

## 변압기 대전류에 의한 하우징영역 온도상승 연구

이종근\*, 서상욱\*, 박성완\*  
현대중공업

### Study on the temperature rise in the transformer's housing by large current

Jong-Keun Lee\*, Sang-Uk Seo\*, Sung-Wan Park\*  
Hyundai Heavy Industries\*

**Abstract** - 본 논문에서는 3상, 1250MVA, 345kV급 전력용 변압기의 하우징 영역에 대한 온도상승 연구를 유한요소법과 시험을 통하여 수행하였다. 하우징 영역에 대한 전자계 요한요소 해석을 통해 와전류 손실을 수행하였고, 이를 열원으로 하여 변압기 내 외부 냉각조건을 고려하여 온도상승 분포와 최고온도 상승 값을 해석하였다. 이를 제작된 변압기를 대상으로 온도센서 및 열화상 카메라를 이용한 측정 데이터와 비교하여 검증하였다.

#### 1. 서 론

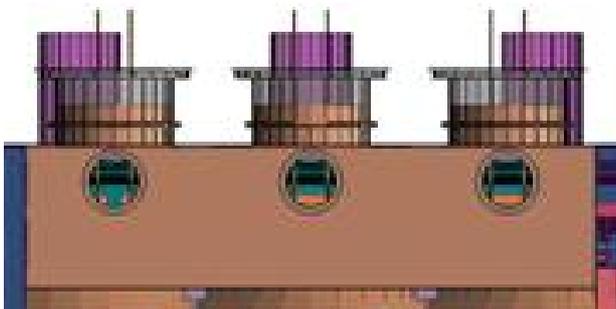
하우징은 변압기 외함에 취부되어 있는 금속구조물로서 최근 변압기의 용량이 증가함에 따라 저압 측 리드에 높은 정격전류가 흐르는 경우에 따라 금속 구조물의 국부 과열을 방지하기 위해 적절한 재질 및 차폐판을 사용하고 있다. 하지만 변압기 소형, 경량화를 위해 크기와 무게를 줄이면서 대전류에 의한 강자계가 하우징에 영향을 미쳐 국부과열 현상을 발생시킬 우려가 증가하고 있다. 특히, 저압 측 리드 정격전류가 10[kA] 이상인 대용량변압기는 납품 후 하우징 영역에 국부적인 과열현상이 발생하는 사례가 있다. 이러한 국부적인 과열 문제는 변압기의 절연내력을 저하시켜 수명을 단축시키고, 특정 온도 이상에서 절연유에 가스를 발생 시킨다. 따라서, 변압기 제품의 안전성 및 신뢰성 확보를 위해 이와 같은 하우징 영역의 과열문제를 미연에 방지하기 위해 온도 상승 평가에 대한 신뢰성 높은 자체-열 분석해석을 기법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 3상, 1250MVA, 345kV급 전력용 변압기의 하우징 영역에 대해 전자계 유한요소법을 통해 손실을 해석하고 이를 이용해 열 해석을 수행하였다. 해석 검증하기 위해 실 제작 변압기의 온도상승 시험시 온도센서, 열화상 카메라를 이용한 하우징 영역의 표면 온도 실험데이터를 측정을 통해 해석값과 시험값을 비교하여 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 변압기 해석 모델

본 논문의 연구 대상 변압기는 3상, 1250MVA, 345kV급 대용량 변압기이다. 저압권선에 흐르는 전류가 16,244A로 외함에 국부적인 과열이 우려되는 상황으로 아래와 같이 외함 차폐판을 적용하고, 하우징 영역의 재질은 비자성체 재질을 적용하여 ODAF 냉각 조건을 고려한 온도상승 해석을 수행하였다.



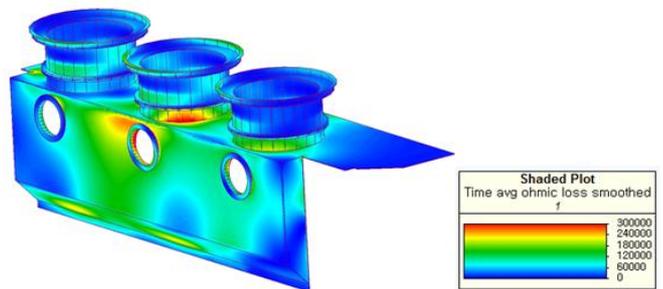
〈그림 1〉 해석 모델

##### 2.2 변압기 손실 및 열 해석

와전류는 시간에 따른 자기포텐셜의 변화로 발생하게 되고, 도체의 비저항을 고려하여 와전류 손실을 구하는 식은 (1)과 같다.

$$P = \int_v \rho J \cdot J dv = \int_v \frac{J \cdot J}{\sigma} dv \quad (1)$$

식(1)로 얻은 하우징 영역의 손실 분포를 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 하우징 영역의 손실분포를 바탕으로 국부과열이 우려되는 부분을 추측 할 수 있다. 하지만 내부, 외부 냉각 조건 및 단위 체적당 손실밀도 등에 따라 온도상승 값이 다르므로 열 해석을 통해 정확한 온도상승 평가를 수행 할 필요가 있다.

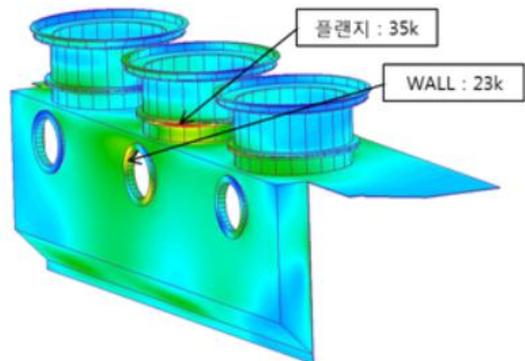


〈그림 2〉 와전류 손실 분포

변압기 하우징 부분의 냉각을 고려한 열 해석을 수행하기 위해 사용되는 대류에 의한 열전달 수식은 식(2)로 나타낸다.

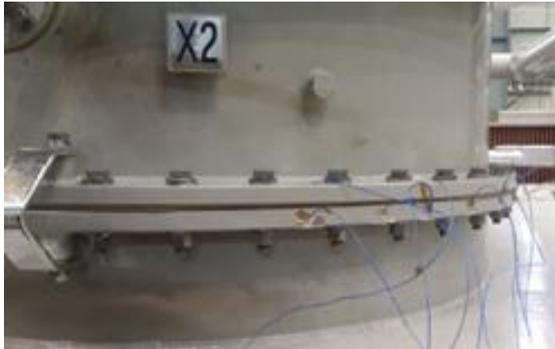
$$q_c = hA(T_{surface} - T_{ambient}) \quad (2)$$

h는 대류계수, A는 면적, T<sub>surface</sub>는 표면온도, T<sub>ambient</sub>는 주변온도이다. 냉각방식에 따라 표면에 적용하는 대류계수가 달라진다. 그림 2와 같이 해석한 와전류 손실을 열원으로 열 해석을 수행하면 그림 3과 같이 나타나며, 외함의 최고온도 상승은 플랜지 부분에 35K로 나타남을 알 수 있다.



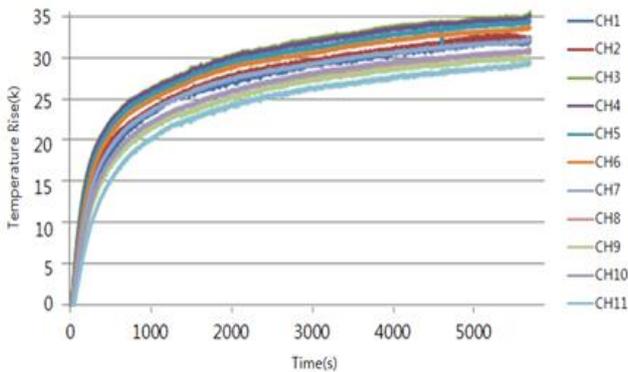
〈그림 3〉 온도 분포

열 해석 결과를 검증하기 위해 국부적인 과열이 우려되는 저압 X2상의 플랜지 부분에 그림 4와 같이 온도측정 센서를 부착하였고, 전체적인 온도 분포를 확인하기 위해 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다.



〈그림 4〉 온도측정 센서위치

온도측정 센서를 통해 얻어진 측정값은 그림 5와 같다. 하우징 플랜지 영역의 최대 온도 상승값은 27K로 해석값 35K와 비교하여 8K의 온도차를 가지는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 온도측정 센서 측정 그래프

그림 6은 열화상 카메라를 이용한 온도측정 사진이다. 해석값과 비교하여 하우징 플랜지 영역의 온도는 8K, 하우징 저압측 외함 온도는 6K의 오차를 나타낸다.



〈그림 6〉 열화상 카메라 측정 사진

### 3. 결 론

본 논문은 전력용 변압기의 하우징 영역의 3차원 전자계 유한 요소 해석을 통해 와전류 손실을 도출하고 이를 열원으로 적용하여 열 해석을 수행하였다.

〈표 1〉 온도상승 해석 및 측정 값 비교

	해석값	시험값	오차
하우징 플랜지 영역	35k	27k	+8K
하우징 저압측 외함 영역	23K	17K	+6K

변압기의 온도상승 해석에 대한 온도차는 표 1과 같이 하우징 플랜지 영역 8K, 하우징 저압측 외함 영역 6K로 나타남을 알 수 있다. 이는 실제작과 해석을 위한 모델링의 형상 차이와 각각의 구조물에 냉각을 고려한 정확한 대류계수 값을 적용하지 못한 것이 오차의 원인이라 판단된다. 향후 변압기 내외부의 구조물 형상 및 냉각방식에 따른 알맞은 대류계수 적용 조건을 정립하는 연구를 수행 하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Juan Carlos Olivares-Galvan, Rafael Escarela-Perez, Pavlos S. Georgilakis, "Reduction of Stray Losses in Flange - Bolt Regions of Large Power Transformer Tanks", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 61, NO. 8, AUGUST 2014
- [2] Luis Marti, Afshin Rezaei-Zare, Arun Narang, "Simulation of Transformer Hotspot Heating due to Geomagnetically Induced Currents", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 28, NO. 1, JANUARY 2013
- [3] S.L.Ho, Y.Li,R.Y.Tang, K.W.E.Cheng, S.Y.Yang, "Calculation of Eddy Current Field in the Ascending Flange forthe Bushings and Tank Wall of a Large Power Transformer", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 44, NO. 6, JUNE 2008