공학석사 학위논문

Open Inventor를 이용한 이족보행로봇의 시뮬레이터 개발

Development of a Biped Robot Simulator Using the Open Inventor

지도교수 최 형 식

2002년 8월

한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

전 대 원

목 차

Development of a Biped Robot Simulator Using the Open Inventor

Dae – Won Jun

Department of Mechanical Engineering
Graduate School, Korea Maritime University

Abstract

In this thesis, for autonomous walking of the human-sized biped walking robot(BWR), an embedded motion control system and a computer simulator are studied.

The BWR which is actuated by the four-bar link mechanism is previously developed in our laboratory. The four-bar link mechanism is improved. The four-bar link mechanism is composed of the fixed length of three pitch joints and fixed angle of one roll joint.

A motion capture system with six potentiometers at the joints to get the walking pattern of BWR is developed. The potentiometer with A/D converter changed the revolution voltage to digital angle data. I extracted the basic walking pattern data of the BWR from that signal.

For autonomous walking motion control, a wireless input device, hard disk, flash memory and battery was setup. 3-dimension modeling was performed using a CAD program so called “Open Inventor”.

The embedded computer is connected with the user control computer for the remote control. The Embedded computer has MMC motion board for the 8 D.O.F. control. The user control computer receives the information sent from the embedded computer and performs 3-Dimension simulation of the BWR.

기 호 설 명

d_1	발목관절의 볼나사의 미끄럼변위
d_2	무릎관절의 볼나사의 미끄럼변위
d_3	허리관절의 볼나사의 미끄럼변위
q_1	발목관절의 회전각
q_2	무릎관절의 회전각
q_3	허리관절의 회전각
α_1	발목관절 4절링크의 볼나사와 발목관절 사이의 고정각
α_2	무릎관절 4절링크의 볼나사와 무릎관절 사이의 고정각
α_3	허리관절 4절링크의 볼나사와 허리관절 사이의 고정각
L_1	기존에 사용되었던 사절링크의 볼스크류 동력원까지의 거리
L_2	개선되어진 사절링크에서 볼스크류 동력원까지의 거리
L_3	기존에 사용된 사절링크와 개선된 사절링크 사이의 거리
T_a	기존에 사용된 사절링크에 작용하는 토크
T_b	개선된 사절링크에 작용하는 토크
a_2, a_3, a_4	발목관절 4절링크의 링크길이
b_2, b_3, b_4	무릎관절 4절링크의 링크길이
c_2, c_3, c_4	허리관절 4절링크의 링크길이

그림 목차

표 목 차

제 1 장 서 론

인간의 삶의 가치에 대한 관심이 높아짐에 따라 과거로부터 로봇의 연구가 계속되어져 왔고 그 응용으로 인간이 수행하기 힘든 작업을 로봇으로 대체하는 요구가 증가되어 왔다. 과거에는 다관절로봇이나 스칼라 로봇과 같은 산업용 로봇의 연구로 반복적이고 단순한 작업에만 로봇으로의 작업이 행해져 왔으나 오늘날의 로봇은 반도체생산공정과 같은 정밀도를 요구하는 작업이나 원자로와 같은 극한의 상황에서 요구되는 작업, 그리고 서비스산업에서도 인간과 유사한 로봇으로 대체하려는 시도가 되어지고 있는 추세이다. 여기서 인간과 유사한 로봇의 산업에 있어서 인간과 유사한 보행을 하는 로봇은 필수적이라 할 수 있다.

60 년대 후반부터 Vucobratobic 의 이족보행로봇의 모델링을 제안한 후 많은 이론적 연구와 실험적인 연구들이 수행되어 왔다.

이러한 연구는 이족로봇의 모델링과 보행동작제어에 관한 것이 대부분을 차지하며 보행시에 이족보행로봇의 보행동작의 모델링과 선형화 제어로 인한 상태공간의 안정도 해석[2], 걸음새의 동작특성을 파악하고 제어하는 연구[1][3], 토크센서를 이용하여 이족보행로봇의 보행제어에 관한 연구[6]등이 수행되었다.

위의 연구들은 이족보행로봇의 다리 부분들로만 구성되어져 있어 균형관절에 해당하는 상체부분의 부재로 인간의 보행동작보다 훨씬 더 복잡한 알고리즘을 가지고 보행전의 균형점의 결정하기 어려운 단점을 가지고 있었고, 이를 해결하기 위하여 시스템의 안정도 보상을 위해 상부에 균형관절을 가지는 형태로 발전되었다. 이러한 균형관절의 형태는 직진운동관절[5][23]과 회전운동관절[4]이라는 두 가지 형태로서 연구되어져 왔다. 90 년대후반부터의 연구는 이족보행로봇의 걸음새나 로봇의 추적궤적에

많은 연구가 주루를 이루었고[9], 이들은 대부분 역동력학(Inverse Dynamics)연산에 의한 토크의 제어를 이루는 연구[14]들이었다.

인체형 이족보행로봇의 원활한 보행동작을 위해서 무거운 자중을 지지하면서 각 다리의 관절을 구동하는 관절구동기의 설계 및 제작과 하체부분만 실험에 따른 균형관절의 제어, 보행을 제어하기 위한 제어시스템의 구성 등의 방법들이 고려되어져야 한다.

관절구동기의 설계 및 제작에 관하여 구동모터의 토크한계와 감속기의 강성의 한계에 따른 로봇의 크기 제약을 가지고[19], 이를 해결하기 위한 스프링 메커니즘을 이용하여 구동기의 토크를 높이는 방법[20]도 요구되는 강성을 얻지 못했다.

이러한 이유로 관절구동기를 관절에 부착하기는 토크를 높이기 어렵기 때문에, 관절에 직접적인 동력전달보다는 관절에 볼나사를 이용한 사절링크를 사용하여 관절구동함으로써 강성과 토크를 높이는 방법을 채용하였다.

1998 년 혼다(일본)에서 개발된 인간의 형태와 가장 가까운 보행로봇이 개발되면서 세계적으로도 보행로봇에 대한 관심이 커졌고, 본 연구실에서 2000 년부터 개발되어온 이족보행로봇에 대한 연구와 관절 구동기의 구동메커니즘에 대한 연구도 많은 성과를 거두고 있다. 현재 3 차에 걸쳐 설계의 수정과 가공이 이루어졌고 앞으로도 많은 발전이 이루어질 것이라 생각된다.

본 논문은 제 2 장에서 이족보행로봇의 동역학 부분에서 기존에 개발되어진 이족 보행로봇의 구동메커니즘의 소형화를 위해서 변경되어진 메커니즘과 모듈화 되어진 구동기의 소개하였고, 제 3 장에서는 이족보행로봇의 원활한 보행을 위해 기초데이터로서 인간의 보행패턴을 획득하여 이족보행로봇에 적용시키기 위한 모션캡쳐시스템을 구성하였고, 제 4 장에서 획득한 보행데이터를 정량화하여 이족보행로봇의 볼나사 변위로 변환하여 시뮬레이터에 적용시켰고 이족보행로봇의 자율보행을 위해 산업용 컴퓨터와 무선입력장치, 플래시타입의 하드디스크를 이용한 임베디드컴퓨터를 제안하여

이족보행로봇을 원격으로 제어하였고 3 차원 CAD 데이터로 설계된 이족보행로봇의 부재를 가지고 Open Inventor 로 구현한 시뮬레이터 개발을 소개하였다. 본 논문을 통해 보다 발전되어진 형태의 이족보행로봇의 개발의 가능성을 확인하였다.

제 2 장 이족보행로봇(KUBIR)의 동역학적 모델링

2.1. 관절구동기구의 모델링

인간과 닮은 이족보행로봇을 만들기 위해서는 관절구동을 하는 메커니즘이 필요하다. 여기서 관절구동이란 인간의 골격형태의 프레임에 만들어서 관절에 해당되는 부분을 구동하여 인간과 비슷한 동작을 하게 하기 위한 동력의 공급을 말한다. 이러한 관절 구동을 이용하여 계단을 오르거나 턱을 넘는 보행동작을 할 경우 회전관절들로 구성된 한 다리로 자체의 중량과 상부의 하중을 모두 지탱해야 하므로 로봇의 크기가 커질수록 관절에 작용하는 토크 또한 커지게 된다. 이러한 여러 제약조건을 만족시키기 위해서는 고강성, 고토크의 시스템이 요구되어진다. 현재까지 이루어진 연구로는 관절구동을 위하여 감속기를 부착한 모터를 회전관절에 직접적으로 부착하여 최대한의 효율을 내기 위한 연구가 되어져 왔다. 하지만 위와 같은 방법은 효율의 저하와 함께 많은 제작 비용이 들고 관절구동기의 모듈화가 힘들고, 인간의 다리형태에서 조금은 동떨어진 형태를 갖추게 되는 한계를 가지게 된다. 현재 외국에서는 형상기억합금을 이용한 인간의 근육의 형태와 가장 유사한 구동기가 개발되기도 하였지만 아직까지는 초기단계라서 실제 이족보행로봇으로의 적용이 어렵다.

본 논문에서는 위와 같은 한계점을 극복하기 위하여 고강성을 가지고 토크의 변화율도 아주 큰 볼나사를 사용한 관절구동기를 소개한다. 적용된 관절구동기는 사절링크시스템에 볼나사를 채용하여 볼나사의 직선운동을 사절링크시스템을 이용하여 관절의 토크형태로 변환되어 구동되어지는 구조이다. 적용된 볼나사는 그림 2.1과 같고, 실험에 사용되어진 이족보행로봇은 그림 2.2와 같다.

그림 2.1 볼나사

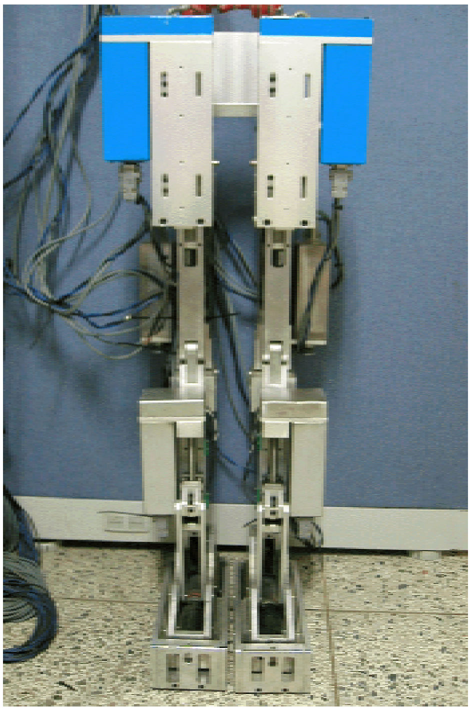


그림 2.2 이족보행로봇

2.2. 이족보행로봇에 적용된 사절링크구조

본 실험실에서 연구하고 있는 이족보행로봇은 전체적으로 10개의 자유도를 가지는

형태로 2자유도의 발목관절과 무릎, 허리관절로 구성되어지고 인간의 상체에 해당되는 균형관절 2개로 구성되어진다. 이러한 관절들의 구동을 위해서 관절구동기를 사용하는데, 볼나사를 이용한 사절링크시스템을 채용하였다. 세개의 변의 길이가 고정이고, 나머지 한 변은 볼나사변위로 만들고, 볼나사 지지부와 다리부가 이루는 각을 고정각으로 하여 볼나사 변위와 관절각과의 관계로 나타낼 수 있다.

2.2.1. 발목관절의 동역학 방정식

발목관절에서의 기구학적 구조는 볼나사 구동기에 따른 변화는 볼나사의 변위 d_1과 발목관절에 해당하는 O_1을 중심으로 발부분과의 고정관절 a_4, 무릎과의 고정관절 a_3, 그리고 볼나사 모듈과의 고정관절인 a_2로 구성되어진다.

전체적인 사절링크와 볼나사 모듈의 계략도는 그림.2.3 와 같다.

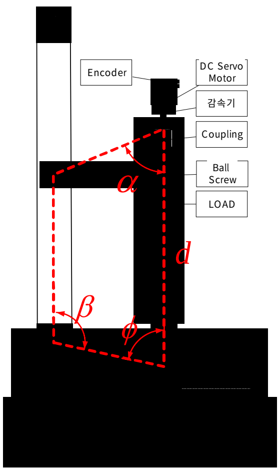


그림 2.3 발목관절의 볼나사시스템

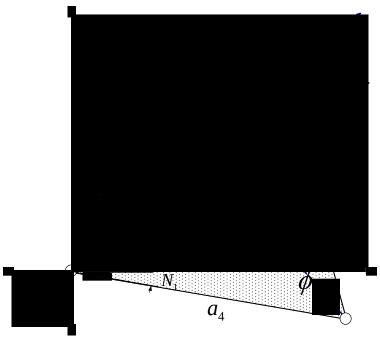


그림 2.4 발목관절 사절링크의 간략화

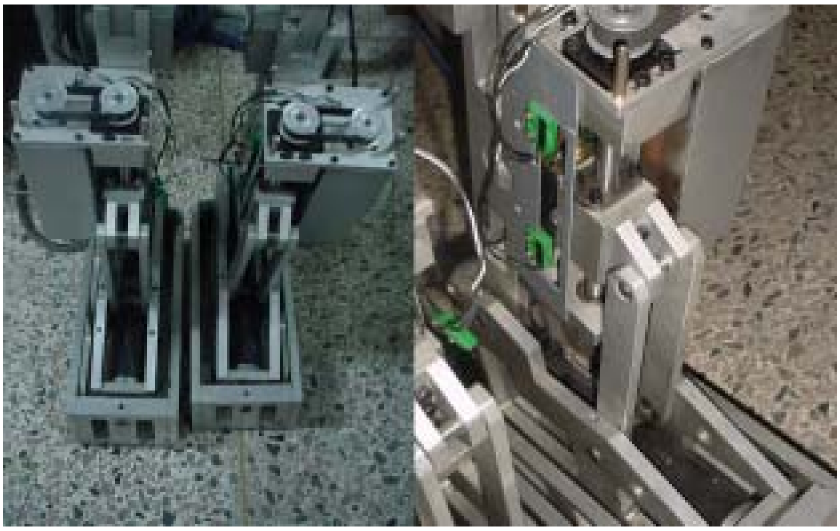


그림 2.5 발목관절의 외형

볼나사의 변위 d_1과 발목의 회전각에 해당하는 q_1의 관계는 다음과 같이 유도된다. 그림 2.3의 사절링크에서 l_1을 이용하여 임의의 두개의 삼각형을 만들어서 l_1을 이용하여 코사인법칙을 적용하면

$$\begin{aligned} l_1 &= a_2^2 + d_1^2 - 2a_2 d_1 \cos\alpha_1 \\ &= a_3^2 + a_4^2 - 2a_3 a_4 \cos\beta_1 \end{aligned}$$

$$d_1 = \frac{C_1 + \left[C_1^2 + 4\left(A_1 + B_1 \cos\beta_1\right)\right]^{0.5}}{2} \tag{2.1}$$

여기서

$$\begin{aligned} A_1 &= a_3^2 + a_4^2 - a_2^2 \\ B_1 &= -2a_3 a_4 \qquad \text{이고} \\ C_1 &= 2a_2 \cos\alpha_1 \end{aligned}$$

링크길이 a_2, a_3, a_4와 링크각 α_1, N_1은 고정된 값들이다.

첫번째 관절과 지면과 이루는 회전각 q_1과 직선거리 d_1과의 관계는 다음의 식으로 표현된다.

$$q_1 = \beta_1 - N_1 \tag{2.2}$$

식의 미끄럼 변위를 시간에 관해 미분하면 다음과 같이 속도 및 가속도를 구할 수 있다.

$$\dot{d}_1 = -\left[C_1^2 + 4\left(A_1 + B_1 \cos\beta_1\right)\right]^{-0.5} B_1 \sin\beta_1 \dot{\beta}_1 \tag{2.3}$$

$$\begin{aligned} \ddot{d}_1 = &-2\left[C_1^2 + 4\left(A_1 + B_1 \cos\beta_1\right)\right]^{-1.5} B_1^2 \sin^2\beta_1 \dot{\beta}_1^2 \\ &-\left[C_1^2 + 4\left(A_1 + B_1 \cos\beta_1\right)\right]^{-0.5} \left(B_1 \cos\beta_1 \dot{\beta}_1^2 + B_1 \sin\beta_1 \ddot{\beta}_1\right) \end{aligned} \tag{2.4}$$

식 (2.1), (2.2), (2.3) 및 (2.4)를 이용하여 q_1과 d_1의 속도 및 가속도 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\beta_1 = q_1 + N_1 = a\cos\left[\frac{d_1^2 - A_1 - C_1 d_1}{B_1}\right] \tag{2.5}$$

$$\dot{\beta}_1 = \dot{q}_1 = R_{11} \dot{d}_1 \tag{2.6}$$

$$\ddot{\beta}_1 = \ddot{q}_1 = R_{12} \dot{d}_2 + R_{13} \ddot{d}_1 \tag{2.7}$$

여기서,

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

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

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

그림 2.4에서 d_1 과 a_4 가 만나는 점에서 $\left(x_1, y_1\right)$ 을 표현하여 ϕ_1 과 d_1 의 관계를 유도하면

$$x_1 = d_1 \cos\left(\phi_1 + N_1\right) + a_2 \cos\theta_1 = a_4 \cos N_1 - a_3 \cos q_1 \qquad (2.8)$$

$$y_1 = d_1 \sin\left(\phi_1 + N_1\right) - a_2 \sin\theta_1 = a_4 \sin N_1 + a_3 \sin q_1 \qquad (2.9)$$

여기서

$\theta_1 = \pi - \phi_1 - \left(\alpha_1 + N_1\right)$ 이다.

식 (2.8) 의 좌변에 θ_1 을 대입하여 ϕ_1 에 대해 정리하면

$$\begin{aligned}
&d_1\left(\cos\phi_1 \cos N_1 - \sin\phi_1 \sin N_1\right) \\
&+a_2\left[\cos\left(\pi - \phi_1\right)\cos\left(\alpha_1 + N_1\right) + \sin\left(\pi - \phi_1\right)\sin\left(\alpha_1 + N_1\right)\right] \\
&=\left[d_1 \cos N_1 - a \cos\left(\alpha_1 + N_1\right)\right]\cos\phi_1 - \left[d_1 \sin N_1 - a_2 \sin\left(\alpha_1 + N_1\right)\right]\sin\phi_1
\end{aligned}$$

여기서,

$$\cos(\pi-\phi_1)=-\cos\phi_1 \quad \text{이므로,}$$
$$\sin(\pi-\phi_1)=\sin\phi_1$$

$$A_1=d_1\cos N_1-a_2\cos(\alpha_1+N_1) \quad \text{으로 정의하면,}$$
$$B_1=d_1\sin N_1-a_2\sin(\alpha_1+N_1)$$

$$A_1\cos\phi_1-B_1\sin\phi_1=x_1 \tag{2.10}$$

식 (2.9)의 좌변에 θ_1을 대입하여 ϕ_1에 대해 정리하면

$$\begin{aligned}
&d_1(\sin\phi_1\cos N_1+\cos\phi_1\sin N_1)\\
&-a_2\left[\sin(\pi-\phi_1)\cos(\alpha_1+N_1)-\cos(\pi-\phi_1)\sin(\alpha_1+N_1)\right]\\
&=\left[d_1\cos N_1-a_2\cos(\alpha_1+N_1)\right]\sin\phi_1+\left[d_1\sin N_1-a_2\sin(\alpha_1+N_1)\right]\cos\phi_1
\end{aligned}$$

이고, 식(2.9)과 같이 정리하면

$$B_1\cos\phi_1+A_1\sin\phi_1=y_1 \tag{2.11}$$

식 (2.10)과 식 (2.11)에서 ϕ_1을 구하면

$$\phi_1=a\cos\left[\frac{A_1x_1+B_1y_1}{A_1^2+B_1^2}\right] \tag{2.12}$$

2.2.2. 무릎관절의 동역학 방정식

무릎관절 부분에 적용된 사절링크는 발목관절의 구조와 유사한 그림 2.6의 형태를 가진다. 볼나사의 변위 d_2 와 무릎의 회전각에 해당하는 q_2 의 관계는 다음과 같이 유도된다. 사절링크에서 l_2 을 이용하여 임의의 두개의 삼각형을 만들어서 같은 공통변을 이용하여 코사인법칙을 적용하여

그림 2.6 무릎관절의 외형

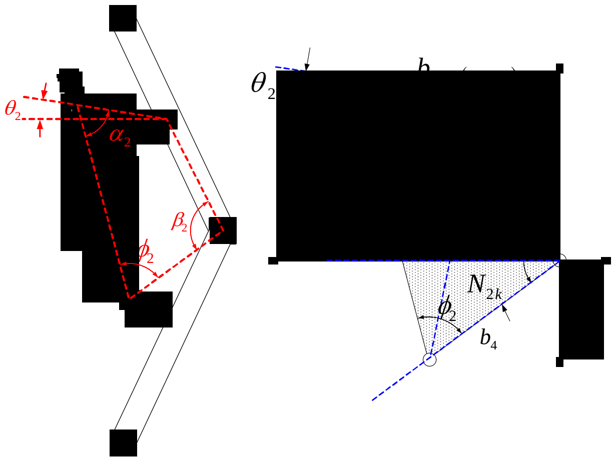


그림 2.7 무릎관절의 볼나사시스템

$$d_2 = \frac{C_2 + \left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2 \cos\beta_2\right)\right]^{0.5}}{2} \tag{2.13}$$

여기서

$A_2 = b_3^2 + b_4^2 - b_2^2$

$B_2 = -2b_3 b_4$ 이고

$C_2 = 2b_2 \cos\alpha_2$

링크길이 b_2, b_3, b_4와 링크각 α_2, N_2, N_{2k}은 고정된 값들이다.

$$q_2 = \pi - (\beta_2 + N_2) \tag{2.14}$$

식의 미끄럼 변위를 시간에 관해 미분하면 다음과 같이 속도 및 가속도를 구할 수 있다.

$$\dot{d}_2 = \left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2\cos\beta_2\right)\right]^{-0.5} B_2 \sin\beta_2 \dot{\beta}_2 \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned}\ddot{d}_2 = &-2\left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2\cos\beta_2\right)\right]^{-1.5} B_2^2 \sin^2\beta_2 \dot{\beta}_2^2 \\ &-\left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2\cos\beta_2\right)\right]^{-0.5}\left(B_2\cos\beta_2 \dot{\beta}_2^2 + B_2\sin\beta_2 \ddot{\beta}_2\right)\end{aligned} \tag{2.16}$$

식 (2.13), (2.14), (2.15) 및 (2.16)을 이용하여 q_2과 d_2의 속도 및 가속도 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\beta_2 = q_2 + N_2 - \pi = a\cos\left[\frac{d_2^2 - A_2 - C_2 d_2}{B_2}\right] \tag{2.17}$$

$$\dot{\beta}_2 = -\dot{q}_2 = R_{21}\dot{d}_2 \tag{2.18}$$

$$\ddot{\beta}_2 = -\ddot{q}_2 = R_{21}\dot{d}_2 + R_{23}\ddot{d}_2 \tag{2.19}$$

여기서

$$R_{21} = \frac{\left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2 \cos\beta_2\right)\right]^{0.5}}{B_2 \sin\beta_2}$$

$$R_{22} = -2\left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2 \cos\beta_2\right)\right]^{-1} B_2 \sin\beta_2 R_{21}^2 + \frac{\cos\beta_2}{\sin\beta_2} R_{21}^2$$

$$R_{23} = -\frac{\left[C_2^2 + 4\left(A_2 + B_2 \cos\beta_2\right)\right]^{0.5}}{B_2 \sin\beta_2}$$

ϕ_2 과 d_2 의 관계를 유도하면

$$\phi_2 = a\cos\left[\frac{A_2 x_2 + B_2 y_2}{A_2^2 + B_2^2}\right] \qquad (2.20)$$

여기서

$$A_2 = d_2 \cos N_{2k} - a_2 \cos\left(\alpha_2 + N_{2k}\right)$$
$$B_2 = d_2 \sin N_{2k} - a_2 \sin\left(\alpha_2 + N_{2k}\right)$$
이다.

2.2.3. 허리관절의 동역학 방정식

허리관절 부분에 적용된 사절링크는 발목관절의 구조와 동일한 그림 2.8의 형태를 가진다. 볼나사의 변위 d_3 와 허리의 회전각에 해당하는 q_3 의 관계는 다음과 같이 유도된다. 사절링크에서 l_3 을 이용하여 임의의 두개의 삼각형을 만들어서 같은 공통변을 이용하여 코사인법칙을 적용하여

그림 2.8 허리관절의 외형

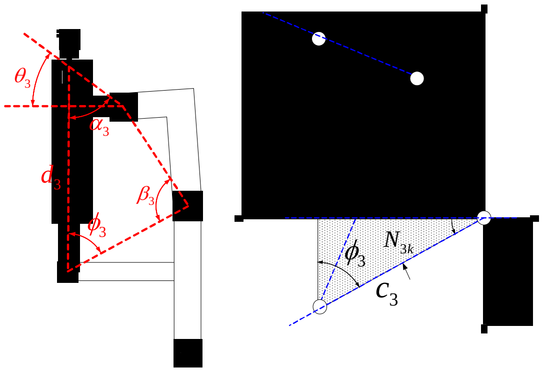


그림 2.9 허리관절의 볼나사시스템

$$d_3 = \frac{C_3 + \left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3 \cos\beta_3\right)\right]^{0.5}}{2} \tag{2.21}$$

여기서

$$A_3 = c_3^2 + c_4^2 - c_2^2$$
$$B_3 = -2c_3c_4 \quad \text{이고}$$
$$C_3 = 2c_2\cos\alpha_3$$

링크길이 c_2, c_3, c_4와 링크각 α_3, N_3, N_{3k}은 고정된 값들이다.

$$q_3 = \pi - \left(\beta_3 + N_3 + N_{3k}\right) \tag{2.22}$$

식의 미끄럼 변위를 시간에 관해 미분하면 다음과 같이 속도 및 가속도를 구할 수 있다.

$$\dot{d}_3 = -\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{-0.5} B_3 \sin\beta_3 \dot{\beta}_3 \tag{2.23}$$

$$\begin{aligned}\ddot{d}_3 = &-2\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{-1.5} B_3^2 \sin^2\beta_3 \dot{\beta}_3^2 \\ &-\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{-0.5}\left(B_3\cos\beta_3\dot{\beta}_3^2 + B_3\sin\beta_3\ddot{\beta}_3\right)\end{aligned} \tag{2.24}$$

식 (2.21), (2.22), (2.23) 및 (2.24)를 이용하여 q_2과 d_2의 속도 및 가속도 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\beta_3 = q_3 + N_3 + N_{3k} - \pi = a\cos\left[\frac{d_3^2 - A_3 - C_3 d_3}{B_3}\right] \tag{2.25}$$

$$\dot{\beta}_3 = \dot{q}_3 = R_{31}\dot{d}_3 \tag{2.26}$$

$$\ddot{\beta}_3 = \ddot{q}_3 = R_{32}\dot{d}_3^2 + R_{33}\ddot{d}_3 \tag{2.27}$$

여기서

$$R_{31} = \frac{\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{0.5}}{B_3\sin\beta_3}$$

$$R_{32} = -2\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{-1} B_3\sin\beta_3 R_{31}^2 + \frac{\cos\beta_3}{\sin\beta_3}R_{31}^2$$

$$R_{33} = -\frac{\left[C_3^2 + 4\left(A_3 + B_3\cos\beta_3\right)\right]^{0.5}}{B_3\sin\beta_3}$$

ϕ_3과 d_3의 관계를 유도하면

$$\phi_3 = a\cos\left[\frac{A_3 x_3 + B_3 y_3}{A_3^2 + B_3^2}\right] \tag{2.28}$$

여기서

$$\begin{aligned} A_3 &= d_3 \cos N_{3k} - a_3 \cos\left(\alpha_3 + N_{3k}\right) \\ B_3 &= d_3 \sin N_{3k} - a_3 \sin\left(\alpha_3 + N_{3k}\right) \end{aligned}$$ 이다.

지금까지 사절링크의 제어입력에 해당하는 볼나사의 직선이동거리 d 와 이로 인해 제어되는 관절각 q 의 관계를 유도하였다.

2.3. 개선된 사절링크기구

위와 같은 사절링크구조는 관절에 동력을 전달하기에 가격대 성능비로는 매우 우수한 장점을 가진다. 토크의 성능을 높이기 위해서는 관절과의 필요이상의 거리가 생기게 되며 이는 총체적으로 기구부의 크기가 커질 수 밖에 없는 요인이 된다.
앞서 말했던 볼나사와 사절링크의 조합으로 관절구동기를 제작하였고, 이러한 관절구동기는 기구부가 외부로 돌출되어 있어 관절각의 범위의 제한이 생긴다. 기구부의 크기를 좀더 작게 만들어 위와 같은 문제점을 극복하기 위하여 사절링크의 성분을 조금 변화하여 개선된 사절링크로 표현이 가능한데 이의 개념도는 그림 2.9 와 같다.

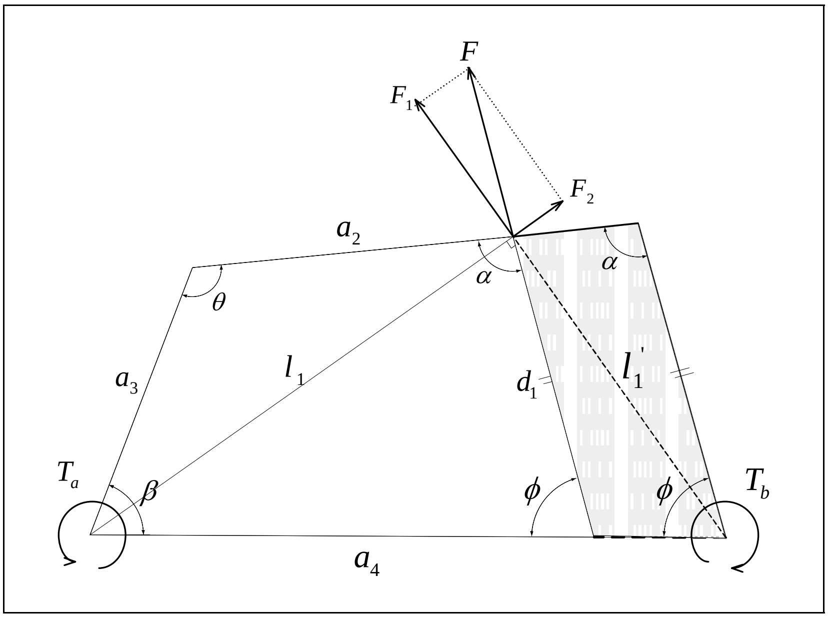


그림 2.10 기존에 사용된 사절링크와 개선된 사절링크의 조합도

그림 2.9에서 F가 작용하고 있는 지점에서 좌측부분이 기존에 사용되어진 사절링크와 볼나사의 개념도이고 우측부분이 기구부의 크기를 소형화하기 위한 개선되어진 사절링크와 볼나사의 개념도이다. 여기서 T_a 과 T_b 는 같은 점으로 기저축에서 첫번째 관절로의 회전을 나타내는 회전축이다. 사절링크의 각의 변위를 만들기 위한 볼나사 길이의 변위 d_1 의 크기는 동일하다.

기존의 방식은 관절에서 조금 떨어진 지점에서 토크를 생성하기 위한 볼나사 시스템이 기저나 첫번째 관절에 동력을 전달하는 형태였으나, 개선되어진 볼나사 시스템은 첫번째 관절축에 볼나사 시스템을 장착하여 연결되어지는 기구부로서 기존의 변위값으로 변환하게 된다. 그럼으로서 보다 안정적이고 소형화된 볼나사와 사절링크의 모듈화가 가능하다. 아래의 그림 2.10는 기존에 사용하던 볼나사와 사절링크, 그리고 개선되어진 볼나사와 사절링크에 작용되어지는 힘들을 나타낸다.

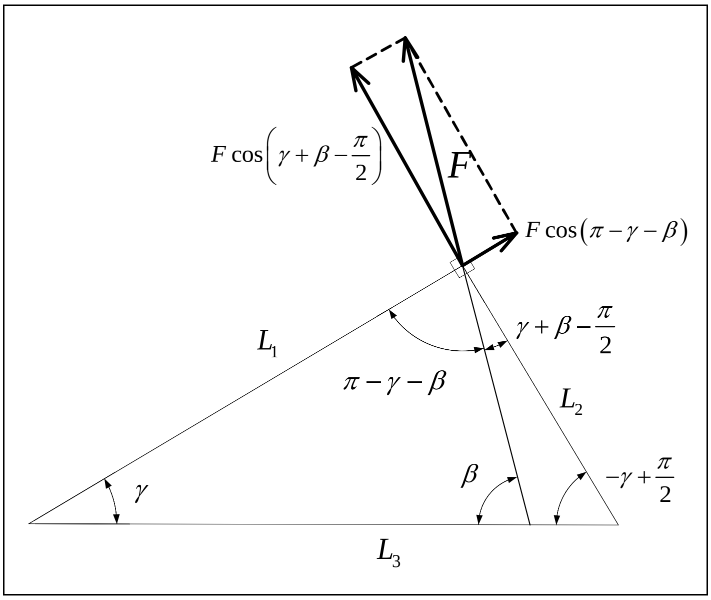


그림 2.11 기존에 사용된 사절링크와 개선된 사절링크에 작용되어진 볼나사의 동력

그림 2.10에서 기존에 사용되었던 사절링크의 토크 T_a 와 개선되어진 사절링크의 토크 T_b 와의 관계는 다음과 같다.

$$T_a = F\cos\left(\gamma+\beta-\frac{\pi}{2}\right)\times L_3\cos(\gamma) \tag{2.29}$$

$$T_b = F\cos(\pi-\gamma-\beta)\times L_3\sin(\gamma) \tag{2.30}$$

여기서, $\beta = 80^{o}[\mathrm{deg}]$, $L_3 = 0.2\,[\mathrm{m}]$, $F = 1000\,[\mathrm{N}]$ 이다.

T_a 와 T_b 의 관계를 γ 의 변화량으로 나타내면 그림. 2.11과 같고, 여기서 γ 는 $0^{o} < \gamma < 90^{o}$ 의 범위를 가진다. γ 의 크기가 50^{o} 이하에서 기존에 사용되어진 사절링크에서의 토크 T_a 가 개선된 형태의 사절링크에서의 토크 T_b 값보다 크지만 γ 의 크기

가 50^{o}이상의 경우는 T_b의 크기가 크게 되고, 이는 설계시 γ의 값을 적절하게 조절하여 볼나사 시스템의 소형화와 모듈화를 이룰 수 있다.

식 (2.29), (2.30)을 적용하여 γ가 0^{o}에서부터 90^{o}까지 변화할 때 T_a, T_b의 데이터는 그림 2.11 에서 보는 바와 같이 나타내어진다.

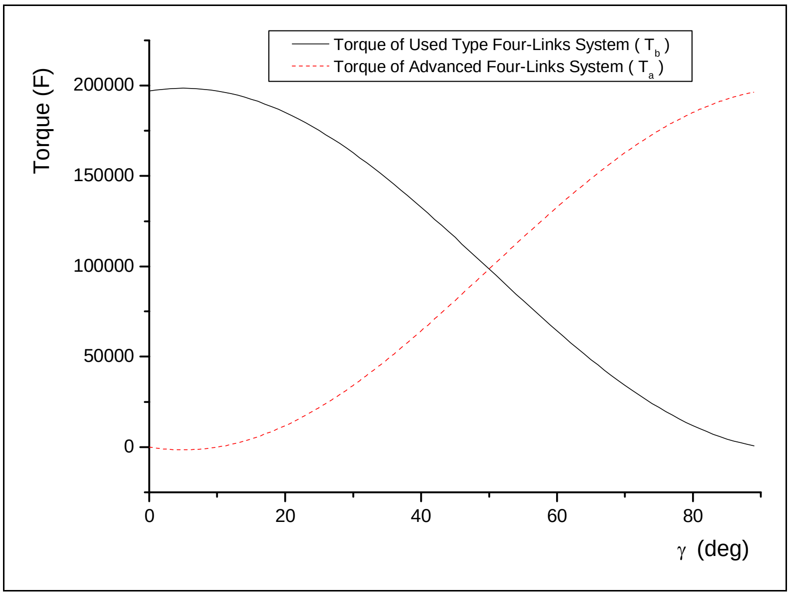


그림 2.12 기존에 사용된 사절링크와 개선된 사절링크에 작용되어진 토크

제 3 장. 이족보행로봇의 보행을 위한 센서구성 및 보행데이터 획득

3.1. 이족보행로봇의 센서 메커니즘

3.1.1. 포텐셔미터

모션캡쳐시스템에 사용되어질 포텐셔미터는 각도 센서나 직선 변위 센서 등, 위치 센서로서의 기계량이나 물리량에 대한 전기 변환기로서, 높은 정밀도로 비교적 큰 아날로그 출력을 얻을 수 있어서 서보계의 피드백 센서로서 넓은 분야에서 활용되고 있다.

포텐셔미터는 전체 저항 R상에 변위에 따라 이동하는 출력단자를 구성하며 센서의 변위가 생겨 접점이 이동되면 그에 따라 접점까지의 저항이 변하고 이는 출력단자의 전압변화로 나타난다. 표준전원과 가변저항을 사용하여 전압을 측정하여 전위차를 나타내서 전위차계라고도 한다.

3개의 단자를 가진 저항기로 한 개 또는 복수의 슬라이드 접점을 갖고 있어 가변 저항기로서 기능이 있다. CCTV 시스템에서는 프리세트용 서보 증폭기의 피드백 신호(전압) 입력용에 사용된다.

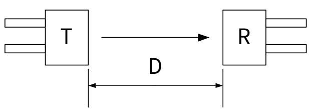
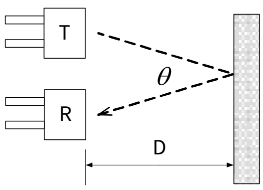
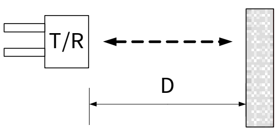
본 논문에서는 포텐셔미터를 모션캡쳐시스템의 각 관절부위에 장착하여 각 관절이 움직일 때 기계적인 위치변화에 다른 비례적인 전기적 출력신호를 각정보로 전환하는데 사용하였다.

3.1.2. 초음파센서

(1) 초음파센서를 이용한 검출방법

사람의 귀로 들을 수 있는 가청음영역(20Hz~20KHz)보다 높고 사람의 귀로 들을 수 없는 주파수대의 음파를 초음파라고 한다. 초음파센서는 음파의 메아리현상을 이용한 센서로서, 현재 가장 많이 사용되어지는 방식으로는 압전효과를 이용한 압전진동자로서, 2개의 압전소자를 맞붙여 양쪽에 걸리는 전압이 매번 바뀌게 하여 한쪽이 늘어나면 반대쪽이 줄어드는 형태로서 진동하게 된다. 이 센서는 음파를 발생하는 Emitter부분이 있어서 발생한 음파의 시간과 장애물에 부딪혀서 돌아온 음파간의 시간차를 분석하여 장애물의 유무와 거리를 측정한다.

표 3. 1 초음파센서의 배치방법 및 특징

방법	배치도	용도	특징
대향형		리모트 컨트롤 물체의 감지 거리 측정에는 부적당하다.	검지감도를 자유로이 설정할 수 있어서 설계가 쉽다. 설치장소가 2곳이 필요하다.
반사형 (독립형)		물체의 감지 거리 측정	T에서 R로 직접 들어가는 신호에 대한 대책이 필요하다. T와 R 전용센서를 사용할 수 있으며, 효율이 좋다.
반사형 (겸용형)		물체의 감지 거리 측정	송수신 전환 회로가 필요하다. 근거리는 측정할 수 없다.

이족보행로봇에서 거리측정을 위한 초음파 센서는 반사형(독립형)의 형식을 사용하였다. 이족보행로봇이 보행을 할 때 전방에 장애물의 유무를 판별하는데 사용되어진다.

(2) 초음파센서를 이용한 거리측정

초음파센서를 이용한 거리의 측정시 발생한 음파와 반사되어져 오는 파장간의 시간차로 계산할 수 있다. 이러한 거리를 측정하여 장애물과 보행로봇과의 거리측정에 이용한다.

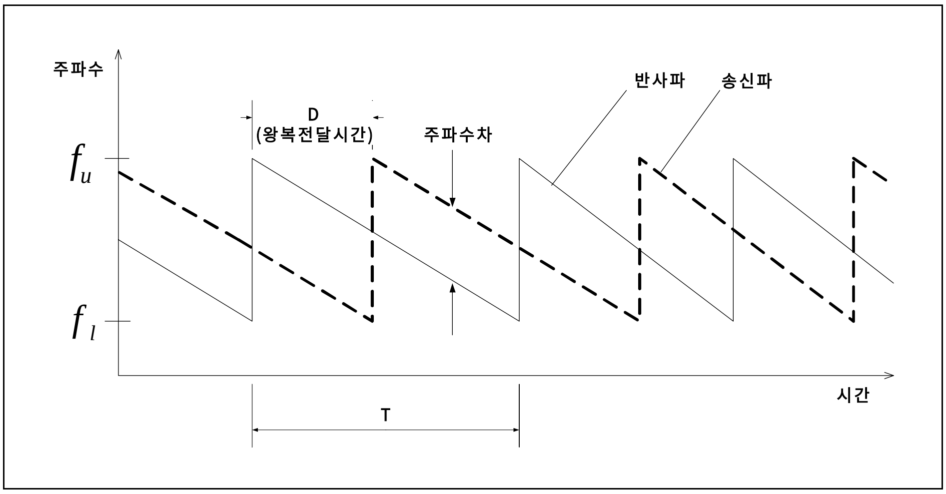


그림 3.1 초음파센서의 주파수에 따른 거리 측정

$$V = 331.5 + 0.607 \times t \quad [m/s]$$

$$L = \frac{T \times V \times \cos\theta}{2} \quad [m]$$

여기서,

대기상의 온도 : $t\,[^{o}C]$

대상물체까지의 거리 : $L\,[m]$

측정된 시간 : $T\,[\sec]$

초음파의 속도 : $V\,[m/s]$

송신기와 장애물가 이루는 각 : $\theta\,[\deg]$

(3) 초음파감지시스템

초음파 시스템은 발신부와 수신부로 나누어진다. 발신부의 경우, 입력되어지는 펄스 신호를 TR로 전력 증폭하고, 이를 펄스형 트랜스를 통하면서 권선비에 의하여 다시 교류 전력으로 승압한다. 여기에서 펄스형 트랜스를 사용하는 이유는 초음파 직전압 효과를 유도하여 전압의 변화로 초음파를 발생 시키기 위한 것이며, 또한 회로상의 문제로 발진이 정지했을 때 센서에 직류 전압이 장시간 인가되는 것을 방지(열화 방지)하기 위한 것이다.

수신부의 경우, 클램프 회로(다이오드 역병렬)를 구성하여, 입력신호가 수신 회로의 신호에 직접 전달되는 것을 방지해야 한다.

수신부 입력신호가 미약하기 때문에 고이득 앰프를 사용하여 하는 데, 진동수가 대단히 높기 때문에 광대역 OPAMP가 사용되었다.

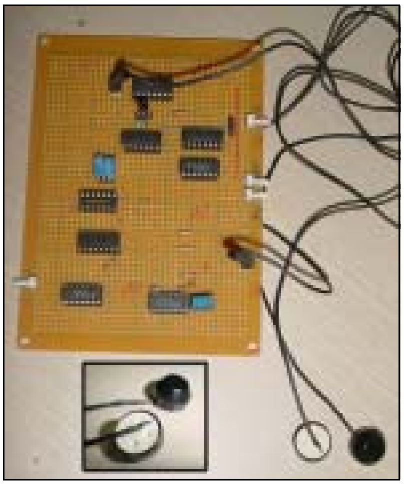


그림 3.2 초음파센서의 수신부와 발신부의 외형

3.1.3. 자이로센서

일반적인 가속도 센서의 원리는 질량을 가진 진동물체가 가속도에 의해 움직이면 위치의 변화가 일어난다. 이 변화량이 전기적 신호로 측정된다. 가속도센서는 이러한 변화량을 가지고 가속도를 측정하는 장치이다.

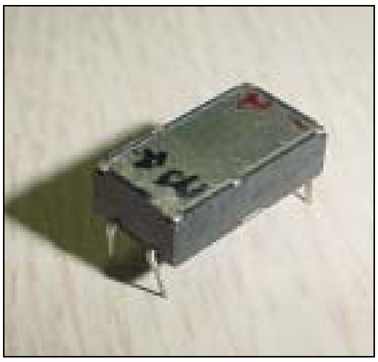


그림 3.3 멤스가속도 센서

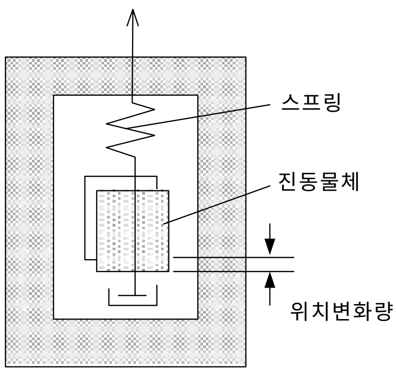


그림 3.4 가속도센서의 원리

그림 3.4 에서 보면 가장 안쪽의 사각형 구조물이 가속도 변화로 움직이면 연결된 4개의 다리가 휘게 된다. 이러한 위치변화를 전기신호로 바꾸어 주는 '멤스'(MEMS) 가속도 센서이다.

미세전자기계시스템의 영문 첫 글자들을 따서 만든 멤스는 수㎛(마이크로미터, 1㎛는 100만분의 1m)에서 수㎜ 크기의 마이크로 머신을 제작하는 기술이다.

멤스 기술은 이미 우리 생활 속에 스며들어 있다. 대표적인 것이 자동차 에어백에 쓰이는 멤스 가속도센서. 멤스 가속도센서는 크기가 작은 데다 반도체 칩처럼 대량생산할 수 있어 가격이 기존 센서의 10분의 1밖에 되지 않는 장점을 지니고 있다. 기존의 가속도센서는 대부분 기계식이다. 자동차가 충돌하면 가속도센서에 있는 추와 같은 이동체가 급격한 가속도의 변화로 코일 사이를 움직이게 된다. 이때 발생하는 자기장의 변화로 충돌 여부를 판단하는 것이다.

기계식 가속도센서는 각각의 부품을 따로 제작해야 하기 때문에 덩치가 크다. 반면 멤스 가속도 센서는 반도체 칩 제조 공정을 이용해 센서를 하나의 작은 부품으로 만들 수 있다. 반도체 칩과 다른 점은 실리콘 기판 위에 하나의 층을 더 두어 3차원 구조의 센서를 만든다는 점이다. 멤스 기술은 캠코더의 손떨림 보정센서에도 이용될 전망이다.

보통 손떨림 보정에는 압전 세라믹을 이용해 왔으나, 멤스 자이로센서는 물체의 회전에 따라 발생하는 힘을 측정해 영상이 떨리지 않게 만들 수 있다. 이 센서는 크기가 압전 세라믹 센서의 4분의 1에 불과해 캠코더의 크기를 줄이는 데 효과적으로 사용되어지고 있다.

자이로 센서의 물체의 회전에 의해 발생되는 힘을 측정할 수 있는 특징을 이용하여 로봇 보행시 안정한 자세를 위해 사용되었다.

3.2. 보행데이터 획득을 위한 모션캡쳐시스템

3.2.1. 모션캡쳐시스템의 개요

모션캡쳐시스템이란 보행의 대상이 되는 이족보행로봇의 보행패턴을 얻기 위해 실제 인간의 보행정보를 획득하는 장치를 말한다. 실제 모션패턴을 알고자하는 인간의 몸에 직접 센서를 부착하고, 센서를 통하여 패턴을 수집하고 패턴이 정해지지 않은 로봇의 보행의 기초로 하는 데이터를 획득할 수 있다. 이러한 방법은 이전에 볼 수 있었던 그 어떤 방법보다도 자연스러운 움직임을 만들어낼 수 있다.

모션캡쳐기술의 주요 이점은 일단 초기 설정이 완성되면 저렴하고 효율적으로 데이터를 수집해 낼 수 있다는 점이다. 모션캡쳐기술에 따라 보행정보의 많은 부분을 자동화하는 것이 가능하고 과거의 경우처럼 키프레임을 잡아서 보행정보를 수작업으로 만드는 작업을 피할 수 있다.

획득되어 XYZ Joint Position으로 저장된 모션 데이터는 직접처리 될 수도 있고 Inverse Kinematics Skeleton에 적용될 수도 있다. 몇몇 수집된 데이터의 대부분은 보행하는 로봇의 실시간 제어에 적합하고 그 일부는 보행로봇의 보행의 안정도의 판별에 사용되어진다. 수집된 초기(Raw) 모션 데이터는 많은 노이즈를 포함하고 있기 때문에 필터링되어야만 한다. 획득 포인트의 정확한 위치는 필요한 동작에 따라 좌우되지만, 현재의 경우 보행동작의 데이터만이 필요하기 때문에 발목, 무릎, 허리관절의 획득포인트가 필요하고 이족보행로봇에 적용을 위하여 캡쳐시스템과 보행로봇간의 설계방식이나 크기의 배율의 일치를 필요로 한다. 보행동작의 실시간 제어를 위해서는 계층구조방식을 동일하게 하고, 수집데이터의 필터링을 통한 정확한 보행데이터 수집이 매우 중요한 요소로 작용하게 된다.

3.2.2. 모션캡쳐시스템의 종류

(1) Prosthetic Motion Capture

Prosthetic Motion Capture기술은 매우 정확한 회전각도 Data를 제공하며 Potentiometer를 이용한 Motion Capture 방식이다. 이 Potentiometer는 Joint의 회전결과 그 장비를 통과하는 에너지의 양을 기반으로 하는 전동력(Electromotive Force)를 측정할 수 있는 장비이다.
그러나 Prosthetic Motion Capture의 문제점은 Potentiometer가 보통 부피가 너무 커 개인이 그 장비를 부착하고 수행할 수 있는 움직임에 제한이 있다는 점이다. Prosthetic Motion Capture기술은 오래 전부터 사용되어 왔으며 아직도 의료분야에서 널리 사용되고 있다. 그 용도는 제한된 운동범위 내에서 환자들의 움직임을 측정 혹은 모방하는데 사용되어지고 있다.

(2) Acoustic Motion Capture

Acoustic Motion Capture기술은 각각의 캡쳐센서에서 Radio Signal을 보냄으로써 그들의 위치를 계산하는 트랜스폰더를 기본으로 한다.

(3) Magnetic Motion Capture

Magnetic Motion Capture기술은 자기장(Magnetic Field)를 감지하는 수신기를 근간으로 하며, 유무선 두 가지 방식이 있다. Acoustic과 Magnetic Motion Capture기술은 데이터를 캡쳐하는 동안 노이즈가 심하게 발생되지 않는 작업공간을 필요로 한다.

전자의 경우 불규칙한 파장을 발생시키는 매끄러운 표면 등이 방해 요소이며, 후자의 경우 작업공간주변의 철골 구조물 즉 벽이나 천장 속의 철근, 철골 등이 자기장을 왜곡시키거나 발생시킴으로 노이즈를 생산한다.

Magnetic기술을 근거로 하는 몇몇 유선 모션캡처 시스템의 경우 모션 센서를 컴퓨터로 연결하는 선을 고정시켜 캡쳐하고자 하는 움직임이 벗어나지 않도록 하기 위해 작업공간 상부에 보조장치를 필요로 한다.

(4) Optical Motion Capture

Optical Motion Capture기술은 Lights, Cameras, 반사점(Reflective Dots)을 이용하여 3차원공간에서 Joint의 위치를 결정한다. 즉, 이들 시스템은 캡쳐하고자 하는 대상에 부착된 캡쳐센서로부터 정보를 읽어들이는 카메라들을 설치하고, 이들 센서들이 2차원 위치를 제공하면, 모션캡쳐 소프트웨어가 3D 데이터로 계산한다.

Optical Motion Capture System의 주요 장점은 Magnetic System과 달리 금속에 의해 영향을 받지 않으며, 동작에 제한이 없어 자유스러울 뿐 아니라 많은 대상의 모션의 정보를 수집할 때 편리하다. 단점으로는 센서들이 카메라들이 추적할 수 없게 가려지는 경우 데이터를 놓치는 현상이 있다. 이러한 문제들에 대한 해결책은 캡쳐포인트를 주시하는 카메라의 수를 늘리는 방법이 있으나 모션캡쳐과정을 더욱 복잡하게 만든다.

3.3. 모션캡쳐시스템의 구성

3.3.1. 보행패턴 획득을 위한 모션캡쳐시스템의 개요

기구부의 각 관절의 회전 각 측정을 위해 권선형 포텐셔미터를 사용하였고, 각 관절에 부착된 포텐셔미터의 아날로그 출력 값은 MUX를 통하여 아날로그 필터링한 후 8비트 마이크로 프로세서인 PIC16F874를 이용한 10bit A/D변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환하고, 변환된 데이터 값은 MAX232C를 통해 RS232C통신을 이용하여 PC로 시리얼 전송된다.

3.3.2. 데이터의 필터링

포텐셔미터를 통해 나오는 데이터는 한 보행 주기를 대략 1초 정도라 보고 고주파 성분을 제거하기 위해서 그림 4.1에서 보는 바와 같이 10Hz이하의 저역필터를 설계하였다. 일반적으로 R-C필터를 흔히 사용하나 동일한 동작을 하는 수동필터의 경우에는 필요한 인덕턴스를 구하기 위해서 코일의 부피가 크고, 조정이 어려우므로 OP-Amp를 사용한 능동필터를 사용하였다.

사용되어진 OP-Amp는 LM324로서 단 전원 동작을 하고 소비전류가 800μA로 낮은 전류 소비율을 가지는 특징이 있다.

2차 저역필터는 낮은 주파수영역에서는 커패시터가 개방된 상태와 같이 동작하여, 게인이 1(입력전압 = 출력전압)인 전압폴로워로서 동작하다가 주파수가 증가하여 차단주파수를 통과하면, 증폭도가 40dB/decade로 감소하는 성질을 갖는 필터이다.

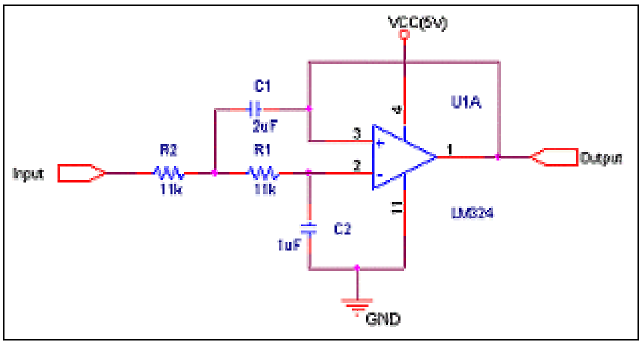


그림 3.5 2차저역필터

3.2.3. 모션캡쳐시스템의 구성

모션캡쳐시스템은 그림 4.2와 보는 바와 같이 3개의 포텐셔미터를 관절에 해당되는 부분에 장착하고 인간이 착용하여 보행함으로써 시간에 따른 인간의 보행패턴을 각 관절의 포텐셔미터를 이용하여 관절각을 획득할 수 있다.

모션캡쳐시스템은 2조로 구성되어있어 보행시에 허리, 무릎, 허리 관절의 관절각을 획득할 수 있다.

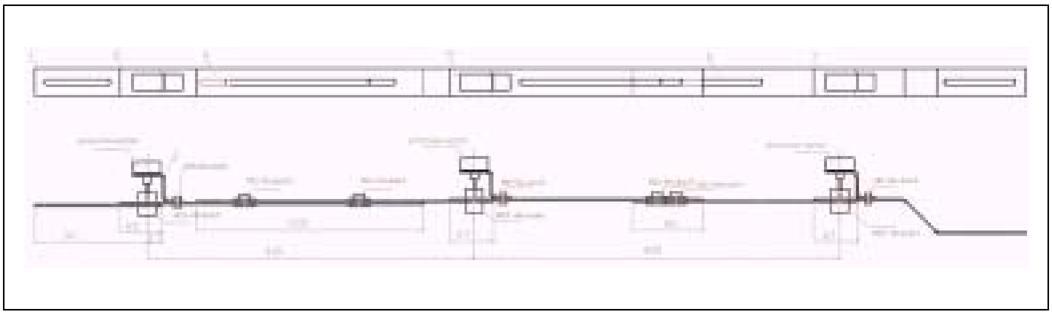


그림 3.6 모션캡쳐시스템

그림 3.7 포텐셔미터의 위치와 외형

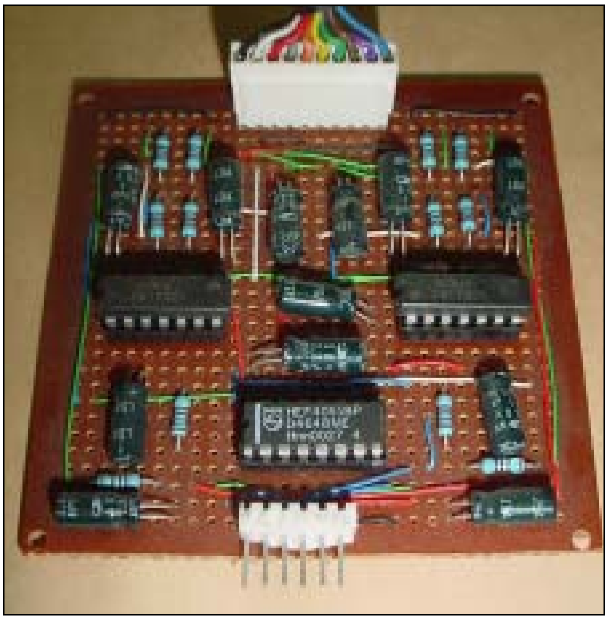


그림 3.8 관절각 측정을 위한 A/D Converter

제 4 장 보행패턴을 이용한 이족보행동작 시뮬레이션

4.1. 데이터의 획득과 보행경로 생성

모션캡쳐시스템의 데이터 획득과정은 그림 4.1과 같고, 인간의 보행동작을 PIC16F874를 이용한 10bit A/D변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환하고, 측정된 관절각을 이족보행로봇의 사절링크 길이로 변환한다. 변환된 사절링크의 변위량으로 로봇의 관절각을 계산하여 시뮬레이션을 수행하였다.

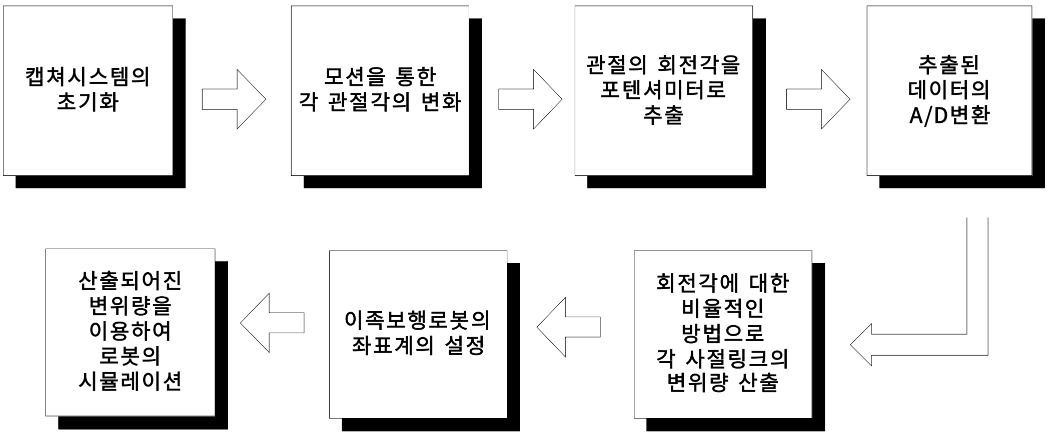


그림 4.1 모션캡쳐시스템의 각 변위 측정방법 및 시뮬레이션

4.2. 보행동작 패턴확인을 위한 데이터의 정량화

모션캡쳐시스템의 보행데이터를 필터링하여 시리얼통신으로 데이터를 전달받아서 각 관절마다의 각으로 변환하여 인간의 보행패턴을 분석할 수 있었다
보행곡선은 허리, 무릎, 발목으로 구성되어지며, 허리와 발목은 상대적인 방향으로 운동하고, 무릎의 경우 가장 큰 각 변화를 보였다.

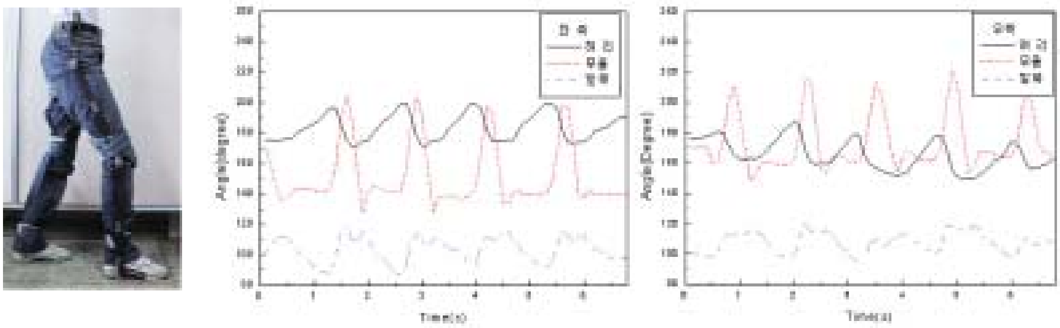


그림 4.2 모션캡쳐시스템의 착용모습과 각 관절각의 변화량

4.3. 사절링크의 볼나사 변위로의 변환

관절각 데이터를 이족보행로봇에 적용하기 위해서 관절각을 사절링크의 볼나사변위 길이로 치환할 필요가 있다. 사절링크의 변위성분 d 는 관절각성분인 β 를 이용하여 나타낼 수 있고, 이는 2장의 동역학 식 (2.1), (2.13), (2.21)과 같다.

4.4. 3차원 모델링을 통한 시뮬레이션

3차원 시뮬레이션을 위해 그림. 4.3과 같이 인간의 보행패턴을 획득하여 관절각의 범위를 결정한 그 관절각을 이족보행로봇의 사절링크에 적용한다. 정해진 관절각의 범위는 볼나사의 운동반경으로 정해지고 벗어난 범위의 변위는 Limit Sensor로서 볼나사의 움직임을 차단한다.

각각의 사절링크의 변위 d 를 이용하여 사절링크를 포함하는 로봇의 워킹동작을 Matlab으로 시뮬레이션하였고, 관절각 β 를 가지고 Open Inventor라는 프로그래밍이 가능한 3차원 Viewer상의 내부함수를 이용해서 모델링된 이족보행로봇의 부재를 생성하여 Open Inventor내부에 삽입하여 시뮬레이션하였다.

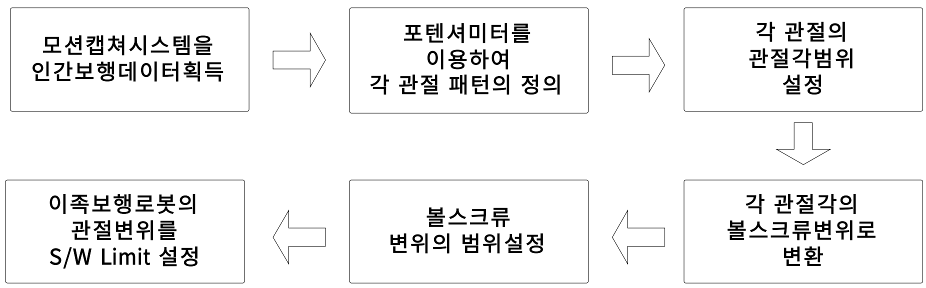


그림. 4. 3 모션캡쳐를 이용한 모터구동 S/W 리셋 설정

각각의 d 와 β 는 각 관절이 지면과 이루는 각과 관절변수 $q_1, q_2\ q_3, q_4\ q_5, q_6$ 로 변환되어 강체 로봇에 대한 순기구학 방정식인 Denavit-Hartenberg 표시법을 이용하여 각 관절의 좌표를 구해서 로봇시뮬레이션에 적용하였다.

모션캡쳐시스템에서의 데이터를 관절각인 β 와 볼나사 변위인 d 를 추출하여 각각의 시뮬레이션시 보행동작시 관절의 위치를 분석하였다.

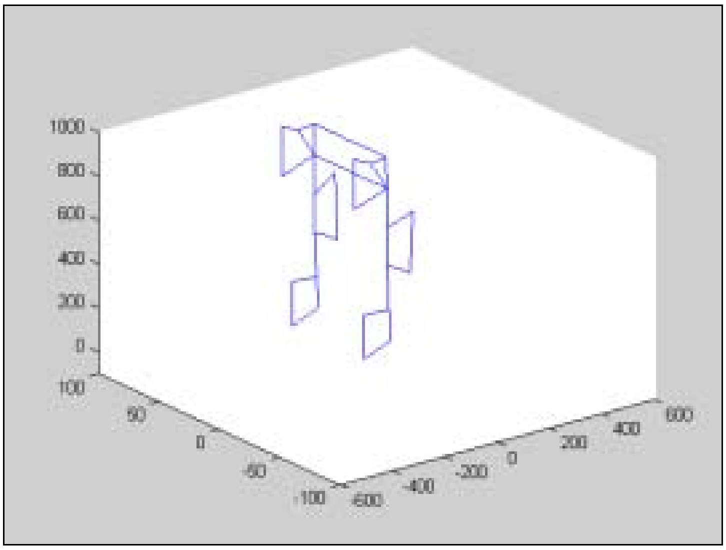


그림 4.4 초기위치의 Matlab 시뮬레이션

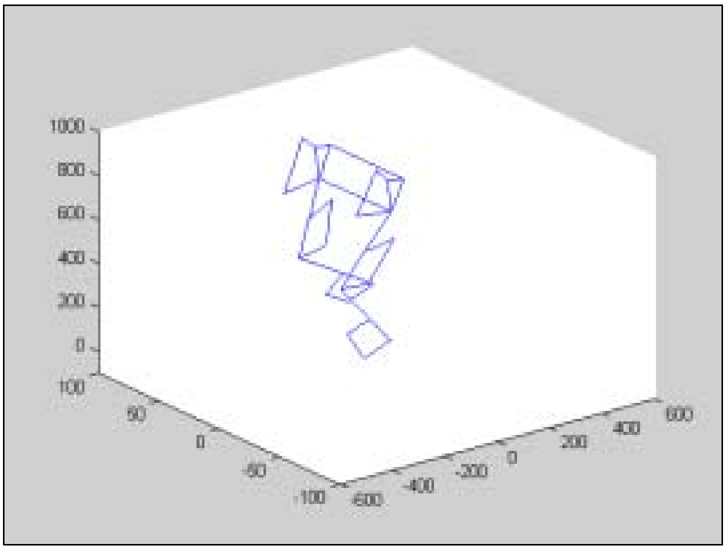


그림 4.5 변위 d 의 변화에 따른 시뮬레이션

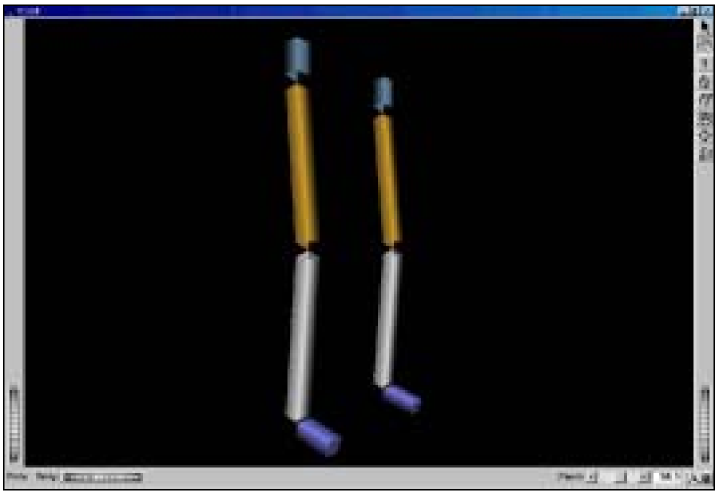


그림 4.6 초기위치의 Inventor 시뮬레이션

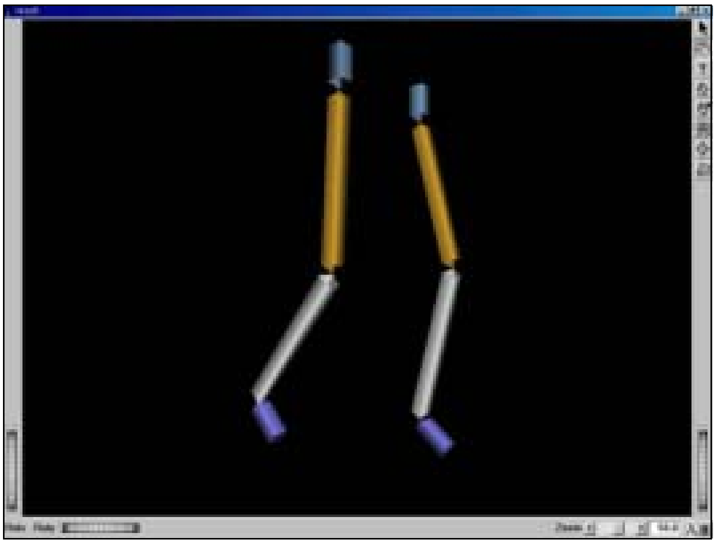


그림 4.7 관절각 β 의 변화에 따른 시뮬레이션

4.4.1. Open Inventor의 개요

Open Inventor는 Interactive한 그래픽 프로그램을 쉽고 빠르게 개발할 수 있게 하여 주며, 포괄적인 Solution을 제공하여 주는 객체지향적인 구조를 가지고 있는 3D Developer Toolkit으로 3D Scene database 상의 모델을 그래픽 프로그래밍할 수 있게 한다. 또한 Open Inventor는 객제지향 기반하에 강력한 OpenGL을 제공함으로써 Interactive한 3D Application Program을 가능하게 한다.

Open Inventor는 자체의 3D Viewer를 내장한 3차원 모델링을 프로그램밍할 수 있는 프로그래밍 언어이다. 이는 OpenGL를 기반으로 하여 C++언어의 장점을 살린 C++의 가장 큰 장점인 상속성과 객체지향성을 따른다. 3차원 모델링 툴이나 내장함수내의 모델을 Viewer상에 원하는 모양이나 위치나 변환방법을 설정할수 있고, Library내의 객체를 이용, 수정이 가능하고, 3차원 모델객체의 속성이나 질감 그리고 Object간의 그룹핑도 지원한다.

Direct 3D maninpulator를 지원하기 때문에 사용자가 임의로 Handle Box나 Track Ball등의 방법으로 3차원 모델의 모든 부분의 확인이 가능하고 Light Source나 Color Editor를 내장하기 때문에 임의의 Light Source를 적용가능하고 한가지 패턴의 모델을 여러가지 형태의 환경으로 쉽게 구현이 가능하다. 그리고 3차원 모델링함수의 표준중의 하나인 OpenGL을 베이스로 하기 때문에 운영체제나 기타 여러가지 시스템환경에 영향을 받지 않는 장점이 있다.

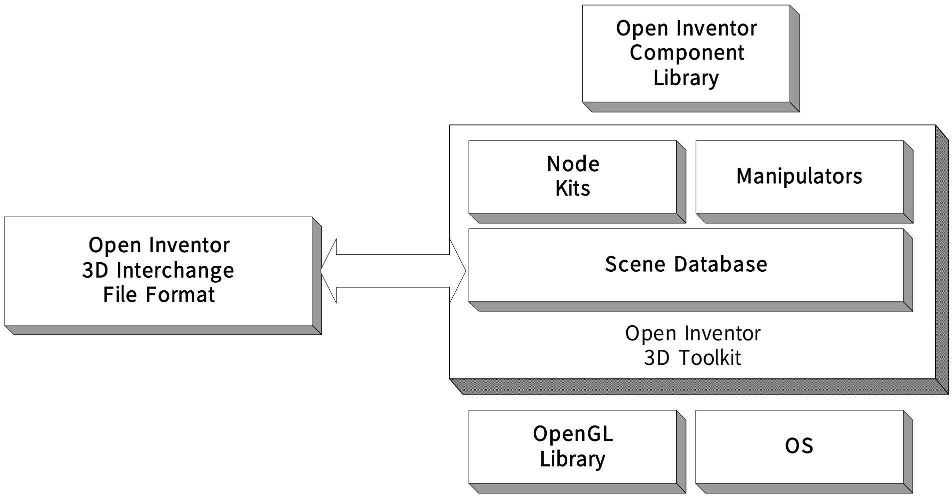


그림 4.8 Open Inventor Architecture

4.4.2. Nodes 와 Scene Graphs

Scene Graph상에 생성되는 Object 들은 Node라는 개념에 의하여 구성되어지는데, Node의 정의 방법으로 Method, Field, File Format으로 구분되어지고, 여기서 Method는 Node가 정의되는 방법이고 Field는 node에 의해서 생성되는 데이터들을 저장할수 있는 공간, 그리고 File Format은 각각의 노드의 정의와 노드내부의 속성들을 지정하는 부분이다.

Node의 종류로는 Group, Non-group으로 나뉘게 되고, Group의 종류로는 group, seperator와 같은 하위객체를 가질 수 있는 Node이고, Non-group의 종류로는 하위객체를 가지지 않는 shape, properties, cameras, lights와 같은 속성을 가지는 node이다.

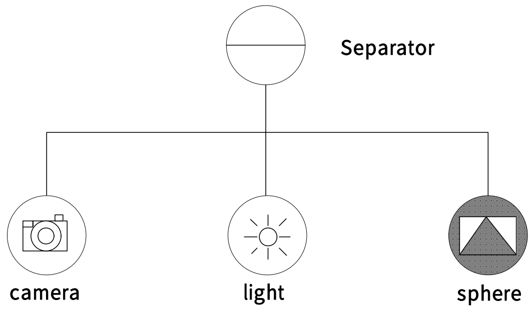


그림 4.9 Open Inventor File Format

4.4.3. Open Inventor Engine

Open Inventor상의 Engine은 3D Modeling되어진 Inventor Source를 여러가지 입력매개변수를 주어 3차원상에서 그 Modeling되어진 부재의 매개변수에 적용하여 shape, properties, cameras, lights와 같은 속성을 바꾸어주는 함수를 말한다.
시간에 따른 매개변수의 변화를 이용하여 출력을 바꾸감으로서 로봇보행의 3차원 시뮬레이션화가 가능하게 된다.

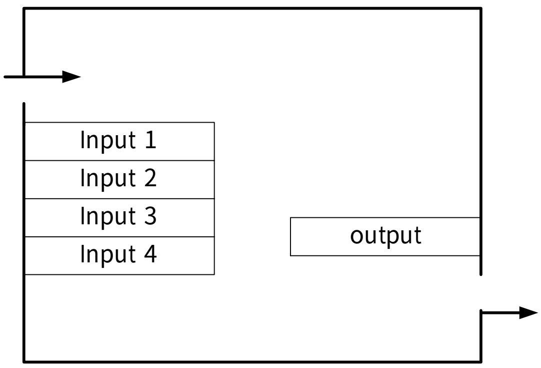


그림 4.10 Open Inventor Engine의 내부 구조

4.4.4. 3차원 시뮬레이션을 위한 로봇 각 부재의 설계

로봇을 제작하기 위해서 로봇의 가공을 위한 도면을 각 부재에 대해 AutoCAD를 이용하여 3차원으로 설계를 변경하였다. 설계변경된 부재들은 Open Inventor내에 삽입되어서 로봇의 형태를 만들고 각각의 부재의 속성이 되는 node를 Open Inventor Engine을 이용하여 매개변수의 변화를 주어 시뮬레이션 하였다.

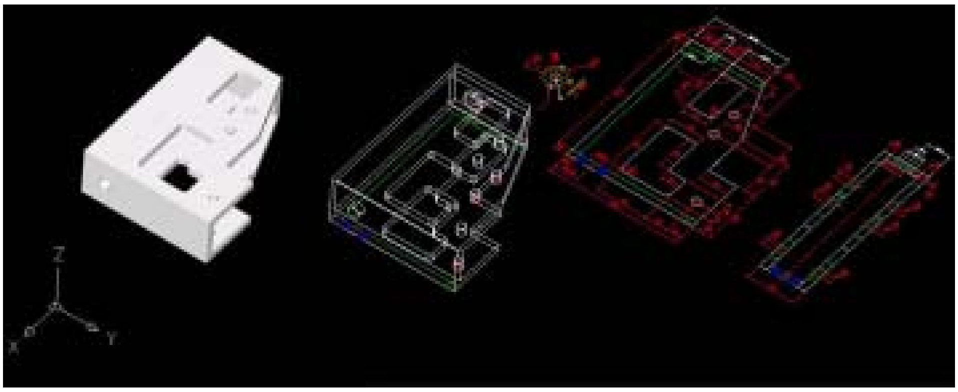


그림 4.11 발목관절 부분의 3차원 모델링

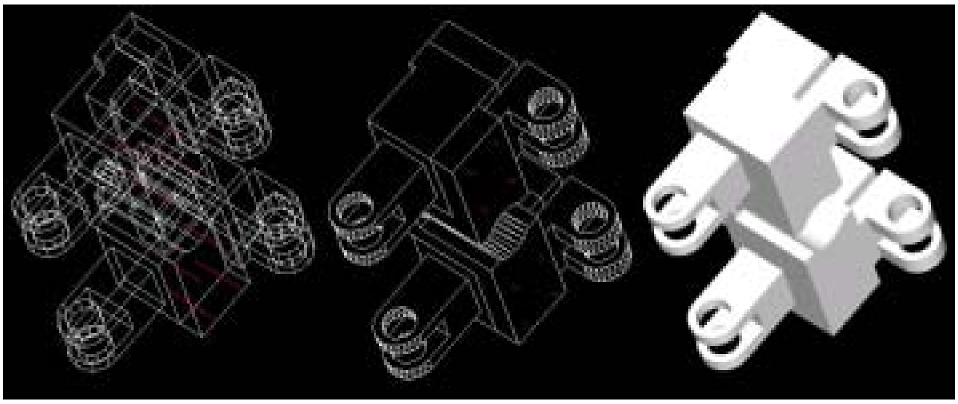


그림 4.12 허리 부분의 3차원 모델링

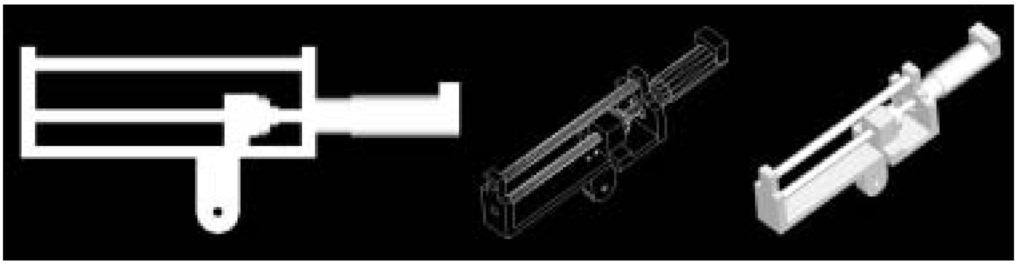


그림 4.13 볼나사 부분의 3차원 모델링

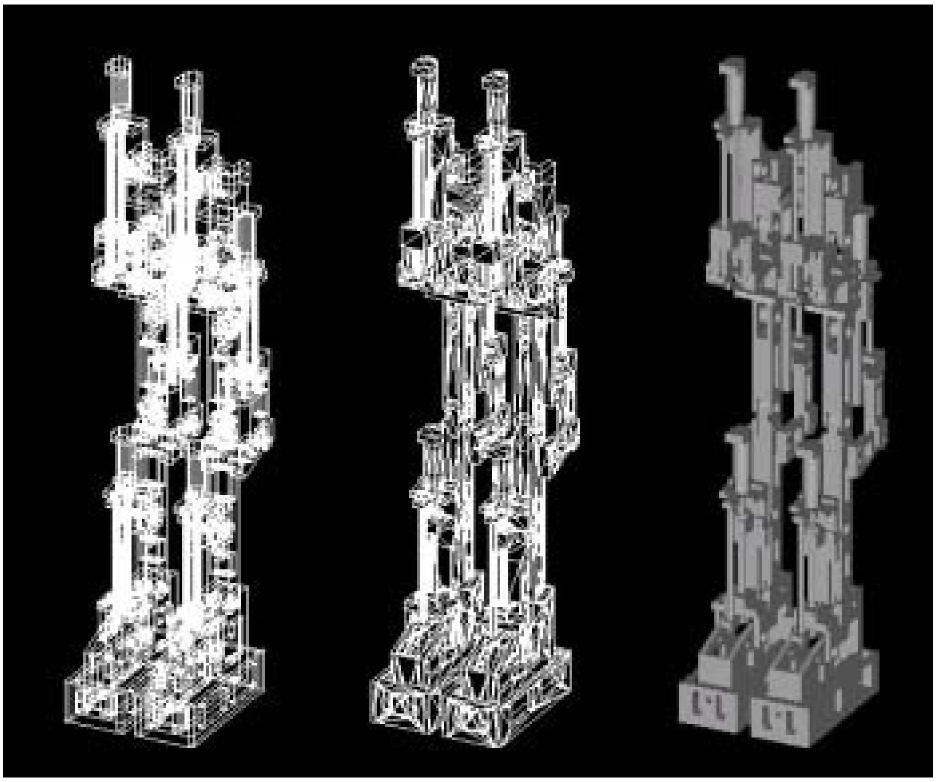


그림 4.14 이족보행로봇의 3차원 모델링

4.5. 이족보행로봇의 자율보행을 위한 제어시스템

이족보행로봇의 자율보행을 위해서는 제어시스템의 독립화가 필요하고, 모든 실험을 위한 데이터는 외부에서 독립된 시스템으로 전송하는 형태로 로봇을 원격으로 제어가 가능하여야 한다. 그러기 위해서는 이족보행로봇 내부에 독립적인 Controller가 있어야 하고, 로봇의 구동을 위해 사용된 모션 제어기는 상용의 제품인 MMC-PV8보드를 사용하였고, 로봇상부에 부착될 임베디드 컴퓨터로는 그림 4.16의 Adlink사 NuPRO770을 사용하였다.

그림 4.15의 임베디드시스템은 일반적인 PC와는 다른 형태로써 전원과 메인보드를 연결하는 Backplane과 VGA와 기타 여러 I/O Port를 내장한 메인보드시스템, 이족보행로봇의 보행시 진동의 영향으로 일반적인 모터를 사용하는 하드디스크가 아닌 그림 4.18과 같은 형태인 FlashROM Type의 하드디스크를 사용하였다.

자율적인 보행을 위해서 전원부는 그림 4.18과 같이 배터리형태로 바뀌었고, 외부입력인 키보드와 마우스는 그림 4.17과 같이 R/F통신을 이용한 모델로서 무선의 형태를 취하였다. 선행연구에서의 제어를 위한 서보모터구동부나 인터페이스 파트는 모두 PCB로 제작하였다.

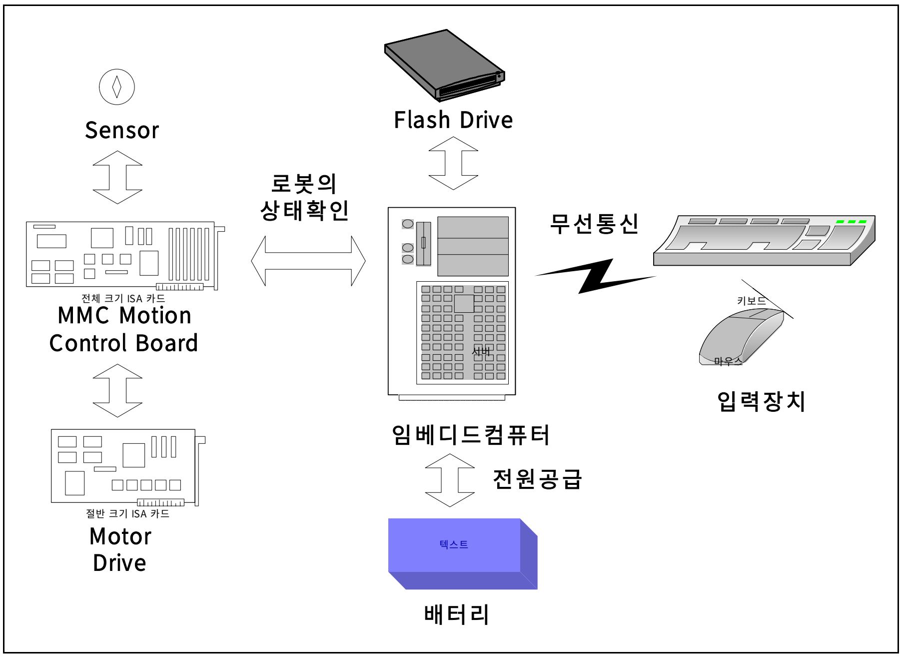


그림 4.15 임베디드 시스템의 구성

현재 보행동작의 실험을 위하여 임베디드시스템을 외부에서 인가하여 실험을 하고 있지만, 차후 보행의 안정성을 확인하면 로봇 상부에 케이스를 제작하여 완전한 자율 로봇의 형태로 전환하게 될 것이다.

그림 4.16 임베디드 시스템의 중앙처리장치(CPU)와 외부I/O Port

그림 4.17 임베디드 시스템의 조립모습과 무선통신을 이용한 외부입력장치

그림 4.18 진동시스템에서 사용가능한 Flash Drive와 자율보행을 위한 배터리시스템

이족보행로봇의 구동에는 소형 DC모터를 사용하여 구성되었고 모터를 제어하기 위해 상위에 임베디드시스템을 사용하여 이족보행로봇을 구동하기 위한 4축제어보드인 삼성 MMC Motion Controller 2조가 사용되었다. 하위에는 자체 제작되어진 Motor Drive를 사용한다.

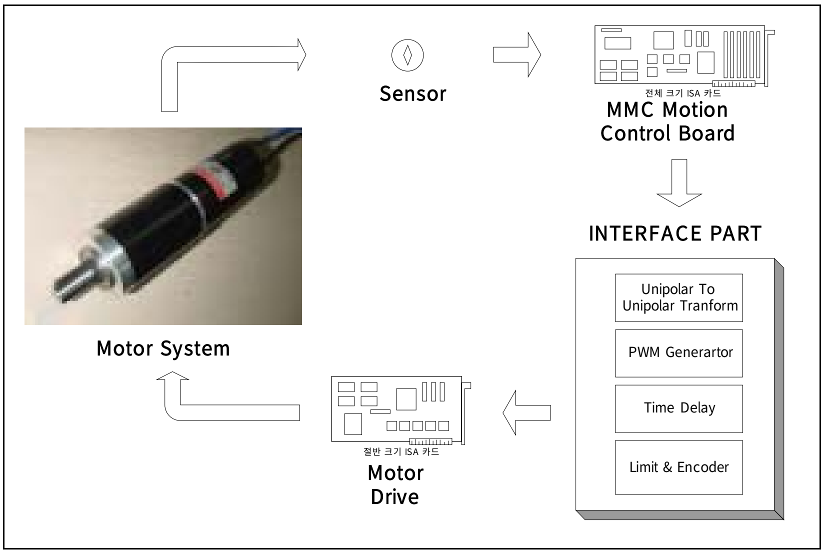


그림 4.19 Motor 제어를 위한 제어기

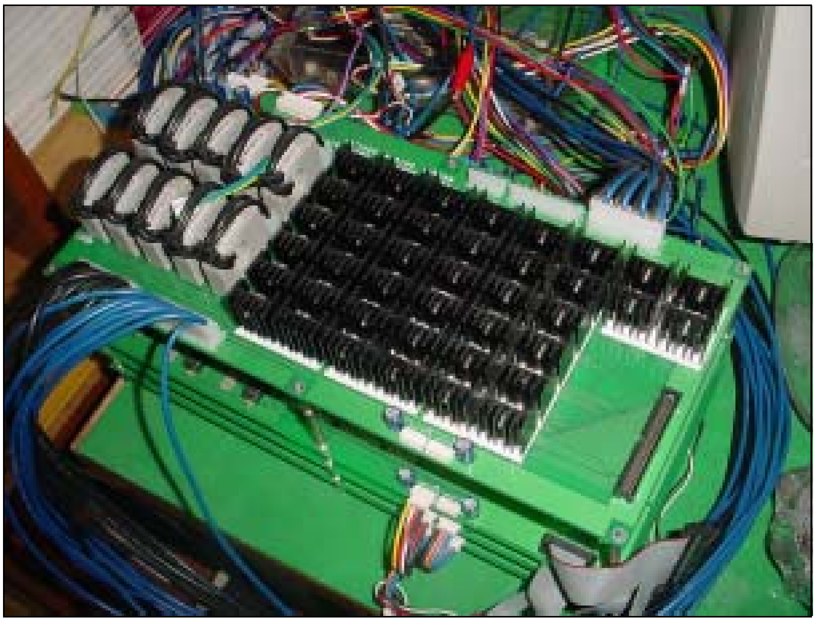


그림 4.20 Motor 제어를 위한 Motion Board와 Motor Drive

표 4. 1 각 축의 S/W Limit Encorder Data

축	Homing Position	Initial Position	S/W Limit Position
0	0	0	10000
1	80,000	0	400,000
2	20,000	0	350,000
3	200,000	0	500,000
4	0	0	10000
5	80,000	0	400,000
6	20,000	0	350,000
7	200,000	0	500,000

4.6. 데이터의 입출력

이족보행로봇이 보행시 임베디드 컴퓨터내부에 있는 Motion Control Board가 모터의 엔코더에서 모터의 회전수를 가져와서 볼나사의 길이 d 를 User Control Computer로 데이터를 보내고 변환을 통해 β 를 구한 다음 관절의 각으로 변환하여 3차원 모델링한 객체를 불러와 계산된 좌표에 나타낸다.

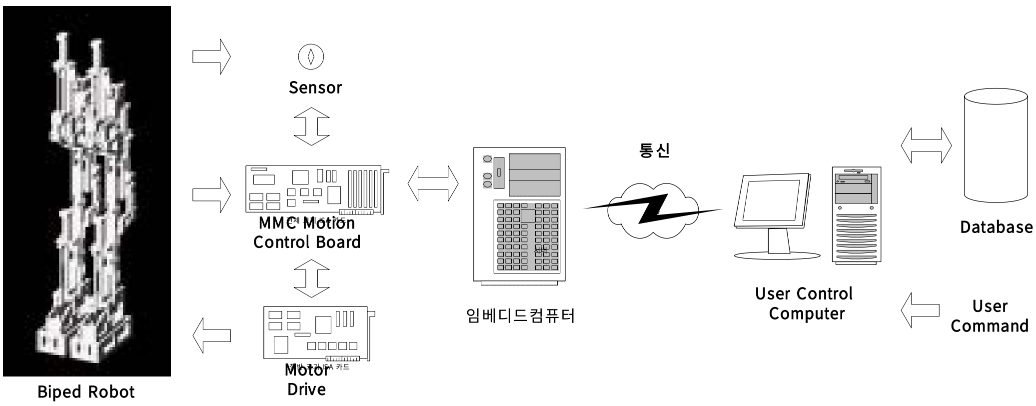


그림 4.21 이족보행로봇의 구동을 위한 시스템의 블록도

표 4. 2 임베디드 시스템 NuPRO 770의 시스템 사양

Processor Socket	Socket-370 connector
Processor	Intel Celeron and Pentium III FC-PGA CPU
Secondary Cache	Built in CPU
Bus Speed	66/100MHz
Chipset	Intel i82810
Memory Sockets	Two 168-pin DIMM Sockets (Max. 512MB SDRAM) Memory type : PC-100 un-buffered SDRAM
Integrated Graphics Controller	3D Graphics Visual Enhancement 24-bit 230MHz RAMDAC, DDC2B compliant Up to 1600×1200 in 8-bit color at 85Hz refresh
BIOS	Award BIOS, support PNP, DMI BIOS Support
CRT	On-board VGA Controller Built-in AGP2X standards
PCI Bus Ethernet Interface	Intel 82559 chipset 10/100Mbps PCI local bus Ethernet controller
Super I/O Chipset	WinbondW83627HF
Parallel Port	One high-speed parallel port, SSP/EEP/ECP mode ESD protection to 4KV
Serial Port	One 16550 UART compatible ports with RS-232 interface One 16550 UART compatible ports with RS-232/422/485 ESD protection to 2KV
USB Interface	Two USB pin-header connectors, compliant with USB Specification Rev.1.1
Power supply	AT/ATX
Dimension	338mm × 122mm

4.7. 시뮬레이터

각 관절의 관절각 β를 적용하여 3차원 모델링한 부재들을 Open Inventor내부에 삽입하여 시뮬레이션한다. 시뮬레이션을 위해서 User Control Computer는 임베디드 컴퓨터에 각 정보를 가져오기 위해서 통신포트로 명령을 전달하고 임베디드 컴퓨터는 전달된 명령에 따라 각축의 상태를 User Control Computer로 정보를 보내주게 된다. 보내어진 각 관절의 정보는 Inventor Engine의 매개변수로 사용되어지고 시뮬레이터은 바뀌어진 데이터를 가지고 로봇의 상태를 나타내게 된다.

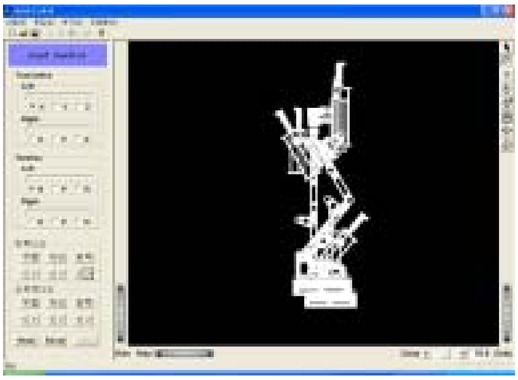


그림 4.22 시뮬레이터상의 walking position 1

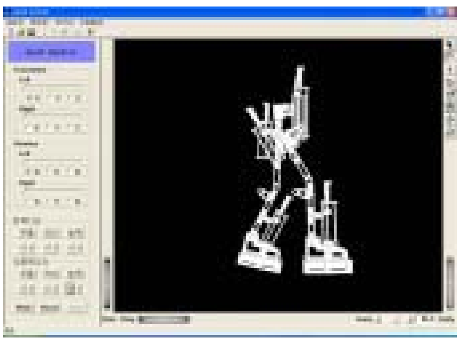


그림 4.23 시뮬레이터상의 walking position 2

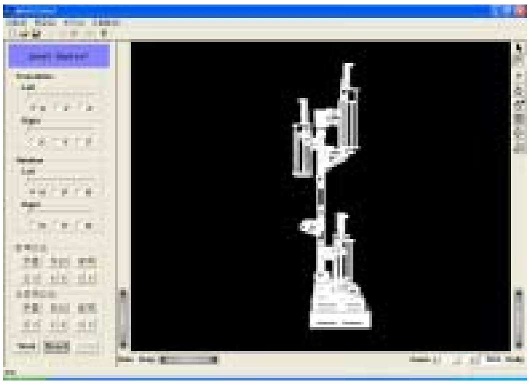


그림 4.24 시뮬레이터상의 standing position 1

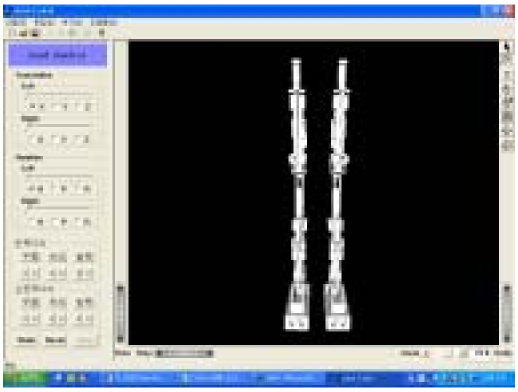


그림 4.25 시뮬레이터상의 standing position 2

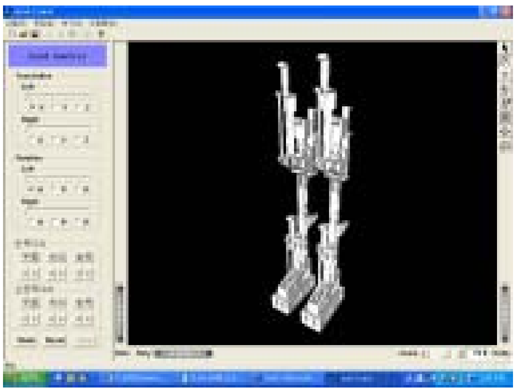


그림 4.26 시뮬레이터상의 standing position 3

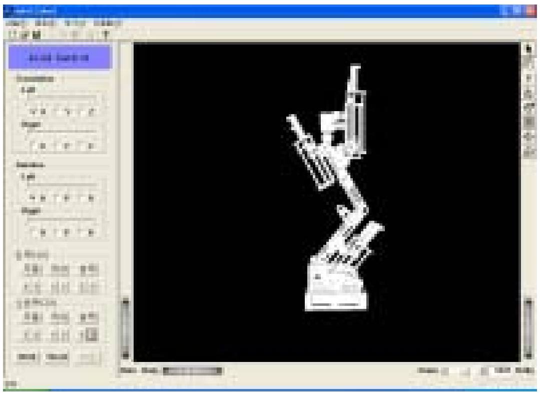


그림 4.27 시뮬레이터상의 bending position 1

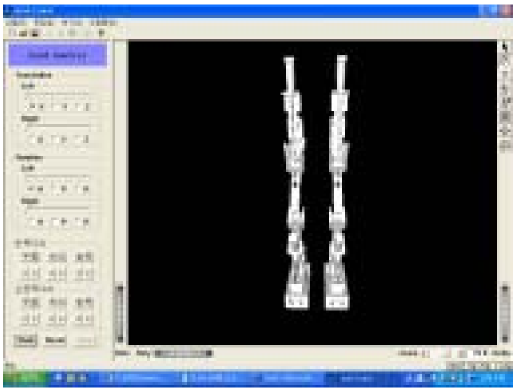


그림 4.28 시뮬레이터상의 bending position 2

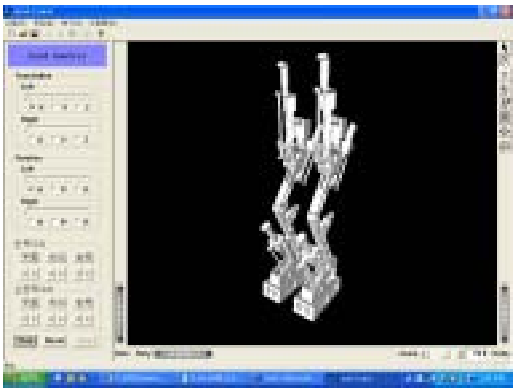


그림 4.29 시뮬레이터상의 bending position 3

제 5 장 결 론

본 논문에서는 이족 보행로봇의 관절을 제어하는데 토크와 안정성에서 우수한 사절링크 구조를 가진 볼나사시스템을 채용하였고, 이러한 볼나사시스템을 보완하는 사절링크의 모듈화를 위하여 새로운 방식의 사절링크를 제안하였다. 이족보행로봇의 보행동작의 패턴을 정의하기 위하여 모션캡쳐시스템을 제작하고 인간의 보행동작의 패턴을 분석하여 각 관절의 변화를 이족보행로봇에 안정성을 높여서 적용시키기 위하여 이족보행로봇의 보행패턴을 정의하였다. 이족보행로봇의 자율보행을 위한 임베디드시스템을 제안하였고, 기존에 자체제작한 모터구동드라이버부분들을 새롭게 제작하였다.

이족보행로봇의 3차원시뮬레이션을 위하여 로봇의 각 부재들의 3차원모델링을 하였고, 3차원 모델링되어진 로봇의 부재를 Open Inventor를 기반으로 제작되어진 시뮬레이터에 삽입하여 보다 실물에 가까운 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

이족보행로봇의 원격제어의 기반을 다지기 위하여 User Control Computer에서의 명령을 통신포트를 이용하여 원격으로 각 관절에 대한 정보를 입력받아서 시뮬레이션하는 방법을 채택하였고, User Control Computer상에서 통신포트를 이용하여 각 관절의 부분을 제어하는 명령체계도 확립하였다.

이족보행로봇의 경우 인간과 가장 흡사한 로봇의 형태로서, 앞으로 인간을 대신하여 위험한 작업이나 일정한 패턴의 일들을 수행되어질 것으로 예상되어진다. 현재 일본의 혼다에서 제작되어진 P3모델이 세계에서 가장 인간과 가깝게 보행하고, 동작이 되어진다. 이러한 인간형 이족보행로봇 모델은 공항에서의 폭발물 검색작업이나, 원자력발전소 같은 극도로 위험상황, 그 외에 군사적인 목적이나 먼 우주의 탐사 같은 곳에서 인간의 역할을 대신할 것이다. 많은 인간형 로봇의 상품화되어지고 있는 현실에서 아직 우리나라의 상품화의 수준은 미미한 실정이다. 인간형 이족보행로봇은 고도

의 개발비와 최첨단 기술의 총체이며 아직도 우리가 해결해야 할 많은 숙제가 남아있고, 앞으로 많은 발전이 이루어질 것이라 예상된다.

본 실험실에서는 향후에 보다 안정성이 향상을 위한 보행알고리즘과 기구부의 향상이 계속 이루어질 것이고, 시뮬레이터의 성능을 개선하고, 인터넷과 같은 통신수단을 적용하여 많은 일들을 해낼 수 있는 인간형 이족보행로봇을 개발할 것이다.

참고문헌

[1] David A.Winter, Biomechanics of Human Movements, John Wiley & Sons, 1979

[2] C. Leslie Golliday, Hooshang Hemami, “An Approach to Analyzing Biped Locomotion Dynamics and Designing Robot Locomotion Controls” IEEE, Transactions on Automatic Control, vol.AC-22, No.6, pp.963-972, 1977

[3] 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

[4] Kenneth J.Waldron, “Realization of Dynamic Biped Walking Stabilized with Trunk Motion under Known External Force”, Advanced Robotics, pp.299-310, 1989

[5] Kawamura S.et al. “Realization of Biped Locomotion by Motion Pattern Learing” (In Japanese) Joural of Robot Society of Japan vol.3, No.3, .177-180, 1985

[6] J. Furusho, A.Sano, “Sensor-Based Control of a Nine-Link Biped” Int.J.Robot.Res., vol.9,No.2, pp.83-98, 1990

[7] Qinghua Li, Astuo Takanishi, and ichiro Kato, “Learning Control for a Biped Walking Robot with a Trunk”, IEEE/RSJ Internal Conference on Intelligent Robots and System, pp.1771-1777, 1993

[8] Josie Wernecke, “The Inventor Mentor : Programming Object-Oriented 3D Graphics With Open Inventor”, Addison-Wesley, 1994

[9] Eric R. Dunn, Robert D.Howe, “Toward Smooth Biped Dynamic Walking”, IEEE , pp.2489-2494, 1994

[10] Y.Fujimoto, A.Kawamura, “Three Dimensional Digital Simulation and Autonomous Walking Control for Eight-Axis Biped Robot”, IEEE International Conference on Robotics & Automaion, pp.2877-2884, 1995

[11] Richard S. Wright JR & Michael Sweet, OpenGL Superbible, The Waite Group, 1996

[12] Silicon Graphics, “Open Inventor Programming”, Silicon Graphics, 1996

[13] K.Ohnishi, M.Shibata & T.Murakami, “Motion Control for Advanced Mechatronics”, IEEE.ASME Trans. On Mechatronics, Vol.1, No.1, pp56-67, 1996

[14] S. Kajita and K.Tani, “Experimental Study of Biped Dynamic Walking”, IEEE Control System Magazine, Vol.16, No.1, pp.13-19, 1996

[15] Keon Young Yi, “Walking of a Biped Robot with Compliant Ankle Joints”, KACC, pp.245-250, 1998

[16] Jin'ichi Yamaguchi, Daisuke Nishino, Atsuo Takanishi, “Realization of Dynamic Biped Walking Varying Joint Stiffness Using Antagonistic Driven Joints”, International Conference on Robotics & Automatioin Proc. Of IEEE, pp.2022-2029, 1998

[17] 조진철, “걸음새 분석을 통한 의족의 무릎 관절 제어에 관한 연구”, 한국과학기술원, 석사학위 논문, 1998

[18] Kazuo Hirai, Masato Hirose, Yuji Haidawa, Toru Takenaka, “The Development of HOnda Humnoid Robot”, International Conference on Robotics & Automation Proc. Of IEEE, pp.1321-1326, 1998

[19] 김창부, 조현석, “이족보행로봇의 궤적의 최적화 계획에 관한 연구”, 한국정밀공학회지 제 15권 제 3호, pp.157-167, 1998

[20] Jin’ichi Yamaguchi, Daisuke Nishino, Atsuo 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

[21] Mason Woo, Jackie Neider, Tom Davis, Dave Shreiner, OpenGL Programming Guide, Third Edition”, Addison-Wesley, 1999

[22] 김성훈, 오준호, “3 Link 2족 로봇과 걸음새 설계”, 제어자동화시스템 공학회 학술대회 논문집, pp. 213-218, 1999

[23] 임선호, “이족보행로봇 IWR-III의 균형점 제어구현에 관한 연구”, 인하대학교 대학원 논문집, 1999

[24] 최형식, 박용헌, 이호식, “볼나사 구동기를 갖는 로봇다리의 모델링”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 583-585, 2000

[25] 김정훈, 오준호 “MR감쇠기를 이용한 무릎 관절 의족에 관한 연구”, 한국과학기술원, KSME 동력학및 제어부문 하계학술대회, pp.630-635, 2000

[26] 최형식, 이호식, 박용헌, 김영식, “인체형 이족보행로봇의 개발”, KACC, pp.267-271, 2000

[27] 오명환, 송호진, 윤용산, 오준호, “대퇴의족 성능평가를 위한 시뮬레이터의 개발”, 한국과학기술원, 한국자동제어학술회의, pp. 432, 2000

[28] 김성훈, 오준호, 이기훈 “4관절 3링크 2족로봇과 걸음새에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 523-528, 2000

[29] 최형식, 박용헌, 이호식, “볼구동기를 갖는 로봇다리의 모델링”, KSPE 춘계학술대회, pp.583-587, 2000

[30] 최형식, 박용헌, 정경식, 이호식 “볼나사를 이용한 매니퓰레이터의 모델링 및 슬라이딩 모드 제어”, KSPE 춘계학술대회, pp.292-295, 2001

[31] 최형식, 전대원, 김영식, 우정재, 김명훈, “Open Inventor를 이용한 이족보행로봇의 시뮬레이터의 개발”, KSPE 춘계학술대회, pp.296-299, 2001