

6 축 힘/모멘트센서를 이용한 구물체 손가락 힘 측정장치 개발 Development of Finger-force measuring system with six-axis force/moment sensor for measuring a spherical-object grasping force

*#김갑순¹, 김현민¹, 윤정원², 만누능 오라리우스², 신희석³, 이재호³

*#G. S. Kim(gskim@gsnu.ac.kr)¹, H. M. Kim¹, J. W. Yoon², B. O. Manurung², H. S. Shin³, J. H. Lee³

¹경상대학교 제어계측공학과, ²경상대학교 기계항공공학부, ³경상대학교 의학전문대학 재활의학교실

Key words : Six-axis force/moment sensor, Finger rehabilitation, Rehabilitating instrument, Spherical object prehension

1. 서론

뇌졸중환자는 대부분 손가락의 마비증세가 발생하고 이로 인해 손을 사용할 수 없게 된다. 이들의 손가락들은 재활훈련을 통해 일부는 회복되고 재활정도를 파악하기 위한 하나의 방법으로 구물체잡기를 실시한다. 현재, 손가락 재활정도를 측정하는 장치는 논문¹에서 나타난 것과 같이 구형이 아닌 두손가락으로 눌러서 잡을 수 있는 것이 있고 이 속에 내장된 센서는 일방향 힘센서이다.

본 연구에서는 환자가 어느 정도의 힘으로 구물체를 잡을 수 있는지를 측정할 수 있는 구물체 잡기 손가락 힘측정장치를 개발하였다. 6 축 힘/모멘트센서를 새롭게 모델링하였고, 유한요소법(FEM analysis)을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였다. 또한 정상인의 구물체 잡기 손가락 힘측정실험을 실시하였다.

2. 6 축 힘/모멘트센서 설계 및 제작

2.1 6 축 힘/모멘트센서의 구조

Fig. 1 은 6 축 힘/모멘트센서의 구조를 나타내고 있고, 힘 Fz 과 모멘트 Mx, My 를 감지할 수 있는 3 개의 센서를 포함한 하부 3 축 힘센서(좌측)와 힘 Fx, Fy 와 모멘트 Mz 를 감지할 수 있는 3 개의 센서를 포함한 상부 3 축 힘센서(우측)를 볼트로 조립하여 총 6 개의 센서의 감지부를 한 몸체에 포함되도록 하였다.

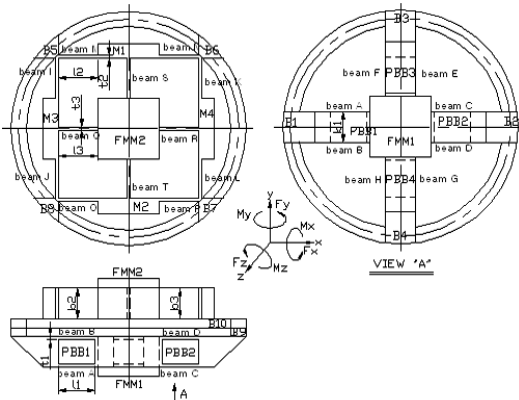


Fig. 1 Structure of six-axis force/moment sensor

2.2 유한요소법을 이용한 센서설계 및 분석

6 축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격출력, 정격하중, 평행평판보 PPB1~4 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b1, 두께 t1, 길이 l1, 평판보 I~P 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b2, 두께 t2, 길이 l2, 평판보 Q~T 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b3, 두께 t3, 길이 l3, 센서의 설계를 위한 변수는 평판보의 폭 b1, b2, b3, 두께 t1, t2, t3, 길이 l1, l2, l3 이다.

6 축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 1.0mV/V, 정격하중은 힘 Fx, Fy, Fz 센서가 200N, 모멘트 Mx, My, Mz 센서가 7Nm 이고, 센서의 직경의 크기와 높이가 각각 $\phi 67 \times 32\text{mm}$, 힘/모멘트 전달블록의

사각크기가 20mm, 스트레인게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.5mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률은 약 250um/m 로 결정하였다. 그리고 6 축 힘/모멘트센서의 d1=10mm, d2=4.3mm, d3=0.55mm, d4=10mm, d5=10 이다.

6 축 힘/모멘트센서의 각 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하였다. 유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3 이며, 8 절점 6 면체 블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 0.5mm, 두께방향으로는 4 등분, 폭방향으로는 8 등분하였다. Fig. 2 의 (a)는 힘 Fx 혹은 Fy, (b)는 Fz, (c)는 Mx 혹은 My, (d)는 Mz 가 가해졌을 때의 센서 감지부의 변형된 모습을 나타내고 있으며, 모두 센서의 구조를 모델링할 때 예상했던 모습으로 변형되었다. 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 평판보의 길이 l1 을 10mm, l2, l3 를 11mm, 폭 b1, b2, b3 을 모두 10mm 로 결정하였고, 두께 t1, t2, t3 는 각각 1.2mm, 1.1mm, 1.6mm 이었다.

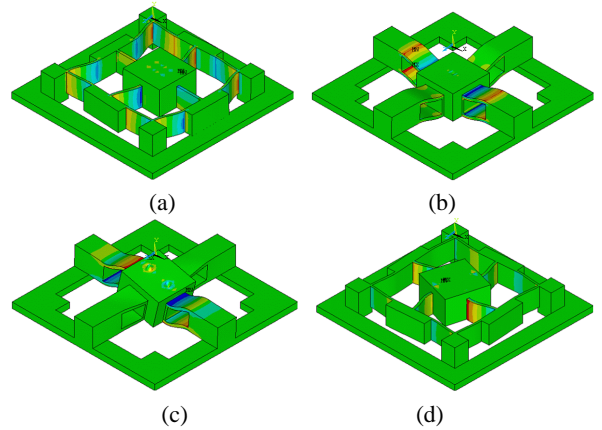


Fig. 2 Deformed shape under force/moment

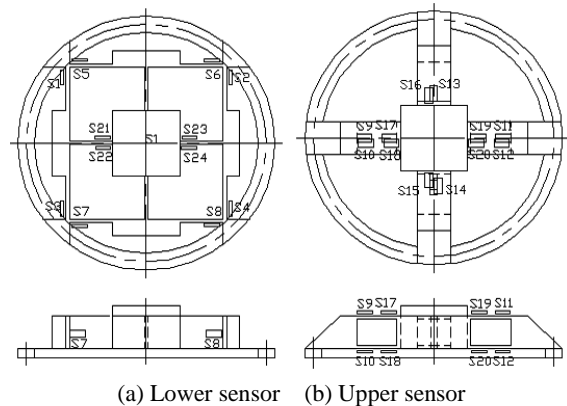


Fig. 3 Attachment locations of strain gages on sensing element of six-axis force/moment sensor

2.3 6 축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험

6 축 힘/모멘트센서는 Fig. 3에 나타난 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. 4은 제작된 6축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

제작한 6축 힘/모멘트센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기³를 이용하였다. 6축 힘/모멘트센서는 정격하중인 $F_x=F_y=F_z=200N$ 과 모멘트 $M_x=M_y=M_z=7Nm$ 를 가하고 정격출력을 측정하였다. 유한요소해석결과를 기준으로 특성실험결과의 오차는 최대 6.8%이었다. 6축 힘/모멘트센서의 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 6축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.51%이다.

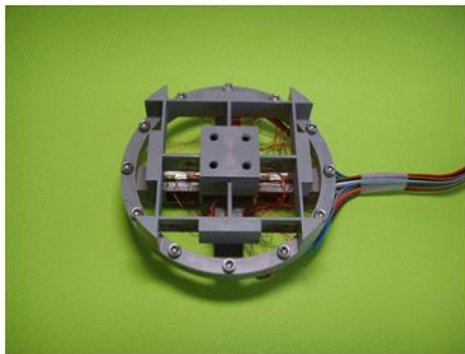


Fig. 4 Manufactured heel 3-axis force/moment sensor

3. 구물체 잡기 손가락 힘측정장치 개발

3.1 구물체 잡기 손가락 측정장치

Fig. 5는 제작된 6축 힘/모멘트센서가 내장된 구물체를 나타내고 있으며, 구물체의 크기는 직경 $\phi 75mm$ 이다. 구물체는 두개의 반구로 구분되어 있고, 6축 힘/모멘트센서의 위와 아래의 힘전달블록과 볼트로 고정되어 있으며, 두개의 반구 사이는 힘과 모멘트를 가하면 센서에 전달되도록 2mm 겹을 두었다.



Fig. 5 Manufactured finger-force measuring system

3.2 구물체 잡기 손가락 힘측정 특성실험 및 고찰

구물체잡기는 손가락의 재활치료를 받고 있는 사람의 재활정도를 판단하기 위해 실시한다. 재활정도는 구물체를 잡는 힘의 합력으로 전체적으로 판단하고 구물체 잡기 특성실험은 3명의 20대의 정상인을 남자로 선택하였다. Table 1은 개발한 손가락 힘측정장치를 이용하여 오른팔을 의자의 팔걸리 위에 놓고 손바닥을 위로 향한 상태에서 3명의 남자 정상인 A, B, C가 10초 간격을 두고 각각 4회 실험한 결과이다. F_x, F_y, F_z 는 6축 힘/모멘트센서의 출력값을 나타내고 단위는 N이며, F는 측정된 3개의

힘으로 계산된 합력이다. M_x, M_y, M_z 는 6축 힘/모멘트센서의 출력값을 나타내고 단위는 Nmm이다. 실험에서 힘의 합력(F)의 오차는 7.7%이내이고, 합력의 평균은 약 120N이었다. 오차가 발생한 것은 6축 힘/모멘트센서의 상호간섭오차, 구물체를 잡는 방법, 잡을 때 힘을 가하는 정도 등에 의한 것이다. 그리고 매회 측정시 각각의 힘과 모멘트값이 다른 것은 매회 측정시 잡는 위치를 다르게 하였기 때문이다.

Table 1 Results of force/moment of the right hand fingers on chair-arm

	Right finger force/moment							
	no.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	F
A	1	6	19	123	-25	-16	-14	125
	2	12	20	121	-25	-17	-24	123
	3	17	30	118	-24	-29	-22	123
	4	12	28	119	-31	-23	-30	123
	Avg.	12	24	120	-26	-21	-23	123
B	1	16	20	121	-7	-33	-2	124
	2	16	24	118	-9	-31	-7	121
	3	-6	8	110	-1	-20	-10	110
	4	-48	-10	113	-20	7	1	123
	Avg.	-6	11	116	-9	-19	-5	120
C	1	-6	11	120	-15	-3	3	121
	2	-10	4	120	-14	0	0	120
	3	-10	3	112	-6	0	7	112
	4	-2	-10	116	-11	-1	1	116
	Avg.	-7	2	117	-12	-1	3	118

4. 결론

제작한 6축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 특성실험결과 2.51%임을 확인 하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 개발된 6축 힘/모멘트센서²의 그것과 비슷한 수준이다. 개발한 고속측정장치는 구물체 잡는 힘측정장치에 활용하기 적합함을 확인하였다. 구물체 잡기 특성실험결과, 성인 남자의 잡는 힘은 약 120N이었다. 따라서 본 논문에서 개발한 구물체 잡기 손가락 힘측정장치는 정상인의 구물체를 잡는 힘을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 뇌졸중 환자 등 재활중인 환자의 구물체 잡기 손가락 힘 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

- Olandersson, S., Lundqvist, H., Bengtsson, M., Lundahl, M. and Hilliges, M., "FINGER-FORCE MEASUREMENT-DEVICE FOR REHABILITATION," Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, Chicago, IL, USA, June 28 - July 1, 2005.
- Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of 6-axis force/moment sensor for robot's intelligent foot," KSPE, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.
- 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.