

05 직렬과 병렬

5.1 실험 주제

- 직렬과 병렬연결의 특징을 알아보고 차이점을 익힌다.
- 직렬 및 병렬로 연결된 저항 회로에서 전체 저항을 구한다.
- 직렬 및 병렬회로의 전류와 전압을 측정한다.

5.2 실험 장비

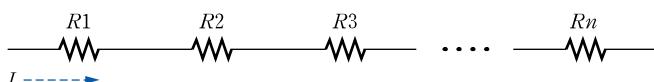
실험 기기	직류전원 공급 장치	1대	
	디지털 멀티미터	1대	
	브레드보드	1개	
회로 부품	저항	100[Ω], 200[Ω], 300[Ω], 510[Ω], 680[Ω]	각 1개

5.3 실험을 위한 기초 이론

회로의 연결 형태에는 직렬과 병렬이 있다. [그림 5-1]과 [그림 5-2]는 저항으로 구성한 직렬 및 병렬회로의 예다.

5.3.1 직렬연결

직렬연결은 [그림 5-1]과 같이 저항을 연속적으로 연결한 형태다. 따라서 회로를 흐르는 전류 I 는 어느 위치에서나 일정하다. 반면에 각 저항에 걸린 전압은 (저항의 크기가 다르다면) 옴의 법칙에 따라 다른 값을 나타내게 된다.



[그림 5-1] 저항의 직렬연결

저항을 직렬로 연결할 때 전체 저항(R_T)은 식 (5.1)과 같이 단순히 각 저항의 합이다. 이 식은 저항을 직렬로 연결할수록 전체 저항이 커짐을 나타낸다.

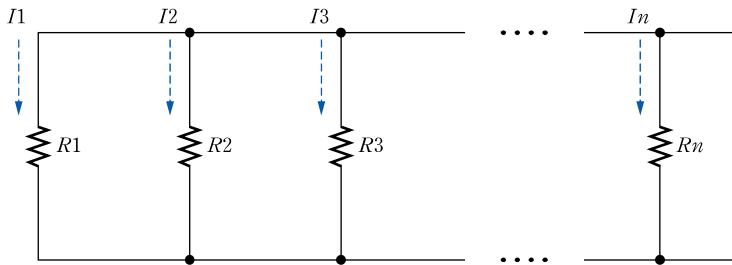
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (5.1)$$

또 다른 특징은 [그림 5-1]과 같이 전류가 흐를 수 있는 경로가 오직 하나라는 점이다. 이 점을 기억해두면 직렬과 병렬을 구별하는 데 도움이 된다.

5.3.2 병렬연결

[그림 5-2]는 저항의 병렬연결을 나타낸 그림이다. 이 경우에는 각 저항의 위쪽과 아래쪽 리드선이 공통으로 연결되어 있다. 따라서 각 저항에 걸리는 전압은 저항의 크기에 관계없이 모두 같다. 반면에 각 저항에 흐르는 전류는 (저항의 크기가 다르다면) 다른 값을 나타낸다.

[그림 5-2]에서 각 저항으로 나뉘어 흐르는 전류를 가지전류(Branch Current)라 한다. 가지 전류는 옴의 법칙에 따라 저항의 크기에 반비례한다.



[그림 5-2] 저항의 병렬연결

저항을 병렬로 연결할 때 전체 저항(R_T)은 식 (5.2)로 주어진다. 이 식은 각 저항의 역수를 더한 후 다시 역수를 취하는 형태다.

$$R_T = 1 / \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n} \right] \quad (5.2)$$

식 (5.2)는 저항을 병렬로 연결할수록 전체 저항이 작아짐을 나타낸다. 계산을 통하여 이를 확인해보자. 예를 들어 $100[\Omega]$ 의 저항 2~4개를 병렬로 연결하는 경우를 생각해보자.

- 2개 : $R_T = 1 / \left[\frac{1}{100} + \frac{1}{100} \right] = 1 / \left[\frac{1}{50} \right] = 50[\Omega]$

- 3개 : $R_T = 1 / \left[\frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} \right] = 1 / \left[\frac{3}{100} \right] = \frac{100}{3} = 33.3 [\Omega]$
- 4개 : $R_T = 1 / \left[\frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} \right] = 1 / \left[\frac{4}{100} \right] = 25 [\Omega]$

위의 결과로부터 병렬로 연결할 때 전체 저항은 개별 저항의 값보다 작아짐을 알 수 있다. 즉, 병렬연결이 증가할수록 전체 저항은 더 감소한다.

5.3.3 직렬과 병렬의 특징

저항이 직렬로 연결되면, 하나의 경로를 흐르는 전류 흐름을 여러 개의 저항이 방해하므로 전류가 감소한다. 따라서 식 (5.1)과 같이 전체 저항이 증가하는 형태의 수식으로 표현된다.

반면에 저항이 병렬로 연결되면, 전류가 흐를 수 있는 새로운 경로가 추가되는 것이므로 회로 전체의 전류가 증가한다. 식 (5.2)는 이를 반영하고 있으며, 병렬로 연결되는 저항이 증가할 수록 전체 저항이 감소하는 형태로 만들어져 있다.

[표 5-1]은 (크기가 다른 저항을 사용하여 구성한) 직렬 및 병렬 회로에 대한 전류와 전압을 비교한 표다. 이를 참조하여 직렬과 병렬의 차이점을 정리해 두자.

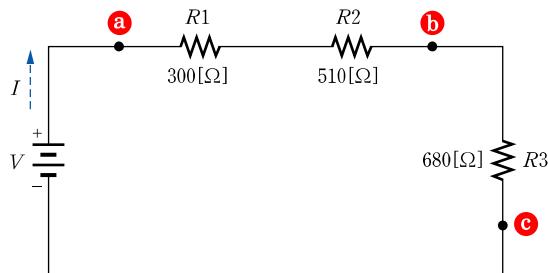
[표 5-1] 직렬과 병렬의 특징

연결 방법	전류	전압	전류 경로	전체 저항
직렬	일정하다	다르다	단일 경로	저항 수에 비례
병렬	다르다	일정하다	여러 개	저항 수에 반비례

5.4 실험

5.4.1 직렬연결

- (1) [그림 5-3]의 실험 회로를 구성하라. 이때 저항 R_1 , R_2 , R_3 는 각각 $300[\Omega]$, $510[\Omega]$, $680[\Omega]$ 으로 한다.



[그림 5-3] 실험 회로(직렬연결)

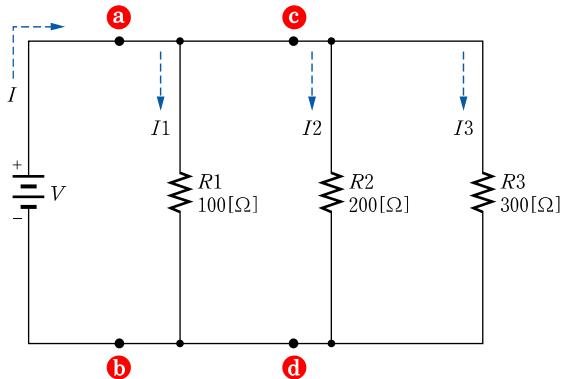
- (2) 전체 저항 R_T 의 이론값을 구하여 [표 5-2]에 기록하라.
- (3) 멀티미터로 전체 저항 R_T 를 측정하여 [표 5-2]에 기록하라. 전체 저항은 [그림 5-3]의 **a** 점과 **c** 점에 프로브를 연결하여 측정하면 된다. 이때 직류전원 V 는 인가하지 않는다.
- (4) 이론값과 측정값 간의 [%]오차를 계산하여 표에 기록하라.
- (5) $V = 5[V]$ 를 인가하고, [그림 5-3]의 **a** 점과 **b** 점의 전류를 각각 측정하여 [표 5-2]에 기록하라.
- (6) 각 저항에 걸린 전압 V_{R1} , V_{R2} , V_{R3} 를 멀티미터로 측정하여 [표 5-2]에 기록하라.

[표 5-2] 직렬연결 실험

전체 저항(R_T)			전류 I			
이론값	측정값	[%]오차	Ⓐ점	Ⓑ점	전압	
			V_{R1}	V_{R2}	V_{R3}	

5.4.2 병렬연결

- (1) [그림 5-4]의 실험 회로를 구성하라. 저항 $R_1 = 100[\Omega]$, $R_2 = 200[\Omega]$, $R_3 = 300[\Omega]$ 을 사용한다. 직류전원 V 로는 5[V]를 인가한다.



[그림 5-4] 실험 회로(병렬연결)

- (2) 전체 저항 R_T 의 이론값을 구하여 [표 5-3]에 기록하라.
- (3) 전체 저항 R_T 를 측정하여 표에 기록하라. 전체 저항은 [그림 5-4]의 ① 점과 ② 점에 프로브를 연결하여 측정하면 된다. 이때 직류전원 V 는 인가하지 않는다.
- (4) 이론값과 측정값 간의 [%]오차를 계산하여 표에 기록하라.
- (5) 전체 전류 I 와 가지전류 I_1 , I_2 , I_3 를 측정하여 [표 5-3]에 기록하라.
- (6) [그림 5-4]에 표시된 ①~② 간의 전압과 ③~④ 간의 전압을 측정하여 표에 기록하라.

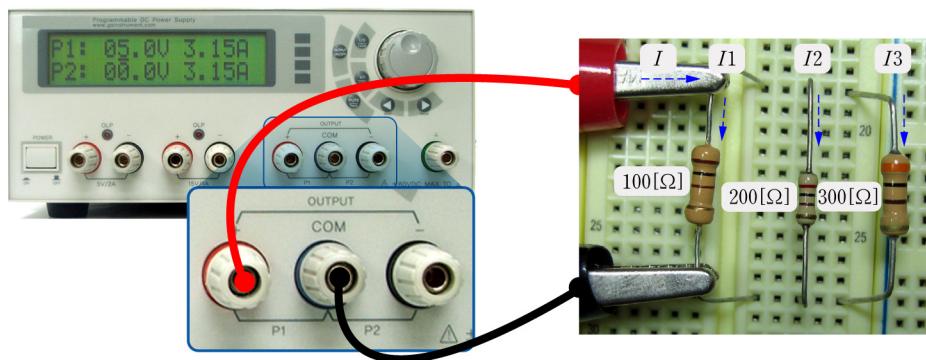
[표 5-3] 병렬연결 실험

전체 저항(R_T)			전류 I					
이론값	측정값	[%]오차	I	I_1	I_2	I_3		
			전압					
			(①~②) 간의 전압		(③~④) 간의 전압			

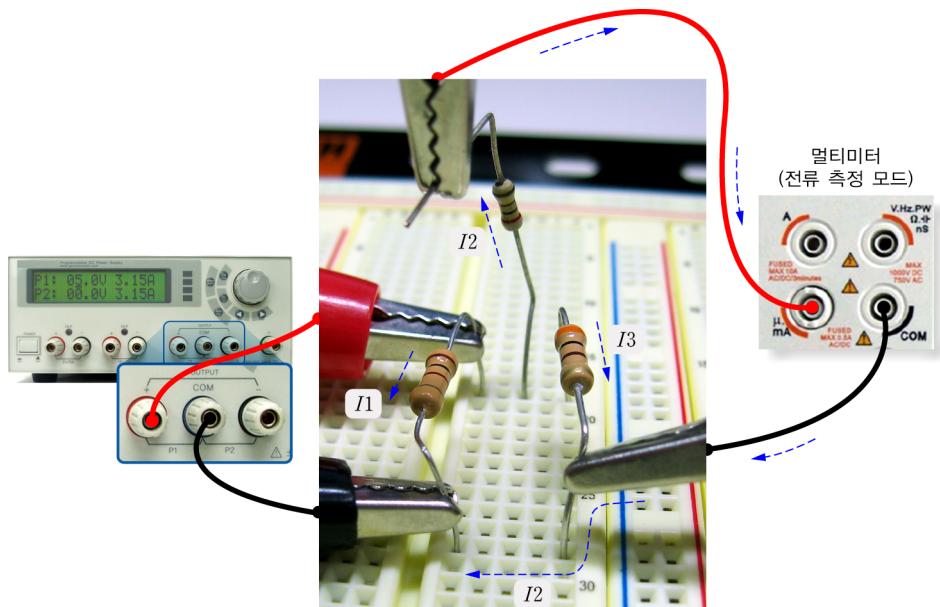
+ 가지전류를 측정하는 방법

전류를 측정하려면 실험 02에서 설명한 바와 같이 멀티미터(전류 측정 모드로 설정)의 프로브를 회로에 직렬로 삽입해야 한다. 그런데 [그림 5-4]와 같은 병렬회로의 경우에는 직렬회로에 비하여 프로브를 삽입할 위치를 찾기 어렵다. 요령은 가지전류가 흐르는 저항의 리드선을 회로에서 분리한 다음, 양 끝에 프로브를 연결하는 것이다.

[그림 5-5]는 [그림 5-4]의 실험 회로를 브레드보드에 구성한 모습이다. 저항의 위쪽 리드선이 (서로 연결된 5개의 구멍에 삽입되어) 공통으로 연결되어 있고, 아래쪽도 마찬가지로 연결되어 있다. 전체 전류 I 와 3개의 가지전류(I_1 , I_2 , I_3)도 그림에 표시해 두었다.



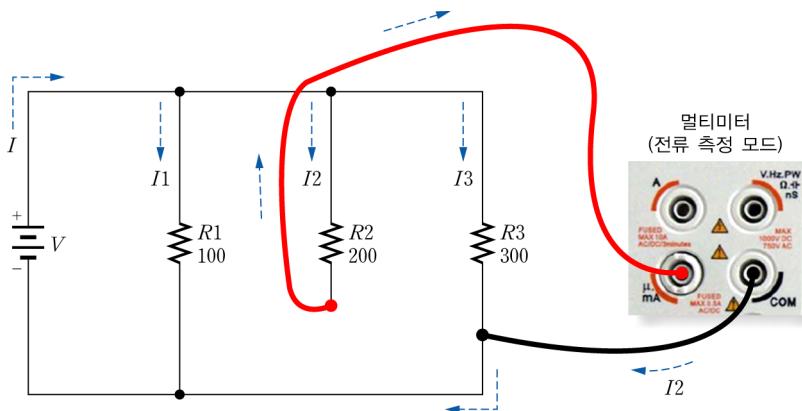
[그림 5-5] 브레드보드에 구성한 실험 회로(병렬연결)



[그림 5-6] 가지전류 I_2 를 측정하는 모습

[그림 5-6]은 가지전류 I_2 의 실제 측정 모습이다. 가지전류 I_2 가 흐르는 저항의 아래쪽 리드선을 분리한 다음, 양 끝에 멀티미터의 프로브를 연결하였다. 이렇게 하면 I_2 는 적색 프로브 → 멀티미터 → 흑색 프로브 → 저항 전원 [−]극 방향으로 흐르면서 측정된다. 이것이 멀티미터를 회로에 직렬로 삽입하는 방법이다.

[그림 5-7]은 가지전류 I_2 를 측정하는 방법을 실험 회로를 이용하여 나타낸 그림이다. [그림 5-6]과 마찬가지로 저항 R_2 의 리드선을 회로에서 떼어낸 다음, 양 끝에 멀티미터의 프로브를 연결하여 I_2 를 측정하고 있다.



[그림 5-7] 가지전류 I_2 를 측정하는 방법

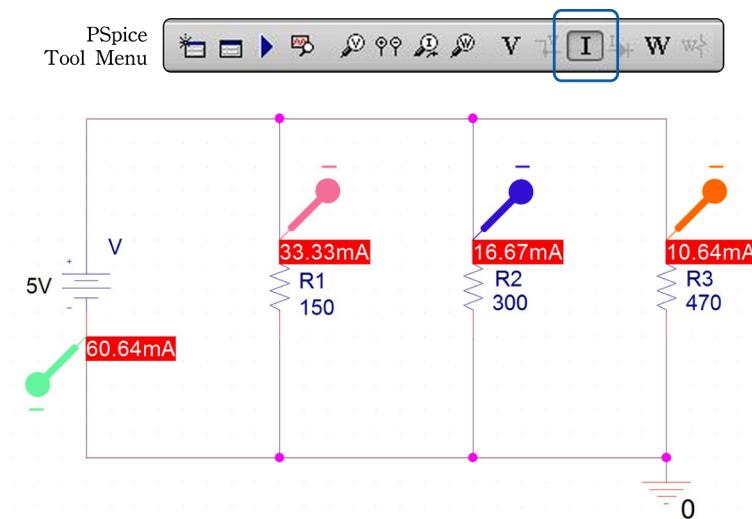
5.5 PSpice 시뮬레이션

5.5.1 시뮬레이션 방법

시뮬레이션 목적		전체전류 I 와 가지전류(I_1 , I_2 , I_3) 구하기
대상 회로		[그림 5-4]의 실험 회로에서 저항을 $150[\Omega]$, $300[\Omega]$, $470[\Omega]$ 으로 변경
시뮬레이션 설정	Analysis type	Time Domain(Transient)
	Options	General Settings 해석
	Run to time	40[ms]

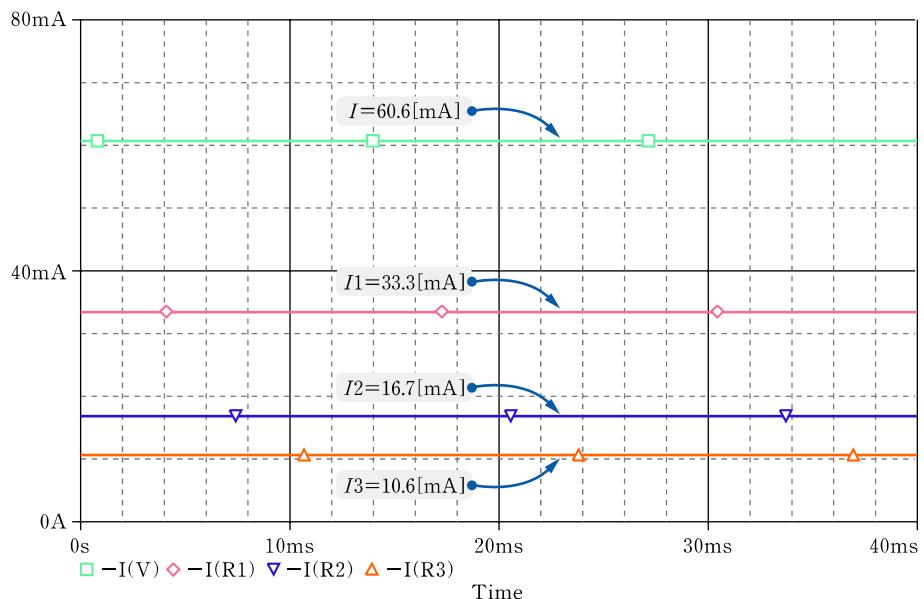
5.5.2 시뮬레이션 결과

- [그림 5-8] : OrCAD로 작성한 시뮬레이션 회로로 가지전류의 값을 표시한다.



[그림 5-8] OrCAD로 작성한 시뮬레이션 회로

- [그림 5-9] : 시뮬레이션 결과로 전체 전류 I 와 가지전류(I_1 , I_2 , I_3)를 표시한다.



[그림 5-9] 시뮬레이션 결과

+ 가지전류값을 표시하는 방법

[그림 5-8]에 표시한 PSpice 툴 메뉴에서 **I**(Enable Bias Current Display)를 선택하면 회로도에 가지전류값이 표시된다. 이 기능을 이용하면 시뮬레이션에 따른 전류값을 정확히 알 수 있다.

PSpice 툴 메뉴에서 **V**(Enable Bias Voltage Display)를 선택하면, 접지를 기준으로 하는 바이어스 전압이 회로에 표시된다. 또한 **W**(Enable Bias Power Display)를 선택하면, 각 소자에서의 소비 전력(Power)이 표시된다. 여기에 설명된 기능을 각각 선택하여 실제로 회로에 표시되는 내용을 확인해보자.

5.6 결과 검토

- (1) [표 5-2]에서 **a** 점과 **b** 점에서 측정한 전류는 값이 같고, 전압 V_{R1} , V_{R2} , V_{R3} 는 다른 값을 나타내는지 확인하고, 그 이유를 설명하라.
- (2) [표 5-3]에서 **a ~ b** 및 **c ~ d** 간의 전압은 값이 같고, 가지전류 I_1 , I_2 , I_3 는 다른 값을 나타내는지 확인하고, 그 이유를 설명하라.
- (3) [그림 5-4]의 실험 회로에서 전체 전류 I 는 가지전류(I_1 , I_2 , I_3)로 나누어졌다가 직류 전원의 $[-]$ 극으로 합류한다. 따라서 $I = I_1 + I_2 + I_3$ 의 관계가 성립될 것이다. [표 5-3]의 전류 측정 결과에서 $I = I_1 + I_2 + I_3$ 의 관계가 성립됨을 보여라.
- (4) **PSpice 시뮬레이션**

- ① [그림 5-4]의 실험 회로에 대하여 PSpice 시뮬레이션을 수행하라. 시뮬레이션 결과를 참조하여 [표 5-4]에 전체 전류와 가지전류를 기록하라.

[표 5-4] 결과 검토 (4)

전체 전류 I	가지전류		
	I_1	I_2	I_3

- ② [표 5-4]에 기록한 전체 전류 및 가지전류의 값이 [표 5-3]의 실험의 결과와 일치하는지 확인해보라.

5.7 6장 예비 학습

- (1) 키르히호프의 전압법칙에 대하여 설명하라.
- (2) 키르히호프의 전류법칙에 대하여 설명하라.