

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

*김희인¹, #김갑순¹, 김현민¹, 윤정원², 신희석³

*H. I. Kim¹, #G. S. Kim(gskim@gnu.ac.kr)², H. M. Kim¹, J. W. Yoon², H. S. Shin³

¹ 경상대학교 제어계측공학과, ² 경상대학교 기계항공공학부, ³ 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. 논문¹은 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 몸체에 포함되도록 하였다.

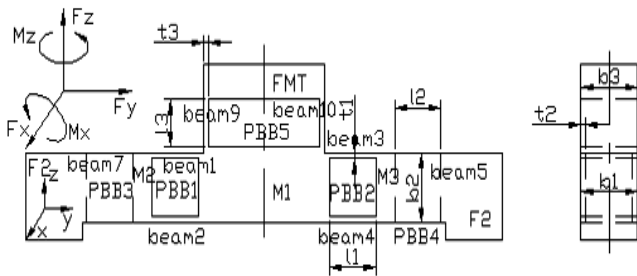


Fig. 1 Structure of six-axis force/moment sensor

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, 스트레인이케이지의 부착위치가 길이방향으로는 1.5mm, 폭방향으로는 1/2, 스트레인이케이지의 부착위치에서의 변형률은 약 500 μm/m 로 결정하였다. 그리고 5 축 힘/모멘트센서의 m₁=14mm, n₁=5.3mm, m₂=28mm, n₂=5.3mm, m₃=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 l₁=l₂=10mm, l₃=8mm, 폭 b₁, b₂, b₃ 을 모두 12mm 로 결정하였고, 두께 t₁=t₂=1.4mm, t₃=1.8mm 이었다.

3. 이론해석 결과 및 고찰

이론해석결과를 토대로 5 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인이케이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 Fig. 2 에 나타내고 있다. 스트레인이케이지의 부착위치는 Fx 센서가 S1~S4, Fy 센서가 S5~S8, Fz 센서가 S9~S12, Mx 센서가 S13~S16, Mz 센서가 S17~S20 이다. 스트레인이케이지의 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.

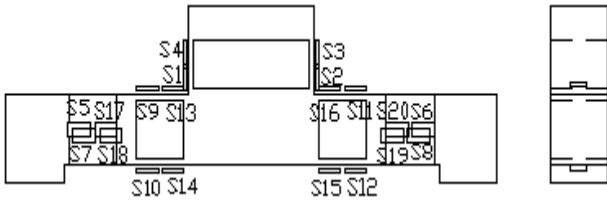


Fig. 2 Attachment locations of strain gages on sensing element of six-axis force/moment sensor

4. 5축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험

5 축 힘/모멘트센서는 Fig. 2 에 나타낸 각 센서의 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3×5.2mm)를 순간접촉제(M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지²를 구성하여 제작하였으며, Fig. 3 은 제작된 5 축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다. 제작된 5 축 힘/모멘트센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기³를 이용하였다. 5 축 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. 5 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.19%이다.

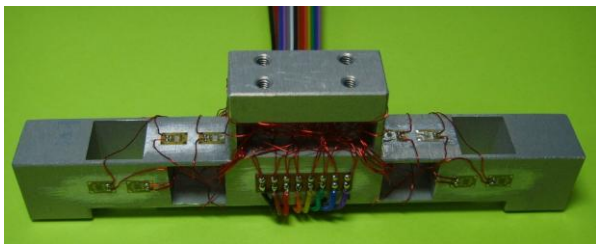


Fig. 3 Manufactured heel 3-axis force/moment sensor

5. 원통물체 잡는 힘측정장치 개발

5.1 원통물체 측정장치 제작

Fig. 4 는 제작된 5 축 힘/모멘트센서가 내장된 원통물체를 나타내고 있다. 원통물체는 두 개의 반원통으로 구분되어 있고, 5 축 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 1 은 개발한 원통물체 잡기 힘측정장치를 이용하여 오른팔과 왼팔을 책상 위에 놓고 손바닥을 위로 향한 상태에서 3 명의 남자 정상인 A, B, C 가 10 초 간격을 두고 각각 4 회 실험한 결과의 평균값을 나타내고 있다. F_x, F_y, F_z 는 힘센서의 출력값을 나타내고 단위는 N 이고, F 는 힘의 합력을 나타내며, 식 (1)에 3 개의 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 5 축 힘/모멘트센서 의 최대 상호간섭오차가 유도한 변형률식에 의해 0%이고, 특성실험결과 2.19%이므로 유도한 이론식(1), (2), (3)은 모델링한 5 축 힘/모멘트센서의 감지부를 설계하는데 사용될 수 있음을 확인하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 판매하고 있는 5 축 힘/모멘트센서²의 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.

후 기

이 논문은 2009 년도 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.