

技 術 解 說

三捲線變壓器의 溫度上昇試驗

梁 成 植*

目 次

- 1. 序 言
- 2. 溫度上昇試驗의 規定
- 3. 三捲線變壓器의 溫度上昇試驗
- 4. 適用例
- 5. 結 言

1. 序 言

三捲線大容量 變壓器는 初期, 力率改善所內動力, 또는 第三高調波 제거등 電力系統의 보조로서 설치된 三次권선단 갖고 있었으나 電力系統이 복잡화하여 감에 따라 電壓이 각각 다른 선로에 電力을 공급하게 됨으로써 그 용도가 변화되고 있고 二捲線 變壓器 두 대를 사용한 경우보다 床面積이 적고 차단기류의 설치수량이 감소가격도 저렴하여 건설비가 싸게 되고 損失이 적어서 점점 사용빈도가 높아지고 있다. 이러한 三捲線 變壓器를 제작함에 있어서 生産設備의 검토도 중요하지만 시험설비등의 문제도 생각하여야만 最終試驗에서 무난하다는 것을 경험적 측면에서 말씀드리며, 따라서 본고를 통해 쉽게 넘겨 버리기 쉬우면서도 제일 중요한 變壓器의 溫度上昇試驗을 하기 위한 方法論을 제시하고자 한다.

시험방법을 명쾌히 설명해주는 책자가 없어 간단한 三捲線 變壓器의 回路를 풀어본 후, 실제에 경험했던 바를 소개한다.

차후 이러한 試驗에 응할 분들에게 참고가 되어 조금이라도 시험에 임하는 시간을 단축하였으면 다행으로 여기겠다.

2. 變壓器 溫度上昇試驗의 規定

溫度上昇試驗의 規定은 여러가지가 있지만 여기서는 英國의 變壓器規格 BS-171에 規定되어 있는 내용을 살펴 보겠다.

2.1 油溫度 上昇試驗

油入變壓器의 油溫度 上昇試驗은 變壓器의 全損失을 측정 및 계산한 후 그 損失을 계속 공급하여 油溫이 포화되었을 때 그 때의 油溫을 측정하여 油溫上昇을 決定토록 하나 全損失을 공급치 못할 경우나 과다 공급하였을 때는 다음과 같이 하도록 되어 있다.

1. 全損失의 80[%]이상을 공급할 것
 2. 捲線의 絕緣劣化를 고려하여 試驗電流는 定格電流의 120[%]를 초과하지 않을 것
- 이와 같은 조건내에서 試驗하여 다음과 같이 환산한다.

$$t_f = t_i \cdot (\text{전손실} / \text{시험시 전손실})^x$$

여기서

t_f : 定格負荷時의 油溫上昇(deg c)

t_i : 試驗時의 油溫上昇(deg c)

$x=0.8$ (油入自冷式에서)

$x=1$ (油入風冷式에서)

2.2 捲線의 溫度上昇

各 捲線에 定格電流를 흘려서 油溫이 포화된 것을 확인하여 電源을 차단, 곧바로 捲線抵抗의 時間的變化를 측정 환산함으로써 溫度上昇을 구하나 定格電流를 흘릴 수 없을 때는 定格電流의 ± 10 [%] 범위의 시험電流를 흘려서 溫度上昇을 계산하여 定格電流를 흘렸을 경우의 溫度上昇을 다음과 같이 환산토록 되어 있다

$$T_f = T_i \times (\text{定格電流} / \text{試驗電流})^y$$

여기서

T_f : 定格負荷時의 捲線溫度上昇(deg c)

T_i : 試驗時의 捲線溫度上昇(deg c)

$Y=1.6$ (油入自冷式에서)

$Y=1.8$ (油入風冷式에서)

3. 三捲線變壓器의 溫度上昇試驗

三捲線 變壓器의 溫度上昇試驗은 두 捲線의 容量이 거의 같고 나머지 한 捲線의 容量이 적을 경우에는 큰 문제가 없이 일반적인 방법으로 試驗조건을 만족시켜 왔으나, 一次, 二次 三次의 捲線容量이 다르고, 또 一

*正會員: 現代重電機(株)勤務

次와 二次, 二次와 三次, 一次와 三次 捲線사이의 임피던스가 다르므로 각 捲線에 똑 같이 容量에 맞는 電流를 흘리는 것은 일반적인 단락법으로는 안된다.

三捲線 變壓器의 간단한 내부회로도 는 그림 1과 같이 표시된다.

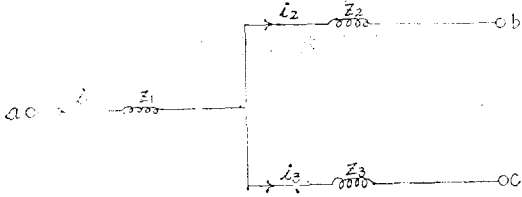


그림1. 三捲線 變壓器의 내부회로

z_1 : 一次 捲線의 임피던스

z_2 : 二次 捲線의 一次側 환산 임피던스

z_3 : 三次 捲線의 一次側 환산 임피던스

그림 1에서 b와 c를 단락한 상태에서의 전류를 계산하면 다음과 같다.

$$i_1 = i_2 + i_3$$

$$i_2 = i_1 z_3 / (z_2 + z_3)$$

$$i_3 = i_1 z_2 / (z_2 + z_3)$$

여기서

p_1 : 一次 捲線의 容量

p_2 : 二次 捲線의 容量

p_3 : 三次 捲線의 容量

$$p_2/p_1 = m, p_3/p_1 = n \text{라 하면}$$

$$|i_2|/|i_1| = m, |i_3|/|i_1| = n \text{이 된다.}$$

그러므로

$$|i_1| : |i_2| : |i_3| = 1 : m : n \text{이 되고 또}$$

$1 : m : n = |z_2 + z_3| : |z_3| : |z_2|$ 이 성립되어야만 각 권선에는 변압기의 용량에 따른 전류가 흐르게 된다. 그러나 설계상이 조건을 맞추어 제작하는 것은 어려우므로 시험시 상기 조건에 맞도록 하여 주면 각 권선에는 容量에 따라 電流를 흐르게 할 수 있다. 즉 각 권선에 리액턴스負荷를 삽입하면 그림 2와 같이 표시할 수 있다.

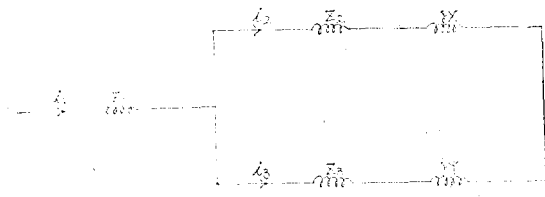


그림2. 리액턴스 負荷

내용량 변압기에서는 $r \ll x$ 이므로

$$z_1 = r_1 + jx_1 \doteq jx_1$$

$$z_2 = r_2 + jx_2 \doteq jx_2$$

$$z_3 = r_3 + jx_3 \doteq jx_3 \text{라 하면}$$

각 捲線의 電流의 比는

$$i_1 : i_2 : i_3 = 1 : m : n$$

$$= |x_2 + x_3 + x + y| : |x_3 + y| : |x_2 + x|$$

$$= 1 : \frac{|x_3 + y|}{|x_2 + x_3 + x + y|} : \frac{x_2 + x}{|x_2 + x_3 + x + y|}$$

$$\text{즉 } |x_3 + y| = m|x_2 + x_3 + x + y| \quad \text{①}$$

$$|x_2 + x| = n|x_2 + x_3 + x + y| \quad \text{②}$$

①식과 ②식을 쉽게 풀면 권선에 설치할 부하를 결정할 수 있으나 어렵기 때문에 2차나 3차 어느 한 쪽 捲線에만 負荷를 연결하고 시험전류를 어느 비에 가깝게 접근시켜서 시험을 할 수 밖에 없다.

이 조건을 찾아보면

$$y = 0 \text{일 경우}$$

$$|x_3| = m|x_2 + x_3 + x| \quad \text{③}$$

$$x = 0 \text{일 경우}$$

$$|x_2| = n|x_2 + x_3 + y| \quad \text{④}$$

③식과 ④식을 검토하면 리액턴스 負荷 크기 및 시험 가능성을 검토할 수 있다.

4. 適用例

다음 내용은 실제로 적용했던 예로서 油溫上昇이나 捲線 溫度上昇値는 간단한 내용이기 에 기술치는 않았고 溫度上昇에 필요한 시험전류를 맞추기 위하여 삽입할 리액턴스 값을 구하는 데 목적을 두었다.

4.1 試驗對象

	1차	2차	3차
定格電壓	132kV	33kV	11kV
定格電流	197A	525A	1,050A
定格容量(OA時)	45MVA	30MVA	20MVA
相數: 三相			
結線	성형	삼각	성형
納品處: 나이제리아 電力廳			
BIL(kV)	650	170	75

4.2 임피던스 測定結果

(一次側으로 單位法 환산한 값임)

4.2.1 一次 二次間 30MVA기준 一次側 測定

임피던스 電壓: 17190V 銅損: 108[kW]

$$\text{電流} = 30/45 = 0.666$$

$$\text{損失} = 108/45000 = 0.0024$$

$$\text{임피던스 電壓} = \frac{17190}{132000} = 0.13$$

$$z_{12} = 0.13/0.666 = 0.195$$

$$r_{12} = 0.0024/0.566^2 = 0.0054$$

$$x_{12} = \sqrt{0.195^2 - 0.0054^2} = 0.195$$

$$z_{12} = 0.0054 + j0.195$$

4.2.2 一次 三次間 20MVA 기준 一次側 測定

임피던스 電壓 : 17010V 銅損 : 57.6kW

電流 = 20/45 = 0.444

損失 = 57.6/45000 = 0.00128

임피던스 電壓 = 17010/132000 = 0.1289

$$z_{13} = \frac{0.1289}{0.444} = 0.29$$

$$r_{13} = \frac{0.00128}{0.444^2} = 0.00648$$

$$x_{13} = \sqrt{0.29^2 - 0.00648^2} = 0.29$$

$$z_{13} = 0.00648 + j0.29$$

4.2.3 二次 三次間 20MVA 기준 二次側 測定

임피던스 電壓 : 1040V 銅損 : 41.28kW

電流 = 20/45 = 0.444

損失 = 41.28/45000 = 0.000917

임피던스 電壓 = 1040/33000 = 0.0315

$$z_{23} = \frac{0.0315}{0.444} = 0.0708$$

$$r_{23} = 0.000917/0.444^2 = 0.00464$$

$$x_{23} = \sqrt{0.0708^2 - 0.00464^2} = 0.0706$$

$$z_{23} = 0.00464 + j0.0706$$

상기 결과식에서 각 捲線의 임피던스를 구하면

$$\frac{1}{2}(z_{12} + z_{23} + z_{13}) = 0.00826 + j0.2778$$

$$\therefore z_1 = 0.00362 + j0.2072 \approx j0.2072 = x_1$$

$$z_2 = 0.00178 - j0.0122 \approx -j0.0122 = x_2$$

$$z_3 = 0.00286 + j0.0828 \approx j0.0828 = x_3$$

(여기서 x_2 가 “-”인 것은 二次 捲線이 一次 捲線과 二次 捲線의 사이에 놓여 있음으로 인하여 相互 인덕턴스가 증가하였거나 또는 용량성 리액턴스가 증가하여 “-”로 되지 않았나 사료된다.

4.3 二次와 三次를 직접 短絡했을 때의 各捲線의 電流比 [그림 1의 b와 c를 단락]

$$i_1 : i_2 : i_3 = |z_2 + z_3| : |z_3| : |z_2|$$

$$\div |x_2 + x_3| : |x_3| : |x_2|$$

$$= 0.0706 : 0.0828 : 0.0122$$

$$= 1 : 1.173 : 0.173$$

容量比가 될려면 1 : 0.666 : 0.444가 되어야 하나 상기 결과를 분석하면

二次 捲線에는 1.173/0.666 = 1.76배의 電流가 흐르고 三次 捲線에는 0.173/0.444 = 0.39배의 電流가 흐르게 되어 직접 短絡하여 試驗하게 되면 대전류로 인하여 二次 捲線이 소손하게 될 것이다. 계산 결과의 확인을 위하여 b, c축을 단락 측정하여 보니 다음과 같았다.

이 측정은 단시간에 끝내야 한다.

1차측 전류 : 212[A]

2차측 전류 : 984[A]

3차측 전류 : 420[A]

$$i_1 : i_2 : i_3 = 1 : 1.13 : 0.165$$

여기서 전류비가 약간 차이 나는 것은 저항분을 무시했기 때문이라고 판단된다.

4.4 2차측에 리액턴스 負荷를 연결했을 때 [그림 2참조]

$$m = 0.666 \quad y = 0$$

$$|j828| = 0.666 - j0.0828 + X|$$

$$X = j0.054$$

이 때의 리액터 용량

$$0.054 \times 0.666^2 \times 45000 = 1078 \text{KVAR}$$

리액터 線間 電壓

$$0.054 \times 0.666 \times 33000 = 1187 \text{[V]}$$

各捲線의 電流比

$$i_1 : i_2 : i_3 = 0.1246 : 0.0828 : 0.0418$$

$$= 1 : 0.664 : 0.3355$$

이 결과에서 1차 전류와 2차 전류의 비는 합당하나 1차 전류와 3차 전류의 비는 맞지 않는다.

즉 1차 권선과 2차 권선의 捲線溫度上昇은 상기와 같은 리액터를 설치하여 할 수 있고 리액터의 용량을 증가시키면 3차 권선의 시험도 할 수 있다고 판단되었다. 참고로 試驗時 계산치에 가까운 용량의 리액터를 찾은 결과 똑같이 제작된 또 다른 변압기가 있어서 시험 결과에서 나타난 것과 같이 2차와 3차간의 임피던스 용량이 찾은 것 하는 리액터의 용량과 같아 다른 변압기를 리액터로 사용하여 시험을 마쳤으며 그 시험 결과는 다음과 같다.

리액터 측

입력 손실 : 43.5[kW]

입력 전압 : 1200[V]

입력 전류 : 500[A]

11kV측

단락 전류 : 994[A]

132kV측

입력 전류 : 215[A]

입력 전압 : 26775[V]

입력 손실 : 249.6[kW]

변압기 자체의 손실

$$249.6 - 43.5 = 206.1 \text{[kW]}$$

$$\text{전류비 } i_1 : i_2 : i_3 = 1.091 : 0.634 : 0.42$$

4.5 三次側에 리액턴스 負荷를 연결 했을 때 [그림 2참조]

$$n = 0.444 \quad x = 0$$

$$|j0.0122| = 0.444|j0.0122 + j0.0828 + Y|$$

$$Y = -j0.0431$$

즉 콘덴서 부하를 걸어야 한다.

콘덴서용량

$$0.0431 \times 0.444^2 \times 45000 = 382 \text{KVAR}$$

콘덴서 선간 전압

$$0.054 \times 0.444 \times 11000 = 263.74 \text{[V]}$$

각 捲線의 電流比

$$i_1 : i_2 : i_3 = |0.0828 - 0.0122 - 0.0432| : |0.0828$$

$$- 0.0432| : |-0.0122|$$

$$= 0.0275 : 0.0397 : 0.0122$$

$$= 1 : 1.444 : 0.444$$

여기서 電流比를 보면 2차 권선에 대전류가 흘러서 시험시에 2차권선 절연열화를 예상할 수 있다. 이 방법은 리액턴스부하로써 콘덴서를 구하는 것은 용이할 수도 있으나 **계측할 수 없고** 어느 시험의 경우든지 계산해 볼 필요는 없다.

5. 結 論

變壓器의 特性이 각각 다르고 또 보유 장비도 차이가 남으로써 적용 방법도 다를 것이다.

위에서 언급한 경험도 아주 단편적이어서 좀 더 개발하면 좋은 방안이 강구될 것으로 생각된다.

會員에게 알리는 말씀

會員 여러분의 健勝하심을 仰祝합니다.

그간 本學會 會員 여러분의 積極的인 協助와 參與로써 많은 發展을 이룩하여 公益學術 團體로서 確固한 位置를 갖추게 되었습니다.

그러나 會員 여러분 自身의 團體인 學會의 會費를 아직까지 納付치 않으신 會員은 早速한 時日內에 會費를 納付해 주시기 바랍니다