

## 손목회전운동 재활로봇을 위한 6축 힘/모멘트센서 설계

### Design of a Six-axis Force/moment Sensor for Wrist Twist-exercise Rehabilitation Robot

김현민<sup>1</sup>, 김갑순<sup>1,✉</sup>  
Hyeon Min Kim<sup>1</sup> and Gab Soon Kim<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 경상대학교 제어계측공학과 (Department of Control & Instrumentation Engineering, ERI, Gyeongsang National Univ.)  
✉ Corresponding author: gskim@gsnu.ac.kr, Tel: +82-55-772-1745

Manuscript received: 2012.12.3 / Revised: 2013.1.30 / Accepted: 2013.2.2

*Most serious stroke patients have the paralysis on their wrists, and can't use their hands freely. But their wrists can be recovered by rehabilitation exercises. Recently, professional rehabilitation therapists help stroke patients exercise their wrists in hospital. But it is difficult for them to rehabilitate their wrists, because the therapists are much less than stroke patients in number. Therefore, the wrist twist-exercise rehabilitation robot that can measure the twist force of the patients' wrists is needed and developed. In this paper, the six-axis force/moment sensor was designed appropriately for the robot. As a test result, the interference error of the six-axis force/moment sensor was less than 0.85%. It is thought that the sensor can be used to measure the wrist twist force of the patient.*

Key Words: Six-axis Force/Moment Sensor (6축 힘/모멘트센서), Interference Error (상호간섭오차), Rated Output (정격 출력), Wrist Rehabilitation (손목재활), Wrist Rehabilitation Robot (손목재활로봇), Wrist Twist-Exercise (손목회전운동)

#### 1. 서론

국내외적으로 중증뇌졸중환자는 급속히 증가하는 추세에 있고, 이들 대부분은 손목에 마비증세가 발생하여 손을 자유롭게 사용할 수 없다. 재활병원에서는 환자들의 손목재활을 위해 전문치료사가 1회 30분 정도 재활훈련을 실시하고 있으나 급속히 증가하는 환자의 재활을 담당하는 전문치료사의 부족으로 인해 충분한 재활치료를 받을 수 없는 실정이다. 그러므로 안전하게 충분한 환자들의 손목재활을 위한 손목회전운동 재활로봇의 개발이 필요하다. 참고문헌<sup>1-3</sup>은 경증 손목환자를 위한 손목 및 팔의 재활운동을 위한 재활로봇을 개발하였고, 참고문헌<sup>4,6</sup>은 환자의 팔이 스스로 움직

이거나 식사 등 간단한 과업을 하기 위한 힘이 미약한 환자에게 보강힘을 줄 수 있는 로봇을 개발하였다.

위에서 설명한 상지재활로봇은 회복이 중간 정도 진행된 환자 혹은 스스로 움직일 수 있는 환자가 재활운동을 할 수 있으나 거동이 어려운 중증뇌졸중환자의 손목회전운동을 할 수 없을 뿐만 아니라 다축 힘센서가 부착되지 않아 환자의 안전에 문제가 있다. 손목회전운동 재활로봇의 가장 중요한 것은 손목에 안전하게 회전력을 주어 동작하게 하는 것이고, 이를 위해 손목회전력을 측정하고 이 값들을 이용하여 정확하게 제어해야 한다. 이와 같이 로봇이 동작하기 위해서는 재활로봇의 핵심부품인 6축 힘/모멘트센서가 필요하다. 6축 힘/모

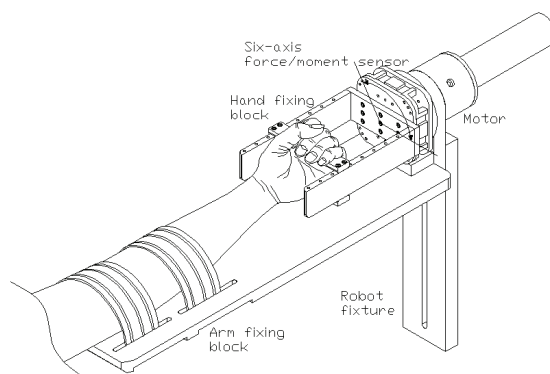
멘트센서는 x, y, z 방향의 힘  $F_x, F_y, F_z$ 와 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 를 동시에 측정하는 센서이고, 일반적으로 센서의 크기를 작게 하기 위해 한 몸체로 구성된다. 손목회전운동 재활로봇에 내장되는 6축 힘/모멘트센서는 크기, 정격용량, 가격 등이 적합하고 로봇에 부착하기 용이해야 한다. 그러나 Nagai<sup>7</sup> 등이 개발한 6축 힘/모멘트센서는 소용량이고, 크기가 작으며, Kim<sup>8-10</sup>이 개발한 6축 힘/모멘트센서는 구조에서 가로와 세로의 크기에 비해 높이가 매우 큰 구조로 되어있거나  $F_x$  센서,  $F_y$  센서  $M_z$  센서의 상부센서와  $F_z$  센서,  $M_x$  센서,  $M_y$  센서의 하부센서로 분리되어 있거나 모든 센서의 감지부가 평행평판보로 구성되어 있어  $F_x$  센서와  $F_y$  센서의 용량이 크므로 구조상 손목회전운동 재활로봇에 적합하지 않다. 상용화된 다축 힘센서<sup>11</sup>는 1개의 가격이 약 일천만원 정도이고, 크기 등의 조건이 재활로봇용으로는 적합하지 않다.

따라서 본 논문에서는 중증뇌졸중환자의 손목회전운동 재활로봇에 부착되어 손목의 회전력을 제어할 수 있는 6축 힘/모멘트센서를 설계한다. 힘  $F_x, F_y, F_z$ 와 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 를 동시에 측정할 수 있는 6축 힘/모멘트센서를 새롭게 모델링하였고, 유한요소법(FEM analysis)을 이용하여 6축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였으며, 센서의 특성실험을 실시하였다.

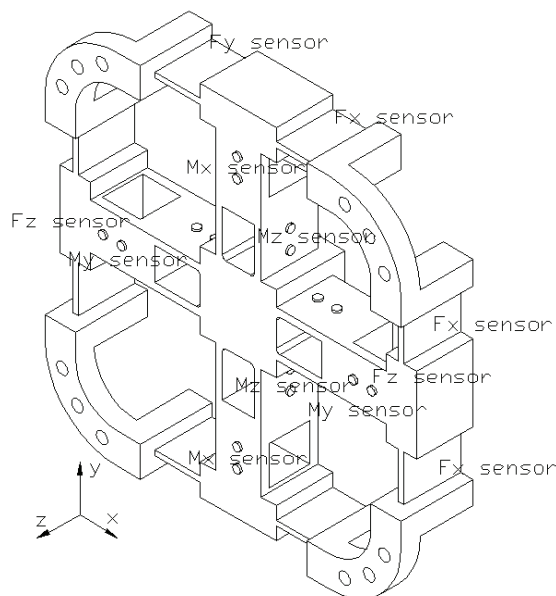
## 2. 6축 힘/모멘트센서 설계 및 제작

### 2.1 손목회전력 측정원리

Fig. 1은 손목회전운동 재활로봇의 회전력 측정원리를 나타내고 있고, Fig. 1(a)는 손목회전운동재활로봇의 개략도를 나타내고 있으며, (b)는 손목회전력 측정을 위한 6축 힘/모멘트센서를 나타내고 있다. 손목회전운동 재활로봇의 구성은 손고정블록(hand fixing block), 팔고정블록(arm fixing block), 로봇고정구(robot fixture), 손목회전모터(motor), 6축 힘/모멘트센서(six-axis force/moment sensor) 등으로 구성된다. 손목회전운동 재활로봇을 이용한 손목회전운동은 환자의 왼손을 손고정블록에 끼워잡거나 접착천(velcro)으로 고정한 후 팔을 팔고정블록에 접착천을 이용하여 고정한다. 그리고 손목회전모터를 동작시켜 손목을 좌우로 반복하여 회전시키고, 이때 손목에 가해지는 힘과 모멘트를 6축 힘/모멘트센서를 이용하여 측정하며, 측정결과를 이용하여 설정된 회전력까지만 손목에 가할 수 있



(a) Schematic diagram of robot



(b) Six-axis force/moment sensor

Fig.1 Force measuring principle for wrist twist-exercise rehabilitation robot

도록 제어한다.

6축 힘/모멘트센서는 x, y, z 방향의 각 힘  $F_x, F_y, F_z$ 와 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 를 동시에 측정하는 센서이고, 손목을 안전하게 회전운동을 시킬 수 있는 핵심부품으로 매우 중요하다. 힘  $F_x, F_y, F_z$ 와 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 를 동시에 측정할 수 있는 6축 힘/모멘트센서를 사용한 것은 손목에 가해지는 힘의 방향은 x, y, z 중 어느 한 방향으로만 작용되지 않고 임의의 방향으로 작용되기 때문에 3개 방향의 힘을 모두 측정한 후 그 결과들을 이용하여 합력을 계산해야 하고, 가해지는 회전력(모멘트)는 임의방향으로 가해지기 때문에 각각의 모멘트  $M_x,$

My, Mz를 측정해야 한다. 모멘트Mz센서의 측정값인 모멘트 Mz는 손목회전력이므로 손목회전운동 재활로봇의 모멘트제어에 활용되고, 힘 Fx, Fy, Fz와 모멘트 Mx, My은 환자의 안전을 위해 손목회전운동 재활로봇을 제어 및 정지에 활용된다.

로봇의 본체는 추후에 설계 및 제작할 예정이고, 본 논문에서는 손목을 회전시킬 때 힘과 모멘트를 측정하고 제어하는데 필요한 핵심부품인 6축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하고자 한다.

**2.2 6 축 힘/모멘트센서의 구조**

Fig. 2는 6축 힘/모멘트센서의 구조를 나타내고 있고, 이것은 힘 Fx, Fy, Fz와 모멘트 Mx, My, Mz를 동시에 측정할 수 있으며, 6개의 센서 감지부가 한 몸체에 구성되었다. 6축 힘/모멘트센서는 중앙에 힘/모멘트전달블록이 위치해있고, 이것을 중심으로 십자형으로 8개의 평행평판보(PPB1~8, Parallel Plate Beam)가 안쪽으로는 수직으로 바깥쪽으로는 수평으로 위치해있으며, 외곽으로는 8개의 평판보(beam1~8, plate beam)이 수직으로 놓이는 형태로 구성되었다. 외곽에 8개의 평판보를 사용한 것은 힘 Fx센서와 Fy센서의 정격용량을 평행평판보를

사용했을 때보다 적게 설계하기 위함이다. 8개의 평행평판보의 힘/모멘트전달블록에 가까운 부분은 반경 1mm로 라운딩 가공하였고, 이것은 정격모멘트 Mx, My, Mz가 가해질 때 그 부분에서 큰 변형이 일어나 파괴되는 현상을 방지하기 위함이다.

Fx센서의 감지부는 평판보1~4(beam1~4), Fy센서의 감지부는 평판보5~8(beam5~8), Fz센서의 감지부는 평행평판보7~8(PPB7~8), Mx센서의 감지부는 평행평판보7~8(PPB7~8), My센서의 감지부는 평행평판보5~6(PPB5~6), Mz센서의 감지부는 평행평판보1~2(PPB1~2)이다. 평행평판보는 2개의 평판보의 양끝이 평행으로 양쪽의 블록에 부착되어있는 형태, 즉 사각빔에 사각홀이 뚫려있는 형태이다. 평판보1~8의 두께는 t1, 길이는 l1, 폭은 b1이고, 평행평판보1~4의 두께는 t2, 길이는 l2, 폭은 b2이며, 평행평판보5~8의 두께는 t3, 길이는 l3, 폭은 b3이다. 이들은 각 센서의 설계변수로 사용된다. 힘측정 방법은 사각모둥이 네곳에 위치한 고정블록을 고정하고 중앙의 힘/모멘트전달블록에 힘과 모멘트를 가하면 Fx센서, Fy센서, Fz센서, Mx센서, My센서, Mz센서에서 힘을 감지한다.

**2.3 유한요소법을 이용한 센서설계 및 분석**

6축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격축력, 정격하중, 평행평판보PPB1~8, 평판보1~8을 구성하는 보들의 크기인 폭 b1, b2, b3, 두께 t1, t2, t3, 길이 l1, l2, l3이다. 각 센서는 4개의 스트레인게이지로 휘스톤브리지를 구성한다. 정격 변형률은 정격 하중이 가해질 때 휘스톤브리지에서 출력되는 총 변형률을 의미하고 이것의 값은 다음과 같은 식으로부터 계산된다.

$$\epsilon = \epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2} \tag{1}$$

여기서  $\epsilon$  은 휘스톤브리지의 총 변형률,  $\epsilon_{T1}$  은 인장 스트레인게이지  $T_1$ 의 변형률,  $\epsilon_{C1}$  은 압축 스트레인게이지  $C_1$ 의 변형률,  $\epsilon_{T2}$  은 인장 스트레인게이지  $T_2$ 의 변형률,  $\epsilon_{C2}$  은 압축 스트레인게이지  $C_2$ 의 변형률이다.

정격출력은 정격하중을 가했을 때 입력전압과 출력전압의 비로 나타내며, 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

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

여기서  $E_i$  는 휘스톤브리지의 입력전압,  $E_o$  는 휘

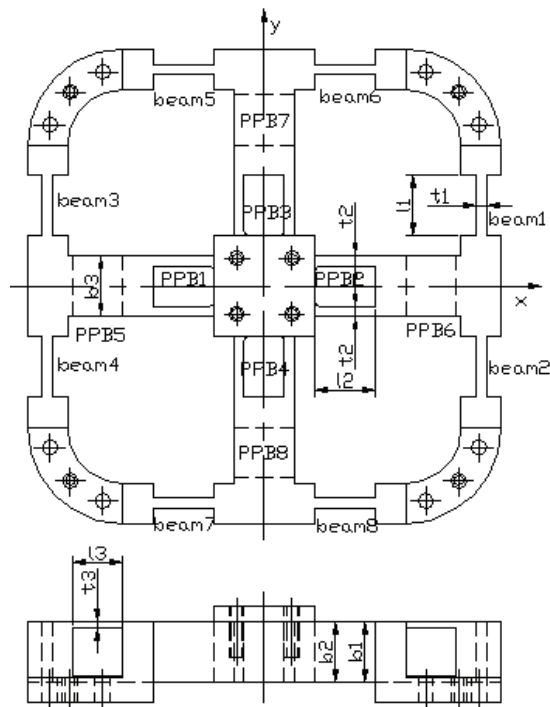


Fig. 2 Structure of six-axis force/moment sensor

스톤브리지의 출력전압, K는 스트레인게이지의 상수(약 2.03),  $\epsilon$ 는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

6축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 0.5mV/V, 정격하중은 힘 Fx센서와 Fy센서가 200N, Fz센서가 500N, Mx센서, My센서, Mz센서가 각각 10Nm, 센서의 크기가 94 × 94 × 22mm, 스트레인게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.5mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률은 약 250 $\mu$ m/m로 결정하였다. 6축 힘/모멘트센서의 각 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하였다.

유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3이며, 8절점 6면체 블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보 길이방향으로는 0.5mm,

두께방향으로는 3등분하였다. 그리고 네개의 고정블록을 고정하고 힘/모멘트전달블록에 각 센서의 정격하중인 힘 혹은 모멘트를 각각 가하였다. Fig. 3(a)는 유한요소해석을 위한 매쉬한 모습, (b)는 힘 Fx 혹은 Fy가 가해졌을 때 변형된 모습, (c)는 힘 Fz가 가해졌을 때 변형된 모습, (d)는 모멘트 Mx 혹은 My가 가해졌을 때 모습, (e)는 모멘트 Mz가 가해졌을 때 모습을 각각 나타내고 있다.

유한요소법을 이용하여 6축 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 보의 길이 l1과 l2는 12mm, l3는 10mm, 폭 b1, b2, b3는 각각 12mm로 결정하였고, 두께 t1은 1.4mm, t2는 1.8mm, t3는 2.2mm이었다.

Fig. 4(a)는 힘 Fx 혹은 Fy센서 감지부의 변형률 분포의 그래프, (b)는 힘 Fz센서 감지부의 변형률 분포의 그래프, (c)는 모멘트 Mx 혹은 My센서 감지부의 변형률 분포의 그래프, (d)는 모멘트 Mz센서 감지부의 변형률 분포의 그래프를 각각 나타내고 있다. 각 그래프에서 변형률 분포가 2개인 것은 평판보 1~8은 앞면과 뒤면이 감지부로 사용될 수 있고, 평행평판보는 2개의 평판보의 바깥면이 감지부로 사용될 수 있기 때문이며, 변형률이 양과 음의 값으로 나타난 것은 각 정격힘이 가해졌을 때 각 보의 외표면이 서로 반대방향이므로 인장과 압축을 받기 때문이다. 각 변형률 분포에서 변형률이 0um/m인 지점은 Fx와 Fy센서의 감지부가 보길이의 반지점인 약 6.0mm 지점, Fz센서의 그것은 약 5.5mm 지점, Mx 혹은 My센서의 그것은 약 5.5mm 지점, My센서의 그것은 약 8.0mm 지점이고 이 지점을 기준으로 좌측과 우측의 변형률의 크기가 다른 것은 각각의 평판보에 외팔보 형태로 힘이 가해지기 때문이다. 그리고 각 변형률 분포에서 좌측과 우측의 끝의 변형률이 감소한 것은 유한요소 프로그램의 끝효과 오차 때문이다.

유한요소해석 결과를 토대로 6축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 Fig. 5에 나타내고 있다. Fx센서의 스트레인게이지의 부착위치는 S1~S4, Fy센서의 그것은 S5~S8, Fz센서의 그것은 S9~S12, Mx센서의 스트레인게이지의 부착위치는 S13~S16, My센서의 그것은 S17~S20, Mz센서의 그것은 S21~S24이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 1.5mm이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 이 위치는 각 센서의 정격하중에서 상호간섭오차가 0%이고, 최대의 정격출력이 발생하는 지점으로 결정되었다.

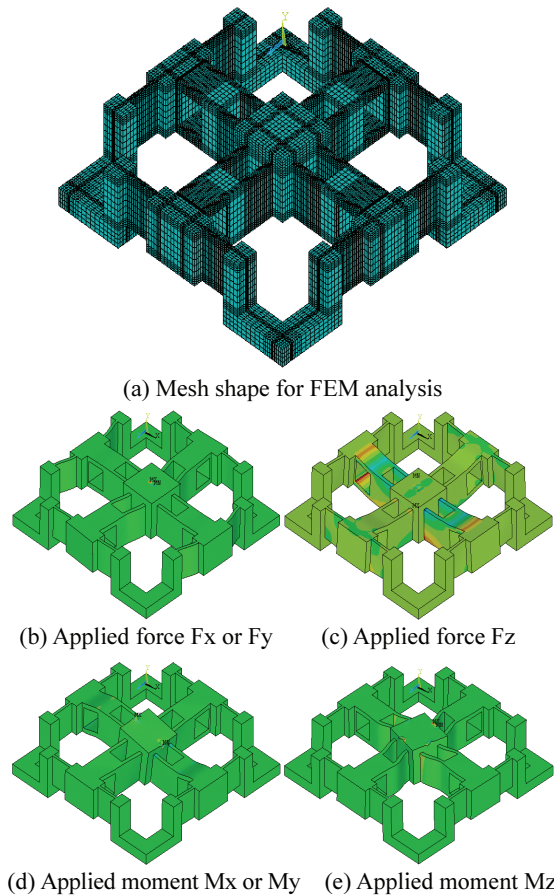
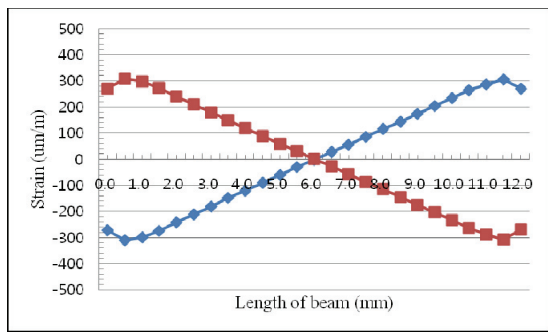
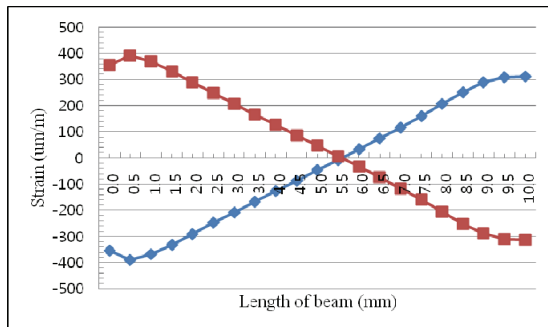


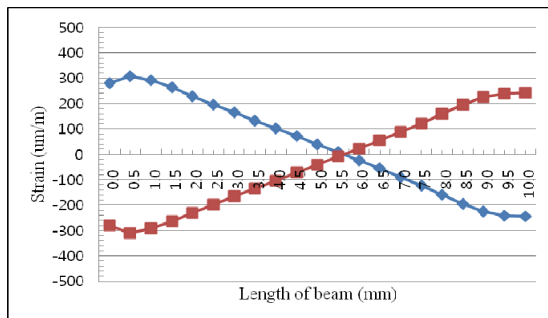
Fig. 3 Deformed shape of the sensing element of each sensor under each rated force



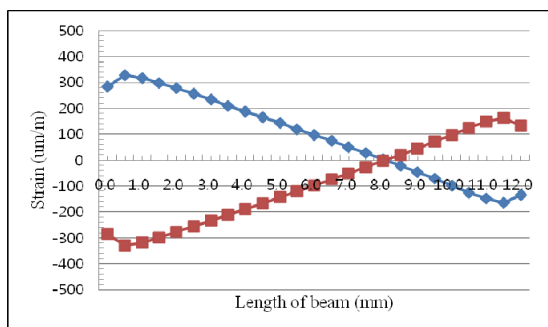
(a) Two beams under rated force  $F_x$  or  $F_y$



(b) Two beams under rated force  $F_z$



(c) Two beams under rated moment  $M_x$  or  $M_y$



(d) Two beams under rated moment  $M_z$

Fig. 4 Strain distribution on each beam under each rated force

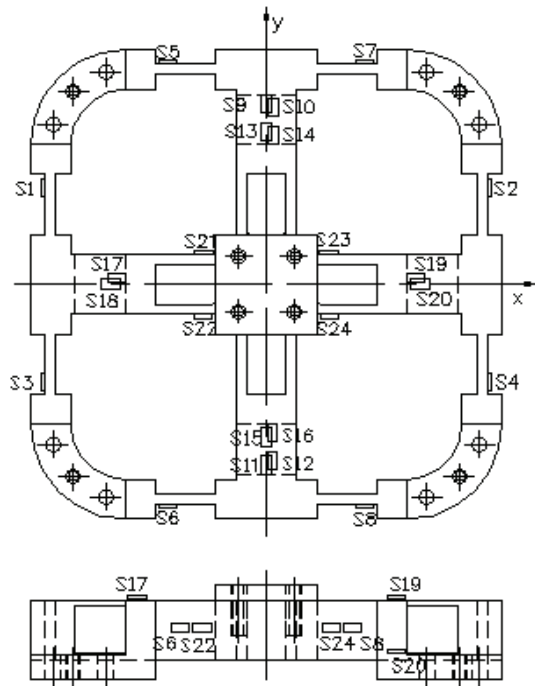


Fig. 5 Attachment locations of strain gages on each sensing element of six-axis force/moment sensor

Table 1 Strains from FEM analysis of six-axis force/moment sensor

| Sensor | Strain ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) |       |       |       |            |           |
|--------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------|-----------|
|        | $T_1$                             | $C_1$ | $T_2$ | $C_2$ | $\epsilon$ | Error (%) |
| $F_x$  | 264                               | -264  | 264   | -264  | 1056       | 5.6       |
| $F_y$  | 264                               | -264  | 264   | -264  | 1056       | 5.6       |
| $F_z$  | 251                               | -251  | 251   | -251  | 1004       | 0.4       |
| $M_x$  | 264                               | -264  | 264   | -264  | 1056       | 5.6       |
| $M_y$  | 264                               | -264  | 264   | -264  | 1056       | 5.6       |
| $M_z$  | 256                               | -256  | 256   | -256  | 1024       | 2.4       |

Table 1은 유한요소법을 이용하여 6축 힘/모멘트센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. 모든 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률  $1000\mu\text{m}/\text{m}$  이상이었고, 최대오차는 5.6%이었다. 이와 같은 오차는 설계시 가공의 가능성을 고려하여 감지부의 두께를 0.1mm단위로 나타내었기 때문이다. 단위를 0.01mm 단위로 설계하면 매우 근접한 변형률을 얻을 수 있으나 모델링한 6축 힘/모멘트센서 구조의 복잡성에 0.01mm 단위로 가공하기 어렵기 때문이다.

**2.4 6축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험**

6축 힘/모멘트센서는 Fig. 5에 나타난 각 센서의 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3×5.2mm)를 순간접촉제(M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지<sup>7-11</sup>를 구성하여 제작하였으며, Fig. 6은 제작된 6축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

Fig. 7은 제작한 6축 힘/모멘트센서를 특성실험을 위한 실험장치 및 장면을 나타내고 있다. Fig. 7(a)는 다축 힘/모멘트센서 교정기<sup>12</sup>에 6축 힘/모멘트센서를 고정된 실험장치를 나타내고 있고, 이 다축 힘/모멘트센서 교정기<sup>12</sup>는 힘  $F_x, F_y, F_z$ 를 모두 2000N, 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 를 모두 500Nm를 연속적으로 발생시킬 수 있으며,  $1 \times 10^{-4}$ 의 상대확장불확도를 가지고 있으며, 측정은 고성능측정장치(DMP40)이다. 그리고 Fig. 7(b)는 x방향 혹은 y방향의 힘을 가하는 모습, (c)는 z방향의 힘을 가하는 모습, (d)는 x방향 혹은 y방향의 모멘트, (e)는 z방향의 모멘트를 가하는 모습을 각각 나타내고 있다. 6축 힘/모멘트센서는 정격하중인  $F_x=F_y=200N, F_z=100N, M_x=M_y=M_z=10Nm$ 을 가하고 정격출력을 측정하였고, 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다.

Table 2는 6축 힘/모멘트센서의 유한요소해석과 실험결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 유한요소해석 결과의 정격출력은 Table 1의 정격변형률을 식 (2)에 적용하여 계산된 것이고, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 특성실험한 결과를 나타내고 있다. 유한요소해석 결과를 기준으로 유한요소해석 결과의 오차는 최대 6.22%이었다. 이

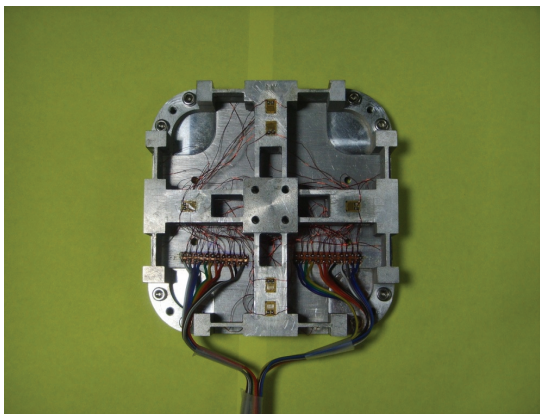
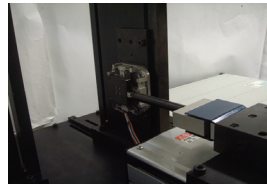


Fig. 6 Manufactured six-axis force sensor

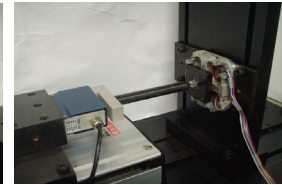
들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다. Table 3은 6축 힘/모멘트센서의 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 6축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.32%이다. Table 4



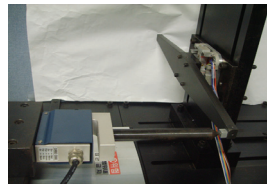
(a) Experimental setup



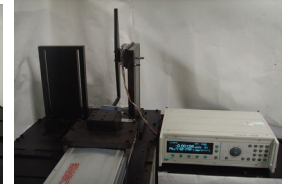
(b) Applied force  $F_x$  or  $F_y$



(c) Applied force  $F_z$



(d) Applied moment  $M_x$  or  $M_y$



(e) Applied moment  $M_z$

Fig. 7 Experimental setup for the characteristic test of the six-axis force sensor

Table 2 Rated output from FEM analysis and characteristic test of each sensor of six-axis force/moment sensor

| Sensor | Rated output (mV/V) |         |       |
|--------|---------------------|---------|-------|
|        | FEM                 | Exp.    | Error |
| $F_x$  | 0.53592             | 0.50261 | -6.22 |
| $F_y$  | 0.53592             | 0.51925 | -3.11 |
| $F_z$  | 0.50953             | 0.49865 | -2.14 |
| $M_x$  | 0.53592             | 0.54238 | 1.21  |
| $M_y$  | 0.53592             | 0.54728 | 2.12  |
| $M_z$  | 0.51968             | 0.53219 | 2.41  |

Table 3 Interference error of each sensor of six-axis force/moment sensor

| Sensor  | Interference error (%) |      |      |      |      |      |
|---------|------------------------|------|------|------|------|------|
|         | Fx                     | Fy   | Fz   | Mx   | My   | Mz   |
| Force   |                        |      |      |      |      |      |
| Fx=200N | -                      | 0.25 | 0.84 | 1.28 | 0.87 | 1.27 |
| Fy=200N | 0.85                   | -    | 0.29 | 0.95 | 1.62 | 0.97 |
| Fz=500N | 0.21                   | 0.09 | -    | 0.84 | 0.37 | 0.42 |
| Mx=10Nm | 1.23                   | 0.93 | 2.32 | -    | 0.75 | 0.57 |
| My=10Nm | 2.10                   | 1.82 | 0.28 | 0.28 | -    | 0.86 |
| Mz=10Nm | 0.95                   | 0.97 | 0.63 | 0.34 | 0.49 | -    |

Table 4 Repeatability error and non-linearity error of the six-axis force/moment sensor

| Error (%)     | Six-axis force/moment sensor |      |      |      |      |      |
|---------------|------------------------------|------|------|------|------|------|
|               | Fx                           | Fy   | Fz   | Mx   | My   | Mz   |
| Repeatability | 0.02                         | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Non-linearity | 0.02                         | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |

는 6축 힘/모멘트센서의 재현도오차와 비직선성오차를 나타낸 것이고, 각 센서의 최대 재현도오차와 최대 비직선성오차는 0.03% 이내이었다. 제작한 6축 힘/모멘트센서의 특성실험결과 상호간섭오차, 재현성오차, 비직선성오차가 이미 판매하고 있는 다축 힘센서<sup>7-11</sup>의 그것과 비슷한 수준이었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 3개방향의 힘과 3개 방향의 모멘트를 동시에 측정할 수 있는 6축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였다. 설계한 센서의 구조는 평행평판보로만 구성되어 있는 6축 힘/모멘트센서보다 모멘트 Mz 센서의 용량은 크게 힘 Fx센서와 Fy 센서의 용량은 적게 설계할 수 있음이 확인되었다. 제작한 센서는 최대 상호간섭오차 등의 특성이 우수하고, 손목회전운동 재활로봇에 부착하기에 적당한 크기를 가지고 있으므로 중증뇌졸중 환자의 손목회전운동 재활로봇에 부착하여 손목회전력을 측정하기에 적합할 것으로 판단된다. 추후 연구로는 제작한 6축 힘/모멘트센서가 부착된 중증뇌졸중 환자의 손목회전운동 재활로봇을 개발하여 환자의 손목회전운동에 적용하는 것이다.

### 후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의

재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2A10041417).

### 참고문헌

1. Rahman, M. H., Saad, M., Kenné, J. P., and Archambault, P. S., "Modeling and Development of an Exoskeleton Robot for Rehabilitation of Wrist Movements," Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), IEEE/ASME International Conference on, pp. 25-30, 2010.
2. Tsai, B. C., Wang, W. W., Hsu, L. C., Fu, L. C., and Lai, J. S., "An Articulated Rehabilitation Robot for Upper Limb Physiotherapy and Training," Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE/RSJ International Conference on, pp. 1470-1475, 2010.
3. Liu, S., Xie, Y., Jiang, S., and Meng, J., "Interactive Control for the Arm Rehabilitation Robot," Intelligent Systems and Applications, International Workshop on, pp. 1-4, 2009.
4. Huo, W., Huang, J., Jun, Y. W., and Wu, L. C., "Control of Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton Based on Motion Intention Recognition," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2243-2248, 2011.
5. Umemura, A., Saito, Y., and Fujisaki, K., "A Study on Power-Assisted Rehabilitation Robot Arms Operated by Patient with Upper Limb Disabilities," Rehabilitation Robotics, ICORR, IEEE International Conference on, pp. 451-456, 2009.
6. Ren, Y., Park, H. S., and Zhang, L. Q., "Developing a whole-arm exoskeleton robot with hand opening and closing mechanism for upper limb stroke rehabilitation," Rehabilitation Robotics, ICORR, IEEE International Conference on, pp. 761-765, 2009.
7. 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.
8. Kim, G. S. and Park, J. J., "Development of the 6-axis force/moment sensor for an intelligent robot's gripper," Sensors and Actuators A, Vol. 118, pp. 127-134, 2005.
9. Kim, H. M., Yoon, J. W., Shin, H. S., and Kim, G. S.,

- “Development of finger-force measuring system with six-axis force/moment sensor for measuring a spherical-object grasping force,” KSPE, Vol. 27, No. 11, pp. 37-45, 2010.
10. Kim, G. S., “Development of force sensors of toes and heel for humanoid robot’s intelligent foot,” KSPE, Vol. 27, No. 10, pp. 61-68, 2010.
  11. ATI Industrial Automation, “Multi-Axis Force/Torque Sensor,” ATI Industrial Automation, pp. 4-45, 2005.
  12. Kim, G. S. and Yoon, J. W., “Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation,” KSPE, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.