

## 인체형 이족보행로봇의 개발

### Development of a Human-Sized Biped Walking Robot

최형식, 박용현, 김영식  
(Hyeung-Sik Choi, Yong-Heon Park, Yeong-Sik Kim)

**Abstract** : We developed a new type of human-sized BWR (biped walking robot) driven by a new actuator based on the ball screw which has high strength and high gear ratio. Each leg of the robot is composed of three pitch joints and one roll joint. In all, a 10 degree-of-freedom robot with two balancing joints was developed. A new type of actuator for the robot is proposed, which is composed of four bar link mechanism driven by the ball screw. The robot overcomes the limit of the driving torque of conventional BWRs. The BWR was designed to walk autonomously by adapting small DC motors for the robot actuators and has a space to board DC battery and controllers. In the performance test, the BWR performed sitting-up and down motion, and walking motion. Through the test, we found the possibility of a high performance biped-walking.

**Keywords** : biped walking robot, ball screw actuator, four bar link

#### I. 서론

1960년대 후반 이족보행로봇에 관한 모델링이 제안된 이후 이족보행로봇에 대한 많은 연구가 수행되었다. 초기형태의 이론적 연구로서 이족보행로봇의 모델링과 제어는 로봇의 외형에 따라 다리부만 고려한 연구[1]와 다리부와 균형관절을 포함한 보다 복잡한 형태의 연구[2][3]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 다리부로만 구성된 이족보행로봇은 걸음새 변경능력이 미비하거나 훨씬 복잡한 알고리즘을 필요로 하며, 보행 전 균형점 궤적이나 균형운동을 행하기 어려운 단점이 있다[4]. 이를 해결하기 위하여 상부에 균형관절을 갖는 형태의 이족보행로봇에 대한 연구들이 수행되었다[5][6]. 1990년대 후반에 걸음새나 로봇의 몸체 추진 궤적에 관심을 보여왔고, 기존의 연구가 갖고 있는 제약을 극복하고자 하는 연구도 많이 수행되었다[7]. 그러나 이들은 고자유도 시스템의 운동방정식으로 복잡하여 수학적 모델의 정립이 어렵고, 이로 인하여 다양한 걸음새를 구현하기에는 제한적이었다. 이러한 기존 연구들의 한계점을 극복하고 보다 다양한 걸음새를 안정되게 구현하는 이족보행로봇의 개발에 수학적 모델의 유도가 필수적이지만 모델의 복잡성으로 인하여 어려운 난제로 남아있다.

이론적 모델링을 통한 접근방법과는 달리 보행을 위한 구동 메커니즘의 설계를 통하여 보행을 궁극적 목적으로 두는 실험적인 연구방법들이 있다. 이러한 실험적 방법에는 무거운 자중을 지지하며 각 다리관절을 구동하는 구동기의

설계 및 제작을 바탕으로 상/하체 관절, 균형 및 보행을 제어하는 제어시스템으로 구성된다. 구동기에 대한 초기 연구로는 유압시스템을 사용하여 다리를 구동하는 연구가 있었으나, 유압은 무거운 중량, 큰 부피 외에도 유지나 관리가 어려워 거의 대부분 감속기를 이용한 모터를 직접관절에 부착하는 구조로 되어있다. 하지만, 이 방법은 구동모터의 구동토크 한계와 감속기의 강성의 한계로 구동 토크 변화율의 한계 및 로봇의 크기에 제한을 둘 수밖에 없는 구조적 한계점을 가지고 있다[8]. 이를 해결하기 위하여 스프링 메커니즘을 이용하여 구동기의 토크를 높이는 연구[9]가 수행되었지만 여전히 만족할 만한 강성을 얻지 못하고 있다. 따라서 규모에 있어서 소형이며 고 강성을 가지며 높은 기어비로 고 토크를 구현할 수 있는 구동기의 개발이 전제가 되어야만 이족보행로봇의 개발이 가능하다.

현재 가장 발전적 형태의 인체크기 이족보행로봇으로 일본의 HONDA사의 아시모와 PS 시리즈 로봇들은 인간수준의 보행을 행하고 있다[10]. 이들의 구동기는 하모닉 드라이버를 적용한 메커니즘을 사용한다고 하나 명확한 구조는 알려져 있지 않다. 이들은 거의 완성된 형태의 휴머노이드로 관절구동기의 구성 외에 이족보행을 위한 몸체 및 균형 및 보행을 제어하는 시스템의 구성을 거의 완벽히 갖추었다.

본 논문에서는 소형이며 고강성 및 고토크를 갖는 새로운 형태의 관절구동기를 제안하고 이를 적용한 새로운 구조의 인간성인의 다리 길이를 갖는 인체형 10자유도 이족보행로봇을 직접 제작하고 이의 보행 시험을 통하여 보행성능을 검증하였다.

본 논문의 내용을 순차적으로 살펴보면 II장에서는 볼나사를 한 번의 링크로 채용하는 사철 링크의 기구 메커니즘을 분석하고 III장에서 이들을 적용한 이족보행로봇의 기구 메커니즘을 구체적으로 설명하는데, 이는 총 10개의 관절로 구성되며 이중 6개는 다리의 관절들이고 두 개는 발목의 Roll 관절이며 나머지 두 개는 로봇의 무게 중심제어를 위한 균형관절이다. 로봇의 구체적 사양 및 메커니즘에 대한 설

논문접수 : 2002. 10. 29., 채택확정 : 2002. 3. 6.

최형식 : 한국해양대학교(hchoi@hanara.kmaritime.ac.kr)

박용현 : 한국해양대학교(hchoi@hanara.kmaritime.ac.kr)

김영식 : 한국해양대학교(duke2001@hanmail.net)

※ 본 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 협동연구사업에 의하여 일부 지원되었습니다.

명 후에 전체 기구부와 모터의 구동부 및 동작 제어부를 포함하는 전체 제어 시스템의 구성을 IV장에서 설명한다. V장에서는 제작된 로봇의 보행 시험을 통하여 개발된 관절 구동기의 성능과 더불어 이족보행로봇의 성능을 검토하였다.

**II. 관절 구동기의 메커니즘**

본 연구에서 개발한 이족보행로봇의 다리 관절 중에서 Pitch 방향의 관절들은 그림 1과 같이 발목, 무릎 및 힙 관절로 구성된다. 이 관절들을 회전시키는 구동기는 각각 볼나사를 한 변으로 하는 사절 링크로 구성된다. 궁극적으로 관절각을 변화시키기 위해서 볼나사의 변위를 변화시키는 것이 목적이므로 각각의 링크들에서 볼나사의 직선변화와 관절각의 기구적 해석이 필수적이므로 본 장에서는 이의 관계를 정리한다.

**1. 발목관절의 기구학적 구조**

발목의 기구학적 구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 사절 링크를 이용하여 볼나사의 직선운동을 회전운동으로 변환하는 구조이다. 여기서  $b_1$ 은 발목관절과 무릎관절을 연결하는 종아리 부분이고  $c_1$ 은 발에 해당하는 부분이다. 운동 형태는 사절링크에서  $d_1$ 에 해당하는 볼나사가 미끄럼 운동을 할 때 발목관절에 해당하는 회전각  $\beta_1$ 이 회전하는 구조이다. 볼나사의 변위를 나타내는  $d_1$ 과 회전각  $\beta_1$ 의 관계는 다음과 같다.

그림 2에서 사각형 내부의 대각선을 이용하여 양쪽의 삼각형에 코사인법칙을 적용하면 다음과 같은 회전각  $\beta_1$ 과 직선거리  $d_1$ 의 관계를 구할 수 있다.

$$\beta_1 = \text{acos}\left(\frac{b_1^2 + c_1^2 - a_1^2 - d_1^2 + 2a_1d_1 \cos \alpha_1}{2b_1c_1}\right) \quad (1)$$

여기서, 링크길이  $a_1, b_1, c_1$ 과 링크각  $\alpha_1, N_1$ 은 설계 변수로 고정된 값들이다.

그림 2에서 링크각  $q_1$ 과  $d_1$ 과의 관계는 다음과 같다.

$$q_1 = \pi - \beta_1 \quad (2)$$

**2. 무릎관절의 기구학적 구조**

무릎관절 부분에 적용된 사절링크는 그림 3에 나타난 바와 같다.  $b_2$ 는 무릎관절과 힙관절을 연결하는 허벅지 부분이며 볼나사 구동의 직선이동거리는  $d_2$ 이다. 무릎관절의 볼나사에 해당하는 직선이동변위  $d_2$ 와 회전각  $\beta_2$ 의 관계는

$$\beta_2 = \text{acos}\left(\frac{b_2^2 + c_2^2 - a_2^2 - d_2^2 + 2a_2d_2 \cos \alpha_2}{2b_2c_2}\right) \quad (3)$$

여기서, 링크길이  $a_2, b_2, c_2$ 와 각  $\alpha_2, N_{2k}$ 는 고정된 값이고,  $N_2$ 는 발목의 관절각에 의해 결정된다. 또한, 링크각  $q_2$ 와  $d_2$ 의 관계식은

$$q_2 = \pi - \beta_2 - N_{2k} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다.

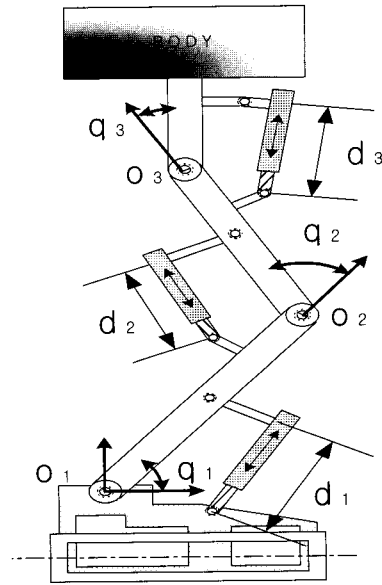


그림 1. 다리의 기구학적 구조.  
Fig. 1. Kinematics model of one leg.

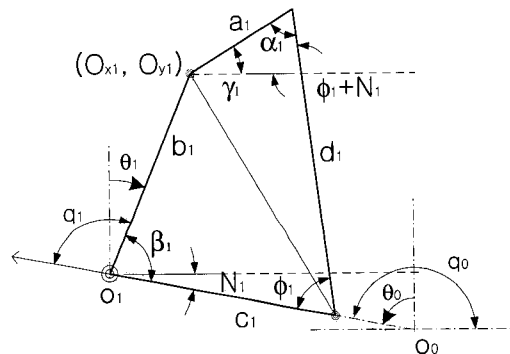


그림 2. 발목관절의 기구학적 구조.  
Fig. 2. Kinematics model of the ankle joint.

**3. 힙관절의 기구학적 구조**

힙 관절 부분에 해당하는 사절링크도 그림 4에 나타난 바와 같이 발목과 무릎에 적용된 관절과 유사한 구조를 가진다. 그림 4에서  $a_3, b_3, c_3$ 의 링크길이와  $\alpha_3, N_{31k}, N_{32k}$ 의 링크각은 고정된 값들이고,  $N_3$ 는 발목과 무릎의 관절각에 의해 결정되는 값이다. 볼나사에 해당하는 직선이동거리는  $d_3$ 이고, 힙관절의 회전각  $\beta_3$ 와  $d_3$ 의 관계식은 다른 관절들과 유사하게 다음과 같이 유도된다.

$$\beta_3 = \text{acos}\left(\frac{b_3^2 + c_3^2 - a_3^2 - d_3^2 + 2a_3d_3 \cos \alpha_3}{2b_3c_3}\right) \quad (5)$$

그리고 관절의 회전각  $q_3$ 와  $d_3$ 의 관계식은 다음과 같이 정리된다.

$$q_3 = \pi - \beta_3 - N_{31k} - N_{32k} \quad (6)$$

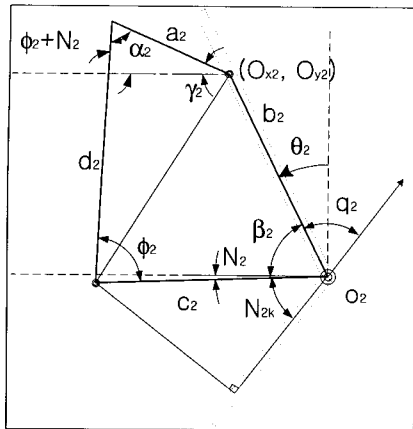


그림 3. 무릎관절의 기구학적 구조.  
Fig. 3. Kinematics model of the knee joint.

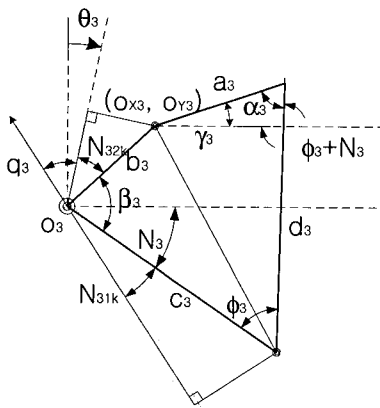


그림 4. 힙관절의 기구학적 구조.  
Fig. 4. Kinematics model of the pelvis joint.

이상과 같이 사절링크의 구동변위에 해당하는 볼나사의 직선이동거리와 이로 인해 제어되는 관절각의 기구학적 관계를 규명하였다.

III. 시스템 구성

본 연구에서 제안한 새로운 구조의 관절구동기를 이족보행로봇에 적용하여 10 자유도 로봇을 제작하였다. 다음은 제작된 로봇의 기구 메커니즘의 구성을 나타낸다.

- 사절링크 구조의 관절 6축
- 감속기가 부착된 Motor를 직접 연결한 발목의 Roll 관절 2축
- 감속기 부착 Motor를 직접 연결한 균형관절 2축

볼나사를 채용한 사절링크 기구의 외관은 그림 5에 나타나 있다. 여기서 볼나사의 미끄럼 변위가 사절링크의 한 변을 구성하는 구조로 되어있다. 발목의 Roll 관절은 216:1의 기어비를 갖는 감속기를 직접 부착하여 보행 시한 다리를 들 때, Roll 방향의 균형을 유지하기 위하여 구성되었다. 로봇의 중량을 보상하기 위하여 스프링을 메커니즘을 이용하였다. 균형 관절은 Pitch와 Roll 방향으로 설치되어 보행 시에 능동적으로 제어하여 몸체의 균형을 유지하며 동시에 보행동작의 유연성을 높이기 위하여 구성되었다.

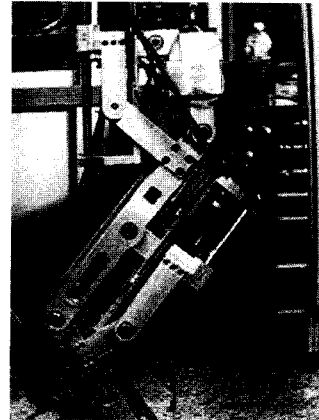


그림 5. 볼나사 구동의 사절 링크 구조.  
Fig. 5. Four bar link mechanism actuated by ball screw.

볼나사 채용의 사절링크 기구를 이용한 이족보행로봇의 전체 구성을 나타내는 개략도는 그림 6에 나타나있고, 실제 제작한 로봇의 사진은 그림 7에 나타나있다.

이족보행로봇을 구성하는 기구부의 외형 치수는 그림 8, 구동기의 사양은 Table 1에 나타나있다.

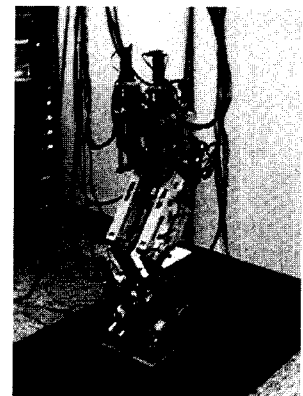
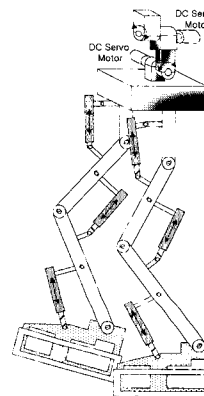


그림 6. 자유도 이족보행로봇. 그림 7. 자유도 이족보행로봇.  
Fig. 6. The 10 D.O.F BWR. Fig. 7. The 10 D.O.F BWR.

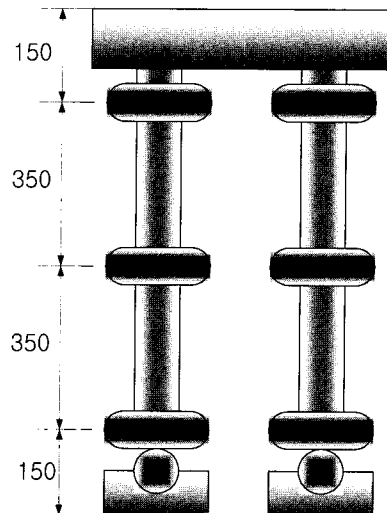


그림 8. BWR의 크기.  
Fig. 8. The size of the BWR.

표 1. 이족보행로봇의 기구학적 사양.  
Table 1. Specification of the BWR.

항목 \ 축	Right / Left				균형추	
	0/4	1/5	2/6	3/7	8	9
	foot (Roll)	ankel	knee	pelvis	Pitch	Roll
DC Servo Motor[W]	90	90	90	90	90	90
Gear Ratio	216:1	4.8:1	4.8:1	4.8:1	126:1	126:1
Encoder Resolution(2상)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
positive to negative limit [pulse]	30000	269800	251300	525900	21000	21000

IV. 제어부

본 연구에서 제작한 로봇은 궁극적으로 자율보행을 목표로 하여 소형 DC모터를 사절링크에 부착된 볼나사의 구동원으로 하고 제어 시스템을 차후에 소형화하여 로봇에 탑재할 수 있도록 모션 컨트롤러를 제외한 모든 시스템을 직접 제작하였다. 이족보행로봇의 구동을 위한 제어 시스템은 다음의 시스템들로 구성되며 이들의 연결관계는 그림 9에 나타나 있다.

- DC 서보모터
- DC 서보모터 드라이버
- 상용화되어있는 Motion 제어기(MMC-PV8)
- 주제어기
- 시스템 인터페이스

이족보행로봇의 관절을 구동하는 사절링크 시스템은 모터로 구동하는데, 구동모터로는 소형 DC모터를 사용하였다. DC모터를 사용한 이유는 모터의 드라이버를 소형으로 제작할 수 있고, 이족보행로봇과 같이 질량과 관성이 큰 시스템에 큰 순간 구동토크를 공급할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

DC 모터의 전원공급장치인 모터 드라이버는 DC 서보모터에 직접적으로 전류를 공급하는 부분으로 FET 전력소자를 사용하여 직접 제작하였다. 이는 정역 방향의 양방향 전원 공급과 홀 센서를 이용하여 모터를 보호하는 과도전류 제한회로를 포함하며 전력소자의 보호를 위한 방열과 전력소자의 효율을 높이기 위한 전원분리를 하였다.

또한, 차후에 로봇의 자율보행을 위하여 동력원을 탑재하는 것을 목적으로 소형의 구동 동력원을 다수 사용하는 구조로 제작하였다.

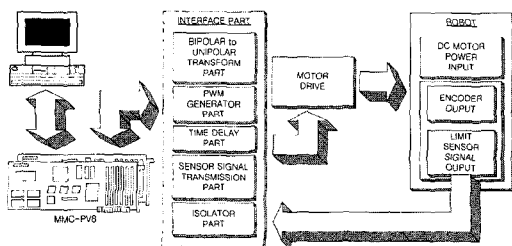


그림 9. 전체 시스템의 블럭도.  
Fig. 9. Block diagram of the total control system.

로봇다리의 관절들은 Pitch축 3개와 Roll축 1개로 구성되어 두 다리가 8축으로 구성되고, 균형을 유지하거나 보행의 유연성을 향상시키는 균형관절은 각각 Pitch축 1개와 Roll축 1개로 구성되어 총 10축으로 구성된다. 이들 10축을 구동하는 축 제어기로 모션제어기인 삼성의 MMC-PV8(8축 제어기)를 2대 사용하였고 이의 사양 및 내부 제어구조는 Table 2 및 그림 10에 각각 나타나 있다. MMC 제어기는 자체 Memory를 1k Byte 내장하고 있어 상위제어기와 빠른 고속 통신을 할 수 있고, DSP 프로세서를 내장하여 고속연산이 가능하며, 제어 알고리즘은 다음과 같은 Proportional-Integral-Derivative-Feedforward(PIDF) 제어 Loop를 구현한다.

$$Y_{vn} = K_R [ K_{pp} \times PE_n + K_{pi} \times PS_n + K_{pd} \times (PE_n - PE_{n-1}) + K_{pf} \times V_n ]$$

여기서,

n : Sample Period [1 msec]

Y<sub>vn</sub> : PID 및 Feed-forward 제어출력

K<sub>R</sub> : Scale Factor ( 1/512 )

K<sub>pp</sub>, K<sub>pi</sub>, K<sub>pd</sub> : 위치 비례, 적분 및 미분 계인

K<sub>pf</sub> : Feed-forward 계인

V<sub>n</sub>, PE<sub>n</sub> : Sample Period n의 속도명령 및 위치오차

PS<sub>n</sub> : 위치오차(PE<sub>n</sub>)의 합

전체 로봇 시스템의 제어를 위한 주제어기로는 펜티엄III PC를 사용하였다. 주제어기는 PCI 슬롯을 이용하여 모션 제어기의 제어이득 설정과 경로명령 설정 등의 작업을 C언어를 이용하여 프로그래밍하여 이를 실행하는 역할을 수행한다.

DC 서보모터와 이의 전원공급장치 및 모터 드라이버를 연결하는 인터페이스 부는 직접 제작하였다. 인터페이스 부의 구조는 그림 9에 나타난 바와 같고, 여기서 Bipolar to Unipolar Transform 부는 속도명령과 방향전환신호를 발생하는 부분이다. PWM Generator부는 OP Amp를 이용하여 삼각파와 Bipolar to Unipolar Transform 부분에서 발생한

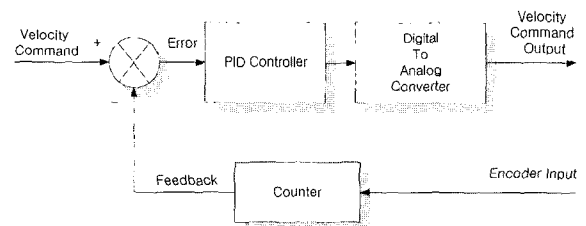


그림 10. MMC 내부 제어구조.  
Fig. 10. Control structure of MMC.

표 2. MMC-PV8 제어기의 사양.  
Table 2. Specification of MMC-PV8 controller.

항목	사양
CPU	TMS320C31
Sampling Rate	1 msec
Analog 출력	±10V, 12bit 분해능
Analog 입력	4채널, 12bit 분해능
사용자 I/O	TTL Level 각 32점
System I/O	16점

Unipolar 속도명령을 비교하여 PWM 신호를 발생한다. 이족 보행로봇과 같이 고토크를 요구하는 DC 모터 제어에서는 시동 및 정지 시에 속도의 가/감속이나 정/역 전환 시에 회로를 보호하기 위한 Time Delay와 모터 드라이버의 전원분리가 필수적이다. Time Delay 부는 시간지연을 위한 부분으로 Monostable Multivibrator를 이용하여 지연시간을 결정할 수 있게 제작하였다. 또 Encoder 신호와 Limit Sensor 신호를 MMC 제어기에 전달하는 센서신호의 Transmission 부를 구성하였고, Isolator 부는 시스템에서의 노이즈나 큰 부하로 인해 모터의 구동시 발생하는 고전류의 역류를 방지하기 위한 전원분리부로 주제어기, 모션 제어기 및 제작된 인터페이스부의 안정성을 고려하여 포토 커플러로 제작하였다.

V. 보행실험

이족보행로봇의 보행 알고리즘에 대한 수많은 연구들이 수행되었다. 다양한 걸음새를 안정되게 구현하고 자세를 안정되게 하기 위해서는 이족보행로봇의 안정도가 포함된 수학적 모델의 유도가 필수적이지만 여러 연구 결과에서 알려진 바와 같이 일반적 해석 모델을 유도하기는 너무 복잡하고, 설사 모델을 구하여도 이로부터의 정보를 가공하여 실제 로봇의 보행에 적용하는 것은 더욱 어려운 문제이다. 로봇을 구동하는 하드웨어적인 관점에서도 기존의 산업용 로봇 관절구동기는 크기와 중량에 비하여 구동토크가 작아서 이족보행로봇의 관절구동기로는 적합하지 않다. 따라서 새로운 형태의 관절구동기의 개발 없이는 이족보행로봇의 개발이 매우 어렵다.

본 연구에서 개발한 로봇은 성인 다리와 구조와 크기가 유사하고 무게는 50kg의 고중량을 갖는다. 고중량의 이족보행로봇의 중량을 지지하며 보행동작을 수행할 수 있는 새로운 관절구동기를 설계 및 제작하고 이를 직접 로봇에 적용하여 보행을 수행하였다. 보행실험에서는 안정도가 포함된 수리적인 접근 방법은 현실적으로 적용하기가 어려워 실험적인 방법으로 보행자세 정보를 구하였다. 각도센서가 부착된 모션 캡처 시스템을 통하여 안정한 보행을 하는 인간의 보행 관절각 정보를 실험적으로 구한 후 이를 이족보행로봇의 입력관절각으로 부분 활용하였다.

실제 실험에서는 제어입력에 따른 모든 관절의 경로 추종성을 확인하였다. 동시제어성능을 검증하기 위하여 동작 기준점과 두 다리 동작의 일치성을 위한 제어 알고리즘을 작성하여 제자리 앉고 일어서는 동작을 시험하였다. 입좌 동작의 주기는 1초로 주었고 실험결과로 그림 11, 12, 13, 및 14에 나타난 바와 같이 두 다리의 동작일치성을 확인할 수 있었다.

입좌 시험 동작 후, 모션캡처시스템의 정보를 활용하여 보행경로를 설정하고 로봇의 보행시험을 행하였다. 그림 15와 16에서 나타난 바와 같이 총 11단계로 기초 보행동작을 수행하였다. 보행의 한 주기는 15초, 그리고 보폭은 25cm의 저속보행을 수행하였다. 시험의 주된 관점은 개발한 소형구동기의 적용으로 50kg의 로봇을 보행시키는 것이었고, 시험결과로 이를 확인할 수 있었다. 실험에서 로봇의 보호를 위한 지지 로프가 작업반경내에 설치되어 균형관절들은 활용하지 않고 보행실험을 행하였다. 그림 17~21은 로봇의 보행

경로 입력 궤적과 실제 추종궤적의 결과를 나타내었고, 그림 21은 이들 중에서 힘 관절의 추종오차를 나타내었다. 한 주기 보행의 각 관절 각의 궤적과 실제 보행 각의 데이터 및 이들의 오차를 볼나사의 변위로 표현하였다. 그림 20에서 나타난 바와 같이 추종오차는 매우 적어 추종 성능은 우수함을 알 수 있다.

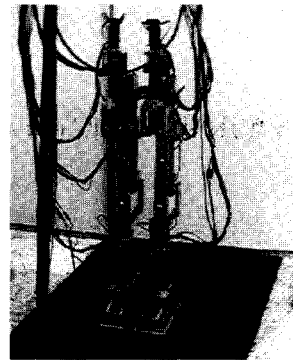


그림 11. 선 자세의 정면. Fig. 11. Front view of sitting-up motion.

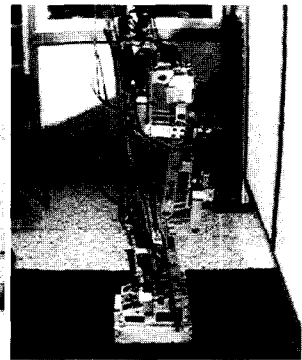


그림 12. 선 자세의 측면. Fig. 12. Side view of sitting-up motion.

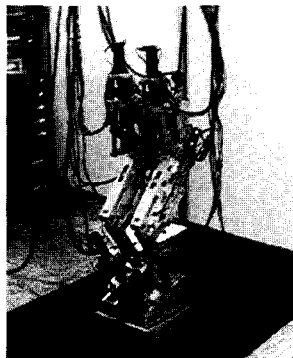


그림 13. 앉은 자세의 정면. Fig. 13. Front view of sitting-down motion.



그림 14. 앉은 자세의 측면. Fig. 14. Side view of sitting-down motion.

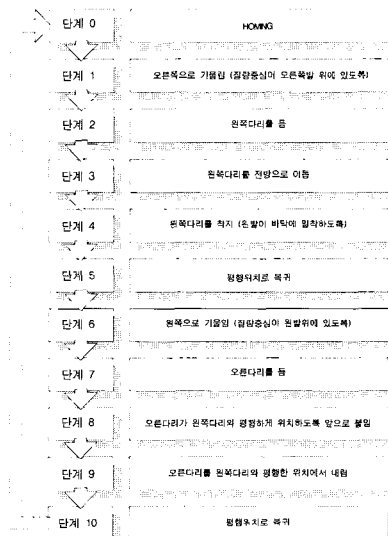


그림 15. 걸음새 단계. Fig. 15. A step of walking position.

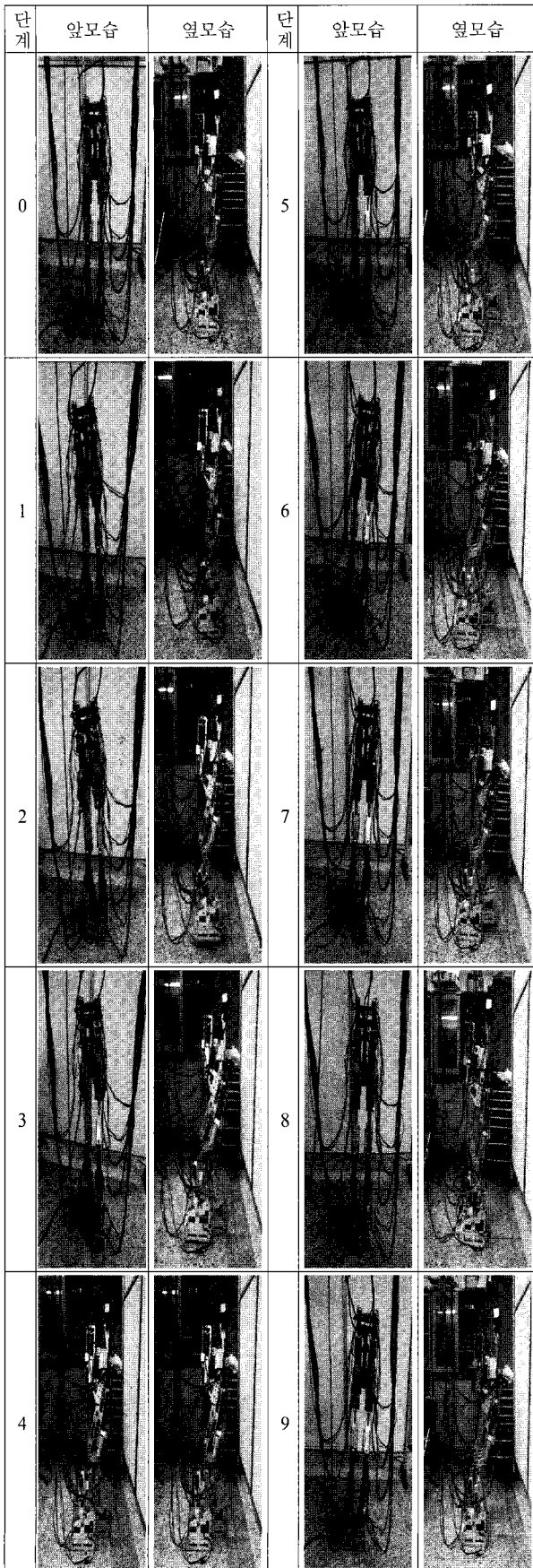


그림 16. 걸음새 단계.  
Fig. 16. A step of walking position.

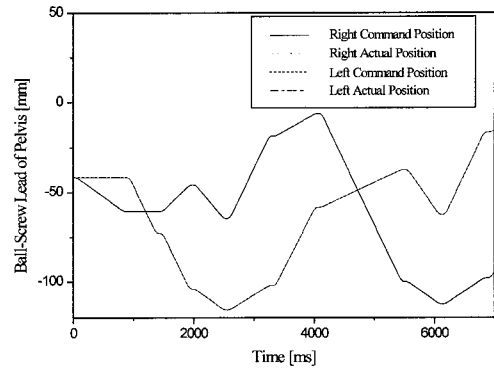


그림 17. 힙 관절의 보행궤적.  
Fig. 17. Walking path of hip joint.

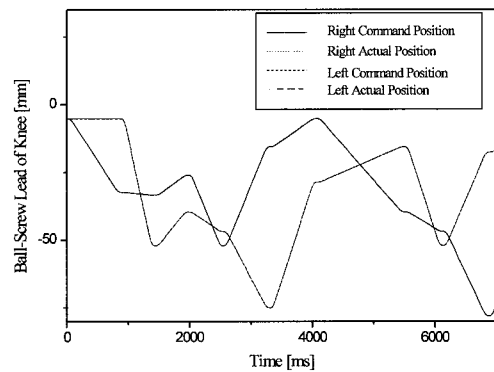


그림 18. 무릎 관절의 보행궤적 추적.  
Fig. 18. Path tracking of knee joint.

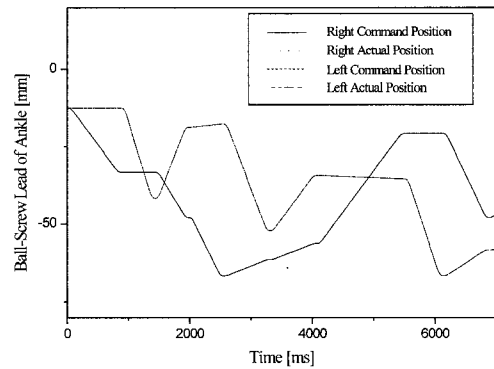


그림 19. 발목 관절의 보행궤적추적.  
Fig. 19. Path tracking of ankle joint.

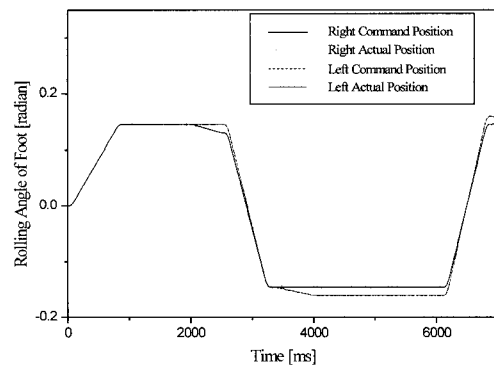


그림 20. 발목 roll 관절의 보행궤적추적.  
Fig. 20. Path tracking of ankle roll joint.

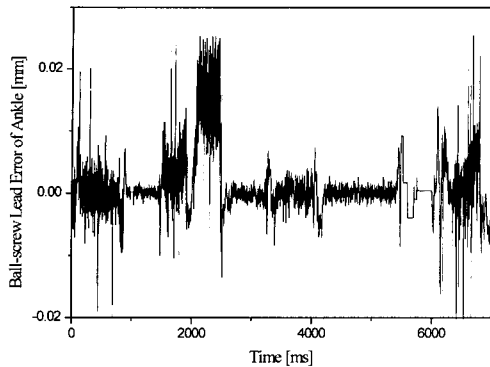


그림 21. 힙 관절의 보행계적 추적 오차.  
Fig. 21. Path tracking error of hip joint.

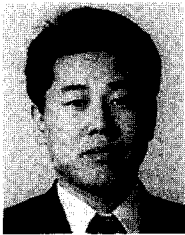
## VI. 결론

이족보행로봇의 관절구동을 위하여 불나사로 구동하는 사절링크 구조의 새로운 관절구동기를 개발하였고, 이를 채용한 성인인간의 하체크기의 인체형 이족보행로봇을 개발하였다. 개발한 관절구동기를 중량 50kg의 로봇에 부착하여 90W DC모터로 구동하여 기초적인 이족보행을 수행하였다. 이족보행로봇에 채용한 관절 구동기는 소용량의 모터 구동기를 사용하였음에도 고중량의 로봇을 보행시킬 수 있었고 이를 통해 제안한 구동기의 고성능을 확인할 수 있었다. 인간의 보행처럼 완속한 형태의 고속보행을 수행하지는 못했지만 보행시험을 통하여 개발한 로봇의 안정한 보행동작에 대한 데이터를 확보하였다.

향후, 안정성을 고려한 개선된 보행 알고리즘의 개발과 개발된 로봇의 기구부를 개선하여 고속의 보행을 수행하거나 보다 더 고하중을 지지하며 보행을 수행할 수 있는 성능 향상에 대한 연구를 수행하고자 한다. 또한, 제어기 및 모터 드라이버를 로봇에 탑재하여 계단과 같은 인간생활환경에서 작업할 수 있는 발전된 이족보행로봇을 개발하고자 한다.

## 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] Y. F. Zheng, "Acceleration compensation for biped robots to reject external disturbance," *IEEE Trans. Sys. Man. and Cyber*, pp. 74-84, 1989.
- [4] Sun-Ho Lim and Jin-Geol Kim, "Biped locomotion with mechanical compliance," (*In Korean*) *Korea Robotics and Automation Workshop Conference*, pp. 21-25, 1992.
- [5] K. J. Waldron, "Realization fo dynamic biped walking stabilized with trunk motion under known external force," *Advanced Robotics*, pp. 299-310, 1989.
- [6] P. H. Channon, S. H. Hopkins, D. T. Pham, "Derivation of optimal walking motions for a bipedal walking robot," *ROBOTICA*, pp. 165-171, 1991.
- [7] M. Yamada, J. Furusho, A. Sano, "Dynamics control of walking robot with kick-action," *ICRA*, pp. 405-412, 1985.
- [8] Y. F. Zheng, "Acceleration compensation for biped robots to reject external disturbance," *IEEE Trans. Sys. Man. and Cyber*, pp. 74-84, 1989.
- [9] J. Yamaguchi, D. Nishino, A. Takanishi, "Realization of dynamic biped walking varying joint stiffness using antagonistic driven joints," *International Conference on Robotics & Automation Proc. of IEEE*, pp. 2022-2029, 1998.
- [10] K. Hirai, M. Hirose, Y. Haidawa, T. Takenaka, "The development of honda humanoid robot," *International Conference on Robotics & Automation Proc. of IEEE*, pp. 1321-1326, 1998.
- [11] 이종원, "휴먼로봇 시스템 개발 사례", *Proc. of KIEE*. vol. 47, no. 10, pp. 18-22, 1998.
- [12] T. T. Lee and J. Liao, "Trajectory planning and control of a 3-link biped robot," *IEEE Robotics and Automation*, pp. 820-823, 1988.
- [13] S. G. Tzafestas, M. Raibert and C. S. Tzafestas, "Robust sliding-mode control applied to a 5-Link Biped Robot," *J. Intelligent. and Robotic Systems*, vol. 15, no. 1, pp. 67-133, 1996.
- [14] S. G. Tzafestas, T. E. Krikochoritis and C. S. Tzafestas, "Robust sliding-mode control of nine-link biped robot walking," *J. Intelligent and Robotic Systems*, vol. 20, no. 2-4, pp. 375-402, 1997.
- [15] S. G. Tzafestas, R. E. Krikochoritis and C. S. Tzafestas, "Robust-adaptive gait control of a 9-link biped robot," *Syst. Anal. Modelling Simul.*, vol. 31, no. 4, pp. 247-304, 1998.



**최형식**

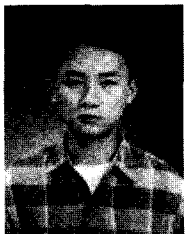
1961년 2월 6일생. 1983년 고려대학교 기계공학과(공학사). 1989년 University of South Carolina 기계공학과(공학석사). 1993년 North Carolina state University 기계 & 항공공학과(공학박사).

1993~현재, 한국해양대학교 기계정보공학부 부교수. 관심분야는 협조로봇, 해저로봇, 이족보행로봇의 dynamics and control, robust control.



**박용현**

1974년 12월 9일생. 1999년 한국해양대학교 기계공학과(공학사). 2001년 동대학원(공학석사). 현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 이족보행로봇의 dynamics and control, 공장자동화 및 모터제어.



**김영식**

1973년 1월 9일생. 2000년 동명정보대학교 로봇시스템공학과(공학사). 현재 한국해양대학교 기계공학과 석사과정. 관심분야는 이족보행로봇의 dynamics and control, 공장자동화, 마이크로프로세서 설계 및 응용.