

## 6 축 힘/모멘트센서를 이용한 구물체 잡기 손가락 힘측정장치 개발

### Development of Finger-force Measuring System with Six-axis Force/moment Sensor for Measuring a Spherical-object Grasping Force

김현민<sup>1</sup>, 윤정원<sup>2</sup>, 신희석<sup>3</sup>, 김갑순<sup>1,✉</sup>  
Hyeon Min Kim<sup>1</sup>, Joungwon Yoon<sup>2</sup>, Hee Suk Shin<sup>3</sup> and Gab Soon Kim<sup>1,✉</sup>

1 경상대학교 제어계측공학과 (Department of Instrumentation & Control Engineering and ERI, Gyeongsang National Univ.)

2 경상대학교 기계항공공학부 (School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National Univ.)

3 경상대학교 의학전문대학원 재활의학교실 (Department of Rehabilitation Medicine, School of Medicine, Gyeongsang National Univ.)

✉ Corresponding author: gskim@gsnu.ac.kr, Tel: 055-751-5372

Manuscript received: 2010.3.24 / Revised: 2010.7.26 / Accepted: 2010.9.16

*Stroke patients can't use their hands because of the paralysis of their fingers. Their fingers are recovered by rehabilitating training, and the rehabilitating extent can be judged by grasping a spherical object. At present, the used object in hospital is only a spherical object, and can't measure the force of fingers. Therefore, doctors judge the rehabilitating extent by touching and watching at their fingers. So, the spherical object measuring system which can measure the force of their fingers should be developed. In this paper, the finger-force measuring system with a six-axis force/moment sensor which can measure the spherical-object grasping force is developed. The six-axis force/moment sensor was designed and fabricated, and the force measuring device was designed and manufactured using DSP (digital signal processing). Also, the grasping force test of men was performed using the developed finger-force measuring system, it was confirmed that the average force of men was about 120N.*

Key Words: Six-axis Force/moment Sensor (6 축 힘/모멘트센서), Interference Error (상호간섭오차), Finger Rehabilitation (손가락 재활), Rehabilitating Instrument (재활기구), Spherical Object Prehension (구물체 잡기)

#### 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 병원에서 구물체로 사용되는 것은 단지 플라스틱으로된 구물체이고, 잡는 힘을 측정할 수 있는 장치가 내장되어 있지 않다. 그러므로 의사는 손가락으로 구물체를 잡을

수 있는지를 눈으로 확인하여 재활정도를 대략적으로 판단하고, 구물체를 어느 정도 힘으로 잡는지를 확인할 수 없어 정확하게 판단할 수 없다. 현재, 손가락 재활정도를 측정하는 장치는 논문<sup>1-3</sup>에서 나타난 것과 같이 구형이 아닌 두손가락으로 눌러서 잡을 수 있는 것이 있고 이 속에 내장된 센서는 일방향 힘센서이다.

구물체 잡기를 통해 환자의 손가락 재활정도를 판단하기 위해서는 5 개 손가락이 모두 같지 않을 수 있으므로 구물체를 잡을 때, 손가락 전체로 잡

는 힘을 측정해야 하고, 대략적으로 어느 손가락이 힘을 가지고 있는지를 파악할 수 있어야 한다. 전체 힘 F 는 구물체에 5 개의 손가락이 미지방향으로 힘을 가할 때 x 방향의 힘 Fx, y 방향의 힘 Fy, z 방향의 힘 Fz 을 측정하여 합력으로 계산해야 한다. 그리고 각 손가락의 대략적인 힘은 x 방향의 모멘트 Mx, y 방향의 모멘트 My, z 방향의 모멘트 Mz 을 측정하면 어느 손가락의 힘이 가해지는지를 판단할 수 있다.

이와 같이 구물체 잡기를 통해 손가락의 재할 정도를 판단하기 위한 구물체를 잡는 힘 측정장치는 첫째, 힘 Fx, Fy, Fz 와 모멘트 Mx, My, Mz 를 동시에 측정할 수 있는 6 축 힘/모멘트센서가 필요하고, 둘째는 3 개의 힘과 3 개의 모멘트를 빠른 속도로 측정하고 잡는 전체 힘을 계산할 수 있는 고속 측정기가 필요하다. 구물체에 내장될 수 있는 6 축 힘/모멘트센서는 크기가 작아야 하고, 용량이 잡는 힘을 측정할 수 있을 정도이어야 하며, 매우 가벼워야 한다. 또한 센서의 가격이 저가이어야 한다. 그러나 현재 개발된 6 축 힘/모멘트센서<sup>4,6</sup>는 6 축 힘/모멘트센서의 1 개의 가격이 약 일천만원 정도이고, 크기 등의 모든 조건을 만족시키지 못해 구물체를 잡는 힘 측정장치에 활용하기에 적합하지 않다.

따라서 본 연구에서는 환자가 어느 정도의 힘으로 구물체를 잡을 수 있는 지를 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 제작하였으며, DSP 를 이용하여 고속 힘 측정장치를 설계 및 제작하였다. 또한 정상인의 구물체 잡기 손가락 힘측정실험을 실시하였다.

**2. 구물체를 잡는 손가락 힘측정 원리**

Fig. 1 은 구물체를 잡는 힘측정원리를 나타내고 있다. Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 5 개의 손가락이 구물체의 6 축 힘/모멘트센서에 힘을 가하면 센서에 힘 Fx, Fy, Fz 가 감지되고 동시에 모멘트 Mx, My, Mz 도 감지된다. 손가락 전체의 힘(합력) F 는 측정된 힘 Fx, Fy, Fz 를 식(1)에 대입하여 계산한다.

$$F = \sqrt{(Fx)^2 + (Fy)^2 + (Fz)^2} \quad (1)$$

그리고 어느 손가락이 힘을 가하고 있는지는 모멘트 Mx, My, Mz 의 측정값을 가지고 판단할 수 있다. 만약 Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 6 축 힘/모멘트센서가 3 개의 힘과 3 개의 모멘트를 측정한다면, 건지와 중지가 누르는 힘이 크고 약지와 소지가 누르는 힘이 작을 경우에는 모멘트 Mz 센서가 음의 값으로 출력되고, 두 손가락의 힘이 비슷하면 모멘트 Mz 센서가 0 에 가까운 값을 출력할 것이다. 이와 같은 방법으로 어느 손가락의 힘이 작용을 하고 있는지를 판단할 수 있다.

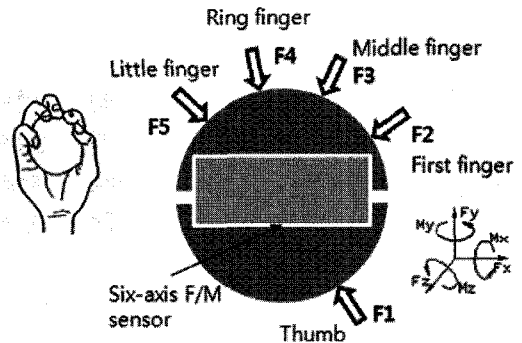


Fig. 1 Finger-force measuring principle by gripping a spherical object

**3. 6 축 힘/모멘트센서 설계 및 제작**

**3.1 6 축 힘/모멘트센서의 구조**

Fig. 2 는 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. 상부 3 축센서는 고정링 위에 4 개의 고정블록(B5~B8)이 부착되어 있고, 4 개의 고정블록 위에 8 개의 평판보(beamI~P)의 한쪽 끝이 고정되어 있으며, 이들 평판보의 다른 쪽 끝은 이동블록(M1~M4)에 고정되었다. 그리고 평판보(beamQ~T)의 한쪽 끝은 이동블록의 중심에 고정되었고, 다른 쪽 끝은 힘전달블록(FMM2)의 각 변의 중앙에 십자가 형태로 고정되었다. 평판보(beamI~L)은 힘 Fx, 평판보(beamM~P)는 힘 Fy, 평판보(beamQ~R)은 모멘트 Mz 를 감지하는 센서의 감지부(sensing element)이고, 평판보(beamI~P)의 크

기는 두께(t2), 길이(l2), 폭(b2)이며, 평판보 (beamQ~T)의 크기는 두께(t3), 길이(l3), 폭(b3)이다. 이들 크기는 센서의 설계변수로 사용된다.

하부 3 축센서는 고정링 위에 4 개의 고정블록 (B1~B4)이 부착되어 있고, 4 개의 고정블록 위에 평행평판보(PPB1~4)의 한쪽 끝이 고정되어 있으며, 평행평판보(PPB : parallel plate beam)들의 다른 쪽 끝은 힘전달블록(FMM1)에 십자형으로 고정되었다. 평행평판보는 힘 Fz 와 모멘트 Mx, My 를 감지하는 센서의 감지부(sensing element)이고, 힘 Fz 센서의 감지부는 PPB1 과 2, 모멘트 Mx 센서의 감지부는 PPB3 과 4, 모멘트 My 센서의 감지부는 PPB1 과 2 이며, 평판보의 두께(t1), 길이(l1), 폭(b1)는 센서의 설계변수로 사용된다. 6 축 힘/모멘트센서는 상부 3 축 힘센서의 힘전달블록(FMM1)과 하부 3 축 힘센서의 힘전달블록(FMM2)에 힘과 모멘트를 가하면 6 개의 센서가 그것들의 양을 감지한다.

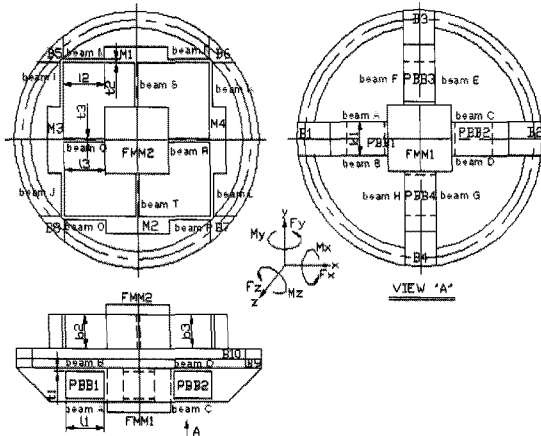


Fig. 2 Structure of six-axis force/moment sensor

**3.2 유한요소법을 이용한 센서설계 및 분석**

6 축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격축력, 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.

각 센서는 4 개의 스트레인이게이지로 휘스톤브리지를 구성한다. 정격변형률은 정격 하중이 가해질 때 휘스톤브리지에서 출력되는 총 변형률을 의

미하고 이것의 값은 다음과 같은 식으로부터 계산 된다.

$$\epsilon = \epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2} \tag{2}$$

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

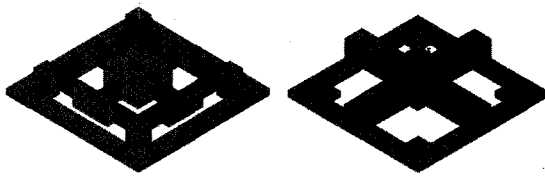
정격출력은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \epsilon \tag{3}$$

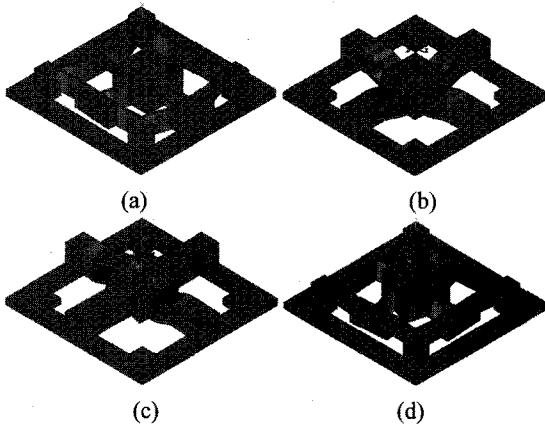
여기서,  $E_i$  는 휘스톤브리지의 입력전압,  $E_o$  는 휘스톤브리지의 출력전압, K 는 스트레인이게이지의 상수(약 2.03),  $\epsilon$  는 식(2)로부터 얻은 총 변형률이다.

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  $\phi 67 \times 32$ mm, 힘/모멘트 전달블록의 사각크기가 20mm, 스트레인이게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.5mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인이게이지의 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.

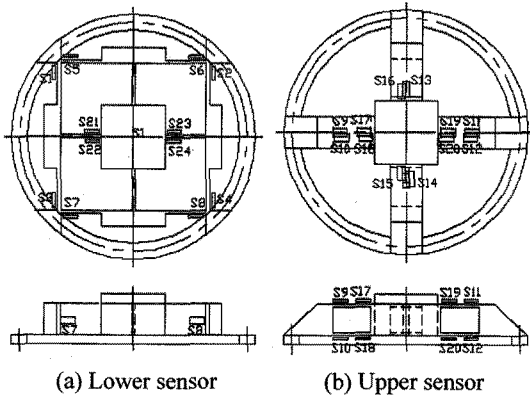
6 축 힘/모멘트센서의 각 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하였다. 유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3 이며, 8 절점 6 면체 블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 0.5mm, 두께방향으로는 4 등분, 폭방향으로는 8 등분하였다. Fig. 3 의 (a)는 상부 3 축 힘/모멘트센서와 (b)는 하부 3 축 힘/모멘트센서를 유한요소법으로 해석하기 위해 격자를 나눈 모습을 나타내고 있다. Fig. 4 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.



(a) Upper three-axis sensor, (b) Lower three-axis sensor  
Fig. 3 Mesh shape for FEM analysis



(a) (b)  
(c) (d)  
Fig. 4 Deformed shape under force/moment



(a) Lower sensor (b) Upper sensor  
Fig. 5 Attachment locations of strain gages on sensing element of six-axis force/moment sensor

유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 평판보의 길이  $l_1$  을 10mm,  $l_2$ ,  $l_3$  를 11mm, 폭  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  을 모두 10mm 로 결정하였고, 두께  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  는 각각 1.2mm, 1.1mm, 1.6mm 이었다.

유한요소해석 결과를 토대로 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 Fig. 5 에 나타내고 있다. 스트레

인게이지의 부착위치는 Fx 센서가 S1~S4, Fy 센서가 S5~S8, Fz 센서가 S9~S12, Mx 센서가 S13~S16, My 센서가 S17~S20, Mz 센서가 S21~S24 이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 1.5mm 이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 이 위치는 각 센서의 정격하중에서 상호간섭오차가 0%이고, 최대의 정격출력이 발생하는 지점으로 결정되었다.

Table 1 은 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (2)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. 모든 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 2000  $\mu\text{m}/\text{m}$  이상이었고, 최대오차는 3.2%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 6 축 힘/모멘트센서 구조의 복잡성 때문에 0.01mm 단위로 가공할 수 없기 때문이다.

Table 1 Strains from FEM analysis at each attachment location of strain-gages of 6-axis force/moment sensor

Sensor	Strain ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )				
	$T_1$	$C_1$	$T_2$	$C_2$	$\epsilon$
Fx	516	-516	516	-516	2064
Fy	516	-516	516	-516	2064
Fz	506	-506	506	-506	2024
Mx	516	-516	516	-516	2064
My	516	-516	516	-516	2064
Mz	502	-502	502	-502	2008

### 3.3 6 축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험

6 축 힘/모멘트센서는 Fig. 5 에 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>46</sup>를 구성하여 제작하였으며, Fig. 6 은 제작된 6 축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

제작한 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기<sup>7</sup>를 이용하였고, 이교정기는 힘 Fx, Fy, Fz 를 모두 2000N, 모멘트 Mx, My, Mz 를 모두 500Nm 를 연속적으로 발생시킬 수 있으며,

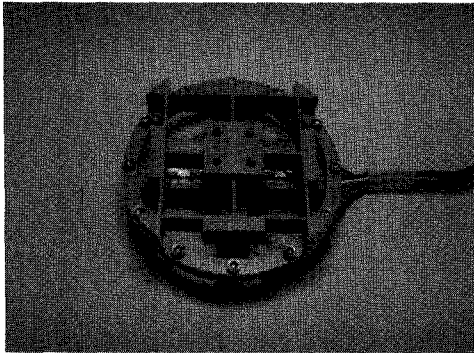


Fig. 6 Manufactured heel 3-axis force/moment sensor

$1 \times 10^{-4}$ 의 상대확장불확도를 가지고 있다. 6축 힘/모멘트 센서는 정격하중인  $F_x=F_y=F_z=200N$ 과 모멘트  $M_x=M_y=M_z=7Nm$ 를 가하고 정격출력을 측정하였다. 실험은 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다.

Table 2는 6축 힘/모멘트 센서의 유한요소해석과 실험결과와의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 유한요소해석결과와의 정격출력은 Table 1의 정격변형률  $\epsilon$ 을 식 (3)에 대입하여 계산된 것이고, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 특성실험한 결과

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
Fx	1.0474	1.0810	3.2
Fy	1.0474	1.0958	4.6
Fz	1.0272	1.0810	5.2
Mx	1.0474	1.0961	4.6
My	1.0474	1.0998	5.0
Mz	1.0190	1.0882	6.8

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

Sensor	Interference error (%)					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx=200N	-	0.03	1.25	0.61	2.51	0.09
Fy=200N	0.07	-	0.36	2.49	.048	0.98
Fz=200N	0.05	0.07	-	0.96	0.84	0.19
Mx=7	0.52	0.81	0.92	-	0.46	0.74
My=7	0.06	0.28	1.24	0.69	-	0.38
Mz=7	0.68	0.82	0.11	0.28	0.34	-

를 나타내고 있다. 유한요소해석결과를 기준으로 특성실험결과와의 오차는 최대 6.8%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다.

Table 3은 6축 힘/모멘트 센서의 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 6축 힘/모멘트 센서의 최대 상호간섭오차는 2.51%이다.

#### 4. 고속측정기 설계 및 제작

Fig. 7은 DSP를 이용한 고속측정기의 블록도이고, Fig. 8은 제작된 고속측정기이다. 이것은 DSP(digital signal processor), 증폭기부 (amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP(TMS320F2812(32bit/150MHz/150MIPS/150MMA C)는 128kword 용량의 플래시 롬 (flash read only memory(ROM)), 1Mword 용량의 램(random access memory(RAM)), 최고 12.5 Mbps로 변환 가능한 AD 컨버터(12-bit ultra-fast analog/digital converter) 등으로 구성되었다. 이것은 전원부로부터 3.3V와 1.8V의 전압을 받아 동작되고, 크리스탈로부터 30MHz의 클럭을 받아 내부에서 5배 증폭하여 150MHz로 동작하며, 내부 플래시 롬 혹은 외부 확장램에 저장된 프로그램의 명령에 따라 DSP의 내부에 장착되어 있는 주변장치들을 동작시킨다. 스위치의 동작에 따라 6축 힘/모멘트 센서로부터 출력되는 신호를 증폭기에서 증폭시킨 후 이것을 DSP 내부의 AD 컨버터로 받아들이고, 이 신호를 LCD에 나타냄과 동시에 외부 확장램에 저장 및 CAN 통신과 RS232C 통신을 이용하여 컴퓨터 혹은 다른 제어장치에 보낸다.

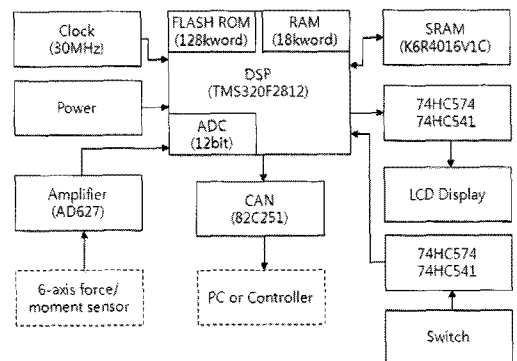


Fig. 7 Block diagram of high-speed measuring device

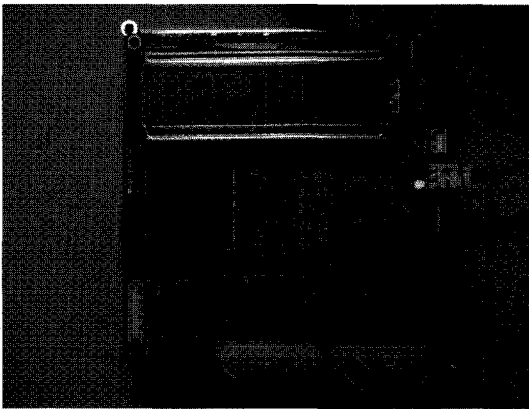


Fig. 8 Manufactured high-speed measuring device

중폭부는 6 축 힘/모멘트센서로부터 출력되는 값을 증폭하는 역할을 하며, 통신부는 제어프로그램을 롬에 다운로드 혹은 컴퓨터와 인터페이스하는 역할을 한다. 그리고 전원부는 DSP 와 다른 주변장치들에 전압 9V, 5V, 3.3V, 1.8V 를 각각 공급하고, 스위치부는 리셋 혹은 전원을 끄는데 사용된다.

**5. 구물체 잡기 손가락 힘측정장치 개발**

**5.1 구물체 잡기 손가락 측정장치 및 교정**

제작된 6 축 힘/모멘트센서가 힘과 모멘트 측정에 사용되기 위해서는 교정되어야 한다. 그러므로 6 축 힘/모멘트센서는 다축 힘/모멘트센서 교정기를 이용하여 교정되었다. 교정은 다음과 같이 진행되었다. 첫째, 고속측정기의 6 개 센서(Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz 센서)의 모든 초기값을 1500mV 로 맞춘다. 초기값을 1500mV 로 조절한 것은 사용한 DSP 에 내장된 AD 컨버터가 측정범위가 0~3000mV 이고, 센서가 양의 방향과 음의 방향으로 값을 나타내기 때문이다. 둘째, 6 축 힘/모멘트센서에 정격하중의 1/2 인  $F_x=F_y=F_z=100N$  과 정격모멘트의 1/2 인  $M_x=M_y=M_z=3500Nmm$  를 각각 가한 후, 고속측정기에 Fx, Fy, Fz 센서는 2500mV 이 되도록 맞추고, Mx, My, Mz 센서는 2900mV 가 출력되도록 조절하였다. 즉, 힘센서들은  $1mV=0.1N$  이 되고, 모멘트센서들은  $1mV=2.5Nmm$  가 된다. 이와 같이 교정한 것은 사람의 죄는 힘 120N 정도를 고려하여 측정정밀도를 높게 하기 위해서이다.

Fig. 9 는 제작된 6 축 힘/모멘트센서가 내장된 구물체를 나타내고 있으며, 구물체의 크기는 직경  $\phi 75mm$  이다. 구물체는 두개의 반구로 구분되어 있

고, 6 축 힘/모멘트센서의 위와 아래의 힘전달블록과 볼트로 고정되어 있으며, 두개의 반구 사이는 힘과 모멘트를 가하면 센서에 전달되도록 2mm 갭을 두었다. Fig. 10 은 구물체 측정장치를 나타내고 있으며, 이것은 6 축 힘/모멘트센서가 내장된 구물체, 고속측정기, 컴퓨터로 구성되었다. 엄지손가락은 한쪽의 반구에 나머지 4 개의 손가락은 다른 쪽의 반구에 각각 힘과 모멘트를 가하면, 구물체에 내장된 6 축 힘/모멘트센서에 전달되고 그 값들은 고속측정기에 의해 측정되어 LCD 에 표시됨과 동시에 컴퓨터로 보내진다.

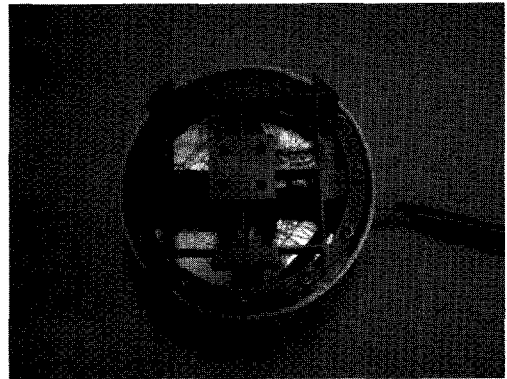


Fig. 9 Manufactured spherical object with six-axis force/moment sensor

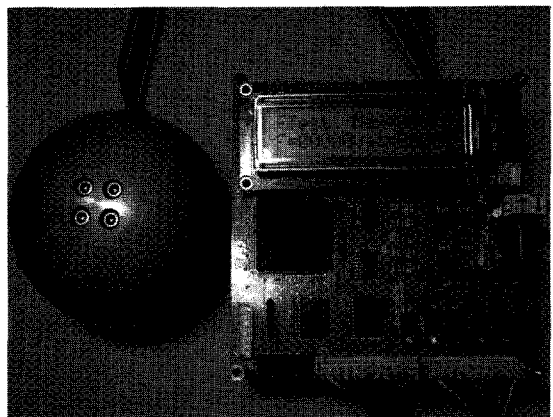


Fig. 10 Manufactured finger-force measuring system

**5.2 데이터 처리를 위한 알고리즘**

Fig. 11 는 데이터 처리를 위한 고속측정기의 흐름도를 나타내고 있다. 동작흐름은 첫째, 측정기의 전원 스위치를 ON 하면 고속측정기의 초기화를 한다. 둘째, Fx, Fy, Fz 센서와 Mx, My, Mz 센서의 각

측정 채널을 값을 읽어 초기값으로 저장한다. 셋째, 각 센서의 측정값을 읽고 그 값을 최기값과 비교하여 순수 측정값을 계산한다. 넷째, 구물체잡기 측정이 시작되었을 경우에는 측정된 값을 현재 값과 최대값을 구분하여 LCD 에 표시함과 동시에 컴퓨터로 보낸다. 다섯째, 위의 세번째와 네번째를 반복하여 측정한다.

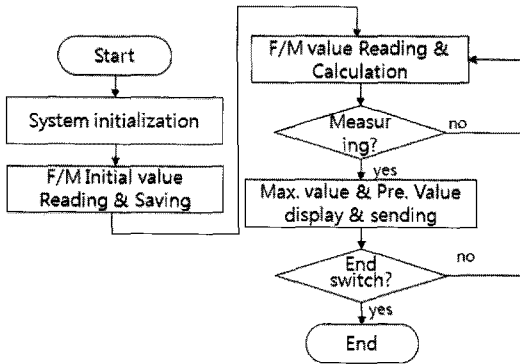


Fig. 11 Flow chart of measuring device

### 5.3 구물체 잡기 손가락 힘측정 특성실험 및 고찰

구물체잡기는 손가락의 재활치료를 받고 있는 사람의 재활정도를 판단하기 위해 실시한다. 재활 정도는 첫째, 구물체를 잡는 힘의 합력(식 (1))으로 전체적으로 판단하고, 둘째, 측정되는 모멘트  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  값을 이용하여 구물체에 힘을 가하거나 가하지 않는 손가락을 판단한다. 구물체 잡기 특성 실험은 3 명의 20 대의 정상인을 남자로 선택하였고, 잡는 방법은 첫째, 잡는 힘을 측정하기 위해 Fig. 12 의 (a)에서 나타난 것과 같이 손가락 5 개를 모두 사용한 경우, 둘째, 손가락의 잡는 힘을 측정하기 위해 (b)와 (c)에서 나타난 것과 같이 엄지, 검지, 중지손가락만 사용한 경우와 엄지, 약지, 새끼손가락만 사용한 경우로 구분하였다. 그리고 손의 위치와 방향에 따라 구물체 잡기 손가락 힘 측정값이 변화가 있는지를 확인하기 위해 Fig. 13 과 같이 의자에 앉은 상태에서 손바닥이 위쪽 방향과 옆쪽 방향을 향하도록 특성실험을 실시하였다. 이와 같이 실험한 이유는 손 환자의 손이 놓여있는 상태를 고려한 것이다. 개발한 구물체 잡기 손가락 힘측정장치가 손환자에게 적용이 가능한지를 정상인의 특성실험을 통해 판단하고자 한다.

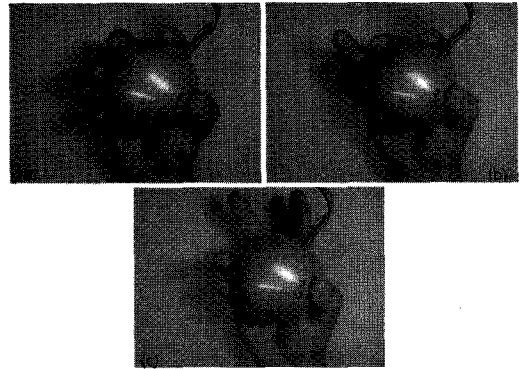


Fig. 12 Method of spherical object grasping in test: (a) all finger (b) thumb, fore-finger and middle finger (c) thumb, ring-finger and little finger



Fig. 13 Photograph of hand position in test

Table 4 는 개발한 손가락 힘측정장치를 이용하여 Fig. 12 의 (a)와 Fig. 13 과 같이 오른팔을 의자의 팔걸이 위에 놓고 손바닥을 위로 향한 상태에서 3 명의 남자 정상인 A, B, C 가 10 초 간격을 두고 각각 4 회 실험한 결과이다.  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  는 6 축 힘/모멘트센서의 출력값을 나타내고 단위는 N 이며, F 는 힘의 합력을 나타내고 식 (1)에 3 개의 힘들을 대입하여 계산한 결과이다.  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$  는 6 축 힘/모멘트센서의 출력값을 나타내고 단위는 Nmm 이다. 실험에서 힘의 합력(F)의 오차는 7.7% 이내이고, 합력의 평균은 약 120N 이었다. 오차가 발생한 것은 6 축 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 위치가 미소하게 달라지기 때문이다.

Table 5 는 개발한 손가락 힘측정장치를 이용하여 Fig. 12 의 (b), (c)와 Fig. 13 과 같이 각각 오른팔을 의자의 팔걸이 위에 놓고 손바닥을 위로 향하게 한 상태에서 10 초 간격을 두고 각각 3 회 실험한 결과이다. 검지와 중지로 구물체를 잡았을 때 힘의 합력은 평균 103N 이었고, 모멘트  $M_x$ ,  $M_y$  센

서의 힘의 값이 양의 값을 나타내었다. 약지와 소지로 잡았을 때 힘의 합력은 평균 78N 이었고, 모멘트 Mx, My 센서의 힘의 값이 음의 값을 나타내었다. 이 힘의 합력과 모멘트 Mx 와 My 값으로부터 어느 손가락이 회복되었는지를 판단할 수 있을 것으로 생각된다. 측정 오차는 6 축 힘/모멘트센서의 상호간섭오차, 구물체를 잡는 방법, 잡을 때 힘을 가하는 정도 등에 의한 것이다.

Table 4 Results of force/moment of the right hand fingers on chair-arm

M	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

Table 5 Results of force/moment of first & middle fingers, and ring & little fingers in right hand

First & middle fingers of right hand							
no.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz	F
1	27	-12	108	3	36	1	112
2	20	-10	90	5	41	6	93
3	20	-14	100	3	24	3	103
Avg.	22	-12	99	4	34	3	103
Ring & little fingers of right hand							
4	-30	18	68	-11	-2	4	76
5	-26	19	77	-10	3	4	83
6	-25	24	64	-9	-2	0	73
Avg.	-27	20	70	-10	0	3	78

## 6. 결론

본 논문에서는 정상인과 뇌졸중 환자 등의 손가락 힘측정을 위한 구물체 잡기 손가락 힘측정장치를 개발하였다. 제작한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 특성실험결과 2.51%임을 확인 하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 개발된 6 축 힘/모멘트센서<sup>46</sup>의 그것과 비슷한 수준이다. 개발한 고속측정장치는 구물체 잡는 힘측정장치에 활용하기 적당함을 확인하였다. 구물체 잡기 특성실험결과, 성인 남자의 잡는 힘은 약 120N 이었다. 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.

추후 연구는 각종 실험을 통한 정상인의 구물체 잡기 손가락 힘측정 DB 를 구축과 손가락 재활 환자의 적용 실험이다.

## 후 기

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

## 참고문헌

- Olandersson, S., Lundqvist, H., Bengtsson, M., Lundahl, M., Baerveldt, A. J. and Hilliges, M., "Finger-force Measurement-device for Rehabilitation," Proceedings of IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 135-138, 2005.
- Li, S., Danion, F., Latash, M. L., Li, J. M. and Zatsiorsky, V. M., "Bilateral deficit and symmetry in finger force production during two-hand multifinger tasks," Exp. Brain Res., Vol. 141, No. 4, pp. 530-540, 2001.
- Lee, J. W. and Rim, K., "Measurement of finger joint angles and maximum finger forces during cylinder grip activity," Journal of Biomedical Engineering, Vol. 13, No. 2, pp.152-162, 1991.
- Kim, G. S. and Park, J. J., "Development of the 6-axis force/moment sensor for an intelligent robot's



- gripper,” *Sensors and Actuators*, Vol. 118, No. 1, pp. 127-134, 2005.
5. Kim, G. S. and Yoon, J. W., “Development of 6-axis force/moment sensor for robot’s intelligent foot,” *J. of KSPE*, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.
  6. 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.
  7. Kim, G. S. and Yoon, J. W., “Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation,” *J. of KSPE*, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.