

# 3상 변압기에 단상부하와 변압기 소손



전 명 수 (No. 45)  
 (주)신우디엔서  
 부설일렉연구소 고문  
 TEL. (02)554-8787  
 018-212-4848

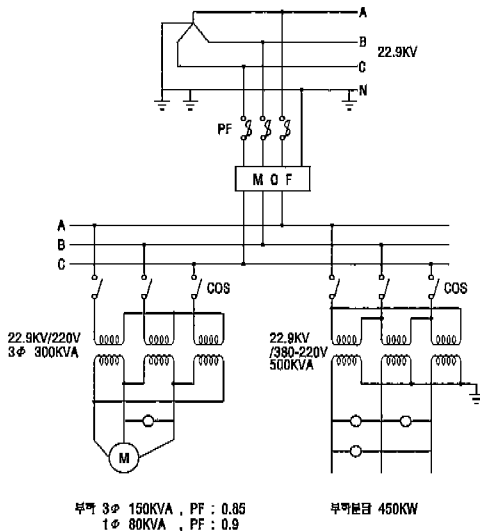


김 정 철 (No. 24156)  
 한국전기철도기술(주)  
 TEL. (02)525-6473

A공장에 300KVA 변압기가 소손하였다. 평소에 부하 상태는 230KW의 부하가 걸리고 약간 온도가 높은 편이었다. 우선 신제품으로 교체하고 소손품은 수리하여 예비용으로 보관하기로 하였으나 소손 원인을 알 수 없어 다시 소손될까 우려되었다.

## 1. 현황

하절기 냉방부하의 증가로 3 $\phi$ 300KVA 변압기에 3상부하가 150KW와 1 $\phi$ 80KW가 역률 90%와 85%의 부하로 운전되고 공급계통은 아래와 같다.

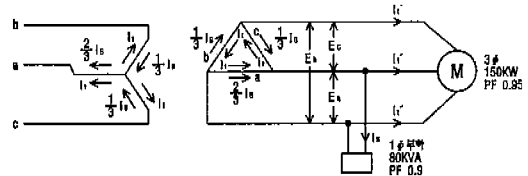


< 그림 1 > 전력 공급 계통도

## 2. 원인분석

전력계통에서는 3상 평형부하 분담이 바람직하겠으나 설비 운용상 불평형 부하의 분담은 불가피하며, 이 경우도 3상 평형부하 150KW에 단상부하 80KW가 운전되므로 합성용량으로는 230KW로 변압기 정격용량 이내이나 단상부하가 걸리는 상의 변압기는 과부하로 되고 과부하는 변압기 온도를 상승시키며 허용온도 이상 올라가면 수명은 급격하게 감소하며 소손하게 된다.

### 가. 변압기별 부하전류의 부담 상태

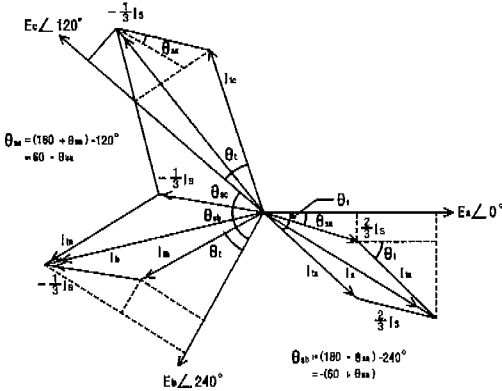


< 그림 2 > Y- $\Delta$  비접지 계통에서 3상과 단상 부하 전류 분포도

비접지 계통의 Y- $\Delta$  뱅크의 부하 분담은 그림 2와 같이 a상 변압기에 1 $\phi$ 부하가 걸리면 b,c



상은 a상에 비해 임피던스가 2배로 되므로 전류는 a상에 비해 1/2로 되며 따라서 단상 부하 전류의 2/3는 a상에 흐르고 1/3은 b상과 c상을 직렬로 하여 흐르게 된다.



〈 그림 3 〉 각 상별 변압기에 흐르는 전류 벡터도

나. 각상별 분담 부하 계산

1) 각 부분의 전류 계산

$$I_t' = \frac{\text{3상부하전력}}{\sqrt{3} \times \text{선간전압} \times \text{역률}} = \frac{150 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.85} = 463A$$

$$I_s = \frac{\text{단상부하전력}}{\text{선간전압} \times \text{역률}} = \frac{80}{220 \times 0.9} = 404A$$

$$I_n' = \frac{\text{3상변압기 용량}}{\sqrt{3} \times \text{선간전압}} = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220} = 787A$$

$$I_t = \frac{I_t'}{\sqrt{3}} = \frac{437}{\sqrt{3}} = 252A$$

$$I_n = \frac{I_n'}{\sqrt{3}} = \frac{787}{\sqrt{3}} = 454A$$

$I_n$  = 변압기 권선 정격전류

$I_n'$  = 3상변압기 저압측 출력단자 정격전류

$I_t'$  = 3상부하전류

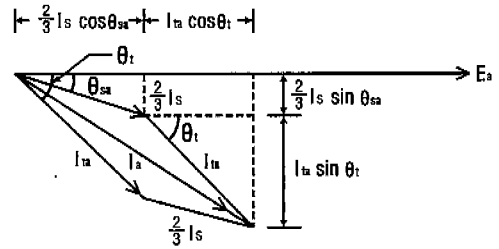
$I_t$  = 3상부하전류를 변압기 권선전류로 환산한 전류(3상평형부하)

$I_s$  = 단상부하전류

$\theta_{sa}$  = 단상부하역률 0.9

$\theta_t$  = 3상부하역률 0.85

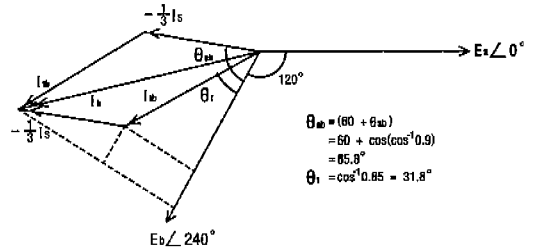
2) A상 변압기 전류



〈 그림 4 〉

$$\begin{aligned} I_a &= \left( \frac{2}{3} I_s \cos \theta_{sa} + I_t \cos \theta_t \right) \\ &\quad - j \left( \frac{2}{3} I_s \sin \theta_{sa} + I_t \sin \theta_t \right) \\ &= \left[ \frac{2}{3} 404 \cos(\cos^{-1} 0.9) + 252 \cos(\cos^{-1} 0.85) \right] \\ &\quad - j \left[ \frac{2}{3} 404 \sin(\cos^{-1} 0.9) + 252 \sin(\cos^{-1} 0.85) \right] \\ &= 456.6 - j250 = 521 \angle 331^\circ \end{aligned}$$

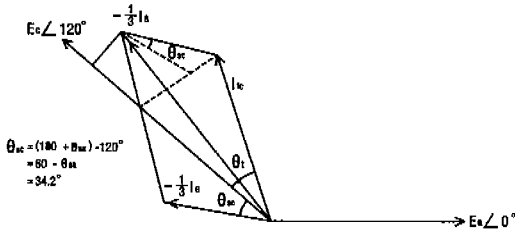
3) B상 변압기 전류



〈 그림 5 〉

$$\begin{aligned} I_b &= \left[ I_t \cos \theta_t + \left( -\frac{1}{3} I_s \right) \cos \theta_{sb} \right] \\ &\quad - j \left[ I_t \sin \theta_t + \left( -\frac{1}{3} I_s \right) \sin \theta_{sb} \right] \\ &= \left[ 252 \cos 31.8^\circ + \frac{1}{3} 404 \cos 85.8^\circ \right] \\ &\quad - j \left[ 252 \sin 31.8^\circ + \frac{1}{3} 404 \sin 85.8^\circ \right] \\ &= 224 - j267 = 349 \angle 190^\circ \end{aligned}$$

4) C상 변압기 전류



< 그림 6 >

$$\begin{aligned}
 I_c &= [I_{lc} \cos \theta_c + (-\frac{1}{3} I_s \cos \theta_{sc})] \\
 &\quad - j[I_{lc} \sin \theta_c + (-\frac{1}{3} I_s \sin \theta_{sc})] \\
 &= [252 \cos 31.8^\circ + \frac{1}{3} 404 \cos 34.2^\circ] \\
 &\quad - j[252 \sin 31.8^\circ + \frac{1}{3} 404 \sin 34.2^\circ] \\
 &= 326 - j209 = 387 \angle 147^\circ
 \end{aligned}$$

다. 각상별 변압기 과부하 정도

1) A상

정격전류 = 454 A  
 실제부담전류 = 521 A  
 부하율 =  $\frac{521}{454} \times 100 = 115\%$

2) B상

정격전류 = 454 A  
 실제부담전류 = 349 A  
 부하율 =  $\frac{349}{454} \times 100 = 77\%$

3) C상

정격전류 = 454 A  
 실제부담전류 = 387 A  
 부하율 =  $\frac{387}{454} \times 100 = 85\%$

B상과 C상은 변압기 용량에 여유가 있으나 A상은 115% 부하율로 15% 과부하되므로 변압

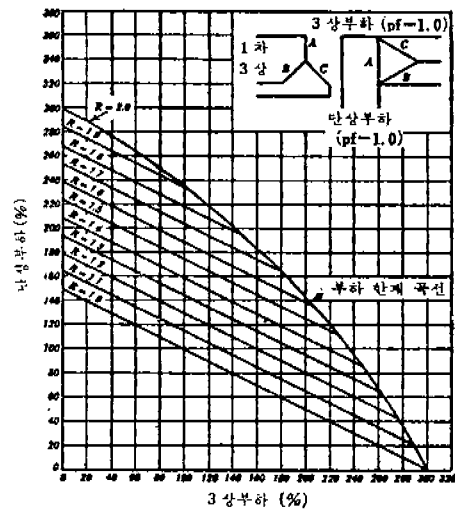
기 권선이 과열되고 하절기 높은 외부온도가 가산되어 소손된 것으로 추정된다.

3. 관련 기술

상기 원인분석에서 해석한 공식을 이용하여 변압기를 과부하 시키지 않고 사용할수 있는 3상과 단상부하에 적합한 변압기 용량을 계산 할수 있겠으나 간편하게 사용할 수 있도록 이 같은 공식을 이용하여 결과값을 곡선으로 작성하여 그림 7~9에 나타낸다. 단상과 3상 부하가 필요한 경우는 단상에 해당(A상)하는 변압기의 용량을 큰값으로 하고 b상과 c상은 동일한 것으로 한다. b상과 c상의 용량을 각각 100%로 할 때 A상의 변압기 용량의 비가 1~2배까지의 경우 각각의 부하역률에서 과부하 시키지 않고 사용할 수 있는 부하한계곡선임.

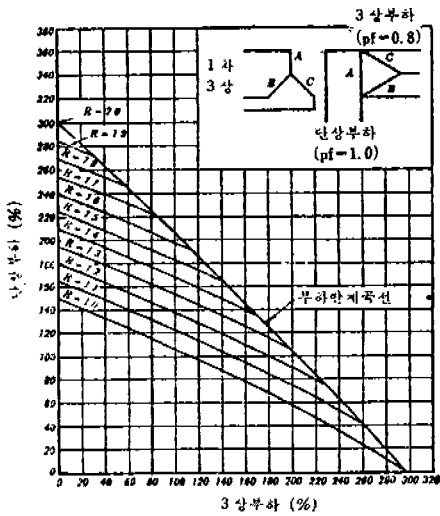
Y-Δ 비접지 계통의 부하 부담 특성

$$R = \frac{\text{A상변압기용량KVA}}{\text{B상변압기용량KVA}}$$

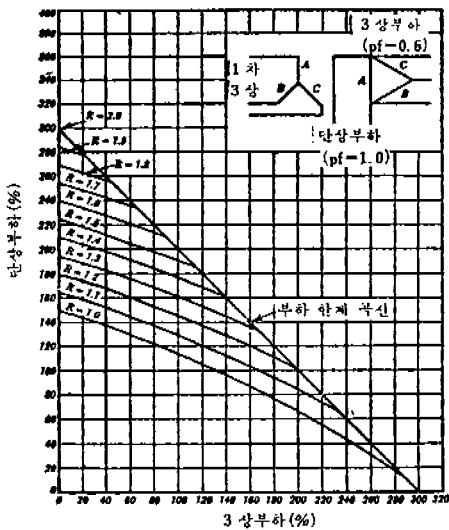


< 그림 7 > A상 단상부하역률 1.0 3상 부하역률 1.0의 경우

가. 그림에서 부하전력을 구하는 방법 설명  
 그림 7~9까지의 그래프를 이용해서 변압기 용량에 따른 사용 가능한 부하를 구해보자. Y-Δ 뱅크의 단상 변압기 3대가 아래와 같이 구성 되어 있다.



< 그림 8 > A상 단상부하역률 1.0 3상 부하역률 0.8의 경우



< 그림 9 > A상 단상부하역률 1.0 3상 부하역률 0.6의 경우

1) 변압기 용량

변압기 A 정격 용량 = 15 KVA

변압기 B 정격 용량 = 10 KVA

변압기 C 정격 용량 = 10 KVA

2) 부하 상황

3상 16KVA 역률 80%로 가정할 때 어느 변압기도 과부하 시키지 않고 결수 있는 역률 100% 단상부하를 그래프에서 구해보자. 그림 8에서 확인한다.

가)  $R = \frac{15}{10} = 1.5$

나) A상의 부하를 B상에 대한 백분율로 나타낸  
 $3상부하 = \frac{16}{10} \times 100 = 160\%$  (횡축 눈금)

다) 곡선(R=1.5)에서 종축 눈금 단상 KVA% = 145%  
즉,  $10 \times 1.45 = 14.5KVA$  의 단상부하를 걸수 있다.

라) 3상 부하를 10KVA로 하면 동시에 걸수 있는 부하는 18.2KVA 인 것을 알수 있다.

4. 결론

3상의 각상 부하가 불평형할 경우 변압기 및 선로 등의 이용율이 저하됨은 물론이고 전압이 불평형하게 되어 역상전류가 흐르게 되므로 각상의 부하는 평형되게 운전하는 것이 요구된다. 그러나 현장 여건상 어느 정도는 불평형되게 되며 Y결선하여 3상과 단상 부하를 운전시는 권선전류나 선전류가 동일 하므로 계산이 비교적 간단하나  $\Delta$ 결선의 경우는 계산이 복잡하므로 본문에 기재한 그래프를 활용하면 비교적 간편하게 변압기를 과부하시키지 않고 걱정한 용량 선택이 가능할 것으로 사료 되며, 현장 여건상 단상부하가 크고 3상부하는 적을 경우 Y- $\Delta$ 결선하고 A,B,C상의 단상 변압기 3대중 한 대의 용량을 크게하여 변압기 이용율을 높일 수 있다.

인간의 최고의 자本是 훌륭한 성격이다  
-안병욱(철학자, 문필가 1920~)