

주상용 몰드변압기의 온도분포와 열응력 해석

The Temperature Distribution and Thermal Stress Analysis of Mold transformer

조한구* · 이운용 · 한세원
(H. G. CHO* · U. Y. LEE · S. W. HAN)

Abstract

The life of transformer is significantly dependent on the thermal behavior in windings. To analyse winding temperature rise, many transformer designer have calculated temperature distribution and hot spot point by finite element method(FEM). Recently, numerical analyses of transformer are studied for optimum design, that is electric field analysis, magnetic field, potential vibration, thermal distribution and thermal stress. Therefore design time and design cost are decreased by numerical analysis.

In this paper, the temperature distribution and thermal stress analysis of 50kVA pole cast resin transformer for power distribution are investigated by FEM program. The temperature change according to load rates of transformer also have been investigated. We have carried out temperature rise test and test results are compared with simulation data.

Key Words(중요용어) : Mold transformer, Temperature distribution, FEM, Cooling duct, Pole type

1. 서 론

몰드변압기는 유입변압기와는 달리, 난연성이 우수하고 소형화가 가능하며, 또한 최근 예폭시 수지의 발달로 인해 옥외용 몰드변압기로의 적용도 가능해졌다. 일반적으로 사용되고 있는 몰드변압기는 고압 코일과 저압코일 사이에 냉각덕트를 만들어 각각 분리되어 있는 구조를 가지고 있지만, 변압기 전체의 소형화 및 저손실화를 목적으로 일체주형방식의 몰드변압기도 개발되고 있다. 하지만, 일체주형방식의 몰드변압기는 1차권선과 2차권선 사이에서의 방열이 어렵기 때문에 방열면적을 확대하기 위한 효과적인 냉각구조가 필요하다.

변압기 최적설계를 위해 수치해석을 이용하여 많은 연구가 되고 있는데, 해석사례로는 전계해석, 자계해석, 전위진동해석, 온도분포 해석, 응력해석 등이 있다. 특히 변압기 운전시 발생하는 열은 절연물의 열화를 초래하여 변압기의 성능저하 및 수명을 단축시키기 때문에, 권선의 온도상승은 허용온도를 넘지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 따라서 설계 변압기의 권선온도상승이 얼마나 되는지, 미리 온도분포 해석을 함에 따라 설계비용 및 설계시간을 감소시킬 수 있다.

본 논문에서는 주상변압기로의 적용을 위해 일체주형방식의 몰드변압기와 공기덕트를 가지는 몰드변압기에 대해서 권선의 온도상승을 비교분석하였다. 변압기 내부위치에 따른 온도변화와 hot spot 점, 부하율에 따른 권선의 온도변화 등을 연구하였다.

한국전기연구소
전략기술연구단 신소재응용 연구그룹
(Fax: 055-280-1616
E-mail : hgcho@keri.re.kr

2. 몰드변압기의 열해석

2.1 몰드변압기의 동향

현재 사용되고 있는 변압기들은 대부분 유압변압기로 몰드변압기에 비해 크기가 크며, 화재의 위험성을 가지고 있다. 이에 비해 몰드변압기는 소형화 및 화재위험성이 적으며 유지보수의 경제성 등의 장점이 있어 계속 사용이 확대되고 있다.

몰드변압기란 철심 및 권선이 절연유 중에 잠겨있지 않고 권선을 에폭시 등의 수지를 사용하여 고체절연화 시킨 변압기로, 일반적인 구조는 고압권선과 저압권선을 분리하여 에폭시 수지로 몰딩하고 철심을 중심으로 동심배치된다. 고압권선과 저압권선 사이의 갭이 절연 및 냉각용 덕트역할을 하게된다. 하지만 전체적인 크기가 커지게 되어 소형화 및 저손실화를 목적으로 일체주형방식의 몰드변압기도 개발되고 있다. 그림 1에 기존방식과 일체주형방식의 권선구조를 나타낸다. 일체주형방식으로 제조할 경우, 1차권선과 2차권선 사이에서의 방열이 어려워지기 때문에 권선의 온도상승을 어떻게 억제하는 가가 중요한 문제로 된다. 즉 냉각면적의 감소를 보충하기 위해 발생손실의 저감과 효율적인 냉각구조를 연구할 필요가 있다.

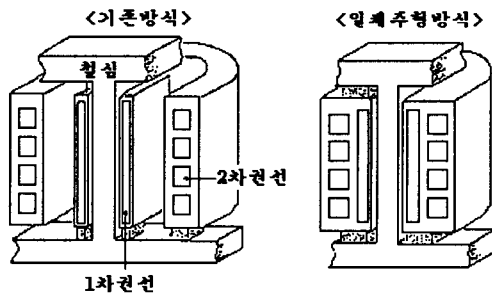


그림 1. 권선구조의 비교

2.2 몰드변압기의 온도상승

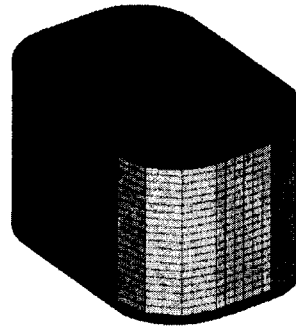
몰드 변압기는 대부분의 경우, 권선이나 철심에서 발생하는 열을 권선간이나 철심 사이에 있는 공기덕트 내에서의 자연대류 열전달에 따라서 냉각된다. 일반적으로 평균 온도상승 θ 는 다음 식으로 계산되지만, 제정수는 많은 실험 및 실측 데이터에 따라 설정된다.

$$\theta = K_1 \cdot \left(\frac{K_2}{F} \cdot \frac{W}{S} \right)^n$$

여기서 n , K_1 , K_2 는 정수이며 F 는 풍량에 따른 계수, W 는 발열량(kW), S : 방열면적(m^2)이다.

2.3 몰드변압기의 온도분포 해석

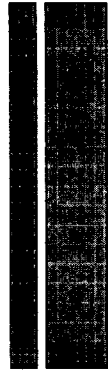
본 연구에서는 몰드변압기를 50kVA 주상변압기(절연등급: F종)로 응용하기 위해 일체주형방식의 모델(모델 1)과 공기덕트를 가지는 모델(모델 2) 등을 설계하여 2가지 모델에 대해서 MSC/Nastran for Windows의 Thermal analysis를 이용하여 온도분포를 해석하였다. 각 구성재료 에폭시, 저압, 고압코일, 유리섬유 등의 열적 파라미터들을 선정하고, Load 조건으로 저·고압코일에 흐르는 전류에 따른 발열량을 설정하고 변압기 주위를 자연대류조건으로 설정하여 시뮬레이션하였다. 그림 2는 각 모델의 모델링 모습을 나타낸다.



(a) 모델 1의 전체부분



(b) 모델 1



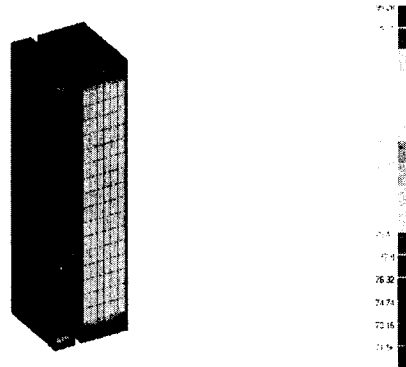
(c) 모델 2

그림 2. 변압기의 모델링 (요소수는 약 2만개)

해석결과, 모델 1의 경우 hot spot 온도가 135.5℃로 저압코일에서 나타났으며, 모델 2의 경우는 hot spot 온도가 95.28℃, 고압코일은 81.6℃로 모델 1의 경우보다 온도상승이 낮게 나왔다. 올드변압기 F종의 경우 온도상승한도는 100deg, 허용최고온도는 155℃이므로 모델 1과 모델 2는 모두 만족한다. 하지만 덕트모델이 일체형보다 약 40℃ 정도가 더 낮았다. 일체형의 hot spot 온도를 더욱 낮추기 위해서는 코일의 발열량을 낮추거나 방열면적을 보다 확대시켜야 한다.



(a) 모델 1의 온도분포



(b) 모델 2의 온도분포

그림 5. 각 모델의 온도분포 해석결과

또한 모델 2에 대한 부하율 변화에 따른 저압, 고압코일의 온도변화를 해석한 결과 그림 6과 같이, 부하율이 증가함에 따라 고압코일보다는 저압코일 쪽의 온도변화가 더 심하였다.

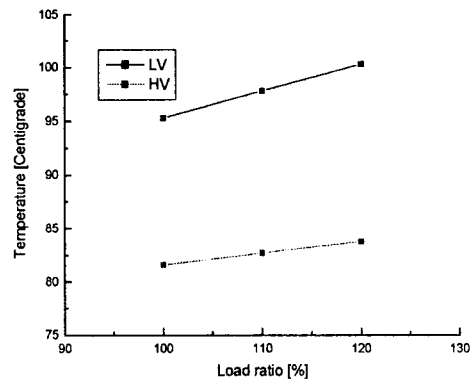


그림 6. 모델 2 변압기의 부하율에 따른 온도변화

2.4 올드변압기의 열응력 해석

모델 1의 경우, 일차권선과 2차권선이 일체로 물드뎠기에 따라 수지에 발생하는 열응력이 증대될 것으로 예상된다. 올드변압기의 내크랙성을 검증하기 위해 실온에서의 열응력분포를 해석한 결과 그림 7과 같이 해석하였다. 앞에서의 온도분포 결과를 바탕으로 열응력을 해석한 결과, Von Mises Stress가 집중되는 곳은 유리섬유와 에폭시의 계면에서 발생하였으며, 이로 인해 이 부분에서 내부크랙이 발생할 것

으로 생각된다.

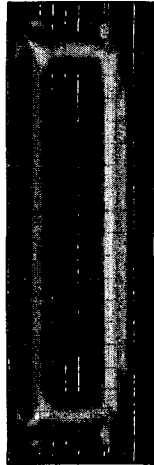


그림 7. 모델 1의 열응력 분포

3. 결 론

소형화 및 저손실화를 목적으로한 일체주형방식의 몰드변압기와 공기덕트를 가지는 몰드변압기에 대해 온도분포 및 열응력을 해석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모델 1의 경우 hot spot 온도가 135.5℃로 저압 코일에서 나타났으며, 모델 2의 경우는 hot spot 온도가 95.28℃, 고압코일은 81.6℃로 모델 1의 경우보다 온도상승이 낮게 나왔다. 몰드변압기 F종의 경우 온도상승한도는 100deg, 허용최고온도는 155℃이므로 모델 1과 모델 2 모두 만족한다.
2. 모델 2 변압기에서 부하율이 증가함에 따라 저압 코일 쪽이 고압코일보다 온도가 보다 심하게 변화하였다.
3. 온도분포 결과를 바탕으로 열응력을 해석한 결과, Von Mises Stress가 집중되는 곳은 유리섬유와 에폭시의 계면에서 발생하였으며, 이로인해 이 부분에서 내부크랙이 발생할 것으로 생각된다.

향후, 모델 1, 2의 시제품을 제작하여 온도상승시험에 따른 시뮬레이션 결과의 검증을 실시할 예정이다.

다.

[참 고 문 헌]

- [1] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol.43, No.4, 1996
- [2] 前田孝夫, "일체주형방식에 따른 몰드변압기", 일본전기학회협동연구회, SA-91-70
- [3] Linden W. Pierce, "Specifying and Loading Cast-Resin Transformers", IEEE Trans. Industry Appl., Vol.29, No.3, May/June 1993
- [4] 일본공업표준조사회, "배전용 6kV 몰드변압기", JIS 4306