

Chap 2. Three Phase Circuit

2.1 3상 전원

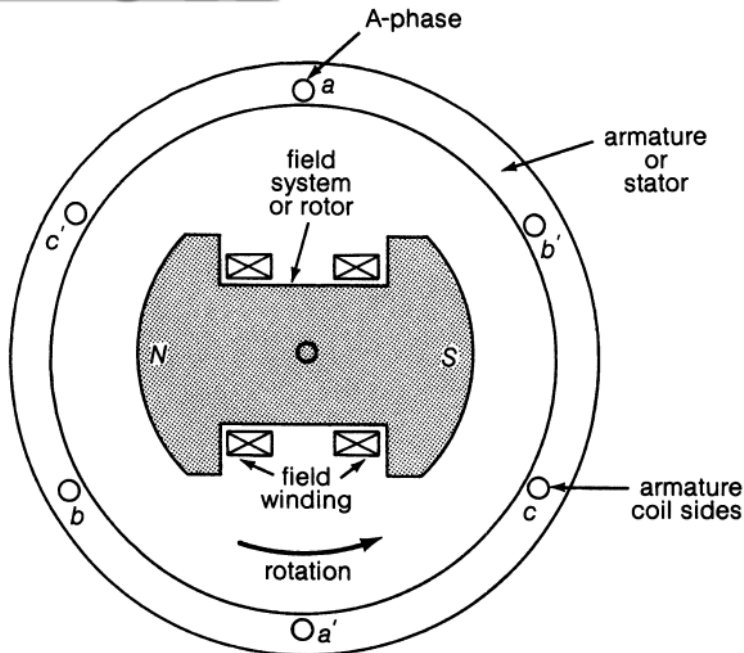
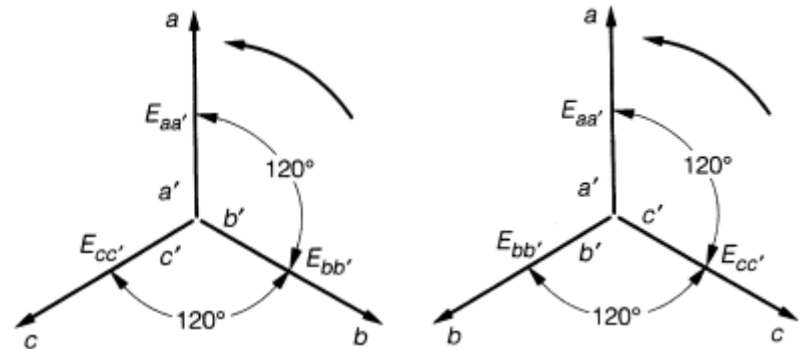
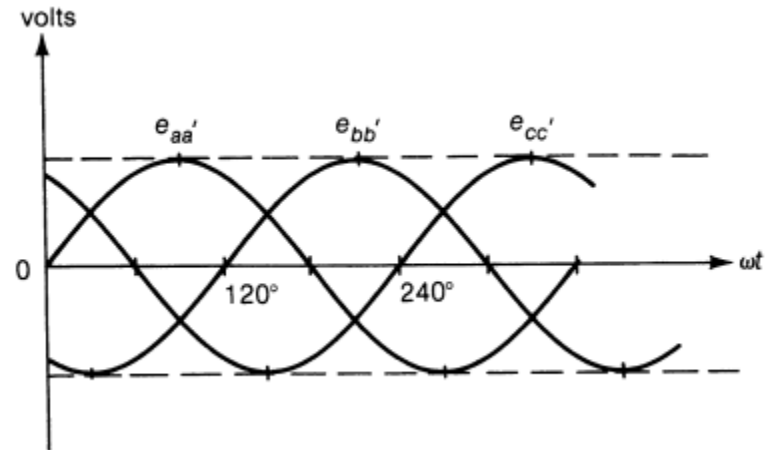
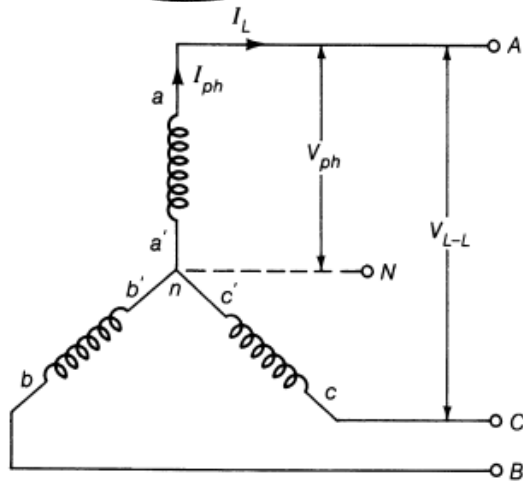
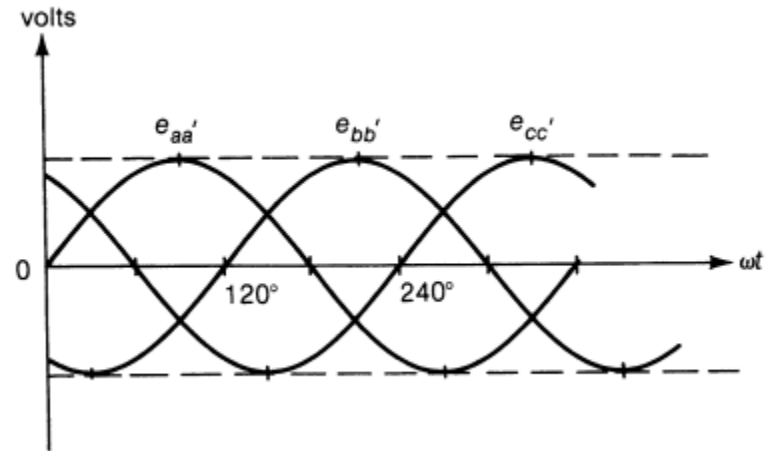
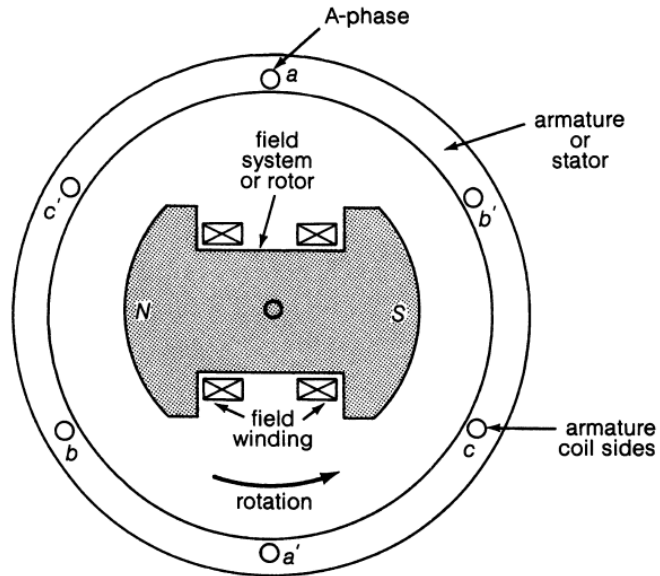


그림 2.1.1 • 기본적인 3상, 2극 교류 발전기.

- 3상 / 2극 / 교류발전기
- 3600 rpm, 60 rps, 60 Hz
- 위상차 120° : a상, b상, c상
기계적 위상차/전기적 위상차
정상/역상

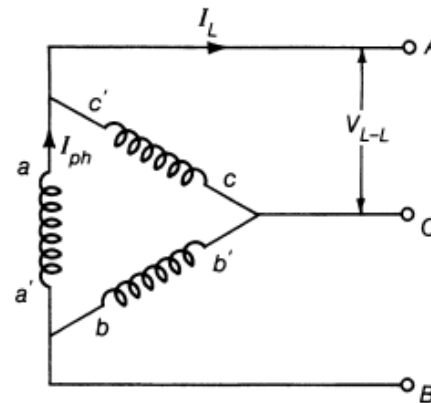


• Y 결선 / Δ 결선



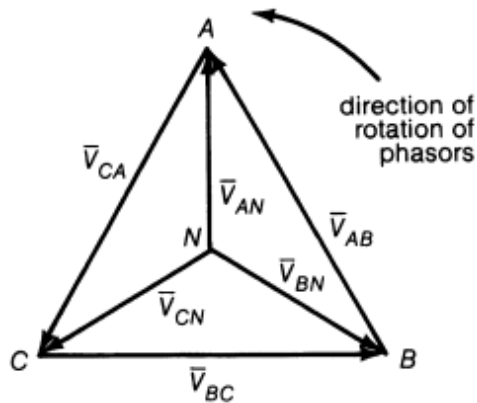
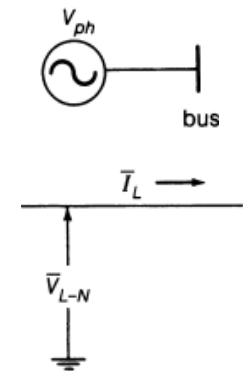
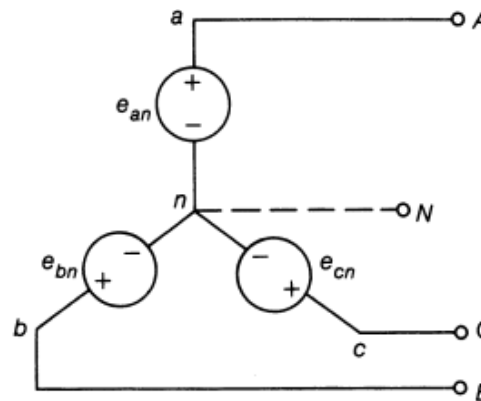
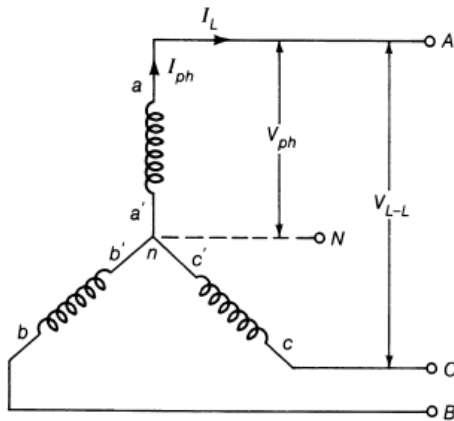
$$V_{L-L} = \sqrt{3} V_{ph}$$

$$I_L = I_{ph}$$



$$V_{L-L} = V_{ph}$$

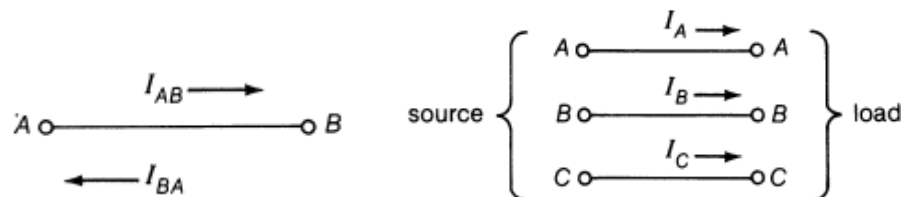
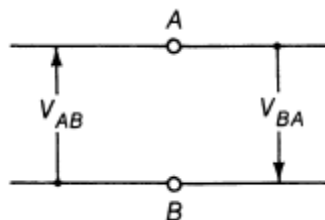
$$I_L = \sqrt{3} I_{ph}$$



$$\begin{aligned}\bar{V}_{BC} &= V_L \angle 0^\circ \text{ (Ref.)}; & \bar{V}_{AN} &= \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ \\ \bar{V}_{AB} &= V_L \angle 120^\circ; & \bar{V}_{BN} &= \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ \\ \bar{V}_{CA} &= V_L \angle 240^\circ; & \bar{V}_{CN} &= \frac{V_L}{\sqrt{3}} \angle -150^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{V}_{AB} &= \bar{V}_{AN} + \bar{V}_{NB} \\ \bar{V}_{AN} + \bar{V}_{BN} + \bar{V}_{CN} &= 0 \\ \bar{V}_{AB} + \bar{V}_{BC} + \bar{V}_{CA} &= 0.\end{aligned}$$

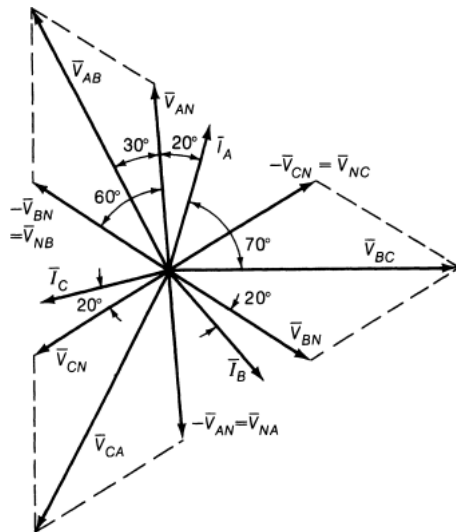
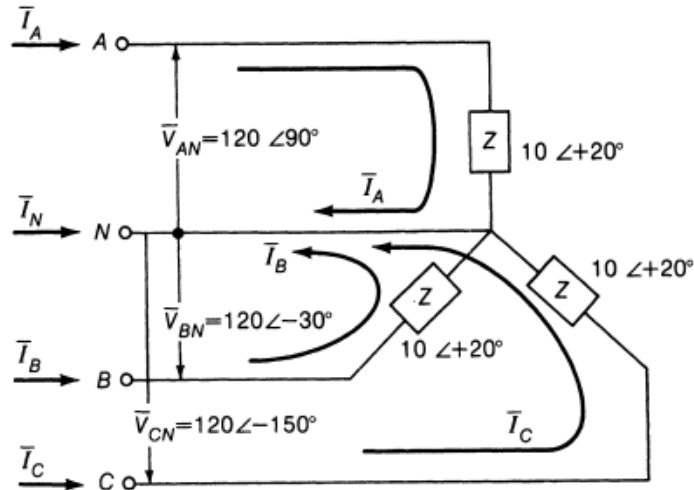
• 표현 :



2.2 평형 3상 부하

- 평형 Y 결선부하 : $Z=10\angle 20^\circ$, 3상4선, $V_{ab}=208V$, $V_{an}=120V(=208/\sqrt{3})$

: 선간전압/선전압, 순시치/실효치



$$\bar{I}_A = \frac{\bar{V}_{AN}}{Z} = \frac{(208/\sqrt{3})\angle 90^\circ}{10\angle 20^\circ} = 12\angle 70^\circ$$

$$\bar{I}_B = \frac{\bar{V}_{BN}}{Z} = \frac{(208/\sqrt{3})\angle -30^\circ}{10\angle 20^\circ} = 12\angle -50^\circ$$

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{V}_{CN}}{Z} = \frac{(208/\sqrt{3})\angle -150^\circ}{10\angle 20^\circ} = 12\angle -170^\circ$$

$$\begin{aligned}\bar{I}_N &= -(\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C) \\ &= -(12\angle 70^\circ + 12\angle -50^\circ + 12\angle 170^\circ) = 0\end{aligned}$$

$$\bar{V}_{AN} = \frac{\bar{V}_{AB}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ; \quad \bar{V}_{BN} = \frac{\bar{V}_{BC}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ; \quad \bar{V}_{CN} = \frac{\bar{V}_{CA}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ$$

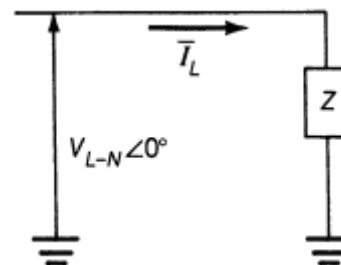
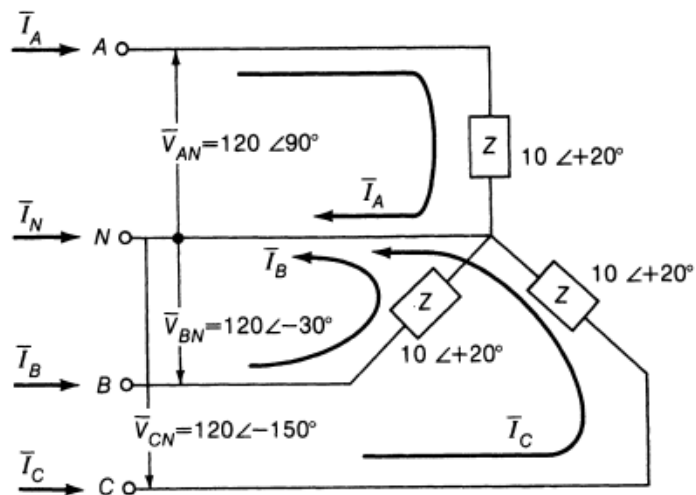
$$|\bar{V}_{AN}| = |\bar{V}_{BN}| = |\bar{V}_{CN}| = V_{L-N} = V_{ph}$$

$$|\bar{V}_{AB}| = |\bar{V}_{BC}| = |\bar{V}_{CA}| = V_{L-L} = \sqrt{3}V_{ph}$$

$$|\bar{I}_A| = |\bar{I}_B| = |\bar{I}_C| = I_L = I_{ph}$$

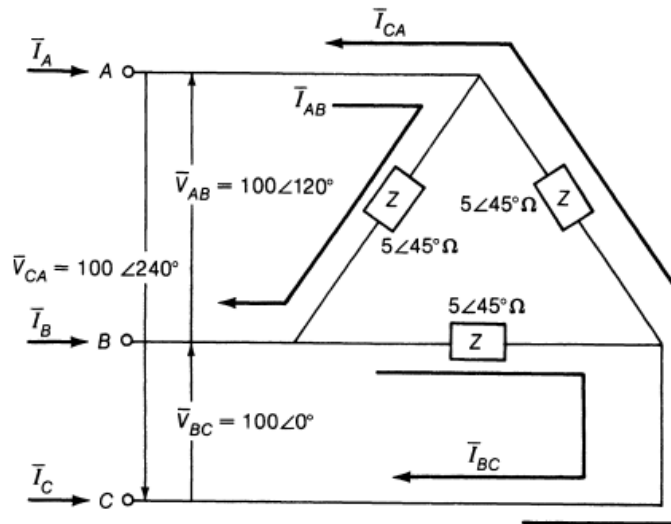
$$\bar{I}_N = 0$$

- 등가 단상회로 해석 :



$$\bar{I}_L = \frac{\bar{V}_{L-N}}{Z} = \frac{(208/\sqrt{3}) \angle 0^\circ}{10 \angle 20^\circ} = 12 \angle -20^\circ$$

- 평형 Δ 결선부하: $R=5\angle 45^\circ$, 3상3선, $V_{ab}=100V$



$$\bar{I}_{AB} = \frac{\bar{V}_{AB}}{Z} = \frac{100\angle 120^\circ}{5\angle 45^\circ} = 20\angle 75^\circ$$

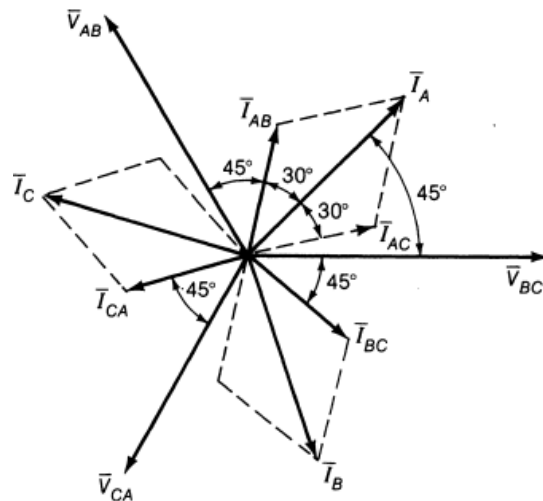
$$\bar{I}_{BC} = \frac{\bar{V}_{BC}}{Z} = \frac{100\angle 0^\circ}{5\angle 45^\circ} = 20\angle -45^\circ$$

$$\bar{I}_{CA} = \frac{\bar{V}_{CA}}{Z} = \frac{100\angle 240^\circ}{5\angle 45^\circ} = 20\angle 195^\circ$$

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} + \bar{I}_{AC} = 20\angle 75^\circ - 20\angle 195^\circ = 34.64\angle 45^\circ$$

$$\bar{I}_B = \bar{I}_{BA} + \bar{I}_{BC} = -20\angle 75^\circ + 20\angle -45^\circ = 34.64\angle -75^\circ$$

$$\bar{I}_C = \bar{I}_{CA} + \bar{I}_{CB} = 20\angle 195^\circ - 20\angle -45^\circ = 34.64\angle 165^\circ$$



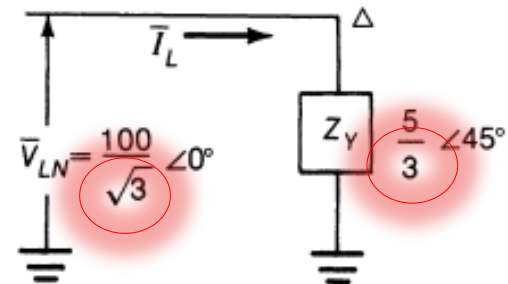
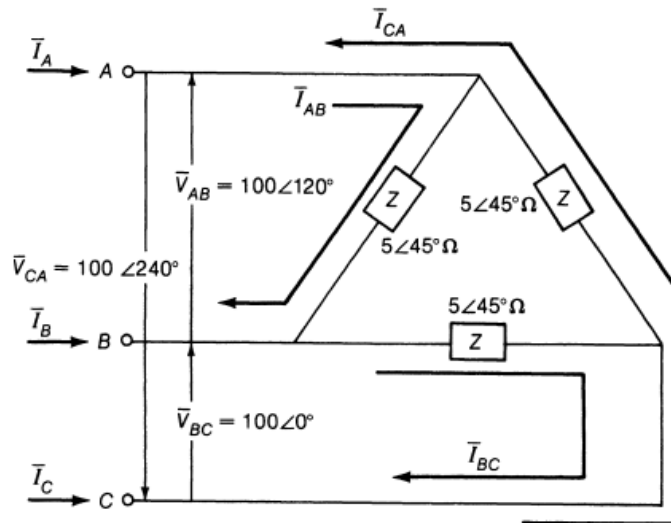
$$|\bar{V}_{AB}| = |\bar{V}_{BC}| = |\bar{V}_{CA}| = V_{L-L} = V_{ph}$$

$$|\bar{I}_{AB}| = |\bar{I}_{BC}| = |\bar{I}_{CA}| = I_{ph}$$

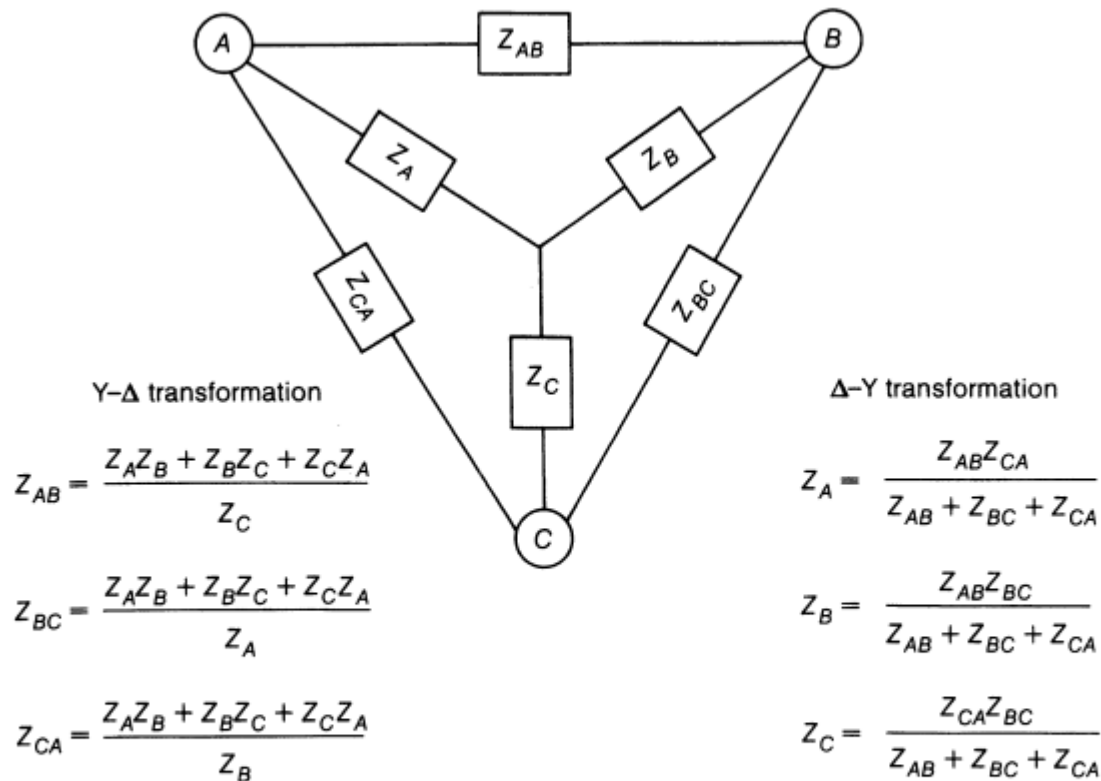
$$|\bar{I}_A| = |\bar{I}_B| = |\bar{I}_C| = I_L = \sqrt{3} I_{ph}$$

$$\bar{I}_A = \sqrt{3} \bar{I}_{AB} \angle -30^\circ; \bar{I}_B = \sqrt{3} \bar{I}_{BC} \angle -30^\circ; \bar{I}_C = \sqrt{3} \bar{I}_{CA} \angle -30^\circ$$

• 등가 단상회로 해석 :



• Y-Δ 변환, Δ-Y 변환 :



for the balanced case,

$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_{\Delta} = 3Z_Y$$

for the balanced case,

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z_Y = \frac{1}{3} Z_{\Delta}$$

그림 2.2.1 • Y-Δ 및 Δ-Y 변환.

• 평형 3상 전력 :

상 전압 / 상 전류 $\rightarrow$ $P = 3V_{ph}I_{ph} \cos \phi$ $Q = 3V_{ph}I_{ph} \sin \phi$

선간전압 / 선전류 $\rightarrow$ $P = \sqrt{3}V_LI_L \cos \phi$ $Q = \sqrt{3}V_LI_L \sin \phi$

피상전력 $\rightarrow$ $S = P + jQ$ $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3V_{ph}I_{ph} = \sqrt{3}V_LI_L$

- 평형 3상 회로에서
전압과 전류는 정현적으로 계속 변하지만,
3상 부하에 공급되는 전체 순시전력은 일정하며 그 값은 전체 평균전력과 동일하다.

<Ex 2.2.1> Y결선된 발전기가 3상 20 kV를 공급하도록 설계되었다.

- 각 상권선의 선-중성점 사이의 전압을 구하라.
- 발전기의 권선이 결선된 경우 선간 출력전압을 구하라.
- 20 kV 발전기가 지상역률 0.8로 10 A의 선 전류를 공급한다고 하자.
피상전력(kVA), 유효전력(kW) 및 무효전력(kVAR)을 구하라.

<Ex 2.2.2> 상당 (8+j6) 의 임피던스를 갖는 3상 Δ결선된 부하가
400 V 3상 전원공급장치에 연결되었다.

상 전류, 선 전류 및 부하에 소비되는 전력을 계산하라.

$$\rightarrow I_{ph}=40\angle-36.87^\circ, I_L=\sqrt{3}\times 40=69.28, pf=0.8$$

$$P = \sqrt{3} \times 400 \times 69.28 \times 0.8 = \underline{38.40 \text{ kW}}$$

<Ex 2.2.3> 상당 (8+j6) 의 임피던스를 갖는 3상 Y결선된 부하가
400 V 3상 전원공급장치에 연결되었다.

상 전류, 선 전류 및 부하에 소비되는 전력을 계산하라.

$$\rightarrow I_{ph}=23\angle-36.87^\circ, I_L=I_{ph}=23, pf=0.8$$

$$P = \sqrt{3} \times 400 \times 23 \times 0.8 = \underline{12.75 \text{ kW}} \quad (\sim 1/3)$$

2.3 3상 전력측정

- 2 전력계법 :

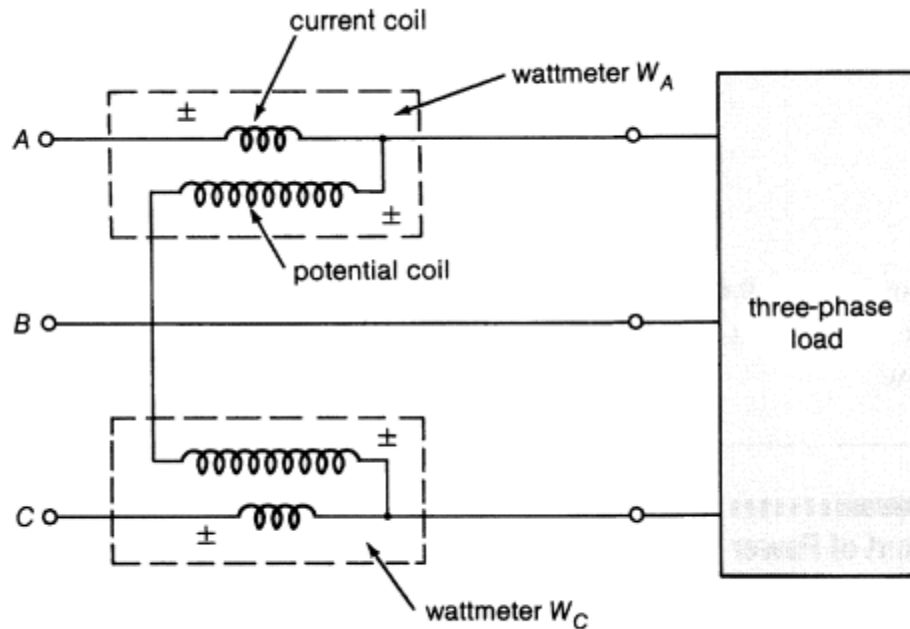


그림 2.3.1 • 3상 전력을 측정하기 위한 2-전력계법의 결선도.

$$W_A = V_{AB} \cdot I_A \cdot \cos \theta_A$$

$$W_C = V_{CB} \cdot I_C \cdot \cos \theta_C$$

$$W_A = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi)$$

$$W_C = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

$$W_A + W_C = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

$$W_C - W_A = V_L I_L \sin \phi$$

$$P = W_A + W_C = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi = \sqrt{3} (W_C - W_A)$$

$$\tan \phi = \sqrt{3} \frac{W_C - W_A}{W_C + W_A}$$

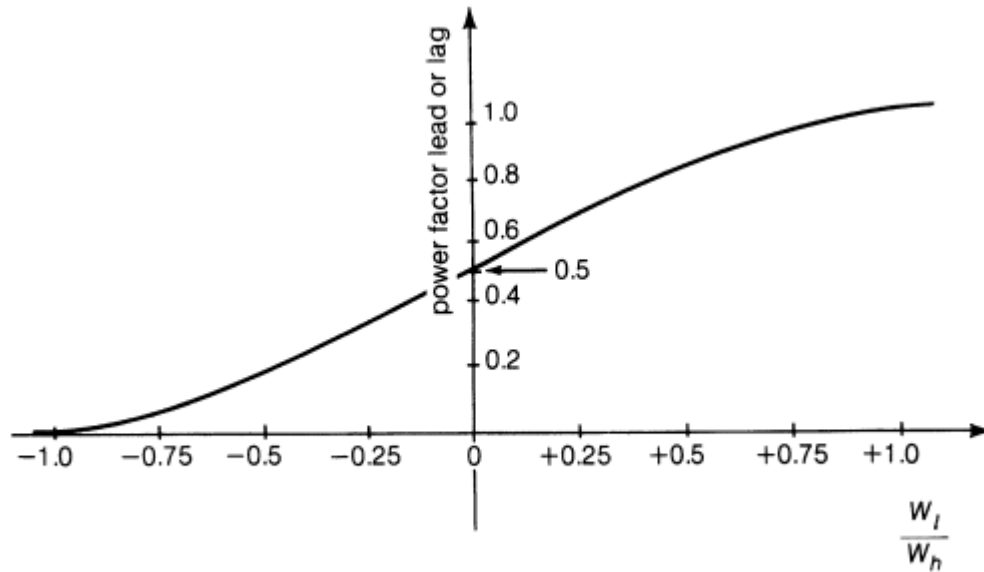


그림 2.3.2 * (W_l/W_h) 비 대 부하역률 곡선.

$$P = W_A + W_C = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

$$Q = \sqrt{3} V_L I_L \sin \phi = \sqrt{3} (W_C - W_A)$$

- 정상 : $\tan \phi = \sqrt{3} \frac{W_C - W_A}{W_C + W_A} = \sqrt{3} \frac{W_A - W_B}{W_A + W_B} = \sqrt{3} \frac{W_B - W_C}{W_B + W_C}$
- 역상 : $\tan \phi = \sqrt{3} \frac{W_A - W_C}{W_A + W_C} = \sqrt{3} \frac{W_B - W_A}{W_B + W_A} = \sqrt{3} \frac{W_C - W_B}{W_C + W_B}$

<Ex 2.3.1>

그림 2.3.1에서, 정상 $V_{AB} = 100\sqrt{3}\angle 0^\circ$ 인 평형 3상 전압을 단자 A, B, C에 접속한다. Y결선된 3상 평형부하는 각 상 임피던스가 $(10+j10)$ 인 부하로 구성되었다. 전력계가 표시하는 값 W_A 와 W_C 를 구한 후, 부하에 공급되는 전체 3상 전력을 구하라.

<Ex 2.3.2>

2-전력계법이 3상 유도전동기의 입력전력을 측정하기 위해 사용되었다. 400 V, 50 Hz 전원공급기에 대해, 두 대의 전력계에 750 W 및 250 W가 표시되었다. 입력전력, 역률, 선 전류를 계산하라.

<Ex 2.3.3>

전류코일이 상 A에 연결되고, 전압코일이 평형 3상 시스템의 상 A와 중성점 사이에 연결된 상태에서, 이 시스템이 전압 400 V에서 60 A의 전류를 부하에 공급할 때, 전력계는 10 kW의 전력을 표시하였다. 부하에 공급되는 전체전력을 구하라.