産業技術研究(江原大學校 産業技術研究所 論文集) 第 13 集(1993)
Research Report, The Institute of Industrial Technology, Kangwon Nat'l Univ., Korea, Vol. 13, 1993

단일면에 스트레인게이지를 부착한 로드셀과 그 온도 보상에 관한 연구

박 찬 원 * · 최 규 석 **

A Study on the Single Side Strain Gauge Attatched Load Cell and Temperature Compensation

Chan-Won Park * · Gyu-Seok Choi **

ABSTRACT

Compensation of temperature is very important to make high precision load cell. In this study, we developed a new type load cell. The structure of the load cell has four strain gauges on single side of the load cell beam. Also a new temperature compensation method was proposed and these characteristics were better than previous one. This study will offer application to other type of load cell and another sensors.

1. 서 론

변환기 위에 놓여진 물체의 무게에 의하여 변환기에 일어나는 역학적 변환에 비례하여 전기적인 신호를 내는 기구를 기본 원리로 하는 변환기 중 접착저항 스트레인 게이지(strain gauge)[1,2]를 쓴 로드셀(load cell)[3]은 약 십 여년 전부터 전자저울용 변화기로 쓰여지기 시작했으며 작은 크기로서 폭넓은 질량측정을 가능케 하고 내구성이 강하고 정밀도가 좋으며 저항변화를 감지하는 방식이므로 지시방법을 디지탈 형태로 할 수 있고 마이크로프로세서와 컴퓨터에 인터페이스 시킬 수 있는 등 응용이 쉬운 장점이 있어[4] 지금에 이르러서는 일상생활 및 유통, 공업용, 실험실용에 이르기까지 다양한 전자적 질량측정기는 거의 모두 로드셀을 사용하고 있다.

로드셀은 금속 탄성 구조물에 스트레인 게이지를 부착하여 브릿지저항 센싱방식을 이용한 중량트랜스듀서로서, 온도가 변화하면 스트레인지 게이지의 게이지율이 온도의 함수이고 감지부의 재질의 탄성계수가 또한 온도의 함수여서 두가지의 복합효과에 의해 로드셀의 제로점과 출력 스팬이 변화게 되는데

* 강원대학교 전기공학과 부교수
** 강원대학교 전기공학과 대학원 석사과정

이에 대한 보상은 필수적이다.[5,6]

본 연구에서는 기존의 beam형 로드셀이 beam의 상하양면에 스트레인 게이지를 부착하는 구조여서 공정수와 제조단가가 상승하는 단점을 제거하기 위해 단일면에 스트레인 게이지를 부착하는 구조의 로드셀을 설계 제작하였는데 이로 인한 스트레인 게이지의 발열이 증가되어 기존의 방법에 의한 온도보상법으로 넓은 범위의 직선성과 온도에 대한 안정성이 보장되지 않아 기존방법인 브릿지 내의 보상저항 삽입방법이 아닌 신호 증폭회로의 게인저항을 온도보상 피드백으로 하는 방식을 고안하여 Cu계의 감온저항과 메탈필름계의 금속박막 정밀저항치를 조합하는 방법으로 기존의 로드셀보다 온도 보상범위와 특성을 향상시켰다.

2. 로드셀의 기본구조 및 온도보상

본 실험에서 사용함 beam형 로드셀은 Fig. 1(a)와 같이 4각의 beam구조의 금속탄성체에 4개의 notch부분을 만들고 하중에 대한 응력이 가장 민감한 부분에 4개 (G_1 ~ G_4)의 스트레인게이지를 Fig. 1(b)와 같이 브릿지 형태로 연결하여 그림과 같은 방향의 압축하중에 대하여 G_1과 G_4는 인장, G_2와 G_3는 압축되어 각각 그에 따른 저항의 변화로 질량의 측정을 전기적 신호로 변화시키는 구조이다. 이때, 각 스트레인 게이지의 초기저항을 R이라고 하중에 대하여 변화한 저항성분을 각각 $\pm\Delta r$이라 할 때 4개의 스트레인 게이지의 저항치가 모두 같다고 하면 R1=R2=R3=R4=R로 되고 이때 각 미소저항변화분들은 $\Delta r1=\Delta r3=+\Delta r$은 인장, $\Delta r2=\Delta r4=-\Delta r$로 압축력을 각각 받아 변화하므로 이를 계산하여 로드셀의 출력전압을 나타내면

$$Vout=\frac{\Delta r}{R}\ Vin \qquad (1)$$

으로 된다.

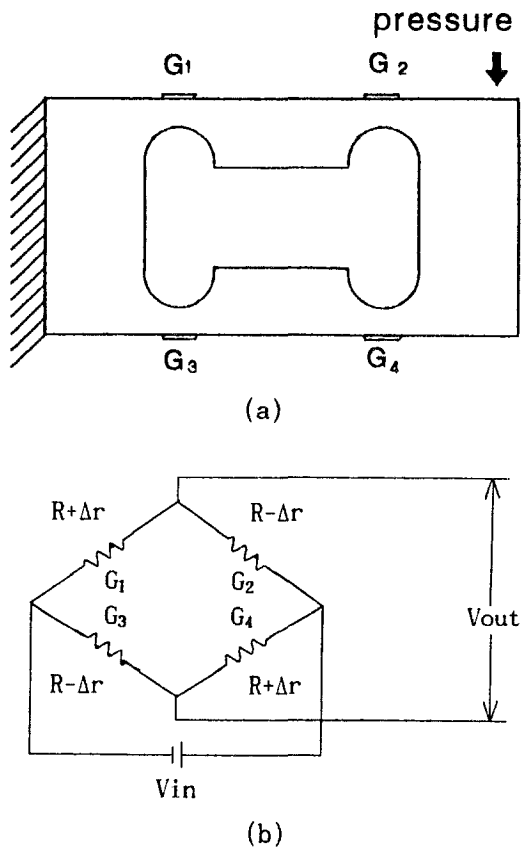

Fig. 1. Load Cell Structure and Bridge Circuit.

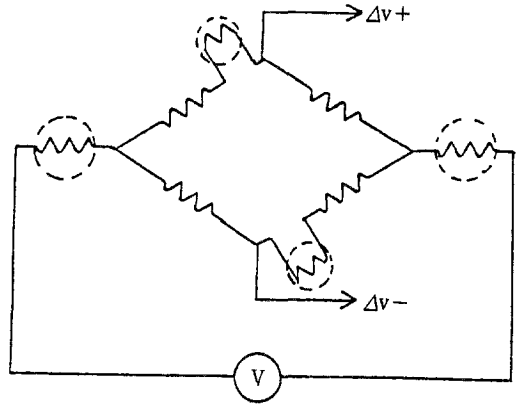

Fig. 2. Typical Temperature Compensation of Load Cell.

로드셀의 온도에 의한 영향에는 영점에 관한 것과, 출력신호의 span에 대한 것이 있다.[7]

영점의 온도에 의한 변화는 주로 탄성체의 열팽창이나 열 수축에 기인한다. 이 영향을 적게 하기 위해, 스트레인 게이지에 자기온도보상 게이지를 사용하는데, 스트레인 게이지의 저항온도 특성은 약간의 불균일성을 지니고 있으므로, Fig. 2와 같이 휘스톤브릿지 회로내에 감온저항체를 삽입하고 이것을 보정한다.

온도에 의한 출력신호의 span에의 영향은 주로 탄성체 young율의 온도변화(Al합금계 재료는 -0.07%/℃정도)와 스트레인게이지의 게이지율의 온도변화에 기인하고 있다.

이것은 hook법칙을 적용하면[3]

$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ 로 표시되는데 여기서, σ=응력, E=young율, ε=변형율로 온도가 높게되면 E의 값이 적게되어 일정부하를 가하면 ε가 증가된다.

따라서 정(+)의 온도특성을 갖는 저항체(순 니켈등)를 Fig. 2와 같이 삽입하고, 브릿지에 인가되는 전압을 제어하는 방법을 쓴다.

3. 로드셀의 제작

로드셀제작의 사용된 beam의 소재는 A2024계열의 T81 알루미늄으로 먼저 이를 머시닝센터에서 프로그램된 형상대로 가공한 후, 스트레인게이지가 접착되는 부분은 흡착력이 좋게 #400 알루미늄 분말을 사용한 BS-2 blaster로 표면 가공처리를 행 하였다. 그리고 노치의 윗부분에 에폭시 접착제 EPY-500을 사용하여 스트레인 게이지를 정확하게 접착시키고 5㎏/㎠ 압력의 접착지그를 장치한 채로 130℃의 항온조에서 8시간 건조시켰다.

접착된 4개의 스트레인 게이지의 단자선을 적절한 온도보상저항과 영점보상용 저항 그리고 금속박막저항을 평형브릿지와 계산의 결과로 결정한 값으로 조절하여 부착시키고 시일드된 케이블로 외부단자선을 연결하였다. 최종적으로 습기 방지를 위한 실리콘 코팅제를 발라 흡습에 의한 전기적 특성의 드리프트를 최소화 시켰다.

본 제작에 사용된 스트레인게이지는 페놀수지의 메트릭스위에 콘스탄탄 저항선으로 제조된 미네베아사의 48BH-41로 저항값은 350Ω 이었으며 온도보상 및 영점보상용 저항선은 후루가와 특수금속의 CN49W R=24.76Ω/m의 저항값을 갖는 0.10φ 폴리우레탄 피복동선으로 온도계수 α=3917.05 ppm/℃였다. 또한 금속박막정밀 저항은 일본 ALPHA사의 0.02ppm/℃의 것을 사용하였다.

4. 실험 및 고찰

본 연구에서는 기존의 로드셀이 Fig 1.과 같이 beam의 아래 윗면에 스트레인게이지를 부착하는 구조인데 비해[8] 제조원가와 공정수를 절감하고자 하는 목적으로 한쪽면에 스트레인게이지 4개를 모두 부착하여 같은 성능을 얻고자 하였는데, 이를 실제로 제작해 본 결과 다른 기계적 특성은 문제가 없었으나 스트레인 게이지의 발열량의 증가로 인하여 기존의 온도보상 방법으로는 만족할 만한 온도보상이 어려웠다. 또한 기존방법인 브릿지 저항에 보상저항을 연결하는 Fig. 2과 같은 방식은 로드셀의 테브난 등가저항을 증폭기의 1차 저항으로 이용하는 방식에서는 보상저항에 따른 로드셀의 등가저항의 불균일의 문제가 야기되므로 본 연구에서는

Fig. 3과 같은 로드셀 신호 증폭회로의 게인 저항을 온도보상 피드백으로 하는 방식을 고안하였다.

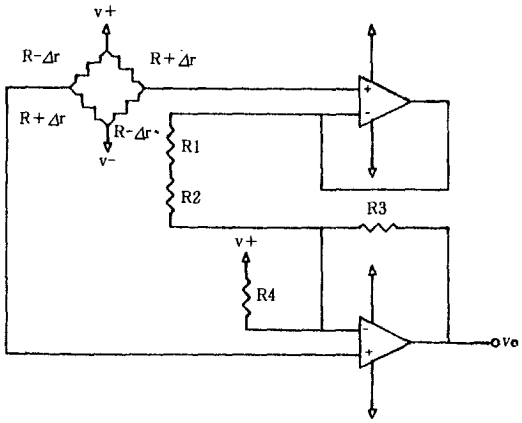

Fig. 3. Proposed Temperature Compensation Method.

그림의 온도보상회로에서 출력전압을 식 (1)을 참고로 계산하면,

$$V_0=(1+\frac{R_4}{R_1+R_2})\frac{\Delta r}{R}\,Vin \qquad (2)$$

이 되고, 이때 R_1은 온도계수 0 ppm의 메탈필름계의 금속박막정밀저항이고 R_2는 온도계수 α=3917.05ppm/℃의 Cu계의 감온저항이다. 또한 R_4는 증폭용 OP amp의 동작점을 설정하기 위한 level shift용 저항이다.

따라서 R_{20}를 기준온도에서의 저항값이라고 하면,

$$R_2=(1+\alpha t)R_{20} \qquad (3)$$

이고, 로드셀의 온도계수를 $\beta \fallingdotseq$ 650ppm/℃라 하고 기준온도에 있어서 로드셀의 출력전압을 V′라 할 때

$$\frac{\Delta r}{R}\,Vin=(1+\beta t)V' \qquad (4)$$

로 된다. 이때 t는 기준온도와의 온도차이다.

식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하여

$$V_0=\{1+R_4/(R_1+(1+\alpha t)R_{20})\}\,(1+\beta t)V' \qquad (5)$$

로부터 출력전압의 온도계수를 0에 근사하게하는 저항값 R_{20}을 구할 수 있다.

식 (5)를 계산하면

$$V_0=\{1+\frac{R_4}{R_1+R_{20}}/(1+\frac{R_{20}}{R_1+R_{20}}\alpha t)\}\,(1+\beta t)V' \qquad (6)$$

으로되고, 이때

$\frac{R_{20}}{R_1+R_{20}}\alpha=\rho$ 로 하면

$$V_0=\{1+\frac{R_4}{R_1+R_{20}}\cdot\frac{1-\rho t}{1-\rho^2t^2}\}\,(1+\beta t)V' \qquad (7)$$

으로 되어

1》ρ^2t^2 를 고려하여 계산하고 다시 (5)식과 같은 형태로 정리하면

$$V_0=(1+\frac{R_4}{R_1+R_{20}})\{1+\{(\beta-\frac{R_4}{R_1+R_{20}+R_4}\rho)-\frac{R_4}{R_1+R_{20}+R_4}\rho\beta t\}t\}V' \qquad (8)$$

와 같이 된다.

이때

$$f(t)=\beta-\frac{R_4}{R_1+R_{20}+R_4}\rho-\frac{R_4}{R_1+R_{20}+R_4}\rho\beta t \qquad (9)$$

로 하여 f(t)를 0으로 하는 R_{20}의 값을 구하면 된다.

계산식으로 구한 값은 R_4=20kΩ이고 t=30℃, R_1+R_{20}=200Ω으로 한 조건에서 $R_{20}\fallingdotseq$32.88Ω으로 계산되었고 이를 SPICE 시뮬레이션에서 점근법으로 구한 값도 근사적으로 증명되었다. (Table 1)

Table 1. SPICE Simulation Result of Variation R1, R2

R1 R2 / ℃	R2 R1 175 25	R2 R1 100 100	R2 R1 50 150	R2 R1 40 160	R2 R1 30 170	R2 R1 35 165	R2 R1 33 167	R2 R1 34 166	R2 R1 33.5 166.5
-10	2.7067	2.5495	2.4546	2.4364	2.4186	2.4275	2.4239	2.4257	2.4248
0	2.6227	2.5139	2.4463	2.4332	2.4203	2.4267	2.4242	2.4254	2.4248
10	2.5449	2.4798	2.4382	2.4301	2.4220	2.4260	2.4244	2.4252	2.4248
20	2.4725	2.4470	2.4303	2.4270	2.4237	2.4253	2.4247	2.4250	2.4248
30	2.4051	2.4155	2.4225	2.4239	2.4254	2.4247	2.4249	2.4248	2.4249
40	2.3421	2.3853	2.4149	2.4210	2.4270	2.4240	2.4252	2.4246	2.4249
50	2.2831	2.3561	2.4075	2.4180	2.4286	2.4233	2.4254	2.4244	2.4249
△(V)	0.4236	0.1934	0.0471	0.0184	-0.0100	0.0042	-0.0015	0.0013	-0.0001

Table 1은 R_1, R_2를 25Ω, 175Ω 에서 차례로 변화시키면서 온도범위 -10℃~50℃로 변화시켰을 때 Fig 3의 온도보상회로에서 전원전압 ±15V 조건으로 V_0의 값의 변화를 SPICE 시뮬레이션해 본 결과이다. △(V)는 V_0의 최대편차를 표시한다.

Fig. 4는 R_1=180Ω R_{20}=36.6Ω일 때의 로드셀의 온도보상특성을 나타내고 있다. 아울러 비교를 위하여 기존의 방법에 의한 온도보상에 의한 결과도 보여주고 있다.

Fig. 5는 개발된 로드셀의 윗면과 옆면의 사진이다.

실험의 결과 -10℃에서 50℃의 온도범위에서 영점온도특성은 ±60μV이내 출력스팬의 경우 ±0.02%load/10℃이내로 상당히 양호한 결과를 얻었다.

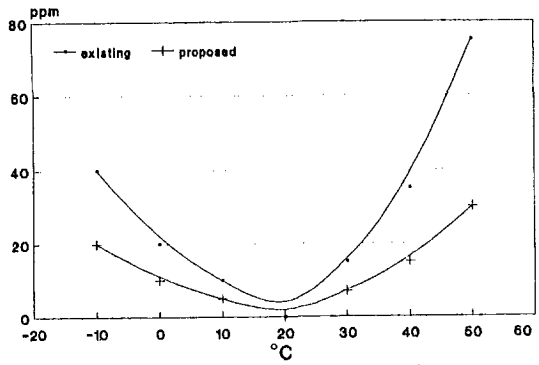

Fig. 4. Temperature Compensation Characteristics of Load Cell.

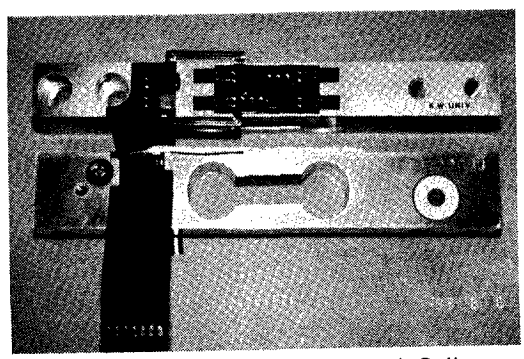

Fig. 5. Photo of Proposed Load Cell.

5. 결 론

단일면에 4개의 스트레인게이지를 부착한 구조의 간단한 beam형 로드셀 방식을 실현시키고 새로운 온도보상방식을 고안하였다.

실험의 결과 온도보상특성은 기존의 방식보다 우수하게 나타났으며 이는 다른 형태의 로드셀에의 적용 뿐만 아니라 각종 센서의 온도보상에도 응용 가능하다.

또한 본 연구의 결과는 신호증폭 OP amp를 SMD형의 소자를 이용하여 로드셀에 표면실장시키는 방식을 가능하게 하여 내잡음 특성도 한층 우수하게 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 韓應敎, strain gauge 理論과 應用, 普成文化社, p. 18, (1988)
2. 渡邊 理, ひずみゲージとその應用 Ch. 2, 日刊工業社, (1987)
3. 高橋 清, センサエレトロニクスp. 241, 昭晃堂 (1984)
4. David M. Auslander & Paul Sagues, Microprocessor for Measurement and control, p. 53, (1981)
5. 조남선, '로드셀의 설계 및 응용', 국립공업시험원 기술보고 85-2, pp71-117, (1985)
6. Joseph J. Carr, 'Sensors and Circuits', Prentice-Hall Inc., pp1-37, (1993)
7. 정광화, '디지탈저울의 정밀도 향상을 위한 전기적 변환기의 성능검사 및 개선점 연구', 공업진흥청, (1984)
8. Willis J. Tompkins & Webster, 'Interfacing Sensors to the IBM PC', Prentice-Hall Inc., pp250-268, (1988).