

# Open Inventor를 이용한 이족보행로봇의 시뮬레이터의 개발

최형식(한국해양대 기계·정보공학부), 김영식\*, 전대원(한국해양대 대학원),  
우정재(한국해양대 학부), 김명훈(한국 신발·피혁연구소 자동화연구부)

## Development of a Simulator for the biped-walking robot using the open inventor

Choi, Hyeung Sik(Korea maritime Univ), Kim, Young Sik(Korea maritime Univ)  
Jun, Dae Woon, Woo, Jung Jae(Korea maritime Univ), Kim, Myung Hun(KIFLT)

### ABSTRACT

We developed a motion capture system to get angle data of human joints in the walking mode. The motion capture system is a pair of leg-shape device, which is composed of three links with the ankle, knee, and pelvis joints. The sensors for measurement of the joint angle are potentiometers. We used an A/D converter to get digital data from joint angles, and which are used to simulate and coordinate the biped-walking robot developed in our laboratory. To simulate and analyze walking motion, animation based on three-dimension motion is performed using the open inventor software.

Key Words: Motion capture system (모션캡처 시스템), Biped walking robot (이족보행로봇), simulator (시뮬레이터)

### 1. 서론

로봇이 인간과 같이 원활한 보행을 할 수 있도록 보행동작에 대하여 많은 연구들을 수행하여왔다. 이에 대해 해석적인 방법으로도 많은 연구를 수행하였다[1-3]. 이러한 방법들은 실제 개발된 이족보행로봇에 직접 사용하기에는 어려움이 존재한다. 이러한 단점들을 해결하기 위해서 사람의 보행동작을 다양한 센서를 사용하여 보행데이터를 획득하여 보행동작을 분석하거나 직접 보행로봇에 적용하는 방법들이 개발되었다. 이러한 접근 방법에는 사람의 보행동작의 데이터를 획득하는 장치의 개발과 이 장치를 이용하여 획득한 데이터를 이족 보행로봇의 보행에 적합한 데이터로 변환하는 방법이 필요하다.

동작캡처 시스템에서 데이터를 획득하는 방법은 기계적 방식, 음향적 방식, 관성적 방식, 자기방식 및 광학 방식 등이 있다. 이들 중 최근에 가장 많이 사용하는 방식으로 자기 방식, 광학 방식 및 기계적 방식이 있다[4]. 자기방식은 x, y, z방향의 직교코일을 내장한 발신기에서 발생하는 자장 속에서 자신의 위치를 알아내는 방법으로, 다른 동작 캡처 시스템에 비하여 상대적으로 가격이 저렴하고 실시간 처리가 가능하나, 잡음의 영향을 많이 받으며 캘리브레이션

이 어려운 점이 있다[5]. 광학적 방식은 발광물질을 신체에 부착하고 두 대 이상의 카메라를 사용하여 인체의 동작을 파악하는 방법으로, 장점은 재측점의 추가에 따른 추가비용이 없고 캡처 범위가 넓으며 빠른 동작도 캡처 할 수 있으나, 초기비용이 많이 들고 주변환경(빛)에 민감한 단점이 있다[6, 7]. 기계적인 방법은 기구링크를 동작시켜 포텐서미터와 같은 센서의 변화량을 측정하는 방법으로, 출력을 디지털로 변환하는 A/D변환기의 성능에 영향을 많이 받는다. 하지만 기구 링크부를 제외하고는 센서가격이 저렴하고 사용하기 간편하며 시스템 응답 속도가 빨라 실시간 처리에 유리하다[8].

본 연구개발에서 보행동작 데이터를 획득하는 센서로 포텐서미터를 관절부위에 부착한 기계식 모션캡처 시스템을 자체 개발하였다. 개발된 시스템은 참고문헌 [8]에서 개발된 시스템을 착용감이 좋게 개선한 것으로 경량의 알루미늄 소재를 사용하여 착용이 용이하여 데이터 획득실험을 용이하게 한다. 시스템은 두 쪽의 다리형상으로 각각 3 자유도를 갖는다. 보행실험을 통해 획득한 데이터는 저주파 통과여파기를 통한 후에, A/D변환하여 주컴퓨터로 전송된다. 이를 이용하여 실험자가 보행할 때의 관절각 데이터를 구하여 본 실험실에서 개발한 이족 보행로

봇에 적합한 제어입력으로 변환한다 이 데이터들을 가공하여 이족 보행로봇의 구동에 적합한 데이터로 변환한다 이를 위해 open inventor 소프트웨어를 이용한 3차원 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 획득한 데이터를 분석한다. 이는 matlab을 이용한 2차원 시뮬레이션을 개선한 것이다[8].

본 논문에서 2장은 실험자의 하체부분의 관절에 센서를 부착할 수 있는 기구부와 센서의 아날로그 신호를 디지털로 변화하는 부분으로 구성되고, 3장은 보행실험으로 모션 기구를 사람이 부착하여 실험을 통해 얻은 모션 캡처 시스템의 데이터를 필터링 과정을 나타내며, 4장은 모션캡처 시스템에서 얻은 데이터를 시뮬레이션 하기 위한 이족 보행로봇의 좌표계 설정과, 이족 보행로봇에 적용하기 위한 사절 링크 구조와의 관계를 세우고, 시뮬레이션하여 데이터를 open inventor를 이용하여 컴퓨터 애니메이션을 수행한다

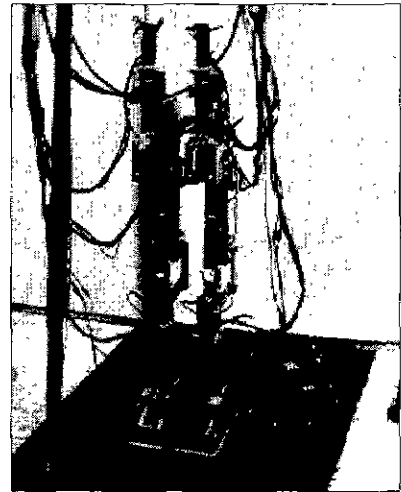


Fig 1 Appearance of Biped-walking Robot

## 2. 시스템 구성

본 실험에서 모션캡처 시스템의 기구부는 2조의 링크 메카니즘으로 구성된다. 각 링크 메카니즘은 3 자유도의 회전관절을 갖는 링크구조로 구성되며 관절부는 포텐서미터가 부착되어 있다 이를 시험자가 다리에 착용하여 보행을 수행하면, 회전각의 정보가 전압으로 변환되고 이는 다시 디지털 값으로 변환되어 PC로 전송된다 이 과정을 그림 1과 같이 블록 선도로 표현하였다.

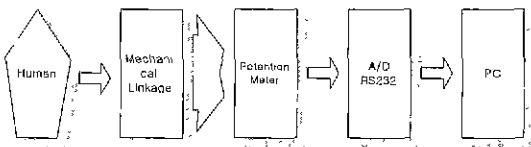


Figure 1. Block Diagram of Motion Capture System

사진 1과 같은 본 실험실에서 개발한 이족 보행 로봇의 보행관절의 데이터를 실험을 통하여 구하기 위해 그림 2와 같은 모션캡처 시스템을 제작하였다. 기구부 관절의 회전 각 측정을 위해 권선형 포텐서 미터를 사용하였고, 포텐서미터의 아날로그 출력 값은 OP-Amp로 증폭한 후 8비트 마이크로 프로세서인 PIC161874를 이용하여 10bit A/D변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환하고, 변환된 데이터 값은 RS232C 통신을 이용하여 PC로 전송된다

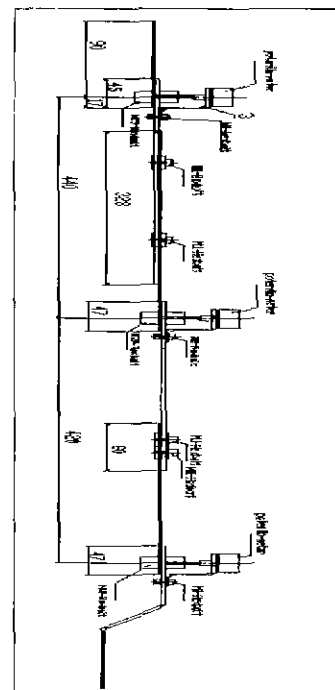


Figure 2.Motion Capture System

## 3. 보행실험

보행실험에서 모션 캡처 시스템을 사진 2와 같이 인체에 직접 부착하여 보행을 수행하고, 이때 획득한 전압신호에 포함된 잡음을 제거하기 위해 저역능동필터를 사용하였다. 이를 거친 신호를 A/D 변환하여 PC로 전송한다. Fig 3은 모션캡처 시스템으로

계측한 관절의 회전 변위를 필터링한 데이터이다. 보행실험에서 얻어진 데이터는 다음의 식을 이용하여 관절 회전각으로 변환한다.

$$\theta^{\circ} = \frac{360}{1024} \times y_n \quad (1)$$

보행실험을 통하여 온라인으로 구한 좌측과 우측 다리의 관절각은 Fig. 3에 나타나 있다. 1초당 약 1보의 속도로 계측한 것이다.



Fig 2 Appearance of wearing motion capture system

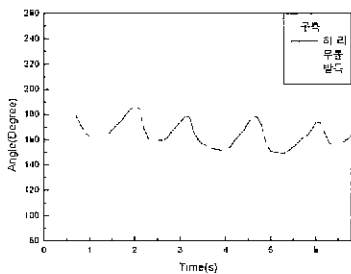
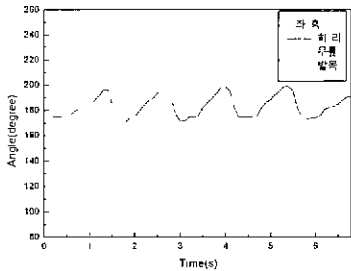


Figure 3 Data of Walking Experiment

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션 및 애니메이션

PC로 전송 받은 후 필터링된 보행 데이터는 자체 개발한 볼나사 구동의 이족 보행로봇의 보행 입력으로 사용하기에 적합한지 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한다. 컴퓨터 시뮬레이션은 우선 이족 보행로봇의 좌표계를 설정하고, 모션 캡처 시스템으로부터 관절각 데이터를 받아서 볼스크류 구동 방식인 이족 보행로봇의 사절링크의 구동변수인 볼나사의 길이로 변환하여, 이족 보행로봇의 보행 자세를 시뮬레이션한다. 이 과정을 그림 4의 블록선도로 나타내었다.

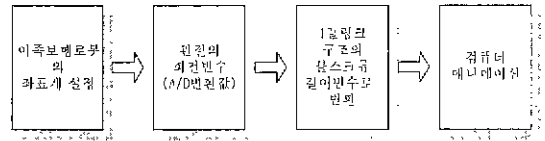


Figure 4. Block Diagram for Computer Simulation

#### 4.1 이족 보행로봇의 관절 좌표계의 설정

이족 보행로봇의 좌표계는 Denavit-Hartenberg 표 시법에 의하여 지지하고 있는 발을 기저로 하여, 발목, 무릎, 골반의 순서로 Fig 5와같이 설정했다[7].

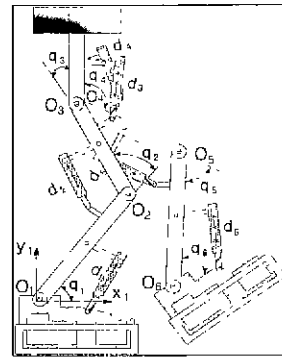


Figure 5 Coordinate of Biped-Walking Robot

#### 4.2 사절 링크구조

모션캡처 시스템에서 구한 발목, 무릎 및 허 관절의 회전 변위 데이터는 궁극적으로는 본 연구실에서 개발한 Fig 5의 이족 보행로봇의 볼나사 변위로 변환하고자 한다. 실험을 통해 구한 보행데이터를 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 구성한 Homogeneous Coordinates를 이용하여 시뮬레이션상의 데이터로 변환한다. 모든 관절의 사절 링크구조는 Fig 6과 같고, 운동 형태는 사절기구에서  $d_1$ 부분이 미끄럼 운동을 할 때,  $\alpha_1$ 을 제외한 나머지 내부 각들의 회전과 함께 회전관절이 동작하는 구조이다. 볼 나사를 구동하여 제어하는 직선 이동거리  $d_1$ 과 회전각  $q_1$ 의 관계를 다음의 식을 이용하여 표현하였다.

$$d_1^2 = a_1^2 + a_4^2 - a_2^2 - 2a_3a_4 \cos \beta_1 + 2d_1a_2 \cos \alpha_1$$

$$= A_1 + B_1 \cos \beta_1 + C_1 d_1 \quad (2)$$

여기서

$$A_1 = a_3^2 + a_4^2 - a_2^2, \quad B_1 = -2a_3a_4$$

$$C_1 = 2a_2 \cos \alpha_1$$

식 (2)에서  $a_1, a_2$  및  $a_3$ 는 고정된 링크길이이며,  $q_1$ 은 계측한 값이고,  $\alpha_1$ 과  $N_1$ 은 고정된 각이다 식 (2)을 불 나사의 미끄럼 변위  $d_1$ 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$d_1 = \frac{C_1 \pm [C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos \beta_1)]^{0.5}}{2} \quad (3)$$

$$\beta_1 = N_1 + q_1 \quad (4)$$

식 (4)을 식(3)에 대입하면 모션캡처 시스템에서 계측한 데이터와 사절링크와의 관계식을 다음과 같이 구할 수 있다[7].

$$d_1 = \frac{C_1 \pm [C_1^2 + 4(A_1 + B_1 \cos(N_1 + q_1))]^{0.5}}{2} \quad (5)$$

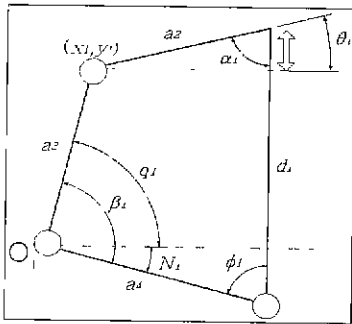


Figure 6. Structure of Four Bar Link

### 4.3 시뮬레이션 결과

Fig 5의 로봇 형태의 초기 단계로 식 (5)에서 구한 관절 각을 Homogeneous Coordinates를 이용하여 컴퓨터 애니메이션상의 관절의 좌표로 표현하였다 보행 동작은 3차원 Open Inventor를 이용하여 구현하였고 구현한 동작의 일부는 Fig. 7과 같다.

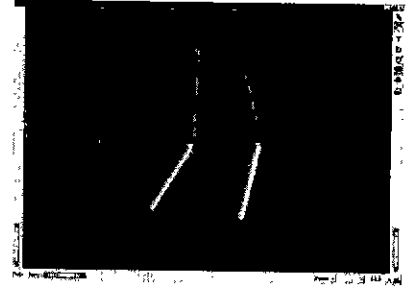
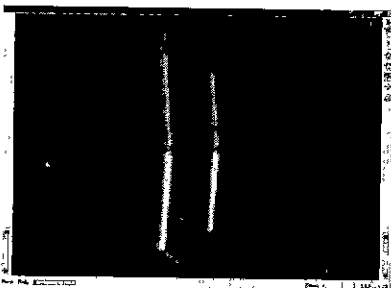


Figure 7 Animation for Walking Motion

### 결론

본 실험실에서 개발한 이족 보행로봇의 보행을 구현하기 위하여 모션캡처 시스템을 개발하였다. 개발된 모션캡처 시스템을 착용하여 실험한 데이터를 가공하여 그 결과를 Data-base화 하였다. 측정된 데이터가 이족 보행로봇의 입력으로 적합하지를 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 아직 실험실에서 개발한 보행로봇 형태가 아니어서 향후 계획으로 작업을 더 수행하여 시뮬레이터를 개선하고 실험을 통한 보행동작 데이터를 개발한 이족 보행로봇의 제어입력으로 사용하여 실제로 안정적인 로봇동작을 구현하는 실험을 수행하고자 한다.

### 참고문헌

- 1 조병훈, 김대원, "이족 보행로봇을 위한 에너지 소비관점에서의 고효율 걸음걸이 알고리즘 구현", KACC, October, pp 1552-1555, 1998
2. V.V.Zhoga, "Computation of Walking Robots Movement Energy Expenditure", IEEE, May, pp 163-168, 1998
3. Barbara E. McCown-McClintick, Gordon D. Moskowitz, "The Behavior of a Biped Walking Gait on Irregular Terrain", The International Journal of Robotics Research, Vol. 17, No. 1, pp. 43-55, 1998
4. 강호석, "동작 캡처 기술", 電子工學會誌, Vol 25 No 2, 1998
- 5 이지홍, 정용우, "실시간 인체 동작 캡처 시스템." 한국정밀공학회지. 제13권 pp.1943-1946, 1998
6. 최대성, 이수용, 김문상, "휴먼로봇을 위한 원격제어 장치의 개발", 한국정밀공학회지, 제13권, 제2호, pp.2059-2062, 1998
7. 김영호, "Rehabilitation Engineering and Motion Analysis", 연세대학교 생체공학 연구보고서
- 8 최형식, 김명훈, 김영식, 전대원, "이족보행로봇의 걸음새 구현을 위한 모션캡처 시스템". 한국정밀공학회, pp.114~117, 2000.10
9. 최형식, 이호식, 박용현, "불나사 구동기를 갖는 로봇다리의 모델링". 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp 583-585, 2000.