

## 3축 손가락 힘센서를 가진 지능로봇의 지능형 로봇손 개발

### Development of Intelligent Robot's Hand with Three-Axis Finger Force Sensors for Intelligent Robot

김 갑 순\*, 신 희 준  
(Gab-Soon Kim and Hi-Jun Shin)

**Abstract :** This paper describes the intelligent robot's hand with three-axis finger force sensors for an intelligent robot. In order to grasp an unknown object safely, it should measure the mass of the object, and determine the grasping force using the mass, then control the robot's fingers with the grasping force. In this paper, the intelligent robot's hand for an intelligent robot was developed. First, the three-axis finger force sensors were designed and manufactured, second, the intelligent robot's hand with three-axis finger force sensors were designed and fabricated, third, the high-speed control system was designed and manufactured using DSP(digital signal processor), finally, the characteristic test to grasp an unknown object safely was carried out. It was confirmed that the developed intelligent robot's hand could grasp an unknown object safely.

**Keywords :** humanoid robot, intelligent gripper, intelligent robot, intelligent robot's hand, 3-axis force sensor

#### I. 서론

현재 개발되어 사용중인 인간형 로봇, 서비스 로봇, 산업용 로봇의 손은 달걀 등과 같이 깨지기 쉬운 미지물체를 안전하게 잡기가 어렵다. 이들 로봇이 미지물체를 안전하게 잡을 수 없는 것은 사람과 비슷하게 감지하고 제어하는 기능이 없기 때문이다. 이미 발표된 논문의 로봇의 지능형 손[1-3]은 미지물체의 무게를 측정하고 잡을 수 있는 3축 손가락 힘센서(three-axis finger force sensor)를 가지고 있지 않기 때문에 미지물체를 안전하게 잡을 수 없고, 어떤 지능형 로봇손은 손가락에 스트레인 게이지를 부착하여 잡는 힘을 측정할 수 있도록 되어 있으나 물체의 무게를 측정할 수 없어 잡는 힘을 결정할 수 없으므로 미지물체를 안전하게 잡기 어렵다.

그러므로 미지물체를 안전하게 잡을 수 있는 로봇의 지능형 손은 물체의 무게와 잡는 방향의 힘을 측정할 수 있는 3축 손가락 힘센서, 그리고 이들 센서의 출력값을 빠른 속도로 측정하고 모터를 제어할 수 있는 제어장치로 구성되어야 한다. 3축 손가락 힘센서는 지능형 로봇손의 크기에 맞도록 설계 및 제작되어야 하고, 센서의 상호간섭오차는 센서의 오차를 줄이기 위하여 3%이하[4,5]가 되도록 특수하게 설계 및 제작되어야 한다.

본 논문에서는 미지물체를 안전하게 잡을 수 있는 3개의 3축 손가락 힘센서를 가진 지능로봇의 지능형 로봇손을 개발하였다. 미지물체의 무게를 측정하고 잡는 방향의 힘을 측정할 수 있는 힘  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 를 동시에 측정이 가능한 3축 손가락 힘센서를 설계 및 제작하였고, 3개의 3축 손가락 힘센서를 가진 지능형 로봇손을 제작하였으며, 힘센서들의 출력과 모터의 제어를 빠르게 처리할 수 있는 고성능 제어장치를 설계 및 제작하였다. 그리고 개발된 3축 손가락 힘센서들의 특성

실험과 지능형 로봇손의 미지물체를 잡는 제어특성실험을 각각 실시하였다.

#### II. 3축 손가락 힘센서

##### 1. 3축 손가락 힘센서의 모델링

3축 손가락 힘센서는 미지물체를 안전하게 잡기 위해 물체의 무게를 측정하고 잡는 방향의 힘을 제어할 때 사용되는 지능형 로봇손의 핵심적인 요소이다. 본 논문에서는 힘  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 를 동시에 측정할 수 있는 3축 손가락 힘센서를 그림 1에서 나타낸 것과 같이 3개의 평행평판(PPS : Parallel Plate Structure)을 이용하여 모델링하였으며,  $F_x$  힘센서를 위한 감지부의 크기는 길이가  $l_1$ , 두께가  $t_1$ , 폭이  $b_1$ ,  $F_y$  힘센서를 위한 감지부의 크기는 길이가  $l_2$ , 두께가  $t_2$ , 폭이  $b_2$ ,  $F_z$  힘센서를 위한 감지부의 크기는 길이가  $l_3$ , 두께가  $t_3$ , 폭이  $b_3$ 이다. 감지부의 크기를 결정하기 위하여 유한요소해석(FEM : Finite Element Method)을 실시한다.

##### 2. 3축 손가락 힘센서의 설계 및 해석

3축 손가락 힘센서를 설계하기 위한 설계변수의  $F_x$  힘센서,  $F_y$  힘센서,  $F_z$  힘센서의 정격출력은 각각 약  $0.5mV/V$ ,

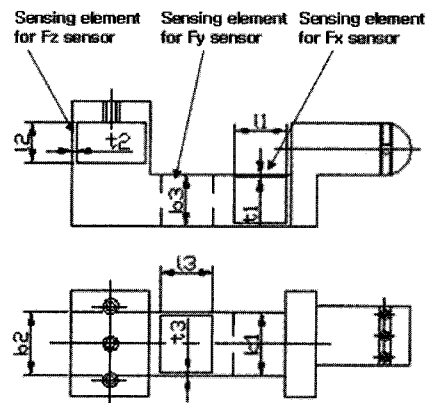


그림 1. 3축 손가락 힘센서의 모델링.

Fig. 1. Modeling of three-axis finger force sensor.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 8. 28., 채택확정 : 2008. 12. 23.

김갑순, 신희준 : 경상대학교 제어계측공학과, ERI

(gskim@gsnu.ac.kr/gmlwns111@nate.com)

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

센서의 전체 크기가 24mm×20mm×65mm, 스트레인이케이지의 부착위치가 길이방향으로는 1.0mm, 폭방향으로는 폭의 1/2, 스트레인이케이지의 부착위치에서의 변형률은 약 250μm/m, 정격하중은 각각 모두 16N으로 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 0.3이며, 8절점 6면체블록을 선택하였다. 격자 (mesh) 크기는 해석하고자 하는 평행평판보를 길이방향으로는 0.5mm, 두께방향으로는 4등분, 폭방향으로는 6등분하였다. 여러 번의 소프트웨어를 수행시켜 3축 손가락 힘센서 감지부의 크기를 결정하였으며, 그것은 Fx 힘센서 감지부의 길이 l1은 10mm, 두께 t1은 0.9mm, 폭 b1은 10mm, Fy 힘센서 감지부의 길이 l2는 8mm, 두께 t2는 0.8mm, 폭이 b2는 12mm, Fz 힘센서 감지부의 길이 l3는 10mm, 두께 t3는 1mm, 폭 b3는 12mm이었다.

그림 2는 3축 손가락 힘센서의 각 센서의 스트레인이케이지 부착위치를 나타내고 있다. Fx 센서의 부착위치는 S1-S4, Fy 센서는 S5-S8, Fz 센서는 S9-S12이다. 스트레인이케이지의 정확한 부착위치는 길이방향으로는 평행평판보의 양끝지점으로부터 1mm이고, 폭방향으로는 중심선상이다.

스트레인이케이지 부착위치에서 3축 손가락 힘센서의 변형률은 식 (1)에 의해 계산할 수 있다.

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

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

표 1은 유한요소법을 이용하여 3축 손가락 힘센서의 각 스트레인이케이지 부착위치에서의 변형률들과 식 (1)에 의해 계산된 정격변형률들을 나타내고 있다. Fx, Fy, Fz 힘센서 각각의 설계변수로 결정한 정격변형률은 1000μm/m 이었고, 유한요소법에 의해 결정된 Fx, Fy, Fz 힘센서의 변형률은 각각 1056μm/m, 102μm/m, 1026μm/m 이었으며, 오차는 최대

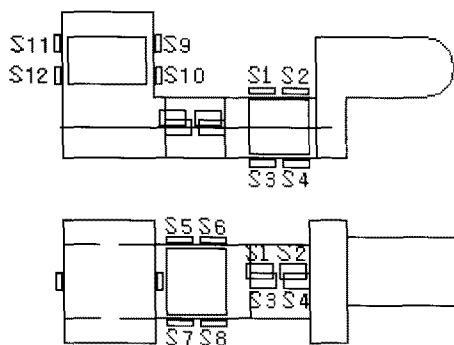


그림 2. 3축 손가락 힘센서의 스트레인이케이지 부착위치.

Fig. 2. Attachment locations of strain gage of three-axis finger force sensor.

표 1. 유한요소해석 결과의 각 힘센서의 정격변형률.

Table 1. Rated strain of each sensor from FEM.

Sensor	Strain(um/m)				
	$\epsilon_{T1}$	$\epsilon_{C1}$	$\epsilon_{T2}$	$\epsilon_{C2}$	$\epsilon$
Fx	286	-286	242	-242	1056
Fy	264	-264	237	-237	1002
Fz	276	-276	237	-237	1026

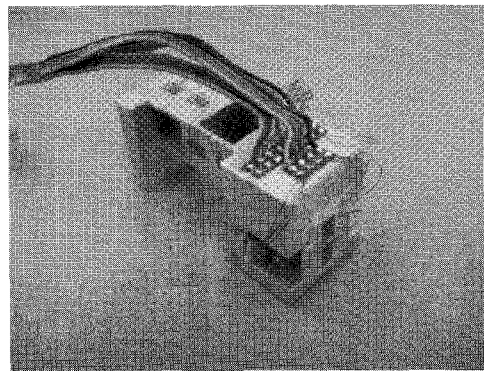


그림 3. 제작된 3축 손가락 힘센서의 사진.

Fig. 3. Photograph of manufactured three-axis finger force sensor.

5.6%이하이었다. 이와 같은 오차는 설계시 가공의 가능성을 고려하여 감지부의 두께를 0.1mm단위로 나타내었기 때문이다. 단위를 0.01mm 단위로 설계하면 매우 근접한 변형률을 얻을 수 있으나 본 논문에서 모델링한 3축 손가락 힘센서 구조상 0.01mm 단위로 정확하게 가공하기 어렵기 때문이다.

3. 3축 손가락 힘센서의 제작 및 특성실험

3축 손가락 힘센서는 각각의 게이지부착위치에 스트레인이케이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3×7.2mm)를 부착하고 휘스톤브리지를 [4,5] 구성하여 제작하였으며, 그림 3은 제작된 3축 손가락 힘센서의 사진을 보이고 있다.

제작된 3축 손가락 힘센서가 로봇의 지능형 손에 활용될 수 있는지를 확인하기 위해서는 특성실험을 실시해야한다. 3축 손가락 힘센서의 특성실험은 6축 힘/모멘트센서 교정장치 [6]를 이용하여 각 정격하중 Fx=Fy=Fz=1.6N를 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.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \epsilon \quad (2)$$

여기서,  $E_i$  는 휘스톤브리지의 입력전압,  $E_o$  는 휘스톤브리지의 출력전압,  $K$  는 스트레인이케이지의 상수(약 2.03),  $\epsilon$  는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

표 2는 3축 손가락 힘센서의 유한요소해석과 특성실험 결과의 정격출력 및 오차를 나타내고 있다. 유한요소해석의 정

표 2. 유한요소법과 특성실험에서 얻은 3축 손가락 힘센서의 계산된 정격출력.

Table 2. Rated outputs of three-axis finger force sensors from FEM and characteristic test.

Sensor	Analysis	Rated output(mV/V)			Error(%)		
		Sen1	Sen2	Sen3	Sen1	Sen2	Sen3
Fx	FEM	0.528	0.528	0.528	4.92	5.68	-4.55
	Test	0.502	0.498	0.552			
Fy	FEM	0.501	0.501	0.501	6.19	7.77	-3.34
	Test	0.470	0.462	0.528			
Fz	FEM	0.513	0.513	0.513	2.53	1.75	4.12
	Test	0.490	0.494	0.477			

표 3. 3축 손가락 힘센서들의 상호간섭오차.

Table 3. Interference errors of three-axis finger force sensors.

Sensor force	Sensor1(%)			Sensor2(%)			Sensor3(%)		
	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
Fx=16N	-	0.28	0.20	-	0.26	0.22	-	0.36	0.28
Fy=16N	-0.18	-	-0.35	0.54	-	0.20	0.62	-	0.46
Fz=16N	0.22	0.28	-	0.48	0.34	-	0.22	0.34	-

격출력은 식 (2)에 표 1의 결과를 대입하여 계산한 결과이고, 특성실험에 의한 정격출력은 본 논문에서 실험한 결과를 나타내고 있다. 유한요소해석결과를 기준으로 실험결과, 3축 손가락 힘센서1의 오차는 Fx센서가 4.93%, Fy센서가 5.68%, Fz센서가 -4.55%, 3축 손가락 힘센서2의 오차는 Fx센서가 6.19%, Fy센서가 7.77%, Fz센서가 -3.34%, 3축 손가락 힘센서3의 오차는 Fx센서가 2.53%, Fy센서가 1.75%, Fz센서가 4.12% 이었고, 최대오차는 7.77%이었다. 이들 오차는 스트레인게이지의 부착오차, 감지부의 가공오차, 유한요소 소프트웨어의 고유오차 등으로 생각된다.

표 3은 각 센서의 상호간섭오차를 나타내고 있다. 상호간섭오차는 3축 손가락 힘센서1의 최대상호간섭오차가 -0.35%, 3축 손가락 힘센서2의 최대상호간섭오차가 0.54%, 3축 손가락 힘센서3의 최대상호간섭오차가 0.62%이었다. 따라서 3축 손가락 힘센서의 최대상호간섭오차가 0.62%이었다.

### III. 고성능 제어장치

그림 4는 3축 손가락 힘센서가 부착된 지능형 로봇손의 제어장치의 블록도를 나타내고 있으며, 그림 5는 제작된 지능형 로봇손의 제어장치를 나타내고 있다. 이 제어장치는 고성능제어장치(high speed control system), 모터드라이브(motor drive, MAXON 사 제작, model: EPOS24/1, 24/5, 70/10), 배터리(battery) 등으로 구성되었다. 고성능제어장치는 3축 손가락 힘센서들로부터 신호를 받고, 그것을 토대로 미지물체를 안전하게 잡기 위해 모터들을 제어하는데 사용된다. 모터드라이브는 모터에 입력으로 펄스를 제어하기 위해 사용되고, 배터리는 고성능제어장치와 모터드라이브에 전원을 공급하기

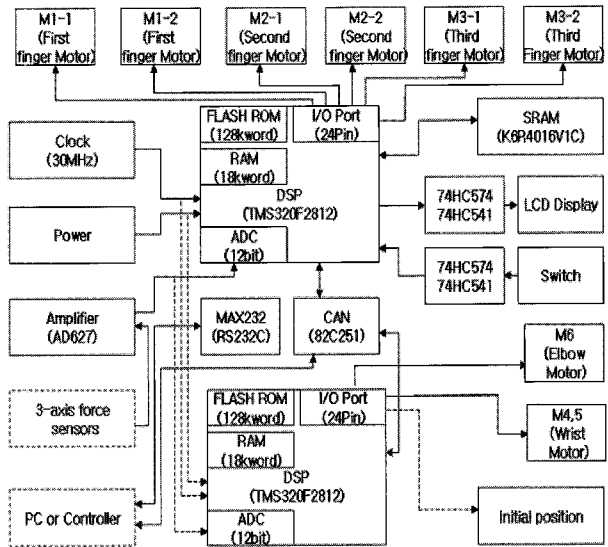


그림 4. 지능형 로봇손 제어장치의 블록도.

Fig. 4. Block diagram of control system for intelligent robot's hand.

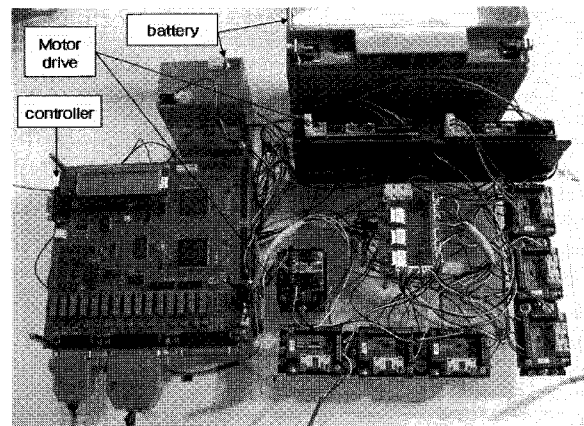


그림 5. 제작된 지능형 로봇손 제어장치의 사진.

Fig. 5. Photograph of control system for intelligent robot's hand.

위해 사용된다.

고성능제어장치는 DSP(digital signal processor, 모델 : TMS320F2812), 외부 메모리(memory), 증폭기부 (amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP는 30MHz 크리스탈을 사용하여 발생된 클럭(clock)을 DSP 내부에서 5배 증폭시켜 150MHz로 동작되고, 내부 플래시롬에 프로그래밍된 동작 프로그램을 램에 임시로 저장한 상태에서 각각의 명령을 처리하며, A/D 컨버터, 병렬 인터페이스, 직렬 통신 인터페이스 등을 동작 시킨다. A/D 컨버터는 3축 손가락 힘센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위하여 사용된다. DSP를 2개 사용한 이유는 총 9개의 손가락 힘센서로부터 빠른 속도로 측정값을 처리하고, 총 9개의 모터를 고속으로 제어하기 위해서이며, 모터의 제어는 DSP의 IO 포트의 핀을 이용한다. 외부메모리부는 측정된 데이터를 임시로 저장하기 위해 사용되며, 증폭기부는 3축 손가락 힘센서의 아날로그신호를 약 100배정도 증폭하기 위한 것이다. 병렬 인터페이스는 LCD에 신호를 주기 위하여 사용되며, 직

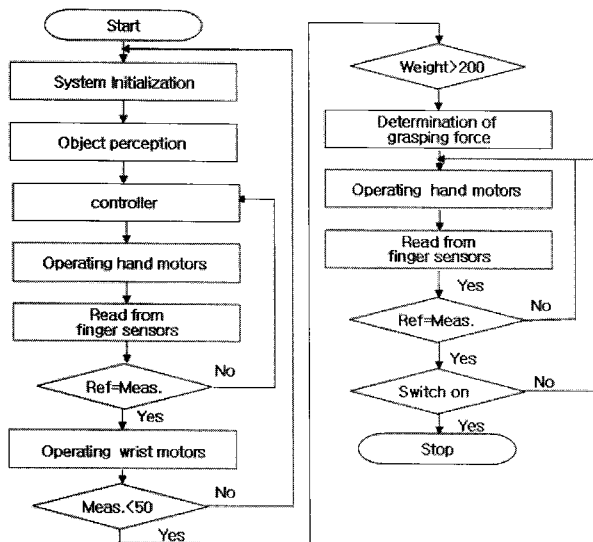


그림 6. 제어장치의 제어흐름도.

Fig. 6. Flow chart of control system.

렬통신 인터페이스는 컴퓨터 혹은 다른 제어장치와 통신하기 위해 사용된다. 그리고 전원은 DSP와 다른 주변장치들에 전압 9V, 5V, 3.3V, 1.8V를 각각 공급하며, 스위치는 원하는 3축 손가락 힘센서의 각 센서의 측정값을 LCD에 나타내고 각종 모터를 수동으로 제어할 때 사용된다. 제작된 제어장치의 크기는 130mm×140mm로 로봇에 장착하기에 적당한 크기이다.

그림 6은 제어장치의 흐름도를 나타내고 있다. 제어장치의 동작흐름은 첫째, 고성능제어장치의 전원 스위치를 ON하면, 모든 3축 손가락 힘센서의 출력값을 순차적으로 측정하여 LCD에 출력하는 초기화를 실시하고, 3개의 손가락을 초기 위치로 이동한다. 둘째, 고성능제어장치는 3축 손가락 힘센서의 출력을 이용하여 미지물체가 손가락에 접촉되었는지를 물체인식을 한다. 셋째, 고성능제어장치가 6개의 지능형 로봇손에 부착된 모터를 동작시켜 첫 번째 기준값(200g)을 기준으로 제어하여 미지물체를 잡는다. 넷째, 손목모터들을 동작시켜 미지물체를 잡은 손을 10mm정도 들어올린다. 다섯째, 미지물체가 손에 안전하게 잡혀있는지를 확인하기 위해 각 손가락 힘센서의 출력값이 50g 이하인지를 확인하고, 50g 이하인 경우에는 물체를 놓친 것으로 인식하여 잡는 힘을 초기 기준값의 2배로 결정한 후 다시 잡는다. 여섯째, 물체를 안전하게 잡았을 경우에는 물체의 무게를 계산하고 이것이 초기 기준값인 200g보다 작으면 200g의 잡는 힘으로 잡고, 200g이상인 경우에는 물체의 무게로 기준값을 결정하여 다시 잡는 힘제어를 하여 안전하게 잡는다. 일곱째, 기준값과 센서의 측정값을 비교하여 두 값이 거의 비슷하면 잡는 제어를 수행하지 않고 그렇지 않으면 다시 정밀하게 잡는 제어를 실시한다. 만약 물체를 잡지 못할 경우에는 초기 잡는 힘(기준값)을 2배로 잡는 것을 다시 시도한다. 그리고 물체를 놓는 명령 스위치를 누르면 지능형 로봇손은 물체를 안전하게 놓는다.

#### IV. 로봇의 지능형 로봇손

그림 7은 본 논문에서 개발한 로봇의 지능형 로봇손을 나

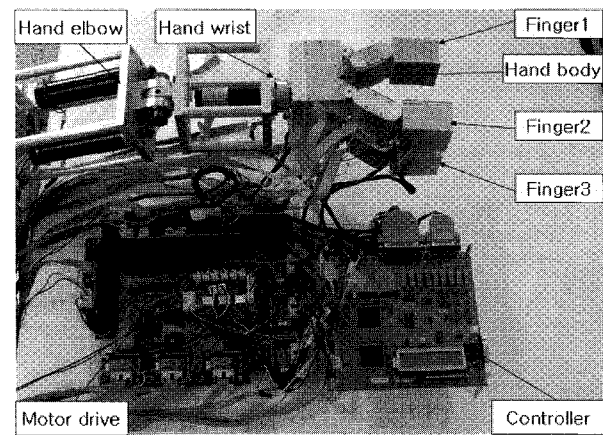


그림 7. 개발한 로봇의 지능형 로봇손의 사진.

Fig. 7. Photograph of the developed robot's intelligent robot's hand.

타내고 있으며, 이 로봇의 지능형 로봇손은 손 본체, 고성능 제어장치, 모터드라이브 등으로 구분된다. 손 본체는 3개의 지능형 손가락, 손바닥, 손목 등으로 구성되었다. 손 본체는 지능형 손가락 1개는 본 논문에서 개발한 3축 손가락 힘센서가 포함된 2마디 손가락과 2개의 감속기(모델 : GP22A(134163))가 부착된 모터(모델 : A-max16(110075))로 구성되어 있고, 각 지능형 손가락은 손바닥과 연결되며, 손가락 첫째 마디는 45° 이상 앞과 뒤로, 둘째 마디는 뒤로 구부러진다. 손목은 중심축을 기준으로 회전하는 모터(모델 : RE-max24(222049)), 2개의 상하로 회전하는 모터(모델 : RE30(310005)), 중심축을 기준으로 360° 회전할 수 있고 상하로 90° 이상 회전할 수 있다. 고성능제어장치는 2개의 DSP와 각종 전자부품으로 구성되었으며, 총 9개의 힘센서로부터 출력되는 신호를 받고 총 9개의 모터를 제어한다. 그리고 모터드라이브는 모터를 펄스제어할 때 사용된다. 본 논문에서 개발한 지능형 로봇손은 1.6kg 이하의 미지물체를 안전하게 잡아 손목축을 기준으로 회전을 할 수 있는 기능을 가지고 있다. 본 논문에서 개발한 지능형 로봇 손은 손가락에 부착된 3축 힘센서를 이용하여 미지물체를 잡아드는 순간 물체의 무게를 측정하고 물체의 무게에 따라 잡는 힘이 결정되며 그것을 이용하여 안전하게 잡을 수 있는 특징을 가지고 있다.

#### V. 지능형 로봇손의 특성실험 및 고찰

##### 1. 3축 손가락 힘센서의 교정

지능형 로봇손에 부착된 개발된 3축 손가락 힘센서를 이용하여 미지물체의 무게와 잡는 힘을 측정하기 위해서는 3축 손가락 힘센서는 교정장치에 의해 교정되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 3축 손가락 힘센서와 개발한 고성능 제어장치를 실제 사용하는 것과 같이 연결하고, 3축 손가락 힘센서를 6축 힘/모멘트센서 교정기[6]에 교정한 후 각 힘센서의 정격출력인 힘  $F_x=F_y=F_z=16N$ 를 각각 가하여 교정을 3회씩 실시하였다. 고성능 제어장치의 지시값은 하중을 가하지 않았을 때 3개의 3축 손가락 힘센서의 각  $F_x$  힘센서,  $F_y$  힘센서,  $F_z$  힘센서, 총 9개의 힘센서 모두를 무부하 하중일 때 1600mV이 출력되도록 조정하였고, 각 힘센서의 정격하중인 16N을 가했을 때 1600mV+1600mV가 출력되도록 조정하였



그림 8. 잡는 힘 특성실험장치.

Fig. 8. Experimental equipment for characteristic test of grasping force.

다. 즉 +x방향으로 16N을 가했을 경우에는 3200mV가 출력되고 -x방향으로 16N을 가했을 경우에는 0mV가 출력되도록 조정하였다. 이와 같이 출력을 조정한 것은 사용한 DSP (TMS320F2812)의 내부에 내장되어 있는 AD 컨버터의 측정 범위가 0~3300mV이기 때문에 (+)와 (-) 방향으로 거의 최대인 3200mV를 사용하고, 측정값(전압)을 쉽게 무게(g)으로 환산하기 쉽게 하기 위해, 즉 측정값 1mV가 질량 1g이 되도록 하기 위해서이다.

2. 잡는 힘 특성실험

본 논문에서 개발한 지능형 로봇손을 활용하기 위해서는 미지물체를 잡는 힘이 어느 정도되어야 안전하게 잡을 수 있는지를 확인하는 잡는 힘 특성실험을 실시해야 한다. 그림 8은 잡는 힘 특성실험을 위한 실험장치를 나타내고 있으며, 지능형 로봇손, 사각판, 추걸이, 추 등으로 구성되었다. 특성 실험은 추걸이가 연결되어 있는 사각판을 3개의 손가락으로 그림 8과 같이 잡고 추걸이에 1000g의 추를 걸었을 때 미끄러지지 않은 잡는 힘을 결정하였다. 실험결과, 잡는 힘이 550g 일 때 1000g의 추를 안전하게 잡는 것을 확인하였고, 즉 잡는 힘과 물체의 무게 비는 0.55 : 1이었다. 그러나 실제로 지능형 로봇손이 미지물체를 잡을 경우에는 접촉면적이 실험할 때보다 적을 수 있으므로 잡는 힘과 물체의 무게 비를 1 : 1로 결정하였다. 즉, 잡는 힘을 물체의 무게와 같게 결정하였다.

3. 미지물체를 잡는 특성실험

미지물체를 잡는 특성실험을 위한 대상을 달걀, 음료병 등으로 결정하였으며, 초기 잡는 힘의 기준값을 200g으로 결정하였다. 미지물체를 잡는 특성실험은 대상물체를 초기 잡는 힘을 기준값으로 제어하여 안전하게 잡고 3개의 손가락에 부착되어 있는 3개의 3축 손가락 힘센서를 이용하여 잡는 방향의 힘들을 고성능제어장치로 측정한다.

그림 9는 개발한 지능형 로봇손을 이용한 달걀을 잡는 특성실험의 사진을 나타내고 있으며, 달걀을 깨지거나 떨어뜨리지 않고 안전하게 잡은 것을 확인할 수 있었다. 그림 10은 달걀을 잡았을 때의 특성실험 그래프를 각각 나타내고 있고, 엄지손가락(첫 번째 손가락)의 잡는 힘 출력값은 초기 기준값 200g으로 잡은 후 음료병의 무게를 측정하여 무게와 비슷한 360g과 비슷한 값으로 안정되게 제어됨을 확인할 수 있으며, 검지와 중지 손가락(두 번째와 세 번째 손가락)은 모두 초기 기준값의 1/2인 100g으로 잡은 후 음료병의 무게를 측정하여 무게와 비슷한 180g 값으로 제어됨을 알 수 있다. 이와 같이 힘의 평형원리에 맞도록 3개의 손가락이 제어되는 것은 두 손가락으로 물체를 잡을 때와 세 손가락으로 물체를 잡을 때를 고려하여 기준값을 다르게 설정할 수 있도록 프로그램을 제작하였기 때문이다.

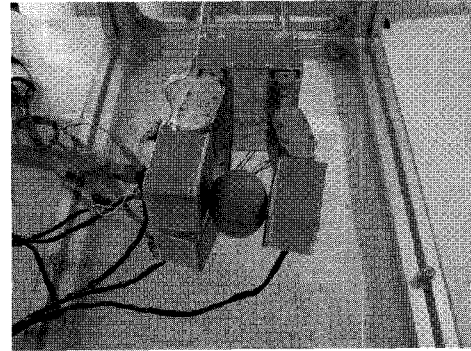


그림 9. 개발한 지능형 로봇손을 이용한 달걀을 잡는 특성실험의 사진.

Fig. 9. Photograph of characteristic test for grasping egg using the developed intelligent robot's hand.

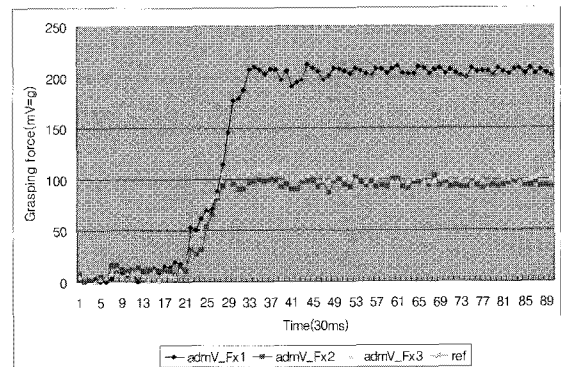


그림 10. 달걀을 잡았을 때의 특성실험 그래프.

Fig. 10. Graph of characteristic test during grasping egg.

며, 검지와 중지 손가락(두 번째와 세 번째 손가락)은 모두 초기 기준값의 1/2인 100g과 비슷한 값으로 제어됨을 알 수 있다. 이와 같이 엄지 손가락 힘센서의 출력값과 검지와 중지손가락 힘센서의 출력값이 1/2인 것은 잡는 힘의 기준값이 200g이므로 힘의 평형원리에 의해 엄지손가락의 잡는 힘은 검지와 중지 손가락의 잡는 힘의 합이 같아야 하기 때문이다. 제어의 도달시간은 0.5s 이내이고, 오버슈트는 0에 가까우며, 정상상태오차는 10g 이내로 나타났다.

그림 11은 개발한 지능형 로봇손을 이용한 음료병을 잡는 특성실험의 사진을 나타내고 있으며, 음료병을 깨지거나 떨어뜨리지 않고 안전하게 잡은 것을 확인할 수 있었다. 그림 12는 음료병을 잡았을 때의 특성실험 그래프를 각각 나타내고 있고, 엄지손가락(첫 번째 손가락)의 잡는 힘 출력값은 초기 기준값 200g으로 잡은 후 음료병의 무게를 측정하여 무게와 비슷한 360g과 비슷한 값으로 안정되게 제어됨을 확인할 수 있으며, 검지와 중지 손가락(두 번째와 세 번째 손가락)은 모두 초기 기준값의 1/2인 100g으로 잡은 후 음료병의 무게를 측정하여 무게와 비슷한 180g 값으로 제어됨을 알 수 있다. 이와 같이 힘의 평형원리에 맞도록 3개의 손가락이 제어되는 것은 두 손가락으로 물체를 잡을 때와 세 손가락으로 물체를 잡을 때를 고려하여 기준값을 다르게 설정할 수 있도록 프로그램을 제작하였기 때문이다.

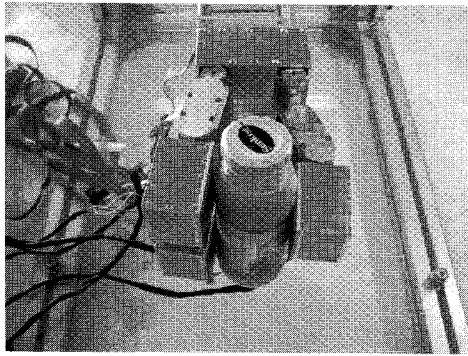


그림 11. 개발한 지능형 로봇손을 이용한 음료병을 잡는 특성실험의 사진.

Fig. 11. Photograph of characteristic test for grasping drinking bottle using the developed intelligent robot's hand.

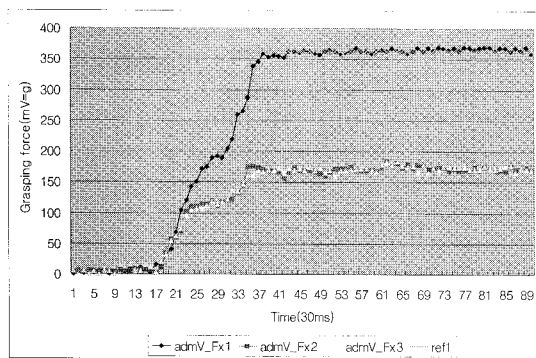


그림 12. 개발한 지능형 로봇손을 이용한 음료병을 잡는 특성실험 그래프.

Fig. 12. Graph of characteristic test during grasping drinking bottle.

## VI. 결론

본 논문에서는 미지물체를 안전하게 잡는 3축 손가락 힘

센서가 부착된 로봇의 지능형 로봇손을 개발하였다. 지능형 로봇손을 개발하기 위해 개발한 3축 손가락 힘센서는 힘  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ 를 최대 16N까지 동시에 측정할 수 있고, 최대상호간섭 오차가 0.56% 이하임을 확인하였다. 개발된 지능형 로봇손은 달걀, 음료병 등의 물체를 안전하게 잡는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 3축 손가락 힘센서는 미지물체를 안전하게 잡는 힘센서로 활용될 수 있으며, 개발한 지능형 로봇손은 미지물체를 안전하게 잡고 이동 등의 작업을 할 수 있는 지능형 로봇, 인간형 로봇, 서비스 로봇 등에 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

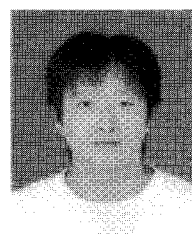
## 참고문헌

- [1] P. H. Chappel and J. A. Elliott, "Contact force sensor for artificial hands with a digital interface for a controller," *Measurement Science and Technology*, vol. 14, no. 8, pp. 1275-1279, Aug. 2003.
- [2] L. R. L. Wang, I. K. Mills, and D. Sun, "Vision-Based 2-D Automatic Micrograsping Using Coarse-to-Fine Grasping Strategy," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 55, no. 9, pp. 3324-3331, 2008.
- [3] G. Galante, and G. Passannanti, "Minimizing the cycle time in serial manufacturing systems with multiple dual gripper robots," *International Journal of Production Research*, vol. 44, no. 4, pp. 639-652, 2006.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] G. S. Kim and J. W. Yoon, "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.



김 갑 순

1999년 한양대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(공학박사). 1990년~2000년 한국표준과학연구원(선임연구원). 2000년~현재 경상대학교 제어계측공학과 부교수. 관심분야는 인간형 로봇, 지능로봇, 산업용로봇, 로봇용 다축 힘/모멘트센서.



신 희 준

2006년 경상대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업(공학사). 2006년~현재 경상대학교 공과대학 제어계측공학과(공학석사). 관심분야는 지능로봇, 로봇용 다축힘/모멘트센서.