

# 휴머노이드 로봇의 하반신 운동제어에 관한 연구

## A Study on the control of the leg-part motion for a humanoid robot

\*# 노민석<sup>1</sup>, 김제덕<sup>1</sup>, 장우일<sup>1</sup>, 권경희<sup>1</sup>, 홍대선<sup>2</sup>

\*# M. S. Noh<sup>1</sup>(minseok@changwon.ac.kr), J. D. Kim<sup>1</sup>, U. I. Jang<sup>1</sup>, J. H. Kwon<sup>1</sup>, D. S. Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 대학원 기계설계공학과, <sup>2</sup>창원대학교 메카트로닉스 공학부

Key words : Humanoid Robot, Biped Robot, Motion Control

### 1. 서론

체코의 카렐 차펙(Karel Capek)이 ‘로섬의 만능 로봇(Rossum's Universal Robot)’이라는 소설에서 처음 로봇이라는 단어를 언급하였고 거기에 등장하는 로봇은 현대인이 꿈꾸고 기대하는 휴머노이드의 로봇의 시발점이 되었다.<sup>1</sup>

일본 와세다 대학의 Ichiro Kato 교수팀이 1973년에 WABOT-1<sup>2</sup>을 개발하면서 휴머노이드 로봇이 본격적으로 세상에 모습을 드러내기 시작하였고 그 후에도 일본을 중심으로 독일 등 일부 유럽에서만 연구하던 휴머노이드 로봇은 국내에서 2004년 KAIST의 오준호 교수팀이 KHR-0<sup>3</sup>로 시작된 KHR시리즈로 현재의 HUBO에 이르기까지 휴머노이드 로봇에 관심을 가지고 연구를 계속하고 있다.

휴머노이드 로봇의 연구에 있어서 가장 중요한 부분은 보행이다. 인간처럼 자연스럽게 안정된 보행 능력이 우선 되지 않고는 활동 범위나 적용 분야에 있어서 큰 제약이 될 수밖에 없다. ZMP(Zero Moment Point)<sup>4</sup>라는 개념이 도입되기 전에는 로봇의 동적 보행이 불가능할 것처럼 인식되기도 하였으나, ZMP 도입 이후 휴머노이드 로봇의 동적 보행 안정성의 확보가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 CHP-1이라는 휴머노이드 로봇을 설계제작하고, 향후 이족보행을 하기 위한 전단계로서 하반신 각 관절의 회전각 제어에 관한 연구를 수행한다.

### 2. CHP-1의 설계

이족보행로봇의 가장 중요한 과제는 효율적이고 신뢰할 수 있는 로봇 하드웨어의 설계이다. 하드웨어 설계는 로봇의 기본 골격부터 각 관절과 관절을 이루는 메커니즘, 구동축을 구성하는 모터와 이를 제어하는 제어기, 센서, 그리고 각 부분들 간의 인터페이스를 위한 통신 등을 포함한다.

CHP-1의 기본 골격은 12자유도의 높이 90cm, 중량 30kg으로 Fig. 1과 같다. 그리고 CHP-1의 기본 규격은 Table 1에 나타낸다.

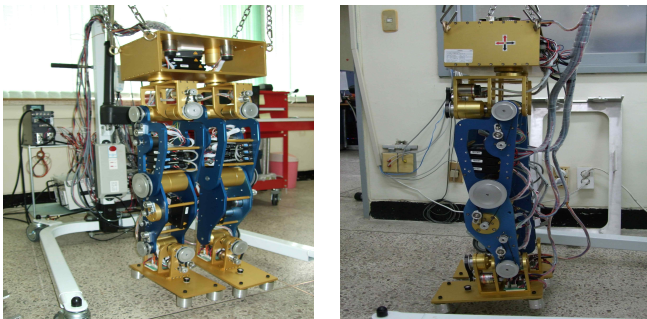


Fig. 1 Humanoid robot CHP-1

Table 1 Specification of CHP-1

높이	90 cm
중량	30 kg
액츄에이터	BLDC 모터
제어장치	Labview PXI
센서	Gyro, 가속도, FSR
전원부	DC 24V

### 3. 로봇의 제어기 구성

CHP-1의 제어기는 Fig. 2와 같이 크게 세 부분으로 구성된다. 서보모터와 센서들로 구성된 로봇 하드웨어 부분과 서보드라이버 모듈로 구성된 하위 제어기 부분, 그리고 모션 컨트롤러 및 DAQ보드와 제어용 소프트웨어들로 구성된 상위 제어기 부분으로 나누어진다.

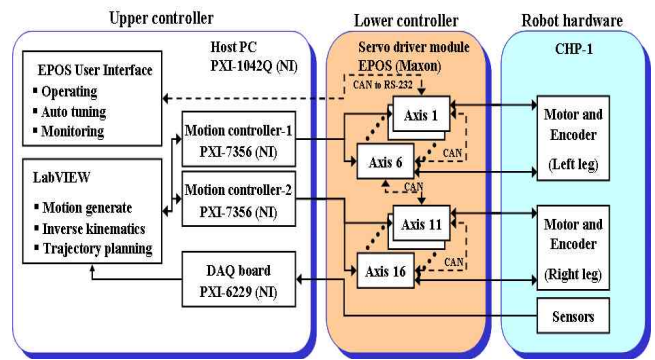


Fig. 2 Controller architecture of the CHP-1

상위 제어부는 로봇의 외부에 설치하고 하위 제어기는 로봇 프레임의 각 부 빈 공간에 적절히 배치하여 전체적으로 중량이 고르게 분포되도록 하였다.

CHP-1의 센서로는 세 종류가 사용된다. 로봇의 보행시에 필요한 ZMP(Zero Moment Point)를 계산하기 위한 FSR(Forse Sensing Resistor) 센서와 발바닥과 골반의 가속도를 측정하기 위한 가속도 센서, 그리고 골반의 기울기 정보를 알아내기 위한 자이로 센서로 구성되어 있다.

통합된 로봇 시스템의 제어 블록선도는 Fig. 3과 같다. 원하는 운동과 그에 따른 역기구학은 상위 제어기의 주 컴퓨터에서 LabVIEW를 이용하여 해석한다. 여기에서 계산되어진 각 관절의 위치와 속도를 모션 컨트롤러에서 보간이나 블렌딩 같은 추가 조작을 통해 최종적인 목표 위치와 속도를 계산하고, 이 값을 하위 제어기의 서보 드라이브 모듈에 전달한다. 서보 드라이브 모듈은 이 값을 서보 모터를 제어하기 위한 실제 전류로 변화하여 출력하고 서보 모터의 엔코더로부터 실제 위치 값을 피드백 받아서 PID 제어를 행한다. 로봇에 장착된 센서로부터의 신호는 향후 보행 동작을 수행할 때 자세 제어를 위한 값으로 사용되며 그 값은 DAQ 보드를 통해 LabVIEW로 전달된다.

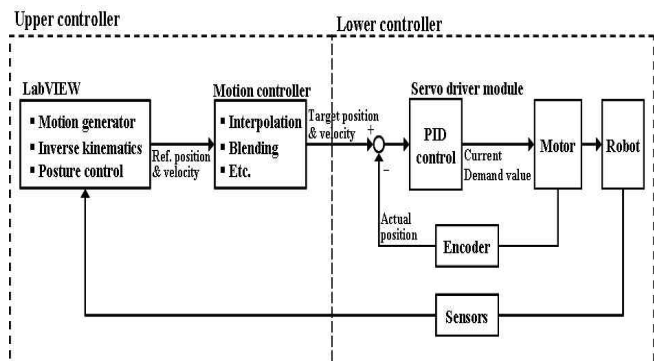


Fig. 3 Block diagram of motion control

#### 4. CHP-1의 제어 실험

제어 실험은 로봇이 물체를 밀기 위해 한발을 내 딛고 양손바닥을 물체에 접촉시킨 자세를 초기 자세로 동작을 구현 하였다. 그러나 CHP-1은 현재 하반신만으로 구성되어 있기 때문에 두 손을 이용하여 물체를 밀는 동작을 수행하기 곤란하다. 따라서 상반신과 손을 대신하여 물체를 밀는 동작을 수행 할 별도의 기구부가 필요하고, 또한 밀는 대상이 되는 물체를 대신 할 물리적 고정 벽면이 필요하다.

Fig. 4는 물체를 밀는 동작을 구현하기 위한 장치로 볼스크류에 별도의 서보 모터를 장착하여 전진과 후진을 하도록 되어 있고 양 쪽에 볼부쉬를 이용한 가이드를 부착하고 고정벽면에 접촉되는 부분은 스프링을 장착하여 어느 위치에서 밀는 동작을 하더라도 항상 일정한 힘이 발생하도록 하였다. Fig. 5는 전체적인 실험 장치의 모습을 보인다.

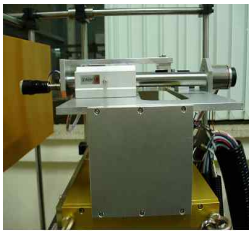


Fig. 4 Push bar

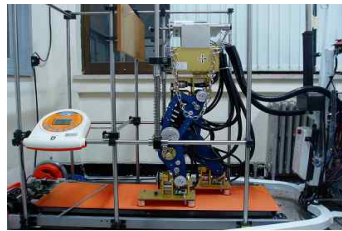


Fig. 5 Experiment system

서보 모터의 토크를 측정하기 위해서 Maxon<sup>5</sup>사의 서보 드라이버 모듈에 기본적으로 제공되는 EPOS UI(User Interface) 프로그램을 이용한다. 이 프로그램을 이용하면 각 서보 모터에 인가되는 전류 값을 모니터링 하고 저장할 수 있다. 이 전류 값에 모터 토크 상수를 곱하여 모터의 토크가 계산된다. 여기서 CHP-1에 적용된 서보 모터의 토크 상수는 0.016 Nm/A 이다. EPOS UI를 이용하여 서보 모터에 인가된 전류를 모니터링 하면 Fig. 6과 같이 나타나게 되는데, 이 그림에서 보는 바와 같이 잡음이 포함되어 있다. 따라서 이 신호를 필터링 하여 필요한 신호만 얻을 필요가 있다.

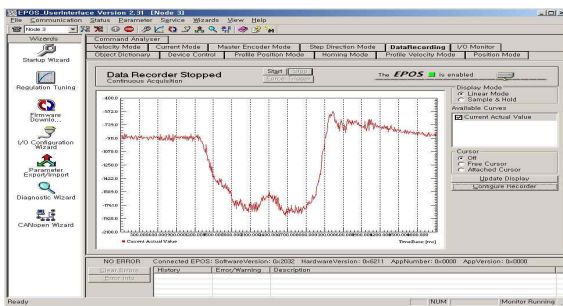
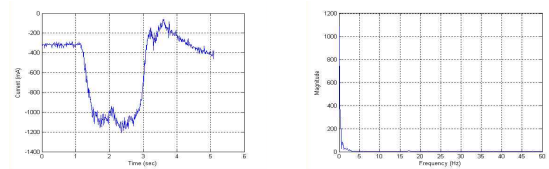


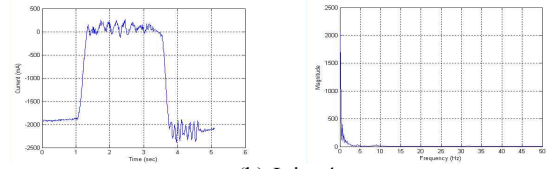
Fig. 6 Current signal from EPOS user interface

필터를 사용하기 위해서는 먼저 원 신호의 분석이 필요하다. 원 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)<sup>6</sup> 분석하여 주파수 대역에서의 신호를 분석하고 통과시키고자 하는 주파수 대역을 결정해야 한다. 이를 위해 먼저 초기 자세에서 아무런 외부 힘의 영향을 받지 않도록 하고 끝낸 중심의 위치를 로봇의 전진 방향으로 5mm 이동할 때의 신호를 받아서 FFT 분석을 하였다. Fig. 7은 왼쪽 다리 피치 관절 3개에 인가 된 전류 신호와 FFT 분석 결과이다.

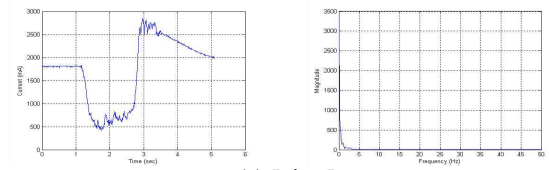
Fig. 7에서 보듯이 10Hz 이상의 주파수 대역에서 고조파 성분을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 10Hz 이하의 주파수 대역만을 통과시키는 저역 필터(Lowpass filter)를 사용하였다. 본 논문에서는 MATLAB<sup>7</sup>에서 제공되는 신호처리 툴박스를 이용하여 소프트웨어적으로 저역필터를 구성하여 사용하였고, MATLAB으로 구현한 저역 필터를 거친 신호를 원 신호와 비교하여 Fig. 8에 나타낸다. 최종적으로 저역 필터를 통과한 모터 인가 전류를 기준으로 토크를 계산한다.



(a) Joint 3

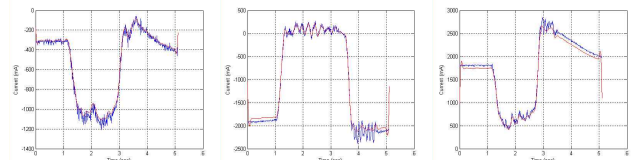


(b) Joint 4



(c) Joint 5

Fig. 7 Current signal and FFT analysis



(a) Joint 3

(b) Joint 4

(c) Joint 5

Fig. 8 Current signal after lowpass filtering

#### 5. 결론

본 연구에서는 하반신 12축으로 구성된 CHP-1이라는 이족보행로봇을 개발하였고, 이 로봇이 물체를 밀는 동작을 구현할 수 있도록 별도의 기구부를 부착하고 각 관절에 걸리는 토크의 회전각을 제어하였다. 개발한 이 로봇을 이용하여 현재 인공지능을 이용하여 로봇의 협조 작업시의 최적화 자세에 대한 연구를 수행 중에 있다.

#### 후기

본 과제(결과물)는 교육인적자원부·산업자원부·노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

#### 참고문헌

1. J. N. Pires, Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future, Springer, 2007.
2. I. Kato, S. Ohteru, H. Kobayashi, K. Shirai and A. Uchiyama, "Information-power machine with senses and limbs (WABOT-1)," Proc. of the 1st CISM-IFoMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators, pp. 11-24, 1973.
3. J. H. Kim, I. W. Park and J. H. Oh, "Design of lower limbs for a humanoid biped robot," *Int. Journal of Human friendly Welfare Robotics System*, Vol. 2, No. 4, pp. 5-10, 2002.
4. D. Juricic, M. Vukobratovic and A. A. Frank, "On the stability of biped locomotion," *IEEE Trans. on Biomed. Eng.*, BME-17, No. 1, pp. 25-36, 1970.
5. <http://www.maxonmotor.com>
6. J. M. Cooley and J. W. Tukey, An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series, *Mathematics of Computation*, Vol. 19, pp. 297-301, 1965.
7. <http://www.mathworks.com>