DC 모터를 이용한 마스트 암의 특성에 관하여

(On a Characteristics of Mast Arm Using DC Motor)

문진수* · 김철우
부산대 대학원 전기공학과
(Jin-Soo Moon · Cheul-U Kim)
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National Univ.

Abstract

Biped robot requires that an energy source and a control part should be installed on the body to realize active system. So, we choose the DC motor having high torque in compact size in this study. In the DC motor serve system, we choose power amplifier with analog configuration, developed the module combined the controller and the driver. We applied this module to robot actuator and studied the response characteristics in an action and a return. Main controller with serve system, loading PIC micro controller, can be load on the robot with light weight.

1. 서 론

로봇은 기계·전자에 컴퓨터를 결합한 응용과학의 일부로서, 공학의 다양한 분야를 포괄하는 기술이다. 이 기술은 초기 프로그램방식의 직물기계를 개발하여 대량생산에 사용한 후 군사용, 의료용, 가정용에 이르기까지 다양한 분야에 적용되고 있다. 산업현장에서도 종래의 소품종 다량생산 체제로부터 다품종 소량생산 체제로 전환되고 있다. 이에 대응하여 공정의 유연성을 확보할 수 있는 FMS(flexible manufacturing system)가 적용되고 있는데, FMS는 로봇을 주축으로 운용되며, 로봇의 활용도가 생산능력에 직결된다고 할 수 있다. 때문에 산·학·연 교육현장에서도 종전의 단순기술에서 복합기술 과정으로 전환되고 있으며, 로봇관련 첨단기술 교육의 필요성이 부각되고 있다[1~3].

로봇은 크게 고정식과 이동식으로 분류 되며, 이동식로봇은 다시 바퀴로봇과 직립보행로봇으로 구분할 수 있다. 바퀴로봇은 동작이 안정되고 중량물을 탑재할 수 있어 설계나 제어가 비교적 간편하다. 그리하여 많은 연구가 있었지만, 현재는 이동지형의 제한을 받지 않은 직립보행로봇을 대상으로 지능화 그리고 인간친화형로봇관련 연구가 진행되고 있다[4].

동적 시스템구현이 되어야하는 직립보행로봇은 모든 제어장치가 로봇에 쉽게 탑재되어야 한다. 따라서 신뢰성이 우수하고 소형경량이면서도 큰 출력을 얻을 수 있는 직류전동기를 많이 채택하고 있다. 이는 높은 기동 토크를 얻을 수 있으며, 단자전압과 전동기의 속도가 일차 비례하고, 전류 및 토크가 역시 일차 비례하는 선형제어특성을 얻을 수 있기 때문이다. 또한 속도제어 범위가 넓다는 장점 때문에 산업용 로봇의 액추에이터로 널리 사용되고 있다[5,6].

직류전동기의 Drive에는 SCR을 많이 적용하고 있으나, turn-off기능이 없어 장치가 커지고 고속응답의 한계점이 있다. 때문에 최근에는 게이트 신호만으로 on, off시킬 수 있는 GTO를 이용한 초퍼구동방식을 많이 채택하는 실정이다[7,8]. 그러나 직립보행로봇에 직류전동기 구동방식으로 접근했을 때에는 전원공급의 문제점, 스위칭 소자의 전력손실, 제어장치의 중량과 크기, 경제성 등의 문제로 부적합한 점이 많았다.

본 연구에서는 이러한 한계점 때문에 서보시스템에 아날로그 처리방식의 파워앰프를 이용하여, 제어기와 구동기가 일체화된 하나의 모듈로 구성하였다. 이를 대상으로 위치 응답특성을 실험하고, 17축 직립보행로봇을 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 직류전동기 제어시스템

위치제어서보시스템의 블록선도는 그림 1과 같으며, 회전각 입력지령 Θ_i에 대한 모터의 각 변위 Θ_o는 모터로 위치제어를 할 때 필요한 전달함수의 하나이다[7,8].

그림 1(a)는 각도입력에 대해 모터의 출력샤프트 각도를 추종시키는 위치서보기구이고, 그림 1(b)는 블록도이다. 블록선도에서 초기조건을 0으로 가정하면, 각 블록의 전달함수는 다음과 같이 유도된다.

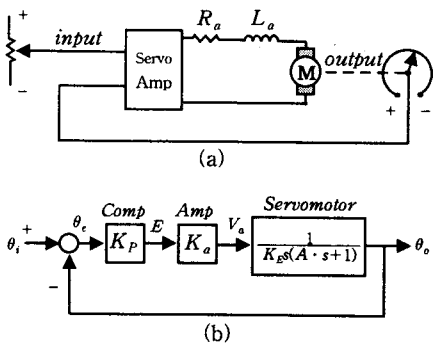

그림 1. 직류전동기 위치서보시스템과 블록도
Fig. 1. Block diagram of DC motor position control system

*Comp*의 전달함수 K_P 는 식 (1)이 되고,

$$K_P = \frac{E(s)}{\Theta_i(s) - \Theta_o(s)} = \frac{E(s)}{\Theta_e(s)} \quad (1)$$

*Amp*의 전달함수 K_a는 식 (2)가 된다.

$$K_a = \frac{E(s)}{V_a(s)} \quad (2)$$

*Servomotor*의 전달함수는 식 (3)이 되어,

$$\frac{\Theta_o(s)}{V_a(s)} = \frac{1}{K_E s(A \cdot s+1)} \quad (3)$$

폐 루프전달함수는 식 (4)가 된다.

$$\frac{\Theta_o(s)}{\Theta_i(s)} = \frac{\frac{K_P K_a}{K_E A}}{s^2 + \frac{1}{A}s + \frac{K_P K_a}{K_E A}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4)$$

여기서,

Θ_i : 회전각 입력지령

Θ_o : 모터 각 변위

Θ_e : *Comp* 입력

E : *Comp* 출력

V_a : 서보앰프 출력

식 (4)에서 고유주파수 ω_n 과 감쇠비 ζ는 식 (5)와 같다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_P K_a}{K_E A}}, \quad \zeta = \frac{1}{2\sqrt{\frac{K_P K_a}{K_E A} \cdot A}} \quad (5)$$

2차 지연계 전달함수인 식 (5)에 스텝상의 각도입력을 가하면, 식 (6)이 된다.

$$f(t) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (6)$$

식 (6)에서 부하를 포함한 서보계의 스텝응답, 진동주기 등의 특성을 평가할 수 있다.

2.2. 로봇 시스템

개발된 직립보행로봇은 사람의 형태와 같이 두 발로 보행이 가능하다. 그리고 인간이나 동물에게만 적용되는 조건 학습도 할 수 있다. 즉, 행동반복에 의한 습득으로 자극에 의해 반응하는 단순학습을 사람처럼 재연할 수 있다. 머리 부분에는 디지털 카메라를 내장하고 있어 화상인식 결과를 행동이나 음성으로 출력할 수 있다. 그리고 음성검출 센서가 머리 좌우측 귀의 위치에서 음성신호를 받는다. 뿐만 아니라 음성인식 결과를 행동이나 음성으로 답변할 수 있어 대화 하면서 의사전달이 가능하다. 음악을 듣고 리듬에 맞추어 춤을 추는 즐거움도 표현할 수 있어 감성을 겸비한 로봇이라 할 수 있다.

로봇 전체의 동작을 제어하는 주 제어부의 입력에는 음성 인식부, 음성 합성부, 화상 인식부 외 각종 센서로 구성되어 있으며, 출력에는 스피크를 통한 음성출력과 17개의 액추에이터 서보제어장치로 구성되어있다. MPU는 콤팩트한 구조를 위하여 원칩(PIC16F877) 2개를 동시제어 시스템으로 구성하였다.

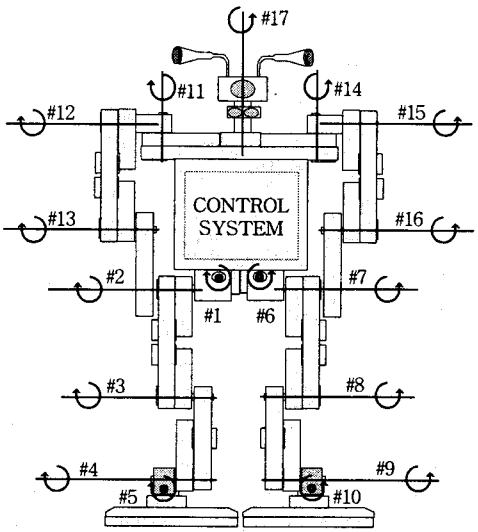

그림 2. 로봇시스템 구성도
Fig. 2. Robot system configuration

음성 인식부는 YN-100전용 모듈로 AT29 C010A프레쉬 메모리칩으로 구성되어 있으며, 음성인식결과를 BCD코드로 MPU에 출력한다. 음성합성은 ISD253단일칩으로 구동되며, MPU의 BCD코드 명령에 따라 선택된 음성을 재생한다. 화상인식부는 CCD카메라(SFA-410ED)와 BlueEye보드(BE010511-8)로 구성되어 있으며, 검출된 화상을 비교 판단하여 결과를 출력한다.

소프트웨어의 구성은 먼저 마이크로프로세스를 초

기화 시키고 로봇전체의 I/O조건을 검색하여, 만족 시에 각축의 원점 동작을 수행하게 된다. 이후 음성인식 시스템의 12개의 명령에 따라 관련동작을 수행하는데, 각각의 동작은 리듬에 맞추어 연속데이터를 직렬 전송하게 된다. 이 데이터는 17개의 액추에이터를 구동시켜 로봇자세를 제어하는 방식이다.

3. 실험 및 결과

그림 3은 본 연구에서 개발한 로봇의 실물 그림이다. 그림에서와 같이 로봇 암이 좌우 대칭이므로 그림 2의 액추에이터 #15를 실험대상으로 선정하였다. 실험에서는 제어 파라미터 Kp, Ki값을 변경하면서, 액추에이터를 구동하는 방식으로, 동작과 복귀 시의 위치응답 특성을 실험하였다.

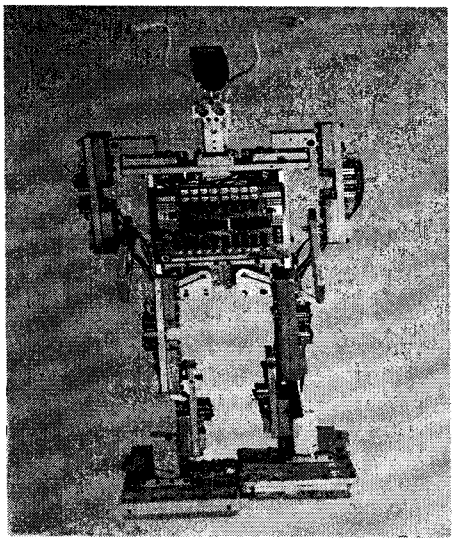

그림 3. Intel_Gent 로봇
Fig. 3. Overall view of Robot

로봇액추에이터는 영구자석형 직류전동기를 적용하였으며, 전동기축과 로봇조인트 사이에 기어박스를 통하여 로봇 동력을 전달한다. 로봇액추에이터에 사용된 직류전동기의 파라미터(Parameter)는 표 1과 같다. 직류전동기 구동방식에 아직까지 널리 활용되지 않았던 파워앰프를 이용한 서보시스템을 구축하고, 서보계통의 구동 및 제어 방식에서는 아날로그 처리기법을 적용하였다.

주제어 장치인 MPU(PIC 16F877)에서 로봇자세에 관련된 디지털데이터를 발송하고, D/A 변환기에서는 아날로그 전압으로 변환하여 출력한다. 이 전압은 각각의 액추에이터의 변위 값 기준으로 전력변환회로에 공급된다.

표 1. DC 모터의 파라미터
Table 1. Parameters of DC motor

기호	설 명	값	단 위
Rm	전기자 저항	8.57	Ω
Lm	전기자인덕턴스	0.16	mH
Jm	전기자회전관성	2.84×10^{-7}	$kg \cdot m^2$
Km	역기전력 상수	0.0061	$V/rad/sec$
Kt	토오크 상수	0.0061	$N \cdot m/A$
Kg	기어비	150:1	

그림 4의 DC 서보시스템 블록선도와 같이 전동기의 방향과 위치를 제어할 수 있는 폐 루프제어(feedback control system)방식을 채용함으로서, 일정자세를 유지할 수 있게 된다.

3.1. 액추에이터 구동부

직류전동기를 구동하기 위한 서보시스템을 그림 4에 블록선도로 표현하였다. MPU에서 결정된 디지털 데이터를 D/A변환부에서 아날로그 전압으로 출력한다. Power amp는 비례 증폭된 전력을 제어함으로서, 전동기의 회전방향 및 위치를 제어할 수 있다.

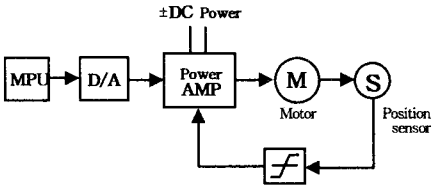

그림 4. DC서보시스템 블록선도
Fig. 4. Block diagram of DC servo system

그림 4의 전력소자(Power AMP)에는 파워앰프(LM12)를 이용한 아날로그 방식을 채용하였다. 파워앰프는 연산증폭기로 많이 사용되고 있는 OP amp(μA741)와 유사한 특성을 가지면서, ±30[V] 전원전압에서 10[A]의 고출력제어가 가능한 전력증폭기이다. 모노타입으로 4[Ω]의 부하에 80[W]의 정현파 전력을 보낼 수 있다. 또 전원단락 및 과부하보호, 그리고 케이스온도가 150[℃]를 초과 시에는 출력이 차단되는 보호기능을 가지고 있다.

3.2. 제어시스템

제어시스템은 로봇 관절부 변위제어를 목적으로 하기 때문에 위치제어 서보시스템 방식으로 구성하였다. 그림 5는 본 연구에서 개발한 로봇의 자세를 제어하기 위한 액추에이터의 서보시스템 구성도이다.

D/A Converter는 디지털수치를 아날로그 전압으로 변환하는 장치이다. DAC8043칩은 아날로그디바이스사의 12[bit] D/A Converter로 시리얼 통신에 의해 구동된다. MPU에서 결정된 데이터가 전송되면 DAC8043

에서는 D/A변환된 전류 값이 출력된다. 이 출력을 OP amp와 함께 구성하면, 출력은 다양한 전압변화폭을 얻을 수 있다.

Servo amp에서는 D/A변환부에서 발생된 전압을 기준으로 파워앰프(LM12)를 이용하여 전력을 제어한다. 전압의 범위는 0~12[V]로 변위 0~360[°]까지 제어가 가능하지만, 여기서는 20~340[°]까지 320[°]범위를 제어한다.

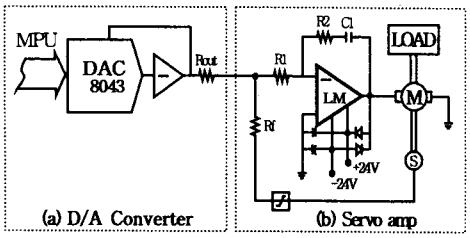

그림 5. DC서보시스템 회로도
Fig. 5. Schematic diagram of DC servo system

액추에이터와 직결된 포텐션미터는 각도변위와 비례된 전압을 검출하는데, 이 검출전압과 기준전압을 비교한 전압차를 반전 증폭하여 모터에 공급한다. 이 때의 전력증폭도는 그림 5(b)의 -R2/R1결과 값으로 Kp값을 선정한다. 운전 중에 발생되는 액추에이터의 자중에 의한 하강정도나 외란에 의한 변화량은 폐 루프제어방식으로 보상하여 일정 자세를 유지하게 된다.

3.3. 단독운전 실험

단독운전 실험에서는 먼저 그림 2의 액추에이터 #15 축을 선정하고, 축 단독 운전에 대한 특성을 실험하였다. 실험조건은 위치데이터를 P=4[V](120[°]), 적분제어 값(Ki=0), 그리고 샘플링시간을 2500[ms]로 고정하고, Kp값의 변화에 따른 위치응답에 대한 특성실험이다.

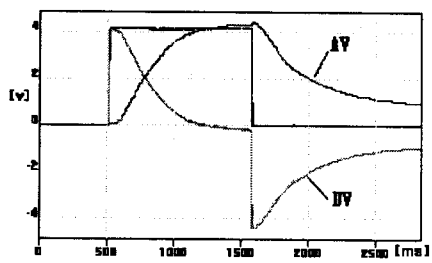

그림 6. 위치응답 특성도(Kp=30)
Fig. 6. Position response characteristics to gain change (Kp=30)

그림 6의 AV와 DV를 대상으로 (Kp=30)에서 실험한 결과 응답시간이 늦고, DV가 "0"으로 도달하지 못하였다. 비례제어 값(Kp=120)에서는 진동으로 불안전하였으며, 그림 7(Kp=90)에서 특성이 비교적 안정된 상태였다.

이상의 실험에서 Kp값을 감소시키면 편차가 커지고, 증가할수록 불안정한 진동이 발생하였다. Ki값은 그림 8에서와 같이 응답특성 향상에 영향을 주지 못하므로 그림 7(Kp=90, ki=0)를 #15축의 최적조건으로 결정하였다.

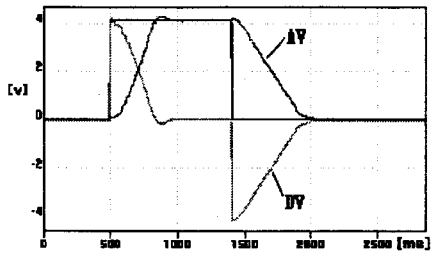

그림 7. 위치응답 특성도(Kp=90)
Fig. 7. Position response characteristics to gain change (Kp=90)

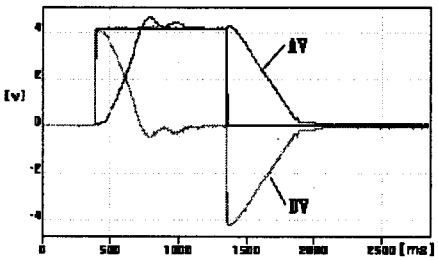

그림 8. 위치응답 특성도(Kp=90,Ki=10)
Fig. 8. Position response characteristics to gain change (Kp=90,Ki=10)

3.4. 연동운전 실험

이 실험에서는 로봇의 암이 좌우가 대칭인 관계로 그림 2의 왼팔부분 #14, #15, #16축을 대상으로 동작시의 각 변위에 대한 응답 특성을 실험하였다. 그림 9~11은 로봇의 연속동작에 대한 변위 값을 샘플링 간격 5ms로 데이터를 측정하였다.

이 실험조건에서 얻어진 데이터 값은 그림 9~11까지의 결과를 얻을 수 있었다. 그림 9는 #14번 축의 관절변수 특성으로 기준값(Reference angle)은 MPU에서 패턴에 맞추어 발생된 값이고, 실측값(Real angle)은 기준 값에 따라 실제로 이동된 변위 값이다.

#14축 관절변수 그림 9에서는 원점으로 부터 세 개의 동작으로 이루어짐을 알 수 있다. #14축이 로봇 팔에 직결된 회전축이므로 직접적인 부하가 적고, 동작이 단순하여 비교적 안정된 동작특성을 확인 할 수 있다. 그림 10의 #15축 관절변수 궤적에서도 원점에서 세 개의 동작이 이루어짐을 알 수 있다.

그러나 #14축이 팔에 직결된 회전축인 반면 #15축은 암에 해당되는 축임으로 부하가 직접 가해진다. 때문에 목표 값에 도달하는 시간이 늦고 불안전한 동작특성을 보이면서, 오차 폭이 #14축보다는 크게 나타나고 있다.

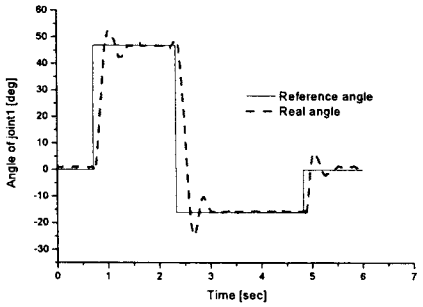

그림 9. #14축 관절 변수
Fig. 9. Trace of #14 axis joint

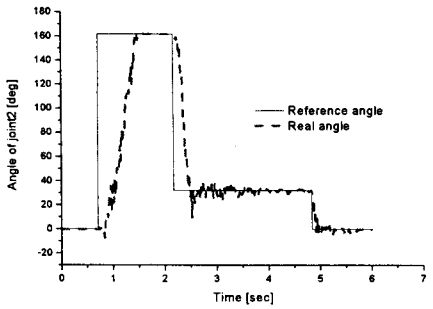

그림 10. #15축 관절 변수
Fig. 10. Trace of #15 axis joint

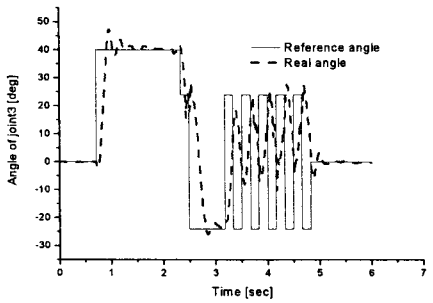

그림 11. #16축 관절 변수
Fig. 11. Trace of #16 axis joint

#16축 관절변수 궤적 그림 11에서는 원점에서 9개의 연속 동작이 이루어짐을 알 수 있다. 여기서도 #15축과 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.

4. 결 론

본 논문에서는 직립보행로봇을 대상으로 메커니즘과 액추에이터를 개발하였다. 이 로봇은 17축 관절로 키 75㎝, 무게 24㎏의 중형 크기로 DC모터를 적용한 휴먼로봇이다. 사람과 유사한 보행동작과 손동작을 할 수 있으며 모든 동작은 음성인식에 의하여 제어된다.

이 로봇의 액추에이터 개발 과정에서 DC Drive에 사용된 파워앰프(LM12)는 제어성이 우수하고, 소비전력이 적으며 소형경량화로 로봇탑재가 용의하였다. 서보모터 비례(P)제어 특성실험에서는 Kp값의 증가가 편차를 감소시키며 빠른 응답을 얻을 수 있다. 하지만 일정 값 이상에서는 오버슈트가 커지고, 초기진동으로 불안정한 점이 발견되었다. 그러나 정지자세에서 발생되는 모터의 Braking power는 브러시모터의 국부코일 발열로 인한 소손가능성이 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 17개의 축 동시제어와 로봇의 보행동작을 수행함으로서 휴먼로봇에 대한 자신감과 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 본 제어알고리즘을 바탕으로 보다 발전된 직립보행로봇을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] A. W. Naylor, and R. A. Volz, "Design of Integrated Manufacturing System control Software," IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-17, pp.881~897, 1987.
[2] 박민용, "로보트 공학", 大 英 社, 1994.
[3] 강철규, 권인소, 윤중선, 정완균, "로봇 동역학과 제어", 圖書出版 喜重堂, 1994.
[4] 성경학 ,김진오, 김성권, "공장자동화를 위한 지능로봇시스템," 제어 자동화 시스템공학회지, 제2권 제3호, pp.16~24, 1997.
[5] Pei-Chong Tang, Shi-shong Lu, "Design and Implementation of Fully Digital DC Servo System Based on a Single-Chip Micro-computer," I.E.E.E Trans. on Ind. Elec. vol. IE-29. No4, pp.295-298, Nov.1982.
[6] J.B. Plant. S.J. Jorna, "Microprocessor Control of Position of Speed of a SCR DC Motor Drive," IEEE Trans. on IECI vol. IECI-27, No.3 pp.228~234, Aug.1980.
[7] S. B. Dewan, A. Stranghen, "Power semiconductor circuits," John wily & sons, Inc. 1975.
[8] P. C. Sen "Thyristor D. C. Drive", John willey & Sons Inc. pp.222~239, 1980.