

2 MVA 배전용 몰드변압기의 온도분포 해석

정현구 우성현 김영배 장형택 신판석
홍익대학교 전기공학과

A Temperature Distribution Analysis of 2 MVA mold transformer for power distribution power system

Hyun koo Chung, Sung Hyun Woo, Young Bae Kim, Hyeong Taek Tang, Pan Seok Shin
Department of Electrical Engineering, Hongik University

Abstract - 본 논문은 3상 22.9 kV/380 V, 2[MVA] 몰드변압기의 온도 분포를 FEM(FLUX2D)를 이용하여 수행하였다. 변압기의 코어 손실과 권선손실에 의한 열원을 계산하고, 그 결과를 이용하여 코어와 권선의 온도 분포를 해석하였다.

최종목적을 열의 분포를 균등화하여 변압기의 효율과 용량을 극대화 시키는 것이다.

1. 서 론

전력수요가 경제규모 확대에 의한 전력수요증가가 확대되어지고 있다. 송배전계통의 손실을 줄이고자 전력계통 기기들의 초 고압화를 부추기고 있다. 초고압 변압기는 단순히 전압이 높다는 사실만 다른 것이 아니라 수요자에 대량의 전력을 공급한다는 차원에서 안정성과 신뢰성이 월등히 높아야한다. 더불어 공간의 효율적 이용을 위한 소형, 경량화가 요구되어지고 있다. 이에 따라 초고압 변압기의 신뢰성 확보를 위해 최적설계 및 안전성을 고려한 설계가 필요하다.[1]

몰드변압기는 유입변압기와는 달리 소형화가 가능하며, 친환경적이다. 우수한 전기절연성과 절연물(Epoxy)로 코일을 완전 밀봉하여 제조 되므로 외부로 부터의 습기가 침투 되지 않고, 기계적 충격 및 진동에 강하다. 하지만 문제점으로 열에 의한 열화를 들 수 있다. 내부 권선과 몰딩 부분의 열로 인한 온도 분포와 열로 인한 절연물의 열화 현상을 방지 기 위한 설계가 필요하다.

이를 위하여 전자계 해석 및 온도 분포해석 기술이 필요하다. 특히 변압기 동작시 권선의 흐르는 전류에 의해 발생된 열은 변압기의 온도 상승의 원인이 되고 온도가 높아지면서 절연물의 열화를 증가시켜 변압기의 성능저하 및 수명을 단축시킨다. 때문에 권선의 온도 상승은 허용온도를 넘지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 변압기의 온도특성을 미리 예측하고 평가하는 것은 설계비용 감소와 변압기 수명연장이 향상 되어질 수 있다.[2]

2. 본 론

현재 사용되어지고 있는 대부분의 유입변압기는 몰드변압기에 비해 크기가 크며, 화재의 위험성을 가지고 있다. 이에 비해 몰드변압기는 소형화 및 화재위험성이 적으며 유지보수의 경제성 등의 장점이 있어 계속적으로 사용이 확대 되고 있다. 몰드 변압기란 철심 및 권선이 절연유 중에 잠겨있지 않고 권성을 에폭시 등의 수지를 사용하여 고체 절연화 시킨 변압기로 고압권선과 저압권선을 분리 하여 에폭시 수지로 몰딩하고 철심을 중심으로 동심 배치한다. 고압권선과 저압권선 사이의 갭이 절연 및 냉각을 위한 덕트 역할을 하게 된다.

몰드변압기의 절연종류로는 B, F, H종등이 제조 되고 있으며 F종의 경우 온도상승한도는 95[deg], 허용최고온도는 155 [°C] 이다.

2.1 몰드변압기의 손실해석

변압기 권선에 전류가 흐르면 열이 발생하고 이는 도체와 권선을 포함하고 있는 내부의 온도상승에 원인이 된다. 권선과 철심의 재질에 따른 손실을 계산하여 온도 상승의 원인을 계산해야 한다. 변압기의 손실은 권선과 철심에서의 Joule's loss 가 대부분이며, 이는 자체해석 후 열계해석의 열원으로 이용할 수 있다.

권선에서의 Joule's loss는

$$P = I^2 * R \quad (1)$$

철심에서의 Joule's loss는

$$W = k * G * w \quad (2)$$

이다. 여기서,

k : 적층시 발생하는 철심간 공극에 관련계수

G : 철심 중량 [kg]

w : 단위무게 당 손실 [W/kg]

2.2 몰드변압기의 온도 분포해석

열전달에는 전도, 방사, 대류의 세 가지 경우를 들 수 있다. 몰드변압기는 대부분 옥내용으로 사용되어지기때 복사열에 의한 해석은 무시하였다.

몰드변압기는 덕트와 외함의 통풍구조를 통해 자연대류에 따른 공기냉각 방식으로 이루어진다. 열해석 시에 대류열전달 계수는 기체의 자연대류계수 2-25[W/m²K]를 사용하였다.

몰드변압기의 열전도 방정식은 식(3), (4)과 같다.[3][4]

$$\phi = - [k] grad T \quad (3)$$

$$div(\phi) + \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = q \quad (4)$$

여기서, T : 온도 [°C]

ϕ : heat flux density

[k] : tensor of thermal conductivity [in W/m/K]

ρC_p : specific heat [in J/m³/K]

q : heat sources [in W/m³]

변압기의 운전 중 시간에 따른 온도 분포를 해석하기 위한 온도 분포는 식(5)와 같이 나타내어진다.

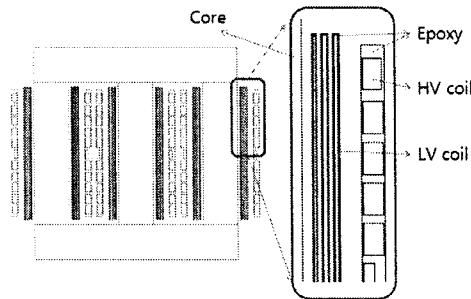
$$\text{div}(-[k]\text{grad } T) + \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = q \quad (5)$$

3. 변압기 모델 및 해석 결과

몰드변압기의 사양과 구조는 아래의 [표 1]과 [그림 1]에 나타내었다. 3차 철심에 고압/저압측이 각 leg에 동심원으로 배치되어있는 구조로 되어있다. 저압 측 권선은 Sheet 권선구조이며 에폭시로 몰딩 되어 있으며, 고압 측은 80-90턴의 코일이 감겨있는 권선이 11개 컨덕터로 구성되어져있고 각 권선 사이와 주위에 절연물(Epoxy)로 몰딩 되어져 있는 것을 볼 수 있다.

[표 1] 몰드변압기 사양

용량	2 MVA
1차 정격전압	22.9 kV
2차 정격전압	380/220 V
1차 정격 전류	87.3A
2차 정격 전류	4119A
주파수	60Hz
상수	3상(dyn)



[그림 1] 몰드변압기의 구조

고압 측 에폭시몰딩 두께는 철심 측으로 3[mm], 외측 4[mm], 상부 20[mm], 하부 20[mm], 저압권선은 3[mm] 두께로 몰딩 되어져 있다.

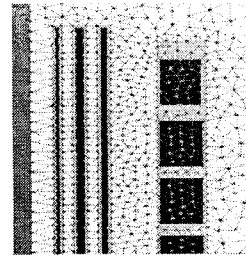
절연물(epoxy)의 물질 값은 아래의 [표 2]와 같다. 열 해석 시에 대류열전달 계수는 기체의 자연대류계수 2-25 [W/m²K]를 사용하였다. 대류열전달계수는 물질의 성질이 아니고 유체의 열역학 성질이고 열전도도, 점성계수, 비열등과의 관계를 가지고 있다.

코일의 열전도도는 401 k[W/m K], 철심은 44 k[W/m K]이다.

[표 2] Epoxy 의 물질 값

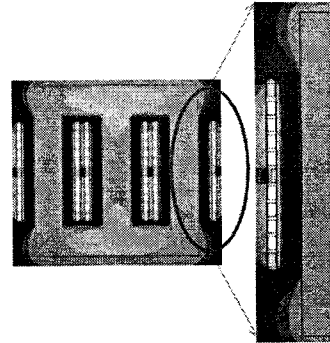
Thermal conductivity	0.71 [W/m K]
Specific heat	795 [W/kg K]
Density	1900 [kg/m ³]

변압기의 주위 온도는 일정한 외부조건을 주기 위해서 40[°C]로 설정하였고 철심 및 권선이 외부로 전달되는 경계조건은 수직하여 방사상으로 분포 되는 조건을 설정하였다.



[그림 2] 요소분할도

삼각 요소분할과 사각 요소 분할을 사용하여 요소를 분할하고 해석하였다.



[그림 3] 변압기 온도 분포도

[그림 3]에서의 온도 분포를 보면 고압 측 권선에서의 온도가 저압 측 부분보다 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 고압 측의 최고 온도가 176[°C], 저압 측 최고 온도 77[°C], 철심의 최고 온도는 115[°C]로 나타났다.

권선의 온도분포는 고압 측과 코어의 내측 T형 leg에서 비교적 높은 온도가 분포 되어지는 것을 볼 수 있는데 절연, 방열 및 통풍설계 시에 leg 안쪽과 고압 측의 몰딩 부 설계에 더욱 정확한 설계 및 해석이 필요하다는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

철심과 권선의 손실계산이 먼저 선행 되어지고 그 결과가 열 해석시 열원으로 사용되어 비교적 정확한 데이터를 확보 할 수 있다. 온도 분포도에서 비교적 많은 열이 발생하는 부분의 설계를 세심하게 하고 그에 따라 알맞은 절연물을 선택하여 설계하면 비용과 시간에 더욱 효율적인 설계가 가능하다. 대류로 인한 자연 통풍과 강제통풍의 결합 해석 및 실험을 함으로써 더욱 온도에 안정되고 절연물 열화를 감소시킬 수 있는 설계를 할 수 있으며, 변압기의 효율을 극대화 시킬수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이운용 외 3, "일체형 주상용 몰드변압기의 온도분포 및 특성 비교", Journal of korean institute of electrical and electronic engineers, Vol. 19, p1154, 2006
- [2] 이현진 외 3, "50[kVA] 몰드변압기 권선부의 열전달 특성 해석", Journal of korean institute of institute of illuminating and electrical installation engineers, Vol. 16, pp47'54, 2002
- [3] 김창식 외 1, "공업열역학"
- [4] "Flux 9.10 volume 3" CEDRAT