

스트레인 게이지를 이용한 응력 측정 및 응용

강 대 임

Stress Measurements Using Strain Gages

Dae-Im Kang



- 강대임 (한국표준과학연구원 질량연구실)
- 1958년생.
- 고체의 설계 및 해석을 전공하였으며, 스트레인 게이지 응용, 하중센서의 설계 및 힘 표준기 설계에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

기계나 구조물의 설계시 혹은 사용중에 안전성을 평가하기 위하여 물체가 받고 있는 응력을 알아야 할 경우가 많이 있다. 특히 항공우주 구조물이나 해양 구조물 등 최근에는 기계나 구조물에 최적설계의 개념이 도입되어 전체의 중량을 줄이기 위하여 설계의 안전율을 낮추는 추세이다. 구조물의 중량을 줄이면서 강도는 더욱 강해지는 안전한 설계를 위하여 응력측정은 필수적이다.

응력해석 방법은 크게 수치적인 방법과 실험적인 방법으로 분류할 수 있다. 최근 컴퓨터의 발달로 수치적인 응력해석 방법이 각광을 받기 시작하였고 많은 연구나 소프트웨어의 발달로 거의 모든 문제를 해석할 수 있게 되었다. 그러나 실제의 기계나 구조물의 응력을 결정하는 경우에 수치 응력해석만으로는 부족한 경우가 많이 있으므로 실제적인 조건에서의 응력측정을 수행하여야 하며, 일반적인 경우 수치적인 방법과 실험적인 측정

을 동시에 수행하여 상호 비교하고 보완하는 것이 바람직하다.

실험응력 해석방법에는 스트레인 게이지법, 광탄성법, 모아레법, 홀로그래피법, 취성 도포법 등 여러가지가 있으나 각각은 장점과 단점을 동시에 가지고 있다.⁽¹⁾ 그러므로 해석하고자 하는 대상체와 관심분야에 따라서 측정방법이 결정되어야 하고, 좀더 정확한 응력측정을 위해서 여러가지 방법을 동시에 사용하기도 한다. 1936년 Simmons 등에 의해 접착 저항 스트레인 게이지가 처음 개발된 이후⁽¹⁾ 스트레인 게이지는 사용의 편리함과 높은 정밀도 때문에 각종 기계나 구조물의 응력 측정에 널리 사용되고 있다. 스트레인 게이지는 응력측정뿐만 아니라 로드셀, 토크셀, 압력셀 등의 출력 감지소자로도 응용되어 산업체에서의 힘, 토크, 압력 등의 정밀 측정용 센서로도 널리 사용되고 있다. 이와 같은 스트레인 게이지식 변환기는 각 품목마다 용량별로 또는 용도별로 다양하게 상품화되어 있다. 그러나 변환기 구입에 소요되는 시간상의 문제, 변환기의 설치 공간

상의 문제 또는 특수한 목적에 사용하기 위해서 변환기를 자체적으로 직접 설계 및 제작해야 할 경우가 있다.

이 글에서는 스트레인 게이지를 이용한 응력 측정 방법 및 응력 측정시의 오차 발생의 원인에 대해서 설명하고, 현재 많이 사용되고 있는 스트레인 게이지식 로드셀의 원리 및 구조에 대해서 설명하고자 한다.

2. 스트레인 게이지의 원리

2.1 스트레인 게이지

스트레인 게이지는 길이의 작은 변화를 그에 상응하는 저항변화로 변환하는 일종의 저항체이다. 이와 같은 게이지를 사용하면 변형도를 전기적인 신호로 측정하고 기록할 수 있다. 길이가 L 이고 단면적이 A 인 저항선의 저항값 R 은 다음 식으로 표현된다.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

여기서, ρ 는 저항선의 비저항을 나타낸다. 재료에 변형이 일어나면 재료에 부착된 스트레인 게이지의 길이가 변화하고 그에 따라 저항체의 저항값이 변화하게 된다. 저항체의 길이변화율과 저항변화율과의 관계는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K\epsilon \quad (2)$$

여기서, K 를 스트레인 게이지 상수(gage factor)라 한다. 게이지 상수는 스트레인 게이지가 갖고 있는 고유치이며 재료에 따라서 보통 1.8~2.4의 값을 갖는다. 저항체는 고유저항이 충분히 크고 게이지 상수의 값이 온도변화에 따라 크게 변화하지 않는 것이 좋다.

2.2 신호처리 방법

앞에서 설명한대로 물체가 변형하여 스트레인 게이지의 저항이 변화하면 그림 1과 같

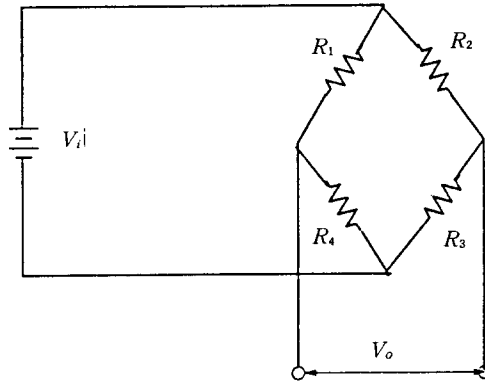


그림 1 변형도 측정을 위한 휘스톤 브리지

이 스트레인 게이지로 구성된 휘스톤 브리지 회로(Wheatstone bridge circuit)의 평형상태가 깨지게 된다. 사용하는 스트레인 게이지의 연결방식에 따라 브리지 회로는 1/4 브리지(quarter bridge), 1/2 브리지(half bridge), 완전결선 브리지(full bridge)로 구분할 수 있다. 1/4 브리지는 네 개의 저항체중 한 개의 스트레인 게이지를 저항체로 사용하는 경우로 나머지 세 개의 저항체는 측정기에 내장되어 있는 경우이고, 1/2 브리지는 두 개의 스트레인 게이지를 직렬로 연결하고 나머지 두 개의 저항체는 측정기에 내장되어 있는 경우이며, 완전결선 브리지는 스트레인 게이지 네 개로 브리지 회로를 완전하게 구성하여 측정기에 연결하는 경우에 사용한다.

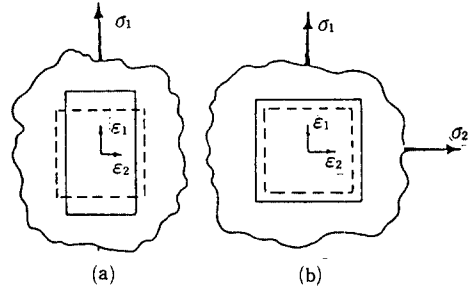
브리지 회로에 외부에서 일정한 전압이 가해지게 되면 스트레인 게이지의 저항변화에 의하여 브리지의 출력전압이 변화하게 된다. 이 출력전압은 입력전압에 비해 대단히 작은 양이기 때문에 증폭기에 의하여 적절히 증폭되어 출력값으로 표시하게 된다. 출력전압은 전압기(voltage meter)에 의해 전압 자체로 표시되기도 하고, 변형도 측정기(strain indicator)를 사용하면 사용한 스트레인 게이지의 게이지 상수값, 저항값, 브리지 종류 등을 입력함으로써 변형도 값으로 바로 표시할 수도 있다.

3. 스트레인 게이지에 의한 응력 측정

3.1 측정 원리

변형도를 측정하는 방법으로는 여러가지가 있지만 금속저항 스트레인 게이지를 이용하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이 방법은 측정하고자 하는 물체의 표면에 게이지를 부착시키고 물체가 변형함에 따르는 저항의 변화를 이용하여 변형도를 측정하는 방법이다. 게이지에 의하여 측정되는 변형도는 게이지 길이방향의 수직변형도이다. 그림 2(a)와 같이 주응력 σ_1 만이 존재하는 경우에는 그 방향으로 단축 게이지(axial gage)를 부착하여 각 방향의 변형도를 구할 수 있다. 또한 그림 2(b)와 같이 주응력 σ_1 과 σ_2 의 방향을 알고 있을 때는 그 주응력 방향으로 각각 단축 게이지를 부착하여 각 방향의 변형도를 구할 수 있다. 그러나 일반적으로 응력을 측정할 때에는 주응력의 방향을 알 수 없는 경우가 많기 때문에 각 주응력들과 주응력방향 또는 수직응력들과 전단응력을 모두 알아내기 위해서는 게이지를 세 개의 서로 다른 방향으로 부착시켜야 한다. 이와 같이 세 개의 게이지로 구성된 게이지를 특히 로제트(rosette)이라고 한다. 그림 3(a)는 일반적인 로제트의 방향을 나타내고 있으며, 그림 3(b)와 3(c)는 가장 널리 쓰이는 45° 로제트와 60° 로제트의 방향을 나타내고 있다.

그림 3(b)의 45° 로제트($\beta_A=0^\circ, \beta_B=45^\circ, \beta_C=90^\circ$)의 경우 측정된 변형도는 $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$



$$(a) \quad \epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} \quad \epsilon_2 = -\frac{\mu\sigma_1}{E}$$

$$(b) \quad \epsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \mu\sigma_2) \quad \epsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \mu\sigma_1)$$

그림 2 주응력 방향의 변형도

이고 주변형도(principal strain) ϵ_1, ϵ_2 및 주 변형도 방향 β 를 $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$ 로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$\epsilon_1 = (\epsilon_A + \epsilon_B) + \frac{1}{2}\sqrt{(\epsilon_A - \epsilon_C)^2 + (2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C)^2}$$

$$\epsilon_2 = (\epsilon_A + \epsilon_B) - \frac{1}{2}\sqrt{(\epsilon_A - \epsilon_C)^2 + (2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C)^2}$$

$$\beta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C}{\epsilon_A - \epsilon_C} \quad (3)$$

주변형도에 상응하는 주응력은 식 (3)으로부터 구해진 주변형도와 그림 2(b)에 표시된 식을 사용하여 계산할 수 있다. 측정된 변형도 $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$ 로부터 직접 주응력을 구하기 위해서는 식 (4)를 사용하면 된다.

$$\sigma_1 = E \left[\frac{\epsilon_A + \epsilon_C}{2(1-\nu)} + \frac{1}{2(1+\nu)} \right]$$

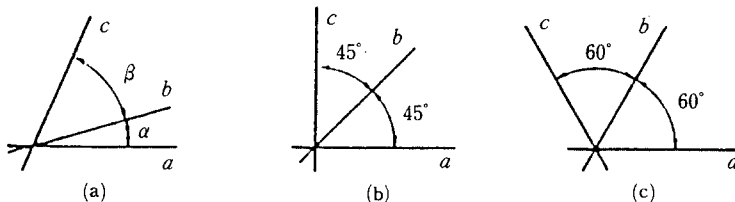


그림 3 로제트 게이지의 방향

$$\sigma_2 = E \left[\frac{\epsilon_A + \epsilon_C}{2(1-\nu)} - \frac{1}{2(1+\nu)} \frac{\sqrt{(\epsilon_A - \epsilon_C)^2 + (2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C)^2}}{\sqrt{(\epsilon_A - \epsilon_C)^2 + (2\epsilon_B - \epsilon_A - \epsilon_C)^2}} \right] \quad (4)$$

3.2 오차 발생의 원인

현재 시중에서 쓰이고 있는 스트레인 게이지는 적당한 조건에서 변형도 측정에 사용될 때 1% 이내의 정확도를 유지할 수 있다. 그러나 스트레인 게이지를 사용하여 응력을 계산할 때에는 완벽한 조건에서 실험했을 때에도 5% 정도의 오차가 발생할 수 있다.⁽²⁾

오차의 원인은 첫째로 실험값이 부정확하

기 때문에 발생하며 이것은 게이지를 부착시키는 위치가 정확하지 않거나 적당하지 않은 크기와 형태의 게이지를 사용하거나 또는 결과가 잘못 측정되었을 때 주로 나타난다.

두번째 오차발생의 원인은 측정된 변형도로 응력을 계산할 때 사용되는 재료상수들이 정확하지 않기 때문에 발생한다. 탄성의 영역에서 재료의 기계적 성질을 나타내는 탄성계수(E)와 포와송비(ν)는 보통의 경우에 5% 정도까지의 오차를 가진다. 또한 탄성계수는 항상 일정하다고 가정하지만, 이것은 비례한도까지만 해당하며 비례한도를 넘으면 응력과 변형도의 관계는 비선형적이 된다.

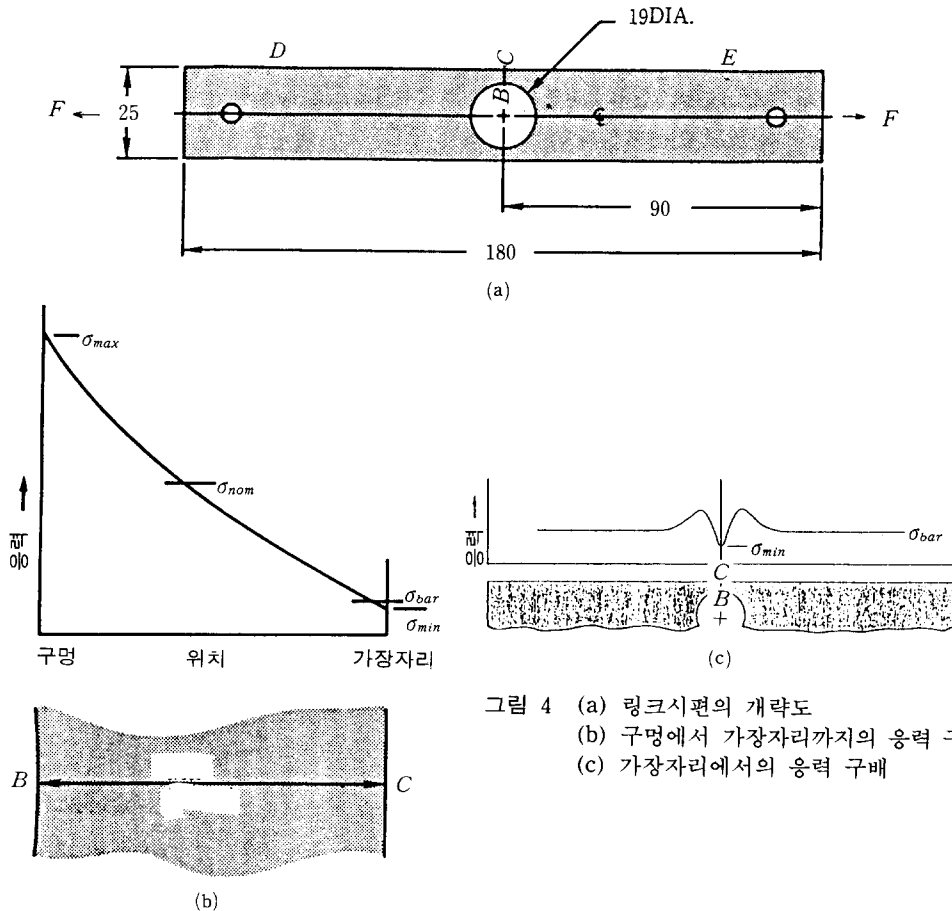


그림 4 (a) 링크시편의 개략도
 (b) 구멍에서 가장자리까지의 응력 구배
 (c) 가장자리에서의 응력 구배

일반적으로 응력을 결정할 때 이것이 비례한도를 넘는지의 여부를 판단하기가 어려운 경우가 많이 있을 뿐만 아니라 재료에 따라서는 비례한도를 넘지 않더라도 응력-변형도 곡선이 직선이 아닌 경우가 있다. 이러한 경우에는 측정된 변형도로서 응력을 결정할 때 큰 오차가 발생할 수 있다.

위와 같은 오차의 원인 외에도 사용자가 사용된 재료와 구조물의 응력상태 등을 잘 알지 못하면 얻어진 결과가 실제값과 상당히 달라질 수 있다.

그림 4(a)와 같은 링크 시편의 축방향으로 순수 인장응력을 받을 때 최대용량에서 시편에 걸리는 최대응력이 설계응력 이내인지를 알아보기 위해서는 스트레인 게이지를 어느 곳에 부착해야 정확한 측정이 되는지를 검토해 보자. 구멍에서 가장자리(B-C)까지의 응력구배는 그림 4(b)와 같이 변하고 가장자리(D-E)에서의 응력구배는 그림 4(c)와 같다. 가장자리에서의 응력구배를 살펴보면 C점에서의 응력이 제일 작게 나타나고 있는데 그 이유는 인장하중을 받을 때 BC의 웨브는 구멍의 변형으로 인해 굽힘응력을 받게 되고 특히 C점에서는 압축 굽힘응력이 걸리기 때문이다. 따라서 최대응력을 측정하기 위해서는 스트레인 게이지를 구멍의 안쪽인 B지점에 부착하여야 한다.

그림 5와 같은 인장시편에 대하여 인장시험을 할 때에 여러가지 요인으로 인하여 편으로 연결된 부위의 접촉은 정확하게 이루어질 수 없으므로 양쪽으로 당기는 인장력에 의한 응력 외에도 굽힘응력이 존재할 수 있다. 실제로 그림과 같이 시편의 길이가 두께에 비하여 매우 클 때에는 약간의 어긋남에 의해서도 큰 굽힘응력이 존재하므로 측정결과로부터 순수한 인장응력을 가려내기 위해서는 양쪽에 게이지를 부쳐서 굽힘응력을 계산해내야 한다.

이상에서 본 바와 같이 스트레인 게이지를 이용한 응력 측정값은 스트레인 게이지의 부

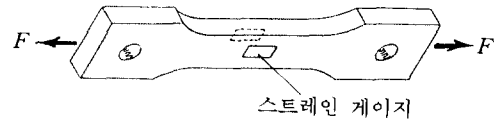


그림 5 인장시편에서의 응력 측정

착위치에서의 값이므로 구조물의 최대응력을 측정하고자 할 경우 하중에 대한 구조물의 거동을 제대로 파악하여 최대 응력 발생지점에 스트레인 게이지를 부착하여야만 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 구조물의 응력분포 상태를 잘 모를 경우는 수치해석 방법이나 광탄성 방법 또는 취성 도포법 등을 이용하여 구조물의 최대응력 지점을 구한 후 그 지점에 스트레인 게이지를 부착하여 응력을 측정하는 것이 바람직하다.

4. 스트레인 게이지식 로드셀

4.1 원리

로드셀은 힘을 받았을 때 생기는 탄성체의 탄성변형을 탄성체 표면에 부착된 스트레인 게이지의 저항변화를 측정함으로써 힘의 크기를 전기적인 신호로 검출할 수 있도록 설계된 하중센서이다.

스트레인 게이지의 저항변화율과 변형도 사이의 관계는 앞에서 본 바와 같이 식 (2)와 같이 쓸 수 있다. 그러나 스트레인 게이지를 한 개만 사용하여 힘을 측정하면 우선 출력이 작을 뿐만 아니라 브리지 회로의 불평형에 의한 오차와 온도보상의 어려움 등이 따르므로 로드셀은 탄성체인 감지부(sensing element)에 스트레인 게이지를 인장 및 압축방향으로 각각 두 개씩 부착한 다음 완전 결선 브리지 회로를 구성하여 사용하는 것이 보통이다. 이때 인장 스트레인 게이지와 압축 스트레인 게이지가 감지하는 변형도의 절대값이 같으면 브리지의 입력전압 E_i 와 출력전압 E_o 의 비는 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{\Delta R}{R} = K \cdot \epsilon \quad (5)$$

4.2 구 조

로드셀은 다음과 같은 주요 부품으로 구성되어 있다.

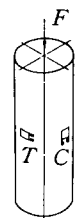
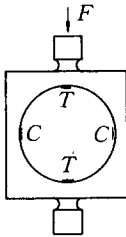
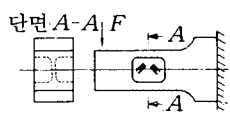
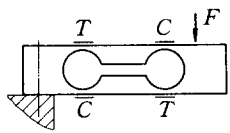
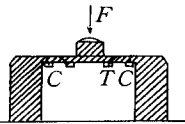
- 감지부
- 스트레인 게이지
- 보상 회로
- 보호 케이스

(1) 감지부

로드셀의 감지부는 하중을 받아 변형도를 가장 크게 생기게 하는 부분으로서 여기에 스트레인 게이지가 접착된다. 로드셀의 용량 및 성능에 따라 감지부의 형상 및 재질 등이 결정되어 진다.

감지부에 하중이 작용하여 변형도를 생기

표 1 감지부 형상의 종류 및 특징

종 류	형상 및 게이지의 위치	특 징
기둥형 (column)		<ul style="list-style-type: none"> • 수직응력에 의한 변형도를 검출 • 구조가 간단하여 설치가 용이함 • 횡하중 및 경사하중에 주의해야 함 • 고정밀도로 제작할 경우 비직선성 보상이 필요함 • 대용량 구조에 적합하며 50 kN에서 수십 MN까지 제작 가능
링 형 (ring)		<ul style="list-style-type: none"> • 굽힘 응력에 의한 변형도를 검출 • 출력이 크고 정밀도가 높음 • 1 kN에서 500 kN 범위의 로드셀에 적합
전단형 (shear beam)		<ul style="list-style-type: none"> • 박형 제작이 가능하고 횡하중 내력이 큼 • 정밀도가 높으나 가공 및 스트레인 게이지 부착이 어려움 • 1 kN에서 50 kN 범위의 로드셀에 적합
쌍안경형 (binocular)		<ul style="list-style-type: none"> • 굽힘 응력에 의한 변형도를 검출 • 정밀도가 높음 • 하중 작용점 이동에 의한 오차가 작음 • 10 N에서 2 kN 범위의 로드셀에 적합 • 상업용 저울중 스트레인 게이지식의 경우 대부분 이 모델을 사용하고 있음
다이하프렘형 (diaphragm)		<ul style="list-style-type: none"> • 박형, 소형으로 횡하중 내력이 큼 • 가격이 싸고 설치가 용이함 • 정밀도가 낮음 • 100 N에서 2 kN 범위의 로드셀에 적합

T : 인장 스트레인 게이지 C : 압축 스트레인 게이지

게 하는 방법에는 수직응력에 의한 것, 전단 응력에 의한 것 및 굽힘응력에 의한 것 등이 있다. 현재 대표적으로 사용되고 있는 감지부의 종류에는 기동형, 링형, 전단형, 쌍안경형, 다이아프램형, S자형 등이 있으며 그것들의 형상 및 특징은 표 1과 같다.⁽³⁾

감지부는 가해진 하중을 지지하며 상응하는 역학적인 변형도를 생기게 하는 일종의 스프링이므로 감지부의 재질은 탄성범위가 넓고, 직선성 및 가공성이 좋아야 하며 하중이력(hysteresis), 크리프 및 응력 완화 등이 적어야 한다. 이와 같은 조건들과 부합되는 재료들은 표 2와 같으며 표 3과 같은 기계적 성질을 갖도록 적절히 열처리 공정을 거쳐서 사용해야 한다.⁽⁴⁾

SNCM8 및 SCM4와 같은 특수강은 대용량 로드셀의 감지부로 많이 사용되고 있으며 이 재료들은 열처리 후의 변형이 작다. 석출경화형 스테인리스강인 17-4 PH와 17-7 PH는 내부식성이 우수하여 근래에 감지부로 많이 사용되고 있는 재료로서 경화되지 않는 상태에서 가공이 용이하고 낮은 온도에서 열처리를 하여도 원하는 기계적 성질을 얻을 수 있다. 저탄성계수 계열중 2024-T6나 2024-T351이 저용량 로드셀 감지부 재료로

가장 쉽게 이용할 수 있는 재료이며 2024-T81이 가장 좋은 알루미늄 합금이다. 베릴륨-구리는 저탄성계수 계열 합금중에서 감지부 재료로 특성이 가장 좋으나 값이 비싸고 가공이 어렵다. 감지부 재질의 선택은 로드셀의 용량 및 감지부의 형태에 따라 이루어지나 일반적으로 10 kN 이상에서는 SNCM8과 같은 강종류를 많이 사용하고 그 이하의 용량에서는 알루미늄 합금을 많이 사용하고 있다.

(2) 스트레인 게이지

스트레인 게이지는 전기 절연물인 기판(base material), 변형도를 감지하는 감지저항부(sensing alloy), 도선(leadwire)을 연결하는 납땜 부위(solder tap)로 구성되어 있고 접착제를 사용하여 측정하고자 하는 시험편의 표면에 부착하여 사용한다.

따라서 외부로부터 감지부에 힘이 가해졌을 때 감지부에 발생한 변형도는 기판을 거쳐 감지저항부에 전달되어 스트레인 게이지의 저항값을 변화시킨다. 이와 같은 스트레인 게이지들은 다양한 형태로 상품화되어 있으며 이 중에서 로드셀에 사용되는 스트레인 게이지들의 종류 및 그것들의 특성은 아래와 같다.

표 2 감지부 재질

강 계열	SNCM8, SCM4, 630 Stainless (17-4 PH), 631 Stainless (17-7 PH)
알루미늄 계열	2024-T81, 2024-T6, 2024-T351, 2014-T6
베릴륨-구리 계열 (beryllium copper)	BeCu 25(c17200)

표 3 감지부 재질이 갖추어야 할 기계적 성질

재 질	경 도	인장강도(Gpa)	항복강도(Gpa)	피로강도(Gpa)	연신율(%)
강 계열	HRC 43~48	1.5~1.7	1.2~1.4	0.6~0.7	10-15
알루미늄 계열	BHN 130~140	0.56~0.61	0.35~0.42	0.15	5-15
베릴륨-구리계열	HRC 40~42	1.4	1.2	0.28	1-3

스트레인 게이지의 감지저항부는 스트레인 게이지의 특성을 결정하는 주요 부품으로서 구리-니켈 합금인 콘스탄탄(constantan), 구리-크롬 합금인 카르마(karma) 등이 사용되고 있다. 감지저항부로 콘스탄탄이 많이 사용되고 있는데 그 이유는 게이지 상수가 온도에 민감하지 않고 미소한 크기로도 제작이 가능도록 고유저항이 충분히 크며 저항온도계수가 크지 않을 뿐만 아니라 자체 온도보상능력을 갖는 게이지의 제작이 가능하기 때문이다. 그러나 콘스탄탄은 65°C 이상의 온도에서는 온도에 따른 겉보기 변형도(apparent strain)가 크게 변하여 65°C 이상의 온도에서는 영점이 불안정해지는 거동을 보인다. 따라서 65°C 이상의 온도영역에서는 제조와 납땜 등이 어려운 결점은 있지만 보다 넓은 온도범위(-269°C ~ 290°C)에 걸쳐서도 겉보기 변형도의 변화가 작은 카르마를 사용하는 것이 좋다.

로드셀 감지부의 스트레인 게이지 부착 위치는 최대 변형도를 나타내면서도 변형도 분포가 균일한 지역이어야 한다. 그러나 기둥형 감지부를 제외한 링형이나 쌍안정형 감지부인 경우 변형도 구배가 비교적 급격하여 최대 변형도를 나타내는 지역은 매우 제한되어 있다. 경험에 의하면 로드셀의 출력을 높이고 또 피로수명을 좋게 하며 크리프 특성을 좋게 하기 위해서는 스트레인 게이지 중 변형도를 감지하는 감지저항부 위치에서의 변형도 분포는 최대 변형도의 10~15% 이내로 균일하여야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 게이지 감지저항부의 길이는 짧을수록 좋으나 너무 짧으면 제조공정이 힘들어져 가격이 비싸지고 취급이 어려워지며 최대 허용 연신율이 작아지고 열분산능력이 작아지므로 대략 1.5~3 mm 길이의 스트레인 게이지가 로드셀 제작에는 적당하다.

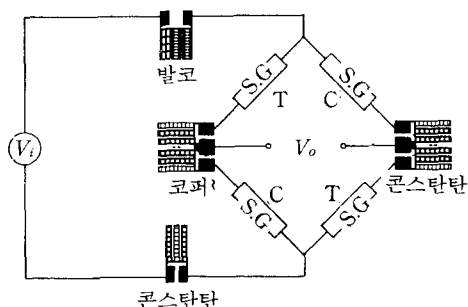
스트레인 게이지를 선택하는 과정에서 저항값 선정만이 문제될 때에는 높은 저항값을 갖는 스트레인 게이지를 선택하여야 한다.

예를 들어 120 Ω 스트레인 게이지와 350 Ω 스트레인 게이지의 경우 350 Ω 게이지를 선택하면 게이지로부터의 열방출량이 1/3로 감소할 뿐만 아니라 도선의 영향을 매우 효과적으로 감소시킬 수 있다.

스트레인 게이지의 부착에 사용되는 접착제로는 순간 경화형 및 고온 경화형이 있다. 스트레인 게이지가 순간 경화제로 부착된 로드셀은 장기 안정도 특성이 떨어지므로 제작된 로드셀을 장기간 사용하고자 할 경우에는 고온 경화형 접착제를 사용하는 것이 바람직하다.

(3) 보상회로

로드셀을 설계 제작하였을 때 선정된 스트레인 게이지나 감지부 재질의 특성, 기계가공 정도 및 기타 여러가지 요인들의 복합 작용의 결과로 이상적인 조건하에서도 기대하였던 로드셀 특성과 벗어나는 결과를 얻게 되는 것이 보통이다. 그 중 대표적인 예가 온도변화에 따른 로드셀의 영점 변화와 감도(sensitivity) 변화이다. 자체 온도보상 스트레인 게이지(self-temperature compensated strain gage)를 사용하고 완전결선 브리지회로를 구성할 경우 온도 변화에 따른 영점 출력 변화 및 감도 변화가 각각 $\pm 0.02\%/^{\circ}\text{C}$



- * BALCO : 온도변화에 따른 감도보상
- COPPER : 온도변화에 따른 영점보상
- CONSTANTAN : 브리지 초기출력 및 감도보정

그림 6 보상게이지를 사용한 전형적인 로드셀 브리지 회로

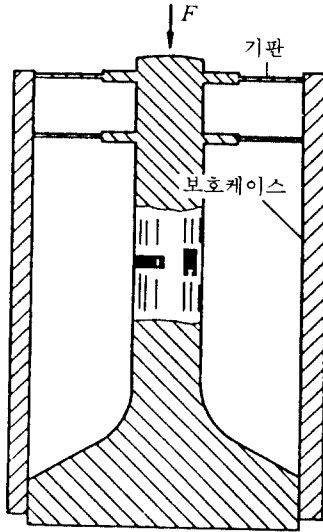


그림 7 로드셀용 보호케이스

FS(full scale), $\pm 0.03\%/^{\circ}\text{C OL}$ (of load)인 로드셀 제작이 가능하다.⁽⁵⁾ 이것보다 더 높은 정밀도를 얻기 위해서는 그림 6과 같이 Balco 게이지 및 구리선 등을 이용하여 추가 보상을 하여야만 한다.⁽⁶⁾ 이외에도 브리지의 초기 불평형 조정 및 감도의 조정 등을 해야하나 실험실에서 사용할 경우는 생략해도 무방하다.

(4) 보호케이스

로드셀은 실험실뿐만 아니라 습기, 가스, 분진 등이 있는 환경에서 사용하기 위해서는 그림 7과 같이 보호케이스를 부착하여야 한다. 이때 기판은 로드셀에 가해지는 하중을 충분히 견딜 수 있도록 충분히 두꺼워야 하며 적당한 면압으로써 하중을 분산시켜야 한다. 감지부와 보호케이스의 조립은 열박음과 경납으로 하거나 볼트 등을 사용하여 체결할 수 있다.

4.3 교 정

로드셀의 출력과 힘과의 관계를 알기 위해서는 실하중 힘 표준기(deadweight force standard machine), 유압식 힘 표준기(hydraulic

force standard machine), 레버식 힘 표준기(lever type force standard machine) 등으로 교정검사를 실시해야만 한다.⁽⁷⁾ 이와 같은 장비의 사용이 어려울 경우는 정밀 재료 시험기 등을 이용하여 비교 교정해서 사용할 수도 있다.

5. 맺음말


이상으로 스트레인 게이지를 이용한 응력 측정 방법 및 응력 측정시의 오차 발생의 원인에 대해서 설명하였고 현재 많이 사용되고 있는 스트레인 게이지식 로드셀의 원리 및 구조에 대해서도 설명하였다.

스트레인 게이지를 이용하여 변형도를 측정할 경우 1% 이내의 정확도를 유지하는 것이 가능하나 측정된 변형도로부터 응력을 계산할 경우 재료상수들의 부정확성으로 인하여 5% 정도의 오차가 발생할 수 있다. 스트레인 게이지를 이용한 응력 측정값은 부착위치에서의 값이므로 구조물의 최대 응력을 측정하고자 할 경우 구조물의 응력 상태를 제대로 파악하지 못하면 큰 오차가 발생할 수 있다. 따라서 정확한 측정을 위해서는 정확한 게이지 작업 기술과 함께 하중에 대한 대상물의 거동을 파악하는 기술 습득이 요구된다.

스트레인 게이지식 로드셀을 직접 설계 및 제작하기 위해서는 용량, 정밀도, 설치 공간, 사용조건 등을 고려하여 감지부의 형상, 감지부의 재질, 스트레인 게이지의 종류, 부착 방법, 보상회로 구성방법, 보호 케이스의 부착 여부 등을 결정하여야 하고 제작이 완료된 후 힘 표준기 등으로 교정검사를 실시하여 사용하여야만 정확한 측정을 기대할 수 있다.

참고문헌

- (1) Dally, J. W. and Riley, W. F., 1987,

- Handbook on Experimental Mechanics-Chapter 2. Strain Gages*, Prentice-Hall Englewood Cliffs, pp. 41~78.
- (2) Dykes, B. C., 1982, "When Strain Gages Don't Give the Expected Results," Presented at the Western Regional Strain Gage Committee Meeting, Seattle, Washington, 10~11, pp. 1~9.
- (3) 강대임 외 4인, 1988, "고정밀 로드셀 개발 II," KSRI-88-30-IR, 한국표준연구소, pp. 7~20.
- (4) The Technical Staff of Measurements Group, 1988, Strain Gage Based Transducers: Their Design and Construction, Measurement Group, Inc., pp. 29~38.
- (5) 강대임 외 4인, 1984, "정밀 측정 자동화 기술 개발에 관한 연구: 하중 센서의 개발," KSRI-IR-58, 과학기술처, pp. 516~526.
- (6) Dorsey, J., 1977, "Homegrown Strain-gage Transducers," *Experimental Mechanics*, Vol. 17, No. 7, pp. 255~260.
- (7) 백종승 외 5인, 1987, 힘, 공업진흥청, pp. 211~234. 

'93년도 「疲勞 및 破壞力學을 고려한 強度設計」 기술강습회 개최 안내

공동주최: 『재료 및 파괴부문』 및 『보일러 및 압력용기위원회』
 일 시: 1993. 10. 27~29(3일간)
 장 소: 서울대학교 기초전력공동연구소
 참가회비: 120,000원(非會員: 150,000원, 학생: 50,000원)

일 정:

- 10월 27일(수요일) 09:30~17:30
 - 09:30 등 록
 - 10:00 개 회 식
 - 10:30 피로강도설계의 기초이론 한경섭 교수(포항공대)
 - 12:20 점 심
 - 13:30 파괴역학의 기초이론 김성호 박사(ADD)
 - 15:30 피로 및 파괴역학 실험법 석창성 교수(성균관대)
- 10월 28일(목요일) 10:00~17:30
 - 10:00 용접부 강도설계 박인규 박사(한전기술)
 - 12:20 점 심
 - 13:30 고온피로 및 크리프를 고려한 강도설계 이상록 박사(KIMM)
 - 15:30 환경파괴를 고려한 강도설계 정한섭(원자력연구소)
- 10월 29일(금요일) 10:00~16:30
 - 10:00 ASME Code에 의한 압력용기 강도설계 이정배 박사(원자력안전기술원)
 - 12:20 점 심
 - 13:30 경년열화 및 수명평가 김건영 부장(한전기술연구원)
 - 15:30 종합토론회, 폐회식