로봇의 그리퍼 제작을 위한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 개발

김갑순† · 이헌두* · 박인철* · 손영훈*

Development of a 6-axis robot's finger force/moment sensor for making a robot's gripper

Gabsoon Kim, Hundoo Lee, Inchul Park and Younghun Son

Key Words : Robot's gripper(로봇의 그리퍼), 6-axis robot's finger force/moment sensor(6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서), Rated strain(정격변형률), Interference error(상호간섭오차)

Abstract

This paper describes the development of a 6-axis robot's finger force/moment sensor, which measures forces Fx, Fy, Fz, and moments Mx, My, Mz simultaneously, for making a robot's gripper. In order to safely grasp an unknown object using the robot's gripper, it should measure the force in the gripping direction and the force in the gravity direction, and perform the force control using the measured forces. Thus, the robot's gripper should be composed of 6-axis robot's finger force/moment sensor that can measure forces Fx, Fy, Fz, and moments Mx, My, Mz simultaneously. In this paper, the 6-axis robot's finger force/moment sensor for measuring forces Fx, Fy, Fz, and moments Mx, My, Mz simultaneously was newly modeled using several parallel-plate beams, designed, and fabricated. The characteristic test of made sensor was performed. Also, Robot's gripper with the 6-axis robot's finger force/moment sensor for the characteristic test of force control was manufactured, and the characteristic test for grasping an unknown object was performed using it.

1. 서 론

로봇의 그리퍼(gripper)는 인공지능 로봇의 손을 완성하기 위해 계속해서 연구되고 있다. Ceccarelli, M., et al.[1] 은 물체를 잡는 방향의 힘을 측정할 수 있는 단축 힘센서를 이용하여 로봇의 손가락을 제작하였고, 위치 및 힘제어로서 물체를 잡았다. Castro, D., et al.[2]은 단축 힘센서를 이용하여 조오 그리퍼(Jaw gripper)를 제작하여 물체를 잡았다. Nkgatho, S. T., et al.[3] 은 그리퍼에 근접센서를 부착하고 이것과 전자회로를 연결하여 지능 그리퍼(intelligent gripper)을 제작하였다. Carlos, M. V., et al.[4] 은 물체의 위치를 정확하게 찾을 수 있는 비전시스템 을 이용하여 3 손가락 그리퍼를 제작하였다. 그리고 Obrien, D. J., et al.[5]은 손가락에 스트레인게이지를 부착하여 물체를 잡는 방향의 힘을 측정할 수 있는 그리퍼를 제작하였다.

이와 같은 그리퍼는 여러방향의 힘과 모멘트를 동시에 측정할 수 없기 때문에 미지의 물체를 떨어트리거나 파손되지 않도록 정확하게 잡을 수 없을 뿐만 아니라 미지의 물체가 손가락의 어느 위치에 있는지 정확하게 알 수 없다. 로봇이 손가락을 이용하여 미지의 물체를 안전하게 잡기 위해서는 잡는 방향의 힘과 중력방향의 힘을 동시에 측정해야 하고 이 값들을 이용하여 힘제어를 해야 한다. 그러므로 로봇의 그리퍼는 힘 Fx(x 방향의 힘), Fy, Fz 과 모멘트 Mx(x 방향의 모멘트), My, Mz 를 동시에 측정할 수 있는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서로 손가락을 구성하고 이것을 조합하여 만들어져야 한다.

6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 이용하여 정확한 힘/모멘트를 측정하기 위해서는 센서의 상호간섭오차(interference error)가 작아야 한다.[6~8] 상호간섭오차는 비직선성오차(nonlinerity), 재현도오차

† 경상대학교 제어계측공학과
E-mail : gskim@nongae.gsnu.ac.kr
TEL : (055)751-5372 FAX : (055)747-3974
* 경상대학교 제어계측공학과 대학원

(repeatability) 등 다른 오차들보다 수십배 혹은 수백배 크다. 그러므로 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 정밀정확도는 상호간섭오차만으로 평가하는 것이 일반적이다.[6~8]

본 논문에서는 로봇의 그리퍼를 구성하기 위한 힘 Fx, Fy, Fz 과 모멘트 Mx, My, Mz 를 동시에 감지할 수 있는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 개발하였다. 이 센서는 병렬평판보(PPB:parallel- plate beam) 7 개로 구성되는 단일 몸체로 모델링되었다. 힘/모멘트센서의 감지부들을 설계하기 위하여 힘과 모멘트에 의한 보들의 변형률을 계산하는 식을 유도하였고, 유도된 식들을 이용하여 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 감지부의 크기를 설계하였으며, 스트레인게이지를 부착하여 센서를 제작하였다. 그리고 제작된 센서의 특성평가를 실시하였고, 제작된 센서를 이용하여 로봇의 그리퍼를 구성하여 미지물체를 잡는 힘제어 특성실험을 실시하였다.

2. 센서설계

2.1 모델링

Fig. 1 은 힘 Fx, Fy, Fz 와 모멘트 Mx, My, Mz 를 동시에 감지할 수 있는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 모델링을 나타내고 있다. 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 감지부는 7 개의 병렬평판보(parallel-plate beam : PPB)로 구성되어 있으며, 블록 A, B 와 블록 C, D 는 로봇손을 구성할 때 로봇손의 프레임에 나사로 고정된다.

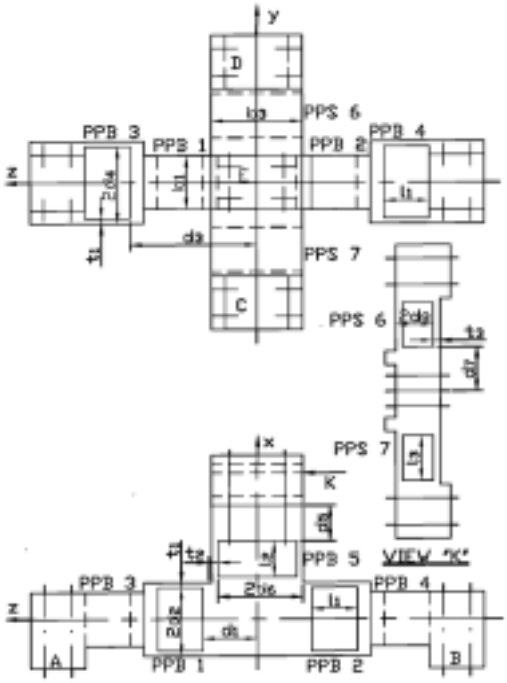

Fig. 1 6-axis robot's finger force/moment sensor

7 개의 PPB 들중 PPB 1 과 PPB 2 는 힘 Fx 와 모멘트 My, PPB 3 과 PPB 4 는 힘 Fy 와 모멘트 Mx, PPB 5 는 힘 Fz, 그리고 PPB 6 과 PPB 7 은 모멘트 Mz 를 감지하는 병렬평판보이다. PPB 1, PPB 2, PPB 3 과 PPB 4 는 폭 b_1, 두께 t_1, 길이 l_1 인 평판보 2 개로 각각 구성되었고, PPB 5 는 폭 b_2, 두께 t_2, 길이 l_2 인 평판보 2 개로 각각 구성되었으며, 그리고 PPB 6 과 PPB 7 은 폭 b_3, 두께 t_3, 길이 l_3 인 평판보 2 개로 각각 구성되었다. 그리고 외부로부터 가해지는 3 개의 힘과 3 개의 모멘트는 센서의 하부에 위치한 블록 A 와 B, 그리고 상부에 위치한 블록 C 와 D 를 통하여 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서에 전달된다.

2.2 센서의 이론해석

2.2.1 힘 Fx 혹은 Fy 가 가해졌을 때

Fig. 2 는 PPB 1 과 PPB 2 의 중앙에 힘 Fx 가 가해졌을 때 각 평판보의 변형률을 해석하기 위한 개략도를 나타내고 있다. PPB 1 과 PPB 2 는 힘 Fx 가 가해지는 방향의 중심축을 기준으로 대칭이고, PPB 1 을 구성하는 평판보 1(beam 1)과 평판보 2(beam 2)는 수평중심축을 기준으로 대칭이며, 또한 PPB 2 을 구성하는 평판보 3(beam 3)과 평판보 4(beam 4)는 수평중심축을 기준으로 대칭이다. 따라서 평판보 1 를 변형률해석한 이론식을 평판보 2, 평판보 3, 평판보 4 에 적용할 수 있다. 그리고 PPB 1 과 PPB 2, PPB 3 과 PPB 4 의 구조가 같기 때문에 힘 Fx 가 가해졌을 때의 이론식을 힘 Fy 가 가해졌을 때에도 그대로 적용할 수 있다.

평판보 1 의 z=0 지점에서 힘 Fx 에 의해 발생되는 x 방향의 힘 F_{Fxx} 를 구하고, 고정단 O 점에서의 모멘트 평형조건 $\sum M_o = 0$ 를 이용하여 힘 Fx 에 의해 발생되는 y 방향의 모멘트 M_{Fxy} 룰 구하여 이들 힘과 모멘트를 이용하여 임의 점 z 에서의 모멘트 Mz 는 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.

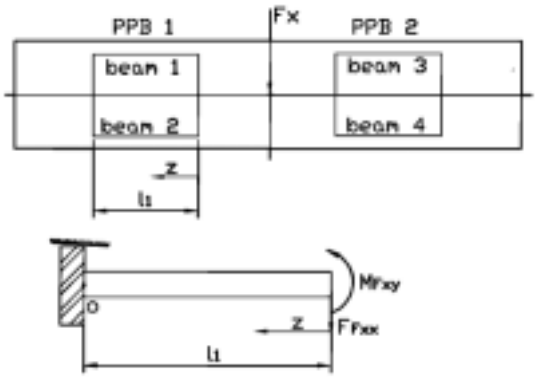

Fig. 2 Free body diagram of plate beams for a 6-axis robot's finger force/moment sensor under the forces Fx(or Fy)

$$M_z = \frac{F_x}{4}(x - \frac{l_1}{2}) \quad (1)$$

평판보 1 의 윗면 변형률 ε_{Fx-U} 과 아래면 변형률 ε_{Fx-L} 을 계산하는 식은 변형률식 $\varepsilon = M_z/EZ_{1P}$ 에 식 (1)을 대입하여 유도할 유도할 수 있으며, 유도한 식은 식 (2-a)와 (2-b)와 같다.

$$\varepsilon_{Fx-U} = \frac{F_x}{4EZ_{1p}}(z - \frac{l_1}{2}) \quad (2\text{-a})$$

$$\varepsilon_{Fx-L} = \frac{F_x}{4EZ_{1p}}(\frac{l_1}{2} - z) \quad (2\text{-b})$$

2.2.2 힘 Fz 가 가해졌을 때

Fig. 3 은 PPB 5 의 블록 O_2 중앙에 힘 Fz 가 가해졌을 때 각 평판보의 변형률을 해석하기 위한 개략도를 나타내고 있다. PPB 5 는 수평축을 기준으로 대칭이고, 이것은 평판보 5(beam 5)와 평판보 6(beam 6)으로 구성되었으며, 이것들의 크기가 같다. 따라서 평판보 5 를 변형률해석한 이론식을 평판보 6 에 적용할 수 있다.

PPB 5 의 블록 끝 O_2 중앙에 힘 F_z 가 가해졌을 때 평판보 5 에 가해지는 힘과 모멘트, 즉 힘 F_z 에 의해 발생되는 z 방향의 힘 F_{Fzz}, 힘 F_z 에 의해 발생되는 y 방향의 모멘트 M_{Fzy}, 힘 F_z 에 의해 발생되는 x 방향의 힘 F_{Fzx} 를 구하고, 블록에서 z 방향의 힘 평형조건 $\sum F_z = 0$ 과 블록의 O 점에서 모멘트 평형조건 $\sum M_o = 0$ 식을 각각 구하며, 이들 식들을 이용하여 블록의 회전각 ϕ와 수직처짐 v 를 구하면 식 (3), (4)와 같다.

$$\phi = \frac{(2d_4 + l_2)F_z}{\frac{48EI_2}{l_2^2}(\frac{3}{2}d_4 + \frac{2}{3}l_2) + \frac{4A_2Ed_5^2}{l_2}} \quad (3)$$

$$v = \frac{F_z - \frac{24EI_2}{l_2^2}(d_4 + \frac{l_2}{2})\phi}{\frac{24EI_2}{l_2^2}} \quad (4)$$

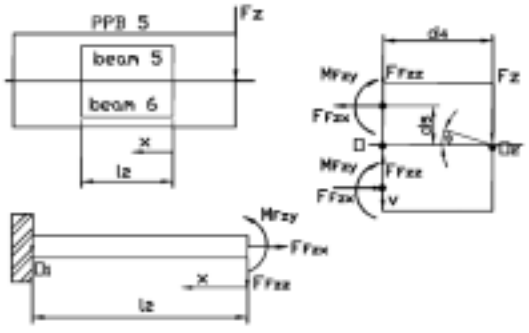

Fig. 3 Free body diagram of plate beams for a 6-axis robot's finger sensor under the force Fz

평판보 임의의 점 x 에서 모멘트 M_x 는 식 (5)와 같고

$$M_x = F_{Fzz}x - M_{Fzy} = \frac{12EI_2x}{l_2^3}\left[v + (d_4 + \frac{l_2}{2})\phi\right] - \frac{12EI_2}{l_2^2}\left[\frac{v}{2} + (\frac{d_4}{2} + \frac{l_2}{3})\phi\right] \quad (5)$$

굽힘변형률식 $\varepsilon = M_x / EZ_{2P}$ 과 인장변형률식과 압축변형률식 $\varepsilon = F/A_2E$ 을 중첩시켜 평판보의 위면과 아랫면에서의 변형률식을 유도하면 식 (6-a), (6-b)와 같다.

$$\varepsilon_{Fz-U} = \frac{6t_2x}{l_2^3}(v + (d_4 + \frac{l_2}{2})\phi) - \frac{6t_2}{l_2^2}(\frac{v}{2} + (\frac{d_4}{2} + \frac{l_2}{3})\phi) + \frac{d_5\phi}{l_2} \quad (6\text{-a})$$

$$\varepsilon_{Fz-L} = -\frac{6t_2x}{l_2^3}(v + (d_4 + \frac{l_2}{2})\phi) + \frac{6t_2}{l_2^2}(\frac{v}{2} + (\frac{d_4}{2} + \frac{l_2}{3})\phi) - \frac{d_5\phi}{l_2} \quad (6\text{-b})$$

2.2.3 모멘트 Mx=My=Mz 가 가해졌을 때

Fig. 4 는 PPB 3 과 PPB 4 의 중앙에 모멘트 Mx 가 가해졌을 때 각각의 평판보의 변형률을 해석하기 위한 개략도를 나타내고 있다.

평판보 7 의 끝점인 z=0 에서 수직처짐 v 와 회전각 θ를 이용하여 모멘트 Mx 에 의해 발생되는 z 방향의 힘 F_{Mxz}, 모멘트 Mx 에 의해 발생되는 y 방향의 힘 F_{Mxy}, 모멘트 Mx 에 의해 발생되는 x 방향의 모멘트 M_{Mxx} 를 구하고, 이들을 블록의 중심 P 점에서의 모멘트 평형조건 $\sum M_P = 0$ 을 이용하여 식을 유도하여 대입하면 블록의 중심점 P 의 회전각 θ는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \frac{M_x/4}{\frac{12EI_1}{l_1^2}(d_1 + \frac{l_1}{3} + \frac{d_1^2}{l_1}) + \frac{A_1Ed_2^2}{l_1}} \quad (7)$$

굽힘변형률식 $\varepsilon = M/EZ_{1P}$ 과 인장변형률식과 압축변형률식 $\varepsilon = F/A_1E$ 을 중첩시켜 평판보 7 의 위면과 아랫면에서의 변형률식을 유도하면 식 (8-a), (8-b)와 같다.

$$\varepsilon_{Mx-U} = \left[\frac{6h}{l_1^3}\left(\frac{d_1l_1}{2} + \frac{l_1^2}{3} - (d_1 + \frac{l_1}{2})x\right) + \frac{d_2}{l_1}\right]\theta \quad (8\text{-a})$$

$$\varepsilon_{Mx-L} = -\left[\frac{6h}{l_1^3}\left(\frac{d_1l_1}{2} + \frac{l_1^2}{3} - (d_1 + \frac{l_1}{2})x\right) + \frac{d_2}{l_1}\right]\theta \quad (8\text{-b})$$

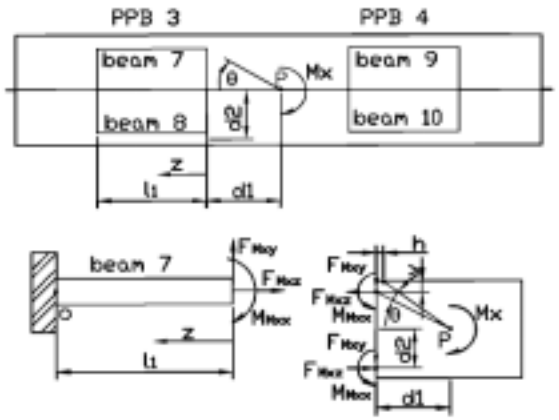

Fig. 4 Free body diagram of plate beams for a 6-axis robot's finger force/moment sensor under the moments Mx(or My, Mz)

2.3 감지부의 설계

센서 감지부의 설계변수는 정격용량, 정격변형률, 보의 폭, 보의 길이, 보의 높이, 등이다.

센서의 용량은 각각의 힘센서 Fx, Fy, Fz 가 모두 50 N 이고 각각의 모멘트센서 Mx, My, Mz 가 5 Nm, 정격변형률은 모두 1000 $\mu m/m$ 정도, 스트레인게이지의 부착위치는 스트레인게이지의 크기 4×5 mm^2 를 고려하여 보의 길이 방향으로는 모두 보의 양 끝 지점으로부터 1.5 mm 떨어진 지점이고, 보의 폭 방향으로는 보의 길이 방향의 중심선상으로 결정하였다.

결정된 수치들을 변형률식 (2-a), (2-b), (4-a), (4-b), (8-a), (8-b)에 대입하여 계산한 결과, 보의 폭 b_1 과 b_2 는 12 mm, b_3 는 20 mm, 보의 길이 l_1, l_2, l_3 는 모두 10 mm, 보의 높이 t_1 은 1.1 mm, t_2 는 1.3 mm, t_3 는 2.4 mm 이었다. 감지부의 재질은 소용량의 힘/모멘트 센서의 감지부로 많이 사용되는 알루미늄 2024-T351 이다.

3. 변형률해석 및 센서제작

Fig. 5 는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 제작하기 위한 스트레인게이지 부착위치를 나타낸 것이다. 힘 Fx 를 감지하는 센서의 스트레인게이지는 S1~S4, Fy 인 경우에는 S5~S8, Fz 인 경우에는 S9~S12, Mx 인 경우에는 S13~S16, My 인 경우에는 S17~S20, Mz 인 경우에는 S21~S24 로 선정하였다.

센서는 휘스톤브리지회로를 구성하여 제작된다. 따라서 휘스톤브리지를 구성한 상태에서 각 센서의 정격변형률이 1000 $\mu m/m$ 정도가 되고 상호간섭오차가 0 이 되도록 유도한 변형률식 (2-a), (2-b), (4-a), (4-b), (8-a), (8-b)를 이용하여 설계하였다.

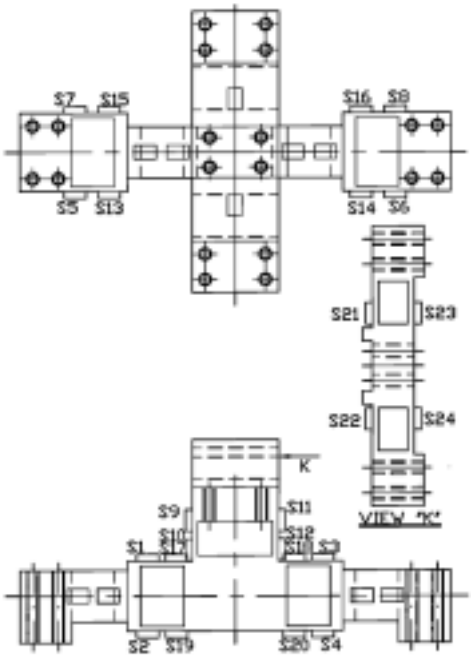

Fig. 5 Locations of strain gages

각 힘/모멘트센서의 정격변형률과 상호간섭오차는 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률을 식 (9)에 의해 계산될 수 있다.

$$\varepsilon = \varepsilon_{T1} - \varepsilon_{C1} + \varepsilon_{T2} - \varepsilon_{C2} \tag{9}$$

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

계산한 Fx 센서와 Fy 센서의 정격변형률은 이론해석값이 각각 1032 $\mu m/m$, Fz 센서는 1056 $\mu m/m$, Mx 센서와 My 센서는 1040 $\mu m/m$, Mz 센서는 1032 $\mu m/m$ 이었고, 모든 센서의 상호간섭오차는 모두 0 이었다. 각 센서의 정격출력이 1000 $\mu m/m$ 이상으로 설계된 것은 각 센서 감지부의 크기를 가공정도를 고려하여 길이와 폭은 1 mm 단위로, 두께는 0.1 mm 단위로 결정하였기 때문이다. 모든 센서의 상호간섭오차가 0 인 것은 완전결선회로의 결선을 고려하여 스트레인게이지의 부착위치를 결정하였으며, 게이지의 부착을 게이지의 중심선과 평판보의 중심선이 일치하도록 하였기 때문이다.

6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서는 Fig. 5 에 나타낸 스트레인게이지의 부착위치에 순간접촉제(M-bond 200)를 이용하여 스트레인게이지(N2A-13-T001N-350)를 부착하였으며, 휘스톤브리지회로를 구성하여 제작하였다.

4. 결과 및 고찰

6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 특성실험은 특성실험장치를 이용하여 힘 Fx, Fy, Fz 를 각각 50 N, 모멘트 Mx, My, Mz 를 각각 5 Nm 를 센서에 가하여 각각 3 회씩 실시하였으며, 그 값들을 평균하였다. 이론식과 특성시험에 의한 정격출력의 단위를 같게 하기 위하여 특성실험에 의한 각 센서의 정격출력의 단위가 mV/V 이므로 이론식에 의한 정격변형률($\mu m/m$)을 정격출력(mV/V)으로 바꾸어야 한다. 정격변형률을 정격출력으로 바꾸는 식은 다음과 같다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K\varepsilon \tag{10}$$

여기서, E_i 는 완전결선회로의 입력전압(V), E_o 는 완전결선회로의 출력전압(V), K 는 스트레인게이지 상수이고, 사용된 스트레인게이지의 게이지 상수는 2.03, ε는 각 센서의 정격변형률($\mu m/m$)이다.

Table 1 Rated strain in theory and characteristic test

Sensor	Analysis	Rated strain (mV/V)	Error(%)
Fx sensor	Theory	0.5237	6.0
	Test	0.4925	
Fy sensor	Theory	0.5237	4.5
	Test	0.5001	
Fz sensor	Theory	0.5396	4.0
	Test	0.5611	
Mx sensor	Theory	0.5278	3.3
	Test	0.5102	
My sensor	Theory	0.5278	3.4
	Test	0.5097	
Mz sensor	Theory	0.5237	4.6
	Test	0.4998	

Table 2 Interference errors in characteristic test

	Rated strain ($\mu m/m$) and Interference error (%)					
Sensor / F/M	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx=50 N	-	-0.44	0.63	-0.05	-1.12	0.61
Fy=50 N	-0.77	-	-1.51	-2.12	-0.64	2.50
Fz=50 N	0.10	0.90	-	-0.46	1.84	0.74
Mx=5 Nm	-0.04	1.51	1.11	-	1.03	0.74
My=5 Nm	-0.70	-0.22	-0.48	1.76	-	1.73
Mz=5 Nm	-0.14	-2.45	2.20	-2.67	-2.79	-

계산한 각 센서의 정격변형률($\mu m/m$)을 식 (10)에 대입하여 정격출력(mV/V)으로 변환하였다. Table 1 는 유도된 이론식과 특성시험에 의한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 정격출력을 나타내었다. 이론식에 의한 정격출력을 기준으로 실험에 의한 정격출력을 비교한 결과, 최대 정격출력 오차는 6.0 %이다.

Table 2 은 상호간섭오차를 나타내고 있다. Fx 센서의 가장 큰 상호간섭오차는 Fy=50 N 을 가했을 때 –0.77 %, Fy 센서는 Mz=5 Nm 를 가했을 때 –2.45 %, Fz 센서는 Mz=5 Nm 를 가했을 때 2.20 %, Mx 센서는 Mz=5 Nm 를 가했을 때 –2.67 %, My 센서는 Mz=5 Nm 를 가했을 때 –2.79 %, Mz 센서는 Fy=50 N 를 가했을 때 2.50 %이었다. 그러므로 개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 최대상호간섭오차는 2.79 %이다. 이와 같이 정격출력오차와 상호간섭오차가 발생된 것은 센서의 가공오차와 스트레인게이지의 부착오차 때문인 것으로 생각된다. Fig. 6 은 본 논문에서 개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 사진을 나타내고 있다.

Fig. 7 은 개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 이용하여 구성한 실험용 로봇의 그리퍼가 미지물체를 잡은 모습을 나타내고 있으며, 이것은 그리퍼 제어장치(gripper controller), 그리퍼(gripper : 6-axis robot's finger force/moment sensor), 모터(motor),

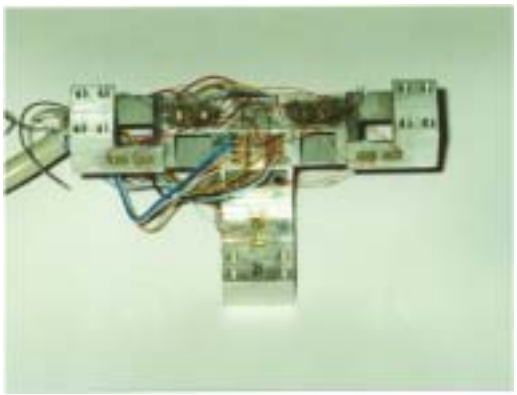

Fig. 6 Fabricated 6-axis robot's finger sensor

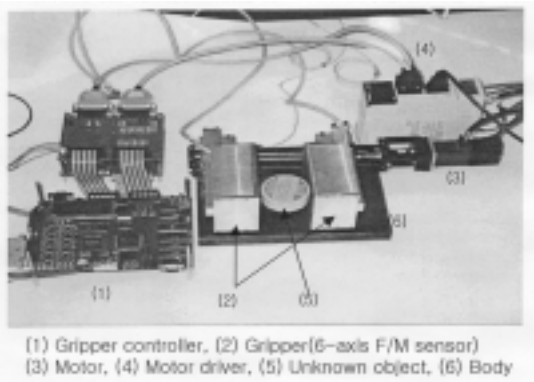

Fig. 7 Robot's gripper with 6-axis robot's finger force/moment sensor

모터드라이버(motor driver), 미지물체(unknown object), 몸체(body) 등으로 구성되었다.

실험용 로봇의 그리퍼가 미지물체를 잡기 위한 PI 힘제어(PI force control)의 응답특성실험을 비례게인 Kp 를 20 에서 80 까지 10 단계로 증가시켜 고정하고, 적분게인 Ki 를 0.005, 0.2, 0.3, 0.5 순으로 증가하면서 실시하였으며, 샘플링시간은 0.05 s 이다. 이중 Kp 가 50 일 때가 상승시간이 0.4 s 로 실험용 로봇의 그리퍼에 적당한 것으로 판단되어 본 논문에서는 Kp 가 50 일 때만 그래프로 표현하기로 한다.

Fig. 8 는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서로 구성된 그리퍼의 PI 힘제어의 응답특성을 나타내고 있다. 상승시간은 실험한 모든 적분게인에서 약 0.4 s 이고, 기준값에서 출력값을 빼서 계산하는 정상상태의 편차는 Ki 가 0.05 인 경우에는 0.014 V, Ki 가 0.2 인 경우에는 0.005 V, Ki 가 0.3 인 경우에는 0.003 V, Ki 가 0.5 인 경우에는 -0.016 V 이며, 정상상태의 편차를 기준으로 상하로 흔들림의 정도를 나타내는 정상상태 흔들림은 Ki 가 0.05 인 경우에는 ±0.010 V, Ki 가 0.2 인 경우에는 ±0.006 V, Ki 가 0.3 인 경우에는 ±0.005 V, Ki 가 0.5 인 경우에는 ±0.005 V 이었다. 이와 같은 오차는 모터와 모터드라이버에서 발생된 노이즈가 센서의 미약 전류에 영향을 미쳤기 때문이다. 정상상태의 편차와 흔들림을 고려 할 때, 본 논문에서 구성한 로봇의 그리퍼는 Kp 가 50 이고 Ki 가 0.2 일 때 가장 좋은 특성을 나타낸다. 이와 같은 특성을 볼 때 본 논문에서 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 이용하여 구성한 그리퍼는 미지물체를 안전하게 잡는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

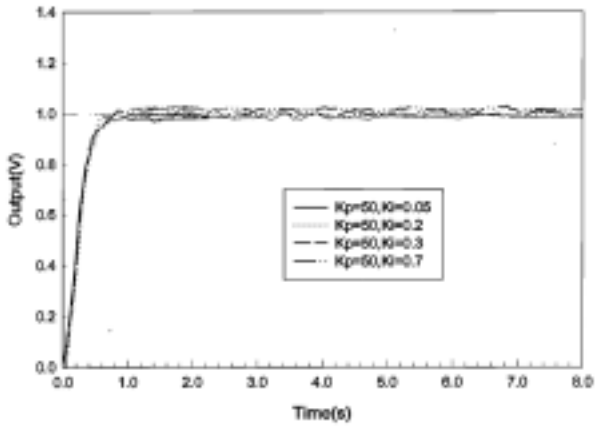

Fig. 8 Response of gripper with 6-axis robot's finger force/moment sensor

5. 결론

본 논문에서는 로봇의 그리퍼를 구성하기 위한 힘 Fx, Fy, Fz 과 모멘트 Mx, My, Mz 를 동시에 감지할 수 있는 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 개발하였다.

개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서는 이론식에 의한 정격출력을 기준으로 실험에 의한 정격출력을 비교한 최대오차가 6.0 %이었고, 최대상호간섭오차가 2.79 %이었으며, 또한 개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서를 이용하여 구성한 실험용 로봇의 그리퍼가 미지물체를 안전하게 잡았다. 그러므로 본 논문에서 유도한 식 (2-a), (2-b), (4-a), (4-b), (8-a), (8-b)는 고안한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서의 설계를 위한 정격변형률을 계산하는데 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 상호간섭오차도 우수하게 평가되어 개발한 6 축 로봇손가락 힘/모멘트센서는 미지물체를 안전하게 잡을 수 있는 로봇의 그리퍼로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2002 학년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-D00108).

참고문헌

(1) Ceccarelli, M., 1996, "Grasp Forces in Two-finger: Modeling and Measuring," Proceedings of 5th International Workshop on Robotics in Alpe Adria-Danbube Region, pp.321~326.

(2) Castro, D., 1997,"Tactile Force Control Feedback in Parallel Jaw Gripper," Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 3, V. 3, pp.884~888.

(3) Nkgatho, S. T., 1998, "intelligent Gripper using Low Cost Industrial," Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol. 2, V. 2, pp.415~419.

(4) Carlos, M. V., 1998, "BRF Competitive Hopfield Neural Networks for Objects Grasping," Proceedings of the Fourth International Conference on Motion and Vibration Control, Vol. 3, V. 3, pp.1171~1176.

(5) Obrien, D. J., 1998, "Force Explicit Slip Sensing for the Amadeus underwater Gripper," International Journal of Systems Science, Vol. 29 No. 5, pp. 471~483.

(6) Yabuki, A., 1990, "Six-Axis Force/Torque Sensor for Assembly Robots," FUJTSU Science Technology, Vol. 26 No. 1, pp. 41~47.

(7) Brussel, H. V. and Belien H., 1986, "Force Sensing for Advanced Robot Control," North-Holland Robotics2, pp. 139~148.

(8) Kim, G. S., Deaim Kang and Sehun Rhee., 1999, "Design and fabrication of a three-component force/moment sensor using plate-beam," Meas. Sci. Technol., Vol.10, pp. 295 301.