



---Technical Note---

스트레인 게이지에 의한 측정 ?

스트레인 게이지는 길이의 물리량을 "100만분의 1" 변화 단위를 용이하게 측정할 수 있는 유일한 센서이다. 1938년 아메리카에 소재한 "Simmons & Ruge"에 의해 고안 된 것으로, 주) 쇼와소키에서는 1962년 일본 내에서는 처음으로 개발 제조하였다. 스트레인 게이지는 일반적으로 얇게 박막된 「금속, 고무, 플라스틱, 세라믹 등」의 각종 재료의 응력/스트레인 측정에 의한 물성평가에 이용되고 있으며, 스트레인 게이지에 의한 측정 원리를 아는 것으로 전문적인 지식 없이도 당면한 문제의 해결수단으로서 이용되고 있다.

■ 스트레인 게이지에 의한 측정은 "100만분의 1" 세계

스트레인 게이지는 길이의 물리량을 "100만분의 1"의 변화 레벨로 측정가능하지만, 일반 길이 측정에서는 예를들면 100m의 길이를 0.1mm의 정확도로 측정하는 것은 매우 어렵다. 그러나, 스트레인 게이지로는 "0.3~5mm" 길이의 저항선이 외부 힘에 의해, $\Delta L / L \propto \Delta R / R$ 이기 때문에, 길이에 비례한 저항변화 ΔR 를 전기적인 Wheatstone bridge를 매개로 "100만분의 1" 세계를 추적하는 것이 가능하게 된다.

■ 스트레인 게이지에 의한 측정의 목적

스트레인 게이지는 국부적인 길이변화 ΔL 을 검출하지만, 실제로는 이 변화량으로부터 도출된 물리량인 응력, 외력, 압력 등으로 치환하여 계측하는 것 일반적이다. 또한, 일반적으로 시판되고 있는 스트레인 게이지는 자기온도보상 게이지로 부터, 미지의 선팽창(線膨張)계수 측정으로의 응용도 모색되고 있다.

■ 알고 싶은 스트레인 게이지와 관련한 용어공식

- 스트레인의 정의 : $\epsilon = \Delta L / L$ 게이지율 : $\Delta R / R = K * \epsilon$
- 수직응력과 스트레인의 관계 : $\sigma = E * \epsilon$
- 전단응력과 전단 스트레인의 관계 : $\tau = G * \gamma$
- 수직응력의 계산식 : $\sigma = P / A$
- Beam 곡선에 의한 표면응력의 계산식 : $\sigma = M / Z = 6M / bh^2$ (Z : 전단계수)

□ 환봉의 나선선에 의한 전단응력의 계산식 : $\tau = T / Z_p$ (Zp : 극전단계수)

중축단면 (Zp) : $\pi * d^3 / 16$

공중단면 (Zp) : $\pi * (d^2 * 4 - d1^4) / 16 * d2$

□ '종탄성계수 / E'와 '횡탄성계수 / G'의 관계 : $G = E / 2(1 + \nu)$

- Gage factor / K : 스트레인고 저항변화의 사이에 직선적인 관계가 있는 경우 비례상수.
- Poisson's ratio / ν : 수직응력 " σ "에 의한 종스트레인 " ϵ "과, 이것과 동시에 발생하는 횡스트레인 " ϵ_b "와의 비례한 재료정수.
- 수직응력(stress) / σ : 단위면적당 내력.
- 탄성한도(elastic point) / 강복점(yield point) : " σ "와 " ϵ "가 직선적인 관계로 될 때의 최대 응력
- 횡탄성계수(modulus of elasticity) / E : σ 와 ϵ 가 직선적인 관계로 될 때 비례상수.
- 횡탄성계수(modulus of transverse elasticity) / G : τ 와 γ 가 직선적인 관계로 될 때 비례상수.

■ 자기온도보상게이지(self-temperature compensated gage)

저항체에 있는 게이지가 1℃ 당 저항치가 상대적으로 변화한 경우, $\Delta R / R = \alpha + K(\beta_s - \beta_g)$ 로 나타낼 수 있기 때문에, $0 = \alpha + K(\beta_s - \beta_g)$ 의 관계식이 성립되면 온도에 의한 영향이 없는 것이 되게 된다. 여기서, 게이지의 저항재료 / Advance(Cu54, Ni45, Mn1)의 저항온도계수/" α "는 열처리에 의하여 콘트롤하는 것이 가능하기 때문에 피측정재료의 선팽창계수(線膨張係數)에 맞는 「계측 가능한 스트레인」의 작은 스트레인 게이지를 제작하는 것이 가능하게 된다. 한편, 일반적으로 시판되고 있는 스트레인 게이지는 자기온도보상 게이지가 주류이다(적용모재 : 철, 스텐레스, 알루미늄)

- α : 게이지 저항재료의 저항온도계수
- K : 게이지율
- β_s : 피측정재료의 선팽창계수
- β_g : 게이지 저항재료의 선팽창계수

■ 스트레인 게이지의 일반적인 온도특성(샘플 게이지 : N11-MA-5-120-11)

図1. 熱出力特性

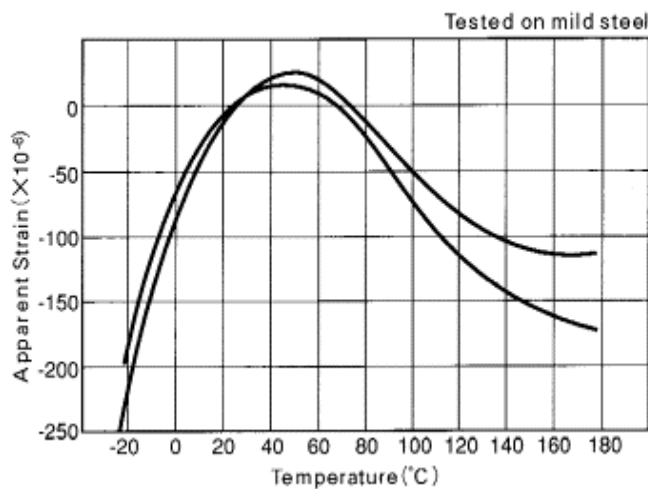


그림 1 은 당사의 자기온도보상형 스트레인 게이지의 온도에 의해 보여지는 출력곡선으로 2 곡선의 폭에 상당하는 분산을 표시하고 더미게이지 없이 ±2μstrain 이내 / °C (상온부근)로 보상한다.

図2. 温度によるゲージ率の変化

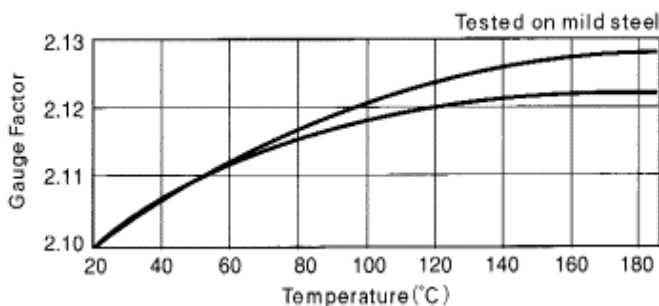
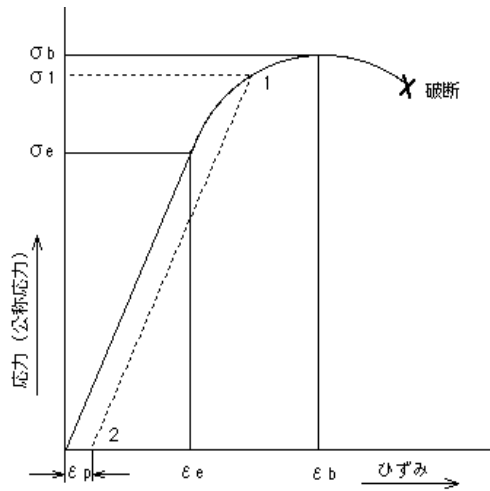


그림 2 에 표시된 특성은 "鋼"에 스트레인 게이지를 부착하여, + 1000 μstrain / 20℃ 로 일정한 스트레인을 부가한 온도를 변화시키는 경우, 게이지의 감도변화를 표시한 곡선이다.

注) 이 곡선은 "鋼"의 "영" 계수변화율을 포함하고 있다.

■ 응력, 스트레인 곡선

스트레인 게이지에 의한 응력 / 스트레인 측정하는 경우는 재료에 대한 "σ"와 "ε"의 기본적인 관계를 이해할 필요가 있다. 이하, 일반적인 응력, 스트레인 곡선을 포함하고 있다.

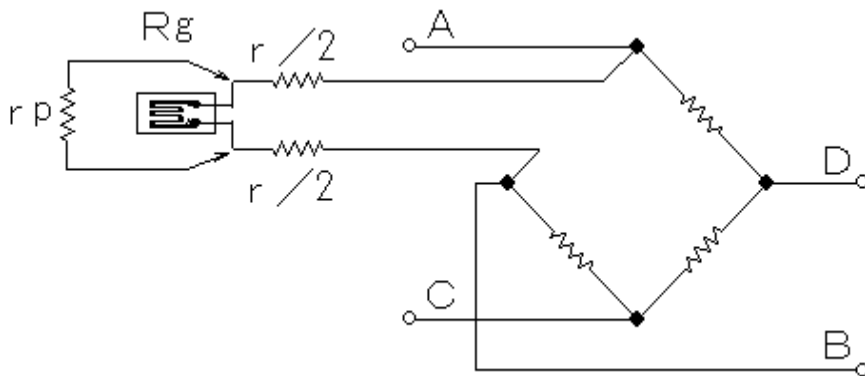


- σe : 탄성한도(elastic limit) / 강복점(yield point)
- σb : 극한응력(ultimate stress) 注) 인장의 경우는 "인장강도(tensile strength)"로 불리운다.
- εp : 영구 스트레인(permanent set)
- E : 종탄성계수(modulus of elasticity) 또는 "영" 계수 비율(Young's modulus)로 불리고, 응력 / 스트레인의 직선범위에서 경사에 해당하고 $E = \sigma / \epsilon$ 로 표시된다.

참고) σ1 : 영구 스트레인이 남은 상태로 있는 새로운 부하를 가하는 경우, 곡선 2 - 1 를 따라 새로운 강복점(降伏点) σ1이 된다. 소위, 소성변형(塑性□形)하는 것에 의해 강복점이 변화하는 재료는 「Fear」 하면서 「Brittle」 하게 된다.

■ 브릿지의 한쪽으로 병렬저항 삽입에 의한 간단한 등가스트레인 발생법

스트레인 게이지의 리드선 또는 브릿지 박스 앰프 사이의 케이블이 수십m로 길 경우는 리드선 저항에 의한 감도변화의 영향이 크기 때문에 정확한 교정식(등가 스트레인)의 발생을 일으키는 방법으로 하기 그림 처럼 스트레인 게이지에 병렬저항(rp)을 삽입한다. 게다가 고정 스트레인(ε), 삽입저항(rp)와 게이지 저항(Rg)는 다음 식과 같은 관계가 된다.



$Rg / (rp + Rg) = K * \epsilon$ 로 부터
 $rp = Rg / (K * \epsilon)$ 가 된다.

例)

브릿지 저항 / Rg : 120Ω、K : 2.00 일 때, 교정 스트레인 2000×10^{-6} 을 발생하였을 경우, 상기 계산식에 의해 삽입저항식은 30kΩ 근처가 된다. 또한 스트레인 측정범위에 대응하는 외부 CAL 저항을 준비하면 좋다.

<스트레인 게이지 제품자료는 기술영업부로 요청하십시오.>

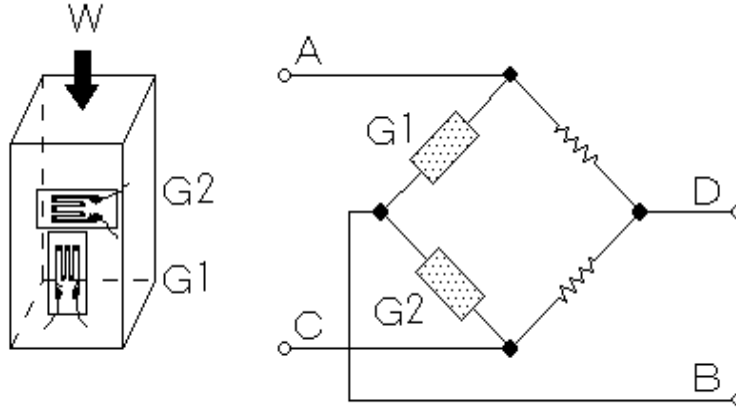
< 2 게이지법 (B) >

힘의 방향과 그것과 직각의 방향에서 스트레인 게이지를 접착하여, 밑의 그림처럼 접속하면 밑의 기동 응력(σ)과 힘 W 이 다음 식으로 표시된다.

$$\sigma = \epsilon_0 \cdot E / (1 + \nu) \quad \nu : \text{Poisson 비율}$$

$$W = A \cdot \sigma = A \cdot \epsilon_0 \cdot E / (1 + \nu)$$

또한 지시 스트레인(ϵ_0)은 ϵ_1 과 $\epsilon_2 (= -\nu \epsilon_1)$ 의 절대치로 출력된다.



引張、圧縮応力計測 (2ゲージ法)

■ 곡선응력의 계측

< 1 게이지법 >

일단(一端)을 고정하고, 다른 단에 힘을 가한 구형(矩形) 단면 cantilever의 표면에 스트레인 게이지를 1개 접착한 위치의 표면응력(σ)은

$$\sigma = \epsilon_0 \cdot E$$

가해진 힘(W)에 의한 모멘트 M 은

$$M = W \cdot x$$

x : 힘이 가해진 위치로부터 스트레인 게이지 중심까지의 거리량 표면응력(σ)과 스트레인(ϵ_0)은 차기식으로 표시된다.

$$\sigma = M / Z$$

$$M = Z \cdot \epsilon_0 \cdot E$$

Z : 양(梁)의 단면계수 구형단면 경우의 단면계수는

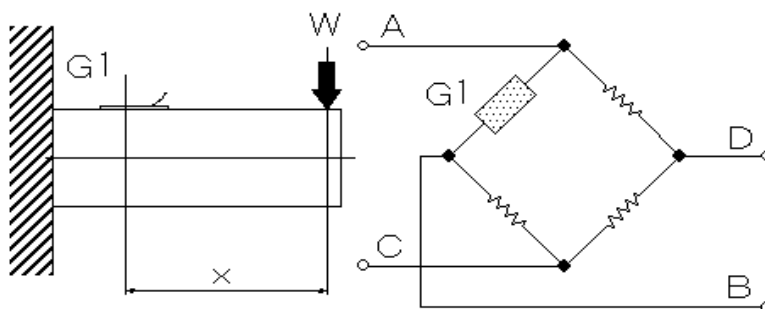
$$Z = b \cdot h^2 / 6$$

b : 양의 폭

h : 양의 두께

로부터, 스트레인(ϵ_0)과 양에 부가된 힘(W)의 관계는 다음 식과 같이 표기된다.

$$W = b \cdot h^2 \cdot E \cdot \epsilon_0 / 6 \cdot x$$



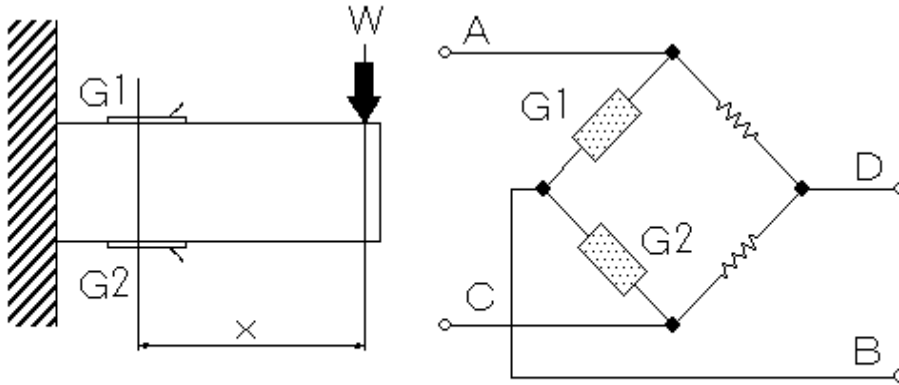
曲げ応力計測 (1ゲージ法)

<스트레인 게이지 제품자료는 기술영업부로 요청하십시오.>

< 2 게이지법 >

양(梁)의 이표대칭위치(裏表□□位置)에 스트레인을 접착하면 스트레인 게이지의 출력은 절대치가 동일하고 부호가 역으로 된다. 이 스트레인 게이지를 옆에 접속하면, 곡선 스트레인은 2 배가 되어 축방향의 힘에 의한 스트레인은 제거된다.

이때의 응력은
 $\sigma = \epsilon_0 * E / 2$



曲げ応力計測 (2 게이지법)

■ 전단응력의 계측

전단응력(τ) 은

$$\tau = F / S$$

F : 전단력
 S : 양(梁)의 단면적

이 경우의 전단력은 F = W가 되어, 양의 단면적은 S = b * h로 부터 전단응력(τ) 은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\tau = W / b * h$$

b : 양의 폭
 h : 양의 두께

또는 전단응력(τ)와 전단 스트레인(γ)의 관계는

$$\tau = G * \gamma$$

G : 횡탄성계수

로 부터

$$\gamma = W / G * b * h$$

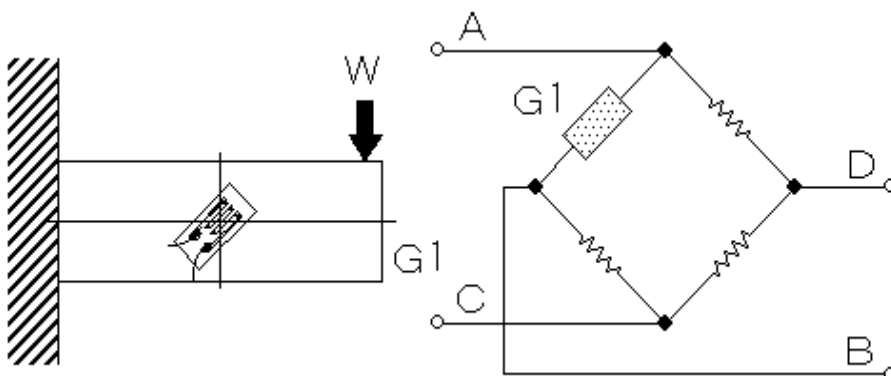
가 된다.

또한, 전단 스트레인 γ (rad)는 45° 방향의 스트레인 ε₀의 2 배에 상당한 것이므로, ε₀를 구하는 것에 의해 전단응력(τ)와 전단력(W)를 구하는 것이 가능하다.

$$\gamma = 2 * \epsilon_0$$

$$\tau = 2 * G * \epsilon_0$$

$$W = 2 * G * b * h * \epsilon_0$$



<스트레인 게이지 제품자료는 기술영업부로 요청하십시오.>

■ 나사선 응력의 계측

밑의 그림처럼 나사선 모멘트($M \omega$)를 받고있는 축에서 전단응력이 축표면에서 최대가 되는 식은

$$\tau_{max} = M \omega / Z_p$$

Z_p : 극전면계수로 되고, 표면전단 스트레인은 γ 는

$$\gamma = \tau_{max} / G = M \omega / G * Z_p$$

또한,

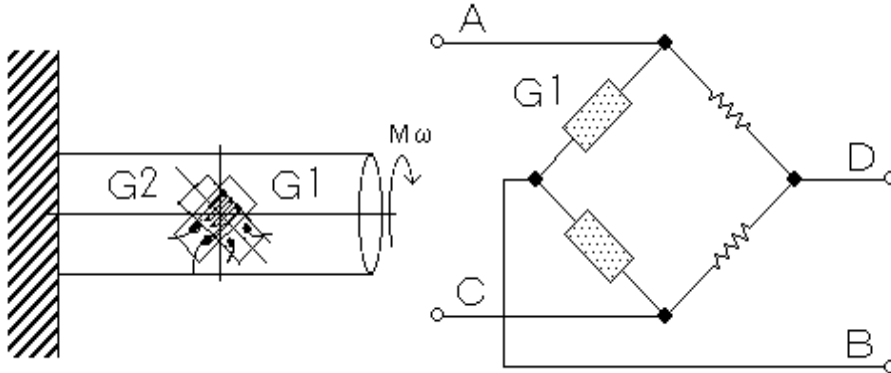
$$\gamma = 2 * \epsilon_o$$

로 부터 2 게이지법에서 계측하면 그 지시 스트레인(ϵ_o')이 표면전단 스트레인 식으로 되고, 전단응력(τ)과 나사선 모멘트($M \omega$)는 차기식으로 표시된다.

$$\tau_{max} = G * \epsilon_o'$$

$$\epsilon_o' = \gamma = 2 * \epsilon_o$$

$$M \omega = G * Z_p * \epsilon_o'$$



참고)

종탄성계수(E)와 횡탄성계수(G)는 $G = E / 2(1 + \nu)$ 의 관계이고, 다음 식 처럼 계산되는 경우도 있다.

$$\tau_{max} = G * \epsilon_o' = 2 * \epsilon_o * E / 2(1 + \nu)$$

$$\epsilon_o = \tau_{max} * (1 + \nu) / E$$

$$M \omega = E * Z_p * \epsilon_o' / 2(1 + \nu) = E * Z_p * 2 * \epsilon_o / 2(1 + \nu)$$

로 부터

$$M \omega = E * Z_p * \epsilon_o / (1 + \nu)$$