

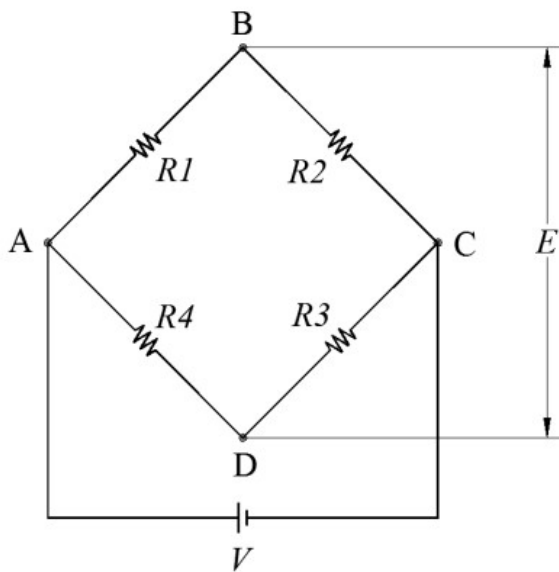
nightime-mech.tistory.com

휘스톤 브리지(Wheatstone Bridge) 회로의 원리, 변형률 측정 방법의 종류(휘스톤 브릿지 관점, 스트레인 측정 측정, Strain gauge)

깜장스

~3분

1. 휘스톤 브리지(Wheatstone Bridge)



4개의 저항이 정사각형을 이루는 회로로 일반적으로 미지의 저항값을 구하기 위해서 사용한다.

예를 들어 위의 그림에서 R3 가 미지의 저항이라고 할 때(R1, R2, R4의 값은 알 때)

$R1 R3 = R2 R4$ 를 만족하는 R값이 R3값이 된다. (가운데로 전류가 흐르지 않는 상태일 때 해당됨.)

극도로 작은 저항 변화를 정확하게 측정해야 하는 곳에 적용할 수 있

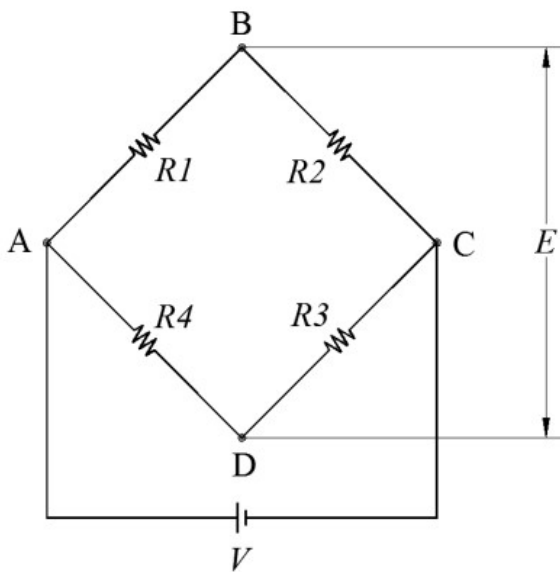
지만,

브리지가 가장 많이 사용되는 곳은 변형률, 온도, 압력과 같은 물리량을 측정하는 변환기이다.

2. 작동 원리

휘스톤 브리지는 변형률 측정 (스트레인 측정, Strain gauge)에 많이 활용되므로,

변형률 측정 관점에서 간략히 설명하겠습니다.



절점 A와 B 사이에 걸리는 전압 V_{AB} 와 절점 A와 D 사이에 걸리는 전압 V_{AD} 는 전압 분배 법칙에 의하면

아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$$

$$V_{AD} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V$$

절점 B와 D 사이에 걸리는 브리지 출력 전압 E는 다음과 같이 계산된다.

$$E = V_{AB} - V_{AD}$$

$$= \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V$$

$$= \frac{V}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

이렇게 구성한 브리지의 초기 상태는 **평행 상태가 된다 (E = 0)**

즉 가운데로 전류가 흐르지 않게 되며, 아래의 조건을 만족하게 된다.

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$

브릿지가 초기화된 상태에서 실험을 시작하면, 저항기 R1, R2, R3, R4의 저항값이

$\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ 만큼씩 변할 것이고, 이때의 브리지의 출력 전압 $\Delta E = E - E_0 = E$ 가된다. (E_0 는 0 이므로)

위의 식들을 정리하면 아래와 같이 정리가 가능하다.

(식을 정리할 때 미소 변화량 간의 곱은 매우 작은 값으로 수식에서 제거하였음.)

$$\Delta E = \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4)} V$$

$$\Delta E = V \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

이제 이 식을 저항비 $m = R_1 / R_2$ 로 두고 추가 정리가 가능하다.

$$\Delta E = V \frac{m}{(1+m)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

휘트스톤 브리지를 이용한 변형률의 측정에서 지배 방정식의 역할을 하는 매우 중요한 식이다.

모든 센서에는 고유의 감도(sensitivity)가 있다.

휘스톤 브리지로 변형률을 측정할 때, 브리지의 감도는 “단위 변형률에 대해 브릿지가 출력하는 전압의 크기”를 말한다.

즉, 휘트스톤 브리지의 감도 (S_W)는

$$S_W = \frac{\Delta E}{\epsilon}$$

$$= \frac{V}{\epsilon} \frac{m}{(1+m)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

여기서 ϵ 는 변형률이다.

3. 변형률 측정 방법의 종류(휘스톤 브리지 관점)

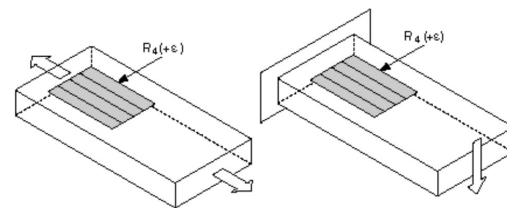
총 4개의 branch 가운데 몇 개의 분지에 변형률 게이지를 부착하느냐에 따라 브리지의 배열이 달라지며,

이렇게 변형률 게이지로 대체된 저항을 능동 저항(active resistance)이라 한다.

휘트스톤 브리지에서는 이런 능동 저항, 곧 능동 변형률 게이지(active strain gage)가 부착된 분지의 수에 따라

브리지의 종류를 구분한다.

① 분지가 1개일 때 (quater bridge)



쿼터 브릿지 (출처 : <https://www.ni.com/ko-kr/innovations/white-papers/07/measuring-strain-with-strain-gages.html>)

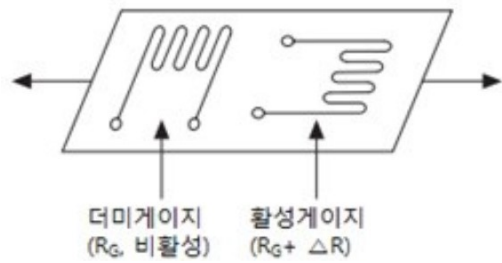
굽힘 변형률 또는 축 변형률을 측정합니다.

굽힘 변형은 모멘트 변형이라고도 합니다.

굽힘 변형률은 굽힘 응력과 영 탄성 계수의 비율로 정의됩니다.

모멘트 스트레인 구성에 사용되는 스트레인 게이지를 사용하여 수직 하중을 결정할 수 있습니다.

축 변형률은 축 변형률에 스트레인 게이지가 사용되는 축 방향 하중을 결정하기 위해 축 응력과 영률의 비율로 정의됩니다.



이상적으로 스트레인 게이지의 저항은 적용된 스트레인에만 반응하여 변화해야 합니다.

그러나 스트레인 게이지 재질뿐만 아니라 게이지가 적용되는 측정 대상의 재질도 온도의 변화에 반응합니다.

스트레인 게이지 2개를 브리지에 사용하여 추가적으로 온도의 영향을 최소화하도록 도와줍니다.

위의 그림과 같이 일반적으로 하나의 스트레인 게이지가 활성화되고 두 번째 스트레인 게이지가 열 접촉부에

가깝게 장착되지만, 측정 대상에 접합되지 않고 스트레인의 기본 축에 수평 방향으로 놓이지 않습니다.

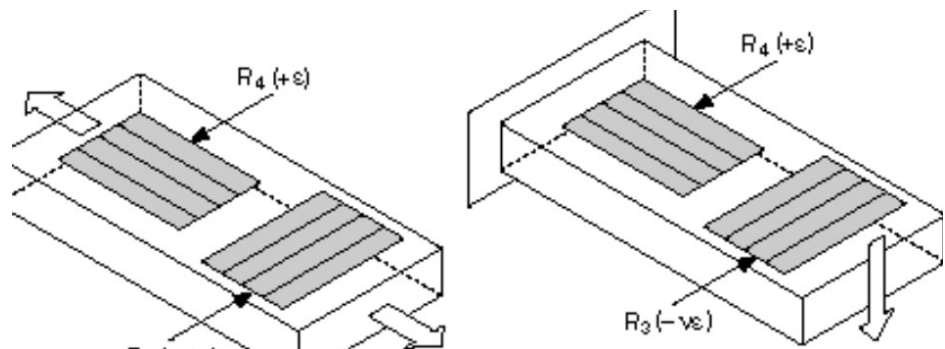
따라서 스트레인이 이 더미 게이지에 영향을 거의 주지 않지만, 모든 온도 변화는 두 게이지에 대해 동일한 방식으로

영향을 미칩니다.

온도 변화가 두 스트레인 게이지에 동일하게 적용되므로, 저항의 비율과 출력 전압(E)은 변하지 않으며

온도의 영향이 최소화됩니다.

② 분지가 2개일 때 (half bridge)



하프 브릿지 (출처 : <https://www.ni.com/ko-kr/innovations/white-papers/07/measuring-strain-with-strain-gages.html>)

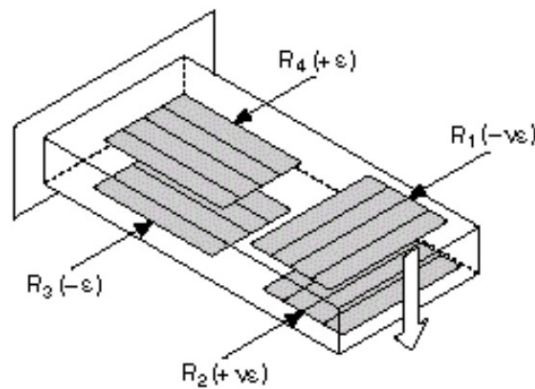
굽힘 또는 축 변형을 측정에 사용하며 때로는 굽힘 변형률만 측정할

때 사용한다.

하프 브리지 설정에서 두 스트레인 게이지를 활성화하여 스트레인에 대한 브리지의 민감도를 두 배로 증가시킬 수 있는

장점이 있다.

③ 분지가 4개일 때 (full bridge)



풀 브릿지 (출처 : <https://www.ni.com/ko-kr/innovations/white-papers/07/measuring-strain-with-strain-gages.html>)

굽힘 변형률 혹은 축 변형률만 측정하고자 할 때 사용한다.