

# 자립형 이족 보행 로봇의 개발

김영식<sup>†</sup> · 오정민\* · 백창열\* · 우정재\* · 최형식\*\*

## Development of Autonomous Biped Walking Robot

Y. S. Kim, J. M. Oh, C. Y. Baik, J. J. Woo, H. S. Choi

**Key Words :** Biped Walking Robot(이족 보행로봇), motion capture system(동작획득장치), Graphic interface(그래픽 인터페이스)

### Abstract

We developed a human-sized BWR(biped walking robot) named KUBIR1 driven by a new actuator based on the ball screw which has high strength and high gear ratio. KUBIR1 was developed to walk autonomously such that it is actuated by small torque motors and is boarded with DC battery and controllers. To utilize the information on the human walking motion and to analyze the walking mode of robot, a motion capture system was developed. The system is composed of the mechanical and electronic devices to obtain the joint angle data. By using the obtained data, a 3-D graphic interface was developed based on the OpenGL tool. Through the graphic interface, the control input of KUBIR1 is performed.

### 1. 서 론

1960년대 후반 이족보행로봇에 관한 모델링이 제안된 이후 이족보행로봇에 대한 많은 연구가 수행되었다. 초기형태의 이론적 연구로서 이족 보행 로봇의 모델링과 제어는 로봇의 외형에 따라 다리 부만 고려한 연구[1]와 다리부와 균형 관절을 포함한 보다 복잡한 형태의 연구[2]형태로 분류할 수가 있고 이에 대해서도 많은 연구들이 수행되었다. 이족보행로봇이 다양한 환경 하에서 보행하기 위해서는 걸음주기나 보폭, 방향전환 등과 같은 걸음새를 변형할 수 있어야 한다. 그러나 하체의 다리부 로만 구성된 이족 보행 로봇은 걸음새 변경능력이 미비하거나 훨씬 복잡한 알고리즘을 필요로 하며, 보행 전 균형점 궤적이나 균형 운동

을 행하기 어려운 단점이 있다[3]. 이를 해결하기 위하여 상부에 균형 관절을 갖는 형태의 이족 보행 로봇에 대한 연구들이 수행되었다. 1990년대 후반에 걸음새나 로봇의 몸체 추진 궤적에 관심을 보여왔고, 기존의 연구가 갖고 있는 제약을 극복하고자 하는 연구도 많이 수행되었다[4].

한 로봇의 원활한 보행을 구현하기 위한 보행 동작에 대한 연구들을 크게 이론적 방법과 실험적 방법으로 분류해 보면, 이론적 연구들은 이족 보행의 동역학 해석을 통하여 안정도를 유지하며 여러 형태의 보행 동작을 수행하는 방법들로 여러 연구 결과들이 있었다[5]. 실험적 연구방법은 사람의 보행 동작을 다양한 센서를 사용하여 구한 보행 데이터를 이용하여 직접 이족 보행 로봇에 적용하는 방법이다. 사람의 보행 패턴을 이족 보행 로봇에 적용하기 위해서는 사람의 보행 동작의 데이터를 캡처[6] 하는 기술과, 캡처한 데이터를 이족 보행 로봇의 보행에 적합한 데이터로 변환하는 방법이 필요하다. 또한 로봇의 독립적인 보행을 구현하기 위한 원격제어[7] 등이 연구되었으며 로봇 보행 형태의 데이터 획득을 위한 그래픽 인터페이스의 개발[8]이 연구되었다.

<sup>†</sup> 한국해양대학교 대학원

E-mail : hot\_duke21@hotmail.com

TEL : (051)410-4969 FAX : (051)405-4790

\* 한국해양대학교 대학원

\*\* 한국해양대학교

본 논문에서는 문헌[8]에서 사용된 이족 보행 로봇(KUBRI1)이 자율보행 시 기존의 감속기가 가지는 백래쉬 문제와 자중 증가로 이를 지탱할 수 있도록 RV 감속기를 이용한 새로운 발목 구조 설계 및 제작을 하였다. 로봇의 제어에는 자율보행 시스템을 위해 임베디드 시스템을 설계 제작하였다. 보다 정확한 로봇 보행 형태의 정보 획득을 위해 기존의 모션 캡처 시스템을 보완한 새로운 형태의 모션 캡처 시스템과 로봇을 원격으로 제어하고 로봇의 보행 동작 해석과 교시를 위한 OpenGL 인터페이스 기반의 시뮬레이터를 개발하였다. 개발한 로봇의 보행교시를 위해 교시기를 이용하여 로봇의 보행 실험을 하였다.



Pic. 1 Out look of KUBIR1

## 2. 보행 로봇의 구동 메커니즘

고 강성을 가지며 높은 기어 비를 갖는 볼나사 구동방식의 사절링크 구동기를 적용하여 Pic.1 과 같은 인체 하반신 크기의 로봇을 제작하였다. 로봇의 관절은 총 8 개로 발목, 무릎 및 힙관절은 4 절링크 구동기로 구동된다. 각 관절 부분은 Fig. 1 과 같은 외형의 사절 링크 구조로 되어 있으며 발목, 무릎, 골반 관절로 구성되어 있다. 각 관절 구동기는 볼나사 구동방식의 직선 운동을 관절의 회전운동으로 변환한다. 발목의 roll 운동은 좌 우로 움직이는 모터가 하나씩 장착되어 로봇은 총 8 자유도를 가진다.

본 논문에서 개발된 자립형 보행 로봇에서 발목부분의 구동기는 기존의 모터가 가지는 백래쉬 문제와 기존 모터의 토크 보다 큰 토크가 요구되기 때문에 발목 부분의 구동 형태는 Pic. 2 와 같은 RV 감속기가 장착되는 형태로 개선이 되었다.



Pic. 2 Improvement of the ankle

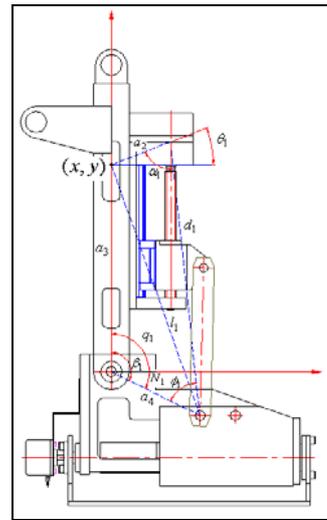


Fig. 1 Mechanism of Four-Bar-Link actuator

직선 운동을 회전운동으로 변환하는 사절링크를 이용하여 발목관절의 회전각  $q_1$  을 구동하는 구조를 Fig.1 에서 나타내었다. 볼나사를 구동하여 제어하는 직선 이동 거리  $d_1$  과 회전각  $q_1$  의 관계는 다음과 같다.

$$d_1^2 = a_3^2 + a_4^2 - a_2^2 - 2a_3a_4 \cos\beta_1 + 2d_1a_2 \cos\alpha_1 = A_1 + B_1 \cos\beta_1 + C_1 d_1 \tag{1}$$

여기서,

$$A_1 = a_3^2 + a_4^2 - a_2^2$$

$$B_1 = -2a_3a_4, C_1 = 2a_2 \cos\alpha_1$$

사절 링크 구조에서 변수는  $\alpha_1$  을 제외한 나머지 내부 각들과 볼 나사의 길이 방향의 변위  $d_1$  이다. 그러나  $a_1, a_2$  및  $a_3$  는 고정된 링크길이이며,  $\alpha_1$  과  $N_1$  은 고정된 각이다.

따라서 식(1)에서  $d_1$  과  $\beta_1$  의 관계식을 유도하면

$$d_1 = \frac{C_1 + [C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{0.5}}{2} \quad (2)$$

시간에 대해 미분하여 속도와 가속도를 구하면

$$\dot{d}_1 = -[C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{0.5} B_1 \sin \beta_1 \dot{\beta}_1 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \ddot{d}_1 = & -2[C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{-1.5} B_1^2 \sin^2 \beta_1 \dot{\beta}_1^2 \\ & - [C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{0.5} (B_1 \cos \beta_1 \dot{\beta}_1^2 + \\ & B_1 \sin \beta_1 \ddot{\beta}_1) \end{aligned} \quad (4)$$

식(3)와 (4)을 이용하여  $q_1$  과  $d_1$  의 관계를 구하면

$$\dot{\beta}_1 = \dot{q}_1 = R_{11} \dot{d}_1 \quad (5)$$

$$\ddot{\beta}_1 = \ddot{q}_1 = R_{12} \dot{d}_1^2 + R_{13} \ddot{d}_1 \quad (6)$$

여기서,

$$R_{11} = \frac{[C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{-0.5}}{B_1 \sin \beta_1}$$

$$R_{12} = -2 [C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{-1} B_1 \sin \beta_1 R_{11}^2 + \frac{\cos \beta_1}{\sin \beta_1} R_{11}^2$$

$$R_{13} = -\frac{[C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{0.5}}{B_1 \sin \beta_1}$$

$\phi_1$  는 Fig. 2 에서 표시된 바와 같이 4 절 링크의 회전 부분에 임의의 좌표  $x_1$  와  $y_1$  를 설정하고 다음의 관계식을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned} x_1 : & d_1 (\phi_1 + N_1) + a_2 \cos \theta_1 \\ & = a_4 \cos N_1 - a_3 \cos (\beta_1 - N_1) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} y_1 : & d_1 (\phi_1 + N_1) + a_2 \sin \theta_1 \\ & = a_4 \sin N_1 - a_3 \sin (\beta_1 - N_1) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\phi_1 = a \tan \left( \frac{S_1 y_1 - T_1 x_1}{S_1 x_1 + T_1 y_1} \right) \quad (9)$$

4 절 링크기구를 이용한 무릎과 힙의 구조가 유사하다.

위에서 구한 관계식들을 이용하여 회전관절 공간으로 표현된 로봇의 동역학 식을 미끄럼 관절 공간의 동역학 식으로 표현 할 수 있다.

### 3. 제어시스템

로봇의 자율 보행을 위한 제어 시스템은 임베디드 컴퓨터와 모터의 구동을 위한 모션제어기, 모터 드라이버, 소형 DC 모터, 볼나사 구동기, 인터페이스 회로와 배터리로 구성된다. 또한 로봇의 이동 명령과 로봇의 각 축의 변위를 획득하여 모

니터상에 시뮬레이션 하는 Host PC 와 유무선 통신으로 임베디드 컴퓨터를 연결한다.

#### 3.1 임베디드 시스템

실험에 사용된 로봇은 Host 컴퓨터와의 통신을 통하여 각 볼나사의 이송 거리와 이송중의 각 축의 볼나사 변위 데이터를 교환하여 자율보행을 구현한다. 이를 위해 구성한 임베디드 시스템은 Pic. 3 과 같은 형태로 되어있으며, Fig. 2 와 같은 구조를 구성되어 있다. 임베디드 컴퓨터는 Adlink 사의 NuPRO770, 모션제어기는 MMC-PV8 를 사용하였으며 모터드라이버 및 센서 인터페이스부는 모두 PCB 자체 제작하였다.



Pic. 3 On-board controller for KUBIR1

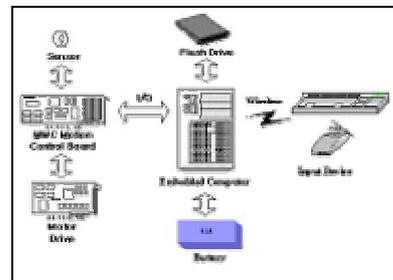


Fig. 2 Block diagram of mobile system

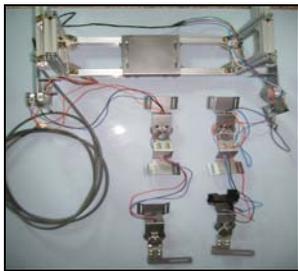
### 4. 그래픽 시뮬레이터 개발 및 실험

시뮬레이터는 Catia V5 사용하여 3 차원 모델링을 만들어 OpenGL 인터페이스를 기반으로 구현하였다. 모션 캡처 시스템을 이용하여 얻어진 로봇의 각 관절의 관절 각을 적용하여 3 차원 모델링한 부재들을 OpenGL 내부에 삽입하여 시뮬레이션한다.

#### 4.1 모션 캡처 시스템

사람의 보행 형태를 로봇에 적용시키기 위해서 모션 캡처 시스템을 제작하여 사람의 동작 정보를 획득하였다. 획득한 데이터는 컴퓨터 시뮬레이션

을 수행하여 로봇의 구동 입력으로 변환하여 Host PC 에서 로봇의 임베디드 컴퓨터로 전송된다. 본 연구에서 착용하기 쉬운 새로운 형태의 모션 캡처 시스템을 개발하였다. 각 관절에 해당하는 정보를 발목, 무릎 및 힙 관절 부위별로 부착하는 분리 구조의 동작 획득 장치를 설계, 개발하였다. 이를 Pic. 5 와 같이 착용하여 실험을 하였다. Fig. 3 은 모션 캡처 시스템을 이용하여 골반, 무릎, 발목 관절의 관절 각 데이터를 그래프로 표현 한 것이다.



Pic. 4 New Type of Motion capture system



Pic. 5 Wear of Motion Capture System

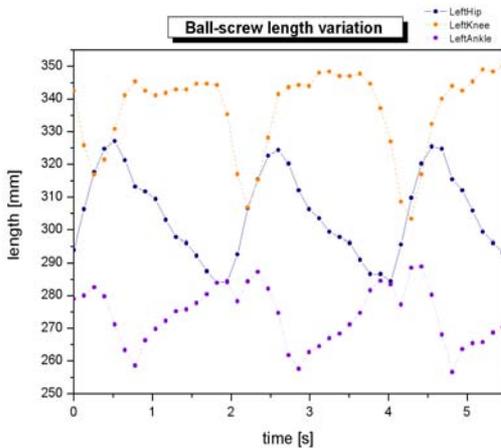


Fig. 3 The captured data of gait

#### 4.2 그래픽 시뮬레이터

로봇의 보행 실험을 위해 외부에서 독립된 시스템으로 로봇의 보행 명령과 로봇의 보행 동작의 데이터를 교환하는 Host PC 를 구성하였다. Host PC 에서 로봇의 임베디드 컴퓨터에 로봇의 구동할 관절의 위치 정보를 보내면, 임베디드 컴퓨터는 로봇에 부착된 모터를 구동하여 로봇을 움직이게 되며, 로봇의 구동 중에 Host PC 는 임베디드 컴퓨터로부터 로봇의 각 볼나사의 이동 거리 데이터를 전송 받게 된다.

Host PC 는 획득한 로봇의 각 볼나사의 이동 정보를 관절 각으로 변환하여 3 차원 모델링한 객체를 이용하여 계산된 좌표에 나타낸다. 로봇과 Host PC 와의 데이터 교환과 시스템 구성은 Fig. 4 과 같은 구조로 되어있다.

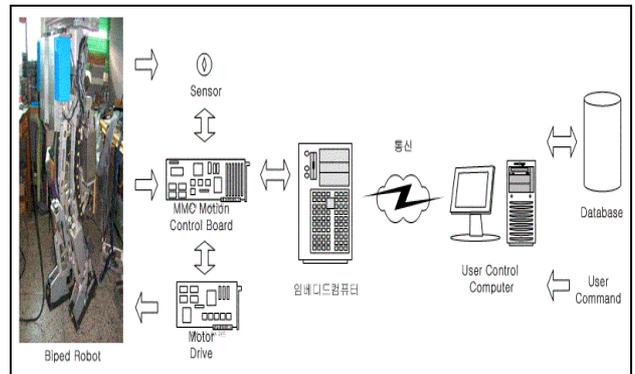


Fig. 4 The overall control system of KUBIR1

#### 4.3 실험

시뮬레이션을 위해서 Host PC 는 임베디드 컴퓨터에서 각 정보를 가져오기 위해 통신포트를 이용하여 로봇의 구동 명령과 각 관절의 볼나사 이동 정보를 요구하는 명령을 전달하고 임베디드 컴퓨터는 전달된 명령에 따라 각 볼나사의 구동 상태를 Host PC 로 정보를 전송해 준다.

보내진 각 관절의 정보는 그래픽 객체의 매개변수로 사용되고 시뮬레이터는 바뀌어진 데이터를 가지고 로봇의 상태를 나타내게 된다.

Fig. 5 은 로봇이 구동하는 동안 각 관절의 정보를 획득하여 로봇의 보행 동작을 윈도우즈 환경에서 보행동작의 분석과 교시하는 시뮬레이션 프로그램이다. Fig. 6 는 실제 로봇의 구동 동작과 시뮬레이터의 보행 동작을 비교한 것이다.

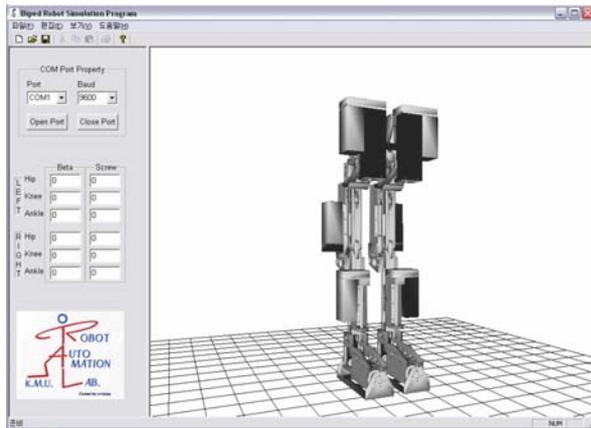


Fig. 5 Gait simulation of KUBIR1

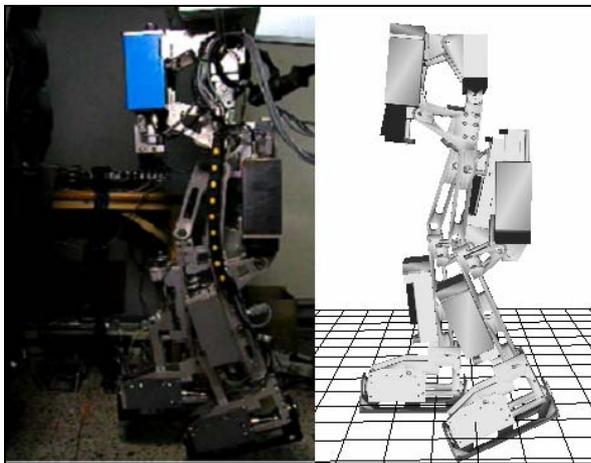


Fig. 6 Comparison

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 개발된 이족 보행로봇의 토크와 안정성의 한계점을 극복하기 위하여 고 강성과 높은 토크 변화율을 갖는 볼나사를 이용하는 4 절링크 구조의 관절 구동기를 채용한 인체형 8 자유도 이족 자율 보행 로봇을 개발하였다. 이론적 연구방법이 아닌 실 시스템의 보행을 목적으로 하는 메카니즘 설계와 실험적 연구방법으로 행하였고, 제어시스템을 직접 제작하였다. 자율보행 시 기존 로봇의 발목부분의 모터 토크보다 더 큰 토크가 요구됨에 따라 발목 부분의 감속기 장착 부분을 개선하였고, 인간 보행 시 연속적으로 움직이는 각 관절들의 변화와 각 관절들의 보다 정확한 각 변화 데이터를 파악하기 위하여 기존의 모션캡처 시스템을 개선한 새로운 형태의 동작획득 장치를 제작하여 보행 데이터를 수집하였다. 이를 바탕으로 OpenGL 를 이용한 윈도우즈 기반의 3차

원 시뮬레이터를 개발하였다. 기존의 보행 형태보다 정확한 보행 정보를 획득하게 되었으며 이번 실험을 통하여 원활한 로봇의 구동을 확인 할 수 있었다.

## 참고문헌

- (1) A. Takanishi, M. Ishida, Y. Yamazaki, I. Kato, "The Realization of Dynamic Walking by The Biped Walking Robot WL-10RD," Journal of the Robotics Society of Japan, Vol.3, No.4, pp. 325-336, 1985.
- (2) F. Gubina, H. Hemami, R. B. McGhee, "On the Dynamic Stability of Biped Locomotion," IEEE trans. on Biomed. Engineering, Vol. BME-21, pp.102-108, 1974.
- (3) Sun-Ho Lim and Jin-Geol Kim, "Biped Locomotion with Mechanical Compliance," (In Korean) Korea Robotics and Automation Workshop Conference, pp.21-25, 1992.
- (4) M. Yamada, J. Furusho, A. Sano, "Dynamics Control of Walking Robot with Kick-Action," ICRA, pp.405-412, 1985.
- (5) V.V.Zhoga, "Computation of Walking Robots Movement Energy Expenditure", IEEE, May, pp.163-168, 1998
- (6) J.H. Lee, Y.W. Jung, "A Real Time Human Body Motion Capture System", KACC, Proceedings of the 13th Korea Automatic Control Conference, pp.1943-1946,1988
- (7) D.S. Choi, S.Y. Lee, "Teleoperation for Humanoid Robot", KACC, Proceedings of the 13th Korea Automatic Control Conference, pp.2059-2062,1988
- (8) Y. S. Kim, D. W. Jun , H. S. Choi, "Development of Graphic interface for Biped walking robot", KSME, Proceedings of the KSME 2002 Autumn Annual Meeting, pp.116-120, 2002