화를 실험하였다. 그림 9에서는 표 1의 D-H 파라미터를 적용하여 로봇 암의 가상움직임을 추적하였다. 로봇 암의 동작을 6개 부분으로 구분하여, 시뮬레이션으로 재현한 그림이다.

5. 결론

본 연구에서 휴먼로봇의 기구학적인 메커니즘과 제어 장치개발을 위하여, 3자유도형태의 마스트 암을 구성하

고, 이 로봇의 관절변수 특성과 엔드-이펙터 궤적을 시뮬레이션으로 예측 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

엔드-이펙터 궤적실험에서 사람과 유사한 동작재현 뿐만 아니라, 산업용 로봇의 경로생성에도 유용하게 적용할 수 있게 되었다. 그러나 관절변수 특성실험에서 발견된 바와 같이 속도와 가속도에서 궤적의 일그러짐이 발생되었고, 개별특성을 고려하지 못하여 반복 정밀도가 부족한 단점이 발견되었다.

향후 본 연구에서 발생한 단점을 보완하고, 개발된 알고리즘과 궤적특성을 이용하여, 사람과 연계 작업을 할 수 있는 로봇을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Y. W. Sung and S. Y. Yi, "The Development of a Miniature Humanoid Robot System", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.7, No. 5, pp.420~426, 2001. 5.
- [2] B. J. Oh, "A Study on a Control of 3D Animation for Adaptive Control" Ministry of Information and Communication republic of Korea, 1999.
- [3] J. W. Lee, Y. S. Kim, S. Y. Lee and M. S. Kim, "Kinematic Design and Analysis of Masterarm with Distributed Controller Architecture", Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.7, No.6, pp.532~359, 2001. 6.
- [4] J. S. Moon and C. U. Kim, "A study on Development of Actuator for Biped Walking Robot", Journal of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.7, pp.73~80, 2005. 11.
- [5] M. Bergamasco, et al, "An arm exoskeleton system for teleoperation and virtual enviroments applications", Proceedings of the 1994 IEEE ICRA, 1994
- [6] T. B. Sheridan, Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, The MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- [7] J. G. Jin, J. Sakong, J. Y. Choi, "Learning and Generation of Motion Trajectory in a Humanoid Robot", Proceeding of KFS2001 Spring Conference, 2001. 5.
- [8] S. H. Yi, S. H. Yang, Y. K. Park, "Generation of Constant Orientation in Industrial Robots", Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers. Vol. 10 No. 2, 2001. 4.
- [9] Y. S. Kim, J. W. Lee, S. Y. Lee, M. S. Kim, J. W. Lee, "Masterarm Development for Teleoperation of a Humanoid Robot", The Korean Institute of Electrical Engineers. Vol. 50D No. 6, 2001. 6.
- [10] Mark W. Spong, M. Vidyasagar, "Robot Dynamics and Control", John wily & sons, Inc. 1989.
- [11] S. B. Dewan, A. Stranghen, "Power semiconductor circuits", John wily & sons, Inc. 1975.
- [12] P. C. Sen, "Thyristor D. C. Drive", John willey & Sons Inc. pp.222~239, 1980.