

외력에 반응하는 인간형 로봇의 머리를 위한 6 축 힘/모멘트 센서 개발

Development of 6-axis Force/moment Sensor for Humanoid Robot's Head Reacting to a External Force

김갑순^{1,✉}
Gab Soon Kim^{1,✉}

¹ 경상대학교 제어계측공학과, ERI (Department of Control and Instrumentation Engineering, Gyeongsang National Univ.)
✉ Corresponding author: gskim@gsnu.ac.kr, Tel: 055-751-5372

Manuscript received: 2009.7.30 / Accepted: 2009.10.6

When external force is applied to humanoid robot's head, humanoid robot's neck is rotated to prevent the damage of it. So, robot's neck have to perceive forces (F_x of x-direction, F_y of y-direction and F_z of z-direction) and moments (M_x of x-direction, M_y of y-direction and M_z of z-direction) using the attached 6-axis force/moment sensor. Thus, in this paper, 6-axis force/moment sensor was developed to sense the forces and moments applied to robot's head. The structure of 6-axis force/moment sensor was modeled newly, and it was designed using FEM software (ANSYS) and manufactured by attaching straingages on the sensing element, finally, the characteristic test of the sensor was carried out. As a result, it is confirmed that interference error is less than 3%. And, it is thought that the sensor can be used to measure the forces and the moments for humanoid robot's head.

Key Words: 6-axis Force/moment Sensor (6 축 힘/모멘트센서), Interference Error (상호간섭오차), Rated Output (정격출력), Rated Load (정격하중), Humanoid Robot (인간형 로봇)

1. 서론

인간형 로봇의 머리(humanoid robot's head)에는 예상치 못하는 외력이 작용될 경우가 종종 있고, 이 때에는 사람과 같이 반사적으로 머리를 좌우, 전후 및 수직 축을 기준으로 회전시켜 머리 등의 손상을 최대한 적게 발생되도록 해야 한다. 그러기 위해서는 로봇의 머리부분이 사람과 비슷한 기능을 가지고 움직일 수 있어야 한다. 논문¹은 현재까지 개발된 인간형 로봇 중 가장 지능화된 것으로서 시각센서로 지면과 주위의 장애물을 감지하여 걸거나 뛸 수 있고 계단을 안전하게 오르내

릴 수 있으며, 사람과 간단한 대화를 할 수 있다. 논문^{2,3}은 평지에서 걸을 수 있거나 2 대 이상이 네트워크로 연결되어 통신으로 명령을 주고 받아 상호협조 할 수 있다. 그러나 이와 같이 가장 지능화된 인간형 로봇도 머리에 외력이 가해지면 대응하지 못하여 고가인 인간형 로봇이 손상되게 된다.

외력이 인간형 로봇의 머리에 가해지면 가장 중요한 것 중에 하나가 목에서 가해지는 힘과 모멘트를 감지하는 것이다. 힘과 모멘트를 감지하기 위해서는 인간형 로봇의 목에 6 축 힘/모멘트센서(6-axis force/moment sensor)가 부착되어야 한다. 인

간형 로봇의 목에 부착되는 6 축 힘/모멘트센서는 부착하기에 적당한 크기와 힘 Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서, 모멘트 Mx 센서, My 센서, Mz 센서의 최대용량(maximum capacity, 정격용량(rated capacity))이 적당해야 한다.

논문⁴는 인간형 로봇의 발바닥에 가해지는 힘과 모멘트를 측정하기 위한 6 축 힘/모멘트센서를 개발하였고, 이것의 정격용량이 Fx 센서와 Fy 센서는 500N, Fz 센서는 1200N, Mx 센서와 My 센서는 18Nm, Mz 센서는 18Nm 로 인간형 로봇의 머리에 가해지는 힘과 모멘트를 측정하기에는 너무 큰 용량이며, 이것의 구조가 평행판보(parallel plate beam)로 되어 있어 용량을 줄이는 데는 한계가 있다. 논문^{5,6}에서 개발한 다축 힘/모멘트센서(multi-axis force/moment sensor) 또한 각 센서의 용량과 구조가 적당하지 않아 인간형 로봇에 활용하기는 적당하지 않다.

지금까지 개발한 6 축 힘/모멘트센서는 크기가 적당하지 않거나 각 센서의 최대용량이 측정에 적당하지 않고, 상용화된 센서⁷는 가격이 1 천만원 정도로 매우 고가이므로 인간형 로봇의 목에 가해지는 힘과 모멘트를 측정하기 위해 사용하기가 적당하지 않다. 그러므로 인간형 로봇의 머리에 가해지는 힘과 모멘트를 측정하기 위해 목에 부착되는 6 축 힘/모멘트센서의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 인간형 로봇의 머리에 가해지는 힘과 모멘트를 감지하기 위한 6 축 힘/모멘트센서(Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서, Mx 센서, My 센서, Mz 센서)를 개발한다. 인간형 로봇의 목에 부착되는 6 축 힘/모멘트센서의 구조를 모델링하고, 유한요소법으로 센서를 설계하였으며, 스트레인지지를 부착하여 센서를 제작하였다. 그리고 이 센서의 특성평가를 실시하였다.

2. 6 축 힘/모멘트센서 설계

2.1 센서 감지부의 구조

인간형 로봇의 머리에 외력이 가해질 때, 그것을 감지하여 머리를 회전하기 위한 인간형 로봇의 목에 부착하기 위한 6 축 힘/모멘트센서를 Fig. 1 과 같이 구조를 모델링하였다. 이 센서의 구조는 고정블록 F1~F4 의 양쪽 끝에 수직으로 세워진 평판보 (plate beam) B1~B8 의 한쪽 끝이 고정되고, 평판보 B1~B8 의 다른 쪽 끝은 이동블록 M1~M4 의 양쪽 끝에 연결되며, 이동블록 M1~M4 의 중앙에는

수평으로 누어진 평판보 B9~B12 의 한쪽 끝이 고정된다.

그리고 평판보 B9~12 의 다른 쪽 끝은 이동블록 M5~M8 의 한쪽 끝에 고정되고, 이동블록 M5~M8 의 다른 쪽 끝에는 수직으로 세워진 평판보 B13~B16 의 한쪽 끝이 고정되며, 평판보 B13~B16 의 다른 쪽 끝은 십자형으로 힘전달블록 M9 와 연결된다. 힘 Fx 를 감지하는 감지부는 평판보 B1~B4, 힘 Fy 를 위한 감지부는 B5~B8, 힘 Fz 를 위한 감지부는 B9~B10, 모멘트 Mx 를 위한 감지부는 B11~B12, 모멘트 My 를 위한 감지부는 B9~B10, 모멘트 Mz 를 위한 감지부는 B13~B14 이다. 평판보 B1~B8 의 크기인 두께 t1, 길이 l1, 폭 b1, 평판보 B9~B12 의 크기인 두께 t2, 길이 l2, 폭 b2, 평판보 B13~B16 의 크기인 두께 t3, 길이 l3, 폭 b3 는 설계변수로 활용된다. 이 센서는 고정블록 F1~F4 를 인간형 로봇의 몸체의 상단부에 고정하고 힘전달블록 M9 를 인간형 로봇의 머리의 하단부에 고정되고, 머리에 힘과 모멘트가 가해지면 힘전달블록에 전달되어 평판보 B1~B16 가 감지한다.

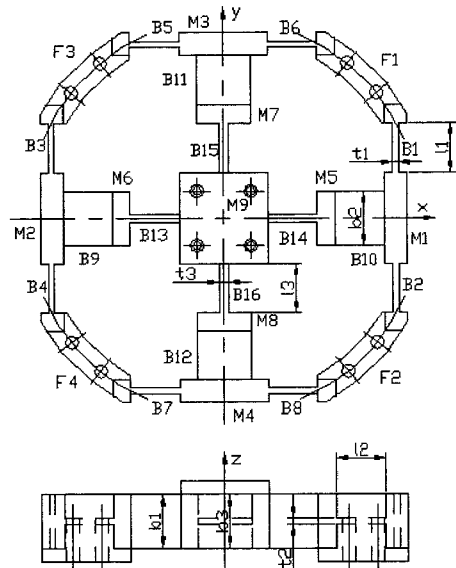


Fig. 1 Structure of sensing element for 6-axis force/moment sensor

2.2 센서의 설계 및 분석

6 축 힘/모멘트센서를 설계하기 위해 유한요소법(FEM : Finite Element Method)을 적용하였으며, 사용된 소프트웨어는 ANSYS 이다. 설계변수는 각

센서의 최대변형률, Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서, Mx 센서, My 센서, Mz 센서의 용량, 평행평판보의 크기인 보의 두께 t_1, t_2, t_3 와 길이 l_1, l_2, l_3 , 폭 b_1, b_2, b_3 , 이동블록의 크기와 센서의 전체 크기 등이다. 센서의 최대변형률(각 센서의 최대용량(maximum capacity))을 가했을 때 4 개의 스트레인게이지를 이용하여 휘스톤브리지를 구성하였을 때 변형률의 합은 일반적인 센서와 같이 $1000\mu\text{m}/\text{m}$ 로 결정하였다. 힘 Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서의 용량은 머리의 무게와 미는 힘, 안전하중 등을 고려하여 모두 100N 으로 결정하였으며, 모멘트 Mx 센서, My 센서, Mz 센서는 인간형 머리에 외력이 가해질 때 주로 앞뒤와 좌우측이므로 빠른 감지를 위해 1Nm 로 결정하였다. 이와 같이 3 개의 힘센서와 3 개의 모멘트센서의 정격용량을 결정한 것은 먼저 사람의 머리에 힘이 가해질 때 견디는 힘을 측정된 결과 약 100N(약 10kg)이고, 이 힘이 로봇의 머리(사람의 머리카기 약 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$)의 가장자리에 작용할 때 1Nm 의 모멘트가 발생하기 때문이다.

그리고 센서의 이동블록의 크기는 $20\text{mm}\times 20\text{mm}$, 센서의 전체 크기는 인간형 로봇의 머리의 하단부의 고정을 고려하여 $82\text{mm}\times 82\text{mm}\times 18\text{mm}$ 로 결정하였고, 감지부의 크기인 폭(b)는 센서의 크기를 고려하여 12mm 로 결정하였다.

각 센서의 감지부의 크기인 두께 t_1, t_2, t_3 와 길이 l_1, l_2, l_3 의 크기를 결정하기 위해 결정된 설계 변수들을 소프트웨어에 대입하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 2 는 유한요소해석(FEM analysis)을 위해 매쉬(mesh)한 모습을 보여주고 있고, Fig. 3 은 힘 Fx (혹은 힘 Fy)를 100N 가했을 때 변형된 모습, Fig. 4 는 힘 Fz 를 100N 가했을 때 변형된

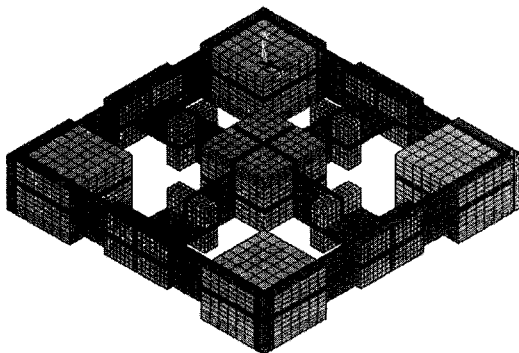


Fig. 2 Finite element meshes for FEM analysis of 6-axis force/moment sensor in 3-dimension

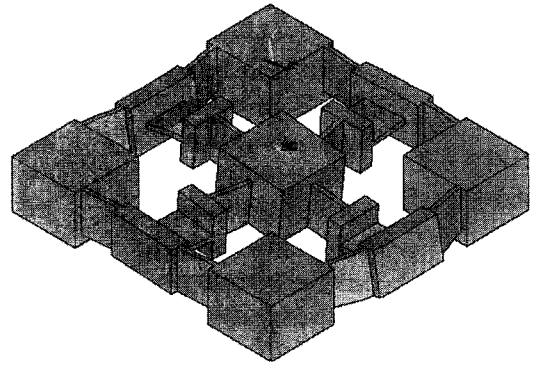


Fig. 3 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under force Fx or Fy

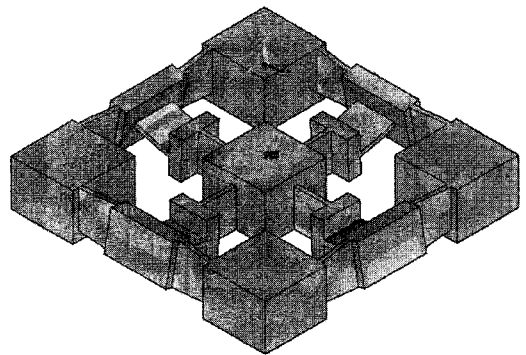


Fig. 4 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under force Fz

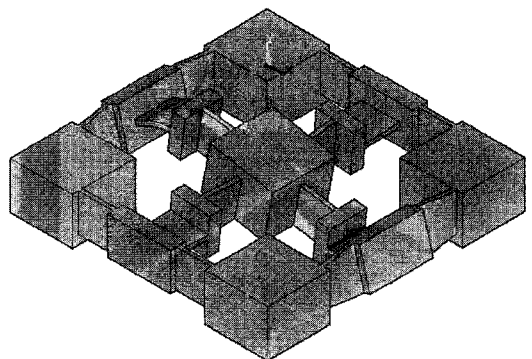


Fig. 5 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under moment Mx or My

모습, Fig. 5 는 모멘트 Mx(혹은 My)를 1Nm 가했을 때 변형된 모습, Fig. 6 은 모멘트 Mz 를 1Nm 가했을 때 변형된 모습을 각각 나타내고 있다. 유한요소 해석결과, 각 센서의 감지부의 크기인 두께 t_1

과 t_3 는 1.3mm, t_2 는 1.4mm 이고 길이 11, 12, 13 는 모두 11mm 로 결정되었다.

휘스톤브리지를 구성하였을 경우 4 개의 스트레인이게이지 부착위치에서의 변형률 ϵ 을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2} \quad (1)$$

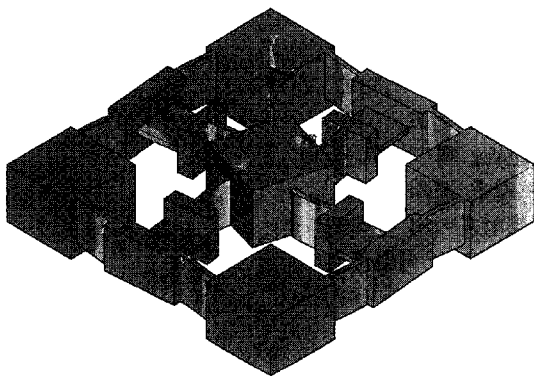


Fig. 6 Deformed shape of 6-axis force/moment sensor under moment M_z

Fig. 7 은 힘 F_x (혹은 F_y)=100N 이 가해질 때의 6 축 힘/모멘트센서의 유한요소 해석 결과인 변형률분포를 나타내고 있다. 평판보의 윗면과 아랫면의 변형률분포(strain distribution)의 변형률이 0 인 지점은 거의 중앙지점이며, 이동블록(M1)과 고정블록(F1)과 고정된 지점의 변형률은 감소하는 경향이 보인다. 이것은 유한요소해석의 끝 효과 때문이다. F_x 센서와 F_y 센서의 스트레인 게이지 부착 위치는 스트레인이게이지의 크기(3mm×5.2mm)를 고려하여 보의 길이 방향으로는 고정블록으로부터 2mm 지점이고 폭방향으로는 중심선상이며, 이 지점의 변형률은 260um/m 이다. 이 변형률을 휘스톤브리지를 구성하였을 경우 식(1)에 의해 계산된 총 변형률은 1040um/m 이고, 이것은 최대변형률로 선정한 1000um/m 에 비교해보면, 4.0%의 오차를 보인다. 이와 같은 오차는 평행평판보의 가공시 보의 두께를 0.1mm 보다 더 정밀하게 가공하기가 어려우므로 가공성을 고려하여 결정하였기 때문이다.

Fig. 8 은 힘 F_z =100N 이 가해질 때의 6 축 힘/모멘트센서의 유한요소 해석 결과인 변형률분포를 나타내고 있다. 평행평판보의 윗면과 아랫면의 변형률분포는 이동블록(M1)에 가까운 부분보다 이동블록(M5)에 가까운 부분에서 더 크게 나타났고,

이로 인해 변형률이 0 인지점이 이동블록(M1)쪽으로 약 1.5mm 치우친 지점인 약 7mm 지점이며, 이동블록(M1)과 이동블록(M5)과 고정된 지점의 변형률은 감소하는 경향이 보인다. 이것은 힘 F_z =100N 이 가해질 때 평판보 B1 과 B2 가 비틀림으로써 이동블록(M1)이 회전하였기 때문이다.

F_z 센서의 스트레인 게이지 부착 위치는 보의 길이 방향으로는 고정블록으로부터 1.5mm 지점이고 폭방향으로는 중심선상이며, 이 지점의 변형률은 215um/m 이다. 이 변형률 휘스톤브리지를 구성하였을 경우 식(1)에 의해 계산된 총 변형률은 860um/m 이고, 이것은 최대변형률로 선정한 1000um/m 에 비교해보면, 14.0%의 오차를 보인다. 이와 같은 오차는 변형률이 큰 이동블록(M5) 쪽에 스트레인이게이지 부착 위치로 선정하지 않았기 때문이고, 이유는 이동블록(M5) 쪽의 변형률이 힘 F_z 를 가했을 때보다 모멘트 M_x 혹은 M_y 를 가했을 때가 더 크게 나타나기 때문이다. 그리고 힘 F_z 100N 을 가했을 때 총 변형률을 1000um/m 로 맞추기 위하여 평판보의 두께를 더 줄이게 되면 모멘트 M_x 혹은 M_y 를 가했을 때 매우 큰 변형률이 발생하기 때문이다.

Fig. 9 는 모멘트 M_x (혹은 M_y)=1Nm 가 가해질 때의 6 축 힘/모멘트센서의 유한요소 해석 결과인 변형률분포를 나타내고 있다. 평행평판보의 윗면과 아랫면의 변형률분포는 이동블록(M1)에 가까운 부분보다 이동블록(M5)에 가까운 부분에서 더 크게 나타났고, 이로 인해 변형률이 0 인지점이 이동블록(M1)쪽으로 약 2mm 치우친 지점인 약 7.5mm 지점이며, 이동블록(M1)과 이동블록(M5)과 고정된 지점의 변형률은 감소하는 경향이 보인다. 이것은 모멘트 M_x (혹은 M_y)=1Nm 가 가해질 때 평판보 B1 과 B2 가 비틀림으로써 이동블록(M1)이 회전하였기 때문이다.

M_x 센서(혹은 M_y 센서)의 스트레인 게이지 부착 위치는 보의 길이 방향으로는 이동블록(M5)으로부터 2.5mm 지점이고 폭방향으로는 중심선상이며, 이 지점의 변형률은 253um/m 이다. 이 변형률을 휘스톤브리지를 구성하였을 경우 식(1)에 의해 계산된 총 변형률은 1012um/m 이고, 이것은 최대변형률로 선정한 1000um/m 에 비교해보면, 1.2%의 오차를 보인다.

Fig. 10 은 모멘트 M_z =1Nm 가 가해질 때의 6 축 힘/모멘트센서의 유한요소 해석 결과인 변형률분포를 나타내고 있다. 평행평판보의 윗면과 아랫면

의 변형률분포는 이동블록(M5)에 가까운 부분보다 힘전달블록(M9)에 가까운 부분에서 더 크게 나타났다. 이로 인해 변형률이 0 인지점이 이동블록(M1)쪽으로 약 2mm 치우친 지점인 약 7.5mm 지점이며, 이동블록(M5)과 힘전달블록(M9)과 고정된 지점의 변형률은 감소하는 경향이 보인다. 이것은 모멘트 $M_z=1Nm$ 가 가해질 때 힘전달블록(M9)가 회전함으로써 힘전달블록(M9)과 고정된 쪽의 평판 보 B13~B16 부분이 크게 굽혀지기 때문이다.

M_z 센서의 스트레인 게이지 부착위치는 보의 길이 방향으로는 힘전달블록(M9)으로부터 3mm 지점이고 폭방향으로는 중심선상이며, 이 지점의 변형률은 $264\mu m/m$ 이다. 이 변형률을 휘스톤브리지를 구성하였을 경우 식(1)에 의해 계산된 총 변형률은 $1056\mu m/m$ 이고, 이것은 최대변형률로 선정한 $1000\mu m/m$ 에 비교해보면, 5.6%의 오차를 보인다. 이와 같은 오차는 평행평판보의 가공시 보의 두께를 0.1mm 보다 더 정밀하게 가공하기가 어려우므로 가공성을 고려하여 결정하였기 때문이다.

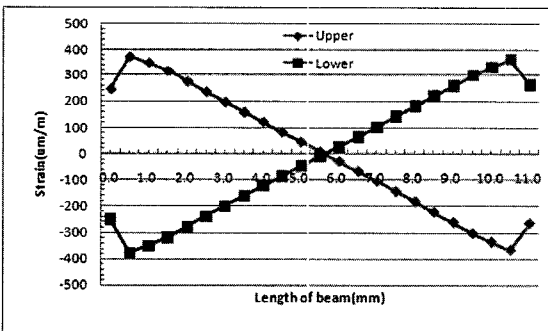


Fig. 7 Strain distribution on the beams Q and R under force F_y (beams S and T under force F_x)

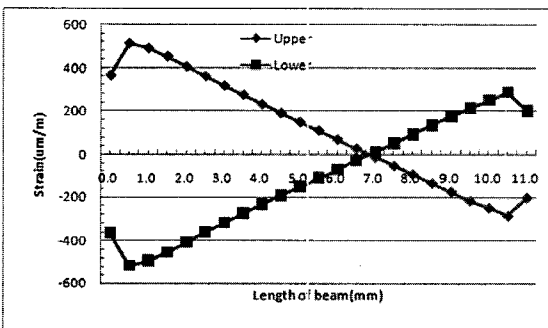


Fig. 8 Strain distribution on the beams A and B under force F_z

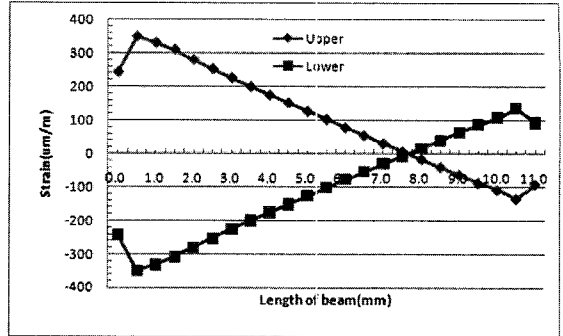


Fig. 9 Strain distribution on the beams A and B under Moment M_y (beams E and F under moment M_x)

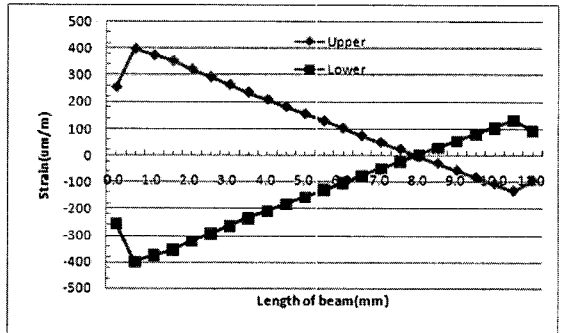


Fig. 10 Strain distribution on the beams Q and R under moment M_z

3. 6 축 힘/모멘트센서 제작

Fig. 11 은 6 축 힘/모멘트센서의 스트레인게이지 부착위치를 나타낸 것이고, 힘 F_x 센서의 부착위치는 S1~S4, F_y 센서는 S5~S8, F_z 센서는 S9~S12, 모멘트 M_x 센서는 S13~S16, M_y 센서는 S17~S20, M_z 센서는 S21~S22 이다. 이것은 유한요소해석 결과를 이용하여 결정하였다. 6 축 힘/모멘트센서는 각 센서의 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 $3 \times 5.2mm$)를 순간접촉제(M-200)을 이용하여 부착하고 후스톤브리지^{4,7}를 구성하여 제작하였으며, Fig. 12 는 제작된 6 축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

4. 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험 및 고찰

개발된 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험은 6 축 힘/모멘트센서 교정장치⁸를 이용하여 정격하중

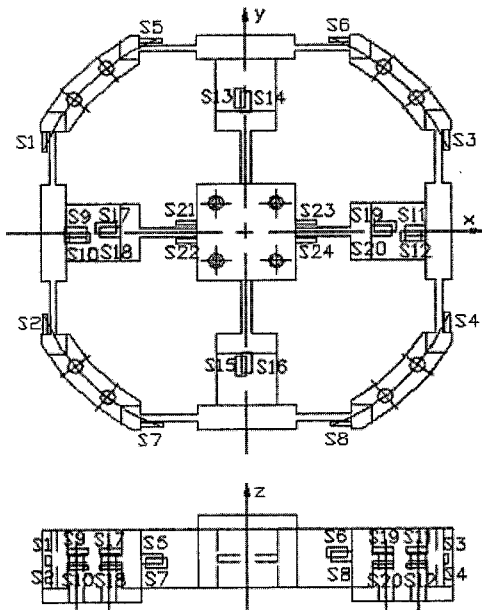


Fig. 11 Attachment location of strain-gages for each sensor

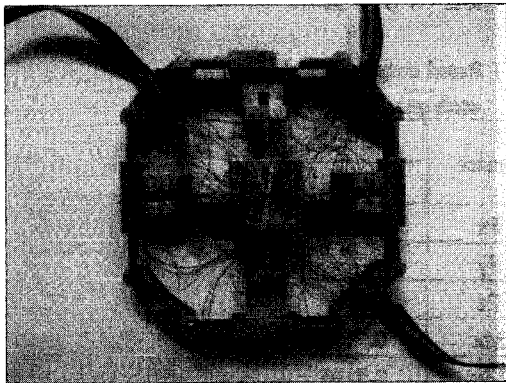


Fig. 12 Photograph of manufactured 6-axis force/moment sensor

$F_x=F_y=F_z=100N$, 모멘트 $M_x=M_y=M_z=1Nm$ 를 가하고 각 센서의 정격출력을 측정하였고, 총 세 번의 실험을 실시하여 평균값으로 각 센서의 정격출력을 결정하였다.

정격변형률은 실험값과 비교하기 위해서는 정격출력식으로 변경되어야 하고, 그를 위한 정격출력 계산식⁴은 다음과 같다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \epsilon \tag{2}$$

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 변형률이다.

6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 FEM 해석한 정격출력은 각 센서의 휘스톤브리지를 구성하였을 경우의 식(1)에 대입하여 계산한 최대 변형률과 스트레인게이지의 게이지상수를 식(2)에 대입하여 계산한다. Table 1 은 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서 정격출력의 유한요소해석과 특성실험 결과를 나타내고 있다. 유한요소 해석한 결과를 기준으로 계산한 최대정격출력 오차는 6.4%이하이었다. Table 2 는 6 축 힘/모멘트센서의 상호간섭오차를 나타내고 있고, 최대 상호간섭오차는 2.83%이내이다. 이것은 상용화된 다축 힘/모멘트센서⁷의 상호간섭오차와 비슷하거나 우수한 것으로 평가된다. 이와 같은 정격출력 오차 및 상호간섭 오차는 감지부의 가공 오차, 스트레인게이지의 부착오차 등에 의한 것으로 생각된다. 본 연구에서 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 가격은 150 만원 정도로 매우 저가로 제작할 수 있는 장점이 있다.

Table 1 Rated output from FEM and characteristic test of each sensor

Sensor	Rated output (mV/V)		
	FEM	Exp.	Error(%)
Fx	0.5278	0.5442	3.1
Fy	0.5278	0.5484	3.9
Fz	0.4364	0.4176	-4.3
Mx	0.5136	0.5465	6.4
My	0.5136	0.5408	5.3
Mz	0.5359	0.5493	2.5

Table 2 Interference error of each sensor

Sensor	Interference error (%)					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx=100N	-	0.15	-1.28	0.07	2.83	0.21
Fy=100N	0.06	-	0.13	-2.14	0.32	0.60
Fz=100N	-0.09	0.08	-	1.02	-0.96	0.04
Mx=1Nm	0.16	-0.28	0.09	-	0.17	-0.67
My=1Nm	-0.65	0.82	1.29	0.24	-	0.37
Mz=1Nm	0.08	-0.19	0.36	0.42	-0.49	-

5. 결론

본 논문에서는 인간형 로봇의 머리에 가해지는 외력을 감지하기 위한 6 축 힘/모멘트센서를 개발하였다. 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 특성실험결과 2.83% 임을 확인하였고, 이것은 선진국에서 이미 판매하고 있는 상용화된 6 축 힘/모멘트센서⁷의 그것과 비슷한 수준이다. 센서의 크기가 82mm×83mm×18mm 로 인간형 로봇의 몸체의 상부에 설치하기 적합한 것으로 사료된다. 따라서 본 논문에서 개발한 6 축 힘/모멘트센서는 인간형 로봇의 머리에 가해지는 힘과 모멘트를 측정하는데 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구에서는 개발된 센서를 인간형 로봇의 목에 장착하여 외력에 반응하는 인간형 로봇의 머리를 개발하는 것이다.

참고문헌

- Kanda, T., Miyashita, T., Osada, T., Haikawa, Y. and Ishiguro, H., "Analysis of Humanoid Appearances in Human-Robot Interaction," IEEE Transactions on Robotics, Vol. 24, No. 3, pp. 725-735, 2008.
- Park, I. W., Kim, J. Y., Lee, J. H. and Oh, J. H., "Mechanical design of the humanoid robot platform, HUBO," Advanced Robotics, Vol. 21, No. 11, pp. 1305-1322, 2007.
- Lim, H. Y., Kang, Y. S., Lee, J. J., Kim, J. W. and You, B. J., "Multiple Humancoid Cooperative Control System for Heterogeneous Humanoid Team," Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 231-236, 2008.
- Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of 6-axis force/moment sensor for robot's intelligent foot," Journal of KSPE, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.
- 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.
- Kim, G. S., "Development of a small 6-axis force/moment sensor for robot's fingers," Measurement Science and Technology, Vol. 15, No. 11, pp. 2233-2238, 2004.
- ATI Industrial Automation, "Multi-Axis Force/Torque Sensor," ATI Industrial Automation, pp. 4-45, 2005.
- Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and Its Uncertainty Evaluation," Journal of KSPE, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.