

사람 보행시 발바닥의 힘정보를 측정하기 위한 지능형 신발시스템 개발

김갑순[#], 김현민^{*}, 허덕찬^{*}

Development of Intelligent Shoe System to Measure Applied Force/Moment on the Sole of a Foot during Human Walking

Gab-Soon Kim[#], Hyeon-Min Kim^{*} and Duck-Chan hu^{*}

ABSTRACT

This paper describes the development of wearing intelligent shoe system to measure applied forces and moments (ground reaction forces and moments) on the soles of feet during human walking. In order to walk safely, robot must get the intelligent feet with 6-axis force/moment sensors (Fx sensor (x-direction force sensor), Fy sensor, Fz sensor, Mx sensor (Mx : x-direction moment sensor), My sensor, and Mz sensor) and detect the forces and moments data from the sensors. And the feet must be controlled with the data and controllers. While a human is walking, the forces and moments should be measured and analyzed for robot's intelligent feet. Therefore, the wearing intelligent shoe system should be developed.

In this paper, four 6-axis force/moment sensors and two high speed measuring devices were designed and fabricated, and the wearing intelligent shoe system was made using these. The characteristic tests of the wearing intelligent shoe system were performed, and the forces and moments were detected using it.

Key Words : Intelligent shoe (지능형 신발), 6-axis force/moment sensor (6 축 힘/모멘트센서), High-speed measuring device (고속측정기), walking (보행)

1. 서론

인간형 로봇이 안전하게 걷기 위해서는 지능형 발을 가져야 하고, 보행시 발에 부착된 센서들로부터 발바닥에 가해지는 힘정보를 얻어야 하며, 그들을 이용하여 몸체가 균형을 잃지 않도록 제어해야 한다. 인간형 로봇과 사람이 보행하는 것이 비슷하므로 사람이 보행할 때의 발바닥에 가해지는 힘정

보를 측정하고 분석할 필요가 있다.

사람이 보행할 때, 발이 땅에 접지해 있는 기간 동안에는 뒤꿈치 접촉(heel contact)→발바닥 접촉(foot flat)→뒤꿈치 들림(heel rise)→발가락 들림(toe-off) 과정을 거치고, 무게중심이 발뒤꿈치로부터 앞꿈치 사이로 이동하며, 발가락 들림(toe-off)에서 땅을 박찰 때 발바닥 앞과 뒤(metatarsophalangeal joint)의 상대적인 운동이 발생하게 되어 보행

접수일: 2007 년 11 월 27 일; 게재승인일: 2008 년 4 월 1 일

교신저자: 경상대학교 제어계측공학과, ERI

E-mail: gskim@gnu.kr Tel. (055) 751-5372

* 경상대학교 대학원 제어계측공학과

이 자연스럽게 된다.¹ 사람의 보행분석에 관한 연구는 국내외적으로 재활의학 분야에서 활발히 이루어지고 있다.

Takao² 는 신발의 앞부분과 뒷부분을 발가락 조인트(toe joint)로 연결하여 발바닥에 압력센서를 삽입한 보행분석용 신발장치를 개발하였으며, 일본의 AIST Digital Human Research Center³에서는 자연스런 보행분석을 위해 6 축 힘/모멘트센서를 신발에 부착하여 사람의 걸음을 측정하였다. 기존의 보행분석장치의 문제점은 보행분석장치를 평평한 지면에 고정해야 하고 한쪽 발만 측정하므로 정확한 측정이 불가능할 뿐만 아니라 3 차원 지면반력의 힘 및 모멘트를 측정할 수 없어 보행운동의 정확한 분석이 어렵다. 그리고 신발의 발꿈치 부분에 1 개의 6 축 힘/모멘트센서를 부착한 보행분석장치는 뒤꿈치 부근에서만 힘과 모멘트를 측정하므로 이 부근의 무게중심을 파악할 수 있으나 발의 앞부분에서의 힘측정이 불가능하므로 그 부분에서의 무게중심은 측정할 수 없다. 따라서 이와 같은 시스템은 사람이 보행할 때 발뒤꿈치로부터 앞꿈치로 옮겨가는 무게중심을 정확히 파악할 수 없는 단점을 가지고 있다.

그러므로 인간의 보행을 정확하게 분석하기 위해서는 보행시 발뒤꿈치로부터 앞꿈치로 옮겨가는 무게중심을 정확하게 파악할 수 있어야 하고, 이를 위해서 사람이 간단히 착용하고 힘 정보를 얻을 수 있는 착용용 지능형 신발시스템이 필요하다.

본 논문에서는 6 축 힘/모멘트센서가 부착된 사람 보행시 발바닥 힘정보를 측정하기 위한 착용용 지능형 신발을 개발하였다. 4 개의 6 축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였고, DSP(digital signal processor)를 이용한 2 개의 고속 측정용 측정장치를 설계 및 제작하였으며, 이들을 이용하여 착용용 지능형 신발을 개발하였다. 그리고 개발된 지능형 신발을 신고 보행실험을 실시하였다.

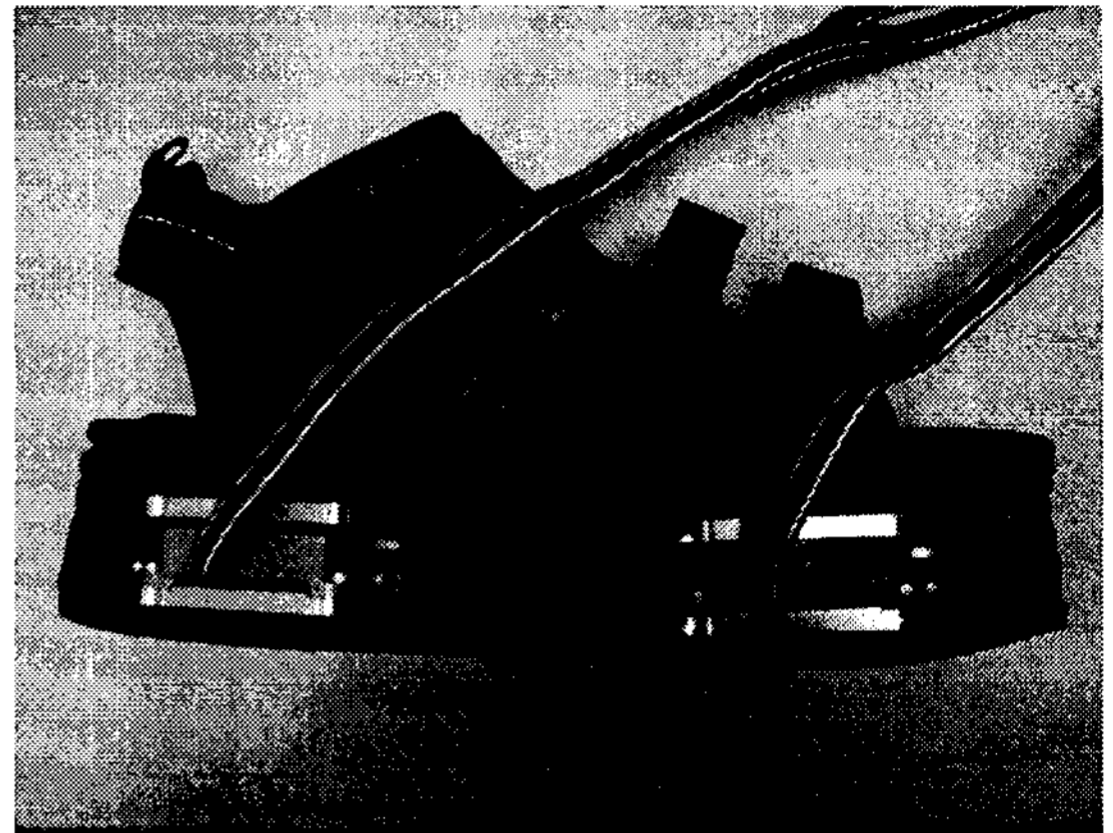
2. 지능형 신발의 개발

2.1 지능형 신발

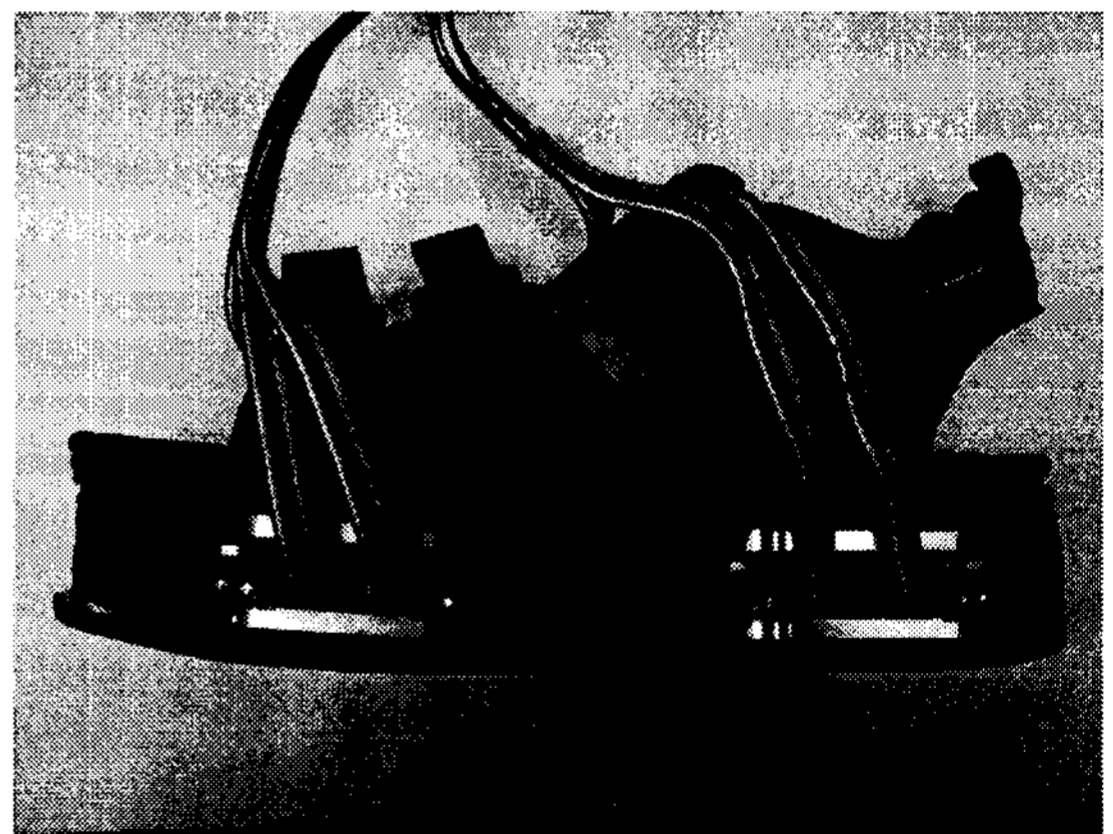
Fig. 1 은 본 논문에서 개발한 지능형 신발의 사진을 나타내고 있으며, (a)는 오른쪽 지능형 신발, (b)는 왼쪽 지능형 신발, (c)는 지능형 신발시스템을 위에서 찍은 사진을 각각 나타내고 있다. 지능형 신발시스템은 샌들, 4 개의 6 축 힘/모멘트센서, 2 개

의 고속측정장치, 컴퓨터 등으로 구성되어 있다.

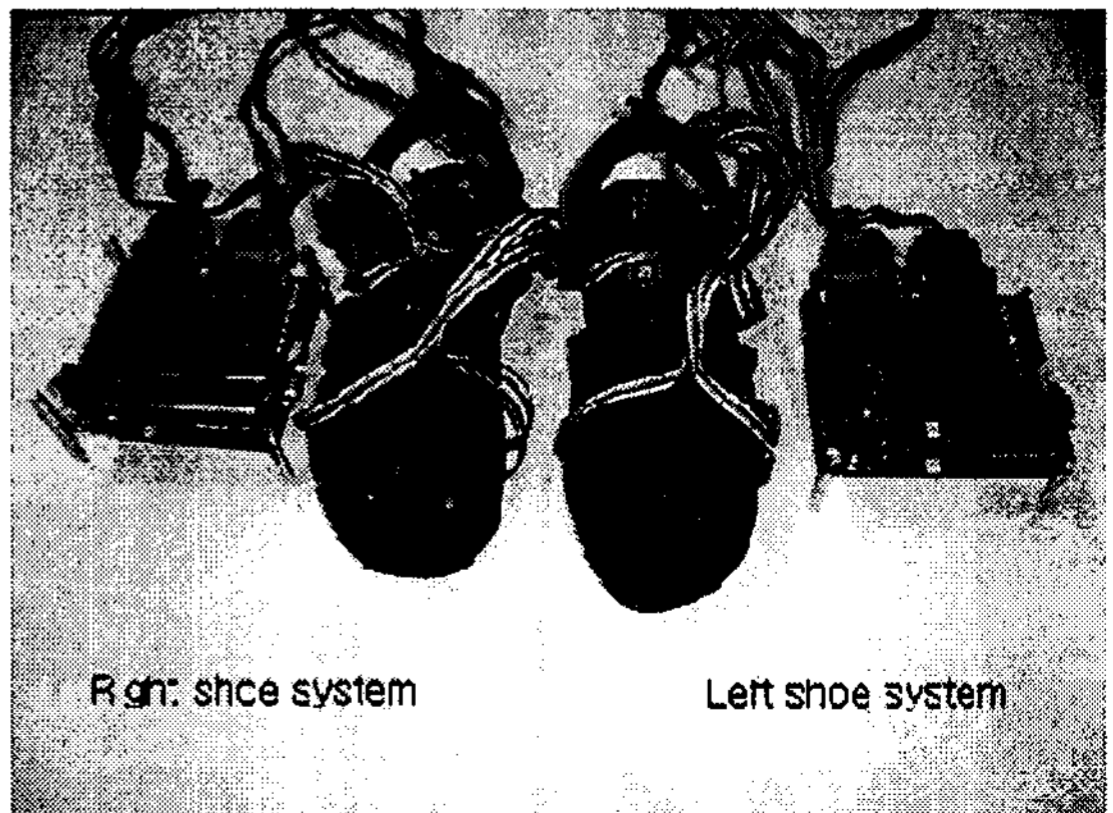
지능형 신발은 Fig. 1 에서 보는 것과 같이



(a) Right shoe



(b) Left shoe



(c) Intelligent shoe system

Fig. 1 Photograph of developed intelligent shoe system

290cm 이하의 발을 가진 성인이 신을 수 있도록 본체를 샌들로 선정하였고, 본체의 뒤꿈치와 앞꿈치 부분에 각각 6 축 힘/모멘트센서를 부착하였으며, 그 밑에 고무를 부착하여 일반적으로 신는 신발과 비슷하게 구성하였다.

사람이 개발한 지능형 신발을 신고 보행하면 오른쪽과 왼쪽의 신발의 뒤꿈치와 앞꿈치에 부착된 4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 각각의 힘 F_x, F_y, F_z 와 모멘트 M_x, M_y, M_z 센서(총 24 개 센서)로부터 출력되는 값들을 2 개의 고속측정장치로 검출하고, 이들을 고속측정장치와 RS232C 인터페이스로 연결된 컴퓨터로 보내어 모니터에 나타냄과 동시에 저장한다.

2.2 6 축 힘/모멘트센서 제작 및 결과

2.2.1 6 축 힘/모멘트센서 제작

본 논문에서는 착용용 지능형 신발시스템을 제작하기 위한 6 축 힘/모멘트센서를 제작하기 위하여 Kim⁴이 개발한 Fig. 2 와 같은 6 축 힘/모멘트센서의 구조를 그대로 사용하고 용량만 다르게 설계하였다.

6 축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격출력, 정격하중, 평행평판보 PPB1~4

를 구성하는 보들의 크기(평행평판보의 폭 b_1, b_2, b_3 , 두께 t_1, t_2, t_3 , 길이 l_1, l_2, l_3)이다. 6 축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 $0.5 mV/V$, 센서의 사각형상의 크기와 높이가 각각 $80mm \times 80mm \times 19mm$, 힘/모멘트 전달블록의 사각크기가 $20mm \times 20mm$, 스트레인게이지의 부착위치가 길이방향으로는 $1mm$, 폭방향으로는 $1/2$, 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률은 약 $250 \mu m/m$, 정격하중은 힘 F_x, F_y 가 $500N$, F_z 센서가 $1000N$, 모멘트 M_x, M_y 가 $18Nm$, M_z 센서가 $8Nm$ 로 결정하였다. 스트레인게이지의 부착위치는 게이지의 크기 $3 \times 7.2mm$ 를 고려하였고, 정격하중은 보통 사람의 무게와 센서의 구조를 고려하여 결정하였다.

본 논문에서는 결정한 설계변수들을 ANSYS 소프트웨어에 적용하여 6 축 힘/모멘트센서의 감지부를 설계하였다. 여러 번의 소프트웨어를 수행시켜 6 축 힘/모멘트센서의 각각의 정격하중인 힘들과 모멘트들을 가하여 센서들의 감지부 크기를 결정하였다. 센서의 크기는 평행평판의 길이 l_1, l_2, l_3 를 모두 $8mm$, 폭 b_1, b_2, b_3 을 모두 $12mm$, 두께 t_1, t_2, t_3 를 각각 $2.8mm, 1.5mm, 1.8mm$ 로 결정되었다.

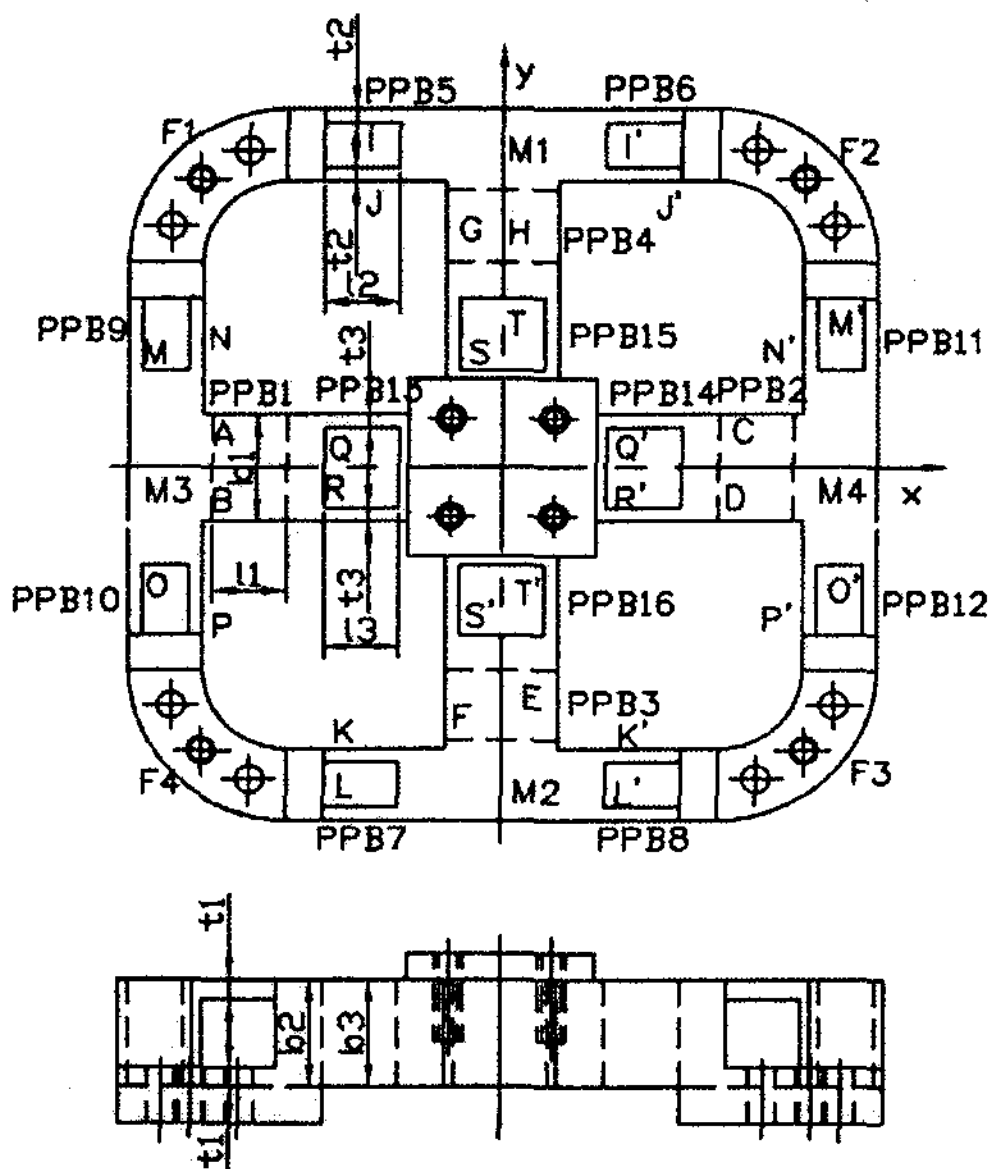


Fig. 2 Structure of sensing element for 6-axis force/moment sensor

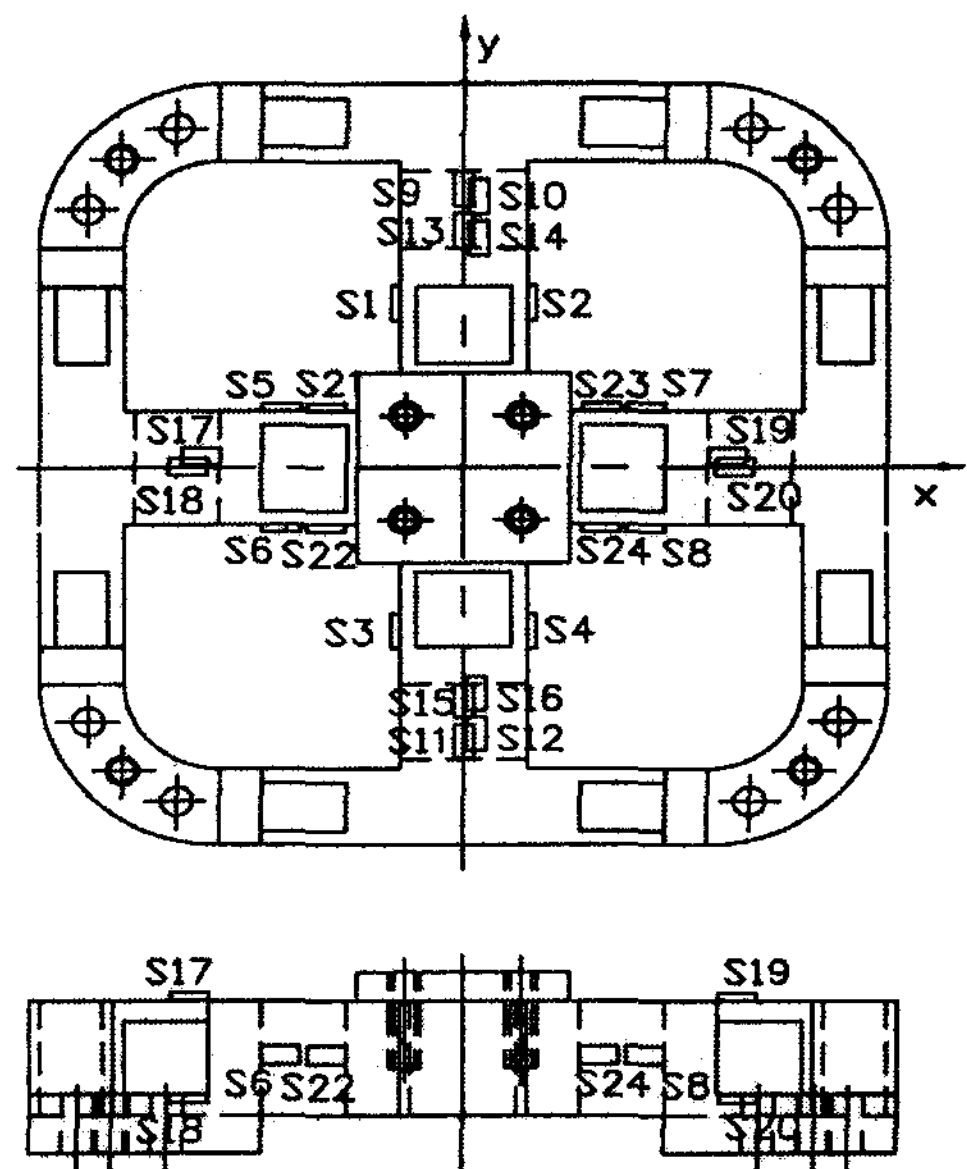


Fig. 3 Attachment location of strain-gages for each sensor

Fig. 3 은 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인지지 부착위치를 나타내고 있다. Fx 센서의 부착위치는 S1~S4, Fy 센서는 S5~S8, Fz 센서는 S9~S12, Mx 센서는 S13~S16, My 센서는 S17~S20, Mz 센서는 S21~S24 이다. 각 센서의 스트레인지지 부착위치는 4 개의 부착위치에서의 상호간섭오차가 0%이 되는 지점으로 결정되었다.

스트레인지지 부착위치에서의 변형률을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\varepsilon = \varepsilon_{T1} - \varepsilon_{C1} + \varepsilon_{T2} - \varepsilon_{C2} \quad (1)$$

여기서, ε 은 휘스톤브리지의 총 변형률, ε_{T1} 은 인장 스트레인지지 T_1 의 변형률, ε_{C1} 은 압축 스트레인지지 C_1 의 변형률, ε_{T2} 은 인장 스트레인지지 T_2 의 변형률, ε_{C2} 은 압축 스트레인지지 C_2 의 변형률이다.

Table 1 은 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서의 각 스트레인지지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. Fx 와 Fy 센서의 변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 $1000 \mu m/m$ 이하이었고, 그 외의 센서들의 변형률은 $1000 \mu m/m$ 이상이였으며, 오차는 최대 11.2%이하 이었다. 이와 같은 오차는 설계시 가공의 가능성을 고려하여 감지부의 두께를 0.1mm 단위로 나타내었기 때문이다. 단위를 0.01mm 단위로 설계하면 매우 근접한 변형률을 얻을 수 있으나 본 연구에서 모델링한 6 축 힘/모멘트센서 구조의 복잡성 때문에 0.01mm 단위로 가공할 수 없기 때문이다.

Table 1 Strains from FEM analysis at each attachment location of strain-gages of each sensor of 6-axis force/moment sensor

| Sensor | Strain ($\mu m/m$) | | | | |
|--------|----------------------|-------|-------|-------|---------------|
| | T_1 | C_1 | T_2 | C_2 | ε |
| Fx | 235 | -235 | 235 | -235 | 940 |
| Fy | 235 | -235 | 235 | -235 | 940 |
| Fz | 276 | -276 | 276 | -276 | 1104 |
| Mx | 278 | -278 | 278 | -278 | 1112 |
| My | 278 | -278 | 278 | -278 | 1112 |
| Mz | 254 | -254 | 254 | -254 | 1016 |

6 축 힘/모멘트센서는 각각의 게이지 부착위치

에 스트레인지지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 $3 \times 7.2mm$)를 부착하고 휘스톤브리지^{4,6} 구성하여 제작하였으며, Fig. 4 는 오른쪽 발을 위해 제작된 센서의 사진을 보이고 있다.



Fig. 4 Photograph of the developed two 6-axis force/moment sensor for intelligent right shoe

2.2.2 센서의 특성실험 및 고찰

4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험은 6 축 힘/모멘트센서 교정장치⁷를 이용하여 정격하중 $F_x=F_y=500N$, $F_z=1000N$ 과 모멘트 $M_x=M_y=18Nm$, $M_z=8Nm$ 를 각각 가하고 각 센서의 정격출력을 측정하였으며, 총 세 번의 실험을 실시하여 평균값으로 각 센서의 정격출력을 결정하였다.

정격변형률은 실험값과 비교하기 위해서는 정격출력식으로 변경되어야 하고, 그를 위한 정격출력 계산식은 다음과 같다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \varepsilon \quad (2)$$

여기서, E_i 는 휘스톤브리지의 입력전압, E_o 는 휘스톤브리지의 출력전압, K 는 스트레인지지의 상수(약 2.03), ε 는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

Table 2 는 유한요소해석과 실험결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 센서 1 은 오른쪽 발꿈치 부분의 힘/모멘트 감지를 위한 센서, 센서 2 는 오른쪽 앞꿈치 부분의 힘/모멘트 감지를 위한

센서, 센서 3 은 왼쪽 발꿈치 부분의 힘/모멘트 감지를 위한 센서, 센서 4 는 왼쪽 앞꿈치 부분의 힘/모멘트 감지를 위한 센서이다. 유한요소해석결과의 정격출력은 Table 1 의 정격변형률 ϵ 을 식 (2) 에 적용하여 계산된 것이며, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 센서 4 개를 특성실험한 결과를 나타내고 있다. 유한요소해석결과를 기준으로 실험결과의 센서 1 의 최대 오차는 Fz 센서가 6.25%, 센서 2 의 최대 오차는 My 센서가 6.56%, 센서 3 의 최대 오차는 Fz 센서가 5.89%, 센서 4 의 최대 오차는 Mz 센서가 8.35%이고, 최대오차는 8.35%이다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다.

Table 2 Strains Rated output from FEM and characteristic test of four sensors

| Sensor | FEM | Rated output (mV/V) and Error(%) | | | |
|--------|-------|----------------------------------|-------|----------|-------|
| | | Sensor 1 | | Sensor 2 | |
| | | Exp. | Error | Exp. | Error |
| Fx | 0.477 | 0.489 | 2.52 | 0.491 | 2.94 |
| Fy | 0.477 | 0.501 | 5.03 | 0.489 | 2.52 |
| Fz | 0.560 | 0.525 | -6.25 | 0.532 | -5.00 |
| Mx | 0.564 | 0.548 | -2.84 | 0.535 | -5.14 |
| My | 0.564 | 0.539 | -4.43 | 0.527 | -6.56 |
| Mz | 0.515 | 0.540 | 4.85 | 0.542 | 5.24 |
| Sensor | FEM | Sensor 3 | | Sensor 4 | |
| | | Exp. | Error | Exp. | Error |
| | | 0.501 | 5.03 | 0.498 | 4.40 |
| Fy | 0.477 | 0.491 | 2.94 | 0.508 | 6.50 |
| Fz | 0.560 | 0.527 | -5.89 | 0.539 | -3.75 |
| Mx | 0.564 | 0.551 | -2.30 | 0.528 | -6.38 |
| My | 0.564 | 0.545 | -3.37 | 0.572 | 1.42 |
| Mz | 0.515 | 0.532 | 3.30 | 0.558 | 8.35 |

특성시험할 때 4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서로부터 출력되는 값으로 상호간섭오차를 계산하였다. 6 축 힘/모멘트센서 1 의 최대 상호간섭오차는 Mz 의 정격용량이 가해졌을 때 Fy 센서가 2.52%, 6 축 힘/모멘트센서 2 의 최대 상호간섭오차는 My 의 정격용량이 가해졌을 때 Fx 센서가 2.89%, 6 축 힘/모멘트센서 3 의 최대 상호간섭오차는 Mx 의 정격용량이 가해졌을 때 Fy 센서가 2.52%, 6 축 힘/모멘트센서 4 의 최대 상호간섭오차

는 Mz 의 정격용량이 가해졌을 때 Fy 센서가 2.78%이다. 따라서 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.89%이다. 제작된 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 2.8%이었고, 이것은 상용화된 센서⁸ 들의 오차와 비슷하다. 따라서 제작된 센서는 지능형 신발에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

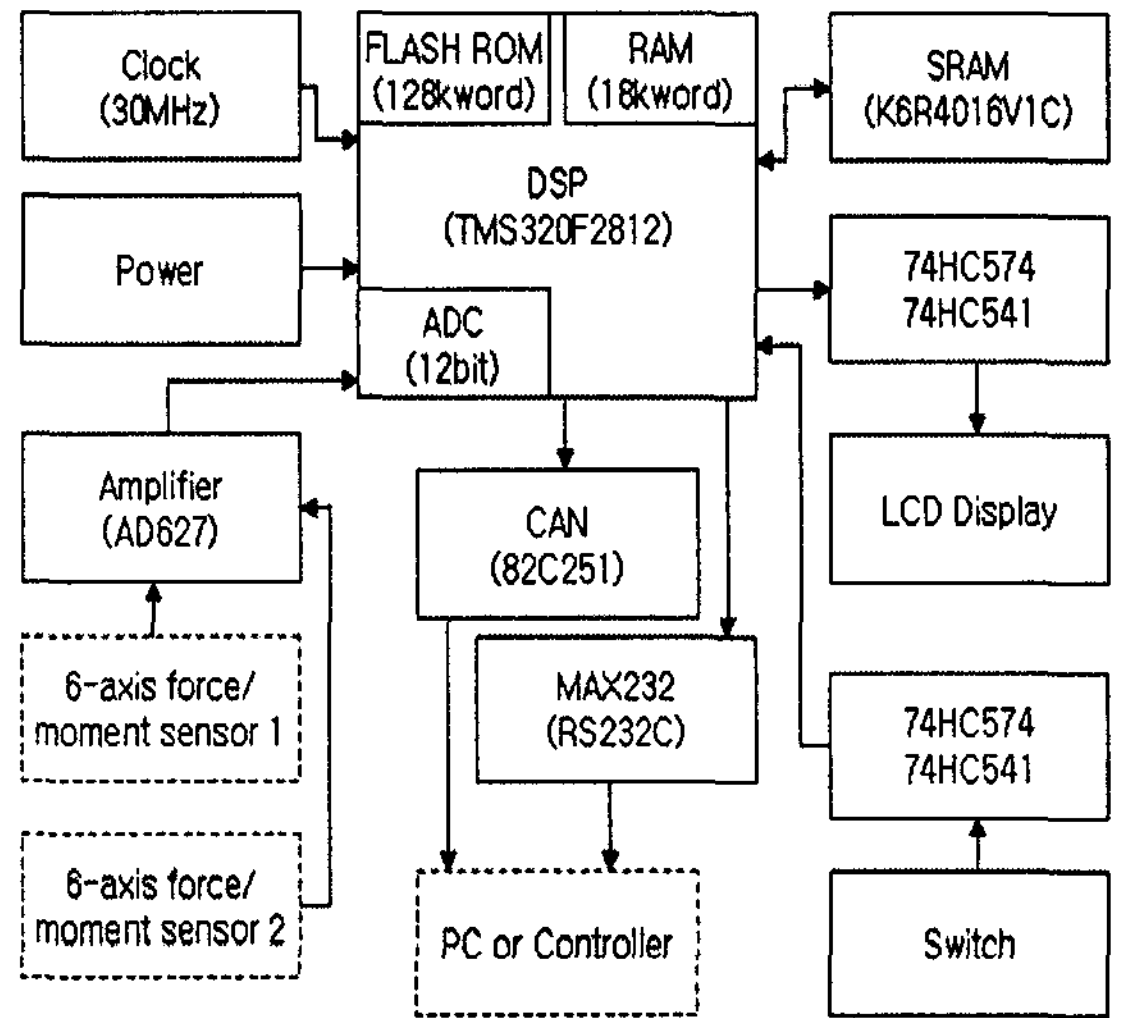


Fig. 5 Block diagram of measuring device for intelligent shoe system

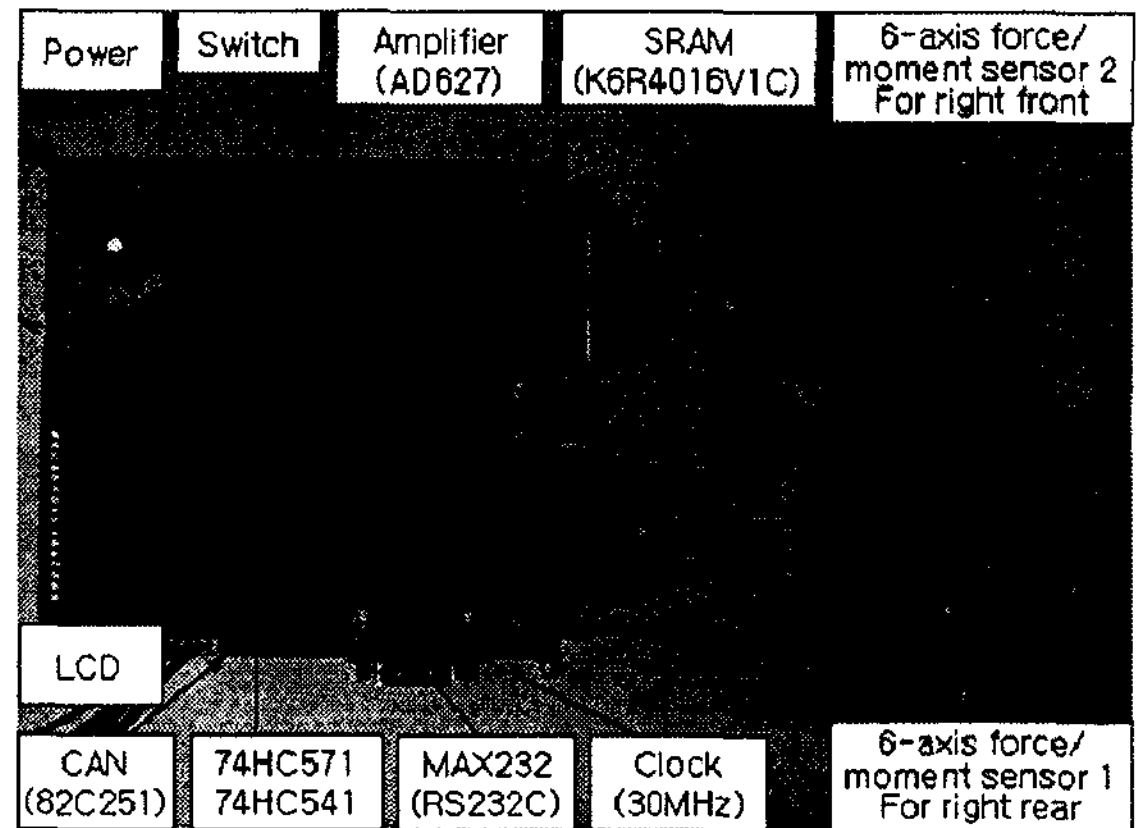


Fig. 6 Photograph of the developed measuring device for intelligent right shoe system

2.3 고속측정장치

Fig. 5 는 6 축 힘/모멘트 센서 고속측정기의 블록도를 나타내고 있고, Fig. 6 은 오른쪽 발을 위해

제작된 6 축 힘/모멘트 센서의 고속측정기를 나타내고 있으며, 왼쪽의 고속측정기도 오른쪽의 그것과 같다. 이 고속측정기는 DSP(digital signal processor), 외부 메모리(memory), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP 는 30MHz 크리스털을 사용하여 발생된 클럭(clock)을 DSP 내부에서 5 배 증폭시켜 150 MHz 로 동작되고, 내부 플래쉬롬에 프로그래밍된 동작 프로그램을 램에 임시로 저장한 상태에서 각각의 명령을 처리하며, A/D 컨버터, 병렬 인터페이스, 직렬 통신 인터페이스 등을 동작 시킨다.

A/D 컨버터는 6 축 힘/모멘트 감지센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위하여 사용되고, 병렬 인터페이스는 LCD 에 신호를 주기 위하여 사용되며, 직렬통신 인터페이스는 컴퓨터 혹은 다른 제어장치와 통신하기 위해 사용된다. 그리고 전원은 DSP 와 다른 주변장치들에 전압 9V, 5V, 3.3V, 1.8V 를 각각 공급한다.

스위치는 원하는 6 축 힘/모멘트 센서의 각 센서(Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서, Mx 센서, My 센서, Mz 센서)의 측정값을 LCD 에 나타내기 위해 사용된다. 제작된 6 축 힘/모멘트 센서 측정기의 크기는 125mm×135 mm 이다.

Fig. 7 은 측정장치의 흐름도를 나타내고 있다. 측정기의 동작흐름은 첫째, 측정기의 전원 스위치를 ON 하면 각 센서의 출력값을 순차적으로 측정하여 LCD 에 출력하는 초기화를 실시한다. 둘째, 측정하고자 하는 센서의 채널을 선택한다. 셋째, 각 센서의 출력값을 몇 번을 읽어 평균할 것인가의 읽는 횟수를 결정한다. 이것은 데이터의 처리속도와 측정값의 안정도를 위해서 선택해야 한다. 넷째, 측정값의 지시를 어떻게 할 것인가를 결정한다. LCD 에만 출력, LCD 에 출력함과 동시에 RAM 저장, LCD 에 출력함과 동시에 RS232C 통신을 이용하여 컴퓨터에 저장 혹은 모니터에 출력, 그리고 LCD 에 출력하고 RAM 에 저장하며 컴퓨터에 송신하는지를 선택한다. 이것은 데이터의 처리속도를 고려하여 선택해야 한다. 데이터 처리속도에 영향을 미치는 요소들은 측정하는 센서의 수, LCD 표시 및 그의 수, 컴퓨터로의 RS232C 통신 및 데이터 수, 평균횟수 등이다.

3. 신발시스템의 실험결과 및 고찰

3.1 신발시스템의 교정

지능형 신발시스템의 교정은 4 개의 6 축 힘/모멘트센서를 각각 6 축 힘/모멘트센서 교정장치⁷에 고정하고, 정격하중 $F_x=F_y=50\text{kg}$, $F_z=100\text{kg}$ 과 모멘트 $M_x=M_y=1.8\text{kg.m}$, $M_z=0.8\text{kg.m}$ 를 각각 가하였다. 개발한 고속측정기의 아날로그/디지털 컨버터(ADC: analog/digital converter)가 0~3300mV 범위로 변환이 가능하므로 4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 무부하에서의 출력을 1500mV 로 증폭기의 가변저항을 가변시켜 조정하였고, 각 센서의 정격하중에서 +방향으로는 1200mV, 즉 2700mV 가 되도록 조정하였으며, -방향으로는 -1200mV, 즉 300mV 가 되도록 조정하였다.

따라서 지능형 신발시스템에 각각의 센서의 +정격하중을 가하였을 때 최대는 2700mV 가 출력되고 -정격하중을 가하였을 때에는 300mV 가 출력된다. 출력값(mV)을 하중(kg)으로 환산하면, Fx 와 Fy 센서는 $1\text{mV}=0.04167\text{kg}(41.67\text{g})$, Fz 센서는

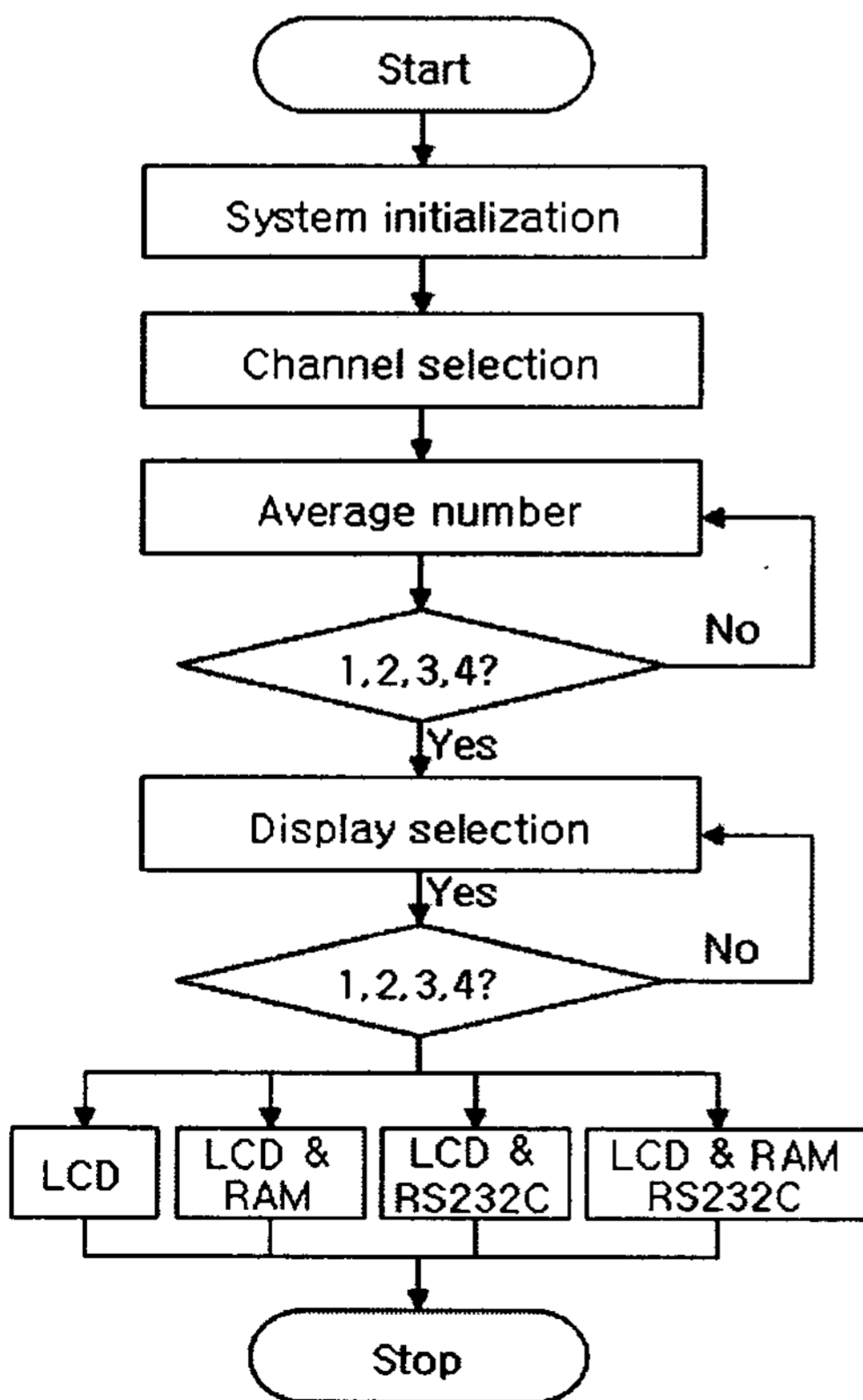


Fig. 7 Flow chart of high measuring device

1mV=0.08333kg (83.33g), Mx 와 My 센서는 1mV=0.0015kg.m, Mz 센서는 1mV=0.00067kg.m 이다.

Fig. 8 는 지능형 신발시스템에 부착된 4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 방향을 나타내고 있다.

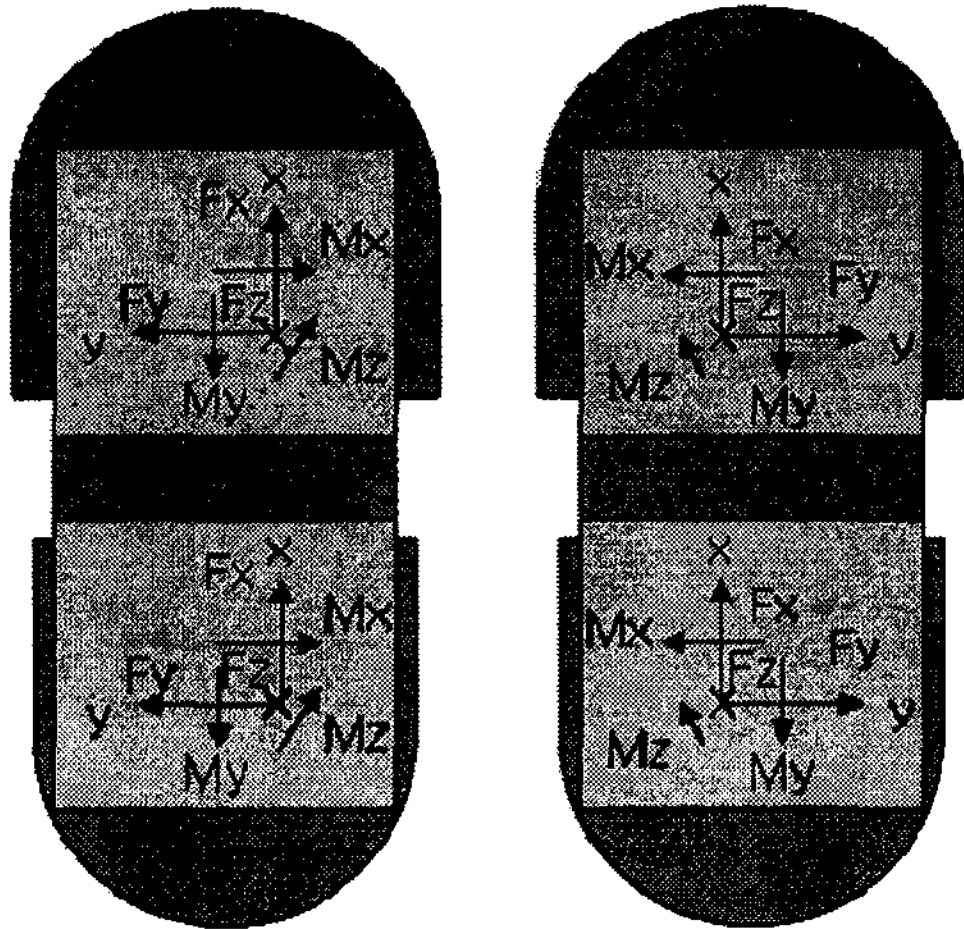


Fig. 8 Directions of each sensor for four sensors

특성실험은 지능형 신발시스템의 안정도 실험과 사람이 신발을 신고 걷는 실험으로 구분되며, 실험결과 그래프에 나타난 Fx1, Fy1, Fz1, Mx1, My1, Mz1 는 오른쪽 발바닥의 뒤꿈치부분의 6 축 힘/모멘트센서 1 의 각각 3 방향의 힘과 3 방향의 모멘트이고, Fx2, Fy2, Fz2, Mx2, My2, Mz2 는 앞꿈치부분의 6 축 힘/모멘트센서 2 의 각각 3 방향의 힘과 3 방향의 모멘트이다. 그리고 Fx3, Fy3, Fz3, Mx3, My3, Mz3 는 왼쪽 발바닥의 뒤꿈치부분의 6 축 힘/모멘트센서 3 의 각각 3 방향의 힘과 3 방향의 모멘트이고, Fx4, Fy4, Fz4, Mx4, My4, Mz4 는 앞꿈치부분의 6 축 힘/모멘트센서 4 의 각각 3 방향의 힘과 3 방향의 모멘트이다.

Fig. 9 는 지능형 신발시스템의 오른쪽 신발의 안정도실험 결과이며, x 축은 시간, y 축은 각 센서의 출력을 mV 단위로 나타낸 것이다. 4 개의 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서 출력이 무부하에서 1500 mV 정도가 출력되나 그래프의 수를 줄이기 위하여 Fig. 9 에 나타난 Fx1, Fy1, Fz1, Mx1, My1, Mz1, Fx2, Fy2, Fz2, Mx2, My2, Mz2 센서를 1500mV 부터 20mV 단계로 더하여 1720mV 까지 표시하였다.

무부하 안정도실험 결과는 ±3mV 이하의 오차를

나타내고 있다. 이 값을 하중과 모멘트로 환산하면, Fx 와 Fy 센서는 ±0.125kg(125g), Fz 센서는 ±0.250kg(250g), Mx 와 My 센서는 ±0.0045kg.m, Mz 센서는 ±0.00201kg.m 이다. 이와 같은 오차는 매우 빠른 시간으로 데이터를 받기 위해 프로그램상에서 평균처리를 하지 않았으므로 발생된 오차, 외부에서 고속측정장치에 유입되는 노이즈 등 때문이다. 이 결과들을 최대하중을 기준으로 계산한 오차는 모두 ±0.25%이고, 이것은 매우 작으므로 지능형 신발시스템은 보행시 발바닥에 가해지는 힘과 모멘트 정보를 측정하는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

오른쪽 신발의 안정도실험 결과도 오른쪽 신발의 안정도실험 결과와 비슷함을 확인하였다.

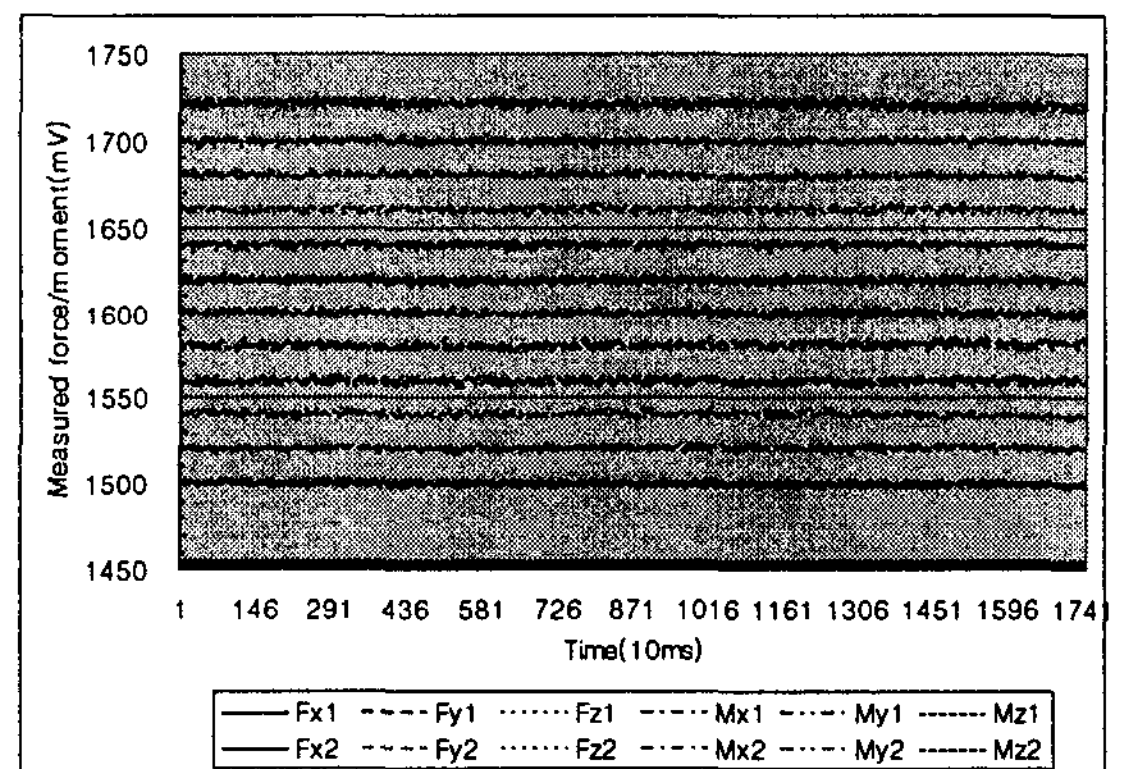
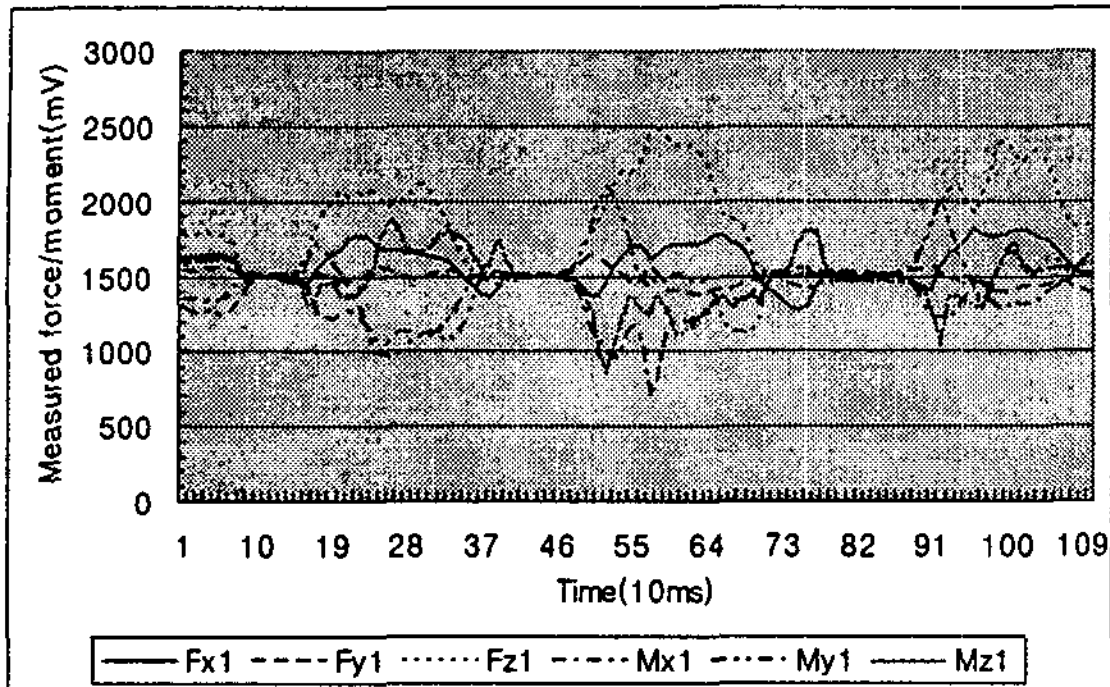
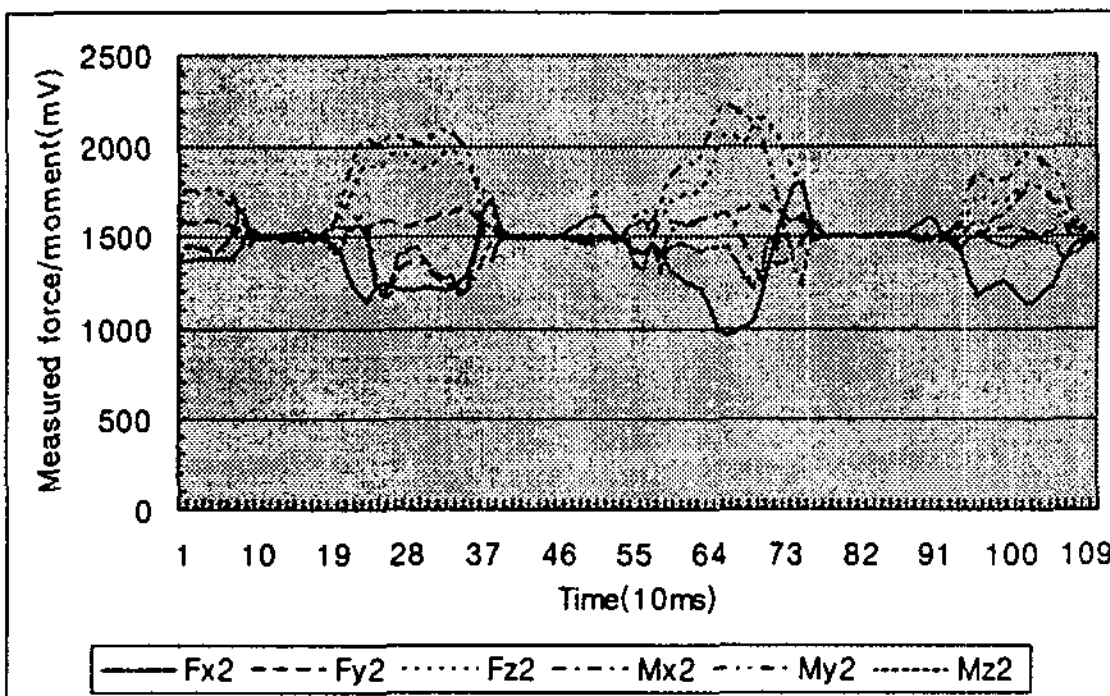


Fig. 9 Stability characteristic test of intelligent right shoe system (three minutes)

Fig. 10 의 (a)는 평지를 천천히 걸을 때의 오른쪽 발의 뒤꿈치 센서로부터 출력된 값들을 나타낸 그래프, (b)는 앞꿈치 센서로부터 출력된 값들을 나타낸 그래프이다. Fig. 10 에서 보는 것과 같이 사람의 체중을 감지하는 Fz 센서의 출력값은 센서가 지면과 접촉할 때 크게 나타났고, My 센서의 출력값은 발의 뒤꿈치로부터 앞꿈치로 이동할 때 +와 -값으로 증가와 감소를 반복하며, Mx 센서의 출력값은 보행시 좌우측으로의 무게중심이 이동함에 따라 출력값이 크게 나타난다. 그리고 Fx, Fy, Mz 센서는 보행시 각 방향으로 가해지는 그들의 값을 나타내고 있다. 측정결과를 분석하면 사람이 보행할 때 예상하였던 것과 같이 힘과 모멘트들이 출력됨을 확인할 수 있었다.



(a) Heel of right shoe



(b) Toe of right shoe

Fig. 10 Walking characteristic test on flat surface of land under taking the intelligent shoe system

4. 결론

본 논문에서는 4 개의 6 축 힘/모멘트센서, 2 개의 고속측정장치로 구성되는 지능형 신발시스템을 개발하였다. 제작한 6 축 힘/모멘트센서는 상호간섭 오차가 3%이내로 상용화된 센서⁸의 그것과 비슷하며, 고속측정장치는 안정도실험결과 $\pm 3\text{mV}$ 이내 (0.5%)이내의 오차를 보였다. 그리고 지능형 신발시스템을 신고 걷는 특성실험결과 사람의 보행시 예상했던 힘과 모멘트의 출력이 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 개발한 지능형 신발시스템은 사람의 보행특성실험에 사용될 수 있을 뿐만 아니라 인간형 로봇의 지능형 발에 기초실험 데이터로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원

으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10468-0).

참고문헌

1. Nishiwaki, K., Kagami, S., Kuniyoshi, Y., Inaba, M. and Inoue, H., "Toe Joint that Enhance Bipedal and Full Body Motion of Humanoid Robots," Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 3105-3110, 2002.
2. Takao, S., Ohta, H., Yokokohji, Y. and Yoshikawa, T., "Function Analysis of Human-like Mechanical Foot, using Mechanically Constrained Shoes," Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 4, pp. 3847-3852, 2004.
3. Takahashi, Y., Kagami, S., Ehara, Y., Mochimaru, M., Takahashi, M. and Mizoguchi, H., "Six-axis Force Sensing Footwear for Natural Walking Analysis," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 6, pp. 5374-5379, 2004.
4. Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of 6-axis force/moment sensor for robot's intelligent foot," J. of KSPE, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.
5. Kim, G. S. "Design of a Robots Hand with Two 3-axis Force Sensor for Grasping an Unknown Object," International Journal Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 4, No. 3, pp. 12-19, 2003.
6. Nagai, K., Ito, Y., Yazaki, M., Higuchi, K. and Abe, S., "Development of a small Six-component force/torque sensor based on the double-cross structure," Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 22, No. 3, pp. 361-369, 2004.
7. Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation," J. of KSPE, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.
8. ATI INDUSTRIAL AUTOMATION, "Multi-Axis Force/Torque Sensor," ATI INDUSTRIAL AUTOMATION, pp. 4-45, 2005.