

손가락 힘센서를 가진 지능형 로봇손 개발

Development of Intelligent robot' hand with Three Finger Force Sensors

✉ 김갑순¹, 신희준¹, 김현민¹

✉ Gab-Soon Kim¹, Hyi-Jun Shin¹ and Hyeon-Min Kim¹

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

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

Manuscript received: 2008.2.22 / Revised: 2008.9.2,10.11 / Accepted: 2008.10.14

This paper describes the intelligent robot's hand with three finger sensors for a humanoid robot. In order to grasp an unknown object safely, the intelligent robot's hand should measure the mass of the object, and determine the grasping force using the mass, finally control the grasping force using the finger sensors and the controller. In this paper, the intelligent robot's hand for a humanoid robot was developed. First, the six-axis force/moment sensor was manufactured, second, three finger force sensors were designed and fabricated, third, the high-speed controller was manufactured using DSP(digital signal processor), finally, the characteristic test for determining a grasping force and for grasping an unknown object safely. It is confirmed that the hand could grasp an unknown object safely.

Key Words: Intelligent Hand (지능형 손), Robot's Finger (로봇 손가락), 6-axis Force/Moment Sensor (6 축 힘/모멘트 센서), Force Sensor (힘센서), Interference Error (상호간섭오차)

1. 서론

인간은 자신과 비슷한 기능을 가진 인간형 로봇(humanoid robot)을 개발하기를 원하고 있다. 인간형 로봇의 중요한 요소 중의 하나가 지능형 손(intelligent hand)이다. 지능형 손이 미지물체를 안전하게 잡기 위해서는 물체를 잡아드는 순간 물체의 무게를 측정해야 하고, 이 결과를 이용하여 잡는 방향의 힘을 결정하며, 이를 기준값으로 잡는 방향의 힘(grasping force)을 제어해야 한다.

논문에 발표된 로봇의 지능형 손^{1,3}은 미지물체의 무게를 측정할 수 있는 6축 힘/모멘트센서(six-axis force/moment sensor)와 잡는 힘을 제어하는 힘센서(force sensor)가 부착되지 않았기 때문에 물체를 안전하게 잡을 수 없다. 어떤 지능형 손은 손가락에 스트레인 게이지를 부착하여 잡는 힘을

측정할 수 있도록 되어 있으나 물체의 무게를 측정할 수 없어 잡는 힘을 결정할 수 없으므로 미지물체를 잡을 수 없다.

그러므로 미지물체를 안전하게 잡을 수 있는 로봇의 지능형 손은 물체의 무게를 측정할 수 있는 6축 힘/모멘트센서와 물체를 잡는 방향의 힘을 측정할 수 있는 손가락 힘센서, 그리고 이들 센서의 출력값을 빠른 속도로 측정하고 모터를 제어할 수 있는 제어장치로 구성되어야 한다. 6축 힘/모멘트센서와 손가락 힘센서는 지능형 손의 크기에 맞도록 설계 및 제작되어야 하며, 특히 6축 힘/모멘트센서의 상호간섭오차는 센서의 오차를 줄이기 위하여 3%이하^{4,5}가 되도록 제작되어야 한다.

본 논문에서는 미지물체를 안전하게 잡을 수 있는 3개의 손가락 힘센서를 가진 인간형 로봇의 지능형 손을 개발하였다. 미지물체의 무게를 측정

할 수 있는 6 축 손목 힘/모멘트센서를 제작하였고, 잡는 방향의 힘을 감지할 수 있는 손가락 힘센서를 설계 및 제작하였으며, 힘센서들의 출력과 모터의 제어를 빠르게 처리할 수 있는 제어장치를 설계 및 제작하였다. 그리고 개발된 힘센서들의 특성실험과 지능형 손의 미지물체를 잡는 제어특성실험을 실시하였다.

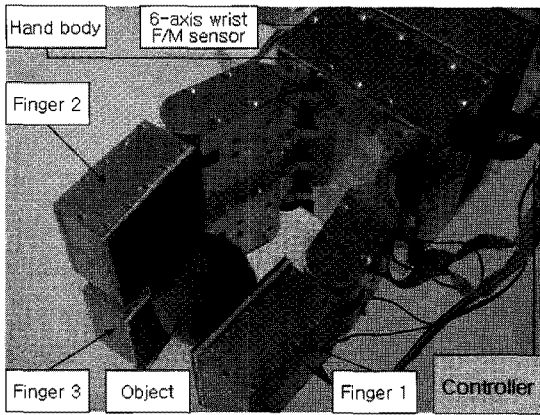


Fig. 1 Photograph of the developed intelligent robot's hand

2. 지능형 손의 개발

2.1 지능형 손

여기 Fig. 1 은 본 논문에서 개발한 로봇의 지능형 손의 사진을 나타내고 있으며, 사람의 손과 비슷한 기능을 가질 수 있도록 크기와 힘을 고려하여 설계하였다. 지능형 손은 단축 손가락 힘센서를 가진 3 개의 손가락과 6 축 손목 힘/모멘트센서, 제어장치, 몸체 등으로 구성되었다. 손가락에 부착되어 있는 단축 힘센서는 물체를 잡는 힘을 결정하는데 사용되고, 손목에 부착된 6 축 손목 힘/모멘트센서는 미지물체의 무게를 측정하는데 사용된다. 몸체에는 손가락들과 6 축 손목 힘/모멘트센서가 고정되었다

2.2 6 축 손목 힘/모멘트센서

2.2.1 6 축 손목 힘/모멘트센서 제작

본 논문에서는 로봇의 지능형 손을 위한 6 축 손목 힘/모멘트센서를 제작하기 위하여 Kim⁴ 이 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 구조를 그대로 사용하고 용량만 다르게 설계하였다. 용량은 로봇 손 자체의 무게와 잡는 물체의 무게를 고려하여 힘 F_x , F_y , F_z 는 모두 200N 이고 모멘트는 M_x , M_y , M_z 모

두 5Nm 로 결정하였다.

Fig. 2 는 6 축 힘/모멘트센서의 감지부 구조를 나타내고 있다. 힘과 모멘트들을 감지하는 감지부는 평행평판보(Parallel Plate Beam : PPB1~4, PPB13~16)이고, PPB1 과 PPB2 는 모멘트 M_y , PPB3 과 PPB4 는 힘 F_z 와 모멘트 M_x , PPB13 과 PPB14 는 힘 F_y 와 모멘트 M_z , PPB15 와 PPB16 은 힘 F_x 를 각각 감지한다. 평행평판보 PPB1~4 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_1 , 두께 t_1 , 길이 l_1 이고, 평행평판보 PPB5~12 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_2 , 두께 t_2 , 길이 l_2 이며, 평행평판보 PPB13~16 를 구성하는 보들의 크기는 폭 b_3 , 두께 t_3 , 길이 l_3 이다.

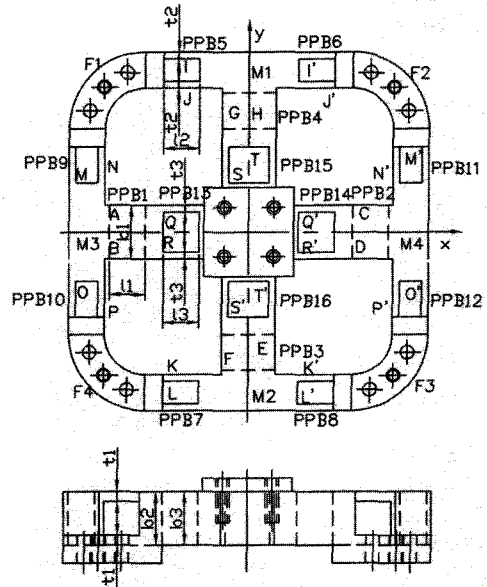


Fig. 2 Structure of sensing element for 6-axis force / moment sensor

6 축 힘/모멘트센서의 설계변수는 몸체의 크기, 각 센서의 정격출력, 정격하중, 평행평판보의 폭 b_1 , b_2 , b_3 , 두께 t_1 , t_2 , t_3 , 길이 l_1 , l_2 , l_3 이다.

6 축 힘/모멘트센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 $0.5 mV/V$ (1V 를 입력전압으로 인가하였을 때 $0.5mV$ 의 출력전압이 출력됨), 센서의 사각형상의 크기와 높이가 각각 $80mm \times 80mm \times 19mm$, 힘/모멘트 전달블록의 사각크기가 $20mm \times 20mm$, 스트레인게이지의 부착위치가 길이방향으로는 보의 끝으로부터 1mm, 폭방향으로는 폭의 1/2, 스트레인게이지의 부착위치에서의

변형률은 약 $250 \mu\text{m}/\text{m}$, 정격하중은 힘 F_x, F_y, F_z 센서가 200N, 모멘트 M_x, M_y, M_z 센서가 5Nm 로 결정하였다. 스트레인게이지 부착위치는 게이지의 크기 $3 \times 7.2\text{mm}$ 를 고려하였고, 정격하중은 1kg 정도의 물체를 잡는 것을 고려하여 결정하였다.

본 논문에서는 결정한 설계변수들을 ANSYS 소프트웨어에 적용하여 6 축 힘/모멘트센서의 감지부의 크기를 설계하였다. 유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3 이며, 8 절점 6 면체블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보의 길이방향으로는 0.5mm, 두께방향으로는 4 등분, 폭방향으로는 6 등분하였다.

여러 번의 소프트웨어를 수행시켜 6 축 힘/모멘트센서의 각각의 정격하중인 힘들과 모멘트들을 가하여 센서들의 감지부 크기, 즉 평행평판보의 폭 b_1, b_2, b_3 , 두께 t_1, t_2, t_3 , 길이 l_1, l_2, l_3 를 결정하였다. 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서를 설계한 결과, 센서의 크기는 사각형상의 크기와 높이가 각각 $80\text{mm} \times 80\text{mm} \times 19\text{mm}$, 평행평판의 길이 l_1, l_2, l_3 를 모두 8mm, 폭 b_1, b_2, b_3 을 모두 12mm, 두께 t_1, t_2, t_3 를 각각 1.3mm, 1mm, 1.3mm 로 결정되었다.

Fig. 3 은 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서의 스트레인게이지 부착위치를 나타내고 있다. F_x 센서의 부착위치는 S1~S4(x 방향으로 힘을 가했을 때 S1~

S4 부분이 변형이 크므로 게이지 부착위치로 선정함), F_y 센서는 S5~S8, F_z 센서는 S9~S12, M_x 센서는 S13~S16, M_y 센서는 S17~S20, M_z 센서는 S21~S24 이다. 스트레인게이지의 정확한 부착위치는 길이 방향으로는 평행평판보의 양끝지점으로부터 1mm 이고, 폭방향으로는 중심선상이다. 각 센서의 스트레인게이지 부착위치는 4 개의 부착위치에서의 상호간섭오차가 0%이 되는 지점으로 결정되었다.

스트레인게이지 부착위치에서의 변형률을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\epsilon = \epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2} \quad (1)$$

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.

Table 1 은 유한요소법을 이용하여 6 축 힘/모멘트센서의 각 스트레인게이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. F_x 와 F_y 센서의 정격변형률은 설계변수로 결정한 정격변형률 $1000 \mu\text{m}/\text{m}$ 이하이었고, 그 외의 센서들의 변형률은 $1000 \mu\text{m}/\text{m}$ 이상이었으며, 오차는 최대 11.6%이하 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 본 연구에서 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 each sensor of 6-axis force/moment sensor

Sensor	Strain ($\mu\text{m}/\text{m}$)				
	T_1	C_1	T_2	C_2	ϵ
F_x	238	-238	238	-238	952
F_y	238	-238	238	-238	952
F_z	279	-279	279	-279	1116
M_x	275	-275	275	-275	1100
M_y	275	-275	275	-275	1100
M_z	257	-257	257	-257	1028

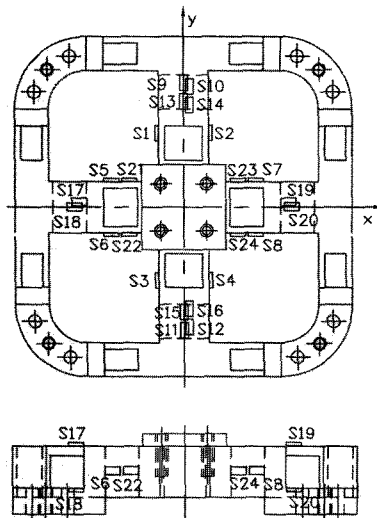


Fig. 3 Attachment location of strain-gages for each sensor

6 축 힘/모멘트센서는 각각의 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3×7.2mm) 를 부착하고 휘스톤브리지^{4,5} 구성하여 제작하였으며, Fig. 4 는 제작된 6 축 손목 힘/모멘트센서의 사진을 보이고 있다.

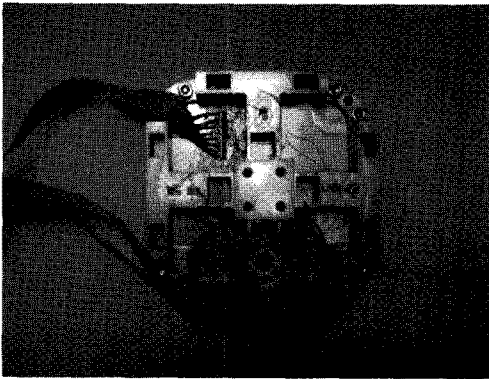


Fig. 4 Photograph of developed 6-axis force/moment sensor

2.2.2 센서의 특성실험 및 고찰

6 축 힘/모멘트센서의 실험은 6 축 힘/모멘트센서 교정장치⁶를 이용하여 정격하중 $F_x=F_y=F_z=200N$ 과 모멘트 $M_x=M_y=M_z=5Nm$ 를 가하고 각 센서의 정격출력을 측정하였으며, 총 세 번의 실험을 실시하여 평균값으로 각 센서의 정격출력을 결정하였다.

정격변형률은 실험값과 비교하기 위해서는 정격출력식으로 변경되어야 하고, 그를 위한 정격출력 계산식은 다음과 같다.⁴

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \epsilon \tag{2}$$

여기서, E_i 는 휘스톤브리지의 입력전압, E_o 는 휘스톤브리지의 출력전압, K 는 스트레인게이지의 상수(약 2.03), ϵ 는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

Table 2 는 유한요소해석과 실험결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 특성실험한 결과를 나타내고 있다. 유한요소해석결과를 기준으로 실험결과의 최대오차는 7.8%이었다. 이들 오차는 스트레인게이

지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다. Table 3 은 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 따라서 개발한 6 축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.72%이다.

Table 2 Rated output from FEM and characteristic test of each sensor

Sensor	Rated output (mV/V)		
	FEM	Exp.	Error
Fx	0.483	0.510	5.6
Fy	0.483	0.501	3.7
Fz	0.566	0.537	-7.8
Mx	0.558	0.531	-4.8
My	0.558	0.522	-6.5
Mz	0.521	0.551	5.8

Table 3 Interference error of each sensor

Sensor	Interference error (%)					
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx=200N	-	0.56	0.51	0.27	-1.02	-0.12
Fy=200N	0.07	-	0.35	0.56	0.19	1.29
Fz=200N	0.13	0.29	-	-1.20	1.03	0.26
Mx=5Nm	-0.37	2.44	-1.11	-	-0.24	-0.54
My=5Nm	2.72	-0.96	1.18	0.09	-	0.97
Mz=5Nm	-1.07	1.87	0.24	0.91	0.38	-

2.3 단축 손가락 힘센서

2.3.1 단축 손가락 힘센서 제작

Fig. 5 는 손가락 힘센서의 감지부 구조를 나타내고 있다. 힘센서의 감지부는 하나의 평행평판보로 되어있고, 평행평판보를 구성하는 보들의 크기는 폭 b , 두께 t , 길이 l 이며, 이것들은 보의 크기를 결정하는 설계변수로 이용된다. 이 변수들의 크기를 결정하기 위하여 유한요소해석(FEM, finite element method)을 실시한다.

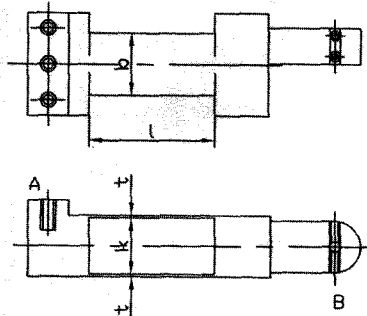


Fig. 5 Structure of sensing element for finger force sensor

손가락 힘센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 0.5 mV/V , 센서의 전체 크기가 $20\text{mm} \times 15\text{mm} \times 65\text{mm}$, 스트레인게이지의 부착위치가 길이방향으로는 1.5mm , 폭방향으로는 $1/2$, 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률은 센서의 재질이 알루미늄임을 고려하여 약 $250 \mu\text{m/m}$, 정격하중은 사람의 잡는 힘을 고려하여 10N 으로 결정하였다. 논문에서는 위의 설계변수와 유한요소 프로그램(ANSYS Program)을 이용하여 손가락 힘센서를 설계하였다.

유한요소해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa , 프와송의비가 0.3 이며, 8 절점 6 면체블록을 선택하였다. 격자(mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 0.5mm , 오차를 최소화하기 위해 두께방향으로는 4 등분, 폭방향으로는 6 등분하였다. 여러 번의 소프트웨어를 수행시켜 손가락 힘센서 감지부의 크기를 결정하였으며, 그것은 폭 $b=12\text{mm}$, 두께 $t=1.2\text{mm}$, 길이 $l=24.5\text{mm}$ 이었다.

Fig. 6 은 손가락 힘센서에 정격힘 10N 이 가해졌을 때 평판보 상부보와 하부보의 변형률 분포를 나타내고 있다. 두 평판보의 변형률은 좌측의 보 끝 지점으로부터 13mm 점에서 0 이고, 보의 같은 지점에서 절대값이 같으며, 좌측의 변형률의 절대값이 우측의 변형률의 절대값보다 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 우측의 블록이 미소하게 시계반대방향으로 회전하기 때문이다. 그리고 보의 양끝점에서 변형률값이 크게 변화된 것은 보의 끝효과 때문이다. 스트레인게이지 부착위치에서 손가락 힘센서의 변형률은 식 (1)에 의해 계산하면 $1006 \mu\text{m/m}$ 이고, 결정한 변형률 $1000 \mu\text{m/m}$ 와 비교하면 0.6% 의 오차를 보인다.

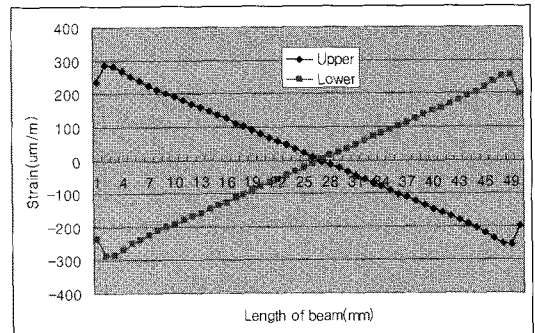


Fig. 6 Strain distribution on upper and lower beams under force

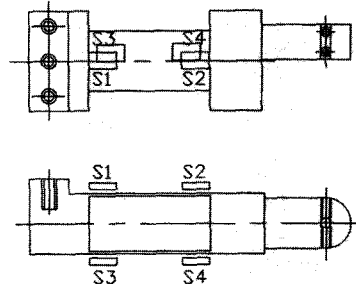


Fig. 7 Attachment location of strain-gages for finger force sensor

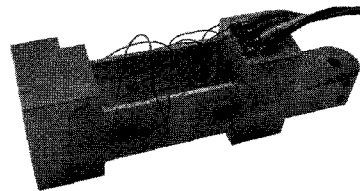


Fig. 8 Photograph of developed finger force sensor

Fig. 7 은 손가락 힘센서의 스트레인게이지 부착 위치를 나타내고 있다. 손가락 힘센서는 센서 감지부의 스트레인게이지 부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 $3 \times 7.2\text{mm}$)를 부착하고 휘스톤브리지 4, 5 를 구성하여 제작하였으며, 제작된 센서의 사진을 Fig. 8 에 보이고 있다.

2.3.2 단축 손가락 힘센서 특성실험 및 고찰

유한요소 해석결과인 변형률 $1006 \mu\text{m/m}$ 를 식 (2)에 대입하여 정격출력을 구하면 0.5106 mV/V 이다. 특성실험은 6 축 힘/모멘트센서 교정기⁶ 를

이용하여 실시하였으며, 3 번 실험하여 평균으로 결정된 정격출력은 0.5206 mV/V 이었다. 유한요소 해석한 결과를 기준으로 실험한 결과의 오차는 1%이었다. 이것은 스트레인게이지 부착위치의 오차, 감지부인 보의 가공오차 등으로 발생된 것으로 생각된다.

3. 제어장치

Fig. 9 는 지능형 손의 제어장치 블록도를 나타내고 있으며, Fig. 10 은 제작된 지능형 손의 제어장치를 나타내고 있다. 이 제어장치는 DSP(digital signal processor), 외부 메모리(memory), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP 는 30MHz 크리스탈을 사용하여 발생된 클럭(clock)을 DSP 내부에서 5 배 증폭시켜 150 MHz 로 동작되고, 내부 플래시롬에 프로그래밍된 동작 프로그램을 램에 임시로 저장한 상태에서 각각의 명령을 처리하며, A/D 컨버터, I/O 포트, 병렬 인터페이스, 직렬 통신 인터페이스 등을 동작시킨다. A/D 컨버터는 6 축 힘/모멘트센서와 손가락 힘센서들로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위하여 사용되고, I/O 포트는 손가락 마디에 부착된 총 6 개의 모터를 펄스로 제어하는데 사용되며, 병렬 인터페이스는 LCD 에 신호를 주기 위하여 사용된다. 그리고 직렬통신 인터페이스는 컴퓨터 혹은 다른 제어장치와 통신하기 위해 사용된다. 전원은 DSP 와 다른 주변장치들에 전압 9 V, 5 V, 3.3 V, 1.8 V 를 각각 공급하며, 스위치는 원

하는 6 축 힘/모멘트센서의 각 센서(Fx 센서, Fy 센서, Fz 센서, Mx 센서, My 센서, Mz 센서)의 측정값과 3 개의 손가락 힘센서의 측정값을 LCD 에 나타내기 위해 사용된다. 제작된 제어장치의 크기는 120mm×130mm 로 로봇에 장착하기에 적당한 크기이다.

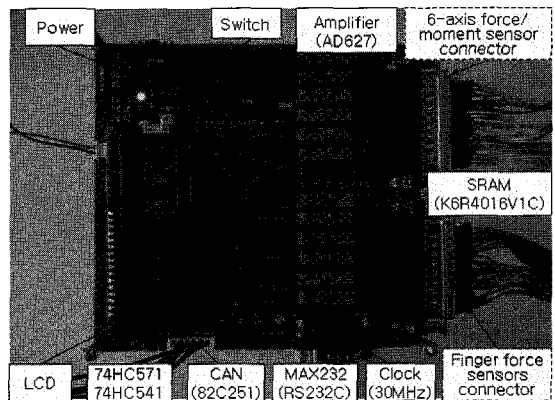


Fig. 10 Photograph of the manufactured controller for the intelligent hand

Fig. 11 은 제어장치의 흐름도를 나타내고 있다. 측정장치의 동작흐름은 첫째, 측정기의 전원 스위치를 ON 하면 각 센서의 출력값을 순차적으로 측정하여 LCD 에 출력하는 초기화를 실시한다. 둘째, 3 개의 손가락을 초기의 위치로 이동시킨다. 셋째, 미지물체가 손가락에 접촉되면, 엄지, 검지, 중지 손가락 순으로 미소하게 빠른 속도로 잡는 방향으로 움직인다. 넷째, 초기에 엄지손가락은 200g, 중지와 검지 손가락은 각각 100g 씩의 잡는 힘으로 미지물체를 잡는다. 이 값은 달걀을 깨뜨리지 않고 안전하게 잡는 힘이다. 다섯째, 물체는 잡는 순간 6 축 손목 힘/모멘트센서가 물체의 무게를 측정한다. 여섯째, 물체의 무게를 잡는 힘의 기준값으로 결정하고 그것을 기준값으로 페루프제어를 하여 안전하게 물체를 잡는다.

Fig. 12 는 제어장치의 블록도를 나타내고 있다. 잡는 힘이 기준값이고, 컨트롤러는 기준값에 따라 모터드라이브에 정방향 혹은 역방향의 펄스를 내보내고 모터 드라이브는 모터에 전원을 공급하여 모터를 회전시킨다. 모터의 회전에 따라 손가락이 움직이고 이 손가락이 물체를 잡으며 잡는 정도에 따라 손가락 센서에 잡는 힘이 측정된다. 그리고 이 값은 증폭되어 컨트롤러에 입력되어 기준값과

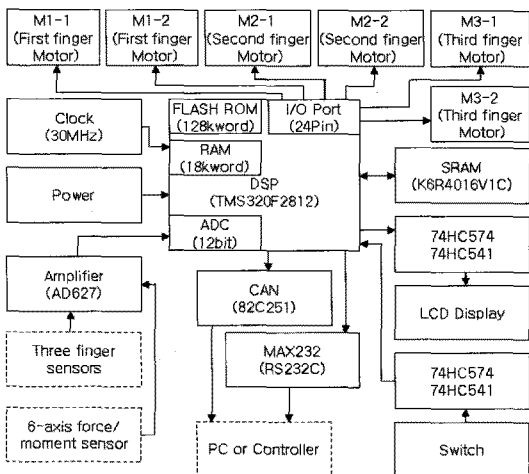


Fig. 9 Block diagram of controller for the intelligent hand

같아질 때까지 계속하여 반복된다.

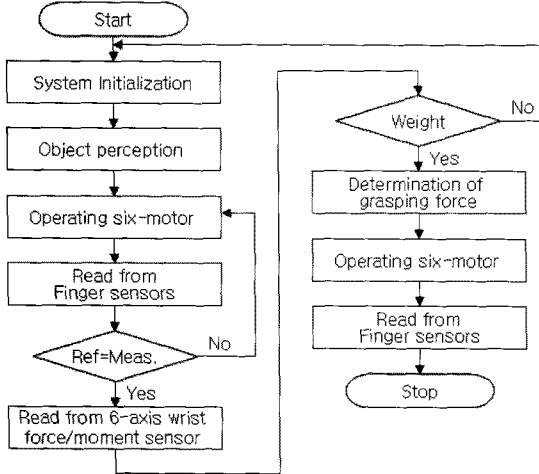


Fig. 11 flow chart of measuring device

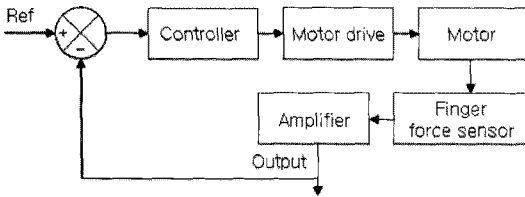


Fig. 12 Block diagram of controller

4. 지능형 손의 교정, 특성실험 및 고찰

6 축 힘/모멘트센서와 3 개의 손가락 힘센서의 교정은 제어장치의 출력이 무하중일 경우에는 1500mV 가 되도록 하고, 6 축 힘/모멘트센서 교정 장치⁶을 이용하여 각 정격하중을 가한 후 제어장치의 출력이 최대일 때 1000mV 가 되도록 하였다.

본 논문에서 개발한 지능형 손으로 안전하게 미지물체를 잡기 위해서는 잡는 힘을 결정하는 특성실험을 실시해야 한다. Fig. 13은 잡는 힘을 결정하기 위한 실험장치를 나타내고 있다. 실험은 손가락으로 알고 있는 무게의 추를 걸은 알루미늄판이 미끄러지지 않을 정도의 힘으로 잡을 수 있도록 제어한다. 특성실험 결과는 1kg의 추를 600g의 잡는 힘으로 잡았을 때 안전하였으므로 잡는 힘은 무게의 0.6 배이다. 그러나 본 논문에서 개발한 지능형 손과 물체와의 접촉면적이 특성실험과 다르므로 미지물체를 안정하게 잡을 수 있도록 잡는 힘을 물체의 무게와 같도록 결정하였다.

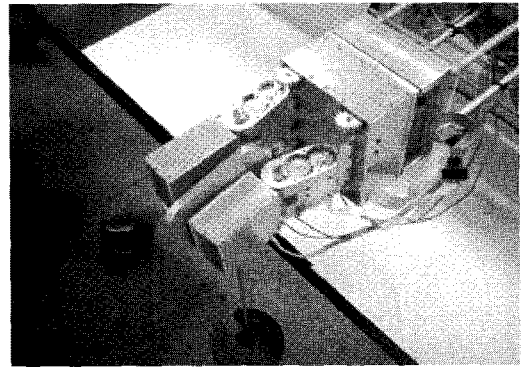


Fig. 13 Equipment set up for testing the grasping force test

Fig. 14는 지능형 손으로 여러 개의 미지물체를 잡는 모습을 나타내고 있다. 미지물체는 달걀, 빈 종이컵, 배터리, 음료수병으로 선정하였고, 초기 잡는 힘은 달걀이 깨지지 않은 힘인 200g이며, 모두 안전하게 잡는 것을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 개발한 지능형 손은 3 개의 손가락을 가지고 있고 각각의 손가락에 힘센서가 부착되어 있으므로 불균일한 미지물체도 3 개의 손가락이 각각 접촉하여 잡는 힘이 모두 같으므로 안전하게 잡을 수 있는 장점을 가지고 있다. 즉 3 개의 손가락은 같은 값의 기준값(잡는 힘)이 주어지고 그것을 기준으로 페루프 제어되므로 3 개의 손가락의 잡는 힘이 같으므로 안전하게 잡을 수 있다.

Fig. 15는 개발된 지능형 손으로 배터리를 잡았을 때 손가락 힘센서 1, 2, 3 으로부터 출력된 힘(mV)의 그래프를 나타내고 있다. Finger 1, 2, 3 은

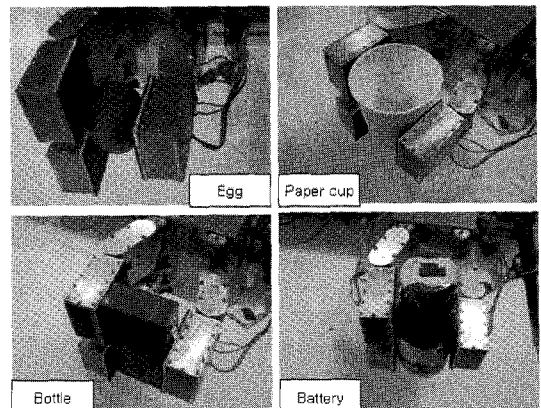


Fig. 14 Photograph of the developed intelligent hand with objects

Fig. 1 에서 나타낸 것과 같고, Finger 1(엄지)과 2(검지), 3(중지)의 제어출력 값은 각각 248mV, 128mV, 130mV 이었다. 엄지손가락의 힘은 검지와 중지의 합과 같아야 한다. 이것의 오차는 4.0%이었고, 중지와 검지의 출력값은 잘 일치함을 확인할 수 있다. 그리고 6 축 힘/모멘트센서로 측정된 배터리의 무게는 230g 이었으며, 실제 배터리의 무게가 250g 이므로 8%이내의 오차로 무게를 측정함을 확인할 수 있다.

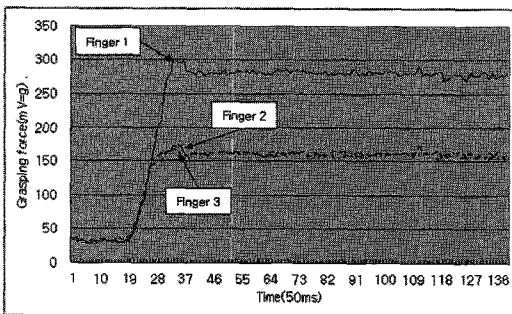


Fig. 15 Force output graph of the developed intelligent hand with battery

5. 결론

본 논문에서는 6 축 힘/모멘트센서, 3 개의 손가락 힘센서, 지능형 손 제어장치를 이용하여 지능형 손을 개발하였다. 제작한 6 축 힘/모멘트센서의 특성실험결과 상호간섭오차가 3%이하이고, 손가락 힘센서의 비직선성오차가 0.01%이하이다. 그리고 지능형 손의 잡는 특성실험결과 달걀과 같은 깨지기 쉬운 물체를 잡을 수 있고, 최대 1kg 무게의 미지물체를 안전하게 잡을 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 개발한 지능형 손은 미지물체를 잡는 인간형 로봇의 지능형 손, 손이 없는 사람의 손을 위한 전자의수로 활용이 가능하다.

후 기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-000-10468-0).

참고문헌

1. Chappel, P. H. and Elliott, J. A., "Contact force

sensor for artificial hands with a digital interface for a controller," Measurement Science and Technology, Vol. 14, No. 8, pp. 1275-1279, 2003.

2. Arimoto, S., "Intelligent control of multi-fingered hands," Annual Reviews in Control, Vol. 28, No. 1, pp. 75-85, 2004.

3. Steil, J. J., Rothling, F., Haschke, R. and Ritter, H., "Situated robot learning for multi-modal instruction and imitation of grasping," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 47, Issues 2-3, pp. 129-141, 2004.

4. Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of 6-axis force/moment sensor for robot's intelligent foot," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 7, pp. 90-97, 2007.

5. 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," J. of the Robotics Society of Japan, Vol. 22, No. 3, pp. 361-369, 2004.

6. Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.