배전용 몰드변압기의 온도특성 파악을 위한 열유동해석

Thermal Fluid Flow Analysis for Temperature Characterization of Mold Transformer in Distribution Power System

김 지 호* · 이 정 근** · 이 기 식*** · 이 욱§ · 이 향 범†

(Ji-Ho Kim · Jeong-Gun Lee · Ki-Sik Lee · Wook Rhee · Hyang-Beom Lee)

Abstract - In this paper, the temperature characteristics of mold transformer for the distribution power system have been analyzed by using computational fluid dynamics(CFD). The model has been modeled by coil, cores, insulating materials and frames about 3MVA grade mold transformer and analyzed the temperature distribution of the structure with a heat fluid. The fluid, which is incompressible ideal gas, is analyzed as a turbulent flow phenomenon on the assumption that it is natural cooling of transformer cooling system. Through this study, by examining the temperature distribution and hot-spot of the structure field of the mold transformer, cooling design and temperature distribution information, which are demanded for designing are estimated.

Key Words : Computational Fluid Dynamics (CFD), Hot spot, Mold transformer, Thermal fluid flow analysis, Temperature distribution

1. 서 론

최근 전력사용량이 급증함에 따라 전력기기의 대용량화가 진행되고 있다. 이러한 진행과정에서 발생하는 비용, 설치면적, 운송 등의 문제를 해결하기 위하여 전력기기의 크기가 소형화되고 있다. 전력기기 중 변압기의 경우도 대용량화가 진행되면서 소형화 및 축소화 기술이 개발되고 있다. 하지만 동일한 용량에서 크기가 작아지게 되면 단위 체적당 발생하는 열이 증가하게 되어 변압기의 온도상승을 유발하게 된다. 이렇게 변압기의 온도가 상승하게 되면 절연물의 열화가 빠르게 진행되어 변압기의 수명이 감소하게 된다. 따라서 변압기의 설계와 크기, 부하용량, 동작 성능에도 많은 영향을 가져온다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 변압기의 정확한 온도분포와 최고점 온도를 예측하는 것이 매우 중요하다.

이중 몰드변압기는 최근 주류를 이루고 있는 구내용 변압기로, 구리, 알루미늄 등의 도체를 권선하여 에폭시 수지로 몰딩하는 기술로서 냉각 및 절연기술, 강도가 요구된다. 몰드변압기 권선부의 발열 및 적층 철심의 발열은 변압기의 온도를 상승시키는 주된 원인이 되며, 변압기 운전 시 발생하는 열은 변압기 수명 및 성능을 저하시키는 큰 원인이기 때문에 최적의 방열 구조로 변압기를 설계하는 것이 중요하다[1][2][4]. 이처럼 변압기의 온도분포 해석 문제는 근본적

으로 전자계 해석과 상호 결합되어 있다. 전자계 해석에서 각 물성 값들은 온도에 따라 변화하며, 특정 값으로 가정한 온도 하에서 각각의 물성 값들(저항값, 투자율 등)을 입력하여 계산함으로써 전자기적 특성 값인 전류, 전력손실 등의 결과를 얻어낸다. 권선과 철심에서 얻어지는 손실은 온도분포 해석을 위한 열원으로 직접 입력되는 값이다[3][4].

몰드변압기의 냉각 덕트에서 입력차가 가해지면 흐름이 생기고 공기의 흐름 내에 온도차가 존재하면 열이 이동하거나 흐름이 생긴다. 이 경우, 공기의 밀도, 압력, 유입부의 속도, 유입부의 온도 등이 공기의 흐름을 바꿔주는 변수가 된다. 공기가 연속체이면 변수를 지배하는 방정식이 존재한다. 유체역학 및 열전도 문제를 해석하는 데는 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지방정식에 경계 법칙을 도입하여 얻어지는 3종의 (편)미분방정식을 적당한 경계조건과 초기조건 하에 계산된다[3][5].

본 논문의 몰드변압기의 해석은 자연대류 문제를 해석한다. 자연대류는 흐름의 운동량 방정식과 열전도 방정식의 양자에 속도와 온도가 포함되기 때문에 연성 문제가 되므로 양 방정식을 동시에 풀 필요가 있다. 변압기의 온도가 상승하면 주변 공기의 밀도가 변화하고, 주변 공기와의 밀도 차에 의해 부력이 발생한다. 이 부력은 공기의 추진력으로서 작용하기 때문에 공기가 운동을 시작한다. 이와 같이 자연대류에서는 에너지방정식과 Navier-Stokes 방정식은 연성하여 해석을 수행한다. 3MVA 몰드변압기를 해석모델로 선정하여 몰드변압기의 온도분포를 CFD 프로그램인 FLUENT를 이용하여 3차원 열유동 해석을 수행하였다. 사용되는 유체는 비압축성 이상공기로 변압기의 냉각방식인 자연 냉각으로 가정하여 난류 현상으로 해석하였다. 또한 몰드변압기의 구조 영역별 온도분포 및 최고온도 (hot spot temperature) 지점을 예측함으로써, 설계 시 요구되는 냉각 설계 및 온도 분포를 예측하였다. 또한 에폭시의 열전도도

* 정 회 원 : 숭실대학교 선임연구원

** 정 회 원 : 숭실대학교 연구원

*** 시니어회원 : 단국대학교 전자전기공학부 교수

§ 정 회 원 : 대전대학교 전기공학과 교수

† 교신저자, 정회원 : 숭실대학교 전기공학부 교수

E-mail : hyang@ssu.ac.kr

접수일자 : 2012년 11월 20일

최종완료 : 2012년 12월 27일

변화에 따른 온도분포 비교 및 권선의 재질 변화에 따른 온도분포를 비교하였다. 해석결과를 바탕으로 설계시 요구되는 냉각설계 및 온도분포 자료로 활용하였다.

2. 변압기 해석을 위한 이론 고찰

2.1 전자기적 열원

변압기의 운전 시 권선에는 전류가 흐르게 되고 줄열(Joule's loss)에 의한 열이 발생하게 된다. 이때 발생한 열은 권선부와 절연물의 온도를 높이게 되면, 온도가 높아질수록 절연물의 열화는 가속화되어 변압기의 수명은 짧아지게 된다. 일반적으로 변압기의 수명은 내부의 전반적인 열적 분포보다는 특정 부위의 온도 값에 의해 결정되며, 특히 최고점의 온도값이 허용치 이상으로 상승할 경우 절연 내력의 저하로 인해 변압기의 수명은 급격히 감소한다. 각 재질의 물성치를 해당 영역에 부여하여 계산된 권선과 철심의 손실을 온도해석의 열원으로 사용하게 된다.

본 논문에서 사용되는 몰드변압기는 철심, 저압권선, 고압권선을 모델링하고 이에 따른 열원 산정은 부하손인 동손과 무부하손인 철손만을 고려하였으며, 권선에서의 저항은 온도에 따라 그 크기가 변화하지만 이는 정상상태의 열유동해석에서는 고려하지 않는다. 따라서 저압권선과 고압권선에서 발생하는 전력손실 밀도를 산정하기 위하여 다음의 식 (1)과 (2)를 이용하여 변압기의 열원을 결정하였다[1][6][7].

$$\text{권선부의 손실 계산 : } P_w = I^2 R \quad [W] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{철심의 손실 계산 : } w &= K_h B_m^2 f + K_e (B_m t f)^2 \\ P_c &= k G w \quad [W] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, K_h , K_e 는 각각 히스테리시스 상수와 와전류 손실 상수, t 는 도체의 두께, B_m 은 최대자속밀도, f 는 주파수 [Hz], k 는 적층 시 발생하는 철심 간 공극에 관련된 계수, G 는 철심의 중량 [kg], w 는 단위 무게 당 손실 [W/kg]을 나타낸다.

위 식을 적용하여 저압권선과 고압권선의 전력손실을 계산하였다. 저압권선에 비해 많은 권선수를 가진 고압권선에서 높은 전력손실밀도가 발생하였다. 그 결과, 고압권선은 12,044 W, 저압권선은 9,785 W의 전력손실이 발생하였으며, 이를 단위체적당으로 환산하면 각각 53,016 W/m³, 39,117 W/m³의 전력손실밀도를 가지게 된다. 또한, 철심의 철손은 5,265 W이며, 단위체적당 손실은 11,089 W/m³이다.

2.2 자연대류 해석을 위한 열유동방정식

유체 중에 온도차가 존재하면 열의 이동이나 흐름이 생긴다. 열전달은 일반적으로 전도, 대류, 복사의 방식 중 하나 또는 그 이상의 방식으로 일어난다. 몰드변압기 내에서 발생하는 열의 흐름은 대부분 공기의 순환에 의한 대류가 가장 큰 비중을 차지한다. 공기의 순환에 의한 대류는 열유동해석을 통해 예측할 수 있으며, 이를 통해 몰드변압기의 내부 온도분포를 예측할 수 있다. 변압기의 내부 유동현상 및

온도분포를 파악하기 위한 유체역학 지배방정식은 연속방정식과 운동방정식(Navier-Stokes 방정식) 그리고 에너지 방정식으로 구성되어 있다. 자연대류는 흐름의 운동량 방정식과 열전도 방정식의 양자의 속도와 온도가 포함되기 때문에 연성 문제가 되므로 양 방정식을 동시에 풀 필요가 있다. 내부 공기의 온도가 상승하면 밀도가 변화하고, 주위의 공기와의 밀도 차에 의해 부력이 발생한다. 이 부력은 내부 공기의 추진력으로서 작용하기 때문에 공기가 운동을 시작한다. 이와 같이 자연대류에서는 에너지방정식과 Navier-Stokes 방정식을 연성하여 해석하게 된다. 여기서 자연대류의 지배방정식은 다음의 식 (3)~(7)과 같다[7][8].

$$\text{연속방정식 } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

운동량 방정식

x -성분 :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\rho_\infty \beta g_x (T - T_\infty) + \mu \nabla^2 u \quad (4)$$

y -성분 :

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\rho_\infty \beta g_y (T - T_\infty) + \mu \nabla^2 v \quad (5)$$

z -성분 :

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\rho_\infty \beta g_z (T - T_\infty) + \mu \nabla^2 w \quad (6)$$

에너지 방정식

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \nabla^2 T + \Phi \quad (7)$$

여기서, ρ 는 밀도 [kg/m^3], $\vec{v}$ 는 유체 속도 [m/s], $\vec{g}$ 는 중력 가속도 [m/s^2], p 는 압력 [N/m^2], μ 는 점성계수 [$kg/m \cdot s$], C_p 는 정적비열 [$J/kg \cdot K$], T 는 온도 [K], Q 는 단위체적당 외부에서 공급되는 열량 [W/m^3], k 는 열전도율 [$W/m \cdot K$], 그리고 Φ 는 소산함수이다. 자연대류 문제에서 g_x, g_y, g_z 는 각각 좌표축 x, y, z 에 대한 $\vec{g}$ 의 성분이며 운동량 방정식에서 압력 p 는 주위 압력 p_∞ 와 같은 값을 가지고 일정하므로 압력구배는 영(zero)이다.

해석 방법으로 속도가 매우 작고 밀도 차이로 인한 부력 유동이 자연대류를 해석하기 위하여 속도와 압력의 연계(coupling)인 SIMPLE 기법으로 처리하였다. 또한 열 유동해석의 난류모델로서 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 해석 변압기의 외부 유체는 비압축성 이상 공기로 가정하여, 초기 온도는 20℃의 상온이다.

2.3 열유동해석의 정확성 검증을 위한 실험 및 해석비교

몰드변압기의 열유동해석 검증을 위해서 실험과 수치해석의 정합성이 선행되어야 한다. 이를 위하여 1kVA 단상 변압기를 선정하여 변압기의 무부하시험 및 단락시험을 수행하였다. 실험을 통해 전체적인 변압기의 실제 온도분포를 열화상 카메라를 이용하여 촬영하였다. 표 1은 시험에 사용되는 변압기의 제원을 나타내었다. 그림 1의 (a)는 1kVA 단상 변압기의 실제 사진이며, (b)는 수치해석을 위한 1kVA 단상 변압기의 형상 모델을 나타내었다.

표 1 변압기의 제원

Table 1 Specifications of transformer

구분	사양
정격용량 [VA]	1,000
정격전압 [V]	220 / 10
정격전류 [A]	4.55 / 100
주파수 [Hz]	60
상수	단상

(a) 사진

(b) 형상 모델

그림 1 1kVA 단상 변압기

Fig. 1 1kVA Single phase transformer

변압기 온도분포 확인을 위하여 변압기의 무부하시험과 단락시험을 수행하였다. 무부하 시험을 통하여 단상 변압기의 철심 온도를 측정하였다. 그림 2의 (a)는 무부하 시험시 열유동해석을 통한 철심의 온도분포를 나타내었고, (b)는 무부하 시험시 열화상 카메라로 측정한 온도분포를 나타내었다. 표 2는 무부하 시험시 철심의 지점별 온도분포를 비교한 것이다.

(a) 수치 해석 온도 분포

(b) 열화상 카메라 온도 분포

그림 2 무부하 시험시 온도 분포

Fig. 2 Temperature distribution in the no-load test

표 2 무부하 시험시 철심의 온도분포 비교

Table 2 Comparison of temperature distribution in the core of the no load test

지 점	열유동해석 결과 [℃]	열화상 카메라 측정값[℃]
1	27.2	30.3
2	26.5	30.5
3	26.5	30.6
4	26.4	29.7
5	26.3	29.4

단락시험을 통하여 단상 변압기의 권선 온도를 측정하였다. 그림 3의 (a)는 단락시험시 열유동해석을 통한 권선의 온도분포를 나타내었고, (b)는 단락시험시 열화상 카메라로 측정한 온도분포를 나타내었다. 표 3은 단락시험시 권선의

지점별 온도 분포를 비교한 것이다. 1 kVA 단상변압기의 열유동해석과 실험을 통하여 결과를 비교하고 검증하였다. 열유동해석의 수렴성과 정확성을 동일 조건으로 해석한 결과는 열화상 카메라와 일치하였으며, 전체적으로 약 91.6%의 정확성을 보였다. 이를 바탕으로 CFD 해석에 대한 정확성을 검증하였다.

(a) 수치 해석 온도 분포

(b) 열화상 카메라 온도 분포

그림 3 단락 시험시 온도 분포

Fig. 3 Temperature distribution in the short circuit test

표 3 단락 시험시 철심의 온도분포 비교

Table 3 Comparison of temperature distribution in the core of the short circuit test

지 점	열유동해석 결과 [℃]	열화상카메라 측정값[℃]
1	58.1	61.8
2	57.9	60.8
3	58.1	65.9
4	58.0	68.5
5	57.9	56.2

3. 해석모델 및 해석결과

3.1 몰드변압기 해석모델

본 논문에서 열유동해석에 적용되는 모델은 그림 4와 같은 3MVA급 몰드변압기이다. 몰드변압기의 구조는 3상 내철형이며, 냉각방식은 건식 자냉식, 절연물은 절연등급이 F급인 에폭시 수지를 사용하였다. 철심은 냉각압연 방향성 규소강판을 사용한 적층형 구조이며, 권선의 배치는 3각 철심에 저압권선과 고압권선이 각 leg에 동심원으로 배치되어 있는 구조이다. 변압기의 사양은 표 4에 나타내었다. 표 5는 해석모델의 구성재료인 철심(규소강판), 저압 및 고압권선, 에폭시 수지 등에 대한 밀도, 비열, 열전도도 등의 열적 파라미터들을 적용하였다.

그림 4 변압기 해석모델

Fig. 4 Transformer analysis model

CFD를 이용하여 해석하고자 모델링을 위해 요소분할, 경계조건 및 물질상수의 부여 등을 전처리 과정이라 한다. CAD 3차원 모델을 ANSYS Workbench의 Design Modeler를 이용하여 해석 모델의 주요 구성품을 설정하였다. 이때, 해석 모델의 외부 유체는 3~4 배 크기의 유체 영역으로 설정하였다.

표 4 해석모델의 사양

Table 4 Specifications of analysis model

구 분	사 양
정격 용량 [kVA]	3,000
정격 전압 [V]	22,900 / 380
정격 전류 [A]	43.7 / 2,632
주파수 [Hz]	60
절연종	F종

표 5 해석모델의 주요 재질 물성값

Table 5 Specifications of analysis model

항 목	철 심	권 선	절연물
재 질	Silicon-iron	Copper	Epoxy
밀 도 [kg/m ³]	7,650	8,933	1,900
비열값 [J/kg · K]	447	385	795
열전도도 [W/m · K]	80.2	401	1.0

그림 5 3차원 열 유동 해석모델

Fig. 5 3D Thermal-Flow Analysis model

ANSYS Workbench의 Meshing Platform을 이용하여 3차원 모델링 후 열 유동 해석 모델의 요소망을 분할하였다. 사용하는 요소망은 사면체 요소망을 사용하였고, 요소망을 구성하는 절점의 수는 4,365,117 개이고, 요소망의 수는 23,143,933 개다. 해석 방법으로 속도가 매우 작고 밀도 차이로 인한 부력 유동이 자연대류를 해석하기 위하여 속도와 압력의 연계(coupling)인 SIMPLE 기법으로 처리하였다. 또한 열 유동 해석의 난류 모델로서 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 해석 변압기의 외부 유체는 비압축성 이상 공기로 가정하여, 초기 온도는 20℃의 상온이다.

3.2 해석결과

3.2.1 몰드변압기의 온도해석결과

그림 6은 전력손실밀도에 따른 변압기의 영역별 온도 분포를 나타내었다.

전체 영역의 온도 분포부터 철심 영역, 고압권선 영역, 저압권선 영역, 각 권선의 절연물 영역으로 나눠 온도 분포를 나타내었다. 전체적인 변압기의 온도 분포는 철심인 경우, 권선의 상부와 근접한 부분의 온도 분포가 집중되어 있다. 고압권선인 경우, 고압권선의 중심부 상위 section 3번 위치에서 온도 분포가 집중되어 있고, 저압권선인 경우, 저압권선의 중심부 상위에서 온도 분포가 집중되어 있다. 절연물인 경우에는 권선의 온도 분포와 비슷하게 집중되어 있다.

(a) 전체 영역

(b) 철심 영역

(c) 고압 권선 영역

(d) 절연물 (고압측) 영역

(e) 저압 권선 영역

(f) 절연물 (저압측) 영역

그림 6 해석모델의 영역별 온도분포

Fig. 6 Temperature distribution in the structure of analysis model

3.2.2 절연물(에폭시수지)의 열전도도 변화에 의한 온도해석결과

표 6과 같이 총 3가지의 에폭시 수지의 열전도도 $[W/mK]$ 변화에 의한 온도분포 변화에 대하여 수치해석을 수행하였다. 3.1절의 해석모델과 동일한 조건으로 해석하였다. 에폭시수지의 열전도도를 0.1 W/mK 씩 변화시켜 변압기의 영역별 온도분포를 나타내었다. 수치해석을 통해 얻어진 온도분포 결과를 바탕으로 변압기의 영역별 온도특성 및 최고점 온도 분포를 예측하였다.

표 6 에폭시 수지의 열전도도 변화

Table 6 Variation in the thermal conductivity of the epoxy resin

	Case (1)	Case (2)	Case (3)
열전도도 $[W/mK]$	0.8	0.9	1.0

그림 7은 에폭시수지의 열전도도 변화에 의한 철심 영역의 온도분포를 비교한 결과이다. 에폭시수지의 열전도도 변화에 의한 철심의 온도 변화는 미미한 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 에폭시수지의 열전도도 변화에 의한 권선부 영역의 평균온도를, 그림 9는 에폭시수지의 열전도도 변화에 의한 권선부 영역의 최고 온도분포를 비교한 결과이다. 에폭시수지의 열전도도 변화에 의한 고압권선부의 온도분포보다 저압권선부의 온도분포가 최대 1℃ 이상의 온도변화가 예측되었다. 하지만 해석결과에 대한 오차 범위 내의 변화로 에폭시수지의 열전도도 변화에 대한 권선 및 철심의 온도상승에 대한 영향은 미미한 것을 판단된다.

그림 7 철심 영역의 온도분포

Fig. 7 Temperature distribution of core area

그림 8 권선부 영역의 평균온도분포

Fig. 8 Temperature distribution of winding area

그림 9 권선부 영역의 최고온도분포

Fig. 9 Hot spot temperature distribution of winding area

3.2.3 권선 재료의 물성값 변화에 의한 온도해석결과

표 7과 같이 변압기 권선 재료의 물성치 변화에 의한 온도분포를 비교하기 위한 수치해석을 수행하였다. 변압기 권선의 재료는 실제 몰드변압기에서 사용하고 있는 구리(copper)와 알루미늄(aluminum)으로 구분된다. 권선의 온도

분포 해석을 위하여 밀도, 비열, 열전도율을 변화하여 영역별 온도특성 및 최고점 온도분포에 대하여 예측하였다.

표 7 권선 재료의 물성치 변화

Table 7 Property according to material of coil

재료 구분	밀도 [kg/m ³]	비열값 [W/kg·K]	열전도율 [W/m·K]
Copper	8,933	385	401
Aluminum	2,719	871	202.4

그림 10의 (a)는 권선의 재질을 구리로 사용했을 경우에 대한 단면 온도분포를 나타내었으며, 그림 10의 (b)는 권선의 재질을 알루미늄으로 사용하였을 경우에 대한 단면 온도분포를 나타내었다. 구리를 권선에 사용한 경우, 철심의 최고온도는 약 75℃이며, 저압권선과 고압권선의 최고온도는 각각 85.1℃, 84℃로 예측되었다. 알루미늄을 사용한 경우, 철심의 최고온도는 78.6℃이며, 저압권선과 고압권선의 최고온도는 각각 86.1℃, 84.1℃이다. 몰드변압기의 경우, 절연물인 에폭시로 몰딩되어 권선의 온도 발열에 차이는 각각의 열적 물성치의 차이보다는 몰딩되어 있는 절연물에 영향을 많이 받게 된다. 그에 따라 각각의 구조에 따른 철심, 저압 및 고압권선의 온도차이는 미미한 것으로 판단된다.

그림 10 권선 재료 변화에 의한 온도분포

Fig. 10 Temperature distribution according to the material of the coil

3. 결 론

본 논문은 국내의 빌딩 및 아파트 등에 주류를 이루고 있는 몰드변압기에 대한 수명 예측을 위한 온도분포를 위하여 CFD 해석을 통하여 배전용 몰드변압기의 온도특성 분포 및 최고점 온도를 예측하였다. 해석을 위하여 CFD 해석을 위하여 자연대류 문제로 해석하였고, 각각의 해석을 위한 검증 및 결과 도출은 다음과 같다. 해석결과에 대한 검증을 위하여 1kVA 단상 변압기의 열유동 해석결과와 실험결과를 비교하여 수치해석의 정확성 및 수렴성에 대한 검증을 수행하였다. 해석결과와 실험결과는 약 91.6%의 정합성을 보였으며, 이를 바탕으로 본 논문에서 사용된 CFD 해석 기법은 비교적 정확하다고 판단된다. 이를 통해 해석된 모델은 3MVA 배전용 몰드변압기로 실제의 형상과 유사하게 모델링하기 위하여 몰드변압기의 냉각덕트를 포함시켰으며, 철심은 적층된 형상을 고려하여 전체의 모델은 3차원으로 모델링하였다. 몰드변압기의 열적 특성을 분석하기 위하여 변압

기 해석모델의 온도분포를 해석하고, 에폭시 수지의 열전도도에 의한 변화, 권선 재질의 물성값에 의한 변화에 대하여 온도분포를 예측하였다.

해석모델의 온도분포는 하부의 경우는 공기가 유입되는 부분으로 저압권선과 고압권선의 온도가 비교적 비등한 온도분포를 나타냈지만, 상부로 올라갈수록 고압권선과 저압권선의 온도는 저압권선에서 온도가 높게 분포된 것으로 예측되었다. 변압기의 수명은 절연물의 수명에 의해 좌우된다. 지금까지의 변압기의 온도는 저압 및 고압권선의 구별없이 평균권선온도로 산정되고 있다. 그러나 절연물은 온도가 높을수록 빨리 열화가 진행되는 특성이 있으므로, 변압기 내부에서 온도분포를 파악하고, 각 위치에서의 온도데이터를 확보할 수 있으면 특정부위의 열화상태를 추정할 수 있다. 특히 제작을 완료하면 분리하여 유지보수를 할 수 없는 몰드변압기의 경우 제작 전 온도특성 분포해석을 통한 데이터는 몰드변압기의 한계수명을 평가하는 연구에 활용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 제원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO. 20114010203140)

참 고 문 헌

- [1] Bharat Heavy Electricals Limited, "Transformers", McGraw-Hill, 2003
- [2] Takeshi Takahashi "Evaluation of the Long-term-Reliability of the Outdoor Mold Transformers using Epoxy Resin", Takaoka Review, Vol.39, No. 2, 1992
- [3] Linden W. Pierce, "Specifying and Loading Cast-Resin Transformers", IEEE Trans. Industry Application. Vol. 29, no.3, pp 590-599, May/June, 1993.
- [4] T. Chao, "Solid cast transformers", IEEEIAS Pulp Paper Conf, pp. 140-147, 1991
- [5] IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers, IEEE Std C57.96, pp. 5-13, 1999.
- [6] Fernandes-Costa, "Prevision of The Thermal Behavior of Dry Type Case Resin Transformers", Electric Machines and Power Systems, Vol. 20, pp.261-272, 1992
- [7] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, Vol. 43, No. 4, pp. 66-72, 1996.
- [8] H. G. Cho, The Temperature Distribution and Thermal Stress Analysis of Pole Mold Transformer, Journal of KIEEME, Vol. 14, No. 4, pp. 297-301, 2001.

저 자 소 개

김 지 호 (金 志 濤)

2004년 숭실대 전기공학과 졸업, 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 숭실대학교 박사 후 연구원

이 정 군 (李 廷 根)

2009년 숭실대학교 전기공학부 졸업, 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 숭실대학교 연구원

이 기 식 (李 基 植)

1973년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사), 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1978년 ~ 현재 단국대학교 전자전기공학부 교수

이 욱 (李 旭)

1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업, 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1981~1991년 전주비전대학 교수, 1992년~현재 대전대학교 전기공학과 교수

이 향 범 (李 亨 範)

1989년 서울대 전기공학과 졸업, 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1995~1996년 기초전력공학공동연구소 전임연구원, 1996~1998년 군산대학교 전기공학과 전임강사, 1998년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수