

## 2축 힘/모멘트센서를 이용한 원통형 손가락 힘측정장치 개발 및 특성평가

### Development of Cylindrical-type Finger Force Measuring System Using Two-axis Force/Moment Sensor and its Characteristic Evaluation

김 갑 순\*  
(Gab-Soon Kim<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Gyeongsang National University

**Abstract:** Some patients can't use their hands because of inherent and acquired paralysis of their fingers. Their fingers can recover with rehabilitative training, and the extent of rehabilitation can be judged by grasping a cylindrical-object with their fingers. At present, the cylindrical-object used in hospitals is only a cylinder which cannot measure grasping force of the fingers. Therefore, doctors must judge the extent of rehabilitation by watching patients' fingers as they grasp the cylinder. A cylindrical-type finger force measuring system which can measure the grasping force of patients' fingers should be developed. This paper looks at the development of a cylindrical-type finger force measuring system with two-axis force/moment sensor which can measure grasping force. The two-axis force/moment sensor was designed and fabricated, and the high-speed force measuring device was designed and manufactured by using DSP (digital signal processing). Also, cylindrical-type finger force measuring system was developed using the developed two-axis force/moment sensor and the high-speed force measuring device, and the grasping force tests of men were performed using the developed system. The tests confirm that the average finger forces of right and left hands for men were about 186N and 172N respectively.

**Keywords:** tow-axis force/moment sensor, interference error, rated output, finger rehabilitation, rehabilitating instrument, cylinder-object prehension

#### 1. 서론

전 세계적으로 선천적 및 후천적으로 손가락의 마비증세로 인해 손을 사용할 수 없는 사람의 수는 급속히 증가하고 있고, 이들의 손가락들은 재활훈련을 통해 회복될 수 있으며, 재활정도를 판단하기 위한 하나의 수단으로 두손가락 잡기, 원통형 물체잡기 등을 실시한다. 손가락 힘측정장치에 관한 연구는 논문[1]에서 원통형 물체잡기 손가락 힘측정은 압력 필름을 이용하여 손가락의 압력을 측정할 기초 실험이 이루어졌으나 정확한 힘을 측정할 수 없어 현재 사용되고 있지 않다. 논문 [2]는 3축 힘센서를 이용하여 두 손가락(엄지와 검지, 엄지와 중지 등)의 누르는 힘측정을 정확하게 측정할 수 있다. 논문[3]은 탐침체를 이용하여 손가락 전체를 펴고 구부리는 힘을 측정할 수 있는 장치를 개발하였으나 힘측정 센서가 없어 정확하게 측정할 수 없다.

현재 병원에서 재활정도를 판단하기 위해 사용되는 원통형 물체는 잡는 힘을 측정할 수 없는 플라스틱으로 만들어진 원통형 물체이다. 그러므로 의사는 손가락으로 원통형 물체를 잡을 수 있는지 만을 눈으로 확인하여 재활정도를 대략적으로 판단하고, 어느 정도 힘으로 잡는지를 확인할 수 없어 재활정도를 정확하게 파악할 수 없는 실정이다.

환자의 손가락 모두가 일시적으로 회복되지 않으므로 재활정도를 판단하기 위해서는 원통형 물체잡기 힘측정을 할

때, 손가락 전체로 잡는 힘을 측정해야 하고, 대략적으로 어느 손가락이 힘을 가지고 있는지를 파악할 수 있어야 한다.

잡는 힘은 원통형물체의 축방향의 직각방향(엄지와 나머지 4손가락으로 누르는 방향)의 힘을 측정하여 확인이 가능하고, 검지와 중지, 혹은 약지와 소지 두 손가락씩의 대략적인 힘은 축방향의 직각방향의 모멘트를 측정하면 알 수 있다.

이와 같이 원통형 물체잡기를 통해 손가락의 재활정도를 판단하기 위한 원통형 물체잡기 힘측정장치는 첫째, 힘과 모멘트를 동시에 측정할 수 있는 2축 힘/모멘트센서가 필요하고, 둘째는 힘과 모멘트를 빠른 속도로 측정하고 잡는 힘을 계산할 수 있는 고속 측정기가 필요하다. 그리고 2축 힘/모멘트센서는 원통형 물체에 내장될 수 있도록 크기가 적당해야 하고, 힘과 모멘트의 정격용량이 잡는 힘과 모멘트를 측정할 수 있을 정도이어야 하며, 또한 매우 가벼워야 한다. 그러나 현재 개발된 힘/모멘트센서는 가격이 고가이고, 크기 및 정격용량 등의 조건들이 원통형 물체잡기 힘측정장치에 활용하기에 적합하지 않다[4-6,8,9]. 그리고 2축 힘/모멘트센서의 출력값을 빠른 속도로 측정하고 처리할 수 있는 고속측정기의 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 환자가 원통형 물체를 잡는 힘을 측정할 수 있는 원통형 물체잡기 손가락힘측정장치를 개발한다. 이를 위해 2축 힘/모멘트센서를 새롭게 모델링하였고, 유한요소법(FEM analysis)을 이용하여 2축 힘/모멘트센서를 설계 및 제작하였다. 그리고 이들을 이용하여 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치를 설계 및 제작하였고, 정상인의 원통형 물체잡기 손가락 힘측정실험을 실시하였다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 11. 4., 수정: 2011. 3. 23., 채택확정: 2011. 4. 12.

김갑순: 경상대학교 제어계측공학과, ERI(gskim@gsnu.ac.kr)

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

II. 원통형 물체잡기 손가락 힘측정의 원리

그림 1은 원통형 물체잡기 손가락 힘측정의 원리를 나타내고 있고, 원통의 단면을 보이고 있다. 그림 1에 나타난 것과 같이 5개의 손가락이 원통형 물체 내부에 내장되어 있는 2축 힘/모멘트센서에 힘을 가하면 센서에 힘과 모멘트가 동시에 감지된다. 측정된 힘은 전체 손가락으로 잡는 힘을 나타내고, 모멘트는 검지와 중지의 힘이 약지와 소지의 힘보다 크면 양의 모멘트값이 출력되고, 반대인 경우에는 음의 모멘트값이 출력된다. 그리고 각각의 두 손가락씩의 힘이 비슷하면 0에 가까운 모멘트값을 출력할 것이다. 이와 같은 방법으로 대략적으로 두 개씩의 손가락 회복정도를 판단할 수 있다.

III. 2축 힘/모멘트센서 설계 및 제작

1. 2축 힘/모멘트센서의 구조

그림 2는 2축 힘/모멘트센서의 구조를 나타내고 있고, 힘 Fz와 모멘트 Mx감지할 수 있는 2개의 센서의 감지부를 한 물체에 구성되도록 하였다. 중앙에 힘/모멘트 전달블록이 위치해 있고 하부좌측과 하부우측 각각의 고정블록이 위치해 있으며, 힘/모멘트 전달블록 좌측과 우측에 평행평판보(PPB: Parallel Plate Beam)가 각각 위치해 있다. 2개의 평행평판보가 2개 Fz 센서와 Mx 센서의 감지부로 사용되고, 이들은 평판보(beam1~4)로 구성되어 있으며, 설계변수로 사용되는 크기는 두께(t), 길이(l), 폭(b)이다. 2축 힘/모멘트센서는 중앙에 위치한 힘/모멘트 전달블록에 힘과 모멘트를 가하면 2개의 센서가 그것들의 양을 감지한다.

2. 유한요소해석을 이용한 센서설계 및 분석

2축 힘/모멘트센서의 설계변수는 물체의 크기, 각 센서의 정격출력, 정격하중, 평행평판보 PPB1~4를 구성하는 보들의 크기는 폭b, 두께t, 길이l이며, 이것은 센서의 사양을 나타내는 요소로 구성하였다. 각 센서는 4개의 스트레인게이지로

휘스톤브리지를 구성한다. 정격변형률은 정격하중이 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 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 휘스톤브리지의 출력전압, K는 스트레인게이지의 상수(약 2.03),  $\epsilon$ 는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

2축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 1.0mV/V, 정격하중은 힘 Fz센서가 300N, 모멘트 Mx센서가 5.0Nm이고, 센서의 크기가 78mm×30mm×12mm, 스트레인게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.8mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인게이지의 부착위치에서의 총 변형률은 약 2000um/m로 결정하였다.

2축 힘/모멘트센서의 각 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하였다. 유한요소해석을 위해 소

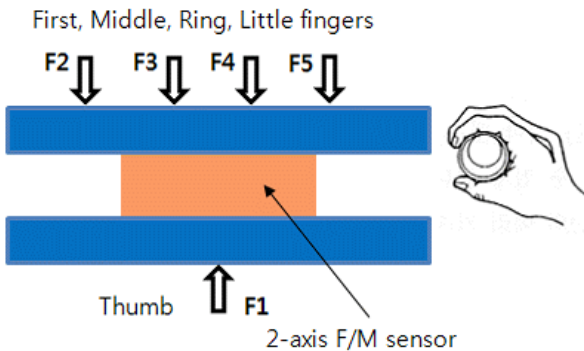


그림 1. 원통형 물체잡기 손가락 힘측정의 원리.  
Fig. 1. Force measuring principle for gripping a cylinder-object.

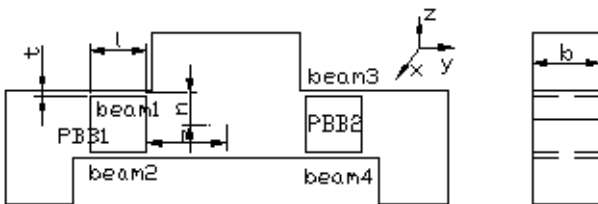


그림 2. 2축 힘/모멘트센서의 구조.  
Fig. 2. Structure of two-axis force/moment sensor.

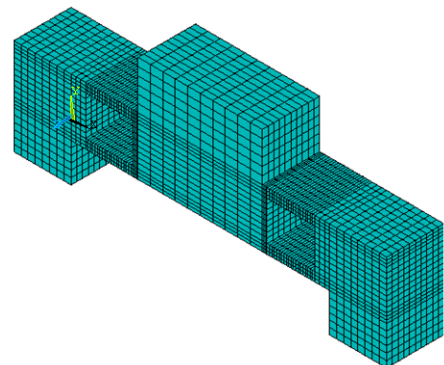


그림 3. 유한요소해석을 위한 격자모양 분할한 모습.  
Fig. 3. Mesh shape for FEM analysis.

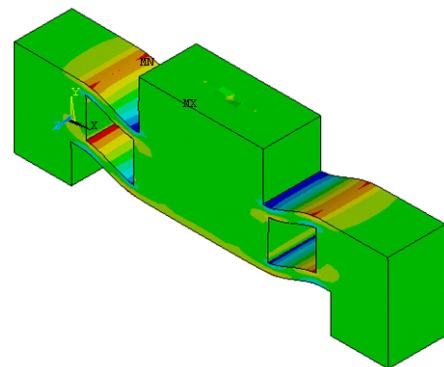


그림 4. 힘 Fx를 가했을 때 변형된 모습.  
Fig. 4. Deformed shape under force Fx.

소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3이며, 8절점 6면체 블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 0.5mm, 두께방향으로는 4등분, 폭방향으로는 8등분하였다. 그림 3은 2축 힘/모멘트 센서를 유한요소법으로 해석하기 위해 격자를 나누는 모습을 나타내고 있다. 그림 4는 힘이 Fz 방향으로 그림 5는 Mx 방향으로 가해졌을 때의 센서 감지부의 변형된 모습을 나타내고 있으며, 모두 센서의 구조를 모델링할 때 예상했던 모습으로 변형되었다. 유한요소법을 이용하여 2축 힘/모멘트 센서를 설계한 결과, 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 평판보의 길이 l=10mm, 폭 b=12mm로 결정하였고, 두께 t=1.8mm이었다.

유한요소해석 결과를 토대로 2축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 그림 6에 나타내고 있다. 스트레인게이지의 부착위치는 Fz센서가 S1~S4, Mx센서가 S5~S8이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 1.5mm이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 이 위치는 각 센서의 정격하중에서 상호간섭오차가 0%이고, 최대의 정격출력이 발생하는 지점으로 결정되었다.

표 1은 유한요소법을 이용하여 2축 힘/모멘트센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. 모든 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 2000um/m 이상이었으며, 최대오차는 11.5%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 2축 힘/모멘트센서 구조의 복잡성 때문에 0.01mm 단위로 가공할 수 없기 때문이다.

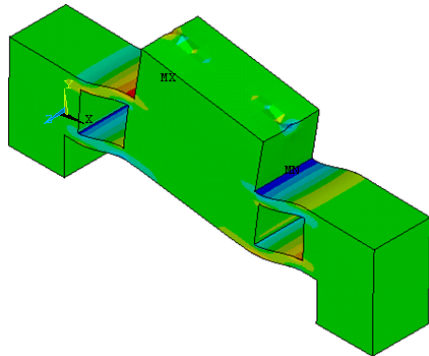


그림 5. 모멘트 Mx를 가했을 때 변형된 모습.  
Fig. 5. Deformed shape under moment Mx.

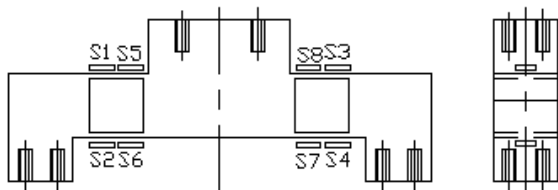


그림 6. 2축 힘/모멘트센서의 스트레인게이지 부착위치.  
Fig. 6. Attachment locations of strain gages on sensing element of two-axis force/moment sensor.

3. 2축 힘/모멘트센서 제작 및 특성실험

2축 힘/모멘트센서는 그림 6에 나타난 각 센서의 게이지부착 위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3x5.2mm)를 순간접촉제(M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지[5,6,8,9]를 구성하여 제작하였으며, 그림 7은 제작된 2축 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

제작한 2축 힘/모멘트센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기[7]를 이용하였고, 이교정기는 힘 Fz를 2000N, 모멘트 Mx를 500Nm를 연속적으로 발생시킬 수 있으며, 1x10<sup>-4</sup>의 상대확장불확도를 가지고 있다. 2축 힘/모멘트센서는 정격하중인 Fz=300N과 모멘트 Mx=5.0Nm를 가하고 정격출력을 측정하였다. 실험은 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다. 표 2는 2축 힘/모멘트센서의 이론 해석과 실험결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 이론 해석결과의 정격출력은 표 1의 정격변형률 ε을 식 (2)에 적용하여 계산된 것이고, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서

표 1. 2축 힘/모멘트센서의 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률.

Table 1. Strains from FEM analysis at each attachment location of strain-gages of each sensor of 2-axis force/moment sensor.

Sensor	Strain (um/m)				
	T <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	ε
Fx	524	-524	524	-524	2096
Mz	558	-558	558	-558	2232

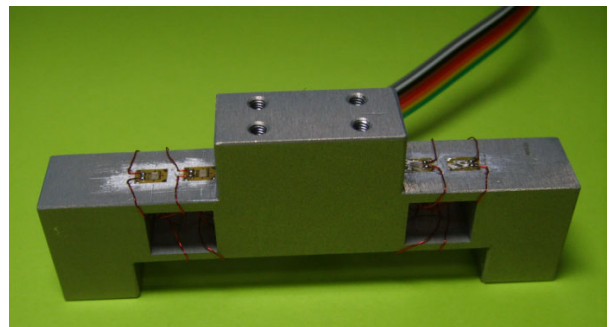


그림 7. 제작된 2축 힘/모멘트센서의 사진.  
Fig. 7. Photograph of manufactured two-axis force/moment sensor.

표 2. 유한요소해석과 특성실험의 정격출력.

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

Sensor	Rated output (mV/V)		
	FEM	Exp.	Error
Fx	1.0637	1.0752	1.08
Mz	1.1327	1.1195	1.17

표 3. 2축 힘/모멘트센서의 상호간섭오차.

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

F/M	Sensor	Interference error (%)	
		Fz	Mx
Fz=300N		-	0.82
Mx=5.0Nm		0.21	-

특성실험한 결과를 나타내고 있다. 이론해석결과를 기준으로 이론해석결과와의 오차는 최대 1.17%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다. 표 3은 2축 힘/모멘트센서의 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 2축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 0.82%이다.

**IV. 고속측정기 설계 및 제작**

그림 8은 DSP를 이용한 고속측정기의 블록도이고, 그림 9는 제작된 고속측정기이다. 이것은 DSP (Digital Signal Processor), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP는 내장된 A/D 컨버터를 이용하여 측정된 힘과 모멘트값을 LCD에 표시함과 동시에 컴퓨터로 보내고, 증폭부는 2축 힘/모멘트센서로부터 출력되는 값을 증폭하는 역할을 하며, 통신부는 제어프로그램을 롬에 다운로드 혹은 컴퓨터와 인터페이스하는 역할을 한다. 그리고 전원부는 DSP와 다른 주변장치들에 전압 9V, 5V, 3.3V, 1.8V를 각각 공급하고, 스위치부는 리셋 혹은 전원을 끄는데 사용된다.

사용된 DSP TMS320F2812(32bit/150MHz/150MIPS/150MMAC)는 128kword 용량의 플래시 롬(flash read only memory(ROM)), 1Mword 용량의 램(RAM: Random Access Memory), 최고 12.5 Mbps로 변환 가능한 AD 컨버터(12-bit ultra-fast analog/digital converter) 등으로 구성된 텍사스 인스트루먼트사(TI)에서 제

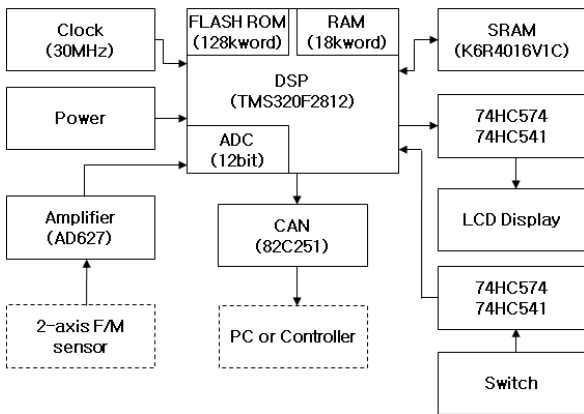


그림 8. 고속힘측정기의 블록도.  
Fig. 8. Block diagram of high-speed measuring device.



그림 9. 제작된 고속힘측정기의 사진.  
Fig. 9. Photograph of manufactured high-speed measuring device.

작한 고성능의 프로세서의 일종이다. 이것은 전원부로부터 3.3V와 1.8V의 전압을 받아 동작되고, 크리스탈로부터 30 MHz의 클럭을 받아 내부에서 5배 증폭하여 150MHz로 동작하며, 내부플래시 롬 혹은 외부 확장램에 저장된 프로그램의 명령에 따라 DSP의 내부에 장착되어 있는 주변장치들을 동작시킨다. 스위치의 동작에 따라 2축 힘/모멘트 센서 1과 2로부터 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.

**V. 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치 개발**

**1. 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치 및 교정**

제작된 2축 힘/모멘트센서가 힘과 모멘트 측정에 사용되기 위해서는 교정되어야 한다. 그러므로 2축 힘/모멘트센서는 다축 힘/모멘트센서 교정기[7]를 이용하여 교정되었고, 이교정기는 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 상대 확장불확도를 가지고 있다. 교정은 다음과 같이 진행되었다. 첫째, 고속측정기의 2개 센서( $F_z, M_x$  센서)의 모든 초기값을 1500mV로 맞춘다. 초기값을 1500mV로 조절한 것은 사용한 DSP에 내장된 AD 컨버터가 측정범위가 0~3000mV이고, 센서가 양의 방향과 음의 방향으로 값을 나타내기 때문이다. 둘째, 2축 힘/모멘트센서에 정격하중인  $F_z=300N$ 과 모멘트  $M_x= 5000Nmm$ 를 각각 가한 후, 고속측정기에  $F_z$ 센서는 2700mV이 되도록 맞추고,  $M_x$  센서는 2500mV가 출력되도록 조절하였다. 즉, 힘센서들은  $1N=4mV$ 가 되고, 모멘트센서들은  $5Nmm=1mV$ 가 된다.

그림 10은 제작된 2축 힘/모멘트센서가 내장된 원통형물체를 나타내고 있다. 원통형물체는 두개의 반원통으로 구분되어 있고, 2축 힘/모멘트센서의 위와 아래의 힘전달블록과 볼트로 고정되어 있으며, 두 개의 반원통 사이는 힘과 모멘트를 가하면 센서에 전달되도록 2mm 갭을 두었다. 그림 11은 원통형 물체잡기 손가락 힘측정기를 나타내고 있으며, 이것은 2축 힘/모멘트센서가 내장된 원통형물체, 고속측정기, 컴퓨터로 구성되었다. 엄지손가락은 한쪽의 반원통에 나머지 4개의 손가락은 다른 쪽의 반원통에 각각 힘과 모멘트를 가하면, 원통형물체에 내장된 2축 힘/모멘트센서에 전달되고, 그 값들은 고속측정기에 의해 측정되어 LCD에 표시됨과 동시에 컴퓨터로 보내진다.

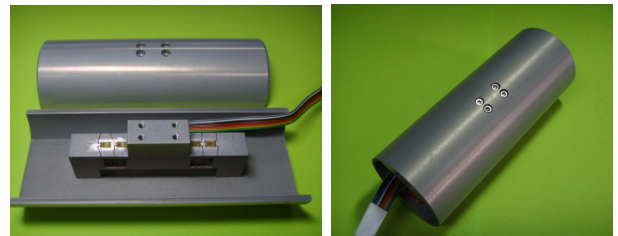


그림 10. 제작된 2축 힘/모멘트센서를 이용한 원통형 손가락 힘측정기구의 사진.  
Fig. 10. Photograph of manufactured cylindrical-type finger force measuring instrument with tow-axis force/moment sensor.



그림 11. 제작된 원통형 손가락 힘측정장치의 사진.  
Fig. 11. Photograph of manufactured cylindrical-type finger force measuring system.

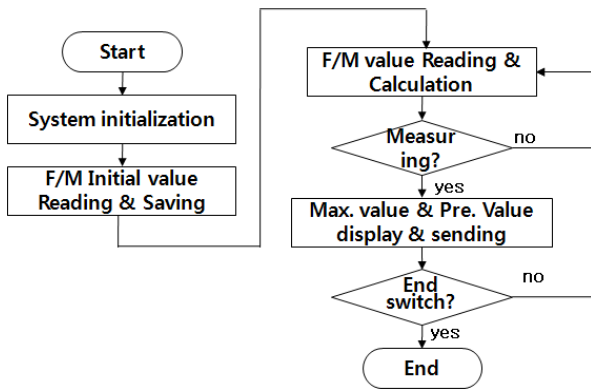


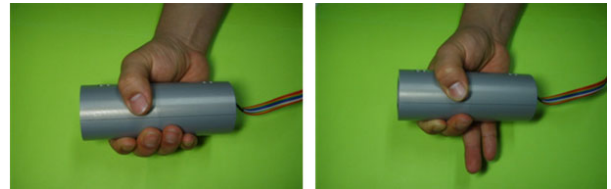
그림 12. 측정장치의 흐름도.  
Fig. 12. Flow chart of measuring device.

2. 데이터 처리를 위한 알고리즘

그림 12는 데이터 처리를 위한 고속측정기의 흐름도를 나타내고 있다. 동작흐름은 첫째, 측정기의 전원 스위치를 ON 하면 고속측정기의 초기화를 한다. 둘째, Fz센서와 Mx센서의 각 측정 채널을 값을 읽어 초기값으로 저장한다. 셋째, 각 센서의 측정값을 읽고 그 값을 최기값과 비교하여 순수 측정값을 계산한다. 넷째, 원통형물체잡기 측정이 시작되었을 경우에는 측정된 값을 현재 값과 최대값을 구분하여 LCD에 표시함과 동시에 컴퓨터로 보낸다. 다섯째, 위의 세번째와 네번째를 반복하여 측정한다.

3. 원통형물체잡기 특성실험

원통형 물체잡기는 손가락의 재활치료를 받고 있는 사람의 재활정도를 판단하기 위해 실시한다. 재활정도는 첫째, 원통형물체를 잡는 힘의 절대값으로 판단하고, 둘째, 측정되는 모멘트 Mx 값을 이용하여 원통형 물체에 힘을 가하거나 가하지 않는 두 개씩의 손가락(검지와 중지 혹은 약지와 소지)을 판단한다. 특성실험은 우선 20대의 정상인을 남자를 기준으로 실시하고, 잡는 방법은 그림 13에서 나타난 것과 같이, 첫째, 손가락 5개를 모두 사용한 경우, 둘째, 엄지, 검지, 중지손가락만 사용한 경우, 셋째, 엄지, 약지, 새끼손가락만 사용한 경우로 구분하였다. 그림 14는 원통형 손가락 힘측정장치를 이용한 잡는 힘측정의 특성실험장면을 나타내고 있다. 측정값은 모두 3번을 측정한 후 평균한 것이다.



(a) All fingers (b) Thumb, fore-finger and middle finger



(c) Thumb, ring-finger and little finger

그림 13. 원통형 손가락 힘측정장치를 이용한 실험을 위한 원통잡는 방법의 사진.

Fig. 13. Photograph of grasping method of cylindrical-object for test using cylindrical-type finger force measuring system.

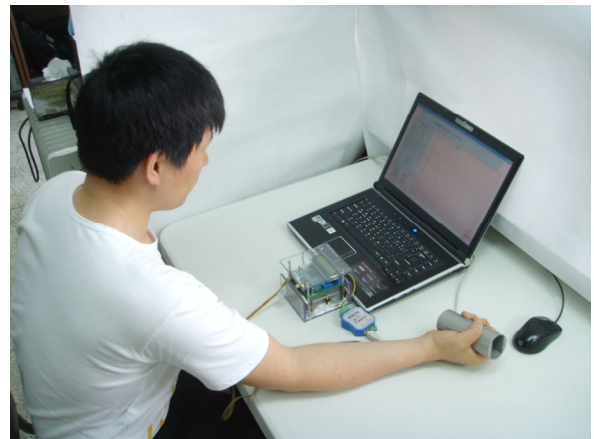


그림 14. 원통형 손가락 힘측정장치를 이용한 원통잡기 특성 실험 사진.

Fig. 14. Photograph of characteristic test of cylindrical-object grasping using cylindrical-type finger force measuring system.

표 4. 원통형 손가락 힘측정장치를 이용한 원통잡기 특성 실험 결과.

Table 4. Result of characteristic test of cylindrical-object grasping using cylindrical-type finger force measuring system.

Finger	All finger		Thumb, fore-finger and middle finger		Thumb, ring-finger and little finger		
	Fz (N)	Mx (Nmm)	Fz(N)	Mx (Nmm)	Fz(N)	Mx (Nmm)	
Men	A	187	3	122	171	78	-105
	B	185	6	128	147	81	-114
	C	184	-1	131	183	93	-123
	Avg.	186	3	127	167	84	-114
R	A	171	-3	110	156	63	-96
	B	173	1	109	144	67	-90
	C	171	5	119	159	62	-87
	Avg.	172	1	113	153	64	-91

표 4에서와 같이 실험결과, 잡는 힘은 오른손으로 손가락 5개를 모두 사용 하였을 때 약 186N, 엄지, 검지, 중지로 쥐었을 때 약 127N, 엄지, 약지, 소지로 쥐었을 때 약 84N이었다. 그리고 왼손인 경우에는 각각 172N, 113N, 64N이었다. 모멘트  $M_x$ 는 5개의 손가락으로 잡았을 때에는 0에 가깝고, 엄지, 검지, 중지로 잡았을 때 오른 손가락은 +167Nmm, 왼손가락은 +153Nmm이었으며, 엄지, 약지, 소지로 잡았을 때 오른 손가락은 -114Nmm, 왼손가락은 -91Nmm이었다. 본 논문에서 개발한 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치는 표4에서 보는 것과 같이 5개의 전체 손가락, 검지와 중지, 약지와 소지의 힘을 측정할 수 있음을 확인하였다.

## VI. 결론

본 논문에서는 정상인과 뇌졸중 환자 등의 손가락 힘측정을 위한 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치를 개발하였다. 제작한 2축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차가 0.82%임을 확인하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 판매하고 있는 2축 힘/모멘트센서[4-6,8,9]의 그것과 비슷한 수준이다. 개발한 고속측정장치는 개발한 2축 힘/모멘트센서의 출력값을 빠른 속도로 처리함을 확인할 수 있었고, 원통형 물체잡기 힘측정장치에 활용하기 적합함을 확인하였다. 원통형 물체잡기 특성실험결과, 개발한 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치는 5개의 전체 손가락, 검지와 중지, 약지와 소지의 힘을 측정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 원통형 물체잡기 손가락 힘측정장치는 정상인의 원통형물체를 잡는 힘을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 뇌졸중 환자 등 재활중인 환자의 원통형 물체를 잡는 힘을 측정하여 재활정도를 판단하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구로는 다양한 연륜 및 성별로 원통형 손가락 힘측정을 한 후 DB를 구축하는 것이다.

## 참고문헌

[1] J. W. Lee and K. Rim, "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.

- [2] H. M. Kim, J. W. Yoon, H. S. Shin, and G. S. Kim, "Development of finger-force measuring system using three-axis force sensor for measuring two-finger force," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems(in Korean)*, vol. 16, no. 9, pp. 876-882, 2010.
- [3] S. Olandersson, H. Lundqvist, M. Bengtsson, M. Lundahl, A. J. Baerfeldt, and M. Hilliges, "Finger-force measurement-device for and rehabilitation," *Proc. of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Chicago, IL, USA, pp. 135-138, June 28-July 1, 2005.
- [4] K. Nagai, Y. Ito, M. Yazaki, K. Higuchi, and S. Abe, "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.
- [5] G. S. Kim and J. J. Park, "Development of the 6-axis force/moment sensor for an intelligent robot's gripper," *Sensors and Actuators A*, vol. 118, pp. 127-134, 2005.
- [6] G. S. Kim, H. J. Shin, and J. W. Yoon, "Development of 6-axis force/moment sensor for a humanoid robot's intelligent robot," *Sensors and Actuators A*, vol. 141, no. 2, pp. 276-281, 2008.
- [7] G. S. Kim and J. W. Yoon, "Development of calibration system for multi-axis force/moment sensor and its uncertainty evaluation," *Korean Society for Precision Engineering(in Korean)*, vol. 24, no. 10, pp. 91-98, 2007.
- [8] Ati Industrial Automaton, "Multi-axis force/torque sensor," *Ati Industrial Automation*, pp. 4-45, 2005.
- [9] BL Autotec, "BL Sensor, Multi-axis force/torque sensor (BL-FTS-E020)," *BL Autotec*, pp. 5-50, 2003.



김 갑 순

1999년 8월 한양대학교 공과대학 자동화시스템전공(공학박사). 현재 경상대학교 제어계측공학과 교수. 관심분야는 로봇용 센서, 인간형 로봇, 서비스로봇, 이동로봇, 재활로봇의 설계 및 제어, 산업체의 지능시스템 설계 및 제어.