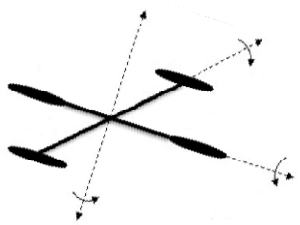
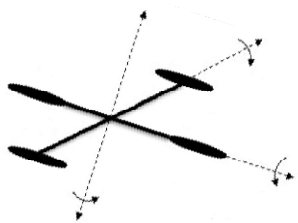
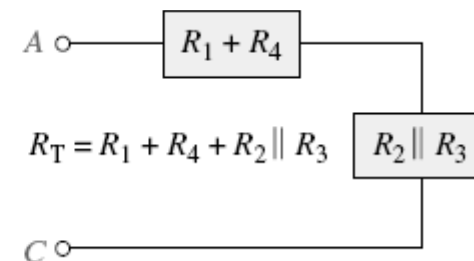
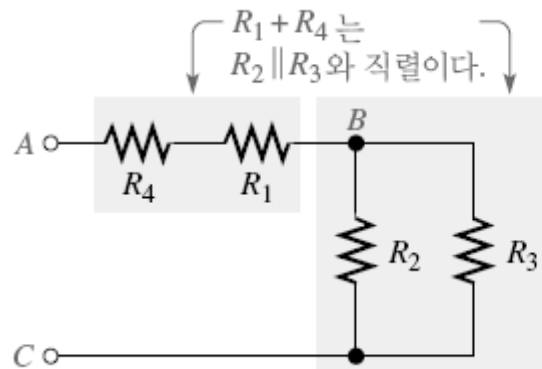
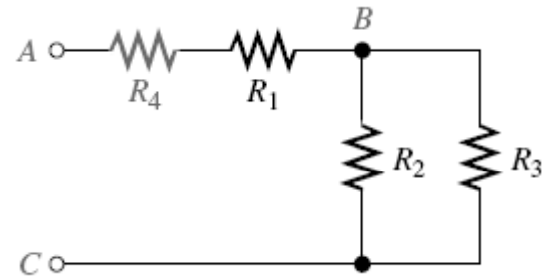
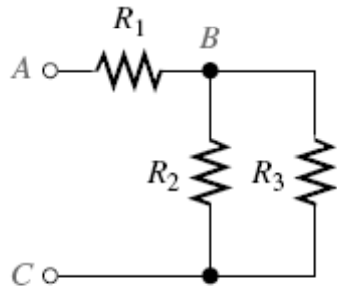


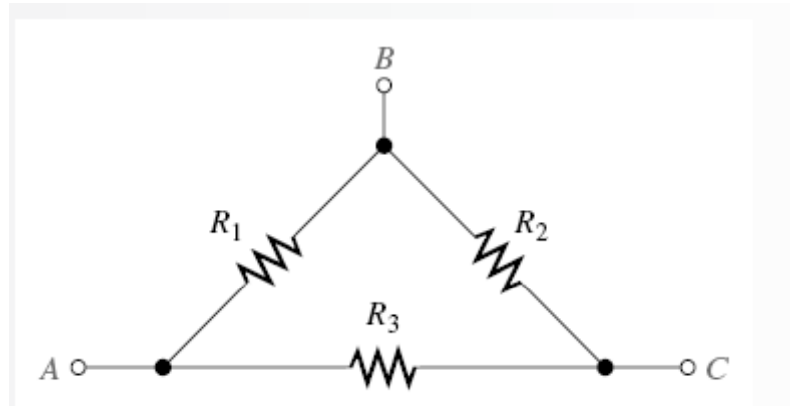
회로이론

6 장. 직 병렬 회로

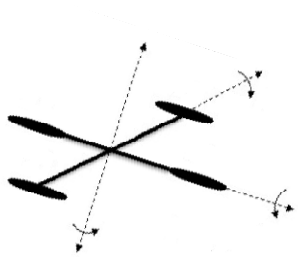


6.1 직병렬회로 관계 정의





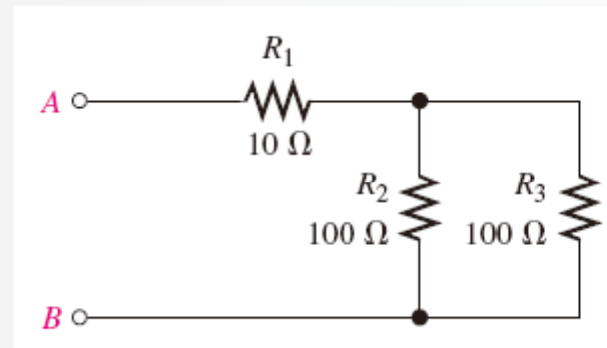
1. 단자 A와 단자 B 사이 : R_1 은 R_2 와 R_3 의 직렬 조합과 병렬로 연결되어 있다.
2. 단자 A와 단자 C 사이 : R_3 는 R_1 과 R_2 의 직렬 조합과 병렬로 연결되어 있다.
3. 단자 B와 단자 C 사이 : R_2 는 R_1 과 R_3 의 직렬 조합과 병렬로 연결되어 있다.



6.2. 직병렬 저항회로의 해석

그림 6-16 회로에서 단자 A와 단자 B 사이의 저항 R_T 를 구하시오.

그림 6-16



R_2 와 R_3 는 병렬로 연결되어 있으며, 이 병렬 조합은 R_1 과 직렬로 연결되어 있다. 먼저 R_2 와 R_3 의 병렬 등가저항값을 구한다. R_2 와 R_3 는 저항값이 같기 때문에 그 값을 2로 나누어 등가저항을 계산한다.

$$R_{2\parallel 3} = \frac{R}{n} = \frac{100\ \Omega}{2} = 50\ \Omega$$

이제 R_1 은 $R_{2\parallel 3}$ 와 직렬로 연결되어 있으므로, 회로의 합성저항은 다음과 같다.

$$R_T = R_1 + R_{2\parallel 3} = 10\ \Omega + 50\ \Omega = \mathbf{60\ \Omega}$$

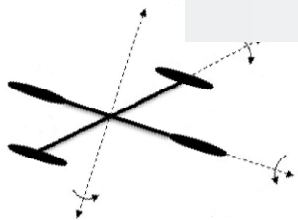
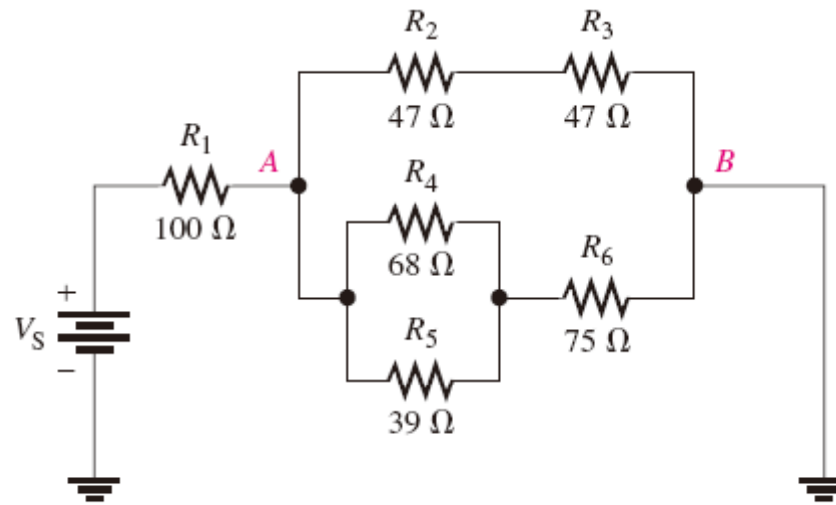


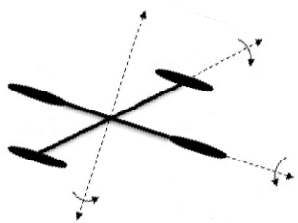
그림 6-17의 회로에서 R_T 를 구하시오.

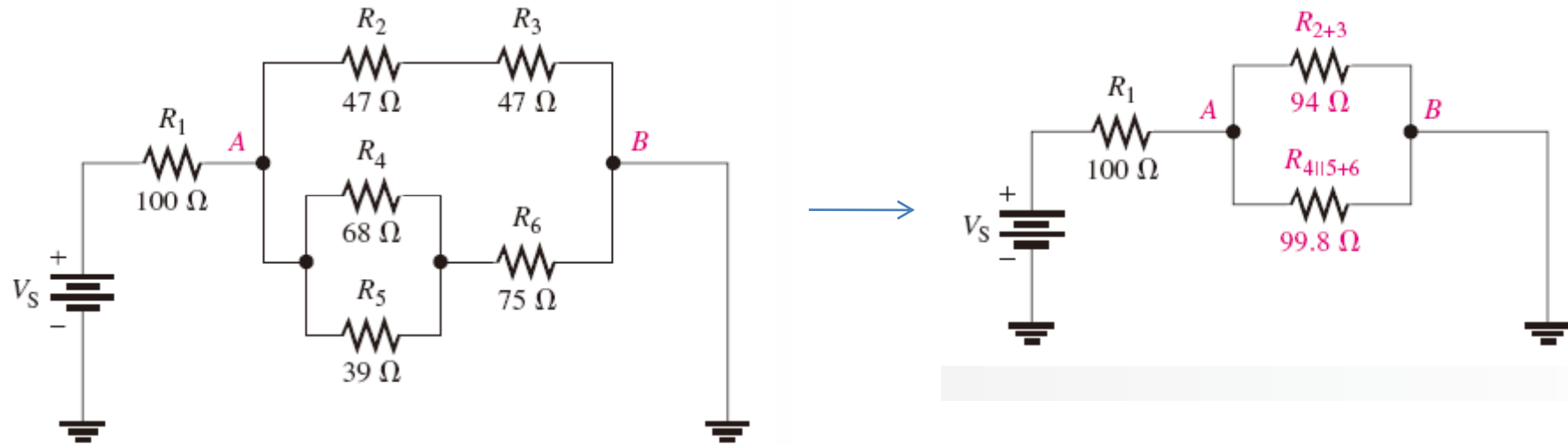
그림 6-17



1. 절점 A 와 절점 B 사이에서 위쪽 지로에는 R_2 와 R_3 가 직렬로 연결되어 있다. 이 직렬 조합은 R_{2+3} 로 표시되고, $R_2 + R_3$ 와 같다.

$$R_{2+3} = R_2 + R_3 = 47 \Omega + 47 \Omega = 94 \Omega$$



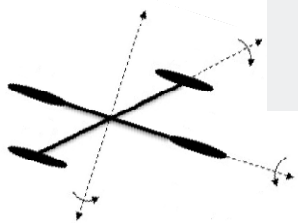


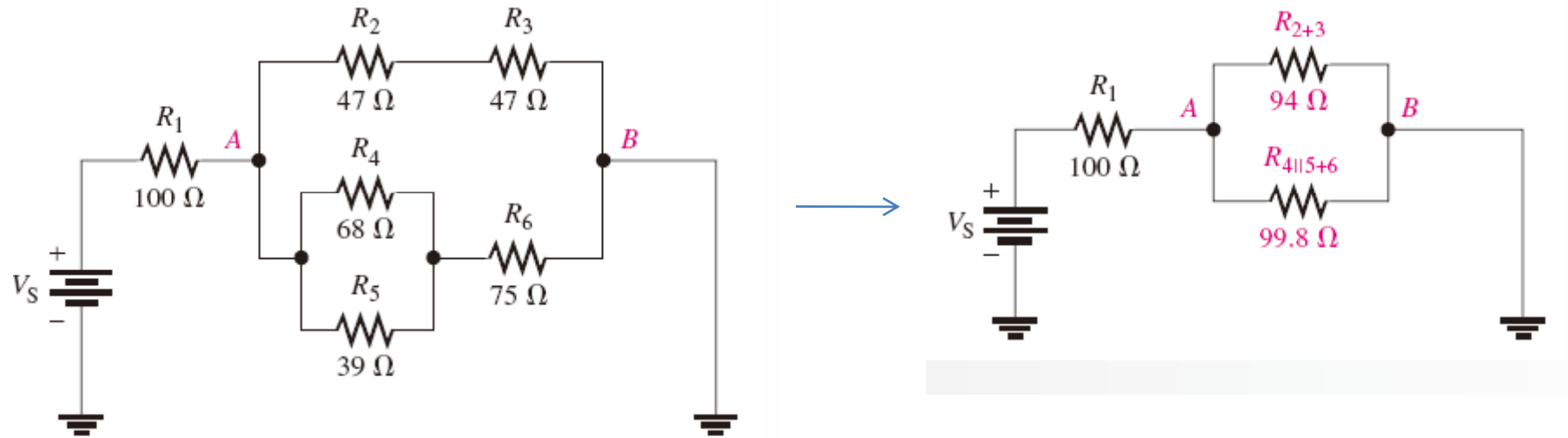
2. 아래쪽 지로에서 R_4 와 R_5 는 병렬로 연결되어 있다. 이 병렬 조합은 $R_{4||5}$ 로 표시된다.

$$R_{4||5} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} = \frac{(68 \Omega)(39 \Omega)}{68 \Omega + 39 \Omega} = 24.8 \Omega$$

3. 또한, 아래쪽 지로에서 R_4 와 R_5 의 병렬 연결 조합과 R_6 는 직렬로 연결되어 있다. 이 직병렬 조합은 $R_{4||5+6}$ 로 표시된다.

$$R_{4||5+6} = R_6 + R_{4||5} = 75 \Omega + 24.8 \Omega = 99.8 \Omega$$





4. 이제 절점 A와 절점 B 사이의 저항값을 구할 수 있다. 이는 R_{2+3} 와 $R_{4||5+6}$ 와의 병렬 조합으로 연결되어 있으며, 등가저항을 계산하면 다음과 같다.

$$R_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{R_{2+3}} + \frac{1}{R_{4||5+6}}} = \frac{1}{\frac{1}{94 \Omega} + \frac{1}{99.8 \Omega}} = 48.4 \Omega$$

5. 마지막으로, 전체 회로의 합성저항은 R_1 과 R_{AB} 의 직렬 조합이므로 다음과 같이 구해진다.

$$R_T = R_1 + R_{AB} = 100 \Omega + 48.4 \Omega = \mathbf{148.4 \Omega}$$

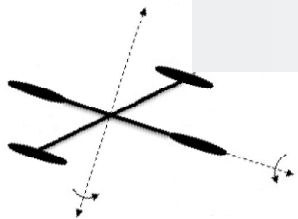
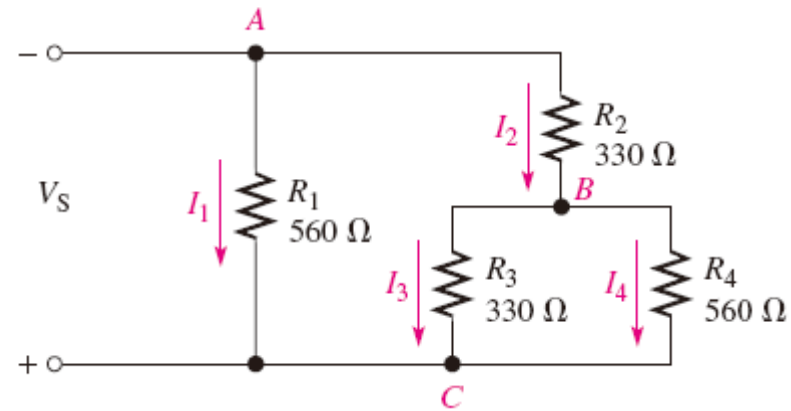


그림 6-19의 회로에서 $V_S = 50\text{ V}$ 일 때 R_4 에 흐르는 전류를 구하시오.

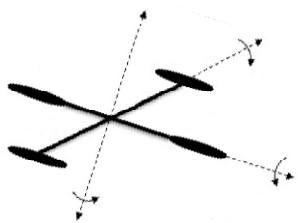
그림 6-19



$$R_{2+3\parallel 4} = R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = 330\ \Omega + \frac{(330\ \Omega)(560\ \Omega)}{890\ \Omega} = 538\ \Omega$$

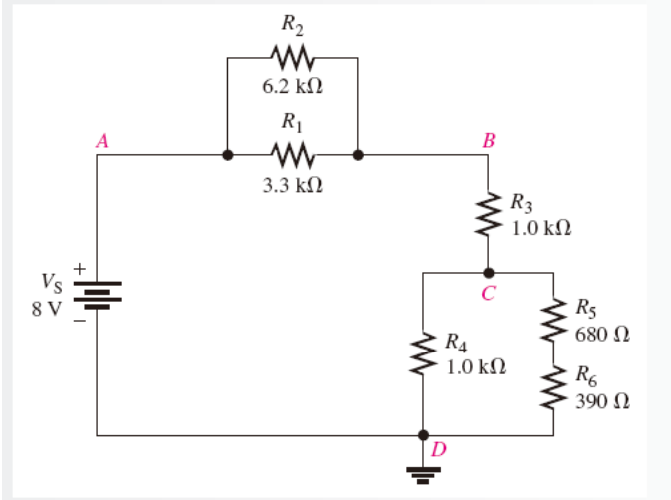
$$I_2 = \frac{V_S}{R_{2+3\parallel 4}} = \frac{50\ \text{V}}{538\ \Omega} = 93\ \text{mA}$$

$$I_4 = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) I_2 = \left(\frac{330\ \Omega}{890\ \Omega} \right) 93\ \text{mA} = 34.5\ \text{mA}$$



6장 직병렬회로 - 6.2 직병렬 저항회로의 해석

그림 6-22에서 각 저항의 전압 강하를 계산하시오.

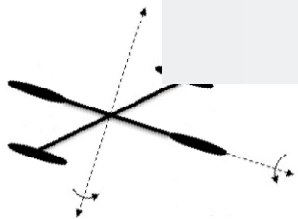


1단계 : 각 병렬 조합을 등가저항으로 바꾸어 회로를 간소화한다. R_1 과 R_2 는 절점 A와 절점 B 사이에 병렬로 연결되어 있기 때문에 이들을 등가저항으로 바꾼다.

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(3.3 \text{ k}\Omega)(6.2 \text{ k}\Omega)}{9.5 \text{ k}\Omega} = 2.15 \text{ k}\Omega$$

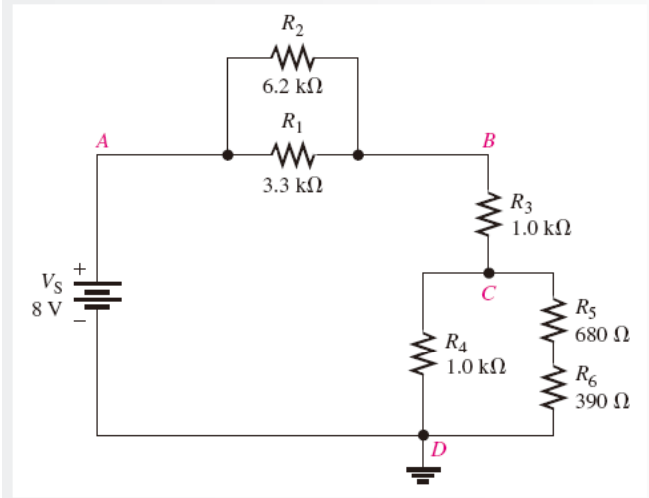
절점 C와 절점 D에서 R_4 는 R_5 와 R_6 의 직렬 조합과 병렬로 연결되어 있으므로, 이들의 합성은 다음과 같다.

$$R_{CD} = \frac{R_4(R_{5+6})}{R_4 + R_{5+6}} = \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(1.07 \text{ k}\Omega)}{2.07 \text{ k}\Omega} = 517 \Omega$$



6장 직병렬회로 - 6.2 직병렬 저항회로의 해석

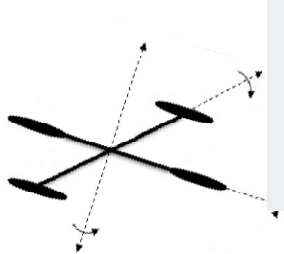
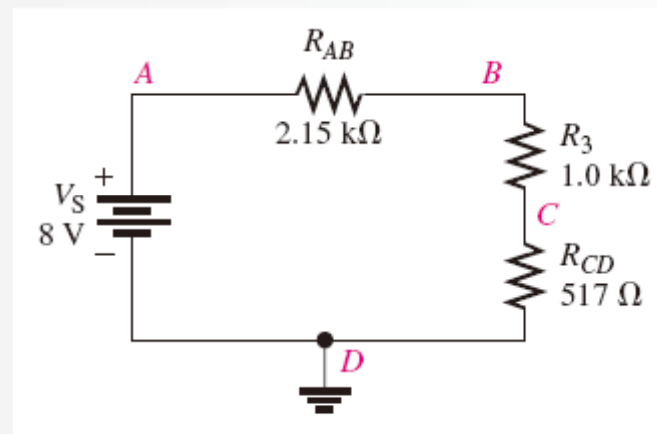
그림 6-22에서 각 저항의 전압 강하를 계산하시오.



2단계 : 그림 6-23과 같이 등가회로를 그리고, 전체 회로의 합성저항을 구한다.

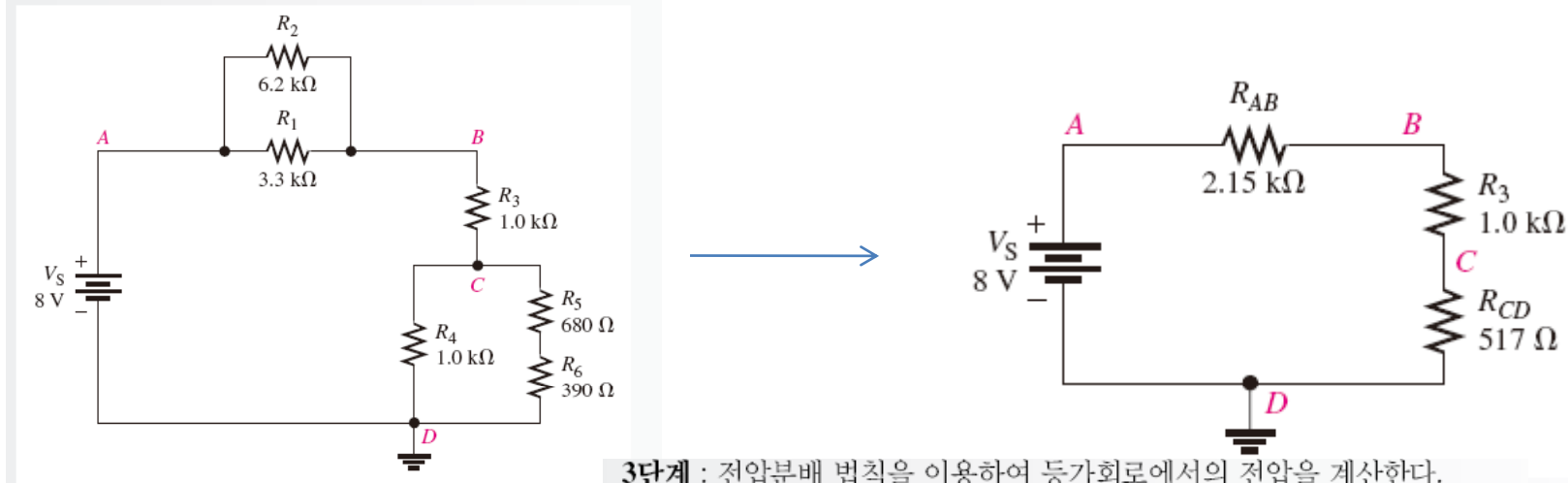
$$R_T = R_{AB} + R_3 + R_{CD} = 2.15 \text{ k}\Omega + 1.0 \text{ k}\Omega + 517 \Omega = 3.67 \text{ k}\Omega$$

그림 6-23



6장 직병렬회로 - 6.2 직병렬 저항회로의 해석

그림 6-22에서 각 저항의 전압 강하를 계산하시오.



3단계 : 전압분배 법칙을 이용하여 등가회로에서의 전압을 계산한다.

$$V_{AB} = \left(\frac{R_{AB}}{R_T} \right) V_S = \left(\frac{2.15 \text{ k}\Omega}{3.67 \text{ k}\Omega} \right) 8 \text{ V} = 4.69 \text{ V}$$

$$V_{BC} = \left(\frac{R_3}{R_T} \right) V_S = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{3.67 \text{ k}\Omega} \right) 8 \text{ V} = 2.18 \text{ V}$$

$$V_{CD} = \left(\frac{R_{CD}}{R_T} \right) V_S = \left(\frac{517 \Omega}{3.67 \text{ k}\Omega} \right) 8 \text{ V} = 1.13 \text{ V}$$

그림 6-22를 참조하면, V_{AB} 는 R_1 과 R_2 에 걸리는 전압과 같다.

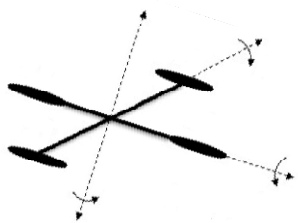
$$V_{R1} = V_{R2} = V_{AB} = 4.69 \text{ V}$$

V_{BC} 는 R_3 에 걸리는 전압이다.

$$V_{R3} = V_{BC} = 2.18 \text{ V}$$

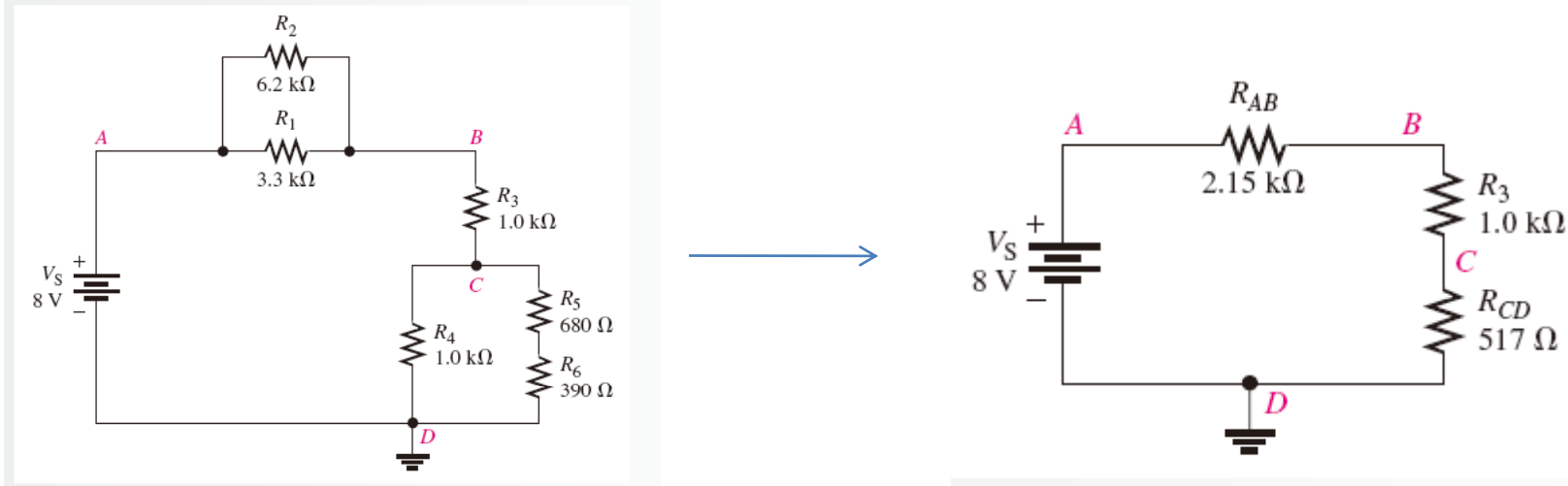
V_{CD} 는 R_4 와 R_5 , R_6 의 직렬 조합 저항의 양단에 걸리는 전압이다.

$$V_{R4} = V_{CD} = 1.13 \text{ V}$$



6장 직병렬회로 – 6.2 직병렬 저항회로의 해석

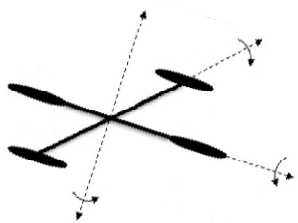
그림 6-22에서 각 저항의 전압 강하를 계산하시오.



4단계 : V_{R5} 와 V_{R6} 를 계산하기 위해 R_5 와 R_6 의 직렬 회로에 대해 전압분배 법칙을 적용한다.

$$V_{R5} = \left(\frac{R_5}{R_5 + R_6} \right) V_{CD} = \left(\frac{680 \Omega}{1070 \Omega} \right) 1.13 \text{ V} = \mathbf{718 \text{ mV}}$$

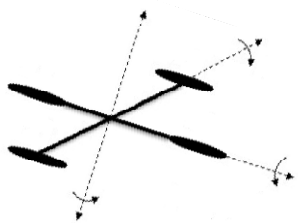
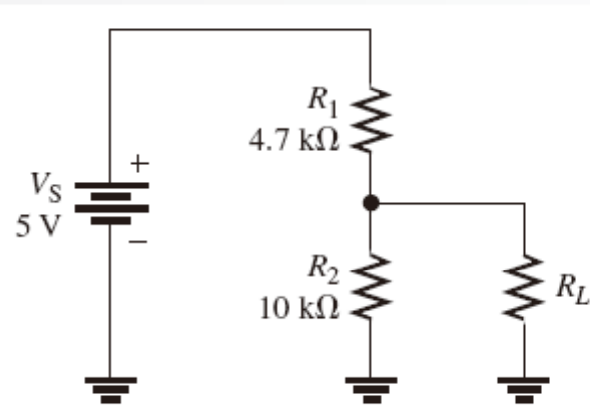
$$V_{R6} = \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} \right) V_{CD} = \left(\frac{390 \Omega}{1070 \Omega} \right) 1.13 \text{ V} = \mathbf{412 \text{ mV}}$$

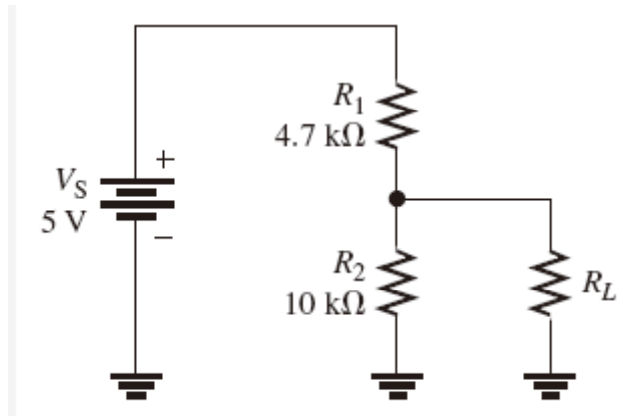


6.3 부하정항을 갖는 전압 분배기

- (a) 그림 6-28에서 무부하시의 전압 분배기의 출력전압을 구하시오.
- (b) 그림 6-28에서 부하저항이 각각 $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $R_L = 100\text{ k}\Omega$ 일 때 전압 분배기에 의한 출력전압을 구하시오.

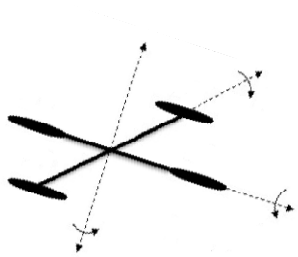
그림 6-28

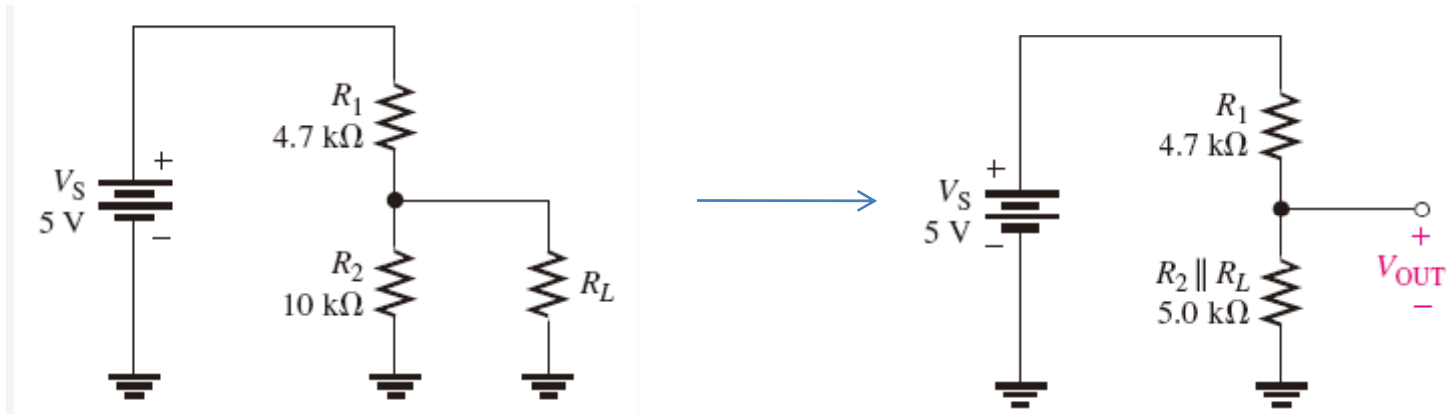




(a) 무부하시의 출력전압은 다음과 같다.

$$V_{\text{OUT(unloaded)}} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S = \left(\frac{10 \text{ k}\Omega}{14.7 \text{ k}\Omega} \right) 5 \text{ V} = 3.40 \text{ V}$$



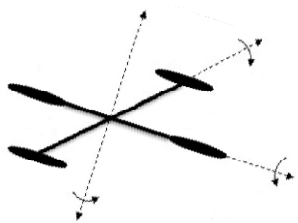


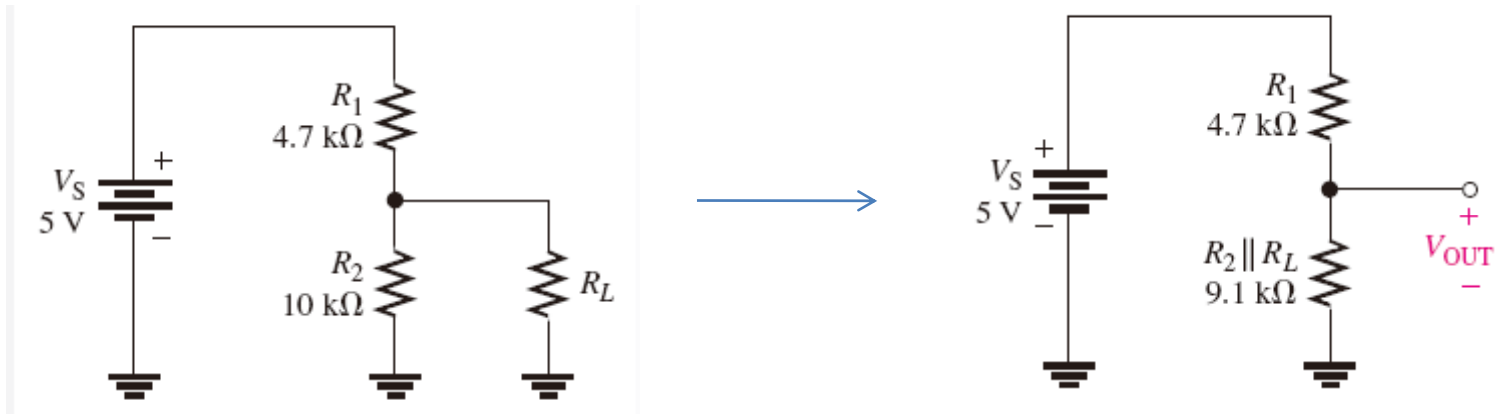
(b) 10 kΩ의 부하저항을 연결할 경우, R_L 은 R_2 와 병렬이므로 합성저항은 다음과 같다.

$$R_2 \parallel R_L = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(10 \text{ k}\Omega)}{20 \text{ k}\Omega} = 5.0 \text{ k}\Omega$$

이의 등가회로는 그림 6-29(a)에 나타나 있다. 부하저항에 의한 출력은 다음과 같다.

$$V_{\text{OUT(loaded)}} = \left(\frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} \right) V_S = \left(\frac{5.0 \text{ k}\Omega}{9.7 \text{ k}\Omega} \right) 5 \text{ V} = 2.58 \text{ V}$$



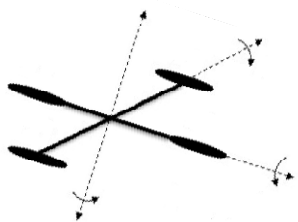


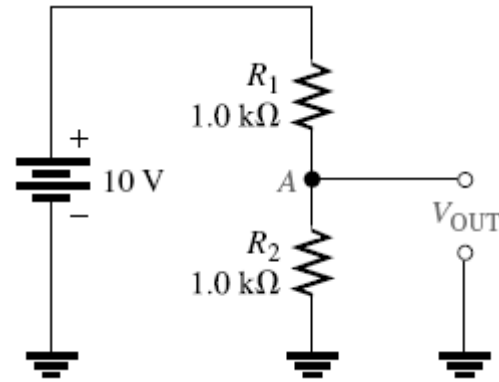
10 kΩ의 부하저항을 연결할 경우, 출력단자에서 접지 사이의 저항은 다음과 같다.

$$R_2 \parallel R_L = \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(100 \text{ k}\Omega)}{110 \text{ k}\Omega} = 9.1 \text{ k}\Omega$$

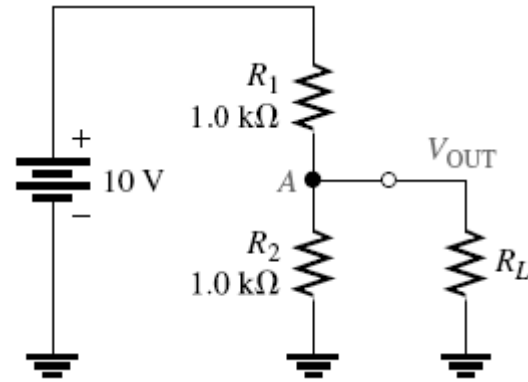
이의 등가회로는 그림 6-29(b)와 같이 나타나 있으며, 부하가 있는 경우의 출력전압은 다음과 같다.

$$V_{\text{OUT}(\text{loaded})} = \left(\frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} \right) V_S = \left(\frac{9.1 \text{ k}\Omega}{13.8 \text{ k}\Omega} \right) 5 \text{ V} = 3.30 \text{ V}$$

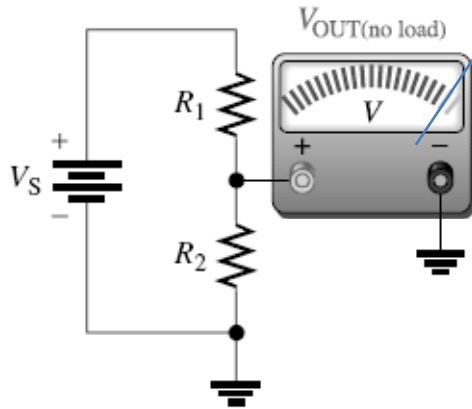




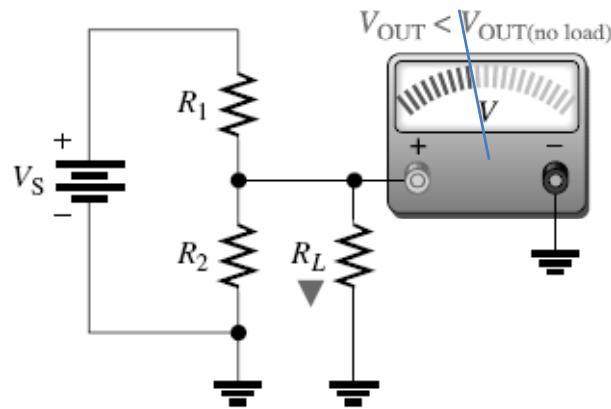
(a) 무부하시



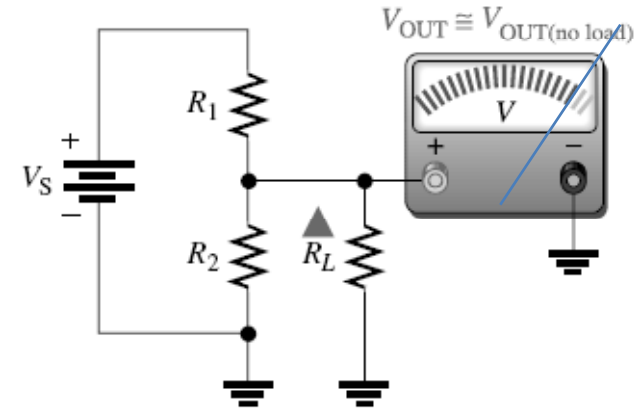
(b) 부하시



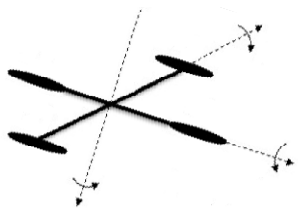
(a) 무부하시



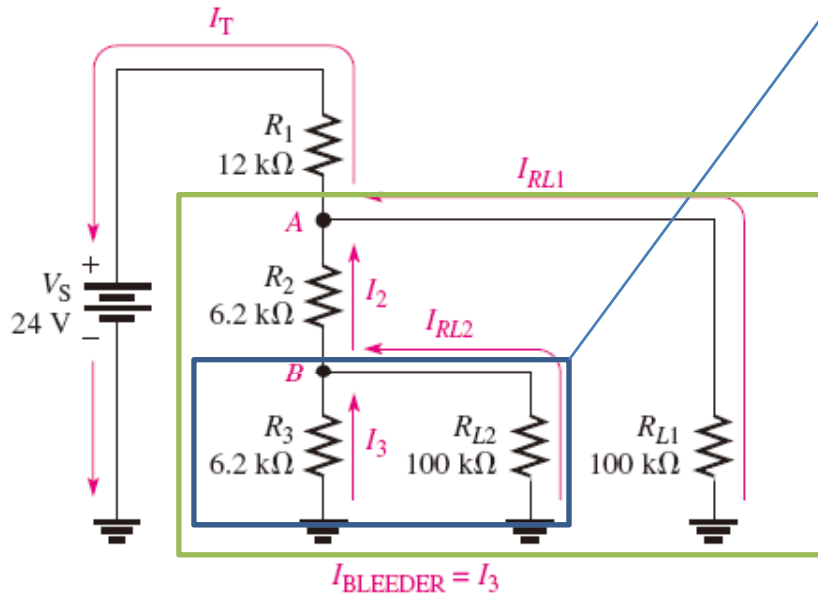
(b) R_L 이 R_2 보다 그다지 크지 않을 경우



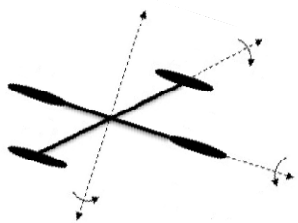
(c) R_L 이 R_2 보다 상당히 클 경우



부하전류 및 블리더 전류



이 전류는 총 전류에서 총 부하전류를 뺀 후에 남아 있는 전류



$$R_B = \frac{R_3 R_{L2}}{R_3 + R_{L2}} = \frac{(6.2 \text{ k}\Omega)(100 \text{ k}\Omega)}{106.2 \text{ k}\Omega} = 5.84 \text{ k}\Omega$$

$$R_{2+B} = R_2 + R_B = 6.2 \text{ k}\Omega + 5.84 \text{ k}\Omega = 12.0 \text{ k}\Omega$$

$$R_A = \frac{R_{L1} R_{2+B}}{R_{L1} + R_{2+B}} = \frac{(100 \text{ k}\Omega)(12.0 \text{ k}\Omega)}{112 \text{ k}\Omega} = 10.7 \text{ k}\Omega$$

$$R_T = R_A + R_1 = 10.7 \text{ k}\Omega + 12.0 \text{ k}\Omega = 22.7 \text{ k}\Omega$$

$$V_{RL1} = V_A = \left(\frac{R_A}{R_T} \right) V_S = \left(\frac{10.7 \text{ k}\Omega}{22.7 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ V} = 11.3 \text{ V}$$

$$I_{RL1} = \frac{V_{RL1}}{R_{L1}} = \left(\frac{11.3 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} \right) = 113 \mu\text{A}$$

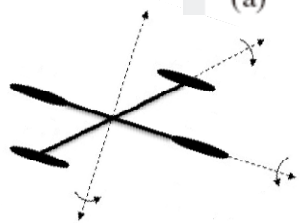
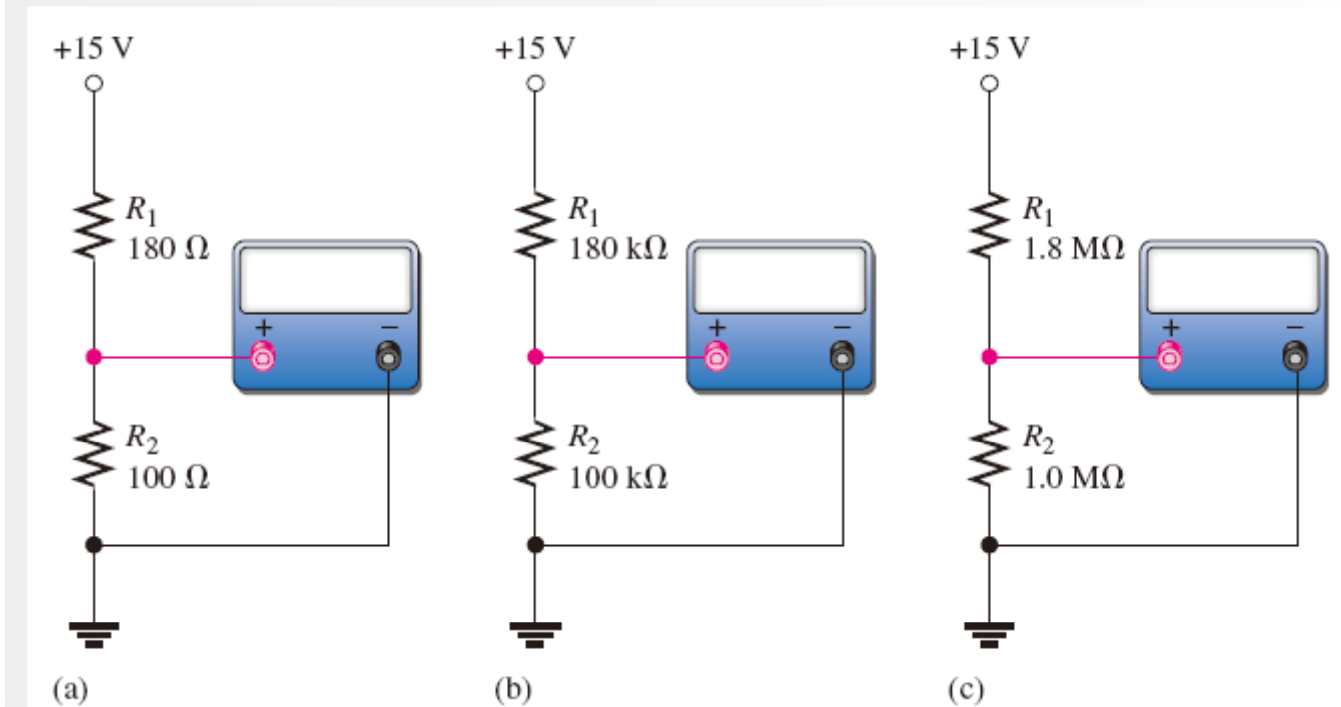
$$V_B = \left(\frac{R_B}{R_{2+B}} \right) V_A = \left(\frac{5.84 \text{ k}\Omega}{12.0 \text{ k}\Omega} \right) 11.3 \text{ V} = 5.50 \text{ V}$$

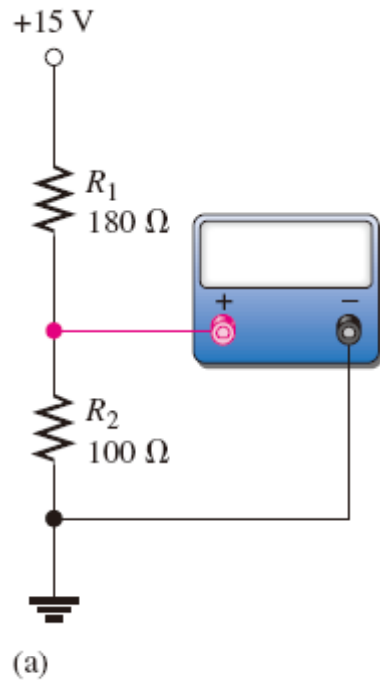
$$I_{RL2} = \frac{V_{RL2}}{R_{L2}} = \frac{V_B}{R_{L2}} = \frac{5.50 \text{ V}}{100 \text{ k}\Omega} = 55 \mu\text{A}$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{5.50 \text{ V}}{6.2 \text{ k}\Omega} = 887 \mu\text{A}$$

6.4 전압계의 부하효과

그림 6-35의 각각의 회로에서 디지털 전압계의 연결에 따른 측정전압의 변화는 얼마이겠는가? 이 전압계의 입력저항은 $10\text{ M}\Omega$ 이다.





(a) 먼저 그림 6-35(a)의 회로를 검토하자. 전압 분배기 회로에서 R_2 에 걸리는 무부하시 전압은 다음과 같다.

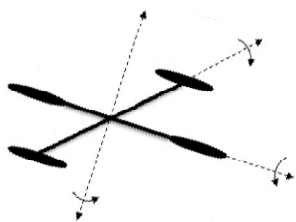
$$V_{R2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S = \left(\frac{100 \Omega}{280 \Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.357 \text{ V}$$

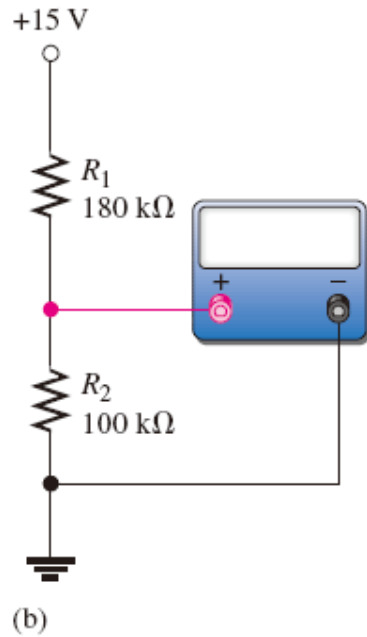
R_2 와 병렬로 연결된 전압계의 저항은 다음과 같다.

$$R_2 \parallel R_M = \left(\frac{R_2 R_M}{R_2 + R_M} \right) = \frac{(100 \Omega)(10 \text{ M}\Omega)}{10.0001 \text{ M}\Omega} = 99.999 \Omega$$

전압계에 측정된 실제 전압은 다음과 같다.

$$V_{R2} = \left(\frac{R_2 \parallel R_M}{R_1 + R_2 \parallel R_M} \right) V_S = \left(\frac{99.999 \Omega}{279.999 \Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.357 \text{ V}$$





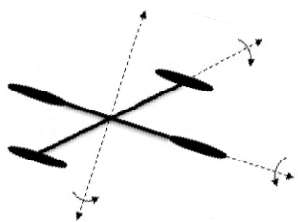
(b) 그림 6-35(b)를 검토하자.

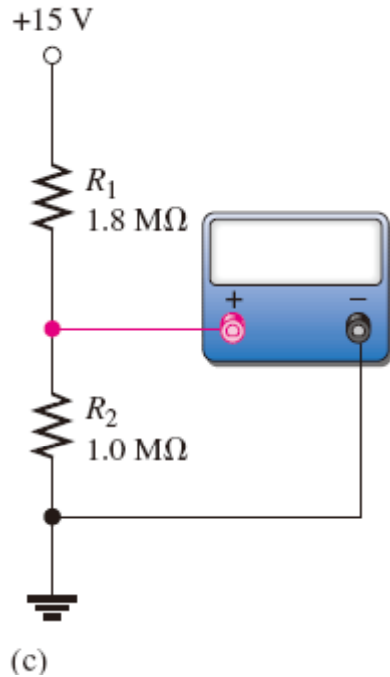
$$V_{R2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S = \left(\frac{100 \text{ k}\Omega}{280 \text{ k}\Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.357 \text{ V}$$

$$R_2 \parallel R_M = \frac{R_2 R_M}{R_2 + R_M} = \frac{(100 \text{ k}\Omega)(10 \text{ M}\Omega)}{10.1 \text{ M}\Omega} = 99.01 \text{ k}\Omega$$

$$V_{R2} = \left(\frac{R_2 \parallel R_M}{R_1 + R_2 \parallel R_M} \right) V_S = \left(\frac{99.01 \text{ k}\Omega}{279.01 \text{ k}\Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.323 \text{ V}$$

전압계의 부하효과에 의해 매우 작은 양의 전압 변화가 일어났다.



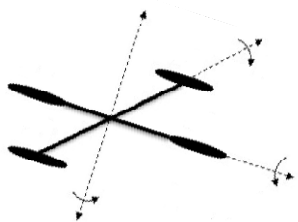


(c) 그림 6-35(c)를 검토하자.

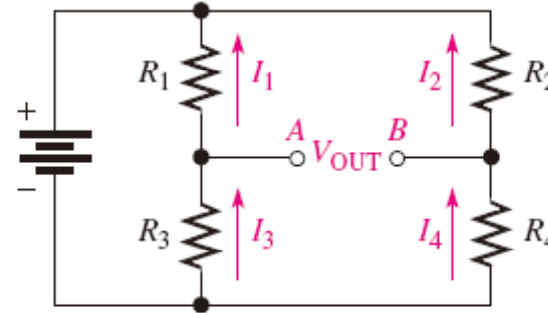
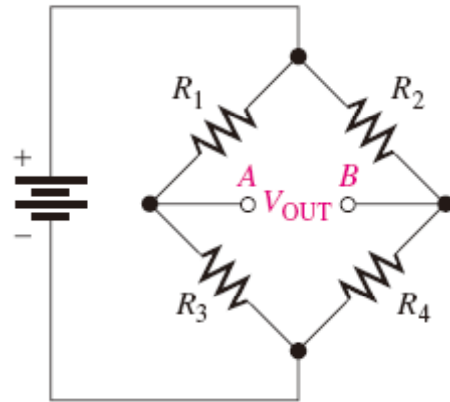
$$V_{R2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S = \left(\frac{1.0 \text{ M}\Omega}{2.8 \text{ M}\Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.357 \text{ V}$$

$$R_2 \parallel R_M = \frac{R_2 R_M}{R_2 + R_M} = \frac{(1.0 \text{ M}\Omega)(10 \text{ M}\Omega)}{11 \text{ M}\Omega} = 909.09 \text{ k}\Omega$$

$$V_{R2} = \left(\frac{R_2 \parallel R_M}{R_1 + R_2 \parallel R_M} \right) V_S = \left(\frac{909.09 \text{ k}\Omega}{2.709 \text{ M}\Omega} \right) 15 \text{ V} = 5.034 \text{ V}$$



6.5 휘트스톤 브릿지 (평형)



$$V_{OUT} = 0 \text{ V} \quad [V_1 = V_2] \quad [V_3 = V_4]$$

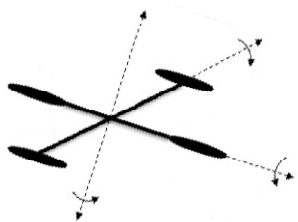
$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{V_2}{V_4}$$

$$\frac{I_1 R_1}{I_3 R_3} = \frac{I_2 R_2}{I_4 R_4}$$

$I_1 = I_3$ 이고 $I_2 = I_4$ 이므로

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

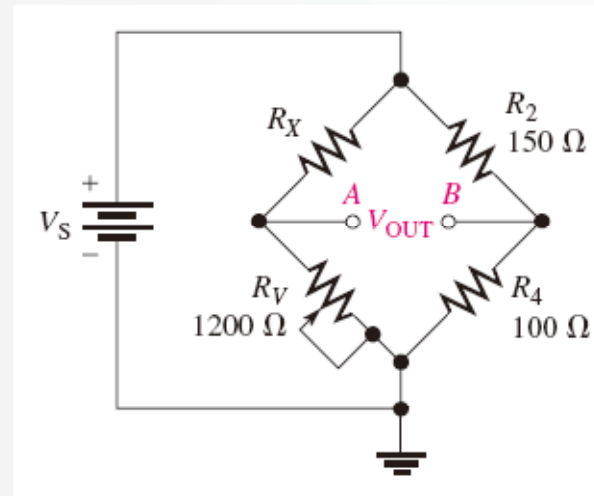
$$R_1 = R_3 \left(\frac{R_2}{R_4} \right)$$



예제 6-14

그림 6-37의 평형 상태의 브리지 회로에서 R_X 값을 구하시오. 브리지는 R_V 가 $1200\ \Omega$ 일 때, 평형 상태가 된다.

그림 6-37



해 브리지의 크기 비율은 다음과 같다.

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{150\ \Omega}{100\ \Omega} = 1.5$$

미지의 저항 R_X 는 다음과 같다.

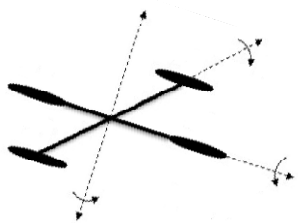
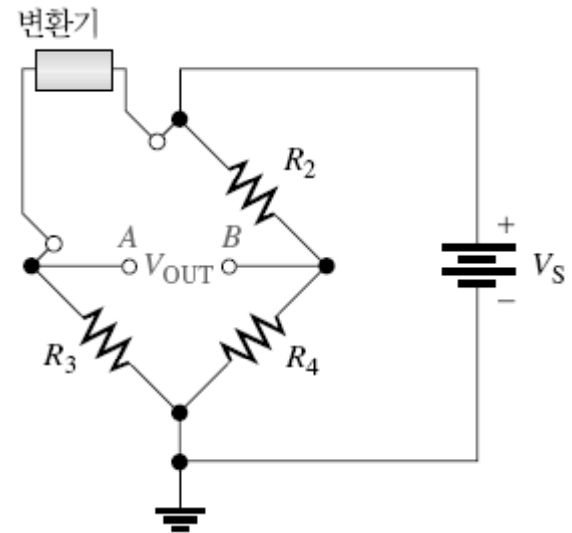
$$R_X = R_V \left(\frac{R_2}{R_4} \right) = (1200\ \Omega)(1.5) = \mathbf{1800\ \Omega}$$



- 휘트스톤 브릿지 (불평형)

그림 6-38

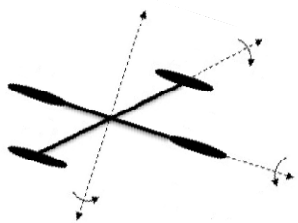
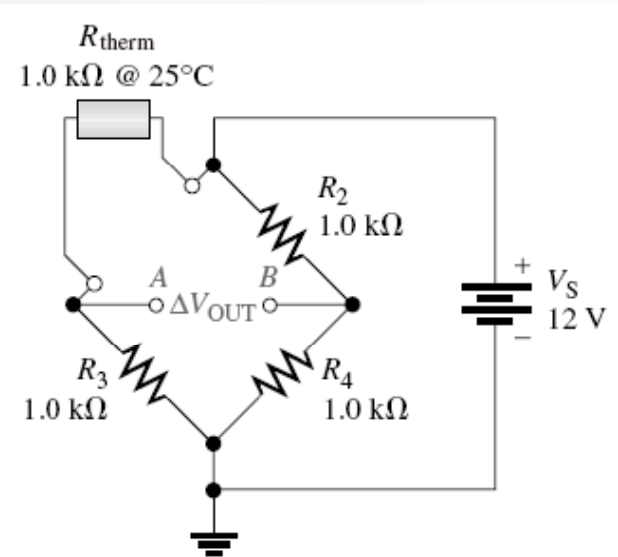
변환기를 이용하여 물리적인 변수값을 측정하기 위한 브리지 회로

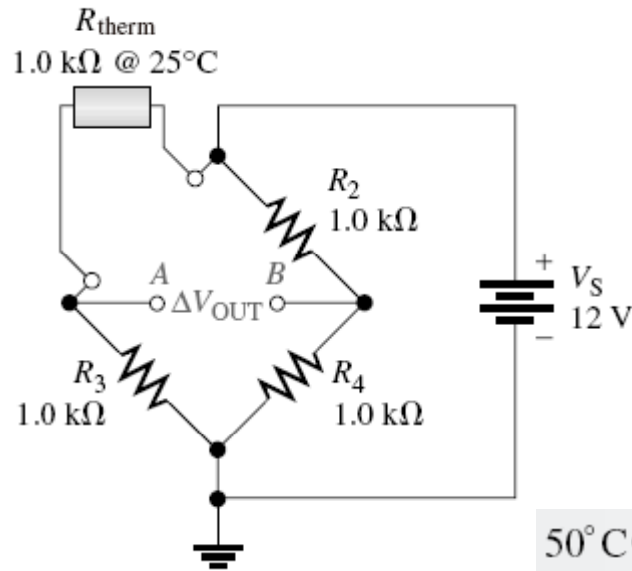


예제 6-15

만약 25°C에서 1.0 kΩ을 나타내는 서미스터가 50°C의 온도에 노출되었을 때, 온도 측정을 위한 브리지 회로의 출력전압을 구하시오. 서미스터의 저항은 50°C에서 900 Ω으로 줄어든다고 가정한다.

그림 6-39





50°C에서 브리지의 왼쪽 부분에 전압분배 법칙을 적용하자.

$$V_A = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_{\text{therm}}} \right) V_S = \left(\frac{1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + 900 \Omega} \right) 12 \text{ V} = 6.32 \text{ V}$$

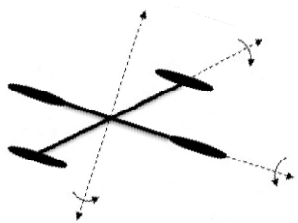
브리지의 오른쪽 부분에 전압분배 법칙을 적용하자.

$$V_B = \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S = \left(\frac{1 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} \right) 12 \text{ V} = 6.00 \text{ V}$$

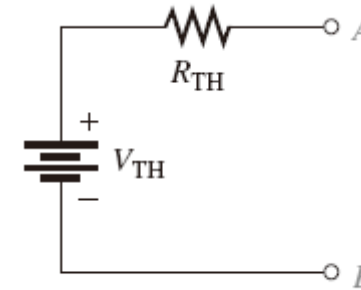
50°C에서의 출력전압은 V_A 와 V_B 의 차이이다.

$$V_{\text{OUT}} = V_A - V_B = 6.32 \text{ V} - 6.00 \text{ V} = \mathbf{0.32 \text{ V}}$$

절점 A는 절점 B에 대해 양의 값을 갖는다.

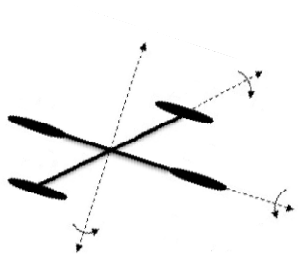


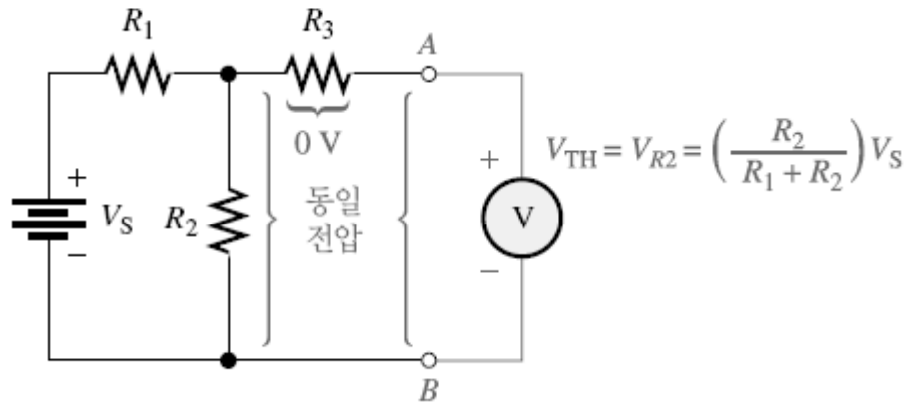
6.6 테브난 정리



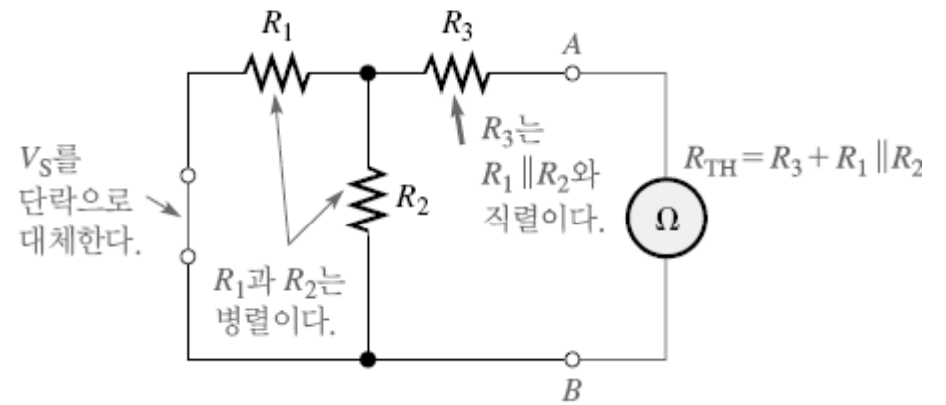
테브난 등가전압(V_{TH})은 회로의 두 단자 사이의 개방회로(무부하) 전압으로 정의된다.

테브난 등가저항(R_{TH})은 모든 전원을 내부 저항으로 대체하였을 때, 두 단자 사이에 나타나는 전체 저항을 의미한다.

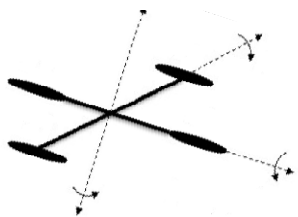
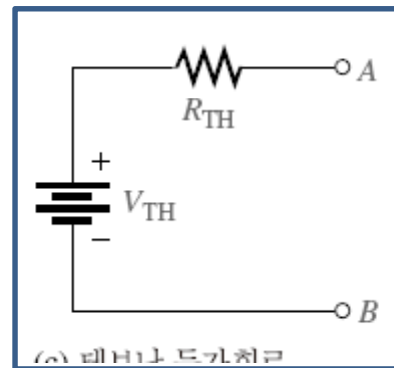


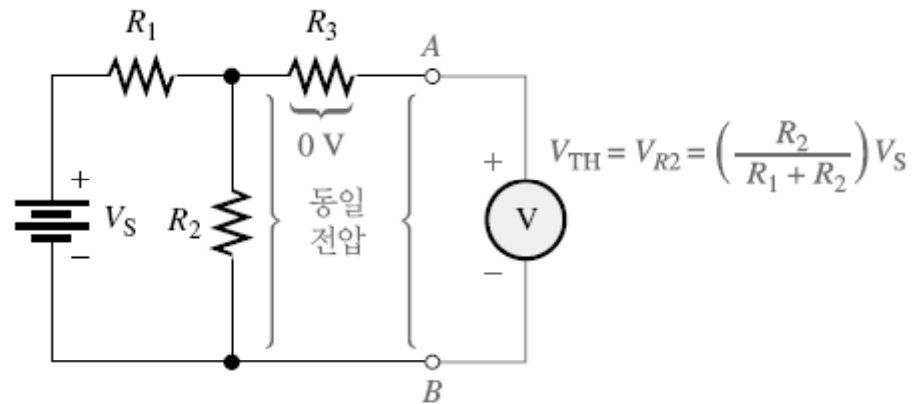


(a) V_{TH} 구하기



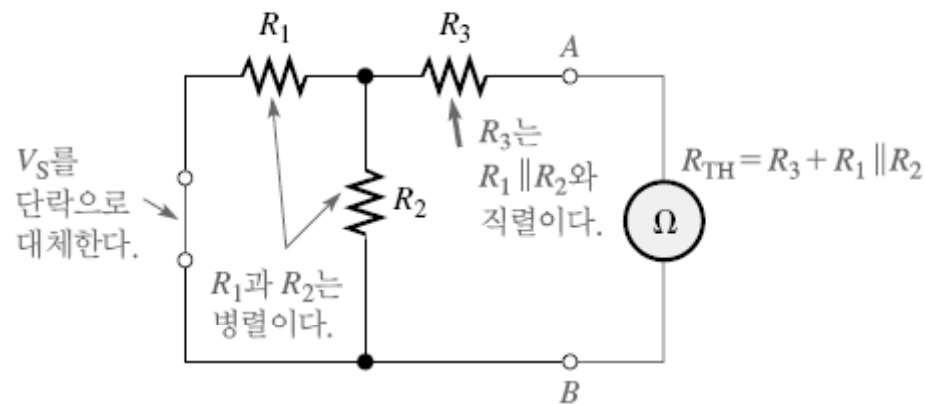
(b) R_{TH} 구하기





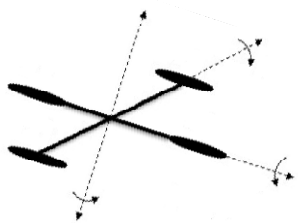
(a) V_{TH} 구하기

$$V_{TH} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_S$$



(b) R_{TH} 구하기

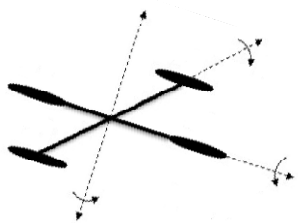
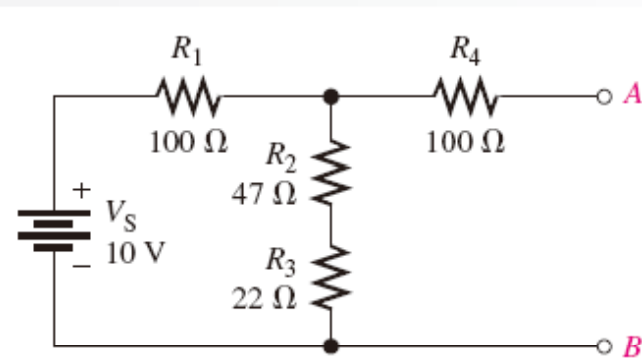
$$R_{TH} = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

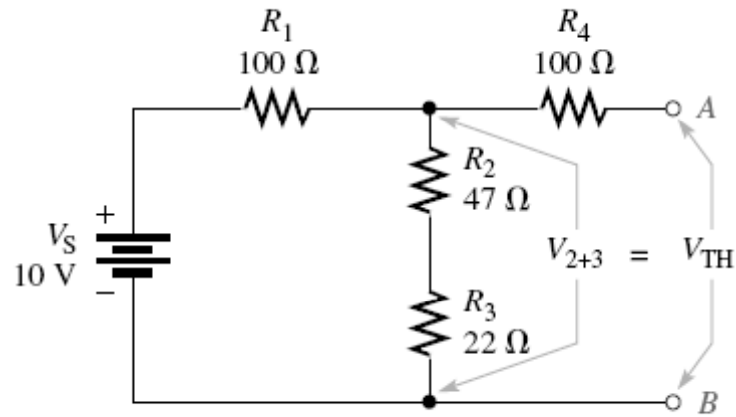


예제 6-16

그림 6-44의 회로에서 단자 A와 단자 B 사이의 테브난 등가회로를 구하시오. 만약 단자 A와 단자 B 사이에 부하저항이 있다면 이것은 다른 무엇보다 먼저 제거하여야 할 것이다.

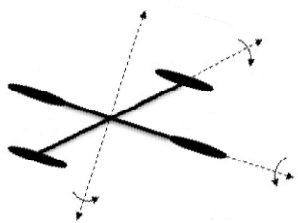
그림 6-44

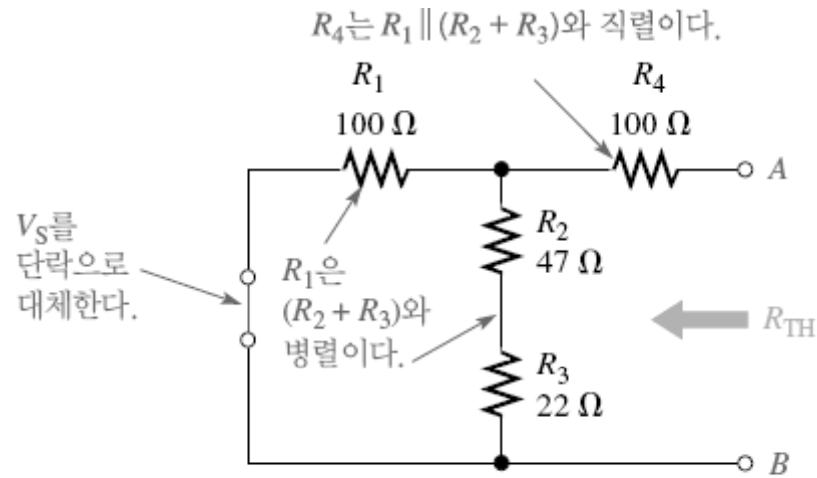




(a) A, B 사이의 전압은 V_{TH} 이고, V_{2+3} 과 같다.

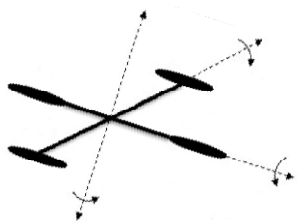
$$V_{TH} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right) V_S = \left(\frac{69 \Omega}{169 \Omega} \right) 10 \text{ V} = 4.08 \text{ V}$$

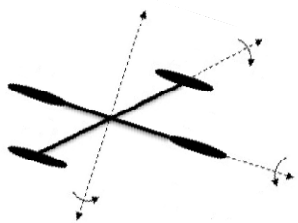
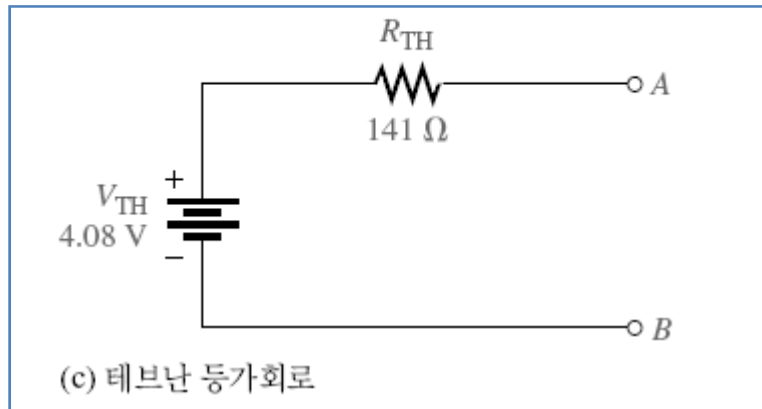
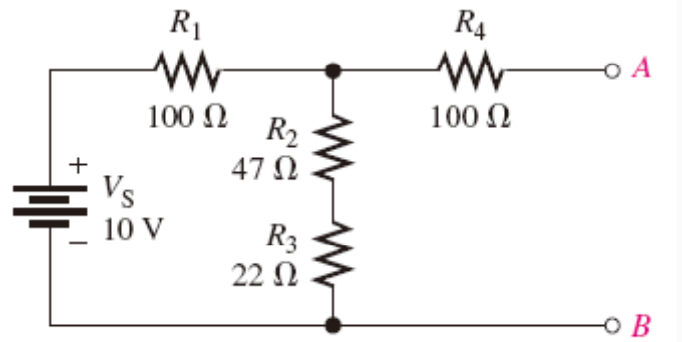




(b) A, B 단자를 보았을 때, R_4 는 $(R_2 + R_3)$ 와 R_1 과의 병렬 합성저항과 직렬로 연결되어 있다.

$$R_{TH} = R_4 + \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = 100 \Omega + \frac{(100 \Omega)(69 \Omega)}{169 \Omega} = 141 \Omega$$





테브난의 등가성은 관점에 따라 다르다

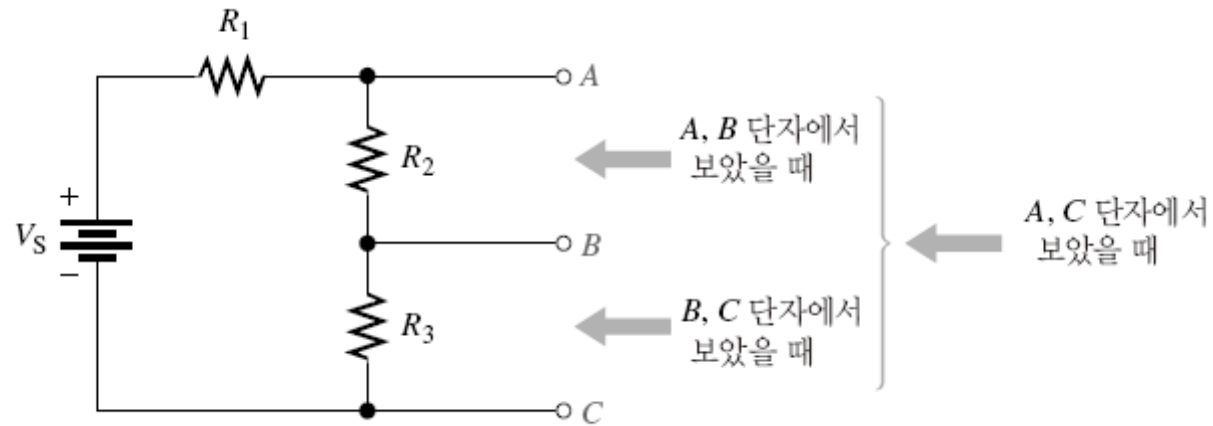
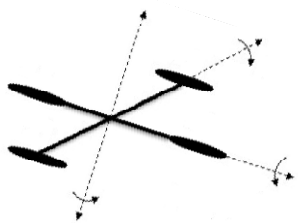


그림 6-46

테브난 등가는 회로를 보는 관점에 따라 다르다



브리지 회로의 테브난화

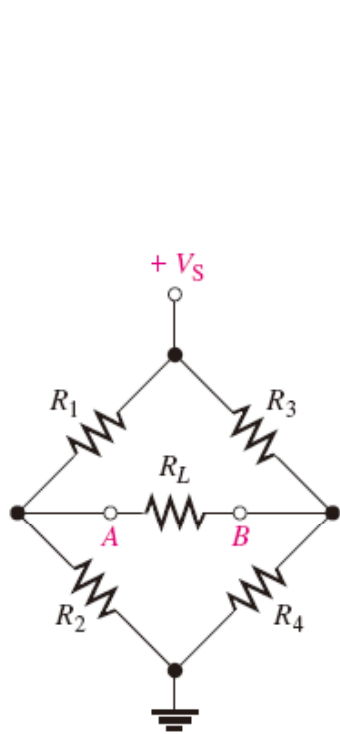
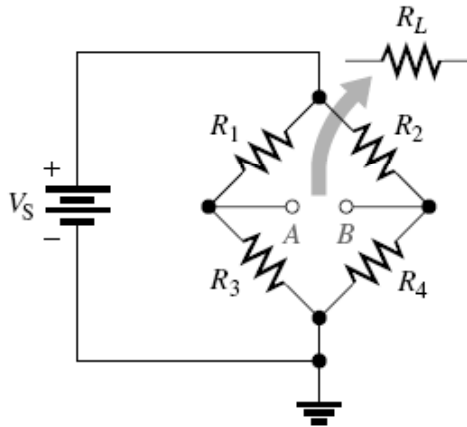
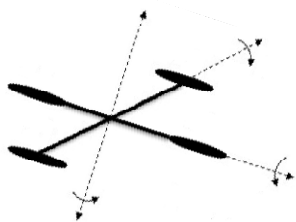
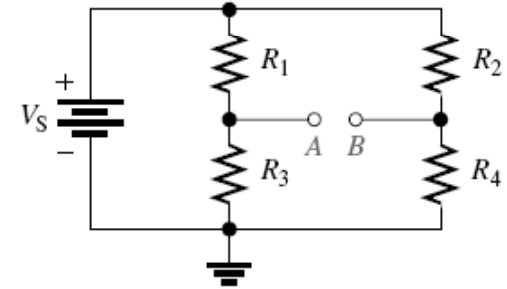


그림 6-48

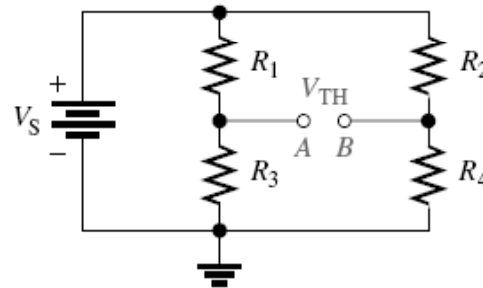
출력단자들 사이에 연결된 부하저항을 갖는 휘스톤 브리지는 간단한 직병렬 회로가 아니다



(a) 출력단자 A, B 사이에 개방회로를 만들기 위해 R_L 을 제거한다.



(b) 회로를 다시 그린다(원한다면).



(c) V_{TH} 를 계산한다.

$$V_{TH} = V_A - V_B = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S$$

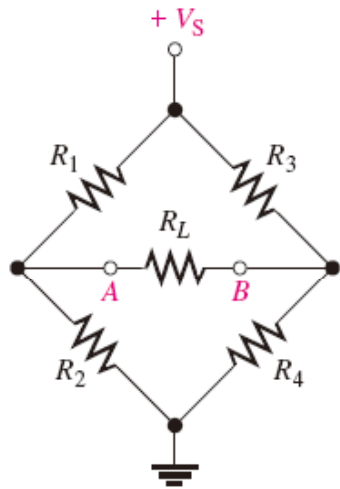
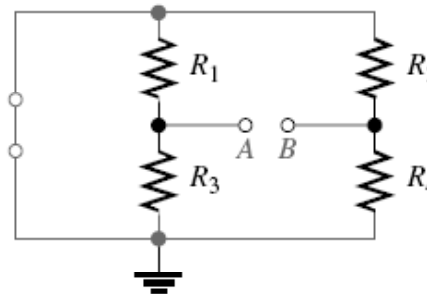
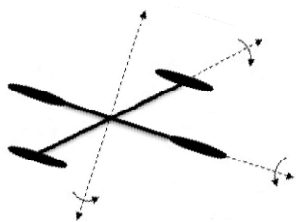
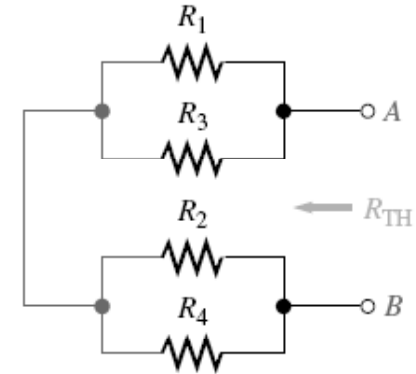


그림 6-48

출력단자들 사이에 연결된 부하저항을 갖는 휘스톤 브리지는 간단한 직병렬 회로가 아니다

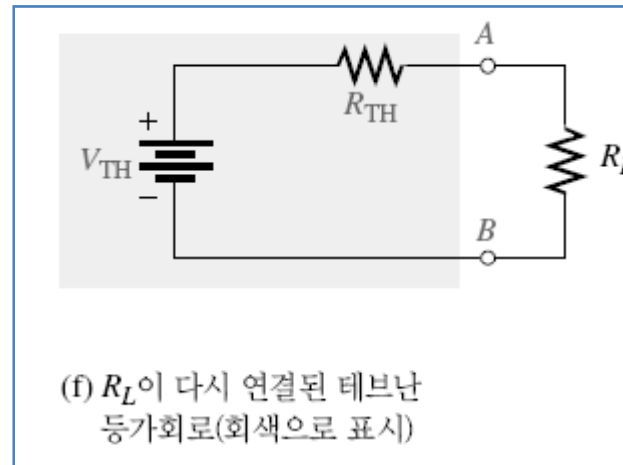


(d) 이 회로의 내부 저항을 계산하기 위해 V_S 를 단락시켜서 제거한다.
주의사항 : 점선은 (e) 부분에서 표시된 점선과 전기적으로 동일하다.



(e) 회로를 다시 그린다(원한다면). 그리고 R_{TH} 를 계산한다.

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4$$

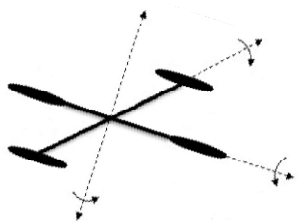
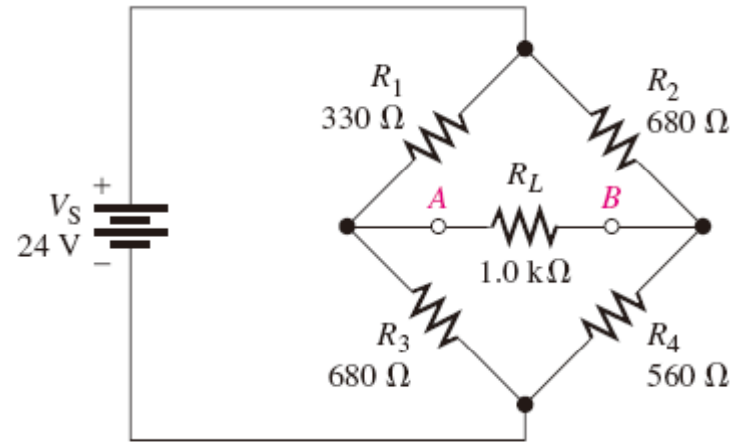


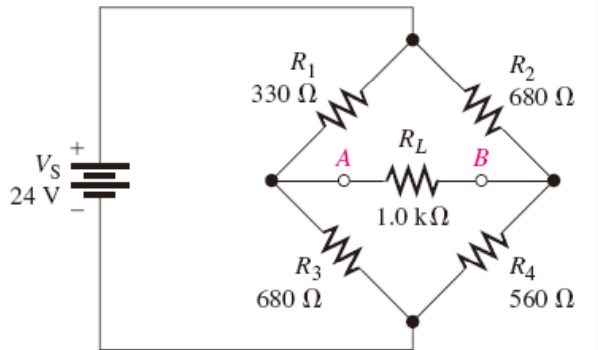
(f) R_L 이 다시 연결된 테브난 등가회로(회색으로 표시)

예제 6-17

그림 6-50의 브리지 회로에서 부하저항 R_L 에 대한 전압과 전류를 구하시오.

그림 6-50





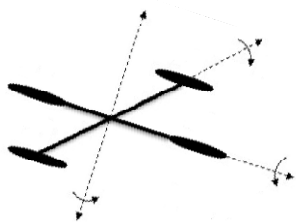
1단계 : 단자 A와 단자 B 사이의 저항 R_L 을 제거한다.

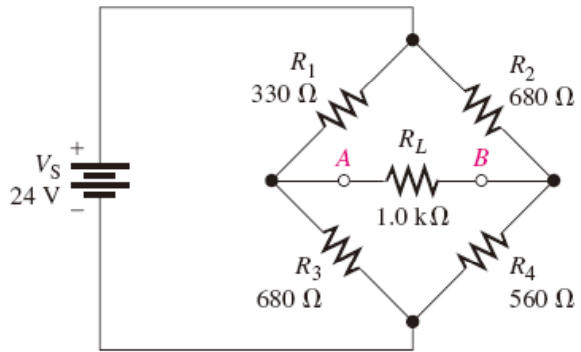
2단계 : 그림 6-49에서 보여진 바와 같이 단자 A와 단자 B 사이로부터 바라본 브리지를 테브난화하기 위해 먼저 V_{TH} 를 구한다.

$$\begin{aligned}
 V_{TH} &= V_A - V_B = \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_S - \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_S \\
 &= \left(\frac{680 \Omega}{1010 \Omega} \right) 24 \text{ V} - \left(\frac{560 \Omega}{1240 \Omega} \right) 24 \text{ V} = 16.16 \text{ V} - 10.84 \text{ V} = 5.32 \text{ V}
 \end{aligned}$$

3단계 : R_{TH} 를 구한다.

$$\begin{aligned}
 R_{TH} &= \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \\
 &= \frac{(330 \Omega)(680 \Omega)}{1010 \Omega} + \frac{(680 \Omega)(560 \Omega)}{1240 \Omega} = 222 \Omega + 307 \Omega = 529 \Omega
 \end{aligned}$$





4단계 : V_{TH} 와 R_{TH} 를 테브난 등가회로에 직렬로 연결한다.

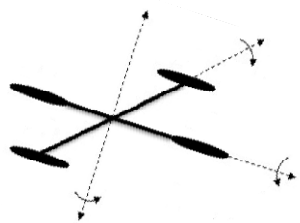
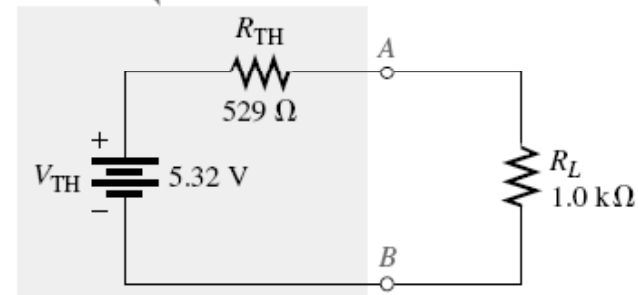
5단계 : 등가회로의 A와 B 두 단자에 부하저항을 연결하고 그림 6-51에 나타나 있듯이 부하저항과 부하전류를 계산한다.

$$V_L = \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) V_{TH} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{1.529 \text{ k}\Omega} \right) 5.32 \text{ V} = 3.48 \text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{3.48 \text{ V}}{1.0 \text{ k}\Omega} = 3.48 \text{ mA}$$

그림 6-51

휘스톤 브리지에 대한 테브난 등가회로



6.7 최대전력 전달이론

최대전력 전달이론(maximum power transfer theorem)

주어진 전원전압의 내부 저항과 부하저항이 같을 때, 부하에 최대 전력이 전달된다.

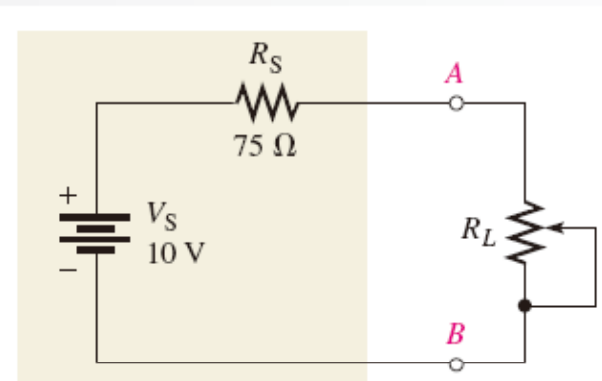
예제 6-18

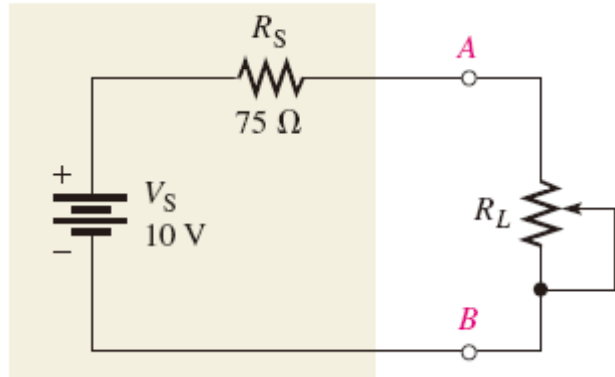
그림 6-54에 있는 전원은 내부 저항이 75Ω 이다. 다음 각각의 부하저항에 대하여 부하전력을 구하시오.

- (a) 0Ω (b) 25Ω (c) 50Ω (d) 75Ω (e) 100Ω (f) 125Ω

부하저항에 대한 부하전력을 나타내는 그래프를 그리시오.

그림 6-54





(a) $R_L = 0 \Omega$ 일 경우 :

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{75 \Omega + 0 \Omega} = 133 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (133 \text{ mA})^2 (0 \Omega) = 0 \text{ mW}$$

(b) $R_L = 25 \Omega$ 일 경우 :

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{75 \Omega + 25 \Omega} = 100 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (100 \text{ mA})^2 (25 \Omega) = 250 \text{ mW}$$

(c) $R_L = 50 \Omega$ 일 경우 :

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{125 \Omega} = 80 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (80 \text{ mA})^2 (50 \Omega) = 320 \text{ mW}$$

(d) $R_L = 75 \Omega$ 일 경우 :

$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{150 \Omega} = 66.7 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (66.7 \text{ mA})^2 (75 \Omega) = 334 \text{ mW}$$

(e) $R_L = 100 \Omega$ 일 경우 :

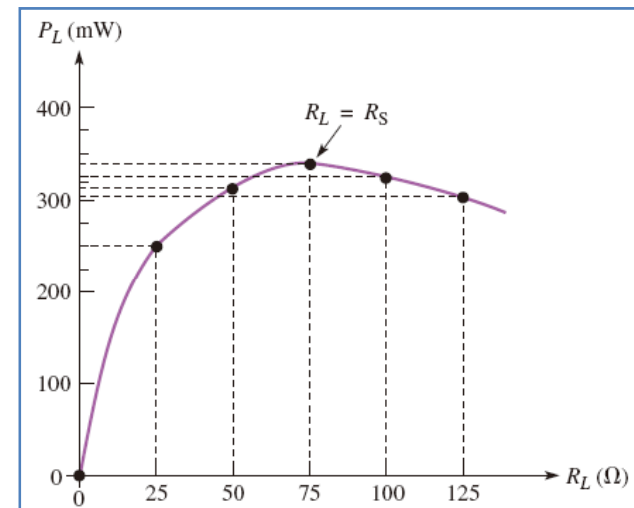
$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{175 \Omega} = 57.1 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (57.1 \text{ mA})^2 (100 \Omega) = 326 \text{ mW}$$

(f) $R_L = 125 \Omega$ 일 경우 :

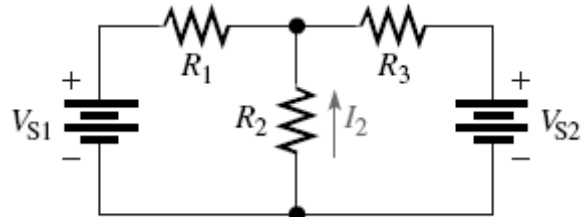
$$I = \frac{V_S}{R_S + R_L} = \frac{10 \text{ V}}{200 \Omega} = 50 \text{ mA}$$

$$P_L = I^2 R_L = (50 \text{ mA})^2 (125 \Omega) = 313 \text{ mW}$$

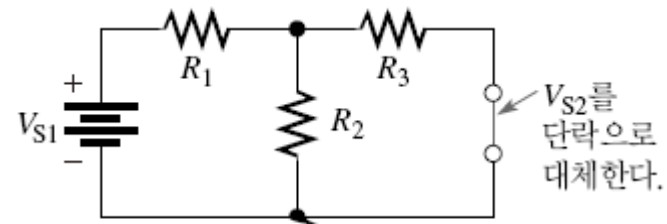


6.8 중첩의 정리

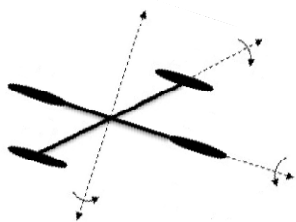
다중 전원이 공급되는 회로에서 어느 특정 지로의 전류는, 각 전원이 단독으로 공급될 때 그 특정 지로의 전류를 구하고, 이를 대수적으로 더함으로써 구할 수 있다. 이 때 다른 모든 전원은 그들의 내부 저항으로 대체한다. 결과적으로 그 지로의 총 전류는 개별적 전원에 의한 지로전류의 대수적인 합이 된다.

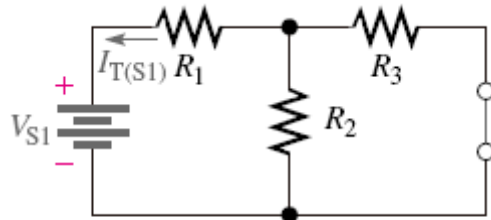


(a) 문제 : I_2 를 구한다.



(b) V_{S2} 를 0Ω 의 저항으로 대체한다(단락).

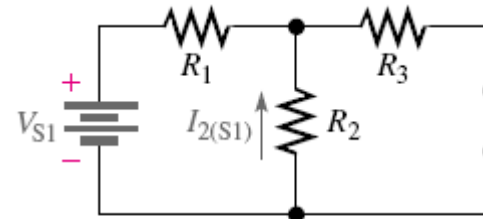




(c) V_{S1} 에 대해 R_T 와 I_T 를 구한다.

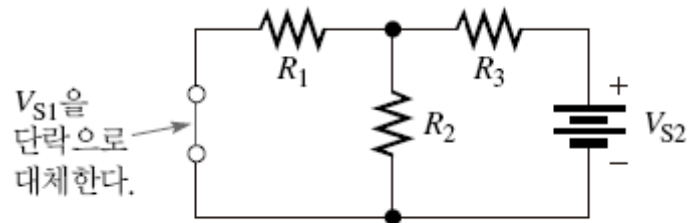
$$R_{T(S1)} = R_1 + R_2 \parallel R_3$$

$$I_{T(S1)} = V_{S1} / R_{T(S1)}$$

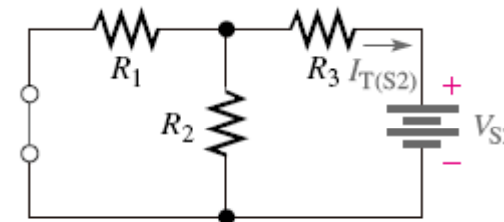


(d) V_{S1} 에 대한 I_2 를 구한다.

$$I_{2(S1)} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)}$$



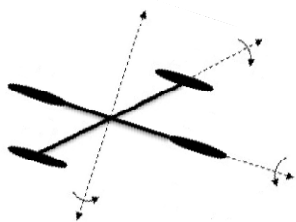
(e) V_{S1} 을 0Ω 의 저항으로 대체한다(단락).

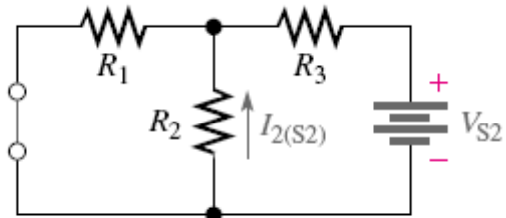


(f) V_{S2} 에 대한 R_T 와 I_T 를 계산한다.

$$R_{T(S2)} = R_3 + R_1 \parallel R_2$$

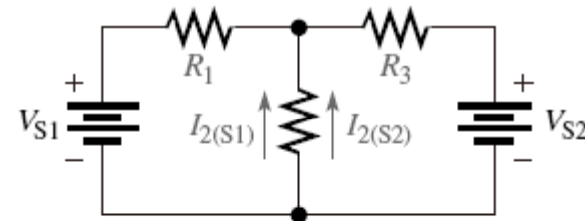
$$I_{T(S2)} = V_{S2} / R_{T(S2)}$$





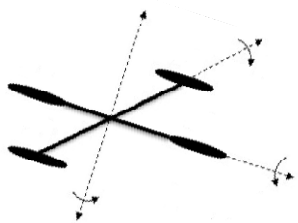
(g) V_{S2} 에 대한 I_2 를 구한다.

$$I_{2(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) I_{T(S2)}$$



(h) 원래 전원들로 복원한다. 실제 I_2 를 구하기 위해 $I_{2(S1)}$ 과 $I_{2(S2)}$ 를 더한다.

$$I_2 = I_{2(S1)} + I_{2(S2)}$$



예제 6-19

중첩의 정리를 이용하여 그림 6-57 회로의 R_2 에 흐르는 전류와 양단 전압을 구하시오.

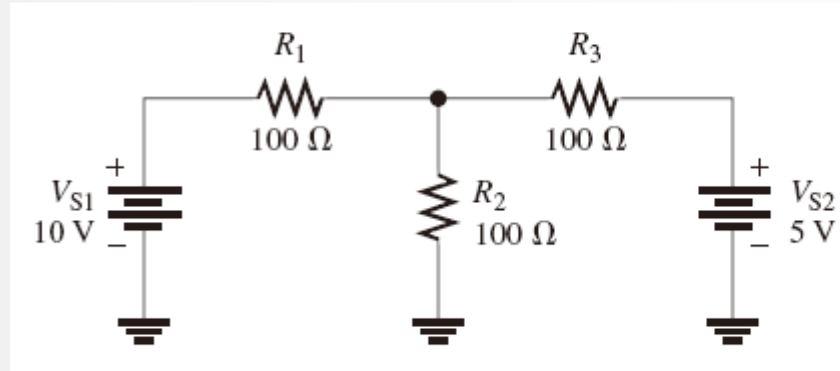
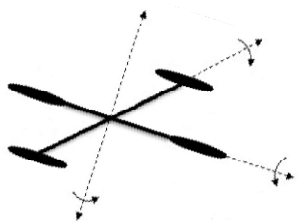


그림 6-57



1단계 : 그림 6-58에서 나타낸 바와 같이 V_{S2} 를 단락으로 대체하고, V_{S1} 만 공급되는 조건에서 R_2 에 흐르는 전류를 구한다. I_2 를 구하기 위해 전류분배 법칙을 이용한다. V_{S1} 이 공급되는 조건에서는 다음과 같다.

$$R_{T(S1)} = R_1 + \frac{R_3}{2} = 100 \Omega + 50 \Omega = 150 \Omega$$

$$I_{T(S1)} = \frac{V_{S1}}{R_{T(S1)}} = \frac{10 \text{ V}}{150 \Omega} = 66.7 \text{ mA}$$

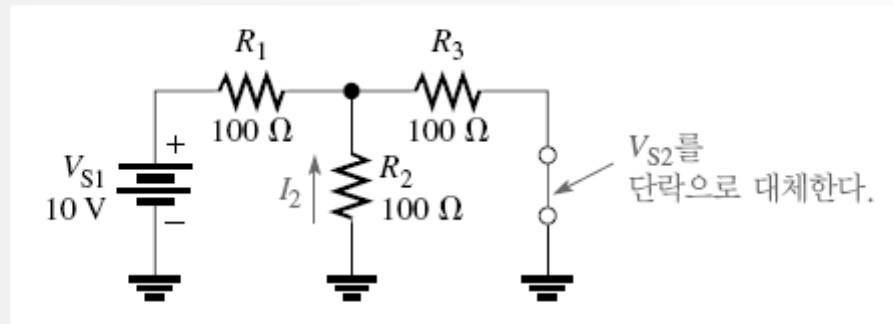


그림 6-58

V_{S1} 에 의해 R_2 를 통해 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$I_{2(S1)} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)} = \left(\frac{100 \Omega}{200 \Omega} \right) 66.7 \text{ mA} = 33.3 \text{ mA}$$

2단계 : 그림 6-59에 나타난 바와 같이 V_{S1} 을 단락으로 대체하고, V_{S2} 에 의해 R_2 를 통해 흐르는 전류를 구한다.

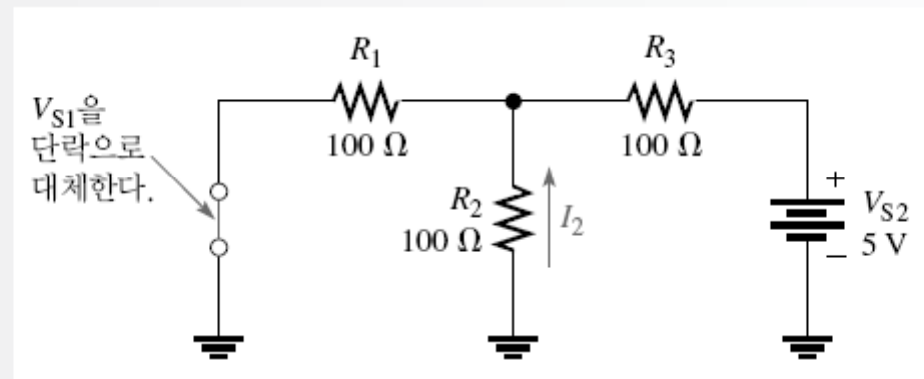
$$R_{T(S2)} = R_3 + \frac{R_1}{2} = 100 \Omega + 50 \Omega = 150 \Omega$$

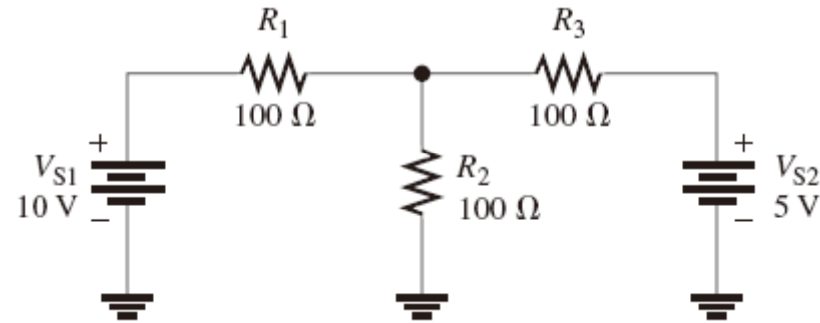
$$I_{T(S2)} = \frac{V_{S2}}{R_{T(S2)}} = \frac{5 \text{ V}}{150 \Omega} = 33.3 \text{ mA}$$

V_{S2} 에 의한 R_2 의 전류는 다음과 같다.

$$I_{2(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) I_{T(S2)} = \left(\frac{100 \Omega}{200 \Omega} \right) 33.3 \text{ mA} = 16.7 \text{ mA}$$

이 전류는 R_2 를 통해 위쪽으로 흐르고 있음을 명심하자.



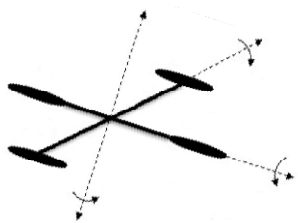


3단계 : 두 전류 성분은 R_2 를 통해 위쪽으로 흐르므로 대수적으로 부호가 동일하다. 따라서 두 전류값을 더하여 얻는 R_2 에 흐르는 총 전류를 얻는다.

$$I_{2(\text{tot})} = I_{2(S1)} + I_{2(S2)} = 33.3 \text{ mA} + 16.7 \text{ mA} = \mathbf{50 \text{ mA}}$$

R_2 의 양단 전압은 다음과 같다.

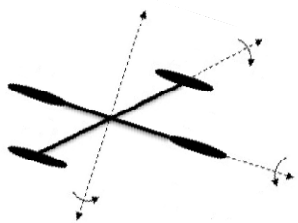
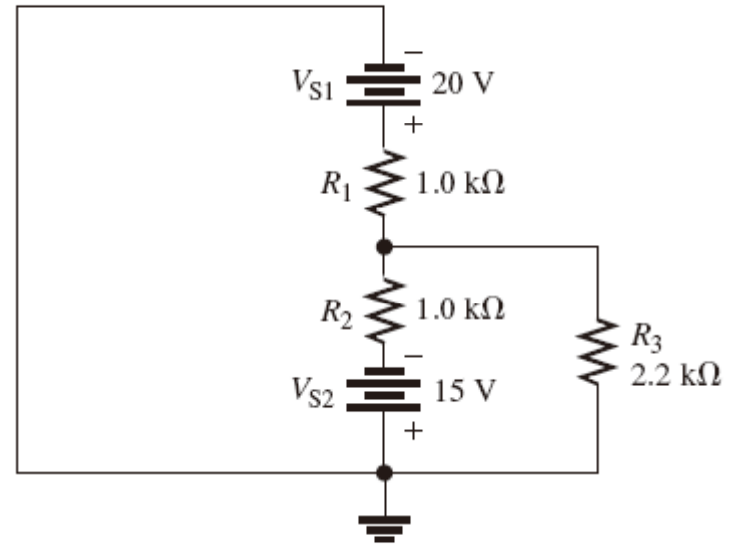
$$V_{R2} = I_{2(\text{tot})}R_2 = (50 \text{ mA})(100 \Omega) = \mathbf{5 \text{ V}}$$



예제 6-20

그림 6-60에서 R_3 에 흐르는 전류와 R_3 의 양단 전압을 구하시오.

그림 6-60



1단계 : 그림 6-61에 나타난 바와 같이 V_{S2} 를 단락시킨 상태에서 V_{S1} 전압에 의해 흐르는 전류를 구한다. V_{S1} 이 공급되는 조건에서는 다음과 같다.

$$R_{T(S1)} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 1.0 \text{ k}\Omega + \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{3.2 \text{ k}\Omega} = 1.69 \text{ k}\Omega$$

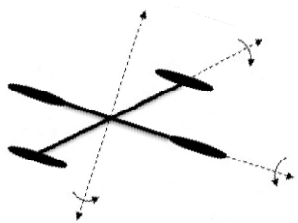
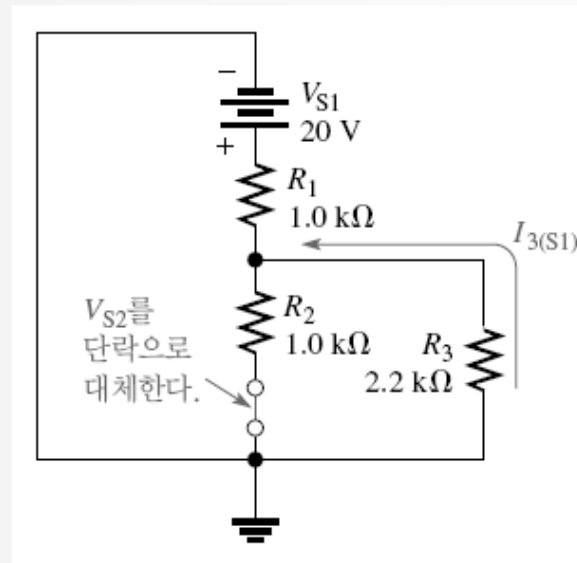
$$I_{T(S1)} = \frac{V_{S1}}{R_{T(S1)}} = \frac{20 \text{ V}}{1.69 \text{ k}\Omega} = 11.8 \text{ mA}$$

V_{S1} 에 의해 R_3 로 흐르는 전류를 계산하기 위해 전류분배 법칙을 적용한다.

$$I_{3(S1)} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) I_{T(S1)} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{3.2 \text{ k}\Omega} \right) 11.8 \text{ mA} = 3.69 \text{ mA}$$

이 전류는 R_3 를 통해 위쪽으로 흐르고 있음을 명심하자.

그림 6-61

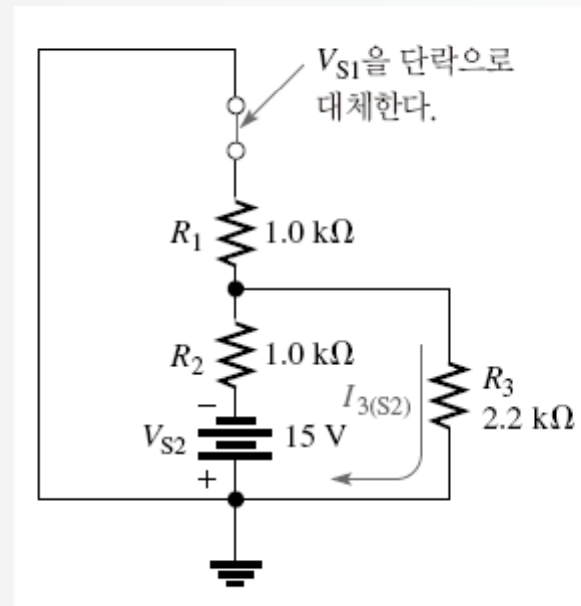


2단계 : 그림 6-62에서와 같이 V_{S1} 을 단락시킨 후 V_{S2} 에 의해 R_3 에 흐르는 전류를 구한다. V_{S2} 가 공급되는 조건에서는 다음과 같다.

$$R_{T(S2)} = R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = 1.0 \text{ k}\Omega + \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ k}\Omega)}{3.2 \text{ k}\Omega} = 1.69 \text{ k}\Omega$$

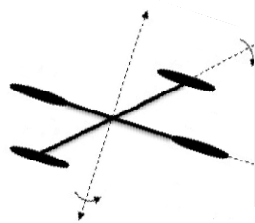
$$I_{T(S2)} = \frac{V_{S2}}{R_{T(S2)}} = \frac{15 \text{ V}}{1.69 \text{ k}\Omega} = 8.88 \text{ mA}$$

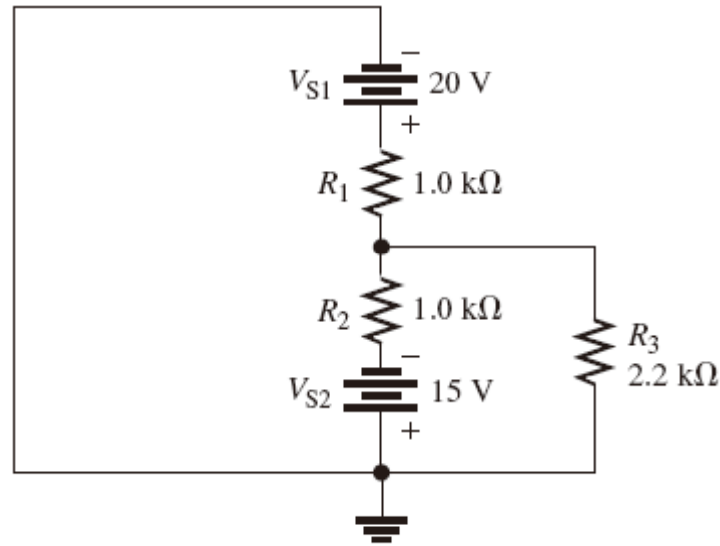
그림 6-62



V_{S2} 에 의해 R_3 로 흐르는 전류를 계산하기 위해 전류분배 법칙을 적용한다.

$$I_{3(S2)} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} \right) I_{T(S2)} = \left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{3.2 \text{ k}\Omega} \right) 8.88 \text{ mA} = 2.78 \text{ mA}$$





3단계 : R_3 를 통해 흐르는 전체 전류와 R_3 에 걸리는 전압을 계산한다.

$$I_{3(\text{tot})} = I_{3(S1)} - I_{3(S2)} = 3.69 \text{ mA} - 2.78 \text{ mA} = 0.91 \text{ mA} = \mathbf{910 \mu A}$$

$$V_{R3} = I_{3(\text{tot})}R_3 = (910 \mu A)(2.2 \text{ k}\Omega) \cong \mathbf{2 \text{ V}}$$

R_3 를 통해 흐르는 전류는 위쪽으로 향하고 있다.

