

6분력 힘/모멘트 발생장치 개발 및 평가

정 흥 식* · 주 진 원*
* 충북대학교 기계공학부

Development and Evaluation of 6-components Force/Moment Generator

Hong Sik Chung* and Jin Won Joo*[†]

* Dept. of Mechanical Engineering, Chungbuk Nat'l Univ.

(Received September 22, 2015 ; Revised May 4, 2016 ; Accepted May 10, 2016)

Key Words: Multi-component Loadcell(다축로드셀), 6-components Force/Moment Generator(6분력 힘/모멘트 발생장치), Characteristic Test(특성시험), Coupling Error(상호간섭 오차)

초록: 본 논문에서는 다축 로드셀의 특성을 평가할 수 있는 실하중 6분력 힘 및 모멘트 발생장치를 개발하였다. 정확한 힘과 모멘트를 발생시키고 각 분력 간의 상호 작용 오차를 최소화하기 위해 몇 가지 새로운 방법을 도입하였다. 제작된 힘/모멘트 발생장치의 신뢰성을 검증하기 위하여 상용 토크셀과 본 논문에서 고안하여 제작한 양단 고정보 형태의 측정장치를 이용하여 모멘트 발생 방법을 평가하고 하중 간의 상호 측정을 수행하였다.

Abstract: This paper presents the development of a deadweight type 6-component force/moment generator for estimating characteristics of multi-component loadcell. Several new methods in moment generation are introduced in order to produce accurate force / moment and to minimize coupling effect between each force or moment components. In order to verify the reliability of the calibration system developed, estimation of the method for generating moment components and cross measurements between force or moment components are carried out utilizing a commercial torque cell and both-ends fixed beam designed in this paper.

1. 서 론

산업이 발달함에 따라 의료, 자동차, 항공우주 산업 등에서 힘과 모멘트 측정의 필요성이 증가하고 있다. 특히, 다관절 로봇 등과 같은 로봇 및 동작기계의 정밀제어를 위해서, 또한 휠 동력계와 같이 동력을 전달하는 회전체 등에도 여러 분력의 힘과 모멘트가 전달되므로 이의 성능과 내구성 시험을 위해서 다분력의 힘과 모멘트를 동시에 측정할 필요성이 있다. 다축 로드셀⁽¹⁻³⁾은 여러 방향의 하중을 동시에 측정하는데 이용되며, 이의 특성을 평가하기 위해서는 6분력 힘/모멘트 발생장치가 필요하다.

6분력 힘/모멘트 발생장치는 3방향의 힘과 3방

향의 모멘트를 발생시키는 장치이다. 6분력 힘/모멘트 발생장치는 세계의 몇 측정표준 관련 연구기관에서 보유⁽⁴⁾하고 있다. 개발된 6분력 힘/모멘트 발생기와 관련된 연구사례를 살펴보면 Kim 등⁽⁵⁾은 분동과 하중 전달장치, 도르래를 이용하여 힘과 모멘트를 발생시키는 장치를 개발하였다. 이 장치는 동시에 여러 방향의 힘과 모멘트를 발생시킬 수 있다는 장점이 있지만 크기가 크며, 하중이 전달되는 과정에서 도르래의 마찰 및 위치오차로 인하여 하중의 손실이 발생할 수 있는 단점이 있다. 다른 사례로 Kim 등⁽⁶⁾은 모터로 하중 전달축을 이동시켜 하중을 발생시키는 장치를 개발하였다. 이 장치는 모터를 제어함으로써 실험의 간편화를 이루었지만, 모멘트를 발생시킬 때 힘이 같이 작용하는 문제점이 있으며, 시험결과에 기준 로드셀의 오차가 포함될 가능성이 있다.

[†] Corresponding Author, Jinwon@chungbuk.ac.kr

본 논문에서는 실험하중의 분동과 나이프 에지 형상의 압을 이용하여 다축 로드셀의 특성을 시험하기 위한 실험하중 6분력 힘/모멘트 발생장치를 개발하였다. 이의 특성을 평가하기 위하여 상용 토크셀과 본 논문에서 고안한 양단 고정정보를 이용하여 모멘트 발생방법의 신뢰성을 검증하였다.

2. 6분력 힘/모멘트의 발생

다축 힘 및 모멘트 발생장치는 각 축의 힘과 모멘트를 정확하게 발생시킬 수 있어야 할 뿐 아니라, 각 힘 분력들 또는 각 모멘트 분력들 사이에 상호간섭이 발생하지 않아야 한다. 힘과 모멘트를 발생시키는 방법으로 큰 힘이 아닌 경우에는 분동을 이용하는 실험하중 방법이 현재까지 가장 정확한 방법으로 알려져 있다.

분동을 이용하여 모멘트 하중을 발생시키기 위해서는 일반적으로 Fig. 1과 같은 두 가지 방법이 이용될 수 있다. Fig. 1(a)는 일정길이를 가진 압의 한쪽 부분에 분동을 올려 모멘트를 발생시키는 방법이다. 그러나 이 방법은 모멘트 발생과 동시에 축에 횡방향의 힘이 발생하며, 이것은 6축 로드셀의 특성평가에서 상호간섭 오차를 평가할 때 큰 오차를 발생시키는 요소로 작용할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 1(b)와 같이 분동과 도르래를 이용하여 모멘트를 발생시키는 방법을 이용할 수 있다. 도르래를 사용하게 되면 장치가 복잡해질 뿐만 아니라, 도르래의 마찰로 인한 하중의 손실이 발생할 수 있고 위치오차 및 정렬오차에 의하여 상호간섭 오차가 발생할 가능성이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 Fig. 2와 같은 시험방법을 이용하여 순수한 모멘트를 발생시키도록 하였다. 6축 로드셀에 하중이 가해질 때 로드셀 몸체는 재료의 탄성영역에서만 변형하므로 선형 중첩법을 이용할 수 있다. 즉, Fig. 2와 같이 압의 양쪽 추걸이에 분동을 올려놓은 후, 6축 로드셀의 측정기의 영점을 세팅하고 한쪽 추걸이의 분동을 반대편 추걸이로 이동시키는 실험방법을 이용한다. 이러한 실험방법에 의하면 영점이 세팅된 이후에는 6축 로드셀에 작용하는 힘은 일정하게 유지되겠지만 분동의 이동에 의해 순수한 모멘트만이 작용된다. Fig. 3은 실험방법을 도식적으로 나타내고 있다.

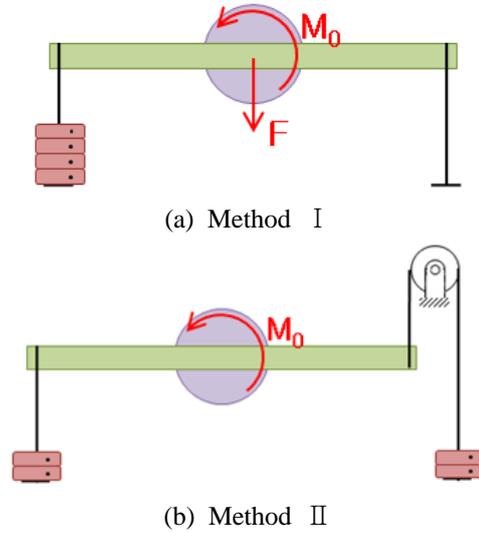


Fig. 1 Methods of generating moment M_0

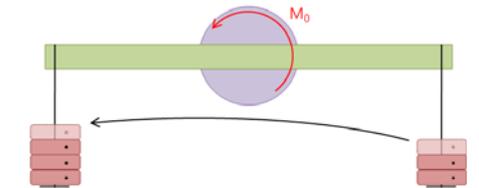


Fig. 2 Generation of pure moment M_0

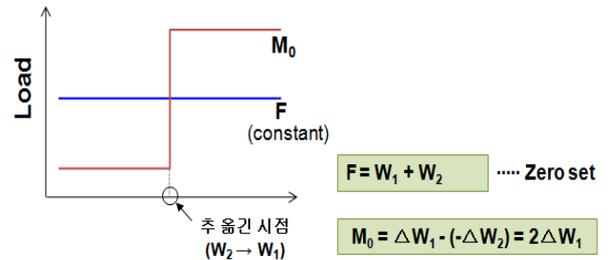


Fig. 3 Force and moment diagram of weight moving method

분동을 이용하여 힘을 발생시키기 위해서는 다음과 같은 방법들을 이용할 수 있다. 첫째로는 Fig. 4(a)와 같이 6축 로드셀의 하중부에 와이어를 연결하고 추걸이에 분동을 올리는 방법이다. 이 방법은 와이어의 유연성과 탄성을 이용하여 자체적으로 중력방향으로 중심을 잡을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 와이어의 마찰과 하중부 홈에서 와이어의 썩기작용 등으로 인하여 하중이 정확히 전달되지 않을 수 있으며, 특히 하중 제하 시 하중이력이 크게 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 또 다른 방법으로는 Fig.

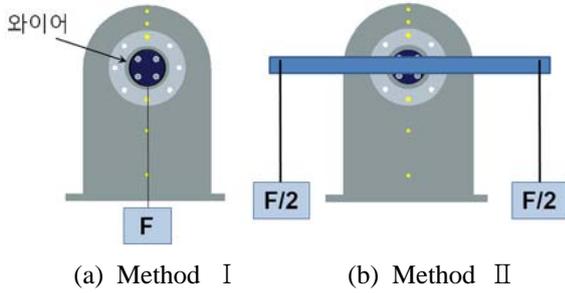


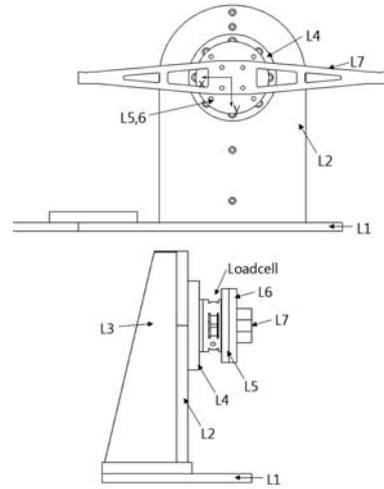
Fig. 4 Method of generating force F

4(b)와 같이 모멘트를 발생시키는 암 양쪽 끝 추걸이에 동일한 무게의 분동을 올림으로서 순수한 힘을 발생시키는 방법이 있다. 이 방법은 추걸이의 위치나 균형에 차이가 있을 경우에 그로 인한 오차를 발생시킬 수 있으므로 정밀한 제작과 조립을 필요로 한다.

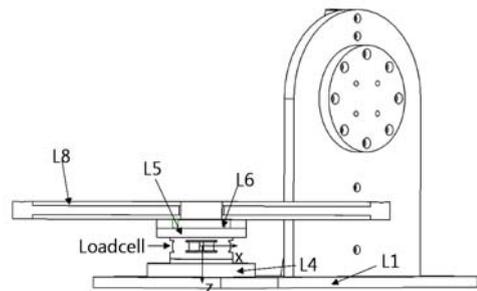
3. 6분력 힘/모멘트 발생장치의 설계 및 제작

2장에서 다루었던 힘과 모멘트 발생 방법을 기본으로 6분력 힘/모멘트 발생장치를 설계하였다. 정확한 힘과 모멘트를 발생시키기 위해서 나이프 에지로 가공된 암과 추걸이를 이용하였고, 모멘트를 발생시킬 때는 Fig. 2와 같이 분동을 이동시키는 방법을 이용하여 하중 간의 상호간섭을 제거할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 설계된 6분력 힘/모멘트 발생기의 조립도이다. 분동을 이용하여 힘/모멘트를 발생시키는 방식에서는 하중이 항상 중력방향으로 작용하므로, 6분력의 힘 및 모멘트를 모두 발생시키도록 하기 위하여 그림과 같은 두 가지 방식의 발생기를 설계하였다. Fig. 5(a)는 힘 F_x , F_y 및 모멘트 M_z 를 발생시키기 위한 장치이다. 이 장치는 지지평판 1(L1), 지지평판 2(L2) 및 지지대 조립체(L3)로 구성된 지지부와, 센서를 고정하기 위한 센서 고정부 1(L4), 하중을 가할 때 사용되는 암 1(L7), 암과 센서를 연결시키는 커넥터 1과 커넥터 2(L5, L6)로 구성되어 있다. Fig. 5(b)는 힘 F_z , 모멘트 M_x , M_y 를 가하기 위한 장치이다. 이 장치는 지지평판 1(L1)과 센서를 고정하기 위한 센서 고정부 2(L4), 하중을 가할 때 사용되는 암 2(L8), 암과 센서를 연결시키는 커넥터 1과 커넥터 2(L5, L6)로 구성되어 있다.



(a) Force F_x , F_y and moment M_z



(b) Force F_z and Moment M_x , M_y

Fig. 5 Drawings of a 6-component force/moment generator

암 1과 암 2는 분동의 중력을 모멘트로 변환하여 발생시킬 수 있도록 하는 장치이며, 암의 하중점을 나이프 에지 형상으로 설계하여 정확한 위치에 추걸이가 놓일 수 있도록 하였다. 암의 전체 길이는 420 mm이며, 나이프 에지는 암의 중심에서 양 끝으로 200 ± 0.02 mm 거리에 위치하고 있도록 하였다. 암의 굽힘 영향을 최소화하고 가능한 경량화하기 위해서 I형 보의 형상으로 설계하였으며 불필요한 부분은 가공으로 제거하도록 하였다. 암은 유한요소 해석을 통하여 하중점의 굽힘변위가 0.02 mm 이내가 되도록 치수와 형상을 정하였다. 암 1과 암 2의 중심에는 커넥터 2와 연결될 수 있도록 M6 규격의 나사구멍을 두었으며 ISO 9409-1⁽⁷⁾의 규정에 따라 PCD(pitch circle diameter) 40의 간격으로 설계하였다.

암과 측정하려는 로드셀을 연결해 주는 커넥터는 커넥터 1과 커넥터 2의 쌍으로 설계하였다. 커넥터 2는 암과 연결되도록 하였으며, 커넥터 1

(a) Force F_x , F_y and moment M_z (b) Force F_z and Moment M_x , M_y **Fig. 6** Experimental setup of 6-component force/moment generator developed

은 로드셀과 연결되도록 하여 커넥터 1의 가공만으로 다양한 크기의 로드셀을 시험할 수 있도록 하였다. 커넥터 1과 커넥터 2 사이, 커넥터 2와 암 사이는 M6의 볼트 4개로 결합하도록 하였으며, 볼트 유격에 의한 위치 오차를 방지하기 위하여 각각 2개의 정밀 핀으로 위치를 고정하도록 하였다. 나이프 에지에 추결이가 정확하게 위치하도록 나이프 에지 고정대는 삼각형 형상으로 설계하였으며 추결이에 로드 엔드 베어링을 사용하여 편심하중이나 경사하중이 걸리지 않고 정확하게 중력방향으로 힘이 작용되도록 하였다.

설계된 도면에 의하여 6분력 힘/모멘트 발생장치를 스테인리스 강을 사용하여 제작하였다. 추결이의 경우 나이프 에지의 삼각 지지대와 베어링 지지봉은 마모를 방지하여 하중점의 위치를 정확하게 유지하기 위하여 SNCM 강을 가공하여 열처리하였고 다른 부품은 알루미늄으로 가공하였다. Fig. 6은 시험할 로드셀이 장착된 최종적인 시험장치를 보여주고 있다.

4. 모멘트 발생방법의 평가

힘/모멘트 특성시험에서 모멘트의 발생은 직접

**Fig. 7** Moment test using a commercial torque cell

적으로 이루어지는 것이 아니고 중력에 의한 힘을 이용하여 간접적으로 발생시키는 것이므로, 이에 대한 신뢰성 검증이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 기존 토크셀과 본 논문에서 고안된 양단 고정정보를 이용하여 모멘트 발생 방법을 평가하였다.

4.1 토크셀을 이용한 평가

Fig. 2와 같이 설명된 모멘트의 발생방법을 평가하기 위하여 상용되고 있는 토크셀을 이용하여 모멘트 발생 시험을 수행하였다. 사용한 토크셀은 다셀 사의 비회전형 토크셀(모델 TCN-5K)이며, 정격하중은 49.06 N.m(5 kgf.m), 정격출력은 1.0040 mV/V이다. Fig. 7은 개발된 6분력 힘/모멘트 발생장치에 다축 로드셀 대신 토크셀을 장착한 모습을 보여주고 있다.

시험은 두 가지 방법으로 진행하였다. 먼저 암의 한쪽 부분에만 10 kg의 분동을 올려서 19.6 N.m의 모멘트를 작용시켰을 때의 토크셀의 출력을 측정하였다(Method 1). 암의 반대편에도 동일한 방법으로 시험을 수행하였다. 또 다른 시험은 암의 양쪽에 미리 5 kg씩의 분동을 올려놓은 후 측정기의 영점을 세팅하고 분동을 한쪽에서 다른 쪽으로 이동시키면서 모멘트 19.6 N.m를 작용시키면서 토크셀의 출력을 측정하였다(Method 2). 이 시험도 반대편 방향으로 동일하게 수행하였다. 시험은 Fig. 6(a)와 같은 장치를 사용하였다.

Table 1은 토크셀을 이용한 시험결과를 보여주고 있다. Method 1은 한쪽 암의 끝에 분동을 가한 경우이고, Method 2는 양쪽에 분동을 놓고 한 쪽으로 이동시킨 경우이다. CW는 시계방향의 모멘트가 작용되도록 추를 이동한 경우이고, CCW

Table 1 Measurement of output voltage using a commercial torque cell due to moment M_z

Moment generation	Output (mV/V)	
	C.W.	C.C.W.
Method 1	-0.4043	0.3995
Method 2	-0.4019	0.4019

는 시계반대방향의 모멘트의 경우를 의미한다. 시험결과를 보면 Method 1의 출력 크기는 CW의 경우와 CCW의 경우에 1.2% 정도의 차이가 있음을 볼 수 있다. 반면에 분동을 이동시켜 순수한 모멘트만 발생시켰을 때(Method 2)의 출력 크기는 모멘트의 방향에 관계없이 0.4019 mV/V로 동일하였다. 이는 Method 1에서는 가해진 모멘트 외에 토크셀에 중력 방향의 힘이 작용되며 그것이 토크셀의 출력에 영향을 미친 것으로 판단된다. 토크셀은 제작 시 토크가 가해지는 축의 횡 방향으로 작용하는 힘에 대해서 가능하면 출력이 발생하지 않도록 스트레인 게이지의 위치를 결정하고 브리지 회로를 구성하지만, 스트레인 게이지의 부착오차 등으로 인하여 약간의 출력이 발생할 수 있다. 이를 평가하기 위하여 토크셀에 10 kg의 분동을 이용하여 횡 방향(중력 방향)의 힘을 가하고 출력을 측정된 결과 -0.0024 mV/V의 출력이 발생되었다. 따라서 Method 1에서는 순수 모멘트에 의한 출력 ± 0.4018 mV/V에 힘에 의한 출력 -0.0024 mV/V가 중첩되었음을 알 수 있다.

Method 2에서 측정된 출력 0.4019 mV/V를 토크셀의 정격출력 1.0040 mV/V의 값을 이용하여 모멘트로 환산하면 19.6146 N.m이며, 이 모멘트 값은 실제로 발생시킨 19.6 N.m와 비교하면 거의 일치하여서 0.075%의 차이를 보였다. 사용한 토크셀 자체의 비직선성 오차가 0.3%임을 고려하면 본 논문에서 제안한 분동을 옮겨 모멘트를 발생시키는 방법은 신뢰성이 높다고 판단되었다.

4.2 양단 고정정보를 이용한 평가

6분력 힘/모멘트 시험의 대상이 되는 다축 로드셀은 Fig. 8(a)와 같이 스트레인 게이지가 부착되는 감지부와 하중을 지지하는 지지부 및 하중이 가해지는 하중부(loading point)로 구성되어 있다. 힘/모멘트 발생장치에서 발생된 힘 및 모멘트는 하중부에 연결된 볼트 등으로 다축로드셀과

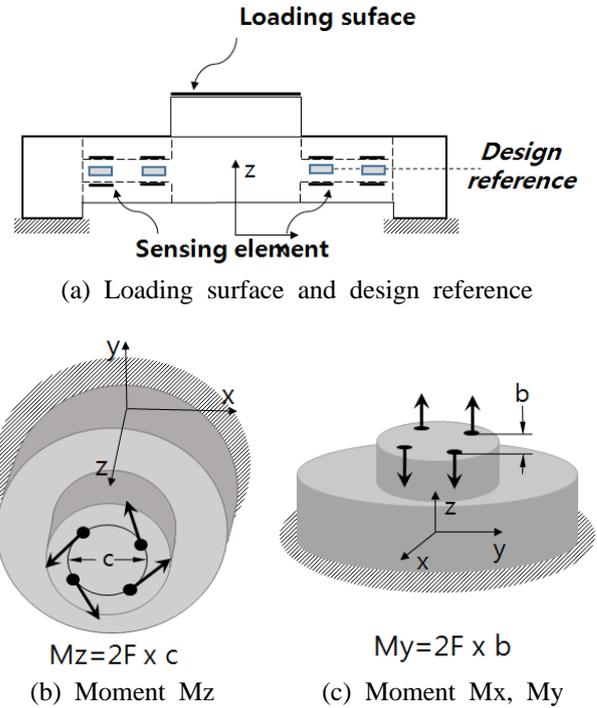


Fig. 8 Method of generating moments

연결되는데, 모멘트를 전달하는 방법은 Fig. 8(b)와 (c)와 같이 2가지 방법이 있을 수 있다.

Fig. 8(b)는 모멘트 M_z 를 발생시키는 방법으로 로드셀을 90° 돌려 세워놓고 로드셀의 하중면에 볼트를 통하여 로드셀 중심축과 접선방향으로 힘이 작용되도록 하여 모멘트를 발생시키는 방법이다. 그러나 하중점은 감지부의 중심면과는 일정한 거리가 있을 수밖에 없으므로 감지부의 윗면과 아랫면에 변형률의 차이가 있으며 이는 다축 로드셀의 출력 변형률 또는 상호간섭 변형률에 영향을 줄 수도 있다. Fig. 8(c)는 모멘트 M_x 혹은 M_y 를 발생시키는 방법으로 로드셀을 바로 눕혀놓고 로드셀 하중면에 있는 볼트의 인장/압축을 통하여 모멘트를 발생시키도록 하는 방법이다. 이와 같이 하중면의 볼트에 작용하는 힘을 이용하여 모멘트를 발생시키면 볼트에 작용하는 압축력과 인장력은 다른 하중조건으로 힘이 작용되므로 커넥터와 하중면의 비대칭적인 접촉에 의해서 모멘트가 제대로 전달되지 않을 수가 있다. 이러한 영향이 모멘트를 정확하게 전달하는데 문제를 일으키지 않는지 검증하기 위하여 본 논문에서는 양단 고정정보를 고안하여 측정시험을 수행하였다.

Fig. 9는 중간에 모멘트 M 를 받고 있는 양단

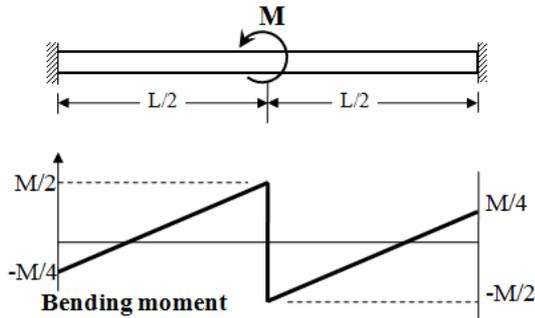


Fig. 9 Bending moment of a fixed ends beam

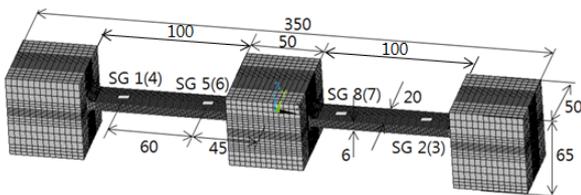


Fig. 10 Finite element model of the fixed ends beam

고정보의 모멘트 분포를 보여주고 있다. 양단 고정정보의 중간에 모멘트가 가해지면 보의 왼쪽 부분은 굽힘 모멘트가 음에서 양으로 선형적으로 발생하고 오른쪽 부분은 그 원점 대칭의 분포를 가진다. 그러나 중간에 가해지는 모멘트는 그림과 같이 가해질 수는 없고 앞의 Fig. 8(b)나 Fig. 8(c)와 같은 방법으로 모멘트가 가해질 수밖에 없다. 이러한 영향을 평가하기 위하여 Fig. 10과 같은 양단 고정정보를 고안하였다.

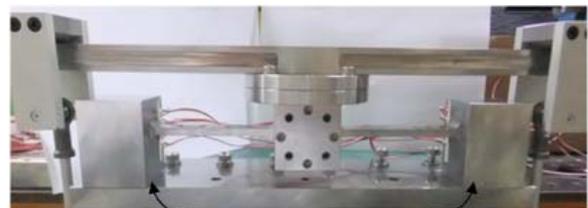
양단 고정정보의 앞면과 뒷면에 힘이 작용할 수 있도록 보의 중심에 하중 블럭을 두었고, 모든 방향에 대해서 대칭이 되도록 하여 모멘트 하중에 대해서 시편의 불균형에 의한 영향을 최소화 하였다. 보의 양단이 고정 변위조건을 가질 수 있도록 강체 블럭을 두어 블럭의 아랫면을 고정 하였다. 이에 대한 유한요소 변형해석을 수행하고 그 결과를 바탕으로 치수를 결정하고 양단 고정정보를 제작하였다. 보의 한쪽 길이는 100 mm로 하였고 보의 폭은 20 mm, 두께는 6 mm로 하여 중앙의 모멘트에 의해서 굽힘변형을 받도록 하였다. 이 굽힘변형을 측정하기 위하여 그림과 같이 중심으로부터 45 mm 되는 곳(P1)과 105 mm 되는 곳(P2), 즉 보의 양끝에서 20 mm 되는 곳을 스트레인 게이지의 부착 위치로 하였다. 스트레인 게이지는 양쪽 보의 윗면과 아랫면에 2개씩, 모두 8개를 부착하였다.

Table 2 Measured strain due to moment of the fixed ends beam

Location (a)	Strain gage	Strain ($\mu\text{m/m}$)	
		Mz	My
45 mm (P1)	S1	185	184
	S2	-187	-186
	S3	184	185
	S4	-189	-188
105 mm (P2)	S5	-90	-90
	S6	89	89
	S7	-92	-92
	S8	89	89



(a) Moment Mz



(b) Moment My

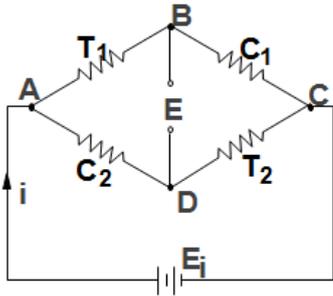
Fig. 11 Experimental set-up of the fixed ends beam

Fig. 11은 제작된 양단고정보의 시험모습이다. 부착한 스트레인 게이지는 게이지 길이 1.52 mm, 폭 2.54 mm이고 게이지 상수는 2.10인 Micro-Measurement 사의 센서용 스트레인 게이지 N2A-06-T001N-350을 사용하였다. Fig. 11(a)는 다축 로드셀에 모멘트 Mz를 발생시키는 것과 같이 보의 앞면에서 모멘트를 가하는 모습을 위에서 보여주고 있으며, Fig. 11(b)는 모멘트 Mx 또는 My를 발생시키는 것과 같이 보의 뒷면에서 모멘트를 가하는 시험모습이다.

2장에서 설명한 것과 같이 분동을 옮기는 방법으로 19.6 N.m (200 kgf.cm)의 동일한 모멘트 Mz와 My를 각각 가하고 스트레인 게이지의 출력을 측정하였다. Table 2에 각 스트레인 게이지의 측정

Table 3 Output strain from the Wheatstone bridge circuit (unit : $\mu\text{m/m}$)

Load	45 mm (P1)	105 mm (P2)
Mz	186	-90
My	186	-90

**Fig. 12** Wheatstone bridge circuit with four strain gages for measuring force/moment

결과를 보여주었다. Table 3은 각 스트레인 게이지를 Fig. 12와 같이 휘스톤 브리지 회로를 구성했을 때의 예상 출력 변형률 값을 나타내고 있다. 출력 변형률은 다음 식 (1)로부터 계산되었다.

$$\frac{E_{out}}{E_{in}} = K\epsilon_T, \quad \epsilon_T = \frac{1}{4}(\epsilon_{T_1} - \epsilon_{C_1} + \epsilon_{T_2} - \epsilon_{C_2}) \quad (1)$$

모멘트 Mz와 My의 시험결과를 살펴보면 각각의 모멘트를 가했을 때, 같은 위치(P1, P2)라고 지정된 지점에서 측정된 변형률들은 약간의 차이를 보였다. 이것은 약간의 스트레인 게이지 부착 오차로부터 발생되었다고 판단된다. 그러나 모멘트 Mz와 My에 대한 8개 각각의 스트레인 게이지의 출력은 $1 \mu\text{m/m}$ 이내의 차이를 보였다. 또한 식 (1)로 계산된 브리지 회로의 출력 변형률 값은 Mz의 경우와 My의 경우가 동일한 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 6분력 힘/모멘트 발생장치에서 발생시킨 두 가지 방법의 모멘트 크기는 동일하며, Fig. 8에서 설명한 시험적인 영향이 거의 없는 것으로 판단되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 다축 로드셀의 특성을 시험하기 위한 실하중 6분력 힘/모멘트 발생장치를 개발하였고, 상용 토크셀과 본 논문에서 고안한 양단

고정보를 이용하여 모멘트 발생방법의 신뢰성을 검증한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 분동을 옮기며 모멘트를 발생시키는 실험에서 측정된 모멘트는 $19.6146 \text{ N}\cdot\text{m}$ 이며, 이 모멘트 값은 실제로 발생시킨 $19.6 \text{ N}\cdot\text{m}$ 과 비교하면 0.075%의 차이를 보였다. 사용한 토크셀 자체의 비직선성 오차가 0.3%임을 고려하면 본 논문에서 개발한 힘/모멘트 발생장치와 분동을 옮겨 모멘트를 발생시키는 방법은 신뢰성이 높다고 판단되었다.

(2) 시험 대상인 다축 로드셀에 볼트를 이용하여 모멘트를 주는 두 가지 방법의 경우에 대해서 실험한 결과, 모멘트 Mz와 My에 대한 같은 스트레인 게이지의 출력은 각 위치에서 $1 \mu\text{m/m}$ 이내의 차이를 보였으며, 브리지 회로의 출력 변형률 값은 같은 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이로부터 6분력 힘/모멘트 발생장치에서 발생시킨 두 가지 방법의 모멘트 크기는 동일하며, 시험방법에 신뢰성이 있는 것으로 판단되었다.

후 기

이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2014H1C1A1066921)

참고문헌 (References)

- (1) Joo, J. W., Na, K. S. and Kim, G. S., 1998, "Design and Evaluation of Small Size Six-axis Force/Torque Sensor Using Parallel Plate Structure," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 22, No. 2, pp. 352~364.
- (2) Liu, S. A. and Tzo, H. L., 2002, "A Novel Six-component Force Sensor of Good Measurement Isotropy and Sensitivities," *Sensors and Actuators A*, Vol. 100, pp. 223~230.
- (3) Joo, J. W., Na, K. S. and Kang, D. I., 2002, "Design and Evaluation of a Six-component Load Cell," *Measurement*, Vol. 32, pp. 125~133.
- (4) Ferro, C., 1990, "New Automatic Multi-component Calibration System with Crossed-flexure Levers," *Proc. IMEKO TC3, Session Cm. I*, pp. 31~39.
- (5) Kim, G. S. and Kang, D. I., 1998, "Development of 6-Component Force/Moment Calibration Machine,"

Journal of KSPE, Vol. 15, No. 9, pp. 127~134.

- (6) Kim, G. S. and Yoon, J. W., 2007, "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and Its Uncertainty Evaluation," *Journal of*

KSPE, Vol. 24, No. 10, pp. 91~98.

- (7) KS B ISO 1904-1 : 2011, "Manipulating Industrial Robots-Mechanical Interfaces-Part 1: Plates," KSA.