

일체형 주상용 몰드변압기의 덕트에 따른 열해석 특성 연구

조한구, 이윤용

한국전기연구원

The Thermal Analysis of Pole Mount Mold Transformer with One-body Molding by Duct Condition

Han-Goo Cho, Un-Yong Lee

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

The transformer is major equipment in power receiving and substation facilities. Necessary conditions required for the transformer are compactness, lightness, high reliability, economic advantages, and easy maintenance. The pole-mount transformer installed in distribution system is acting direct role in supply of electric power and it is electric power device should drive for long term. Most of modern transformer are oil-filled transformer and accident is happening considerable.

The mold transformers have been widely used in underground substations in large building and have some advantages in comparison to oil-transformer, that is low fire risk, excellent environmental compatibility, compact size and high reliability. In addition, the application of mold transformer for outdoor is possible due to development of epoxy resin. The mold transformer generally has cooling duct between low voltage coil and high voltage coil. A mold transformer made by one body molding method has been developed for small size and low loss. One body molding transformer needs some cooling method because heat radiation between each winding is difficult.

In this paper, The thermal analysis of pole mount mold transformer with one body molding by duct condition is investigated and the test result of temperature rise is compared with simulation data.

Key Words : Pole mount mold transformer, One body molding, Air duct, Thermal analysis

1. 서 론

유입 변압기는 현재까지 주류를 이루고 있지만 수배전 설비의 고신뢰성 측면과 오일의 환경오염, 누유 등이 문제로 되고 있으며, 폭발사고에 따른 화재위험을 가지고 있다. 따라서 화재에 대한 안전성 및 유지보수의 경제성과 편리함에 대한 요구로 권선을 에폭시로 몰딩 절연하는 몰드변압기에 대한 새로운 적용도 연구되고 있다[1, 2].

몰드 변압기는 난연성을 구비한 에폭시 몰딩부와 공기층의 복합절연으로 구성되어 있다. 몰드 변압기가 난연성의 변압기로서 주종을 이루고 있는 것은 가격에 비해 에너지 절감, 안전성, 환경 측면

및 간편한 유지보수 등 여러 가지 이점이 있기 때문이다. 몰드 변압기는 절연성능이 우수한 에폭시 수지를 효과적으로 활용한 합리적 절연설계에 따라 유입 변압기 및 건식 변압기와 비교하여 소형·경량화 할 수 있다[3].

본 논문에서는 기존의 1차권선 및 2차권선이 분리된 몰드 변압기와는 달리 1, 2차 권선을 일체주형화한 50kVA 주상용 몰드 변압기를 설계하고 유한요소법 프로그램을 통해 열해석을 검토하였다. 1층 덕트 구조와 2~3층 덕트 구조의 각 부분 온도 분포를 비교 분석하였으며, 이를 바탕으로 시제품 변압기를 제작하여 온도상승시험을 통해 해석결과와 비교 검토하였다.

2. 일체형 몰드변압기의 설계 및 열해석

2.1 일체형 몰드 변압기

일반적인 지상 설치형 몰드 변압기의 권선구조는 그림 1(a)와 같이, 고압권선과 저압권선이 분리되어 있고 각 권선 사이에 덕트가 삽입된다. 하지만, 일체형 몰드 변압기의 경우는 고압권선과 저압권선이 함께 몰딩되어 그림 1(b)와 같은 구조를 갖는다[4]. 일체형의 경우는 기존형보다 소형화가 가능하지만, 방열면적의 감소로 열적 문제를 해결하는 것이 중요하다.

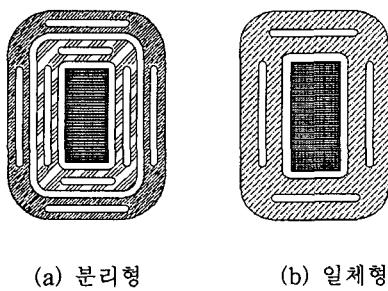


그림 1. 몰드 변압기의 덕트구조.

2.2 일체형 몰드 변압기의 덕트구조에 따른 열해석

변압기는 일반적으로 발열체인 권선의 열량에 따른 온도분포와 냉각매체의 흐름의 분포를 전체적으로 파악할 필요가 있다[5, 6, 7]. 변압기의 냉각은 대류, 전도, 방사에 의해서 이루어지지만, 대류 즉 발열체에서 냉각매체의 열전달이 가장 중요하다. 주요 발열부로서는 권선, 철심, 탱크 등이 있다. 실제의 변압기에서는 권선의 발열이 가장 큰 부분을 차지하며, 냉각 매체를 강제대류 혹은 자연대류방식으로 냉각한다.

1층 덕트 및 2~3층 덕트구조의 설계모델에 대한 온도분포를 예측하기 위해 유한요소법(FEM) 상용 프로그램인 MSC/Nastran for Windows 프로그램을 사용하였다. 설계 변압기의 구성재료인 에폭시, 저·고압코일, 유리섬유 등에 대한 열전도율, 열팽창계수, 비열 등의 열적 파라미터들을 선정하였으며, 표 1은 각 재료들의 열적 파라미터 상수를 나타낸다. 부하조건으로는 저·고압코일에 흐르는 전류에 따른 발열량을 지정하고 변압기 외함내부의 자연대류 조건을 설정하여 시뮬레이션을 하였

다. 자연대류 설정시 온도조건은 기존에 외함내부에 몰드 변압기의 대류특성을 실험을 통해 확인하여 48°C로 설정하였다. 설계 변압기의 각 권선의 발열량 및 대류조건을 표 2에 나타낸다.

표 1. 각 재료의 열적 파라미터.

재료	열전도율 (W/m · °C)	열팽창계수 (10 ⁻⁶ /°C)	비열 (kcal/kg · °C)
에폭시수지	0.25	65	-
동선	384	17	0.092
유리섬유	10.4	7	0.19

표 2. 각 부분별 발열량 및 대류조건.

부분	발열량 [W/mm ³]	대류전달계수 [W/mm ² · °C]
저압코일	0.0000293	-
고압코일	0.0000303	-
철심	0.000006	0.000005
변압기 표면	-	0.000005
덕트표면	-	0.000002

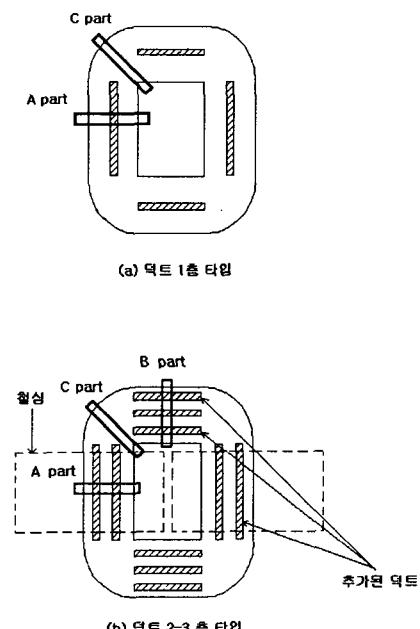


그림 2. 열해석 대상

일체형 플드 변압기의 권선구조에 대해서 덕트 1층 모델과 2~3층 모델 등을 설계 및 모델링하여 각 부분마다의 온도분포 결과를 검토하였다. 해석 대상은 그림 2와 같이 권선의 덕트가 삽입된 부분을 A, B part와 덕트가 없는 부분 C part로 분류하여, 그림 3과 같이 각 부분에 대한 모델링을 하였다. 각 부분에 대한 열해석 결과를 표 3, 그림 4에 나타낸다.

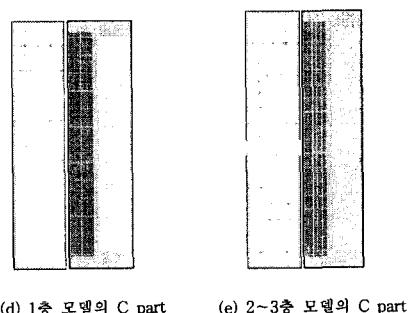
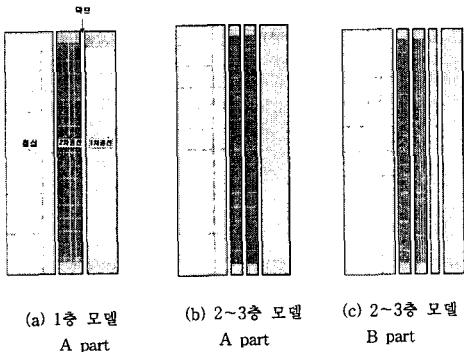
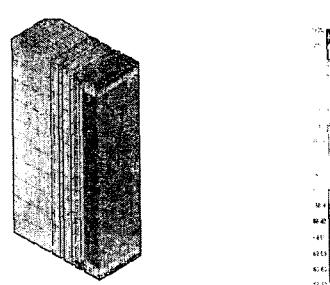
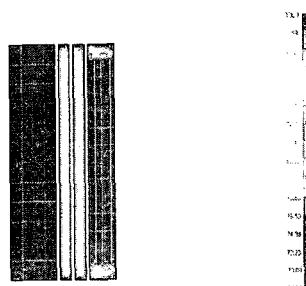
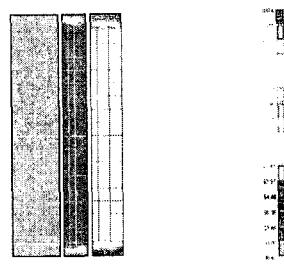


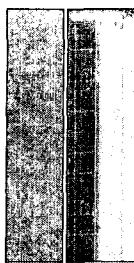
그림 3. 각 모델에 대한 모델링.

2~3층 모델의 A part와 1층 모델의 A part의 해석결과를 보면 저압권선에 추가한 덕트로 인해 저압권선의 온도가 106.4°C 에서 89.41°C 로 낮아진 것을 알수 있으며, 고압권선이 95.93°C 에서 100.1°C 로 변화되었다. 특히 고압권선 사이에도 덕트를 추가한 2~3층 모델의 B part를 보면 고압권선의 온도가 89.72°C 로 더 낮아졌다. 즉, 저압권선 쪽의 높은 온도가 덕트추가로 인해 고압권선 쪽으로 hot spot 온도의 이동이 나타났으며, 고압권선 쪽도 덕트추가에 따라 약 10°C 정도가 낮아지는 경향을 보였다.

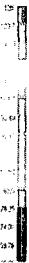
표 3. 각 모델의 A, B part 열해석 결과

해석 모델	Hot spot 온도($^{\circ}\text{C}$)	고압권선	저압권선
1층 모델 A part	106.4	95.93	106.4
2~3층 모델 A part	100.1	100.1	89.41
2~3층 모델 B part	89.72	89.72	83.91
1층 모델 C part	125	119.5	125
2~3층 모델 C part	127	123	127





(d) 1층 모델의 C part



(e) 2~3층 모델의 C part

그림 4. 각 부분의 열해석 결과.

덕트가 없는 C part에 대한 해석결과를 보면 1층 모델의 경우는 125°C , 2~3층 모델의 경우는 127°C 로 저압권선에서 hot spot 온도가 나타났다. 고압권선의 온도도 119°C , 123°C 로 나타났다. 이 부분의 높은 온도는 덕트쪽으로 이동하여 낮아졌으며, 실제 온도상승시험에서도 이 부분의 온도감소가 중요할 것으로 사료된다. 또한 덕트 표면의 온도는 해석결과, 각 권선의 중심온도와 약 1°C 정도의 차이를 가지며 거의 권선온도와 비슷하였다.

열해석한 결과를 바탕으로 2~3층 모델의 몰드변압기를 제작하여 등가부하법으로 온도상승시험 결과, 고압권선은 $86[\text{deg}]$, 저압권선은 $70[\text{deg}]$ 로 나타났다. 온도상승시험시 주위온도가 21°C 였으므로 결국 고압권선의 최종 포화온도는 107°C , 저압권선의 최종 포화온도는 91°C 로 온도분포를 보였다. 앞에서의 열해석 결과와는 고압권선은 약 7°C , 저압권선은 약 2°C 정도 차이가 났지만, 거의 유사한 분포를 보였다.

3. 결 론

일체형 권선구조에서의 덕트구조에 따른 설계

및 열해석을 통해 덕트 1층 및 2~3 층 모델을 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 1층 모델의 온도분포 경향은 A part에서 저압권선 중심온도가 106.4°C , 고압권선은 95.93°C 로 나타났으며, 덕트가 없는 C part에 대한 결과는 저압권선 및 고압권선의 중심온도가 125°C , 119.5°C 였다.
- 2) 2~3층 모델의 경우, A part에서는 저압권선의 온도가 106.4°C 에서 89.41°C 로 낮아진 것을 알 수 있으며, 고압권선이 95.93°C 에서 100.1°C 로 변화되었다. B part에서는 고압권선의 온도가 89.72°C 로 약 10°C 정도가 더 낮아졌다.
- 3) 2~3층 모델의 C part에서는 1층 모델과 마찬가지로 저압권선의 온도가 127°C , 고압권선의 온도가 123°C 로 다소 높게 나타났다. 하지만 이부분의 온도는 덕트쪽으로 이동하여 낮아질 것이다.
- 4) 2~3층 모델의 일체형 몰드 변압기를 제작하여 실제로 온도상승시험 결과, 저압권선의 최종포화 온도는 91°C , 고압권선은 107°C 로 해석 데이터와 거의 유사한 경향을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] 한국전기연구소, “변압기 기술현황”, TSC 9812-10, 1998.
- [2] 전력연구원, “주상변압기 품질향상 및 신기술 개발 심포지움”, 2001.
- [3] 津野降司, “新形 モールド 變壓器”, 電氣評論, pp. 11~14, 1996.
- [4] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol. 43, No. 4, pp. 66~72, 1996.
- [5] Takeshi Noda et al, "重電機器를 支配する 热流體 解析", Takaoka Review, Vol. 47, No. 3, pp. 68~71, 2000.
- [6] Linden W. Pierce, "Predicting Hottest Spot Temperatures in Ventilated Dry Type Transformer Windings", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9, No. 2, pp. 920~926, 1994.
- [7] H. G. Cho et al, "The Performance Test of 50kVA Pole-Mount Mold Transformer, PowerCon, Vol. 4, pp. 2208~2211, 2002.