Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2010) 16(9):876-882
DOI:10.5302/J.ICROS.2010.16.9.876 ISSN:1976-5622

3축 힘센서를 이용한 두 손가락 힘측정장치 개발

Development of Force Measuring System using Three-axis Force Sensor for Measuring Two-finger Force

김 현 민, 윤 정 원, 신 희 석, 김 갑 순*
(Hyeon-Min Kim[1], Jongwon Yoon[1], Hee-Suk Shin[1], and Gab-Soon Kim[1])
[1]Gyeongsang National University

Abstract: Stroke patients can't use their hands because of the paralysis their fingers. Their fingers are recovered by rehabilitating training, and the rehabilitating extent can be judged by measuring the pressing force to be contacted with two fingers (thumb and first finger, thumb and middle finger, thumb and ring finger, thumb and little finger). But, at present, the grasping finger force of two-finger can't be accurately measured, because there is not a proper finger-force measuring system. Therefore, doctors can't correctly judge the rehabilitating extent. So, the finger-force measuring system which can measure the grasping force of two-finger must be developed. In this paper, the finger-force measuring system with a three-axis force sensor which can measure the pressing force was developed. The three-axis force 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 grasping forces of men were different according to grasping methods.

Keywords: three-axis force sensor, finger-force measuring system, finger rehabilitation, rehabilitating instrument

I. 서론

후천적으로 사고 등에 의해 뇌졸증환자와 같이 손가락이 마비되어 정상적으로 움직이지 못하는 사람이 급속히 증가하는 추세이다. 이들의 손가락들은 재활훈련을 통해 일부는 회복되고 재활정도를 파악하기 위한 하나의 방법으로 두 손가락으로 접촉하여 누르기를 실시한다. 이를 위해 현재 병원에서 사각판을 이용하고 있어 단지 잡는지만 확인할 수 있거나, 논문[1,2]에서는 두 손가락으로 눌러서 잡을 수 있는 장치를 이용하여 대략적인 누르는 힘을 측정한다. 이들 장치는 일방향 힘센서가 내장되어 있어 누르는 힘의 방향이 측정방향과 일치하지 않으면 큰 오차를 보이는 단점을 가지고 있다. 그러므로 손가락 힘측정장치를 3방향의 힘, 즉 x방향의 힘 Fx, y방향의 힘 Fy, z방향의 힘 Fz를 동시에 측정하는 3축 힘센서를 이용하여 두 손가락의 누르는 힘을 측정한 후 합력을 계산해야 한다.

이와 같이 두 손가락으로 누르는 힘을 측정하여 재활정도를 판단하기 위한 손가락 힘측정장치는 첫째, 힘 Fx, Fy, Fz를 동시에 측정할 수 있는 3축 힘센서가 필요하고, 둘째는 3개의 힘을 빠른 속도로 측정하고 잡는 힘(합력)을 계산할 수 있는 고속 측정기가 필요하다. 손가락 힘측정장치에 내장되는 3축 힘센서는 크기가 작아야 하고, 용량이 잡는 힘을 측정할 수 있을 정도이어야 하며, 매우 가벼워야 한다. 또한 센서의 가격이 저가이어야 한다. 그러나 현재 개발된 3방향의 힘을 측정할 수 있는 센서[3-5]는 1개의 가격이 약 5백만원정도로 매우 고가이고, 크기 등의 모든 조건을 만족시키지 못해 두 손가락 누르는 힘을 측정하는 손가락 힘측정장치에 활용하기에 적합하지 않다.

따라서 본 논문에서는 손가락 재활환자의 두 손가락누르는 힘 측정을 위한 두 손가락 잡기 힘측정장치를 개발하였다. 3축 힘센서를 새롭게 모델링하였고, 유한요소법을 이용하여 3축 힘센서를 설계 및 제작하였으며, DSP를 이용하여 고속 힘측정장치를 설계 및 제작하였다. 또한 정상인의 두 손가락 잡기 힘측정실험을 실시하였다.

II. 두 손가락 잡기 힘측정원리

그림 1은 두 손가락 잡기 힘측정원리를 나타내고 있다. 그림 1에 나타낸 것과 같이 두 개(엄지와 검지, 엄지와 중지, 엄지와 약지, 엄지와 소지)의 손가락이 두 손가락 힘측정장치의 3축 힘센서에 힘을 가하면 센서에 힘 Fx, Fy, Fz가 감지된다. 손가락 전체의 힘 F는 측정된 힘들을 식(1)에 대입하여 계산한다.

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

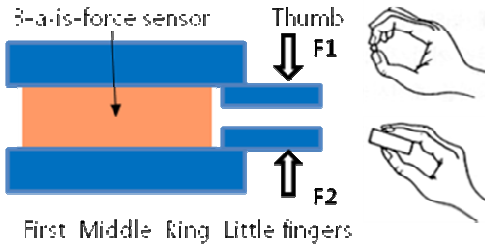

그림 1. 두 손가락 잡기 힘측정원리.
Fig. 1. Measuring principle of two-finger grasping.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2010. 4. 14., 수정: 2010. 6. 21., 채택확정: 2010. 7. 17.
김현민, 윤정원, 신희석: 경상대학교
(pposab@nate.com/jwyoon@gnu.ac.kr/hsshin@gnu.ac.kr)
김갑순: 경상대학교 제어계측공학과, ERI(gskim@gsnu.ac.kr)
※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구임(No. 2009-0087281).

Copyright© ICROS 2010

III. 3축 힘센서 설계 및 제작

1. 3축 힘센서의 구조

그림 2는 3축 힘센서의 구조를 나타내고 있고, 이것은 힘 Fx, Fy, Fz를 동시에 감지할 수 있으며, 3개의 센서 감지부를 한 몸체에 제작 하였다. 3축센서의 감지부는 3개의 평행평판보 (PPB1~3)이 수직과 수평으로 놓여 "U"자 형태로 연결되었으며, PPB1 (Parallel Plate Beam)은 힘 Fx센서의 감지부, PPB2는 힘 Fy센서의 감지부, PPB3는 힘 Fz센서의 감지부이다. 각 평판보(plate beam)의 두께 t1, t2, t3, 길이 l1, l2, l3, 폭 b1, b2, b3는 센서의 설계변수로 사용된다. 힘측정 방법은 좌측 상부블록를 고정하고 우측 상부블록에 그림 2에서 나타낸 것과 같이 힘을 가하면 Fx센서, Fy센서, Fz센서에서 힘을 감지한다.

2. 유한요소법을 이용한 센서설계 및 분석

3축 힘센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격축력, 정격하중, 평행평판보PPB1~3을 구성하는 평판보들의 크기인 폭 b1, b2, b3, 두께 t1, t2, t3, 길이 l1, l2, l3이다. 각 센서는 4개의 스트레인게이지로 휘스톤브리지를 구성한다. 정격변형률은 정격 하중이 가해질 때 휘스톤브리지에서 출력되는 총 변형률을 의미하고 이것의 값은 다음과 같은 식으로부터 계산된다.

$$\varepsilon = \varepsilon_{T1} - \varepsilon_{C1} + \varepsilon_{T2} - \varepsilon_{C2} \tag{2}$$

여기서 ε 은 휘스톤브리지의 총 변형률, ε_{T1} 은 인장 스트레인게이지 T_1 의 변형률, ε_{C1} 은 압축 스트레인게이지 C_1 의 변형률, ε_{T2} 은 인장 스트레인게이지 T_2 의 변형률, ε_{C2} 은 압축 스트레인게이지 C_2 의 변형률이다.

정격출력은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

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

여기서 E_i 는 휘스톤브리지의 입력전압, E_o 는 휘스톤브리지의 출력전압, K는 스트레인게이지의 상수(약 2.03), ε 는 식 (2)로부터 얻은 총 변형률이다.

3축 힘센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 0.5mV/V, 정격하중은 힘 Fx, Fy, Fz센서가 모두 200N, 센서의 직경의 크기가 27×32×10mm, 스트레인게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.5mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인게이지

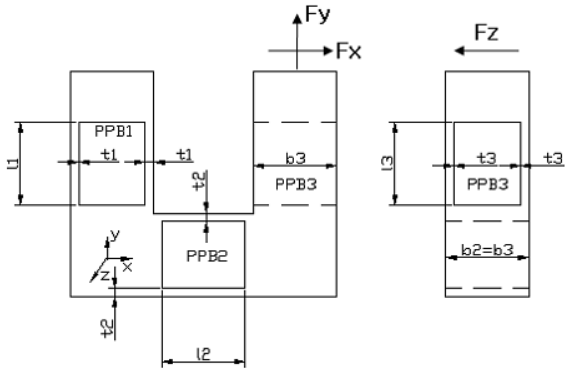

그림 2. 3축 힘센서의 구조.
Fig. 2. Structure of three-axis force sensor.

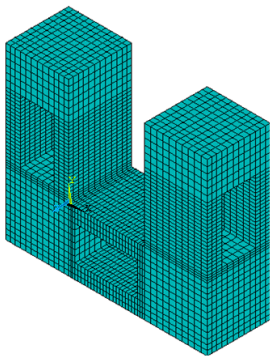

그림 3. 유한요소해석을 위한 나눈 격자 모습.
Fig. 3. Mesh shape for FEM analysis.

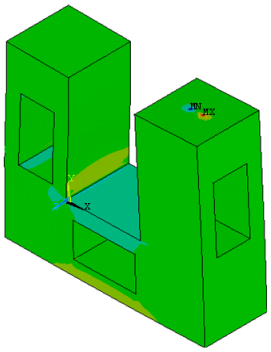

그림 4. 힘 Fx가 가해졌을 때 변형된 모습.
Fig. 4. Deformed shape under force Fx.

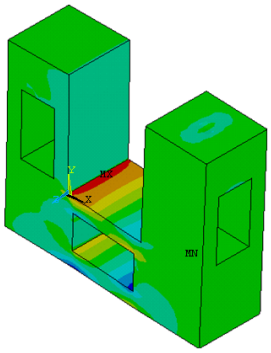

그림 5. 힘 Fy가 가해졌을 때 변형된 모습.
Fig. 5. Deformed shape under force Fy.

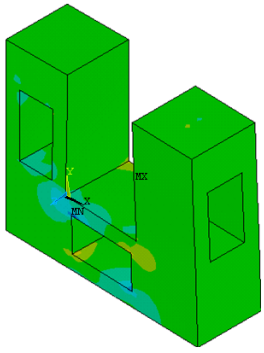

그림 6. 힘 Fz가 가해졌을 때 변형된 모습.
Fig. 6. Deformed shape under force Fz.

의 부착위치에서의 변형률은 약 500um/m로 결정하였다.

3축 힘센서의 각 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하였다. 유한요소해석을 위해 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 3축 힘센서를 유한요소법으로 해석하기 위해 격자를 나눈 모습을 나타내고 있다. 그림 4는 힘 Fx, 그림 5는 힘Fy, 그림 6은 힘 Fz가 가해졌을 때의 센서 감지부의 변형된 모습을 나타내고 있으며, 모두 센서의 구조를 모델링할 때 예상했던 모습으로 변형되었다.

유한요소법을 이용하여 3축 힘센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 평판보의 길이 l1, l2, l3는 모두 10mm이었고, 폭 b1, b2, b3는 모두 10mm이었으며, 두께 t1, t2, t3는 모두 2.3mm이었다.

유한요소해석 결과를 토대로 3축 힘센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 결정하였으며, 그것을 그림 7에 나타내고 있다.

스트레인게이지의 부착위치는 Fx센서가 S1~S4(인장스트레인게이지T_1=S2, T_2=S3, 압축 스트레인게이지C_1=S1, C_2=S4), Fy 센서가 S5~S8(T_1=S5, T_2=S8, C_1=S6, C_2=S7), Fz센서가 S9~S12(T_1=S9, T_2=S12, C_1=S10, C_2=S11)이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 1.5mm이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 이 위치는 각 센서의 정격하중에서 상호간섭오차가 0%이고, 최대의 정격출력이 발생되는 지점으로 결정되었다.

표 1은 유한요소법을 이용하여 3축 힘센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (2)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. 모든 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 2000 um/m 이상이었고, 최대오차는 12.0%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 3축 힘센서 구조의 복잡성 때문에 0.01mm 단위로 가공할 수 없기 때문이다.

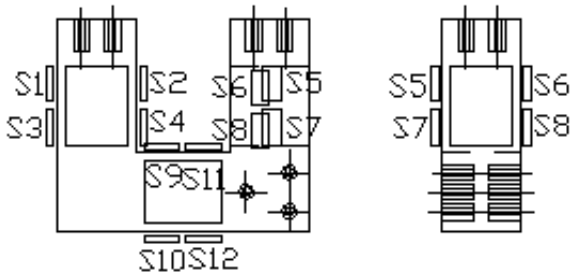

그림 7. 3축 힘센서의 스트레인게이지 부착위치.

Fig. 7. Attachment locations of strain gages on sensing element of three-axis force sensor.

표 1. 3축 힘센서의 스트레인게이지 부착위치에서의 FEM 해석의 변형률값.

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

Sensor	Strain ($\mu m/m$)				
	T_1	C_1	T_2	C_2	ε
Fx	702	-294	702	-294	1992
Fy	790	-330	790	-330	2240
Fz	730	-314	730	-314	2088

3. 3축 힘센서 제작 및 특성실험

3축 힘센서는 그림 7에 나타낸 각 센서의 게이지부착위치에 스트레인게이지(N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3×5.2mm)를 순간접촉제 (M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지[3,4]를 구성하여 제작하였으며, 그림 8은 제작된 3축 힘센서의 사진을 보이고 있다.

제작한 3축 힘센서의 특성실험은 다축 힘/모멘트센서 교정기[6]를 이용하였고, 이교정기는 힘 Fx, Fy, Fz를 모두 2000N, 모멘트 Mx, My, Mz를 모두 500Nm를 연속적으로 발생시킬 수 있으며, 1×10^{-4}의 상대확장불확도를 가지고 있다. 3축 힘센서는 정격하중인 Fx=Fy=Fz=1000N을 가하고 정격출력을 측정하였다. 실험은 총 세 번을 실시하여 평균값을 각 센서의 정격출력으로 결정하였다.

표 2는 3축 힘센서의 유한요소해석과 실험결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 유한요소해석결과의 정격출력은 표 1의 정격변형률 ε 을 식 (3)에 대입하여 계산된 것이

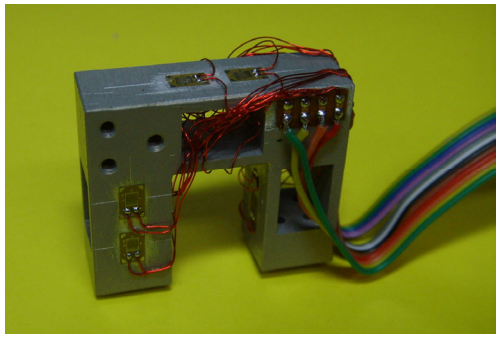

그림 8. 제작된 3축 힘센서.

Fig. 8. Manufactured 3-axis force sensor.

표 2. 3축 힘센서의 FEM해석 결과와 특성실험의 정격출력값.

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

Sensor	Rated output (mV/V)		
	FEM	Exp.	Error
Fx	1.0109	1.0680	5.6
Fy	1.1368	1.1624	2.3
Fz	1.0596	1.0792	1.9

표 3. 3축 힘센서의 상호간섭오차.

Table 3. Interference error of each sensor of three-axis force sensor.

Sensor Force	Interference error (%)		
	Fx	Fy	Fz
Fx=200N	-	0.13	0.35
Fy=200N	0.62	-	
Fz=200N	0.24	0.19	-0.31

고, 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 특성실험한 결과를 나타내고 있다. 유한요소해석결과를 기준으로 특성실험결과의 오차는 최대 5.6%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다. 표 3은 3축 힘센서의 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 3축 힘센서의 최대 상호간섭오차는 0.62%이다.

IV. 고속측정기 설계 및 제작

그림 9는 DSP를 이용한 고속측정기의 블록도이고, 그림 10은 제작된 고속측정기이다. 이것은 DSP (Digital Signal Processor), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP(TMS320F2812(32bit/150MHz/150MIPS/150MMAC))는 128kword 용량의 플레시 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 구성되었다. 이것은 전원부로부터 3.3V와 1.8V의 전압을 받아 동작되고, 크리스탈로부터 30MHz의 클럭을 받아 내부에서 5배 증폭하여 150MHz로 동작하며, 내부플래시 롬 혹은 오부 확장램에 저장된 프로그램의 명령에 따라 DSP의 내부에 장착되어 있는 주변장치들을 동작시킨다. 스위치의 동작에 따라 3축 힘센서로부터 출력되는 신호를 증폭기에서 증폭시킨 후 이것을 DSP내부의 AD컨버터로 받아들이고, 이 신호를 LCD에 나타냄과 동시에 외부 확장램에 저장 및 CAN 통신과 RS232C 통신을 이용하여 컴퓨터 혹은 다른 제어장치에 보낸다.

증폭부는 3축 힘센서로부터 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.

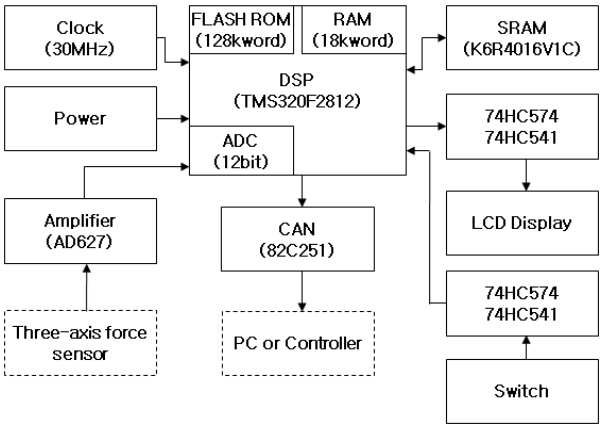

그림 9. 고속측정장치의 블록도.

Fig. 9. Block diagram of high-speed measuring device.

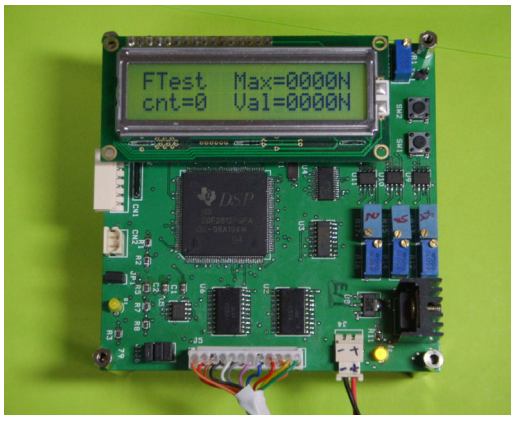

그림 10. 제작된 고속측정장치.

Fig. 10. Manufactured high-speed measuring device.

V. 두 손가락 잡기 힘측정장치 개발

1. 두 손가락 잡기 힘측정장치 및 교정

제작된 3축 힘센서가 힘과 모멘트 측정에 사용되기 위해서는 교정되어야 한다. 그러므로 3축 힘센서는 다축 힘/모멘트센서 교정기[6]를 이용하여 교정되었다. 교정은 다음과 같이 진행되었다. 첫째, 고속측정기의 3개 힘센서(Fx, Fy, Fz센서)의 모든 초기값을 1500mV로 맞춘다. 초기값을 1500mV로 조절한 것은 사용한 DSP에 내장된 AD컨버터가 측정범위가 0~3000mV이고, 센서가 양의 방향과 음의 방향으로 값을 나타내기 때문이다. 둘째, 3축 힘센서에 정격하중인 Fx=Fy=Fz=200N를 각각 가한 후, 고속측정기에 Fx, Fy, Fz센서는 2500mV이 출력되도록 조절하였다. 즉, 힘센서들은 5mV=1N이다.

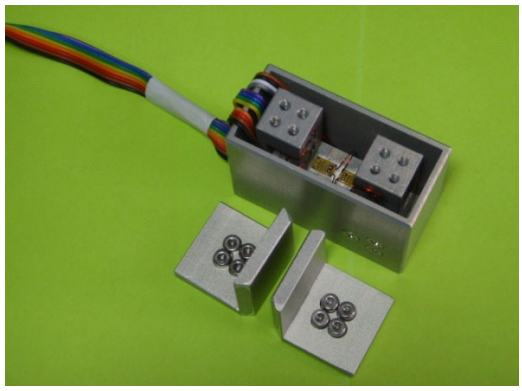

그림 11. 제작된 두 손가락 잡기 힘 측정기.

Fig. 11. Manufactured force measuring system of two-finger grasping.

그림 12. 제작된 두 손가락 잡기 힘측정장치.

Fig. 12. Manufactured force measuring system of two-finger grasping.

그림 11은 제작된 3축 힘센서가 내장된 두 손가락 잡기 힘 측정기구를 나태내고 있다. 3축 힘센서가 케이스에 고정되어 있고, 3축 힘센서의 힘전달블록에 두개의 누름판이 고정되어 있다. 그러므로 두개의 손가락으로 누름판을 누르면 힘이 3축 힘센서에 전달된다. 그림 12는 제작된 두 손가락 잡기 힘 측정장치를 나타내고 있으며, 이것은 3축 힘센서, 고속측정기, 컴퓨터로 구성되었다. 두개의 손가락으로 누르면, 3축 힘센서에 힘이 전달되고 그 값들은 고속측정기에 의해 측정되어 LCD에 표시됨과 동시에 컴퓨터로 보내진다.

2. 데이터처리를 위한 알고리즘

그림 13은 데이터 처리를 위한 고속측정기의 흐름도를 나타내고 있다. 동작흐름은 첫째, 측정기의 전원 스위치를 ON하면 고속측정기의 초기화를 한다. 둘째, Fx, Fy, Fz센서의 각 측정 채널을 값을 읽어 초기값으로 저장한다. 셋째, 각 센서의 측정값을 읽고 그 값을 최기값과 비교하여 순수 측정값을 계산한다. 넷째, 두 손가락 잡기 측정이 시작되었을 경우에는 측정된 값을 현재 값과 최대값을 구분하여 LCD에 표시함과 동시에 컴퓨터로 보낸다. 다섯째, 위의 세번째와 네번째를 반복하여 측정한다.

3. 두 손가락 잡기 특성실험 및 고찰

두 손가락 잡기는 손가락 재활치료를 받고 있는 사람의 재활정도를 판단하기 위해 실시한다. 재활정도는 두 손가락 잡기의 힘으로 판단한다. 특성실험은 우선 20대의 정상인 남자를 대상으로 실시하고, 잡는 방법은 첫째, 그림 14(a)에 나타낸 것과 같이 엄지와 검지의 측면으로 잡기, 둘째, (b)와 같이 엄지와 검지, 셋째, (c)와 같이 엄지와 중지, 넷째, (d)와 같이 엄지와 약지, 다섯째, (e)와 같이 엄지와 소지이다.

표 4는 개발한 손가락 힘측정장치를 이용하여 그림 14(a)와 같은 방법으로 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. Fx, Fy, Fz는 3축 힘센서의 출력값을 나타내고 단위는 N이며, F는 힘의 합력을 나타내고 식 (1)에 3개의 힘들을 대입하여 계산한 결과이다. 실험에서 오른손의 힘 합력(F)은 평균 82N이었고 개인별 최대오차는 1.2%이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 76N이었고 개인별 최대오차는 15.8%이내이었다. 표 5는 그림 14(b)와 같은 방법으로 두 손가락 잡기의 특성실험결과를 나타내고 있다. 실험에서 오른손의 힘 합력은 평균 55N이었고 개인별 최대오차는 10.9%이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 49N이었고 개인별 최대오차는 10.2% 이내이었다.

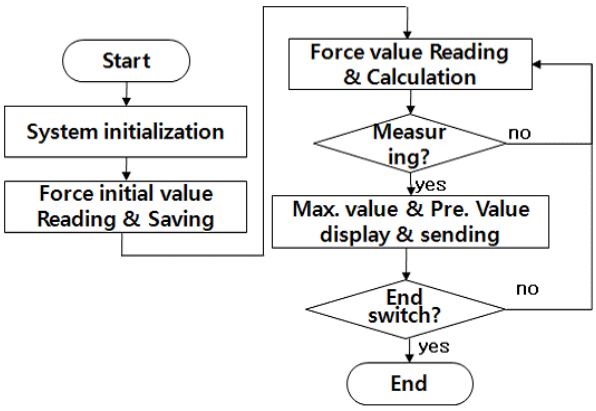

그림 13. 힘측정기의 제어 흐름도.

Fig. 13. Flow chart of measuring device.

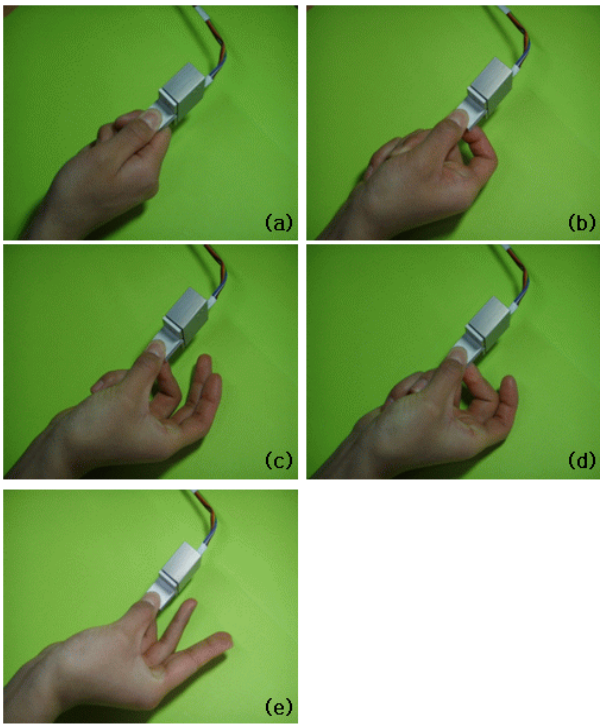

그림 14. 두 손가락 잡기의 특성실험 방법 (a) 엄지와 검지의 측면, (b) 엄지와 검지, (c) 엄지와 중지, (d) 엄지와 약지, (e) 엄지와 소지.

Fig. 14. Characteristic test method of two-finger grasping (a) thumb & side surface of first finger, (b) thumb & first finger, (c) thumb & middle finger, (d) thumb & ring finger, (e) thumb & little finger.

표 4. 책상 위에 손을 올려놓은 상태에서 엄지와 검지측면의 손가락의 두 손가락 잡기 힘측정결과.

Table 4. Results of thumb & side surface of first finger force of the hand on desk.

Man	Right finger force(N)				Left finger force(N)			
	Fx	Fy	Fz	F	Fx	Fy	Fz	F
A	1	-83	7	84	-3	-81	9	82
B	2	-81	5	81	4	-81	10	81
C	-7	-81	-2	81	0	-64	3	64
Avg.	-1	-82	3	82	0	-75	7	76

표 5. 책상 위에 손을 올려놓은 상태에서 엄지와 검지 손가락의 두 손가락 잡기 힘측정결과.

Table 5. Results of thumb & first finger force of the hand on desk.

Man	Right finger force(N)				Left finger force(N)			
	Fx	Fy	Fz	F	Fx	Fy	Fz	F
A	1	-61	3	61	3	-51	5	52
B	-2	-51	2	51	1	-43	10	44
C	-1	-52	1	52	3	-52	-5	52
Avg.	-1	-55	2	55	2	-49	3	49

표 6. 책상 위에 손을 올려놓은 상태에서 엄지와 중지 손가락의 두 손가락 잡기 힘측정결과.

Table 6. Results of thumb & middle finger force of the hand on desk.

Man	Right finger force(N)				Left finger force(N)			
	Fx	Fy	Fz	F	Fx	Fy	Fz	F
A	-6	-53	3	53	3	-51	2	51
B	-3	-50	-4	50	5	-50	18	54
C	-4	-53	-1	53	0	-41	2	41
Avg.	-4	-52	-1	52	3	-47	7	49

표 7. 책상 위에 손을 올려놓은 상태에서 엄지와 약지 손가락의 두 손가락 잡기 힘측정결과.

Table 7. Results of thumb & ring finger force of the hand on desk.

Man	Right finger force(N)				Left finger force(N)			
	Fx	Fy	Fz	F	Fx	Fy	Fz	F
A	-1	-41	5	42	2	-30	3	30
B	-6	-31	8	33	3	-37	6	37
C	-5	-29	-1	30	5	-29	3	30
Avg.	-4	-34	4	35	3	-32	4	32

표 8. 책상 위에 손을 올려놓은 상태에서 엄지와 소지 손가락의 두 손가락 잡기 힘측정결과.

Table 8. Results of thumb & little finger force of the hand on desk.

Man	Right finger force(N)				Left finger force(N)			
	Fx	Fy	Fz	F	Fx	Fy	Fz	F
A	-2	-22	-1	22	-1	-15	0	15
B	-4	-25	2	25	2	-23	3	23
C	-3	-21	2	21	6	-21	1	22
Avg.	-3	-23	1	23	2	-20	1	20

표 6는 그림 14(c)와 같은 방법으로 두 손가락 잡기의 특성실험결과를 나타내고 있다. 실험에서 오른손의 힘 합력은 평균 52N이었고 개인별 최대오차는 3.9% 이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 49N이었고 개인별 최대오차는 16.3% 이내이었다. 표 7은 그림 14(d)와 같은 방법으로 두 손가락 잡기의 특성실험결과를 나타내고 있다. 실험에서 오른손의 힘 합력은 평균 35N이었고 개인별 최대오차는 20.0%이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 32N이었고 개인별 최대오차는 15.6% 이내이었다. 표 8는 그림 14(e)와 같은 방법으로 두 손가락 잡기의 특성실험결과를 나타내고 있다. 실험에서 오른손의 힘 합력은 평균 23N이었고 개인별 최대오차는 13.0% 이내이었다. 그리고 왼손의 힘 합력(F)은 평균 20N이었고 개인별 최대오차는 25.0% 이내이었다.

실험결과들을 보면, 엄지와 검지의 측면으로 잡았을 때 가장 큰 힘을 낼 수 있었고, 엄지와 소지로 잡았을 때 가장 작은 힘을 낼 수 있었다. 그리고 잡는 방향인 Fy힘이 가장 크게 나타났고, Fx와 Fz의 힘들도 나타남을 랑 수 있으며, 이것은 손가락 힘을 가할 때 정확하게 y방향으로 가할 수 없기 때문이다. 오차가 발생한 것은 3축 힘센서의 상호간섭오차, 두 손가락으로 잡는 방법, 잡을 때 힘을 가하는 정도 등에 의한 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 정상인과 뇌졸증 환자 등의 두 손가락 힘측정을 위한 두 손가락 힘측정장치를 개발하였다. 제작한 3축 힘센서 의 최대 상호간섭오차가 특성실험결과 0.34%임을 확인 하였다. 개발한 센서는 최대 상호간섭오차가 이미 개발된 3축 힘센서[3-5]의 그것과 비슷한 수준이다. 개발한 고속측정장치는 두 손가락 잡기 힘측정장치에 활용할 수 있음을 확인하였다. 두 손가락 잡기 특성실험결과, 각각의 잡는 방법에 따라 힘의 차가 크게 나타남을 알았다. 따라서 본 논문에서 개발한 두 손가락 잡기 힘측정장치는 정상인의 두 손가락 잡는 힘을 측정할 수 있을 뿐만 아니라 뇌졸중 환자 등 재활중인 환자의 두 손가락 잡는 힘을 측정하여 재활정도를 판단하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구는 성별, 연령별로 실험하여 의학계에서 신뢰하고 사용할 수 있는 DB를 구축하는 것이다.

참고문헌

[1] S. Olandersson, H. Lundqvist, M. Bengtsson, M. Lundahl, A. J. Baerveldt, and M. Hilliges, "Finger-force measurement-device for rehabilitation," *Proc. of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Chicago, IL, USA, June 2005.

[2] 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.

[3] 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.

[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 H. J. Shin, "Development of intelligent robot's hand with three-axis finger force sensors for intelligent robot," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 300-305, 2009.

[6] 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.

김 현 민

2008년 국립경상대학교 제어계측공학과 졸업(공학사). 2010년 국립경상대학교 제어계측공학과(공학석사). 현재 국립경상대학교 제어계측공학과(박사과정). 관심분야는 휴머노이드 로봇, 지능형 서비스 로봇, 자동화시스템, 지능형시스템.

윤 정 원

2005년 광주과학기술원 기전공학과(공학박사). 2001년~2002년 Rutgers University 방문연구원. 2010년~2011년 미국립보건원(NIH) Visiting Fellow. 2005년~현재 경상대학교 기계항공공학부 조교수. 관심분야는 재활로봇, 햅틱 및 이동인터페이스.

신 희 석

1987년 서울대학교 의과대학 의학과 졸업(학사). 1991년 서울대학교 의과대학원 재활의학과(석사). 1996년 서울대학교(의학박사). 현재 경상대학교 의학전문대학원 재활의학교실 교수. 관심분야는 신경재활, 척수손상, 신경생리검사.

김 갑 순

1999년 한양대학교 정밀기계공학과(공학박사). 1990년~2000년 한국표준과학연구원 선임연구원. 1996년 독일연방물리청 방문연구원. 2004년 일본 쯔꾸바대학교 인공지능로봇연구실 교환교수. 2000년~현재 경상대학교 제어계측공학과 부교수. 관심분야는 인간형로봇, 지능로봇, 재활로봇, 산업용로봇.