

지능형 이족보행로봇을 위한 센서시스템 연구

Sensor System Study for Intelligence Biped Walking Robot

이 창 만*, 김 유 신, 황 규 득, 최 형 식
(Chang Man Lee, You Shin Kim, Gyu Deuk Hwang, and Hyoung Sik Choi)

Abstract : In this paper, An analysis on the intelligence system for a biped walking robot(BWR) was made and its results were applied to the BWR. Various sensors were applied to the developed BWR for autonomous and intelligent walk in unknown environments. To measure the distance between the object and BWR, ultrasonic sensor and infrared-rays sensor were used. To identify surrounding environments, vision system was used. Gyro sensor was used to control the posture of BWR. Also, piezoelectricity sensor was used to identify the pressure of foot landing on the surface. Sensors applied to the robot have measurement errors according to noises or walking environments. To improve the function of these sensors, influences of noise or sensing errors were minimized using a sensor fusion scheme. A gait test using the sensor fusion system was performed, and its results are presented.

Keywords : sensor, biped walking robot, intelligence

I. 서론

최근 이족보행로봇이나 서비스 로봇이 인간 생활 환경에서 작업할 수 있도록 로봇의 지능화에 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 이러한 로봇이 불확실한 변수가 많은 인간생활 환경에서 인간을 대행하는 여러 작업들을 자율적으로 수행 할 수 있기 위해서는 지능화가 필수적이다. 이족보행로봇 지능화는 다양한 센서들을 활용하여 안정한 직립동작을 바탕으로 다양한 보행 명령을 자율적으로 수행할 수 있도록 지능적인 보행 알고리즘을 구성하는 것이지만, 다양한 환경에서 로봇의 직립을 위한 지능 알고리즘을 구성하는 것도 용이한 것이 아니다. 현재 최상의 개발 수준인 일본 혼다 사의 아시모 로봇도 제한된 설정환경에서 계단 및 경사면 보행과 센서들을 활용하여 장애물을 회피하고 목적지에 도달하거나 인간과의 단순한 협조작업을 수행하는 수준이다[1].

이족보행로봇의 지능화를 위해서는 우선적으로 주변 상황을 인지할 수 있는 센서시스템의 개발이 필수적이다. 개별적인 센서에 대한 연구들은 많이 진행되었는데, 로봇에 적용된 대표적인 센서들 중에서 물체의 거리 측정 및 장애물을 회피하기 위해 초음파 센서와 적외선 센서가 사용되었으며, 이를 이용한 이동 로봇에 대한 연구들이 수행되었다[2-3]. 또한 주변환경이나 대상물체를 탐색하기 위한 비전 시스템에 대한 많은 연구가 있었고, 이를 중에서 이동 로봇에 적용한 연구들 중에서 하나로 문헌 [4]과 같은 것이 있다.

대부분의 이동 로봇에는 거리와 물체식별을 위한 센서들이 복합적으로 사용되고 있으므로, 각각의 센서로부터 얻은

정보를 융합함으로서 잡음이나 오차에 대한 영향을 최소화 하여 주변환경을 보다 정확히 인식하기 위한 다중 복합 센서 시스템에 대한 연구들이 수행되었다[5-7].

본 논문에서는 이족보행로봇의 지능적 보행을 위한 센서 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 이족보행로봇은 이동로봇에 사용되는 거리나 물체 인식 센서 외에 로봇의 안정한 보행을 위한 자이로 센서, 압력 센서 등의 센서들이 추가되어 사용되는 복합적 센서 시스템을 구성하고 있다. 따라서 본 논문에서는 보행로봇의 지능적 보행을 위한 센서들에 대한 시험적인 연구와 이를 복합적으로 구성한 센서 퓨전 시스템을 구성하여 rule base를 바탕으로 하는 지능적 보행 알고리즘을 구성하여 이족보행로봇의 보행에 적용하였고 실험 결과를 나타내었다.

II. 이족보행로봇의 구조 및 기구부 해석

1. 이족보행로봇의 구조

적용된 관절구동기는 볼나사를 채용하여 볼나사의 직선운동을 사질링크시스템을 이용하여 관절 토크형태로 변환하는 고강성 및 고토크 관절 구동기이다. 이러한 이족보행로봇의 전체 외형은 Fig. 5와 같고 다리 기구부 해석을 위한 다리 및 이의 관절구동기의 구조는 Fig. 1 및 2와 같다.

2. 이족보행로봇의 기구학적 해석

로봇의 기구부 해석을 위해 좌표는 Fig. 2 와 같이 Denavit-Hartenberg (D-H) 규약에 의해 설정하였다[8]. D-H 규약과 연관된 동차 변환행렬은 다음의 A_i 행렬로 표현된다.

$$A_i = \text{Rot}_{z,\theta_i} \text{Trans}_{z,d_i} \text{Trans}_{x,\alpha_i}^{\cdot} \text{Rot}_{x,\alpha_i} \quad (1)$$

여기서 a_i 는 각 관절의 링크 길이(length), α_i 는 비틀림(twist), d_i 는 오프셋(offset), θ_i 는 각도(angle)이다. 이들의 매개 변수는 Table. 1 과 같다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 6. 6., 채택확정 : 2004. 8. 31.

이창만, 황규득, 최형식 : 한국해양대학교 기계정보공학부
(chang0224@dreamwiz.com/incomplete22@paran.com/hchoi@mail.hhu.ac.kr)

김유신 : (주) 유진로보틱스(kimyshin@hanmail.net)

※ 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 대해서 연구되었 습니다(KRF - 2003-002-D00024).

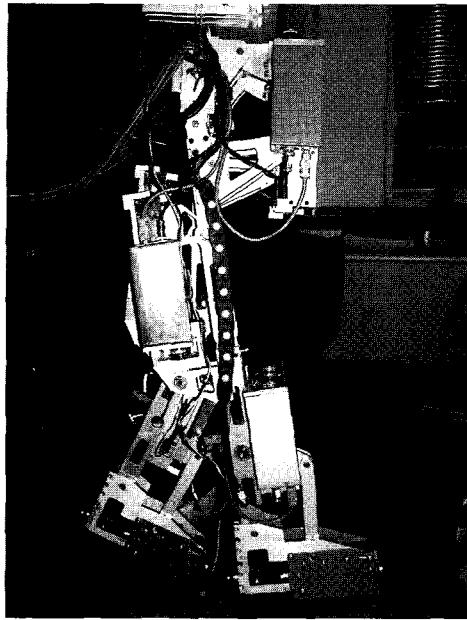


그림 1. 관절 구동기의 구조.

Fig. 1. Structure of the joint actuator.

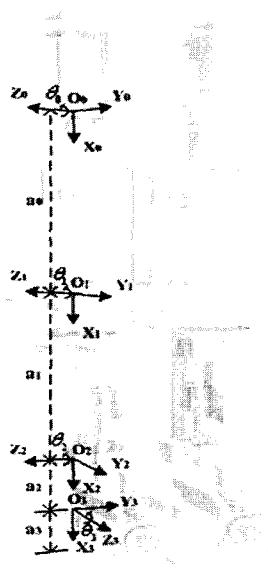


그림 2. D-H 좌표계를 설정한 다리부.

Fig. 2. Coordinate system D-H of the biped walking robot.

표 1. 이족보행 로봇의 링크 변수.

Table 1. Link parameter of the Biped Walking Robot.

링크	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3	a_3	-90°	0	θ_3
4	a_4	0	0	θ_4

발의 위치와 방향에서 관절 변수 값들을 역으로 구하여 보행 시 각 관절의 연속적인 궤적을 생성하기 위해 Cartesian 공간과 관절 공간 사이의 관계를 규정하는 역속도 방정식이 요구되며, 이와 연관된 자코비안 행렬은 $J_0^4 = [J_1 \cdots J_4]^T$ 이고 이의 성분은 다음과 같다.

$$J_1 = \begin{bmatrix} -(a_1 \sin \theta_1 + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \\ +a_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ a_1 \cos \theta_1 + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ +a_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} -(a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \\ +a_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ +a_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$J_3 = \begin{bmatrix} -a_4 \sin \theta_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ -a_4 \sin \theta_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)(a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \\ +a_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ -\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)(a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \\ +a_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$J_4 = \begin{bmatrix} -a_4 \sin \theta_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ -a_4 \sin \theta_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)a_4 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ -\cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)a_4 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \cos \theta_4 \\ -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

관절각속도와 발의 기저 좌표계에서의 속도 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_z \\ \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_v \\ \vdots \\ J_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 v_x, v_z 는 각각 보행공간에서의 발의 속도이며

$\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_z$ 는 각속도이다.

연구대상의 이족보행로봇의 하체는 8개의 자유도를 가지는 형태로 2자유도의 허리관절과 무릎, 발목관절로 구성된다. 이러한 관절 구동을 위해서 관절구동기를 사용하여 볼나사를 이용한 사절 링크 시스템을 채용하였다.

세변의 길이($a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}, i = 1, 2, 3$)가 고정이고, 나머지 한변은 볼나사변위($d_i, i = 1, 2, 3$)이고, 볼나사 지지부와 다리부가 이루는 각을 고정각으로 하여 볼나사 변위와 관절각의 관계를 나타낼 수 있다.

그림 2의 사절 링크에서 $l_i (i = 1, 2, 3)$ 를 이용하여 Cosine 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} l_i &= a_{i2}^2 + d_i^2 - 2a_{i2}d_i \cos \alpha_i \\ &= a_{i3}^2 + a_{i4}^2 - 2a_{i3}a_{i4} \cos \beta_i \\ d_i &= \frac{C_i + [C_i^2 + 4(A_i + B_i \cos \beta_i)]^{\frac{1}{2}}}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

$i = 1$ 이면 허리 관절, $i = 2$ 이면 무릎 관절, $i = 3$ 이면 발목 관절이며 (7)에서

$$\begin{aligned} A_i &= a_{i3}^2 + a_{i4}^2 - a_{i2}^2, \\ B_i &= -2a_{i3}a_{i4}, C_i = 2a_{i2} \cos \alpha_i \end{aligned}$$

이다. 그리고 링크 길이 a_{i2}, a_{i3}, a_{i4} 와 링크 각 α_i 는 고정된 값이다. 회전각 β_i 와 d_i 의 속도 및 가속도 관계식을 구하면 다음과 같다.

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{d_i^2 - A_i^2 - C_i^2}{B_i} \right] \quad (8)$$

또한, 토크와 관련된 각 ϕ_i 에 관한 식은 그림 2의 사절링크를 2개로 나누는 축 (X_i, Y_i) 에 대해 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} d_i \cos(\phi_i + N_i) + a_{i2} \cos \theta_i \\ = a_{i4} \cos N_i - a_{i3} \cos(\beta_i - N_i) = C_i \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} d_i \sin(\phi_i + N_i) - a_{i2} \sin \theta_i \\ = a_{i4} \sin N_i + a_{i3} \sin(\beta_i - N_i) = D_i \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 ($i = 1$) 이면 힙 관절, ($i = 2$) 이면 무릎관절, 그리고 ($i = 3$) 은 발목관절을 나타낸다. 또한, N_i 는 a_{i3} 와 a_{i4} 사이의 고정 관절을 나타낸다. (9)에서 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C_i &= d_i \cos \phi_i \cos N_i - d_i \sin \phi_i \sin N_i \\ &+ a_{i2} \cos(\pi - N_i)(\cos \alpha_i \cos \phi_i - \sin \alpha_i \sin \phi_i) \\ &+ a_{i2} \sin(\pi - N_i)(\sin \alpha_i \cos \phi_i + \cos \alpha_i \sin \phi_i) \\ &= A_i \cos \phi_i - B_i \sin \phi_i \end{aligned} \quad (11)$$

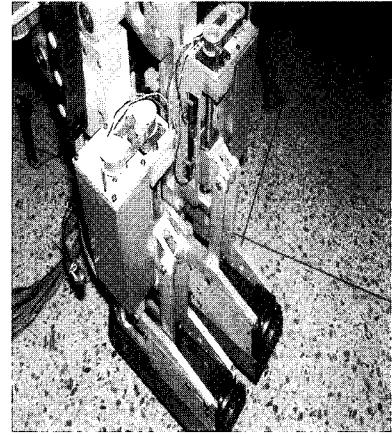


그림 3. 이족보행로봇의 관절구동기.

Fig. 3. Joint actuator of the Biped Walking Robot.

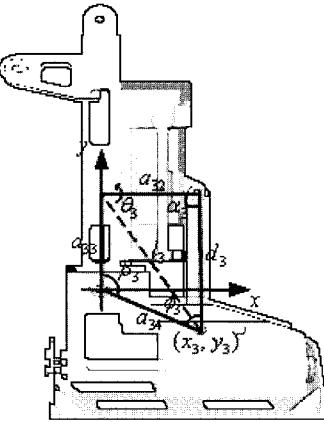


그림 4. 이족보행로봇의 관절구동기.

Fig. 4. Joint actuator of the Biped Walking Robot.

여기서 $A_i = S_i + U_i \cos \alpha_i, +V_i \sin \alpha_i,$

$$B_i = T_i + U_i \sin \alpha_i - V_i \cos \alpha_i$$

또한, $S_i = d_i \cos N_i, T_i = d_i \sin N_i, ,$

$$U_i = a_{i2} \cos(\pi - N_i), V_i = a_{i2} \sin(\pi - N_i)$$

(10)에서 관계식은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} D_i &= d_i \sin \phi_i \cos N_i + d_i \cos \phi_i \sin N_i \\ &- a_{i2} \sin(\pi - N_i) \{ \cos \alpha_i \cos \phi_i - \sin \alpha_i \sin \phi_i \} \\ &+ a_{i2} \cos(\pi - N_i) \{ \sin \alpha_i \cos \phi_i + \cos \alpha_i \sin \phi_i \} \\ &= A_i \sin \phi_i + B_i \cos \phi_i \end{aligned} \quad (12)$$

(11) 과 (12)를 정리하면 다음의 식을 구할 수 있다.

$$\phi_i = a \tan \left(\frac{A_i D_i - B_i C_i}{A_i C_i + B_i D_i} \right) \quad (13)$$

III. 이족보행로봇의 시스템 구성

1. 이족보행로봇의 기구부 구성

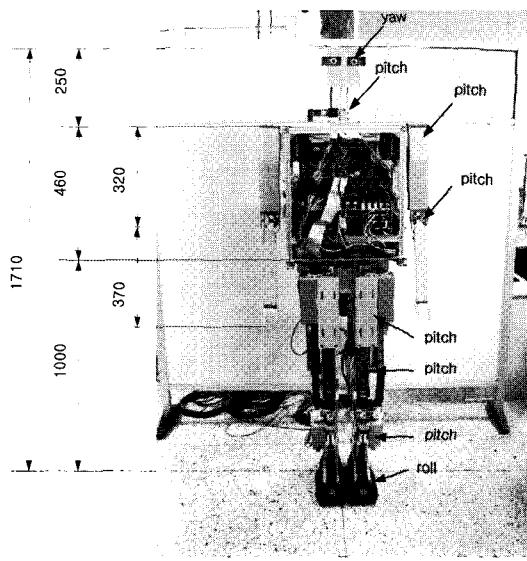


그림 5. 이족보행로봇의 외형.

Fig. 5. Appearance of the BWR.

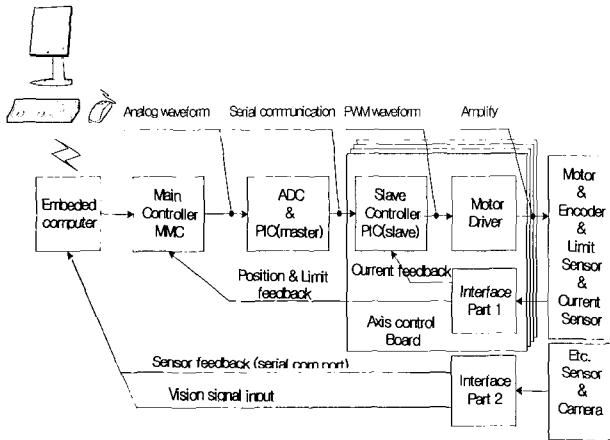


그림 6. 이족보행로봇의 전체 제어 시스템.

Fig. 6. Block diagram of the sensor signal process.

개발된 로봇은 Fig. 5와 같이 키 1710mm, 몸무게가 90kg이며, 다리당 4자유도, 팔당 2자유도, 머리부분 3자유도를 가져 총 15자유도를 갖는 인체형 이족보행로봇이다.

3자유도 로봇의 머리 부분에는 눈에 해당하는 화상 캠이 2 대가 장착되어 있어 각각 Yaw운동이 가능하고 목에 해당하는 부분에 Pitch운동이 가능한 구조로 구성되어 있다. 팔의 2 자유도는 팔목에 해당하는 Pitch가 어깨의 Pitch에 구속된 구조로 구성되어 있다. 다리의 4자유도는 Pitch-Pitch-Pitch-Roll의 구조로 되어 현재는 직진 보행만 가능한 구조로 설계되어 있다. Fig. 5는 이족보행 로봇의 관절의 구성과 전체 외형을 나타낸다.

2. 이족보행로봇의 제어부 구성

이족보행로봇에 탑재된 전체 제어시스템의 구성은 주 제어기인 임베디드 컴퓨터, 모션 컨트롤 보드, 모터와 각종 센서 등을 연결하는 인터페이스부, 그리고 모터 드라이버 등으

로 구성되며, Fig. 6은 전체 제어 시스템의 구조를 나타내고 있다. 임베디드 컴퓨터는 센서 및 비전의 정보를 입력 받아 모든 관절 각의 이동 케이스를 연산을 하게 되며 축 제어기인 모션제어기를 통해 케이스를 추종하게 된다. 임베디드 컴퓨터로는 Adlink사의 NuPRO770을 사용하였고, 모션제어기는 삼성 전자의 MMC (Multi-Motion Controller)를 사용하였다. 로봇에 사용된 전원은 로봇의 자율 보행을 위해 다수의 배터리로 구성되어 있다.

IV. 이족보행로봇의 보행을 위한 센서융합시스템

이족보행로봇의 안정화된 보행을 위해서는 자세제어를 위한 자이로 센서 및 발바닥 좌지를 인식하기 위한 압력센서가 필요하다.

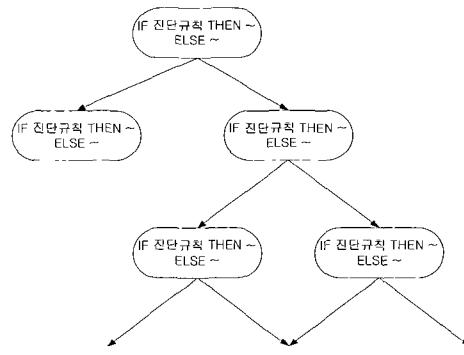


그림 7. 규칙기반시스템의 예.

Fig. 7. Rule-Based System Example.

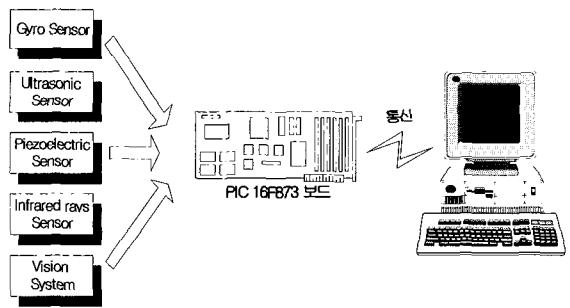


그림 8. 센서 신호처리의 블록도.

Fig. 8. Block diagram of the sensor signal process.

또한, 지능적인 보행에 필수적인 장애물 회피 및 물체인식을 위해서 초음파 센서와 비전 센서가 필요하다. 불확실한 인간환경에서 로봇이 원하는 장소에 실수 없이 도달하기 위해서는 다양한 융합된 센서 정보를 바탕으로 이를 효율적으로 활용하는 지능적인 알고리즘이 있어야 가능하다.

본 연구에서는 자이로, 압력, 초음파 및 비전 센서들을 통합한 센서 시스템을 구성하여 개발한 이족보행로봇에 적용하였다. 센서로부터 인지한 데이터들을 융합하여 로봇의 안정한 자세와 장애물 회피 및 물체 인식에 지능 알고리즘의 일종인 rule-based 알고리즘을 구성하여 적용하였고 이의 구조는 Fig. 7과 같다. 로봇의 보행시 요구되는 센서들의 출력값들과 이전의 보행 실험 데이터를 근거로 삼아 앞으로의 보행

에 진단 규칙으로 적용하였다.

이에 따라 동시에 발생하는 센서신호들을 순차적 혹은 동시에 제어를 수행하여 개발한 이족보행로봇이 인간 생활환경에서 원하는 위치까지의 자율적 이동능력을 갖는 알고리즘을 구성하였다.

1. 센서 융합 시스템

센서 시스템은 자이로센서, 초음파센서, 압력센서, 비전 시스템 및 적외선 센서로 구성되었다. Fig. 8은 센서로부터의 신호 흐름도를 나타냈다. Embedded Computer는 PIC16F873마이크로 컨트롤러에서 수집한 센서의 정보들을 RS232 비동기 시리얼 통신으로 데이터를 받아들인다. 이족보행로봇의 지능적 보행을 위하여 분석된 데이터를 사용하여 관절 구동기에 연결된 볼나사 위치를 알려 준다. Sensor Board는 센서 데이터를 실시간으로 획득하여 Embedded Computer에 요구되는 센서 데이터를 실시간으로 전송하게 된다.

2. 센서 시스템 구성

센서 시스템의 전체 구동 블록도는 Fig. 9와 같고, 이의 장치 구성은 Fig.10과 같다. 로봇에 적용된 센서 시스템을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

2.1 적외선센서

적외선 센서는 이족보행로봇 양 발의 착지 시 평형을 유지하기 위해 사용한다. 본 연구에서 센서는 빛의 스펙트럼에서 적색 부분의 바깥쪽에 해당하는 $0.75\mu m \sim 1mm$ 정도의 파장을 갖는 전자기파인 적외선을 이용하는 ST-5311과 ST-3311의 적외선 센서를 사용하였다.

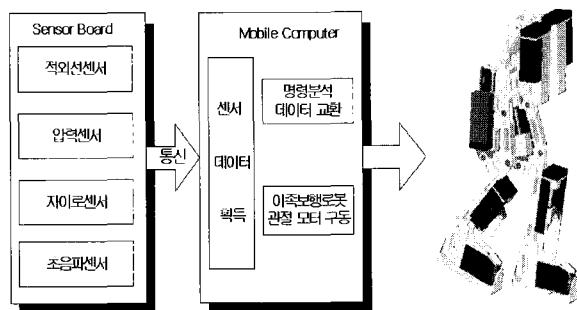


그림 9. 이족보행로봇 구동부의 블록도.

Fig. 9. Block diagram of the actuating BWR.

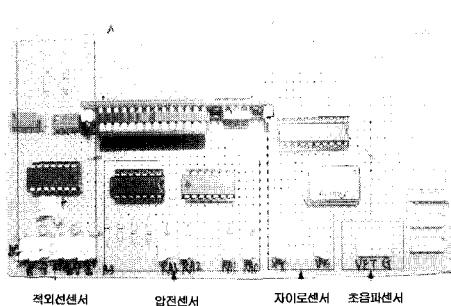


그림 10. 센서 융합 시스템의 구성.

Fig. 10. Composition of the sensor fusion system.

한 쪽발에는 수신부를 다른 한쪽에는 송신부를 부착하여 발이 평행 상태인지를 검출한다.

2.2 압력센서

압력 센서는 이족보행로봇의 보행 시 발 바닥의 착지 유무 및 바닥의 기울기를 검출하기 위해 사용된다. 본 연구에서는 FSR (Force Sensing Resistor)센서를 사용하였다. 센서는FSRS-12로 Emobile-tech.Inc 제품이다.

FSR 센서는 작동표면에 인가되는 힘과 압력에 따라 전기적 저항이 변화하는 것으로 전도체 내부에 구성된 회로의 접촉으로 인한 작동으로 힘이나 압력이 크면 클수록 더 적은 저항이 발생한다. 본 실험에서는 $91k\Omega$ 의 저항을 사용하였다. Fig. 12는 로봇의 발바닥에 부착된 FSR센서의 사진이다. 이족보행로봇의 보행 착지시 FSR에 힘을 가하므로 저항의 변화가 생긴다. 이 저항의 변화를 측정하여 발바닥이 바닥에 착지 하였는지를 검출한다.

2.3 자이로 센서

자이로 센서는 이족로봇의 보행 시 지면과 로봇의 기울어진 각도를 측정하여 균형 관절을 제어하여 보다 안정한 보행을 하기위해 사용된다. 본 연구에서는 MEMS형인 Analog Chip사의 Adxl202je를 사용했다. Adxl 202je는 가속도를PWM으로 출력으로 하는 저 비용 2축 자이로 센서이며, X축과 Y축을 동시에 측정 가능한 Single IC 칩 형태로 되어있다.

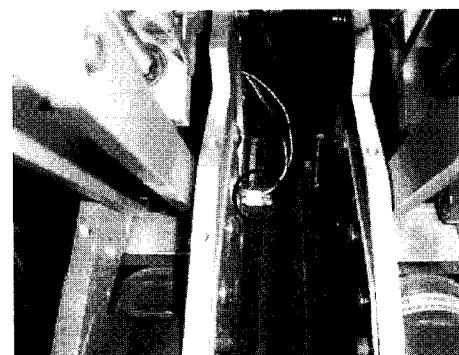


그림 11. 로봇의 발목부위에 부착된 적외선 센서.

Fig. 11. Infrared sensor attached on knees of BWR.

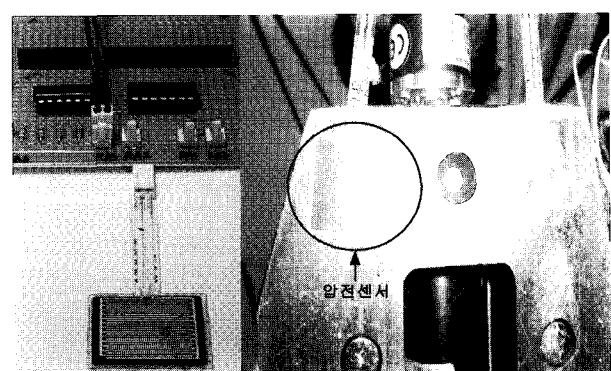


그림 12. 이족보행로봇에 부착된 압력센서와 센서보드.

Fig. 12. Piezoelectric sensor and piezoelectric sensor board attached on the BWR.

자이로 센서의 PWM출력은 RC필터를 구성하여 DCV값으로 변환하였다. DC로 변환된 자이로 센서의 출력은 A/D변환하여 디지털 값으로 사용한다. 실제 시스템에 적용하기 전에 필히 가속도와 이에 비례한 출력 디지털 신호와의 calibration이 필수적이다.

Fig. 13은 일정한 가속도를 낼 수 있는 회전속도 장치를 이용하여 calibration을 위한 자이로 센서의 시험 장치 상태를 나타낸 것이며, Fig. 14은 자이로 센서의 출력 값을 원심가속도 원리를 이용하여 calibration한 것을 나타낸 그래프이다.

Fig. 15에서 센서 출력값이 470 근처인 것은 가속도가 0일 때의 값으로 정지시를 나타낸다. 첫번째 피크값은 제자리에서 움직인 상태, 2,3번째 피크값은 50도로 기울어진 상태를 나타낸다. Fig. 16은 로봇의 보행 실험을 통한 로봇의 기울어진 각도를 자이로 센서를 이용해서 얻은 실험 데이터이다.

2.4 초음파센서

이족보행로봇에 사용된 초음파 센서는 로봇의 보행시 장애물을 회피하기 위해서 사용되었다. 로봇에 사용된 초음파 센서는 Fig. 17과 같은 모양이며 송수신 분리형을 사용하였으며, 초음파 센서의 입력을 최소 10uS 이상의 트리거 펄스를 삽입하면 출력은 100uS에서 18mS사이의 에코 펄스를 발생한다. 실험에 사용된 초음파 센서는 (주)센서텍에서 제공된 것이다. Fig. 17은 초음파 센서의 실험 데이터를 나타낸 것이며, Fig. 18은 초음파 센서 보드가 부착된 이족보행 로봇의 사진이다.

2.5 비전 시스템

이족보행로봇의 머리 부분은 Fig. 20과 같이 3자유도로 로봇의 눈에 해당하는 2대의 화상 카메라가 2대 장착되어 각각 Yaw운동이 가능하고 목은 페칭운동이 가능한 구조로 구성하였다. 비전 시스템은 이족보행로봇의 보행시 화상 카메라를 이용하여 물체를 인식하고 인식한 물체를 따라 보행하기 위해 사용된다. Fig. 21의 비전 시스템의 구동부에 사용된 모터는 Hi-Tec사의 HS-311을 사용하였으며, 4.8V에서 3.0kg·cm, 6.0V에서 4.5kg·cm의 토크를 가지는 RC서보 모터이다.

2.6 센서 융합 시스템

BWR의 GUI구동 프로그램은 Window NT급의 OS에서 Microsoft사의 Visual C++를 이용하여 프로그램을 제작하였다. 카메라는 USB포트로 Embedded Computer와 연결 되어있다. 또한 비전 구동 드라이버 보드는 Embedded Computer와 serial 통신으로 연결 되어있다. 모든 센서의 측정값과 화상캠을 통한 영상은 Fig. 22 의 모니터 프로그램으로 실시간 모니터링 되며 이의 구성은 다음과 같다. Fig. 22에서 +부분은 목표물 추적을 위한 표시로 로봇이 물체를 인식하면 인식한 물체의 중앙부분에 나타나도록 인식 알고리즘을 구성하였다. 로봇의 영상처리 알고리즘은 목표물의 색상에 대한 R, G, B Value를 설정(가변적)에 의해 저장한 후 화상캠을 통하여 받은 영상을 Window영역 24bit Video Format으로 설정한 윈도우 영역에 표시하고, Color 인식 알고리즘을 사용하여 화상 캠을 통하여 표시되는 Window 영역의 각 Pixel들을 매 샘플Loop 마다 검사하여 설정된 Color의 영역이 나오면 그 중심에 +좌표를 표시하도록 구성하였다.

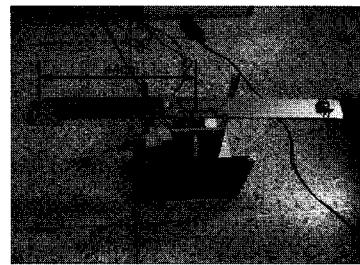


그림 13. calibration을 위한 자이로센서 장치의 구조.
Fig. 13. Structure of the gyro sensor device for calibration.

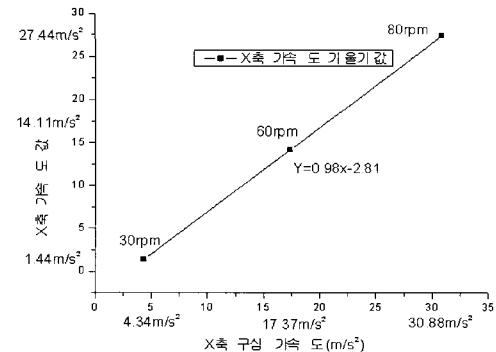


그림 14. 자이로 센서의 기울기 실험의 보정결과.
Fig. 14. Calibration result of the tilt test of gyro sensor.

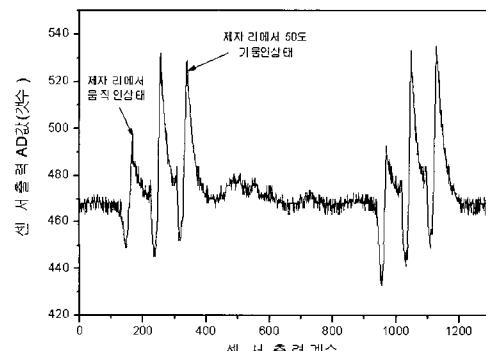


그림 15. 보행 실험 동안 자이로센서의 출력값.
Fig. 15. Output of the gyro sensor during the walking test.

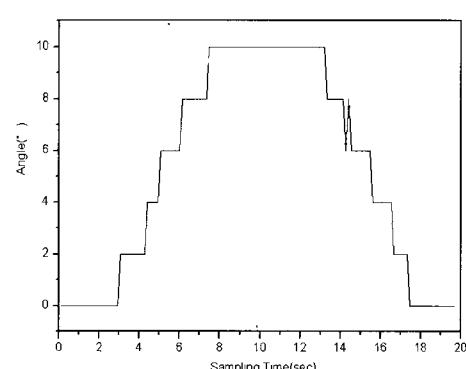


그림 16. 자이로센서의 실험 데이터.
Fig. 16. The experimental data of the gyro sensor.

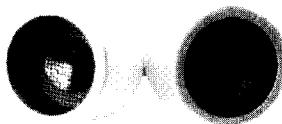


그림 17. 초음파 센서.

Fig. 17. Ultrasonic Sensor.

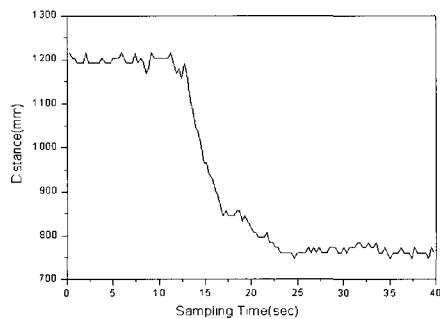


그림 18. 초음파센서의 실험데이터.

Fig. 18. The experimental data of the ultrasonic sensor.

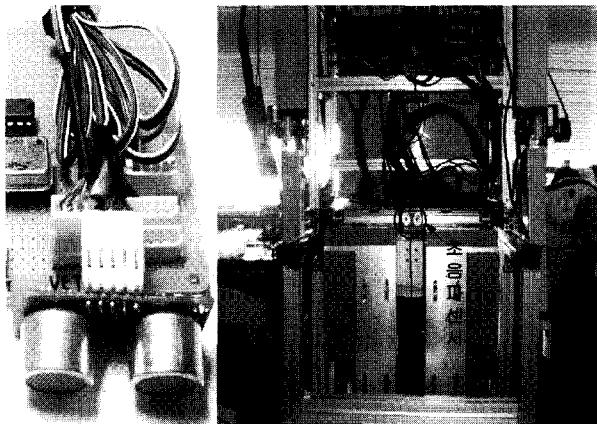


그림 19. 이족보행로봇에 부착된 초음파센서.

Fig. 19. Ultrasonic sensor board attached on the BWR.



그림 20. 비전 시스템의 외형.

Fig. 20. Appearance of the vision system.



그림 21. 비전시스템의 구동부.

Fig. 21. Actuator of the vision system.

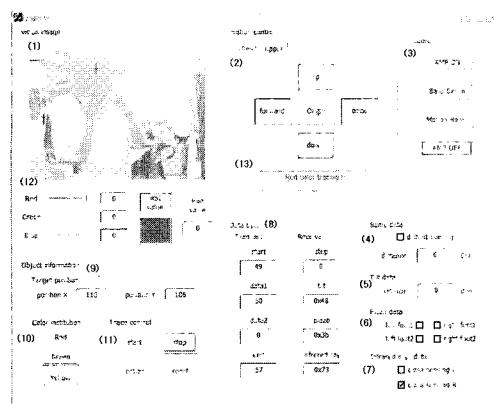


그림 22. 이족보행로봇의 그래픽 유저 인터페이스.

Fig. 22. GUI program of the BWR.

V. 보행실험 및 고찰

1. 센서 융합을 이용한 보행 알고리즘

다중 센서 시스템을 이용한 이족보행로봇의 보행 시험을 위한 rule-based 지능 알고리즘은 Fig. 23의 순차적 단계를 바탕으로 하고 있다. 본 연구에서 실험대상인 보행로봇은 한쪽 다리에 4자유도를 가지고 있어 방향의 전환이 가능하지 못하여, 장애물 감지시에는 장애물까지의 거리를 계산한후 보폭을 수정하여 장애물에서 일정한 거리만큼 떨어진 곳에서 정지하도록 프로그램하였다. 일반적인 보행 동작은 이동할 거리의 계산 후 로봇의 한계 보폭 내에서 보폭의 정수배로 이동하지만, 장애물 발견 시에는 목표거리 수정과 함께 보폭을 자율적으로 수정하여 보행하게 프로그램되어 있다.

로봇의 시험에 적용한 rule-based 지능 알고리즘의 한 예를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

- 1) 목표 거리까지의 걸음 수를 계산하고 시스템을 초기화(몸체의 기울어짐 안정화. 양발이 평행하게 유지)한 후 장애물 검사 시작.
- 2) 보행 시작 단계로 한 발을 떨 때 상체의 기울어짐을 자이로센서로 검사하여 안정한 상태 제어, 압력센서로 발바닥의 완전한 착지 검사.
- 3) 보행 중 장애물 유무 검사(장애물이 검색 되었을 경우에).
- 4) 초음파 센서로 장애물까지의 거리를 계산하여 장애물로부터 일정한 거리를 유지하기 위해 보폭을 수정.

5) 장애물로부터 일정한 거리만큼 떨어진 지점에서 보행을 중지하고 다음 명령을 대기(장애물이 없을 경우에는).

7) 목표한 위치까지 계획된 보폭으로 전진(보행중 사이로 센서로 상체의 기울어짐 검사. 초음파 센서로 장애물 유무 검사. 압력센서로 발바닥 착지 유무 검사).

8) 목표한 위치에 도달하면, 출발 전 자세를 갖춘다(양발의 착지유무와 평행한지를 검사).

9) 로봇의 각 관절의 위치를 초기화 하고, 명령을 종료.

위의 순서에 의해 센서 융합 시스템을 이용한 로봇의 안정한 자율 보행을 테스트하였다.

Fig. 24는 이족보행로봇에 부착된 센서의 통합 보드를 나타낸 것이다. 여기서, 장애물은 3m까지 측정 가능하다. Fig. 25는 보행 실험 중 한 걸음을 옮길 때 측정한 사이로 센서와 초음파 센서로 약1420mm에 있던 장애물을 감지한 경우이다. Fig. 24는 보행실험중 한걸음을 옮길 때 측정한 센서출력값이다. 로봇이 한걸음 내딛는데 걸리는 시간은 약20초이다. Y축은 거리(초음파센서)와 각도(사이로센서)를 나타내고, X축은 측정 시간을 나타낸다. Fig. 25에서 원쪽 Y축에 초음파 센서가 1420mm떨어진 곳의 장애물을 감지한 데이터가 나타나있다.

같은 측정시간에 사이로센서의 데이터는 로봇 상체의 기울어진 각도를 나타낸다. 이때에 센서융합보드는 RS232 통신으로 Embedded Computer로 장애물의 감지를 알리게 된다. Embedded Computer는 장애물로부터 일정한 거리를 유지하기 위해 새로운 보폭을 계산하여 수정된 보행명령을 내리게 된다. Fig. 25에서 사이로 센서의 데이터는 시작에서 8(초)까지 이족보행로봇이 보행 중에 오른발을 지지하고 왼발을 내밀 때 로봇 상체가 오른쪽으로 기울어지는 각도를 측정한 것이다. 오른발을 지지하고 상체를 앞으로 이동할 때 기울어진 각도가 5초 동안 10를 유지한다. 그리고 8~13(초) 동안 왼발을 지지하고 오른발을 당기면 기울어진 상체가 원래 자세로 복원되는 각도를 측정한 것이다. 보행 중에 센서융합보드는 Embedded Computer로 사이로 센서의 데이터를 실시간으로 보내고, 만약 발목의 roll각이 10° 이상 기울어지면 Embedded Computer는 로봇의 무게 중심을 보정하게 된다.

Fig. 26은 보행 시에 이족보행로봇의 발바닥에 부착된 압력센서의 데이터를 나타낸 것이다. 로봇이 보행 중에 발바닥을 착지하면 Fig. 12에서 보이는 FSR의 압력 변화가 발생하게 된다. 이를 센서융합보드가 검사하여 Embedded Computer로 RS232통신을 통해 발바닥의 착지 유무에 대한 데이터를 보내게 된다. Embedded Computer는 이 데이터를 인지한 후에 다른 쪽 발을 옮기는 명령을 내리게 된다. 위 센서들의 데이터들을 센서보드가 수집하고, Embedded Computer로 보낸다. Embedded Computer는 이 데이터들을 융합하여 지능적인 알고리즘에 따라 다음 발을 옮기도록 로봇의 보행을 제어한다.

센서 정보를 활용하여 지능적인 rule base의 알고리즘에 따라 로봇의 보행 시험을 수행하였다. 단계별 사진을 설명하면 다음과 같다.

Step1~Step3는 보행시작 준비 단계로 발목관절에 설치되어 있는 적외선 센서를 통해 양발의 위치를 조정하고, 사이로센서로부터 몸의 중심을 잡는다.

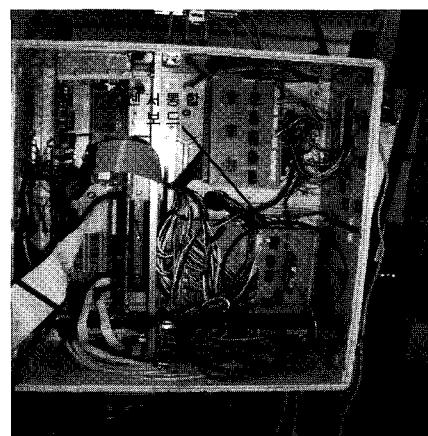


그림 24. 이족보행로봇에 부착된 센서융합보드.

Fig. 24. Sensor fusion board attached on the BWR.

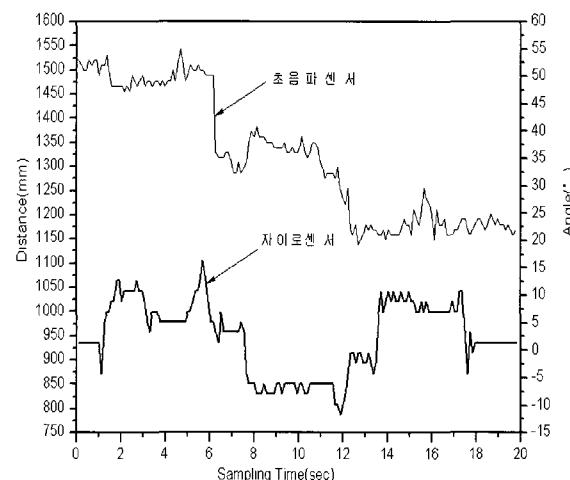


그림 25. 이족보행로봇의 초음파센서와 자이로센서의 융합 데이터.

Fig. 25. Test ultrasonic sensor and gyro sensor fusion data of the BWR.

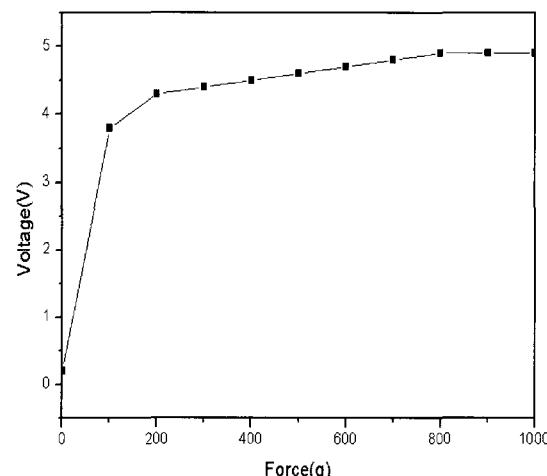


그림 26. 압력센서를 사용한 이족보행로봇의 보행 실험 데이터.

Fig. 26. Walking test data of the BWR using piezoelectric sensor.

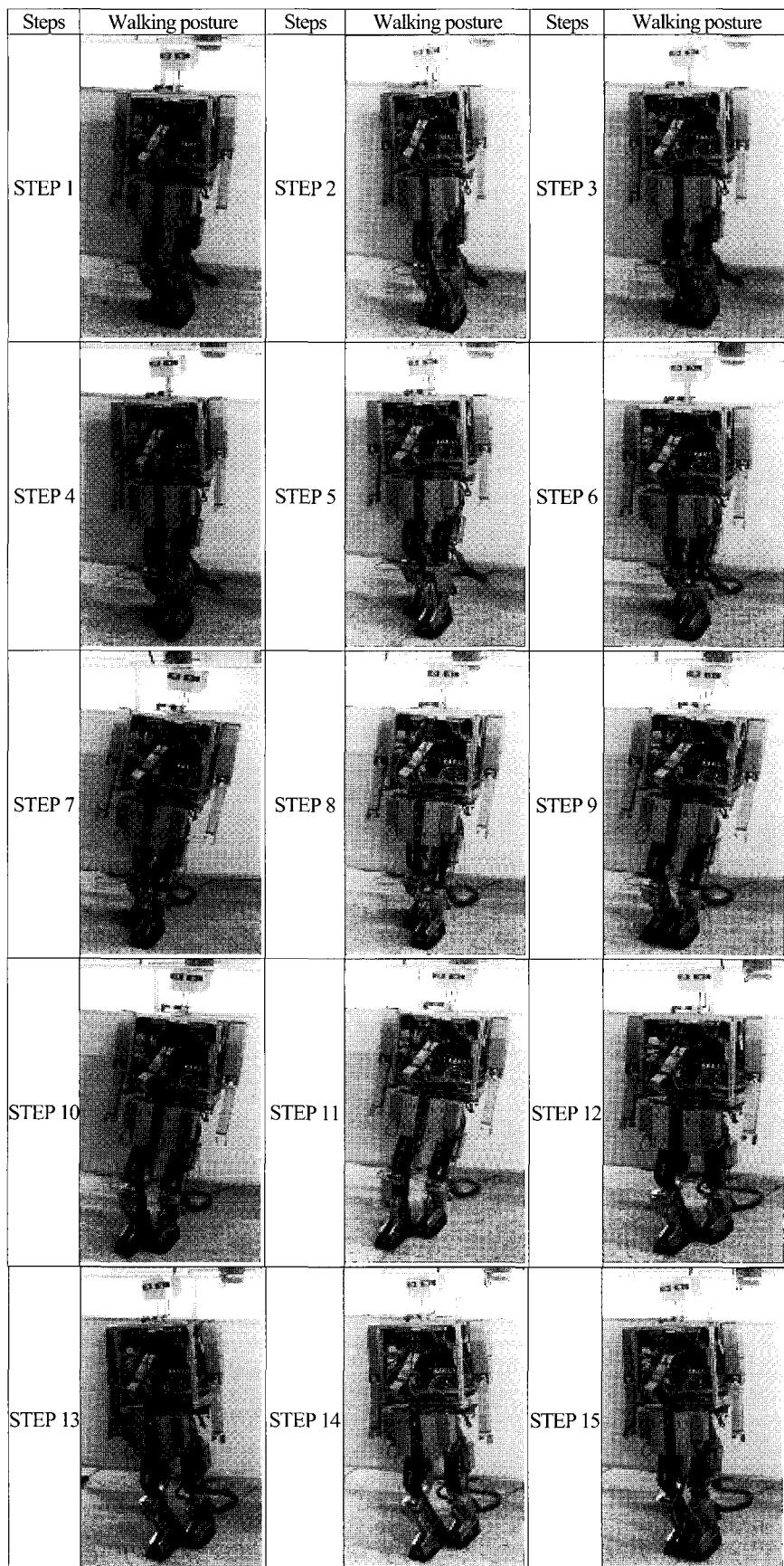


그림 27. 보행시험결과.

Fig. 27. Results of walking test.

Step4~Step6 원발을 먼저 내딛는 동작으로 발을 내딛는 도중에는 항상 자이로 센서를 통해 불안정한 상태를 보정하고, 초음파 센서를 통해서 장애물이 있는지를 검사한다. 왼쪽발을 바닥에 내딛을 때에 압력센서를 통해 완전히 발을 딛었는지 알 수 있다.

Step7~Step9는 왼쪽발로 지지하면서, 몸의 중심을 왼쪽으로 옮긴 후 오른발을 당긴다. 보행이 진행 중일 때는 항상 균형을 유지하기 위해 자이로 센서로 몸의 중심이 일정 범위 밖으로 기울어 지지 않도록 보정을 행하고 있다.

Step10~Step12는 오른발을 몸 앞으로 내미는 동작이다. 왼발로만 지지하고 몸을 이동하므로 무게 중심의 이동에 어려움이 많다. 자이로센서를 통해 이동 중 안정한 범위 내에서 움직이게 된다.

Step13~Step15는 한 걸음 내디딘 후에 원발을 당겨서, 양발이 평행이 되도록 하고 다시 준비 자세를 취하는 동작이다. 이 때, 적외선 센서와 압력센서를 통해 양발이 평행한지, 바닥에 안정하게 차지하였는지를 검사 보정한다.

VI. 결론

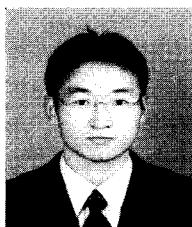
본 논문에서는 이족보행로봇의 지능화를 위하여 다양한 센서 시스템을 구성하여 이족보행로봇에 적용하였다. 개발된 이족보행로봇이 미지의 환경 내에서 지능적으로 안정한 자율 보행을 하기 위해 각종 센서들이 사용되었다. 안정한 자세 제어를 위하여 자이로 센서 및 압력 센서, 물체의 거리 측정 및 장애물을 회피하기 위해 초음파 센서 및 비전 센서를 사용하였으며 다리 위치 보정을 위해 적외선 센서를 사용하였다. 이와 같은 센서들로부터의 다양한 정보를 순차적 혹은 실시간 제어하기 위해 센서 퓨전 시스템을 구성하여 이족보

행로봇이 미지의 환경에서 자율적으로 안정하게 보행할 수 있도록 rule base에 기초한 지능적인 알고리즘을 구성하였다.

이를 개별한 이족보행로봇에 적용하여 목표물까지 안정한 보행 실험에 성공하였다. 향후 로봇 다리의 자유도를 인간의 다리와 같이 6자유도로 완성하여 보다 인간을 닮은 보행동작과 방향전환이 가능한 로봇의 동작개선연구와 향상된 지능적 동작을 위한 연구를 수행하고자 한다.

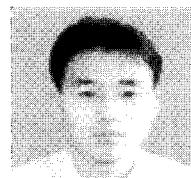
참고문헌

- [1] <http://www.honda.co.jp/ASIMO/technology/>
- [2] 권영도, 이진수, “이동 로봇의 실시간 충돌회피”, 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 434-439, 1993.
- [3] “신경회로망을 이용한 이동로봇의 이동 장애물 충돌회피”, 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 1238-1241, 1997.
- [4] 장도식, 이만희, 부창완, “Line Scan Camera를 이용한 검사 시스템에서의 새로운 영상 처리 알고리즘”, 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제 3권, 제 4호, pp. 406-414, 1997.
- [5] K. Fujiwara, et al, “Development of guideless robot vehicle”, Proc. 11th Int. Sysmp. On Industrial Robots, Oct. 1981, pp. 203-210.
- [6] L. Kleeman and R. Kuc, “Mobile robot sonar for target localization and classification”, The International Journal of Robotics Research, vol. 14, no. 4, pp. 295-318, 1995.
- [7] R. C. Luo, M.-H. Lin, and R. S. Scherp, “Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots”, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 4, no. 4, pp. 386-396, 1988.
- [8] M. W. Spong, and M. Vidyasagar, “Robot Dynamics and Control”, John Wiley & Sons, 1989.



이 창 만

2003년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 2005년 동대학원 졸업예정. 관심분야는 로보틱스.



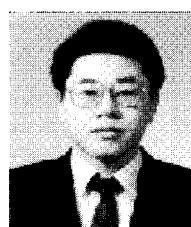
김 유 신

2002년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 2004년 동대학원 졸업. 2004년 (주) 유진로보틱스 입사. 관심분야는 로보틱스.



황 규 특

2003년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 2005년 동대학원 졸업예정. 관심분야는 로보틱스.



최 형 식

고려대학교 기계공학과에서 1983년에 공학사, the mechanical engineering form University of South Carolina 기계공학과에서 1989년에 공학석사. North Carolina State University의 mechanical and aerospace engineering에서 1993년에 공학박사를 수여받음. 1993.2~1996.8 KIMM에서 post doctor를 한 후 현재 한국해양대학교 기계정보공학부에서 재직중. 관심분야는 the design, dynamics and control of the biped walking robot, dynamics and control of the underwater robotics, robust control algorithm.