

성인 체중을 고려한 로봇의 지능형 발을 위한 6 축 힘/모멘트센서 개발

김갑순#, 윤정원*

Development of 6-Axis Force/Moment Sensor Considered Adult Weight for a Humanoid Robot's Foot

Gab-Soon Kim # and Jungwon Yoon *

ABSTRACT

This paper describes the development of 6-axis force/moment sensor considered adult weight for an intelligent foot of humanoid robot. In order to walk on uneven terrain safely, the foot should perceive the applied forces F_x , F_y , F_z and moments M_x , M_y , M_z to itself, and control the foot using the forces and moments. The applied forces and moments should be measured from a 6-axis force/moment sensor attached to the foot, which is composed of F_x sensor, F_y sensor, F_z sensor, M_x sensor, M_y sensor and M_z sensor in a body. Each sensor should get the deferent rated load, because the applied forces and moments to foot in walking are deferent. Therefore, one of the important things in the sensor is to design each sensor with the deferent rated load and the same rated output.

In this paper, a 6-axis force/moment sensor (rated load of F_x and F_y are 500Nm and F_z sensor is 1000N, and those of M_x and M_y are 18Nm, M_z sensor is 8Nm) for perceiving forces and moments in a humanoid robot's foot was developed using many PPBs (parallel plate-beams). The structure of the sensor was newly modeled, and the sensing elements (plate-beams) of the sensor were designed using by ANSYS software (FEM (Finite Element Method) program). Then, a 6-axis force/moment sensor was fabricated by attaching strain-gages on the sensing elements, and the characteristic test of the developed sensor was carried out. The rated outputs from FEM analysis agree well with that from the characteristic test.

Key Words : 6-axis force/moment sensor (6 축 힘/모멘트센서), Interference error (상호간섭오차), Rated output (정격출력), Rated load (정격하중), Intelligent foot (지능형 발), Humanoid robot (인간형 로봇)

1. 서론

과학자들은 인간과 비슷한 기능을 가진 인간형 로봇을 만들기를 원하고 있으며 그것을 위해 많은

투자와 연구를 하고 있다. 로봇의 기능 중 가장 중요한 것 중의 하나가 지능형 발이다. 이것은 인간형 로봇이 규칙 혹은 불규칙한 지면에서 넘어지지 않고 인간과 같이 자연스럽게 걷기 위해 필수

☞ 접수일: 2007년 2월 6일; 게재승인일: 2007년 4월 30일

교신저자: 경상대학교 제어계측공학과, ERI

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

* 경상대학교 기계항공공학부

적으로 필요한 부품이다. 로봇이 어떤 지면에서도 안전하게 걷기 위해서는 발바닥에 가해지는 3 개 방향의 힘(F_x, F_y, F_z)과 3 개 방향의 모멘트(M_x, M_y, M_z)를 감지해야 하고, 그 결과로 무게중심이 발뒤꿈치로부터 엄지와 중지 발가락 사이로 이동하도록 지능형 발을 제어해야 한다. 로봇의 발바닥에 가해지는 힘들과 모멘트들의 측정은 힘 F_x, F_y, F_z 와 모멘트 M_x, M_y, M_z 를 동시에 측정할 수 있는 6 축 힘/모멘트센서를 이용해야 한다. 그러나 현재 국내의에서 개발한 인간형 로봇의 대부분은 6 축 힘/모멘트센서를 부착하지 않았거나 산업용 6 축 힘/모멘트센서를 부착하여 걷는 연구를 수행하고 있으므로 힘들과 모멘트들의 측정 정확성이 떨어져 인간과 같은 비슷한 기능을 충분히 발휘하지 못한다.¹⁴

인간형 로봇의 발에 작용되는 3 개 방향의 힘과 3 개 방향의 모멘트를 감지하는 6 축 힘/모멘트센서는 측정 정확도를 높이기 위하여 몸체의 체중을 감지하는 방향의 힘센서의 정격용량을 크게, 다른 두 방향의 힘 센서의 정격용량을 작게, 각각의 모멘트도 로봇의 무게를 고려하여 정격용량을 같도록, 그리고 6 개의 모든 센서의 정격출력이 비슷하도록 설계되어야 한다. 그러나 선진국에서 판매되고 있는 산업용 6 축 힘/모멘트센서는 인간형 로봇의 발을 위해 설계 및 제작하지 않았으므로 정격용량과 정격출력 등에서 인간형 로봇에 부착하기에 적합하지 않다.⁵⁻¹¹ 정밀 측정하는 모든 센서에서 정격하중에서의 정격출력이 중요하듯이 로봇의 발을 위한 6 축 힘/모멘트센서도 가해지는 정격 힘들과 모멘트들에서의 정격출력이 중요하다.

따라서 인간형 로봇의 발에 작용되는 힘과 모멘트들을 정밀하게 측정하기 위해 로봇의 무게를 고려하여 제작할 수 있는 새로운 구조로 모델링된 6 축 힘/모멘트센서의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 인간형 로봇의 지능형 발을 위한 6 축 힘/모멘트센서(정격출력: F_x 센서= F_y 센서= $500N, F_z$ 센서= $1000N, M_x$ 센서= M_y 센서= $18Nm, M_z$ 센서= $8Nm,$ 정격출력:모든 센서 약 $0.5mV/V$)를 개발하였다. 이 센서를 개발하기 위하여, 여러 개의 평행평판을 이용하여 새로운 구조를 모델링하였고, 유한요소법을 이용하여 센서를 설계하였으며, 스트레인지케이지를 부착하여 센서를 제작하였다. 그리고 개발된 센서의 특성실험을 실시하였다.

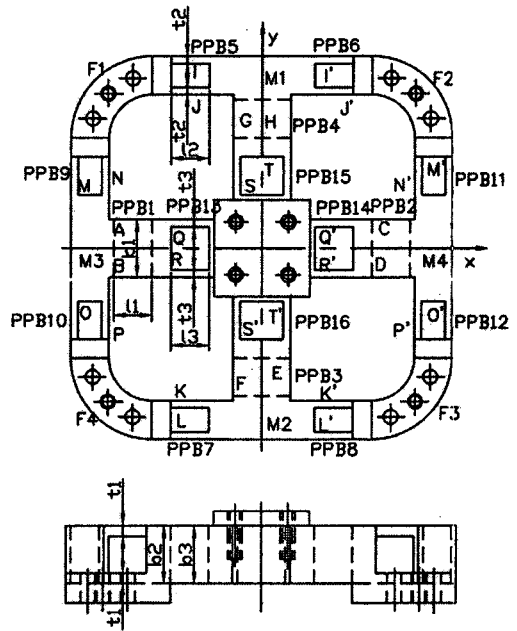


Fig. 1 Structure of sensing element for 6-axis force/moment sensor

2. 6 축 발목 힘/모멘트센서의 설계

2.1 감지부의 구조

본 연구에서는 인간형 로봇의 발을 위한 6 축 힘/모멘트센서를 제작하기 위하여 6 개의 각 센서가 정격용량이 다르고 정격출력이 비슷하도록 설계할 수 있는 새로운 구조를 모델링하였다. Fig. 1 은 6 축 힘/모멘트센서의 감지부 구조를 나타내고 있다. 이 센서는 힘/모멘트 전달블록 (force/moment transmitting block), 고정블록 F1~4(fixing block F1~4), 이동블록 M1~4(moving block M1~4), 평행평판보 PPB1~16(parallel plate-beam PPB1~16)으로 구성된다. 센서의 구조는 중앙의 힘/모멘트 전달블록을 중심으로 십자형으로 수평과 수직으로 연결된 평행평판보(PPB1~4, PPB13~16)가 형성되며, 그 끝에는 수직인 평행평판보(PPB5~12) 각각 두개가 일직선으로 연결된 이동블록(M1~4)과 연결되어 있다. 그리고 평행평판보(PPB5~12)의 끝은 4 개의 고정블록 (F1~4)과 조합되어 한 몸체로 형성된다.

힘과 모멘트들을 감지하는 감지부는 평행평판보(PPB1~4, PPB13~16)이고, PPB1 과 PPB2 는 모멘트 M_y , PPB3 과 PPB4 는 힘 F_z 와 모멘트 M_x ,

PPB13 과 PPB14 는 힘 F_y 와 모멘트 M_z , PPB15 와 PPB16 은 힘 F_x 를 각각 감지한다. 평행평판보 PPB1~4 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_1 , 두께 t_1 , 길이 l_1 이고, 평행평판보 PPB5~12 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_2 , 두께 t_2 , 길이 l_2 이며, 평행평판보 PPB13~16 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_3 , 두께 t_3 , 길이 l_3 이다. 6 축 힘/모멘트센서의 설계를 위해 결정되어야 할 설계 변수는 평행평판보의 폭 b_1, b_2, b_3 , 두께 t_1, t_2, t_3 , 길이 l_1, l_2, l_3 와 각 평행평판보를 구성하는 두보 사이의 거리이고, 이 변수들의 크기를 결정하기 위하여 유한요소해석(FEM, finite element method)을 실시한다.

2.2 센서의 설계변수

본 논문에서 모델링된 6 축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격축력, 정격하중, 평행평판보 PPB1~4 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_1 , 두께 t_1 , 길이 l_1 , 평행평판보 PPB5~12 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_2 , 두께 t_2 , 길이 l_2 , 평행평판보 PPB13~16 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_3 , 두께 t_3 , 길이 l_3 , 센서의 설계를 위한 변수는 평행평판보의 폭 b_1, b_2, b_3 , 두께 t_1, t_2, t_3 , 길이 l_1, l_2, l_3 이다.

각 센서는 4 개의 스트레인게이지로 휘스톤브리지를 구성한다.⁵⁻⁹ 정격변형률은 정격하중이 가해질 때 휘스톤브리지에서 출력되는 총 변형률을 의미하고 이것의 값은 다음과 같은 식으로부터 계산된다.

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

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

정격출력은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

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

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

다.

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 $250 \mu m/m$ 로 결정하였다. 본 논문에서는 위의 설계변수와 유한요소 프로그램(ANSYS Program)을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서를 설계하였다. 6 축 힘/모멘트센서는 추후 연구에서 로봇의 발바닥의 앞과 뒤부분에 부착됨을 고려하여 센서의 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. F_z 센서의 정격하중은 보통 성인의 몸무게 $70kg$ (약 $700N$)과 약간의 설계여유를 고려하여 결정되었고, 힘 F_x 와 F_y 는 로봇이 걸을 때 x 축과 y 축 방향으로 부딪치는 힘을 몸무게의 $1/2$ 로 가정하여 $500N$ 으로 결정되었으며, M_x 와 M_y 센서는 몸무게($700N$)와 로봇발의 뒤꿈치의 반($25mm$ 이하)을 고려하여 결정되었다. 그리고 M_z 는 로봇이 서 있는 상태에서 발의 뒤꿈치 축으로 회전하는 회전력을 고려하였는데 이것은 로봇의 보행에서 크게 중요하지 않으므로 대략 $8Nm$ 로 결정하였다.

2.3 유한요소법을 이용한 센서설계

본 논문에서는 결정한 설계변수들을 ANSYS 소프트웨어에 적용하여 6 축 힘/모멘트센서의 감지부를 설계하였다. 유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 $70GPa$, 프와송의비가 0.3 이며, 8 절점 6 면체블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 $0.5mm$, 두께방향으로는 4 등분, 폭방향으로는 6 등분하였다.

Fig. 2 는 센서를 유한요소법으로 해석하기 위해 격자를 나눈 모습을 나타내고 있다. Fig. 3 은 힘 F_x 혹은 F_y , Fig. 4 는 F_z , Fig. 5 는 M_x 혹은 M_y , Fig. 6 은 M_z 가 가해졌을 때의 센서 감지부의 변형된 모습을 나타내고 있으며, 모두 센서의 구조를 모델링할 때 예상했던 모습으로 변형되었다. 여러 번의 소프트웨어를 수행시켜 6 축 힘/모멘트센서의 각각의 정격하중인 힘들과 모멘트들을 가하여 센서들의 감지부 크기, 즉 평행평판보의 폭

b_1, b_2, b_3 , 두께 t_1, t_2, t_3 , 길이 l_1, l_2, l_3 를 결정하였다.

본 연구에서 모델링한 6 축 힘/모멘트센서의 구조가 상하, 좌우 대칭이므로 평판보 Q, R, A, B 의 유한요소해석 결과를 나타낸다. 이것은 구조가 대칭이므로 서로 맞은 편에 있는 평판보들의 해석결과가 모두 같기 때문이다.

Fig. 7 은 힘 F_y (혹은 힘 F_x)가 작용되었을 때 평판보 Q 와 R (감지부)의 변형률 분포를 나타내고 있다. 두 평판보는 힘/모멘트 전달블록 쪽의 보끝 지점으로부터 4.8mm 점에서 변형률이 0 이고, 힘/모멘트 전달블록 쪽이 반대쪽 보다 더 큰 변형률을 나타내고 있다. Fig. 8 은 힘 F_z 가 작용되었을 때 평판보 A 와 B 의 변형률 분포를 나타내고 있다. 두 평판보는 힘/모멘트 전달블록 쪽의 보끝 지점으로부터 4.2mm 점에서 변형률이 0 이고, 힘/모멘트 전달블록 쪽의 반대쪽이 더 큰 변형률을 나타내고 있다.

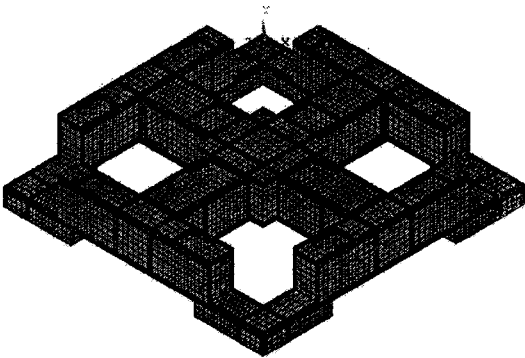


Fig. 2 Finite element meshes for FEM analysis of 6-axis force/moment sensor in 3-dimension

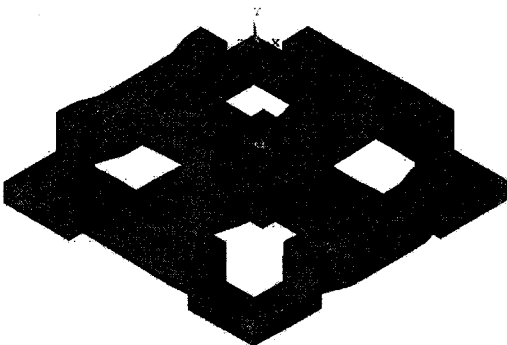


Fig. 3 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under force F_x or F_y

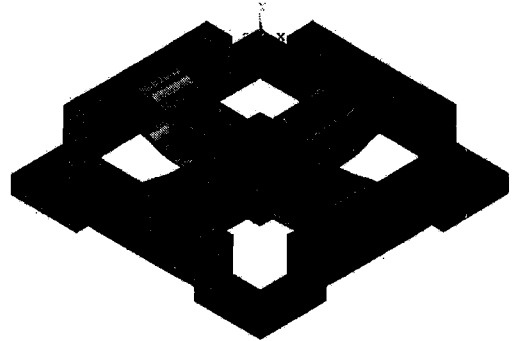


Fig. 4 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under force F_z

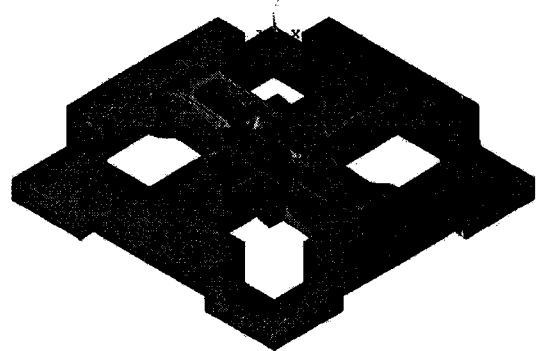


Fig. 5 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under moment M_x or M_y

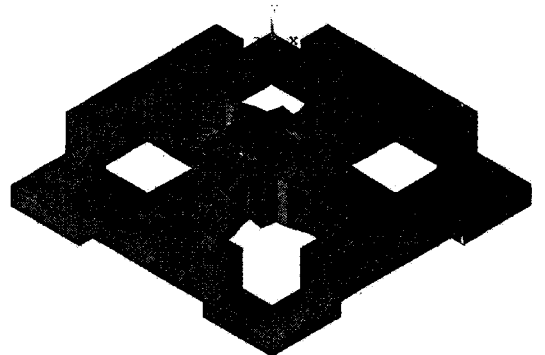


Fig. 6 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under moment M_z

Fig. 9 는 모멘트 M_y (혹은 모멘트 M_x)가 작용되었을 때 평판보 A 와 B 의 변형률 분포를 나타내고 있다. 두 평판보는 힘/모멘트 전달블록 쪽의 보끝 지점으로부터 4.6mm 점에서 변형률이 0 이고,

힘/모멘트 전달블록 쪽이 반대쪽 보다 더 큰 변형률을 나타내고 있다. Fig. 10 은 모멘트 M_z 가 작용되었을 때 평판보 Q와 R의 변형률 분포를 나타내고 있다. 두 평판보는 힘/모멘트 전달블록 쪽의 보 끝 지점으로부터 5.4mm 점에서 변형률이 0 이고, 힘/모멘트 전달블록 쪽이 반대쪽 보다 더 큰 변형률을 나타내고 있다.

변형률이 0 인 지점이 보의 중심으로부터 힘/모멘트 전달블록의 반대쪽으로 치우친 것은 힘과 모멘트들이 가해졌을 때 이동블록(M1~M4)이 미소하게 이동 혹은 회전되었기 때문이고, 변형률이 보의 양끝 지점 부근에서 다소 작아지는 경향을 보이는 것은 보의 끝 효과 때문이다.

본 연구에서 모델링한 6 축 힘/모멘트센서의 구조상 평판보 Q와 R은 힘 F_x , F_y 와 모멘트 M_z 센서의 감지부이고 평판보 A와 B는 힘 F_z 와 모멘트 M_x , M_y 의 감지부이므로 Fig. 7~10 을 고려하여 스트레인게이지 부착위치를 선정해야 한다.

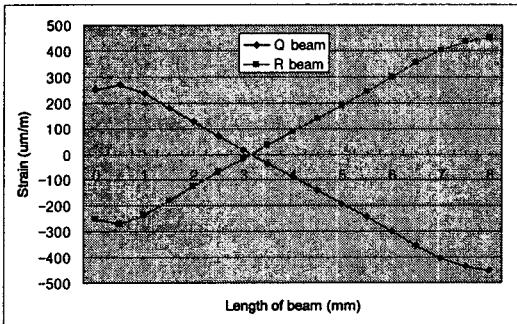


Fig. 7 Strain distribution on the beams Q and R under force F_y (beams S and T under force F_x)

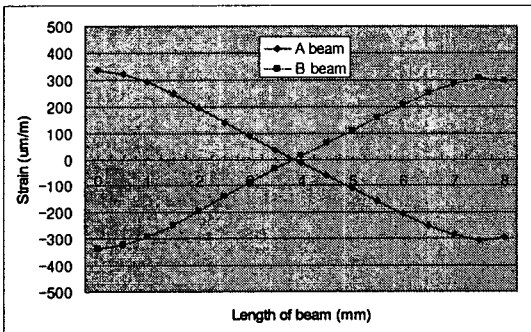


Fig. 8 Strain distribution on the beams A and B under force F_z

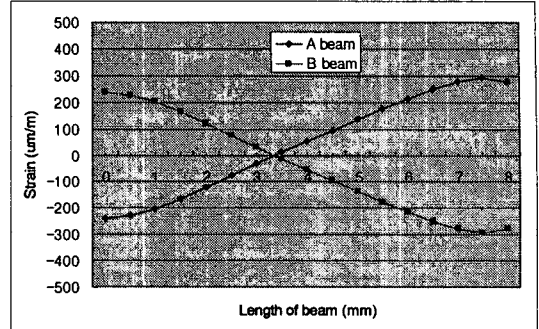


Fig. 9 Strain distribution on the beams A and B under Moment M_y (beams E and F under moment M_x)

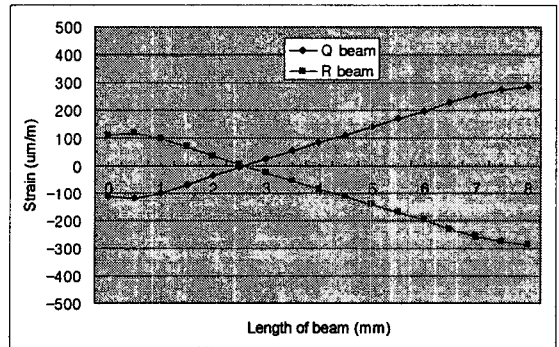


Fig. 10 Strain distribution on the beams Q and R under moment M_z

따라서 각 센서의 스트레인게이지 부착위치는 힘 F_x 센서와 F_y 센서는 평판보 Q와 R 보의 힘/모멘트 전달블록의 반대쪽 부근으로 결정하였고, 모멘트 M_z 센서는 힘/모멘트 전달블록 쪽 부근으로 결정하였다. 이것은 Fig. 10 에서 보는 것과 같이 모멘트 M_z 를 가했을 때 힘/모멘트 전달블록 쪽이 그의 반대 쪽보다 2.5 배 이상의 변형률을 나타내고 있기 때문이다. 힘 F_z 센서는 평판보 A와 B 보의 힘/모멘트 전달블록의 반대쪽 부근으로 결정하였고, 모멘트 M_x 센서와 M_y 센서는 힘/모멘트 전달블록 쪽 부근으로 결정하였다. 이것은 Fig. 8 과 9 에서 보는 것과 같이 힘 F_z 를 가했을 때에는 힘/모멘트 전달블록의 반대 쪽, 그리고 모멘트 M_x 와 M_y 를 가했을 때는 힘/모멘트 전달블록 쪽이 큰 변형률을 나타내고 있기 때문이다.

3. 6 축 힘/모멘트센서 제작

3.1 게이지 부착위치 및 유한요소해석결과

유한요소 해석결과를 토대로 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, Fig. 11에 나타내고 있다. 스트레인게이지의 부착위치는 Fx 센서가 S1~S4, Fy 센서가 S5~S8, Fz 센서가 S9~S12, Mx 센서가 S13~S16, My 센서가 S17~S20, Mz 센서가 S21~S24이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 평행평판보의 양끝지점으로부터 1mm 이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 각 센서의 스트레인게이지 부착위치는 4 개의 부착위치에서의 변형률들을 식 (1)에 대입하여 상호간섭오차가 0%이 되는 지점으로 결정되었다. Table 1은 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. Fx 와 Fy 센서의 경우에는 설계변수로 결정한 정격변형률 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 이하이었고, 그외의 센서들의 변형률은 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ 이상이었으며, 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. 본 논문에서는 6 축 힘/모멘트센서의 정격용량이 힘 Fx, Fy 가 500N, Fz 센서가 1000N, 모멘트 Mx, My 가 18Nm, Mz 센서가 8Nm 로 설계하였으나 힘 Fx, Fy 는 10~100N, Fz 센서는 20~2000N, 모멘트 Mx, My 는 3~36Nm, Mz 센서는 1.6~16Nm 범위로 설계가 가능하고 재질을 알루미늄합금에서 철합금으로 바꾸면 정격용량을 최고 3 배까지 향상시킬 수 있다.

3.2 센서제작과 실험결과 및 고찰

6 축 힘/모멘트센서는 각 센서 감지부의 스트레인게이지 부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3x7.2mm)를 부착하고 휘스톤 브리지⁵⁻⁹를 구성하여 제작하였으며, 제작된 센서의 사진을 Fig. 12에 보이고 있다. Fig. 13은 제작한 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험을 위한 실험장치¹²를 나타내고 있으며, 사용된 다축 힘/모멘트센서 교정기는 힘 Fx, Fy, Fz를 모두 2000N, 모멘트 Mx, My, Mz를 모두 500Nm를 연속적으로 발생시킬 수 있으며, 1×10^{-4} 의 상대확장불확도를 가지고 있

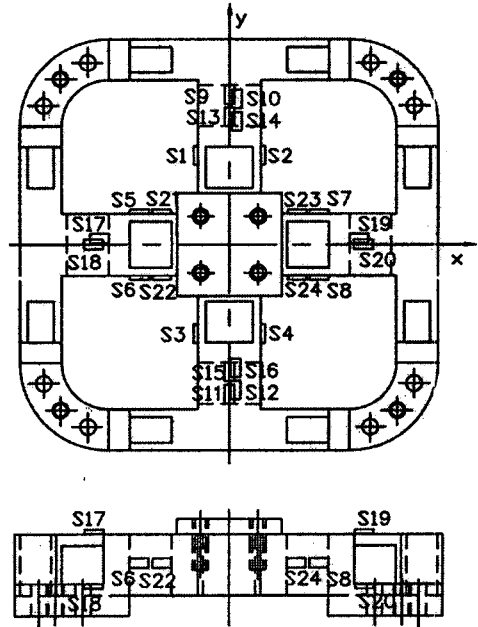


Fig. 11 Attachment location of strain-gages for each sensor

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

Sensor	Strain ($\mu\text{m}/\text{m}$)				
	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

다. 6 축 힘/모멘트센서의 실험은 정격하중 Fx=Fy=500N, Fz=1000N 과 모멘트 Mx=My=18Nm, Mz=8Nm 를 가하고 정격출력을 측정하였으며, 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다.

Table 2는 유한요소해석과 실험결과와의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 유한요소해석결과와의 정격출력은 Table 1의 정격변형률 ϵ 을 식 (2)에 적용하여 계산된 것이고, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 특성실험한 결과를 나타내고 있다.

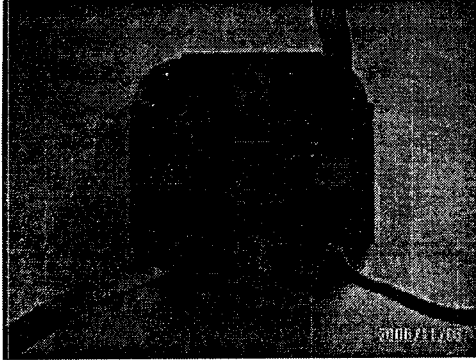


Fig. 12 Photograph of developed 6-axis force/moment sensor

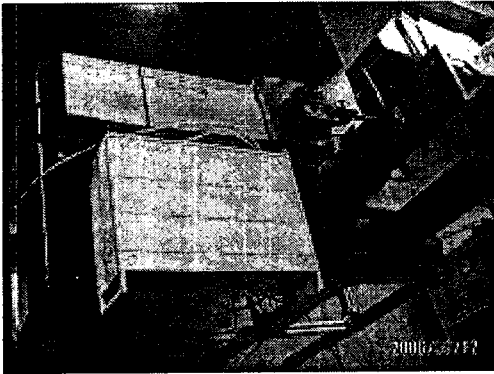


Fig. 13 Experimental set up for developed 6-axis force/moment sensor

유한요소해석결과를 기준으로 실험결과의 오차는 Fx 센서가 4.4%, Fy 센서가 2.3%, Fz 센서가 -5.1%, Mx 센서가 -7.6%, My 센서가 9.6%, Mz 센서가 4.1% 이었으며, 최대오차는 9.6%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다.

Table 3 은 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 상호간섭오차는 Fx 센서가 2.01%, Fy 센서가 2.06%, Fz 센서가 1.52%, Mx 센서가 2.46%, My 센서가 -2.42%, Mz 센서가 2.01%이었다. 따라서 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.46% 이다.

본 연구에서 모델링한 6 축 힘/모멘트센서 구조는 힘 Fx 센서, Fy 센서와 모멘트 Mz 센서의 감지부로 평행평판보 PPB13~16 을 사용하고, 힘 Fz 센서와 모멘트 Mx 센서, My 센서의 감지부로 평행평판보 PPB1~4 를 사용하므로 로봇과 같이 몸무

Table 2 Rated output from FEM and characteristic test of each sensor

Sensor	Rated output (mV/V)		
	FEM	Exp.	Error
Fx	0.477	0.498	4.4
Fy	0.477	0.488	2.3
Fz	0.560	0.531	-5.1
Mx	0.564	0.521	-7.6
My	0.564	0.510	9.6
Mz	0.515	0.536	4.1

Table 3 Interference error of each sensor

Sensor	Interference error (%)					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx=500N	-	0.44	0.24	0.12	-2.42	-0.09
Fy=500N	0.02	-	0.19	2.46	0.21	2.01
Fz=1000N	0.08	0.31	-	-1.12	1.62	0.17
Mx=18Nm	-0.29	2.06	-1.09	-	-0.10	-0.62
My=18Nm	2.01	-0.84	1.52	0.16	-	0.81
Mz=8Nm	-0.96	2.03	0.49	0.89	0.23	-

게의 방향 Fz, Mx, My 의 큰 힘과 모멘트의 감지가 필요한 6 축 힘/모멘트센서의 설계 및 제작에 적합한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 인간형 로봇의 지능형 발에 사용될 수 있는 6 축 힘/모멘트센서를 개발하였다. 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 특성실험결과 2.46% 임을 확인하였고, 이것은 선진국에서 이미 판매하고 있는 산업용 6 축 힘/모멘트센서^{10,11} 의 그것과 비슷한 수준이다. 센서의 크기도 가로와 세로가 모두 80mm, 높이가 19mm 이므로 인간형 로봇의 지능형 발을 위해 사용하기에 적합한 것으로 사료된다. 그리고 본 논문에서 모

델팅한 6 축 힘/모멘트센서의 구조는 힘 F_x , F_y , F_z 과 모멘트 M_x , M_y , M_z 의 정격용량이 각각 다른 6 축 힘/모멘트센서를 설계할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 모델링한 센서의 구조는 인간형 로봇의 지능형 발을 위한 6 축 힘/모멘트센서를 설계하는데 사용될 수 있으며, 제작된 6 축 힘/모멘트센서는 실제로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구에서는 개발된 센서를 인간형 로봇의 발바닥의 앞과 뒷부분에 부착하는 지능형 발을 개발하는 것이다.

후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10468-0).

참고문헌

- Hirukawa, H., Kanehiro, F., Kaneko, K., Kajita, S., Fujiwara, K., Kawai, Y., Tomita, F., Hirai, S., Tanie, K. and Isozumi, T., "Humanoid robotics platforms developed in HRP," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, No. 4, pp. 165-175, 2004.
- Kagami, S., Mochimaru, M., Ehara, Y., Miyata, N., Nishiwaki, K., Kanade, T. and Inoue, H., "Measurement and comparison of humanoid H7 walking with human being," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, No. 4, pp. 177-187, 2004.
- Ogura, Y., Ando, S., Lim, H. O. and Takanishi, A., "Sensory-based walking motion instruction for biped humanoid robot," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, No. 4, pp. 223-230, 2004.
- Seara, J. F. and Schmidt, G., "Intelligent gaze control for vision-guided humanoid walking: methodological aspects," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, No. 4, pp. 231-248, 2004.
- Kim, G S., "The development of a six-component force/moment sensor testing machine and evaluation of its uncertainty," *Measurement Science and Technology*, Vol. 11, pp. 1377-1382, 2000.
- Kim, G S., "The design of a six-component force/moment sensor and evaluation of its uncertainty," *Measurement Science and Technology*, Vol. 12, pp. 1445-1455, 2001.
- Kim, G S., "Design of 3-component sensor with force/moment ratio of wide range," *J. of the KSPE*, Vol. 18, No. 2, pp. 214-221, 2001.
- Kim, G S. and Lee, H. D., "Development of a six-axis force/moment sensor and its control system for an intelligent robot's gripper," *Measurement Science and Technology*, Vol. 14, pp. 1265-1274, 2003.
- Kim, G S., "Development of a small 6-axis force/moment sensor for robot's fingers," *Measurement Science and Technology*, Vol. 15, pp. 2233-2238, 2004.
- ATI INDUSTRIAL AUTOMATION, "Multi-Axis Force/Torque Sensor," ATI INDUSTRIAL AUTOMATION, pp. 4-45, 2005.
- BL AUTOTEC, "BL SENSOR, Multi-axis force/torque sensor (BL-FTS-E020)," BL AUTOTEC, pp. 5-50, 2003.
- Kim, G S., Shin, H. J. and Kim, H. M., "Development of multi-axis force/moment sensor calibration system and its uncertainty evaluation," *The Korean Society of Mechanical Engineers Proceedings*, pp. 1025-1030, 2006.