



# Physics Laboratory

---

## 실험 2-3. 휘트스톤 브리지

### 실험 목적

휘트스톤 브리지(Wheatstone Bridge)는 저항과 전원 등을 특정한 방식으로 연결해서 만든 회로로, 이를 이용하면 아직 모르는 저항의 값(미지저항)을 측정할 수 있다. 이 실험에서는 휘트스톤 브리지 장치를 써서 여러 가지 미지저항의 값을 구해보고, 이를 통해 휘트스톤 브리지의 구조 및 원리를 이해하고 나아가 전기 회로에 대한 키르히호프의 법칙을 알아본다.

### 실험 개요

- 휘트스톤 브리지 실험 장치를 사용해서 미지저항(12 종류)들의 전기 저항을 알아내고, 실제 멀티미터로 측정한 값과 부합하는지 비교해 본다.
- 키르히호프 법칙을 적용해서 휘트스톤 브리지의 원리를 알아본다.

## 실험 방법

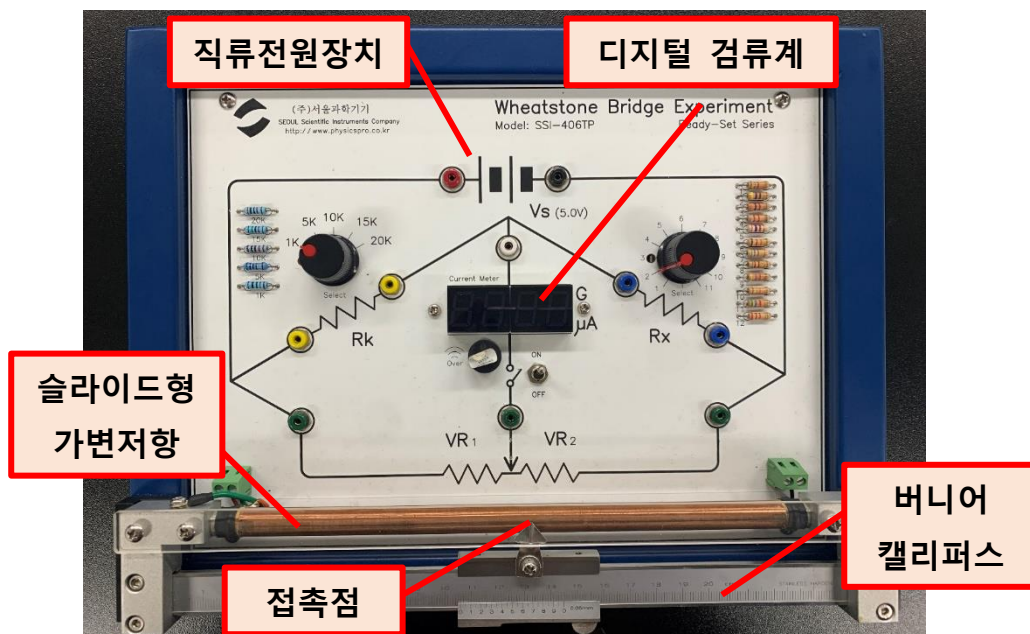
실험실에는 다음과 같은 장치가 준비되어 있다.

Ready-Set 휘트스톤 브리지 실험 장치 (Model: SSI-406TP)	직류전원장치	1 개
	$R_k$ 저항	5 개
	미지저항 ( $R_x$ )	12 개 (수백 $\Omega$ ~수십 k $\Omega$ )
	버니어 캘리퍼스	1 개
	슬라이드형 가변저항	1 개
멀티미터		1 대

이외에도 더 필요한 것이 있으면 담당 조교에게 문의하거나 각자 미리 준비하도록 한다.

먼저 실험 장치의 구성과 특징을 간략히 알아보자 (그림 1 참조)

실험 장치의 뒷개에는 휘트스톤 브리지의 회로도가 그려져 있다.  $V_s$  라고 표시된 것은 직류 전원 장치로, 5 V 전압을 공급한다.  $R_k$ ,  $R_x$ ,  $VR_1$ ,  $VR_2$  로 각각 표시된 것은 저항들인데, 여기서  $R_x$  가 바로 미지저항이다. 편의상 앞으로  $VR_1$  은  $R_1$  으로,  $VR_2$  는  $R_2$  라고 약칭하기로 하자.



[그림 1] 휘트스톤 브리지 실험 장치

이 네 저항은 저마다 값을 바꿀 수 있다. 왼쪽 다이얼을 돌리면 그 옆에 위치한 다섯 개의 저항(표기된 저항값은 각각 1 k $\Omega$ , 5 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 15 k $\Omega$ , 20 k $\Omega$ ) 중 하나가  $R_k$

저항으로서 회로의 다른 부분과 연결된다. 그리고 이와 비슷하게 오른쪽 다이얼을 돌리면 그 옆의 12 개의 저항들 중 하나가  $R_x$  저항이 되는 것이다.  $R_1$  저항과  $R_2$  저항은 장치 하단에 있는 슬라이드형 가변저항을 두 부분으로 나눈 것이다. 이들 둘을 나누게 되는 접촉점은 버니어 캘리퍼스와 연결되어 있어 위치의 조절과 측정이 용이하다. 마지막으로 디지털 검류계가 있어 이 검류계를 통과해서 흐르는 전류를 측정할 수 있다.

권장할 만한 표준적인 실험 방법은 다음과 같다.

<스텝 1> 먼저 멀티미터를 사용해서  $R_k$  자리에 들어갈 수 있는 다섯 개의 저항과,  $R_x$  자리에 들어갈 수 있는 12 개의 저항들의 저항값을 모두 측정해 둔다.  $R_k$  의 경우 표기된 값과 측정값이 잘 일치하는지 확인한다. 측정중인 저항은 회로의 다른 부분으로부터 분리된 상태(즉 다이얼로 선택하지 않은 상태)여야 하는데, 왜 그런지 생각해 보자.

<스텝 2> 이제 장치의 전원을 켜고,  $R_x$  의 다이얼을 돌려 미지 저항 1 번을 선택한 다음 검류계의 스위치도 켜다. 이 때 경보음이 들릴 수도 있는데, 이는 검류계에 흐르는 전류가 일정 이상의 크기임을 의미한다.

<스텝 3> 슬라이드형 가변저항의 접촉점을 중앙 정도 위치에 두고,  $R_k$  의 다이얼을 돌려가며 경보음이 들리지 않는  $R_k$  를 찾는다. 만약 그러한  $R_k$  가 없다면 가변저항의 접촉점을 옮기고 다시 찾는다. 단 여전히 접촉점은 가변저항의 중앙에 될 수 있는 한 가까운 것이 좋다.

<스텝 4> 가변저항의 접촉점의 위치를 조절하며 검류계에 표시되는 전류가 0 이 되도록 맞춘다. 그리고 이 때의 접촉점의 위치를 읽어,  $R_1$  의 길이를 기록한다. 또한 멀티미터로  $R_1$  에 걸리는 전압(즉 양단 사이의 전위차) 및  $R_2$  에 걸리는 전압도 측정해서 기록해 둔다. 전압을 잴 때는 덮개 위로 노출된 단자에 멀티미터의 탐침을 대면 편하다.

(참고 1)  $\ell_1$  은 슬라이드형 가변저항에서 접촉점 왼쪽 부분의 길이라고 할 수 있다. 가변저항의 전체 길이는 20 cm 이므로,  $\ell_2$ 는  $20\text{ cm}-\ell_1$  으로 구할 수 있다.

(참고 2)  $\ell_1$  과  $R_1$  및  $R_2$  의 전압은 모두  $R_2/R_1$  를 알아내기 위해 측정하는 것이다. 이상적인 상황이라면  $R_2/R_1$  은  $\ell_2/\ell_1$  와 같다. 그런데 이는 실제 실험 장치에서 접촉점이 가변저항의 중앙 근처일 때는 비교적 잘 맞지만, 가장자리와 가까울 때는 그렇지 않을 수 있다. (앞에서 접촉점을 중앙 근처에 두도록 권한 이유가 여기에 있다) 따라서 비교 검토를 위해 다른 방식도 사용한 셈이다. 가변저항은 실험 장치에서 쉽게 분리할 수 없으므로, 저항을 직접 측정하기보다 전압을 재서 간접적으로 비율을 알아내는 방법이 사용되었다.  $R_2/R_1$  을 알아내는 두 방식의 장단점과 그 이유를 생각해 보자.

<스텝 5>  $R_x$  다이얼을 돌려 미지 저항을 2 번부터 12 번까지 바꾸어가며, 위 <스텝 3>과 <스텝 4>의 실험을 반복 수행한다.

<스텝 6> 측정 결과를 이용해서 각 미지저항의 저항값을 구한다.  $R_2/R_1$  가  $\ell_2/\ell_1$  와 같다고 둔 채로 계산해 보고(①), 전압비와 같다고 두고도 계산해 본다(②). 결과가 각각 앞에서 멀티미터로 직접 잰 것과 비교했을 때 얼마나 오차를 갖는지도 알아본다.

실험 노트의 작성은 다음과 같은 방법으로 하는 것이 좋다.

가변저항의 전체 길이 : 20 cm

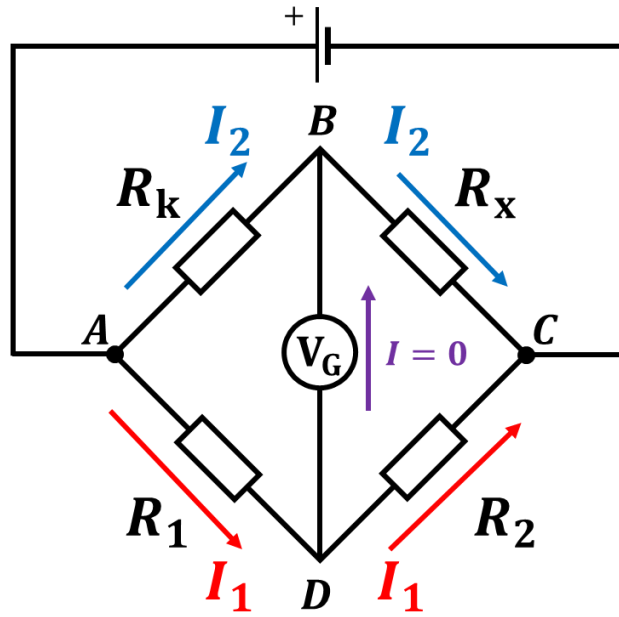
미지 저항		사용한 $R_k$ (k $\Omega$ )	측정값			계산 결과	
번호	멀티미터 측정값(k $\Omega$ )		$\ell_1$ (cm)	$R_1$ 전압 (V)	$R_2$ 전압 (V)	$R_x$ (k $\Omega$ ) ①	$R_x$ (k $\Omega$ ) ②
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

## 배경 이론

이 실험에서 사용하는 휘트스톤 브리지의 회로도는 그림 2 와 같이 나타낼 수 있다. 이를 보면서 미지저항의 값  $R_x$ 를 구하는 원리를 알아보자.

저항  $R_1$  과  $R_2$  의 값을 적당히 선택해서 B지점과 D지점의 전위를 같게 만들었다고 하자. 그러면 두 지점 사이에는 전류가 흐르지 않는다. 즉 검류계  $V_G$ 가 측정하는 전류는 0 이 된다. 따라서 키르히호프의 전류 법칙에 의해  $R_1$  과  $R_2$  에는 서로 같은 전류( $I_1$  이라 하자)가 흐를 것이고,  $R_x$  와  $R_k$  에도 서로 같은 전류( $I_2$  라고 하자)가 흐르게 될 것이다. 옴의 법칙을 이용하면 각 저항의 전압은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_{AD} = I_1 R_1, V_{DC} = I_1 R_2, V_{AB} = I_2 R_k, V_{BC} = I_2 R_x \quad (1)$$



[그림 2] 휘트스톤 브리지 회로도

$V_{AD}$  는 D 지점의 전위에서 B 지점의 전위를 뺀 값을 의미한다. (다른 것들도 같은 방식으로 표기되었다) 다음으로 키르히호프의 전압 법칙을 이 회로에 적용해 보면,  $V_{AD} + V_{DB} + V_{BA} = 0$  이고  $V_{DC} + V_{CB} + V_{BD} = 0$  임을 알 수 있다. 그런데  $V_{BD}$  는 0이므로, 다음과 같은 식이 성립하게 된다.

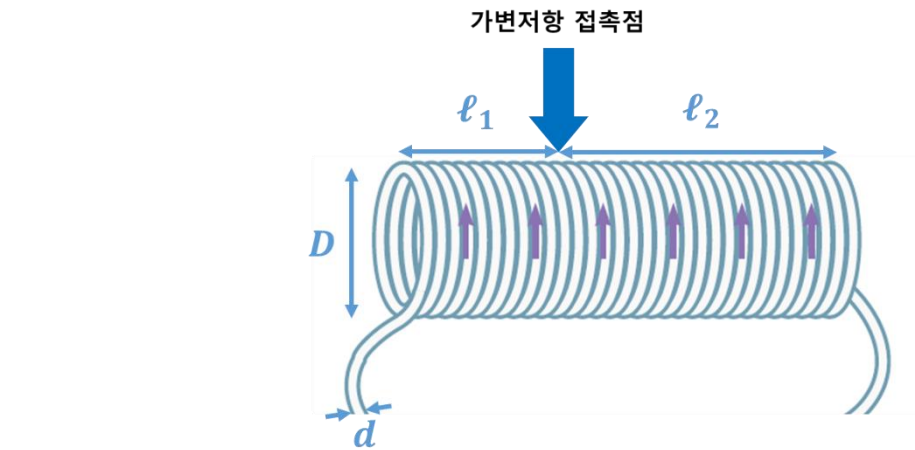
$$V_{AD} = V_{AB}, \quad V_{DC} = V_{BC} \quad (2)$$

(1) 과 (2) 를 이용하면 다음 결과를 구할 수 있다.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_k} \rightarrow R_x = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) R_k \quad (3)$$

따라서 미지 저항  $R_x$ 는  $R_k$ 와  $R_2/R_1$ 을 알면 구할 수 있다.

$R_2/R_1$ 를 알아내는 방법을 간략히 살펴보자. 위 식 (1)에 의하면  $V_{DC}/V_{AD} = R_2/R_1$  이므로, 전압  $V_{DC}$ 와  $V_{AD}$  사이의 비율을 알면 된다. 다른 방식은 슬라이드형 가변저항의 구조를 이용하는 것이다. 이 실험에서 사용된 슬라이드형 가변저항의 구조는 그림 3처럼 단순화시켜 생각할 수 있다. 접촉점은 움직일 수 있고, 저항은 직경이  $D$ 인 원통에 지름  $d$ , 비저항  $\rho$ 인 도선을 빈틈 없이 균일하게 감아서 만들었다고 가정하자.



[그림 3] 슬라이드형 가변저항의 구조 모식도  
(코일 그림은 Cutnell, 2013, p657.)

접촉점이 가변저항을 길이  $\ell_1$  인 부분(즉  $R_1$ )과 길이가  $\ell_2$  인 부분(즉  $R_2$ )으로 나눈다면 두 부분의 저항은 각각

$$R_1 = \rho \frac{1}{A} L_1 = \rho \frac{1}{\pi(d/2)^2} (\pi D) \frac{\ell_1}{d} = 4\rho \frac{D}{d^3} \ell_1 \quad (4)$$

$$R_2 = \rho \frac{1}{A} L_2 = \rho \frac{1}{\pi(d/2)^2} (\pi D) \frac{\ell_2}{d} = 4\rho \frac{D}{d^3} \ell_2 \quad (5)$$

이다. 그러므로 두 저항의 비  $R_2/R_1$ 는  $\ell_2/\ell_1$  과 같다고 할 수 있다.

## 참고문헌

- 1) 김경헌 외 15인, 대학물리학, 2007.
- 2) 한국물리학회, 일반물리학실험, 1997.
- 3) Walker, J., *Halliday & Resnick's Principles of Physics* (11th ed.), 2020.
- 4) Cutnell, J. D. et al., *Introduction to Physics* (9th ed.), 2013.