

# 5 축 힘/모멘트센서를 이용한 원통물체 잡기 손가락 힘측정장치 개발 Development of finger-force measuring system to grip a cylindrical object with five-axis force/moment sensor

\*김희인<sup>1</sup>, #김갑순<sup>1</sup>, 김현민<sup>1</sup>, 윤정원<sup>2</sup>, 신희석<sup>3</sup>

\*H. I. Kim<sup>1</sup>, #G. S. Kim(gskim@gnu.ac.kr)<sup>2</sup>, H. M. Kim<sup>1</sup>, J. W. Yoon<sup>2</sup>, H. S. Shin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 경상대학교 제어계측공학과, <sup>2</sup> 경상대학교 기계항공공학부, <sup>3</sup> 경상대학교 의학전문대학원 재활의학교실

Key words : Five-axis force/moment sensor, Finger rehabilitation, Rehabilitating instrument, Cylindrical object prehension.

## 1. 서론

뇌졸중환자 및 손을 원활하게 사용할 수 없는 사람은 손가락들은 재활훈련을 통해 일부는 회복되고 재활정도를 파악하기 위한 하나의 방법으로 원통물체잡기를 실시한다. 현재 병원에서 원통물체로 사용되는 것은 단지 플라스틱으로 된 원통물체고, 잡는 힘을 측정할 수 있는 장치가 내장되어 있지 않다. 그러므로 의사는 손가락으로 원통물체를 잡는 지만 눈으로 확인하여 재활정도를 대략적으로 판단하고, 원통물체를 어느 정도 힘으로 잡는지를 확인할 수 없어 재활정도를 정확하게 파악할 수 없는 실정이다. 논문<sup>1</sup>은 일 방향 힘센서가 내장되어 있는 두 손가락 힘측정장치를 개발하였고 이를 통하여 두 손가락의 힘을 측정한 연구 결과를 발표하였다. 현재까지 원통물체 잡기 힘측정하는 힘측정장치는 개발되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 환자가 어느 정도의 힘으로 원통물체를 잡을 수 있는 지를 측정할 수 있는 원통물체를 잡는 힘측정장치를 개발한다. 5 축 힘/모멘트센서를 새롭게 모델링하였고, 센서를 설계하기 위한 이론해석식을 유도하였으며, 이론해석식을 이용하여 5 축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였다. 또한 남자 정상인의 원통물체 잡는 힘 측정실험을 실시하였다.

## 2. 5 축 힘/모멘트센서 설계 및 제작

### 2.1 5 축 힘/모멘트센서의 구조

Fig. 1 은 5 축 힘/모멘트센서의 구조를 나타내고 있고, 힘 Fx, Fy, Fz 과 모멘트 Mx, Mz 를 감지할 수 있는 5 개의 센서의 감지부를 한 물체에 포함되도록 하였다.

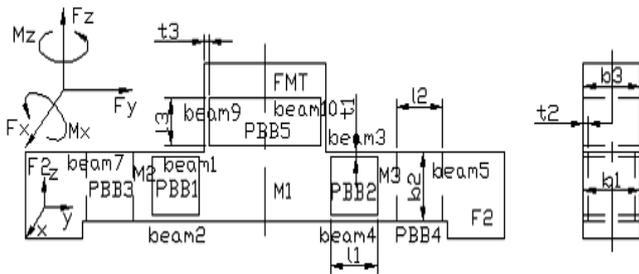


Fig. 1 Structure of six-axis force/moment sensor

### 2.2 센서구조의 이론해석

#### (1) 힘 Fz 가 가해졌을 때

인장 및 압축변형률식  $\epsilon = M/EZ_p$  에 위의 식들을 대입하여 정리하면 빔 1 과 빔 2 의 변형률식을 각각 유도할 수 있다.

$$\epsilon_{b1,2} = \frac{F_z}{4EZ_{1p}} \left( z - \frac{l_1}{2} \right) \quad (1)$$

#### (2) 힘 Fy 가 가해졌을 때

인장 및 압축변형률식  $\epsilon = M/EZ_p$  에 위의 식들을 대입하여 정리하면 빔 1 과 빔 2 의 변형률식을 각각 유도할 수 있다.

$$\epsilon_{b1,2} = \frac{6t_3^2}{l_3^3} \left( v_3 + \left( m_3 + \frac{l_3}{2} \right) \theta_3 \right) - \frac{6t_3}{l_3^2} \left( \frac{v_3}{2} + \left( \frac{m_3}{2} + \frac{l_3}{3} \right) \theta_3 \right) + \frac{m_3}{2} \theta_3 \quad (2)$$

#### (3) Mx 가 가해졌을 때

인장 및 압축변형률식  $\epsilon = M/EZ_p$  에 위의 식들을 대입하여 정리하면 평판보 1 과 2 의 변형률식을 각각 유도할 수 있다.

$$\epsilon_{b1,2} = \left( \frac{6t_1}{l_1^3} \left( \frac{m_1 l_1}{2} + \frac{l_1^2}{3} - \left( m_1 + \frac{l_1}{2} \right) y \right) + \frac{n_1}{l_1} \right) \theta_1 \quad (3)$$

### 2.3 이론해석을 이용한 센서설계 및 분석

5 축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 1.0mV/V, 정격하중은 힘 Fx, Fy, Fz 센서가 200N, 모멘트 Mx, Mz 센서가 5.0Nm 이고, 센서의 크기가 102mm×30mm×12mm, 스트레인게이지의 부착위치가 길이방향으로는 1.5mm, 폭방향으로는 1/2, 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률은 약 500 μm/m 로 결정하였다. 그리고 5 축 힘/모멘트센서의 m<sub>1</sub>=14mm, n<sub>1</sub>=5.3mm, m<sub>2</sub>=28mm, n<sub>2</sub>=5.3mm, m<sub>3</sub>=6mm 이다. 5 축 힘/모멘트센서의 각 감지부는 식(1), (2), (3)에 결정된 설계변수들을 입력하여 감지부의 크기를 결정하였다. 이론해석식을 이용하여 5 축 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 평판보의 길이 l<sub>1</sub>=l<sub>2</sub>=10mm, l<sub>3</sub>=8mm, 폭 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> 을 모두 12mm 로 결정하였고, 두께 t<sub>1</sub>=t<sub>2</sub>=1.4mm, t<sub>3</sub>=1.8mm 이었다.

## 3. 이론해석 결과 및 고찰

이론해석결과를 토대로 5 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 Fig. 2 에 나타내고 있다. 스트레인게이지의 부착위치는 Fx 센서가 S1~S4, Fy 센서가 S5~S8, Fz 센서가 S9~S12, Mx 센서가 S13~S16, Mz 센서가 S17~S20 이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 1.5mm 이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 이 위치는 각 센서의 정격하중에서 상호간섭오차가 0%이고, 최대의 정격출력이 발생하는 지점으로 결정되었다.

모든 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 2000um/m 이상이었고, 최대오차는 6.4%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 모델링한 5 축 힘/모멘트센서 구조의 복잡성 때문에 0.01mm 단위로 가공할 수 없기 때문이다.

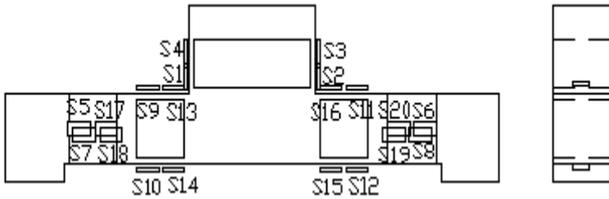


Fig. 2 Attachment locations of strain gages on sensing element of six-axis force/moment sensor

4. 5축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험

5축 힘/모멘트센서는 Fig. 2에 나타낸 각 센서의 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3x5.2mm)를 순간접촉제(M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지<sup>2</sup>를 구성하여 제작하였으며, Fig. 3은 제작된 5축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다. 제작된 5축 힘/모멘트센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기<sup>3</sup>를 이용하였다. 5축 힘/모멘트센서는 정격하중인  $F_x=F_y=F_z=200N$  과 모멘트  $M_x=M_y=M_z=5Nm$  를 가하고 정격출력을 측정하였다. 실험은 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다. 이론해석결과를 기준으로 이론해석결과의 오차는 최대 6.9%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다. 5축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.19%이다.

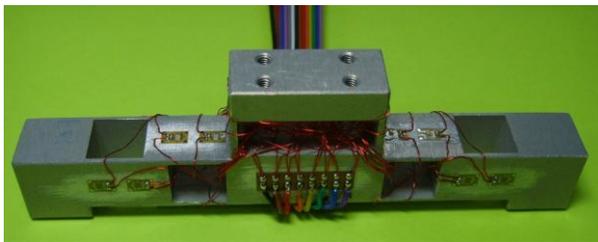


Fig. 3 Manufactured heel 3-axis force/moment sensor

5. 원통물체 잡는 힘측정장치 개발

5.1 원통물체 측정장치 제작

Fig. 4는 제작된 5축 힘/모멘트센서가 내장된 원통물체를 나타내고 있다. 원통물체는 두 개의 반원통으로 구분되어 있고, 5축 힘/모멘트센서의 위와 아래의 힘전달블록과 볼트로 고정되어 있으며, 두개의 반원통 사이는 힘과 모멘트를 가하면 센서에 전달되도록 2mm 갭을 두었다.



Fig. 4 Manufactured cylindrical object measuring system

5.2 원통물체잡기 특성실험

원통물체잡기는 손가락의 재활치료를 받고 있는 사람의 재활정도를 판단하기 위해 실시한다. Table 1은 개발한 원통물체 잡기 힘측정장치를 이용하여 오른팔과 왼팔을 책상 위에 놓고 손바닥을 위로 향한 상태에서 3명의 남자 정상인 A, B, C가 10초 간격을 두고 각각 4회 실험한 결과의 평균값을 나타내고 있다.  $F_x, F_y, F_z$ 는 힘센서의 출력값을 나타내고 단위는 N 이고, F는 힘의 합력을 나타내며, 식 (1)에 3개의 힘들을 대입하여 계산한 결과이다. 그리고  $M_x, M_y$ 는 모멘트센서의 출력값을 나타내고, 단위는 Nmm 이다. 실험에서 오른손의 힘 합력(F)은 평균 188N 이었고 개인별 최대오차는 2.2%이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 172N 이었고 개인별 최대오차는 3.5%이내이었다.

Table 1 Results of all fingers force of right hand and left hand on desk

Man	Right finger force					
	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_y$	$M_z$	F
A	35	64	191	-13	37	204
B	-7	-35	189	-2	42	192
C	-12	-12	184	4	36	185
Avg.	5	6	188	-3	38	194
Man	Left finger force					
	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_y$	$M_z$	F
A	48	-17	171	8	-19	178
B	18	-19	169	28	-16	171
C	6	-33	165	30	-16	168
Avg.	24	-23	168	22	-17	172

6. 결론

제작한 5축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 유도한 변형률식에 의해 0%이고, 특성실험결과 2.19%이므로 유도한 이론식(1), (2), (3)은 모델링한 5축 힘/모멘트센서의 감지부를 설계하는데 사용될 수 있음을 확인하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 판매하고 있는 5축 힘/모멘트센서<sup>2</sup>의 그것과 비슷한 수준이다. 원통물체 잡기 특성실험결과, 성인 남자의 잡는 힘은 약 188N 이었다. 따라서 본 논문에서 개발한 원통물체 잡기 힘측정장치는 정상인의 원통물체를 잡는 힘을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 뇌졸중 환자 등 재활중인 환자의 원통물체잡는 힘을 측정하여 재활정도를 판단하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구임(No. 2009-0087281)

참고문헌

1. S. Li, F. Danion, M. L. Latash, J. M. Li, and V. M. Zatsiorsky, "Bilateral deficit and symmetry in finger force production during two-hand multifinger tasks," *Exp Brain Res*, Vol. 141, pp. 530 - 540, 2001.
2. G. S. Kim, and J. W. Yoon, "Development of 6-axis force/moment sensor for robot's intelligent foot," *KSPE*, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.
3. G. S. Kim, and J. W. Yoon, "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation," *KSPE*, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.