

기초전기기기

(강의자료 #3)



2013~2022년 출제문제 수록
새로운 출제기준에 따른 **2023**
전기기사 필기

김정연구회 저

전기기사 필기! 이 책 하나로 충분하다

1. 2013~2022년 출제문제 수록
2. 출제기준에 따른 과목별 내용과 출제예상문제 수록
3. 홈페이지 게시판을 통한 질의 및 응답



무료 동영상 강의 제공

최신 출제문제 (전기이론, 전기기기 해설)
www.dongilbook.com

2023년 한국전기설비규정 개정(안) 완벽적용

교과목명 : 기초전기기기

담당교수 : 이 수 형

E-mail : soohyong@uu.ac.kr

교재명 : 2023 전기기사 필기, 동일출판사

03. 변압기 (Transformer)



2장. 동기기

1. 변압기의 원리
2. 변압기의 구조
3. 여자 전류
4. 변압기의 벡터도
5. 변압기의 등가회로
6. 임피던스 전압, 퍼센트 임피던스 강하
7. 전압 변동률
8. 변압기의 손실과 효율
9. 변압기의 3상 결선
10. 상수의 변환
11. 병렬 운전
12. 특수 변압기

1. 변압기의 원리

- 원리

- 자기회로를 가진 1개의 철심에 두개의 코일을 감고 한쪽권선에 교류전압을 가하면 철심에 교번 자계에 의한 자속이 흘러 다른 권선에서 유도기전력이 발생

- 권수비

$$E_1 = 4.44fN_1\phi_m \text{ [V]}$$

$$E_2 = 4.44fN_2\phi_m \text{ [V]}$$

- 여기서 E : 유도기전력 [V], f : 주파수 [Hz]

ϕ_m : 최대 자속 [Wb], N : 권수

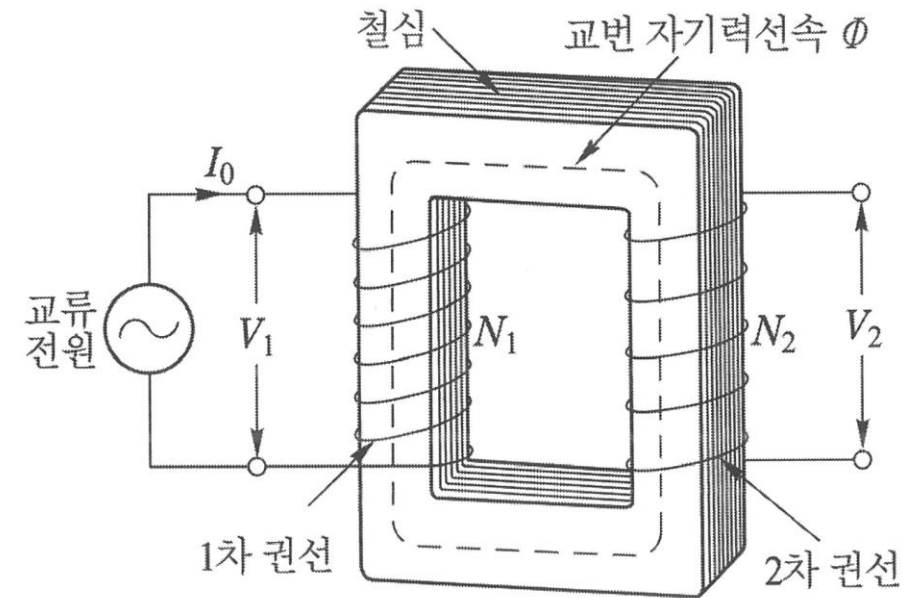


그림 3-1 변압기의 원리 N_1, N_2 : 권선 수

1. 변압기의 원리

- 권수비

$$E_1 = 4.44fN_1\phi_m [\text{V}], \quad E = 4.44fN_2\phi_m [\text{V}]$$

❖ 여기서 E : 유도기전력 [V], f : 주파수 [Hz],
 ϕ_m : 최대 자속 [Wb], N : 권수

➤ **전압비** : 기전력의 크기의 비 (= 권수비)

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- 권수비

$$E_1 = 4.44fN_1\phi_m [\text{V}], \quad E = 4.44fN_2\phi_m [\text{V}]$$

❖ 여기서 E : 유도기전력 [V], f : 주파수 [Hz],
 ϕ_m : 최대 자속 [Wb], N : 권수

➤ **전압비** : 기전력의 크기의 비 (= 권수비)

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

N_1, N_2 : 권선 수

1. 변압기의 원리

- 변류비

- 1차권선에 공급되는 전력 $V_1 I_1$ 은 철심/권선에서의 손실을 무시하면 대부분 2차로 변환
⇒ 2차에서 $V_2 I_2$ 의 전력을 공급

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$a = \frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

- 변류비 : 변압기 전류의 비율 = 권수비의 역수

$$\frac{I_2}{I_1}$$

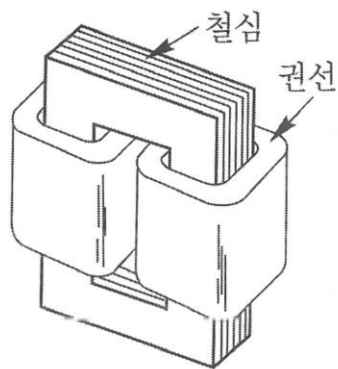
2. 변압기의 구조

- 변압기의 구조

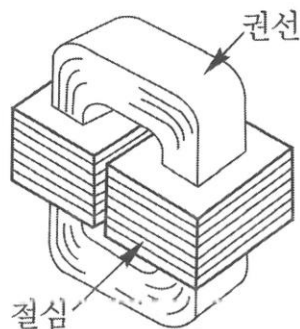
- 철심(core) : 0.3~0.6[mm]의 규소강판 (규소 함유량 4~4.5[%])
: 규소 - 히스테리시스손 감소, 성층 - 와류손 감소

- 철심의 형태에 따른 분류

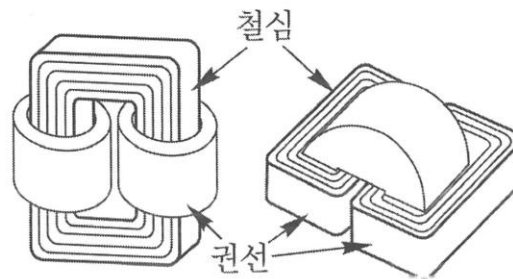
- 내철형, 외철형, 분포 철심형, 권철심형



(a) 내철형



(b) 외철형



(c) 권철심형

그림 3-3 변압기의 분류

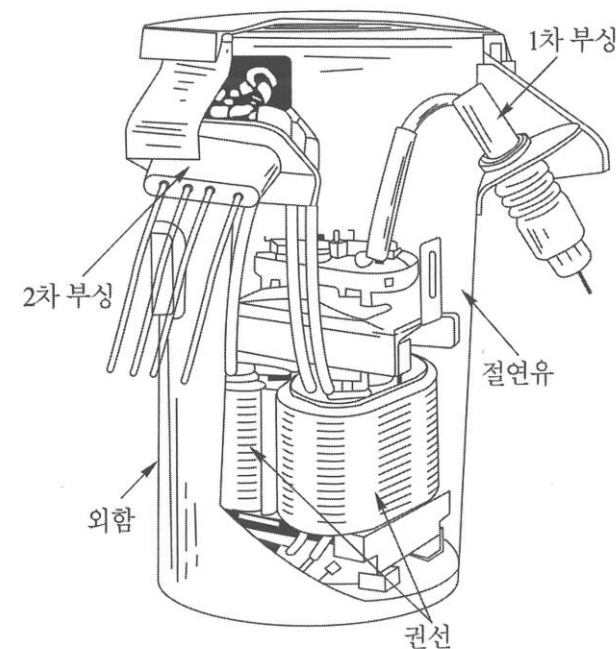


그림 3-2 변압기의 구조

부상 : 도체 주위에 자기로 된
애자관으로 끼워만들어 변압기
상층부에 설치하여 대지와
절연처리를 하기 위함

2. 변압기의 구조

- 변압기유

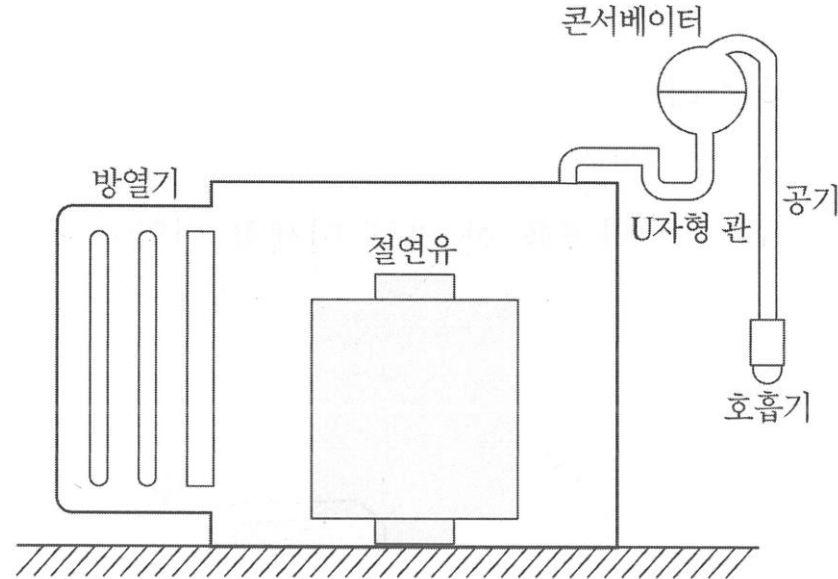
- 냉각과 절연을 목적으로 사용하며 다음의 조건이 필요
 - ❖ 절연 내력이 클 것
 - ❖ 절연 재료 및 금속에 화학 작용을 일으키지 않을 것
 - ❖ 인화점이 높고, 응고점이 낮을 것
 - ❖ 점도가 낮고(유동성이 풍부), 비열이 커서 냉각 효과가 클 것
 - ❖ 고온에서도 석출물이 생기거나 산화하지 않을 것
- 변압기 기름의 열화 방치 : 콘서베이터의 설치
 - ❖ 변압기의 상부에 설치된 원통형의 유조 : $\frac{1}{2}$ 기름 + $\frac{1}{2}$ 질소

2. 변압기의 구조

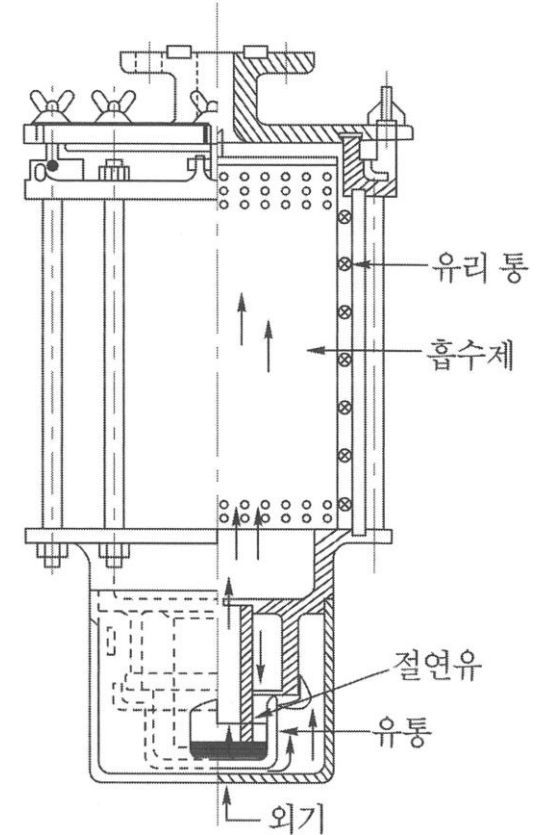
- 변압기유

- 변압기 기름의 열화 방지 : 콘서베이터의 설치

- ❖ 변압기의 상부에 설치된 원통형의 유조 : 1/2 기름 + 1/2 질소



(a) 개방형 콘서베이터



(b) 흡습 호흡기

그림 3-4 콘서베이터

3. 여자 전류

- 여자 전류

- 2차 무부하시 1차에 흐르는 전류

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{0m} + \dot{I}_{0w} [A] \Rightarrow I_0 = \sqrt{I_{0m}^2 + I_{0w}^2}$$

$$I_{0w} = \frac{P_i}{V_1'}$$

- ❖ I_0 : 여자 전류, I_{0m} : 자화 전류, I_{0w} : 철손 전류, P_i : 철손

- 여자 전류 : 자화 전류와 철손 전류의

- ❖ I_0 : 여자 전류, α : 철손각

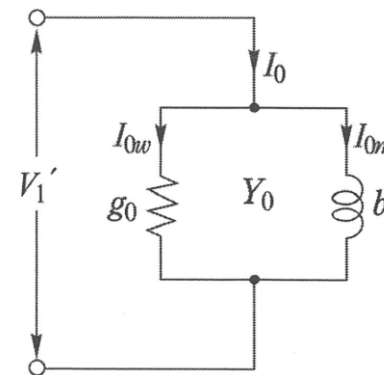


그림 3-5 여자회로

p. 103 R - X 병렬회로 해석 참고

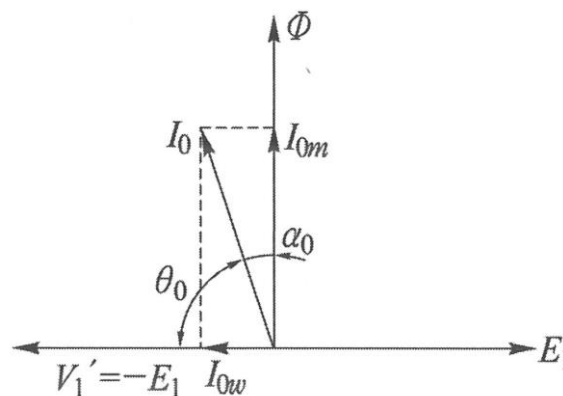
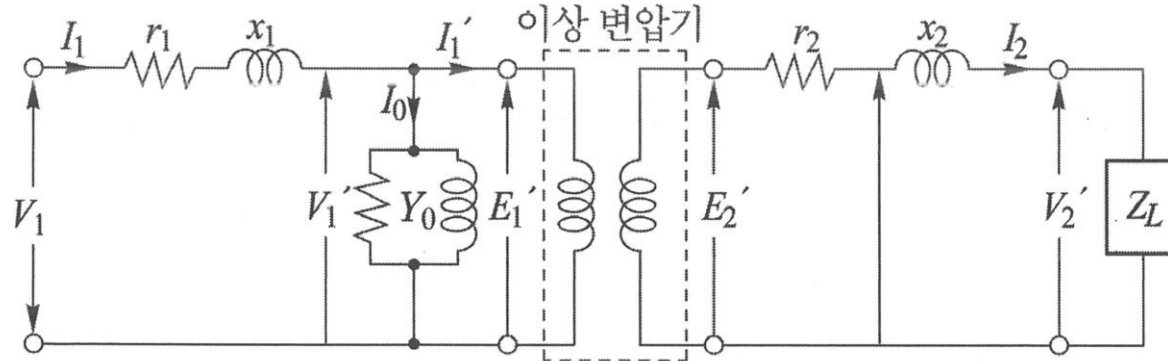


그림 3-6 여자 회로의 전류 벡터도

4. 변압기의 벡터도



1차 누설 임피던스 : $Z_1 = r_1 + jx_1$
 2차 누설 임피던스 : $Z_2 = r_2 + jx_2$

그림 3-7 변압기 회로

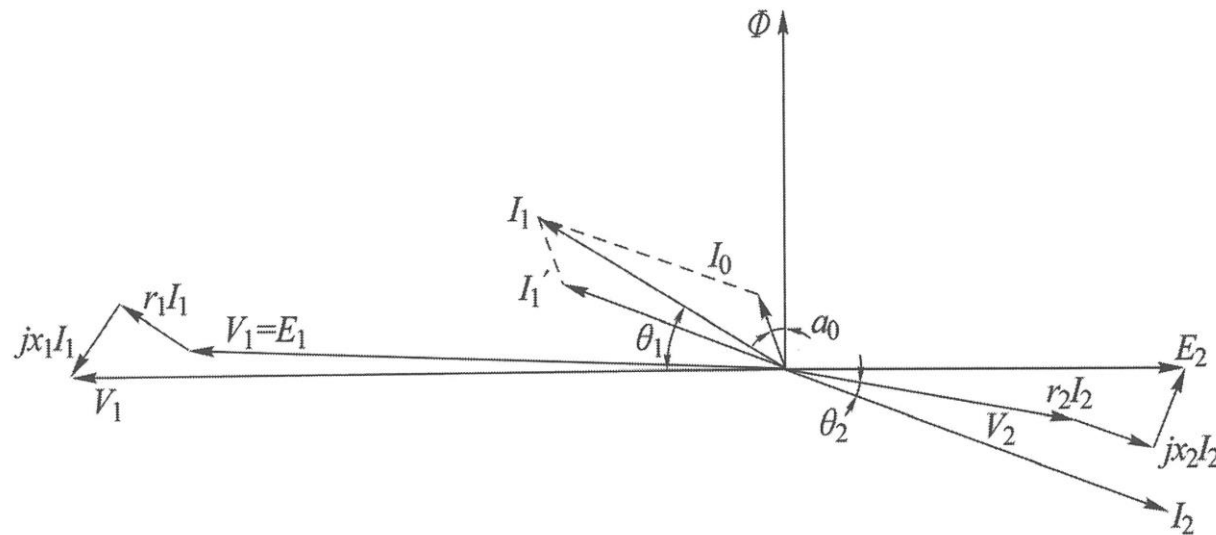


그림 3-8 전류와 전압의 벡터도

5. 변압기의 등가회로

- 2차 측에서 1차 측으로 환산

$$V'_2 = aV_2, \quad E'_2 = aE_2$$

$$I'_2 = \frac{I_2}{a}$$

$$Z'_2 = a^2 Z_2 = a^2(r_2 + jx_2)$$

$$Z' = a^2 Z = a^2(r + jx)$$

- 1차 측에서 2차 측으로 환산

$$V'_1 = \frac{V_2}{a}, \quad E'_1 = \frac{E_2}{a}$$

$$I'_1 = aV_1, \quad I'_0 = aI_0$$

$$Z'_1 = \frac{Z_1}{a^2} = \frac{r_1 + jx_1}{a^2}$$

$$Y'_0 = a^2 Y_0 = a^2(g_0 - jb_0)$$

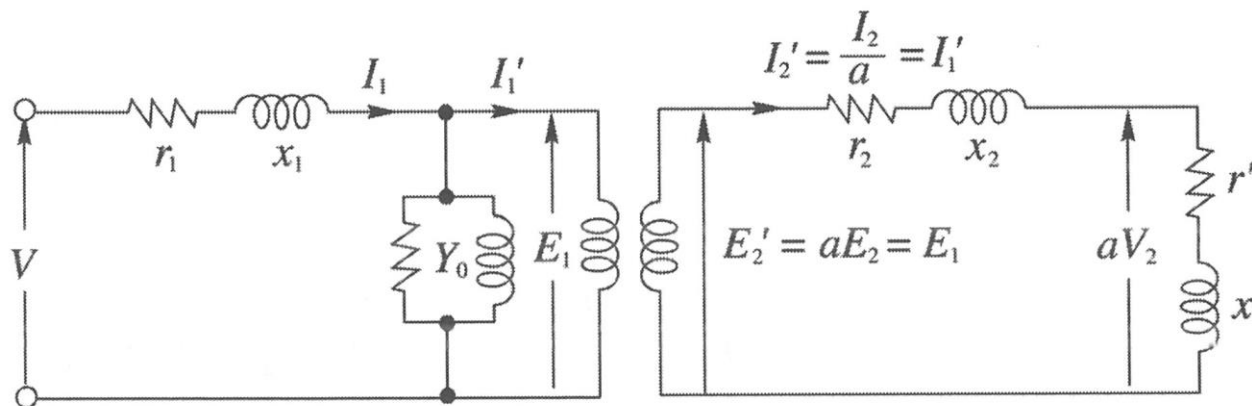


그림 3-9 변압기 회로

6. 임피던스 전압, 퍼센트 임피던스 강하

- 단락전류 $I_{1s} = 1$ 차 정격전류

→ 1차 전압 : 임피던스 전압, 이때의 입력 P_s : 임피던스 와트

➤ $V_s = Z_{21}I_{1n} = \sqrt{r_{21}^2 + x_{21}^2} I_{1n} \text{ [V]}$

➤ $P_s = r_{21} I_{1n}^2 = (r_1 + a^2 r_2) I_{1n}^2 \text{ [W]}$

❖ 여기서, $r_{21} = r_1 + a^2 r_2$, $x_{21} = x_1 + a^2 x_2$

➤ % 저항 강하

$$p = \frac{r_{21} I_{1n}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{r_{21} I_{1n}^2}{V_{1n} I_{1n}} \times 100 = \frac{P_s}{V_{1n} I_{1n}} \times 100 \text{ [%]}$$

➤ % 리액턴스 강하

$$q = \frac{x_{21} I_{1n}}{V_{1n}} \times 100 \text{ [%]}$$

❖ 여기서 I_{1n} : 1차 정격 전류, V_{1n} : 1차 정격 전압

6. 임피던스 전압, 퍼센트 임피던스 강하

- 단락전류 $I_{1s} = 1$ 차 정격전류

→ V_s : 임피던스 전압, 이때의 입력 P_s : 임피던스 와트

➤ $V_s = Z_{21} I_{1n} = \sqrt{r_{21}^2 + x_{21}^2} I_{1n} \text{ [V]}$

➤ $P_s = r_{21} I_{1n}^2 = (r_1 + a^2 r_2) I_{1n}^2 \text{ [W]}$

❖ 여기서, $r_{21} = r_1 + a^2 r_2$, $x_{21} = x_1 + a^2 x_2$

➤ % 임피던스 강하

$$z = \frac{Z_{21} I_{1n}}{V_{1n}} \times 100 = \frac{V_s}{V_{1n}} \times 100 = \sqrt{p^2 + q^2} \text{ [%]}$$

❖ 여기서 I_{1n} : 1차 정격 전류, V_{1n} : 1차 정격 전압

$$\frac{I_{1s}}{I_{1n}} = \frac{V_{1n}}{I_{1n} \sqrt{r_{21}^2 + x_{21}^2}} = \frac{100}{z}$$

7. 전압 변동률

- 전압 변동률 : 2차측의 전압 변화

$$\epsilon = \frac{V_{20} - V_{2n}}{V_{2n}} \times 100 [\%]$$

❖ V_{20} : 무부하 2차 단자 전압, V_{2n} : 정격 2차 단자 전압

➤ p : % 저항 강하, q : % 리액턴스 강하, ϕ : 부하 Z 의 위상각

$$\begin{aligned}\epsilon &= p \cos \phi + q \sin \phi + \frac{1}{200} (q \cos \phi - p \sin \phi)^2 [\%] \\ &\approx p \cos \phi + q \sin \phi\end{aligned}$$

❖ 역률이 100[%] 인 경우, $\cos \phi = 1$, $\sin \phi = 0$ (p. 105 유효/무효/피상 전력, 역률 참고)

$$\epsilon \approx p = \frac{I_{2n}^2 r}{V_{2n}} \times 100 = \frac{I_{2n}^2 r}{V_{2n} I_{2n}} \times 100 = \frac{\text{전부하 동손}}{\text{정격 용량}} \times 100 [\%]$$

8. 변압기의 손실과 효율

- 철손 : 무부하손 (고정손)

- $P_i = P_h + P_e [W]$

- ❖ 히스테리시스손 : $P_h = \delta_h f B_m^{1.6} [W/kg] \rightarrow f$ 에 반비례 ($\because fB = \text{일정}$)

- ❖ 와류손 : $P_e = \delta_e (t f k_f B_m)^2 [W/kg] \rightarrow t^2$ 에 비례, f : 무관

δ_h : 히스테리시스 정수, δ_e : 재료의 정수,
 f : 주파수 [Hz], B_m : 최대 자속밀도 [Wb/m²],
 t : 철판의 두께 [m], k_f : 파형률

- 효율

- 규약 효율

$$\eta = \frac{\text{출력}}{\text{입력}} \times 100 = \frac{\text{출력}}{\text{출력} + \text{손실}} \times 100 = \frac{\text{입력} - \text{손실}}{\text{입력}} \times 100 [\%]$$

$$= \frac{V_2 I_2 \cos \theta_2}{V_2 I_2 \cos \theta_2 + P_i + I_2^2 r} \times 100 [\%]$$

P_i : 무부하손(철손), $P_c = r_{12} I_2^2$

V_2, I_2 : 정격 2차 전압 및 전류

$\cos \theta$: 부하 역률

8. 변압기의 손실과 효율

• 효율

- 전부하 효율 (실측효율 = 출력 / 입력 × 100)

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \theta_2}{V_2 I_2 \cos \theta_2 + P_i + P_c} \times 100 [\%]$$

- 최대 효율

$$\eta = \frac{V_2 \cos \theta_2}{V_2 \cos \theta_2 + \frac{P_i}{I_2} + r_{12} I_2} \times 100 [\%]$$

- ❖ 분모가 최소 $\rightarrow f(I_2) = V_2 \cos \theta_2 + \frac{P_i}{I_2} + r_{12} I_2$

$$f'(I_2) = 0 \rightarrow P_i = r_{12} I_2^2$$

- ❖ 철손(무부하손, 고정손) = 동손 (부하손, 가변손)

$$\eta_{max} = \frac{\text{최대 효율시의 출력}}{\text{최대 효율시의 출력} + 2 \times \text{무부하손}} \times 100 [\%]$$

$$P_i = P_c \rightarrow P_i + P_c = 2P_i$$

P_i : 무부하손(철손), $P_c = r_{12} I_2^2$: 동손

V_2, I_2 : 정격 2차 전압 및 전류

$\cos \theta$: 부하 역률

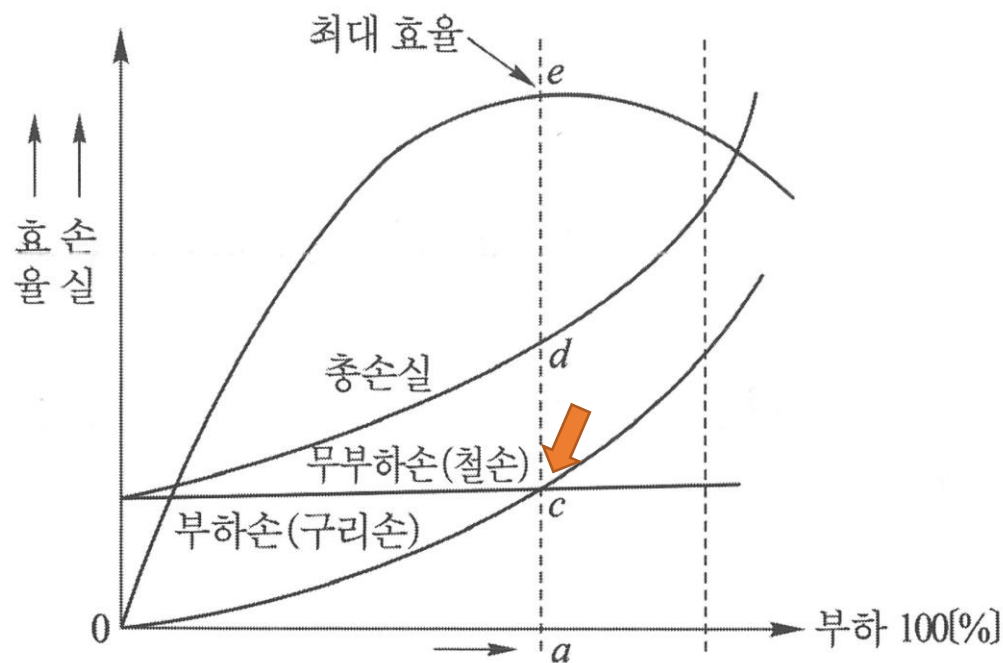


그림 3-11 부하와 효율의 관계

8. 변압기의 손실과 효율

- 효율

- 임의 부하의 효율 : 정격 출력의 m 배의 효율

$$\eta_m = \frac{mV_2I_2 \cos \theta_2}{mV_2I_2 \cos \theta_2 + P_i + m^2P_c} \times 100 [\%]$$

- ❖ 최대 효율 : 철손 = 동손

$$P_i = m^2P_c \rightarrow m = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$$

- 전일 효율 : 하루의 출력 전력량과 입력 전력량의 비

$$\eta_d = \frac{\sum h V_2I_2 \cos \theta_2}{\sum h V_2I_2 \cos \theta_2 + 24P_i + \sum h P_c} \times 100 [\%]$$

P_i : 무부하손(철손), $P_c = r_{12}I_2^2$: 동손

V_2, I_2 : 정격 2차 전압 및 전류

$\cos \theta$: 부하 역률

9. 변압기의 3상결선

- 극성 시험
 - ▶ 감극성 : $V = V_1 - V_2$ (우리나라 표준)
 - ▶ 가극성 : $V = V_1 + V_2$

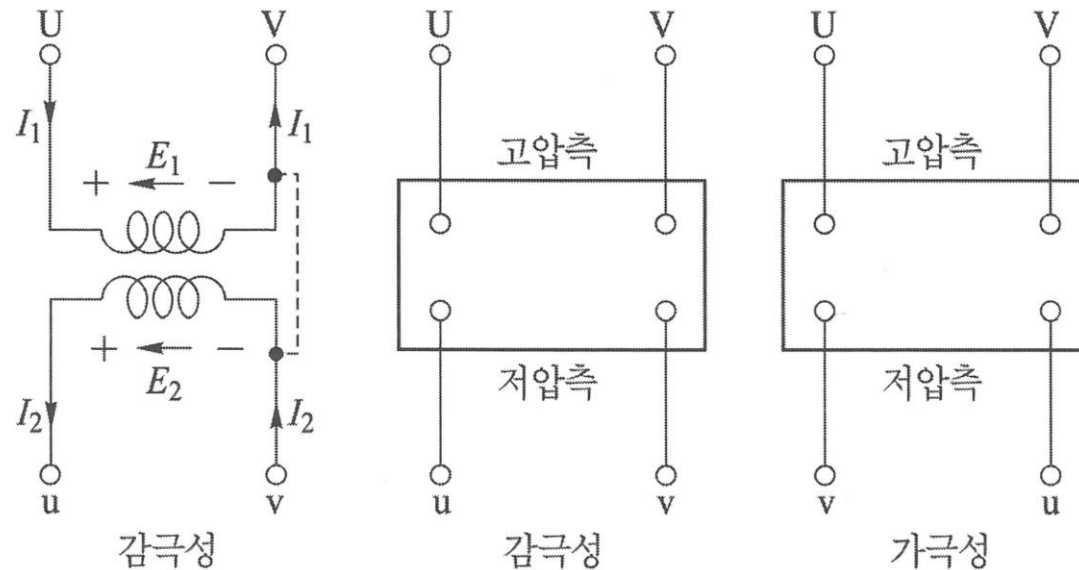


그림 3-13 극성의 기호

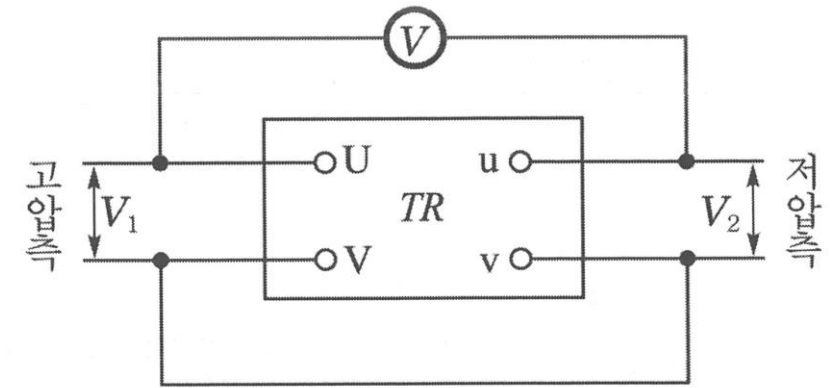


그림 3-12 극성 시험의 접속도

9. 변압기의 3상 결선

- Δ - Δ (환상) 결선 (p.106 3상 교류회로 참고)

- 선간 전압 (V_l), 상전압 (V_p) : 크기가 같고 동상 ($V_l = V_p \angle 0^\circ$)

- 선전류 (I_l), 상전류 (I_p) : 선전류가 $\sqrt{3}$ 배이고 위상 30° 뒤짐 ($I_l = \sqrt{3} I_p \angle -30^\circ$)

- 출력

$$P = \sqrt{3} V_l I_l = 3 V_p I_p = 3 P_1$$

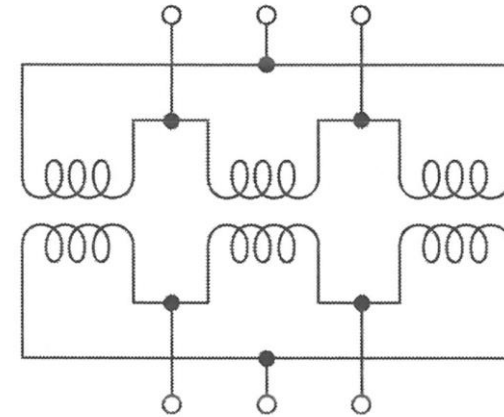
- ❖ P_1 : 단상 변압기 1대의 용량

- 특징

- ❖ 3고조파 전류가 Δ 결선 내를 순환 : 기전력의 파형 왜곡 안됨

- ❖ 1상분 고장인 경우 나머지 2대로써 V결선 운전 가능

- ❖ 중성점 접지 불가능 $\rightarrow$ 지락 사고의 검출이 곤란



※ 참고 : 지락사고

전기가 땅으로 떨어지는 사고, 전봇대 혹은 송전탑 같이 외부 특고압에서 전기가 흐를때 나타남

9. 변압기의 3상 결선

- Y-Y 결선 (p.106 3상 교류회로 참고)

- 선간 전압 (V_l), 상전압 (V_p) : 선간 전압이 크기가 $\sqrt{3}$ 배이고 위상은 30° 앞섬 ($V_l = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ$)

- 선전류 (I_l), 상전압 (I_p) : 크기가 같고 동상 ($I_l = I_p \angle 0^\circ$)

- 출력

$$P = \sqrt{3} V_l I_l = 3 V_p I_p = 3 P_1$$

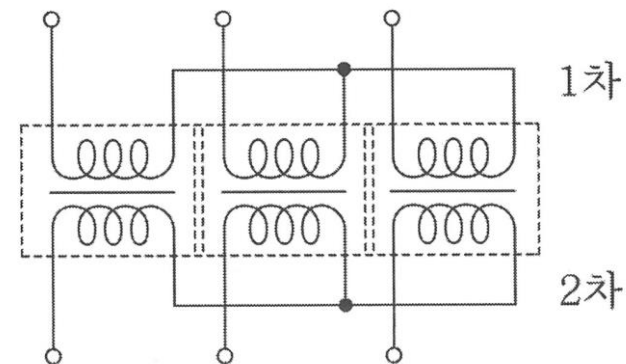
- 특징

- ❖ 1차, 2차 중성점 접지 가능, 고압 : 이상 전압 감소

- ❖ 상전압이 선간전압의 $1/\sqrt{3}$ 배이므로 절연 용이

- ❖ 기전력 파형이 제3고조파 포함한 왜형파

- ❖ 중성점 접지 → 제3고조파 전류가 흘러 통신선에 유도 장애 유발



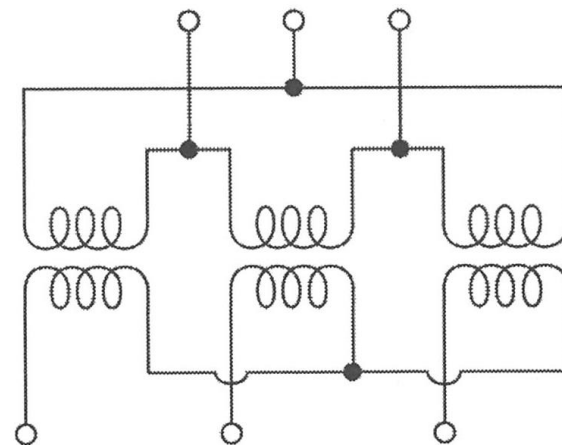
9. 변압기의 3상 결선

- Y- Δ , Δ -Y 결선

- Y- Δ : 감압용 ($1/\sqrt{3}$)배, Δ -Y : 승압용 ($\sqrt{3}$)배

- 특징

- ❖ 한쪽 Y결선의 중성점 접지 가능
 - ❖ Y결선의 상전압이 선간전압의 $1/\sqrt{3}$ 배이므로 절연 용이
 - ❖ Δ 결선이 있어 제3고조파 장애가 적고 왜곡되지 않음
 - ❖ 선간전압 사이에 30° 위상차
 - ❖ 1상에 고장이 생기면 전원 공급 불가능
 - ❖ 중성점 접지로 인한 유도 장애 초래



9. 변압기의 3상 결선

- V-V 결선

- 전압, 전류 : $V_{l2} = V_2, I_{l2} = I_2$

- 출력 : $P_v = \sqrt{3} P_1 \Rightarrow$ 이용률 : $(\sqrt{3}P)/2P = 86.6[\%]$

- 특징

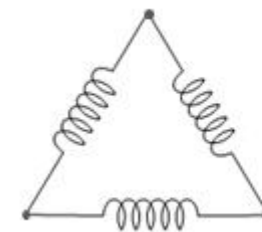
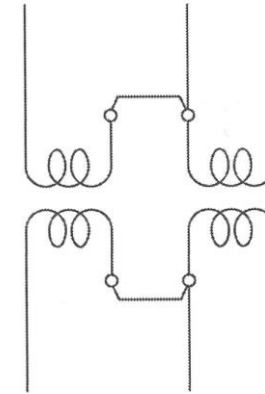
- ❖ Δ - Δ 결선에서 1대의 변압기 고장 시 2대만으로 3상 부하에 전력 공급

- ❖ 설치 방법 간단

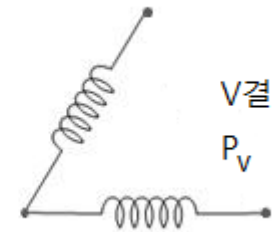
- ❖ 설비의 이용률 86.6[%]

- ❖ 출력비 (고장비) : 57.74 [%]로 저하

$$\frac{\sqrt{3} P}{3P} \times 100 = 57.74 [\%]$$



Δ 결선출력
 $P_{\Delta} = 3VI$



V결선 출력
 $P_V = \sqrt{3} VI$

10. 상수의 변환

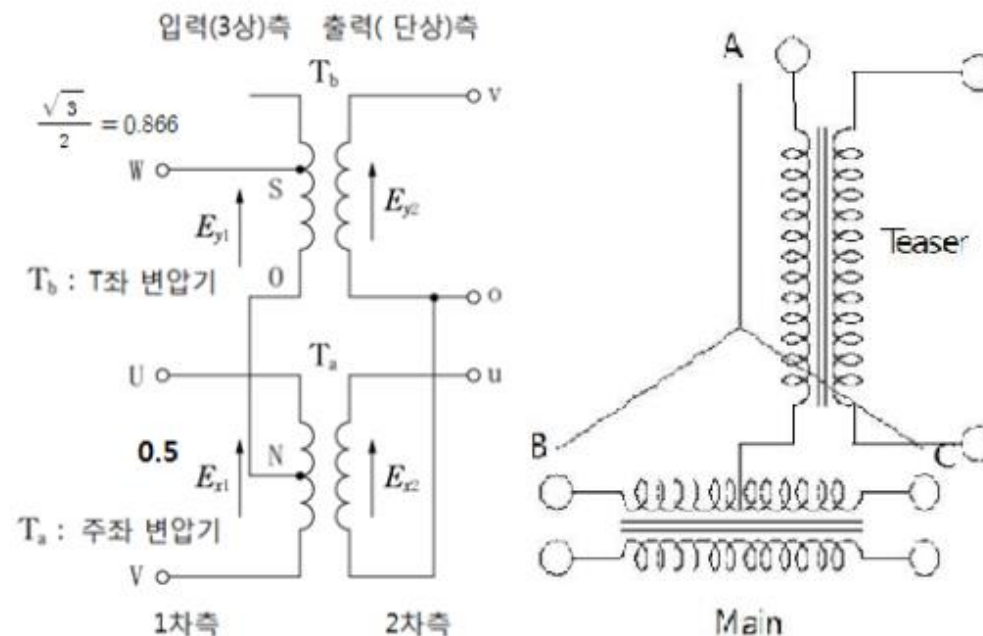
- 3상 → 2상

- 스코트 결선 (T 결선), 메이어 결선, 우드 브리지 결선
- 스코트 결선의 이용률

$$\text{이용률} = \frac{\sqrt{3}VI}{2VI} = 0.866$$

- 3상 → 6상

- 환상 결선, 2중 3각 결선, 2중 성형 결선, 대각 결선, **포크 결선**



11. 병렬 운전

- 병렬 운전의 조건

- 각 변압기의 극성 동일
- 각 변압기의 권수비가 같고, 1차와 2차의 정격 전압이 동일
- 각 변압기의 %임피던스 강하가 동일 (=손실 동일)
- 3상식에서는 상회전 방향 및 위상 변위가 동일

- 3상 변압기의 병렬 운전

병렬 운전 가능	병렬 운전 불가능
$\Delta-\Delta$ 와 $\Delta-\Delta$	$\Delta-\Delta$ 와 $\Delta-Y$
$Y-\Delta$ 와 $Y-\Delta$	$\Delta-Y$ 와 $Y-Y$
$Y-Y$ 와 $Y-Y$	$\Delta-\Delta$ 와 $Y-\Delta$
$\Delta-Y$ 와 $\Delta-Y$	$Y-Y$ 와 $Y-\Delta$
$\Delta-\Delta$ 와 $Y-Y$	
$\Delta-Y$ 와 $Y-\Delta$	

11. 병렬 운전

- 부하 분담

➤ 부하 분담은 누설임피던스에 역비례, 변압기 용량에 비례

$$z_a = \frac{Z_a I_A}{V_n} \times 100 \rightarrow Z_a = \frac{z_a V_n}{I_A \times 100}$$

$$z_b = \frac{Z_b I_B}{V_n} \times 100 \rightarrow Z_b = \frac{z_b V_n}{I_B \times 100}$$

➤ 병렬 운전 시의 전류 I_a, I_b

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{Z_b}{Z_a} = \frac{z_b V_n}{I_b} \times \frac{I_a}{z_a V_n} = \frac{P_A z_b}{P_B z_a}$$

❖ $P_A = m P_B$ 라면

$$\frac{I_a}{I_b} = m \frac{z_b}{z_a} \frac{V_n I_a}{V_n I_b} = \frac{P_A}{P_B} = m \frac{z_a}{z_b}$$

I_A : A 변압기의 정격 전류

I_B : B 변압기의 정격 전류

V_n : 정격 전압

z_a, z_b : A, B 변압기의 %임피던스

P_A, P_B : A, B 변압기의 정격 용량

12. 특수 변압기

- 3상 변압기
 - 1대로 3상 변압이 가능한 변압기 (내철형, 외철형)
- 단권변압기
 - 승압 또는 감압이 가능한 변압기

12. 특수 변압기

• 단권변압기

➤ 승압 또는 강압이 가능한 변압기

➤ 전압비 : $\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1 + E_2}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$

➤ 전류비 : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a}$

➤ 자기용량과 부하용량

$$\frac{\text{자기 용량}}{\text{부하 용량}} = \frac{\text{직렬 권선 부분의 전류} \times \text{승압(강압)전압}}{\text{부하 용량}} = 1 - \frac{V_l}{V_h} = 1 - \frac{1}{a}$$

➤ 1차와 2차와의 전압비가 1에 가까울수록 단권 변압기를 쓰는 것이 경제적

➤ 단권 변압기의 3상 결선

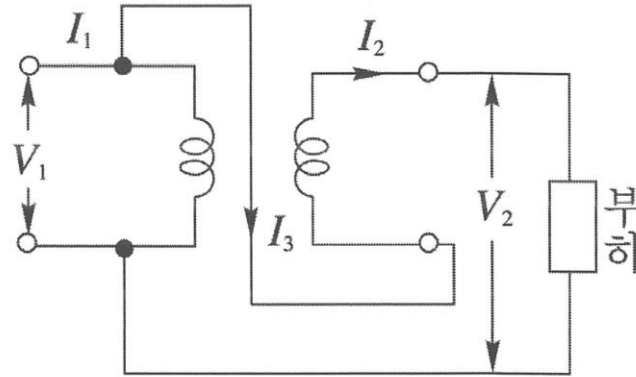


그림 3-15 단권 변압기

결선 방식	Y결선	△결선	V결선	변연장 △결선
자기 용량 부하 용량	$1 - \frac{V_l}{V_h}$	$\frac{V_h^2 - V_l^2}{\sqrt{3} V_h V_l}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{V_l}{V_h} \right)$	$-\frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{V_l}{V_h} \right) + \sqrt{1 - \frac{1}{4} \left(\frac{V_l}{V_h} \right)^2}$