

유한요소법을 이용한 2MVA급 몰드변압기의 과도전계 해석

곽희성*, 전문호*, 김창업*, 이석원**
호서대학교

Electric Field Analysis of 2MVA Mold Transformer Using Finite Element Method

Hee Sung Kwak*, Mun Ho Jeon*, Chang Eob Kim*, Suk Won Lee**

*Department of Electrical Engineering, Hoseo University, Asan, 336-795 Korea

**Department of System Control Engineering, Hoseo University, Asan, 336-795 Korea

Abstract - 본 논문은 2차원 유한요소법을 이용하여 2[MVA]급 몰드 변압기의 과도전계를 해석한 것이다. 과도현상을 해석하기 위해 변압기 코일 및 대지 간 정전용량을 에너지법을 이용하여 구하였고, 이를 이용하여 변압기에 충격전압 95[kV]가 인가될 경우에 변압기 위치별 전계의 세기를 구하였다.

1. 서 론

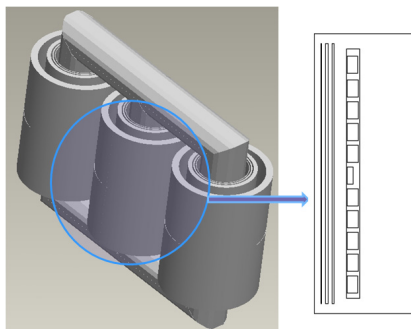
몰드 변압기는 유입변압기에 비해 내열성, 난연성 등이 우수하고, 유지 보수 비용이 저렴하여 환경적인 요소에 크게 영향을 받지 않아 수요가 증가하는 추세이다. 그러나 수용가의 전력소비 증가와 함께 매년 변압기 사고발생 빈도가 증가하고 있다. 고압변압기에서 송전선의 낙뢰 등에 의한 충격 전압, 사고 시 이상전압 등이 변압기에 인가될 때 권선 간 또는 권선과 대지간의 절연과파가 발생하여 변압기 사고가 일어날 수 있다. 이러한 과도현상은 주로 권선의 인덕턴스와 권선간 및 권선과 대지간의 정전용량에 의해 발생한다[1].

이상전압 및 충격전압이 변압기에 인가되었을 때 해석하는 기법으로 권선 간의 정전용량과 권선의 인덕턴스를 계산하여 등가회로를 구성하여 해석하는 방법이 있다. 그러나 이런 해석방법들은 변압기 철심의 비선형성을 고려하기가 어렵고, 등가회로를 이용하기 때문에 변압기 자장 분포는 해석하지 못하는 단점이 있다[2]. 본 논문에서는 권선 간의 정전용량을 에너지법을 사용하여 계산하고, 변압기 내부의 자장분포를 해석하고 자장과 변압기의 회로를 결합하여 2차원 유한요소법을 이용하여 과도특성을 해석하였다.

2. 본 론

2.1 유한요소법을 이용한 전계해석

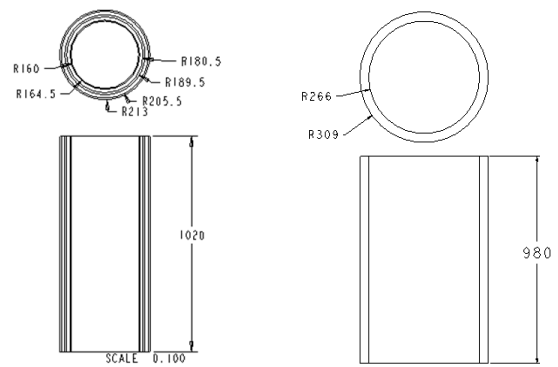
그림 1은 3상 2[MVA]급 배전용 몰드변압기의 해석 모델이다. 해석은 1상만을 고려하였으며, 입력전압은 고압 22.9[KVA], 저압 380[V]이다.



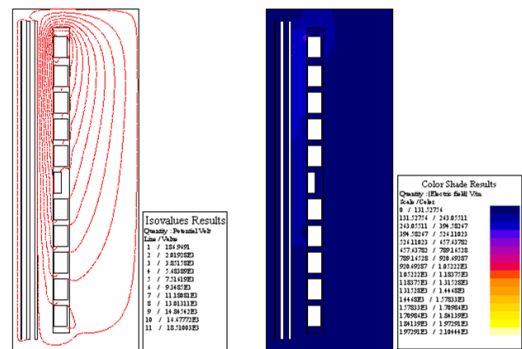
<그림 1> 몰드 변압기

그림 2 (a)는 저압 코일의 형상으로 2턴, 4턴, 3턴으로 총 9턴이 감겨져 있고, 고압은 939턴이 감겨져 있으며, 에폭시로 몰딩 되어있다. 또한 코일 사이는 PET필름으로 절연되어 있다. 여기서 에폭시의 비유전율은 4.2, PET필름은 2.3이다.

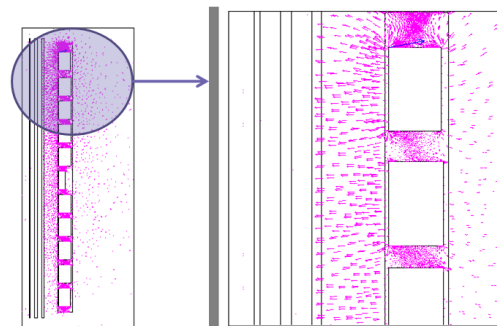
그림 3은 Flux-2d로 정격전압에서 전계분포를 해석한 결과이며, 최대 전계는 1804[V/m]로 고압도체와 대지 간에 발생한다. 그림 4는 전계벡터도로 고압 측 코일 부근에서 높게 나타남을 알 수 있다.



(a) 저압 (b) 고압
<그림 2> 저압 및 고압의 코일 형상



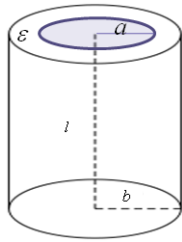
(a) 등전위 분포 (b)전계의 세기
<그림 3> 등전위 분포 및 전계의 세기



<그림 4> 전계 벡터도

2.2 정전용량계산

정전용량은 절연된 도체 사이에 전위를 주었을 때 전하를 축적하는 양으로 나타낸다. 그림 5와 같은 동축 도체일 경우엔 식 (1)과 같이 정전용량을 계산할 수 있다.



〈그림 5〉 동축 도체

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (1)$$

여기서 ϵ : 극판간의 물질의 유전율, l : 동축 도체의 길이, a : 내부 도체의 반경, b : 외부 도체의 내경이다. 정전 에너지는 전압을 가하여 유전체 내에 축적되는 에너지를 나타내며, 식 (2)로 나타내어진다.

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV \quad (2)$$

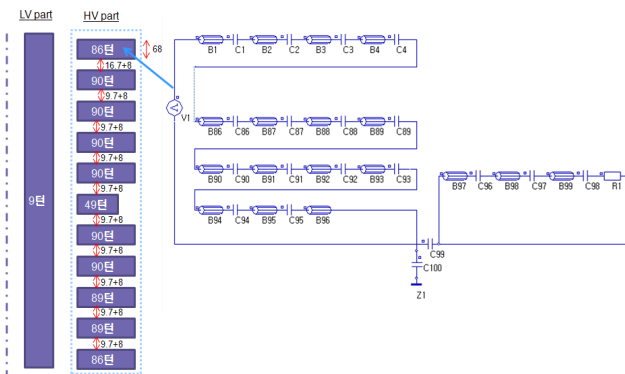
2.3 과도전계 해석

과도전계 해석은 변압기 권선간 및 권선과 대지 간의 정전용량을 식 (1)과 (2)에 의해 구하고, 자장과 변압기의 회로를 결합하여 2차원 유한요소법을 이용하여 과도특성을 해석하였다. 철심과 코일 사이, 저압 코일 간, 저압 코일과 고압 코일 사이, 고압 코일 간 정전용량을 표 1과 같이 계산하여 나타내었다.

〈표 1〉 위치별 정전용량

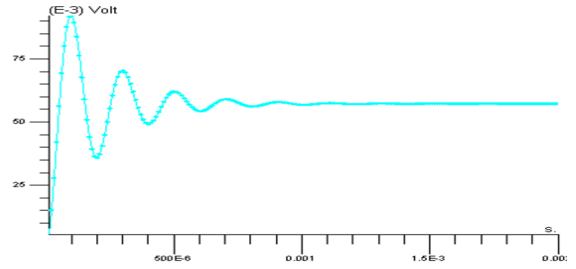
	위치			
	철심-저압 코일	저압코일간	저압코일-고압코일	고압코일간
정전용량[nF]	0.012	0.023	0.69	0.58

변압기 과도현상은 그림 6과 같이 축대칭 2차원으로 하였다. 고압 코일과 저압 코일은 예폭시로 물딩하였으며, 권선 사이는 PET 필름으로 절연되어 있다. 철심의 자장을 고려하여 전계를 해석하기 위한 회로도는 그림 6과 같다. 그림 6의 연결모양으로 표현한 것은 저항을 가진 권선으로 앞부분의 사각형은 극성을 나타낸다. 여기서 B1, B86은 코일번호(no.)를 나타낸다. 첫 번째 그룹의 권선은 매 코일의 정전용량을 그림 6과 같이 표현하였고, 두 번째 그룹이후의 권선은 계산 시간을 줄이기 위해서 전체 정전용량 값을 계산하여 각각 입력하였다.

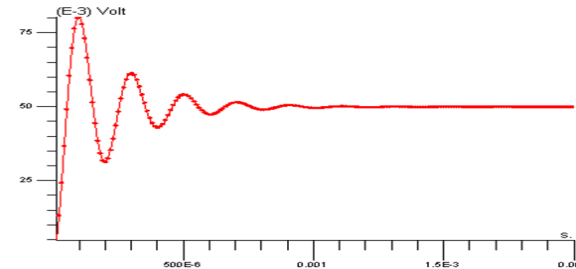


〈그림 6〉 변압기 회로도

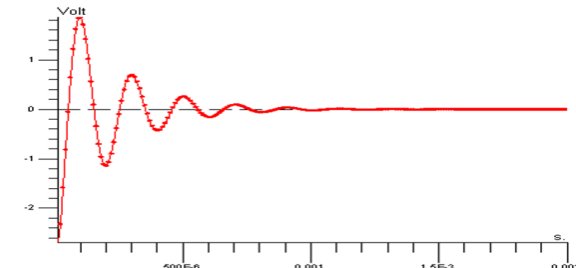
과도전계 해석에서 고압 권선 저항은 $1.1897[\Omega]$, 저압 권선 저항은 $0.000356[\Omega]$ 이고, 입력전압은 $1[\text{kV}]$ 직류 전압이 스위칭에 의해 입력되었을 경우를 고려하여 해석하였다. 그림 7은 고압권선사이의 첫 번째 그룹에서 no.1-no.2 코일 사이의 과도전압을 해석한 것이고, 그림 8은 no.85-no.86 사이의 과도전압 해석 결과이다. 고압 권선의 no.1-no.2 코일 사이에서 가장 큰 전압이 걸리며, no.86 코일쪽 권선에는 과도전압이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 그림 9는 저압 코일 사이에서의 과도전압 해석 결과이다. 표 2는 위치에 따른 상용주파내전압 50[kV], 충격전압 95[kV]일 때의 최대 전계 값을 보여준다.



〈그림 7〉 고압 코일간(no.1-no.2 코일 사이) 과도전계해석



〈그림 8〉 고압 코일간(no.85-no.86 코일 사이) 과도전계해석



〈그림 9〉 저압 코일 사이의 과도전계해석

〈표 2〉 위치별 전계해석 결과

[V/m]

	위치			
	철심-저압코일	저압코일간	저압코일-고압코일	고압코일간
22.9kV/380V	4.1	2.3	578	1820
상용주파내전압 50kV	8.9	5	1262	3973
충격전압 95kV	17	9.5	2398	7548

3. 결 론

본 논문은 2[MVA] 몰드변압기의 과도전계를 해석한 결과이다. 변압기 정전용량은 에너지법을 이용하여 계산하였으며, 변압기 내부의 자장 분포를 해석하여 자장과 변압기의 회로를 결합하여 2차원 유한요소법을 이용하여 과도전계를 해석하였다. 해석 결과 고압측 첫 번째 코일 그룹에서의 no.1과 no.2 코일 사이에서 가장 큰 전압이 걸리는 것을 알 수 있었다. 변압기 내부의 위치별 전계 해석을 통하여 충격전압과 같은 과도전압 인가 시 변압기 절연성능을 사전에 예측할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (08524) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 박찬용, 김성욱, 최제성, 박대원, 길경석, “몰드변압기에서 부분방전 검출방법의 비교분석”, 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, pp.301-306, 2008
- [2] 이준호, 이기식, “유한요소법에 의한 변압기의 돌입전류 계산”, Journal of The Korean Magnetics Society, vol.9, no.1, pp.64-170, 1999.