원기둥을 이용한 6축 힘/모멘트 센서의 설계 및 제작

신홍호* · 강대임† · 김종호* · 박연규* · 주진원**

(2001년 8월 8일 접수, 2002년 4월 6일 심사완료)

Design and Fabrication of 6-Component Forces and Moments Sensor Using a Column Structure

Hong-Ho Shin, Dae-Im Kang, Jong-Ho Kim, Yon-Kyu Park and Jin-Won Joo

Key Words: Column Type(기둥형), 6-Component(6축), Interference Error(상호간섭 오차)

Abstract

The column-type sensing element in building and mechanical construction parts was designed as three forces and three moments sensor by attaching strain gages approximately. Compared to conventional multi-component sensor, the designed sensor has high stiffness and low cost. The radius of the column was designed analytically and compared with finite element analysis. The interference errors between components were minimized by using addition and subtraction procedure of signals. The fabricated sensor was tested by using a deadweight force standard machine and a six-component force calibration machine. The calibration results showed that the 6-component forces and moments sensor had interference error less than 7.3 % between F_x and M_y components, and 5.0 % in case of other components.

기호설명

A : 감지부의 단면적
cir.1~cir.6 : 임으로 번호를 갖는 6개의 회로
D : 감지부의 직경
E : 종탄성 계수
F_x, F_y, F_z : X, Y, Z 방향의 힘
G : 횡탄성 계수
K : 게이지 상수
L : 감지부의 길이
M_x, M_y, M_z : X, Y, Z 방향의 모멘트
S_1~S_{16} : 임의의 번호를 갖는 16개의 스트레인 게이지
$S^{cir.1}$~$S^{cir.6}$: 1~6번 회로의 출력
S_{Fx}, S_{Fy}, S_{Fz} : F_x, F_y, F_z에 의한 출력
S_{Mx}, S_{My}, S_{Mz} : M_x, M_y, M_z에 의한 출력
$S_{F_x}^{cir.1}$: F_x에 의한 1번 회로의 출력
$S_{M_y}^{cir.1}$: M_y에 의한 1번 회로의 출력
$S_{F_x}^{cir.5}$: F_x에 의한 5번 회로의 출력
$S_{M_y}^{cir.5}$: M_y에 의한 5번 회로의 출력
β : 힘 작용점과 게이지 위치의 거리 비
γ : 전단 변형률
ε_{S_1} ~ $\varepsilon_{S_{16}}$: 1~16번 스트레인 게이지의 변형률
ν : 푸아송비

† 책임저자, 회원, 한국표준과학연구원
E-mail : dikang@kriss.re.kr
TEL : (042)868-5010 FAX : (042)868-5012
* 한국표준과학연구원 물리표준부
** 회원, 충북대학교 기계공학부

1. 서 론

기계설비의 자동화, 공작기계의 고급화, 로봇의 고정밀화 등으로 여러 방향의 힘과 모멘트를 정확하게 측정해야 할 필요성이 증가하고 있다. 또한 구조물이 대형화됨에 따라 이의 안전 관리가 중요한 문제가 되고 있다. 그러나 이러한 분야에서 다축 힘/모멘트 센서의 활용은 센서의 비용과 센서의 사용으로 인한 구조물의 강성 저하 때문에 활발하지 못한 실정이다. 그러므로 기계, 토목 및 건축 구조물의 일부분을 힘/모멘트 센서의 감지부로 사용하여 구조물에 부하되는 힘/모멘트를 측정하는 연구를 시도할 필요가 있다.

Ono 등[1]은 처짐은 작으면서 큰 스트레인을 측정할 수 있는 병렬평판 구조의 다축 힘/모멘트 센서를 개발하였고, Hatamura 등[2]은 힘 성분을 측정하기 위한 병렬평판 구조와 모멘트 성분을 측정하기 위한 방사평판 구조가 조합된 전체 크기가 20 × 20 × 48 mm^3 인 소형 다축 힘/모멘트 센서를 개발하였다. 또한 김 등[3]은 병렬평판 구조를 갖는 3분력 힘/모멘트 센서를 개발하였고 강 등[4]은 변형률 분포가 완만하고 가공이 용이한 쌍안경식 6축 힘/모멘트 센서를 설계 제작하였다.

그러나 기존의 다축 힘/모멘트 센서는 감지부의 구조 설계와 다축 성분의 출력 및 상호 간섭 오차를 예상하는 것이 어렵고, 감지부의 강성이 작아 힘 센서를 구조물에 장착함으로서 전체 시스템의 강성이 작아진다는 문제를 갖고 있다. Schwarzinger 등[5]은 3차원 공간상에서 물체를 잡는 그리퍼(gripper)의 힘제어를 위해 그리퍼에 직접 스트레인 게이지를 부착하여 다축의 힘 및 모멘트를 측정하는 연구를 시도하였으나 각 회로의 출력을 성분별 출력으로 분리하는 방법을 제시하지 않았다.

여러 개의 센서를 조합하여 다축의 힘과 모멘트를 측정할 수도 있으나, 공간 및 센서 무게 등의 제약을 받는 경우에는 하나의 센서로 다축의 힘과 모멘트를 동시에 측정할 필요가 있다. 이와 같이 X, Y, Z 세 축의 힘과 모멘트를 동시에 측정하기 위한 센서를 6축 힘/모멘트 센서라고 하며, 본 논문은 대형 구조물 부재의 형상이 기둥형이라는 사실에 착안하여 기둥을 감지부로 사용하여 6축의 힘과 모멘트를 성분별로 검출하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 게이지의 부착위치, 조합 방법 및 성분별 분리 과정을 제시하였고, 안전성 검토를 위해 유한요소 해석을 수행하였으며, 기둥형의 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서를 제작하여 특성 평가를 수행하였다.

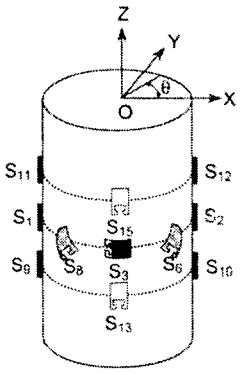

Fig. 1 A sensing element of column-type for measuring three forces and three moments using strain gage

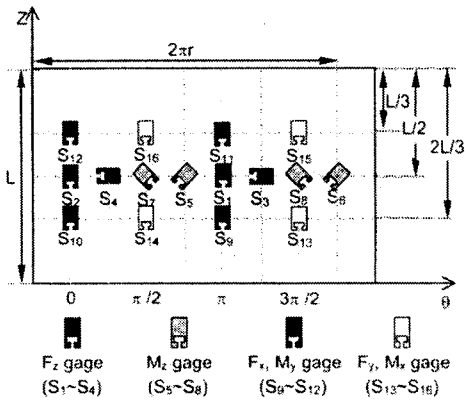

Fig. 2 Positions of strain gages for the measurement of forces and moments in the 6-component forces and moments sensor

2. 기둥형 6축 힘/모멘트 센서

2.1 설계

Fig. 1은 설계한 원기둥형 6축 힘/모멘트 센서의 기본 개념을 보여주며, **Fig. 2**는 성분별 스트레인 게이지의 부착 위치와 방향을 보여준다.

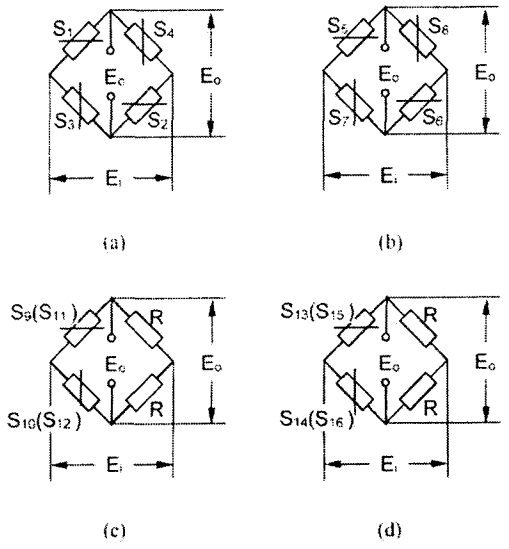

Fig. 3 Bridge circuit for measuring forces and moments: (a) full bridge circuit, cir.3 for measuring F_z; (b) full bridge circuit, cir.6 for measuring M_z; (c) half bridge circuit, cir.1 and cir.5 for measuring F_x and M_y; (d) half bridge circuit, cir.2 and cir.4 for measuring F_y and M_x

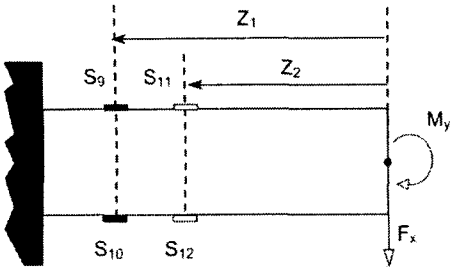

Fig. 4 Sensing element subjected to F_x and M_y loadings

Fig. 3과 같이 힘 및 모멘트 성분을 측정하기 위해 6개의 회로를 구성하였으며, 각 회로에 임의의 번호를 부여하였다. cir.1과 cir.5는 F_x와 M_y를 검출하기 위한 회로이고, cir.2와 cir.4는 F_y와 M_x를 검출하기 위한 회로이며, cir.3은 F_z를 cir.6은 M_z를 검출하기 위한 회로이다.

스트레인 게이지 S_1~S_4로 구성된 F_z 검출회로(cir.3)는 축방향으로 부착된 스트레인 게이지 2개와 원주방향으로 부착된 스트레인 게이지 2개를 갖는 완전 결선 브리지 회로이다. F_z를 가하면 S_1, S_2는 인장을 S_3, S_4는 푸아송비 만큼의 압축을 받는다. 따라서 입력 전압에 대한 출력 전압의 비는 식 (3)과 같다.

$$\varepsilon = \varepsilon_{S_1} = \varepsilon_{S_2} = \frac{4F_z}{\pi D^2 E} \tag{1}$$

$$\varepsilon_{S_3} = \varepsilon_{S_4} = -\nu\varepsilon_{S_1} \tag{2}$$

$$S_{F_z} = \frac{(1+\nu)K\varepsilon}{2-\{(1-\nu)K\varepsilon\}} \approx \frac{1.3K\varepsilon}{2} \tag{3}$$

기둥형 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서는 하나의 하중성분 용량을 기준으로 감지부의 지름을 설계하고, 나머지 하중성분의 용량은 앞서 설계된 감지부의 지름과 설계하고자 하는 출력에 따라 결정된다. 본 논문에서 감지부의 지름은 F_z를 200 kN 가했을 때, $S^{cir.3}$이 2 mV/V가 되도록 설계하였으며, 감지부의 지름에 대한 감지부의 길이 비율(L/D)을 2로 하여 끝단 효과의 영향을 작게 하였다.[6),7)] F_z를 기준으로 설계한 감지부의 지름은 28.1 mm이고, 감지부의 길이는 56.2 mm이다.

스트레인 게이지 S_5~S_8로 구성된 M_z 검출회로(cir.6)는 축방향에 대하여 ± 45° 방향으로 부착된 스트레인 게이지 4개를 갖는 완전결선 브리지 회로이며, M_z를 가하면 기둥의 비틀림 변형으로 S_5, S_6은 인장을 S_7, S_8은 압축을 받는다. 모두 액티브(active) 게이지로 변형률식과 입력 전압에 대한 출력 전압의 비는 다음과 같다.

$$\varepsilon_{S_5} = \varepsilon_{S_6} = -\varepsilon_{S_7} = -\varepsilon_{S_8} = \varepsilon_{45^\circ} = \frac{\gamma}{2} = \frac{8M_z}{\pi D^3 G} \tag{4}$$

$$S_{M_z} = K\varepsilon \tag{5}$$

위의 식 (4), (5)에서 M_z 검출 회로의 출력($S^{cir.6}$)이 2 mV/V가 되는 M_z의 용량은 696.3 Nm이다.

Fig. 4와 같이 F_x 및 M_y 검출회로는 축방향의 스트레인 게이지 2개를 갖는 1/2 브리지(half-

Table 1 Output voltage of sensing element subjected to the designed load

Load (F : kN) (M : Nm)	Output voltage (μV/V)					
	$S^{cir.1}$	$S^{cir.2}$	$S^{cir.3}$	$S^{cir.4}$	$S^{cir.5}$	$S^{cir.6}$
F_x (24.4)	2000	0	0	0	1000	0
F_y (24.4)	0	2000	0	1000	0	0
F_z (200)	0	0	2000	0	0	0
M_x (913.9)	0	-2000	0	-2000	0	0
M_y (913.9)	2000	0	0	0	2000	0
M_z (696.3)	0	0	0	0	0	2000

bridge) 회로로 구성하였다. S_9, S_{10}으로 구성된 cir.1과 S_{11}, S_{12}로 구성된 cir.5를 보여주며, F_x, M_y를 가하면 기둥의 굽힘 변형으로 S_9, S_{11}은 인장을 S_{10}, S_{12}는 압축을 받는다. F_x에 의한 변형률식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_{S_9} = -\varepsilon_{S_{10}} = Z_1 \times \frac{32F_x}{\pi D^3 E} \tag{6}$$

$$\varepsilon_{S_{11}} = -\varepsilon_{S_{12}} = Z_2 \times \frac{32F_x}{\pi D^3 E} \tag{7}$$

M_y에 의한 변형률식은 다음과 같다.

$$\varepsilon_{S_9} = \varepsilon_{S_{10}} = -\varepsilon_{S_{11}} = -\varepsilon_{S_{12}} = \frac{32M_y}{\pi D^3 E} \tag{8}$$

F_x, M_y에 의한 1/2 브리지 회로의 출력은 다음과 같다.

$$S_{F_x} = S_{M_y} = \frac{K\varepsilon}{2\{1-(K\varepsilon)^2\}} \approx \frac{K\varepsilon}{2} \tag{9}$$

F_x의 용량은 $S^{cir.1}$이 2 mV/V가 되도록, M_y의 용량은 $S^{cir.5}$이 2 mV/V가 되도록 설계하였다. 식 (6)~(9)로 부터 F_x의 용량은 24.4 kN, M_y의 용량은 913.9 Nm로 설계되었다. 감지부 형상이 축대칭이므로 F_y, M_x 용량도 동일하다. 위의 이론식 (1)~(9)로부터 구한 각 성분별 설계하중(designed loads)과 회로별 출력은 **Table 1**과 같다.

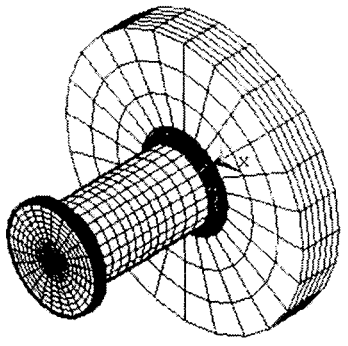

Fig. 5 Finite element mesh of sensing element

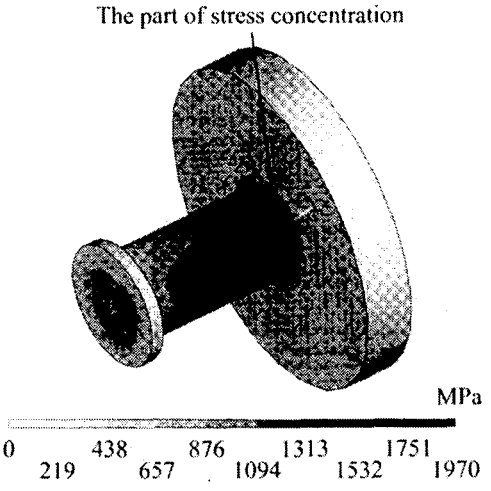

Fig. 6 von-Mises stress value from finite element analysis

2.2 유한요소해석

6축의 힘과 모멘트가 동시에 감지부에 가해졌을 때 감지부의 안전성을 검토하고, 각 스트레인 게이지 부착위치에서의 변형률을 얻기 위해, 상용 유한요소해석 프로그램 **ANSYS** ver.5.7을 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 8절점 3자유도를 갖는 3차원 요소를 사용하였으며, 격자의 형상은 **Fig. 5**와 같다.

해석 과정에서 요소의 갯수는 8496개 이고, 절점의 갯수는 9481개 였으며, 힘/모멘트 센서 바닥면의 절점을 모든 방향에 대해 구속하였고, 기둥

과 플레이트(plate)는 응력집중의 완화를 위해 라운딩으로 처리하였다. 감지부의 재질은 종탄성계수 210 GPa이고 푸아송비가 0.3인 SNCM 8종으로 설계하였다.

안정성의 검토를 위해 성분별 하중을 동시에 가하여 von-Mises stress를 확인하였다. 해석 결과 **Fig. 6**과 같이 응력이 집중되는 부분의 von-Mises stress가 1.97 GPa로 SNCM8종의 항복 응력값 1.4 GPa 보다 크게 계산되었다. 이에, 설계응력과 스트레인 게이지의 피로한도를 고려하여, 감지부의 치수변화 없이 센서의 감도만을 2 mV/V에서 0.5 mV/V로 수정하였으며, 이에 따라 설계하중도 초기 설계하중의 1/4로 수정하였다. 따라서, 설계하중은 F_x, F_y는 6.1 kN, F_z는 50 kN, M_x, M_y는 228.5 Nm, M_z는 174.1 Nm가 되었다.

2.3 성분별 출력 분리 방법

기둥형 감지부는 F_x, M_y를 가할 경우 cir.1과 cir.5에서 모두 출력이 나타난다. 따라서 두 회로의 출력을 성분별 출력으로 분리할 필요가 있으며, 식 (6)~(8)을 이용하여 힘과 모멘트 성분을 분리할 수 있다. **Fig. 4**처럼 F_x나 M_y가 가해지는 경우 $S^{cir.1}$과 $S^{cir.5}$은 다음의 관계를 갖는다.

$$S^{cir.1} = S^{cir.1}_{F_x} + S^{cir.1}_{M_y} \tag{10}$$

$$S^{cir.5} = S^{cir.5}_{F_x} + S^{cir.5}_{M_y} \tag{11}$$

$$S^{cir.1}_{F_x} = \beta S^{cir.5}_{F_x} \tag{12}$$

$$S^{cir.1}_{M_y} = S^{cir.5}_{M_y} \tag{13}$$

여기서 β는 $\frac{Z_1}{Z_2}$ 이다. 따라서 각 하중에 대한 출력은 다음과 같이 분리하여 얻을 수 있다.

$$S_{F_x} = \frac{\beta}{\beta - 1}\left(S^{cir.1} - S^{cir.5}\right) \tag{14}$$

$$S_{M_y} = \frac{1}{\beta - 1}\left(\beta S^{cir.5} - S^{cir.1}\right) \tag{15}$$

감지부 형상이 축대칭이므로, 동일한 방법으로 F_y, M_x에 대하여 출력을 분리하면 다음과 같다.

$$S_{F_y} = \frac{\beta}{\beta - 1}\left(S^{cir.2} - S^{cir.4}\right) \tag{16}$$

$$S_{M_x} = -\frac{1}{\beta - 1}\left(\beta S^{cir.4} - S^{cir.2}\right) \tag{17}$$

2.4 제작 및 특성 시험

기둥형 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서는 **Fig. 7**과 같이 한 몸체로 가공하였고, 힘/모멘트 센서 지지부와 힘이 가해질 부분은 볼트로 연결할 수 있도록 하였다. 스트레인 게이지가 부착될 표면은 정밀 다듬질을 하여 공차를 ± 0.02 mm로 하여 가공하였다. 스트레인 게이지 16개를 부착하여 2개의 완전 결선 회로와 4개의 1/2 회로를 구성하였다. 부착된 스트레인 게이지는 길이 1.57 mm, 게이지 폭 1.57 mm, 전체 길이 4.8 mm, 전체 폭 3.1 mm이고 게이지 상수가 2.12인 센서용 게이지 MM-N2A-06-SO71P-350(Measurement Co., USA)를 사용하였다.

한국표준과학연구원의 5 kN 실하중 힘표준기를 이용하여 F_x, F_y를 가하였으며, 축과 수직한 하중을 가하기 위해 **Fig. 8**과 같은 지그를 이용하였다. 지그를 사용함으로서 발생하는 힘 작용점

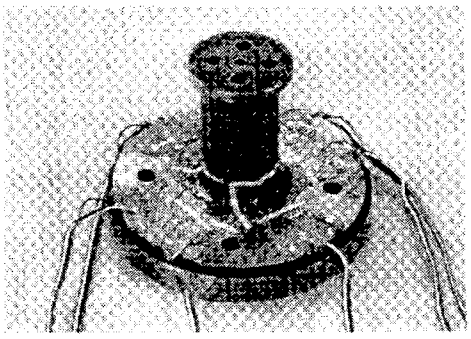

Fig. 7 The fabricated multi-component sensor of column type

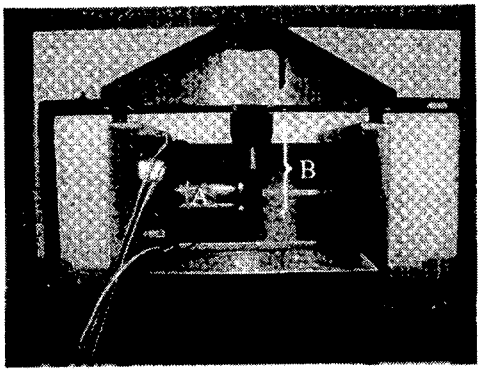

Fig. 8 The multi-component sensor(A) and jigs(B) for F_x and F_y loadings

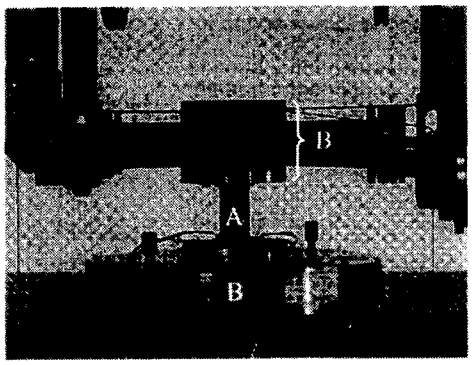

Fig. 9 The multi-component sensor(A) and jigs(B) for moment loadings

의 이동을 고려하여, 최종 회로별 출력에서 출력값을 보정하였다.

100 kN 실하중 힘표준기를 이용하여 F_z를 가하였고, 6축 시험기를 이용하여 모멘트 성분을 가하였다. 이때 밑면의 고정과 윗면의 하중전달을 위해 **Fig. 9**와 같이 원형평판을 제작하여 실험을 수행하였다.

실험하중(experimental load)은 시험장치의 용량문제로 F_x, F_y는 3 kN, F_z는 50 kN, M_x, M_y, M_z는 45 Nm이었다. 설계하중에 대한 실험하중의 비율은 F_x, F_y는 48.2 %, F_z는 100 %, M_x, M_y는 19.7 %, M_z는 25.8 %이었다.

실험에 사용된 지시계는 DK38S6 (HBM co., Germany)로 6개 채널의 출력을 동시에 취하였다. 실험은 전기식험측정기의 교정절차(C-07-1-0040-2000)에 따라 최대하중을 미리 3회 가한 후, 본 시험을 3회 수행하였다. 본 시험은 F_x, F_y는 7단계, F_z는 6단계, 모멘트 성분은 10단계의 등간격으로 나누어 1, 2회 실험은 증가순 하중을 가하였고, 마지막 3회 실험에서 증가 감소순 하중을 가하였다.

Table 2 Output voltages of sensing element subjected to the experimental load

Load (F : kN) (M : Nm)	Output voltage (μV/V)					
	$S^{cir.1}$	$S^{cir.2}$	$S^{cir.3}$	$S^{cir.4}$	$S^{cir.5}$	$S^{cir.6}$
F_x(3)	261.8	12.5	-1.7	15.3	136.6	-5.1
F_y(3)	18.1	264.7	0.2	134.8	15.1	5.4
F_z(50)	-13.9	6.0	526.8	5.9	-12.5	2.4
M_x(45)	-4.8	-104.8	0.4	-102.8	-3.9	-1.2
M_y(45)	91.7	-0.9	-0.2	0.1	91.5	3.3
M_z(45)	-0.2	0.5	1.1	-1.1	0.8	133.4

3. 결과 및 토의

원기둥 감지부를 이용하여 6축의 힘과 모멘트를 감지하기 위해 게이지의 부착 위치와 방향을 결정하였고, 브리지 회로를 구성하였다. 특히 F_x, M_y 및 F_y, M_x 성분을 분리하기 위해 하중 작용점으로부터 거리가 서로 다른 두 지점에 게이지를 부착하는 방법을 이용하였다. 또한 제작한 6축 힘/모멘트 센서의 안전성을 고려하여 감도와 설계하중을 1/4로 수정하였다.

Table 2는 제작한 기둥형 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서의 회로별 출력을 보여주고 있다. 설계에서와 같이 cir.3은 F_z에 대해서, cir.6은 M_z에 대해서 반응을 하였고, cir.1과 cir.5는 F_x, M_y 두 성분 대해서, cir.2와 cir.4는 F_y, M_x 두 성분 대해서 반응하였다.

이러한 회로별 출력을 식 (14)~(17)에 의해 각 성분별 출력으로 변환한 값을 **Table 3**에서 보여주고 있다. **Table 2**에서의 대각선항 이외의 출력을 제거함으로써, 서로 다른 두 성분간의 출력의 중첩이 제거됨을 확인하였다. **Table 3**에서 S_{F_x}는 F_x성분만의 출력을 보여준다.

Table 4는 실험에 의한 출력, 설계식에 의한 출력 그리고 유한 요소에 의해 계산된 출력을 보

Table 3 Output voltages obtained from addition and subtraction procedure using signals of **Table 2**

Load (F : kN) (M : Nm)	Output voltage (μV/V)					
	S_{F_x}	S_{F_y}	S_{F_z}	S_{M_x}	S_{M_y}	S_{M_z}
F_x(3)	250.3	-5.7	-1.7	18.2	11.3	-5.1
F_y(3)	6.1	259.7	0.2	5.0	12.0	5.4
F_z(50)	-2.8	0.3	526.8	5.8	-11.0	2.4
M_x(45)	-1.8	-3.9	0.4	100.9	-3.0	-1.2
M_y(45)	0.3	-1.9	-0.2	-0.9	102.8	3.8
M_z(45)	-2.1	3.1	1.1	-2.7	1.9	133.4

Table 4 Comparison of output voltages obtained from experiment, theory and FEM

	Output voltage (μV/V)				
	Experiment	Theory		FEM	
S_{F_x}	250.3	241.0	-3.7%	257.4	2.8%
S_{F_y}	259.7	241.0	-7.2%	257.4	-0.9%
S_{F_z}	526.8	499.6	-5.2%	511.8	-2.8%
S_{M_x}	100.9	98.5	-2.4%	101.4	0.5%
S_{M_y}	102.8	98.5	-4.2%	101.4	-1.4%
S_{M_z}	133.4	129.3	-3.1%	132.2	-0.9%

Table 5 Output voltages of sensing element subjected to the designed load

Load (F : kN) (M : Nm)	Output voltage (μV/V)					
	S_{F_x}	S_{F_y}	S_{F_z}	S_{M_x}	S_{M_y}	S_{M_z}
F_x(6.1)	519.0	-11.7	-3.5	37.6	23.8	-10.6
F_y(6.1)	12.6	538.4	0.4	10.3	25.0	11.1
F_z(50)	-2.8	0.3	526.8	5.8	-11.0	2.4
M_x(228)	-9.2	-19.8	1.8	512.2	-15.0	-6.1
M_y(228)	1.6	-9.6	-1.2	-4.5	522.0	19.1
M_z(174)	-8.2	12.1	4.2	-10.3	7.3	516.1

여 준다. 실험에 의한 출력을 기준으로 했을 때, 설계식에 의한 출력의 편차는 -2.4 ~ -7.2 %이었다. 유한요소 해석에 의한 출력의 편차는 -2.8 ~ 2.8 %로 실험 결과의 타당성을 보여주었다.

용량의 한계로 실험하지 못한 설계하중에서의 출력은 **Table 3**의 실험하중에서의 출력으로부터 비례적으로 계산하여 **Table 5**에 나타내었다.

Fig. 10에서 최대 상호간섭오차는 F_x가 작용할 때 M_x를 검출하는 회로에서 7.3 % FS/FS 이었고, 나머지 성분의 경우는 모두 5 % 이내이었다. 감지부의 형상이 축대칭형임에도 불구하고, F_x에서 7.8 %, F_y에서 4.8 %로 차이가 나는 것은 실험 오차, 가공오차, 게이지 부착오차에 기인한 것으로 판단된다. 시판되는 다축 힘/모멘트 센서의 상호간섭오차가 2~3 % FS/FS 이내임을 고려하면 제작된 기둥형 6축힘/모멘트 센서의 상호간섭오차가 다소 큰 편이지만, 제작비용과 강성 유지면에서 큰 장점을 갖는다.

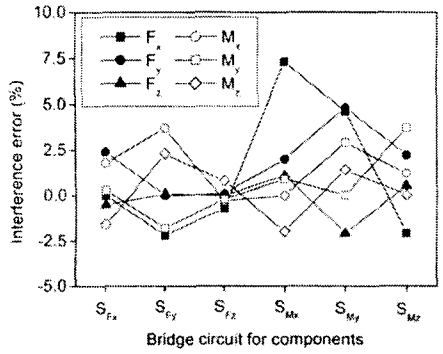

Fig. 10 Interference error for output voltages of multi-component sensor obtained from experiment

Table 6 Rated output-voltage, nonlinearity error, repeatibility error, hysterisis error and interference error obtained from experiment

Load	R.O. (μV/V)	N.E (%)	R.E. (%)	H.E. (%)	I.E. (%)
F_x	519.0	0.17	0.15	0.41	7.3
F_y	538.4	0.02	0.03	0.10	4.8
F_z	526.8	0.09	0.01	0.01	-2.1
M_x	512.2	0.05	0.12	0.09	-3.7
M_y	522.0	0.03	0.05	0.12	3.7
M_z	516.1	0.06	0.03	0.11	-2.3

where, R.O. : rated output
N.E. : nonlinearity error
R.E. : repeatibility error
H.E. : hysterisis error
I.E. : interference error

Table 6은 각 하중 성분에 대한 비직선도오차, 재현도오차, 히스테리시스오차 및 상호간섭오차 수준을 보여준다. 비직선도오차는 0.03~0.17 %, 재현도오차는 0.01~0.15%, 히스테리시스오차는 0.01~0.41 % 이었다. F_x에서 오차가 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 나머지 하중에서 비직선도오차, 재현도오차, 히스테리시스오차는 0.12 % 이내였다.

4. 결 론

본 논문에서는 기둥의 변형만으로 6축의 힘과 모멘트를 측정하기 위한 게이지의 부착위치, 조합 방법 및 성분별 분리 과정을 제시하였다. 유한요소 해석을 수행하여 감지부의 안전성 검토와 변형률 해석을 수행하여 감도와 설계하중을 수정하였다. 제작한 기둥형 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서의 특성 평가를 수행하여 상호간섭오차를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제작한 기둥형 감지부를 갖는 6축 힘/모멘트 센서의 게이지 부착 위치와 방향, 브리지 회로를 구성하고, 회로별 출력을 성분별 출력으로 변환함으로써 중첩된 신호로부터 각각의 성분 출력을 분리하였다.

(2) 최대 상호간섭오차는 F_x에서 7.3 % FS/FS이었으며, 나머지 성분에서는 5 % FS/FS 이내였다. 시판되는 다축 힘/모멘트 센서를 고려하면 제작된 기둥형 6축 힘/모멘트 센서의 상호간섭오차가 다소 크지만, 기존의 기둥형 구조물에 스트레인 게이지를 부착하여 6축의 힘과 모멘트를 측정 할 수 있으므로, 제작비용이 저렴하고 강성이 우수하여, 응용 범위가 넓을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(힘 측정 및 평가 연구실)의 일부로 수행되었음(과제 번호: 2000-N-NL-01-C-141).

참고문헌

(1) Ono, K. and Hatamura, Y., 1986, "A New Design for 6-component Force/Torque Sensors," *Mechanical Problems in Measuring Force and Mass*, pp. 39 ~ 48.

(2) Hatamura, Y., Matsumoto, K. and Morishita, H., 1989, "A Miniature 6-Axis Force Sensor of Multi-layer Parallel Plate Structure," *Proc. Conf. IMEKO*, pp. 567 ~ 582.

(3) Kim, G. S., Kang, D. I., Joung, S. Y. and Joo, J. W., 1997, "Design of Sensing Element for 3-component Load Cell Using Parallel Plate Structure," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 21, No. 11, pp. 1871 ~ 1884.

(4) Kang, D. I., Kim, G. S., Joung, S. Y. and Joo, J. W., 1997, "Design and Evaluation of Binocular Type Six-component Load Cell by Using Experimental Technique," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 21, No. 11, pp. 1921 ~ 1930.

(5) Schwarzinger, C., Supper, L. and Winsauer, H., 1992, "Strain Gages as Sensors for Controlling the Manipulative Robot Hand OEDIPUS," *Reports in Applied Measurement*, Vol. 8, pp. 17 ~ 22.

(6) The Staff of Measurements Group, 1988, *Strain Gage Based Transducers*, Measurement Group Inc., pp. 7~28.

(7) Kang, Dae-Im 1994, "Design and Application of Force Measuring System Using Build-up Technique," Ph. D. Thesis, Korea Advanced Institute Science and Technology.